El-Teori

INDHOLDSFORTEGNELSE

Tal og grundlæggende regning . . . 3
Geometri . . . 27
Trigonometri . . . 45
Aritmetik . . . 57
Binær regning . . . 75
Måleenheder . . . 89
Kemi . . . 125
Luftteori . . . 143
Elektriske Grundbegreber . . . 149
Jævnstrømsteori . . . 167
Magnetisme . . . 191
1-faset vekselstrømsteori . . . 219
3-faset vekselstrømsteori . . . 257
Modstande og kondensatorer . . . 277
Halvlederkomponenter . . . 309
Forstærkning . . . 373
Ensretning . . . 391
Effektregulering . . . 401
Multivibrator . . . 411
Kombinationslogik . . . 429
Instrumenttyper . . . 433
Måleprincipper . . . 471
Stikordsregister . . . 491

Regning

Som tekniker støder man ofte på problemer, hvis løsning er betinget af en mindre eller større beregning.

Eksempel

På en fabrik startes en maskine ved et tryk på en knap. Maskinens bevægelige dele går i gang.

Drivkraften kommer fra en elektromotor, som forsynes med elektricitet gennem kabel, afbryder, gruppeledning, gruppeafbryder, sikringer osv.

I forbindelse med udførelsen af installationen til en sådan maskine er der udført beregninger og dimensionering for at fastslå størrelsen af: betjeningsafbrydere, gruppeledninger, gruppeafbrydere, sikringer mv.

Matematik

Det hjælpemiddel, der benyttes til udførelsen af disse beregninger, er matematik.

Matematik er bl.a. regning med talstørrelser indsat i forkendte og sandsynliggjorte formler og læresætninger, der for el-fagets vedkommende stammer fra de grene inden for fysikken, som omhandler elektricitetslære, lyslære, varmelære og mekanisk fysik.

Tegn og symboler

Matematikken benytter sig af tegn og symboler, og kendskab til disse er en nødvendighed; her bliver kort gjort rede for de vigtigste.

Alfabetet

Bogstaver i det almindelige alfabet, samt det græske, anvendes meget, idet bogstaver indgår i stedet for talværdier; det er der ikke noget mystisk i, blot det huskes, at gentages bogstavet, står det for den samme talværdi. Når talværdien bliver kendt, kan den erstatte bogstavet.

Det græske alfabet

Alfa	A α	(A)		Ny	N ν	(N)
Beta	B β	(B)		Ksi	Ξ ξ	(X)
Gamma	Γ γ	(C)		Omikron	O o	
Delta	Δ δ	(D)		Pi	Π π	(P)
Epsilon	E ϵ	(E)		Rho	P ϱ	(R)
Zeta	Z ζ	(Z)		Sigma	Σ σ	(S)
Eta	H η	(Y)		Tau	T τ	(T)
Theta	Θ θ			Ypsilon	Υ υ	[I]
Lota	I ι	[J]		Fi	Φ φ	[F]
Kappa	K κ	(K)		Khi	X χ	
Lambda	Λ λ	(L)		Psi	Ψ ψ	
My	M μ	(M)		Omega	Ω ω	

I parentes er angivet det tilsvarende almindelige (latinske) bogstav. Klammer angiver, at det latinske bogstav ikke nøjagtigt svarer til det græske.

Tal

Det at kunne tælle og have kendskab til tal, har været en nødvendighed for menneskene i årtusinder.

Vi har inddelt vore tal og givet dem navne:

N, naturlige tal:

$$1,\ 2,\ 3$$

Z, hele tal:

$$-3,\ -2,\ -1,\ 0,\ 1,\ 2,\ 3$$

Q, rationelle tal:

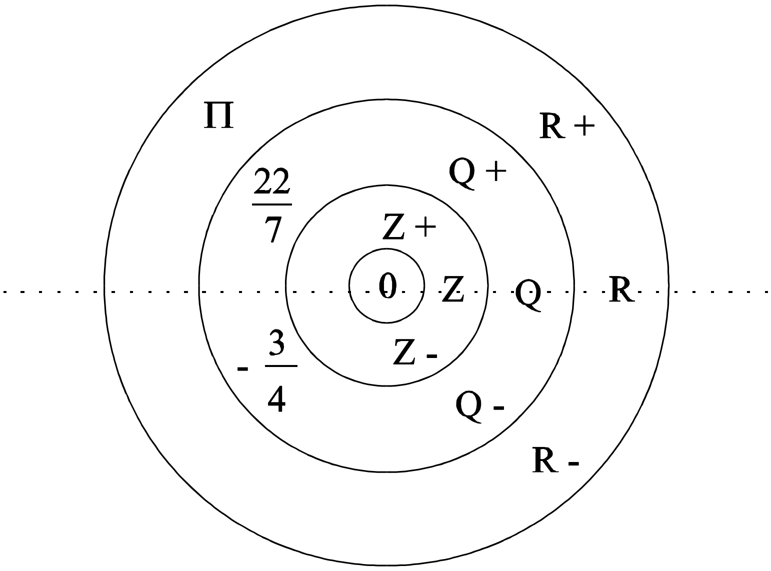
$$-2,\ -1,\ -\frac{3}{5},\ 0,\ 1,\ -\frac{3}{8},\ 2,\ 3$$

Irrationelle tal:

$$\Pi,\ \sqrt{2},\ \sqrt{5}\ etc.$$

alle disse tal kaldes under et, de reelle tal: R

Dette kan illustreres med figuren:



Talsystemer

Gennem tiderne har forskellige talsystemer været anvendt. Det vi er blevet fortrolig med, er 10-talsystemet. Det består af ti forskellige symboler:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Når man skal skrive et tal, er det ikke ligegyldigt, hvordan de enkelte cifre placeres i forhold til hinanden. 1994 har ikke samme værdi som 9194, selv om det er de samme cifre, der er brugt.

Fx mener vi, med tallet 1994 følgende:

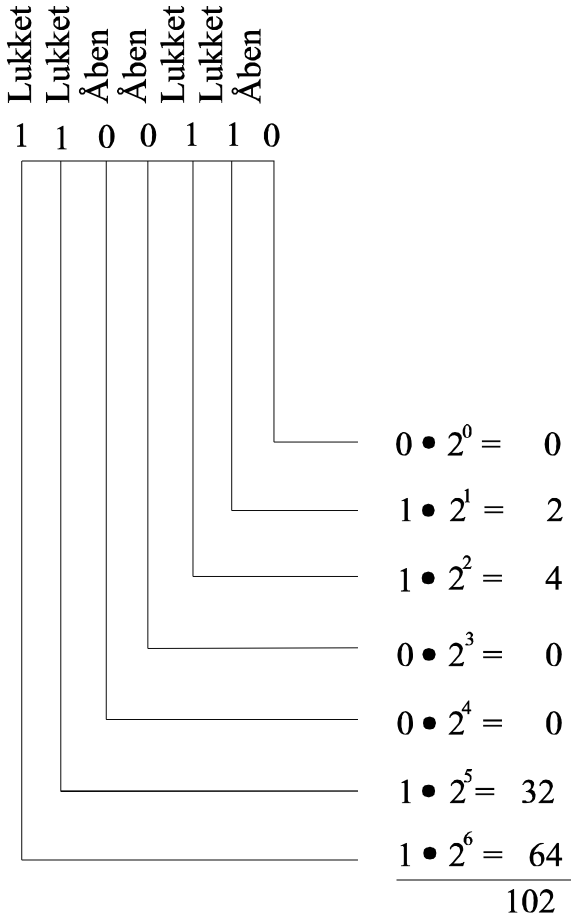
1 9 9 4

$$\begin{aligned} 4 \cdot 10^0 &= 4 \\ 9 \cdot 10^1 &= 90 \\ 9 \cdot 10^2 &= 900 \\ 1 \cdot 10^3 &= \underline{1000} \\ & 1994 \end{aligned}$$

Det er altså cifrets position samt potensen af 10, der er afgørende for cifres værdi i tallet. Talsystemet kaldes også et positioneringssystem, og i dette tilfælde med 10 som basis.

Indenfor elektroteknikken er der et talsystem, som er særdeles anvendt, nemlig det binære talsystem eller 2-talsystemet. Det består kun af 2 forskellige symboler, nemlig 1 og 0. Disse to kan angives ved fysiske tilstande ved hjælp af en afbryder, som henholdsvis er åben (0) og lukket (1). Netop dette system anvendes i forbindelse med PLC regnemaskine.

Fx tallet 1100110 kan skrives ved hjælp af kontakter:



Det binære talsystem har 2 som basis, og det er potensen af 2, der bestemmer værdien af cifrets position.

Eksemplet viste også en måde at oversætte et binært tal til et decimaltal, det omvendte kan også lade sig gøre.

Eksempel

Har vi fx tallet 10101, kan det oversættes til 10-talsystemet.

1 0 1 0 1

$$1 \cdot 2^0 = 1$$
$$0 \cdot 2^1 = 0$$
$$1 \cdot 2^2 = 4$$
$$0 \cdot 2^3 = 0$$
$$1 \cdot 2^4 = 16$$
$$\overline{21}$$

Hvis vi skal skrive decimaltallet 456 i binært system, kan det opstilles på denne måde:

456	:	2	=	228	rest	0
228	:	2	=	114	rest	0
114	:	2	=	57	rest	0
57	:	2	=	28	rest	1
28	:	2	=	14	rest	0
14	:	2	=	7	rest	0
7	:	2	=	3	rest	1
3	:	2	=	1	rest	1
1	:	2	=	0	rest	1

456 vil derfor som binært tal hedde 111001000.

At det er rigtigt, kan kontrolleres ved at gøre prøve:

$$1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 +$$
$$0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^o = 456$$

Af andre talsystemer skal her nævnes det oktale og hexadecimale med hhv. 8 og 16 som grundtal.

Tabel over: Decimale, binære, hexadecimale, octale, BCD

INTEGER	BINARY	HEXA-DECIMAL	OCTAL	BCD
0	0000	0000 = 0	0	0000
1	0001	0001 = 1	1	0001
2	0010	0010 = 2	2	0010
3	0011	0011 = 3	3	0011
4	0100	0100 = 4	4	0100
5	0101	0101 = 5	5	0101
6	0110	0110 = 6	6	0110
7	0111	0111 = 7	7	0111
8	1000	1000 = 8	10	1000
9	1001	1001 = 9	11	1001
10	1010	1010 = A	12	10000
11	1011	1011 = B	13	10001
12	1100	1100 = C	14	ect.
13	1101	1101 = D	15	
14	1110	1110 = E	16	
15	1111	1111 = F	17	

Addition

$$7 + 5 = 12$$

i matematikken benyttes ofte bogstaver i stedet for tal.

$$a + b = c$$

Ved at sige:

$$b + a = c \text{ eller } 5 + 7 = 12$$

kan vi se at tallenes (addendernes) orden er ligegyldig.

$$f.eks.\ a + b = b + a$$

Subtraktion

$$7 - 5 = 2 \textit{ eller } a - b = c$$

Her kan vi se, at det at "bytte" om på tallene ikke er ligegyldigt. Derfor skal vi kigge på fortegn (+) plus og (-) minus.

(+) plus
(-) minus

Hvis vi ser på det forrige eksempel.

$$7 - 5 = 2$$

og siger

$$5 - 7 = -2$$

kan vi se resultatet ikke er det samme. Hvis vi derimod lader fortegnet følge tallene altså:

$$-5 + 7 = 2$$

får vi det samme resultat. (+) plus og (-) minus kan altså opfattes på 2 måder, enten som (+) når vi adderer eller som (-) når vi subtraherer, eller som fortegn foran vores tal.

Multiplikation

$$4 \cdot 2 = 8$$

eller

$$a \cdot b = c$$

Hvis vi siger

$$2 \cdot 4 = 8$$

eller

$$b \cdot a = c$$

kan vi se, at tallenes (faktorernes) orden er ligegyldig. Et tal kan også skrives på produktformlen, fx: 18 kan skrives som

$$18 = 3 \cdot 2 \cdot 3$$

Division

$$6 : 3 = 2$$

eller

$$a : b = c$$

Hvis vi siger

$$3 : 6 = 0{,}5$$

eller

$$b : a = c$$

kan vi ligesom ved subtraktion se, at det at "bytte" om på tallene ikke er ligegyldigt.

Fortegn

Eksempler på regning med fortegn:

Addition

$$(-5) + (-3) = \underline{\underline{-8}}$$

$$(-3) + (-5) = \underline{\underline{-8}}$$

$$(-5) + 3 = \underline{\underline{-2}}$$

$$-5 + (-2) = \underline{\underline{-7}}$$

Subtraktion

$$(-5) - (-3) = \underline{\underline{-2}}$$

$$-5 - 3 = -(5+3) = \underline{\underline{-8}}$$

$$5 - (-3) = \underline{\underline{8}}$$

Multiplikation

$$(-5) \cdot (-3) = \underline{\underline{15}}$$

$$5 \cdot (-3) = \underline{\underline{-15}}$$

$$(-5) \cdot 3 = \underline{\underline{-15}}$$

$$(-5) \cdot (3) \cdot (2) = \underline{\underline{-30}}$$

Division

$$12 : 4 = \underline{\underline{3}}$$

$$(-12) : 4 = \underline{\underline{(-3)}}$$

$$(-12) : (-3) = \underline{\underline{4}}$$

$$12 : (-4) = \underline{\underline{(-3)}}$$

Parenteser

Skal flere af de fire regningsarter udføres mellem hinanden, men i en bestemt rækkefølge, anvendes parenteser til at angive den rækkefølge, hvori udregningerne skal udføres.

Eksempel

$$\frac{(a + b) \cdot c}{d - e}$$

Dette læses som a og b adderes, resultatet multipliceres med c; det undersøges derefter, hvor mange gange differencen mellem d og e går op i tallet over brøkstregen, hvilket viser nødvendigheden af symbolerne.

Eksempel

$$\frac{(6 + 3) \cdot 3}{5 - 2} = \frac{9 \cdot 3}{3} = \frac{27}{3} = \underline{\underline{9}}$$

Positive og negative tal
+ -

Tegnene + og - anvendes foran et tal, hvor man ønsker at angive, om et tal er positivt eller negativt.

Er der ikke angivet noget tegn foran et tal, er det underforstået, at det er positivt.

En parentes kan betragtes som et tal og derfor ligesom disse være positiv eller negativ.

Står der ikke noget fortegn foran en parentes, er det underforstået, at parentesen er positiv, og parentesen kan umiddelbart fjernes.

Er fortegnet derimod negativt, fjernes parentesen ved at ændre fortegn for alle leddene i parentesen.

Eksempel

$$-(a+b-c) \text{ bliver til } -a-b+c$$

Man ganger parenteser ud ved at gange hvert led i parentesen.

Eksempel

$$a \cdot (b+c) = \underline{\underline{ab+ac}}$$

$$5 \cdot (3+2) = 15 + 10 = \underline{\underline{25}}$$

Omvendt kan man sætte fælles faktor udenfor parentesen.

Eksempel

$$ab + ac + ad = \underline{\underline{a \cdot (b + c + d)}}$$

$$4 \cdot 5 + 4 \cdot 3 + 4 \cdot 2 = 4 \cdot (5 + 3 + 2) = \underline{\underline{40}}$$

Med til afsnittet om parenteser hører 3 vigtige regler.

1. Kvadratet på en sum.

$$(a + b)^2 = (a + b) \cdot (a + b) = \underline{\underline{a^2 + b^2 + 2ab}}$$

$$(5 + 2)^2 = (5 + 2) \cdot (5 + 2) = 25 + 4 + 20 = \underline{\underline{49}}$$

2. Kvadratet på en differens.

$$(a - b)^2 = (a - b) \cdot (a - b) = \underline{\underline{a^2 + b^2 - 2ab}}$$

$$(5 - 2)^2 = (5 - 2) \cdot (5 - 2) = 25 + 4 - 20 = \underline{\underline{9}}$$

3. To tals sum multipliceret med de samme tals differens.

$$(a + b) \cdot (a - b) = \underline{\underline{a^2 - b^2}}$$

$$(5 + 2) \cdot (5 - 2) = 25 - 4 = \underline{\underline{21}}$$

Brøker

$$\frac{a}{b}$$

Generelt kaldes en brøk, hvor a er tælleren og b er nævneren. Hvis tælleren er mindre end nævneren kaldes brøken en ægte brøk, hvis det omvendte er tilfældet kaldes brøken en uægte brøk.

Tælleren må indeholde alle reelle tal (R), for nævneren gælder det samme undtagen 0. Brøker med samme nævner kaldes ensbenævnte brøker.

Forkorte

$$\frac{44}{64} = \frac{44 : 4}{64 : 4} = \underline{\underline{\frac{11}{16}}}$$

Man forkorter en brøk ved at dividere med samme tal i både tæller og nævner.

Forlænge

Man forlænger en brøk ved at gange med samme tal i både tæller og nævner.

$$\frac{5}{7} = \frac{3 \cdot 5}{3 \cdot 7} = \frac{15}{21}$$

Fællesnævner

Brøker kan umiddelbart lægges sammen og trækkes fra hinanden, når de har samme nævner, hvis det ikke er tilfældet, skal der findes en fællesnævner.

Eksempel

$$\frac{5}{8} + \frac{2}{3} + \frac{6}{12}$$

fællesnævner er 24, den første brøk forlænges med 3, den næste med 8, og den sidste med 2, tællerne kan nu lægges sammen.

Eksempel

$$\frac{15}{24} + \frac{16}{24} + \frac{12}{24} = \frac{43}{24} = \underline{\underline{1\frac{19}{24}}}$$

resultatet kan også skrives som et blandet tal.

Brøk gange helt tal

Man ganger brøken med et helt tal ved at gange tælleren med tallet.

Eksempel

$$4 \cdot \frac{5}{7} = \underline{\underline{\frac{20}{7}}}$$

Brøk divideret med helt tal

Man dividerer en brøk med et helt tal ved at dividere tallet op i tælleren, hvis det kan lade sig gøre, ellers ganger man nævneren med tallet.

Eksempel

$$\frac{6}{7} : 2 = \underline{\underline{\frac{3}{7}}}$$

$$\frac{5}{7} : 2 = \underline{\underline{\frac{5}{14}}}$$

Brøk gange brøk

Man ganger to brøker med hinanden ved at gange tæller med tæller og nævner med nævner.

Eksempel

$$\frac{3}{4} \cdot \frac{4}{7} = \underline{\underline{\frac{12}{28}}}$$

Division med brøk

Man dividerer en brøk med en brøk ved at gange med den omvendte. I den omvendte brøk byttes om på tæller og nævner.

Eksempel

$$\frac{3}{5} : \frac{4}{9} = \frac{3 \cdot 9}{5 \cdot 4} = \frac{27}{20} = \underline{\underline{1\frac{7}{20}}}$$

hvis et helt tal skal divideres med en brøk.

$$22 : \frac{2}{3} = \frac{22}{1} : \frac{2}{3} = \frac{22 \cdot 3}{1 \cdot 2} = \underline{\underline{33}}$$

Inden for elektroteknikken finder vi mange eksempler på brøker, eksempelvis når vi skal beregne den samlede modstand i en parallelforbindelse.

Eksempel

$$\Sigma \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Løsning af ligninger

Når vi skal løse ligninger er det vigtigt at kende til nogle grundlæggende regler.

Eksempel 1

$$5x + 3 = 8$$

x "holder pladsen" for det tal vi skal finde

$$5x + 3 - 3 = 8 - 3$$

der trækkes 3 fra på begge sider af lighedstegnet.

$$5x = 5$$

$$\underline{\underline{x = 1}}$$

1 er altså resultatet. Vi kan gøre prøve ved at indsætte 1 på x`s plads

$$5 \cdot 1 + 3 = 8 \text{ det } \textit{stemmer}$$

Regel 1

Der må lægges det samme tal til på begge sider af lighedstegnet og der må trækkes det samme tal fra på begge sider af lighedstegnet.

Eksempel 2

$$\frac{5x}{3} = 9$$

Der ganges med 3 på begge sider af lighedstegnet.

$$\frac{5x \cdot 3}{3} = 9 \cdot 3$$

$$5x = 27$$

$$\underline{\underline{x = 5{,}4}}$$

Regel 2

Der må ganges og divideres med det samme tal på begge sider af lighedstegnet.

Proportion

En brøk på hver side af lighedstegnet i en ligning kaldes en proportion.

Eksempel

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$$

a, b, c og d kaldes henholdsvis 1, 2, 3 og 4 led, a og d er proportionens yderled, b og c er proportionens mellemled

$$vi\ ser\ \frac{a}{b} = \frac{c}{d} \langle = \rangle \frac{ad}{bd} = \frac{bc}{bd} \langle = \rangle ad = bc$$

I en proportion er yderleddenes produkt lig mellemleddenes produkt eller sagt på en anden måde, vi ganger over kors.

Eksempel

$$\frac{5}{x} = \frac{3}{6} \langle = \rangle 5 \cdot 6 = 3 \cdot x$$

$$\frac{5 \cdot 6}{3} = x$$

$$\underline{\underline{10 = x}}$$

Eksempler på løsning af ligninger

Når vi løser ligninger, isolerer vi som regel den ubekendte på den ene side af lighedstegnet, for derefter at indsætte de oplyste værdier på den anden side. I større formler (ligninger) vil den omvendte rækkefølge i nogle tilfælde være nemmere.

Eksempel 1

Bestem R, når U = 230 V og I = 10 A

$$U = R \cdot I$$

værdierne indsættes

$$230 = R \cdot 10$$

der divideres med 10 på begge sider af lighedstegnet.

$$\frac{230}{10} = R$$

$$\underline{\underline{23 = R}}$$

Eksempel 2

Bestem c, når ∠ B = 30° og a = 8 cm.

$$\cos B = \frac{a}{c}$$

der ganges med c på begge sider af lighedstegnet

$$c \cdot \cos B = a$$

der divideres med cos B på begge sider af lighedsteg-net

$$c = \frac{a}{\cos B} = \underline{\underline{\frac{8}{\cos 30°}}}$$

Eksempel 3

Bestem a, når ∠ A = 30º, ∠ B = 40º og siden b = 5 cm.

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \rangle \frac{a}{\sin 30°} = \frac{5}{\sin 40°}$$

der ganges over "kors"

$$a \cdot \sin 40° = 5 \cdot \sin 30°$$

der divideres med sin 40° på begge sider af ligheds-tegnet

$$a = \frac{5 \cdot \sin 30°}{\sin 40°} => a = \underline{\underline{3{,}89\ cm}}$$

Eksempel 4

I en parallelforbindelse gælder at

$$\Sigma I = I_1 + I_2 + I_3$$

I stedet for de enkelte delstrømme kan skrives

$$\Sigma \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Da U er den samme overalt i kredsen divideres hvert led med U, og vi får

$$\Sigma \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Bestem R, når R_1 = 6 Ω, R_2 = 4 Ω, R_3 = 3 Ω.
Der findes fællesnævner

$$\Sigma \frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{4} + \frac{1}{3}$$

$$\Sigma \frac{1}{R} = \frac{2}{12} + \frac{3}{12} + \frac{4}{12} = \frac{9}{12}$$

$$\underline{\underline{\Sigma R = \frac{4}{3}}}$$

Procentregning

Procent skrives % og betyder 1/100. Promille skrives ‰ og betyder en 1/1000.

Prisen på en bestemt vare er 150 kr. Ved salg skal der til prisen lægges 25 % moms.

$$\frac{150}{100} \cdot 25 = 150 \cdot \frac{25}{100} = 37{,}5$$

salgspris:

$$150 + 37{,}50 = \underline{\underline{187{,}50\ kr.}}$$

Dette tal kunne vi straks beregne ved at sige, at salgsprisen må udgøre 100 % + 25 % = 125 % af 150 kr. Dvs. 150 · 1,25 = 187,50 kr.

Generelt: Forøges et tal K med p %, kan den nye værdi findes ved:

$$K \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right)$$

formindskes et tal k med p %, kan den nye værdi findes ved.

$$K \cdot \left(1 - \frac{P}{100}\right)$$

$$\frac{P}{100} = r$$

kaldes vækstraten

$$1 + \frac{P}{100}$$

kaldes fremskrivningsfaktoren

Eksempler

En vare koster 200 kr. incl. moms. Hvor meget koster den uden 25 % moms?

$$N = \frac{K}{1 + \frac{P}{100}} = \frac{200}{1{,}25} = \underline{\underline{160\ kr.}}$$

En vare stiger fra 65 kr. til 80 kr. Hvor mange procent er den steget?

$$P = \left(\frac{N}{K} - 1\right) \cdot 100 = \left(\frac{80}{65} - 1\right) \cdot 100 = \underline{\underline{23\ \%}}$$

En anden vare er nedsat fra 80 kr. til 70 kr. Hvor mange procent svarer det til?

$$P = \left(1 - \frac{N}{K}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{70}{80}\right) \cdot 100 = \underline{\underline{12{,}5\ \%}}$$

Hvis der indsættes 1000 kr. på en bankbog og der tilskrives 5 % i rente pr. år, vil beløbet efter et år være vokset til

$$K \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right) = 1000 \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right) = \underline{\underline{1050\ kr.}}$$

Hvis pengene ikke hæves og renten er uændret vil beløbet året efter være vokset til

$$1000 \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right) = \underline{\underline{1102{,}50\ kr.}}$$

det kan også skives som

$$1000 \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right)^2$$

eller

$$Kn = K \cdot \left(1 + \frac{P}{100}\right)^n$$

hvor n er antal terminer. Terminer kan både være årlige, månedlige etc.

Eksempel

En elektriker tjener 100 kr. i timen og lønnen stiger med 2,5 % om året. Hvad vil timelønnen være om 10 år hvis lønstigningen er uændret?

$$Kn = 100 \left(1 + \frac{2{,}5}{100}\right)^{10} = 128\ kr.$$

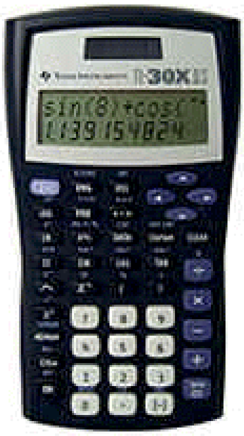
Vi kan også bruge formlen til at beregne renters rente.

Eksempel

En vare er købt på afbetaling, den månedlige rente er 2 %. Hvor meget beløber den årlige rente sig til?

$$Kn = 1 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right)^{12} = 1{,}268 \sim \underline{\underline{26{,}8\ \%}}$$

Lommeregneren



Afsnittet er en generel gennemgang af lommeregneren og dens funktioner, dog er der til de konkrete eksempler brugt en TEXAS TI-30X IIS.

Lommeregneren følger det almindelige operationshieraki ved beregning af sammensatte udtryk, som er vist herunder.

Prioritet	Funktioner
1	funktioner af en variabel. Eks. kvadrat, kvadratrod, trigonometri etc. udføres direkte og vises i displayet.
2	Potensopløftning (y^x) og roduddragning. ($\sqrt[x]{y}$)
3	Multiplikation og division
4	Addition og subtraktion
5	= afslutter alle ventende operationer

Eksempel på sammensat funktion

$$2 + 2\,(3+5)^2$$

løst uden lommeregner i følgende trin:

$$(3 + 5) = 8 \qquad 8^2 = 64$$

$$64 \cdot 2 = 128 \qquad 128 + 2 = \underline{\underline{130}}$$

med lommeregner tastes

	tast	display		tast	display
1	[2]	2	2	[+]	2.
3	[2]	2	4	[x]	2.
5	[( ]	0	6	[3]	3
7	[+]	3.	8	[5]	5
9	[ )]	8.	10	[x^2]	64.
11	[=]	130			

Selv om lommeregneren er i stand til at løse mange forskellige opgaver, er der dog visse ting du på forhånd skal have kendskab til.

Eksempel

$$\frac{30}{2 \cdot 6}$$

Et sådan sammensat udtryk kan lommeregneren umiddelbart ikke regne, hvis du ikke på forhånd fortæller den at nævneren først skal multipliceres.

Trigonometri

Lommeregneren er i stand til at regne med både grader, nygrader og radianer, det kan du vælge ved at trykke på DEG og der vil komme en visning i displayet.

Når der trykkes ON vil den starte op med DEG i displayet, svarende til 360 grader. Det skal den stå på, når vi bruger de trigonometriske funktioner.

Eksempel

sin 60° = 0,866

tast	display
[60]	60
[sin]	0.866

tan 45° = 1

tast	display
[45]	45
[tan]	1

cos (x) = 0,5 beregn x.

tast	display
[0,5]	0,5
[2nd]	0,5
[cos]	60

Vi bruger den inverse funktion til cos.

sin (x) = 0,4 beregn x

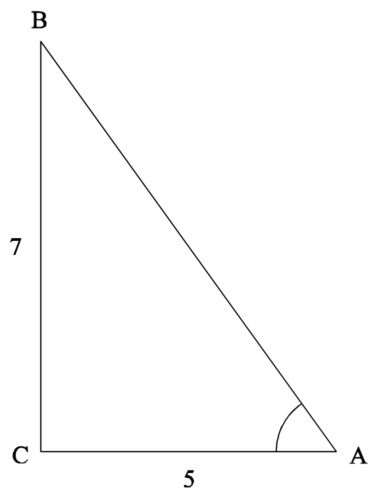
tast	display
[0,4]	0,4
[2nd]	0,4
[sin]	23,75

vi bruger den inverse funktion til sin.

Når vi på TI-30X bruger den inverse funktion trykkes på 2nd. På andre typer tastes INV.

Eksempel

Beregn vinkel A.



$$\tan\ (\angle)\ A = \frac{a}{b} = \frac{7}{5}$$

tast	display
[7]	[7]
[÷]	7.
[5]	5
[=]	1,4
[2nd]	1,4
[tan]	54,46

Lommeregneren indeholder også logaritmefunktion LOG og LN, det er to ens funktioner med forskelligt grundtal.

LOG har 10 som grundtal LN har e = 2,718281828 som grundtal.

Eksempel

12 = 3^X find x.

	tast		display		tast	display
1	[12]		12	2	[log]	1,07918
3	[÷]		1,0791812	4	[3]	3
5	[log]		0,4771212	6	[=]	2,2618595
	x	=	2,2618595			

Det vi fandt var altså den eksponent 3 skal have for at give 12.

Potens og rod

Hvis vi ønsker at kvadrere et tal, bruges x^2.

Eksempel

tast	display
[3]	3
[x^2]	9

Hvis vi ønsker at finde kvadratroden til et tal, bruges $\sqrt{x}$.

tast	display
[16]	16
[$\sqrt{x}$]	4

Hvis vi ønsker at opløfte et tal til en højere potens eks. 3. til 4. potens.

tast	display
[3]	3
[y^x]	•
[4]	4
[=]	81

Hvis vi ønsker at finde den 5. rod af et tal eks. 32.

tast	display
[32]	32
[2nd]	32
[$\sqrt[x]{y}$]	32
[5]	5
[=]	2

De ting, som her er gennemgået omkring lommeregneren, er meget generelle, så derfor læs brugsanvisningen godt igennem, her vil du finde en mere specifik gennemgang af de enkelte funktioner.

Geometri

Det er nødvendigt, at teknikeren har et godt kendskab til geometrien.

Inden for vekselstrømsteorien afbilder man vekselstrømskredsløb i en geometrisk fremstilling, hvorpå målinger direkte kan udføres.

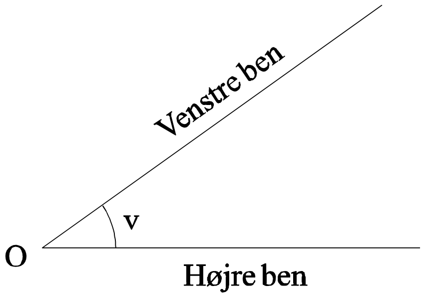
Plangeometri

Den geometriske fremstilling, som dette afsnit vil behandle, kaldes plangeometri, hvilket vil sige, at "billederne" er i et plan og kan laves på et stykke papir.

Det praktiske ved et billede

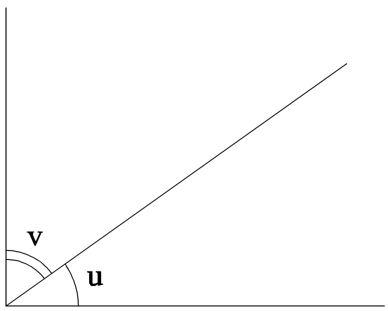
Fordelen ved, at et matematisk udtryk illustreres geometrisk, ligger i, at man hurtigt kan sammenligne og måle sig frem til andre løsninger for det matematiske udtryk. Som ved måling af spænding, hvor spændingen angives ud fra et punkt med spændingen nul, må man i geometrien også have et punkt at måle ud fra.

Vinkler

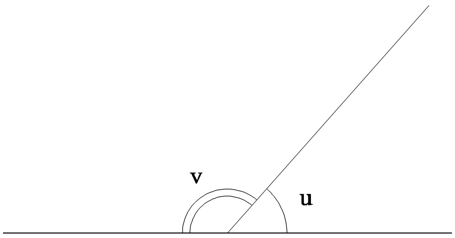


En vinkel v angives med dens toppunkt O samt venstre ben og højre ben. En vinkel måles som regel i grader.

En vinkel mindre end 90° kaldes en spids vinkel. En vinkel større end 90° og mindre end 180° kaldes en stump vinkel. En vinkel som er 90° kaldes en ret vinkel.

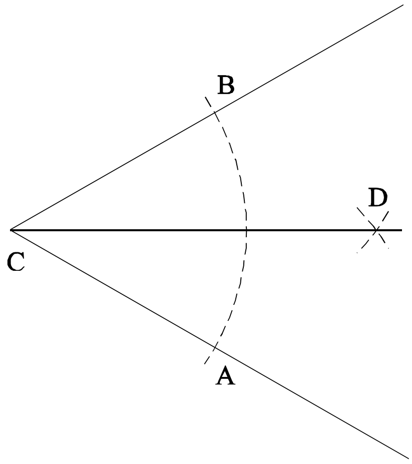


To vinkler som tilsammen er 90° kaldes komplementærvinkler, V + U = 90°



To vinkler som tilsammen er 180° kaldes supplementvinkler, V + U = 180°

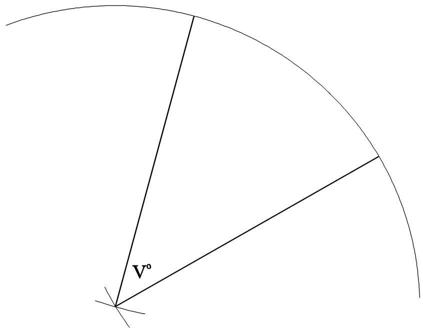
Halvering af en vinkel



En vilkårlig vinkel på v° med toppunktet i C halveres ved, at man med C som centrum og en vilkårlig radius, tegner den del af cirklen, som skærer vinklens to ben.

Med de derved fremkomne punkter A og B som centrum og igen en vilkårlig radius, der er større end den halve afstand fra A til B, tegnes to cirkelbuer, der skærer hinanden. Dette skæringspunkt D forbindes med vinklens toppunkt C. Den fremkomne linie er vinkel c's vinkelhalveringslinie.

Centervinkel

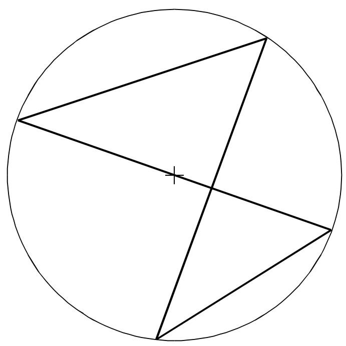


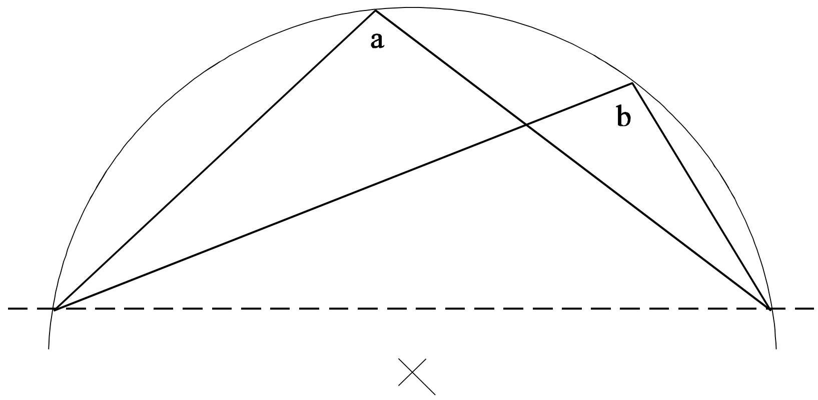
Da en vinkels toppunkt altid kan betragtes som centrum for en cirkel, kan vinklen måles ved den cirkelbue, den spænder over. Dette kaldes en centervinkel.

Periferivinkel

Vinklen kan også have toppunktet liggende på en cirkels periferi. Vinklen kaldes da for en periferivinkel og måles ved det halve af den cirkelbue, den spænder over.

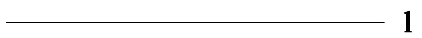
En cirkels diameter deler cirklen i to halvdele på 180º hver. Den periferivinkel, der spænder over cirklens diameter, må spænde over 180º. Periferivinklen må da være 90º.





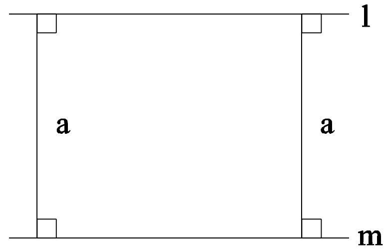
Linier

En linie benævnes med et lille bogstav eksempelvis l.



Parallelle linier

To linier er parallelle, dersom der overalt er samme afstand mellem l og m.

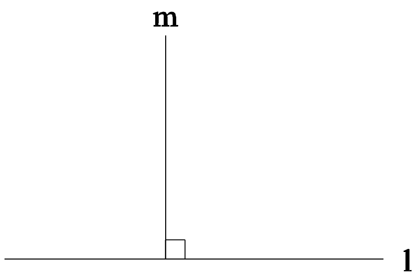


Liniestykker

Et liniestykke afgrænses af to endepunkter, A og B, og kan eksempelvis skrives som: |AB| eller AB.

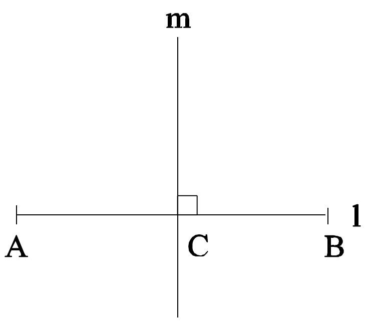
Normaler

Linien m siges at være normal til l dersom vinklen mellem dem er 90°.



Midtnormal

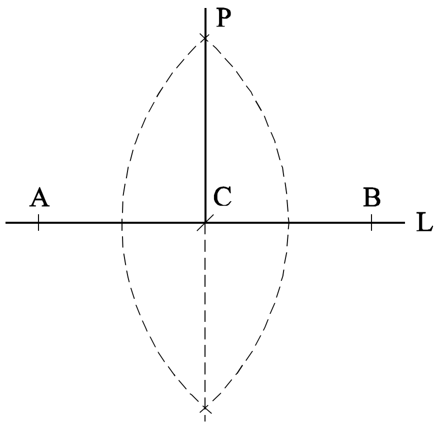
Givet liniestykket AB. AB halveres og vi får punktet C, gennem C tegnes linien m, og m vil da være midtnormal til AB.



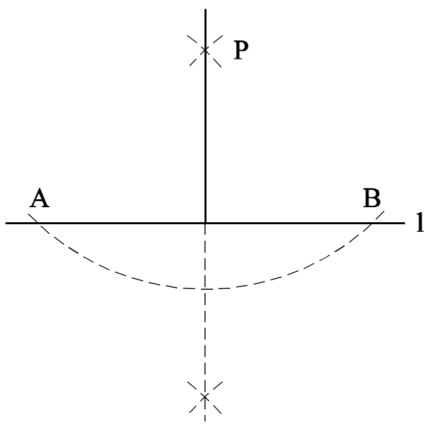
Oprejsning af en normal

Lad l være en given ret linie og C punktet for den normale. Med C som centrum og et vilkårligt stykke i passeren afsættes punkterne A og B på l.

Et punkt på den normale fremkommer nu som skæring mellem to cirkler, som har centrum i A og B, og en radius, der er større end afstanden AC. Linien gennem skæringspunktet P og C står vinkelret på l.



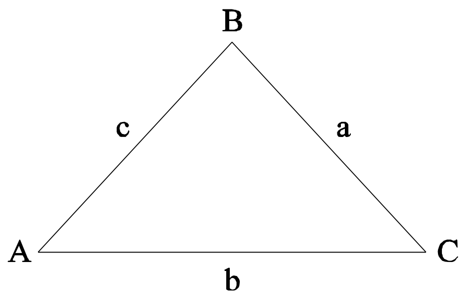
Nedfældning af en normal



Fra et givet punkt P skal der nedfældes en normal på en given linie l. Med P som centrum og en radius, der er større end afstanden mellem P og l, tegnes en cirkel, denne skærer l i punkterne A og B.

Med A og B som centrum og en radius, der er større end halvdelen af afstanden fra A til B, tegnes to cirkler. Forbindelseslinien mellem disse cirklers skæringspunkt og punktet P er en linie, der står normalt på l.

Trekanter



Vinkelspidserne i en trekant benævnes med store bogstaver A, B og C. Siderne overfor vinklerne benævnes med tilsvarende små bogstaver a,b og c.

Vinkelsummen i en trekant er 180º.

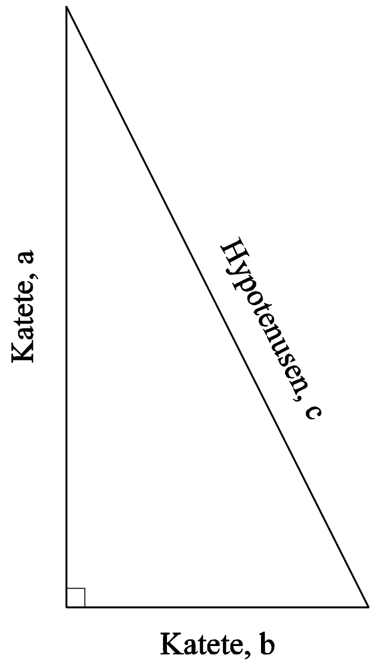
Formeltegn

Ved trekanter og andre geometriske beregninger anvendes tegnet ∠ A, der læses "vinkel A" og tegnet Δ ABC, som læses "trekant ABC".

Retvinklet trekant

En retvinklet trekant er en trekant, hvor den ene vinkel er 90º.

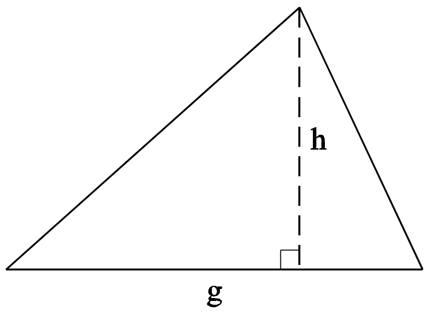
Den side i en retvinklet trekant, der ligger over for den rette vinkel, kaldes hypotenusen. De andre sider kaldes kateter.



Spidsvinklet trekant

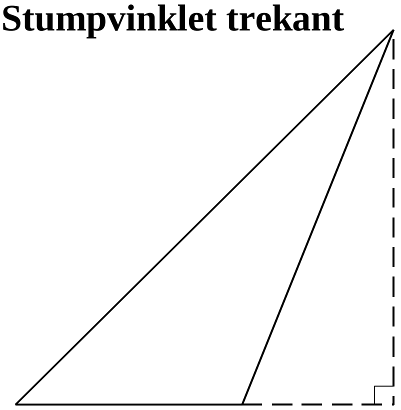
I en spidsvinklet trekant er alle vinkler mindre end 90º.

Ved en trekants højde (h) forstås en linie fra en vinkelspids, vinkelret på den modstående side, grundlinien (g).

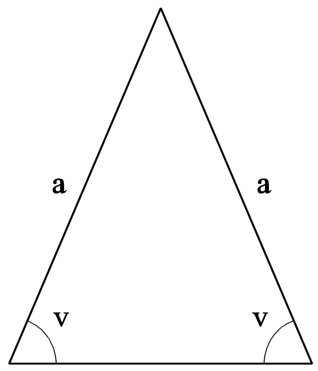


Stumpvinklet trekant

Ved en stumpvinklet trekant menes en trekant, hvor den ene vinkel er større end 90º.



Ligebenet trekant



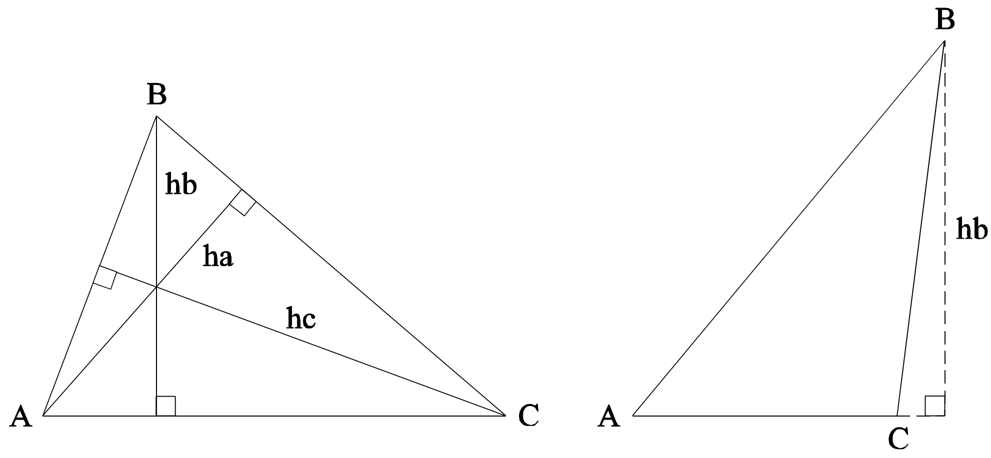
I en ligebenet trekant er to af siderne lige store.

Kendes en vinkel i en ligebenet trekant, er alle vinklerne kendte, da vinklerne ved grundlinien er lige store. Er alle tre sider i trekanten lige store, kaldes trekanten ligesidet, og hver af vinklerne er:

$$\frac{180}{3} = 60°$$

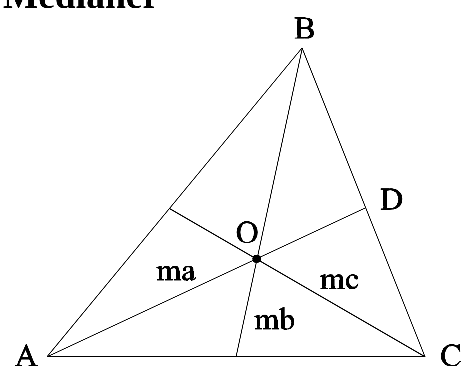
Højder

Ved en højde forstås en linie begyndende fra en vinkelspids og sluttet vinkelret på modstående side eller dennes forlængelse.



Højden kan som vist også ligge udenfor trekanten.

Medianer



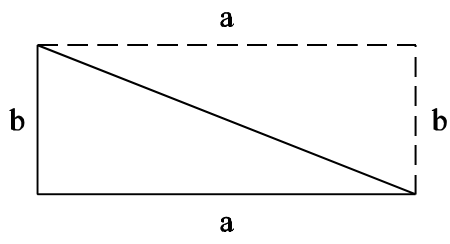
Ved en median forstås en linie gående fra en vinkelspids til midten af modstående side.

Medianerne skærer hinanden i samme punkt O • O som er trekantens tyngdepunkt. Medianerne deler hinanden i følgende forhold.

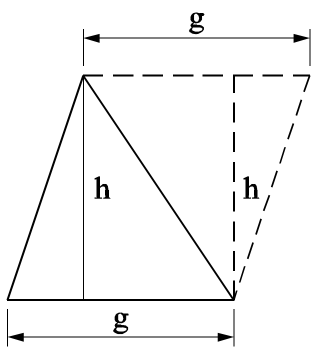
Eksempel

$$\frac{OD}{OA} = 1 : 2 \; og \; \frac{OD}{AD} = 1 : 3$$

Trekantens areal



En hvilken som helst trekant kan betragtes som et halvt parallelogram. Ved et parallelogram forstås en firkant, hvor de modstående sider to og to er parallelle. Rektanglet og kvadratet er således et parallelogram.

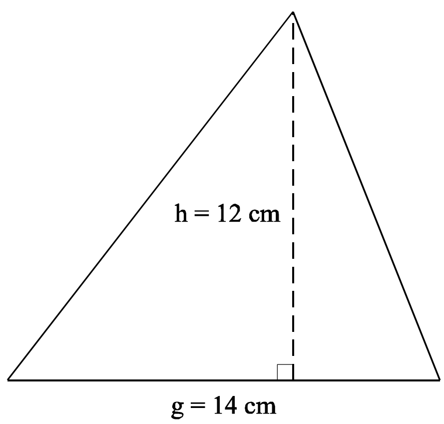


Hvis vi tænker os, at rektanglet eller kvadratet bliver "trykket" i to diagonalt beliggende hjørner, fremkommer alle former for parallelogrammer.

Disse figurers areal er højden multipliceret med grundlinien. Heraf fremgår, at en trekants areal må være det halve af parallelogrammets, nemlig en halv højde gange grundlinien.

$$A = \frac{1}{2} h \cdot g$$

Eksempel 1



I en trekant er grundlinien 14 cm og højden 12 cm. Hvor stort er arealet?

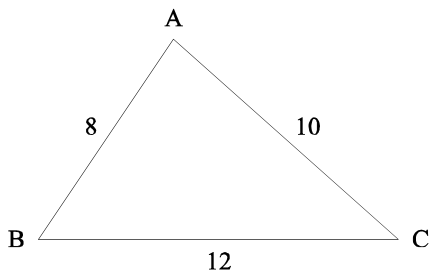
Formlen for en trekants areal:

$$A = \frac{1}{2} h \cdot g$$

$$A = \frac{1}{2} 12 \cdot 14$$

$$A = 6 \cdot 14$$

$$A = \underline{\underline{84 \; cm^2}}$$



Hvis man har sidelængderne oplyst kan trekantens areal findes v.h.a. HERONS FORMEL

$$A = \sqrt{s\ (s-a)\ (s-b)\ (s-c)}$$

hvor s er lig med

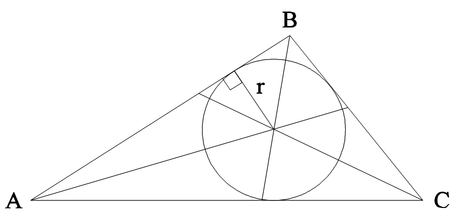
$$s = \frac{a + b + c}{2}$$

$$s = \frac{8 + 10 + 12}{2} = 15$$

$$A = \sqrt{15\ (15-12)\ (15-10)\ (15-8)}$$

$$A = \underline{\underline{39{,}7}}$$

Trekantens indskrevne cirkel



Vinkelhalveringsliniernes skæringspunkt er centrum for trekantens indskrevne cirkel.

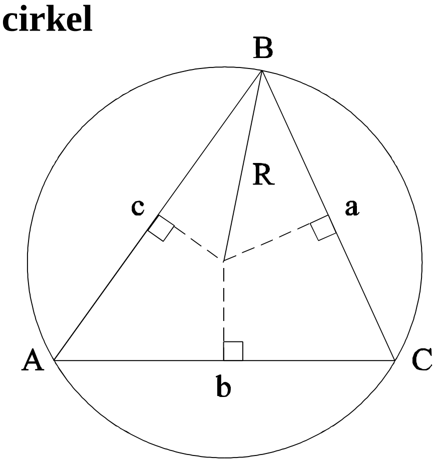
Radius benævnes r

$$s = \frac{a + b + c}{2}$$

Endvidere gælder for trekantens areal:

$$A = r \cdot s$$

Trekantens omskrevne cirkel



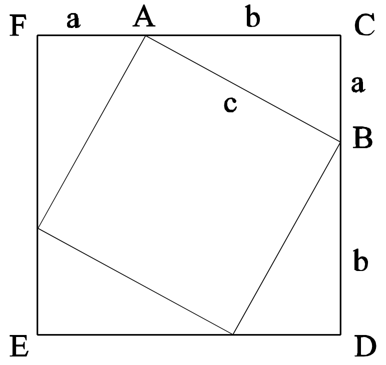
Midtnormalernes skæringspunkt er centrum for trekantens omskrevne cirkel.

Radius benævnes R.

Endvidere gælder for trekantens areal:

$$A = \frac{a \cdot b \cdot c}{4 \cdot R}$$

Pythagoras læresætning



For den retvinklede trekant gælder at kvadratet på hypotenusen er lig med summen af kvadratet af de to kateter.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Kan eftervises som følger:

Den retvinklede trekant ABC indgår som vist i firkant CDEF.

Arealet af firkant CDEF er:

$$(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$$

arealet kan også skives som summen af arealet af de 4 små trekanter og arealet af det lille kvadrat.

$$4\ (½ \cdot a \cdot b) + c^2$$

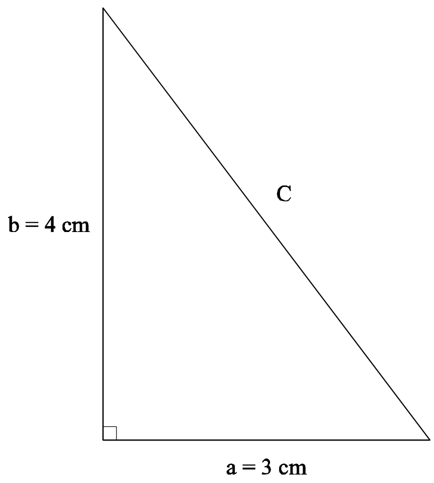
de to formler sættes lig hinanden.

$$a^2 + b^2 + 2ab = 4\ (½ \cdot a \cdot b) + c^2$$

$$a^2 + b^2 + 2\ ab = 2ab + c^2$$

$$a^2 + b^2 = \underline{\underline{c^2}}$$

Eksempel



I en retvinklet trekant er kateterne henholdsvis 3 og 4 cm. Find hypotenusen.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

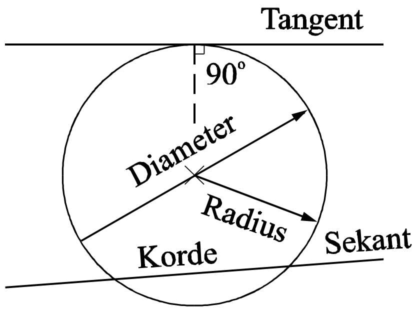
$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

$$c = \sqrt{25}$$

$$c = \underline{\underline{5}}$$

Cirkel



En cirkel er et uendeligt antal punkter, for hvilket gælder, at hvert enkelt punkts afstand til et givet punkt er den samme. Det givne punkt er cirklens centrum.

Afstanden fra centrum og ud til et vilkårligt af det uendelige antal punkter kaldes cirklens radius (r). Den krumme linie, det uendelige antal punkter danner, kaldes for cirklens periferi.

Cirkelperiferien

Cirklens periferi deles op i 360 lige store dele, der kaldes grader (°).

En grad er således

$$\frac{1}{360} \textit{ af periferien.}$$

Korde

En linie, der går fra et punkt på en cirkel til et andet, kaldes en korde. Er to korder lige store, er de tilsvarende cirkelbuer lige store. Ligeledes er arealerne af de afsnit af cirkelfladen, der begrænses af korderne og buerne, lige store.

Diameter

Den korde, der går igennem cirklens centrum, kaldes for cirklens diameter (D). Diameterens længde er den dobbelte af radius.

Sekant

Forlænges en korde ud over cirkelperiferien, kaldes den en sekant.

Tangent

En linie, der rører periferien udvendigt i et punkt, kaldes en tangent. Vinklen mellem tangent og radius er en periferivinkel, der spænder over 180°, og således må være 90°. En tangent står altså vinkelret på radius i røringspunktet.

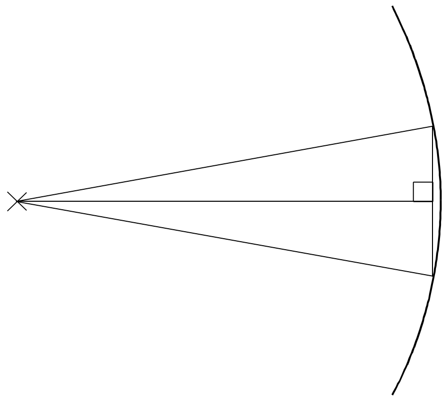
Cirklens omkreds (O)

Dersom vi lægger en snor rundt om en cylindrisk figur, klipper snoren over og retter den ud, kan vi på den måde måle en cirkels omkreds. Foretages dette med cylindriske figurer af andre størrelser, og disse forskellige mål for omkredsen divideres med de tilsvarende diametre, får vi altid det samme tal, nemlig tallet π, der som decimaltal tilnærmet skrives som 3,14. Tallet π er altså cirklens omkreds, målt fx i centimeter, divideret med cirklens diameter i centimeter. Af dette kan vi nu få en formel for en cirkels omkreds:

$$O = \pi \cdot d$$

$$O = \pi \cdot 2r$$

Cirklens areal (A)



Betragter vi nu en centervinkel med et gradtal mindre end 1° og den til centervinklen tilsvarende korde, må højden i den fremkomne ligebenede trekant være næsten lig med cirklens radius. Ligeledes må korden og den tilsvarende cirkelbue være omtrent lige store.

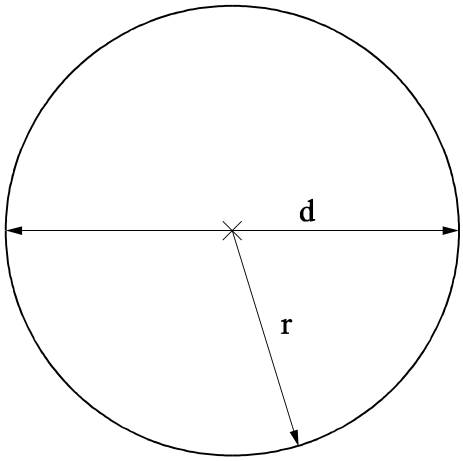
Arealet af en trekant er lig 1/2 h • g, hvilket her må svare til 1/2 radius • korde, som igen svarer til 1/2 radius • bue. Tænker vi os nu hele cirkelskiven delt op i sådanne små, ligebenede trekanter, må summen af buerne være lig med cirklens omkreds 2 π r, og dette medfører nu, at summen af trekanternes areal må være lig med 1/2 radius • summen af buerne, som igen er lig ½ r • 2 π • r. Det reducerede resultat $\pi \bullet r^2$ må da være formlen for cirklens areal.

$$A = \pi \cdot r^2$$

Kan omskrives til

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

Eksempel



Den viste cirkels diameter er 2,8 mm. Hvor stor er omkredsen? Hvor stort er arealet?

Først findes omkredsen ved brug af formlen

$$O = \pi \cdot d$$

$$O = 3{,}14 \cdot 2{,}8$$

$$O = \underline{\underline{8{,}792\ mm}}$$

Derefter findes arealet ved brug af formlen

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = 3{,}14 \cdot 1{,}4^2$$

$$A = 3{,}14 \cdot 1{,}96$$

$$A = \underline{\underline{6{,}1544\ mm^2}}$$

Eksempel

Find diameter og omkreds for en ledning med et tvær-snit på 16 mm^2. Der regnes med 3 decimaler.

Ved at benytte formlen for en cirkels areal findes først cirklens radius.

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$r^2 = \frac{A}{\pi}$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{16}{3{,}14}}$$

$$r = \underline{\underline{2{,}257\ mm}}$$

Diameteren er 2 • radius

$$D = 2r$$

$$D = 2 \cdot 2{,}257$$

$$D = \underline{\underline{4{,}514 \ mm}}$$

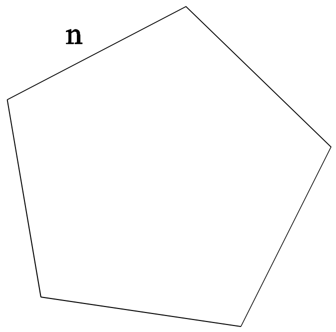
Ved at benytte formlen for en cirkels omkreds findes denne.

$$O = \pi \cdot d$$

$$O = 3{,}14 \cdot 4{,}514$$

$$O = \underline{\underline{14{,}174 \ mm}}$$

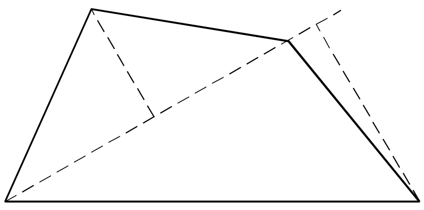
Polygoner



I en vilkårlig polygon med n antal sider (n = lig antal sider) kan vinkelsummen udtrykkes som

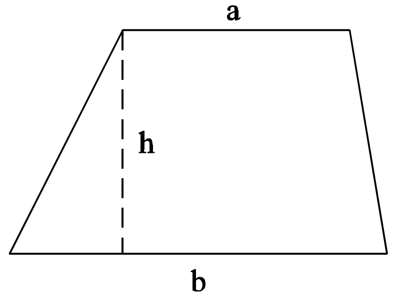
$$(n-2) \cdot 180$$

Eksempler på firkanter



Man kan udregne arealet ved at dele firkanten med en diagonal i to trekanter, hvis arealer beregnes som ½ • g • h.

Trapez

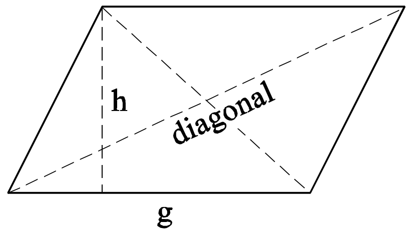


Et trapez er en firkant med to parallelle sider.

Arealet er

$$\text{Arealet er } A = \frac{a+b}{2} \cdot h$$

Parallelogram

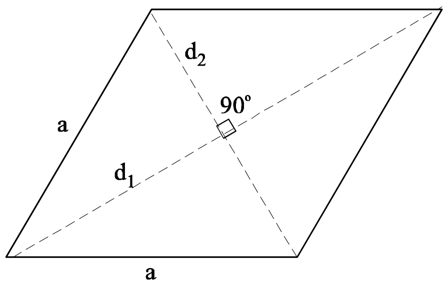


Et parallelogram er en firkant, hvis sider er parvis parallelle. Diagonalerne halverer hinanden.

Arealet er

$$A = g \cdot h$$

Rombe



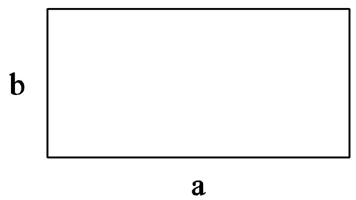
En rombe er et parallelogram med fire lige store sider. Diagonalerne står vinkelret på hinanden.

Arealet kan udregnes som grundlinie gange højde eller som det halve produkt af diagonalerne.

Arealet er

$$A = 1/2 \cdot d_1 \cdot d_2$$

Rektangel

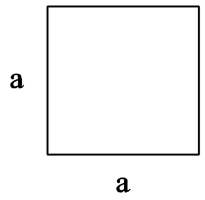


Et rektangel er et parallelogram med fire rette vinkler.

Arealet er

$$A = a \cdot b$$

Kvadrat

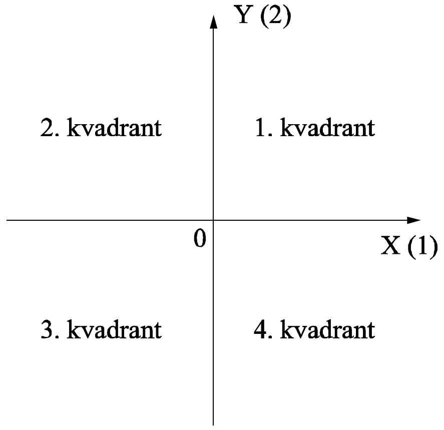


Et kvadrat er et rektangel med fire lige store sider.

Arealet er

$$A = a^2$$

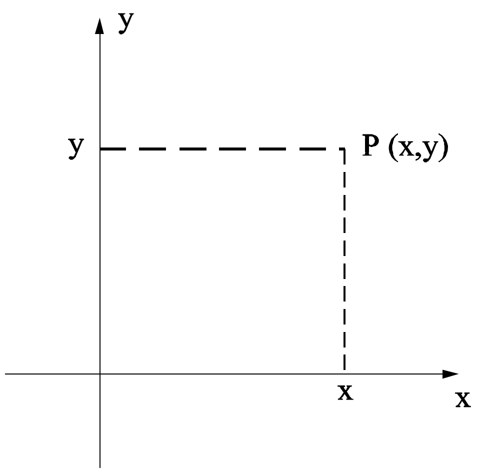
Koordinatsystemet



Koordinatsystemet består af to tallinier som står vinkelret på hinanden.

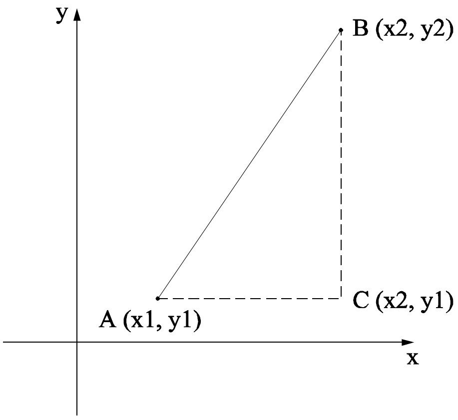
Akserne skærer normalt hinanden i deres nulpunkter, den vandrette akse kaldes x-aksen eller 1.aksen, den lodrette akse kaldes y-aksen eller 2.aksen.

De to akser deler planet op i fire områder.



Et hvert punkt i koordinatsystemet svarer således til et talpar.

Afstandsformlen



Kendes to punkter A(x_2, y_1) og B(x_2, y_2) og vi ønsker at beregne afstanden mellem dem, gøres dette ved at tilføje punktet C(x_2, y_1).

Vi har nu fået dannet en retvinklet trekant og pythagoras læresætning kan nu benyttes.

$$|AB|^2 = |AC|^2 + |BC|^2$$

Denne formel kaldes afstandsformlen.

$$|AB|^2 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Eksempel

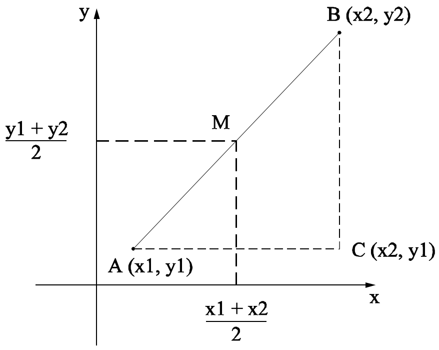
Beregn afstanden mellem punkterne A(5;-2) og B(1;6)

$$|AB| = \sqrt{(1 - 5)^2 + (6-(-2))^2} =$$

$$\sqrt{(-4)^2 + (8)^2} = \underline{\underline{8{,}94}}$$

Husk at indsætte med fortegn da negative tal opløftet til 2. potens giver et positivt resultat.

Midtpunktsformlen



Som ved afstandsformlen tilføjes punktet C, og vi har igen dannet en retvinklet trekant.

Midtpunktet af AC er det samme som M's førstekoordinat og kan udtrykkes som:

$$\frac{x_1 + x_2}{2}$$

Midtpunktet af BC er det samme som M's anden koordinat og kan udtrykkes som:

$$\frac{y_1 + y_2}{2}$$

Ved at sætte disse to udtryk sammen dannes midtpunktsformlen

$$M\ (x,\ y) = \left(\frac{x_1 + x_2}{2}\ ,\ \frac{y_1 + y_2}{2} \right)$$

Eksempel

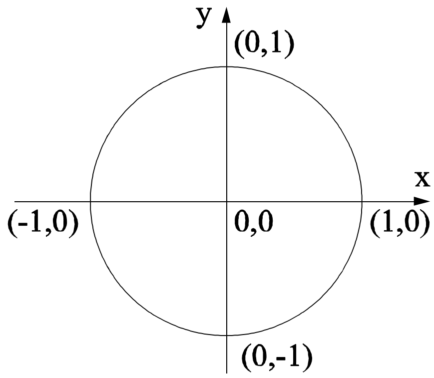
Beregn midtpunktet af AB, når punkt A har koordinatsættet (2;1) og B (8;5)

$$M\ (x,\ y) = \left(\frac{2 + 8}{2}\ ,\ \frac{1 + 5}{2} \right) = \underline{\underline{(4{,}3)}}$$

Trigonometri

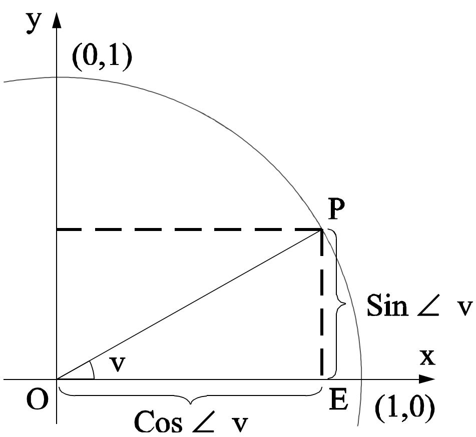
Trigonometri betyder trekantsmåling. For elektrikeren er det af stor betydning at have et godt kendskab til trigonometri, da det er "værktøjet" til løsning af mange teoretiske opgaver inden for elektroteknikken.

Enhedscirkel



I et koordinatsystem indtegnes en cirkel med radius 1 og (0;0) som centrum.

Cosinus og sinus



Med x-aksen som højre ben afsættes en vilkårlig vinkel v. I skæringspunktet mellem vinklens venstre ben og cirkelbuen afsættes punktet P.

Fra punktet P nedfældes den vinkelrette på x-aksen og vi får punktet E.

Længden af OE, mellem 0 og 1,vil være det samme som cosinus til vinkel v. Længden af PE, mellem 0 og 1, vil være det samme som sinus til vinkel v.

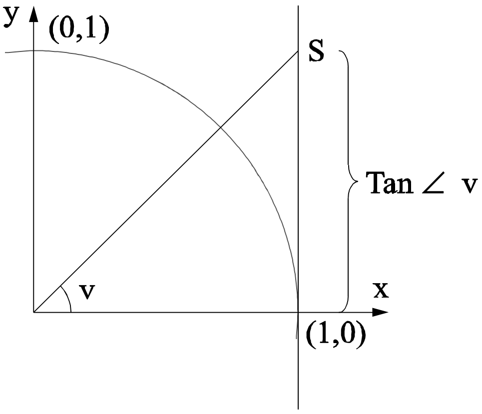
Eksempel

$v = 30^o$

$\cos 30^o = 0.87$ aflæst på x-aksen

$\sin 30^o = 0,5$ aflæst på y-aksen

Tangens



I punktet (1,0) konstrueres en tangens til enhedscirklen, og der hvor vinkel v's venstre ben skærer tangenten har vi punktet S.

Længden af liniestykket S til x-aksen er det samme som tangens til vinkel v.

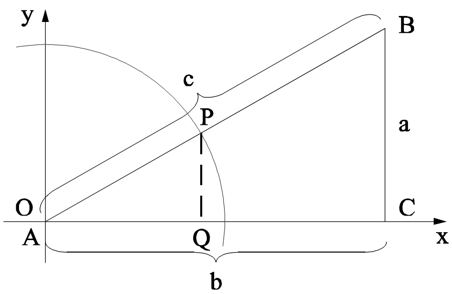
Eksempel

$v = 30^o$

tan $30^o = 0{,}58$ aflæst på y-aksen.

Tangens til en vinkel mellem 0 og 45 grader vil antage værdier mellem 0 og 1, større end 45 grader og mindre end 90 grader vil antage værdier fra 1 til uendeligt.

Trekantsberegning



Vi vil nu prøve at se på trigonometrien anvendt på en retvinklet trekant.

En vilkårlig retvinklet trekant ABC lægges ind i et koordinatsystem, med en enhedscirkel, således at A falder sammen med O (0,0) og siden AC falder sammen med x-aksen, siden BC vil da være parallel med y-aksen. Der hvor siden AB skærer enhedscirklen har punktet P. Fra P nedfældes den vinkelrette på x-aksen hvorved punktet Q fremkommer. Vi ser at der fremkommer to ensvinklede tre-kanter nemlig Δ ABC og Δ APQ. For ensvinklede trekanter gælder at sidernes indbyrdes forhold er det samme, derfor kan vi skrive:

$$\frac{AP}{AB} = \frac{AQ}{AC} = \frac{PQ}{BC}$$

Med vinkel A som udgangspunkt kan vi derfor skrive:

$|PQ| = \sin(\angle A)$, $|AQ| = \cos(\angle A)$, $AP = 1$

Hermed får vi

$$\frac{\cos A}{b} = \frac{\sin A}{a} = \frac{1}{c}$$

Heraf kan udledes

$$\frac{\cos A}{b} = \frac{1}{c} \Leftrightarrow \cos A = \frac{b}{c}$$

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{1}{c} \Leftrightarrow \sin A = \frac{a}{c}$$

$$\tan A = \frac{\sin A}{\cos A} \Leftrightarrow \tan A = \frac{a}{b}$$

Endvidere gælder, med udgangspunkt i Phytagoras læresætning at:

$$1^2 = \cos^2 A + \sin^2 A$$

Sluttelig kan vi sammenfatte, for den retvinklede trekant:

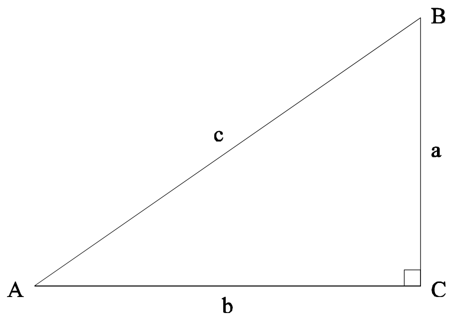
$$\sin(\angle A) = \frac{a}{c} = \frac{modstående\ katete}{hypotenusen}$$

$$\cos(\angle A) = \frac{b}{c} = \frac{hosliggende\ katete}{hypotenusen}$$

$$\tan(\angle A) = \frac{a}{b} = \frac{modstående\ katete}{hosliggende\ katete}$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Eksempel 1



∠ A 35 º

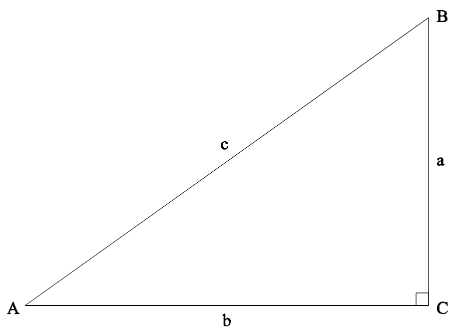
a = 5 cm

Beregn de resterende sider

$$\tan(\angle A) = \frac{a}{b} \Leftrightarrow b = \frac{a}{\tan\ (\angle A)} = \frac{5}{\tan\ 35°} = \underline{\underline{7{,}14\ cm}}$$

$$\sin(\angle A) = \frac{a}{c} \Leftrightarrow C = \frac{a}{\sin\ (\angle A)} = \frac{5}{\sin\ 35°} = \underline{\underline{8{,}72\ cm}}$$

Eksempel 2



a = 7 cm

c = 12 cm

Beregn de resterende vinkler og sider

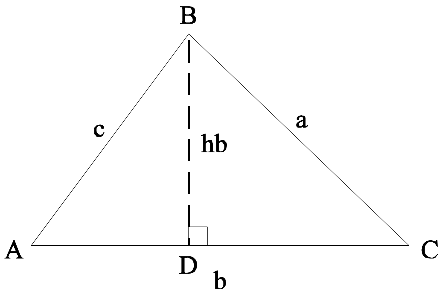
$$\cos\ (\angle B) = \frac{a}{c} = \frac{7}{12}$$

$$(\angle B) = \underline{\underline{54{,}3°}}$$

$$(\angle A) = 180° - 90° - 54{,}3° = 35{,}7°$$

$$\tan\ (\angle B) = \frac{b}{a} \Leftrightarrow b = \tan\ 54{,}3° \cdot 7 = \underline{\underline{9{,}7\ cm}}$$

Vilkårlige trekanter



Vi har hidtil set på retvinklede trekanter, nu vil vi udvide med nogle formler, så vi også kan regne på vilkårlige trekanter.

I en vilkårlig Δ ABC nedfældes højden fra B og vi får to retvinklede trekanter Δ ADB og Δ CDB.

For Δ ABD gælder at:

$$\sin\ (\angle A) = \frac{h_b}{c}$$

og for Δ CBD gælder at:

$$\sin\ (\angle C) = \frac{h_b}{a}$$

Vi omskriver de to formler:

$$h_b = \sin(\angle A) \cdot c \quad og \quad h_b = \sin(\angle C) \cdot a$$

Da de to højre sider er ens må de to venstre sider også være det, altså:

$$\sin(\angle A) \cdot c = \sin(\angle C) \cdot a$$

Ved at huske hvad der gælder for proportioner kan vi omskrive til:

$$\frac{a}{\sin(\angle A)} = \frac{c}{\sin(\angle C)}$$

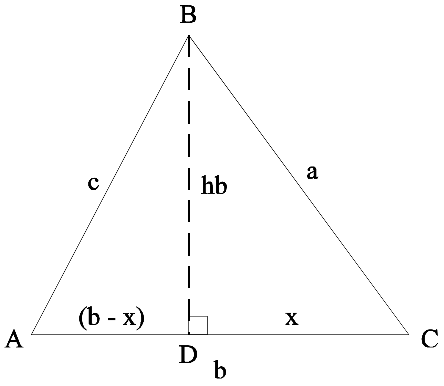
Denne formel kan ved bogstavsombytning udvides til:

$$\frac{a}{\sin(\angle A)} = \frac{b}{\sin(\angle B)} = \frac{c}{\sin(\angle C)}$$

Formlen kaldes for sinusrelationen.

Sinusrelationen kan bruges, når vi kender en vinkel og dens modstående side, plus en ekstra side eller vinkel.

Cosinusrelationen



For at kunne regne på alle vilkårlige trekanter må vi have en mulighed mere, nemlig cosinusrelationen.

I en vilkårlig trekant ABC nedfældes højden fra B og vi får to retvinklede trekanter Δ ADB og Δ CDB.

Endvidere inddeles siden b som vist på fig.

1. for Δ ADB gælder:

$$c^2 = (b - x)^2 + h_b^2 \;\langle=\rangle$$

$$c^2 = b^2 + x^2 - 2bx + h_b^2$$

2. for Δ BCD gælder:

$$a^2 = x^2 + h_b^2 \;\langle=\rangle\; h_b^2 = a^2 - x^2$$

ligning 2 indsættes i 1. på h_b's plads

$$c^2 = b^2 + x^2 - 2bx + a^2 - x^2$$

vi ordner formlen og får:

$$c^2 = b^2 + a^2 - 2bx$$

For Δ CDB gælder,

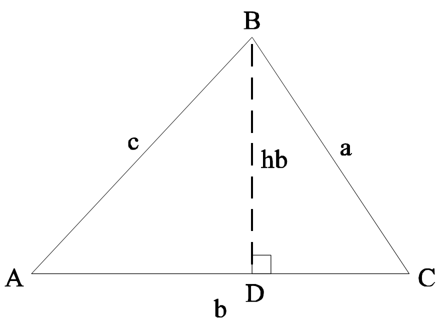
$$\cos.\ (\angle C) = \frac{x}{a} \Leftrightarrow x = a \cdot \cos\ (\angle C)$$

som indsættes på x plads og vi får:

$$c^2 = b^2 + a^2 - 2 \cdot b \cdot a \cos\ C$$

Ved bogstavombytning gælder formlen også for de andre sider i trekanten.

Areal beregning



I en vilkårlig trekant Δ ABC nedfældes højden fra B.

For Δ ADB gælder:

$$\sin\ (\angle A) = \frac{h_b}{c} \Leftrightarrow h_b = c \cdot \sin\ A$$

Indsat i formlen:

$$A = ½ \cdot g \cdot h$$

får vi:

$$A = ½ \cdot b \cdot c \cdot \sin\ A$$

Ved bogstavombytning gælder formlen for alle sider i trekanten.

Vi kan herefter sammenfatte for vilkårlige trekanter:

Sinusrelationen

$$\frac{a}{\sin\ (\angle A)} = \frac{b}{\sin\ (\angle B)} = \frac{c}{\sin\ (\angle C)}$$

Cosinusrelationen

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos\ (\angle)\ A$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos\ (\angle)\ B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\ (\angle)\ C$$

For arealer gælder

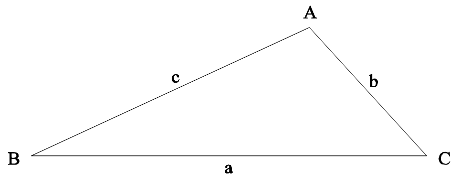
$$A = ½ \cdot a \cdot b \cdot \sin(\angle C)$$

$$A = ½ \cdot b \cdot c \cdot \sin(\angle A)$$

$$A = ½ \cdot a \cdot c \cdot \sin(\angle B)$$

$$A = ½ \cdot højde \cdot grundlinie$$

Eksempel



a = 9 cm
b = 4 cm
c = 7 cm
Beregn vinklernes størrelse i Δ ABC

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos(\angle A) \Leftrightarrow$$

$$\cos(\angle A) = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c}$$

$$\cos(\angle A) = \frac{4^2 + 7^2 - 9^2}{2 \cdot 4 \cdot 7}$$

$$(\angle A) = \underline{\underline{106{,}6°}}$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2 \cdot a \cdot c \cdot \cos(\angle B) \Leftrightarrow$$

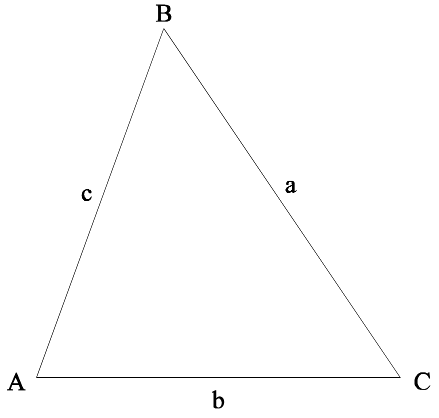
$$\cos(\angle A) = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c}$$

$$\cos(\angle B) = \frac{9^2 + 7^2 - 4^2}{2 \cdot 9 \cdot 7}$$

$$(\angle B) = \underline{\underline{25{,}2°}}$$

$$\angle C = 180° - 106{,}6° - 25{,}2° = \underline{\underline{48{,}2°}}$$

Eksempel 1



$\angle$ A = 70°

b = 6 cm

a = 7 cm

Beregn de resterende vinkler og sider i Δ ABC

$$\frac{a}{\sin(\angle A)} = \frac{b}{\sin(\angle B)} \Leftrightarrow \sin(\angle B) = \frac{b \cdot \sin \angle A}{a} =$$

$$\sin(\angle B) = \frac{6 \cdot \sin 70°}{7}$$

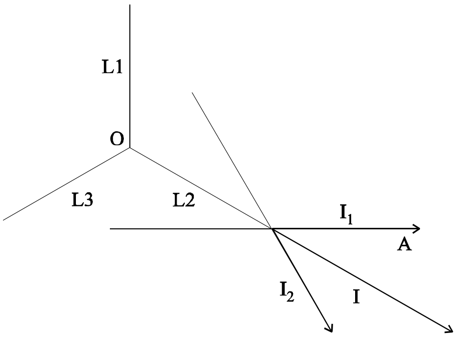
$$\angle B = \underline{\underline{53{,}7°}}$$

$$\angle C = 180° - 70° - 53{,}7° = \underline{\underline{56{,}3°}}$$

$$\frac{c}{\sin(\angle C)} = \frac{a}{\sin(\angle A)} \Leftrightarrow c = \frac{\sin(\angle C) \cdot a}{\sin(\angle A)} =$$

$$c = \frac{\sin 56{,}3° \cdot 7}{\sin 70°} = \underline{\underline{6{,}2\ cm}}$$

Eksempel 2



Strømme i et trefaset vekselstrømsnet kan illustreres v.h.a. vektorer.

To strømme I_1 og I_2 som vist på figuren.

I_1 = 3 A

I_2 = 2 A

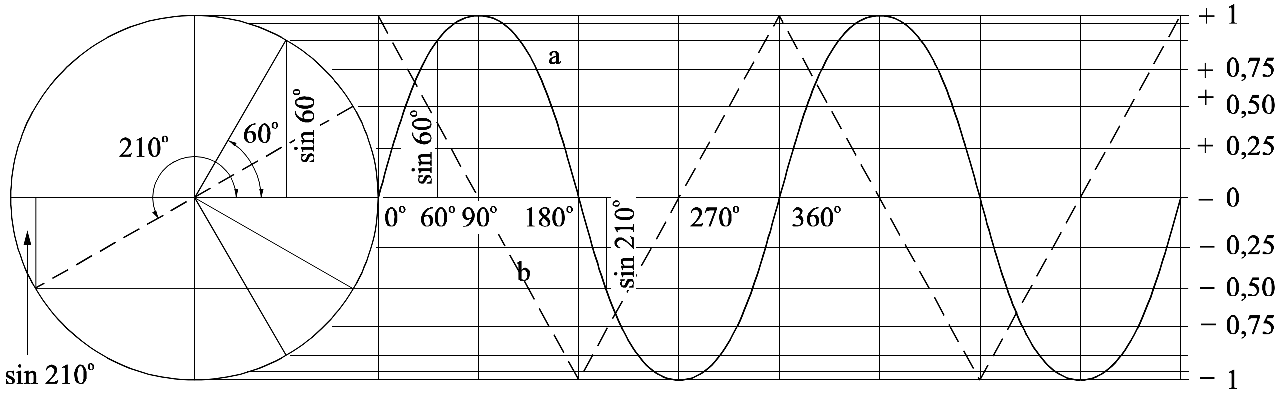
Beregn den samlede strøm i L2.

$$I_{L2}^2 = I_1^2 + I_2^2 - 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\angle A)$$

$$I_{L2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 - 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\angle A)} =$$

$$I_{L2} = \sqrt{3^2 + 2^2 - 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \cos 120°} = \underline{\underline{4{,}36\ A}}$$

Grafisk fremstilling



a = sinuskurve b = cosinuskurve

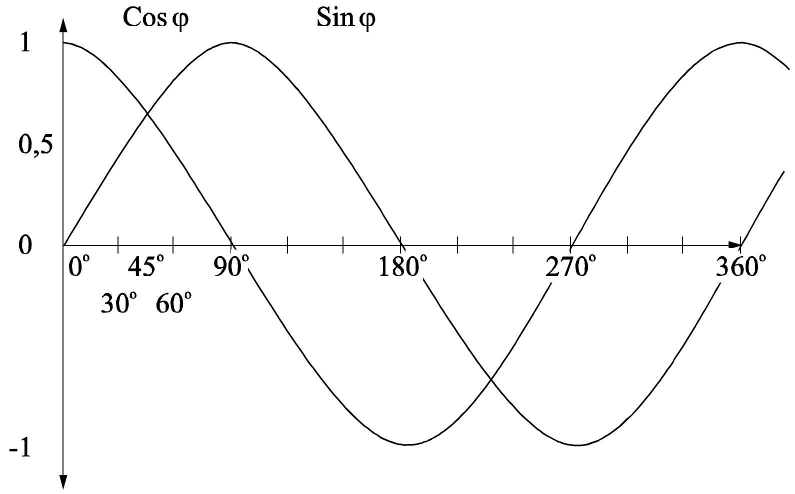
Trigonometriske funktioner

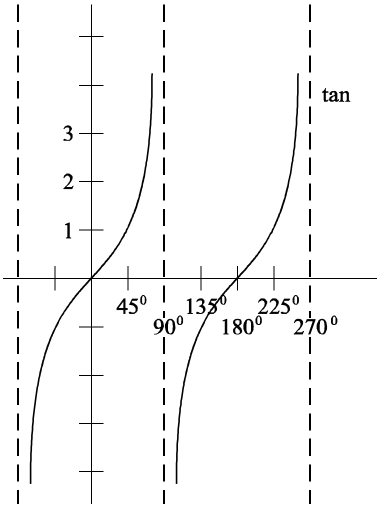
En grafisk fremstilling af de trigonometriske funktioner sinus og cosinus kan udføres ved at tegne enhedscirklen og dele periferien i fx 12 lige store dele. Man går ud fra det punkt på cirklen, hvor den vandrette diameter skærer periferien.

I et retvinklet koordinatsystem, hvor X-aksen tegnes i forlængelse af den vandrette diameter, afsættes lige store stykker svarende til opdelingen af periferien. Igennem hvert af disse punkter trækkes lodrette linier.

Trækkes der nu fra punkterne på enhedscirklens vandrette linier til skæring med de lodrette linier, vil der gennem de fundne punkter kunne tegnes en jævnt fortløbende kurve, som kaldes sinuskurven.

Funktionen cosinus kan fremstilles på lignende måde, dog skal de stykker, som afsættes op ad de lodrette linier gennem punkterne på abscisseaksen, være lig med den vandrette afstand fra det tilsvarende punkt på enhedscirklen til den lodrette diameter i enhedscirklen.





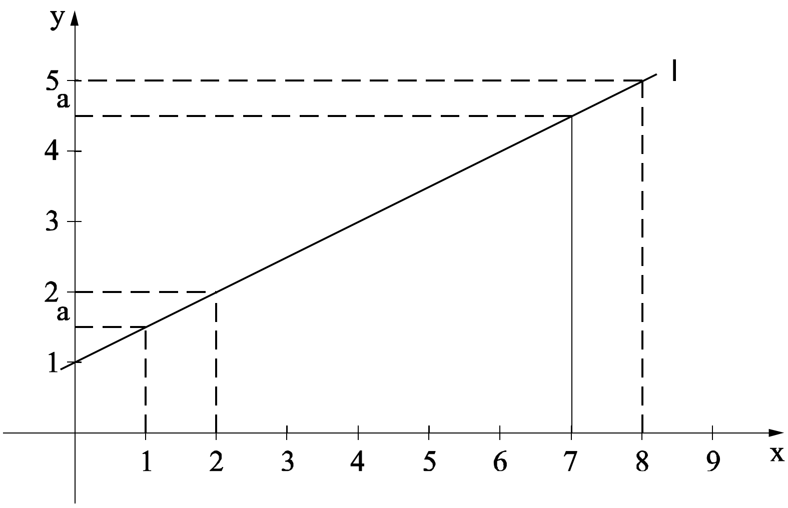
Kurven, som kan tegnes gennem de her fundne punkter, kaldes cosinuskurven. Den har samme form som sinuskurven, men er forskudt 90° i forhold til denne.

Inden for elektroteknikken spiller sinuskurven en særlig rolle, idet vekselspændinger med stor tilnærmelse varierer efter en sinuskurve.

For tangens kan der ligeledes tegnes en graf med udgangspunkt i enhedscirklen.

Graf for tangens

BEMÆRK: Ved tangens til 90 grader og 270 grader findes der ingen funktionsværdi.



Liniens ligning

Grafen for en liniær funktion indtegnet i et koordinatsystem, vil fremkomme som en ret linie. Om den er der to ting, der har interesse, nemlig dens stigningstal og hvor den skærer y-aksen. Stigningstallet benævnes a og skæringspunktet med y-aksen benævnes b.

Liniens ligning

$y = a\ x + b$ *y kan også skrives som* $f(x)$

Stigningstal

Med stigningstal (hældningskoeffecient) forstås den tilvækst på y-aksen, en ændring på 1 på x-aksen giver. Stigningstallet kan både være positivt og negativt.

På tegningen kan vi aflæse at en ændring fra 0-1 på x-aksen, giver en ændring fra 1-1,5 på y-aksen.

Stigningstallet er 0,5.

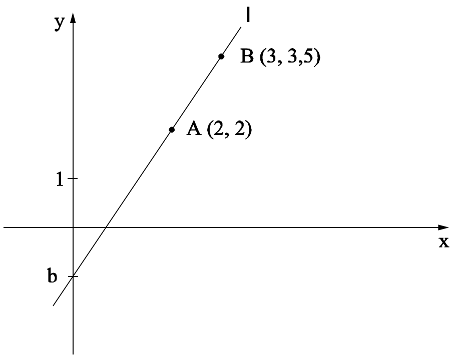
Da grafen er en ret linie, er det ligegyldigt, om vi går fra 0-1 eller eks.7-8 på x-aksen, tilvæksten vil være den samme på y-aksen.

Skæringspunktet med y-aksen er 1.

Liniens ligning:

$$y = 0{,}5\ x + 1$$

Eksempel



Liniens ligning kan også findes ved beregning.

Vi kender to koordinatsæt A(2,2) og B(3;3,5).

Ved at se på forholdet mellem tilvæksten på x-aksen og tilvæksten på y-aksen kan flg. formel for stigningstallet udledes:

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{3{,}5 - 2}{3 - 2} = \frac{1{,}5}{1} = 1{,}5$$

Hvis a har negativt fortegn er funktionen aftagende (faldende) derefter beregnes b på flg. måde:

$$b = y_1 - ax_1 = 2 - 1{,}5 \cdot 2 = \underline{\underline{-1}}$$

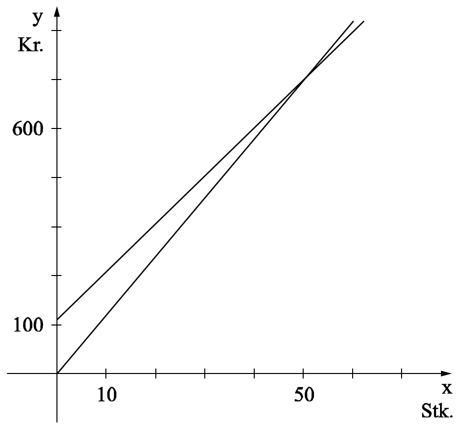
Liniens ligning:

$$y = 1{,}5\ x - 1$$

Vi kan herefter prøve at indsætte nogle værdier for x.

x	1	0	4
y	0,5	-1	5

Eksempel



En El-installatør får at vide fra en leverandør, at en bestemt vare koster 10 kr. pr. stk. plus et fast gebyr på 100 kr., uanset antal.

Prisen hos en anden leverandør er 12 kr. pr. stk., uanset antal.

Vi vil vise de to tilbud i et koordinatsystem.

Tilbud 1: y = 10 x + 100

Tilbud 2: y = 12 x + 0

Vi ser at ved 50 stk. er prisen den samme nemlig 600 kr.

Potens

Et produkt der består af ens faktorer $4 \cdot 4 \cdot 4 = 4^3$. Generelt gælder: $a^n = a \cdot a......a$, n faktorer.

n er potensen, a er roden eller grundtallet.

Der gælder flg.potens regler:

$$1.\ a^n \cdot a^m = a^{n+m} \quad eks.\ 3^2 \cdot 3^4 = 3^6$$

$$2.\ \frac{a^n}{a^m} = a^{n-m} \ for\ a \neq 0 \quad eks.\ \frac{3^5}{3^3} = 3^2$$

$$3.\ a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n \quad eks.\ 3^2 \cdot 4^2 = 12^2$$

$$4.\ \frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n \ for\ b \neq 0 \quad eks.\ \frac{6^3}{2^3} = 3^3$$

$$5.\ (a^n)^m = a^{n \cdot m} \quad eks.\ (3^2)^4 = 3^8$$

desuden gælder:

$$a \neq 0$$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n} \qquad eks. \quad 4^{-2} = \frac{1}{4^2}$$

$$a^1 = a \qquad eks. \quad 5^1 = 5$$

$$a^\circ = 1 \qquad eks. \quad 5^\circ = 1$$

Fortegn

$$(-2)^3 = (-2) \cdot (-2) \cdot (-2) = -8$$

$$(-2)^4 = (-2) \cdot (-2) \cdot (-2) \cdot (-2) = 16$$

Hvis grundtallet er negativt og eksponenten er et ulige tal, er resultatet negativt. Hvis eksponenten er et lige tal er resultatet positivt.

$$(-2)^2 = 4 \qquad -2^2 = -4$$

eksponenten styrer kun det minus, der er inde i parentesen.

$$2x^2 = 2 \cdot x^2$$

her styrer eksponenten kun et led.

Addition / subtraktion

$$2x^2 + 10x^2 - 5x^2 = 7x^2$$

Man kan addere / subtrahere hvis eksponenten og grundtallet er det samme.

$$3x^2 + 7x^3$$

kan ikke sammentrækkes yderligere.

10 - potens

Meget små og meget store tal kan skives som et decimaltal ganget med en 10 - potens. Tallet siges da at være angivet med eksponentiel notation.

Eksempel

$$5^{15} = 3{,}0517578\ E\ 10 = 3{,}0517578 \cdot 10^{10}$$

$$kommaet\ skal\ rykkes\ 10\ pladser\ til\ højre$$

$$5^{-15} = \frac{1}{5^{15}} = 3{,}2768\ E - 11 = 3{,}2768\ 10^{-11}$$

$$kommaet\ skal\ rykkes\ 11\ pladser\ til\ venstre$$

Ved multiplikation kan der fx skrives:

$$x = 0{,}00432 \cdot 9200000$$

som kan skives som:

$$x = 4{,}32 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}2 \cdot 10^{6}$$

$$x = 39{,}744 \cdot 10^{-3+6}$$

$$x = 39{,}744 \cdot 10^{3}$$

$$x = \underline{\underline{39744}}$$

Rod

Ved $\sqrt{\ }$a forstås, det positive tal der gange med sig selv giver a.

HUSK:

Man kan ikke tage kvadratroden af et negativt tal.

$\sqrt{9} = 3$

$\sqrt{\ }$ er rodtegnet

2 er rodeksponenten

9 er radikanden

3 er roden.

Roduddragning og potensopløftning er modsatte regningsarter.

$(\sqrt{9})^2 = (3)^2 = 9$

$\sqrt[2]{\ }$ kaldes kvadratroden, som regel udelades 2-tallet

$\sqrt[3]{\ }$ kaldes kubikroden eller den 3. rod

$\sqrt[4]{\ }$ kaldes den 4. rod o.s.v.

Negativ radikand.

$\sqrt[2]{-9}$ kan ikke lade sig gøre, da to tal gange hinanden, positive som negative giver et positivt resultat.

$\sqrt[3]{-8}$ er i orden da (-2) (-2) (-2) er lig med -8. Betingelserne for at uddrage roden, når radikanden er negativ er, at rodeksponenten er et ulige tal.

For roduddragning gælder følgende regler:

$$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}$$

$$eks. \sqrt[3]{5 \cdot 3} = \sqrt[3]{5} \cdot \sqrt[3]{3}$$

$$\sqrt{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} \quad for \ b \neq 0$$

$$eks. \sqrt{\frac{5}{3}} = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{3}}$$

Addition / subtraktion

$$2\sqrt{a} + 3\sqrt{a} - 4\sqrt{a} = \sqrt{a}$$
$$eller$$
$$3\sqrt{4} + 5\sqrt{4} - 4\sqrt{4} = 4\sqrt{4}$$

kan kun lade sig gøre dersom de har samme rodeksponent og samme radikand.

2. gradsligning

En ligning hvori den ubekendte forekommer i 2. og ikke i højere potens kaldes en 2. gradsligning.

$$ax^2 + bx + c = 0 \qquad a \neq 0$$

er en ordnet 2. gradsligning, først 2. gradsleddet (a x^2), dernæst 1. gradsleddet (b x) og sidst (c).

Løsning af 2. gradsligning.

b = 0

Vi ser først på et tilfælde hvor b = 0

$$x^2 = 49$$
$$x^2 - 49 = 0$$

ligningen ordnes, højresiden sættes lig 0 og opløses i

$$(x + 7) \cdot (x - 7) = 0$$
$$x + 7 = 0 \quad eller \quad x - 7 = 0$$
$$x = -7 \; eller \quad x = 7$$

et produkt er 0 når en af faktorerne er 0.

Generelt gælder:

$$x^2 = a$$
$$x = \sqrt{a} \quad eller \quad x = -\sqrt{a}$$

c = 0

Andet tilfælde hvor c = 0

$$x^2 - 5x = 0$$
$$x(x - 5) = 0$$

da produktet x(x-5) skal være 0, får vi

$$x - 5 = 0 \quad eller \quad x = 0$$
$$x = 5 \quad eller \quad x = 0$$

Udledning af 2. gradsligning

Tredie tilfælde hvor a, b og c er forskellige fra 0

$$ax^2 + bx + c = 0$$
$$x^2 + \frac{bx}{a} + \frac{c}{a} = 0$$

vi dividerer med a i alle led.

$$x^2 + \frac{bx}{a} = -\frac{c}{a}$$

$$\frac{c}{a} \; flyttes \; over \; på \; venstre \; side$$

$$x^2 + \frac{bx}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 = \left(\frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{c}{a}$$

$$\left(\frac{b}{2a}\right)^2 \textit{ adderes på begge sider af lighedstegnet}$$

venstre siden er nu kvadratet på en sum, og kan skrives som:

$$\left(x+\frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2}{4a^2} - \frac{c}{a}$$

$$\left(x+\frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2}{4a^2} - \frac{4a \cdot c}{4a^2}$$

der findes fælles nævner på højre siden.

$$x + \frac{b}{2a} = \pm\sqrt{\frac{b^2 - 4a \cdot c}{4a^2}}$$

$$x = -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a}$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a}$$

Hermed har vi løsningsformlen for en 2. gradsligning. Størrelsen b^2 - 4 a c kaldes diskriminanten og benævnes D, vi kan derfor skrive:

$$x = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a} \quad eller \quad x = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a}$$

Hvis D = 0 har ligningen en løsning (dobbelt rod)

D > 0 har ligningen to rødder

D < 0 har ligningen ingen rødder

Eksempel

$$x^2 - 8x + 7 = 0$$

$$D = b - 4\,a\,c = -8 - 4 \cdot 1 \cdot 7 = 36$$

$$x = \frac{-b + \sqrt{D}}{2a} \quad eller \quad x = \frac{-b - \sqrt{D}}{2a}$$

$$x = -\frac{(-8) + \sqrt{36}}{2 \cdot 1} \quad eller \quad -\frac{(-\ 8) - \sqrt{36}}{2 \cdot 1}$$

$$\underline{\underline{x = 7}} \qquad \underline{\underline{x = 1}}$$

Vi gør prøve ved at indsætte de fundne værdier for x

$$x^2 - 8x + 7 = 0$$

$$7^2 - 8 \cdot 7 + 7 = 0 \qquad stemmer$$

$$1^2 - 8 \cdot 1 + 7 = 0 \qquad stemmer$$

Funktionsligninger af anden grad

Flere ting inden for fysikken og matematikken antager en funktion af andengrad.

Vi vil her prøve at se på andengradsfunktionen (ligningen) indtegnet i et koordinatsystem.

$$f(x) = ax^2 + bx + c = 0$$

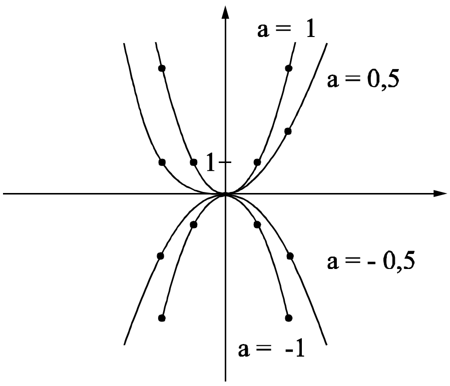
Er den ordnede andengradsfunktion.

Vi ser først på funktionen

$$f(x) = ax^2 \qquad a \neq 0$$

Vi opstiller en tabel og indsætter forskellige værdier for x, herefter gentages med forskellige værdier for a.

x	- 2	- 1	0	1	2		a = 1
f(x)	4	1	0	1	4		
x	- 2	1	0	1	2		a = 0,5
f(x)	- 2	0,5	0	0,5	2		
x	- 2	- 1	0	1	2		a = - 1
f(x)	- 4	- 1	0	- 1	- 4		
x	- 2	1	0	1	2		a = - 0,5
f(x)	- 2	- 0,5	0	- 0,5	- 2		



Kurven kaldes en parabel, (0,0) er dens toppunkt og y-aksen er symmetriakse.

Som vi kan se vil værdien af a have betydning for hvor flad eller stejl kurven vil være.

Ved a > 0 går grenene opad

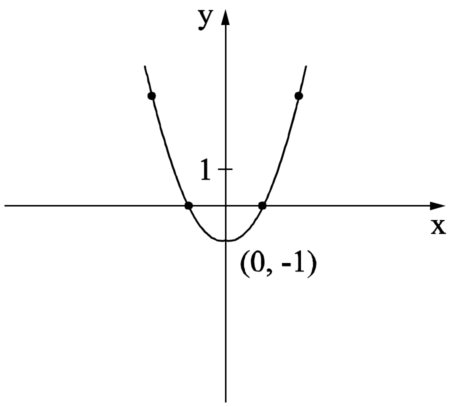
Ved a < 0 går grenene nedad

Hvis vi ser på ligningen

$$f(x) = x^2 - 1$$

Kan vi opstille en tabel

x	-2	-1	0	1	2
f (x)	3	0	-1	0	3



Parablen ser ud som på figuren, vi ser at dens symmetriakse er y-aksen og at toppunktet nu hedder (0,-1), anden koordinaten antager altså samme værdi som konstanten c.

I de to første tilfælde har vi set på parabler med symmetri omkring y-aksen, vi vil nu prøve at se på den vilkårlige andengrads funktion.

$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Til bestemmelse af en vilkårlig andengradsfunktions toppunkt gælder:

$$T = \left(\frac{-b}{2a}, \frac{-D}{4a} \right)$$

$\frac{-b}{2a}$ vil foruden at være 1. koordinat også være parablens symmetriakse.

D = diskriminanten $b^2 - 4ac$

og de to rødder (hvis der findes to) vil være parablens skæringspunkter med x-aksen.

c fortæller os skæringspunktet med y-aksen.

Eksempel

$$f(x) = x^2 + 3x - 4$$

$$D = b^2 - 4\,a\,c = 3^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-4) = 25$$

Ligningens rødder:

$$x = \frac{-b + \sqrt{D}}{2 \cdot a} \qquad x = \frac{-b - \sqrt{D}}{2 \cdot a}$$

$$x = \frac{-3 + \sqrt{25}}{2 \cdot 1} = 1 \qquad x = \frac{-3 - \sqrt{25}}{2 \cdot 1} = -4$$

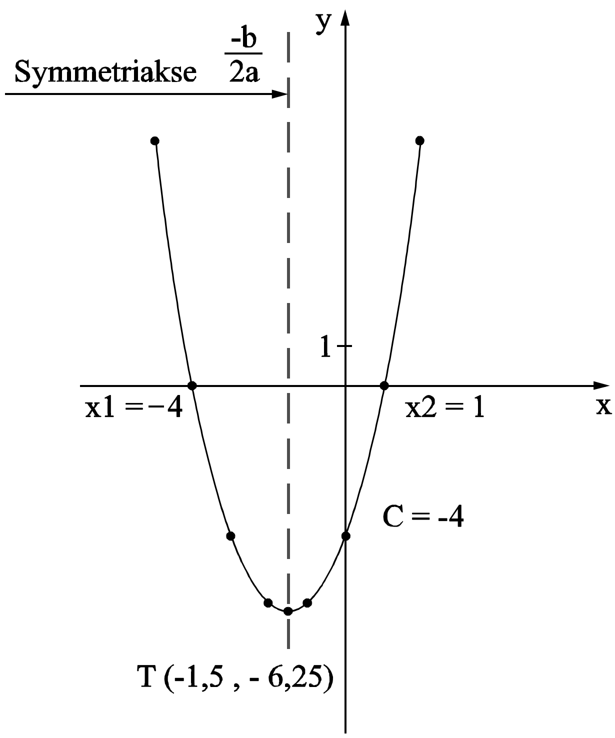
Toppunkt for parablen

$$T = \left(\frac{-b}{2a} , \frac{-D}{4a} \right) = \left(\frac{-3}{2 \cdot 1} , \frac{-25}{4 \cdot 1} \right)$$

$$T = (-1,5 \ , \ -6,25)$$

Vi kan nu opstille vores skema for vilkårlige x-værdier, med dertil hørende funktionsværdier, for herefter at tegne parablen.

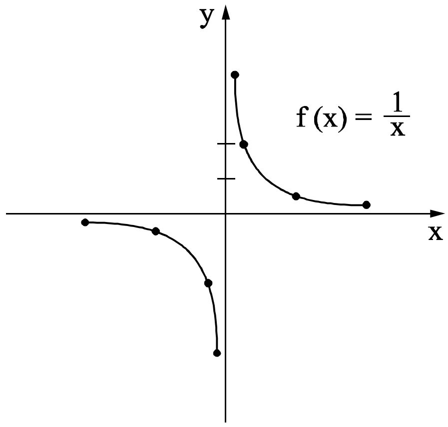
x	-5	-4	-3	-2	-1,5	-1	0	1	2
f (x)	6	0	-4	-6	-6,25	-6	-4	0	6



Hyperbel

Funktionen for en hyperbel

$$f(x) = \frac{k}{x} \qquad x \neq 0$$



Vi indsætter tilfældige x-værdier og finder de tilhørende funktions værdier.

x	-4	-2	-1	-1/2	-1/4	1/4	1/2	1	2	4
f(x)	-1/4	-1/2	-1	-2	-4	4	2	1	1/2	1/4

konstanten k er i dette tilfælde 1.

Herefter indtegnes funktionen i et koordinatsystem.

Det karakteristiske ved en hyperbel er, at den aldrig vil skære hverken x- eller y-aksen.

Eksponentiel vækst

Når størrelser vokser eller aftager med samme procentsats pr. tidsenhed, har vi det, vi kalder eksponentiel vækst. Eksempler på sådan kan være: Rentetilskrivning, befolkningstilvækst etc.

Hvis en vare koster 100 kr. og stiger med 20 kr. pr. år vil prisen vokse liniært.

Eksempel 1

0	1	2	3	4	5	6
100	120	140	160	180	200	220

Tilvækst	20	20	20	20	20	20

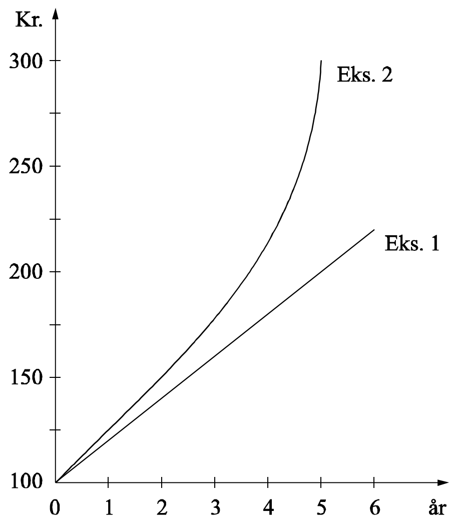
Hvis den samme vare derimod stiger med 20 % pr. år vil prisen vokse eksponentielt.

Eksempel 2

0	1	2	3	4	5	6
100	120	144	173	207	249	299

Tilvækst	20	24	29	34	42	50

Vi ser at tilvæksten bliver større år for år.



Hvis vi indtegner de to funktioner i et koordinatsystem vil eksempel 1 frembringe en ret linie, mens eksempel 2 frembringer en "krum" kurve. Som ved en liniær funktion findes der også en regneforskrift for en eksponentiel funktion nemlig:

$$f(x) = b \cdot a^x$$

x er den uafhængige variabel i eksemplet lig med år

a fremskrivningsfaktoren i eksemplet 20 % eller 1,20

b skæringspunkt med y-aksen

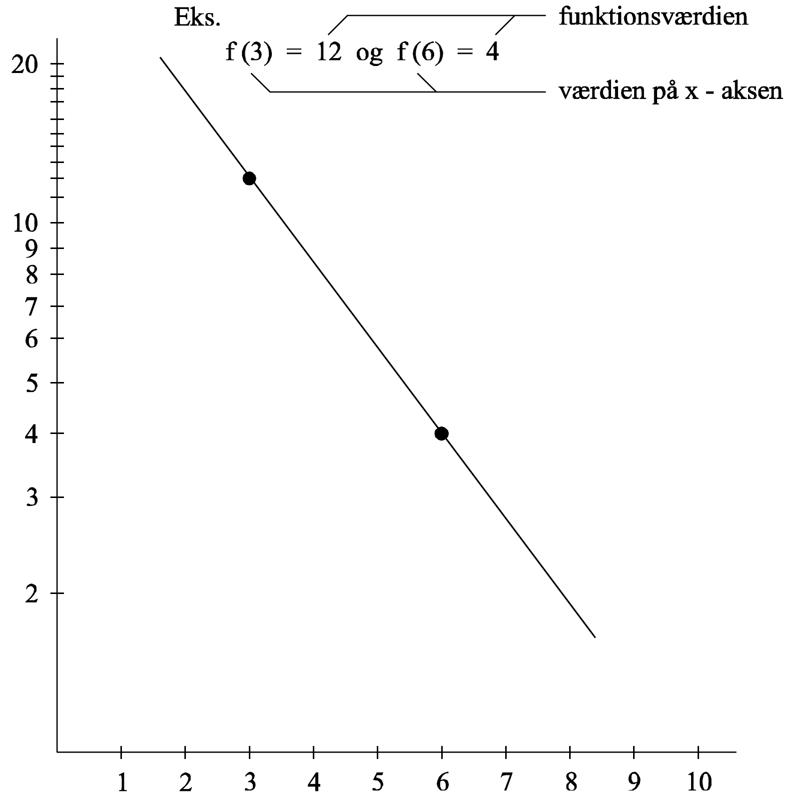
hvis: a > 1 er funktionen voksende

hvis: 0 < a < 1 er funktionen aftagende.

Til at afgøre om det er en eksponentiel funktion vi har med at gøre, kan vi anvende et enkeltlogaritmisk koordinatsystem (herom senere), i et sådan vil funktionen optræde som en ret linie.

Hvis vi får opgivet to punkter på en graf for eksponentielvækst kan vi finde regneforskriften.

Eksempel



$$a = \sqrt[x_2 - x_1]{\frac{y_2}{y_1}} = \sqrt[6-3]{\frac{4}{12}} = 0{,}69$$

$$b = \frac{y_1}{a^{x1}} = \frac{12}{0{,}69^3} = 36$$

$$f(x) = 36 \cdot 0{,}69^x$$

For en eksponentiel funktion gælder:

- f(x) antager kun positive værdier.
- f(x) vokser (aftager) med en bestemt procentdel, ved en given tilvækst på x-aksen.

Logaritmer

Det at have kendskab til logaritmer var til stor hjælp, når man skulle multiplicere og dividere med store tal, inden lommeregneren blev "hver mands eje".

Der er dog stadig enkelte regneoperationer, hvor det er nødvendigt at have kendskab til logaritmer.

Når vi skriver log menes der 10-talslogaritmen og med det forstås den eksponent man skal give 10 for at få tallet.

Eksempel

10	=	10^1	log	10	=	1
100	=	10^2	log	100	=	2
1000	=	10^3	log	1000	=	3

Eksempel

Hvis vi skal løse en ligning, hvor den ubekendte fremstår som en eksponent, gør vi følgende:

$$25 = 3^x$$

$$\log(25) = \log(3^x)$$

$$\log(25) = x \cdot \log(3)$$

$$\frac{\log(25)}{\log(3)} = x$$

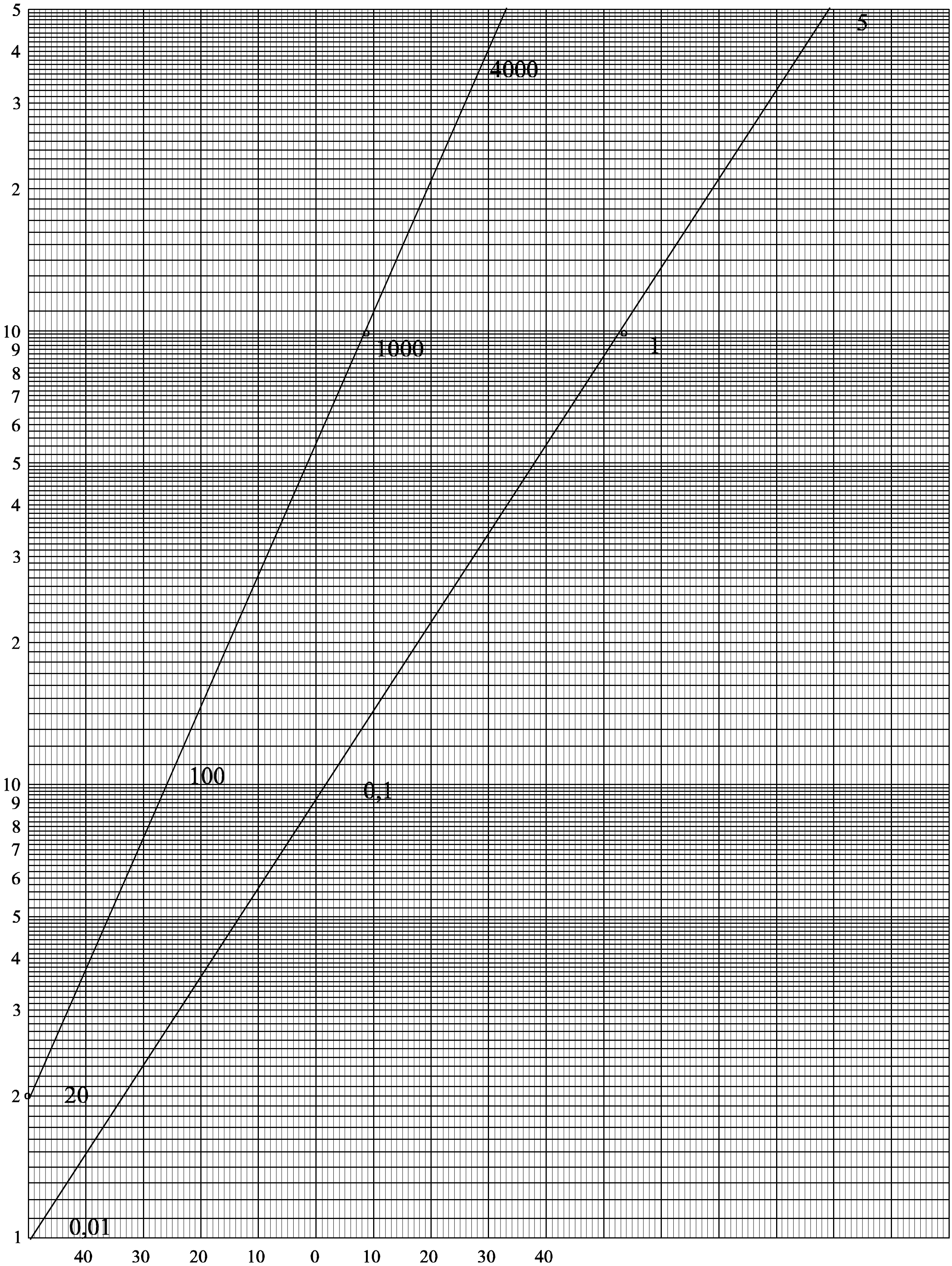
$$\underline{\underline{2{,}93 = x}}$$

Vi tager log på begge sider og højre siden omskrives ifølge regneregel.

Inden for elektroteknikken bruges logaritmiske skalaer bl.a. til at afbilde smeltetider for sikringer. Det gøres ved at inddele y-aksen efter en sådan skala, så kaldes det et enkeltlogaritmisk koordinatsystem. Hvis både y- og x-aksen er inddelt sådan, kaldes det et dobbelt logaritmisk koordinatsystem.

Eksemplet på næste side er et enkeltlogaritmisk koordinatsystem. Vi kan se at x-aksen er inddelt på "almindelig vis", derimod er y-aksen inddelt i 3 ens afsnit (kaldes dekader), det kan udnyttes på flg. måde: Hvis vi i den nederste dekade vælger 1 til 10, vil næste dekade gå fra 10 til 100 og den sidste fra 100 til 1000.

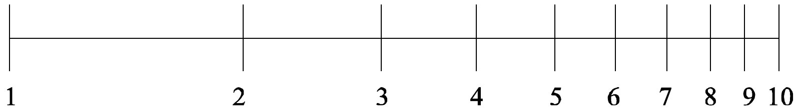
ARITMETIK


5
4
3
2
10
9
8
7
6
5
4
3
2
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
40
30
20
10
0
10
20
30
40
4000
1000
1
5
100
0,1
20
0,01

I eksemplet er indtegnet to funktioner den ene fra 20 til 4000 og den anden fra 0,01 til 5.

Inddeling af en logaritmisk skala gøres på følgende måde:

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
log x	0	0,301	0,4771	0,6020	0,699	0,7781	0,8451	0,9030	0,9542	1



Binær regning

Det binære talsystem består kun af to cifre, og regnereglerne er derfor ret enkle.

Addition

Regneregler for addition:

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0 \; og \; 1 \; i \; mente$$

Eksempel

1011 adderes til 1001:

$$1011 + 1001 = 10100$$

Subtraktion

Regneregler for subtraktion:

$$0 - 0 = 0$$

$$0 - 1 = 1 \; og \; lånt \; 1$$

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

Eksempel

Fra 110111 subtraheres 11010:

$$\begin{array}{r} 110111 \\ \underline{-11010} \\ 11101 \end{array}$$

Multiplikation

Regneregler for multiplikation:

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

Eksempel

1011 multipliceres med 1001:

```
1011 · 1001
      1011
     0000
    0000
   1011
   1100011
```

Boole algebra

Regnereglerne for logisk algebra eller "Boole´sk" algebra, udarbejdet af den engelske matematiker George Boole i midten af sidste århundrede.

Reglerne er på mange måder de samme som i den almindelige algebra, men alle den almindelige algebras regneoperationer kan ikke udføres på funktioner i logisk algebra.

Den logiske algebra forudsætter, at alle forekommende størrelser enten er et 1 eller 0, svarende til fx en sluttet kontakt (1) eller en afbrudt kontakt (0). I stedet for kontakter kan der også være tale om et højt eller lavt spændingsniveau.

Tegn

Normalt anvendes tegnet • for at symbolisere en OG-funktion (AND) og tegnet + en ELLER-funktion (OR).

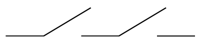
Undertiden forekommer andre matematiske tegn for OG og ELLER end som ovenfor anført, fx:

$\wedge$ = OG

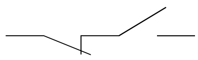
$\vee$ = ELLER

Serieforbindelser "OG"

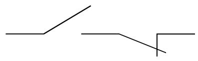
Ved serieforbindelser af to kontakter kan opstilles følgende regneregler:



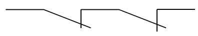
$0 \cdot 0 =$ *læses*: *nul og nul er lig med nul*



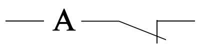
$1 \cdot 0 = 0$



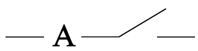
$0 \cdot 1 = 0$



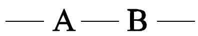
$1 \cdot 1 = 1$



$A \cdot 1 = A$



$A \cdot 0 = 0$

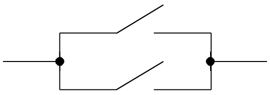


$A \cdot B = B \cdot A,$

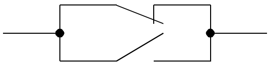
såfremt A *og* $B = 1$ *bliver* $A \cdot B = 1$

Parallelforbindelse "ELLER"

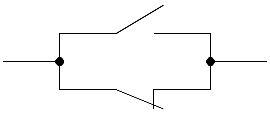
Ved parallelforbindelse af to eller flere kontakter kan opstilles følgende regneregler:



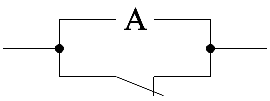
$0 + 0 = 0$ *læses: nul eller 0 er lig med nul*



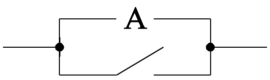
$1 + 0 = 1$



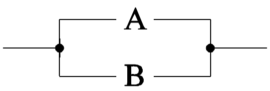
$0 + 1 = 1$



$A + 1 = 1$



$A + 0 = A$



$A + B = B + A$,

såfremt A eller B er 1, *bliver* $A + B = 1$

Invertfunktion "IKKE"

Når indgangssignalet er 1, er udgangssignalet modsat, og omvendt, når indgangssignalet er 0, er udgangssignalet 1.

Følgende regneregler opstilles:

$\overline{0} = 1$ *læses: ikke nul er lig med en*

$\overline{1} = 0$ *læses: ikke en er lig med nul*

$\overline{\overline{0}} = 0$ *læses: ikke nul er lig med nul*

$$\overline{\overline{A}} = A$$

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$

$$\overline{0 + B} = 1 \cdot \overline{B} = \overline{B}$$

$$\overline{1 \cdot B} = 0 + \overline{B} = \overline{B}$$

$$\overline{0 \cdot B} = 1 + \overline{B} = 1$$

$$\overline{1 + B} = 0 \cdot \overline{B} = 0$$

$$A \cdot \overline{A} = 0$$

$$A + \overline{A} = 1$$

Beviser

Vi skal ikke her komme ind på bevisførelsen for alle regnereglerne, men nøjes med de to vanskeligste beviser:

1. $\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$

2. $\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$

Beviserne beskrives ved hjælp af sandhedstabeller.

1.

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

A	B	A + B	$\overline{A + B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A} \cdot \overline{B}$
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Idet højre side af de to sandhedstabeller er ens, må

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

2.

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$

A	B	A · B	$\overline{A \cdot B}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

$\overline{A}$	$\overline{B}$	$\overline{A} + \overline{B}$
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Idet højre side af de to sandhedstabeller er ens, må

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$

Eksempler med flere varianter

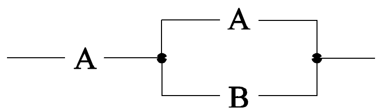
Ud fra de foran nævnte regneregler kan man reducere kredsløb og logiske udtryk. Vi skal se på et par eksempler:

Eksempel

Dette kredsløb har følgende logiske funktion:

$$A \cdot (A + B) = A \cdot A + A \cdot B = A + A \cdot B$$

$$A \cdot (1 + B) = A \cdot 1 = \underline{\underline{A}}$$



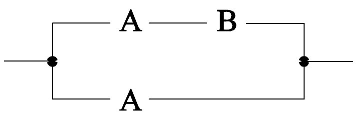
hvilket vil sige, at kredsløbet kan reduceres til en kontakt = A.

Eksempel

Dette kredsløb har følgende logiske funktion:

$$(A \cdot B) + A = A \cdot (B + 1)$$

$$A \cdot 1 = \underline{\underline{A}}$$

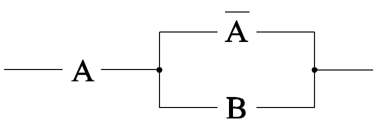


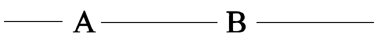
Eksempel

Dette kredsløb har følgende logiske funktion:

$$A \cdot (\overline{A} + B) = A\overline{A} + AB$$

$$0 + A \cdot B = \underline{\underline{A \cdot B}}$$

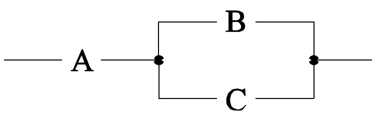


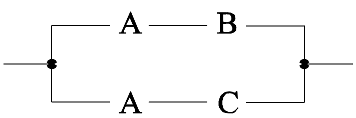


Eksempel

Dette kredsløb har følgende logiske funktion:

$$A\ (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$





Sandhedstabeller

Der findes forskellige matematiske hjælpemidler, hvoraf et af de mest virksomme er den såkaldte sandhedstabel. Udtrykket stammer fra logistikken (regnekunst), hvor man ved hjælp af sådanne sandhedstabeller afslører, om et logisk udsagn (logisk slutning) er sandt eller falsk. Ved at kunne tabellægge sådanne udsagn får man mulighed for at træffe "beslutninger", deraf også navnet beslutningstabeller.

Sandhedstabeller anvendes inden for logikken for at opnå en større overskuelighed for en operation eller et færdigt kredsløb. Sandhedstabellen opbygges med en søjle for hver af funktionens variable størrelser samt for det dertil hørende udgangssignal.

Antal rækker er lig 2^n, hvor n er antallet af variable størrelser.

Eksempel

P	T	B	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

Som eksempel kan opstilles betingelserne for tobaksrygning uden fare:

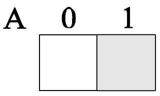
$$Z = P \cdot T \cdot \overline{B}$$

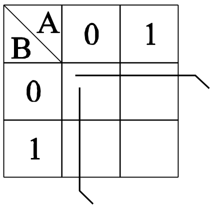
hvor Z = tilladelse til at ryge, P = pibe, T = tobak og B = benzin, altså eksplosionsfare.

Ligningen består af 3 variable, derfor bliver antallet af rækker $2^3 = 8$.

Det ses af sandhedstabellen, at kun kombinationen for P, T, B er lig med 1, 1, 0 giver et udgangssignal på Z = 1, mens alle øvrige 7 kombinationer af P T B giver Z = 0. I mange datablade for integrerede digitalkredse anvendes sandhedstabeller til beskrivelse af kredsens funktion.

Karnaugh-diagram





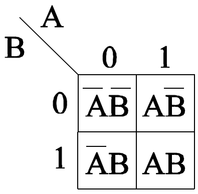
Til forenkling af en logisk funktion, forinden man realiserer funktionen med fx elektroniske komponenter, anvender man Karnaugh-diagrammer.

Det mindste Karnaugh-diagram, bestående af to celler, er, som det viste diagram for A. Diagrammet viser ved skraveringen, at den logiske funktion er lig A. Var skraveringen i "0" feltet ville den logiske funktion være:

$$\overline{A}$$

Man vil dog ikke arbejde med så simpelt et diagram.

Et normalt Karnaugh-diagram vil indeholde søjler og rækker. I det viste eksempel med 4 celler angiver søjlerne værdien af A, mens rækkerne angiver værdien af B. Betegnelsen af den enkelte celle er vist i dette Karnaugh-diagram. Normalt betegnes cellen med et 1-tal, såfremt den logiske funktion indeholder cellens værdi, ellers med et nul eller blank.



To tilstødende celler er naboceller, og man må opfatte Karnaugh-diagrammet som en kubus med såvel sammenbundne rækker som søjler. Med 3 variable bliver diagrammet en terning, hvor hver celle repræsenterer et hjørne af terningen.

C \ AB	00	01	11	10
0	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}$	$\overline{A}B\overline{C}$	$AB\overline{C}$	$A\overline{B}\overline{C}$
1	$\overline{A}\overline{B}C$	$\overline{A}BC$	ABC	$A\overline{B}C$

Såfremt en logisk funktion indeholder flere varianter, udvides Karnaugh-diagrammet, som vist for 3 og 4 varianter.

Betegnelserne for søjlerne står for henholdsvis A og B med henholdsvis første og andet ciffer. Tilsvarende for rækkerne for C og CD i de to eksempler.

Mellem hver celle i Karnaugh-diagrammet er underforstået et "eller" tegn (+).

I praksis anbringes et 1-tal i cellen i stedet for kombinationen.

CD \ AB	00	01	11	10
00	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}\overline{D}$	$\overline{A}B\overline{C}\overline{D}$	$AB\overline{C}\overline{D}$	$A\overline{B}\overline{C}\overline{D}$
01	$\overline{A}\overline{B}\overline{C}D$	$\overline{A}B\overline{C}D$	$AB\overline{C}D$	$A\overline{B}\overline{C}D$
11	$\overline{A}\overline{B}CD$	$\overline{A}BCD$	$ABCD$	$A\overline{B}CD$
10	$\overline{A}\overline{B}C\overline{D}$	$\overline{A}BC\overline{D}$	$ABC\overline{D}$	$A\overline{B}C\overline{D}$

C \ BA	00	01	11	10
0		1	1	
1				

Det her viste Karnaugh-diagram har funktionen

$$\overline{A}B\overline{C} + AB\overline{C}$$

Den anvendte talkode kaldes Graykoden, og den anvendes, fordi den i modsætning til den binære talkode kun ændrer et ciffer fra et tal til det næste. Dette svarer til kravene for en logisk styring, hvor der kun må kræves et (kontakt) skift ad gangen.

Reduktionen af en logisk funktion sker ved at indskrive funktionen i et Karnaugh-diagram, hvorefter man indrammer så mange naboceller som muligt, dog således, at antallet udgør:

1, 2, 4, 8, 16.....celler.

Disse indramninger kan reduceres og nedskrives.

Eksempel

B \ A	0	1
0	1	
1	1	

Den logiske funktion

$$Z = \overline{AB} + \overline{A}B$$

reduceres ved hjælp af Booles algebra:

$$Z = \overline{AB} + \overline{A}B$$

$$Z = \overline{A}\,(\overline{B} + B) = \underline{\underline{\overline{A}}}$$

hvilket ses af diagrammet, hvor B er henholdsvis 0 og 1, hvilket ophæver hinanden, mens A inden for indramningen vedbliver at være 0.

Eksempel

Det vil sige, at reduceringen i praksis sker ved at undersøge hvilke variabler, der skifter værdi inden for indramningen, og derefter lade disse udgå. Ved flere indramninger i samme diagram anbringes et + mellem hvert led (indramning).

Indramningen, som er vist på venstre diagram, er korrekt, da der er tale om naboceller, som vist i højre diagram, hvor rækkefølgen i talkoden er flyttet.

$$Z = \overline{A}B\overline{C} + A\overline{B}C = \underline{\underline{\overline{B}C}}$$

Z =

C \ AB	00	01	11	10
0				
1	1			1

Z =

C \ AB	01	11	10	00
0				
1			1	1

Eksempel

C \ AB	00	01	11	10
0			1	
1	1		1	

$$Z = ABC + AB\overline{C} + \overline{A}BC$$

kaldes standardsummen.

Cellerne med 1-tal angiver standardsumled. Indramning af 1-tallene giver minimumsummen.

$$Z = AB + \overline{A}BC$$

AB er funktionen indenfor indramningen, idet C skifter værdi og derfor udgår. ABC er funktionen udenfor indramningen og kan ikke reduceres.

Eksempel

Udtrykket herunder reduceres ved hjælp af et Karnaugh-diagram.

CD \ AB	00	01	11	10
00		(a 1	(c 1	
01	1(b	1(b	1(b	1(b
11				
10		1 (d	1 (c	

$$Z = \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{C}D + AB\overline{D} + \overline{A}BC\overline{D}$$

Cellen mærket (a angiver standardsumledet $\overline{A}B\overline{C}\overline{D}$

Cellerne mærket (b angiver funktionen $\overline{C}D$

Cellerne mærket (c angiver funktionen $AB\overline{D}$

Cellen mærket (d angiver standardsumledet $\overline{A}BC\overline{D}$

$$Z = B\overline{D} + \overline{C}D$$

Eksempel

Det reducerede udtryk for Z1 og Z2 findes ved hjælp af Karnaugh-diagrammer samt realiseres med kontakter.

Z1 =

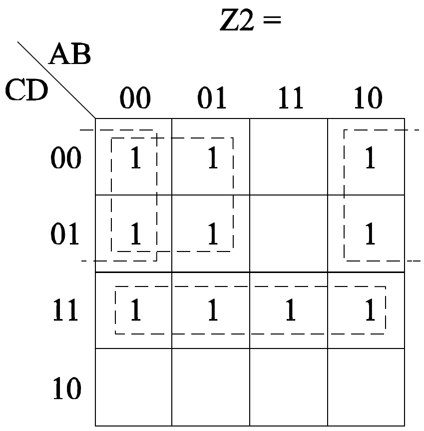
CD \ AB	00	01	11	10
00		1	1	
01		1	1	
11			1	
10			1	

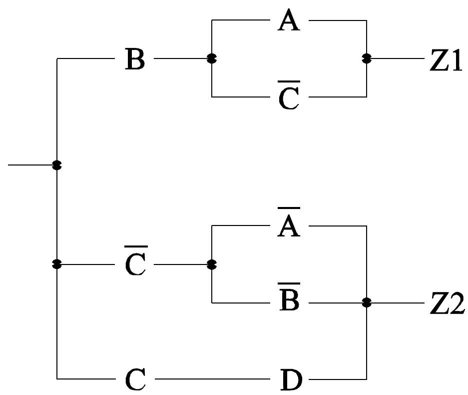
$$Z1 = AB + \overline{A}B\overline{C}$$

$$Z1 = B\overline{C} + AB = B\,(A + \overline{C})$$

$$Z2 = CD + \overline{ACD} + \overline{A}D + \overline{BC}$$

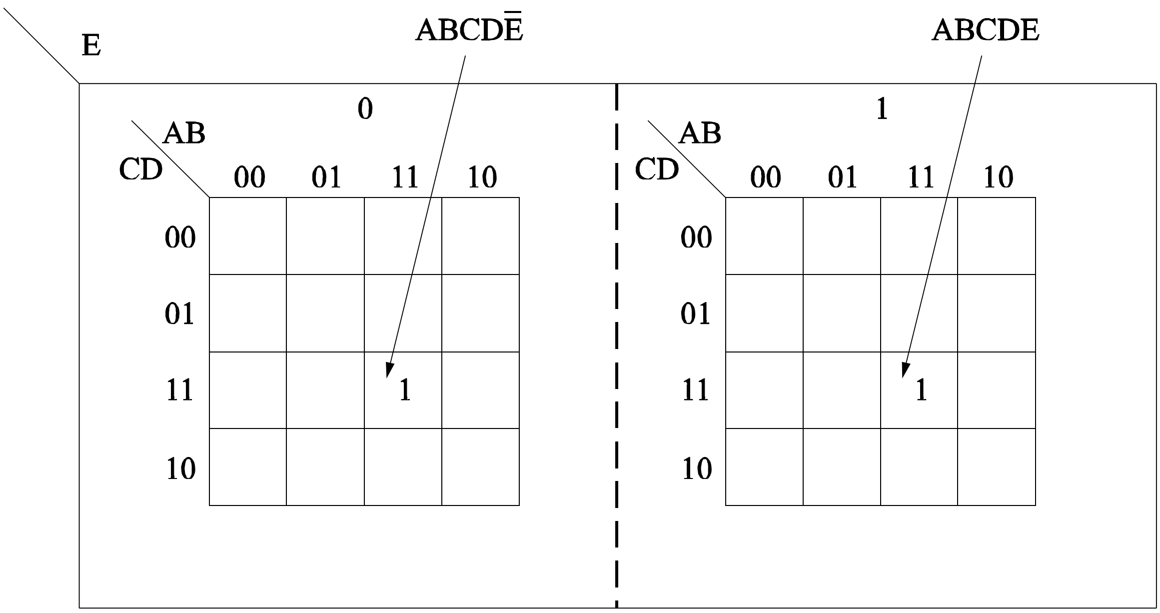
$$Z2 = \overline{AC} + \overline{BC} + CD = \overline{C}\,(\overline{A} + \overline{B}) + CD$$





Fem varianter

Ved et Karnaugh-diagram for 5 varianter kan anvendes 2 diagrammer.



Ved indramning af Karnaugh-diagrammer med fem eller flere varianter findes naboskabet ved to 1-taller, der findes lige langt fra symmetriaksen. Der er symmetriakse såvel for rækker som for søjler.

Måleenheder

For at kunne sammenligne målinger, som er foretaget et sted med målinger foretaget et andet sted, er det nemmest at bruge samme målesystem.

SI-systemet

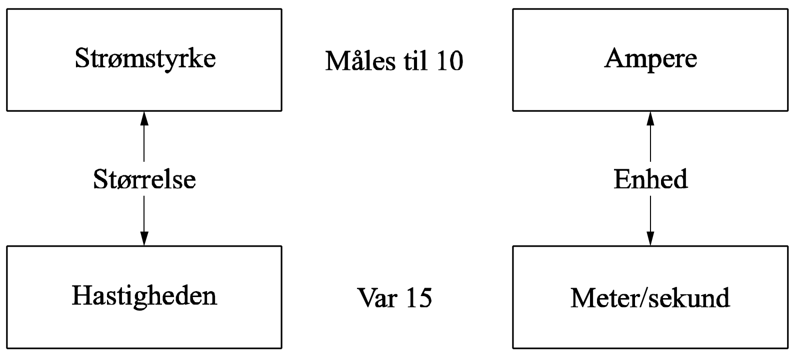
I 1960 vedtog Danmark, at SI-systemet (det internationale enhedssystem) skulle afløse tidligere anvendte systemer. I standardblad DS 2002 udgivet af Dansk Standard beskrives systemet. I det følgende beskrives SI-systemet samt omregninger mellem "gamle" systemer og SI-systemet.

Fagudtryk og definitioner

En "størrelse" er et fysisk fænomen, der kan måles eller beregnes. Skitsen viser eksempler herpå.

En "enhed" er det navn eller udtryk, som betegner en størrelse, fx 1 ampere, 1 watt og 1 meter pr. sekund.

Eksempel



SI-system

SI-målesystemet indeholder 3 klasser af enheder:

- Grundenheder
- Supplerende enheder
- Afledede enheder.

Grundenheder

Grundlaget for SI-systemet er 7 grundenheder, som er nævnt i tabellen herunder.

Størrelse	SI grund-enhedens navn	Symbol
Længde	meter	m
Masse	kilogram	kg
Tid	sekund	s
Elektrisk strøm	ampere	A
Termodynamisk temp.	kelvin	K
Stofmængde	mol	mol
Lysstyrke	candela	cd

Definitioner

Med det formål at fastlægge måleenhedernes størrelse er der på internationalt plan vedtaget definitioner af de syv grundenheder ud fra kendte og uforanderlige størrelser, således at der ikke kan opstå tvivl om, hvor lang fx 2 meter er.

Meter

En meter er defineret som længden af 1 650 763,73 bølgelængder i det tomme rum af strålingen fra krypton-86 atomet ved overgang mellem niveauerne 2_{p10} og 5_{d5}.

Kilogram

Kilogram er enheden for masse; et kilogram er defineret som massen af den internationale kilogram-prototype.

Sekund

Et sekund er defineret som varigheden af 9 192 631 770 perioder af strålingen fra cæsium-133 atomet ved overgang mellem grundtilstandens to hyperfinstruktur-niveauer.

Ampere

En ampere er defineret som strømstyrken af en konstant elektrisk strøm, der - når den løber i to parallelle, uendeligt lange ledere med forsvindende lille cirkulært tværsnit, som har en indbyrdes afstand på 1 meter og er anbragt i det tomme rum - bevirker, at den ene leder påvirker den anden med kraften 2 x 10^{-7} newton for hver meter.

Kelvin

Kelvin er enheden for termodynamisk temperatur; en kelvin er brøkdelen 1/273,16 af vands tripelpunkts termodynamiske temperatur.

Mol

Et mol er den stofmængde af et system, der indeholder lige så mange elementære dele, som der er atomer i 0,012 kilogram kulstof-12. Ved brug af mol må de elementære dele specificeres; det kan være atomer, molekyler, ioner, elektroner, andre partikler eller specificerede grupper af sådanne partikler.

Candela

En candela er lysstyrken i normalens retning af et 1/600 000 kvadratmeter stort overfladestykke af et sort legeme ved den temperatur, hvor platin størkner under trykket 101 325 newton pr. kvadratmeter.

Supplerende enheder

I SI-systemet indgår der to geometriske enheder, som nævnt i tabellen herunder, og som supplerer grundenhederne.

Størrelse	Den suppl. SI-enheds navn	Symbol
Vinkel, plan Rumvinkel	radian steradian	rad sr

MÅLEENHEDER

Radian

En radian er vinklen mellem to cirkelradier, som af cirkelperiferien udskærer en buelængde lig cirklens radius.

Steradian

En steradian er den rumvinkel, som af en kugleflade med centrum i rumvinklens toppunkt udskærer et areal lig arealet af et plant kvadrat, hvis side er lig kuglens radius.

Afledede enheder

Afledede enheder udtrykkes algebraisk ved de grundlæggende enheder og/eller de supplerende enheder. Deres symboler dannes ved multiplikation eller division; for eksempel er SI-enheden for hastighed pr. meter pr. sekund (m/s), og SI-enheden for vinkelhastighed er radian pr. sekund (rad/s).

For nogle af de afledede enheder findes der særlige navne og symboler, som nævnt i tabellen herunder.

Størrelse	SI-enhedens navn	Symbol	SI-enheden udtryk ved grund- eller afledede enheder
Frekvens	hertz	Hz	1 Hz = 1 s^{-1}
Kraft	newton	N	1 N = 1 kg · m/s^2
Tryk, spænding	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m^2
Arbejde, energi og varmemængde	joule	J	1 J = 1 N · m
Effekt	watt	W	1 W = 1 J/s
Elektrisk ladning	coulomb	C	1 C = 1 A · s
Elektrisk potential, elektromotorisk kraft	volt	V	1 V = 1 W/A
Elektrisk kapacitans	farad	F	1 F = 1 A · s/V
Elektrisk resistans	ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A
Elektrisk konduktans	siemens	S	1 S = 1 Ω^{-1}
Magnetisk flux	weber	Wb	1 Wb = 1 V · s
Magnetisk induktion, magnetisk fluxtæthed	tesla	T	1 T = 1 Wb/m^2
Induktans	henry	H	1 H = 1 V · s/A
Lysstrøm	lumen	lm	1 lm = 1 cd · sr
Illuminans, belysningsstyrke	lux	lx	1 lx = 1 lm/m^2
Aktivitet	baequerel	Bq	1 Bq = 1 s^{-1}
Absorberet dosis	gray	Gy	1 Gy = 1 J/kg

Enheder som udgår

Tilsammen udgør grundenheder, supplementsenheder og de afledede enheder behovet for enheder for forskellige størrelser.

Med indførelse af SI-enheder forsvinder mange måleenheder, fx hestekraft, kalorie, tomme, fod, alen og kilopond.

Tillægsenheder

Der findes dog enkelte enheder uden for SI-systemet, som af praktiske grunde beholdes.

Disse kaldes tillægsenheder.

Eksempel

For tid: minut, time og døgn.

For planvinkel: grad, minut og sekund.

For rumfang: liter.

For masse: ton.

Forstavelser (Præfiks)

Ved at sætte en forstavelse foran en enhed får man en større eller mindre enhed, også kaldet multiplum eller mangefold.

Eksempel

Milli foran meter betyder en tusindedel af en meter, dvs. en millimeter og skrives mm.

Forstavelsen i eksemplet milli, kaldes et præfiks.

Vigtigste præfiks

De vigtigste præfiks er:

- Mega, M, for 1 000 000 (fx 1 Mj, megajoule)
- Kilo, k, for 1 000 (fx 1 km, kilometer)
- Milli, m, for 1/1000 (fx 1 mA, milliampere)
- Mikro, μ, for 1/1000 000 (fx 1 μm, mikrometer)
- Mega, M og kilo, k, angiver større værdier end grundenheden. Eneste undtagelse er kilogram.
- Milli, m, og mikro, μ, angiver mindre værdier end grundenheden.
- Enheden for masse er kilogram.

Oversigt

I tabellen herunder gives en oversigt over forekommende multipla, talfaktorer og præfiks; parentes om et præfiks betyder, at denne er mindre anvendt.

Multipla	Den faktor som enheden multipliceres med	Præfiks	
		Navn	Symbol
	10^{9}	(giga)	G
1 000 000	10^{6}	mega	M
1 000	10^{3}	kilo	k
	10^{2}	(hekto)	h
	10^{1}	(deka)	da
	10^{-1}	(deci)	d
	10^{-2}	(centi)	c
0,001	10^{-3}	milli	m
0,000001	10^{-6}	mikro	μ
	10^{-9}	nano	n

I tabellen herunder nævnes de almindeligst forekommende størrelse, enheder og multipla.

Størrelse	Enhed	Multipla	Symbol
Strømstyrke	1 ampere, A	milliampere	mA
		mikroampere	μA
Spænding	1 volt, V	megavolt	MV
		kilovolt	kV
		millivolt	mV
Modstand	1 ohm, Ω	megaohm	MΩ
		kiloohm	kΩ
Effekt	1 watt, W	megawatt	MW
		kilowatt	kW
Arbejde, energi	1 joule, J	megajoule	MJ
		kilojoule	kJ
Kraft	1 newton, N	meganewton	MN
		kilonewton	kN
Tryk	1 pascal, Pa	megapascal	MPa
		kilopascal	kPa

Definitioner

I SI-systemet er der valgt meget få grundenheder og disse er defineret meget præcist.

Den videnskabeligt korrekte definition af de 7 grundenheder er tidligere nævnt; men i det følgende gives en lettere tilgængelig definition af disse samt andre almindeligt forekommende enheder.

Alle grundenheder, undtagen kilogram, er fysisk definerede. Det betyder, at de kan påvises i laboratorium.

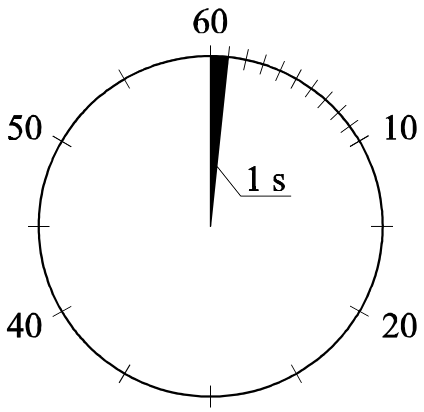
Supplementsenhederne er geometrisk definerede.

Længde

Meteren er den samme som i gamle systemer, men defineres nu som en vis længde af en stråling, der kan udsendes af gassen krypton.

Meter, kilometer, centimeter og millimeter anvendes, men decimeter bør undgås.

Tid

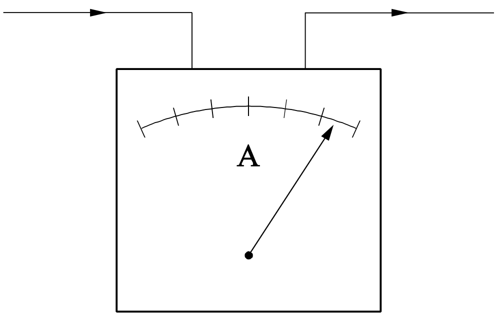


Sekunder defineres kernefysisk på lignende måde som meteren.

Sekund forkortes s, timer forkortes h, og minutter min.

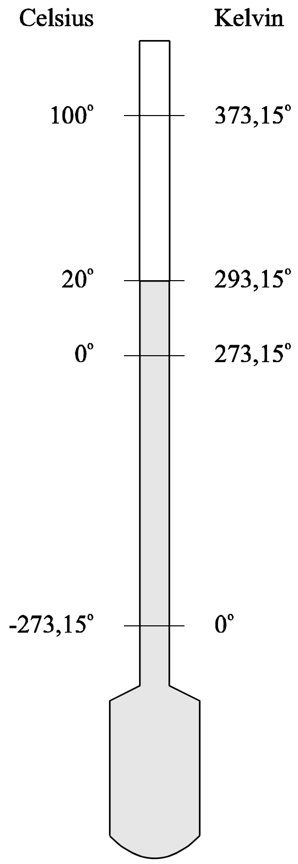
Strømstyrke

1 ampere er defineret som den strøm, der hos to parallelle ledere 1 m fra hinanden i et lufttomt rum giver kraften $2 \cdot 10^{-7}$ N (Newton).

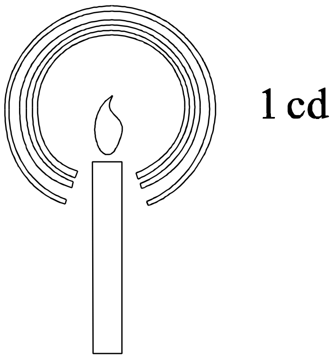


Temperatur

Kelvin er enheden for temperatur, skrives K og er lige så stor som celcius-graden. Dvs., at afstanden mellem stregerne på de to termometre er ens.



Lysstyrke

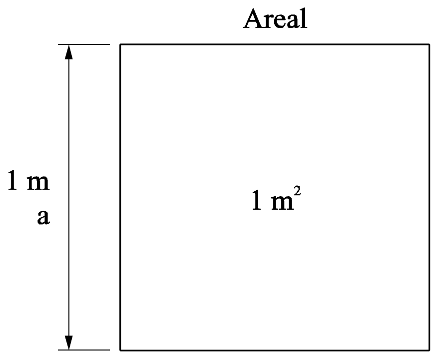


Enheden for lysstyrke er candela og forkortes cd.

1 cd defineres som den lysstyrke, der udsendes fra et sort stof, som opvarmes til en bestemt temperatur under tryk.

Et stearinlys har en lysstyrke på ca. 1 cd.

Areal



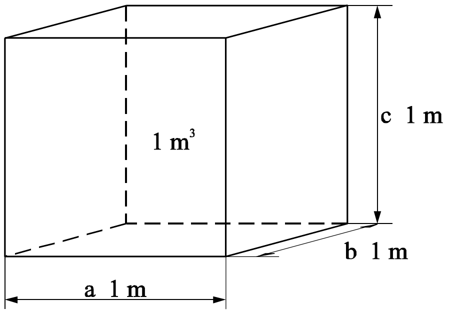
Areal måles i kvadratmeter, m^2.

Masse-kraft-tyngde-vægt

SI-systemet skelner klart mellem begreberne masse, kraft, tyngde og vægt.

I ældre målesystemer kunne grænserne mellem ovennævnte være utydelige.

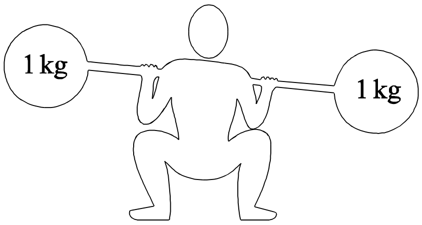
Rumfang

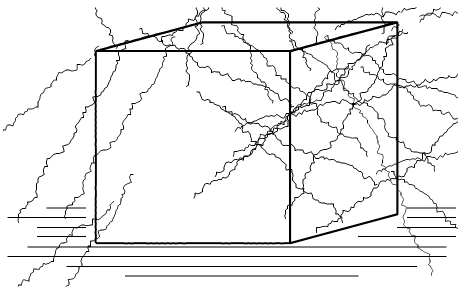


Enheden for rumfang, også kaldet volumen, er kubikmeter (m^3).

Liter (l), bruges stadig, men brug af deciliter og centiliter må undgås.

Masse (vægt)





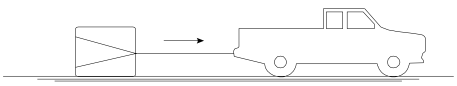
Kilogram defineres i lighed med tidligere som massen af den internationale kilogramprototype.

Man bruger udtrykket masse i stedet for vægt, da vægt har en uklar betydning.

Enhederne gram, milligram og ton anvendes.

Masse er et legemes stofindhold. Kilogram er enheden for masse.

Kraft



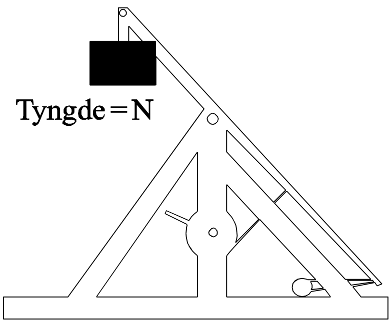
Newton (N) er måleenheden for kraft. En newton er den kraft, som kan accelerere (øge farten) en masse på et kilogram med en meter pr. sekund i anden.

$$1\ N\ =\ 1\ kg \cdot 1\ m/s^2$$

Man kan altså ikke angive en kraft i fx kp, kg eller g.

Kraft er det, som ændrer et legemes bevægelsestilstand. Newton er enheden for kraft.

Tyngde



Tyngde forstås ofte som den kraft, der virker på et legeme som følge af jordens tiltrækningskraft.

Newton er derfor også enhed for tyngde.

Når begreberne masse og tyngde let forveksles, skyldes det, at samme masse altid har næsten samme tyngde her på Jorden.

Tyngdekraften virker på alle stoffer og trækker dem mod jordens centrum. Jo større masse, desto større er tiltrækningskraften.

To legemer som har samme tyngde, fordi de befinder sig samme sted, har dermed også samme masse, eller som vi siger i daglig tale: de har samme vægt. Vægten angiver stofmængden, massen; tyngden angiver jordens tiltrækningskraft.

Tyngde = N

I stor afstand fra Jorden er tiltrækningskraften lille og helt ude i rummet er den forsvindende lille.

Tryk

Pascal, Pa, er enheden for tryk og er lig med newton pr. kvadratmeter.

1 Pa er et lille tryk, atmosfærens tryk er

ca. 100 000 Pa.

Derfor er enhederne kilopascal, kPa og megapascal, MPa mest anvendt.

Trykket kan findes som resultat af kraftens størrelse og det areal, hvorpå kraften virker vinkelret:

$$Tryk = \frac{kraft}{areal} \Rightarrow 1\ Pa = \frac{N}{m^2}$$

Arbejde, energi

Arbejde og energi er det samme og måles derfor i samme enhed.

Udtrykket arbejde bruges i fysikken om en kraft, der påvirker et legeme og dette samtidig flytter sig.

Udtrykket energi bruges om et legeme, eller ofte et system, der er i stand til at udføre et arbejde.

En optrukken urfjeder indeholder energi. Når fjederen får urets visere til at dreje, udføres et arbejde.

Elektrikeren kan i flæng bruge udtrykkene arbejde og energi, i praksis er der ingen forskel.

Joule (udtales dju'l) er enheden for arbejde og energi. Joule forkortes J. Joule defineres som en newtonmeter, og er lig med watt · sekunder.

$$1\ J = 1\ Nm = 1\ Ws$$

Enheden Wh indgår ikke i SI-systemet, men vil stadig findes, da den er så stærkt forankret i elektronikken. I praksis anvendes mest kilowatt-time, kWh.

En kilowatt-time er ca. lig med 3,6 megajoule.

1 kWh ~ 3,6 MJ

1 kalorie er lig med 4,1868 joule.

I praksis regnes 1 cal ~ 4,19 J.

1 g vand som opvarmes 1^{o}C kræver et arbejde på 4,19 J.

1 kg som løftes 1 m kræver et arbejde på 9,81 J.

Enheden joule erstatter altså flere "gamle" energienheder.

Effekt

Watt er enheden for effekt og er lig med en newtonmeter pr. sekund.

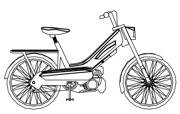
$$W = 1\ Nm/s = 1\ J/s$$

Dette gælder både "elektrisk", "mekanisk" og "termisk" effekt, idet der ikke er forskel.

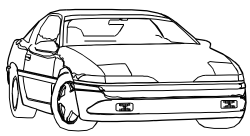
Enheden hestekraft hk erstattes derfor af Watt. Motoren måles i kW.

$$1\ hk = 736\ W,\ eller\ omvendt\ -$$

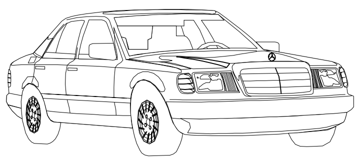
$$1\ kW = 1{,}36\ hk$$



En knallert
ca. 0,7 kW



En lille bil
30 - 60 kW



En stor bil
100 - 120 kW

Omregning

En vigtig grund til at bruge SI-systemet er, at besværlige omregninger undgås.

Den viste omregningstabel kan lette overgangen fra brug af gamle enheder til nye.

	Omregning gamle enheder til SI-enheder		Omregning SI-enheder til gamle enheder	
	Gammel enhed	= SI-enhed	SI-enhed =	Gammel enhed
Kraft	1 hk 1 cal/s 1 kcal/h 1 kpm/s	0,736 kW 4,19 W 1,16 W 9,81 W	1 kW 1 W 1 W 1 W	1,36 hk 0,24 cal/s 0,86 kcal/h 0,102 kpm/s
Arbejde	1 cal 1 kcal 1 kpm 1 kWh 1 hkh	4,19 J 4,19 kJ 9,81 J 3,6 MJ 2,65 MJ	1 J 1 kJ 1 J 1 MJ 1 MJ	0,24 cal 0,24 kcal 0,102 kpm 0,28 kWh 0,38 hkh
Kraft	1 kp	9,81 N	1 N	0,102 kp
Længde	1 inch (eng.tom-me) 1 foot 1 nautic mile	25,4 mm 0,305 m 1,852 km	1 m 1 m 1 km	39,37 inch 3,28 foot 0,54 nautic mile
Tryk	1 atm 1 kp/cm² 1 kp/mm² 1 bar	101,3 kPa 98,1 kPa 9,81 MPa 0,1 MPa	1 MPa 1 kPa 1 MPa 1 Pa	9,87 atm 10,2 kp/cm² 0,102 kp/mm² 10 µbar

Eksempler

I det følgende gives tre eksempler på anvendelse af tabellen ved omregning af gamle enheder til nye.

hk omregnet til kW.

$$5\ hk = 5 \cdot 0{,}736 = 3{,}68\ kW$$

kcal omregnet til kJ

$$25\ kcal = 25 \cdot 4{,}19 = 104{,}75\ kj$$

kWh omregnet til MJ

$$28\ kWh = 28 \cdot 3{,}6 = 100{,}8\ MJ$$

Fysik

Fysik er læren om grundenhedernes fundamentale egenskaber og sammenhænge.

Kraft

Når et legeme forandrer sin hvile- eller bevægelsestilstand, kan man altid påvise, at et andet legeme er skyld deri, idet der fra dette legeme udgår en kraft.

Ved en kraft forstår man derfor den årsag, der bevirker, at et legemes hastighed eller bevægelsesretning forandres.

Gnidningsmodstand, luftmodstand, elektromotorisk kraft, magnetisme og lignende er eksempler på kræfter.

Aktion og reaktion

Aktion og reaktion betyder kraft og modkraft, og når et legeme påvirker et andet legeme med en kraft, vil det andet legeme påvirke det første med en lige så stor, modsat rettet kraft.

Loven om, at der til enhver kraft vil svare en lige så stor, men modsat rettet kraft, udtrykkes for første gang af englænderen Newton.

Kraftoverføring

Kraftoverføring kan udføres ved hjælp af: taljer, remtræk, kædetræk, tand- og kamhjul samt snekkedrev.

Friktion

Friktion betyder gnidningsmodstand og opstår, når to flader gnider mod hinanden.

Gnidningsmodstanden spiller i det daglige liv en stor rolle, snart nyttig og snart skadelig.

Var der ingen gnidningsmodstand, ville man ikke kunne gå, møblerne ville ikke stå fast, søm og skruer ville ikke blive siddende osv. Gnidningsmodstanden er skadelig, når den modsætter sig en nyttig bevægelse.

Tyngdekraft

Jordkloden trækker alle legemer ind mod Jordens midtpunkt. Dette træk kaldes tyngdekraften og er årsagen til, at et legeme falder ned mod jorden, hvis det ikke understøttes.

Man tillægger en kraft en vis retning og størrelse. Kraftens retning er den, som et frit bevægeligt legeme vil følge, hvis det sættes i bevægelse af kraften.

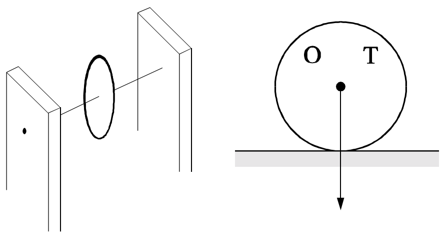
Tyngdekraftens retning er således lodret.

Tyngdepunkt

I ethvert fast legeme er der et punkt med den egenskab, at legemet er i ro i en hvilken som helst stilling, hvis punktet understøttes eller ophænges. Dette punkt kaldes tyngdepunktet.

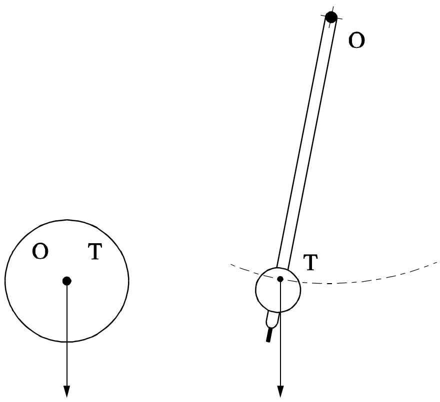
Ligegyldig ligevægt

Ophænges eller understøttes et legeme i tyngdepunktet, vil det være i ro i alle stillinger og legemet er i ligegyldig ligevægt.

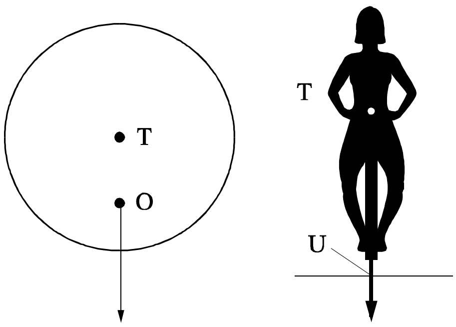


Stadig ligevægt

Hvis et legeme ophænges i et tilfældigt punkt og svinges frem og tilbage, vil det til sidst falde til ro, når tyngdepunktet befinder sig lodret under ophængningspunktet, og det siges, at legemet er i stadig ligevægt.

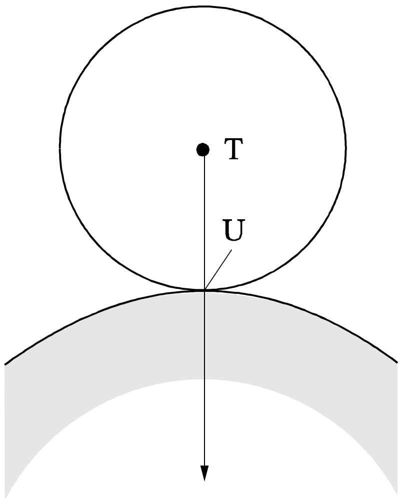


Ustadig ligevægt



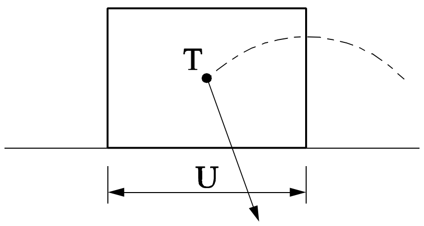
Med noget besvær kan et legeme ophænges, så tyngdepunktet ligger lodret over ophængningspunktet eller understøtningspunktet, men ved mindste påvirkning vil det falde ud af denne stilling uden selv at vende tilbage dertil, og det siges, at legemet er i ustadig ligevægt.

Faldlinien

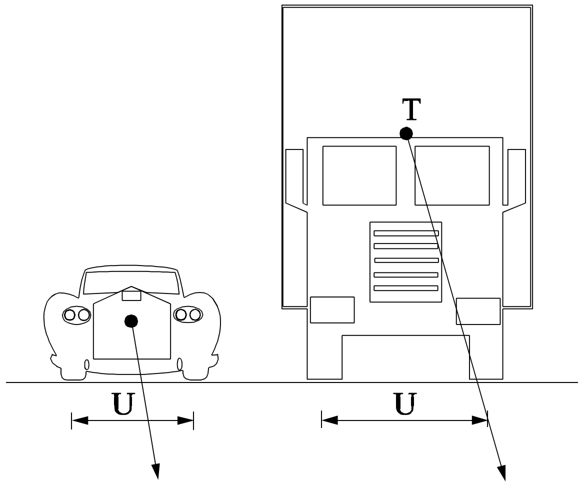


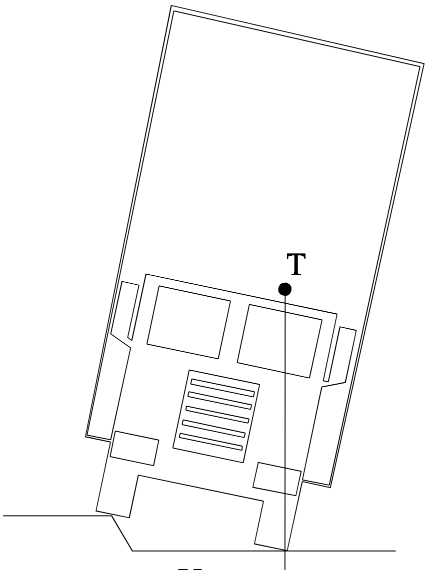
En lodret linie gennem tyngdepunktet kaldes faldlinien, fordi tyngdepunktet bevæger sig ad denne linie, når legemet falder frit.

Hviler et legeme på et underlag, vil det blive stående, hvis faldlinien træffer inden for understøtningsfladen.



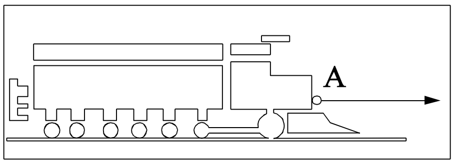
Træffer faldlinien uden for understøtningsfladen, vil legemet vælte.





Et legeme står mere fast, jo lavere tyngdepunktet ligger, jo større understøtningsfladen er, og jo længere fra understøtningsfladens grænser faldlinien træffer underlaget. En højt læsset vogn vil derfor lettere vælte end en lavt læsset vogn.

Angrebspunkt

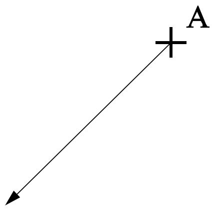


Det punkt, hvori kraften øver sin indflydelse, kaldes kraftens angrebspunkt.

Alle punkter i kraftens retning kan være angrebspunkt, uden at bevægelsesretningen ændres.

Et lokomotiv kan i denne forbindelse lige så godt kobles bagefter som foran en vognstamme.

Afbildning



En kraft kan afbildes som er ret linie, der udgår fra et angrebspunkt A og ender i en pilespids, der angiver kraftens retning. Liniens længde angiver kraftens størrelse i et nærmere angivet størrelsesforhold, fx 1 cm = 10 N.

Måling af kræfter

Måleenheden for kraft er newton (N). 1 N = 0,102 Kp svarende til 0,102 kg.

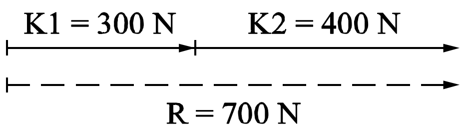
Kræfter i samme virkelinie

Når to kræfter virker i samme punkt af et legeme, kan disse sammensættes til en kraft, der har den samme virkning som de to givne kræfter.

En sådan kraft kaldes resultanten.

Virker de to kræfter i samme retning, er resultanten lig deres sum, og virker de i modsatte retninger, er resultanten lig deres forskel.

Eksempel



Trækker fx en mand i et tov med 300 N og en anden i samme retning med 400 N, bliver det resulterende træk:

$$R = 300 + 400 = 700\ N$$

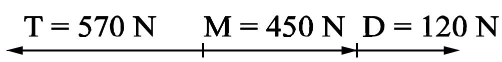
Resultanten bliver altså 700 N.

Eksempel

I den ene ende af et reb trækker en tyr med kraften 570 N, i den anden ende af rebet trækker en mand med 450 N, men hjælpes af en dreng, som trækker så kraftigt, at der netop er ligevægt.

Drengens træk D må være:

$$D = 570 - 450 = 120\ N$$



Flere kræfter i samme virkelinie

Har nogle af kræfterne modsat retning, er det praktisk, om man først finder resultanten af de kræfter, som virker i den ene retning, og derefter dem, som virker i modsat retning.

Ved at trække den mindste resultant fra den største kan man derpå finde den endelige resultant og dens retning.

Vægtstænger

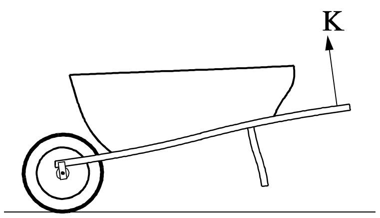
Ethvert legeme, der kan drejes om en fast akse, kan benævnes en vægtstang.

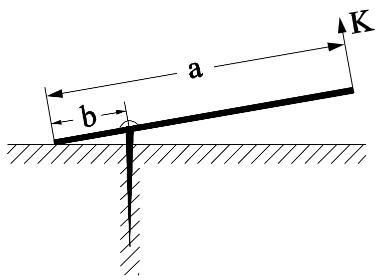
En vægtstang virker således, at hvis den påvirkes af en kraft et sted, udvikles der en kraft et andet sted på vægtstangen.

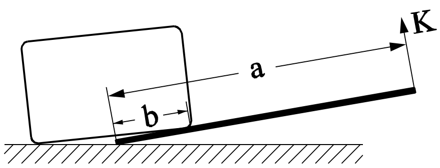
En-armede vægtstænger

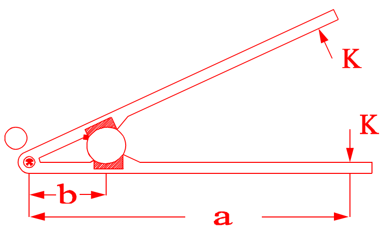
Virker kræfterne på samme side af vægtstangens omdrejningspunkt, benævnes den en-armet vægtstang.

Armene på en trillebør, en løftestang, et brækjern, en kapselåbner og stangen på en vægtbelastet sikkerhedsventil er eksempler på en-armede vægtstænger.

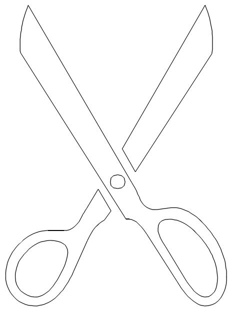


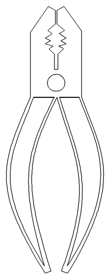




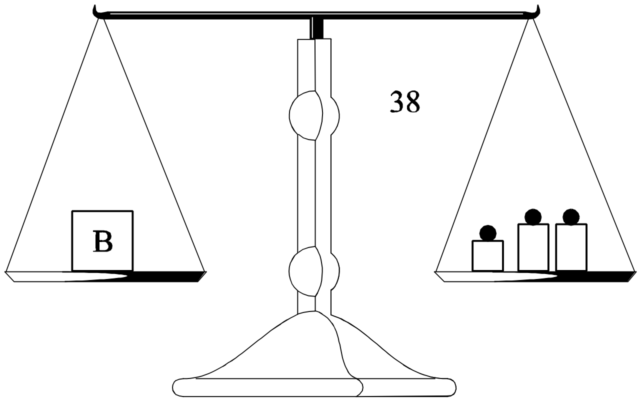


To-armede vægtstænger





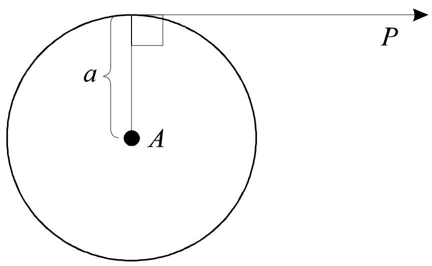
En vægtstang, hvor kræfterne virker på hver side af omdrejningspunktet, benævnes en to-armet vægtstang.



De to-armede vægtstænger kan enten være lige-armede eller ulige-armede.

Undertiden bruger man to vægtstænger med fælles akse. En saks og en tang er eksempler herpå.

Momenter

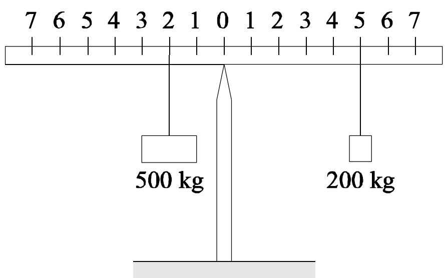


Figuren forestiller et legeme, der kan dreje om en akse A. P er en kraft, der vil søge at dreje legemet.

Kraftens drejeevne afhænger ikke blot af kraftens størrelse, men også af dens vinkelrette afstand a fra aksen.

Denne afstand kaldes kraftens arm.

Drejeevnen kan måles ved produktet af kraften og dens arm, og måleenheden er newton-meter.



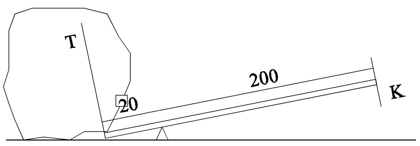
Dette produkt benævnes drejningsmomentet.

Drejningsmomentet forandres ikke ved, at kraften og dens arm antager andre værdier, når blot deres produkt bliver uforandret; man kan således nøjes med en halv så stor kraft, når man lader den virke på en dobbelt så lang arm.

$$500 \cdot 2 = 200 \cdot 5$$

For at en vægtstang kan være i ro, skal de momenter, som søger at dreje stangen den ene vej, netop have samme størrelse som dem, der søger at dreje den anden vej.

Vægt og kraft



Vægt som måles i kg anvendes når det skal angives, hvor meget en genstand vejer, men kraften som måles i N er den kraft, der skal til for at løfte eller trække en genstand.

Den viste sten skal bevæges ved hjælp af en to-armet vægtstang, hvorpå man trykker nedad med kraften K = 50 N.

Trykket T på stenen findes således:

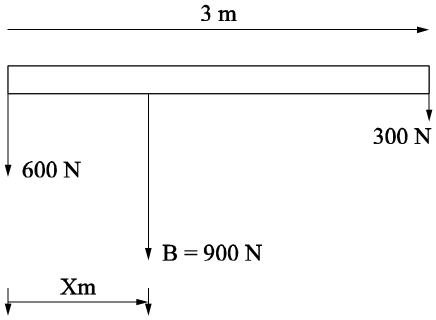
$$T \cdot 20 = K \cdot 100$$

$$T = \frac{K \cdot 100}{20} = \frac{50 \cdot 100}{20} = 250\ N$$

Parallelle kræfter

Påvirkes et legeme af flere parallelle kræfter, som virker i samme retning, men har forskellige angrebspunkter, kan resultantens angrebspunkt findes som vist i følgende eksempel.

Eksempel



To mænd bærer i forening en byrde på 90 kg på en lang stang, idet stangen ligger med sine ender på deres skuldre.

Den ene mand bærer 60 kg.

Find resultantens angrebspunkt, dvs. det sted på stangen, hvor byrden skal ophænges.

Den anden mand bærer:

$$90 - 60 = \underline{\underline{30\ kg}}$$

Afstanden fra den første mand til byrden kaldes x.

Momentet på venstre side af ophængningspunktet er:

$$60 \cdot x$$

Momentet på højre side er:

$$30 \cdot (3 - x) = 90 - 30x$$

De to momenter er modsat rettede og skal være lige store, altså:

$$60x = 90 - 30x$$

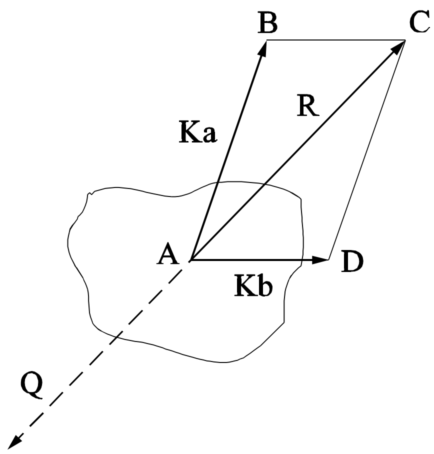
$$60x + 30x = 90$$

$$90x = 90$$

$$\underline{\underline{x = 1}}$$

Ophængningspunktet må altså ligge 1 m fra de 60 kg.

Ikke parallelle kræfter



Sammensætningen af to kræfter, som virker i samme plan og har samme angrebspunkt, foretager man lettest grafisk.

Resultanten kan fremstilles ved diagonalen i det parallelogram, hvis sider er lig og parallel med de to kræfter.

De to kræfter Ka og Kb benævnes undertiden komposanter.

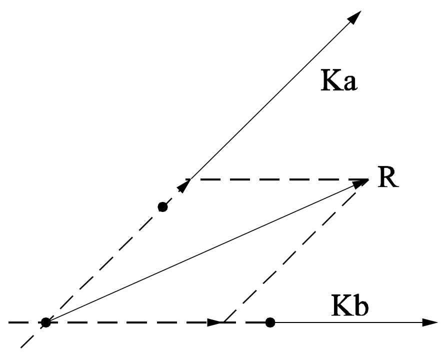
Figuren kaldes kræfternes parallelogram.

Resultanten R, som i størrelse og retning afbildes ved diagonalen AC, vil få et legeme til at bevæge sig på samme måde, som når det er påvirket af Ka og Kb.

Tilføjes en kraft Q lig med og modsat rettet R, må legemet være i ligevægt.

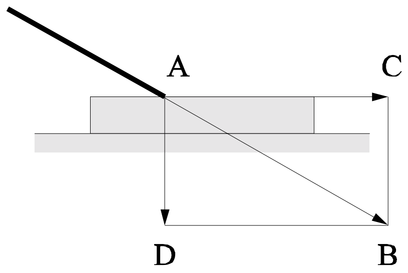
Q kan altså holde Ka og Kb i ligevægt.

Kraftforskydning



Har de to kræfter ikke samme angrebspunkt, må man før optegningen af diagrammet forskyde kræfterne i deres virkelinier, så angrebspunkterne falder sammen.

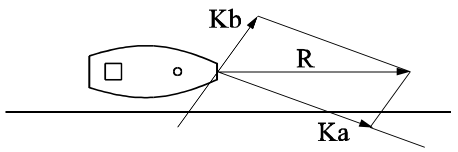
Opløsning af kræfter

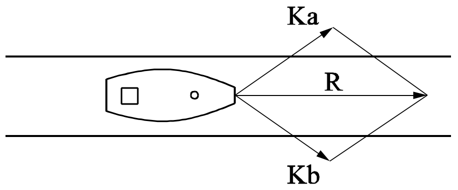


En kraft B kan opløses i to eller flere kræfter, D og C, dvs. man kan finde to eller flere, der tilsammen har den samme virkning som den givne kraft.

Skubbes et legeme, fx en slæde, hen ad et vandret underlag ved hjælp af en stang, virker kraften i stangens længderetning. For at finde kraftens virkning på legemet kan man opløse den i en vandret og en lodret kraft.

Den vandrette kraft AC giver legemet bevægelse, mens den lodrette kraft AD virker til at forøge legemets tryk mod underlaget.





På tilsvarende måde kan en kraft R opløses i to kræfter i valgfri retning.

Figuren viser en båd, som trækkes langs bredden af en mand med kraften Ka, mens en anden mand med en bådshage med kraften Kb forhindrer båden i at støde mod bredden. De to mænd afpasser deres kræfter efter hinanden således, at resultanten R bliver parallel med bredden.

Skal båden trækkes gennem en kanal, kunne de to mænd passende trække i hvert sit tov på hver sin side af kanalen.

Aktion og reaktion

Aktion og reaktion betyder kraft og modkraft eller tryk og modtryk.

En reaktion optræder kun, når den fremkaldes af en aktiv.

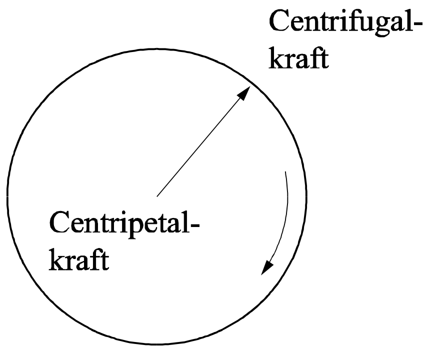
Eksempel

Et bord, som står på gulvet, påvirker på grund af sin vægt gulvet med en lodret nedadvirkende kraft; men gulvet vil trykke på bordbenene med en lige så stor, lodret opadvirkende reaktion. Hvis gulvet ikke kan frembringe denne fornødne modkraft vil det "give sig" eller gå i stykker.

Centripetalkraft

Centripetal betyder midtpunktsøgende, og svinges fx en sten, som er bundet fast i en snor, rundt i vandret cirkelbevægelse, er det håndens træk i snoren, der frembringer den nødvendige aktion, som kaldes centripetalkraft.

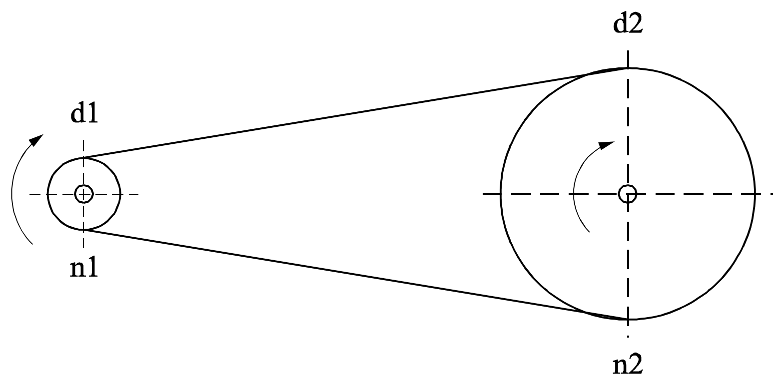
Centrifugalkraft



Centrifugal betyder midtpunktsflydende, og brister snoren som stenen slynges rundt i, farer stenen videre i retning af tangenten til cirklen. På grund af sin inerti gør stenen modstand mod stadig at føres ud af den retlinede bevægelse. Denne modstand, der er reaktionen mod centripetalkraften og altså lige så stor som denne, kaldes centrifugalkraften og mærkes som et træk i snoren.

Udveksling

Ved udveksling menes ændring fra et omdrejningstal til et andet samt en deraf følgende ændring i drejningsmomentet.



Udveksling kan udføres som remtræk, tandhjul, snekkedrev, taljer mv.

Ved remtræk overføres den ene aksels rotation til den anden. Har to remskiver samme diameter, vil akslerne løbe praktisk talt lige hurtigt. Er derimod den ene remskive mindre end den anden, vil skivernes omkreds nok have samme periferihastighed, men den ene aksel må løbe hurtigere end den anden.

Sætter man et mærke et sted på omkredsen af hver skive samt et sted på remmen, kan man konstatere, hvor mange gange den lille remskive må dreje sig, for at den store drejer sig en omgang.

Ganger man den ene aksels omdrejningshastighed med skivens diameter, må man komme til samme tal, som hvis man ganger den anden aksels omdrejningstal med dens skivediameter.

$$d1 \cdot n1 = d2 \cdot n2$$

Eksempel

Er den ene aksels omdrejningshastighed n og dens skivediameter 500 mm, mens den anden aksel drejer 70 omdrejninger pr. minut, og dens skivediameter er 150 mm, får man:

$$500 \cdot n = 150 \cdot 70$$

$$n = \frac{150 \cdot 70}{500} = 21 \ omdrejninger \ pr. \ minut$$

I virkeligheden vil remme altid glide lidt på skiverne.

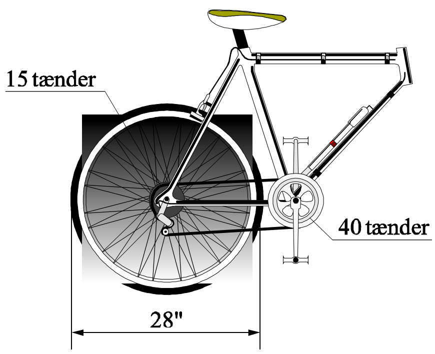
Slippet er i reglen ca. 5 %.

Forskellen i periferihastighed kaldes slippet.

Kam- og tandhjul

Kam- og tandhjul forekommer i mange former: almindelige cylindriske tandhjul med lige tænder, hjul med skrå tænder, snekkehjul, skruehjul, koniske kamhjul mv.

Beregning



Skal man opstille en beregning over omsætningsforholdet i lighed med eksemplet for remtræk, men for kædehjul eller kamhjul, kan man i stedet for skivediametrene bruge hjulenes tandantal som forholdstal.

Er krankhjulet på en cykel forsynet med 40 tænder, og det lille kædehjul på bagakslen med 15 tænder, kan forholdet mellem tandantallene beregnes som:

$$\frac{40}{15} = 2{,}67$$

Udvekslingen er 1:2,67

Hver gang pedalerne drejes en gang rundt, drejes baghjulet 2,67 gange rundt.

Da baghjulets diameter er 28", det vil sige ca. 71 cm, kan omkredsen beregnes som:

$$71 \cdot \pi = 71 \cdot 3{,}14 = 223 \; cm$$

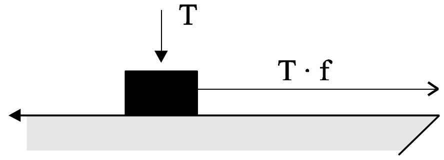
Drejes baghjulet en gang rundt, kommer man altså 2,23 m frem. Når pedalerne drejes en gang rundt, kommer man:

$$2{,}67 \cdot 2{,}23 = ca. \; 6 \; meter \; frem$$

Gnidningsvarme

Når to legemer glider eller ruller mod hinanden fremkommer der gnidningsmodstand, som søger at hindre bevægelsen. Energien som herved udvikles benævnes gnidningsvarme.

Gnidningsmodstand



Gnidningsmodstanden er lige så stor som det vinkelrette tryk mellem legeme og flade gange et ubenævnt tal f, som afhænger af de berørende fladers beskaffenhed.

Gnidningskoefficienten

Det ubenævnte tal f kaldes for gnidningskoefficienten. Værdien for f kan findes i tabeller.

Eksempler på gnidningskoefficienter er vist i tabellen.

Materiale	Start	Drift
Stål mod is	0,265	0,137
Træ mod metal	0,5884	0,4904

Eksempel

En slæde, som med læs vejer 100 kg, skal trækkes over is.

For at få slæden i gang skal der trækkes:

$$100 \cdot 0{,}265 = 26{,}5 \; N$$

For at holde slæden i gang skal der trækkes:

$$100 \cdot 0{,}137 = 13{,}7 \; N$$

Acceleration

Ved acceleration menes forholdet mellem hastighedsforøgelsen og den dertil nødvendige tid altså hastighedsforøgelse/tid. Acceleration måles normalt i m/s2.

Eksempler

Som eksempler på acceleration kan nævnes:

Tog ca. 0,2 m/s^2

Bil ca. 1,5 m/s^2

Rumraket 90 m/s^2

Inerti

Ved en masses inerti menes massens træghed mod forandring i dens retning eller hastighed.

Inertiens love er beskrevet i Newtons 1. og 2. lov.

Newtons 1. lov

Ethvert legeme vil forblive enten i ro eller i jævn bevægelse, så lang tid der ikke virker nogen kraft på det udefra, eller såfremt påvirkningerne (kræfterne) ophæver hinanden og holder hinanden i ligevægt.

Newtons 2. lov

Kraften, der skal give et vist legeme en vis acceleration, er lig med masse gange acceleration.

Lys

Lys er en energistråling, der fremkommer ved en elektromagnetisk svingning, som opstår ved, at et elektron forlader sin bane og vender tilbage igen. For at elektronet kan forlade sin bane, skal det tilføres energi, som det så frigiver igen, når det vender tilbage. Denne frigivne energi fra et elektron kaldes en Foton eller en Kvante. Sker denne svingning frem og tilbage tilstrækkeligt hurtigt, ved en frekvens mellem $4{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz og $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz, fremstår den afgivne energi som synligt lys. Dette svingningsområde kaldes "Det synlige spektra". Ved andre frekvenser er den afgivne energi af en anden art, se på skema næste side.

I stedet for at måle den afgivne energi i hertz, måles den også i bølgelængden: nanometer eller ångstrøm.

Bølgelængden:

$$\lambda = \frac{n}{f} \cdot 1000 \ (m)$$

n = lysets hastighed 300 000 km/s

1 nm = 10^{-9} meter

1 ångstrøm = 10^{-10} meter

Eksempel

$4{,}3 \cdot 10^{14}$ ½ omregnet til nm

$$\lambda = \frac{300.000}{4{,}3 \cdot 10^{14}} \cdot 1000 \cdot 10^{9} = 700 \; nm$$

$$\lambda = 7000 \; ångstrøm$$

Hz	m	
300	10^{6}	
3×10^{4}	10^{4}	Elektrisk kraft transmision
3×10^{6}	10^{2}	Radio
3×10^{8}	1	Fjernsyn
3×10^{10}	10^{-2}	Rader
3×10^{12}	10^{-4}	Infrarød varme
3×10^{14}	10^{-6}	**Synligt spektra**
3×10^{16}	10^{-8}	Ultraviolet
3×10^{18}	10^{-10}	Røntgen
3×10^{20}	10^{-12}	
3×10^{22}	10^{-14}	Radioaktiv stråling
3×10^{24}	10^{-16}	
3×10^{26}	10^{-18}	Kosmisk stråling

4×10^{14} Hz	750 nm
Mørkerød	
$4{,}3 \times 10^{14}$ Hz	700 nm
Rød	
$4{,}6 \times 10^{14}$ Hz	650 nm
Orange	
5×10^{14} Hz	600 nm
Gul	
Lysegrøn	
$5{,}4 \times 10^{14}$ Hz	550 nm
Grøn	
6×10^{14} Hz	500 nm
Mørkegrøn	
Lyseblå	
$6{,}6 \times 10^{14}$ Hz	450 nm
Blå	
Mørkeblå	
$7{,}5 \times 10^{14}$ Hz	400 nm
Violet	

Lysstrålen er usynlig, men lyskilden og det lyset rammer er synligt for det område, der ligger i det synlige spektra. Uden for dette område er lyset usynligt. Fra solen og universet kommer den naturlige stråling, men jordens atmosfære holder det meste af den kortbølgede stråling, fra 400 nm og opefter, tilbage. De infrarøde stråler fra solen er varme stråler og de ultraviolette stråler er de kolde stråler som gør os brune.

Farver

At en flade er synlig og har farve, er fordi den tilbagekaster strålingen af en bestemt frekvens fx $4{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz, fladen er rød. Alle andre frekvenser absorberes i fladen og omsættes til varme. En flade som tilbagekaster al stråling er hvid, og en flade som absorberer al stråling er sort.

Farvetemperatur

Man kan tale om, at et lys føles varmt eller koldt. Rødt lys føles fx varmt, blåt lys koldt.

- Jo højere frekvens desto koldere lys -

Tager man fx en jerntråd og varmer den op, kommer jernets molekyler og dermed dets atomer i voldsom bevægelse. Til sidst bliver bevægelsen så voldsom, at nogle af atomets elektroner bliver slået ud af deres baner og vender tilbage igen. Herved frigives den energi, de fik tilført, da de forlod deres bane. Denne frigivne energi kommer ud som varmestråling (infrarød stråling).

Ved kraftigere opvarmning kommer atomerne i endnu voldsommere bevægelse og strålingen bliver synlig, jernet er rødglødende, varmt lys. Den temperatur målt i kelvingrader jernet her har opnået, er denne farves farvetemperatur, den er ca. 2000 ^oK. Varmes jernet nu yderligere op, kommer elektronerne til at svinge på alle frekvenserne inden for det synlige spektra, og jernet er hvidglødende med en kelvintemperatur på 6000 ^oK, lyset føles koldt.

- Jo højere farvetemperatur desto koldere lys

Farvetemperaturen fortæller ikke, om lyskilden har gode eller dårlige farvegengivende egenskaber.

Farvegengivelse

Farvegengivelsesindekset Ra er en karakter for, hvor god en farvegengivelse en lyskilde har i forhold til dagslyset, som har karakteren 100.

Ra-tallet er en gennemsnitsbedømmelse af otte testfarver, som er fastlagt af den internationale belysningskommission (CIE).

Karakteren gives ud fra en skala fra 0-100. Glødelamper har et Ra-tal på 99 og lysstofrør fra 52-97.

Der kan godt være to lyskilder, som har samme Ra-tal, selvom de farvegengivende egenskaber virker forskellige. Dette skyldes, at Ra-tallet er et gennemsnitstal ud fra bedømmelsen af hver enkelt af de otte farver.

En Ra-værdi mellem 90 og 100 er en meget fin farvegengivelse.

En Ra-værdi mellem 70 og 90 er en god farvegengivelse. Hvad der er derunder regnes som dårlig farvegengivelse.

Lyd

Lyden er en bølgebevægelse, som forplanter sig gennem luften. Mens lyset som elektromagnetiske svingninger kan forplante sig også gennem lufttomme rum, kan lyden kun forplante sig gennem luft, faste og flydende legemer.

Lyd kan opfattes som rent mekaniske svingninger.

Ringer man fx med en klokke, slår knebelen mod klokkeskålen, hvorved metallet kommer til at dirre og får luften udenom til at svinge i samme takt.

I øret sætter lyden trommehinden i svingninger, som overføres til hørenerven.

Øret er kun følsomt for lydbølger med bølgelængde på ca. 30 Hz-15 kHz.

I luften er lydens hastighed ca. 340 m/s.

I vand er lydens hastighed 1500 m/s og i stål ca. 5000 m/s.

Det kan let konstateres, at lyd forplanter sig langsommere end lys; fx ser man et lyn, før man hører tordenskraldet.

Ekko

I store, tomme lokaler med hårde, glatte vægge kan lydbølger reflekteres mange gange fra vægge, loft og gulv, således at en enkelt lyd høres mange gange. Dette kaldes efterklang eller ekko.

Akustik

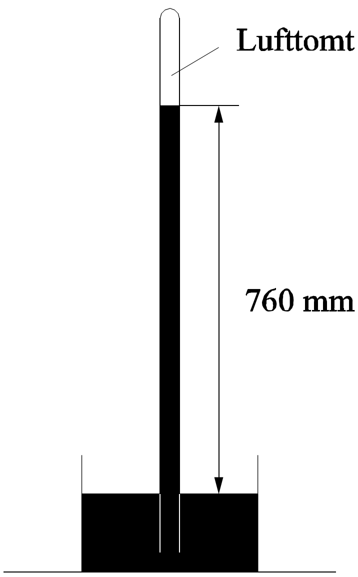
Hvis efterklangstiden i et lokale bliver for stor, dvs., at lyden af en stavelse blander sig stærkt med de følgende, bliver talen vanskelig at opfatte. Dette kan modvirkes ved, at man beklæder væggene med porøst materiale, som har mindre refleksionsevne; herved kan lokalets akustik, dvs. lydmæssige forhold, forbedres.

Atmosfæren

Jorden er omgivet af et ca. 400 km tykt luftlag, og i op til 100 km højde er atmosfærens sammensætning omtrent den samme som ved jordoverfladen, nemlig kvælstof ca. 78 %, ilt ca. 21 %. Resten, ca. 1 % er kultveilte, brint, argon, neon, krypton, helium og xenon.

Atmosfærisk luft er en mekanisk blanding, som ved processer kan spaltes op i de forskellige bestanddele.

Atmosfærisk tryk



På grund af sin vægt udøver atmosfærens luft et tryk på jordoverfladen og på enhver flade, som den kommer i berøring med. Lufttrykket aftager opefter, idet vægten af den ovenfor liggende luftsøjle bliver mindre. I 5 km højde er lufttrykket kun det halve, og i en højde af 100 km er det mindre end en milliontedel af trykket ved jordoverfladen.

Atmosfærens tryk er først målt af italieneren Torricelli i år 1644.

Anbringer man et glasrør på ca. 1 m længde med den ene ende i en skål vand, vil vandet inde i røret stå lige så højt som udenfor, fordi lufttrykket er ens de to steder.

Tilsmelter man røret i den ene ende, lægger det ned i en skål med kviksølv, så det fyldes, og derefter hæver det delvis med den lukkede ende opad, vil det på grund af lufttrykket udenfor holdes fyldt med kviksølv, men det viser sig, at kviksølvet ikke kan stige højere end ca. 76 cm over kviksølvoverfladen i skålen. Rørets vidde er uden betydning, da trykket på hver cm^2 af overfladen i skålen er det samme som på hver cm^2 inde i røret i samme højde.

Da 1 cm^3 kviksølv vejer 13,6 g, findes atmosfærens tryk på 1 cm^2 at være:

$$76 \cdot 13{,}6 = 1034 \ g$$

Atmosfærens tryk er lige så stort som trykket af en vandsøjle på 1034 cm eller ca. 10 m.

Atmosfærens tryk er ikke til stadighed det samme, men kan forandre sig nogle få cm over og under de 76 cm, som er normal barometerstand.

Vindhastighed

Vindens hastighed måles normalt i m/s, men tidligere er der anvendt flere andre måleenheder.

Undertryk

Når man betragter luftens bevægelse, ser man i reglen hovedsagelig på overtrykket, men undertrykket er i mange tilfælde af større betydning.

Ved stormskader skyldes de værste skader ikke sjældent et undertryk. Fx består en tyfon af en kerne med undertryk og en kraftig cirkelformet storm udenom. Når stormcentret passerer, kan det rive hustage af, løfte vogne o.l. og føre dem ret langt bort.

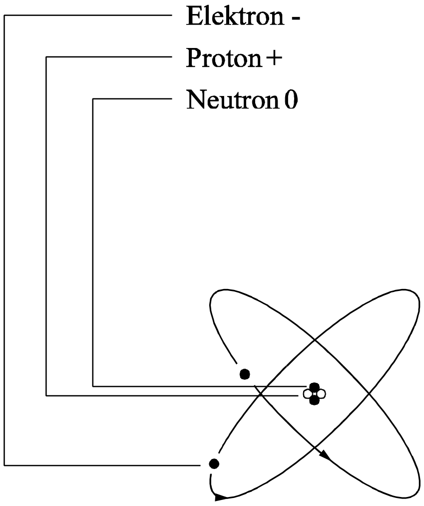
Kemi

Kemi er læren om organiske og uorganiske stoffers sammensætning og reaktioner.

Atomet

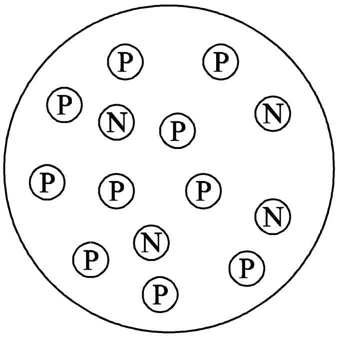
Et atom er den mindste del, hvori et stof kan deles, når dets egenskaber skal bevares (den mindste del af et grundstof der kan indgå i et molekyle).

Opbygning



Atomet består af en kerne, der er omgivet af såkaldte elektronskaller, hvoraf der kan være op til syv. Ordet atom betyder udelelig. På det tidspunkt i historien hvor man bestemte sig for navnet, vidste man ikke at atomet var deleligt. Dette har man senere fundet ud af.

Kernen



Kernen er sammensat af de 2 elementarpartikler protoner og neutroner. Der kan være flere neutroner end protoner i kernen. En proton og en neutron har omtrent samme masse. Antallet af protoner plus antallet af neutroner kaldes tilsammen nukleoner.

Antallet af nukleoner er lig med atomvægten (massetallet).

Antallet af protoner og antallet af elektroner er det samme, hvis atomet udadtil skal være elektrisk neutral.

Antallet af neutroner er mere ubestemmeligt, da disse har til opgave at gøre atomet stabilt, hvilket i dette tilfælde vil sige ikke radioaktivt.

Antallet af protoner i kernen bruges til at give atomet nummer, og dermed også navn. Fx har oxygen (ilt) 8 protoner i kernen. Antallet af protoner for et atom betegnes med bogstavet Z. Antallet af neutroner betegnes med bogstavet N.

A = Z + N

Summen af protoner og neutroner i kernen kaldes for atomets massetal og betegnes med bogstavet A.

Tidligere troede man, at et grundstof bestod af helt ens atomer. Dette har siden vist sig at være forkert, da netop antallet af neutroner kan variere.

Fx således at der findes tre forskellige slags oxygen (ilt) med 8 protoner som oxygen (ilt) skal have, men med 8-9 eller 10 neutroner.

Isotop

Den slags oxygen der findes mest af, er oxygen med 8 neutroner. Dette kaldes for naturligt oxygen (ilt). Oxygen med 9 eller 10 neutroner kaldes for oxygen (ilt) isotoper. En isotop af et grundstof, er et grundstof med det samme antal protoner, men med et afvigende antal neutroner fra det normale. Som en tommelfingerregel kan man sige at der er ca. lige mange af hver, altså lige mange protoner og neutroner. Et grundstof og dets isotoper opskrives på følgende måde.

$$\begin{matrix} 16 & & 17 & & 18 \\ O & & O & & O \\ 8 & & 8 & & 8 \end{matrix}$$

hvor øverste tal er massetallet = antal kernepartikler og nederste tal er antallet af protoner = antallet af elektroner = atomnummeret.

Proton

En proton er en positiv ladet elementar-partikel.

Dens elektriske elementarledning er 4,802 · 10^{-10} elektrostatiske enheder, svarende til 1,59 · 10^{-19} coulomb.

$$1\ Coulomb\ =\ 1\ As$$

Protonens masse er 1,6725 · 10^{-24} gram.

Protonen har en positiv elektrisk ladning, som betegnes med +1 eller +e, hvor e står for størrelsen:- elementarladningen.

Neutron

Neutronen er en i elektrisk henseende neutral elementarpartikel, der kan frigøres fra kernen.

Frie neutroner er radioaktive og kan spaltes til 1 proton, 1 elektron og 1 neutrino.

Neutronen har, som navnet næsten siger ingen elektrisk ladning, den er neutral. Uden om kernen i nogle bestemte baner eksisterer den sidste af elementarpartiklerne, nemlig elektronen.

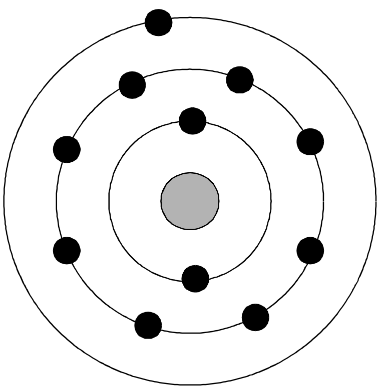
Elektron

En elektron er en negativ ladet elementar-partikel, der bevæger sig omkring kernen i bestemte baner (skaller), og som betegnes med -1 eller -e hvor e her igen står for størrelsen: elementarladningen.

Alle elektroner er ens i ladning, uanset hvilket atom de tilhører.

Elektronernes negative elektriske ladning har samme størrelse som protonernes positive elektriske ladning.

Elektronskaller



Elektronerne uden om kernen er opdelt i forskellige skaller. Et atom kan maksimalt have 7 elektronskaller. Disse elektronskaller kan hver for sig kun indeholde op til et bestemt antal elektroner (se tabel). Der er den begrænsning at den yderste skal på et vilkårligt atom aldrig kan indeholde mere end 8 elektroner og den næst yderste aldrig mere end 18 elektroner. Det skal pointeres at et atom aldrig kan have en tom elektronskal.

Skallerne er nummereret fra kernen af og udefter med både et nummer og et bogstav. Den inderste skal har nummer 1, den næste 2, osv. Skallerne er som sagt også beskrevet med et bogstav, begyndende med K og sluttende med Q. Hver af disse elektronskaller er igen opdelt i underafdelinger med navnet orbitaler.

Orbitaler

Disse orbitaler har ligesom skallerne et maksimalt indhold af elektroner og det er orbitalerne, der bestemmer opfyldningsrækkefølgen af elektroner i atomets skaller. Rækkefølgen af disse og disses egenskaber går ud over denne bogs niveau.

Det Periodiske system

Alle de grundstoffer vi kender i dag, er organiseret i et system, som man kalder det periodiske system.

Den første i verden som satte grundstofferne i system var en russisk kemiker ved navn Dimitrij Mendelejev (1834-1907). Han fandt nemlig ud af, at nogle af grundstofferne havde næsten ens kemiske egenskaber, så dem placerede han sammen. Dette gjorde han i 1869.

I det system han opdagede opstod der nogle huller, eller manglende grundstoffer. Disse forudsagde Mendelejev skulle indeholde nogle endnu ikke opdagede grundstoffer. Han kunne endda forudsige disse manglende grundstoffers egenskaber. Et af de grundstoffer han forudså var Germanium (Ge), som først blev opdaget i 1886, altså 17 år efter at Mendelejev udgav sit system.

Det system som vi idag kalder Det Periodiske System ser en lille smule anderledes ud end det system Mendelejev opfandt.

Grundstoffer

Det periodiske system er opbygget i perioder og grupper. Grundstoffer som indeholder det samme antal elektronskaller, er placeret i samme periode, som findes vandret i det periodiske system, og de grundstoffer som indeholder det samme antal elektroner i yderste skal er placeret i samme gruppe, som findes lodret i det periodiske system.

Grundstoffernes periodiske system

Periode	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1	1 H 1,008																	2 He 4,003
2	3 Li 6,941	4 Be 9,012											5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18
3	11 Na 22,99	12 Mg 24,31											13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,95
4	19 K 39,10	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,94	24 Cr 52,00	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,93	28 Ni 58,71	29 Cu 63,55	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,47	38 Sr 87,62	39 Y 88,91	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,94	43 Tc 98,91	44 Ru 101,1	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4	47 Ag 107,9	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,8	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,3
6	55 Cs 132,9	56 Ba 137,3	57 La 138,9	72 Hf 178,5	73 Ta 180,9	74 W 183,9	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,1	79 Au 197,0	80 Hg 200,6	81 Tl 204,4	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra 226,0	89 Ac (227)	104 Ku (261)	105 Ha (262)	106 106 (263)	107 Ns (264)	108 Hs (265)	109 Mt (266)									

xx	Atomnummer
YY	Symbol
xxxx	Atommasse

Denne opdeling gælder for grundstoffer som er placeret i det periodiske systems hovedgrupper. Hovedgrupperne er de grupper, som er markeret med et A sammen med gruppenummeret. Gruppenummeret er angivet med romertal.

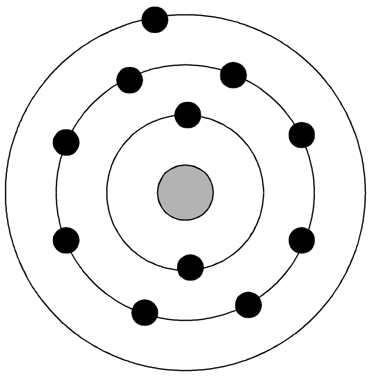
Ud over hovedgrupperne findes der i det periodiske system også nogle undergrupper (mærket med B sammen med gruppenummeret), samt lanthanider og actinider. Da der omkring disses inddeling i grupper hersker stor forvirring, vil vi her koncentrere os om hovedgrupperne.

Metal / ikke metal

Ud over at være opdelt i grupper og perioder, er der også en opdeling af det periodiske system i to store afdelinger, nemlig i metaller og ikke metaller. Denne opdeling sker ved den 'trappe' som kan ses på det periodiske system (den er tydelig omkring stofferne Ge og As). Stofferne til højre for denne 'trappe' er ikke metaller og stofferne til venstre er metaller. Således er fx calcium (Ca) et metal, og nitrogen (N) et ikke metal.

Grupper / perioder

Model af natrium atom

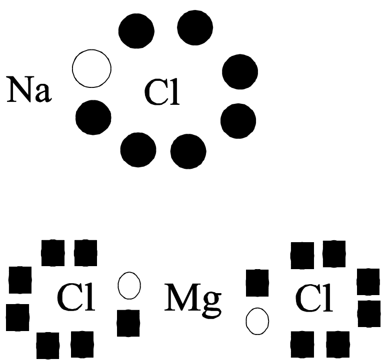


Der findes ialt 8 hovedgrupper, som præcis passer med det antal elektroner der kan være i et atoms yderste elektronskal. Altså skal natrium (Na) placeres i gruppe IA, da dette stof har 1 elektron i sin yderste skal. Der findes ialt 7 perioder, som præcis passer med det antal elektronskaller som man i dag har fundet som maksimum. Natrium (Na) skal placeres i periode 3, da dette stof har 3 elektronskaller.

Det periodiske system indeholder ud over mange andre oplysninger, også oplysninger som gør det muligt at forudsige opbygningen af kemiske forbindelser. Når forskellige stoffer indgår i kemiske forbindelser, sker det ved at elektronerne i atomernes yderste skal, søger forbindelse med hinanden, på en sådan måde at de opfylder oktetreglen.

Oktetreglen

Elektronprikformel



Oktetreglen siger, at alle atomer som indgår i en kemisk forbindelse, skal have oktetten fuld, hvilket vil sige, at alle atomer som indgår i kemiske forbindelser skal have 8 elektroner i den yderste skal.

Natrium (Na) er i gruppe IA og har derfor 1 elektron i sin yderste skal. Den kan fx danne en kemisk forbindelse med chlor (Cl), som er i gruppe VIIA i det periodiske system og derfor har 7 elektroner i sin yderste skal.

Hvis vi kombinerer disse to stoffer, vil vi få stoffet NaCl natrium clorid. Hvis vi derimod vil danne en kemisk forbindelse mellem magnesium (Mg) og chlor (Cl), bliver det lidt vanskeligere, da magnesium (Mg) er i gruppe IIA og derfor har 2 elektroner i sin yderste skal. Hvis vi kombinerer disse to, bliver der jo alt ialt 9 elektroner i stoffernes yderste skal. Dette problem løses ved at lade 2 chlor (Cl) atomer reagere med 1 magnesium (Mg) atom, således at stoffet kommer til at hedde $MgCl_2$.

Et meget kendt stof CO_2 eller kuldioxid fremstilles på samme måde ved hjælp af det periodiske system.

Man siger at et stof afgiver elektroner til det andet stof. Fx kan man sige at i NaCl's tilfælde, afgiver Na, som kun har en elektron i sin yderste skal, denne elektron til Cl som har 7 elektroner i sin yderste skal, således at de nu begge har 8 elektroner i deres yderste skaller, og dermed opfylder oktetreglen.

Denne antagelse er ikke helt rigtig, da stofferne ikke afgiver elektroner til hinanden, men derimod er fælles om disse elektroner.

Valenselektroner

De elektroner som atomerne kan 'handle' med, når de indgår i kemiske forbindelser kaldes for valenselektroner. For stoffer som findes i hovedgrupperne (A grupperne), gælder det at de elektroner der kan 'handles' med, er de elektroner som findes i disse atomers yderste elektronskal.

For atomer fra undergrupperne er det mere kompliceret end som så, fx findes kobber (Cu) i undergruppe IB, så derfor skulle man tro, at den havde 1 elektron at 'handle' med, men det er sådan at kobber (Cu) normalt 'handler' med 2 elektroner.

Det er antallet af valens-elektroner, der bestemmer atomets kemiske egenskaber, og valens-tallet angiver dermed, hvor mange elektroner atomet kan afgive eller optage.

Brintatomet

Brintatomet (hydrogenatomet) har kun en proton og en elektron.

Neutralitet

I et normalt atom er antallet af protoner og elektroner ens, og atomet vil derfor virke elektrisk neutralt, udadtil.

Ioner

Når et atom afgiver eller optager elektroner, bliver det til en ladet ion.

Afgiver et atom en elektron, bliver det til en positiv ion, da der nu er et overskud af positiv ladning.

Modtager atomet en elektron, bliver det til en negativ ion, da der nu vil være et overskud af negativ ladning.

Atom nr.	Navn	Symbol	Fordeling af elektroner i baner					
			1	2	3	4	5	6
1	Brint	H	1					
2	Helium	He	2					
6	Kulstof	C	2	4				
10	Neon	Ne	2	8				
13	Aluminium	Al	2	8	3			
14	Silicium	Si	2	8	4			
26	Jern	Fe	2	8	14	2		
29	Kobber	Cu	2	8	18	1		
47	Sølv	Ag	2	8	18	18	1	
74	Wolfram	W	2	8	18	32	12	2
79	Guld	Au	2	8	18	32	18	1
92	Uran	U	2	8	18	32	21	11

Eksempel

Kobberatomet har atomnummer 29, dvs. det samlede elektronantal er 29. I K-skallen (1. skal) er det 2 elektroner, i L-skallen (2. skal) er det 8 elektroner og i M-skallen (3. skal) er det 18 elektroner. N-skallen, der er kobberatomets yderste skal, har kun 1 elektron.

Bemærk, at skallerne K, L og M har maksimalt elektrontal.

Tilføres kobberatomet en elektron, opstår der en negativ ladet ion Cu ⊖.

Afgives valenselektronen, bliver atomet en positiv ladet ion Cu ⊕.

Molekyler

Et molekyle er den mindste del af et stof, der kan bestå i fri tilstand og besidde alle stoffets faste egenskaber.

Et molekyle kan bestå af kun 1 atom, men normalt består grundstoffernes molekyler af flere ens atomer.

Kemiske forbindelsers molekyler består af flere, men forskellige atomer.

Kræfterne, der holder atomerne sammen til et molekyle, er elektriske kræfter mellem de enkelte atomers elektroner.

Molekylet betegnes ved en kemisk formel, der angiver, hvilke atomer og hvor mange det indeholder, fx vand:

H_2O

hvilket vil sige, at vandmolekylet består af 2 hydrogen (brint) atomer og 1 oxygen (ilt) atom.

Grundstoffer

Et grundstof er opbygget af ens atomer, der kan være sammensat i molekyler, der også er ens. Grundstoffer kan normalt ikke spaltes i enklere stoffer.

Inddeling i grupper

Grundstofferne kan inddeles i grupper med flere eller færre fælles egenskaber.

De inaktive eller ædle luftarter danner normalt ikke kemiske forbindelser, da deres valens er nul.

Ædle luftarter - Alkali-metaller - Andre metaller - Ædelgasser - Halogener (ikke metaller) - Andre ikke-metaller.

Syrer

Syrer er ætsende stoffer, der i kemisk henseende kan betragtes som sammensat af brint + en syrerest.

Definition på syre: Et stof som afgiver en proton, reagerer som syre.

Syrerne kan deles i stærke syrer, fx svovlsyre (H_2SO_4), saltsyre (HCl) og salpetersyre (HNO_3), og svage syrer fx eddikesyre (CH_3COOH) og svovlbrinte (H_2S).

Syrer bruges i den kemiske industri til rensning og som elektrolyt i akkumulatorer, dog normalt kun H_2SO_4.

I elektriske akkumulatorer er det fortyndet svovlsyre, der anvendes. Skal syre og vand blandes, skal det gøres med forsigtighed; syren hældes langsomt og forsigtigt op i vandet, til den rigtige blanding er nået.

Baser

Baser er ætsende stoffer, der reagerer med fedtstoffer og olie og danner sæbe. Som følge af denne virkning bruges de til rensning og affedtning af metaller.

Definition på base: Et stof som kan optage en proton reagerer som base.

I jern-nikkel akkumulatoren bruges kalilud NaOH som elektrolyt.

Baser skal ligesom syrer benyttes med forsigtighed.

Syre/basereaktioner

Ved en syre/basereaktion sker der en protonoverførsel fra en syre til en base. Dette illustreres i følgende syre/basereaktion:

$HCl + H_2O \leftrightharpoons Cl^- + H_3O^+$

syre + base base + syre.

HCl afgiver en proton til H_2O og er derfor en syre, mens H_2O omvendt optager en proton og derfor er en base. Reaktionen kan gå begge veje idet man taler om korresponderende syre/base par. HCl korresponderer med Cl^- og H_2O korresponderer med H_3O^+.

Salte

Hvis man hælder syre på et metal, sker der en kemisk proces, således at syrens brintindhold ombyttes med metal, og der dannes et salt, når væsken bortdampes. Da ikke alle metaller kan opløses i en syre, er det vigtigt, at man tager hensyn til hvilket metal det er. Metallet som man bruger skal være placeret rigtigt i spændingsrækken. Syrer kan kun opløse metaller som står til øverst i spændingsrækken. Fx kan HCl (saltsyre) ikke opløse guld.

Neutralisering

Syrer og baser reagerer med hinanden og danner salt og vand. Man kan altså benytte dem til gensidigt at neutralisere hinanden.

$HCl + NaOH \rightarrow H_2O + NaCl$ (pH $\simeq$ 7, neutral).

Der er dog visse undtagelser:

$CH_3COOH + NaOH \leftrightarrows H_2O + CH_3COONa$

(pH $\simeq$ 8,5 er altså ikke neutral).

Advarsel

Ved blanding af forskellige væsker fx syrer, baser og andre kemiske forbindelser skal der udvises den største agtpågivenhed, idet to væsker hver for sig kan være uskadelige, men ved blanding kan udvikle giftige dampe eller så stærk varme, at de eksploderer.

Elektrolyse

Ved elektrolyse forstår man elektro-kemiske processer. Elektrolyse kan have både gavnlige og skadelige virkninger. I elektriske elementer og akkumulatorer er det den elektrolytiske virkning, der skaber elektromotorisk kraft. Ved forsølvning, fornikling og lignende benytter man sig af elektrolyse. Ved nedbrydningsprocesser, som tæring, er det elektrolysens skadelige virkning, der gør sig gældende.

Elektromotorisk kraft

Anbringes to forskellige metaller, fx en zinkplade og en kobberplade, i en elektrolyt, der kan være kobbersulfat opløst i vand, kan man med et voltmeter konstatere en spændingsforskel på ca. 1,0 V mellem de to elektroder. Kobberelektroden er positiv, mens zinkelektroden er negativ.

Spændingsrække

Metallerne kan ordnes i en spændingsrække, der viser, hvordan de i elektrolytisk henseende virker på hinanden.

Kendskab til spændingsrækken har betydning, når der skal vælges elektroder til elementer.

Når forskellige metaller bringes i berøring med hinanden, og der er fugtighed til stede, kan der opstå en elektrolytisk proces, så det ene metal tæres - også i sådanne tilfælde har kendskab til spændingsrækken betydning.

Metaller, der spændingsmæssigt ligger langt fra hinanden, må ikke bringes i forbindelse med hinanden.

Den elektromotoriske kraft bliver større, jo længere de to elektroder ligger fra hinanden i spændingsrækken.

Eksempel

Kobber og bly giver .... 0,47 V
Kobber og zink giver .... 1,00 V
Kulstof og zink giver .... 1,51 V
Platin og aluminium giver .... 2,57 V

Redoxreaktioner

En redoxreaktion defineres ved, at der sker en elektronoverførsel fra et stof til et andet, fx.

2 Mg (magnesium) + O_2 (oxygen) → 2 MgO

reaktionen kan deles i 2 reaktionstrin:

2 Mg → 2 Mg^{2+} + 4 e^- oxidation (elektronafgivelse)

O^2 + 4 e^- → 2 O^{2-} reduktion (elektronoptagelse).

Hvorvidt et stof er villigt til at afgive/optage elektroner, kan aflæses i spændingsrækken. Jo højere oppe et metal står i spændingsrækken, desto større tilbøjelighed har det til at afgive elektroner og danne ioner i vandig opløsning.

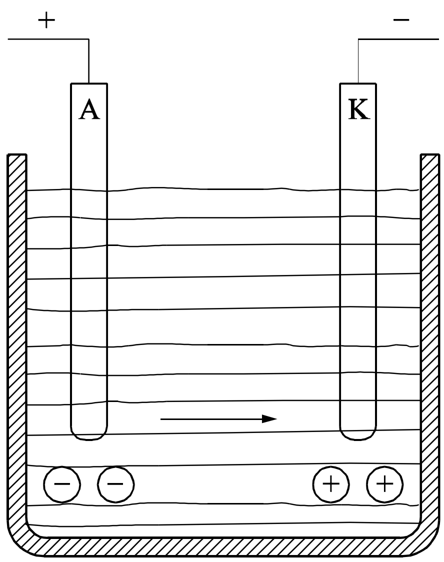
Tabel over spændingsrække

De i tabellen opgivne værdier er den elektromotoriske kraft, der opstår mellem et metal og en opløsning, hvor pågældende metals ioner findes i koncentrationen 1-normal.

Spændingen er målt over for en normal brintelektrode, hvis potentiale er sat til 0,00.

Kalium	K	-2,92 V
Kalcium	Ca	-2,76 V
Natrium	Na	-2,71 V
Aluminium	Al	-1,69 V
Zink	Zn	-0,76 V
Jern	Fe	-0,44 V
Nikkel	Ni	-0,25 V
Tin	Sn	-0,14 V
Bly	Pb	-0,13 V
Brint	H	±0,00 V
Kobber	Cu	+0,34 V
Kulstof	C	+0,75 V
Kviksølv	Hg	+0,79 V
Sølv	Ag	+0,80 V
Platin	Pt	+0,86 V
Guld	Au	+1,38 V

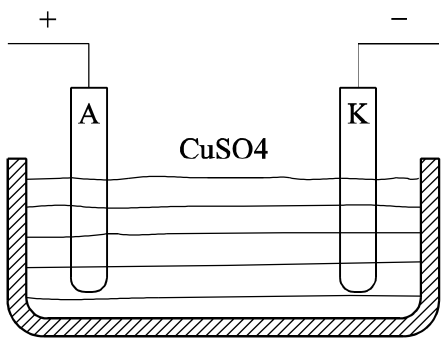
Sønderdeling af vand



Anbringes et par platinelektroder i et kar med saltvand, og der tilsluttes en spænding, vil der gå en strøm i elektrolytten. De negativt ladede ioner tiltrækkes af den positive pol, og de positivt ladede ioner tiltrækkes af den negative pol.

Dette vil give sig udslag i, at vandet sønderdeles, ilten i vandet søger til den positive pol (anoden) og bobler op, og brinten søger til den negative pol (katoden) og bobler op der.

Rensning

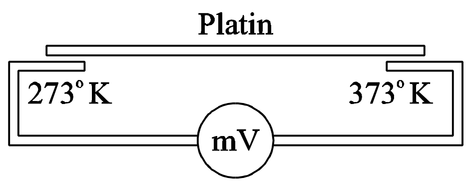


Udskiftes elektrolytten til en kobberopløsning, og anoden til rå kobber, katoden til ren kobber, vil anoden efterhånden tæres, kobberet vandrer til katoden og udfældes, urenheder synker til bunds. Sådan fremstilles elektrolytisk raffineret kobber.

Ved brug af en zink-, sølv-, nikkel- eller krom-anode, en passende elektrolyt, og som katode en genstand af et billigt og ikke særlig bestandigt metal, kan man overtrække genstanden med et ganske tyndt lag af den pågældende anodes metal.

Processen kaldes en galvanisk proces. Formålet er at beskytte genstanden mod tæring.

Termoelektricitet



Bringes to forskellige metaller i fast berøring med hinanden, fx ved sammenlodning, opstår der en elektromotorisk kraft imellem dem.

Spændingen mellem metallerne er afhængig af temperaturen på berøringsstedet og af de anvendte metaller.

Der kan opstå termoelektriske spændinger overalt, hvor to forskellige metaller sammenspændes.

Termoelektrisk spændingsrække

Ligesom der er opstillet en elektrolytisk spændingsrække for metaller, er der også en termoelektrisk spændingsrække.

Tabellen viser termospændingen i mV ved en temperaturforskel på 100 K (Kelvin) mellem de to loddepunkter. Enheder ved temperaturforskel (1 K = 1^{O}C). Som nulpunkt er valgt platin.

Wismut	-5
Konstantan	-3 til -3,5
Kobolt	-1,5 til -2
Nikkel	-1,2 til -2
Kviksølv	-0,07 til +0,04
Platin	±0
Tellur	+50
Silicium	+45
Antimon	+4,8
Kromnikkel	+2,2
Jern	+1,85
Molybdæn	+1,15 til +1,30
Guld	+0,55 til +0,8
Iridium	+0,65
Manganin	+0,6 til +0,8
Zink	+0,6 til +0,8
Kobber	+0,75
Sølv	+0,7 til +0,8
Rhodium	+0,65
Wolfram	+0,65 til +0,9
Aluminium	+0,37 til +0,40
Tin	+0,4
Tantal	+0,35 til +0,5
Kul	+0,25 til +0,30
Grafit	+0,22

Termoelementer

Den efterfølgende tabel viser eksempler på termoelementer og deres temperaturområde.

De i tabellen opgivne celcius-grader plus 273 svarer til antal kelvin-grader.

Type	Anvendelses-område °C	Elektromotorisk kraft i forhold til 0 °C			
Kobber/ Konstantan	-250 til +600	100 4,24	200 9,06	300 °C	14,42 mV
Jern/ Konstantan	-200 til +1050	100 5,28	200 10,78	600 33,16	1000 °C 58,16 mV
Chromel/ Konstantan	0 til +1100	100 6.3	200 13.3	400 28.5	600 °C 44.3,V
Chromel/ Alumel	0 til +1100	100 4,1	400 16,39	800 33,31	1400 °C 55,81 mV
Platin/Platin-rhodium(10)	0 til +1550	100 0,643	600 5,222	1000 9,569	1600 °C 16,574 mV
Platin/Platin-rhodium(13)	0 til +1550	100 0,646	600 5,561	1000 10,470	1600 °C 18,680 mV
Kul/Silicium-karbid	0 til 2000	1210 353,6	1300 385,2	1360 403,2	1450 °C 24,9 mV

Temperaturmåling

Termoelektriske elementer benyttes bl.a. til måling af høje temperaturer i forbindelse med voltmeter, og benævnes ofte som pyrometre.

Korrosion

Ved korrosion forstår man den forandring, der sker med alle metaller, undtagen de ædle, når de udsættes for fugtighed og luftens ilt.

Korrosion kan ikke helt undgås; men man kan dog gøre noget for at modvirke den.

I nogle tilfælde sker der en korrodering, når metallet kommer i forbindelse med luftens ilt, men kun i overfladen, og laget danner derefter en beskyttende hinde. Dette er fx tilfældet ved kobber, der belægges med ir.

I andre tilfælde må man beskytte metallet, før det udsættes for fugt og luftens ilt. Dette kan gøres ved galvanisering, hvor jern overtrækkes med et beskyttende lag af zink.

Dielektrikum

Et dielektrikum er et materiale, som slet ikke eller kun i ringe grad er ledende for elektrisk strøm.

Et dielektrikum virker som isolator, men kan under påvirkning af en elektromotorisk kraft oplades med elektricitet, så den bliver dielektrisk polariseret (med + og - som et galvanisk element).

En kondensators kapacitet afhænger af, hvilket dielektrikum der udfylder rummet mellem kondensatorens plader.

Dielektricitets konstanter

Dielektricitetskonstanten angiver, hvor mange gange en kondensators kapacitet forøges i forhold til luft.

Luftens dielektricitetskonstant sættes til 1,0006.

Tabel

Brintoverilte, (46%)	84,7
Ætylalkohol (293 K)	25,8
Crovnglas	7,0
Porcelæn	5,73
Glimmer	5,7-6
Polyvinylclorid	2,9
Ebonit	2,8
Polystyren	2,52
Polyisobotilen	2,3
Polyetylen	2,25
Paraffin	2,1
Papir	2,0-2,5

Pneumatik

Ved pneumatik forstås anlæg, der arbejder ved og i mange tilfælde styres af trykluft; navnet stammer fra det græske ord pneuma, der betyder luft.

Pneumatik eller trykluftautomation anvendes i industrien ved automatisering af selv meget komplicerede arbejdsprocesser.

I mange af disse anlæg indgår der forskellige el-komponenter, fx magnetventiler, microomskiftere, timere og relæer.

Atmosfære

Luften, som anvendes i pneumatiske anlæg, tages fra atmosfæren omkring os. Den består af en blanding af forskellige luftarter i et indbyrdes mængdeforhold på ca. 78 % kvælstof, 21 % ilt samt 1 % kultveilte, brint, argon, neon, krypton, helium og xenon. Desuden findes varierende mængder af vanddamp og forskellige urenheder.

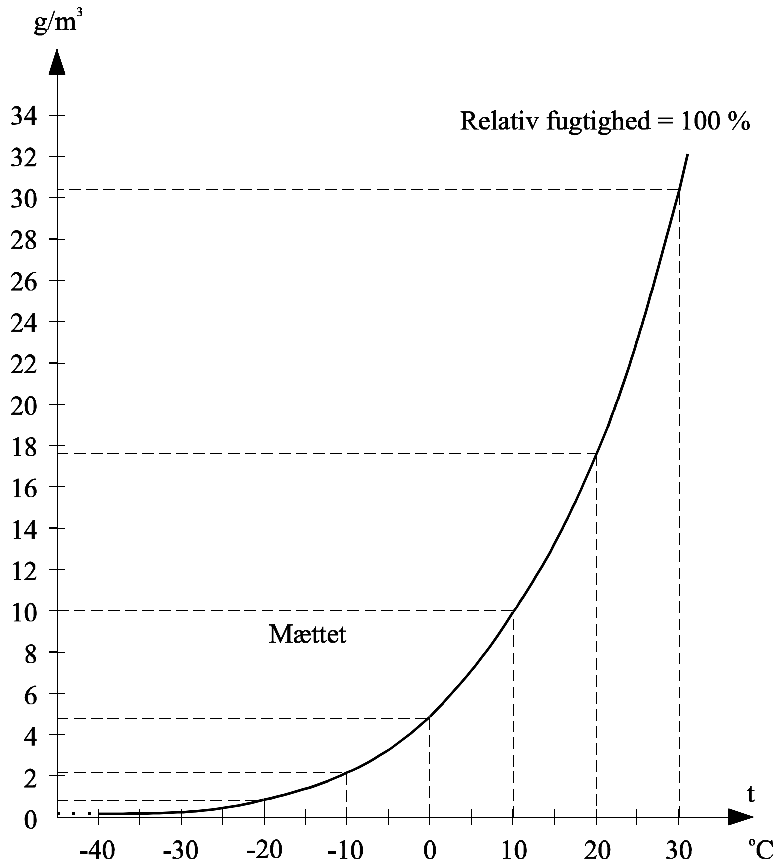
Fugtig luft

Vanddampindholdet er i denne forbindelse en ulempe, som vi vil se nærmere på. Man måler vanddampindholdet i g/m^3, altså gram vanddamp pr. m^3 fugtig luft.

Mættet luft

Der er en øvre grænse for luftens indhold af vanddampe, denne kaldes dugpunktet; her siges luften at være mættet. Overskrides grænsen, vil vanddampene fortættes til vand. Denne grænse varierer med temperaturen. Forholdet mellem temperaturen og den øvre grænse er vist i tabellen og kurven.

^{0}C	g/m^3
30	30,2
20	17,3
15	12,8
10	9,4
5	6,7
0	4,8
- 5	3,3
- 10	2,2
- 15	1,5
- 20	0,86
- 30	0,34
- 40	0,11



Umættet luft

Almindeligvis er atmosfærisk luft ikke mættet med vanddamp. Man taler om fugtighedsgraden, som er forholdet mellem det virkelige vanddampindhold og den mængde vanddamp, der vil være, hvis luften er mættet ved den pågældende temperatur.

I Danmark er fugtighedsgraden (den relative fugtighed) gennemsnitligt 0,84 (84 %).

Eksempel

Ved 20 ˚C og en fugtighedsgrad på 0,84 vil vanddampindholdet være:

Ved mætning (efter kurven) 17,2 g/m^3.

Den umættede luft =

$$0{,}84 \cdot 17{,}2 = 14{,}4 \; g/m^3$$

Kondensering

Den umættede luft kan bringes til mætning ved ændring i de ydre forhold.

Temperatursænkning

Hvis en umættet luftmængdes temperatur sænkes under konstant tryk, vil fugtighedsgraden stige. Ved fugtighedsgraden 100 % siges "dugpunktet" at være nået. Afkøles yderligere, vil vanddampen fortætte (kondensere).

Eksempel

Ved konstant tryk vil en luftmængde på 20 ˚C og en fugtighedsgrad på 0,84 nå dugpunktet ved:

Vanddampindholdet =

$$0{,}84 \cdot 17{,}2 = 14{,}4 \; g/m^3$$

Dugpunktet findes i kurven og nås ved ca. 17 ˚C.

Sænkes temperaturen til fx 10 ˚C fås:

Vanddampindholdet ved 10 ˚C =

$$Vanddampindhold \; ved \; 10 \; °C = 9{,}4 \; g/m^3$$

Der vil derfor udskilles en vandmængde på forskellen mellem vanddampindholdet i begyndelsen og ved de 10 ˚C =

$$14{,}4 - 9{,}4 = 5{,}0 \; g/m^3 \; vand$$

Kompression

Hvis vi omvendt holder temperaturen konstant og komprimerer luften, vil der også opstå kondensation (udskillelse af vand). Ved komprimering gør man jo rumfanget mindre på vanddampindholdet.

Eksempel

Ved 20 °C og en fugtighedsgrad på 0,84 komprimeres luften, så rumfanget gøres 10 gange mindre; derved sker følgende:

Vanddampindholdet inden komprimeringen =

$$0{,}84 \cdot 1{,}72 = 14{,}4 \ g/m^3$$

Vanddampindholdet efter komprimeringen =

$$1/10 \cdot 17{,}2 = 1{,}7 \ g/m^3$$

For hver m^3 luft, der komprimeres, vil der derfor kondensere forskellen mellem vanddampindholdet i begyndelsestilstanden og vanddampindholdet i sluttilstanden = 14,4 - 1,7 = 12,7 g/m^3.

At der her kan være tale om betydelige mængder vand, ses af følgende eksempler.

En kompressor indsuger 5 m^3 luft pr. min. ved en temperatur på 30 °C og en fugtighedsgrad på 0,84. Sluttrykket er 700 kPa.

Der regnes med 60 % belastning af kompressoren i 8½ time.

Vanddampindholdet inden kompressionen:

$$0{,}84 \cdot 17{,}2 = 14{,}4 \ g/m^3$$

Den øverste grænse for vanddampindholdet efter kompressionen =

$$\frac{17{,}2}{7} = 2{,}46 \ g/m^3$$

Udskilt vand pr. m^3 =

$$14{,}4 - 2{,}46 = 11{,}94 \ g.$$

Udskilt vand pr. min. =

$$11{,}94 \cdot 5 = 59{,}7 \ g.$$

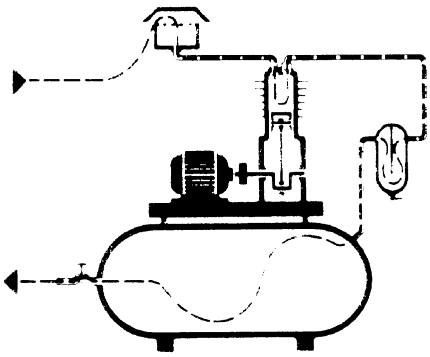
Tiden i min. =

$$\frac{8{,}5 \cdot 60 \cdot 60}{100} = 306 \text{ min.}$$

Udskilt vand i alt =

$$59{,}7 \cdot 306 = 18268{,}2 \; g$$

Frembringelse af tryk



Et pneumatisk anlæg arbejder normalt ved et tryk på op til ca. 700 kPa. Dette tryk frembringes af en luftkompressor, der drives af en elektromotor eller forbrændingsmotor og ledes over en trykluftbeholder gennem rørsystemet ud til forbrugsstederne.

Elektricitet

Elektricitet, ordet stammer fra det græske ord elektron, der betyder rav. Elektricitet er et fysisk fænomen, der knytter sig til elektriske ladninger i hvile (elektrostatik) eller i bevægelse (elektrodynamik) og som viser sig ved gensidig frastødning og tiltrækning af partikler. For at forstå, hvad ordet dækker i vort fagsprog, er det nødvendigt at kende lidt til stoffernes opbygning.

Stoffer

Stofferne forekommer i forskellige tilstandsformer:

luftformige (fx neon),

flydende (fx kviksølv)

faste (fx kobber)

Det enkelte stofs tilstandsform er ikke permanent, men kan ændres ved påvirkning af fx temperatur eller tryk.

Molekyle

Den mindste del af et stof, der kan påvises, er et molekyle, som igen består af et eller flere grundstoffer.

Stoffernes opbygning

Alt stof er opbygget af et eller flere grundstoffer.

Et grundstof består udelukkende af ens atomer; af grundstoffer findes der over 100. Man har opstillet disse i et system kaldet: "Det periodiske system", se afsnittet naturlære.

Elektrisk ledeevne

Ud fra de forskellige stoffers elektriske egenskaber med hensyn til ledeevne, kan der foretages en opdeling i ledere, isolatorer og halvledere.

Former for el

Elektricitet kan frembringes på forskellige måder, fx:

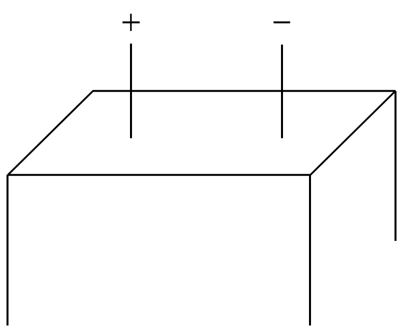
- Statisk elektricitet (ved gnidning)
- Galvanisk elektricitet (kemisk påvirkning)
- Induceret elektricitet (elektromagnetisme)
- Foto elektricitet (lyspåvirkning)
- Piezo elektricitet (mekanisk påvirkning)
- Termo elektricitet (varmepåvirkning).

Positiv og negativ

Ved jævnstrøm benævnes energikildens to poler henholdsvis positiv og negativ.

Den positive mærkes med +

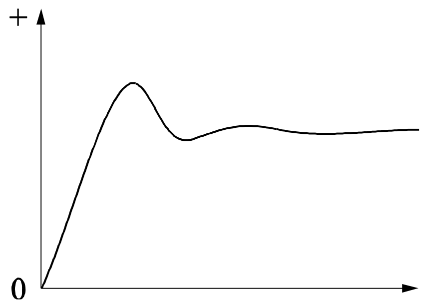
Den negative mærkes med -



Jævnstrøm (DC)

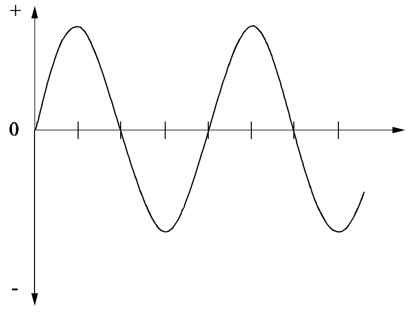
Ved jævnstrøm forstår man en elektrisk strøm, som vedvarende løber i samme retning gennem ledningen, men den behøver ikke at have konstant styrke.

Den ene klemme er altid + og den anden altid -.

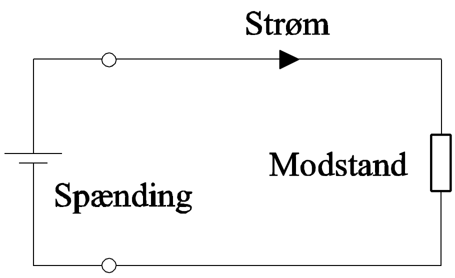


Vekselstrøm (AC)

Vekselstrøm vil sige en elektrisk strøm, som med små konstante tidsmellemrum skifter retning (+ og - skifter plads).



Spændingsforskel



Mellem en elektricitetskildes to tilslutningsklemmer er der en vis spændingsforskel. Tilsluttes en elektrisk brugsgenstand mellem sådanne to klemmer, vil der passere en strøm rundt i kredsløbet.

Strømmens styrke begrænses af den elektriske modstand i kredsløbet.

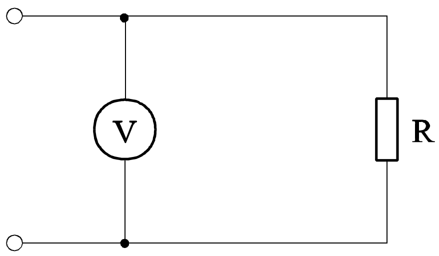
Spænding

Spændingens størrelse vil afhænge af mængden af elektroner (negative), der adskilles fra deres positive kerner.

Definition

Enheden 1 volt kan udledes som den spænding, der er nødvendig for at sende en strøm på 1 ampere gennem en modstand på 1 Ω.

Måling



Ved spændingsmåling benyttes et voltmeter. Instrumentet tilsluttes som vist på skitsen.

Spændingsforskellen måles i volt (V) og benævnes i formler med U.

Store spændinger angives i kilovolt (kV), 1 kV = 1000 V.

Små spændinger angives i millivolt (mV), 1V = 1000 mV, eller mikrovolt (μV), 1 V = 10^6 μV.

Eksempler på spændinger

Et element: 1,5 V DC akkumulator, 6-12-24 V DC.

Forsyningsnet: 230/400 V AC - 220/440 V DC.

Fra elværket: 132.000-150.000 V.

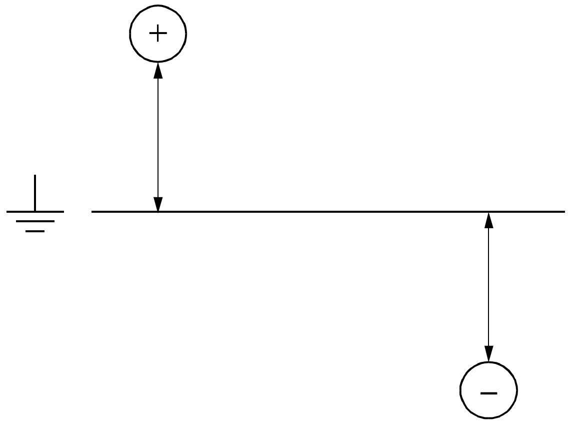
400 kV (132-150) kV AC.

Hastighed

Spændingen forplanter sig lynhurtigt gennem ledningen ca. 300.000 km/s.

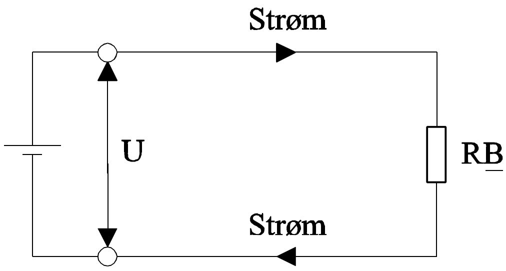
Potentiale

Spændingen i forhold til jord kaldes potentialet.



Strøm

Strømmens størrelse vil afhænge af antallet af elektroner, der passerer rundt i kredsløbet pr. tidsenhed.



Definition

En ampere er defineret som strømstyrken af en konstant elektrisk strøm, der - når den løber i to parallelle, uendeligt lange ledere med forsvindende lille cirkulært tværsnit, som har den indbyrdes afstand af 1 meter og er anbragt i det tomme rum - bevirker, at den ene leder påvirker den anden med kraften $2 \cdot 10^{-7}$ newton for hver meter.

Måleenheder

Strømstyrken måles i ampere (A) og benævnes i formler med bogstavet I.

Store strømme angives i kiloampere (kA),

1 kA = 1000 A.

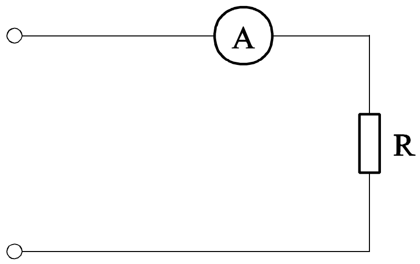
Små strømme angives i milliampere (mA),

1 A = 1000 mA, eller i mikroampere (µA),

1 ampere = 10^6 µA.

Måling

Ved strømmåling benyttes et amperemeter. Instrumentet tilsluttes som vist på skitsen.



Eksempler på strømme

Glødelamper: 0,1 A - 0,2 A - 0,5 A
En varmeovn: 5 A.

Strømretning

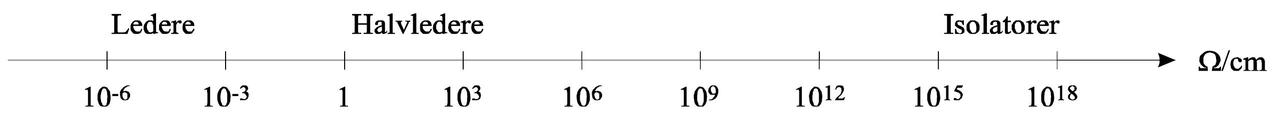
Selv om vi ved, at det er elektronerne, der bevæger sig i et elektrisk kredsløb fra - til +, fastholdes den engang vedtagne strømretning fra + til -.

Hastighed

Strømmen bevæger sig i forhold til spændingen betydeligt langsommere, i visse tilfælde med nogle få cm/s.

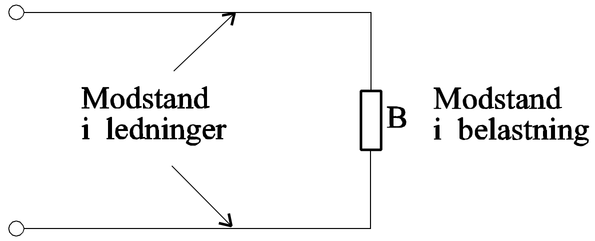
Modstand

De forskellige stoffer kan, med henblik på deres elektriske modstand, opdeles i følgende grupper:



Den elektriske modstand i et stof er afhængig af, hvor fast elektronerne i atomet er "bundet" til kernen.

Er elektronerne fast bundet til kernen (kun få "frie" elektroner), har strømmen svært ved at passere, altså stor modstand. Er der mange "frie" elektroner, har strømmen lettere ved at passere, altså er modstanden i det pågældende stof mindre.



En modstands størrelse afhænger foruden af materialet (modstandsfylden) også af længden og tværsnittet.

Alle stoffer ændrer modstandsværdi ved temperaturændring.

Ledere

Stoffer med en meget lille modstand kaldes ledere, fx sølv, aluminium og kobber. Kobber og aluminium bruges til elektriske ledninger.

Sølv bruges til sikringstråd og belægning på kontaktflader.

Halvledere

Halvledere er en gruppe stoffer, der normalt hører under isolatorer, men som ved ydre påvirkning i form af spænding, varme eller lys kan lede en elektrisk strøm.

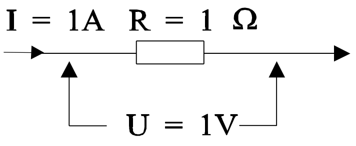
Eksempler på sådanne er: germanium, silicium og selen.

Isolatorer

Stoffer med så stor modstand, at strømmen vanskeligt kan passere, kaldes isolatorer.

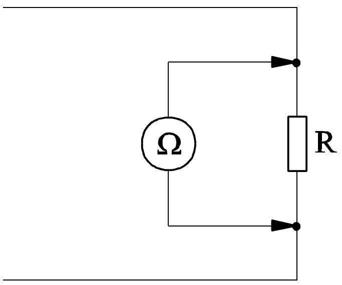
Eksempler på sådanne er: plastic, porcelæn, gummi, papir og olie.

Definition



Enheden 1 Ω kan udledes som den modstand, der ved en strømstyrke på 1 A skaber et spændingsfald på 1 V.

Måling



Ved modstandsmåling benyttes et ohmmeter; instrumentet tilsluttes som vist.

Modstanden måles i ohm (Ω) og benævnes i formler med bogstavet R.

Store modstande angives i kiloohm (kΩ) eller i megaohm (MΩ).

1 kΩ = 1000 Ω

1 MΩ = 1.000.000 (10^6 Ω)

Eksempler på modstande

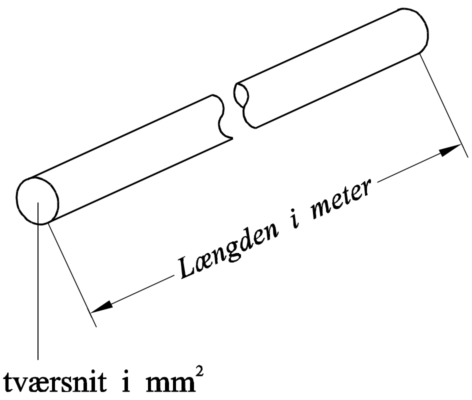
Glødelamper: 1000 Ω, 2000 Ω

Varmeovn: 50 Ω

Forsøg viser, at en lang tråd yder en større modstand mod strømmen end en kort tråd.

Ligeledes yder en tynd tråd større modstand end en tyk tråd. Endelig har det anvendte materiale betydning for ledningsmodstanden.

Ledningsmodstand



Samhørigheden mellem et ledningsmateriales længde, tværsnitsareal samt modstandsfylde udtrykkes i formlen:

$$Rl = \frac{\varrho \cdot l}{q}$$

R er modstanden i Ω

l er ledningens længde i meter

q er ledningens tværsnit i mm^2

ϱ er ledningsmaterialets modstandsfylde.

Kan også skrives:

$$\varrho = \frac{Rl \cdot q}{l}$$

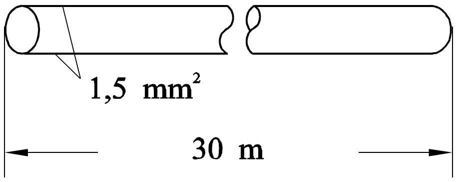
$$q = \frac{\varrho \cdot l}{Rl}$$

$$l = \frac{Rl \cdot q}{\varrho}$$

Modstandsfylde

Ved et stofs modstandsfylde forstås modstanden i 1 m af stoffet med et tværsnitsareal på 1 mm^2 og ved en temperatur på 20 ^{O}C; modstandsfylden kaldes også for den specifikke modstand.

Eksempel



Find modstanden i en 30 m lang kobbertråd med tværsnit 1,5 mm^2 ved 20 ^{O}C.

$$Rl = \frac{\varrho \cdot l}{q}$$

$$Rl = \frac{0{,}018 \cdot 30}{1{,}5} = \underline{\underline{0{,}36\ \Omega}}$$

Eksempel

I en kobberledning, hvis tværsnit er 1,5 mm^2 måles en lednings modstand på 0,54 Ω (20 ^{O}C).

Hvor lang er ledningen?

$$Rl = \frac{\varrho \cdot l}{q} \Rightarrow l = \frac{Rl \cdot q}{\varrho}$$

$$l = \frac{0{,}54 \cdot 1{,}5}{0{,}018} = \underline{\underline{45\ m}}$$

Ledeevne

I stedet for at tale om et stofs modstandsfylde nævnes ofte stoffets specifikke ledevne, som er:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\Omega} \ [S]$$

Reciprok værdi af modstanden.

$$\frac{1}{\Omega} = \Omega^{-1} = \frac{A}{V} = 1 \ Siemens$$

Temperaturens indflydelse

Alle stoffer ændrer modstandsværdi ved temperaturændring.

Modstandsværdiens ændring med temperaturen angives ved stoffets temperaturkoefficient α.

Tabel

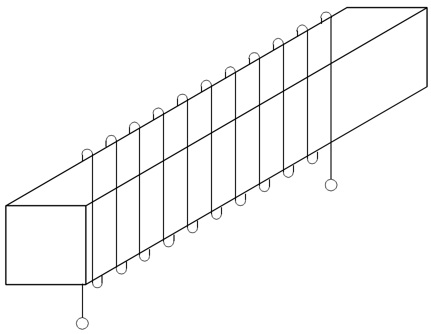
Modstandsfylden for de forskellige stoffer kan findes i tabellen. Nogle eksempler på modstandsfylde er vist i nedenstående.

Materiale	ϱ_{20} $\frac{\Omega\ mm^2}{m}$	α_{20} $10^{-3}/^{o}C$
Kobber.	0,0175*	3,93
Aluminium	0,0263	4,3
Aluminium, hårdt	0,0284	4,03
Aldrey	0,032	3,6
Sølv	0,0159	4,1
Konstantan	0,50	-0,04
Manganin	0,43	+0,03
Krom-nikkel (80-20) .	1,05	0,13
Nikkel	0,072	6
Kanthal	1,45	0,06
Megapyr	1,40	0,04
Kviksølv	0,958	0,89
Wolfram	0,055	4,1
Guld	0,024	3,4
Cadmium	0,07	3,8
Jern	0,0978	6,4
Platin	0,09	4
Zink	0,059	4
Molybdæn	0,05	4
Beryllium	0,1	4
Iridium	0,065	3,6
Bly	0,2	4
Ståltråd	0,105- 0,24	5,6- 3,2
Tin	0,10	4,3
Fosforbronze	0,12	0,7
Berylliumbronze	0,06	1,3

* I praksis regnes ofte med 0,018

Den specifikke modstand ϱ_{20} er angivet i $\mu\Omega$m ved 20 ˚C. - Temperaturkoefficienten er angivet ved α_{20} (20 ˚C) i ‰/ ˚C.

Eksempel



En modstand skal være på 0,5 kΩ og vikles af en nikkeltråd med en diameter på 0,5 mm.

Hvor lang tråd skal bruges?

Først beregnes trådens tværsnitsareal:

$$q = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

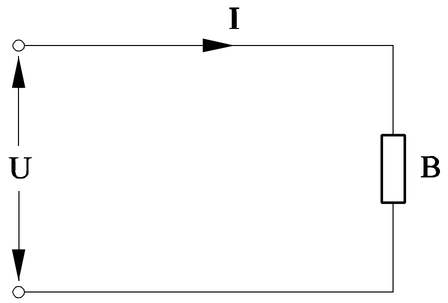
$$q = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5^2}{4} = \underline{\underline{0{,}196\ mm^2}}$$

Herefter findes trådens længde:

$$Rl = \frac{\varrho \cdot l}{q} \Rightarrow l = \frac{Rl \cdot q}{\varrho}$$

$$l = \frac{500 \cdot 0{,}196}{0{,}072} = \underline{\underline{1361\ m}}$$

Effekt



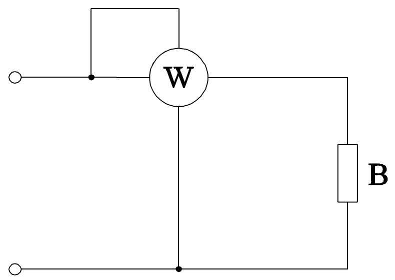
Når en el-brugsgenstand tilsluttes en spænding, gennemløbes brugsgenstanden af en strøm, og der udvikles effekt.

Altså: effekt = spænding x strøm.

Definition

Ved effekt menes arbejdshastighed, altså arbejdsmængde pr. tidsenhed.

Måling



Elektrisk effekt måles i watt (W).

I formler benyttes for effekt bogstavet P.

Store effekter angives i kilowatt (kW) eller i megawatt (MW).

1 kW = 1000 W.

1 MW = 1.000.000 W (10^6W).

Eksempler

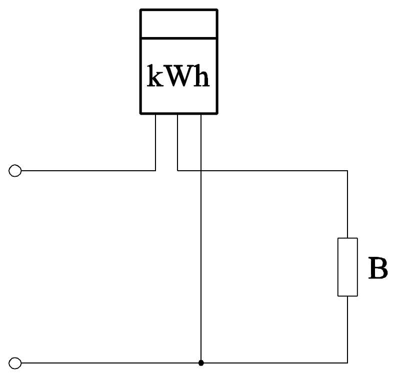
Glødelamper: 15, 20, 40, 60 og 100 W.

Kogeplader: 800 og 1200 W.

Arbejde

Elektrisk arbejde kan udledes som produktet af den elektriske effekt og den tid, effekten afsættes i belastningen. Altså: arbejde = effekt · tid.

Måling



Elektrisk arbejde måles i watt-sekunder (Ws) eller hyppigere i kilowatt-timer (kWh).

Det er disse kWh, el-måleren registrerer, som danner grundlaget for afregning af elektricitet.

I formler benyttes bogstavet A for arbejde.

Grundbegreber

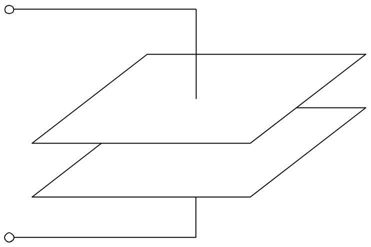
	Måleenhed	Forkortelse	Formel-betegnelse
Strøm	Ampere	A	I
Spænding	Volt	V	U
Modstand	Ohm	Ω	R
Effekt	Watt	W	P
Arbejde	Kilowatt-timer	kWh	A

Andre måleenheder

Arbejde måles efter SI-målesystemet i joule (J), og effekten kan måles i joule pr. sekund.

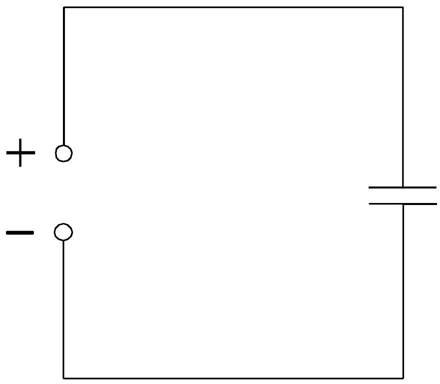
$$1 J = Ws$$
$$1\ J/s = 1\ W$$

Kapacitet og ladninger



En kondensator kan være opbygget af to lige store metalplader, adskilt med et luftlag imellem.

Elektricitetsmængde



Tilsættes kondensatoren en jævnspændingskilde, vil der over spændingskilden finde en elektronbevægelse sted fra den ene plade til den anden. Man siger, at der går en ladestrøm til kondensatoren.

Derved bliver den ene plade positivt og den anden plade negativt opladet, og der opstår et elektrisk felt mellem pladerne.

Strømmen vil løbe, indtil det potentiale, som ladningerne danner mellem kondensatorpladerne, når den påtrykte spænding.

Når kondensatoren er opladet, udviser den en uendelig stor modstand over for jævnstrøm. Afbrydes forbindelsen fra spændingskilde til kondensator, sker der ingen ændring i ladningsforholdene, og den beholder sin spænding.

Forbindes kondensatoren til en brugsgenstand, vil der gå en strøm, som bevirker, at kondensatoren aflades.

Under opladning vil der samles en bestemt elektricitetsmængde på pladerne.

Elektricitetsmængden afhænger af spændingskildens spænding og kondensatorens kapacitet.

Måleenheder

Ladningen eller elektricitetsmængden måles i As; i formlen anvendes Q for ladning (columb).

Kapacitet

Man kan ved forsøg finde, hvilke faktorer der bestemmer en kondensators kapacitet. Halverer man afstanden mellem en kondensators plader, vil den kunne optage den dobbelte elektricitetsmængde, og fordobler man afstanden, vil den kun optage den halve ladning, alt ved samme spænding. Fordobler man pladernes areal, vil den optagne elektricitetsmængde også fordobles, ved samme spænding.

Kapaciteten er derfor konstant for en given kondensator.

Kapaciteten måles i Farad (F), og i formler anvendes C for kapacitet.

1 F = 10^6µF = 10^9nF = 10^{12}pF

1 µF er altså 0,000 001 F, idet µ, som er det græske bogstav my, betegner en milliontedel.

For småkondensatorer i fx radio- og tv-apparater anvendes den endnu mindre enhed, en pF, hvor

1 F = 1.000.000.000.000 pF.

For en kondensator gælder følgende forhold:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Eksempel

En 2 µF kondensator oplades ved 230 V jævnspænding. Beregn ladningens størrelse.

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = C \cdot U$$

$$Q = \frac{2 \cdot 220}{10^6} = \underline{\underline{0{,}00044\ As}}$$

Dielektrikum

En kondensator vil ved samme spænding optage en større ladning, hvis der i stedet for luftlaget mellem pladerne er anbragt et lige så tykt lag af et andet isolerende stof, fx papir, glas eller gummi.

Disse stoffer leder de elektriske kraftlinier bedre end luft. Denne ledeevne eller forstærkningsevne hos stoffet kaldes dielektricitetskonstanten og benævnes med det græske bogstav epsilon (ϵ).

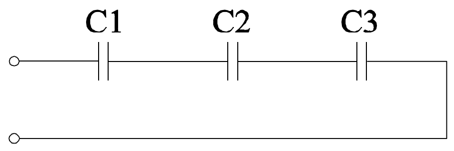
Dette tal angiver, hvor mange gange en kondensators kapacitet bliver større ved brugen af det pågældende stof i stedet for luft. Stoffet selv betegnes som et dielektrikum.

Tabel

Relative dielektricitetskonstanter for nogle almindelige stoffer:

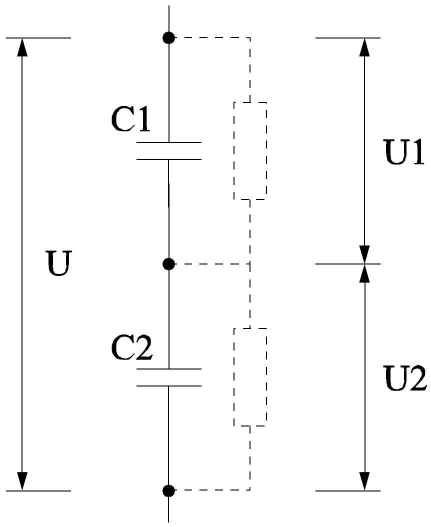
Luft	1	Glimmer	6-8
Papir	1,8-2,6	Calit	6,5
Parafin	2,0-2,3	Ætylalkohol	25,8
Ebonit	2,5-3,5	Nitrobenzol	37,8
Polystyrol	2,2	Condensa N	40
Plexiglas	3,0-3,6	Condensa C	80
Papir imprgn.	2,2-6	Kerafar	64
Bakelit	3-5	Rosalt 90	85-95
Glas	5-8	Rosalt 40	32-40
Celluloid	3,3-3,5	Beriumtitanat	20
Kvartsglas	3,75	Vand	81
Pertinax	4,4-5,5	Rutil	110

Serieforbindelser



Ved forsøg kan det vises, at man ved serieforbindelse af kondensatorer kan finde den resulterende kapacitet af ligningen.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3}$$

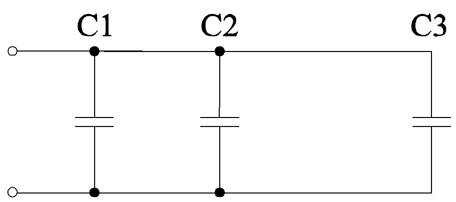


I serieforbindelsen fordeles spændingen over de enkelte kondensatorer.

Der må tages hensyn til, at kondensatorernes isolationsmodstande virker som en spændingsdeler. For at opnå en ensartet belastning må man påse at få tilnærmelsesvis samme isolationsmodstand eller i forhold til denne parallelkoble mindre modstande, som fordeler spændingen rigtigt.

En sådan seriekobling danner en kapacitiv spændingsdeler for vekselspændinger.

Parallelforbindelser



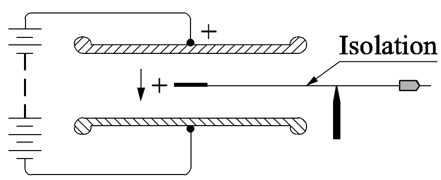
Ved parallelforbindelse finder man:

$$C = C1 + C2 + C3$$

Formlerne kan også udledes ad teoretisk vej.

I parallelforbindelsen er arbejdsspændingen for kondensatoren med den laveste spænding afgørende.

Elektrisk felt



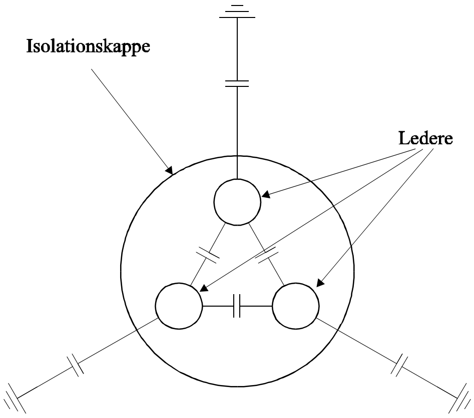
Anbringer man et legeme, der på anden måde er ladet med elektricitet, positiv eller negativ, et sted i mellemrummet mellem en kondensators to plader, efter at disse er opladet, vil legemet frastødes af den negative plade og tiltrækkes af den positive, hvis det selv er negativt ladet; omvendt, hvis det er positivt ladet.

Man vil ved hjælp af en vægtopstilling som den viste kunne måle den kraft, hvormed legemet påvirkes. Denne kraft bliver større, jo større elektricitetsmængde, der er opsamlet på pladerne og på legemet selv.

I mellemrummet mellem de to plader findes et elektrisk felt, hvorved man forstår et rum, hvori der virker elektriske kræfter.

Kabler

Imidlertid optræder elektriske felter mange andre steder end i kondensatorer.

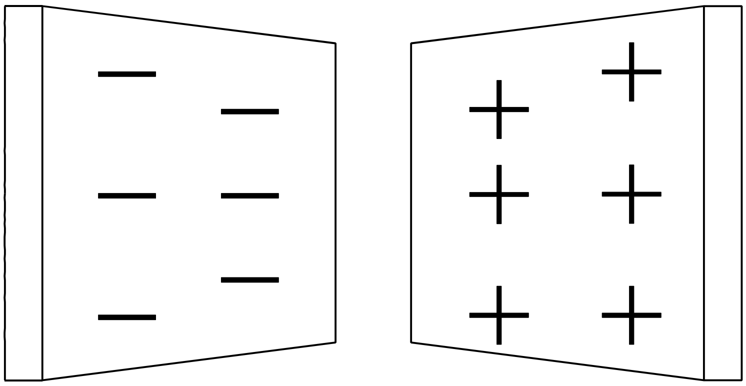


Overalt, hvor spændingsførende dele er adskilt fra hinanden eller fra omgivelserne ved isolerende stoffer, kan der konstateres elektriske felter.

Elektriske felter kan nedbryde isolationslaget i kabler, og en særlig fare for nedbrydning opstår, hvis der fx i papirisolerede højspændingskabler findes små luftmellemrum i isolationslaget. I kabler vil lederne optræde som kondensatorplader indbyrdes og i forhold til jord. I lange kabler kan kondensatorens kapacitet blive meget stor. Det er derfor vigtigt ved reparation, eftersyn o.l., når kablet er spændingsløst, at lederne kortsluttes og jordes.

Vægflader

Der kan også opstå et elektrisk felt mellem to vægflader, hvis disse ved luftens bevægelse oplades med forskellig elektricitet.



Lyn

Jorden, der er negativ, har uden om sig et elektrisk felt med stigende potentiale opefter. Spændingen kan være 100 V eller mere pr. meter i de nedre luftlag.

Lyn er elektriske gnister, der springer mellem legemer med forskellig spænding.

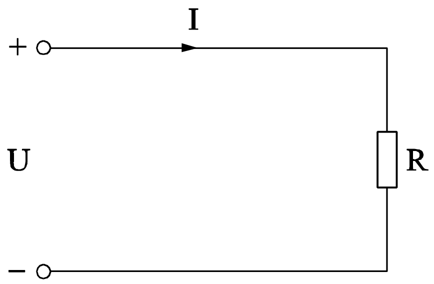
Når vanddråberne i skyerne falder, gnider de imod luften, hvorved der opstår elektricitet. Den øverste del af skyen bliver positiv, den nederste negativ.

Lynet kan opstå på tre måder. Der kan springe en gnist inde i skyen, mellem to skyer eller mellem sky og jord.

Ohms lov

Mellem spænding, strøm og modstand er der et afhængighedsforhold, som bevirker, at man ikke kan ændre en af delene, uden at mindst en af de andre også ændres.

Formel



Denne samhørighed mellem størrelserne U, I og R udtrykkes ved nedenstående formel, kaldet Ohms lov:

Spænding = strøm · modstand

Volt = ampere · ohm

$$U = I \bullet R$$

Kan også skrives:

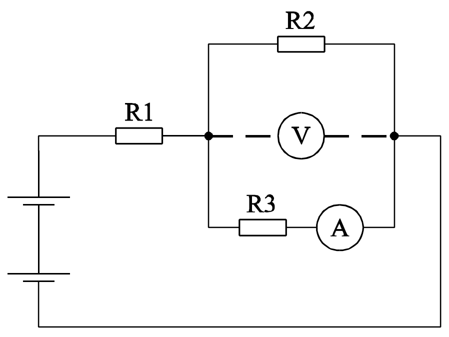
$$I = \frac{U}{R} \quad eller \quad R = \frac{U}{I}$$

Proportionalitet

Ved konstant modstand og stigende spænding stiger strømmen tilsvarende; man siger, at spænding og strøm er ligefrem proportionale.

Ved konstant spænding og stigende modstand falder strømmen tilsvarende; man siger, at strøm og modstand er omvendt proportionale.

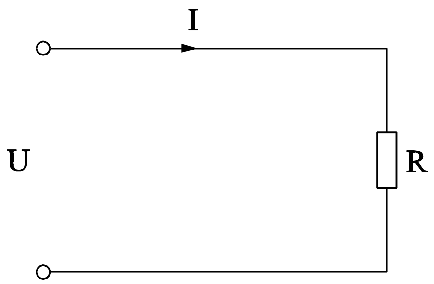
Anvendelse



Benyttes Ohms lov i sammensatte kredsløb, må man sikre sig, at der er tale om sammenhørende spænding, strøm og modstand.

Skal modstanden R3 beregnes i det viste kredsløb med modstandene R1, R2, R3 indskydes instrumenterne, som vist på tegningen.

Eksempler



Hvor stor spænding er nødvendig for at sende en strøm på 8 A gennem en modstand på 27,5 Ω?

$$U = I \bullet R$$

$$U = 8 \bullet 27{,}5 = \underline{\underline{220\ V}}$$

En modstand på 80 Ω tilsluttes en spænding på 440 V. Hvor stor er strømmen?

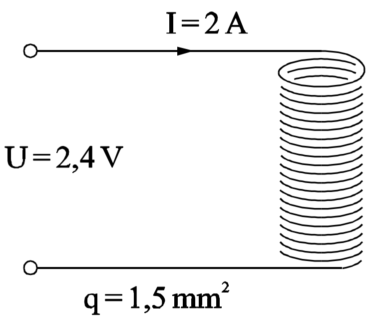
$$U = I \bullet R \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{440}{80} = \underline{\underline{5{,}5\ A}}$$

Hvor stor er modstanden, når strømmen måles til 2,5 A ved en spænding på 90 V?

$$U = I \bullet R \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{90}{2{,}5} = \underline{\underline{36\ \Omega}}$$



Gennem en rulle 1,5 mm^2 kobberledning sendes en strøm på 2 A, og man måler da en spænding (spændingsfald) på 2,4 V.

Hvor mange meter ledning er der i rullen?

Først findes ledningsmodstanden ved hjælp af Ohms lov:

$$U = I \bullet R \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{2{,}4}{2} = \underline{\underline{1{,}2\ \Omega}}$$

Dernæst indsættes ledningsmodstanden i formlen for ledningsmodstand og ledningslængden findes:

$$Rl = \frac{\varrho \bullet l}{q} \Rightarrow l = \frac{Rl \bullet q}{\varrho}$$

$$l = \frac{1{,}2 \bullet 1{,}5}{0{,}018} = \underline{\underline{100\ m}}$$

Forbindelsesmuligheder

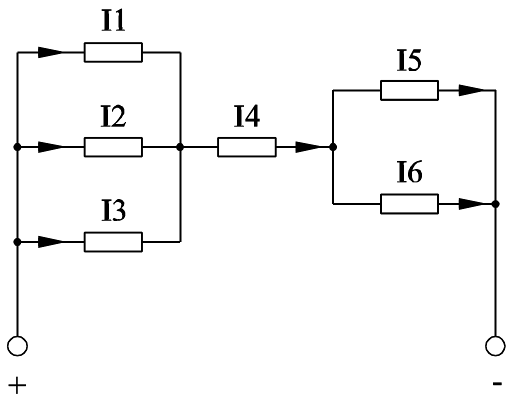
Skal flere komponenter tilsluttes, kan disse tilsluttes enten i serieforbindelse, i parallelforbindelse eller som en blanding af begge dele i et kombineret kredsløb.

For at forstå hvordan strømme og spændinger fordeler sig i sådanne kredsløb er det nødvendigt at kende et par grundlæggende regler kaldet: Kirchoffs love.

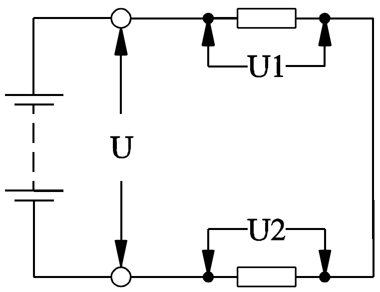
Kirchoffs 1. lov

Summen af strømme, der løber til et knudepunkt, er lig summen af strømme, der løber fra knudepunktet.

$$I1 + I2 + I3 = I4 = I5 + I6$$



Kirchoffs 2. lov



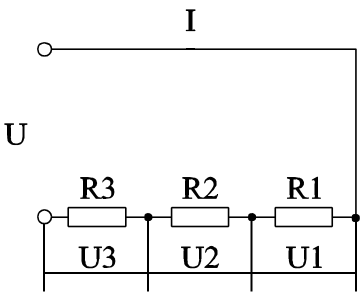
I et sluttet kredsløb er summen af de påtrykte spændinger lig med summen af spændinger (spændingsfald) over de enkelte modstande.

$$U = U1 + U2$$

Serieforbindelser

At komponenter serieforbindes vil sige, at de forbindes i forlængelse af hinanden. Ved afbrydelse et sted i kredsen er alt afbrudt.

Regler for serieforbindelse



Strømmen er overalt i kredsen den samme.

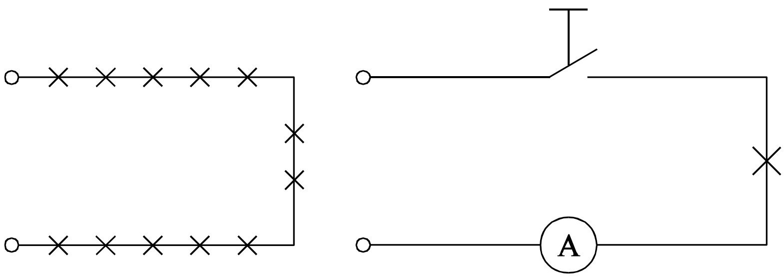
Den påtrykte spænding er lig summen af spændingsfald over de enkelte modstande.

$$U = U1 + U2 + U3$$

Den resulterende modstand er lig summen af de enkelte modstande.

$$RS = R1 + R2 + R3$$

Eksempler på anvendelse



Eksempler

Tre modstande på 10 Ω, 8 Ω og 4 Ω serieforbindes og tilsluttes 220 V.

Find:

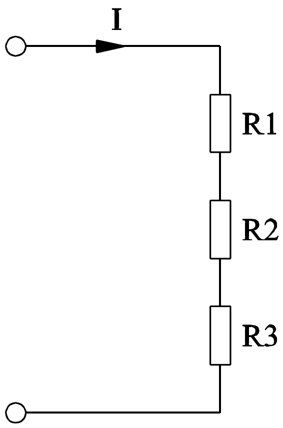
den resulterende modstand

strømmen

spændingen over hver modstand.

$$RS = R1 + R2 + R3$$

$$RS = 10 + 8 + 4 = \underline{\underline{22\ \Omega}}$$



$$U = I \bullet R \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{220}{22} = \underline{\underline{10\ A}}$$

$$U1 = I \bullet R1$$

$$U1 = 10 \bullet 10 = \underline{\underline{100\ V}}$$

$$U2 = I \bullet R2$$

$$U2 = 10 \bullet 8 = \underline{\underline{80\ V}}$$

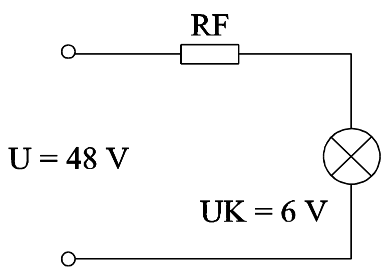
$$U3 = I \bullet R3$$

$$U3 = 10 \bullet 4 = \underline{\underline{40\ V}}$$

$$U1 + U2 + U3 = \underline{\underline{220\ V}}$$

Kontrol viser, at opgaven er rigtigt løst.

Formodstand



En kontrollampe på 6 V, 0,1 A skal anvendes på 48 V.

I serie med kontrollampen sættes en formodstand RF, som skal være af en størrelse, der giver et spændingsfald på 48-6 = 42 V.

Find formodstanden RF.

Først findes den samlede modstand ved 0,1 A.

$$RS = \frac{U}{I} \quad RS = \frac{48}{0,1} \quad RS = \underline{\underline{480\ \Omega}}$$

Dernæst findes formodstanden

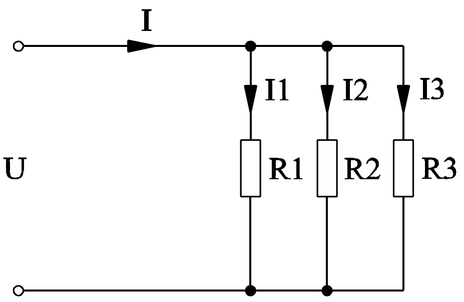
$$RF = RS - \frac{UK}{I}$$

$$RF = 480 - \frac{6}{0,1} = \underline{\underline{420\ \Omega}}$$

Parallelforbindelser

Tilsluttes modstande så spændingen er fælles, kaldes det en parallelforbindelse.

Regler for parallelforbindelse



Spændingen over alle modstande er den samme.

Strømmen i tilledningerne er lig med summen af strømmene gennem de enkelte modstande.

$$I = I1 + I2 + I3$$

Den resulterende modstand R' kan findes ved at dividere den samlede strøm (strømmen i tilledningerne) op i spændingen.

$$R' = \frac{U}{I} \ (Ohms\ lov)$$

Den resulterende modstand er altid mindre end den mindste af enkeltmodstandene.

Reciprokformlen

Den resulterende modstand kan også findes ved brug af nedenstående formel:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

Ens modstande

Heraf kan udledes, at når ens modstande parallelforbindes, bliver den resulterende modstand lig med modstandsværdien for en enkelt modstand divideret med antallet af forbundne modstande, altså:

$$R' = \frac{R}{n}$$

Eksempel

Fem modstande hver på 150 Ω parallelforbindes. Find R|.

$$R^{/} = \frac{R}{n}$$

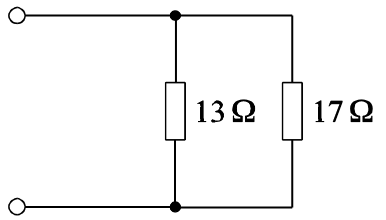
$$R^{/} = \frac{150}{5} = \underline{\underline{30\ \Omega}}$$

To uens modstande

Når der er tale om kun to modstande med forskellig værdi, kan reciprokformlen omskrives til:

$$R^{/} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

Eksempler

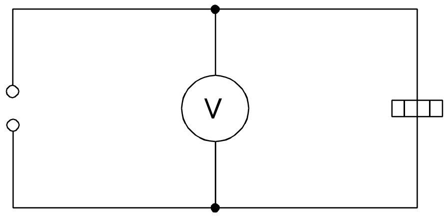


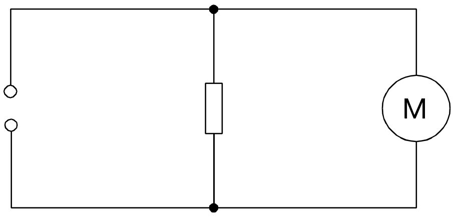
Beregn den resulterende modstand:

$$R^{/} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

$$R^{/} = \frac{13 \cdot 17}{13 + 17} = \underline{\underline{7{,}37\ \Omega}}$$

Eksempler på anvendelse





Eksempel

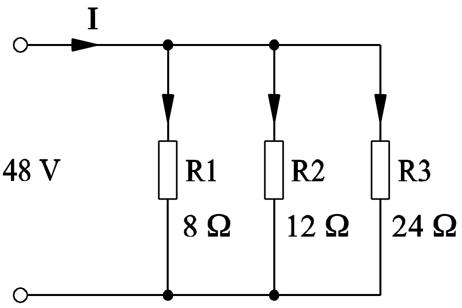
Tre modstande på 8 Ω, 12 Ω og 24 Ω parallelforbindes og tilsluttes 48 V.

Find:

Strømmen gennem hver modstand.

Den samlede strøm.

Den resulterende modstand.



$$U = I \cdot R \Rightarrow I1 \cdot \frac{U}{R1}$$

$$I1 = \frac{48}{8} = \underline{\underline{6\ A}}$$

$$I2 = \frac{U}{R2} = \frac{48}{12} = \underline{\underline{4\ A}}$$

$$I3 = \frac{U}{R3} = \frac{48}{24} = \underline{\underline{2\ A}}$$

$$I = I1 + I2 + I3 = \underline{\underline{12\ A}}$$

$$U = I \cdot R' \Rightarrow R' = \frac{U}{I}$$

$$R' = \frac{48}{12} = \underline{\underline{4\ \Omega}}$$

Vurdering: Den resulterende modstand er mindre end den mindste af de enkelte modstande.

Der er rimelig sikkerhed for, at resultatet er rigtigt.

Hvis reciprokformlen benyttes bliver beregningen:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{8} + \frac{1}{12} + \frac{1}{24}$$

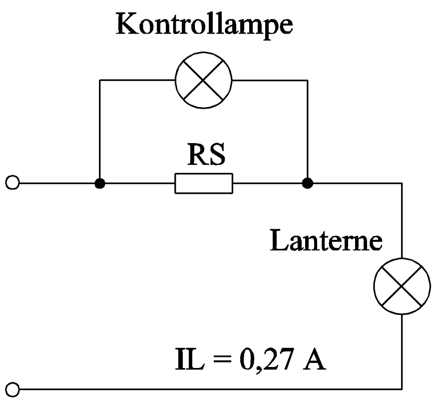
Fællesnævner sættes lig med: 24

$$\frac{1}{R'} = \frac{3}{24} + \frac{2}{24} + \frac{1}{24} = \frac{6}{24}$$

Brøkerne vendes på begge sider af lighedstegn:

$$R' = \frac{24}{6} = \underline{\underline{4\ \Omega}}$$

Shuntmodstand



På et skib skal det kontrolleres, om lanternerne lyser.

I serie med lanternen anbringes en modstand, RS, parallelt med en 6 V kontrollampe på 0,1 A.

Hvis lanternelampen brænder over, vil spændingsfaldet over shuntmodstanden blive nul, og kontrollampen slukker.

Beregn shuntmodstanden RS.

Strømmen igennem shunten beregnes:

$$IS = IL - IK$$

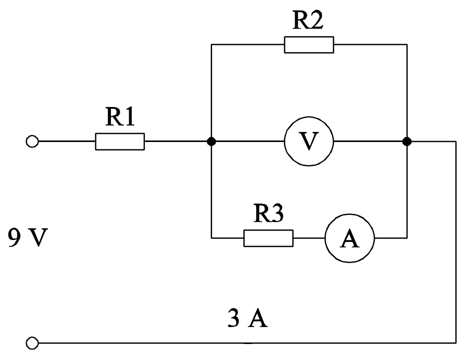
$$IS = 0{,}27 - 0{,}1 = \underline{\underline{0{,}17\ A}}$$

Shuntmodstanden beregnes:

$$RS = \frac{UK}{IS}$$

$$RS = \frac{6}{0{,}17} = \underline{\underline{35{,}29\ \Omega}}$$

Blandede forbindelser



Med blandede forbindelser forstås sammensatte serie- og parallelkredsløb.

Her er det af stor vigtighed, at beregningerne foretages mellem sammenhørende værdier.

Hvis instrumenterne ved skitsen viser

U = 6 V og I = $\underline{\underline{2\ A}}$ kan R3 beregnes:

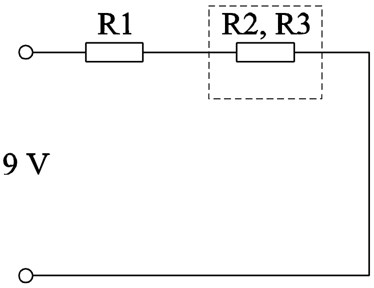
$$R3 = \frac{U}{I3} = \frac{6}{2} = \underline{\underline{3\ \Omega}}$$

Herefter findes "rene" serie- eller parallelforbindelser.

R2 og R3 er en "ren" parallelforbindelse, dvs. U = fælles og

$$I = I2 + I3$$
$$I2 = I - I3$$
$$I2 = 3 - 2 = \underline{\underline{1A}}$$
$$R2 = \frac{U}{I2}$$
$$R2 = \frac{6}{1}$$
$$R2 = \underline{\underline{6\ \Omega}}$$

Erstatningsdiagram



Der kan så tegnes et erstatningsdiagram også kaldet et ækvivalentdiagram.

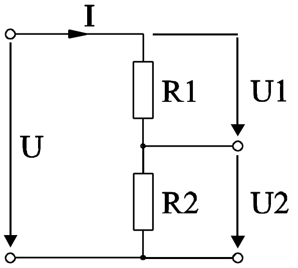
Dette viser nu en "ren" serieforbindelse dvs. I = fælles og

$$U = U1 + U2{,}U3$$
$$U1 = U - U2{,}U3$$
$$U1 = 9 - 6 = \underline{\underline{3\ V}}$$

$$R1 = \frac{U1}{I1}$$

$$R1 = \frac{3}{3} = \underline{\underline{1\ \Omega}}$$

Spændingsdelere



Her må vi først betragte den grundlæggende spændingsdeler, der består af to serieforbundne modstande, R1 og R2.

Den tilførte spænding ligger over serieforbindelsens ydre klemmer, mens den afgivne spænding U2 er den delspænding, der ligger over R2.

En spændingsdeler er ubelastet, når man ikke tager nogen strøm ud af den, men kan også betragtes som ubelastet, dersom den afgivne strøm er væsentligt mindre end den samlede strøm.

Ubelastet spændingsdeler

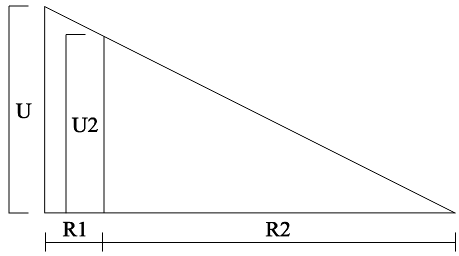
Ved den ubelastede spændingsdeler bliver spændingen U delt op i delspændingerne U1 og U2. U2, som er den afgivne spænding, forholder sig til U, ligesom R2 forholder sig til R1 + R2.

$$\frac{U2}{U} = \frac{R2}{\Sigma R}$$

heraf følger

$$U2 = \frac{R2}{R1 + R2} \cdot U$$

Eksempler



En spændingsdeler har
R1 = 50 Ω, R2 = 300 Ω og U = 91 V.

Hvor stor er den afgivne spænding U2, når spændingsdeleren er ubelastet?

$$U2 = \frac{R2}{R1 + R2} \cdot U$$

$$U2 = \frac{300 \cdot 91}{50 + 300} = \underline{\underline{78\ V}}$$

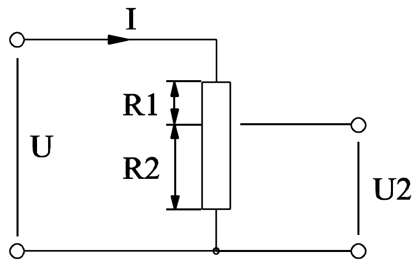
Man kan også løse opgaven rent geometrisk, som vist på denne figur.

1 cm = 100 Ω

1 cm = 50 V

For det meste anvender man en trinløs variabel spændingsdeler. Dermed kan delspændingen U2 indstilles på alle værdier mellem nul og U.

Kontaktglideren opdeler da modstandsbanen i R1 og R2.

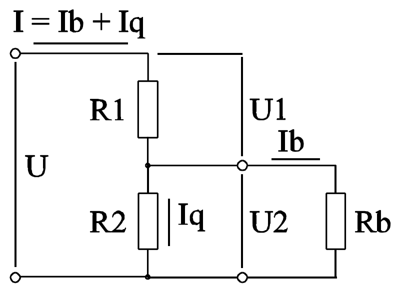


Formlen for den afgivne spænding kommer nu til at se således ud:

$$U2 = \frac{R2}{R} \cdot U$$

hvor R er potentiometrets totale modstand. Da U og R i en given kreds er konstante størrelser, ses det, at den afgivne spænding U2 er ligefrem proportional med R2.

Belastet spændingsdeler



Er der sluttet en belastning til spændingsdeleren, løber der gennem belastningen en strøm Ib og gennem R2 en såkaldt tværstrøm Iq.

Gennem R1 løber den samlede strøm:

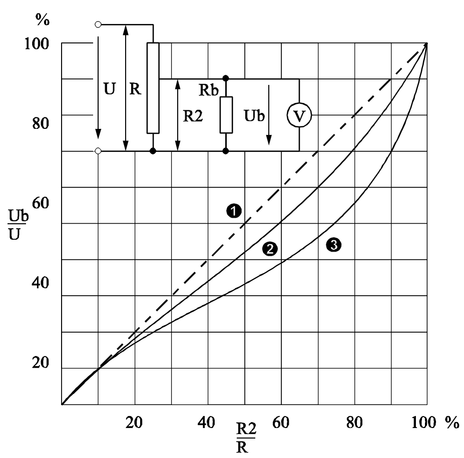
$$I = Ib + Iq$$

Tværstrømmen giver anledning til varmetab i R2, hvorfor man af den grund ønsker Iq så lille som muligt.

Men for at holde den afgivne spænding U2 så stabil, som muligt ved varierende belastning, skal Iq helst være så stor som muligt.

Ofte vælger man kompromiset:

$$I = 10 \cdot Iq$$



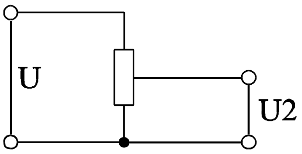
Denne kurve viser, hvorledes den afgivne spænding er afhængig af belastningen i de forskellige stillinger af spændingsdeleren.

1. Tomgang
2. Rb stor
3. Rb lille

Som det ses af diagrammet, består en belastet spændingsdeler af en parallelforbindelse af modstandene R2 og Rb, med hvilken modstanden R1 er forbundet i serie.

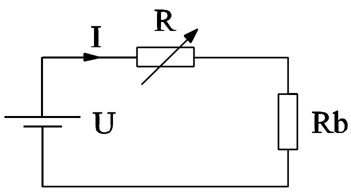
Denne forbindelse kan derfor beregnes ved hjælp af de normale beregningsmåder for serie- og parallelforbindelser.

Potentiometer



Anvendes en variabel modstand som spændingsdeler, kaldes den for et potentiometer.

Potentiometrets anvendelse



Potentiometret kan enten anvendes direkte som variabel modstand i serie med belastningen Rb eller som spændingsdeler. Anvendes det i serie med belastningen, kan strømmen i kredsen varieres mellem to yderværdier. Ses der bort fra den indre modstand i strømkilden, kan disse yderværdier bestemmes således:

$$Imin = \frac{U}{Rmax + Rb}$$

idet Rmax er den højeste værdi, potentiometret kan stilles på. Den anden yderværdi bliver:

$$Imax = \frac{U}{Rb}$$

Effekt

Når den elektriske effekt i et jævnstrømsanlæg skal findes, bruges formlen:

$$P = U \cdot I$$

Indsætter vi Ohms lov, U = I · R, i formlen for effekt, får vi

$$P = I \cdot R \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R$$

Ved konstant modstand vil altså dobbelt så stor strøm bevirke en fire gange så stor effekt.

Indsætter vi $I = \frac{U}{R}$ i formlen for effekt får vi:

$$P = U \cdot \frac{U}{R}$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Ved konstant modstand vil en dobbelt så høj spænding bevirke en fire gange så stor effekt.

Eksempler

Bruger en cykellygte 0,5 A ved 6 V, er effekten:

$$P = U \cdot I$$

$$P = 6 \cdot 0{,}5 = \underline{\underline{3\ W}}$$

En glødelampe er stemplet 230 V 60 W. Find den optagne strøm.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{230} = \underline{\underline{0{,}26\ A}}$$

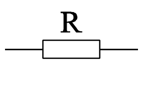
En varmeovn skal ved 2 A udvikle en effekt på 1000 W. Find den nødvendige spænding.

$$U = \frac{P}{I}$$

$$U = \frac{1000}{2} = \underline{\underline{500\ V}}$$

Hvor stor en strøm må en modstand mærket 100 Ω ¼ W, maksimalt gennemløbes af?

$$P = I^2 \cdot R \Rightarrow I^2 = \frac{P}{R}$$



$$I^2 = \frac{0{,}25}{100} \Rightarrow I = \sqrt{0{,}0025} = \underline{\underline{0{,}05\ A}}$$

Arbejde

Når det elektriske arbejde skal findes, bruges formlen $A = P \cdot t$.

Eksempler

Et strygejern optager 750 W. Hvor stor energi vil det bruge ved otte timers uafbrudt drift?

$$A = P \bullet t$$

$$A = 0{,}75 \bullet 8 = \underline{\underline{6\ kWh}}$$

Gennem en 2,4 Ω modstand sendes 10 A i 4 timer. Find forbruget i kWh.

$$P = I^2 \bullet R$$

$$P = 10^2 \bullet 2{,}4 = 240\ W = \underline{\underline{0{,}24\ kW}}$$

$$A = P \bullet t$$

$$A = 0{,}24 \bullet 4 = \underline{\underline{0{,}96\ kWh}}$$

Til 230 V spænding sluttes en varmeovn med 4,4 Ω modstand i 3 timer. Find forbruget i kWh.

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = \frac{52900}{4{,}4} = 12023\ W = \underline{\underline{11\ kW}}$$

$$A = P \bullet t$$

$$A = 12 \bullet 3 = \underline{\underline{36\ kWh}}$$

En kunde spørger: Hvad koster det at bruge en lysekrone i to timer? Den pågældende lysekrone har 4 stk. 60 W lamper, og der betales 150 øre/kWh.

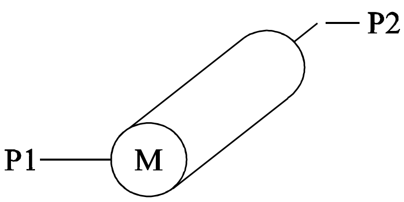
$$P = 4 \bullet 60 = 240\ W = \underline{\underline{0{,}240\ kW}}$$

$$A = P \bullet t$$

$$A = 0{,}24 \bullet 2 = 0{,}48\ kWh$$

$$Pris = 0{,}48 \bullet 150 = \underline{\underline{72\ øre}}$$

Nyttevirkning



Ved omsætning af effekt og arbejde fra en tilstand til en anden vil der forekomme tab.

Tilført arbejde = afgivet arbejde + tab

$$A1 = A2 + tab$$

eller tilført effekt = afgiven effekt + tab

$$P1 = P2 + tab$$

Dette kan også udtrykkes som et forhold kaldet virkningsgraden benævnt η (eta)

$$\eta = \frac{A2}{A1}$$

eller

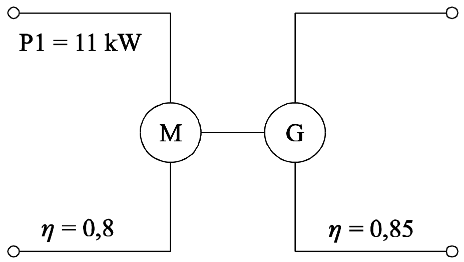
$$\eta = \frac{P2}{P1}$$

Virkningsgrad

I praksis måler man for en elektromotor den tilførte effekt P1 i watt, og den afgivne P2 i watt eller hestekraft. Ved overslagsberegninger antager man ofte, at en motor optager 900 W for hver hk, den afgiver. Dvs., at man regner motorens virkningsgrad til:

$$\eta = \frac{736}{900} = \underline{\underline{0{,}82\ eller\ 82\ \%}}$$

Eksempler



En motor med virkningsgrad 80 % optager 11 kW. Hvor mange kW afgiver den?

$$P2 = P1 \bullet \eta$$

$$P2 = 11 \bullet 0{,}8 = \underline{\underline{8{,}8\ kW}}$$

En generator med virkningsgrad 85 % kobles til motoren i foregående eksempel. Find generatorens afgivne effekt.

$$P2 = P1 \bullet \eta$$

$$P2 = 8{,}8 \bullet 0{,}85 = \underline{\underline{7{,}48\ kW}}$$

Motoren i ovenstående eksempel er en 440 V jævnstrømsmotor, og generatoren er en 220 V jævnstrømsgenerator.

Find generatorens afgivne strøm I2 og motorens optagne strøm I1.

$$I2 = \frac{P}{U}$$

$$I2 = \frac{7480}{220} = \underline{\underline{34\ A}}$$

$$I1 = \frac{11000}{440} = \underline{\underline{25\ A}}$$

Hvis virkningsgraden var 100 %, ville motoren optage halvt så stor en strøm, som generatoren afgiver, fordi den har dobbelt så stor spænding. Nu er hele aggregatets virkningsgrad:

$$\eta = \frac{U2 \bullet I2}{U1 \bullet I1}$$

$$\eta = \frac{220 \bullet 34}{440 \bullet 25} = \underline{\underline{0{,}68}}$$

hvilket netop er produktet af de to maskiners virkningsgrader 0,8 · 0,85 = 0,68.

Flere maskiners samlede virkningsgrad

Af eksemplerne ses, at et maskinaggregat, bestående af en motor direkte koblet til en generator, vil have en virkningsgrad, som er lig med motorens gange generatorens virkningsgrad.

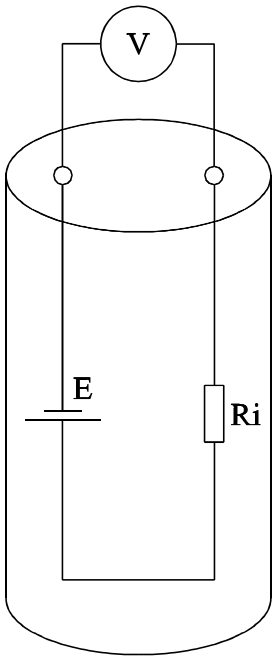
Spændingskilder

En spændingskilde er fx et batteri eller en generator.

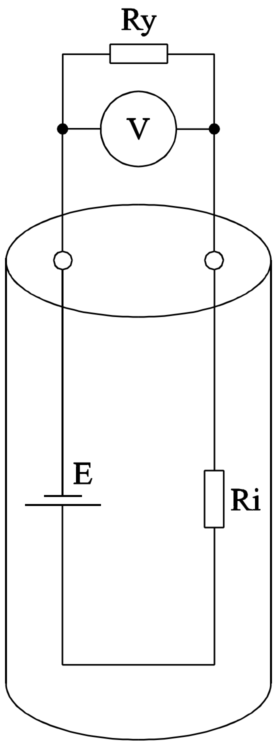
Elektromotorisk kraft

Tilsluttes et voltmeter over en energikildes to klemmer, måles spændingen i ubelastet tilstand.

Denne spænding kaldes den elektromotoriske kraft. Som formeltegn benyttes E.



Klemspænding



Tilsluttes der derefter en modstand, viser voltmetret et mindre udslag. Spændingen på klemmerne er blevet mindre.

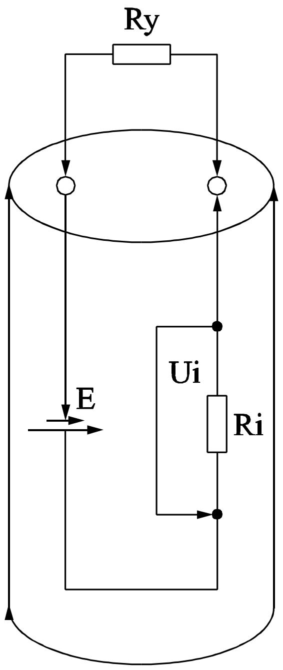
Denne mindre spænding kaldes klemspændingen. Som formeltegn benyttes U.

Indre modstand

At spændingen over klemmerne falder, når der tilsluttes belastning, skyldes, at energikilden indeholder elektrisk modstand.

Denne modstand i selve energikilden kaldes den indre modstand. Som formeltegn benyttes Ri.

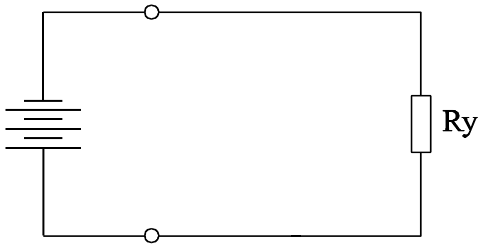
Indre spændingsfald



Strømmen, der gennemløber modstanden(e) i det ydre kredsløb Ry, vil også gennemløbe den indre modstand og forårsage et indre spændingsfald. Som formeltegn benyttes Ui.

$$Ui = I \bullet Ri$$

Formler



Da energikildens indre modstand gennemløbes af den samme strøm som den ydre modstand, gælder reglerne for en serieforbindelse altså:

$$E = U + Ui$$

$$I = \frac{E}{(Ri + Ry)}$$

$$\Sigma R = Ri + Ry$$
$$U = I \bullet Ry$$
$$Ui = I \bullet Ri$$

Eksempler

Tre elementer hver med E = 1,5 V, Ri = 0,2 Ω serieforbindes og tilsluttes en ydre belastning med Ry = 8,4 Ω.

Beregn:

Strømstyrken

Klemspændingen U

Indre spændingsfald Ui.

$$I = \frac{E}{Ri + Ry}$$

$$I = \frac{4,5}{0,6 + 8,4} = \underline{\underline{0,5\ A}}$$

$$U = I \cdot Ry$$

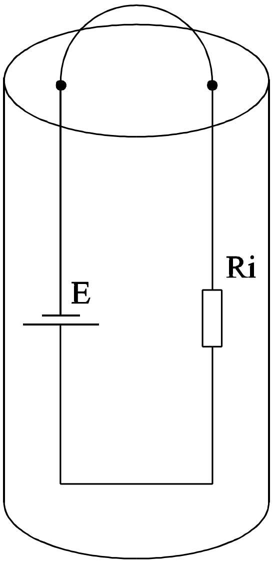
$$U = 0,5 \cdot 8,4$$

$$U = \underline{\underline{4,2\ V}}$$

$$Ui = \frac{I \bullet Ri}{3}$$

$$Ui = \frac{0,5 \bullet 0,6}{3} = \underline{\underline{0,1\ V\ pr.\ element}}$$

Kortslutningsstrøm



Hvis man har et ubelastet batteri og kortslutter klemmerne, er der kun den indre modstand til at begrænse strømmen.

Størrelsen af denne kortslutningsstrøm kan beregnes ved brug af nedenstående formel:

$$IK = \frac{E}{Ri}$$

Selv om spændingen over energikildens tilslutningsklemmer muligvis er ganske lille, kan der godt opstå ret anseelige strømme ved kortslutning.

Eksempler

Et 1,5 V element med Ri = 0,1 Ω kortsluttes. Find kortslutningsstrømmen.

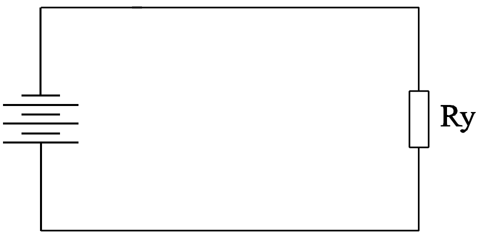
$$IK = \frac{E}{Ri}$$

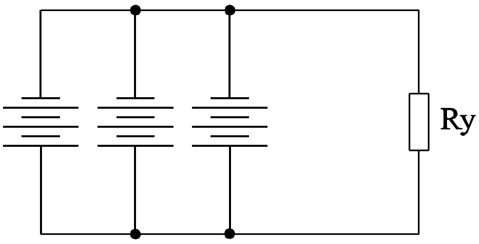
$$IK = \frac{1,5}{0,1} = \underline{\underline{15\ A}}$$

Kombinationer

I visse tilfælde kan det have betydning, at batterierne ikke belastes for hårdt.

Det kan derfor være nødvendigt at parallelforbinde flere batterier for at frembringe den nødvendige strøm.





Eksempler

Skal man fx bruge 3 A gennem en modstand på 1,4 Ω, må batteriets elektromotoriske kraft være mindst I Ry = 4,2 V, og man må da sætte 3 stk. 1,5 V elementer i serie.

Hvis det enkelte batteri har en indre modstand på fx 0,1 Ω vil de tre serieforbundne batterier have en resulterende indre modstand på 3 0,1 = 0,3 Ω.

Ud fra de tidligere angivne formler kan vi finde strømmen i hele kredsen som:

$$I = \frac{E}{Ri + Ry}$$

$$I = \frac{4,5}{0,3 + 1,4} = \underline{\underline{2,65\ A}}$$

Strømmen viser sig at være ca. 11% mindre end ønsket.

Problemet er, om man kan nøjes med disse 2,65 A. Hvis man ikke kan, må man parallelforbinde flere serieforbindelser for at nedbringe den resulterende indre modstand. I dette tilfælde skal man bruge tre parallelforbundne serieforbindelser for at opnå den nødvendige strøm, altså i alt 9 stk. 1,5 V batterier.

$$\Sigma Ri = \frac{3 \bullet Ri}{n}$$

$$\Sigma\ Ri = \frac{3 \bullet 0,1}{3} = \underline{\underline{0,1\ \Omega}}$$

$$I = \frac{E}{Ri + Ry}$$

$$I = \frac{4,5}{0,1 + 1,4} = \underline{\underline{3\ A}}$$

Magnetisme

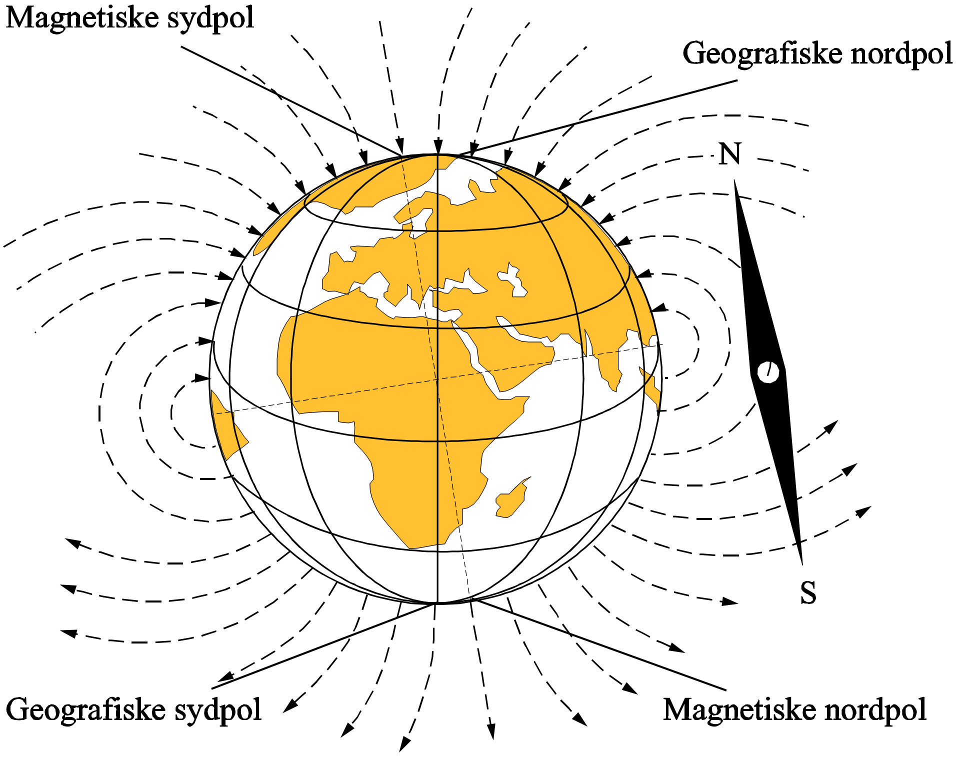
Magnetisme er opkaldt efter en lille by, Magnesia, i Asien, hvor der i større mængder forekommer jernmalme, som viser magnetiske egenskaber. Det vil sige, at de påvirker eller lader sig påvirke af andet jern.

Jernmalm kaldes også magnetjernsten.

Foruden de i naturen forekommende magnetjernsten viser kun stål samt nogle enkelte metaller som nikkel og kobolt stærke magnetiske egenskaber.

Jordmagnetisme

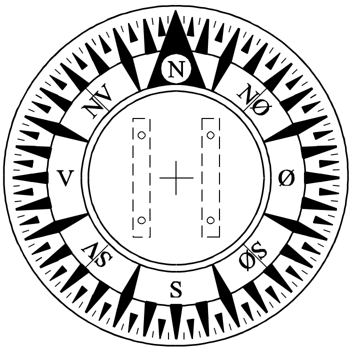
Ophænges en stangformet naturmagnet frit drejelig, vil dens ene ende pege mod jordens nordpol og den anden derfor mod sydpolen.

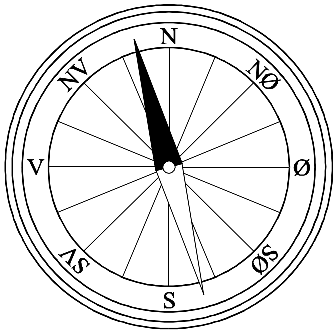


Forklaringen herpå er, at jordkloden i sig selv virker som en kæmpemæssig magnet, hvor jordens magnetiske sydpol ligger i nærheden af den geografiske nordpol, og den magnetiske nordpol ved den geografiske sydpol.

Kompasnålen

En kompasnål er en lille drejelig stangmagnet.





Den ene ende af kompasnålen, der peger mod jordens nordpol, kaldes nordpol, den anden ende derfor sydpol.

I vore dage er en kompasnål ikke en naturmagnet; den fremstilles som en permanent stålmagnet.

Kompasset er opfundet af kineserne før Kristi fødsel. Man benyttede naturlige magneter, det vil sige fundne stykker af magnetjernsten.

Imidlertid opdagede man, at magnetismen lod sig overføre fra det naturlige magnetjern til andre jernstykker, og man bemærkede yderligere, at hærdet stål gav de mest holdbare magneter.

På almindelige skibskompasser fastgøres kompasnålen på undersiden af en kompasrose, som foruden nordretningen samtidig angiver alle andre kompasretninger.

Magneter

En magnet kendes på, at den tiltrækker jern. Magneter fremstilles i dag af forskellige legeringer, hvor jern eller jernpulver indgår, alt efter hvad magneten skal anvendes til.

Typer

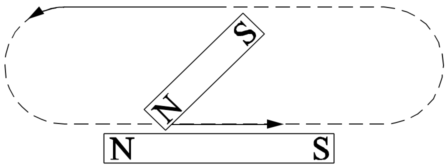
Der skelnes mellem permanente magneter og elektromagneter.

Permanente magneter

Ordet permanent betyder vedvarende.

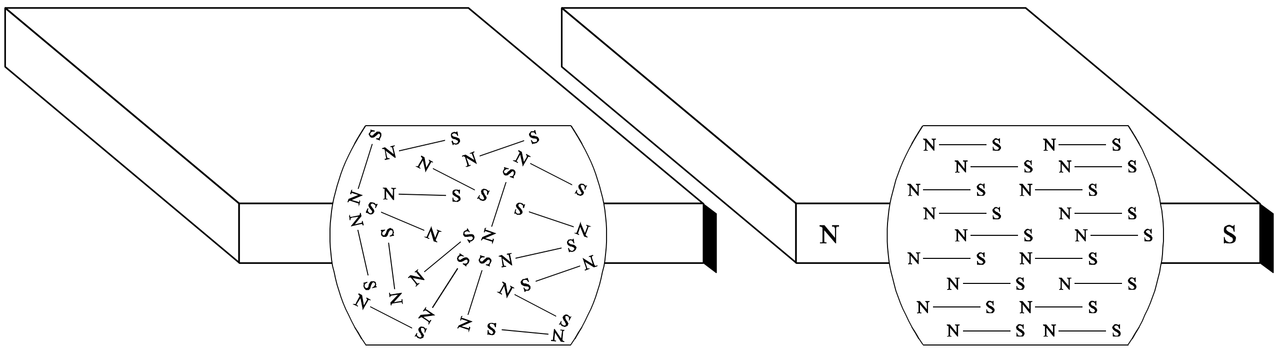
Permanente magneter fremstilles af hårdt stål og har den egenskab, at de holder magnetismen.

Magnetisering ved strygning



Magnetisering af en stålstang kan ske ved, at man stryger en permanent magnet gentagne gange i samme retning og i hele stålstangens længde. Derved omdannes det før umagnetiske stål til en magnet.

Et billede på, hvad der sker, kan man få ved at tænke sig, at det umagnetiserede stål indeholder en mængde småmagneter, som ligger hulter til bulter.



Ved strygning med en magnet ordnes disse småmagneter, så de kommer til at ligge med nordpolen i en retning og sydpolen i den modsatte retning. Midt i stangen vil en lille magnets sydpol ligge imod en anden lille magnets nordpol; men ved stangens ender ligger en hel del nord- og sydpoler frit, hvorfor stålstangen får en magnetpol i hver ende.

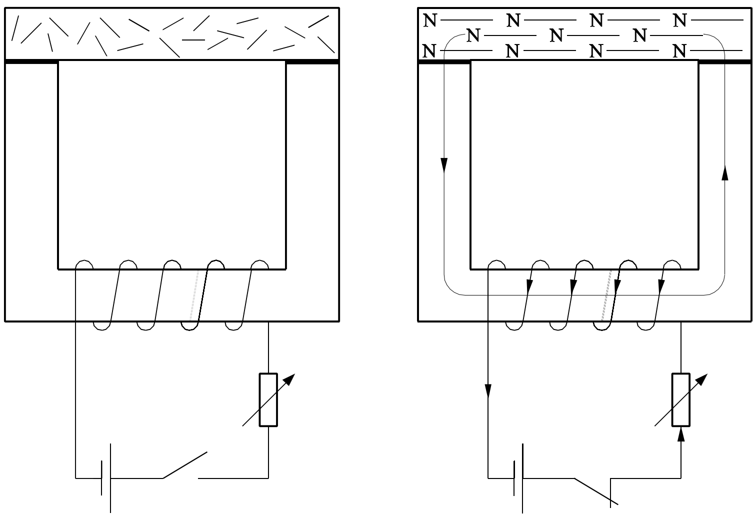
I støbejern og blødt stål drejer småmagneterne sig lettere end i hårdt stål, men kommer til gengæld også lettere i uorden. I fx ankerblik, som er blødt stål, drejer småmagneterne sig på plads, så snart de udsættes for en magnetiserende kraft, men kommer delvis i uorden igen, så snart kraften ophører.

I hårdt stål kræver småmagneterne en stor kraft for at ordne sig, men beholder derefter deres stilling, selv om den magnetiske kraft ophører.

Opmagnetisering ad elektronisk vej

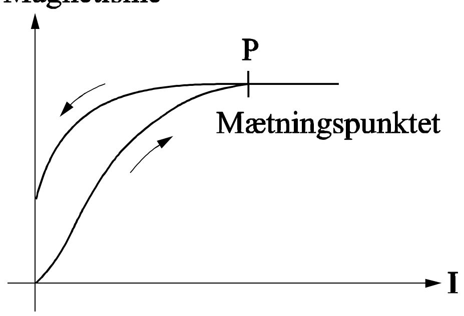
Det almindeligste er at opmagnetisere ad elektromagnetisk vej. Elektromagnetens spole tilsluttes en jævnspændingskilde, hvorved strømmen i spolen frembringer et magnetfelt, hvis retning er bestemt af strømretningen i spolen. Dette magnetfelt vil forløbe i kernen og gennem stålstangen.

Når strømmen forøges, og magnetfeltet derfor forstærkes, vil stålstangens småmagneter påvirkes, således at de drejer sig med nordpolerne i feltets retning.

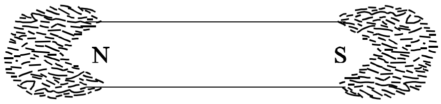


Mætningspunkt

Når samtlige småmagneter i stålstangen er bragt i orden, er mætningspunktet nået, det vil sige, at der ikke ved fortsat strygning eller større strøm i elektromagnetens spole opnås en forøgelse af stålstangens magnetiske kraft.



Remanens



Den magnetismemængde, som bliver tilbage i stålstangen, kaldes den remanente magnetisme eller blot remanensen. Hovedparten af magnetismen findes ved stangmagnetens to ender; tiltrækningen vil derfor være kraftigst ved polerne.

Opmagnetisering ad elektronisk vej

Da stål er mest anvendt til fremstilling af permanente magneter, benævnes den her omtalte form for magnetisme for ferromagnetisme.

Magnetform

Inden for stærk- og svagstrømsteknikken er permanente magneters anvendelsesområder mangfoldige.

For eksempel anvendes de i måleinstrumenter, elektricitetsmålere, termostater, radio- og tv-apparater, højttalere, telefoner og i små motorer.

Afmagnetisering

Udsættes en permanent magnet for et slag i en bestemt retning, kan den derved miste hovedparten af sin magnetisme. Det er en af grundene til, at måleinstrumenter, hvori der findes permanente magneter, skal behandles med varsomhed.

Endvidere forsvinder magnetismen, når magneten opvarmes til ca. 700 °C.

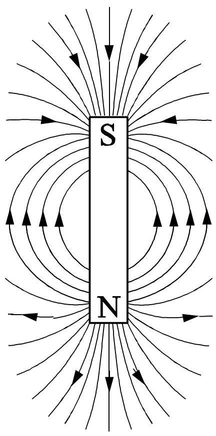
Fremstilling

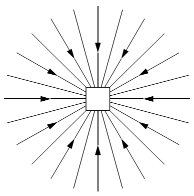
I dag er det muligt at fremstille meget kraftige magneter med små ydre dimensioner. Fremstillingen foregår ved, at selve støbningen af den færdige magnet sker i et meget kraftigt magnetfelt.

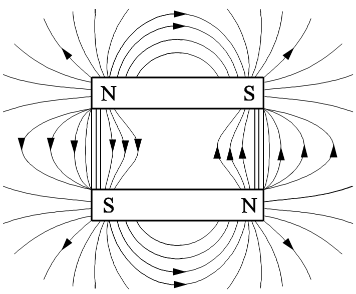
Tidligere anvendtes stållegeringer, hvor kulstof, krom, wolfram eller kobolt indgik.

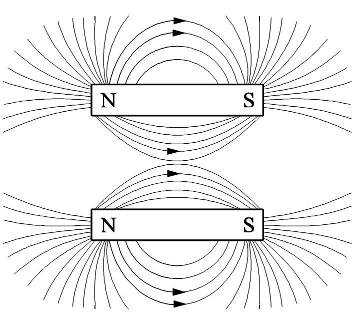
I dag er det oftest betydeligt mere komplicerede legeringer, der anvendes, og som hovedsageligt består af jern, nikkel, aluminium samt diverse andre stoffer. Eksempler på disse legeringer er ticonal, alnico og alcomax.

Magnetfelter









Anbringer man en magnets ene pol i nærheden af en anden magnets pol, vil der som nævnt optræde en tiltrækning eller en frastødning. En magnetpols virkning strækker sig altså ud i rummet udenom. Man siger, at der uden om magneten findes et magnetisk felt.

Man tænker sig ofte feltets karakter anskueliggjort ved hjælp af magnetiske kraftlinier.

De magnetiske kraftlinier tænkes at udgå fra magnetens nordpol og vende tilbage til dens sydpol.

Inde i magneten går kraftlinierne videre fra sydpolen til nordpolen. De magnetiske kraftlinier danner altså lukkede kurver.

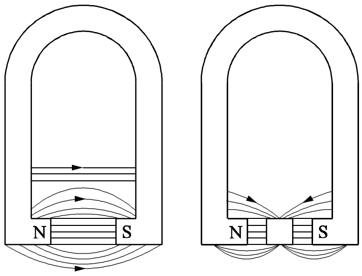
Kraftliniernes retning, feltets retning i et tilfældigt punkt, angiver den retning, hvori en nordpol vil påvirkes, hvis den anbringes i det pågældende punkt. Dette stemmer med, at kraftlinierne udgår fra magnetens nordpol og vender tilbage til dens sydpol.

Nærmer man en magnets ene pol til en anden magnets pol, vil de to magneter enten frastøde eller tiltrække hinanden, afhængig af, om de enten er ens polede eller modsat polede.

Ved permanente magneter har kun kurverne uden for magneten interesse; men ved elektromagneter har kraftlinierne inde i magneten ofte interesse.

Man kan let udføre et forsøg, der viser feltets karakter.

På et bord lægger man en permanent magnet og derover et stift stykke papir. Af blødt stål filer man nogle spåner og drysser dem på papiret. Spånerne magnetiseres, og når man banker let på papiret, vil de lægge sig i et mønster, der er karakteristisk for den anvendte magnet.



I figurerne er vist en hesteskomagnet uden og med et anker af blødt stål. Man kalder stålkernen mellem magnetens poler for et anker.

Ankeret magnetiseres og tiltrækkes derfor af magneten. Da kraftlinierne vil løbe den kortest mulige vej fra en nordpol til en sydpol, og da stålet leder de magnetiske kraftlinier mange gange bedre end luft, vil kraftlinierne i det tilfælde, hvor der er anker, søge gennem dette.

Ved at anvende stålkerne får man altså en mindre spredning og derfor et kraftigere magnetfelt.

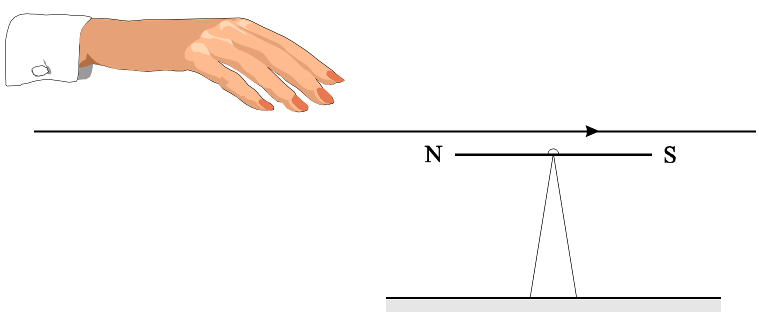
Elektromagneter

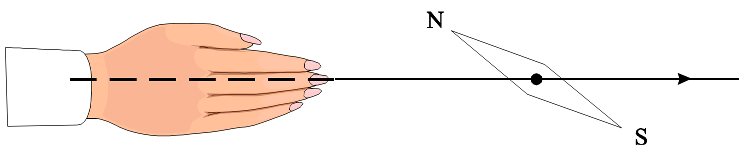
Den elektriske strøms magnetiske virkning blev i 1891-1920 påvist af den danske professor H. C. Ørsted. Han opdagede, at en bevægelig magnetnål bliver påvirket til drejning, når den anbringes i nærheden af en strømførende leder.

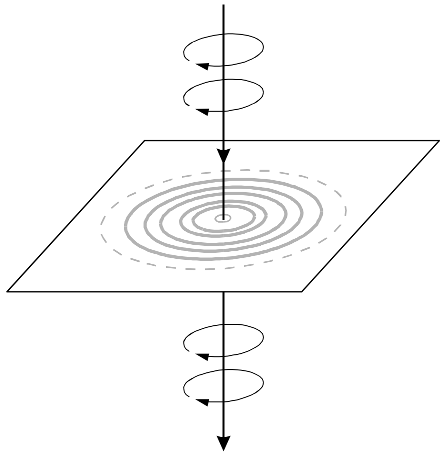
Retningen af udslaget findes ved hjælp af højrehåndsreglen:

- Man lægger højre hånd langs lederen med fingrene i strømmens retning og med håndfladen vendt mod magneten.

Magnetens nordpol vil da slå ud til den side, hvor tommelfingeren befinder sig.







Strømmens magnetiske virkninger udnyttes i moderne elektricitetsproduktion, i motorer, mange apparater og instrumenter mv.

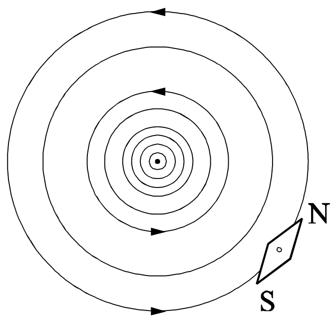
Lader man en strømførende leder gå gennem et stykke karton, der er bestrøet med jernfilespåner, vil disse ordne sig i cirkler omkring lederen.

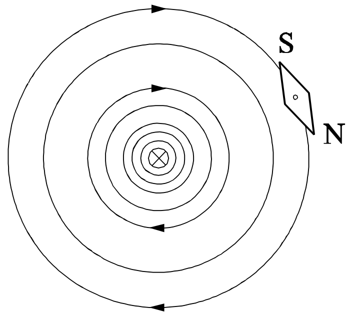
Feltet er kraftigst inde ved lederen og aftager hurtigt udefter.

Retningen af feltet huskes lettest ved den såkaldte "proptrækkerregel".

Skrues en højreskåren proptrækker frem gennem ledningen i strømmens retning, vil proptrækkerens omdrejningsretning angive feltretningen.

Enhver strømførende leder er omgivet af et magnetisk felt.





På den øverste figur er vist et plan vinkelret på lederen, hvor strømmen kommer ud fra papirets plan, og på den nederste figur ses, at strømmen går ind i papirets plan.

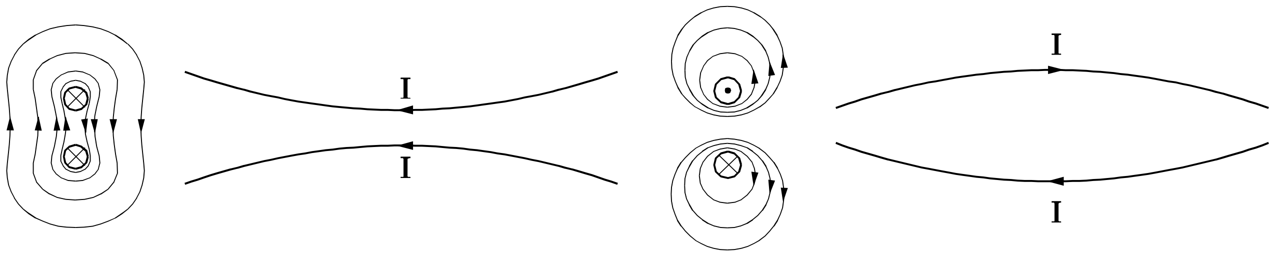
Prikken angiver spidsen af en pil på vej ud af papiret, mens krydset angiver styrefanerne på en pil på vej ind i papiret.

Gensidig påvirkning mellem to parallelle ledere

To retlinede, parallelle ledere, som gennemløbes af en strøm, vil påvirke hinanden magnetisk.

Går strømmene i samme retning, tiltrækker lederne hinanden.

Går strømmene i modsat retning, frastøder lederne hinanden.

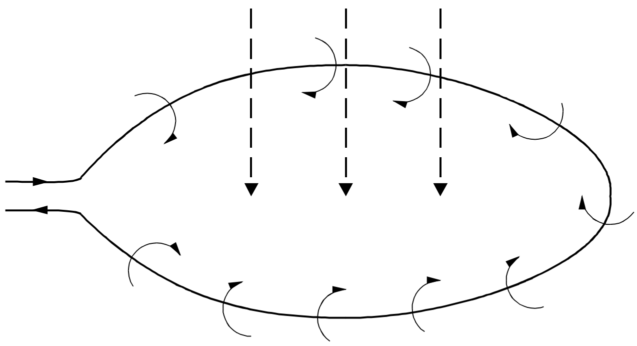


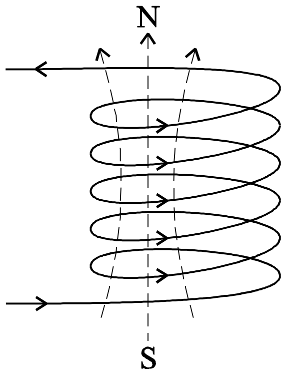
Spole

Bøjes en leder i cirkelform, vil magnetfeltet omkring lederen danne et felt med retning vinkelret på lederens plan.

Det ses af proptrækkerreglen, at alle kraftlinierne inde i sløjfen vil have en retning, og udenfor den modsatte retning.

Sløjfen virker altså som en flad magnet.





Hvis man vikler lederen op i en spole, vil hver vinding optræde som en cirkulær leder med et magnetfelt vinkelret på lederens plan; felterne fra de enkelte vindinger vil understøtte hverandre, og der vil dannes et for spolen fælles magnetfelt, således at spolen udadtil optræder som en magnet, hvis poler befinder sig i spolens endeflader.

Man kalder sådan en spole for en elektromagnet eller en solenoide. Den har et feltbillede, der svarer til en stangmagnets.

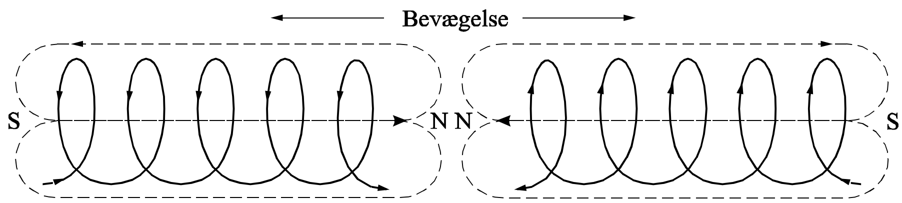
Polerne bestemmes ved højrehåndsreglen:

Man griber med højre hånd om spolen med fingrene i strømmens retning. Spolen vil da have nordpol til den side, hvor tommelfingeren befinder sig.

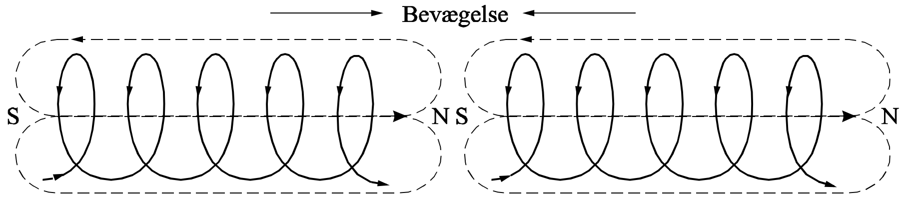
Gensidig påvirkning

To spoler vil påvirke hinanden på samme måde som permanente magneter.

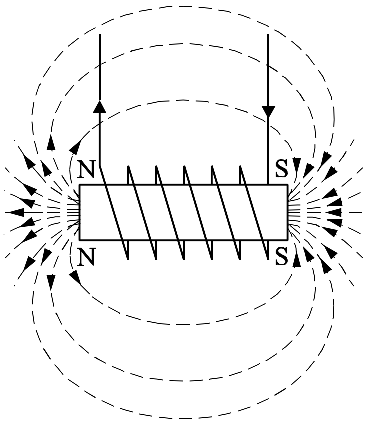
Frastøder hinanden.



Tiltrækker hinanden.



Spole med stålkerne



Anbringer man stålkerner i spolerne og sender samme strømstyrke gennem spolerne som før, vil virkningen blive kraftigere.

Det magnetiske felt er blevet mangedoblet.

Den evne til således at mangedoble magnetismen, som stålet her afslører, skyldes stålets permeabilitet.

Permeabiliteten er stålets magnetiske ledeevne og betegnes ved bogstavet μ, der er en talfaktor, som angiver, hvor mange gange stålet leder magnetismen bedre end luft.

Kernematerialer

De legeringer, der anvendes som kernemateriale, er sædvanligvis de såkaldte magnetiske bløde materialer, det vil sige ferromagnetiske stoffer med ringe remanens.

Siliciumjern

Siliciumjern er den mest brugte legering til nettransformere og drosselspoler.

Legeringen leveres i forskellige sammensætninger med indtil 4 % silicium.

Nikkellegeringer, som sælges under navne som Permalloy, Permivar og Mumetal, og som består af jern, nikkel og kobolt, har flere bemærkelsesværdige egenskaber, som gør dem egnede ved særlige anvendelser. Egenskaberne afhænger af deres sammensætning og den varmebehandling, de gennemgår.

Pulverkerner

Pulverkerner benyttes i spoler ved frekvenser over tonefrekvensområdet.

De fremstilles ved at sammenpresse findelt jernpulver med et ikke-ledende bindemiddel, fx schellak, trulitul eller keramiske materialer.

Den stærke findeling af det magnetiske materiale nedsætter hvirvelstrømstabene, mens de mange luftspalter forårsager, at permeabiliteten først ændrer sig ved temmelig store feltkræfter.

Pulverkerner er beregnet til frekvenser op til 0,1-0,5 MHz.

Ferroxcube

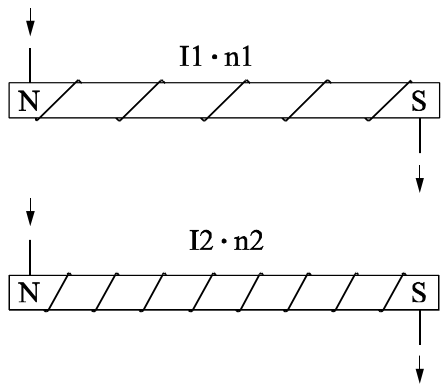
De former for ferroxcube, som nu anvendes, består som regel af to ferritter, af hvilke den ene er zinkferrit, mens den anden kan være kobber- eller nikkelferrit.

De herved fremkomne materialer har meget små tab, som gør dem velegnede til kernematerialer ved frekvenser op til flere tusinde MHz.

De små tab muliggør også fremstilling af spoler for lavere frekvensområder.

Materialets egenskaber afhænger af udgangsmaterialernes renhed og den senere behandling, der består i gentagne sintringer og mellemliggende malinger. Det tilberedte pulver kan derefter presses i den ønskede form. Det fremkomne materiale sintres ved ca. 1200 °C og er nu så hårdt, at det kun kan tildannes ved slibning.

Ampere-vindinger



Det viser sig, at styrken af det magnetiske felt vokser proportionalt med såvel strømstyrken som antallet af vindinger.

Dette udtrykkes ved, at magnetfeltet er afhængig af ampere-vindingerne.

Ved ampere-vindinger, AV, forstås

$$I \cdot n = AV$$

AV = strøm i ampere • antal vindinger.

Eksempel

En spole har 600 vindinger og kræver til magnetisering en strøm på 2,5 A.

Hvor mange vindinger skal spolen have, hvis magnetiseringsstrømmen kun skal være 1,5 A?

Den magnetiserende kraft frembringes af et amperevindingstal:

$$AV = I1 \cdot n1$$

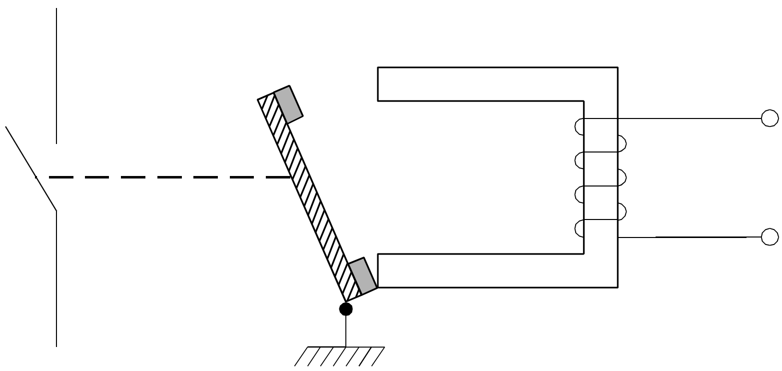
$$2{,}5 \cdot 600 = \underline{\underline{1500\ AV}}$$

$$I2 \cdot n2 = 1500\ AV$$

$$n2 = \frac{1500}{1{,}5} = \underline{\underline{1000\ vindinger}}$$

Anvendelse

Den mest udbredte brug af elektromagneter er i relæer, motorværn og lignende, hvor magneten er udformet og monteret således, at den kan tiltrække et anker, som kan betjene forskellige typer kontakter.

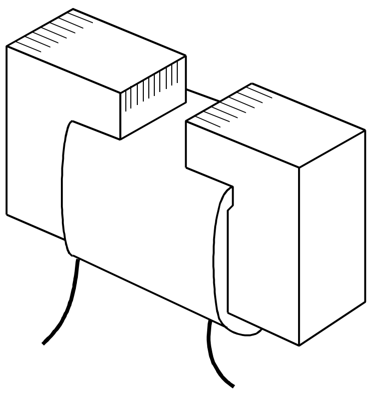


Forhold ved jævn- og vekselspænding

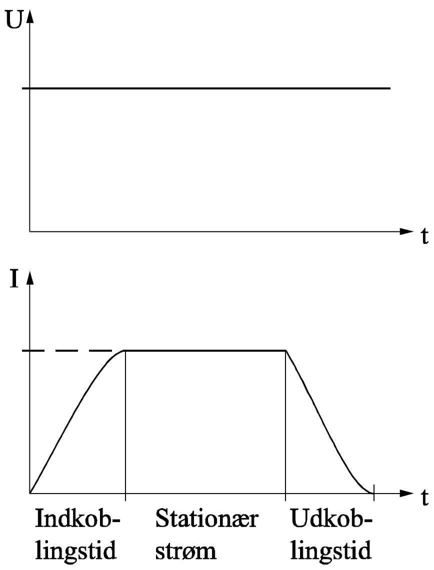
Sendes der jævnstrøm gennem magnetspolen, tiltrækkes ankeret konstant.

Sendes der derimod vekselstrøm gennem spolen, vil tiltrækningen være nul, når strømmens værdi passerer nul; dette vil få relæspolen til at brumme kraftigt. For at undgå dette må elektromagneten være bygget for vekselstrøm.

Undertiden bruger man trefasede magneter, eller man ensretter strømmen, før den sendes gennem magnetspolen.



Spole tilsluttet jævnspændingen



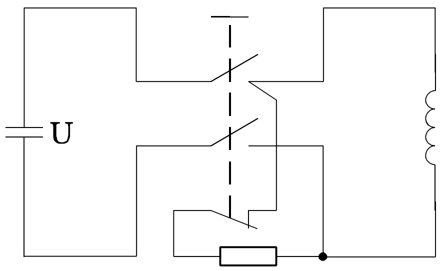
Tilsluttes en spole jævnspænding, vil strømmen ikke stige til maksimum i samme øjeblik afbryderen sluttes; der vil gå en vis tid, afhængig af spolens selvinduktion. Ligeledes vil strømmen ikke øjeblikkelig falde til nul ved afbrydning.

Der induceres kun spænding og strøm ved ind- og udkobling. I brugsperioden, hvor strømmen er stationær, er induktionen nul, og spolen virker som en almindelig ohmsk modstand.

Ved beregninger anvendes derfor Ohms lov

$$U = I \cdot R$$

Forhold ved afbrydelse



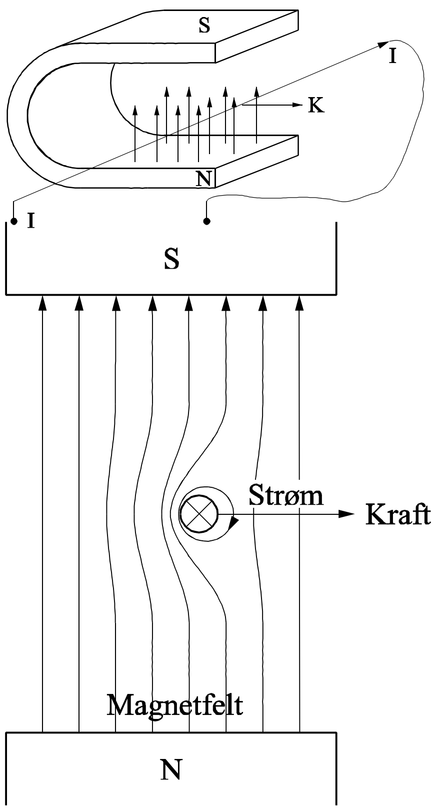
Foretager man afbrydelse af strømmen til en spole med mange vindinger med en effektiv hurtigt virkende afbryder, kan der i spolen induceres en spænding, som er meget større end spolens normale driftspænding, idet den inducerede spænding ikke blot afhænger af den samlede ændring af magnetfeltet, men også i høj grad af den hastighed, hvormed ændringen sker.

Resultatet kan blive, at spoleviklingens isolation ødelægges.

Ved magnetspoler i generatorer og motorer må man derfor ofte træffe særlige forholdsregler for at undgå, at en strømafbrydelse sker for hurtigt.

Man bør derfor kortslutte spolen gennem en udladningsmodstand, når forbindelsen til jævnspændingskilden fjernes.

Strømførende leder i magnetfelt



Det er påvist, at enhver strømførende leder omgives af et magnetfelt, og at to magnetfelter i nærheden af hinanden vil udøve gensidig kraftpåvirkning.

Anbringes en strømførende leder i et magnetisk felt, påvirkes lederen af en kraft, der søger at bevæge lederen på tværs i magnetfeltet.

På tegningen er vist en leder set i snit; krydset angiver strømretningen.

Magnetfeltet omkring den strømførende leder danner en lukket ring.

Dette felt indvirker på hovedfeltet N-S, således at der til højre for lederen frembringes en feltsvækkelse og til venstre en tilsvarende feltforøgelse.

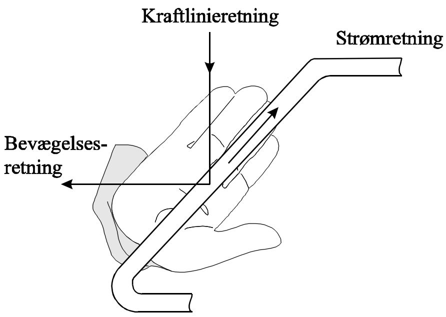
Lederen vil derved blive påvirket af en kraft K, der søger at drive den ud af hovedfeltet som antydet med pilen.

Kraftens størrelse afhænger af magnetfeltets styrke og strømstyrken i lederen.

Motorprincippet

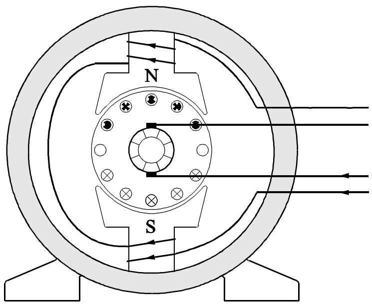
Ved motorprincippet placeres en strømførende ledersløjfe i et magnetfelt og vil i dette blive påvirket af en kraft, der søger at trække lederen ud af feltet.

Motorregel



Bevægelsesretningen kan bestemmes ud fra følgende regel:

- Man anbringer sin højre hånd således, at kraftlinierne går ind i håndfladen, og fingerspidserne peger i strømretningen. Lederen vil da bevæge sig til lillefingersiden.



Tegningen viser skematisk en jævnstrømsmotor. Med de antydede poler og strømretning i ankerspolerne vil de øverste ledere påvirkes til drejning mod højre og de nederste mod venstre.

Motoren vil køre højre om.

Induktion

Inden for stærkstrømsteknikken omtales to former for induktion, hvorved der frembringes elektrisk spænding.

Elektromagnetisk - og elektrodynamisk induktion.

Elektromagnetisk induktion

En maskine, der får tilført mekanisk kraft fra fx en dieselmotor, dampturbine eller lignende og derved omdanner den mekaniske energi til elektrisk energi, kaldes en generator.

Tidligere kaldte man de maskiner, der frembringer jævnspænding, for dynamoer og de, der frembringer vekselspændinger, for generatorer. Nu benævnes begge kategorier generatorer.

Elektromagnetisk induktionsprincip

Bevæges en leder, som indgår i et lukket elektrisk kredsløb, i et magnetfelt, således at den overskærer de magnetiske kraftlinier, vil der i lederen induceres en spænding. Denne spænding benævnes elektromotorisk kraft.

Retningen af den inducerede elektromotoriske kraft findes ved Lenz's lov.

Lenz's lov

Den elektromotoriske kraft har en sådan retning, at en strøm fremkaldt af den, vil søge at modvirke den årsag, som frembragte den.

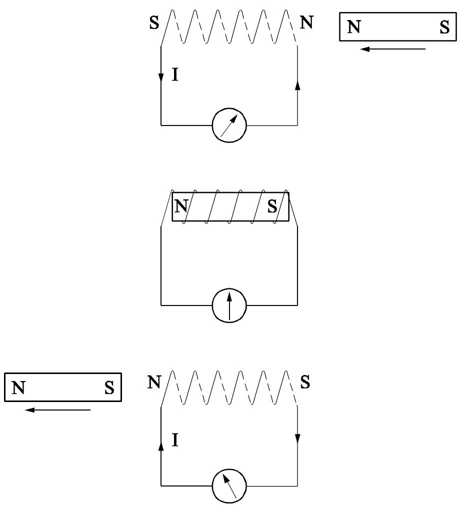
Faraday

I år 1831 opdagede den berømte engelske fysiker Michael Faraday den elektriske induktion.

Faraday påviste, at der i en spole induceres en spænding, når den bevæges i et magnetfelt.

Hvis spolen indgår i et lukket kredsløb, vil strømretningen være sådan, at den modvirker ændringen i de magnetiske forhold.

Princip



Skydes den viste permanente magnet ind i spolen, vil der induceres en spænding og dermed en strøm med en sådan retning, at spolen prøver at holde stangmagneten ude; det vil sige, at spolen danner en nordpol til højre og en sydpol til venstre.

Når magneten er anbragt midt i spolen, vil den inducerede spænding være nul og dermed ingen strøm.

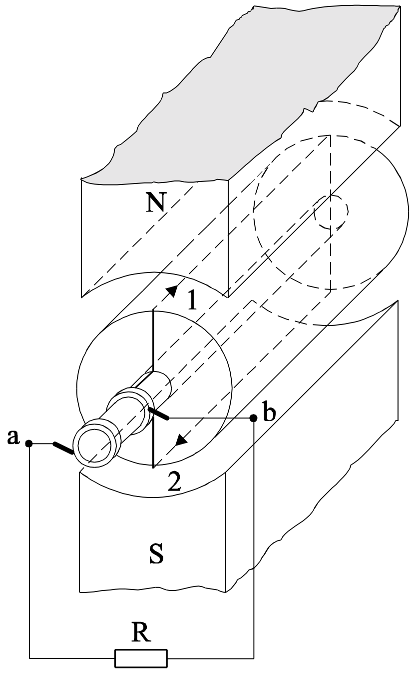
Trækker man på ny magneten ud af spolen, til venstre, vil der induceres en spænding og dermed strøm af modsat retning, idet der fremkaldes en sydpol i højre ende og en nordpol i venstre ende af spolen, som igen søger at undgå ændringen af de magnetiske forhold. Når magneten er trykket helt bort fra spolen, vil spænding og strøm være nul.

Der induceres altså kun spænding i spolen, så længe de magnetiske forhold ændres.

Den inducerede spændings størrelse afhænger af:

- den permanente magnets styrke
- magnetens bevægelseshastighed
- antal vindinger på spolen.

Generatorprincippet



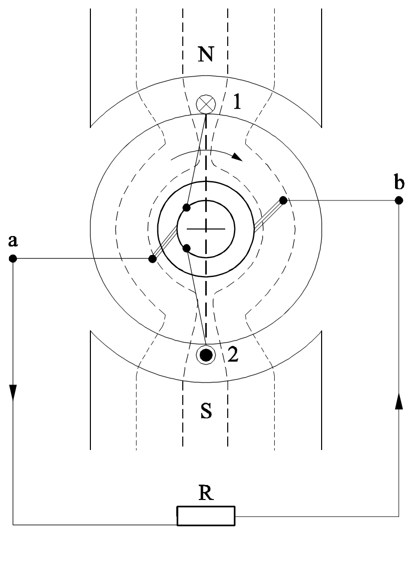
Induktionsprincippet anvendes i de maskiner, der inden for stærkstrømsteknikken benyttes til fremstilling af elektricitet.

Imellem to magnetpoler anbringes et cylindrisk anker af jern, som kan drejes rundt. Ankerviklingen består her kun af en vinding, hvis sider 1 og 2 befinder sig i luftmellemrummet mellem magnetpolerne og ankeret.

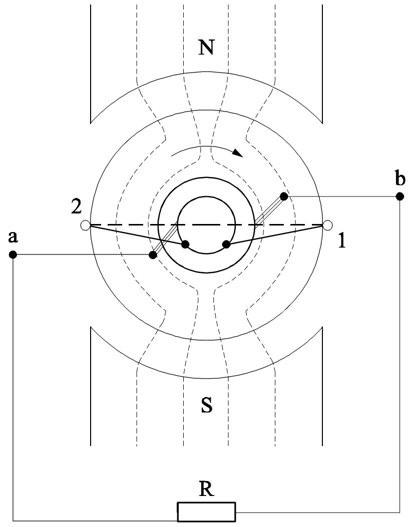
Viklingens ender er forbundet til to kontaktringe, og den inducerede strøm aftages gennem to børster, som glider på kontaktringene og er forbundet til maskinens ankerklemmer a og b.

Ved generatorprincippet påvirker man med en kraft lederen ind i magnetfeltet og får derved induceret en spænding og følgelig en strøm gennem sløjfen.

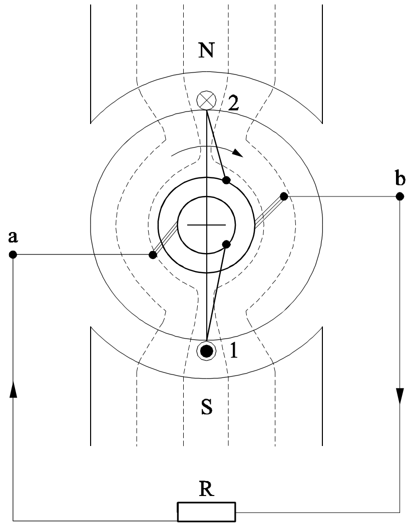
Betragter man en række stillinger af ankerviklingen under dennes rotation, vil der i den viste stilling være den største spændingsforskel mellem klemmerne a og b, idet viklingens sider her bevæger sig vinkelret på kraftlinierne, der er angivet ved punkterede linier.



Når ankeret drejes videre, vil den inducerede spænding blive mindre, fordi der pr. tidsenhed skæres færre kraftlinier, og når ankeret har drejet sig en kvart omdrejning, vil spændingen mellem klemmerne være nul, fordi viklingens sider nu bevæger sig parallelt med kraftlinierne.

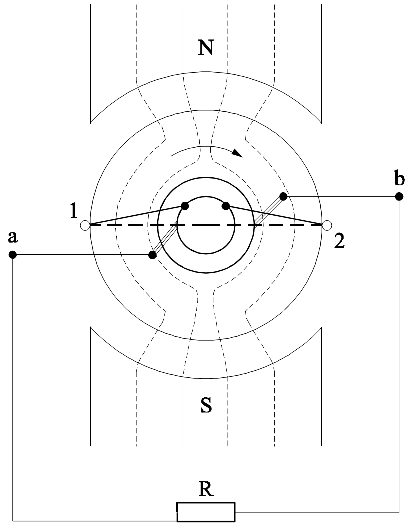


Efter yderligere en kvart omdrejning vil spændingen mellem klemmerne a og b atter have den størst mulige værdi, men med modsat fortegn.



En kvart omdrejning senere vil spændingen mellem a og b atter være nul.

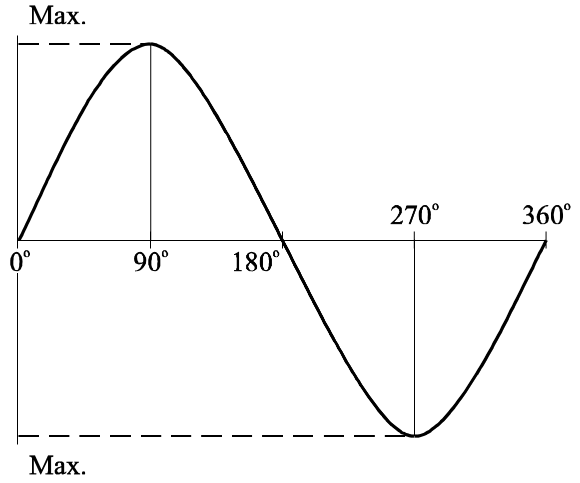
I løbet af den sidste del af omdrejningen vokser spændingen til den værdi, den havde i den først betragtede stilling.



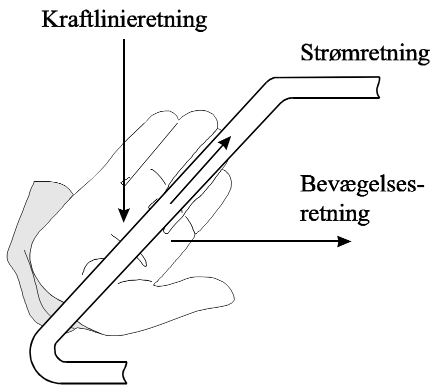
Mellem klemmerne a og b vil der således fremkomme en periodisk varierende spænding, når ankeret drejes rundt mellem magnetpolerne.

Tiden for en periode er lig med tiden for en omdrejning. En spænding, der varierer på denne måde, kaldes en vekselspænding.

Ved passende udformning af magnetpolerne kan man opnå, at spændingen kommer til at variere efter en sinuskurve.



Generatorreglen



Ud fra Lenz's lov bestemmes strømretningen i ankerviklingen.

Man anbringer sin højre hånd således, at kraftlinierne går ind i håndflader, og tommelfingeren peger i bevægelsesretningen. Der går da strøm i retning af fingerspidserne.

Spændingsregulering

Den inducerede spændings størrelse afhænger af:

- magnetfeltets styrke
- spolens bevægelseshastighed
- spolens vindingstal.

Praktisk anvendelse

Opbygningen af generatorerne på de store kraftcentraler er noget anderledes end den her omtalte, hvor det er spolerne, der er fastsiddende, og magnetpolerne der roterer, men virkningen er den samme.

Magnetfeltet i maskinen frembringes normalt ad elektromagnetisk vej.

Elektrodynamisk induktion

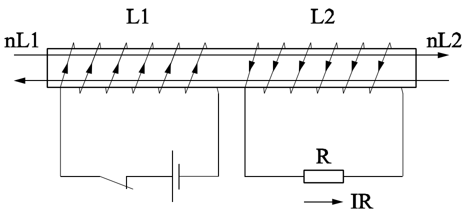
Ændres de magnetiske forhold om en leder, induceres der spænding i lederen.

Det variable magnetfelt, som indvirker på lederen, behøver ikke at stamme fra en bevægelig permanent magnet, men kan lige så godt hidrøre fra en elektromagnet.

I visse tilfælde er det mere fordelagtigt at lade elektromagneten være stillestående, men ændre magnetfeltet ved at ændre strømstyrken i magnetens spole.

Man taler da om elektrodynamisk induktion.

Forhold ved strømtilslutning

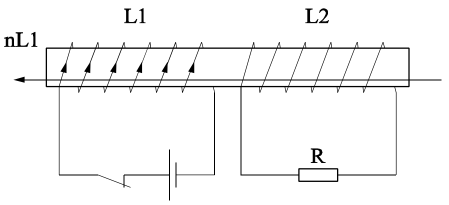


Sluttes den på tegningen viste afbryder, stiger strømmen i spolen L1. Derved frembringes et stigende magnetfelt, der ifølge højrehåndsreglen forløber i hele stålkernen fra højre mod venstre.

Spolen L2 udsættes altså for et stigende felt med den viste retning.

Der induceres en spænding, og da kredsen er lukket, vil der gå en strøm, der frembringer et felt, modsat rettet feltet fra L1.

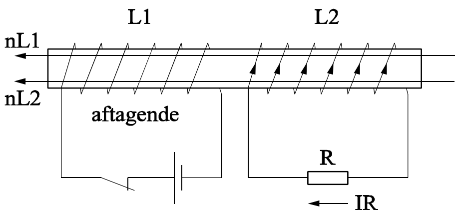
Stationær strøm



Når strømmen gennem L1, og dermed feltet, har nået en konstant værdi, ophører induktionsvirkningen.

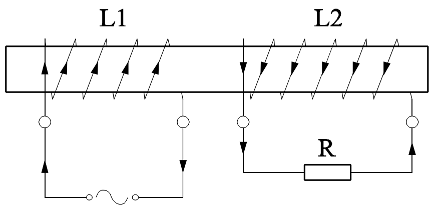
Strømmen i L2 og feltet fra L2 forsvinder.

Strømafbrydelse



Afbrydes strømmen, vil feltet fra L1 være aftagende. Dette vil spolen L2 modsætte sig ved at frembringe et felt, der søger at bibeholde det aftagende felt fra L1, hvorved den inducerede spænding og strøm skifter retning.

Transformerprincippet

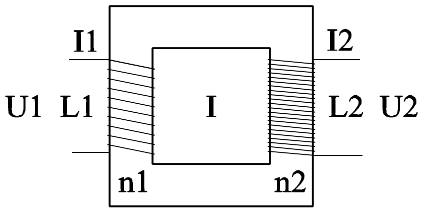


Sender man vekselstrøm gennem spolen L1, altså en varierende strøm, vil magnetfeltet ændres, og der vil derfor til stadighed induceres vekselspænding og vekselstrøm i spolen L2.

Den kraftigste virkning opnås, når den magnetiske modstand er mindst mulig.

I reglen udformer man derfor jernkernen som en lukket ring.

Apparatet kaldes da en transformer, og L1 kaldes primærviklingen, mens L2 kaldes sekundærviklingen.

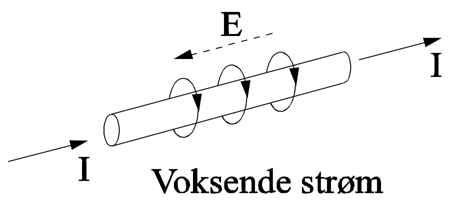


I hver af sekundærspolens vindinger vil der induceres en vis vekselspænding, og da vindingerne er serieforbundne, kan der opnås fx 100 gange så stor spænding ved at udføre L2 med 100 vindinger i stedet for en. Udføres L2 med 100 gange så mange vindinger som L1, vil sekundærspændingen være ca. 100 gange primærspændingen.

Formeltegnet u angiver transformerens omsætningsforhold.

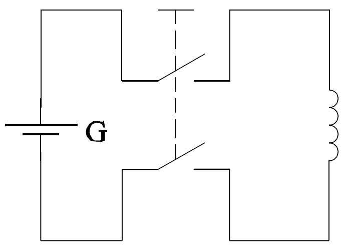
$$u = \frac{U1}{U2} = \frac{n1}{n2}$$

Selvinduktion



Enhver ændring af de magnetiske forhold omkring en leder vil inducere en spænding i lederen. Men ændringen i magnetfeltet kan skyldes, at strømmen i lederen varierer. Betragter man en strømløs leder, som man derefter sender strøm igennem, vil der omkring lederen opstå et koncentrisk magnetfelt som vist. Men i den tid, da dette felt opstår, vil der i lederen induceres en spænding, som søger at modvirke feltets opståen. Dette fænomen kaldes selvinduktion. Resultatet bliver, at når man sætter spænding på lederen, vil strømmen ikke vokse øjeblikkeligt til sin endelige værdi - det vil vare en vis tid.

Spændingens virkning forplanter sig meget hurtigt ud af ledningen, nemlig med en fart af ca. 300.000 km/s. Strømmen i en leder er som nævnt en bevægelse af negativ elektricitet; denne bevægelse foregår i øvrigt højst med en fart af få cm/s.



I en kort, ret leder er den inducerede modspænding meget lille og i reglen uden betydning. Men i en spole med mange vindinger og en stor stålkerne kan selvinduktionen spille en betydelig rolle.

På figuren er vist en opstilling med en spole i forbindelse med en jævnspændingskilde og en afbryder.

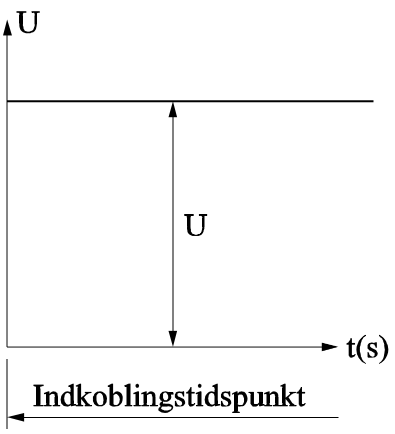
Sluttes kontakten, lægger hele jævnspændingen sig straks over spolen og søger at drive en strøm gennem spolen fra plus til minus.

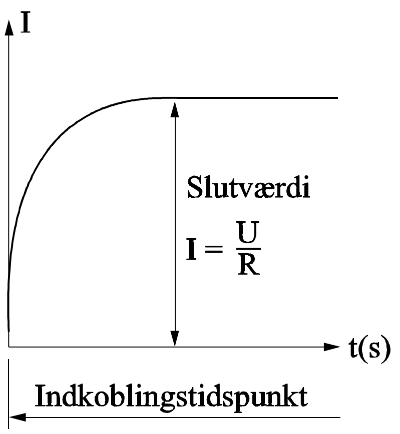
Som vist i induktionsloven, vil der induceres en spænding, der søger at sende strøm modsat den oprindelige strøm.

Der vil derfor gå et tidsrum, før strømmen når sin maksimale værdi, som er bestemt af den ohmske modstand i tilledninger og spole.

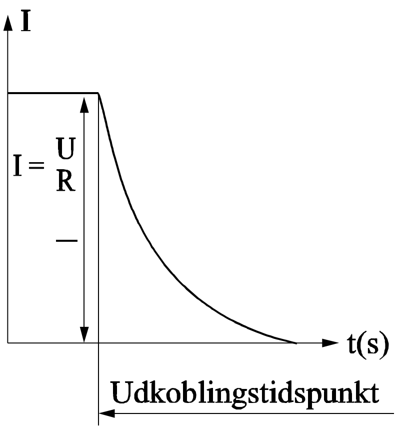
Strøm og spænding vil forholde sig som vist.

I visse tilfælde kan det vare adskillige sekunder, før strømmen når sin normale værdi.





Strømafbrydelse



Afbrydes strømmen til spolen, induceres der igen spænding og strøm, som søger at bibeholde magnetfeltet, det vil sige, at strømmen i spolen ikke øjeblikkelig falder til nul. Den inducerede spænding og strøm vil derfor være stigende og i samme retning som den aftagende strøm, idet enhver induceret spænding og strøm modvirker sin årsag.

Selvinduktionsspænding

Den inducerede spændings størrelse afhænger af:

- spolens vindingsantal,
- stålkernens størrelse, beskaffenhed og udformning,
- magnetfeltets styrke.

Strømvariationen pr. tidsenhed.

Den inducerede spænding har formeltegnet UL.

$$UL = I \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

hvor I er strømmen gennem spolen,

$$2 \cdot \pi \cdot f$$

er strømvariationen pr. tidsenhed.

Selvinduktionskoefficient

L er spolens selvinduktionskoefficient, som udtrykkes i Henry og forkortes H.

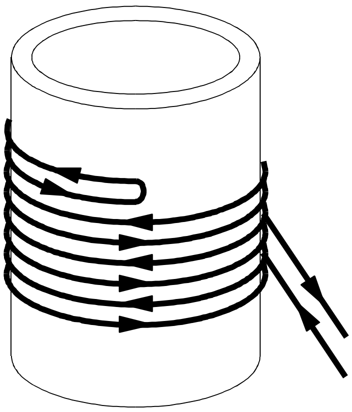
Selvinduktionskoefficienten er medbestemmende for en spoles evne til at inducere en spænding.

Definition

Hvis strømmen gennem en spole stiger eller falder jævnt med 1 A pr. s, og derved inducerer en spænding på 1 V, har spolen en selvinduktionskoefficient på 1 H.

$$U = L \cdot \frac{I}{t}$$

Bifilarvikling



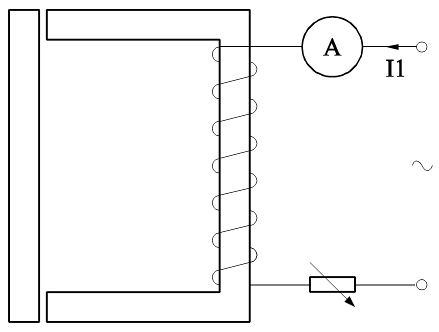
I mange tilfælde ønsker man en induktionsfri modstand. Dette kan opnås ved at vikle modstandstråden bifilar, det vil sige, at tråden lægges dobbelt, inden den vikles.

Da trådene ligger tæt, bliver magnetfeltet fra den ene tråd neutraliseret af den anden, da de to tråde har modsat strømretning.

Selv om der på denne måde kan vikles modstande med yderst ringe selvinduktion, giver den relativt store kapacitet mellem de to tætliggende tråde dog anledning til andre uønskede fænomener.

I mere specielle tilfælde, fx ved fremstilling af modstande til vekselstrømsbrug ved høje frekvenser eller med stor præcision, anvendes særlige viklingsmåder.

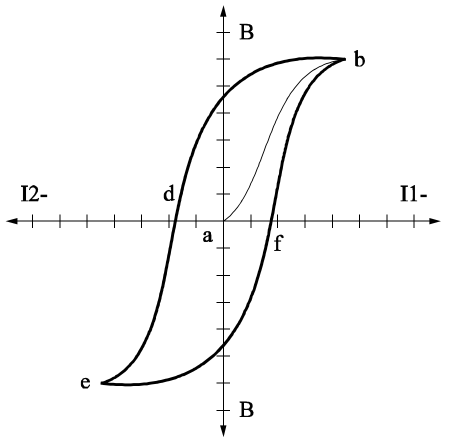
Hysterese

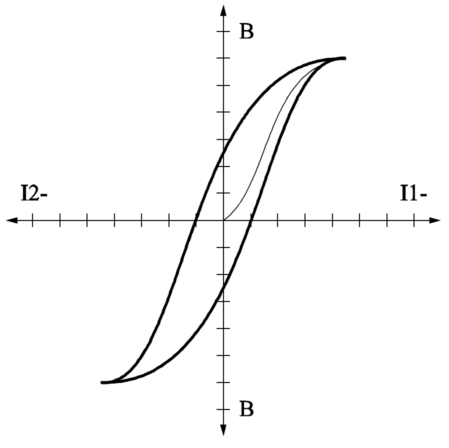


Magnetiseres en stålkerne med vekselstrøm, fremkommer der et vekselfelt.

Dette vekselfelt fremkalder visse tab, idet stålet skal ommagnetiseres 100 gange i sekundet, når frekvensen er 50 Hz.

Hystereseslløjfe





Reguleres strømmen med den viste skydemodstand fra nul og opefter, vil den magnetiske kraft stige efter kurvegrenen ab til punktet b; når strømmen derefter formindskes, vil den magnetiske induktion falde, men denne gang efter kurvegrenen bc. Der vil endnu være nogen magnetisme - den remanente magnetisme - tilbage i stålet, når strømmen er blevet nul.

For at fjerne denne magnetisme må der magnetiseres med en vis strøm - ad - i modsat retning. Dette sker, når vekselstrømmen skifter retning, og den magnetiserende kraft følger nu kurvegrenen - de. Når strømmen vender igen, følger magnetismen kurvegrenen - ef.

Den fremkomne kurve kaldes hysteresekurven.

Den totale energi, der må tilføres for at foretage en fuldstændig ommagnetisering af stålet, kan måles ved størrelsen af arealet inden for kurven.

Dette energitab kaldes hysteresetab og omsættes til varme i stålet.

Disse tab kan i nogen grad formindskes ved at legere stålet med silicium. De kan endvidere reduceres ved at underkaste stålet en koldvalsning i en bestemt retning. Man opnår herved, at stålet bliver lettere at magnetisere i valseretningen.

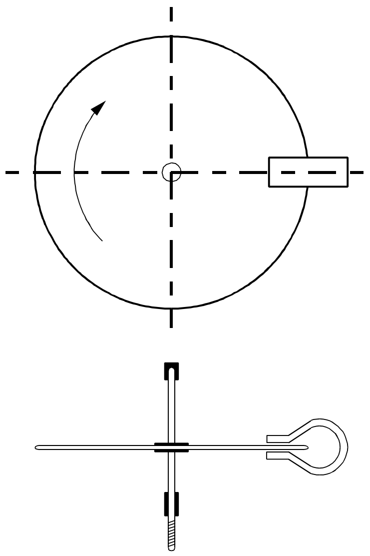
Tabet er afhængig af den maksimale magnetiserende kraft og af stålets remanens.

Jo mindre remanens, des mindre er kurvens areal, og derved bliver tabet mindre.

Hvirvelstrømme

Ændres de magnetiske forhold for en spole med stålkerne, induceres der spænding i spoleviklingen; men da stålkernen virker som en massiv vikling og er elektrisk ledende, vil der også i denne opstå spænding og strøm. Disse såkaldte hvirvelstrømme omdanner den elektriske energi til varme og medfører derfor et vist effekttab, hvirvelstrømstabet.

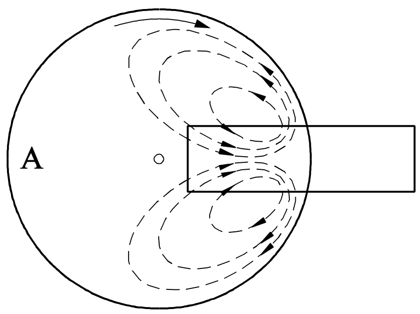
Hvirvelstrømsbremse



Hvirvelstrømmene er næsten altid uønskede. I enkelte tilfælde drager man dog nytte af den bremsning, som hvirvelstrømmene giver anledning til. Tegningen viser princippet i en hvirvelstrømsbremse, som den bruges i målere og adskillige instrumenttyper.

Når metalskiven bevæges, vil der i denne mellem bremsemagnetens spoler induceres en spænding og en strøm, som mellem magnetspolerne løber i samme retning som spændingen, og tilbage gennem skiven uden for magnetpolernes område.

Der opstår derved en dæmpning af skivens bevægelse, og denne dæmpning er proportional med skivens hastighed.



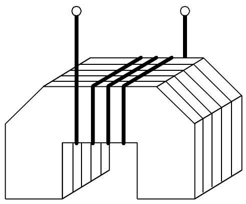
Hvirvelstrømstab

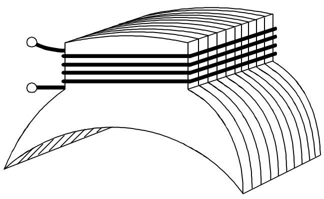
Hvirvelstrømme medfører varmeudvikling og dermed et energitab i jernet,

$$Phv = Ihv^2 \cdot Rj$$

hvor Ihv er hvirvelstrømmen og Rj er modstanden i den bane i jernet, hvirvelstrømmen følger.

Lamelleret kerne



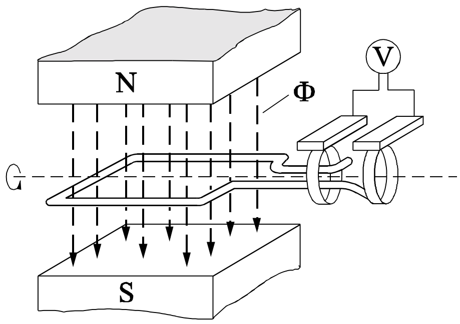


I enhver stålkerne, generator- eller motorankers kerne eller transformers kerne vil der derfor opstå to arter "jerntab", nemlig hysteresetab og hvirvelstrømstab.

For at holde hvirvelstrømstabene så små som muligt vælger man en stålsort med størst mulig elektrisk modstand, men mindst mulig magnetisk modstand, og - først og fremmest - bruger man en "lamelleret" kerne, det vil sige en kerne opbygget af tynde stålplader, som indbyrdes isoleres elektrisk ved hjælp af papir, fernis, lak eller et iltlag fremkommet ved, at pladerne er strøget med syre.

De isolerede lag i en lamelleret kerne må selvsagt ikke ligge på tværs af kraftlinierne, men skal ligge på tværs af lederens retning.

Frembringelse af vekselstrøm



Når en ledersløjfe drejes i et homogent (ensartet) magnetfelt, opstår der i ledersløjfen en sinusformet vekselspænding.

Denne ændrer under drejningen ikke kun sin størrelse, men også sin retning.

For hver omdrejning af sløjfen vil der dannes en sinuskurve.

Antallet af sinuskurver, der frembringes pr. s, kaldes frekvensen f og måles i enhederne Hertz [Hz], idet:

1 Hz = 1 periode pr. sekund.

Varigheden af en periode kaldes periodetiden T og kan beregnes som:

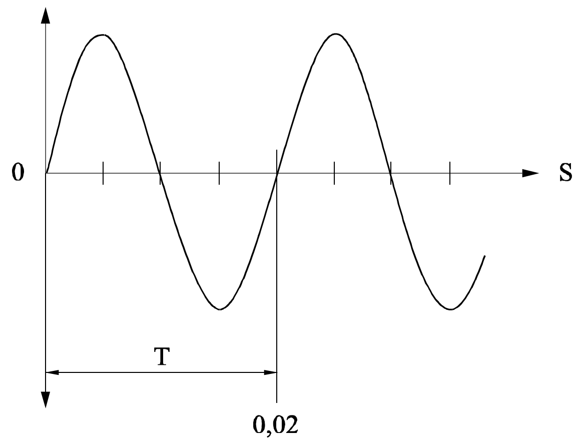
$$T = \frac{1}{f} \; [s]$$

Her i landet er frekvensen 50 Hz, hvilket giver en periodetid på:

$$T = \frac{1}{50} = \underline{\underline{0{,}02 \; s}}$$

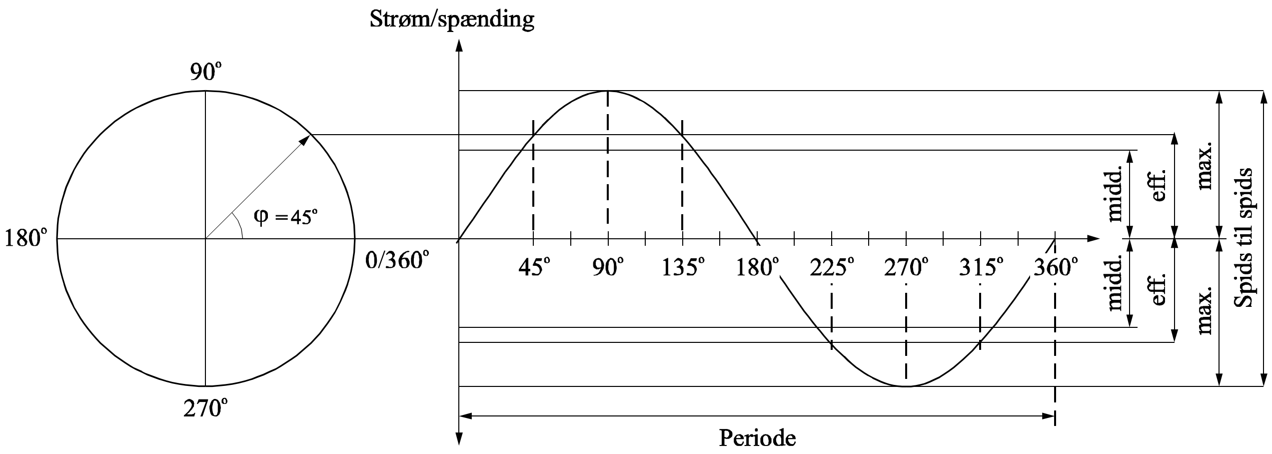
Vekselstrøm angives ved ~-tegnet og betegnes ofte AC, hvilket kommer af engelsk:

"Alternating current", som betyder skiftende strøm.



Vekselstrømmens værdier

Mens jævnstrøm eller jævnspænding kun er karakteriseret ved en værdi (A eller V), knytter der sig flere karakteristiske størrelser til vekselstrøm eller vekselspænding.



Kurvens højeste værdi kaldes maksimalværdien eller spidsværdien (peak-værdi), fra plus max. og til minus max. har man "spids til spids" værdien (peak to peak).

I praksis benyttes maksimalværdier ikke ret meget, det er mere bekvemt at benytte effektivværdien.

Effektivværdien af en vekselstrøm er defineret således:

At en vekselstrøms effektive værdi er 1 A vil sige, at den udvikler samme varme i en given modstand som en jævnstrøm på 1 A.

Kendes en vekselstrøms maksimale værdi, kan den effektive værdi beregnes således:

$$Ieff = Imax \cdot \sin\varphi \ \ (45^0)$$

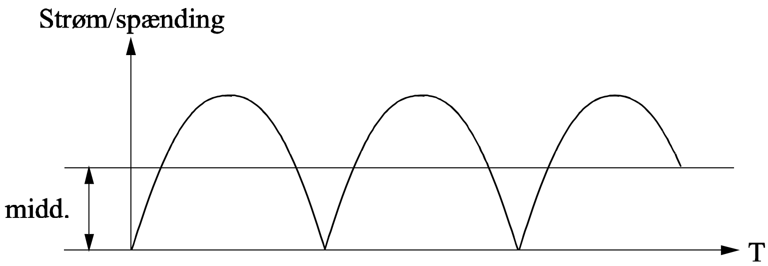
$$Ieff = Imax \cdot 0{,}707$$

hvor vinkel φ er vinklen fra det punkt, hvorfra strømmen skal beregnes til det nærmeste nulpunkt.
I praksis benyttes forholdet

$$\frac{Imax}{Ieff} = \sqrt{2} = 1{,}41$$

Middelværdi

Tænker vi os vekselstrømmens negative halvperioder drejet op "ovenpå" tids-aksen fremkommer nedenstående udseende.



Ud af denne kurve kan man få vekselstrømmens geometriske middelværdi, idet man forestiller sig halvbølgerne som grusbunker, der skal jævnes ud i et glat lag.

Lagets tykkelse bliver sinuskurvens middelværdi og kan betegnes som:

$$Imidd = Imax \bullet 0{,}637$$

eller

$$Imidd = Ieff \bullet 0{,}9$$

Spænding

De tilsvarende omregninger gælder for spændinger.

$$Umidd = Ueff \bullet 0{,}9$$

$$Umax = Ueff \bullet 1{,}41$$

Eksempler

En vekselspænding har effektivværdien 230 V. Find spændingens maksimal- og middelværdi.

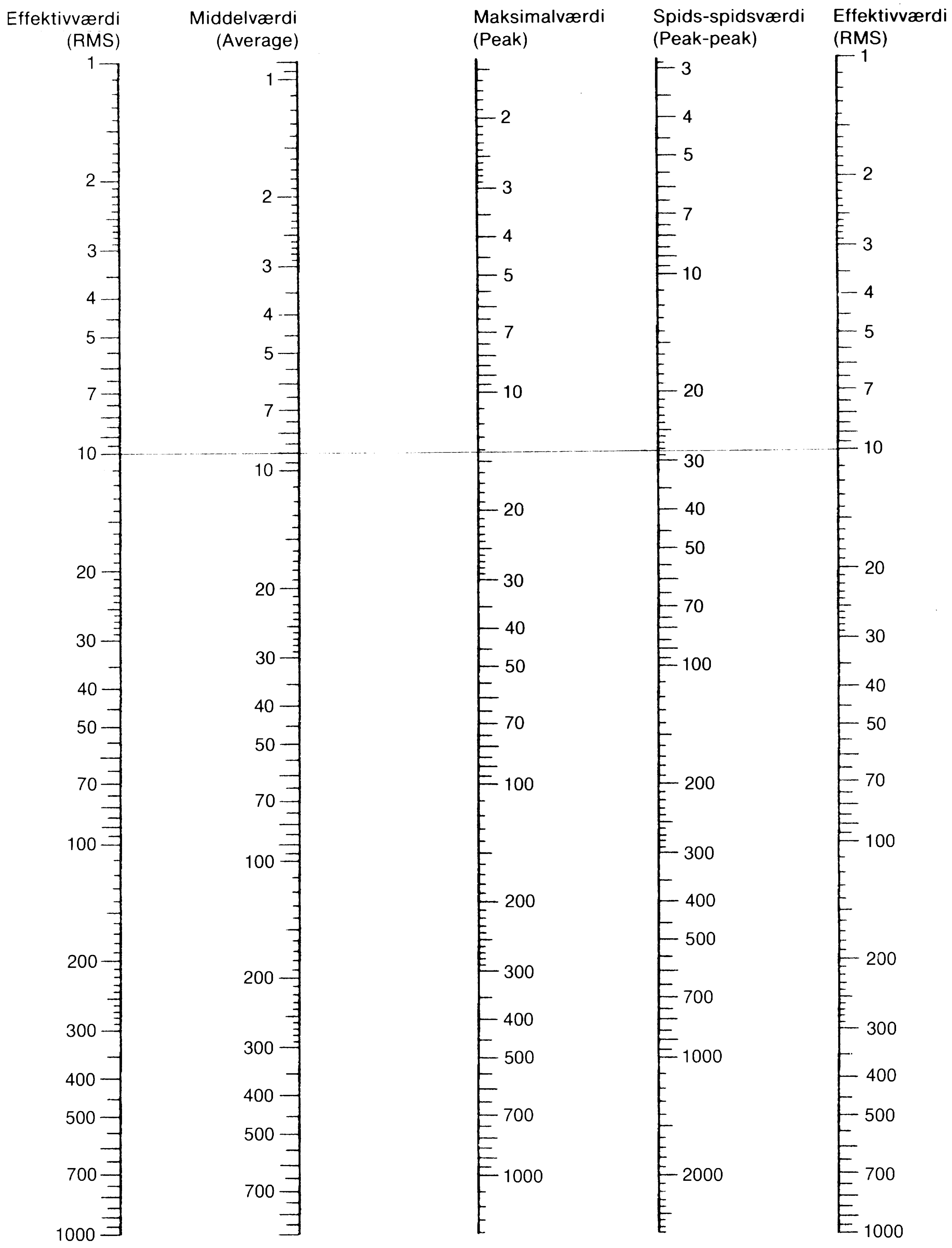
$$Umax = Ueff \bullet \sqrt{2}$$

$$Umax = 230 \bullet 1{,}41 = \underline{\underline{324{,}3\ V}}$$

$$Umidd = Ueff \bullet 0{,}9$$

$$Umidd = 230 \bullet 0{,}9 = \underline{\underline{207\ V}}$$

Nomogram

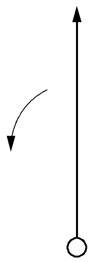

Effektivværdi (RMS)
1 2 3 4 5 7 10 20 30 40 50 70 100 200 300 400 500 700 1000
Middelværdi (Average)
1 2 3 4 5 7 10 20 30 40 50 70 100 200 300 400 500 700
Maksimalværdi (Peak)
2 3 4 5 7 10 20 30 40 50 70 100 200 300 400 500 700 1000
Spids-spidsværdi (Peak-peak)
3 4 5 7 10 20 30 40 50 70 100 200 300 400 500 700 1000 2000
Effektivværdi (RMS)
1 2 3 4 5 7 10 20 30 40 50 70 100 200 300 400 500 700 1000

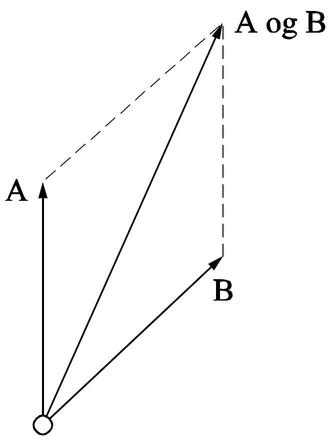
Vektorer

Til hjælp for beregninger på vekselstrømskredse tegnes vektordiagrammer, som erstatning for kurver.

En vektor angives ligesom en kraft, dvs. i en bestemt længde og en bestemt retning.

Vektorens omdrejningsretning er venstre om.



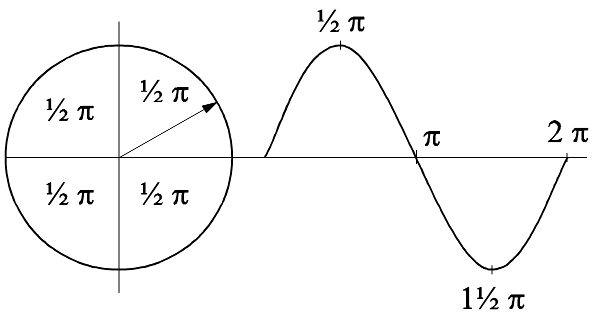


Almindeligvis er det effektivværdierne, der benyttes i vektordiagrammerne.

Hvis flere vektorer skal sammensættes, skal de tegnes i samme målforhold, herefter kan vektorerne sammenlægges i en resulterende vektor, der angiver den vektorielle sum af vektorerne.

Vinkelhastighed

Drejes en radius af længden 1 cm en hel omdrejning, vil dens yderste punkt gennemløbe cirklens omkreds.



Som vist på figuren svarer en hel omdrejning til 2 .

Vektoren gennemløber altså en vinkel på 2 for hver

$\frac{1}{f}$ sek., hvor f er frekvensen.

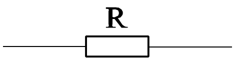
Vektorens vinkelhastighed pr. sekund betegnes med det græske bogstav lille omega [ω]

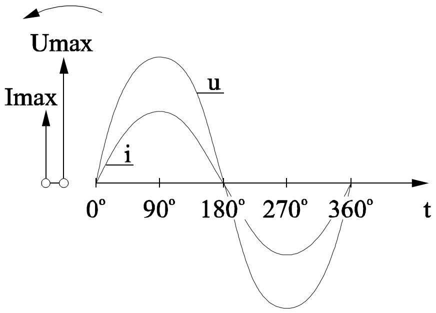
$$\omega = 2\ \pi\ f$$

Belastningsformer

Der findes tre former for belastninger på vekselstrøm; ohmsk belastning, kapacitiv belastning og induktiv belastning.

Ohmsk vekselstrømsbelastning



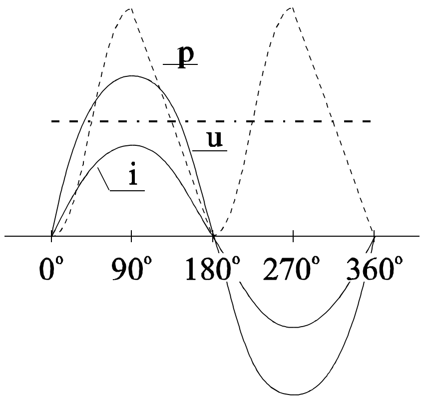


Består belastningen af glødelamper, varmelegemer e.l. uden væsentlig selvinduktion eller kapacitet, vil strøm- og spændingskurverne ligge i fase og benævnes ohmsk belastning.

Ved ren ohmsk belastning kan beregningerne udføres nøjagtigt som ved jævnstrøm, idet man regner med spændingens og strømmens effektivværdier.

Dette gælder for både Ohms lov og formlen for effekt.

Effektkurve



Hvis vekselspændingen er sinusformet, vil strømmen også være det. Effekten vil da inden for en periode variere efter den på figuren viste kurve, der fremkommer ved at gange sammenhørende øjebliksværdier af strøm og spænding.

Strøm og spænding har skiftevis positiv og negativ værdi, men effekten har kun positiv værdi, hvilket er ganske naturligt, da strømmen udvikler varme, uanset i hvilken retning den går i en modstand.

Eksempler

En varmeovn har en modstand på 30 Ω og er tilsluttet 230 V AC.

Hvor stor er strømmen og effekten?

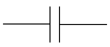
$$I = \frac{U}{R}$$

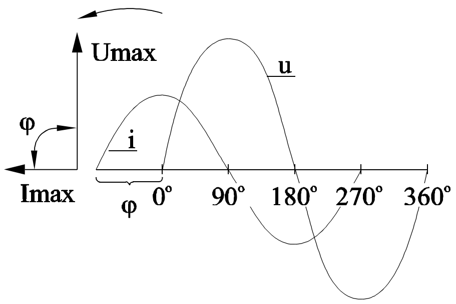
$$I = \frac{230}{30} = \underline{\underline{7{,}67\ A}}$$

$$P = U \bullet I$$

$$P = 230 \bullet 7{,}67 = \underline{\underline{1764\ W}}$$

Kapacitiv vekselstrømsbelastning



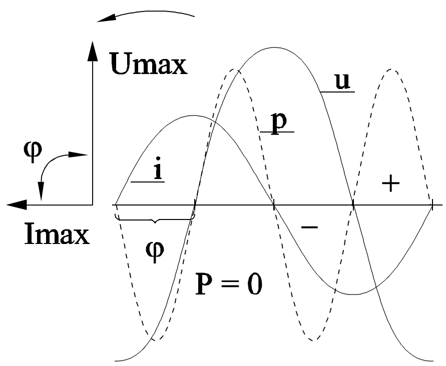


Tilsluttes en kondensator vekselspænding, vil den skiftevis oplades og aflades.

Et amperemeter indskudt i serie med kondensatoren vil give udslag svarende til disse lade- og afladestrømme. I kondensatorens tilledninger har vi derfor en vekselstrøm.

Når vekselspændingen stiger, går der en ladestrøm til kondensatoren. Denne strøm ophører, når kondensatorspændingen har nået vekselspændingens maksimale værdi. I det øjeblik spændingen aftager, vil kondensatoren aflades. Ved hjælp af et oscilloskop kan vises, at strømmen i kondensatorens tilledninger er faseforskudt ¼ periode forud for klemspændingen. Kondensatoren giver altså 90° kapacitiv faseforskydning.

Effektkurve



Al den energi kondensatoren modtager fra elektricitetskilden i den del af perioden, hvor spændingen er stigende, sendes tilbage igen i den øvrige del af perioden. Der er her kun tale om energisvingning.

Ganger man spændingen med den 90° faseforskudte strøm, får man reaktiveffekten, der måles i volt-ampere-reaktiv [var].

$$Q = U \bullet IC \; [var]$$

Kapacitiv reaktans

Strømstyrken i kredsen er bestemt af kondensatorens kapacitet, vekselspændingens størrelse og frekvensen.

Kondensatorens vekselstrømsmodstand kaldes den kapacitive reaktans eller blot reaktansen.

Reaktansen findes som:

$$XC = \frac{1}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C} \; [\Omega]$$

XC = reaktansen målt i ohm
C = kapacitansen målt i farad
f = vekselstrømmens frekvens i Hz

Ønskes kapacitansen indsat i μF, bliver udtrykket:

$$XC = \frac{10^6}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C}$$

Ohms lov

Strømmen i kredsen kan findes ved Ohms lov:

$$IC = \frac{U}{XC}$$

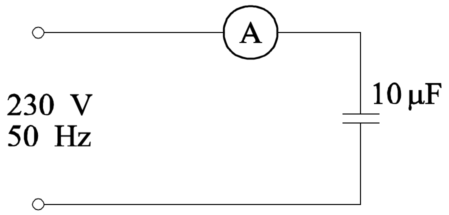
Kapacitiv effekt

En kondensators effekt kaldes kapacitiv effekt eller reaktiv effekt,

$$Q = U \bullet IC \; [var]$$

hvor IC er den strøm, der går i kondensatorens tilledninger.

Eksempler



En kondensator på 10 μF tilsluttes 230 V 50 Hz.
Beregn:
Reaktansen XC
strømstyrken IC
reaktiveffekten Q

$$XC = \frac{10^6}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C}$$

$$XC = \frac{10^6}{2 \bullet 3{,}14 \bullet 50 \bullet 10} = \underline{\underline{318{,}5\ \Omega}}$$

$$IC = \frac{U}{XC}$$

$$IC = \frac{230}{318{,}5} = \underline{\underline{0{,}722\ A}}$$

$$Q = U \bullet IC$$

$$Q = 230 \bullet 0{,}722 = \underline{\underline{166\ var}}$$

Frekvensen øges til 400 Hz. Find nu reaktansen og strømstyrken.

$$XC = \frac{10^6}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C}$$

$$XC = \frac{10^6}{2 \bullet 3{,}14 \bullet 400 \bullet 10} = \underline{\underline{39{,}81\ \Omega}}$$

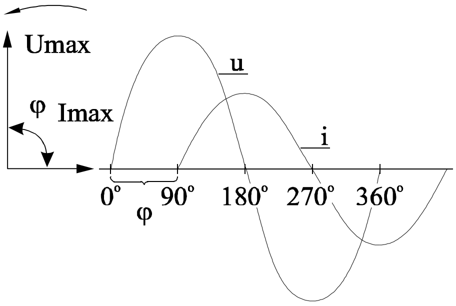
$$IC = \frac{U}{XC}$$

$$IC = \frac{230}{39{,}81} = \underline{\underline{5{,}78\ A}}$$

Konklusion

Højere frekvens giver mindre kapacitans og strømmen stiger.

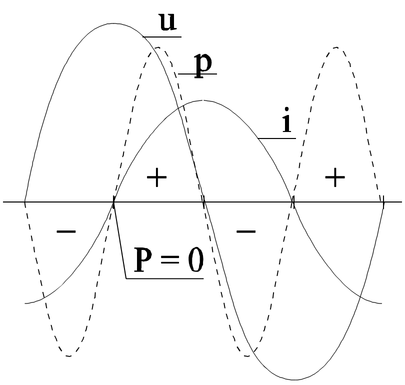
Induktiv vekselstrømsbelastning

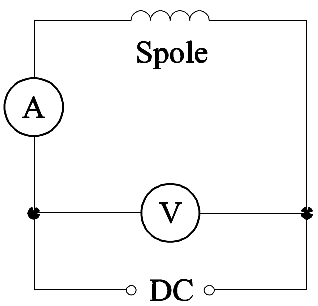


Består belastningen af spoler med stålkerne, hvilket er tilfældet i motorer, transformatorer m.v., vil der optræde en betydelig selvinduktion.

Er belastningen rent induktiv, vil strømmen blive faseforskudt ¼ periode bagud for spændingen. "Ren" induktiv belastning er dog kun et tænkt tilfælde, da en spole ikke kan fremstilles uden ohmsk modstand.

Effektkurve





Ved at gange sammenhørende øjebliksværdier af strøm og spænding, kan der tegnes en kurve for effekten P.

Det fremgår af figuren, at effekten er skiftevis positiv og negativ.

I hver anden halvperiode aftager spolen energi fra generatoren, og i hver anden halvperiode sender den lige så stor energi tilbage til generatoren.

Den wattløse effekts gennemsnitlige værdi over flere perioder er nul.

Ganger man spænding og strøm ved 90 ° faseforskydning, bliver resultatet reaktiveffekten.

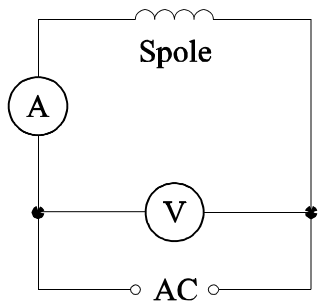
Reaktiveffekten måles i volt-ampere-aktiv [var].

$$Q = U \bullet I \; [var]$$

Tilsluttes en spole med en vis ohmsk modstand til jævnspænding, vil strømmen blive:

$$I = \frac{U}{R}$$

Tilsluttes samme spole vekselspænding, vil strømmen ikke alene begrænses af den ohmske, men også af den induktive modstand, hvorved strømmen bliver mindre. Den samlede modstand ved vekselspænding kaldes impedansen og betegnes Z.



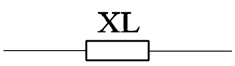
Strømstyrken ved vekselspænding bliver:

$$I = \frac{U}{Z}$$

Spolestrømmens forsinkelse i forhold til klemspændingen, faseforskydningsvinklen φ (phi), vil være bestemt af spolens induktive modstand.

Den induktive modstand benævnes også induktansen eller reaktansen.

Induktiv modstand



En spoles induktive modstand XL kan opfattes som en speciel art modstand, men giver ikke som en ohmsk modstand direkte anledning til energitab.

$$XL = 2 \bullet \pi \bullet f \bullet L \ [\Omega]$$

$2 \cdot \pi \cdot f$ står for strømvariationen pr. tidsenhed, hvor f er frekvensen, og L står for spolens selvinduktionskoefficient. Dvs. jo større frekvens og selvinduktionskoefficient, jo større induktiv modstand.

Eksempler

En spole har selvinduktionskoefficienten L = 0,05 H og en så lille ohmsk modstand, at der i dette tilfælde ses bort fra den. Spolen tilsluttes 230 V vekselspænding, frekvens 50 Hz.

Beregn reaktansen XL og strømstyrken, samt effekten.

$$XL = 2 \bullet \pi \bullet f \bullet L$$

$$XL = 2 \bullet 3{,}14 \bullet 50 \bullet 0{,}05 = \underline{\underline{15{,}7\ \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{XL}$$

$$I = \frac{230}{15{,}7} = \underline{\underline{14{,}65\ A}}$$

$$Q = U \cdot I$$

$$Q = 230 \bullet 14{,}65 = \underline{\underline{3370\ var}}$$

Samme spole tilsluttes stadig vekselspændingen 230 V, men med frekvensen 800 Hz.

Beregn reaktansen og strømstyrken.

$$XL = 2 \bullet \pi \bullet f \bullet L$$

$$XL = 2 \bullet 3{,}14 \bullet 800 \bullet 0{,}05 = \underline{\underline{251\ \Omega}}$$

$$I = \frac{U}{XL}$$

$$I = \frac{230}{251} = \underline{\underline{0{,}92\ A}}$$

Konklusion

Højere frekvenser giver større reaktans og strømmen falder.

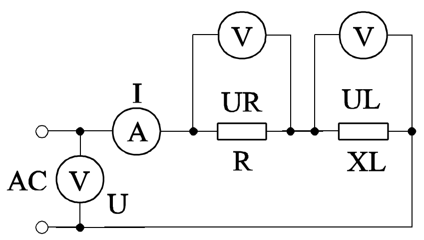
Serieforbindelser

De tre belastningsformer, ren ohmsk, ren induktiv og ren kapacitiv belastning, forekommer sjældent i praksis.

Varmelegemer betragtes som ren ohmsk, men indeholder dog lidt selvinduktion.

Et net af lange luftledninger vil foruden den ohmske modstand besidde en mærkbar selvinduktion.

Skal man bruge induktionsfri modstand, må den udføres specielt viklet.



En magnetspole kan ikke fremstilles med vindinger uden ohmsk modstand.

Spolens ohmske modstand og dens induktans kan betragtes som serieforbundne, og forholdene kan afbildes, som vist på figuren.

Når strømmen er i ampere, vil der over den ohmske modstand være en spænding:

$$UR = I \bullet R$$

Over induktansen ligger der en spænding på:

$$UL = I \bullet XL$$

Sammenlægninger af spændinger

For at finde klemspændingen U skal man lægge UR og UL sammen.

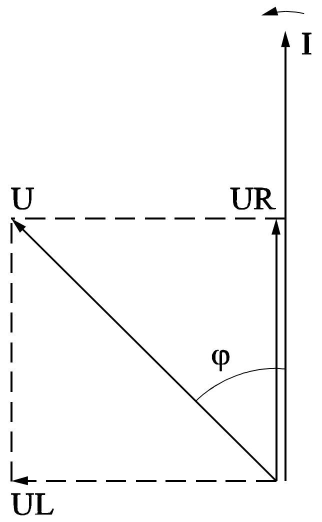
Da de to spændinger er indbyrdes faseforskudt, kan man ikke lægge deres talværdier direkte sammen, men må foretage en geometrisk sammenlægning.

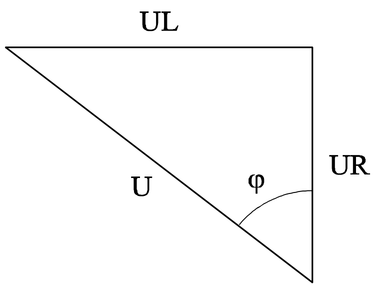
Ved konstruktion af vektordiagrammet vælges en passende målestok for vektorerne, fx 1 cm = 10 V og 1 cm = 0,1 A.

I serieforbindelser er strømvektoren fælles, hvorfor denne afsættes lodret.

UR = I · R afsættes i fase med strømmen

UL = I · XL afsættes 90º forud for strømmen.





Ved den netop foretagne geometriske sammenlægning så man, at spændingerne dannede en retvinklet trekant. Ifølge den pythagoræiske læresætning er $c^2 = a^2 + b^2$. Anvendes dette på spændingstrekanten, fås:

$$U^2 = UL^2 + UR^2$$

eller

$$U = \sqrt{UL^2 + UR^2}$$

Faseforskydningsvinkel

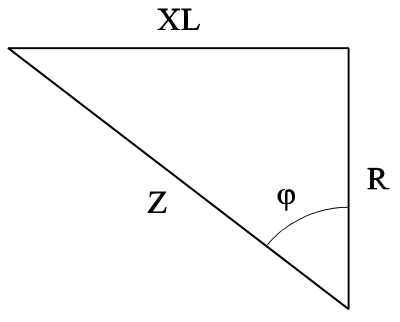
Vinklen mellem klemspændingen og strømmen kaldes faseforskydningsvinklen og benævnes med det græske bogstav φ (phi).

I dette tilfælde er det også vinklen mellem U og UR; man får derfor:

$$\cos\varphi = \frac{UR}{U}$$

$$\sin\varphi = \frac{UL}{U}$$

Sammenlægning af modstande



Ved at dividere de tre spændinger i spændingstrekanten med den fælles strøm, fremkommer en modstandstrekant, som vist på figuren.

Denne trekant er ligedannet med spændingstrekanten, dog med andre mål.

Da de tre størrelser i modstandstrekanten ikke er varierende sinusformede, men konstante, skal de altid afbildes uden pilespids.

Af den retvinklede trekant beregnes længden af impedansen Z, som er kombinationsmodstanden af R og XL, således:

$$Z^2 = R^2 + XL^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

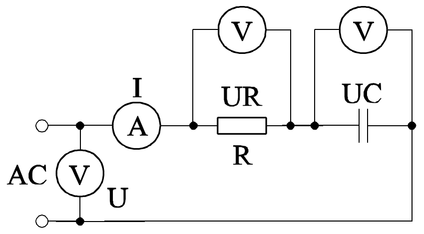
$$\sin\varphi = \frac{XL}{Z}$$

Udvidet Ohms lov

Optager en brugsgenstand en strømstyrke på I ampere ved en spænding på U volt, findes den samlede modstand som:

$$Z = \frac{U}{I} \ [\Omega]$$

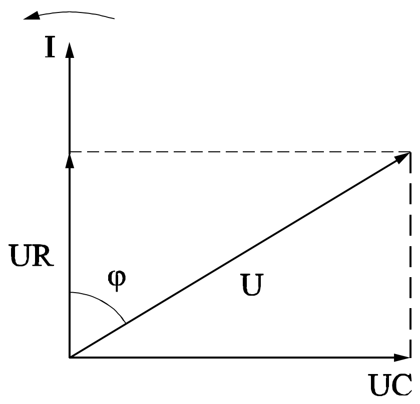
Serieforbindelse



Tegningen viser en ohmsk modstand serieforbundet med en kondensator.

Ved tegning af vektordiagrammet afsættes den fælles vektor først.

I serieforbindelser er strømmen fælles, og i vektordiagrammet er strømvektoren afsat lodret.



Spændingen over den ohmske modstand afsættes i fase med strømmen.

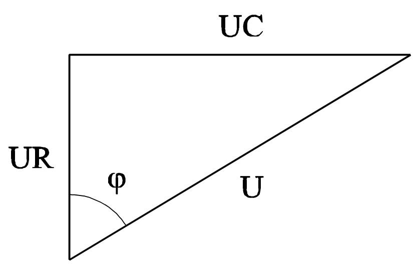
$$UR = I \bullet R$$

Spændingen over kondensatoren afsættes 90° efter strømmen.

$$UC = I \bullet XC$$

Vektordiagrammerne drejer venstre om.

Spændingstrekant

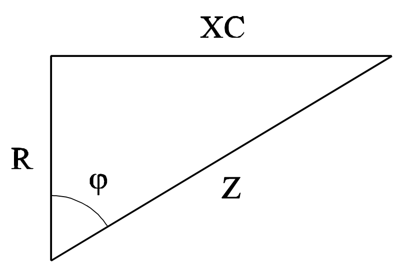


Klemspændingen U beregnes ved geometrisk sammenlægning af den ohmske spænding og den kapacitive spænding.

$$U^2 = UR^2 + UC^2$$

$$U = \sqrt{UR^2 + UC^2}$$

Modstandstrekant



Den samlede modstand i kredsen, impedansen Z, beregnes ved geometrisk sammenlægning af den ohmske modstand og den kapacitive modstand (kapacitansen).

$$Z^2 = R^2 + XC^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + XC^2}$$

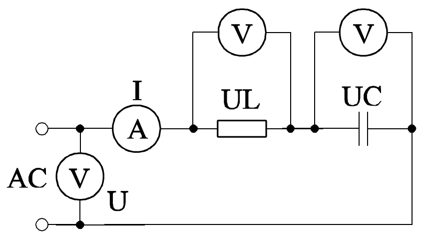
cosφ beregnes som:

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} \; eller$$

$$\cos\varphi = \frac{UR}{U}$$

Vinkel φ bestemmes efter tabel.

Serieresonans

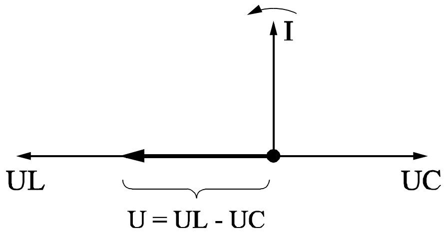


Den viste serieforbindelse af en selvinduktion og en kapacitet anvendes i udstrakt grad inden for radioteknikken, hvor den betegnes en svingningskreds eller sugekreds.

Der ses bort fra, at spolen indeholder en ohmsk modstand.

Ved tegning af vektordiagrammet går man ud fra strømmen, som afsættes lodret.

Når strømmen gennemløber spolen, induceres der i denne spænding.



UL = I · XL, som afsættes 90º forud for strømmen.

Når der går strøm til kondensatoren, vil denne blive opladet til en spænding.

UC = I · XC, som afsættes 90º efter strømmen.

Klemspændingen U findes som:

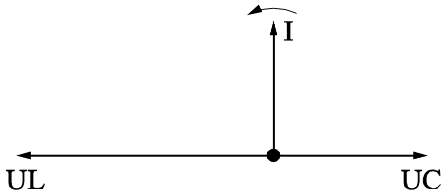
$$U = UL - UC$$

Impedansen Z findes som:

$$Z = XL - XC$$

eller

$$Z = \frac{U}{I}$$



Som det fremgår af vektordiagrammet, vil de to spændinger UL og UC modvirke hinanden. Strømmen vil blive 90º faseforskudt i forhold til spændingen, men retningen af forskydningen vil afhænge af, hvilken af de opståede spændinger der med den givne frekvens er den overvejende. I dette tilfælde UL.

Resonans

Kredsens modstand Z findes som:

$$Z = XL - XC$$

$$XL = 2 \bullet \pi \bullet f \bullet L$$

$$XC = \frac{1}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C}$$

Hvis

$$2 \bullet \pi \bullet f \bullet L = \frac{1}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C}$$

$$bliver\ Z = 0$$

Man får den størst mulige strøm i kredsen ved en given spænding, idet strømmen nu kun er begrænset af den ohmske modstand i kredsen, som vi i dette tilfælde har set bort fra. Kredsen siges da at være resonans.

Resonansfrekvens

Ved en given selvinduktion og en given kapacitet kan den frekvens, ved hvilken der opstår resonans, findes som:

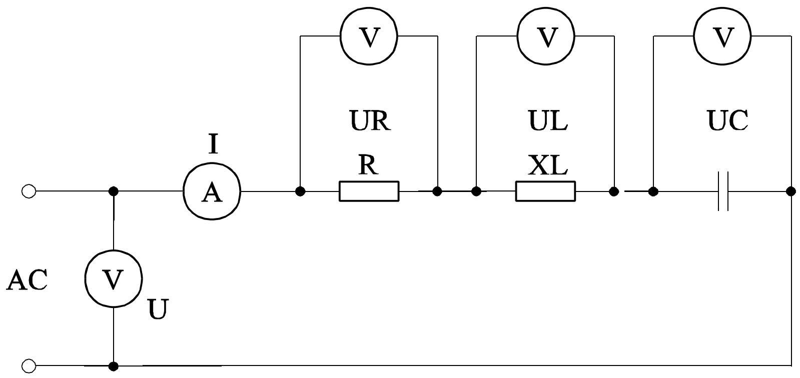
$$2 \bullet \pi \bullet f \bullet L = \frac{1}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C}$$

$$f^2 = \frac{1}{2^2 \bullet \pi^2 \bullet L \bullet C}$$

$$f = \frac{1}{2 \bullet \pi \bullet \sqrt{L \bullet C}}$$

Serieforbindelse

En kombination af en selvinduktion med ohmsk modstand og en kapacitet i serieforbindelse anvendes fx i armaturer med LC-koblede lysstofrør.



I vektordiagrammet afsættes strømmen lodret, da den er fælles for alle tre størrelser.

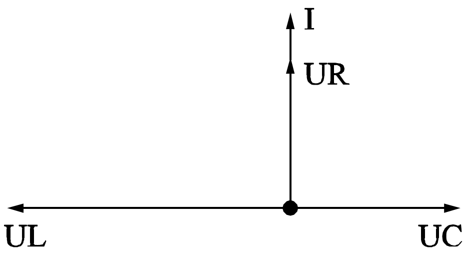
Spændingen over den ohmske modstand, I · R, afsættes i fase med strømmen. Derpå afsættes de over selvinduktionen og kapaciteten opståede spændinger.

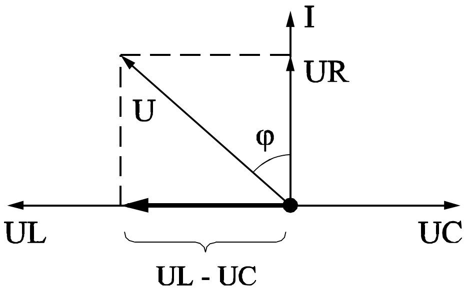
Spændingerne UL og UC ligger i hinandens forlængelse, men modsat rettet.

Resultanten findes ved at trække den mindste fra den største.

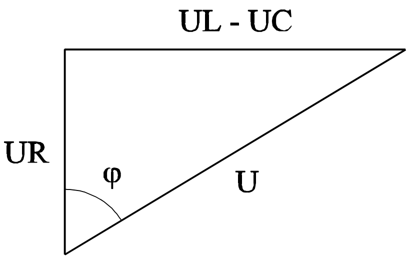
Klemspændingen U findes ved geometrisk sammenlægning af denne resultant og UR.

$$U^2 = UR^2 + (UL - UC)^2$$





Spændingstrekant

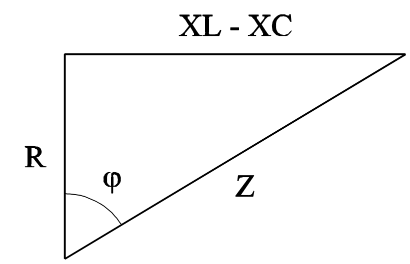


Klemspændingen skal overvinde dels den ohmske spænding og dels differencen UL - UC.

Dens vektor må derfor have den i spændingstrekanten viste størrelse og beliggenhed.

I dette tilfælde, hvor selvinduktionsspændingen er større end kondensatorspændingen, bliver faseforskydningsvinklen induktiv.

Modstandstrekant



Modstandstrekanten dannes på sædvanlig måde ved division af spændingstrekantens sider med strømstyrken I.

$$Z^2 = R^2 + (XL - XC)^2$$

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} \; eller$$

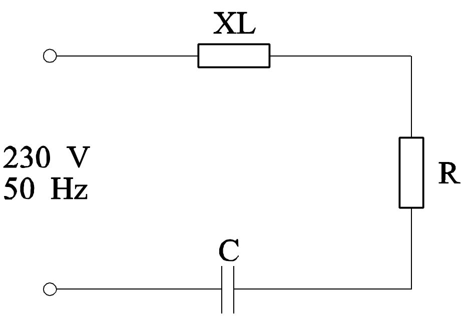
$$\cos\varphi = \frac{UR}{U}$$

Overspænding

De to spændinger UL og UC kan hver for sig blive meget store, ofte mange gange større end klemspændingen.

I stærkstrømskredsløb af denne art kan det være specielt farligt at berøre klemmerne på spole og kondensator, ligesom disse spændinger eventuelt kan forårsage gennemslag af de anvendte isolationsmaterialer.

Eksempler



En serieforbindelse med en spole på L = 0,6 H, en ohmsk modstand R = 210 Ω og en kondensator på C = 40 µF tilsluttes 230 V 50 Hz~.

Find strømstyrken og den samlede faseforskydningsvinkel.

$$XL = 2 \bullet \pi \bullet f \bullet L$$

$$XL = 2 \bullet 3{,}14 \bullet 50 \bullet 0{,}6 = \underline{\underline{188{,}4\ \Omega}}$$

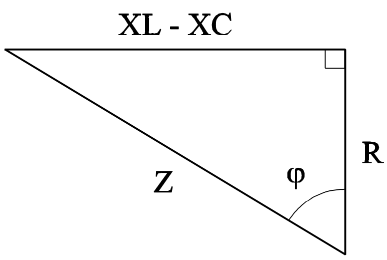
$$XC = \frac{10^6}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet C}$$

$$XC = \frac{10^6}{2 \bullet 3{,}14 \bullet 50 \bullet 40} = \underline{\underline{79{,}62\ \Omega}}$$

$$Z^2 = R^2 + (XL - XC)^2$$

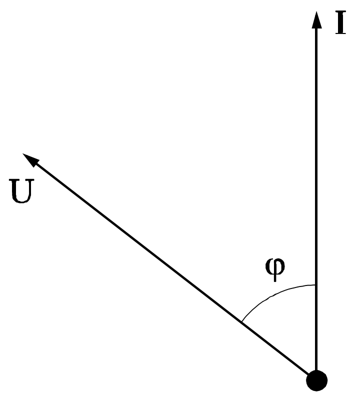
$$Z^2 = 210^2 + (188{,}4 - 79{,}62)^2$$

$$Z = \sqrt{210^2 + (188{,}4 - 79{,}62)^2} = \underline{\underline{236{,}5\ \Omega}}$$



$$I = \frac{U}{Z}$$

$$I = \frac{230}{236{,}5} = 0{,}97\ A$$

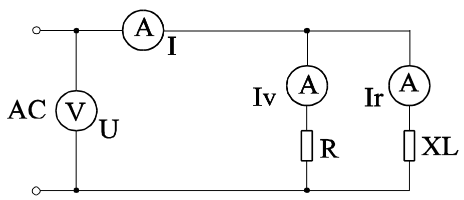


$$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos\varphi = \frac{210}{236{,}5} = 0{,}888$$

$$\angle\varphi = \underline{\underline{27°}}$$

Parallelforbindelser

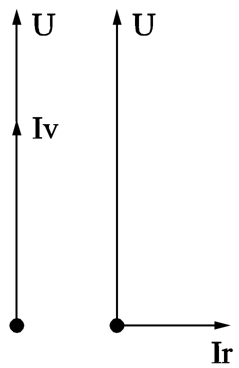


En parallelforbindelse af en brugsgenstand med stor induktiv faseforskydning og en ohmsk modstand møder man ved lysinstallationer, hvor lysstofrør benyttes sammen med glødelamper.

Strømmen, der går gennem den ohmske modstand, benævnes virkestrømmen Iv og ligger i fase med spændingen.

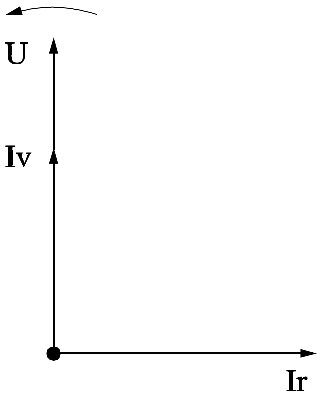
Strømmen, der går gennem en spole uden ohmsk modstand, er faseforskudt 90° efter spændingen og kaldes reaktivstrømmen Ir.

Strømmens størrelse kan beregnes ved hjælp af Ohms lov.



$$Iv = \frac{U}{R}$$

$$Ir = \frac{U}{XL}$$

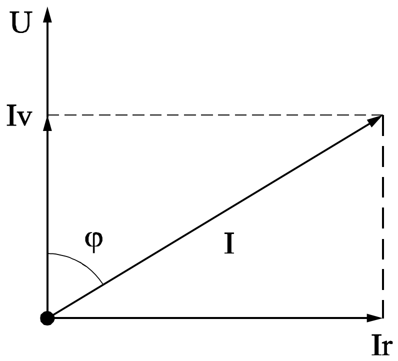


Da strømmene ikke har samme fasebeliggenhed, må de lægges geometrisk sammen. Dette kan gøres ved beregning eller konstruktion.

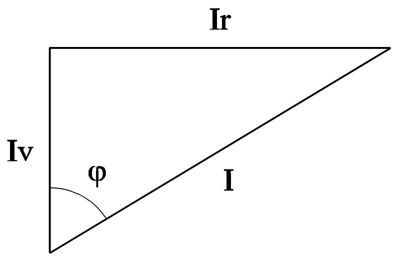
Ved parallelforbindelse er det spændingen, der er fælles, hvorfor U tegnes som lodret vektor.

Iv tegnes i fase med spændingen.

Ir tegnes 90° efter spændingen.



Strømtrekant



Ved geometrisk sammenlægning af Iv og Ir findes den samlede strøm I.

$$I^2 = Iv^2 + Ir^2$$

$$I = \sqrt{Iv^2 + Ir^2}$$

$$\cos\varphi = \frac{Iv}{I}$$

$$\sin\varphi = \frac{Ir}{I}$$

Impedansen

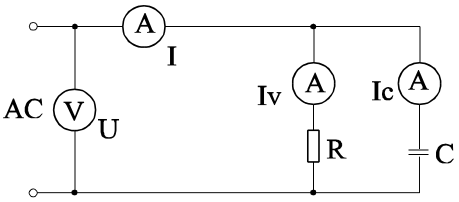
Den samlede modstand kaldes impedansen Z og kan beregnes ved hjælp af den udvidede Ohms lov.

$$Z = \frac{U}{I}$$

Modstandstrekanten, som omtalt under serieforbindelser, kan ikke anvendes i parallelforbindelser, da modstandene ikke gennemløbes af den samme strøm.

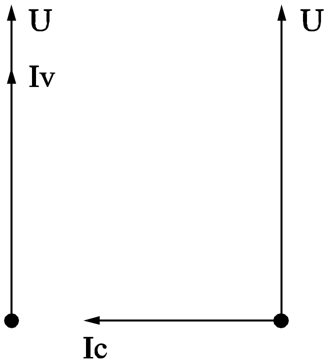
Parallelforbindelser

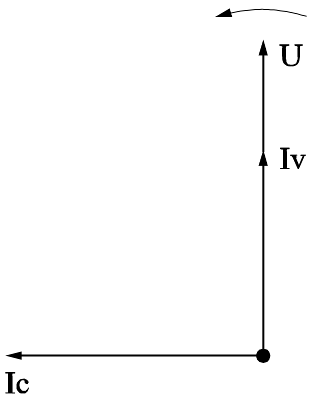
Parallelforbindelse af ohmsk modstand og kapacitet.

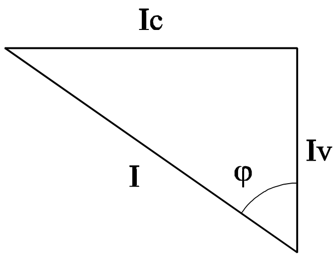


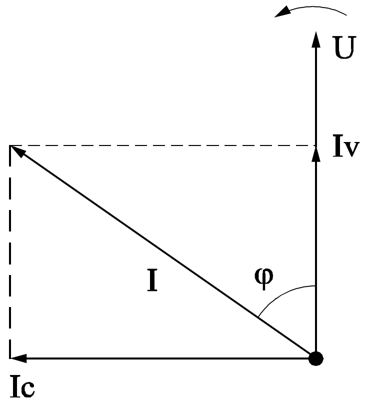
$$Iv = \frac{U}{R} \text{ afsættes i fase med spændingen.}$$

$$Ic = \frac{U}{XC} \text{ afsættes } 90° \text{ foran spændingen.}$$









Strømmen i tilledningerne I findes ved geometrisk sammenlægning af strømmene Iv og Ic.

$$I^2 = Iv^2 + Ic^2$$

$$I = \sqrt{Iv^2 + Ic^2}$$

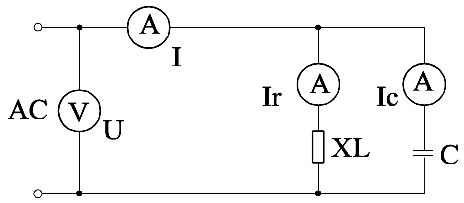
$$\cos\varphi = \frac{Iv}{I}$$

Impedansen

Impedansen findes som:

$$Z = \frac{U}{I}$$

Parallelresonans



Parallelforbindelse af selvinduktion og kapacitet er en kombination, man møder inden for både svagstrøms- og stærkstrømsteknikken, ofte kaldet en spærrekreds.

Der ses bort fra, at spolen indeholder en ohmsk modstand.

Kondensatorstrømmen

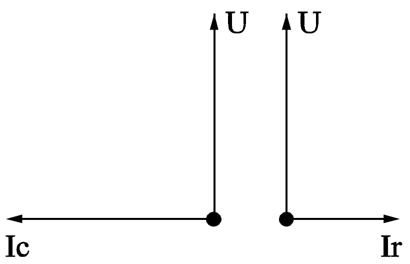
$$Ic = \frac{U}{XC}$$

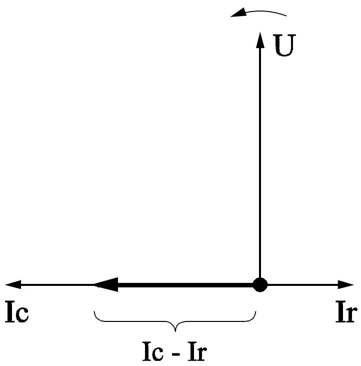
afsættes 90° forud for spændingen.

Spolestrømmen

$$Ir = \frac{U}{XL}$$

afsættes 90° bagud for spændingen.





Da de to strømme ligger i hinandens forlængelse, men modsat rettede, findes den samlede strøm I ved at trække den mindste strøm fra den største

$$I = Ic - Ir$$

Impedansen findes som:

$$Z = \frac{U}{I}$$

Resonans

Har reaktansen XL og kapacitansen XC samme størrelse, bliver de to strømme Ir og Ic lige store.

Den resulterende strøm bliver da nul, idet kredsen synes at have uendelig stor modstand.

Denne stilstand betegnes parallelresonans, og den dertil svarende frekvens kan findes som:

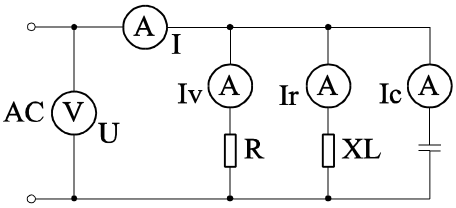
$$f = \frac{1}{2 \bullet \pi \bullet \sqrt{L \bullet C}}$$

hvilket er det samme udtryk, som fandtes ved serieresonans. Ved andre frekvenser vil den ene eller den anden af de to strømme være den overvejende.

Anvendelse

I svagstrømsteknikken udnyttes kombinationen i form af filtre eller spærrekredse, fx til at adskille strømme med forskellig frekvens, der sendes samtidig gennem en ledning.

Parallelforbindelse

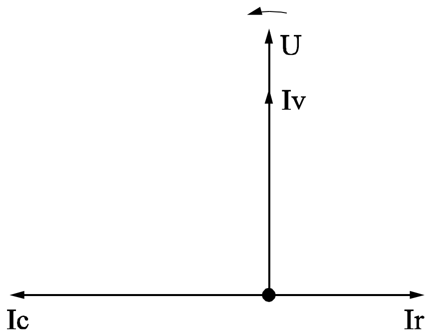


Parallelforbindelse af ohmsk modstand, selvinduktion og kapacitet.

Ved tegning af vektordiagrammet afsættes strømmen gennem den ohmske modstand

$$Iv = \frac{U}{R}$$

i fase med spændingsvektoren.



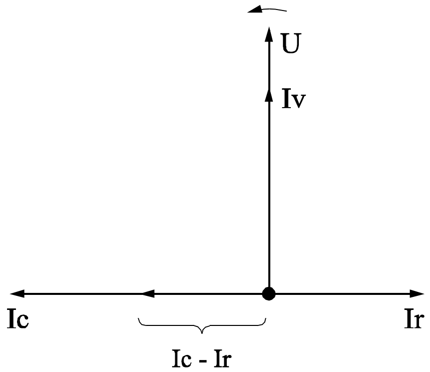
Strømmen gennem spolen

$$Ir = \frac{U}{XL}$$

afsættes 90º bagud for spændingsvektoren.

Kondensatorstrømmen

$$Ic = \frac{U}{XC}$$

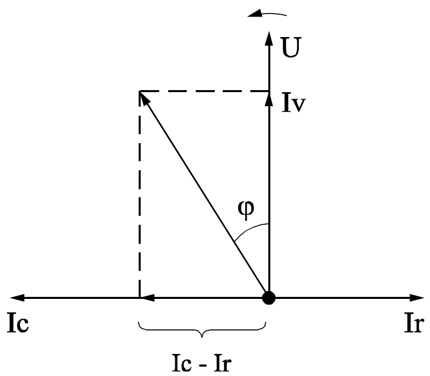


afsættes 90º forud for spændingsvektoren.

Resultanten af spolestrømmen og kondensatorstrømmen findes ved at trække Ir fra Ic eller omvendt, alt afhængig af, hvilken af de to strømme der er størst.

Amperemetret i tilledningerne viser altid den samlede strøm I, og denne findes ved geometrisk sammenlægning af Iv og resultanten Ir - Ic.

$$I^2 = Iv^2 + (Ir - Ic)^2$$

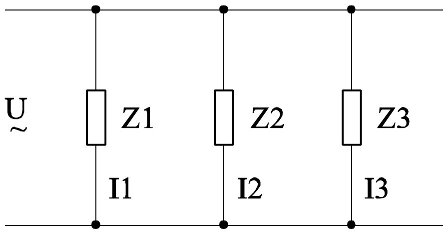


Impedansen for hele parallelforbindelsen findes som:

$$Z = \frac{U}{I}$$

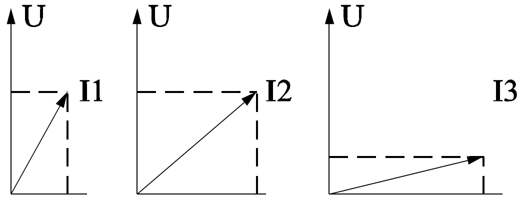
$$\cos\varphi = \frac{Iv}{I}$$

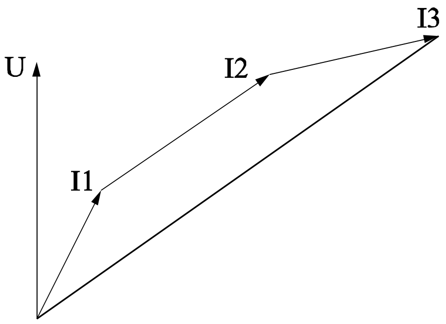
Geometrisk addition af strømme



Ved parallelforbindelse er spændingen fælles og den resulterende strøm lig med summen af de enkelte strømme, idet man stadig af hensyn til fasebeliggenheden skal sammenlægge strømmene geometrisk.

Figuren viser tre brugsgenstande og deres vektordiagrammer.





Den samlede strøm kan findes ved geometrisk konstruktion, som vist.

Man kan også opløse de tre brugsgenstandes strømme i virkestrømme og reaktivstrømme og finde den samlede virkekomposant og reaktivkomposant.

Virkekomposanten:

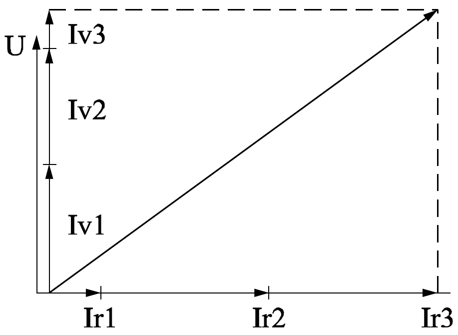
$$Iv = Iv1 + Iv2 + Iv3$$

$$Ir = Ir1 + Ir2 + Ir3$$

Reaktivkomposanten:

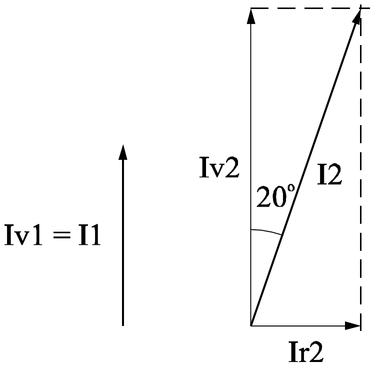
Den samlede strøm I findes som:

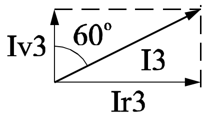
$$I^2 = Iv^2 + Ir^2 \Rightarrow I = \sqrt{Iv^2 + Ir^2}$$

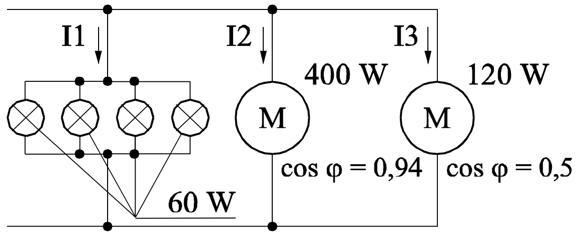


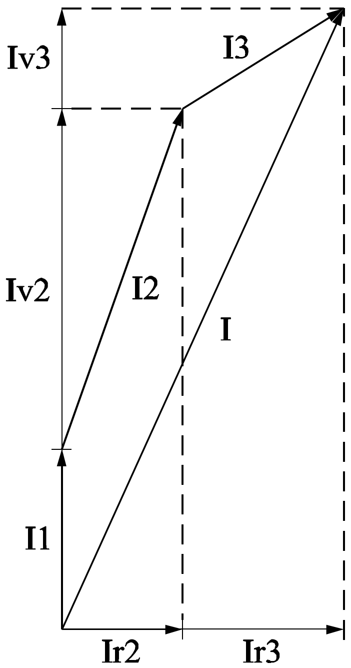
Eksempler

Til en 230 V gruppeledning sluttes 4 stk. 60 W lamper, en motor på 440 W med cosφ = 0,94 og en anden motor på 120 W med cosφ = 0,5.









Find de tre belastningers strømme og den samlede strøm.

$$I1 = \frac{P}{U \bullet \cos\varphi}$$

$$I1 = \frac{4 \bullet 60}{230 \bullet 1} = \underline{\underline{1{,}04\ A}}$$

$$I2 = \frac{P}{U \bullet \cos\varphi}$$

$$I2 = \frac{440}{230 \bullet 0{,}94} = \underline{\underline{2{,}04\ A}}$$

$$I3 = \frac{P}{U \bullet \cos\varphi}$$

$$I3 = \frac{120}{230 \bullet 0{,}5} = \underline{\underline{1{,}04\ A}}$$

$$Iv1 = I1 \bullet \cos\varphi$$

$$Iv1 = 1{,}04 \bullet 1 = \underline{\underline{1{,}04\ A}}$$

$$Iv2 = I2 \bullet \cos\varphi\ 2$$

$$Iv2 = 2{,}04 \bullet 0{,}94 = \underline{\underline{1{,}92\ A}}$$

$$Iv3 = I3 \bullet \cos\varphi\ 3$$

$$Iv3 = 1{,}04 \bullet 0{,}5 = \underline{\underline{0{,}52\ A}}$$

$$\Sigma Iv = Iv1 + Iv2 + Iv3$$

$$\Sigma Iv = 1{,}04 + 1{,}92 + 0{,}52 = \underline{\underline{3{,}48\ A}}$$

$$Ir1 = I1 \bullet \sin\varphi\ 1$$

$$Ir1 = 1{,}04 \bullet 0 = \underline{\underline{0}}$$

$$Ir2 = I2 \bullet \sin\varphi\ 2$$

$$Ir2 = 2{,}04 \bullet 0{,}342 = \underline{\underline{0{,}7\ A}}$$

$$Ir3 = I3 \bullet \sin\varphi\ 3$$

$$Ir3 = 1{,}04 \bullet 0{,}866 = \underline{\underline{0{,}91\ A}}$$

$$\Sigma Ir = Ir1 + Ir2 + Ir3$$

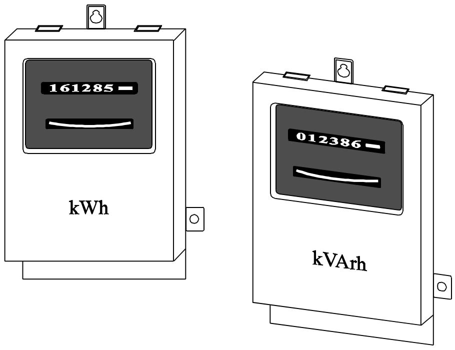
$$\Sigma Ir = 0 + 0{,}7 + 0{,}9 = \underline{\underline{1{,}6\ A}}$$

$$\Sigma I^2 = \Sigma Iv^2 + \Sigma Ir^2 = \rangle$$

$$\Sigma I = \sqrt{\Sigma Iv^2 + \Sigma Ir^2}$$

$$\Sigma I = \sqrt{3{,}48^2 + 1{,}6^2} = \underline{\underline{3{,}83\ A}}$$

Fasekompensering

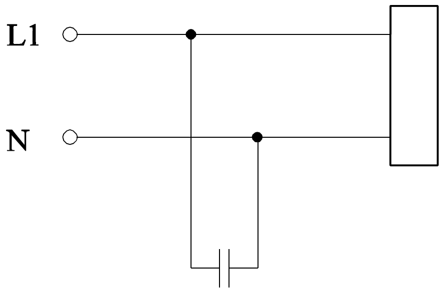


For brugsgenstande, der forårsager faseforskydning, skal der træffes foranstaltninger til kompensering.

Dette skyldes, at faseforskydningen medfører en dårlig udnyttelse af ledningsnettet, hvilket især har betydning for elværkerne.

Endvidere er det normalt således, at elforbruget afregnes efter antallet af forbrugte kWh og ikke efter kVAh.

Elværks-krav for cosφ



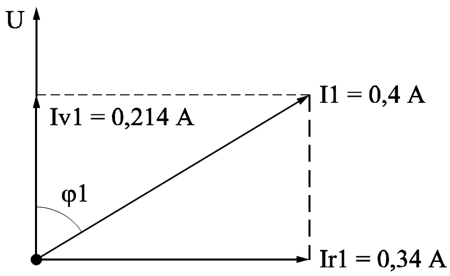
Fællesregulativet foreskriver, at neonanlæg, lysrør m.m. skal fasekompenseres til mindst cosφ = 0,9.

Lysrør i beboelsesrum behøver dog ikke at fasekompenseres.

Den faseforskydning, som fremkommer ved motorer, svejse-apparater lysrør m.m., er induktiv og kan derfor kompenseres ved at fremskaffe en kapacitiv belastning ved hjælp af kondensatorer.

Almindeligvis anbringes kondensatoren parallelt over brugsgenstandens klemmer.

Eksempler



Et lysstofrør bruger 0,4 A ved 230 V 50 Hz. Effekten for rør og spole udgør tilsammen 47 W. Hvor stor en kondensator skal der anvendes for at hæve cosφ til 0,85?

$$Iv1 = \frac{P}{U}$$

$$Iv1 = \frac{47}{230} = \underline{\underline{0{,}2\ A}}$$

$$\cos\varphi 1 = \frac{Iv1}{I}$$

$$\cos\varphi 1 = \frac{0{,}2}{0{,}4} = 0{,}5 \Rightarrow \angle\varphi 1 = \underline{\underline{60°}}$$

$$Ir1 = I1 \bullet \sin\varphi 1$$

$$Ir1 = 0{,}4 \bullet 0{,}866 = \underline{\underline{0{,}35\ A}}$$

$$I2 = \frac{Iv1}{\cos\varphi 2}$$

$$I2 = \frac{0{,}2}{0{,}85} = \underline{\underline{0{,}24\ A}}$$

$$Ir2 = I2 \bullet \sin\varphi 2$$

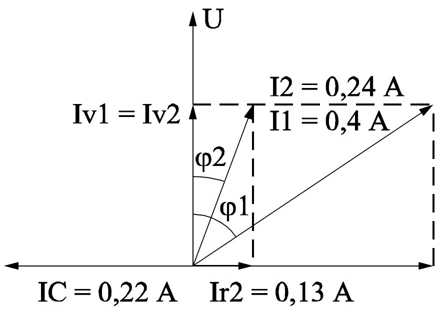
$$Ir2 = 0{,}24 \bullet 0{,}53 = \underline{\underline{0{,}13\ A}}$$

$$IC = Ir1 - Ir2$$

$$IC = 0{,}35 - 0{,}13 = \underline{\underline{0{,}22\ A}}$$

$$XC = \frac{U}{IC}$$

$$XC = \frac{230}{0{,}22} = \underline{\underline{1045\ \Omega}}$$

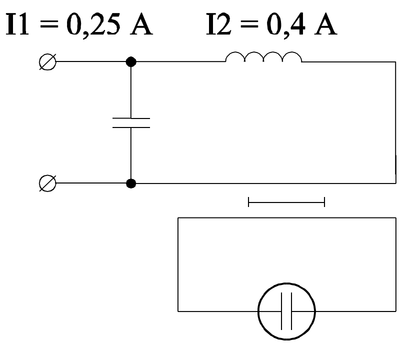


$$C = \frac{10^6}{2 \bullet \pi \bullet f \bullet XC}$$

$$C = \frac{10^6}{2 \bullet 3{,}14 \bullet 50 \bullet 1045} = \underline{\underline{3{,}05\ \mu F}}$$

I stedet for beregning kan kondensatorstrømmen findes ved konstruktion.

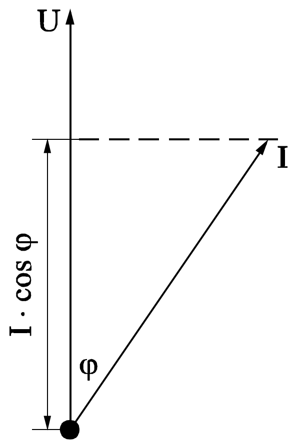
Eksempler



Ved montering af en kondensator på 3 µF, i tilledningerne på den viste kobling med lysstofrør, reduceres strømmen i tilledningerne fra 0,4-0,25 A.

I stedet for at udskifte kabler og ledningsnet i en installation, hvor cosφ er lav, kan det ofte være billigere at indsætte et kondensatorbatteri, da strømmen derved reduceres.

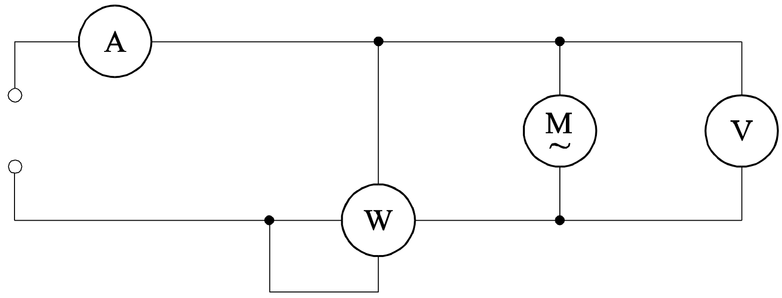
1-faset effekt og arbejde



Figuren viser vektordiagrammet for en brugsgenstand, fx en motor. Med et voltmeter måles spændingen U volt og med et amperemeter strømstyrken I ampere. Hvis der ikke var nogen faseforskydning, altså ren ohmsk belastning, kunne effekten udregnes som P = U · I [watt]. Men når der optræder faseforskydning, er den virkelige effekt, virkeeffekten, kun:

$$P = U \bullet I \bullet \cos\varphi$$

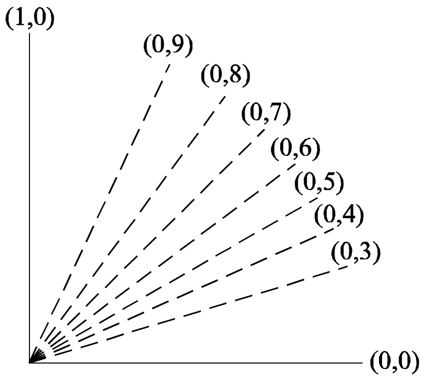
Man kan altså udregne virkeeffekten, hvis man kender U, I og φ. Man kan dog også måle effekten direkte ved at indskyde et wattmeter.



Effektfaktor

Cosφ kaldes effektfaktoren eller arbejdsfaktoren. I praksis kaldes den dog ofte simpelt hen "cosinus φ".

Erfaringstal for cosφ



Vedrørende effektfaktoren cosφ har vi tidligere set, at den er lig med 1,0 ved ren ohmsk belastning og lig med 0,0 ved ren reaktiv belastning. Man kan overslagsmæssigt regne med følgende værdier:

Glødelamper, alm. varme- og kogeapparater 1,0

Blandet belastning af lys og motorer 0,7-0,8

Maskinfabrikker og landbrugsinstallationer 0,6-0,7

Svejsetransformere 0,5-0,6

Neonanlæg, lysstofrør, Na- og Hg-damplamper 0,4-0,5

Reaktiveffekt

I afsnittene om induktiv og kapacitiv vekselstrømsbelastning fremgik det, at hvis der er 90° faseforskydning, findes reaktiveffekten Q, også kaldet "den wattløse effekt", på tysk: Blindleistung, som spændingen gange strømmen. Ved en tilfældig fasevinkel findes:

Reaktiveffekten

$$Q = U \bullet I \bullet \sin\varphi [var]$$

Ved ren ohmsk belastning fås:

$$P = U \bullet I \bullet \cos\phi (1)$$

$$Q = 0$$

$$\cos\ 0° = 1$$

$$\sin\ 0° = 0$$

Ved ren reaktiv belastning:

$$P = 0$$

$$Q = U \bullet Ir$$

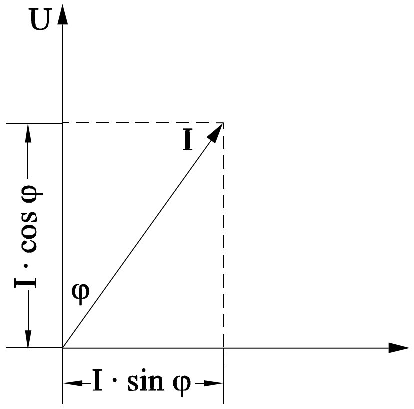
$$\cos\ 90° = 0$$

$$\sin\ 90° = 1$$

Reaktiveffekten måles i enheder var - volt-ampere-reaktiv - eller kvar, 1 kvar = 1000 var. Undertiden anvendes måleenheden sin og ksin.

Det er ikke noget energiforbrug, men kun en energisvingning. Derfor betaler småforbrugere ikke noget for dette. En større reaktiv strøm medfører dog en større samlet strøm i generatorer og ledningsnet - og dermed et større varmetab i maskiner og net før forbrugerstedet.

Kombinationseffekt



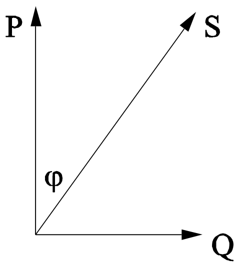
Finder man, uanset at der findes faseforskydning, produktet af spænding og strøm, kalder man denne størrelse kombinationseffekten.

Kombinationseffekt S = U · I [VA]

Kombinationseffekten kaldes også "den tilsyneladende effekt", på tysk: Scheinleistung.

Kombinationseffekten i VA eller kVA har sjældent større interesse. En transformers eller generators ydeevne angives dog i kVA og ikke kW, ligesom forsyningsselskaberne ønsker forbrugernes tilslutningsværdier angivet i kVA.

For generatorens vedkommende er det altså den afgivne kombinationseffekt i kVA, der bestemmer dens vigtigste dimensioner. For den kraftmaskine, som trækker generatoren, er det derimod den afgivne virkeeffekt i kW eller hk.



Ledningerne skal dimensioneres efter den samlede strøm I, og ikke I · cosφ = Iv.

Man kan altså sammenfatte:

Virkeeffekten

$$P = U \bullet I \bullet \cos\varphi [W \text{ } eller \text{ } kW]$$

Reaktiveffekten

$$Q = U \bullet I \bullet \sin\varphi \text{ } [var \text{ } eller \text{ } kvar, \sin \text{ } eller \text{ } ksin]$$

Kombinationseffekten

$$S = U \bullet I \text{ } [VA \text{ } eller \text{ } kVA]$$

Eksempler

En belastning tilsluttes en tavle med volt, ampere og wattmetre. På instrumenterne aflæses følgende:

U = 224 V, I = 14,8 A og P = 2,85 kW. Hvor stor er henholdsvis kombinationseffekten og reaktiveffekten?

$$S = U \bullet I$$

$$S = 224 \bullet 14{,}8 = \underline{\underline{3315\ VA}}$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

$$\cos\varphi = \frac{2850}{3315} = 0{,}86 \Rightarrow \sin\varphi = \underline{\underline{0{,}511}}$$

$$Q = U \bullet I \bullet \sin\varphi$$

$$Q = 224 \bullet 14{,}8 \bullet 0{,}511 = \underline{\underline{1694\ var}}$$

Arbejde

Arbejde er energiudvikling eller energiforbrug; derfor måles energi og arbejde i samme enheder.

Hvis den konstante effekt ganges med tiden, får man energiforbruget.

$$A = P \bullet t$$

$$A = U \bullet I \bullet \cos\varphi \bullet t\ [Wh]$$

$$A = U \bullet I \bullet \sin\varphi \bullet t\ [varh]$$

$$A = U \bullet I \bullet t\ [VAh]$$

- hvor t er tiden i timer.

Afregning med elværkerne sker normalt for forbruget af kWh.

Eksempler

For en belastning aflæses U = 225 V, I = 0,45 A og cosφ = 0,5.

Hvad koster 8 timers drift når prisen pr. kWh = 0,9 kr.

$$A = P \bullet t$$

$$A = U \bullet I \bullet \cos\varphi \bullet t$$

$$A = 225 \bullet 0{,}45 \bullet 0{,}5 \bullet 8 = \underline{\underline{405\ Wh}}$$

$$Pris = kWh \cdot 0{,}9$$

$$Pris = 0{,}405 \cdot 0{,}9 = \underline{\underline{0{,}36\ kr.}}$$

Vekselstrømsformler

De forskellige regnestørrelser indgår i formlerne for vekselstrøm og vekselspænding således, som det ses på skemaet.

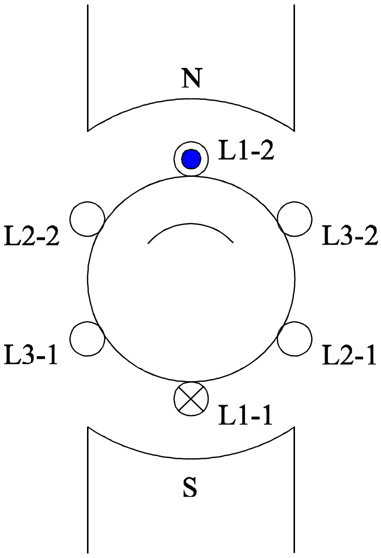
	Formeltegn	I almindelighed	Serie-forbindelse	Parallelforbindelse	Enhed
Effekt	P =	$U \bullet I \bullet \cos\varphi = S \bullet \cos\varphi$	$UR \bullet I = I^2 \bullet R$	$U \bullet Iv$	W el. kW
	Q =	$U \bullet I \bullet \sin\varphi = S \bullet \sin\varphi$	$UL \bullet I$	$U \bullet Ir$	var el. kvar (Sin el.ks)
	S =	$U \bullet I = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{Q}{\sin\varphi}$			VA el. kVA
Spæn-ding	U =	$\frac{P}{I \bullet \cos\varphi} = \frac{Q}{I \bullet \sin\varphi} = \frac{S}{I}$	$\frac{UR}{\cos\varphi} = \frac{UL}{\sin\varphi}$	$\frac{P}{Iv} = \frac{Q}{Ir}$	V
	UR =	U • cosφ	$\frac{P}{I}$		V
	UL =	U • sinφ	$\frac{Q}{I}$		V
Strøm	I =	$\frac{P}{U \bullet \cos\varphi} = \frac{Q}{U \bullet \sin\varphi} = \frac{S}{U}$		$\frac{Iv}{\cos\varphi} = \frac{Ir}{\sin\varphi}$	A
	Iv =	$\frac{P}{U} = \frac{S \bullet \cos\varphi}{U}$		I • cosφ	A
	Ir =	$\frac{Q}{U} = \frac{S \bullet \sin\varphi}{U}$		I • sinφ	A
Fasefor-skydning	cosφ =	$\frac{P}{U \bullet I} = \frac{P}{S}$	$\frac{UR}{U}$	$\frac{Iv}{I}$	ubenævnt tal
	sinφ =	$\frac{Q}{U \bullet I} = \frac{Q}{S}$	$\frac{UL}{U}$	$\frac{Ir}{I}$	ubenævnt tal

Flerfaset belastning

Mindre belastninger tilsluttes normalt 230 V, hvorimod større belastninger, for at begrænse strømmen mest muligt, tilsluttes 2 eller 3 faser med eller uden nul.

3-faset vekselstrøm

Ved at anbringe tre ens sæt viklinger på en generators rotor, med en forskydning på 120° i forhold til hinanden, vil der ved rotorens rotation frembringes 3-faset vekselspænding.

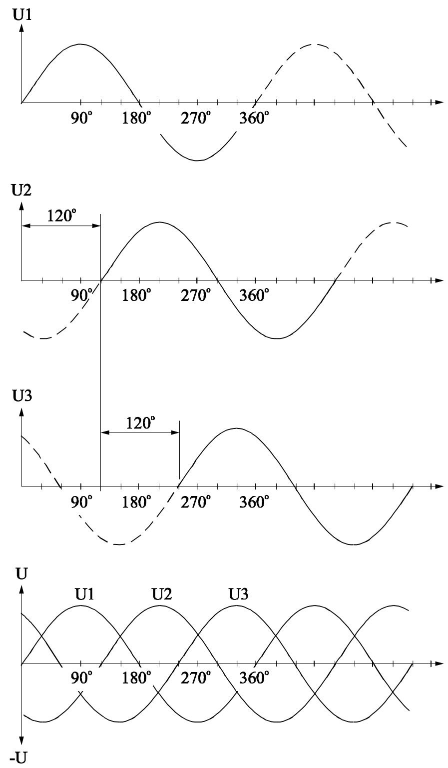


Spænding

Under generatorens rotation induceres der en vekselspænding i hver af de tre viklinger. Spændingerne er sinusformet og forskudt 120° i forhold til hinanden.

Princippet er vist ved koordinatsystemet med spændingen U som funktion af vinklen.

Figuren viser sammensætning af de tre kurver, så vi får et kurvediagram af en 3-faset vekselspænding.

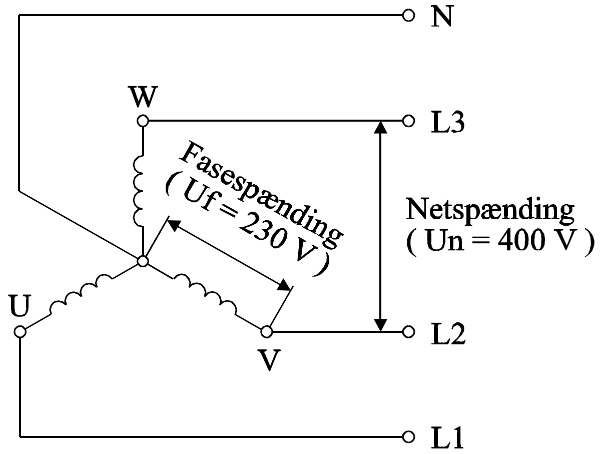


Stjerneforbindelse

Forsyningsgeneratorers eller -transformeres sekundærviklinger er normalt forbundet i stjerneforbindelse.

Fase- og netspænding

Spændingen over maskinens enkelte viklinger, eller mellem en faseledning og nullederen, kaldes fasespændingerne Uf, mens spændingerne mellem to af maskinens yderklemmer eller mellem to faseledninger kaldes netspændingerne Un.

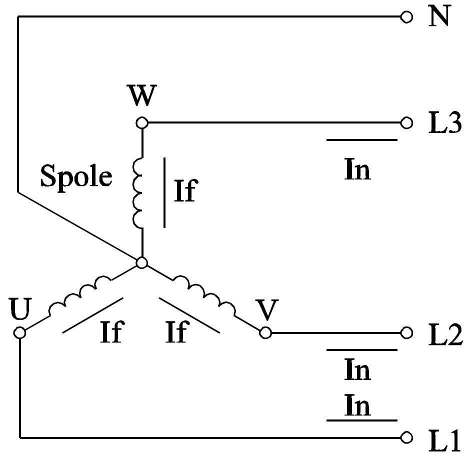


Fase- og netstrøm

Strømmen i den enkelte fasespole i maskinen kaldes fasestrømmen If, og strømmen i en af nettets faseledninger netstrømmen In.

Ved stjerneforbindelse er fasestrømmen og netstrømmen lige store.

In = If.



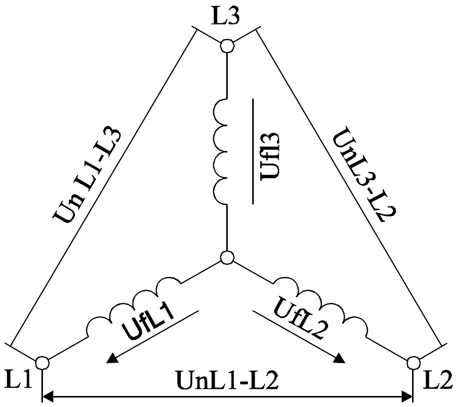
Forholdet mellem Un og Uf

Ved stjerneforbindelse findes Un ved en geometrisk sammenlægning af to fasespændinger.

Hvis fasespændingen Uf er 230 V, kan netspændingen beregnes til:

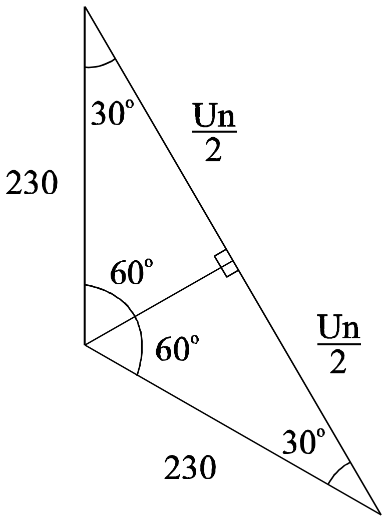
$$Un = \sqrt{3} \bullet Uf$$

$$Un = 1{,}73 \bullet 230 = \underline{\underline{398\ V}}$$



Tegningen viser de tre fase- og netspændinger.

Betragter vi en af de ligebenede trekanter, udgør netspændingen UN grundlinien og fasespændingerne UF de to andre sider.



Halverer vi vinklen på 120°, vil vinkelhalveringslinien stå vinkelret på grundlinien, hvorved der fremkommer to retvinklede 30-60° trekanter.

I en 30-60° trekant er den mindste katete halvt så stor som hypotenusen, og den største katete 3 gange så stor som den mindste katete.

Da fasespændingen er 230 V, bliver den mindste katete 115, hvorved den halve netspænding bliver

$$115 \cdot \sqrt{3}$$

Netspændingen kan således beregnes til:

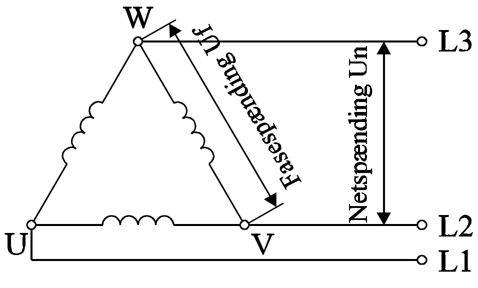
$$Un = 115 \bullet \sqrt{3} \bullet 2$$

$$Un = 230 \bullet \sqrt{3} = \underline{\underline{398\ V}}$$

Trekantforbindelse

Forsyningstransformerens primærside er trekantforbundet. Sekundærsiden kan i særlige tilfælde også forbindes i trekant.

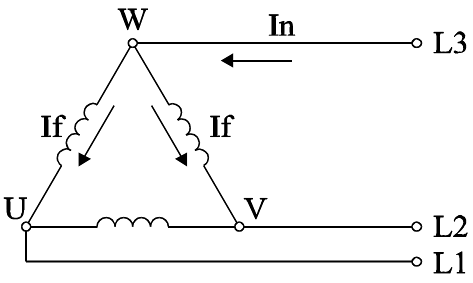
Fase- og netspænding



Der bliver da kun en spænding til rådighed, da netspændingen Un og fasespændingen Uf er lige store.

Un = Uf

Fase- og netstrøm

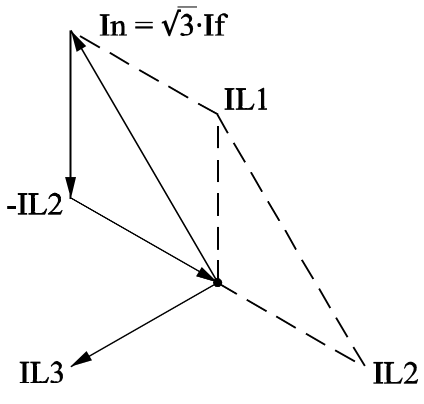


Af figuren ses, at netstrømmen i L3 lederen forgrener sig i to strømme, som dels forløber gennem spolen WV og dels gennem spolen WU.

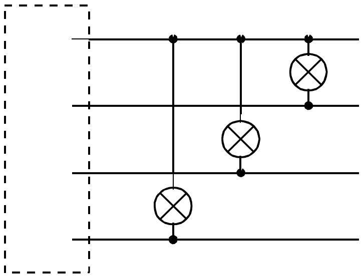
Det tilsvarende sker fra netstrømmene i fase L2 og L1, ydermere bliver de tre fasestrømme faseforskudt fra hinanden som ved stjerneforbindelsen 120º.

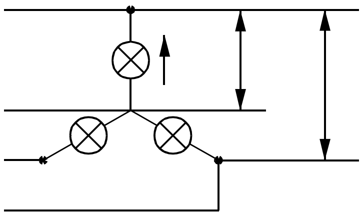
$$In = \sqrt{3} \bullet If$$

Af vektordiagrammet fremgår det, at



Stjerneforbundet belastning





Et symmetrisk belastet trefasenet, hvor belastningen er stjerneforbundet og ikke giver anledning til faseforskydning, har man fx ved tilslutning af tre ens glødelamper.

Effekten, som optages i hver glødelampe, er:

$$PL = Uf \bullet If \ [W]$$

For tre lamper kan man derfor beregne den samlede effekt P som tre gange PL.

$$P = 3 \bullet PL$$

$$P = 3 \bullet Uf \bullet If$$

Ved stjerneforbindelse er Un = Uf $\cdot \sqrt{3}$

derfor er

$$Uf = \frac{Un}{\sqrt{3}}$$

$$P = 3 \bullet \frac{Un}{\sqrt{3}} \bullet If$$

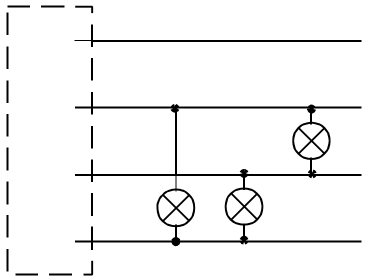
$$P = \frac{3}{\sqrt{3}} \bullet Un \bullet If$$

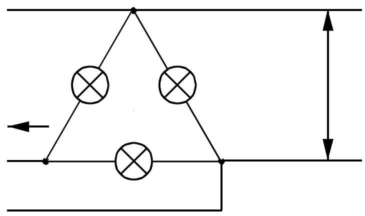
$$P = \sqrt{3} \bullet Un \bullet If$$

Da If = In, bliver virkeeffekten

$$P = \sqrt{3} \bullet Un \bullet In \ [W]$$

Trekantforbundet belastning





Man betragter et symmetrisk belastet 3-fasenet, hvor belastningen er trekantforbundet og ikke giver anledning til faseforskydning.

Ved trekantforbindelse er Un = Uf.

$$Pf = If \bullet Uf$$

$$P = 3 \bullet P1$$

$$P = 3 \bullet If \bullet Un$$

$$In = \sqrt{3} \bullet If$$

$$If = \frac{In}{\sqrt{3}}$$

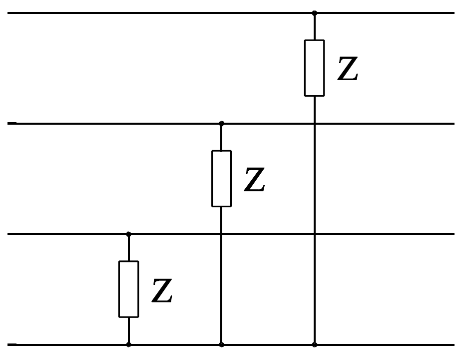
$$P = 3 \bullet \frac{In}{\sqrt{3}} \bullet U$$

Virkeeffekt

Ved ren ohmsk belastning er virkeeffekten såvel ved stjernebelastning som ved trekantbelastning:

$$P = \sqrt{3} \bullet Un \bullet In\ [W]$$

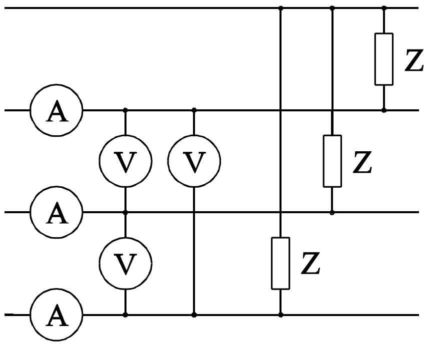
Kombinationseffekt



Ved symmetrisk belastning med brugsgenstande, der giver faseforskydning, kan kombinationseffekten beregnes som:

$$S = \sqrt{3} \bullet Un \bullet In\ [VA]$$

Reaktiveffekt



Ved beregning af reaktiveffekten indgår sin φ i formlen.

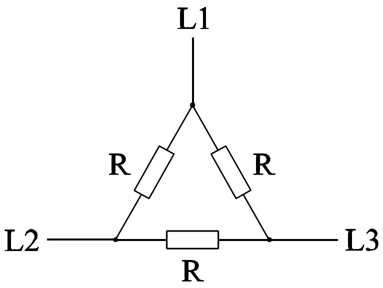
$$Q = \sqrt{3} \bullet Un \bullet In \bullet \sin\varphi [var]$$

Man anvender almindeligvis ikke udtrykkene netstrøm og netspænding, men siger blot strøm og spænding, som er de værdier, der umiddelbart måles.

Afbrydelse af 1 fase

Ved ren ohmsk, symmetrisk belastning halveres effekten, hvis den ene tilledning afbrydes.

Eksempler



Tre ohmske modstande på hver 58 Ω tilsluttes 3 x 400 V i trekantforbindelse. Hvor stor bliver den samlede effekt?

$$If = \frac{Uf}{R}$$

$$If = \frac{400}{58} = \underline{\underline{6{,}9\ A}}$$

$$PR = Uf \bullet If$$

$$PR = 400 \bullet 6{,}9 = \underline{\underline{2760\ W}}$$

$$\Sigma P = 3 \bullet PR$$

$$\Sigma P = 3 \bullet 2760 = \underline{\underline{8280\ W}}$$

Effekten kan også beregnes på følgende måde:

$$If = \underline{\underline{6{,}9\ A}}$$

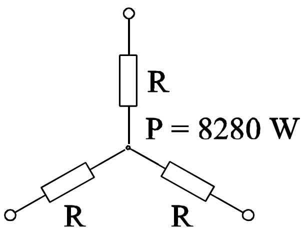
$$In = If \bullet \sqrt{3}$$

$$In = 6{,}9 \bullet \sqrt{3} = \underline{\underline{11{,}94\ A}}$$

$$P = \sqrt{3} \bullet Un \bullet In$$

$$P = \sqrt{3} \bullet 400 \bullet 11{,}94 = \underline{\underline{8272\ W}}$$

Hvor store skal modstandene være, hvis de skal forbindes i stjerne og yde den samme effekt?



$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \bullet Un}$$

$$I = \frac{8280}{\sqrt{3} \bullet 400} = \underline{\underline{11{,}97\ A}}$$

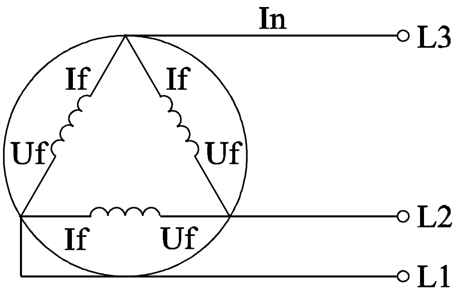
$$If = In$$

$$If = \underline{\underline{11{,}97 A}}$$

$$R = \frac{Uf}{If}$$

$$R = \frac{230}{11{,}97} = \underline{\underline{19{,}21\ \Omega}}$$

Eksempler



En 3 x 400 V trekantforbundet motor optager 3460 W ved cos φ = 0,866.

Find netstrømmen og strømmen i hver af motorens faseviklinger.

$$In = \frac{P}{\sqrt{3} \bullet Un \bullet \cos\varphi}$$

$$In = \frac{3460}{\sqrt{3} \bullet 400 \bullet 0{,}866} = \underline{\underline{5{,}77\ A}}$$

$$If = \frac{In}{\sqrt{3}}$$

$$If = \frac{5{,}77}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{3{,}34\ A}}$$

Man kan også foretage beregningen således:

$$Pf = \frac{P}{3}$$

$$Pf = \frac{3460}{3} = \underline{\underline{1153\ W}}$$

$$Ivf = \frac{Pf}{Un}$$

$$Ivf = \frac{1153}{400} = \underline{\underline{2{,}88\ A}}$$

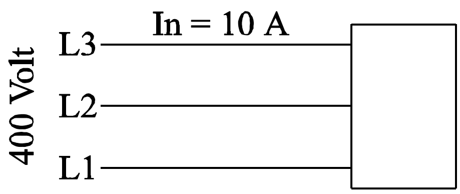
$$If = \frac{Ivf}{\cos\ \phi}$$

$$If = \frac{2{,}88}{0{,}866} = \underline{\underline{3{,}33\ A}}$$

$$In = If \bullet \sqrt{3}$$

$$In = 3{,}33 \bullet \sqrt{3} = \underline{\underline{5{,}76\ A}}$$

Eksempler



En trefaset 400 V brugsgenstand optager fra nettet 3 x 10, A ved cos φ = 0,866.

Find den samlede effekt, reaktiveffekt og kombinationseffekt.

$$P = \sqrt{3} \bullet U \bullet I \bullet \cos\varphi [W]$$

$$Q = \sqrt{3} \bullet U \bullet I \bullet \sin\varphi [var]$$

$$S = \sqrt{3} \bullet U \bullet I\ [VA]$$

Ved cos φ = 0,866 er vinklen φ = 30˚, og for en sådan vinkel er sin φ = 0,5.

$$P = \sqrt{3} \bullet 400 \bullet 10 \bullet 0{,}866 = \underline{\underline{5999\ W}}$$

$$S = \sqrt{3} \bullet 400 \bullet 10 = \underline{\underline{6928\ VA}}$$

$$Q = \sqrt{3} \bullet 400 \bullet 10 \bullet 0{,}5 = \underline{\underline{3464\ var}}$$

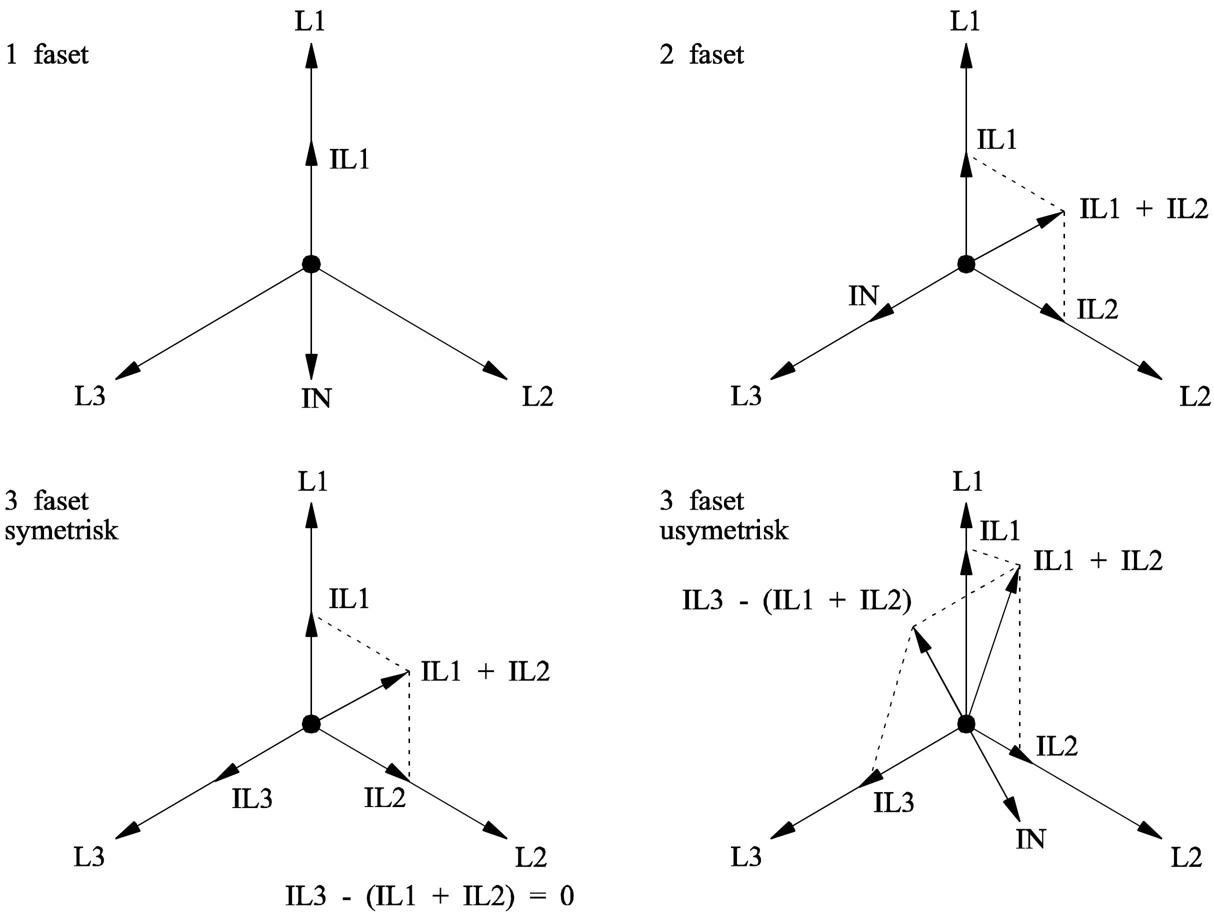
Belastningsfordeling

Ved tilslutning af brugsgenstande på nettet må man tilstræbe en ensartet belastning af faserne.

Ved ens belastning af alle faseledere vil der opstå nogen strøm i nullederen, da summen af tre lige store strømme, som er faseforskudt 120˚ for hinanden, er nul. Hvis belastningerne på de tre faser ikke er ens, vil strømmen i nullederen kunne bestemmes ved i et vektordiagram at foretage en geometrisk sammenlægning af de tre fasestrømmes vektorer. Nulstrømmen er en udligningsstrøm og er modsat rettet summen af fasestrømmene.

Eksempler

Eksemplerne viser strømforholdene i et 3-faset net ved 1-faset, 2-faset og 3-faset symmetrisk ohmsk belastning samt 3-faset asymmetrisk ohmsk belastning.



Afbrydelse af nettet

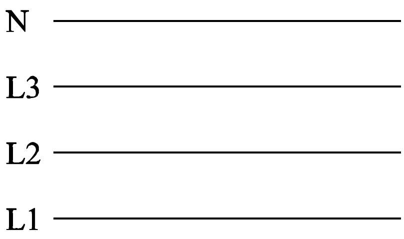
Kan de fire ledere i nettet ikke afbrydes samtidig, er det af vigtighed, at nullederen ikke brydes før de spændingsførende ledere. Sker dette, og man ikke har samme belastning på alle tre faser, vil der opstå en ligevægtstilstand i systemet, hvorved summen af de tre fasestrømmes øjebliksværdier bliver nul.

Dette vil medføre, at spændingsforholdene i systemet ændrer sig, hvorved brugsgenstande, der er tilsluttet de svagest belastede faser, udsættes for højere spænding end normalt og herved kan blive ødelagt.

Tilslutning af nettet

Ved tilslutning af nettet skal nullederen tilsluttes først.

Eksempler

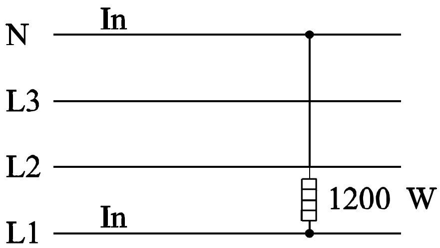


Man har til rådighed et 4-leder vekselstrømsnet, spænding 3 x 400/230 V.

Der skal installeres en brugsgenstand med et effektforbrug på 1200 W ved cos φ = 1.

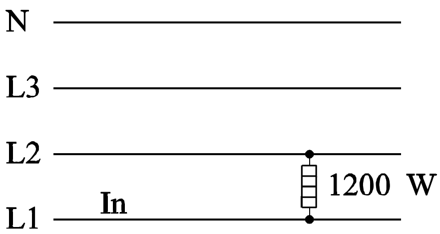
Find netstrømmen, hvis effekten leveres:

1) 1-faset ved 230 V, mellem N og L1
2) 2-faset ved 400 V, mellem L1 og L2
3) 3-faset ved 3 x 400/230 V



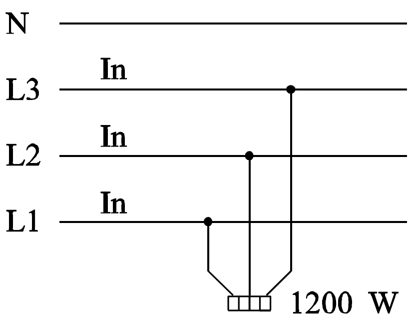
$$1)\ P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \Rightarrow I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$$

$$I = \frac{1200}{230 \cdot 1} = \underline{\underline{5{,}23\ A}}$$



$$2)\ P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \Rightarrow I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi}$$

$$I = \frac{1200}{400 \cdot 1} = \underline{\underline{3\ A}}$$



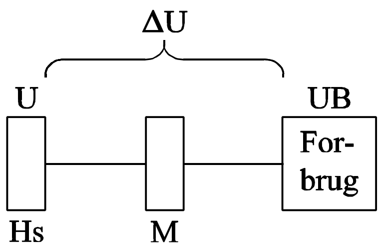
$$3)\ P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \Rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

$$I = \frac{1200}{1{,}73 \cdot 400 \cdot 1} = \underline{\underline{1{,}73\ A}}$$

Spændingsfald

Den elektriske energi sendes fra elværk til forbruger gennem ledninger.

Da ledningerne yder en vis modstand mod strømmen, opstår der spændingsfald.



I Stærkstrømsbekendtgørelsen, elektriske installationer, findes bestemmelser om det tilladte spændingsfald, regnet fra stikledningens begyndelse til tilslutningsstederne i installationen.

Der skelnes mellem boliginstallation og anden installation.

Formeltegn

Spændingsfaldet har formelbetegnelsen Δ U. Ved jævnstrømskredsløb kan spændingsfaldet beregnes således:

$$\Delta U = I \bullet Rl$$

hvilket er det samme som forskellen på spændingen ved stikledningens udgangspunkt og spændingen ved brugsgenstanden

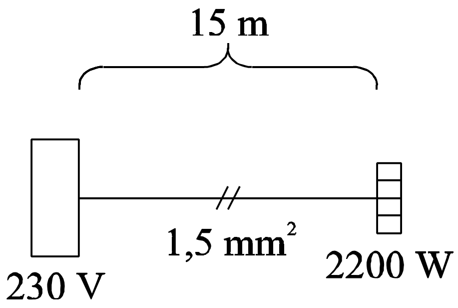
$$\Delta U = U - UB$$

Procentisk spændingsfald

Det procentiske spændingsfald vil være:

$$\Delta U\,\% = \frac{\Delta U \cdot 100}{U}$$

Eksempler



En 2200 W, 230 V vandvarmer er installeret 15 m fra måleren, ledningstværsnittet er 1,5 mm² og spændingsfaldet må højst være 4,6 V, når der er taget hensyn til øvrige spændingsfald.

Find spændingsfaldet i volt og i % af driftsspændingen. Først findes strømmen og ledningsmodstanden:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = \frac{2200}{230} = \underline{\underline{9{,}57\ A}}$$

$$Rl = \frac{\varrho \bullet l}{q}$$

$$Rl = \frac{0{,}018 \bullet 30}{1{,}5} = \underline{\underline{0{,}36\ \Omega}}$$

Spændingsfaldet kan nu beregnes:

$$\Delta U = I \bullet Rl$$

$$\Delta U = 9{,}57 \bullet 0{,}36 = \underline{\underline{3{,}45\ V}}$$

Spændingsfaldet i % af driftsspændingen:

$$\Delta U\ \% = \frac{\Delta U \bullet 100}{U}$$

$$\Delta U\ \% = \frac{3{,}45 \bullet 100}{230} = \underline{\underline{1{,}5\%}}$$

Beregningsmetodens nøjagtighed

Der begås en lille og i praksis ubetydelig fejl, idet strømmen beregnes efter den spænding, der er angivet på brugsgenstandens mærkeplade og som ikke er den faktiske spænding, brugsgenstanden påtrykkes.

Vandvarmeren flyttes til en afstand af 30 m. Hvor stort er spændingsfaldet nu?

$$Rl = \frac{\varrho \bullet l}{q}$$

$$Rl = \frac{0{,}018 \bullet 60}{1{,}5} = \underline{\underline{0{,}72\ \Omega}}$$

$$\Delta U = I \bullet Rl$$

$$\Delta U = 9{,}57 \bullet 0{,}72 = \underline{\underline{6{,}89\ V}}$$

Med fordoblet ledningslængde og uændret tværsnit og strømstyrke bliver spændingsfaldet dobbelt så stort.

Dette spændingsfald er større end de 4,6 V; altså må tværsnittet forøges.

For at finde det nødvendige ledningstværsnit, må man først finde den maksimale ledningsmodstand:

$$Rl = \frac{\Delta U}{I}$$

$$Rl = \frac{4{,}6}{9{,}57} = \underline{\underline{0{,}48\ \Omega}}$$

Derefter det nødvendige tværsnit:

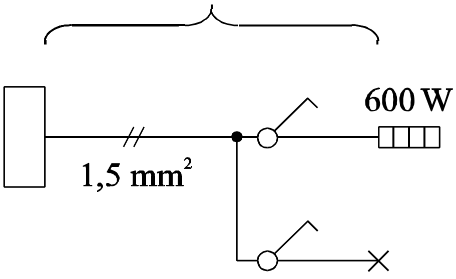
$$Rl = \frac{\varrho \bullet l}{q}$$

$$q = \frac{\varrho \bullet l}{Rl}$$

$$q = \frac{0{,}018 \bullet 60}{0{,}48} = \underline{\underline{2{,}25\ mm^2}}$$

Ledningstværsnittet bliver således 2,5 mm^2, idet dette tværsnit er nærmeste højere standardværdi.

Eksempler



De på diagrammet viste belastninger er påstemplede 230 V, 600 W og 230 V, 60 W.

Belastningerne tilsluttes gennem en 60 m lang 2 x 1,5 mm^2 ledning. Spændingen ved belastningerne er målt til 230 V.

Find: Spændingsfaldet i ledningerne, spændingen ved måleren, og effekttabet i ledningerne.

Først findes strømmen:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = \frac{660}{220} = \underline{\underline{3\ A}}$$

Derefter ledningsmodstanden:

$$Rl = \frac{\varrho \bullet l}{q}$$

$$Rl = \frac{0{,}018 \bullet 120}{1{,}5} = \underline{\underline{1{,}44\ \Omega}}$$

Nu kan spændingsfaldet findes:

$$\Delta U = I \bullet Rl$$

$$\Delta U = 3 \bullet 1{,}44 = \underline{\underline{4{,}32\ V}}$$

Spændingen ved måleren kan findes:

$$Um = UB + \Delta U$$

$$Um = 230 + 4{,}32 = \underline{\underline{234{,}32\ V}}$$

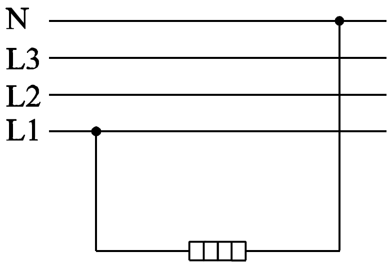
Hvis spændingsfaldet højst må være 2% af driftspændingen = 4,6 V, er spændingsfaldet her tilladeligt.

Effekttabet i ledningerne:

$$\Delta P = \Delta U \bullet I$$

$$\Delta P = 4{,}32 \bullet 3 = \underline{\underline{12{,}96\ W}}$$

1-faset ohmsk belastning



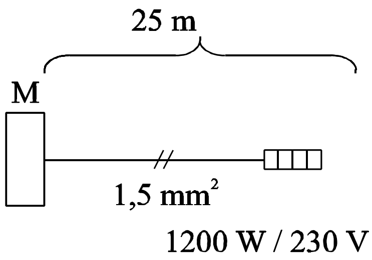
Ved ohmske belastninger kan spændingsfaldet beregnes som ved jævnstrøm.

$$\Delta U = I \bullet Rl$$

hvilket er det samme som forskellen på spændingen ved installationens udgangspunkt U og spændingen ved belastningen UB.

$$\Delta U = U - UB$$

Eksempler



En 1200 W 230 V varmeovn er installeret 25 m fra måleren, ledningstværsnittet er 1,5 mm^2.

Spændingen ved brugsgenstanden er målt til 230 V.

Spændingsfaldet fra måler til brugsgenstand må højst beløbe sig til 2 %.

Find spændingsfaldet i ledningen.

Først findes strømmen:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = \frac{1200}{230} = \underline{\underline{5{,}22\ A}}$$

Derefter ledningsmodstanden:

$$Rl = \frac{\varrho \bullet l}{q}$$

$$Rl = \frac{0{,}018 \bullet 25 \bullet 2}{1{,}5} = \underline{\underline{0{,}6\ \Omega}}$$

Nu kan spændingsfaldet beregnes:

$$\Delta U = I \bullet Rl$$

$$\Delta U = 5{,}22 \bullet 0{,}6 = \underline{\underline{3{,}13\ V}}$$

Spændingen ved måleren findes til:

$$U = UB + \Delta U$$

$$U = 230 + 3{,}13 = \underline{\underline{233{,}13\ V}}$$

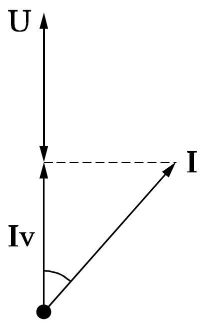
Spændingsfaldet i % :

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U \bullet 100}{U}$$

$$\Delta U\% = \frac{3{,}13 \bullet 100}{233{,}13} = \underline{\underline{1{,}34\%}}$$

Spændingsfaldet er tilladeligt.

Induktive og kapacitive belastninger



Optager en brugsgenstand en strøm, som er faseforskudt i forhold til spændingen, kan spændingsfaldet, under forudsætning af at installationsledningerne er induktionsfrie, beregnes efter formlen:

$$\Delta U = I \bullet Rl \bullet \cos\varphi$$

eller

$$\Delta U = Iv \bullet Rl$$

Belastninger tilsluttet to faser

Større belastninger, fx varmelegemer, tilsluttes ofte 2 faser, altså 400 V.

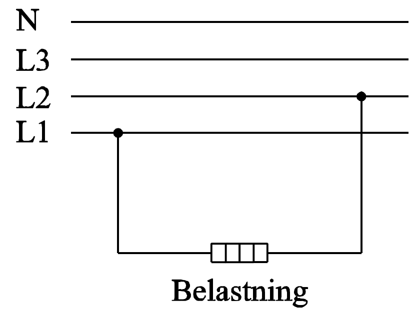
Spændingsfaldene i hver faseledning kan så beregnes efter formlen:

$$\Delta Uf = I \bullet Rf$$

Spændingen ved brugsgenstanden:

$$UB = U - (2 \bullet \Delta Uf)$$

Eksempler



En 9 kW hærdeovn skal tilsluttes 2 faser, 400 V, i en afstand af 20 m fra måleren, ledningstværsnittet er 6 mm^2.

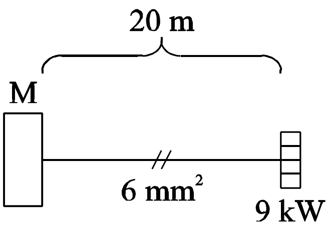
Først findes strømmen:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = \frac{9000}{400} = \underline{\underline{22{,}5\ A}}$$

Der begås en lille og i praksis ubetydelig fejl, idet strømmen beregnes efter den spænding, der er angivet på brugsgenstandens mærkeplade.

Derefter findes ledningsmodstanden pr. fase:



$$Rl = \frac{\varrho \cdot l}{q}$$

$$Rl = \frac{0{,}018 \cdot 20}{6} = \underline{\underline{0{,}06\ \Omega}}$$

og spændingsfaldet pr. fase beregnes:

$$\Delta Uf = I \bullet Rl$$

$$\Delta Uf = 22{,}5 \bullet 0{,}06 = \underline{\underline{1{,}35\ V}}$$

Spændingen ved brugsgenstanden kan nu findes:

$$UB = U - (2 \bullet \Delta Uf)$$

$$UB = 400 - (2 \bullet 1{,}35) = \underline{\underline{397{,}3\ V}}$$

3-faset symmetrisk belastning

Ved en symmetrisk 3-faset belastning kan spændingsfaldet i hver faseleder beregnes efter formlen.

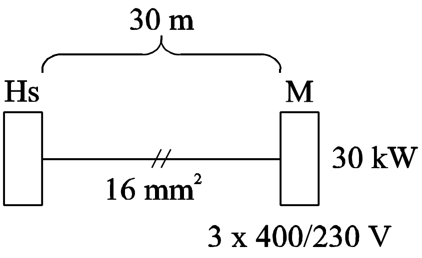
$$\Delta Uf = I \bullet Rl \bullet \cos\varphi$$

Der vil ved denne belastningsform ikke gå strøm i nullederen, hvorfor der ikke vil ske spændingsfald i nullederen.

Imellem 2 faseledere vil spændingsfaldet være:

$$\Delta Un = \sqrt{3} \bullet I \bullet Rl \bullet \cos\varphi$$

Eksempler



I en forretning er måleren anbragt 30 m fra hovedsikringen. Stikledningens tværsnit er 16 mm^2, og spændingen er 3 x 400/230 V. Lysbelastningen på 30 kW er ligeligt fordelt på faserne. Find det frembragte spændingsfald i stikledningen, cos φ = 1.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \bullet U \bullet \cos\phi}$$

$$I = \frac{30\ 000}{\sqrt{3} \bullet 400 \bullet 1} = \underline{\underline{43{,}35\ A}}$$

$$Rl = \frac{\varrho \bullet l}{q}$$

$$Rl = \frac{0{,}018 \bullet 30}{16} = \underline{\underline{0{,}034\ \Omega}}$$

Spændingsfaldet imellem 2 faseledere kan nu findes.

$$\Delta U = \sqrt{3} \bullet I \bullet Rl \bullet \cos\varphi$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \bullet 43{,}35 \bullet 0{,}034 \bullet 1 = \underline{\underline{2{,}55\ V}}$$

Spændingsfaldet i en faseleder findes som:

$$\Delta Uf = I \bullet Rl \bullet \cos\varphi$$

eller

$$\Delta Uf = \frac{\Delta\ U}{\sqrt{3}}$$

$$\Delta Uf = \frac{2{,}55}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{1{,}47\ V}}$$

Grundlæggende elektronik

Styring og automatik ved hjælp af elektroniske systemer består af et antal halvlederkomponenter, hvoraf de mest betydningsfulde er integrerede kredse, transistorer, dioder og thyristorer.

Man kan i store træk opdele brugen af disse komponenter i 4 områder, uden at dette kan betragtes som en fyldestgørende opdeling:

- Den industrielle anvendelse - dvs. til styring, regulering, registrering, måling af visse fysiske størrelser, forstærkning mv.
- Den underholdningsmæssige anvendelse - til radio, fjernsyn, båndoptagere m.m.
- Den elektromedicinske anvendelse - til diagnosticering, overvågning og behandling af patienter.
- EDB-elektronisk databehandling.

Opbygning

Et industrielt elektronikanlæg er oftest opbygget af et antal printplader monteret i et tavlesystem.

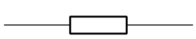
Opbygningen på printplader giver flere fordele, bl.a. får man en overskuelig opbygning, stor komponenttæthed, samt mulighed for let udskiftning af dele af anlægget ved en reparation.

Komponenter

Printpladerne er bestykket med en mængde forskellige komponenter, hvoraf de vigtigste er: modstande, spoler, kondensatorer, dioder, transistorer, thyristorer, triacs og integrerede kredsløb.

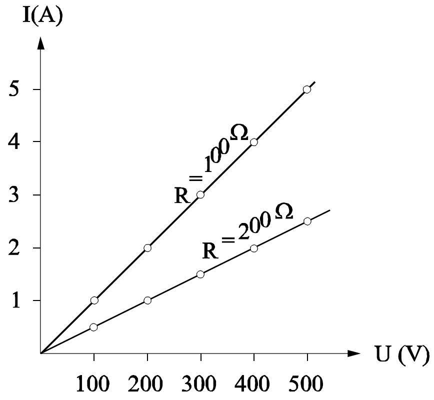
I det følgende vil de enkelte komponenter blive gennemgået. Desuden vil anvendelse i typiske kredsløb samt specielle egenskaber blive omtalt.

Modstande



Modstande udgør en meget stor komponentgruppe med vidt forskellige egenskaber.

Lineære modstande



Herved forstås en modstand, der ikke ændrer sin værdi inden for det normale belastningsområde.

Ved en sådan modstand vil strøm og spænding være ligefrem proportional inden for belastningsområdet.

$$I = \frac{U}{R}$$

Afsættes strøm og spænding i et koordinatsystem, vil de som vist danne en ret linie. Liniens hældning vil være bestemt af modstandens værdi.

Eksemplet viser modstandslinierne for to modstand på henholdsvis 100 Ω og 200 Ω.

Faste modstande

De to vigtigste data for faste modstande er modstandsværdien Ω, kΩ, MΩ og effekten mW og W.

Modstandene fås i modstandsværdi fra under 1 Ω og op til mange M Ω, ligesom de fås til effekter fra ca. 100 mW og op til adskillige W.

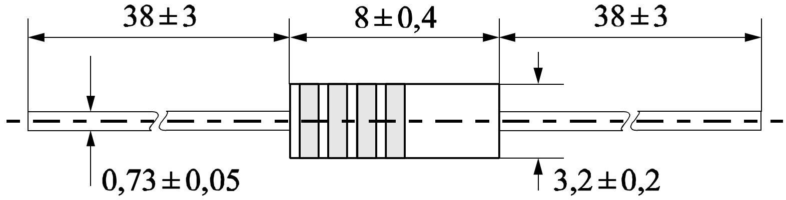
Faste modstande kan fremstilles som kulstofmodstande, lagmodstande (kul/metal) og trådviklede modstande.

Kulstofmodstande

De massive kulstofmodstande fremstilles af en tynd stang af en kulstofblanding som afskæres i stykker af den ønskede længde.

Disse forsølves i enderne, påsættes terminaler og indkapsles i bakelit. Til slut mærkes de med modstandsværdi.

Eksempel 0,25 W-modstand



Standardrække for modstande

Ved konstruktion af elektronikkredsløb har man brug for forskellige modstandsværdier.

I stedet for at anvende modstandsværdier, der følger den almindelige talrække (1, 2, 3, 4...) hvori hvert led dannes af det foregående ved addition af en konstant størrelse, har det vist sig tilstrækkeligt og formålstjenligt at benytte en modstandsrække, hvori hver værdi dannes af det foregående led ved multiplikation med en konstant faktor.

Endvidere er modstandsrækkerne opdelt i dekader, dvs. 10-tals rækker.

Hvis en dekade skal opdeles i 6 værdier, bruges faktoren:

$$\sqrt[6]{10} = 1{,}5$$

Ønskes dekaden opdelt i 12 til 24 trin, bliver de tilsvarende faktorer henholdsvis:

$$\sqrt[12]{10} = 1{,}2$$

$$\sqrt[24]{10} = 1{,}1$$

I.E.C. (International Electrotechnical Commission) anbefaler følgende værdier, der fremkommer ved afrunding af de nævnte teoretiske værdier.

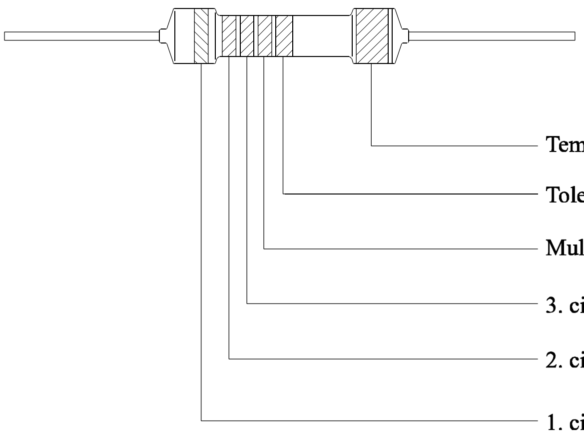
E 24 Tolerance ± 5%	E 12 Tolerance ± 10%	E 6 Tolerance ± 20%
1,0	1,0	1,0
1,1		
1,2	1,2	
1,3		
1,5	1,5	1,5
1,6		
1,8	1,8	
2,0		
2,2	2,2	2,2
2,4		
2,7	2,7	
3,0		
3,3	3,3	3,3
3,6		
3,9	3,9	
4,3		
4,7	4,7	4,7
5,1		
5,6	5,6	
6,2		
6,8	6,8	6,8
7,5		
8,2	8,2	
9,1		

Inden for elektronikken bruges mest E 12-rækken. Højere eller lavere værdier fås ved multiplikation eller division med 10. Hvor store og små værdier der kan fås, varierer fra det ene fabrikat til det andet.

Mærkning

Modstandene kan være mærkede med modstandsværdien ved hjælp af farvede ringe, efter nedenstående farvekode.

Sort	= 0
Brun	= 1
Rød	= 2
Orange	= 3
Gul	= 4
Grøn	= 5
Blå	= 6
Violet	= 7
Grå	= 8
Hvid	= 9



Eksempel

Med ialt 4 farvede ringe.

1. ring gul, 2. ring violet, 3. ring rød og 4. ring sølv, svarer til en modstand på 4,7 kΩ med 10 % tolerance.

R, K, M-mærkning

I henhold til IEC publikation 62, 2. udgave 1968, er nogle modstandsfabrikker gået over til et andet mærkningssystem for modstande.

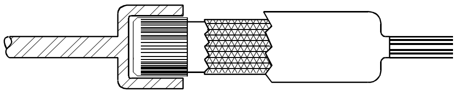
Systemet er opbygget af 3 eller 4 symboler bestående af to tal og et bogstav eller tre tal og et bogstav.

Der anvendes bogstaverne: R (eller E) K og M, for henholdsvis Ω, kΩ og MΩ.

Bogstavet placeres på kommaets plads, således som det fremgår af nedenstående eksempel.

2R2	=	2,2 Ω
4K7	=	4,7 kΩ
8M2	=	8,2 MΩ

Lag-modstande



Ved lag-modstande består modstandslaget af kulstof, metal eller metal-oxid.

Kullagsmodstande er ret billige og bruges til mindre krævende opgaver.

De fremstilles til belastninger på 0,25 W, 0,5 W, 1 W og 2W, samt med tolerancer på + 5 %, 10 % og 20 %.

Kulstof- og kullagsmodstande mærkes normalt ikke med effekt.

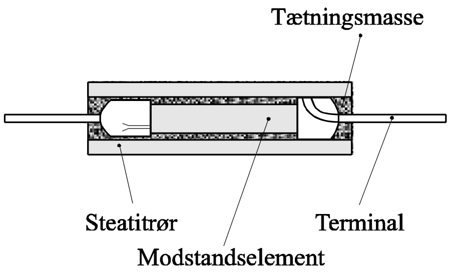
Hvor det har betydning at kende effekten, kan man, ved ukendte fabrikater, slutte sig til den omtrentlige effekt efter modstandens ydre dimensioner, mens man ved kendte fabrikater nøje kan bestemme en modstands maksimale belastning efter de ydre dimensioner og eventuelt i forbindelse med et datablad.

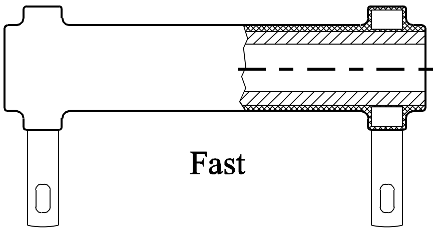
Andre lagmodstande

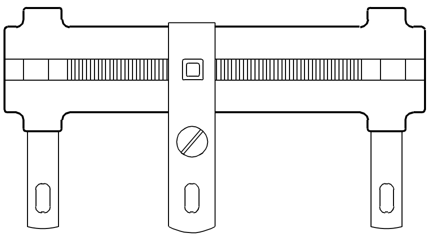
Metalfilm- og metaloxidfilm-modstande anvendes til mere krævende opgaver og er dyrere end kulstofmodstande.

De har specielle fordele frem for kulstofmodstande, såsom mindre temperaturfølsomhed, lang levetid, bedre egenskaber ved høje frekvenser m.m.

Trådviklede modstande







Justerbar

Til store effekter og til præcisionsbrug anvendes trådviklede modstande.

De fremstilles af lange tynde modstandstråde, der opvikles på et rør af et varmebestandigt isolationsmateriale - ofte steatit eller glasfiber. For at kunne vikle modstandstråden ganske tæt, anvendes en tråd med et oxid-lag, der virker isolerende.

I modstandens ender påsættes terminalerne, der fx kan være loddeklemmer eller tråde. Derefter beskyttes viklingen med et lag siliconelak, emalje eller den indstøbes i en cementagtig masse. Nogle trådviklede modstande har en spalte i isolationen, således at man ved at flytte et bånd, kan variere dens modstand.

Modstandstråden er ofte lavet af konstantan, på grund af dette materiales lave temperatur-koefficient.

Til store modstande anvendes dog som regel kromnikkel.

Præcisionsmodstande med tolerance på + 0,002 % fremstilles af manganintråd.

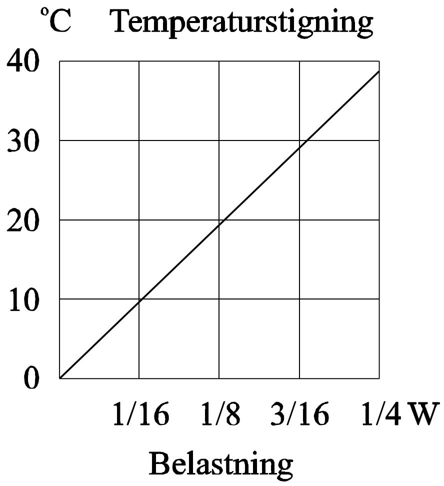
Trådviklede modstande kan fremstilles til lige så store effekter, som man ønsker, blot må man så træffe foranstaltninger til at lede den udviklede varme bort.

Mærkning

Trådviklede modstande mærkes oftest direkte med modstandsværdien, men for mindre typers vedkommende anvendes også farvekode.

Modstandens effekt kan ligeledes være direkte påtrykt, eller modstanden kan være mærket med en typebetegnelse, som refererer til maksimal effekt.

Belastning



Alle modstande er konstruerede til bestemte maksimale arbejdstemperaturer.

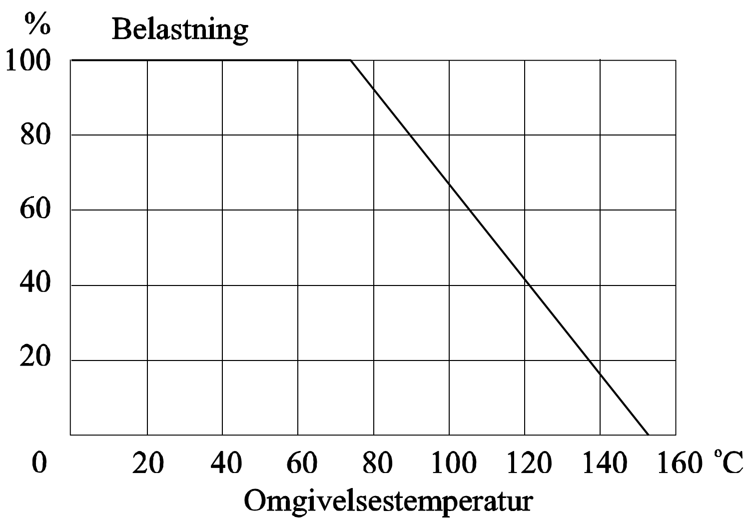
Overskrides denne maksimale temperatur, ødelægges enten selve modstandsmaterialet eller beskyttelseslaget.

Man vil ligeledes konstatere, at når en modstand har været udsat for en forbigående overhedning, vil dens værdi ofte have ændret sig varigt. Når en modstand derfor er mærket med en bestemt effekt, er dette at forstå ved en eller anden maksimal temperatur af omgivelserne ofte 70 °C, idet den temperatur, en modstand får, dels er en følge af omgivelsernes temperatur og dels af modstandens egenopvarmning.

Kurven her viser, hvorledes temperaturen i en modstand mærket 0,25 W ved 70 ˚C stiger med belastningen.

Befinder en modstand sig i meget varme omgivelser, må man således tage hensyn dertil, enten ved at begrænse effektudviklingen i modstanden, eller hvor dette ikke kan lade sig gøre, vælge en modstand for en større effekt.

Hvorledes man må begrænse effektudviklingen i en modstand efter omgivelsernes temperatur, kan ses af denne kurve, der ligeledes gælder for en modstand mærket 0,25 W ved 70 ˚C.



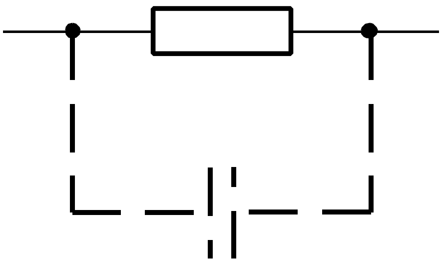
Temperaturafhængighed

Når en modstand opvarmes, ændres dens modstandsværdi; dette udtrykkes i temperatur-koefficient, som angiver ændringen i % pr. ˚C.

Temperatur-koefficienten andrager for nedenstående modstandstyper følgende:

Kulstofmodstande	- 0,2 til - 0,8
Guld/platin-film modstande	+ 0,025 til + 0,06
Nikkel/krom-film modstande	+ 0,015 til + 0,02
Oxid-film modstand	- 0,05 til + 0,05
Alm. trådviklede modstande	+ 0,02
Præc. trådviklede modstande	+ 0,002

Frekvensafhængighed



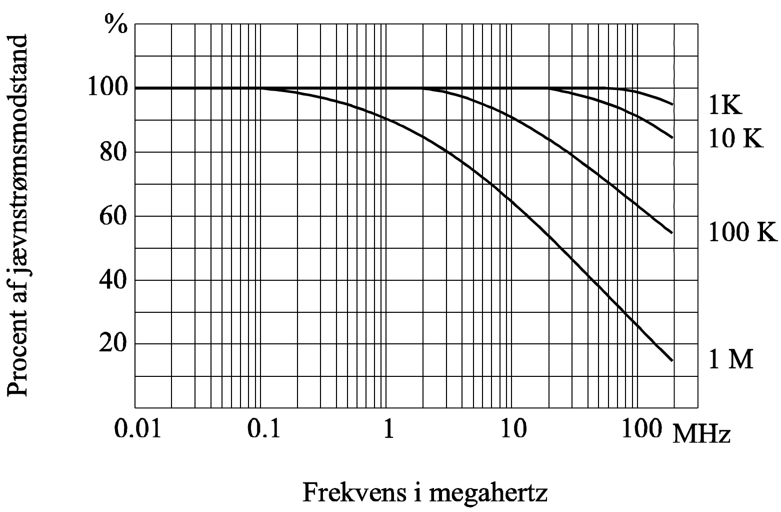
Et andet problem vedrørende modstande er, at de altid vil have en vis egenkapacitet, som ligger shuntet over den ohmske modstand.

Som eksempel kan nævnes, at en 0,25 W kullagsmodstand har en shunt-kapacitet på ca. 0,16 pF.

Dette giver sig særligt til kende ved høje frekvenser, idet modstandens impedans her vil falde.

Frekvens-karakteristik

Nedenstående frekvens-karakteristik for kullagsmodstande viser, hvorledes impedansen falder ved forskellige modstande afhængig af frekvensen.

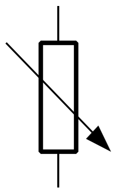


Frekvensafhængighed ved trådviklede modstande

Trådviklede modstande vil have en ret stor selv-induktion, hvilket bevirker, at deres impedans vil stige proportionalt med frekvensen.

Ønsker man ikke det, vikles modstandene bifilart, og de vil da have en vis kapacitet mellem viklingerne.

Variable modstande

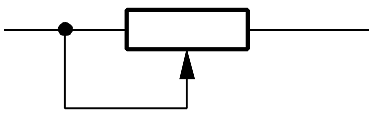


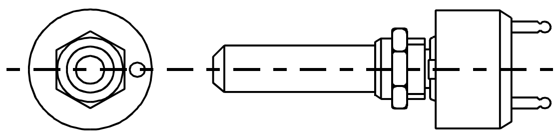
Variable modstande kan ligesom de faste modstande opdeles i kul- og trådviklede typer.

Kullagsmodstandene er kun for meget små effekter, dvs. op til ca. 0,25 W; derover bruges trådviklede modstande.

Variable modstande kan udformes på mange måder - to almindelige typer er skydemodstande og cirkulære drejemodstande.

Inden for elektronikken anvendes oftest drejemodstande, som da benævnes potentiometre eller pot-metre.





Fremstilling

Når et kulpotentiometer fremstilles, begynder man med at sprøjte en kulblanding på fx en plade af pertinax under høj temperatur.

Ud af denne plade standses så selve modstandsbanen i den ønskede form.

Derefter forsynes modstandsbanen med terminaler og monteres i et hus; samtidig anbringes der en kontaktglider i forbindelse med kulbanen.

Trådviklet potentiometer

Ved det trådviklede potentiometer kan modstandstråden fx opvikles på et bøjeligt bånd af isolationsmateriale, der så efter opviklingen formes til en cirkel, eller modstandstråden kan opvikles på et cirkulært legeme af keramik.

Den sidste fremstillingsmåde anvendes for potentiometre for større effekter.

Potentiometrets anvendelse

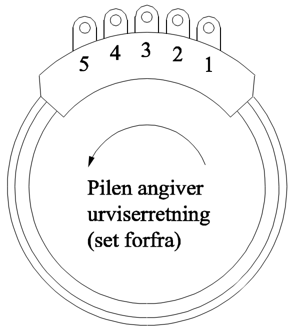
Potentiometret kan enten anvendes direkte som variabel modstand i serie med belastningen Rb eller som spændingsdeler.

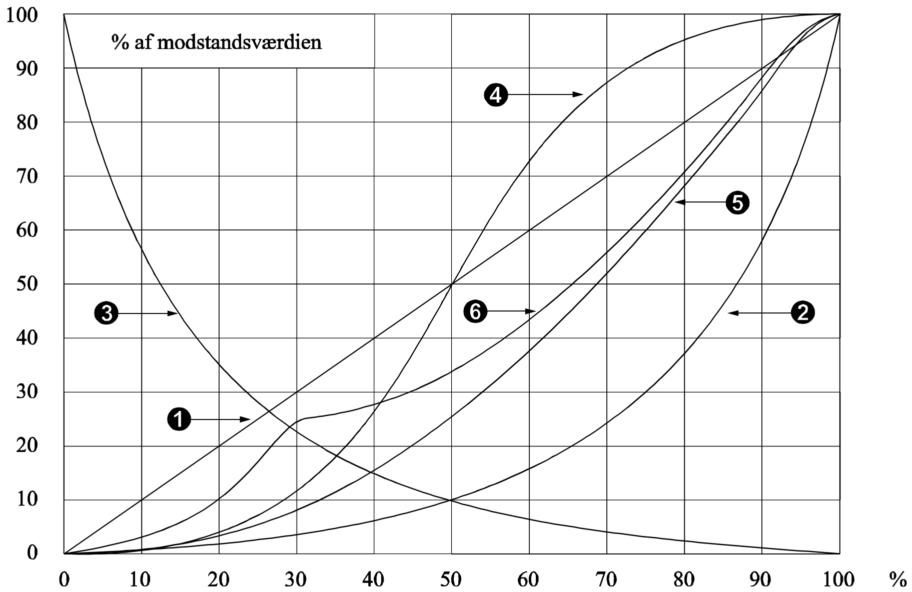
Anvendes den i serie med belastningen kan strømmen i kredsen varieres mellem to yderværdier.

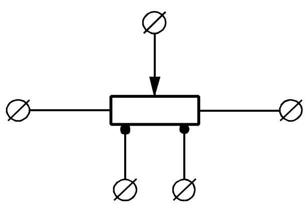
Kurveform

Foruden at kende et potentiometers totale modstand og effekt, skal man ofte også kende dets kurveform, dvs. hvordan modstanden varierer som funktion af kontaktgliderens drejning.

Nedenstående figur viser eksempler på kurveformer.





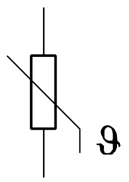


Klemme 2 og 4 er ført til potentiometrets ender, klemme 3 til potentiometerarmen og klemme 1 og 5 er evt. udtag.

Tallene ved kurverne angiver, at kurve

- ❶ er lineær
- ❷ er højre logaritmisk
- ❸ er venstre logaritmisk
- ❹ er dobbelt-logaritmisk
- ❺ er halv-logaritmisk
- ❻ er for baskontrol

PTC-modstand



En PTC-modstand er en elektrisk enhed, hvis modstand stiger med temperaturen.

PTC = Positive Temperature Coefficient.

Alle metaller har denne egenskab, idet fx modstanden for kobber stiger ca. 4 $^{o}/_{oo}$ pr. $^{\circ}$C.

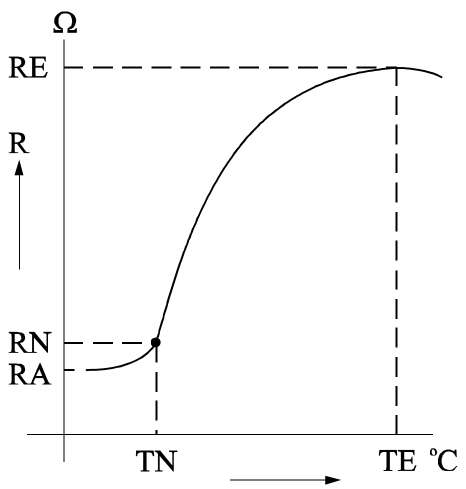
Man kan dog få en betydelig større temperaturfølsomhed ved at lave særlige PTC-modstande.

Fremstilling

Disse fremstilles ved at forurene et keramisk materiale fx bariumtitanat $BaTiO_3$ med antimon.

I ren tilstand er denne keramik en isolator, men ved ovennævnte forurening forbedres ledningsevnen op til 10 milliarder gange.

Virkemåde



Indtil en vis temperatur virker PTC-modstanden som en normal modstand.

Øger man temperaturen, når man til punktet TN på karakteristikken, hvor modstanden fx ændrer sig ca. 1000 gange ved en temperaturændring på blot 10-20 $^{\circ}$C.

Placeringen af punktet TN kan bestemmes ved en passende tilsætning af strontium eller bly.

Forklaringen på virkemåden er ret kompliceret, men lyder i forenklet form således:

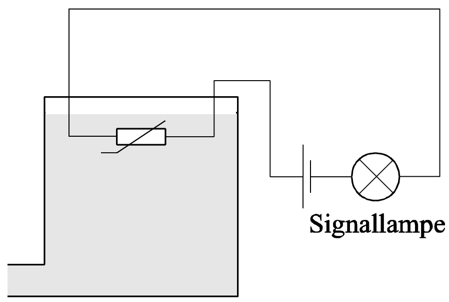
Når PTC-modstanden opvarmes, vil der ske en ændring i placeringen af de frie ladningsbærere i stoffet, således at keramikkornene sammen med forureningsstoffet vil virke som en serieforbindelse af en umådelig mængde mikroskopiske dioder - forspændt i spærreretningen.

PTC-modstanden kan ved en tilstrækkelig høj spænding drives til gennembrud og er altså også spændingsafhængig.

Anvendelse

PTC-modstandens egenskaber giver mulighed for mange anvendelser. Man kan dele disse muligheder i egenopvarmede PTC-modstande og fremmedopvarmede PTC-modstande.

Egenopvarmet PTC



Kan fx anvendes til niveaukontrol af en væske i en beholder.

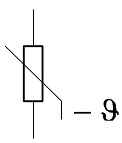
Fra spændingskilden flyder en ganske lille strøm gennem PTC-modstanden og lampen, stor nok til at holde PTC-modstanden opvarmet, men for lille til at bringe lampen til at lyse.

På det tidspunkt væsken når PTC-modstanden, vil denne afkøles, modstanden falder og lampen lyser. I stedet for at tænde lampen, kunne PTC-modstanden også styre en pumpe.

Fremmedopvarmet PTC

PTC-modstanden finder en del anvendelse som termoføler og kan fx indbygges i en motors viklinger.

NTC-modstand



En NTC-modstand er en elektrisk enhed, hvis ledningsevne stiger med temperaturen, dvs. modstanden falder, når temperaturen stiger.

NTC = negativ temperature coefficient. NTC-modstanden kaldes også en termistor.

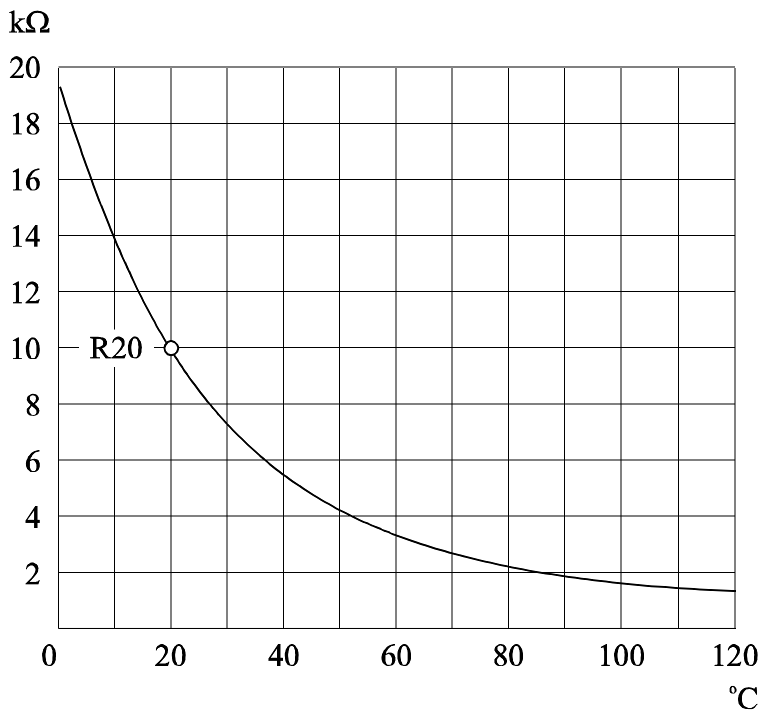
Fremstilling

Man anvender i særlig grad visse metaloxyder til fremstilling af NTC-modstande, fx bariumoxyd og uraniumdioxyd, endvidere er kulstof et materiale hvis modstand falder, når temperaturen stiger. Ved fremstilling af NTC-modstande presses det pulverformige materiale sammen i den ønskede form, derefter sintres det sammen til en fast masse ved høj temperatur.

Virkemåde

Når en NTC-modstand opvarmes, vil der på grund af atomkernernes varmebevægelser "rystes" valenselektroner løse. Derved er der i materialet skabt frie elektroner, ledningsevnen er bedret, dvs. stoffets modstand er faldet.

Anvendelse

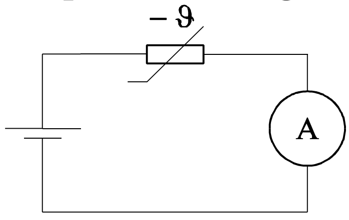


Man anvender NTC-modstande som fremmedopvarmede og egenopvarmede.

Fremmedopvarmet NTC

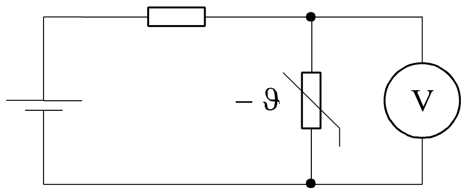
Som sådan anvendes NTC-modstande til temperaturmåling og -regulering, samt til at kompensere for temperaturændringers indflydelse på andre elektriske komponenter.

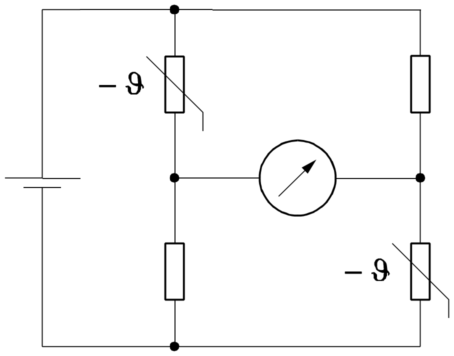
Temperaturmåling



På den viste opstilling måler man strømmen gennem NTC-modstanden, strømmen vil således være et udtryk for temperaturen.

Man kan også måle spændingen over NTC-modstanden, diagrammet viser dette.





En betydelig større følsomhed kan opnås ved at anvende to NTC-modstande og lade dem indgå i en elektrisk brokobling.

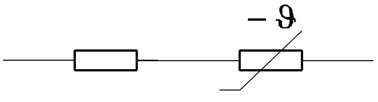
Med disse opstillinger kan man måle temperaturen af luft, væsker, faste legemer m.m.

Instrumentets skala graderes i fx grader C.

Egenopvarmet

Den egenopvarmede NTC-modstand kan fx anvendes til forsinkelse af relæer, temperaturkompensering og temperaturmåling.

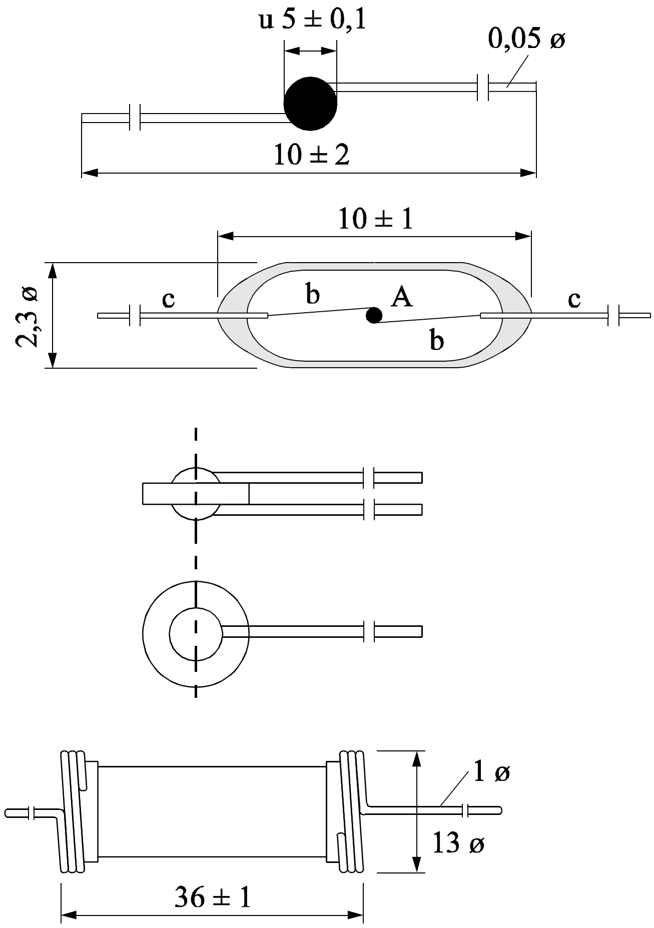
Kompensering



Har man i et kredsløb en modstand med positiv temperaturkoefficient, og man ønsker en bestemt modstand uafhængig af temperaturen inden for visse grænser, kan dette problem løses ved at forbinde en NTC-modstand i serie med den oprindelige modstand.

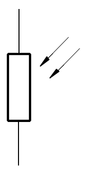
Udførelsesformer

NTC-modstande udføres bl.a. som:



- perletype
- i glasrør
- skivetype
- stavtype

LDR-modstand



En LDR-modstand er en elektrisk komponent, hvis modstand afhænger af belysningen.

LDR = light dependent resistor. LDR-modstanden kaldes også for en fotomodstand.

Virkemåde

LDR-modstande laves af cadmiumsulfid, hvorfor de undertiden også betegnes Cds-celler.

Når det er omhyggeligt forarbejdet, indeholder cadmiumsulfid ingen eller kun meget få frie elektroner, hvis det befinder sig i totalt mørke. Dets modstand er derfor særdeles høj.

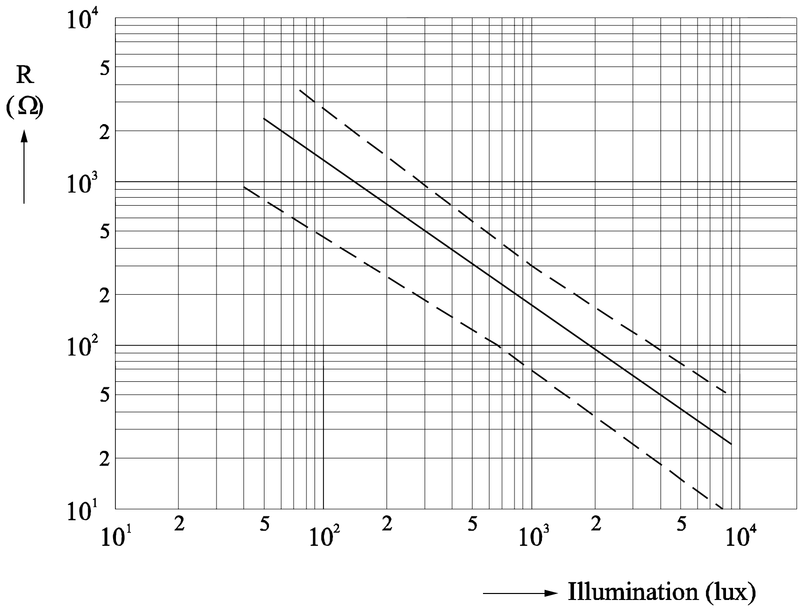
Når stoffet absorberer lys, vil der frigøres elektroner, og materialet bliver derfor bedre ledende. Elektronerne er kun frie en begrænset tid, og når lyset slukkes, vil de derfor igen optages de steder, hvor de kom fra. Materialet ændrer sig nu fra at være en leder til at være en isolator.

Modstands/belysnings-karakteristik

Samhørigheden mellem en LDR's modstand og belysningen afhænger af typen.

Her er vist et eksempel på en sådan kurves udseende.

Tolerancegrænserne for den valgte type er vist punkteret, mens den fuldt optrukne kurve viser det typiske forløb.

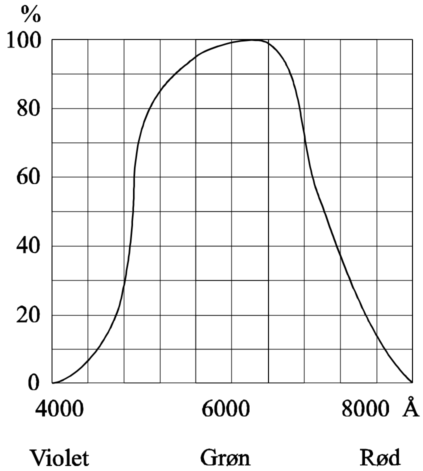


Temperaturafhængighed

I en LDR frigøres der ikke blot elektroner ved belysning, men også ved varme.

Temperaturens indflydelse er dog så lille, at man i praksis ser bort fra den, blot man anvender LDR'en inden for det af fabrikanten nærmere angivne temperaturområde.

Farvefølsomhed



Fotomodstande reagerer kun for lys inden for et begrænset bølgelængde-område, dvs. for lys af bestemte farver.

Ved den røde ende af farvespektret (dvs. lys med lange bølgelængder) er der en tærskel-bølgelængde, hvorover lyset ikke kan påvirke en LDR, fordi lyset her ikke besidder tilstrækkelig energi til at frigøre elektroner.

Ved lys med kortere bølgelængder end tærskelværdien, tiltager den elektriske virkning først med kortere bølgelængder, derefter aftager virkningen igen.

Dette forhold er vist på denne farvekarakteristik for en LDR, hvoraf man ligeledes kan se, at man opnår størst følsomhed ved en bølgelængde på ca. 6800 ångstrøm, hvilket svarer til gul-grønt lys.

Helingstid

Når en LDR bringes fra en vis belysning til totalt mørke, vil man opdage, at dens modstandsværdi ikke stiger øjeblikkeligt til den "mørke værdi" (RD), men først opnår denne efter en vis tid.

Helingstiden, på engelsk recovery rate (V), er et mål for stigningen i modstand pr. tidsenhed og opgives i kΩ/s.

Den er typisk større end 200 kΩ/s.

Hastigheden er meget større i modsat retning. Går man fx fra mørke til 400 lux, tager det mindre end 10 msek. at opnå den tilsvarende værdi af modstand.

Typiske data

LDR-modstandens typiske data er:

RD - mørk værdi, bedre end 10 M Ω, målt efter 30 min. i totalt mørke.

RL - lys værdi, 75-300 Ω, målt ved 1000 lux.

V - helingstid, bedre end 200 kΩ/s.

Emax = tilladelig spænding, 150 V peak, forudsat at maksimal effekt ikke overstiges.

Egenkapacitet, mindre end 6 pF.

Omgivelsestemperatur, -20 til +60 °C.

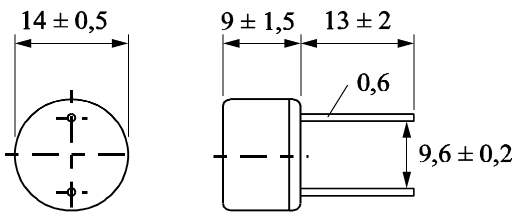
Anvendelse

Fotomodstande anvendes til utallige formål, fx flammekontrol ved oliefyr, tyveri-alarm, optisk niveaukontrol af væsker, til styring og overvågning af industrielle processer, styring af urinalskylleanlæg, til tælleformål, automatisk åbning og lukning af døre og porte, styring af belysningsanlæg og meget mere.

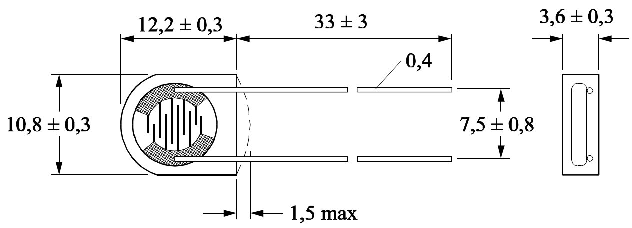
Fotomodstande installeres til sådanne formål i forbindelse med en speciel forstærker, som oftest aktiverer et relæ.

Indkapslinger

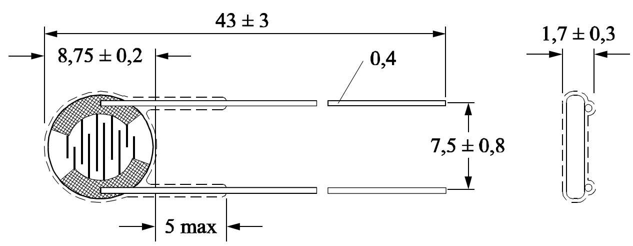
LDR-modstande indkapsles i:



- glas og kunstharpiks

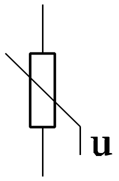


- plastik-indkapsling



- lak-indkapsling

VDR-modstand



En VDR-modstand (Voltage dependent resistor) er en elektrisk enhed, hvis modstand afhænger af den pålagte spænding.

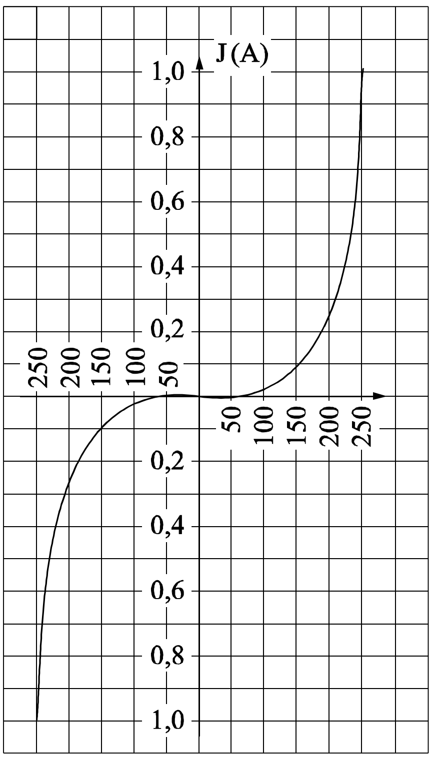
Opbygning

En VDR-modstand består af siliciumkarbid og et keramisk bindemiddel. Disse bestanddele bliver sintret sammen ved høj temperatur.

Uden på sprøjtes på hver side et lag messing for at danne kontakt med materialet, hertil loddes eventuelle tilslutningsledninger.

Til sidst forsynes VDR-modstanden med et beskyttelseslag.

Siliciumkarbid'en



Siliciumkarbid'en består af ganske fine korn, der danner et kompliceret netværk af serie- og parallelforbundne mikroskopiske dioder.

Disse ligger fuldstændig uregelmæssigt ordnede, hvorfor VDR-modstanden leder lige godt i begge retninger.

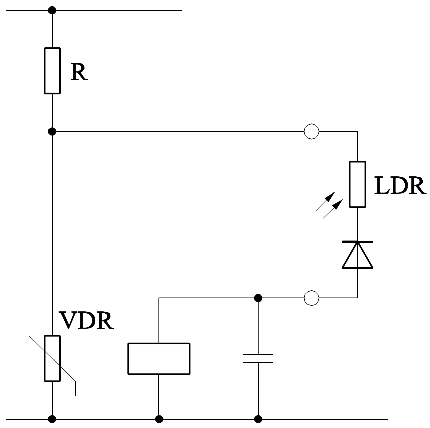
Ved ganske små spændinger virker VDR-modstanden som en normal modstand, men øger man spændingen gradvist, vil man nå et punkt, hvor strømmen ikke mere er proportional med spændingen, men vokser meget stærkt.

Det er således lige meget, om der inden for dette område går en lille eller stor strøm gennem VDR-modstanden, spændingen er næsten konstant.

Anvendelse

VDR-modstande kan anvendes til mange formål, som fx spændingsstabilisering og kontaktbeskyttelse.

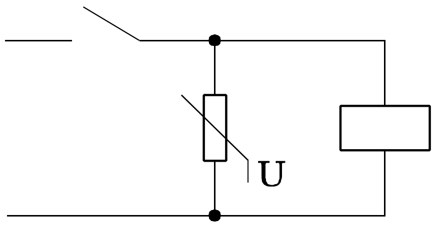
Spændingsstabilisering



I visse elektriske kredsløb har man brug for en relativ stabil spænding, enten til reference eller til drift af en særlig spændingsfølsom strømkreds.

Det viste eksempel er fra en oliefyrskontrolkasse, hvor "fotokredsen" kun arbejder tilfredsstillende, når den forsynes med en ret konstant spænding på ca. 110 V. Denne spænding opnås her med en spændingsdeler bestående af en modstand og en VDR.ϑ

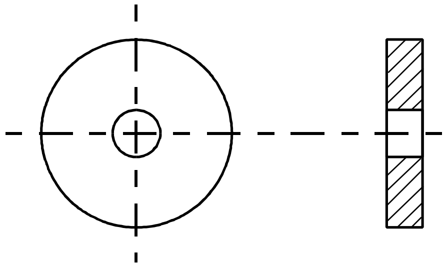
Kontaktbeskyttelse



Skal en kontakt betjene en induktiv belastning, fx et relæ, kan selvinduktionsspændinger fra relæspolen undertiden give slemme forbrændinger af kontakten.

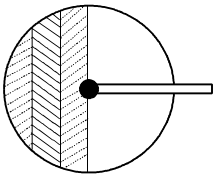
Dette kan afhjælpes ved at shunte relæspolen (eller kontakten) med en passende VDR-modstand; denne vil så kortslutte de højspændte spændingsspidser, og kontakternes levetid forlænges betydeligt.

Udførelse



VDR-modstande udføres som regel i skiveform, dels lakeret og dels ulakeret.

Mærkning



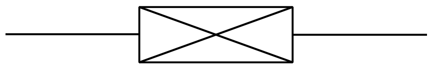
Ved standard VDR-modstande anvendes normal farvekode. Talværdierne omsættes efter nedenstående tabeller. Værdierne gælder ved 25 ˚C.

Farvebåndet A indikerer målestrømmen og farvebåndene B og C indikerer spændingen ved målestrømmen.

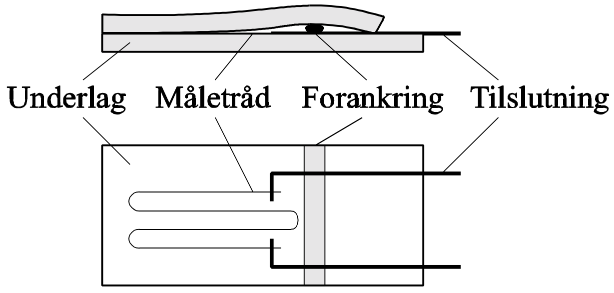
B	C	U
Brun	Blå	8V
Brun	Grå	10V
Rød	Sort	12V
Rød	Rød	15V
Rød	Gul	18V
Rød	Blå	22V
Rød	Grå	27V
Orange	Sort	33V
Orange	Rød	39V
Orange	Gul	47V

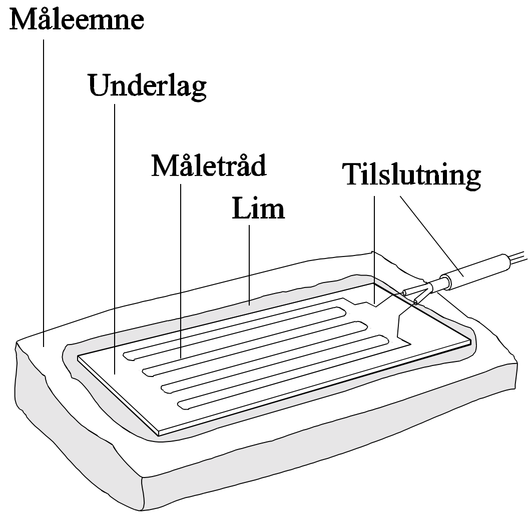
B	C	U
Orange	Blå	56V
Orange	Grå	68V
Gul	Sort	82V
Gul	Rød	100V
Gul	Gul	120V
Gul	Blå	150V
Gul	Grå	180V
Grøn	Sort	220V
Grøn	Rød	270V
Grøn	Gul	330V

Strain-gauge



Normalt limes strain-gaugen på den ting, hvis træk man ønsker målt. Trækket udtrykkes da ved en modstandsændring i strain-gaugen. Ved hjælp af en forstærker kan denne modstandsændring registreres på et måleinstrument eller sætte en alarmfunktion i gang.



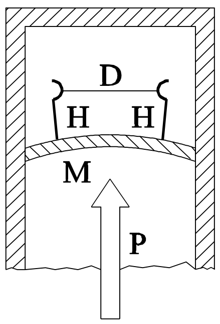


Princip for strain-gauge

Princippet for strain-gaugen's virkemåde er, at man ved en elektrisk leders modstand er afhængig af 4 ting, nemlig:

1. lederens længde
2. lederens materiale
3. lederens tykkelse
4. omgivelsestemperaturen.

I forbindelse med strain-gaugen er det punkt 1 og 3, man benytter sig af.



Hvis man, som tegningen viser, har en leder af et bestemt materiale (fx konstantan, sølv, platin m.m.), som spændes op mellem to punkter, H, og en kendt omgivelsestemperatur, har man princippet for en strain-gauge anvendt som trykmåler.

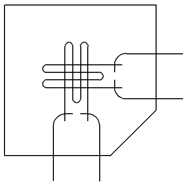
Hvis der ydes et tryk på membranen M, vil denne bevæge sig opefter i en bue, og samtidig vil de to kroge H, som holder lederen D, gå til hver sin side. Dette bevirker, at lederen bliver længere og tyndere. Disse to faktorer vil begge forøge lederens modstand, og denne forlængelse med den deraf forøgede modstand, er da et udtryk for trykkets størrelse.

Strain-gauge typer

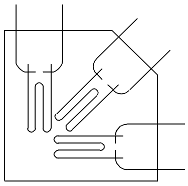
Strain-gauge fremstilles i utallige forskellige udførelser, alt efter brugen.

Nogle anvendes til måling af et emnes bukning, andre til at måle en aksels vridning ved belastning, og andre igen til at måle både vridning og bukning til flere sider på en gang.

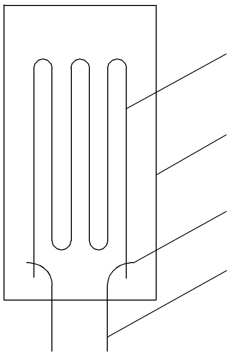
Tegningerne viser forskellige typer strain-gauges.



Tosions strain-gauge (vridninger i flere retninger)



Rosette strain-gauge



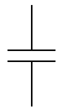
Enkel strain-gauge

Eksempel på anvendelse

På flere store vejbroer er der på vigtige punkter i brokonstruktionen påklæbet strain-gauges for at registrere, hvor meget broen bevæger sig fx i blæsevejr eller ved trafik på broen.

Et andet eksempel på anvendelse af strain-gauges er en elektronisk vægt. Her påklæbes strain-gaugen en bladfjeder, hvorpå vægtskålen hviler. Når vægtskålen fyldes, vil bladfjederen blive tvunget en smule ned, og dette registreres af strain-gaugen. På et måleinstrument kalibreret i gram eller kilo, kan vægten af skålens indhold ses.

Kondensatorer



En kondensator består i princippet af to metalplader adskilt af et isolerende materiale.

Spænding

En vigtig værdi for en kondensator, er den højst tilladelige driftspænding. Isolationslaget mellem pladerne er meget tyndt for at opnå den størst mulige kapacitet.

Det tynde isolationslag vil blive gennembrudt ved for høj spænding.

Ved gennemslag i en kondensator vil den blive ødelagt, og samtidig kan der opstå skader i den strømkreds, som kondensatoren tilhører.

To kondensatorer med samme kapacitet kan være vidt forskellige i ydre mål, alene på grund af, at de er til forskellige driftspændinger.

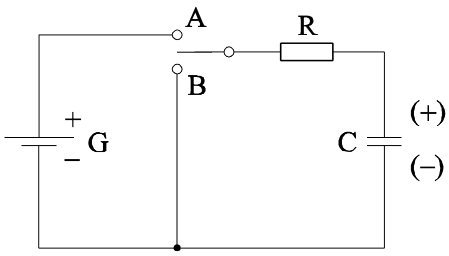
Tolerance

Tolerancen for almindelige kondensatorer er sjældent bedre end ± 10 %, og for visse typer kan man finde tolerancer på +100 % og -10 %.

RC-led

Skal man i elektroniske anlæg afmåle en tid, lave en tidsforsinkelse eller lign., sker det altid ved brugen af et RC-led. Herved forstår man en modstand forbundet i serie med en kondensator.

Her er vist et RC-led i forbindelse med en omskifter og et element.



Når omskifteren sættes i stilling A, vil der gå en ladestrøm til kondensatoren, som derved gradvist oplades fra UC = 0 V til UC = forsyningsspændingen (U).

Ladestrømmen i ethvert punkt af opladningen kan bestemmes således:

$$IC = \frac{U - UC}{R}$$

Opladning

Tænker vi os, at kondensatoren er på 500 μF, modstanden er på 1 kΩ og forsyningsspændingen er på 10 V, er det muligt at regne på opladningen.

Eksempel 1

Ved opladningens begyndelse UC = 0 V:

$$IC = \frac{U - UC}{R}$$

$$IC = \frac{10 - 0}{1} = \underline{\underline{10\ mA}}$$

Betragter vi kondensatoren som en modstand, vil den ved opladningens begyndelse have værdien:

$$RC = \frac{UC}{IC}$$

$$RC = \frac{0}{10} = \underline{\underline{0\ \Omega}}$$

dvs., at en kondensator under indkobling vil virke som en kortslutning.

Eksempel 2

Ved opladningens afslutning:

$$IC = \frac{U - UC}{R}$$

$$IC = \frac{10 - 10}{1} = \underline{\underline{0\ mA}}$$

$$\underline{\underline{UC = 10\ V}}$$

Kondensatorens "modstand" bliver nu:

$$RC = \frac{UC}{IC}$$

$$RC = \frac{10}{0} = \underline{\underline{\infty\ \Omega}}$$

Tidskonstant

Ved et RC-leds tidskonstant forstår man den tid, det tager at oplade kondensatoren med 63,2 % af den spændingsforskel, der er imellem kondensatorspændingen (UC) og forsyningsspændingen (U).

Formeltegn for tidskonstant er et τ (tau)

$$\tau = R \cdot C$$

- hvor tidskonstanten er i s, modstanden i Ω og kondensatoren er i F.
- eller hvor tidskonstanten er i s, modstanden i MΩ og kondensatoren i μF.

Eksempel 3

Tidskonstanten for det før nævnte RC-led bliver:

$$\tau = R \cdot C$$

$$\tau = 0{,}001 \cdot 500 = \underline{\underline{0{,}5s}}$$

dvs., at efter 0,5 s er et RC-led med R = 1 kΩ og

C = 500 μF opladet til 63,2 % af 10 V = 6,32 V.

I den efterfølgende periode af længden R • C (s) vil RC-leddet oplades med 63,2 % af den spænding, der resterer, før kondensatoren er fuldt opladet, osv. Efter en tid på 5 • R • C betragter man kondensatoren som fuldt opladet.

50 %

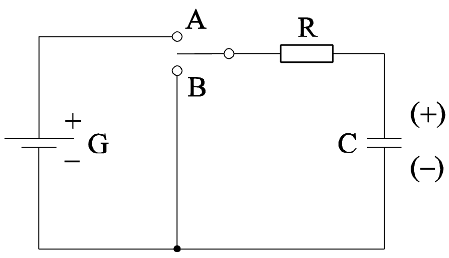
Det tidspunkt, hvor UC har nået værdien 50 % af U, har særlig interesse.

Det indtræder, når der er forløbet en tid på

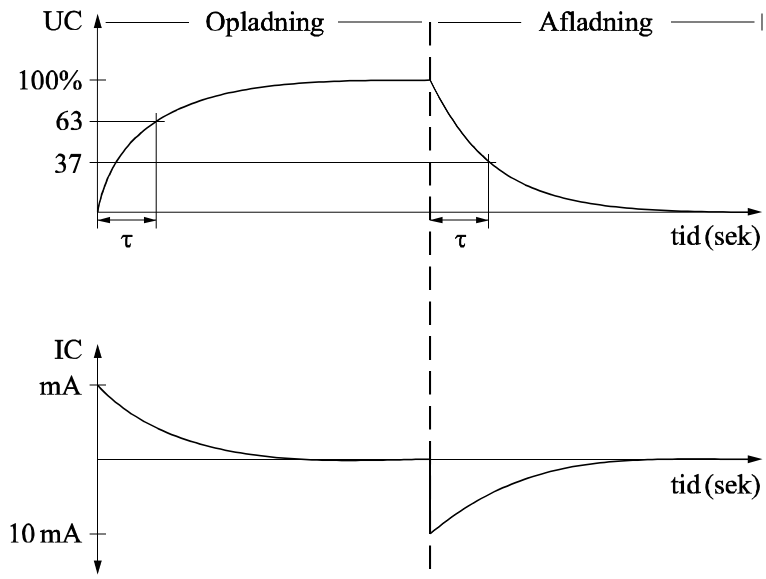
0,69 • R • C (s).

Denne tid møder man i forbindelse med den astabile og den monostabile multivibrator.

Opladning og afladning



Når omskifteren stilles i stilling B, vil kondensatoren aflades gennem modstanden R og spændingen over kondensatoren vil nu gradvist falde til 0 V.



Eksempel 4

Ved afladningens begyndelse:

$$IC = \frac{UC}{R}$$

$$IC = \frac{10}{1} = \underline{\underline{10\ mA}}$$

Eksempel 5

Ved afladningens slutning:

$$IC = \frac{UC}{R}$$

$$IC = \frac{0}{1} = \underline{\underline{0\ mA}}$$

Afladningen følger samme funktion som opladningen, idet man i tiden R • C aflader kondensatoren med 63,2 % af dens spænding. Efter tiden: 5 • R • C regnes kondensatoren at være afladet.

Kondensatortyper

Kondensatorer benævnes efter isolationslag (Dielektrikum) og kan opdeles i to grupper:

1. Ikke polariserede kondensatorer, fremstillet som:
   - papirkondensatorer
   - metalpapirkondensatorer
   - oliekondensatorer
   - kunstfoliekondensatorer
   - keramiske kondensatorer.

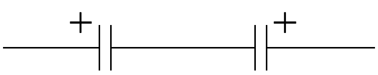
Fælles for denne gruppe af kondensatorer gælder det, at de to plader er helt ens. Dette medfører, at man frit kan vælge, hvilken plade man vil tilslutte pluspolen og hvilken minuspolen.

Ligeledes kan en sådan kondensator ifølge sagens natur også bruges til vekselspænding.

2. Polariserede kondensatorer, fremstillet som:
   - lektrolytkondensatorer
   - tantalkondensatorer.

Denne gruppe kondensatorer har forskellig plus- og minusplade, hvorfor de kun kan bruges til jævnspænding og skal spoles rigtigt.

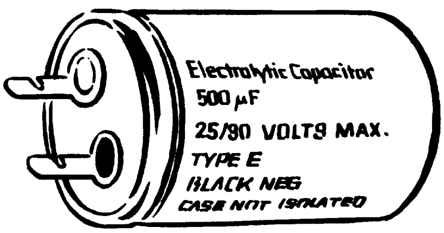
Elektrolytkondensatorer ved AC



Elektrolytkondensatorer kan anvendes i vekselstrømskredsløb i anti-seriekobling.

Sådanne kondensatorer benævnes ofte bipolare elektrolytkondensatorer.

Spændinger



På grund af elektrolytkondensatorens virkemåde og konstruktion er den ofte stemplet med to spændinger: arbejdsspænding og spidsspænding.

Arbejdsspændingen angiver den værdi, ved hvilken kondensatoren skal arbejde.

Spidsspændingen angiver den spænding, der må tilsluttes kondensatoren for kortere perioder, fx ved indkobling af et kredsløb.

Overskrides spidsspændingen, vil aluminiumhinden blive gennembrudt.

De to spændingsværdier må ikke forveksles med andre kondensatorers mærkning vedrørende prøvespænding.

Prøvespænding

Prøvespændingen er den jævnspænding, med hvilken kondensatorerne kort afprøves for gennemslag, inden de forlader fabrikken.

Denne spænding må i praksis aldrig være til stede over kondensatoren.

Kapacitet

Elektrolytkondensatorens kapacitet er afhængig af mange ydre faktorer, fx af temperaturen.

Mærkekapaciteten er ved 20 °C, og ved stigende temperatur stiger kapaciteten.

Endvidere er deres mærkekapacitet målt ved en pulserende jævnspænding, dvs. ved en vekselspænding på 50 Hz overlejret i en jævnspænding.

Arbejder en kondensator på en udglattet jævnspænding, vil dens kapacitet være ca. 1,1-1,5 gange mærkekapaciteten.

Kapacitetens tolerance er vidt forskellig fra type til type elektrolytkondensator, fx + 50 % og -10 % eller +30 % og -20 %.

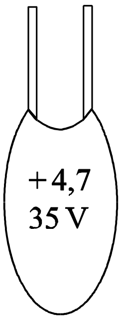
Det er karakteristisk, at mange elektrolytkondensatorer som nye ligger væsentlig over mærkekapaciteten.

Kondensatorens alder har også indflydelse på kapaciteten og det er typisk for en elektrolytkondensator, at dens kapacitet svinder, når kondensatoren ældes.

Forkert polaritet

Elektrolytkondensatoren tåler kortvarige spændinger med forkert polaritet, blot disse spændinger ikke overstiger ca. 2 V.

Tantalkondensatoren

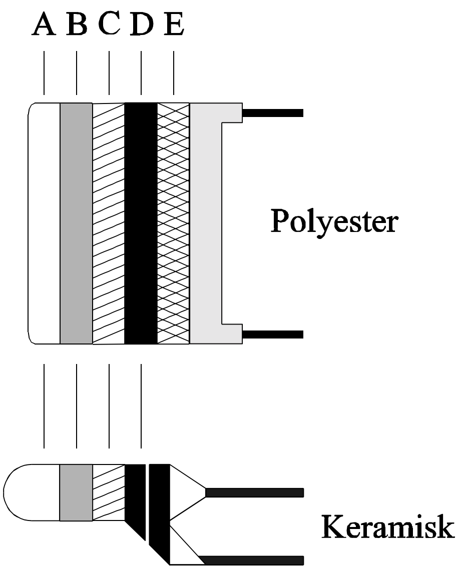


Med tantalkondensatoren kan opnås større kapaciteter med samme volumen, end med de almindelige elektrolytkondensatorer.

Samtidig har tantalkondensatoren meget små lækstrømme, hvilket gør den specielt egnet til tidsled og lignende kredsløb, hvor op- og afladetiden skal være den samme fra gang til gang.

Da tantalkondensatoren er en elektrolytkondensator er den polariseret og skal tilsluttes plus og minus rigtigt, dvs. i overensstemmelse med mærkningen.

Mærkning



En del kondensatorer såsom papirkondensatorer og elektrolytkondensatorer er almindeligvis mærket med kapacitet, spænding, tolerance, type mv. i klar tekst.

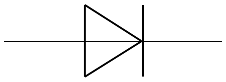
Ved små kondensatorer såsom keramiske og visse kunstfolietyper anvendes en farvekodemærkning i lighed med den kode, der anvendes ved modstandsmærkning.

Man bruger et system med 4-5 farvede ringe eller pletter, hvor de tre første farver angiver kapaciteten i pF.

De efterfølgende farver angiver henholdsvis tolerance og driftspænding.

Farve	A 1. ciffer	B 2. ciffer	C Faktor	D Tolerance	E Spænding
Sort	-	0	1	± 20%	
Brun	1	1	10		100 V
Rød	2	2	100		250 V
Orange	3	3	1000		
Gul	4	4	10000		400 V
Grøn	5	5	100000		
Blå	6	6			630 V
Violet	7	7			
Grå	8	8			
Hvid	9	9		± 10%	

Dioder



En diode dannes ved, at man lader en P-halvleder og en N-halvleder grænse op til hinanden.

Denne grænse kalder man en PN-overgang.

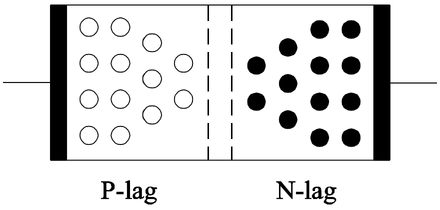
Fremstilling

Der findes flere metoder til fremstilling af dioder.

En af dem er at belægge en renset halvlederskive i den ene ende med indium og den anden ende med antimon.

Derefter opvarmes krystallen stærkt, hvorved de to forureningsstoffer trænger ind i krystallen.

Virkemåde



Ved grænsen mellem P-laget og N-laget vil der, på grund af krystallens varmebevægelser, trænge frie elektroner fra N-laget ind i P-laget og huller fra P-laget ind i N-laget.

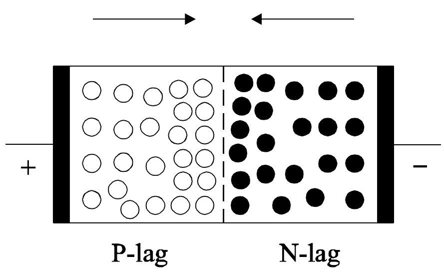
Denne proces kalder man "diffusion".

Derigennem mister området på begge sider PN-overgangen sine frie ladningsbærere, da hullerne optager elektronerne (rekombination).

Det område, der nu er tømt for frie ledningsbærere, virker uden pålagt spænding som et isolationsstof, og kaldes derfor "spærrelaget".

Tykkelsen af spærrelaget er kun ca. 0,01 mm.

Gennemgang

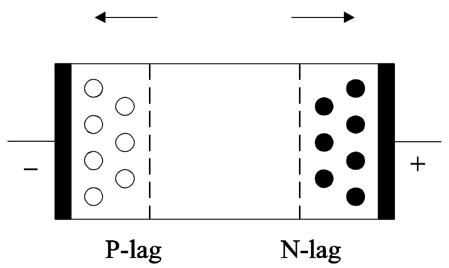


Tilslutter man en jævnspænding til dioden med plus på P-laget og minus på N-laget, vil den pålagte spænding drive elektroner fra N-laget og huller fra P-laget ind i spærrelaget.

Dette "nedbryder" spærrelaget, idet der vil finde en stadig rekombination sted.

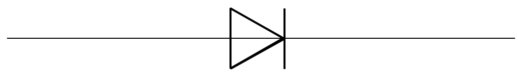
Dioden har gennemgang, dvs. dens modstand er meget lille.

Spærring



Tilslutter man derimod pluspolen til N-laget og minuspolen til P-laget, trækkes der flere huller og elektroner ud af krystallen og spærrelaget gøres derved bredere.

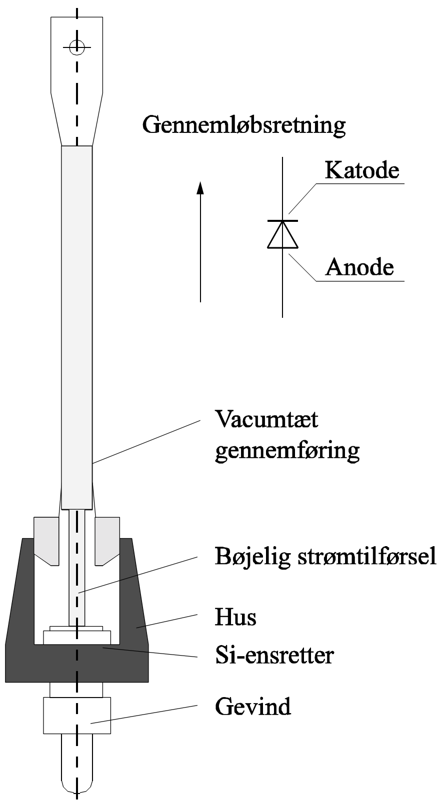
Dioden er spærret, dvs. dens modstand er næsten uendelig stor.



Silicium-dioden

Silicium-dioden er den almindeligste, og den kan fremstilles til både meget store strømme og meget store spændinger, hvilket gør den velegnet til brug i effektensrettere.

Fremstilling



Ved fremstillingen af en siliciumdiode belægger man en skive rent silicium med fx aluminium på den ene side og en guldantimon legering på den anden side.

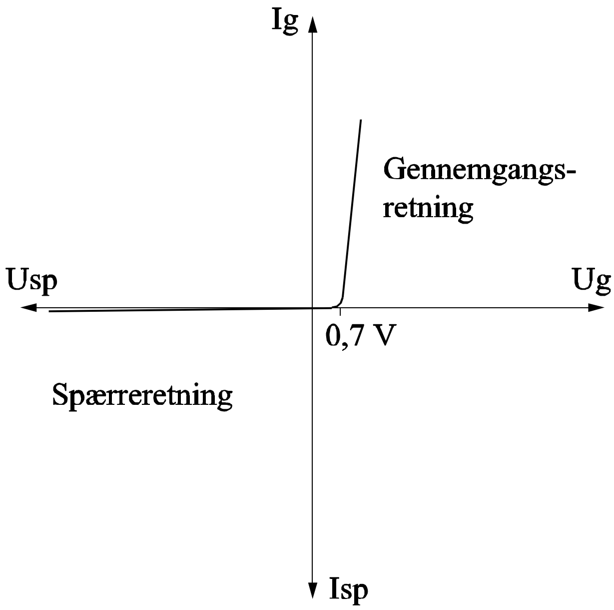
Det hele opvarmes, og ved høj temperatur trænger metallerne ind i silicium-krystallen og forurener den.

Herved opstår N-laget og P-laget, og imellem dem dannes spærrelaget.

Siliciumskiven anbringes derefter i et lufttæt lukket hus af metal eller kunststof, idet krystallen ikke tåler de kemiske påvirkninger af den atmosfæriske luft.

Ved små dioder er forbindelserne blot ført ud som to fortinnede kobbertråde. Men i store dioder er selve huset ofte den ene terminal, som forneden afsluttes af et kort gevindstykke, mens den anden terminal er ført ud som en kort bevægelig ledning.

Karakteristik



Gennemgangsretning

Som det ses af karakteristikken "åbner" siliciumdioden ved en spænding på ca. 0,7 V i gennemgangsretningen.

Denne spænding kaldes slusespænding eller tærskelspænding.

Endvidere viser karakteristikken, at spændingsfaldet over dioden ved forskellige strømme er næsten lig med tærskelspændingen, men vokser dog ganske lidt ved stigende strømstyrke.

Af kurvens hældning kan det ses, at dioden i gennemgangsretning udgør en meget lille modstand.

Spærreretning

Betragter man karakteristikken i spærreretningen, ses det, at kurven omtrent ligger vandret, hvilket betyder, at dioden optræder som en næsten uendelig stor modstand. Kurvens svage hældning afslører, at der i spærreretningen går en ganske svag strøm, den såkaldte spærrestrøm eller lækstrøm. Lækstrømmen forbliver konstant selv om man øger spændingen, idet den skyldes huller og elektroner i spærrelaget, som er frembragt af varme.

Ved stuetemperatur andrager lækstrømmen nogle få pico-Ampere, og den fordobles hver gang temperaturen stiger 8-10 °C.

Gennembrud

Dersom en siliciumdiode tilføres en utilladelig høj spænding i spærreretningen, øges lækstrømmen pludselig lavineagtigt, dioden får gennembrud og ødelægges. Dette bør man erindre sig, når man arbejder på installationer, hvortil der er tilsluttet apparater med elektronik.

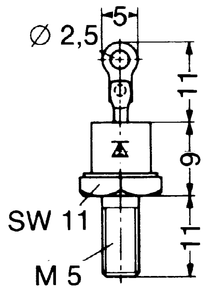
Her bør man undgå at anvende meggeren, idet brugen af den påtrykker installationen ca. 1000 V.

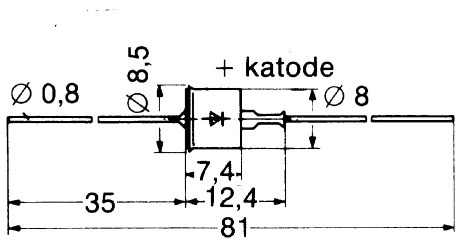
Data

De to væsentligste data man bør kende ved en siliciumdiode er belastningsstrømmen i ampere (IF) samt spærrespændingen i V (VR).

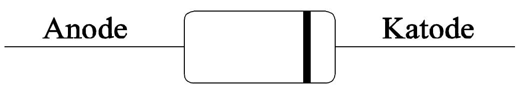
Mærkning

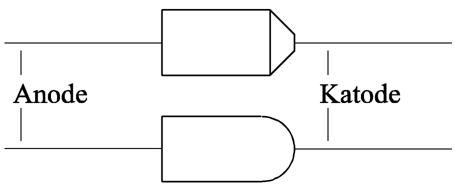
Siliciumdioder kan være mærket med diodesymbolet på huset.



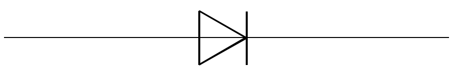


- eller katoden kan være markeret med en ring på huset.





- eller huset kan være "spidset" eller afrundet i strømmens retning.

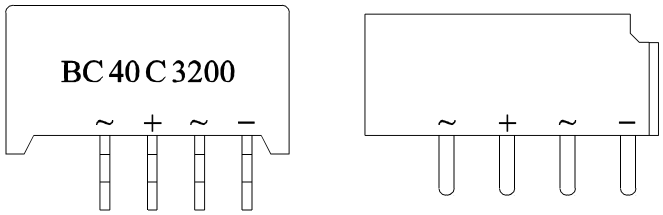


Mærkning af dioder er forskellig fra fabrikat til fabrikat.

Europæiske typer mærkes almindeligvis med to bogstaver efterfulgt af et serienummer.

Brokobling

Undertiden er 4 siliciumdioder sammenbygget til en brokobling.

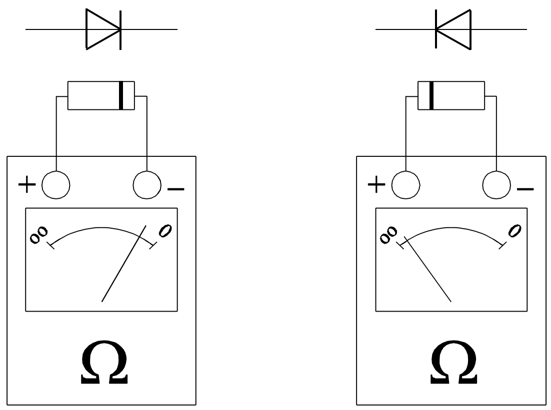


Mærkning

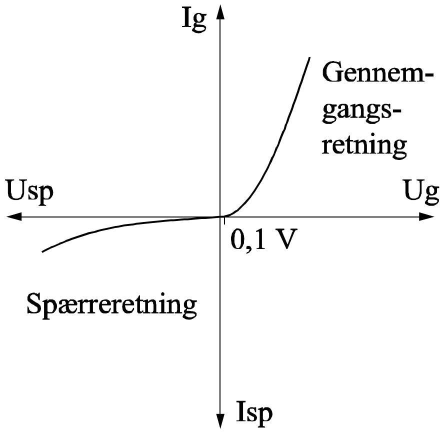
Dersom en brokobling er mærket: B 40 C 3200 betyder det, at brokoblingen er beregnet til en driftsspænding på 40 V og til en belastningsstrøm på 3200 mA.

Afprøvning

En siliciumdiode kan afprøves ved hjælp af et universalinstrument i Ω-området. I lederetning skal dioden udvise en ret lav modstand, i spærreretning skal den udvise en næsten uendelig stor modstand.



Germaniumdioder



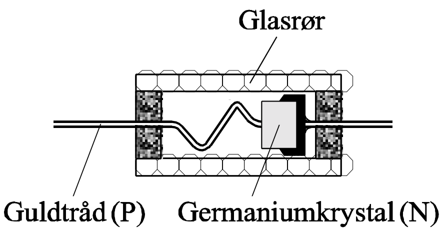
Germaniumdioder udmærker sig ved at have en slusespænding på kun ca. 0,1 V, endvidere har de en lav kapacitet mellem P- og N-laget.

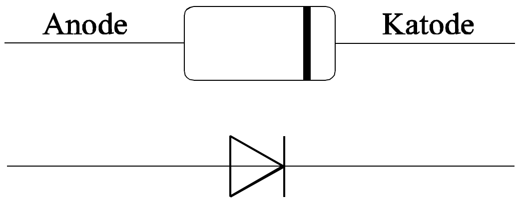
Disse egenskaber gør dem velegnet til fx signalensretning i radio- og fjernsynsapparater, ligesom de anvendes til ensretning i universalinstrumenter.

Ved fremstillingen bringer man en tynd guldtråd i forbindelse med et germaniumkrystal, hvorefter man sender et kortvarigt stærkt strømstød gennem dioden.

Ved varmen bliver metalspidsen svejset sammen med germaniumkrystallen og legerer sig med denne, hvorved PN-overgangen dannes.

Germaniumdioder fremstilles til belastningsstrømme på ca. 100 mA og til spærrespændinger på op til ca. 75 V.

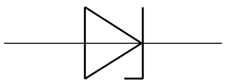




Specielle dioder

Ud over "almindelige" dioder til ensretterformål, findes en række diodetyper med helt specielle egenskaber som fx zenerdioden, der virker spændingsstabiliserende, fotodioden der er lysfølsom, og den lysemitterende diode der udsender lys.

Zenerdioden



En diode er som tidligere nævnt karakteriseret ved en lav modstand i gennemgangsretningen og en høj modstand i spærreretningen.

Den meget store modstand i spærreretningen holder sig nogenlunde konstant ved spændinger inden for diodens arbejdsområde, men øger man spærrespændingen, vil man nå et punkt, hvor diodens modstand falder næsten til nul.

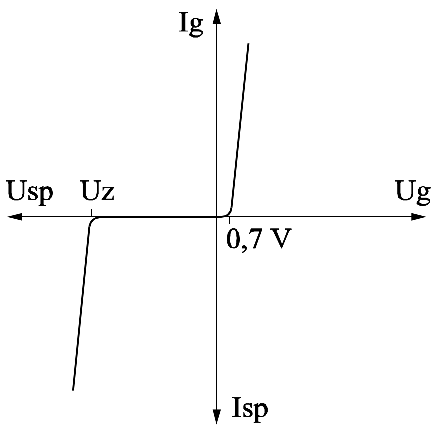
Denne spænding kaldes gennembrudsspændingen eller zenerspændingen.

At passere denne grænse, vil for almindelige dioder betyde ødelæggelse.

Man har imidlertid fremstillet særlige dioder, der kan tåle at arbejde ved zenergennembrud vedvarende uden at tage skade. Disse kaldes zenerdioder.

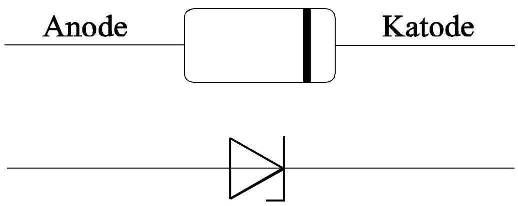
Zenerdioder er siliciumdioder, der er fremstillet med større tilsætning af forureningsstoffer end almindelige dioder.

Karakteristik



Karakteristikken viser, hvorledes zenerdioden åbner for ca. 0,7 V i gennemgangsretningen, som ved en almindelig siliciumdiode.

Desuden åbner den i sin spærreretning ved zenerspændingen -Uz.

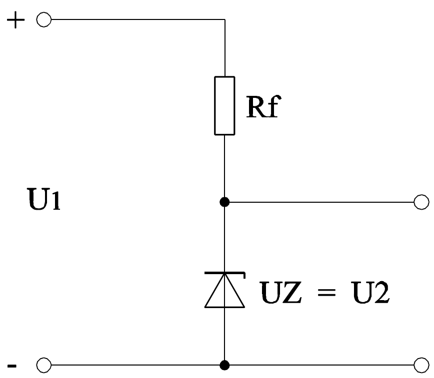


Data

To vigtige data for en zenerdiode er:

Zenerspændingen = Uz og maksimal effekt = Ptot.

Anvendelse



Zenerdiodens særlige egenskaber lader sig udnytte til stabilisering af en jævnspænding.

Den tilsluttes, forbundet i sin spærreretning, i serie med en formodstand til en jævnspænding, større end zenerspændingen. Formodstanden skal sikre, at effektudviklingen i zenerdioden ikke overskrider den maksimalt tilladelige værdi, Ptot.

De to komponenter danner tilsammen en spændingsdeler, hvor den afgivne spænding vil være lig med zenerspændingen (UZ).

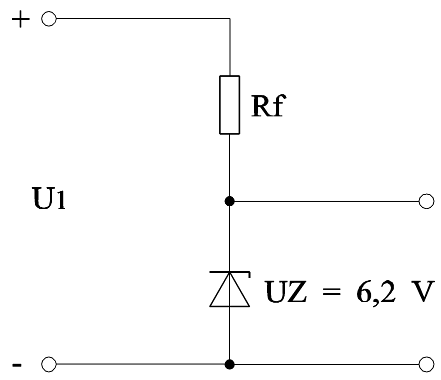
Zenerdioden kan stabilisere både for variationer i den tilførte spænding og variationer i den afgivne strøm.

Zenerdiodens arbejdsområde ligger mellem to yderværdier i strøm IZ max og IZ min.

$$IZ \text{ max} = \frac{Ptot}{UZ}$$

$$IZ \text{ min} = IZ \text{ max} \cdot 0{,}1$$

Eksempel 1



Spændingsstabilisering, ubelastet.

Den anvendte zenerdiode har zenerspændingen UZ = 6,2 V.

Ved en tilført spænding på U1 = 12 V, vil spændingsfaldet over formodstanden være:

$$URf = U1 - UZ$$

$$URf = 12 - 6{,}2 = \underline{\underline{5{,}8 \ V}}$$

Stiger den tilførte spænding til U1 = 14 V, bliver:

$$URf = U1 - UZ$$

$$URf = 14 - 6{,}2 = \underline{\underline{7{,}8 \ V}}$$

Formodstanden "tager" den overflødige spænding.

Den stabiliserende virkning ophører, når den tilførte spænding - U1 går under 6,2 V.

Eksempel 2

Beregning af formodstanden Rf.

Dersom den anvendte zenerdiode er en 400 mW type, bliver den størst tilladelige strøm gennem denne ved UZ = 6,2 V:

$$IZ \ \mathrm{max} = \frac{Ptot}{UZ}$$

$$IZ \ \mathrm{max} = \frac{400}{6{,}2} = \underline{\underline{64{,}5 \ mA}}$$

Samtidig bliver strømmen gennem formodstanden:

IRf = IZ max

IRf = 64,5 mA

Ved en forsyningsspænding på U1 = 14 V, må formodstanden ikke være mindre end:

$$Rf = \frac{URf}{IRf}$$

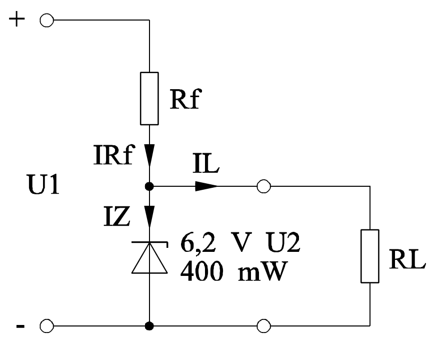
$$Rf = \frac{7{,}8}{64{,}5} = \underline{\underline{0{,}121\ k\Omega}}$$

Effektudviklingen i formodstanden kan udregnes til:

$$PRf = URf \cdot IRf$$

$$PRf = 7{,}8 \cdot 64{,}5 = \underline{\underline{503\ mW}}$$

Eksempel 3



Strømstabilisering, kredsen belastet.

Når kredsen belastes, deler strømmen gennem formodstanden IRf sig i to grene, IZ og IL.

For at zenerdioden kan stabilisere, må strømmen gennem den ikke være mindre end:

$$IZ\ \text{min} = 0{,}1 \cdot IZ\ \text{max}$$

$$IZ\ \text{min} = 0{,}1 \cdot 64{,}5 = \underline{\underline{6{,}5\ mA}}$$

Maksimal belastning ved stabil udgangsspænding:

$$IL = IRf - IZ\ \text{min}$$

$$IL = 64{,}5 - 6{,}5 = \underline{\underline{58\ mA}}$$

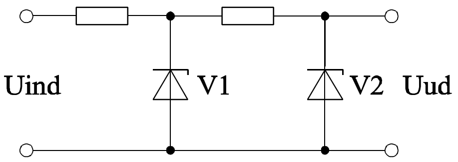
Effektudviklingen i zenerdioden ved maksimal afgiven strøm:

$$PZ = UZ \cdot IZ\ \text{min}$$

$$PZ = 6{,}2 \cdot 6{,}5 = \underline{\underline{40\ mW}}$$

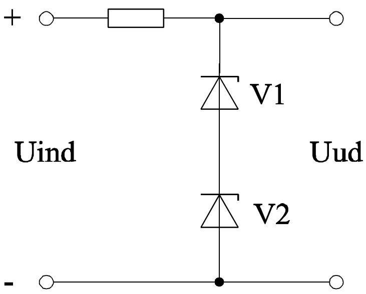
Effektudviklingen i zenerdioden er altså mindst, når kredsen er belastet.

Dobbelt stabilisering



Ønsker man en yderligere stabiliseret spænding, kan dette bl.a. opnås ved den viste opstilling. En betingelse er dog, at Z1 skal have en højere zenerspænding end Z2.

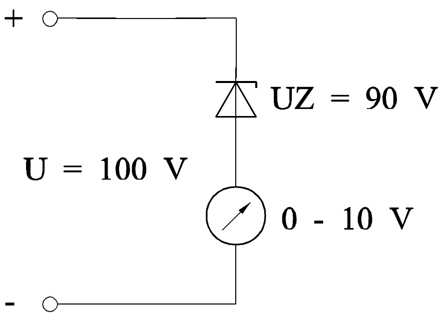
Seriekobling



Ved stabilisering af højere spændinger kan man seriekoble flere zenerdioder.

Denne metode giver mulighed for at frembringe stabiliserede spændinger af næsten enhver ønskelig værdi.

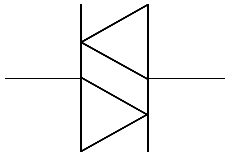
Nulpunktsundertrykkelse



Skal man i en opstilling kontrollere en spænding på ca. 100 V med ret stor nøjagtighed, kan man forbinde en 90 V zenerdiode i serie med et 0-10 V voltmeter.

Dette vil da vise den tilførte spænding, når denne ligger mellem 90 V og 100 V, og dette område vil være spredt over hele skalaen.

Diac

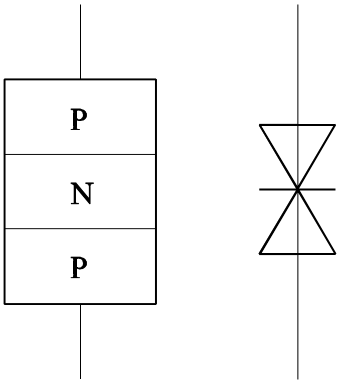


Diac er en "toretnings-triggerdiode", som kan bruges til trigning af Triac og SCR.

Diac er opbygget af tre lag halvledermateriale, hvorved der fremkommer to spærrelag.

Disse kan sammenlignes med to dioder, der er modsat rettet.

Når der sættes spænding på Diac, vil det ene spærrelag altid være forspændt i lederretning, mens det andet vil være forspændt i spærreretning.



Indtil en vis spænding vil dioden spærre, men oversti-ger den påtrykte spænding gennembrudsspændingen UBR, nedbrydes spærrelaget og dioden bliver ledende.

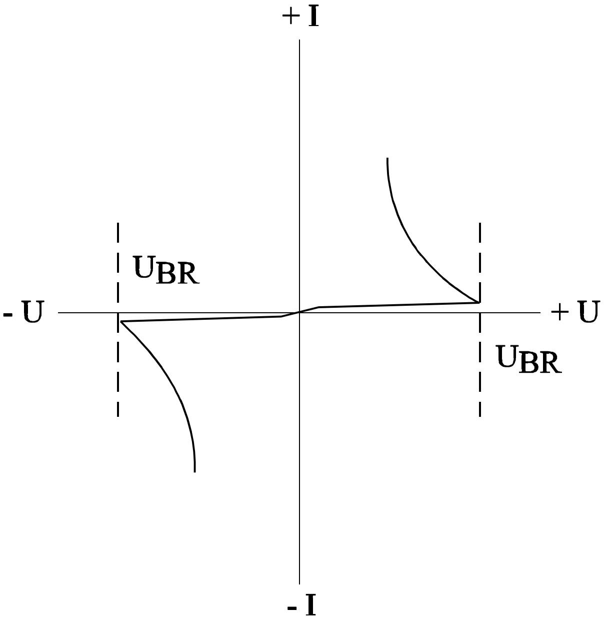
Når spændingen på dioden atter sænkes under en vis grænse, vil dioden igen spærre.

Da Diac er symmetrisk opbygget, virker den ens uan-set polariteten af den pålagte spænding og virker såle-des også ved vekselspænding.

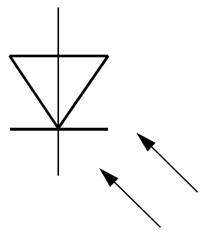
Karakteristik

Gennembrudsspændingen UBR er ca. 30 V.

Gennembrudsspændingen kaldes også kipspændingen Uk.



Fotodioder



Dersom krystallen i en germanium- eller siliciumdiode udsættes for lyspåvirkning nedsættes dens spærreegenskaber.

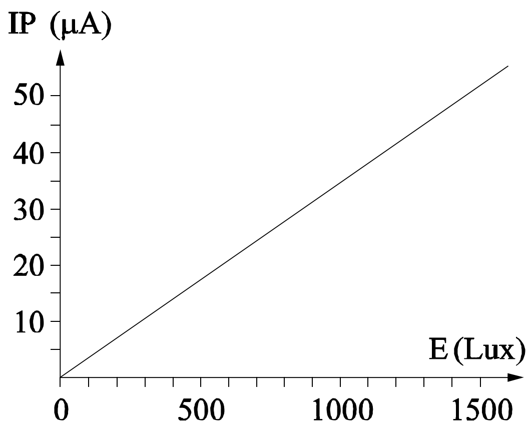
Anbringes krystallen igen i mørke, vil spærreegenskaberne atter være til stede.

Fotodioderne er specielle dioder, som udnytter denne egenskab ved halvledermaterialerne.

De anvendes forspændt med en jævnspænding i deres spærreretning.

Ved belysning vil der igennem dioden gå en lækstrøm, også kaldet fotostrømmen - IP.

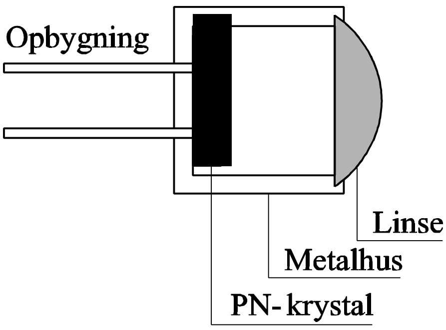
Fotostrømmen afhænger af belysningsstyrken - E(Lux), omgivelsestemperaturen - Tomg (^{o}C) og forspændingen - UR(V).



Opbygning

Fotodioden består af et PN-forurenet halvlederkrystal af størrelsen ca. 1 mm. 1 mm, som indbygges i et metalhus.

Lyset falder på krystallet gennem en linse, som er lufttæt fastgjort til metalhuset.



Typer

Fotodioder kan fremstilles af germanium og silicium.

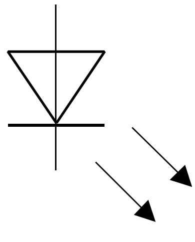
Hyppigst brugt er siliciumtyperne, idet deres største følsomhed ligger i det synlige område, mens germaniumdioders største følsomhed ligger i det infrarøde område.

Fotodioder kan opfatte meget kortvarige lysglimt (0,1 nanosekund) og er i stand til at opfatte svingninger i lysstyrken med frekvenser på op til 1 Giga-Hertz.

Anvendelse

Fotodioder anvendes sammen med en forstærker til en lang række formål inden for elektronikken, fx automatisk døråbning, tælling af emner, måling af omdrejningstal mv.

LED-diode



En LED-diode er en diode, som udsender lys, når der går strøm i lederretningen. LED-dioden kaldes en lysdiode.

LED = light emitting diodes.

Alle halvlederdioder vil udsende en eller anden stråling, når de gennemløbes af en elektrisk strøm.

Strålingens frekvens og dermed lysets farve er bestemt af det stof, som halvlederen er opbygget af.

Almindelige germanium- siliciumdioder udsender deres tabseffekt som varmestråler, også kaldet infrarøde stråler.

Gellium-arsen-fosfor-dioder (GaAsP) udsender rødt lys, Gallium-kulstof-dioder (GaC) udsender blåt lys, og Gallium-fosfor-dioder (GaP) udsender gult lys.

Virkemåde

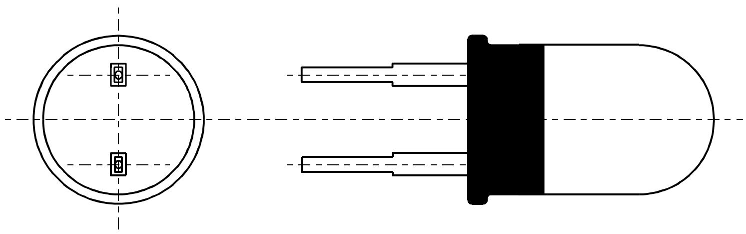
Hvis man betragter en GaAsP-krystal gennem et forstørrelsesglas, når det er tilsluttet en langsomtstigende jævnspænding, vil vi, når spændingen bliver ca. 1,4 V, se en rødlig glød fremkomme.

Lyset kommer fra det sted på krystallen, hvor PN-overgangen findes, og kommer lige idet dioden åbner, dvs. ved en strøm på kun ca. 1 mA.

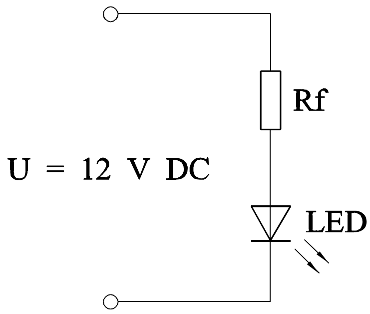
Når strømmen øges, vil gløden blive kraftigere og spredes over hele diodestykket. Ved 10-30 mA kan man undvære forstørrelsesglasset og lyset fra diodestykket vil være helt klart.

Opbygning

Krystallen er oftest monteret i et lille hus, forsynet med en linse, som samler lyset i et smalt strålebundt.



Data



De fleste rødtlysende LED's (GaAsP) har en typisk arbejdsspænding på ca. 1,6 V og et forbrug på ca. 20 mA alt efter størrelse.

Levetiden ansættes til ca. 100.000 timer. LED's anvendes normalt i forbindelse med en formodstand, som skal tilpasses efter driftspænding og LED-type.

Eksempel

En GaAsP-diode med U_{LED} = 1,6 V og I_{LED} = 20 mA skal tilsluttes 12 V jævnspænding.

Spændingsfaldet over formodstanden:

$$URf = U - ULED$$

$$URf = 12 - 1{,}6 = \underline{\underline{10{,}4\ V}}$$

Formodstandens værdi:

$$Rf = \frac{URf}{ILED}$$

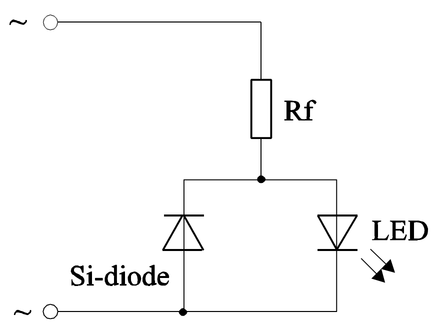
$$Rf = \frac{10{,}4}{20} = \underline{\underline{0{,}52 k\Omega}}$$

Effektudviklingen i formodstanden:

$$PRf = URf \cdot IRf$$

$$PRf = 10{,}4 \cdot 20 = \underline{\underline{208\ mW}}$$

AC-drift



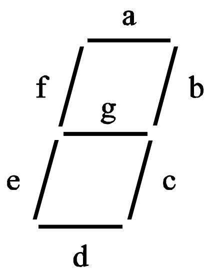
Skal en LED bruges til vekselstrøm, må man parallelforbinde den med fx en siliciumdiode, da LED'en ikke har gode spærreegenskaber.

Undlades dioden, vil spærrestrømmen i de negative halvperioder give anledning til stor varmeudvikling i LED'en, og den vil ødelægges.

Anvendelse

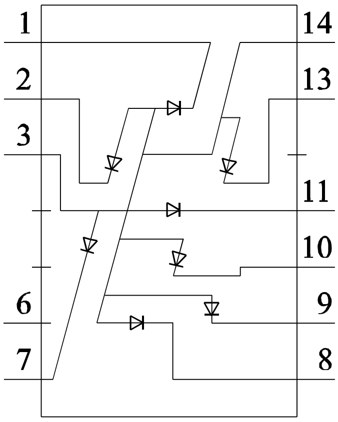
LED's bruges som kontrollamper mv. i elektroniske anlæg, idet man udnytter, at de er små, har lavt strømforbrug og lang levetid.

Display



Et antal LED's kan samles i en blok, således at de kan tændes for sig og derved danne tal eller bogstaver.

En sådan enhed kaldes et display og bruges til udlæsning af resultater i regnemaskiner, måleinstrumenter mv.



Transistorer

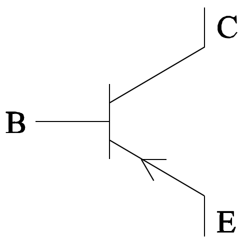
En transistor består af tre lag halvledermateriale - skiftevis P- og N-halvledermateriale.

Som materiale brugtes oprindeligt germanium, men siden man har udviklet metoder til bearbejdning af silicium, er man efterhånden gået over til udelukkende at fremstille transistorer af dette materiale.

Dette skyldes, at silicium på en række områder har langt bedre egenskaber end germanium.

Man kan fremstille PNP- og NPN-transistorer.

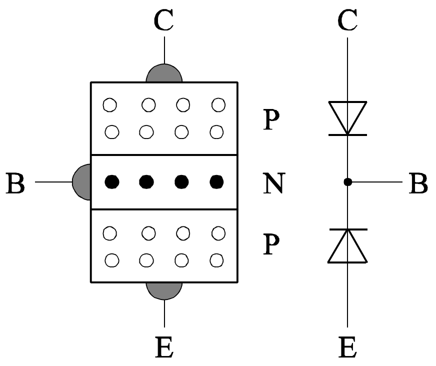
PNP-transistorer



En PNP-transistor består af to lag P- og et lag N-halvledermateriale.

Til hver af de tre lag fører en ledning. Det hele er lufttæt indelukket i et glas-, metalhus eller lignende, idet enheden ikke må udsættes for luftens fugtighed.

Man ønsker heller ikke, at de indre dele bliver udsat for lys, da dette i høj grad påvirker halvledernes ledningsevne.



Ved sammensætningen dannes der 2 PN-overgange, hvorfor man kan sammenligne en transistor med 2 dioder i serie, uden dog at 2 dioder i serie kan erstatte en transistor.

Transistorens tre lag kaldes:

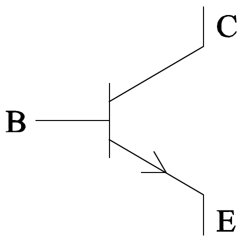
emitter = E

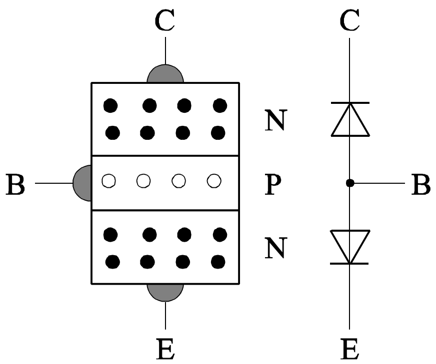
basis = B

kollektor = C

På figuren ser emitter og kollektor ens ud, dette er ikke tilfældet, idet kollektoren normalt er større end emitteren.

NPN-transistoren





En NPN-transistor består af 2 lag N- og 1 lag P-halvledermateriale.

De tre lag kaldes ligeledes:

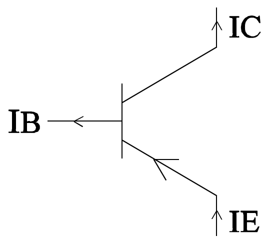
emitter = E

basis = B

kollektor = C

Som det ses af figuren vender dioderne den anden vej.

Strømme



En transistors strømme benævnes:

IE = emitterstrøm

IB = basisstrøm

IC = kollektorstrøm

Spændinger

Spændingerne mellem de tre terminaler benævnes:

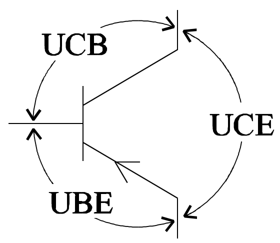
UBE = basis-emitter spænding

UCE = kollektor-emitter spænding

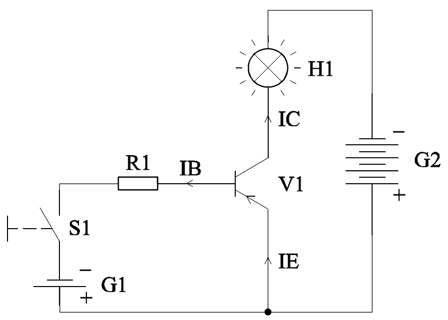
UCB = kollektor-basis spænding

I engelsksproget litteratur betegnes disse:

VBE, VCE og VCB.



Transistorens strømforhold



For at se nærmere på transistorens strømforhold vil vi betragte nedenstående strømkreds.

Transistor V1 strømforsynes her fra to batterier G1 og G2.

Når kontakt S1 er sluttet, leverer G1 basisstrøm til transistoren i følgende strømkreds: fra batteriets plus-pol gennem transistorens emitter/basis-strækning, gennem R1 og S1 tilbage til batteriets minuspol.

R1 skal begrænse strømmen i basiskredsen og således beskytte transistoren.

Når transistoren således tilføres basisstrøm, vil dens indre blive elektrisk ledende, hvorved der åbnes for en strøm i emitter/kollektorkredsen.

Denne strøm går i følgende kreds: fra G2's pluspol gennem transistorens emitter/kollektor-strækning, gennem lampen H1 og tilbage til G2's minuspol.

Emitterstrømmen (IE) i transistoren består af summen af basis- og kollektorstrømmen:

$$IE = IB + IC$$

Kollektorstrømmens størrelse afhænger af størrelsen på basisstrømmen.

Forholdet mellem disse to kaldes transistorens DC-strømstrækning - hFE.

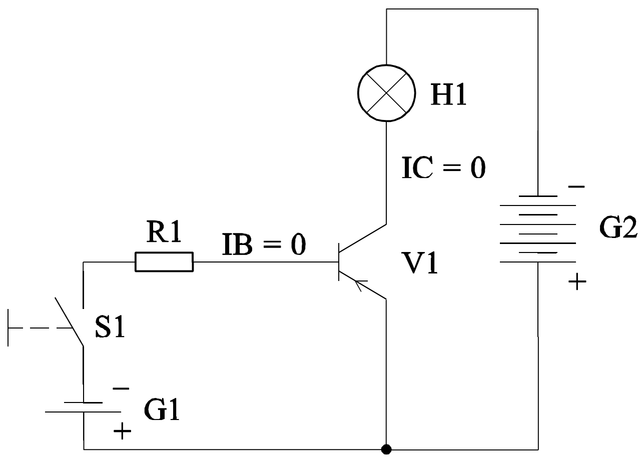
$$hFE = \frac{IC}{IB}$$

Størrelsen af hFE varierer stærkt fra den ene transistortype til den anden.

Store kraft-transistorer kan have en hFE på kun ca. 10-20 gange, mens visse små transistorer kan have en hFE op til ca. 1000 gange.

Transistorer OFF

Afbrydes kontakten S1, bliver basisstrømmen til transistoren nul.

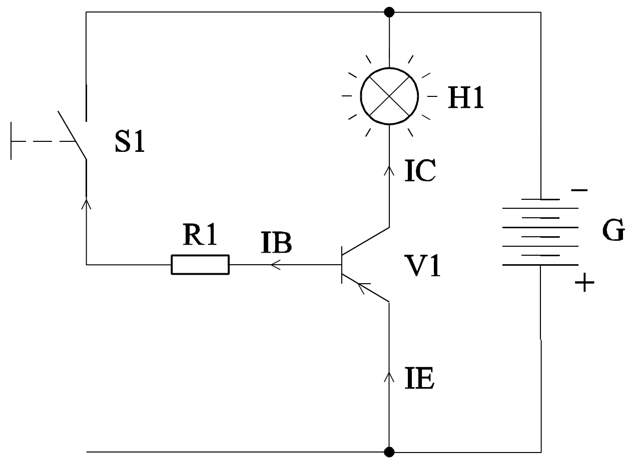


Derved ophører transistorens indre med at være elektrisk ledende, og kollektorstrømmen falder således til nul, hvorved lampen slukkes.

Transistoren virker således som en modstand, hvis værdi man kan styre fra ca. 0 Ω til ca. ∞ Ω, ved hjælp af basisstrømmen.

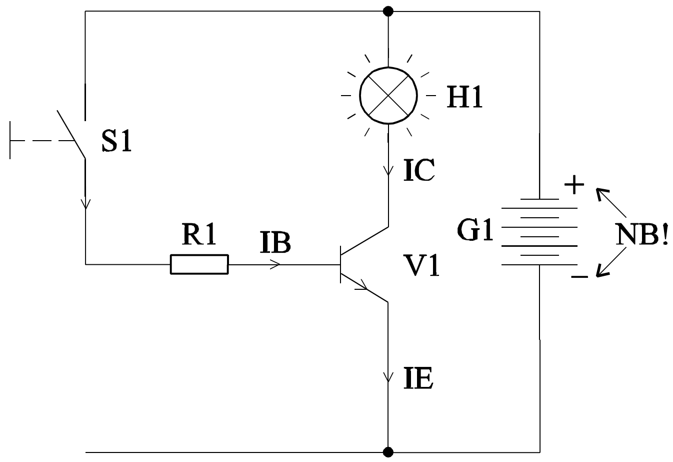
Enkelt forsyning

Normalt forsyner man transistoren med både basis- og kollektorstrøm fra den samme strømkilde, som nedenstående diagram viser.



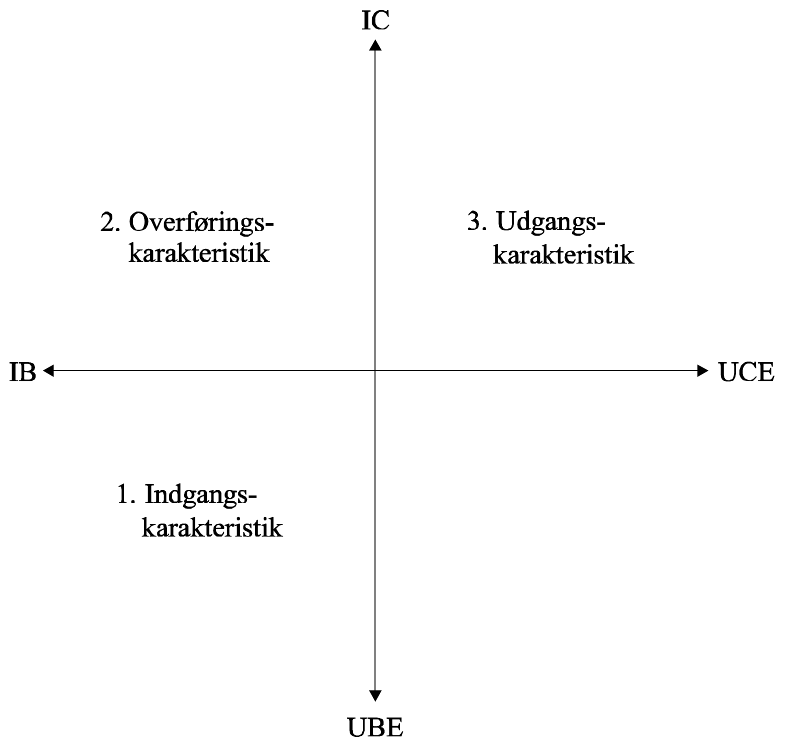
NPN-transistor

Ved en NPN-transistor skal batteriet G1 vendes modsat, idet strømmen løber i transistoren samme vej, som emitterpilen peger.



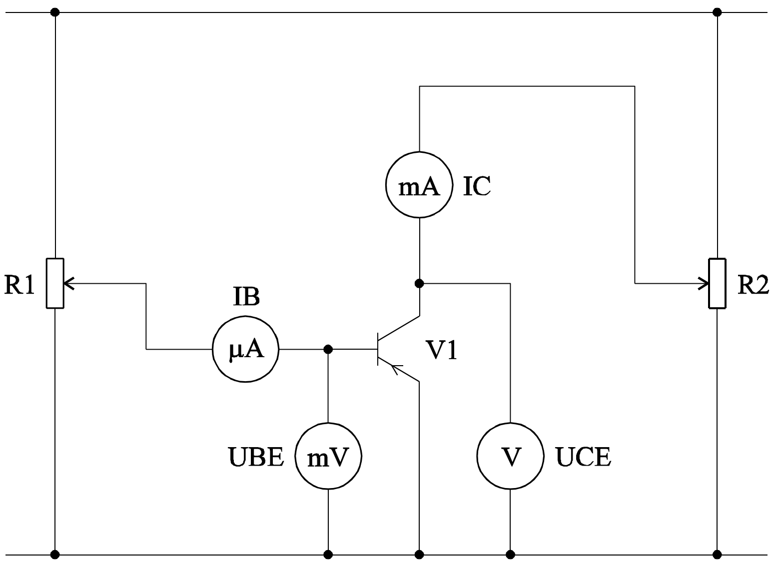
Karakteristik

Sammenhængen mellem en transistors strømme og spændinger kan vises i et karakteristikfelt, bestående af indgangskarakteristikken, overføringskarakteristikken og udgangskarakteristikken.



Opstilling

Til optagelse af karakteristikken for en NPN-transistor bruges nedenstående opstilling.



Indgangskarakteristik

Transistoren styres normalt på basis/emitter- strækningen, derfor benævnes denne også indgangskredsen.

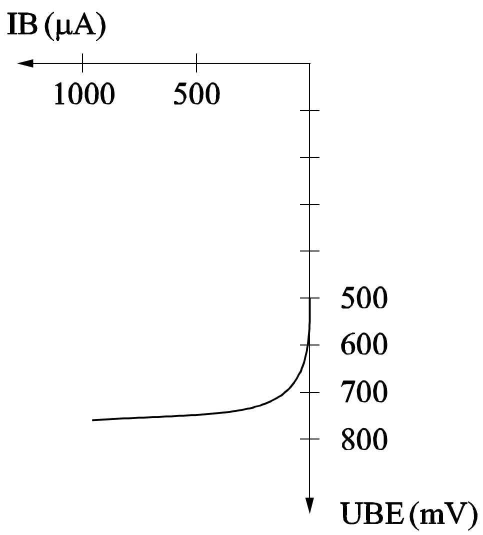
Indgangskarakteristikken optages ved at variere R1 og aflæse samtidige værdier af IB og UBE, mens UCE holdes på en konstant spænding, fx 5 V ved hjælp af R2.

Indgangskarakteristikken får et typisk forløb, som følgende kurve viser.

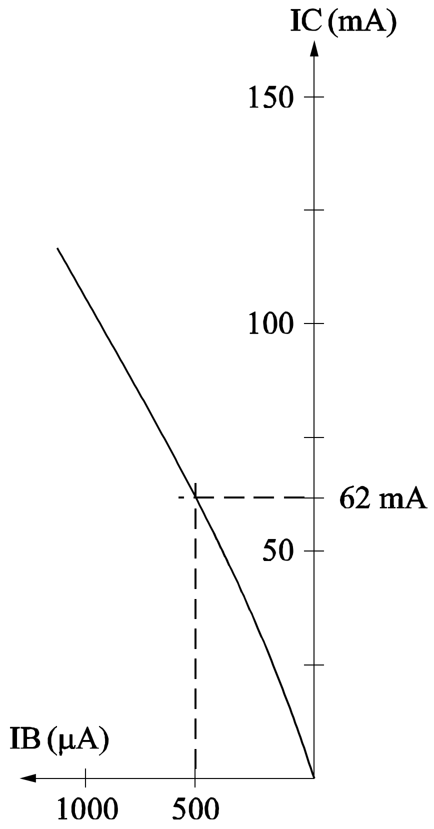
Basis/emitter-strækningen er jo en diodestrækning, og kurven viser da også tydeligt, at basis/emitterdioden åbner ved en spænding på ca. 0,6 V.

Ved en lidt større basisstrøm, vil UBE stabilisere sig omkring 0,7 V, som er karakteristisk for en silicium-diode.

Årsagen til at kurvens akser er tegnet som vist, er at kurven senere indgår i det samlede karakteristikfelt på denne måde.



Overføringskarakteristik



Denne del af karakteristikfeltet viser, hvordan en strøm i basiskredsen åbner for en strøm i kollektorkredsen, dvs. at denne kurve er et udtryk for transistorens strømforstærkning.

Kurven optages ved at variere R1 og aflæse sammenhørende værdier af IB og IC, mens UCE holdes på en konstant spænding, fx 5 V ved hjælp af R2.

Ud af kurven kan man aflæse DC-strømforstærkningen i et vilkårligt punkt.

Eksempel

Som et eksempel fås ved en basisstrøm på 500 µA en kollektorstrøm på 62 mA, dette giver:

$$hFE = \frac{IC}{IB}$$

$$hFE = \frac{62}{0{,}5} = \underline{\underline{124}}$$

Strømforstærkningen varierer en del efter, hvor på kurven den bestemmes.

Derfor ser man i datablade hFE opgivet ved en bestemt kollektorstrøm og en bestemt kollektor/emitter-spænding.

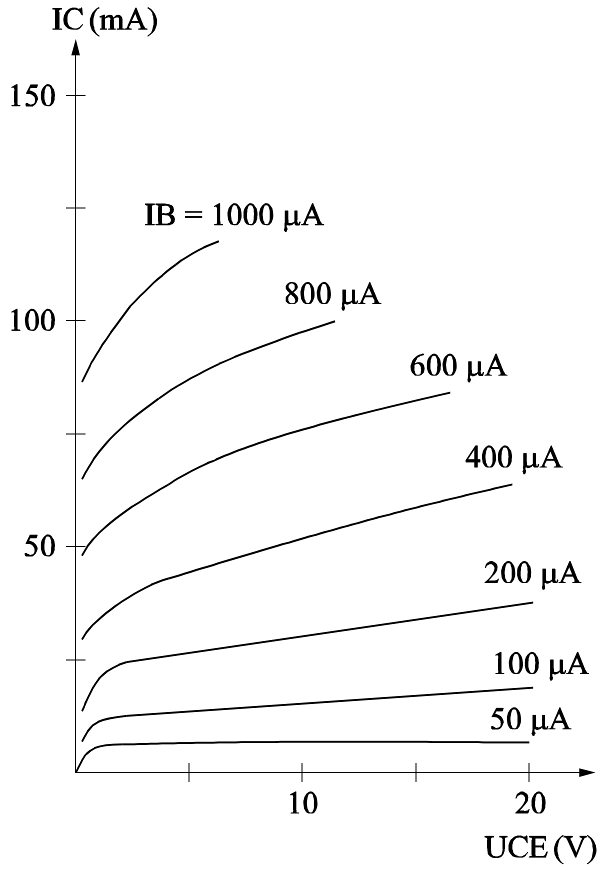
hFE typisk 140 ved IC = 2 mA og UCEW = 5 V.

Udgangskarakteristik

Denne viser sammenhængen mellem strøm og spænding i transistorens udgangskreds, dvs. kollektor/emitterkreds.

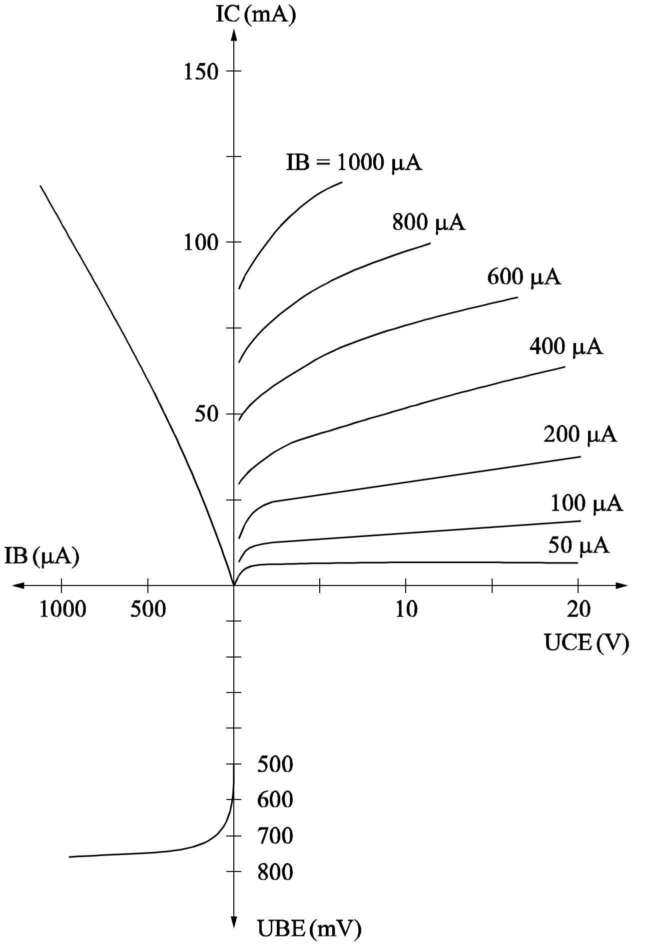
Udgangskarakteristikken optages ved, at man på R1 indstiller IB til en bestemt værdi og fastholder denne, derefter aflæses sammenhørende værdier for IC og UCE, mens der varieres på R2.

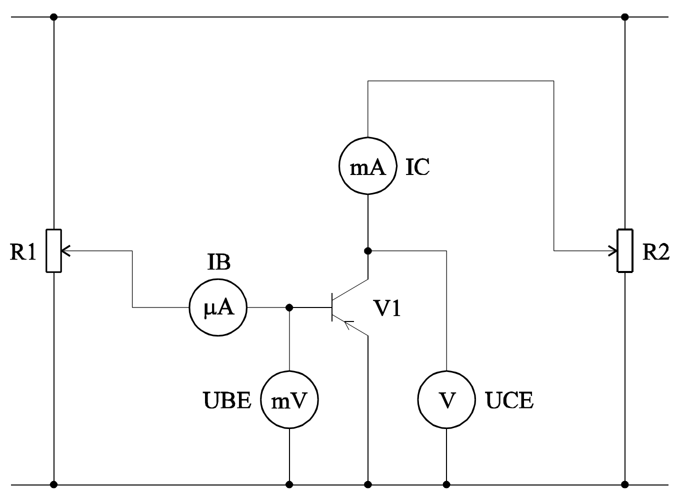
Derefter indstilles IB til en ny værdi, osv.; herved fremkommer en kurveskare, hvor hver enkelt kurve repræsenterer værdierne for IC og UCE ved en bestemt basisstrøm.



Karakteristikfelt

Sammensættes disse tre karakteristikker, får vi et karakteristikfelt, som fx kan anvendes ved dimensionering af transistoropstillinger.





Ordliste

Følgende skema angiver de almindeligste betegnelser vedrørende transistorer samt deres betydning på engelsk og dansk.

Betegn.	Betydning
VCBO VCEO VEBO	Voltage of the terminal indicated by the first subscript w.r.t. the reference terminal (second subscript) with the third terminal open circuited. Spændingen på den terminal der er indikeret med det første indexbogstav i forhold til referenceterminalen (andet indexbogstav) og med den tredie terminal afbrudt.
IB IC IE	Total d.c. (or average) current. Total jævnstrøm (eller middelværdi) i henholdsvis basis, kollektor og emitter.
Ptot	Total power dissipation in the divice. Total effekttab i enheden.
Tj	Junction temperature. Temperatur i spærrelaget.
Tamb	Ambient temperature. Omgivelsestemperatur.
Tcase	Case temperature. Temperaturen på enhedens indkapsling (hus).
Rth	Thermal resistance. Termisk modstand.
Rth j-a	Termal resistance from junctiuon to ambient. Termisk modstand fra spærrelaget til omgivelserne.
ICBO	Collector cut-off current (open emitter). Kollektor-lækstrøm med afbrudt emitter.
ICEO	Collector cut-off current (open base). Kollektor-lækstrøm med afbrudt basis.
ICES	Collector cut-off (emitter short-circuited to base). - Kollektor-lækstrøm med emitteren kortsluttet til basis.
IEBO	Emitter cut-off current (open collector). Emitter lækstrøm med åben kollektor.
hFE hFC hFE	Static value of the forward current transfer ratio or D.C. current gain (output voltage held constant). - Statisk strømforstærkning, med udgangsspændingen holdt konstant.

Aktive kredsløb

Når man går over i de aktive logikkredse, indfører man transistorer i kredsløbene.

Transistorerne arbejder i disse kredsløb i switchfunktion, dvs. som elektronisk kontakt.

Teoretisk kunne man derved opnå en kollektorstrøm på:

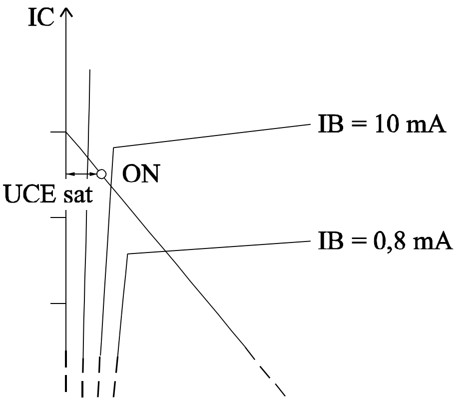
$$IC = IB \cdot hFE$$

$$IC = 11{,}3 \cdot 300 = \underline{\underline{3990\ mA}}$$

Det vil dog ikke være tilfældet, idet kollektorstrømmen vil blive begrænset af kollektormodstanden til:

$$IC = \frac{U - UCE\ sat}{R2}$$

$$IC = \frac{12 - 0{,}1}{1} = \underline{\underline{11{,}9\ mA}}$$



UCEsat er et spændingsfald, der findes over transistorens kollektor/emitter-strækning, når transistoren er ON.

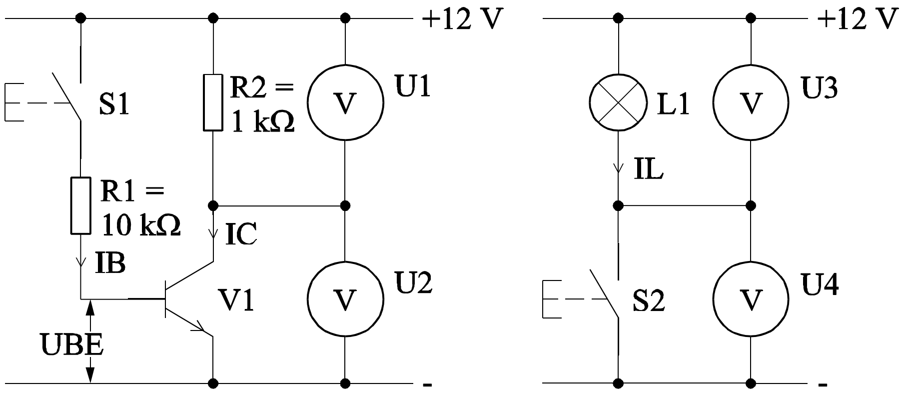
UCEsat kaldes mætningsspænding, på engelsk: "Saturation voltage", heraf navnet.

UCEsat, der måles som afstanden fra ON-punktet og ind til IC-aksen, afhænger af transistortype, kollektorstrømmen og basisstrømmen.

Ved en given kollektorstrøm vil UCEsat blive mindre, når basisstrømmen øges.

Således vil UCEsat være ca. 0,1-0,3 V ved en siliciumtransistor, der er styret helt ON.

Aflæser man voltmetrene på skitsen, vil man få følgende værdier når S1 er sluttet:



$$U1 = U - UCE\ sat$$

$$U1 = 12 - 0{,}1 = \underline{\underline{11{,}9\ V}}$$

$$U2 = UCEsat = 0{,}1\ V$$

I det andet diagram vil man aflæse:

U3 = U, U3 = 12 V, U4 = 0 V

Drager man en sammenligning mellem de to kredse, vil man se, at der ved transistoren optræder et beskedent spændingsfald (UCEsat), som undgås ved den mekaniske kontakt S2.

OFF

Åbnes kontakten S1 bliver transistorens basisstrøm:

IB = 0 mA

- og transistoren styres OFF.

Kollektorstrømmen bliver tilsvarende:

$$IC = IB \cdot hFE$$

$$IV = 0 \cdot 300 = \underline{\underline{0\ mA}}$$

Voltmetret, der måler U1, vil vise:

$$U1 = IC \cdot R2$$

$$U1 = 0 \cdot 1 = \underline{\underline{0\ V}}$$

- ligesom det andet voltmeter vil vise:

$$U2 = U - U1$$

$$U2 = 12 - 0 = \underline{\underline{12\ V}}$$

I det andet kredsløb vil spændingen over lampen være:

U3 = 0 V

- og over kontakten finder vi:

$$U4 = U - U3$$

$$U4 = 12 - 0 = \underline{\underline{12\ V}}$$

Det viser, at når transistoren er OFF, har den lige så gode egenskaber, som den mekaniske kontakt.

Dimensionering

Når et switch-trin skal dimensioneres, kan man bestemme komponentværdierne på flere måder, bl.a. ved hjælp af oplysninger fra datablad og ved standarddimensionering.

Eksempel

Vi vil prøve at dimensionere et switch-trin ved brug af datablad:

Først vælger man sin forsyningsspænding, fx:

U = 9 V.

Derefter bestemmer man, hvor stor kollektorstrøm man vil arbejde med, i dette tilfælde IC = 5 mA.

Ud fra disse oplysninger vælger man en egnet transistortype.

Når man har valgt transistortype, må man i dens datablad finde oplysninger om: UBEon, UCEsat og hFEmin ved den valgte kollektorstrøm.

I dette tilfælde tænkes, at databladet viser følgende værdier:

UBEon = 0,7 V

UCEsat = 0,1 V

hFEmin = 160

Først beregner man kollektormodstanden som:

$$RC = \frac{U - UCE\ sat}{IC\ on}$$

$$RC = \frac{9 - 0{,}1}{5} = \underline{\underline{1{,}78\ k\Omega}}$$

RC vælges til 1,8 kΩ , som er en standardværdi.

ICon bliver da:

$$ICon = \frac{U - UCE\ sat}{RC}$$

$$ICon = \frac{9 - 0{,}1}{1{,}8} = \underline{\underline{4{,}94\ mA}}$$

Derpå beregner man basisstrømmen:

$$IB = \frac{IC}{hFEmin}$$

$$IB = \frac{4{,}94}{160} = \underline{\underline{0{,}031\ mA}}$$

Ønsker man at sikre sig, at transistoren drives i mætning, således at man får nedbragt UCEsat til ca. 0,1 V, må man gange IB med 5 - 10.

Vi vil anvende faktoren 5 og får:

$$IB^{/} = IB \cdot 5$$

$$IB^{/} = 0{,}031 \cdot 5 = \underline{\underline{0{,}155\ mA}}$$

Ud fra dette kan vi bestemme basismodstanden:

$$RB = \frac{U - UBEon}{IB'}$$

$$RB = \frac{9 - 0{,}7}{0{,}155} = \underline{\underline{53{,}5\ k\Omega}}$$

som afrundes nedad til nærmeste standardværdi:

$$RB = \underline{\underline{47\ k\Omega}}$$

Den resulterende basisstrøm bliver da:

$$IB = \frac{U - UBEon}{RB}$$

$$IB = \frac{9 - 0{,}7}{47} = \underline{\underline{0{,}177\ mA}}$$

Standarddimensionering

En enklere metode til at bestemme switch-trinnets modstande er ved hjælp af standarddimensionering.

Betingelserne for at bruge denne metode er, at man anvender en transistortype, der kan tåle en kollektorstrøm på ca. 10 mA og har en strømforstærkning på mindst 10.

Man vælger først forsyningsspænding, fx U = 12 V.

Kollektorstrømmen er ved denne dimensioneringsform fastlagt til 10 mA.

Ud fra disse tal beregnes kollektormodstanden:

$$RC = \frac{U}{IC}$$

$$RC = \frac{12}{10} = \underline{\underline{1{,}2\ k\Omega}}$$

Dernæst bestemmes basismodstanden som:

$$RB = RC \cdot 10$$

$$RB = 1{,}2 \cdot 10 = \underline{\underline{12\ k\Omega}}$$

En eventuel emittermodstand skal have værdien:

$$RE = \frac{RC}{10}$$

$$RE = \frac{1{,}2}{10} = 0{,}12\ k\ \Omega = \underline{\underline{120\ \Omega}}$$

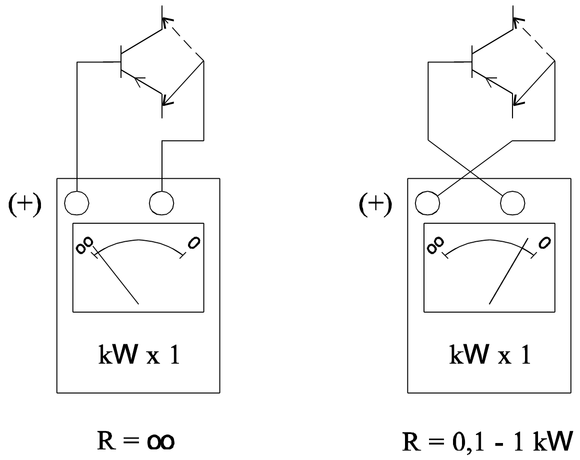
Standarddimensioneringen giver ret store basisstrømme, men til gengæld mindskes UCE sat.

Afprøvning

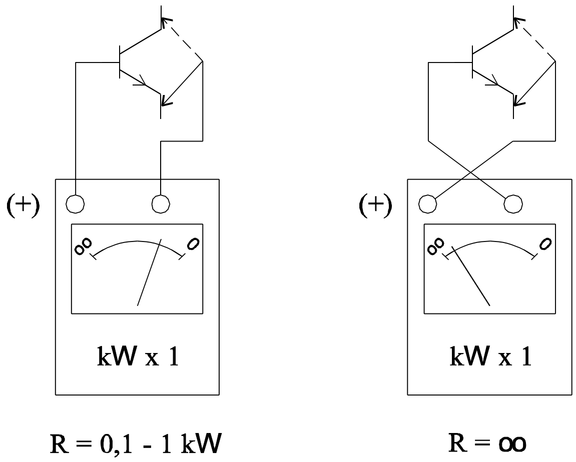
Ved service på elektroniske styringsanlæg er det ofte praktisk at afprøve transistorerne med et universalinstrument i modstandsområde.

Man undersøger, om henholdsvis basis/emitter-dioden og kollektor/basis-dioden kan både lede og spærre.

Det må erindres, at dioderne ved en NPN-transistor vender modsat af en PNP-transistor.

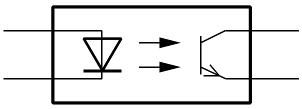


Afprøvning af PNP-transistor



Afprøvning af NPN-transistor

Optokoblere



En optokobler er en optoelektronisk komponent til signaloverføring med galvanisk adskillelse af ind- og udgang.

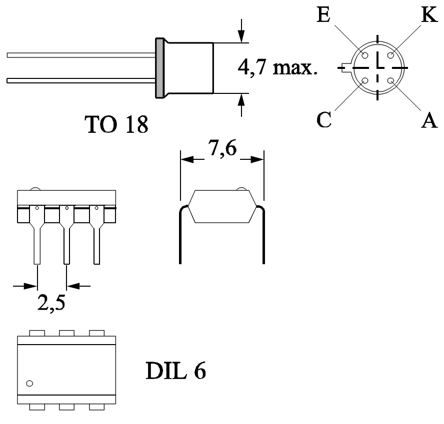
Opbygning og virkemåde

Informationsoverføringen sker i optokobleren ad optisk vej.

Det elektriske indgangssignal bliver i komponenten omdannet til en lysstråle i en Galliumarsenid-lysdiode.

Lyssignalet videreføres til en silicium-fototransistor, der afgiver et elektrisk signal til udgangen.

Væsentlige data



Vigtige ting at kende ved optokoblere er overføringsforhold og isolationsspænding.

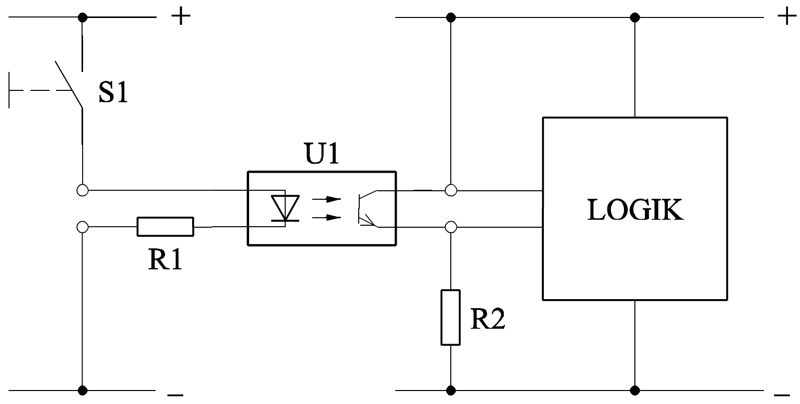
Overføringsforholdet er forholdet mellem indgangsstrømmen og udgangsstrømmen, som angives i %, og som i praksis ligger mellem 20 og 300 %. Dens størrelse afhænger af lysdiodens strålingsydelse, godheden af lysoverføringen og transistorens strømforstærkning.

Isolationsspændingen angiver, hvor stor en spændingsforskel der kan være mellem ind- og udgang, inden der sker elektrisk overslag. Isolationsspændingen er stærkt afhængig af, hvilken type hus enheden monteres i.

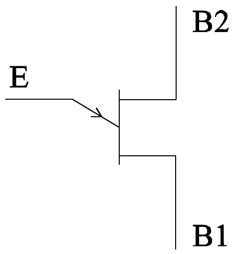
Ved et TO 18-hus andrager isolationsspændingen 500 V, og ved et DIL 6-hus er den 2500 V.

Anvendelse

Optokoblere kan bruges til at føre signaler ind og ud af en logikstyring. Man undgår herved, at høje statiske spændinger o.l. kan finde vej ind i logikken og foretage forstyrrelser eller ødelæggelser.



Unijunction-transistor

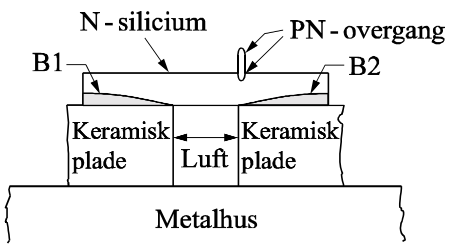


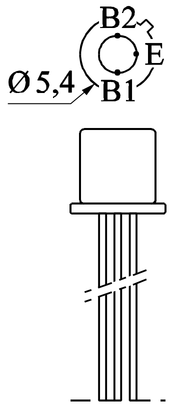
(UJT)Unijunction-transistoren er en halvlederkomponent med tre terminaler, men har egenskaber, der er ganske forskellige fra den konventionelle transistor. Dens mest betydningsfulde egenskaber er:

- en stabil triggerspænding (Up), som er en bestemt andel af en spænding, der tilføres på baserne,
- en meget lav værdi af "affyringsstrøm" (Ip),
- en negativ modstandskarakteristik, som er stabil med hensyn til levetid og temperatur,
- en evne til at frembringe kraftige strømimpulser.

Disse egenskaber gør brugen af unijunctiontransitoren fordelagtig i oscillatorer, timerkredsløb, spændings- og strømfølerkredsløb, SCR-triggere m.m.

Opbygning





En UJT kan opbygges på flere måder.

To almindelige typer er stavtypen og terningtypen. Her skal kun den første type beskrives.

I en UJT af stavtypen bruges en keramisk skive til monteringsplade med samme varmeudvidelseskoefficient som silicium. Herpå placeres selve halvlederen, som er en lille stav af N-forurenet silicium.

Denne forsynes i hver ende med en terminal, der kaldes henholdsvis basis 1 (B1) og basis 2 (B2).

På siliciumstaven legeres en tynd aluminiumstråd ind i materialet nærmest ved basis 2-kontakten.

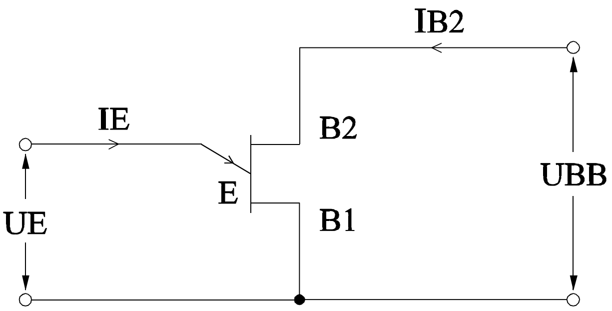
Derved dannes der på dette sted en PN-overgang, en diode.

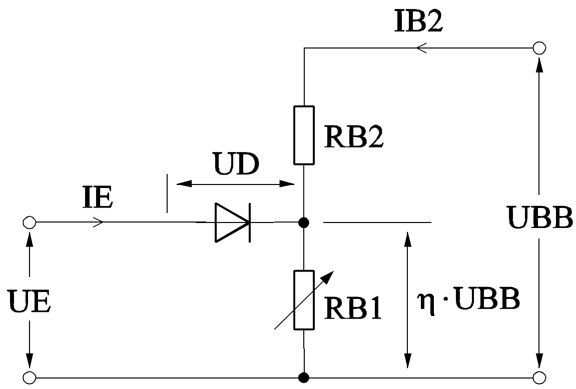
Selve aluminiumstråden udgør den tredie terminal, og kaldes for emitteren (E).

Til sidst forsynes helheden med ydre tilledninger og indkapsles i et kunststof- eller metalhus.

UJT's virkemåde

Figuren viser signaturen for en UJT og et forenklet ækvivalentdiagram (erstatningsdiagram).





RB1 plus RB2 repræsenterer modstanden i basismaterialet (siliciumstaven) - RBB, og er ca. 5-10 kΩ .

Den viste diode er PN-overgangen mellem emitteren og basismaterialet.

Normalt forbindes basis 1 til minus (0), mens plusspændingen UBB forbindes til basis 2.

Dersom der ingen emitterstrøm går, fungerer silicium-staven som en simpel spændingsdeler, og en bestemt brøkdel af UBB-spændingen vil være til stede over RB1, nemlig:

$$UBB \cdot \frac{RB1}{RB1 + RB2}$$

$$Forholdet: \frac{RB1}{RB1 + RB2} \; kaldes: \; \eta \; (eta)$$

Dette giver en spænding over RB1 på UBB • η.

Er emitterspændingen UE lavere end UBB • η, vil emitter/basisdioden være forspændt i spærreretningen, og der vil kun kunne gå en lille emitterlækstrøm.

Bliver UE derimod større end UBB • η, vil PN-overgangen blive forspændt i lederretningen, og der vil gå en emitterstrøm IE.

Denne strøm består af huller, der vandrer gennem siliciumstaven til B1-elektroden, hvilket resulterer i en tilsvarende stigning i antallet af frie elektroner i emitter/basisområdet.

Resultatet af dette bliver, at modstanden mellem E og B1 falder, hvorved emitterstrømmen stiger, og spændingen mellem E og B1 falder.

Dette kaldes negativ modstandskarakteristik.

UJT's karakteristik

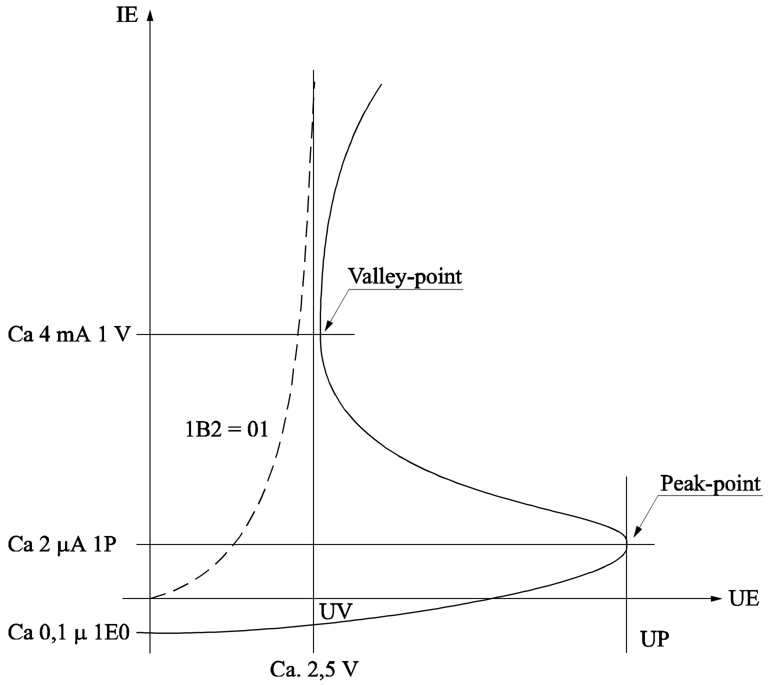
Figuren viser en emitter-karakteristik for en unijunctiontransistor.

På denne karakteristik er der to punkter med særlig interesse, kaldet "peak-point" (toppunkt) og "valley-point" (dalpunkt).

Området under peak-point kaldes cut-off området; her er emitterdioden spærret, og der løber kun en svag lækstrøm.

Området mellem peak-point og valley-point er området for negativ modstandskarakteristik.

Området over valley-point er "saturation" området (mætningsområdet), her er den dynamiske modstand positiv.



τ	Tid s	UC Volt
0	0	0
1 • RC	0,5	6,32
2 • RC	1,0	8,65
3 • RC	1,5	9,50
4 • RC	2,0	9,82
5 • RC	2,5	9,93

Det elektriske felt, der eksisterer mellem B1 og B2, har en sådan retning, at hovedparten af huller, der kommer fra emitteren, vil drives mod B1.

RB2 påvirkes dog også af hullerne, men i mindre grad end RB1, man siger, at modstanden RB2 moduleres.

Strømmen i B2 stiger altså, når der går emitterstrøm.

Den således ændrede strøm i B2 kaldes IB2 (mod), og vil ifølge det ovenstående være afhængig af IE.

Det er vigtigt at bemærke, at der ved mange anvendelser af UJT vil udvikles ret stor varme mellem E og B2, og at det derfor er klogt at anvende en strømbegrænsermodstand i serie med B2.

Modstanden i RB1 varieres som omtalt afhængigt af emitterstrømmen, hvilket ses af denne tabel.

Ordliste m.m.

Følgende ord og udtryk bruges meget i forbindelse med UJT:

"Interbase resistance (BB)" er modstanden målt fra basis 1 til basis 2 med åben emitter.

Måles med ohmmeter.

Den ændrer sig ca. 0,8 % pr. ^{o}C.

"Intrinsic stand-off ratio" er spændingsdelerforholdet i basisstangen:

$$\eta = \frac{RB1}{RB1 + RB2}$$

og ligger typisk mellem 0,5 og 0,8.

"Peak point current" (Ip), vil sige emitterstrømmen i peak point.

Den repræsenterer den mindste strøm, som er i stand til at trigge transistoren, dvs. at få den til at trække emitterstrøm.

"Peak point voltage" (Up) er spændingen på emitteren i peak point.

$$Up = \eta \cdot UBB + UD$$

Som det ses af formlen, afhænger Up af spændingen mellem baserne, η og UD.

UD (diodespændingen) er typisk ca. 0,4 V, Up falder lidt med stigende temperatur på grund af forandringen af UD, men kan stabiliseres med en lille modstand i serie med basis 2.

"Emitter saturation voltage" UE(sat) betyder spændingsfaldet over emitter/basis 1-dioden i mætningsområdet.

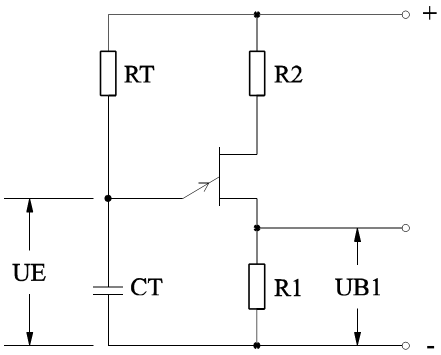
"Interbase modulated current" IB2 (mod) vil sige den effektive strømstigning mellem E og B2, når transistoren er i mætningsområdet.

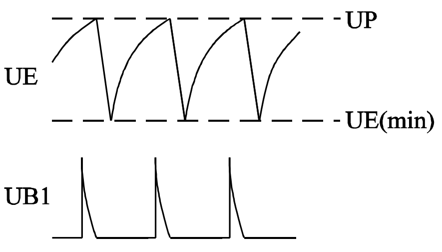
"Emitter reverse current" (IEO) er lækstrømmen i emitter/basis 1-dioden målt med basis 2 afbrudt. IEO er temperaturafhængig som ved en almindelig siliciumtransistor (eller diode).

"Valley voltage" (Uv) er emitterspændingen i valley point.

"Valley current" (Iv) er emitterstrømmen i valley point.

Relaxationsoscillator





Den mest udbredte anvendelse for UJT'en er i relaxationsoscillatoren, der anvendes mange steder såsom timerkredsløb, triggere, savtandsgeneratorer m.m.

Når denne opstilling forsynes med spænding, vil emitteren være forspændt i spærreretning og vil derfor ikke lede.

Kondensatoren CT vil nu oplades gennem RT og spændingen vil stige eksponentielt mod forsyningsspændingen U.

Når spændingen på kondensatoren og dermed emitterspændingen kommer op på Up, bliver emitter/basis 1-dioden forspændt i lederetningen og modstanden mellem E og B1 falder til lav værdi.

Kondensatoren aflades nu meget hurtigt gennem emitter/basis 1-dioden og R1.

Når spændingen over kondensatoren er faldet til en vis værdi UE(min), ophører emitteren med at lede, og processen begynder forfra.

Værdien UE(min), ligger umiddelbart under Uv.

Den frembragte frekvens er næsten uafhængig af både temperaturen og forsyningsspændingen.

Periodetiden for den frembragte frekvens kan beregnes efter følgende formel:

$$T = 2{,}3 \cdot RT \cdot CT \cdot \log \frac{1}{1-\eta}$$

Dette giver for en værdi af = 0,63 periodetiden:

$$T = RT \cdot CT$$

Dimensionering

Dimensioneringsmarginen for relaxationsoscillatoren er meget bred.

R1 kan have værdier fra under 100 Ω og op til mellem 2 og 3 kΩ .

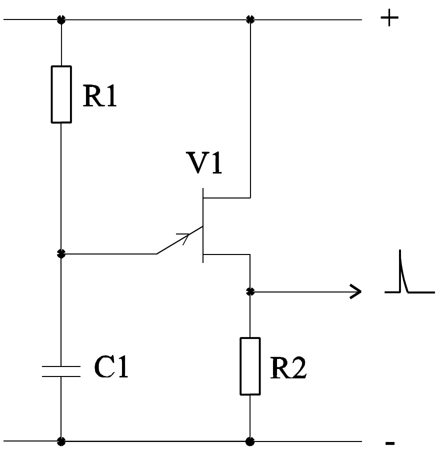
Temperaturstabiliseringsmodstanden R2 bruges typisk på 100 Ω.

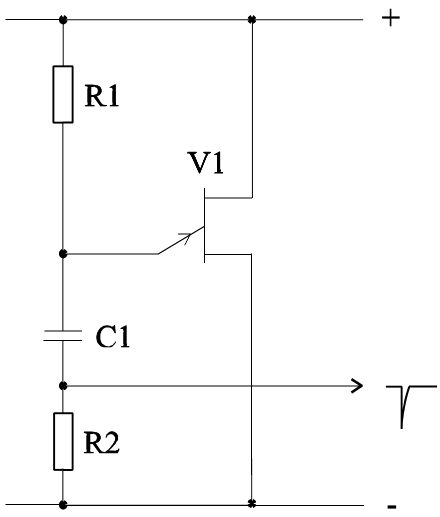
Modstanden RT skal have en værdi, der ligger mellem ca. 3 kΩ og 3 MΩ, for at opstillingen vil virke.

Forsyningsspændingen bør af hensyn til UJT ikke overstige 35 V.

Frembringelse af impulser

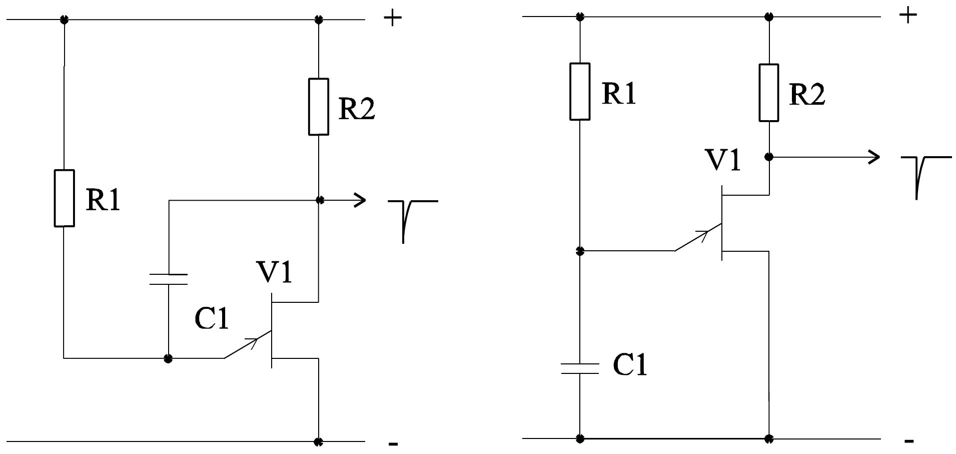
Hver gang UJT'en trigges (bliver gjort ledende), vil der gå en strømimpuls gennem emitteren, basis 1 og basis 2.



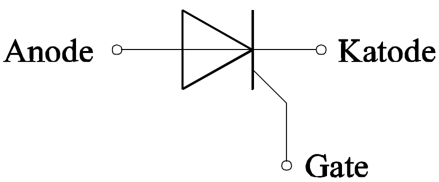


Impulsernes størrelse og polaritet kan ændres ved at omforme kredsløbet på forskellig måde.

Skitserne viser, på hvilke måder man kan udtage impulserne, og hvilken polaritet de får i hver enkelt tilfælde.



Thyristorer

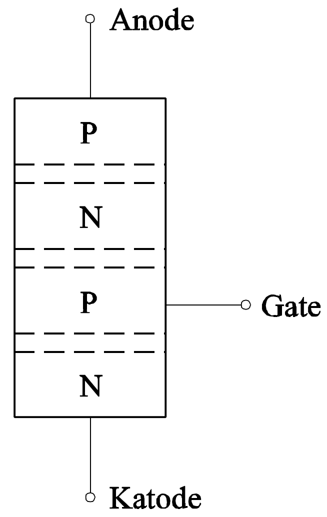


Thyristoren, på engelsk SCR = Silicon controlled rectifier, er en speciel siliciumdiode, der foruden at spærre i spærreretningen også spærrer i gennemgangsretningen, med mindre den får tilført en styreimpuls på en særlig styreelektrode.

Sker dette, vil den straks åbne for strømmen (men kun i gennemgangsretningen) og i øvrigt opføre sig næsten som en normal siliciumdiode.

Strømmen kan derefter kun afbrydes ved at afbryde hovedstrømmen eller vende hovedstrømmens polaritet.

Opbygning

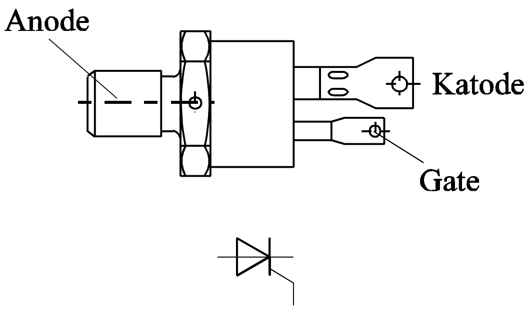


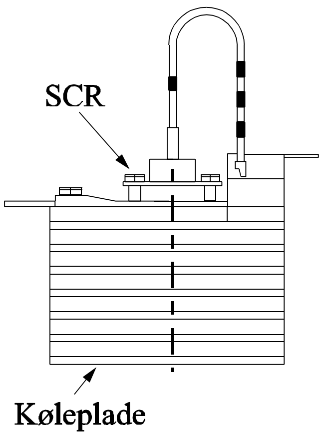
Thyristoren indeholder en siliciumskive, som er forurenet i fire zoner skiftevis P og N.

Det ydre P-lag - anoden - er forbundet med huset, mens det ydre N-lag - katoden - er forbundet til en bøjelig ledning eller lign.

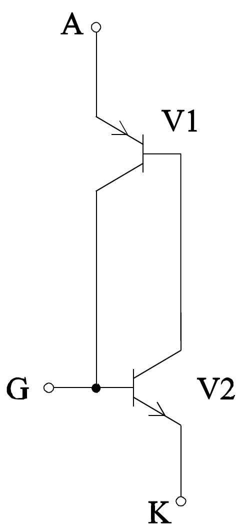
Til det midterste P-lag, styreelektroden eller gaten, fører ligeledes en ledning.

Afkøling af thyristoren sker ved hjælp af et kølelegeme.

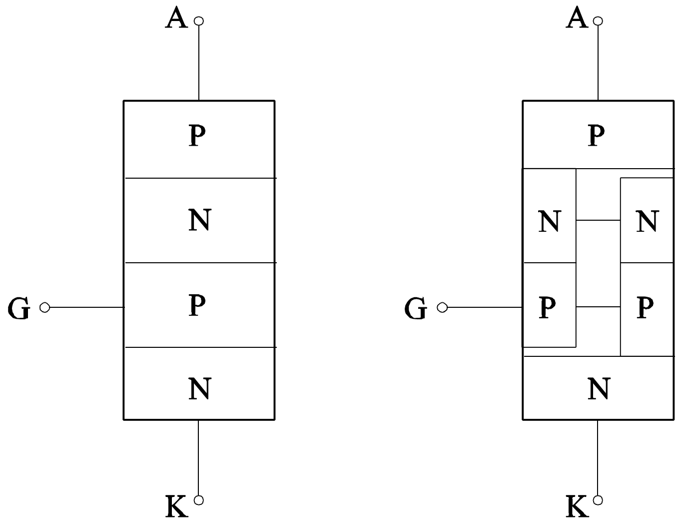




Thyristorens virkemåde

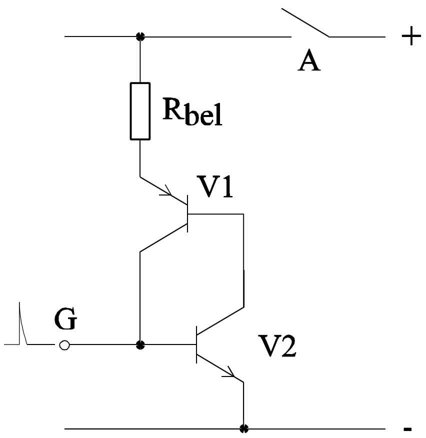


Som det ses af skitserne kan man tænke sig, at en thyristor består af to transistorer, en PNP og en NPN koblet sammen som vist.



For at forstå thyristorens virkemåde forestiller vi os den forsynet med en belastningsmodstand Rbel og tilsluttet en jævnspænding som vist.

Som det ses skal V1 have sin basisstrøm fra T2's kollektor og omvendt.



Tænker man sig nu, at V1 er OFF, vil det samtidigt betyde, at V2 også er OFF, da den ingen styrestrøm får på basis.

Thyristoren vil således virke som en åben afbryder, og strømmen i kredsløbet vil være nul.

Tilfører man nu gaten en positiv spænding, vil basis på V2 blive positiv, hvorved V2 går ON.

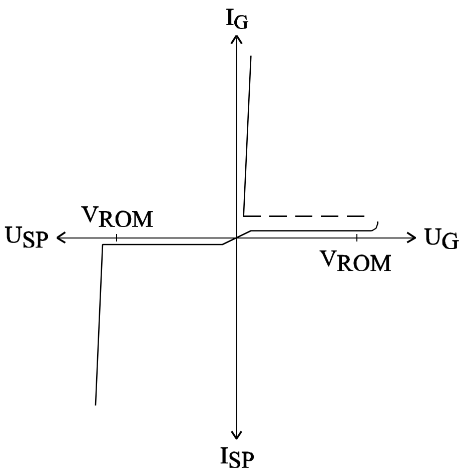
Der vil nu gå en strøm fra plus gennem Rbel - gennem V1's emitter/basis - gennem V2 og til minus. Denne strøm styrer V1 ON.

V1's kollektor leverer nu den fornødne basisstrøm til V2, og thyristoren behøver nu ikke mere den positive spænding på gaten (trigger-spænding).

De to transistorer holder hinanden gensidigt ON og kan ikke "slukkes" med en negativ impuls på gaten. For at få afbrudt strømmen, må man afbryde den i det ydre kredsløb, fx ved hjælp af afbryderen A, eller med en anden af de metoder, som senere skal omtales.

Når strømmen gennem thyristoren er afbrudt, vil begge transistorer være OFF, hvorfor thyristoren først kan tændes igen, efter man slutter kontakten A og tilfører gaten en ny triggerimpuls.

Karakteristik



For at kunne vide, hvorledes en bestemt thyristortype kan anvendes, er det nødvendigt at kende dens karakteristik og visse data.

Karakteristikken minder meget om en almindelig diodekarakteristik, dvs. at den både har en spærreretning og en gennemgangsretning.

Som det ses af karakteristikken, vil thyristoren, inden for et bestemt område, spærre både i gennemgangs- og spærreretning. Øger man spændingen over den i gennemgangsretningen med åben gate, vil thyristoren tænde af sig selv, når man overstiger en bestemt spændingsværdi (VROM) og overgå til ledende tilstand.

Tvinger man på samme måde thyristoren til at åbne i spærreretningen, vil den derimod ødelægges. Dette sker, når man overskrider en spænding, som benævnes VROM.

Ved normal brug, anvender man thyristoren ved en driftspænding, som er ca. 50 % af VROM for at hindre egen-tænding.

Trigning

For at tænde thyristoren på et ønsket tidspunkt, må gaten tilføres en positiv impuls i forhold til katoden, triggerimpulsen.

Den effekt, der skal tilføres gaten for at trigge thyristoren, er stærkt afhængig af thyristortypen.

For små impulser vil ikke kunne trigge thyristoren, mens for store impulser vil ødelægge thyristoren.

Ved mindre thyristorer, som ønskes trigget med vedvarende DC, kan værdierne for gatestrøm (IGT) og gatespænding (VGT) fx være:

IGT = 10 mA

VGT = 0,7 V

Samtidig skal thyristoren, som tidligere nævnt, være forspændt med anoden positiv i forhold til katoden.

Fra det øjeblik thyristoren modtager triggerimpulsen og til det øjeblik, hvor thyristoren er tændt, går der en kort tid, den såkaldte "Turn-on Time" (ton).

Denne tid er af størrelsesordenen ca. 1 µs.

Holdestrøm

En thyristor kan ikke slukkes med styreimpulser på gaten.

Slukning kan kun ske ved at strømmen i anode/katodekredsen kommer under en bestemt værdi, kaldet holdestrømmen (IHO).

Holdestrømmen kan ved mindre thyristorer være på ca. 10 mA.

Fra det øjeblik strømmen kommer under IHO, og til thyristoren er helt slukket, går der en kort tid, den såkaldte "Turnoff Time" (toff) eller slukketid.

Slukketiden er ved mindre thyristorer af størrelsesordenen ca. 15 µs.

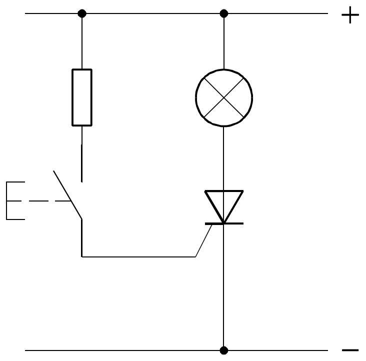
Thyristoren tilsluttet jævnspænding

Thyristoren kan i jævnstrømskredse bruges som kontaktløs afbryder eller relæ, fx til ind- og udkobling af store effekter.

Thyristor-tændmetoder

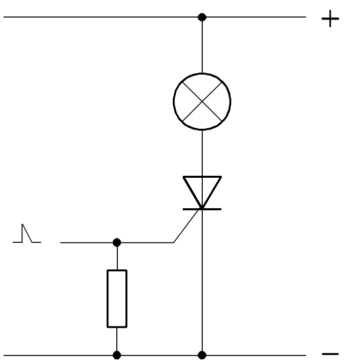
Til at få thyristoren tændt ("trigget") kan man benytte flere forskellige metoder; men virkningen af dem alle er, at gaten gøres positiv i forhold til katoden.

Den enkleste metode er den her viste, hvor man tilfører gaten en positiv spænding igennem en begrænsermodstand.

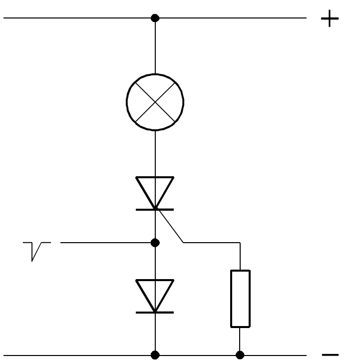


Thyristoren kan også trigges med en positiv impuls på gaten.

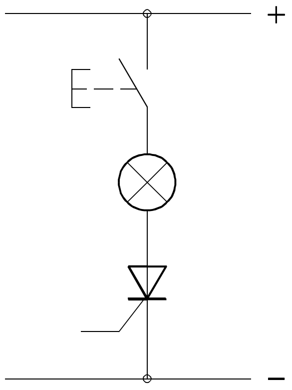
Hvorledes impulsen kan frembringes vises senere.



Ønsker man at trigge thyristoren med en negativ impuls, kan man benytte sig af den viste opstilling, hvor impulsen indføres på katoden.



Thyristor-slukkemetoder (OFF-metoder)



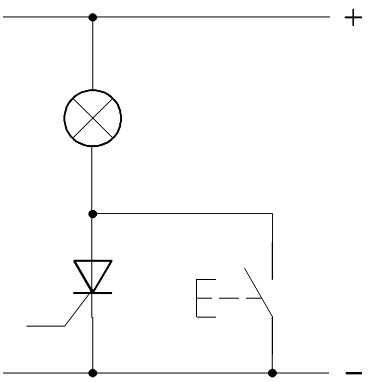
Når thyristoren skal "slukkes", kan dette ske ved at afbryde strømmen igennem den, i dette tilfælde med den viste kontakt A.

Thyristoren vil da først tænde igen, når den modtager ny impuls på gaten, efter at kontakt A atter er sluttet.

Denne metode indebærer, at kontakten A må kunne føre hele belastningsstrømmen.

Man kan også "slukke" thyristoren ved kortvarigt at kortslutte den.

Derved ledes forbrugerstrømmen uden om thyristoren, og strømmen gennem den falder til under IHO.

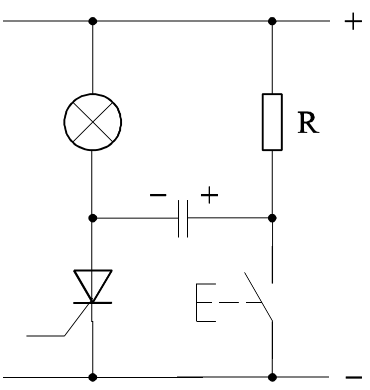


Man kan endvidere "slukke" en thyristor med en kondensator som vist på den nederste skitse.

Når lampen er tændt, vil kondensatoren oplades til forsyningsspændingen gennem modstanden R.

Kondensatorens polaritet bliver som vist med plus på højre plade og minus på venstre.

Når kontakten sluttes, vil kondensatoren forbindes parallelt med thyristoren.



Som det ses, vil thyristoren derved blive forkert forspændt af kondensatoren, hvorfor den vil gå OFF.

Mindsteværdien for kondensatoren kan beregnes efter følgende formler:

$$C = \frac{1{,}5 \cdot toff \cdot I}{U} \ (\mu F) \ \textit{for ohmsk belastning}$$

$$C = \frac{toff \cdot I}{U} \ (\mu F) \ \textit{for induktiv belastning}$$

- hvor toff er thyristorens slukketid (typisk 15 µs), I er strømmen i A, og U er spændingen i V.

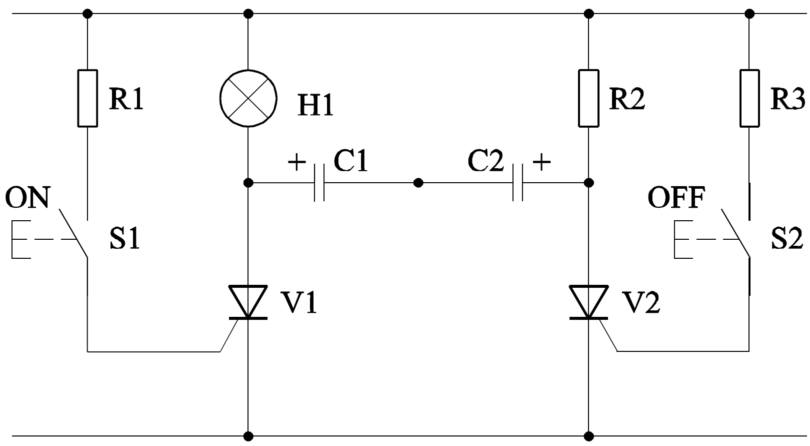
Slukkethyristor

En yderligere mulighed er at slukke hovedthyristoren V1 med en slukkethyristor V2, samt kondensatorerne C1 og C2.

For at sikre en korrekt funktion af kredsen, må man hindre, at V1 og V2 kan stå tændt samtidig.

Dette gøres ved at vælge R2 så stor, at strømmen gennem V2 holdes under IHO.

Dersom belastningen H1 er forholdsvis stor, kræves der en ret stor kondensator for at slukke V1.



I det viste eksempel er den fornødne kapacitet opnået ved at forbinde to elektrolytkondensatorer i antiserie-kobling

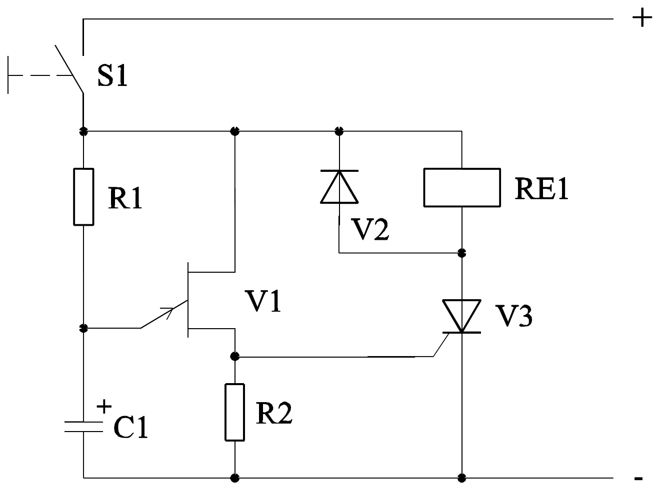
Tidsforsinkelse

Diagrammet viser, hvorledes et indkoblingsforsinket tidsrelæ kan opbygges med en UJT (V1), en thyristor (V2) og et relæ.

Når kontakten S1 sluttes oplades C1 gennem R1.

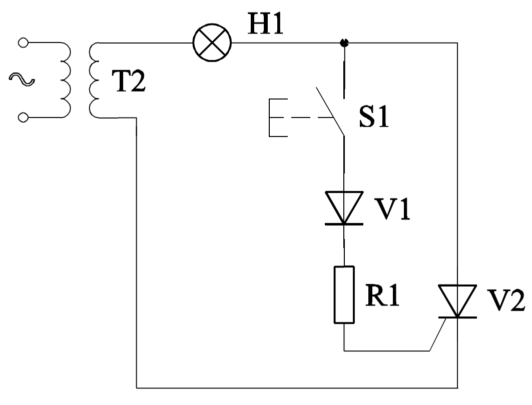
I det øjeblik hvor C1 er opladet til Up, vil UJT åbne og afgive en trigger-impuls til thyristoren, der aktiverer relæet.

Dersom relæets strøm er større end IHO, forbliver relæet aktiveret, til S1 afbrydes.



Thyristoren tilsluttet vekselspænding

Figuren viser, hvorledes thyristoren kan foretage en halvbølgestyring.



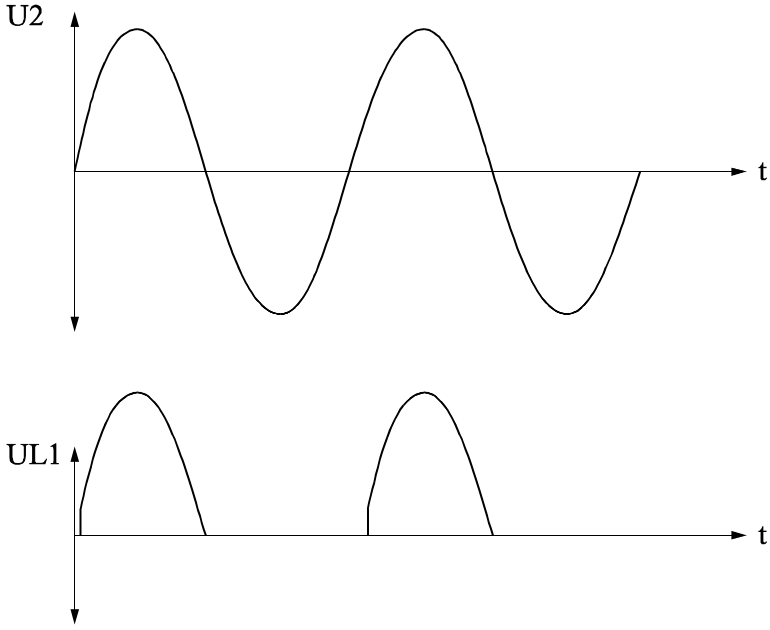
Dioden skal sørge for, at gaten kun tilføres de positive triggerimpulser.

Herved undgås unødig varmeudvikling i gate-kredsen under de negative halvbølger.

Thyristoren slukkes af forsyningsspændingen, idet denne passerer nulpunktet.

Når man betragter belastningens spændingskurver (UL1), ses et lille hak i kurvens forkant.

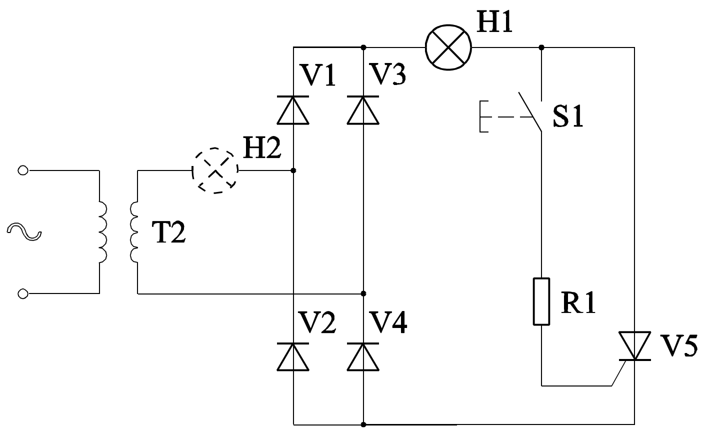
Det skyldes den lille tidsforsinkelse, der optræder, fra netspændingens nulværdi til thyristoren bliver trigget.



Helbølgestyring

Figuren viser den grundlæggende opbygning af en helbølgestyring.

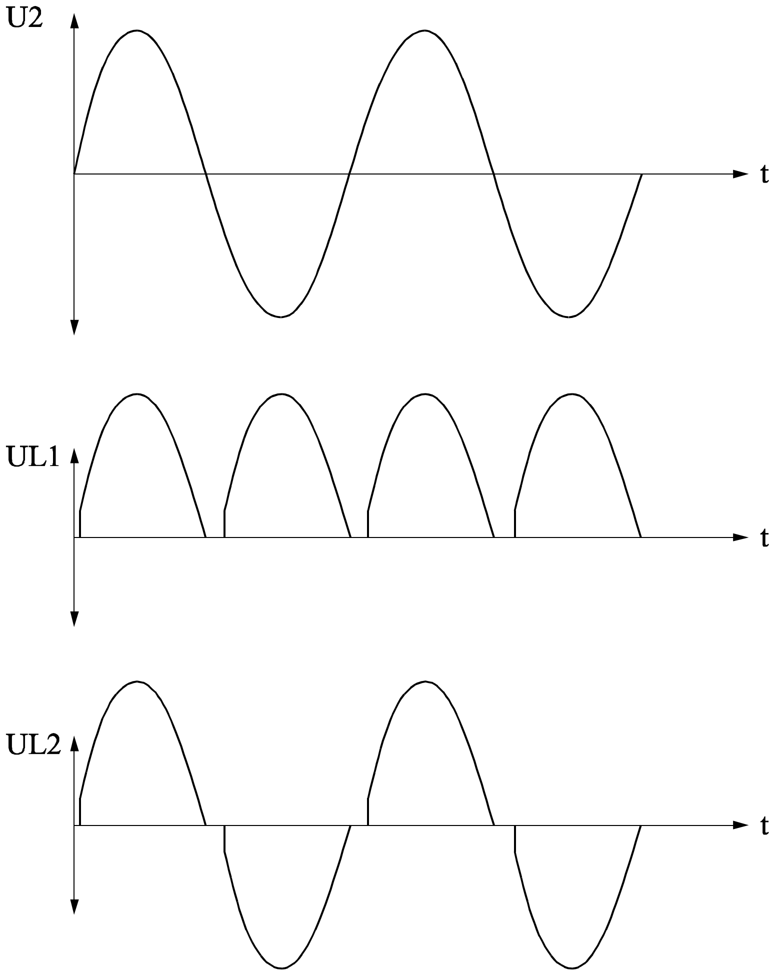
Forsyningsspændingen ensrettes først af brokoblingen bestående af dioderne V1-V4.



Herefter kan thyristoren nu foretage styringen af begge halvbølger.

Det bør bemærkes, at belastningen H1 gennemløbes af en jævnstrøm.

Placeres belastningen som H2 viser, vil den gennemløbes af en vekselstrøm.

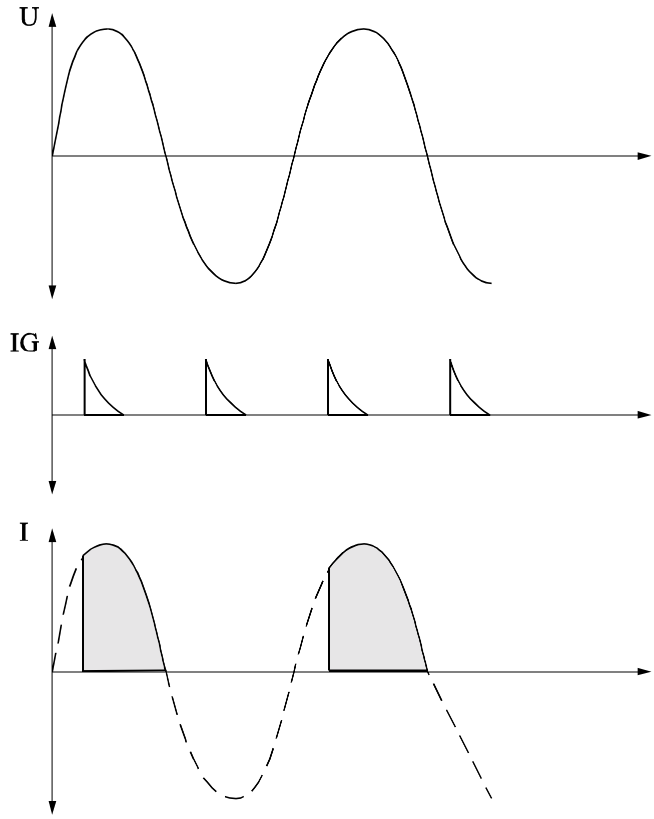


Impulsstyret thyristor

En mere almindelig anvendelse for thyristoren er dog i forbindelse med impulsstyring. Styreimpulserne frembringes i en trigger-enhed, der synkroniseres med netspændingen.

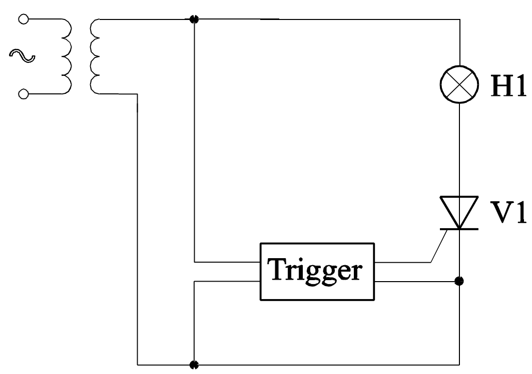
Triggeren kan frembringe styreimpulserne på forskellige tidspunkter i forhold til netfrekvensen.

Ved at variere tændimpulsens fasebeliggenhed i forhold til nettets sinuskurve, kan man udnytte en større eller mindre del af sinuskurven.



Det udnyttede areal ses her skraveret.

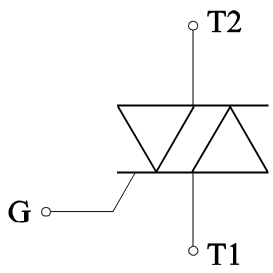
Princippet kaldes fasestyring.



Anvendelse

Thyristoren anvendes til en mængde formål, fx trinløs regulering af motorer, varmebelastninger, belysningsanlæg og vekselrettere.

Triac



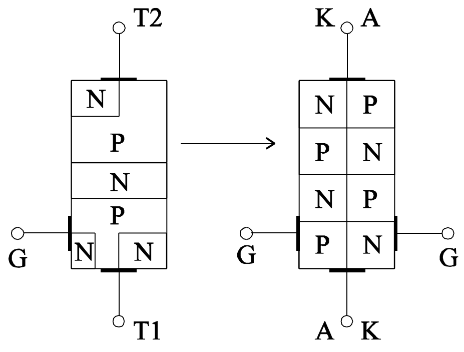
Triac er navnet på en halvlederkomponent med tre elektroder, som er i stand til at lede en vekselstrøm, når den trigges på gaten med et signal, på lignende måde som ved thyristoren.

Den afviger fra thyristoren deri, at den kan lede strøm i begge retninger og kan trigges med både et positivt og negativt gate-signal.

Det primære mål, der har ligget til grund for udviklingen af triac'en, var at tilvejebringe enklere midler til styring af effekt på vekselstrømsanlæg.

Tidligere har man til dette brug anvendt thyristorer; men brugen af disse har i mange tilfælde givet problemer, såsom pris, størrelse, komplicerede trigger-kredsløb og pålidelighed.

Struktur



Som det ses af skitsen, er krystalopbygningen ret kompliceret, men nærmere betragtet består triac'en af to komplementære thyristorer, der er kombineret til en enhed.

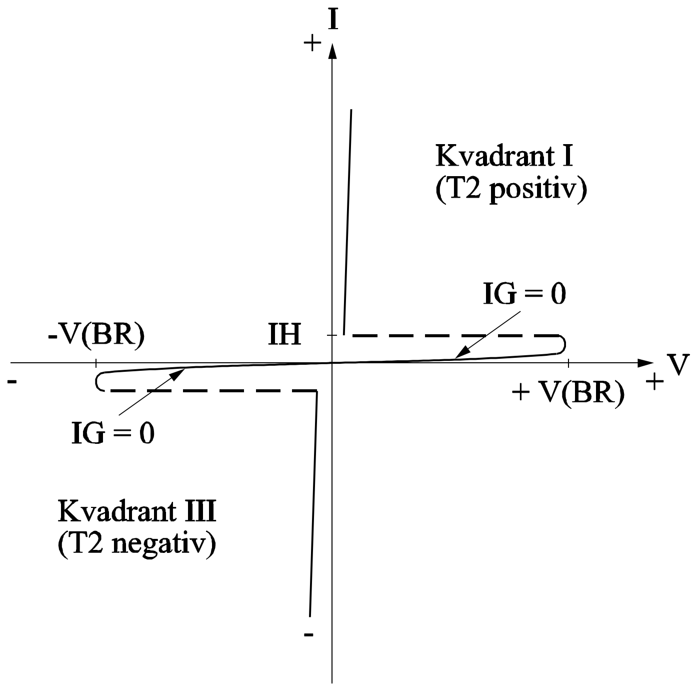
Komplementære vil sige en PNPN og en NPNP med tilsvarende data. Den ene vil derfor lede den positive halvperiode og den anden den negative.

Gate-terminalen er arrangeret således, at den har forbindelse til både et P- og et N-lag, hvilket muliggør trigning med både positive og negative impulser.

Da man ikke kan anvende betegnelserne anode og katode ved en triac, kaldes hovedterminalerne henholdsvis T1 og T2.

Karakteristik

Den viste AC volt/ampere karakteristik for en triac er baseret på terminal V1 som referencepunkt.



Første kvadrant er området, hvor T2 er positiv i forhold til T1 og omvendt i tredie kvadrant.

Karakteristikken viser, at dersom spændingen mellem T1 og T2 bliver høj nok, tænder triac'en uden signal på gaten.

Den spænding, der får dette til at ske, kaldes gennembrudsspændingen (breakover-voltage) UBR eller VBR.

For at sikre en normal funktion med gatestyring af triac'en, må maksimalværdien af netspændingen ligge under gennembrudsspændingen.

Dersom der optræder spændingsspidser (transienter) på nettet, kan triac'en tænde sig selv uden signal på gaten.

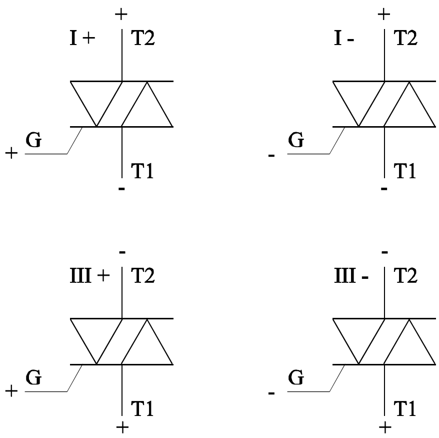
Derved beskytter den sig selv, men kan til gengæld indkoble belastningen på et uønsket og farligt tidspunkt.

Gate-styring

Da triac'en kan trigges med både positiv og negativ gatestrøm i både første og tredie kvadrant, er der mulighed for en lang række styremetoder.

Trigning kan således ske med jævnspænding, vekselspænding eller impulser fra UJT, glimlamper, diac mv.

Trigge-måder



Trigge-måderne for en triac er følgende:

I + i første kvadrant med positiv gatestrøm

II - i første kvadrant med negativ gatestrøm

III + i tredie kvadrant med positiv gatestrøm

III - i tredie kvadrant med negativ gatestrøm

Triac'ens følsomhed er størst ved trigge-måderne I + og III -, lidt mindre ved I - og meget mindre ved III +.

Trigge-måden III + bør derfor ikke bruges, med mindre særlige forhold gør det nødvendigt.

I sådanne tilfælde må man udvælge særlige triac's til brugen.

Slukning

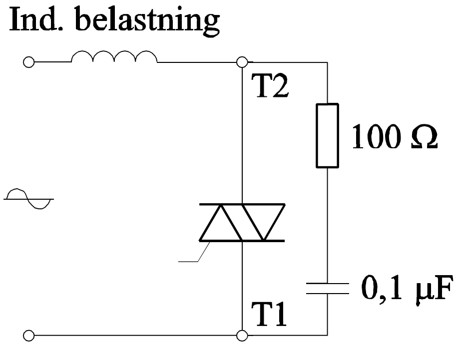
Triac'en går OFF (slukker), når strømmen gennem den falder under en vis mindsteværdi, som kaldes holdestrømmen. I praksis sker det, når sinuskurven passerer nulpunktet.

Da dette er et meget kort tidsrum, er det kun muligt at anvende de nu eksisterende triac's ved frekvenser op til ca. 60 Hz.

Triac'ens evne til at kunne slukke er stærkt afhængig af temperaturen i krystallet.

Dersom en triac ikke vil slukke, når dens gatestyring fjernes, er det et tegn på, at dens krystaltemperatur har været over det tilladelige.

Induktive belastninger



Induktive belastninger giver specielle problemer i forbindelse med triac's, størst med slukning af triac'en.

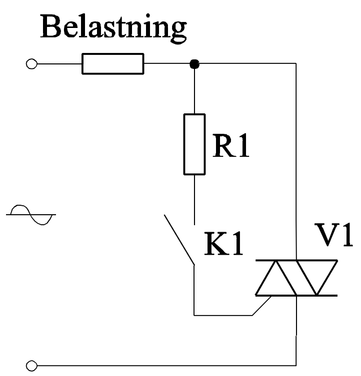
Ved induktive belastninger ligger strømmen jo faseforskudt efter spændingen og opnår nulværdi på et tidspunkt, hvor spændingen har antaget en værdi med modsat polaritet.

For med sikkerhed at få triac'en slukket, må man begrænse spændingsstigningen over den med en kondensator.

Det er nødvendigt at serieforbinde kondensatoren med en modstand for at undgå, at der i forbindelse med kondensatoren opstår uønskede svingninger.

Ved de fleste induktive belastninger vil en kondensator på 0,1 µF og en modstand på 100 Ω være passende. Disse serieforbindes med hinanden og tilsluttes derefter parallelt over triac på terminalerne T1 og T2.

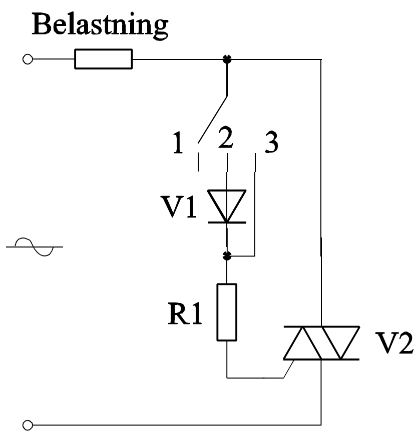
Statisk kontakt



Dersom triac'en skal bruges som statisk kontakt, fx til indkobling af store varmebelastninger, kan man anvende den viste kobling.

Modstanden i gatekredsen sikrer, at gatestrømmen begrænses til en tilladelig værdi.

3-trins-regulering



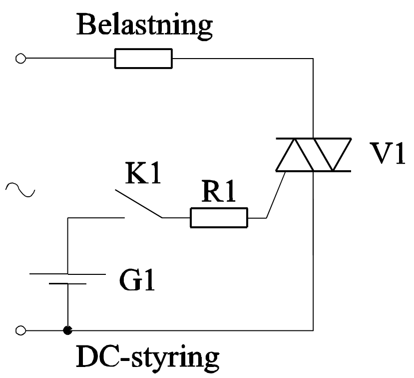
Med den her viste opstilling opnår man en reguleringsmulighed med enkle midler.

Når omskifteren står i stilling 1, trigges triac ikke, og strømmen til belastningen er afbrudt.

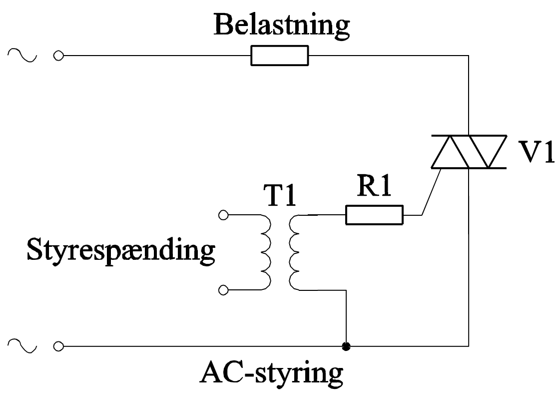
Med omskifteren i stilling 2, vil kun de positive halvbølger kunne passere dioden og trigge triac'en, hvorved belastningen kun modtager den ene halvbølge.

I stilling 3, trigges triac'en i begge halvperioder, og belastningen er fuldt indkoblet.

Fremmed styrespænding



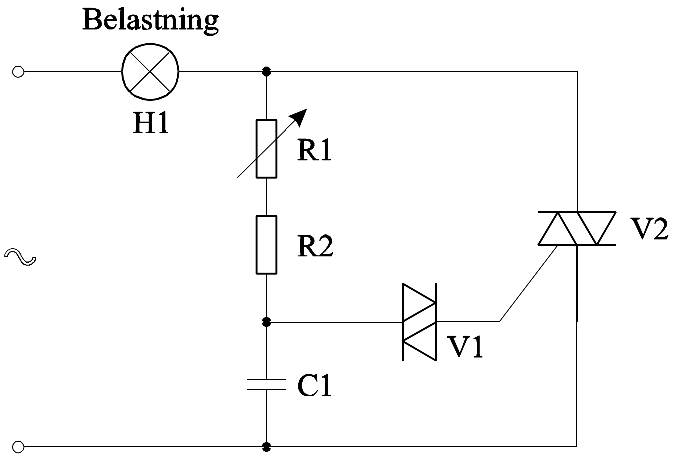
I visse tilfælde er det formålstjenligt at trigge triac'en med en fremmed styrespænding. Figurerne viser, hvorledes dette kan lade sig gøre.



Anvendes til at opnå en lyseffekt i forbindelse med et musikanlæg.

Fasestyring

Diagrammet viser den grundlæggende opstilling for en fasestyring.



Den består foruden belastningen af triac (V2), diac (V1), kondensator (C1), modstand (R2) og potentiometer (R1).

Under hver halvlederperiode bliver kondensator C1 opladet gennem R1 og R2.

Så snart kondensatorens spænding når op på diac'ens gennembrudsspænding UBR (kipspænding), vil kondensatoren sende en strøm gennem diac'en og til gaten på triac'en.

Herved starter strømmen gennem triac'en og dermed gennem belastningen.

Når strømmen omkring halvbølgens slutning er faldet under triac'ens holdestrøm, blokerer triac'en for strømgennemgang, indtil den påny bliver trigget på gaten.

Jo lavere modstandsværdi, der er indstillet på R1, jo tidligere opnår kondensatoren kipspændingen. Lampen tændes på et tidligere tidspunkt, og dens lysstyrke stiger.

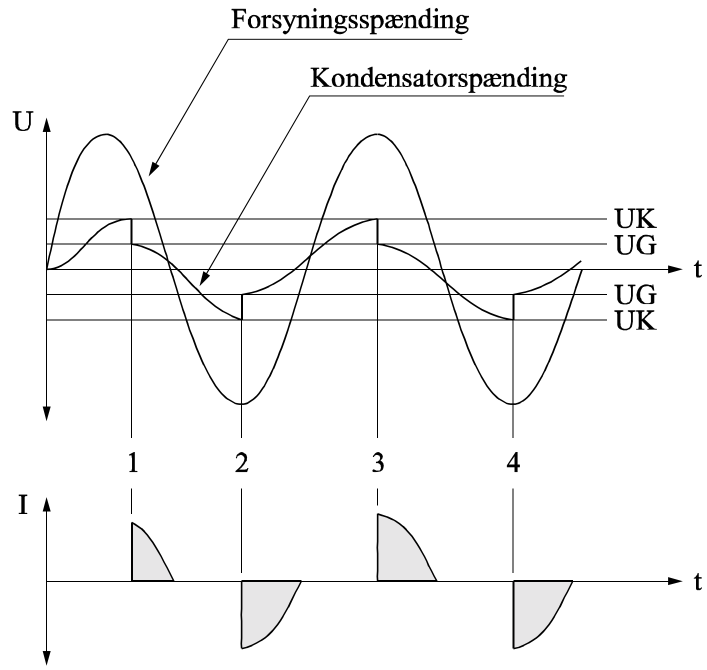
Opstillingen har en ulempe. For at man overhovedet opnår kipspændingen første gang, må R1 indstilles på en forholdsvis lav modstandsværdi.

Når strømmen gennem triac starter, aflades kondensatoren med forskellen mellem kipspændingen (UK) og diac'ens gennemgangsspænding (UG).

Derfor vil omladningen af kondensatoren fremskyndes.

Den næste halvbølges kipspænding vil således opnås på et tidligere tidspunkt. Man kan som følge heraf ikke direkte indstille triac'en således, at man opnår en lav lysstyrke på lampen.

Kurverne viser sammenhængen mellem forsyningsspændingen, kondensatorspændingen samt strømmen gennem belastningen.



Man tænker sig, at spændingen tilsluttes ved kurvens begyndelse.

Kondensatorspændingen begynder at stige fra nul.

I tidspunkt 1 nås diac'ens kippunkt (UK).

Derved skifter diac'en til sin noget lavere gennemgangsspænding (UG) og derved aflader kondensatoren til diac'ens gennemgangsspænding.

Samtidig startes strømmen gennem triac.

Idet kondensatorspændingen falder fra UK til UG, har den allerede nærmet sig den modsatte diac-kipspænding.

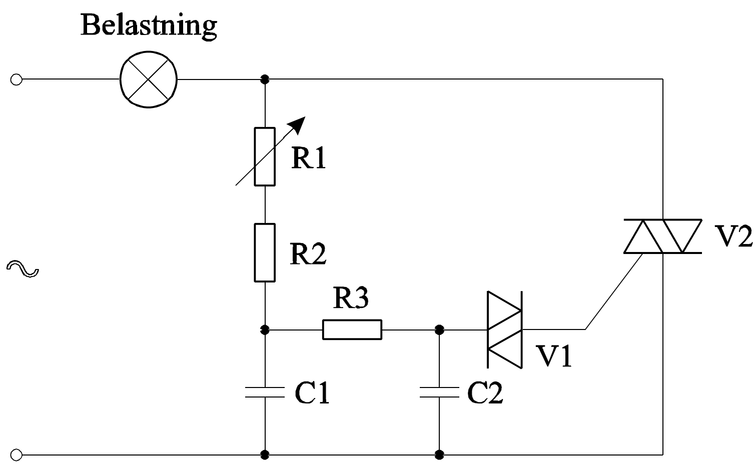
Derfor nås denne kipspændingsværdi allerede inden, der er forløbet en halvperiode.

Som følge heraf kommer det allerede på tidspunkt 2, til en ny trigning af triac'en, hvilket giver en større varighed af strømmen gennem belastningen.

Fra nu af kipper diac'en efter nøjagtig en halvperiodes forløb. Nu kan lampen nedreguleres til en lavere lysstyrke på R1. Denne pludselige igangsætning med stor lysstyrke, kaldes hysterese-effekt eller "snap-on" effekt. Den finder man uheldig ved lysdæmpere (dimmere), idet man helst vil have en blød overgang fra mørke til lys.

To tidskonstanter

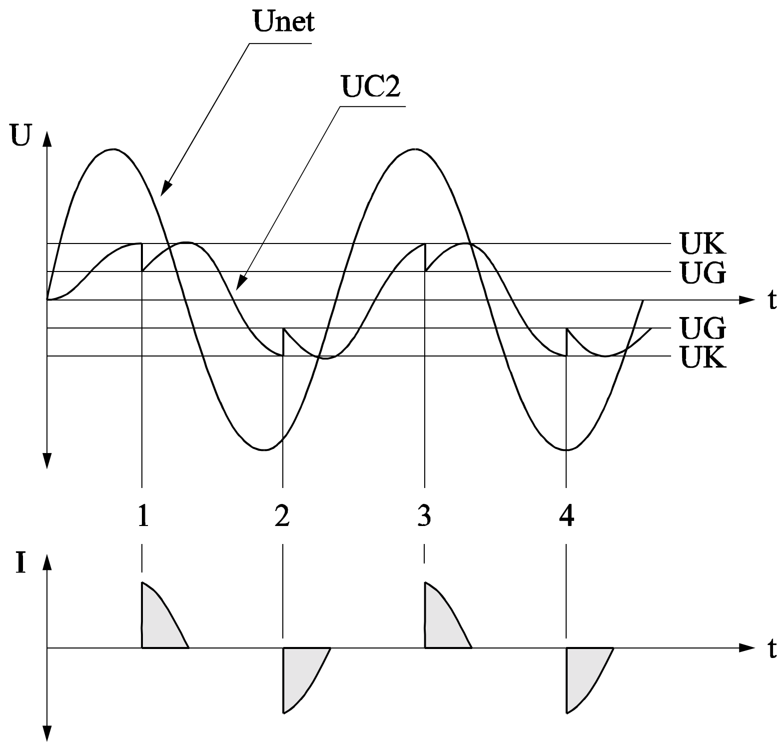
For at bedre på dette forhold, indsætter man endnu et RC-led, og får derved et kredsløb, man kalder "kobling med to tidskonstanter".



Man opnår herved en efterladning af C2 ved hjælp af C1, efter at C2 har foretaget sin del-afladning.

Kondensator C1 bliver ikke påvirket i det øjeblik, at diac'en kipper; dette forhindres af R3.

Umiddelbart efter, at C2 er blevet delafladet, afgiver C1 en ladestrøm til C2, hvorved spændingsforløbet bliver, som kurverne viser.



Resultatet er, at man nu kan starte lampen "blødt" op helt nede fra.

Radiostøj

Ethvert strøm- eller spændingsforløb, der afviger fra den rene sinuskurve, indeholder strøm- eller spændingskomponenter af højere frekvenser. Jo stejlere forløbet er, jo højere er frekvenserne, som er til stede.

Når en mekanisk kontakt tændes, stiger strømmen meget pludseligt, dvs. stor stejlhed fra nul til normalstrømmen. Derved opstår et "kontaktknæk", der kan høres i en radio helt op i UHF-området (100 MHz).

Denne enligt forekommende støjimpuls anser man kun som lidt generende. Derfor undlader man at radiostøjdæmpe mekaniske kontakter.

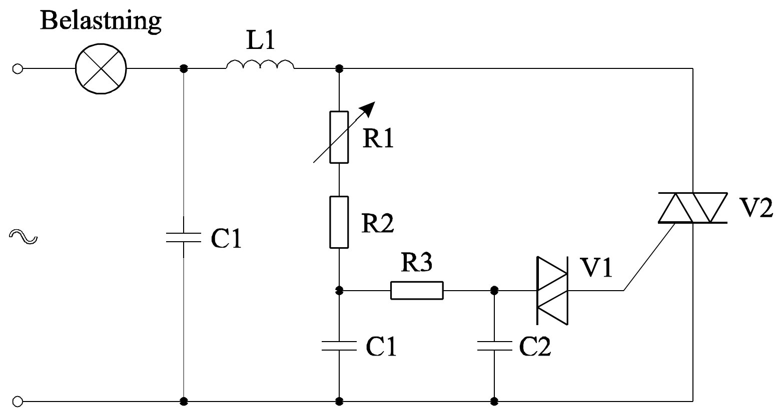
Halvlederkomponenter som fx triac's frembringer ikke så stejle strøm- og spændingsstigninger som mekaniske kontakter.

De støjsignaler, som de frembringer, breder sig derfor ikke så vidt som til UHF-området.

Derimod skal en triac påny tændes i hver halvperiode.

I modsætning til den mekaniske afbryder, der kun frembringer en enkelt støjimpuls ved tænding, vil en triac ved 50 Hz blive indkoblet 100 gange pr. sek. og derfor frembringe vedvarende støj.

Den væsentligste foranstaltning til undertrykkelse af støjspændingerne er at forbinde en drosselspole i serie med strømkredsen. Drosselspolen mindsker strømstigningens stejlhed og modvirker dermed årsagen til, at støjen opstår.

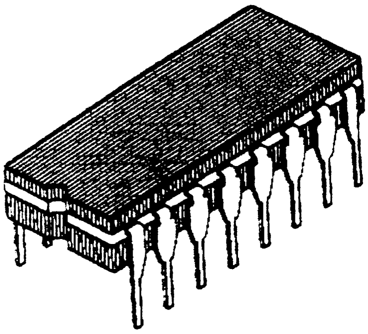


Denne drosselspole (L1) danner sammen med støjdæmpningskondensatoren (C1) en frekvensafhængig spændingsdeler.

Komponenterne C1 og L1 skal tilpasses efter belastningens størrelse og art.

Ved store effekter vokser støjsignalerne, hvorfor man her må anvende mere komplicerede støjfiltre.

Integrerede kredse



Til styringsanlæggene til rumforskningssatellitter måtte man af plads- og vægtmæssige hensyn udvikle særligt små elektroniske enheder, de såkaldte integrerede eller IC-kredse.

Fremstillingsmåder

Denne mikro-elektronik spænder over flere områder, hvoraf de vigtigste er:

"Solid State"-teknikken, hvor man sammenbygger de nødvendige komponenter, såsom modstande, dioder, transistorer m.m. til en lille kompakt blok.

"Tyndfilmsteknikken", hvor hele kredsløbet opbygges ved at udfælde metal-, isolations- og halvlederlag på en basisplade - det såkaldte substrat.

DC-forstærkere

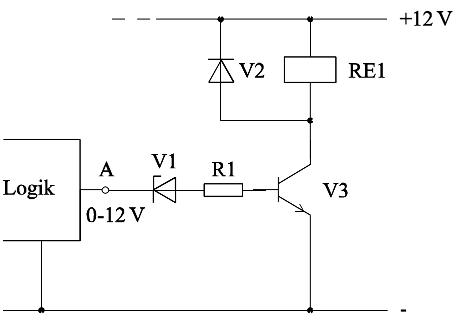
Transistorens egenskaber som forstærker udnyttes i DC-forstærkere til målebrug samt til styre- og reguleringsformål. Desuden anvendes transistoren som AC-forstærker i samtaleanlæg, antenneanlæg, radio, TV mv. Her skal kun omtales DC-forstærkere.

I forbindelse med elektroniske styringsanlæg finder man DC-forstærkere efter logikdelen som udgangsforstærkere, også kaldet driverkredse.

Desuden forekommer DC-forstærkerne i signaltilpasningen til logikken som følerforstærkere.

Som følerforstærkere anvendes også et kredsløb, der benævnes Schmitt-trigger, og som skal gennemgås i afsnittet om multivibratorer.

Driverforstærker



En typisk anvendelse for en DC-forstærker er som drivertrin efter logikkredse.

Tænker vi os, at logikkredsen afgiver et signal på 12 V og kan belastes med ca. 1 mA, vil det jo ikke være muligt at aktivere et relæ direkte. Dette muliggøres imidlertid som vist.

Dersom R1 beregnes af hensyn til logikkredsen, fås:

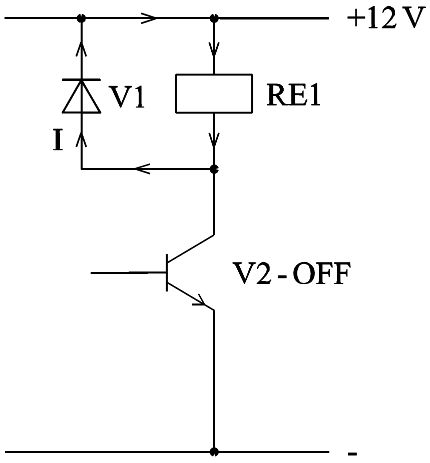
$$R1 = \frac{U_{ind} - UBE1}{IB1}$$

$$R1 = \frac{12 - 0,7}{1} = \underline{\underline{11,3 \ dvs. \ 12 \ k\Omega}}$$

Dersom transistorens strømforstærkning hFE1 = 200, kan drivertrinnet aktivere et relæ med et spoleforbrug på:

$$IC1 = IB1 \cdot hFE$$

$$IC1 = 1 \cdot 200 = \underline{\underline{200 \ mA}}$$



Dioden V1 er en såkaldt beskyttelsesdiode.

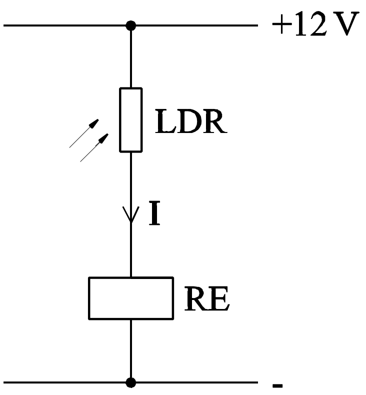
Når transistoren styres OFF, vil der i relæspolen opstå selvinduktionsspænding E, idet relæspolen søger at opretholde en strøm med den oprindelige retning.

Denne selvinduktionsspænding kan let blive så stor, at transistoren ødelægges.

Ved at forbinde V1 parallelt med relæspolen som vist, får spolen mulighed for at udlade sin energi i den viste kreds, hvorved E ikke opnår nogen farlig værdi.

Andre metoder til at beskytte transistoren er at parallelforbinde relæspolen med et RC-led eller med en VDR-modstand.

Følerforstærkere



For at vise princippet i en følerforstærker, skal der i det efterfølgende vises nogle forenklede kredsløb, der direkte kan aktivere et relæ.

En LDR-modstand, der i mørke har modstanden R mørk = ca. 10 MΩ og ved normal belysning R lys = ca. 500 Ω, skal aktivere et relæ med et spoleforbrug på ca. 100 mA og en spolemodstand på ca. 120 Ω ved en forsyningsspænding på 12 V.

Ved mørke bliver strømmen i kredsen:

$$Imørk = \frac{U}{Rmørk + Relæ}$$

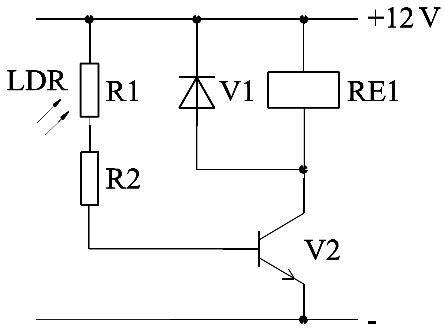
$$Imørk = \frac{12}{10.000 + 0{,}12} = \underline{\underline{0{,}01\ mA}}$$

Ved belysning bliver strømmen:

$$Ilys = \frac{U}{Rlys + Rrelæ}$$

$$Ilys = \frac{12}{0{,}5 + 0{,}12} = \underline{\underline{19{,}4\ mA}}$$

Relæet kan altså ikke aktiveres direkte af det svage følersignal.



Derfor indskyder man føleren i en transistors basis-kreds.

Som det ses, er der yderligere indskudt en fast modstand - R2 for at beskytte transistorens basis. Endvidere er relæet parallelforbundet med beskyttelsesdioden - V1.

Antages transistorens strømforstærkning af være hFE = 50, kan vi beregne strømmen gennem relæspolen ved lys og mørke.

Ved mørke:

$$Irelæ = IB \cdot hFE$$

$$Irelæ = 0{,}0012 \cdot 50 = \underline{\underline{0{,}06\ mA}}$$

Ved lys:

$$Irelæ = \frac{U}{Rrelæ}$$

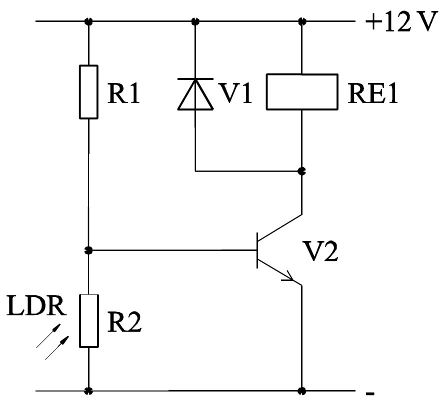
$$Irelæ = \frac{12}{0{,}12} = \underline{\underline{100\ mA}}$$

- idet vi ser bort fra spændingsfaldet over transi-storen.

Relæet aktiveres, når basisstrømmen er:

$$IB = \frac{IC}{hFE}$$

$$IB = \frac{100}{50} = \underline{\underline{2\ mA}}$$

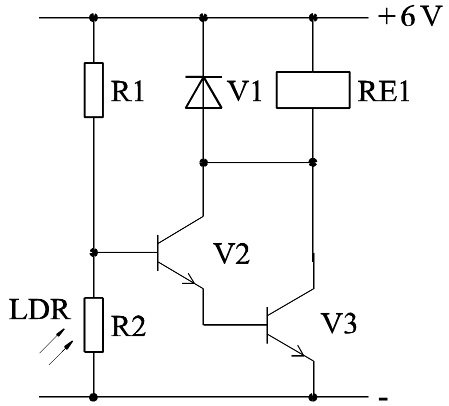


Selv om basisstrømmen stiger over den værdi, vil kollektorstrømmen stadig være 100 mA, idet den begrænses af relæspolens modstand.

Relæet aktiveres altså ved lys.

Anbringer man LDR-modstanden i en spændingsdeler, sammen med en fast modstand-R1, vil transistoren styres af spændingen over LDR-modstanden.

Ved lys er modstanden i LDR lav, og dersom spændingen over den er væsentligt mindre end 0,7 V, er relæet uaktiveret.

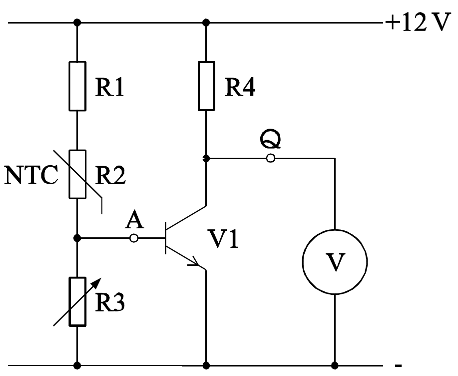


Ved mørke stiger modstanden i LDR, og når spændingen over den er ca. 0,7 V, vil transistoren trække basisstrøm og som følge deraf kollektorstrøm, hvorved relæet aktiveres.

Ved denne forstærker har man anbragt føleren foran en Darlingtonkobling.

Når spændingen over R2 ved mørke bliver ca. 1,4 V trækker V2 basisstrøm og styrer V3, der aktiverer relæet.

Indgangsforstærkere



Skal DC-forstærkeren bruges som følerforstærker foran et logikanlæg, kan den se ud som på skitsen.

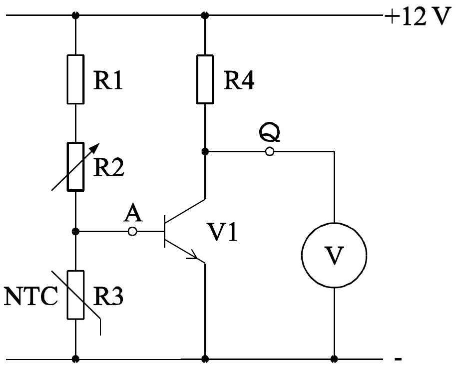
Med potentiometret R3 kan man justere forstærkerens arbejdsområde.

Voltmetret viser forstærkerens udgangsspænding - U_{ud}.

Ved opvarmning falder modstanden i NTC, transistoren trækker mere basis- og kollektorstrøm, og U_{ud} falder.

R1 skal modvirke egenopvarmning af NTC.

Omvendt funktion



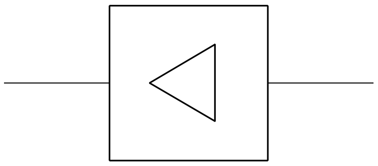
Arrangerer man forstærkeren som vist her, vil udgangsspændingen stige, når NTC opvarmes.

Denne forstærker kan således, foruden at gøre et svagt signal stærkere, også drive et måleinstrument, der så kan være forsynet med en temperaturskala.

Justeringen sker med R2.

De her viste DC-forstærkere har den svaghed, at udgangssignalet afhænger af transistorens indre temperatur.

Forstærkere for følere



Forstærkere tilpasset forskellige føleorganer fremstilles som færdige moduler - med eller uden indbygget relæ.

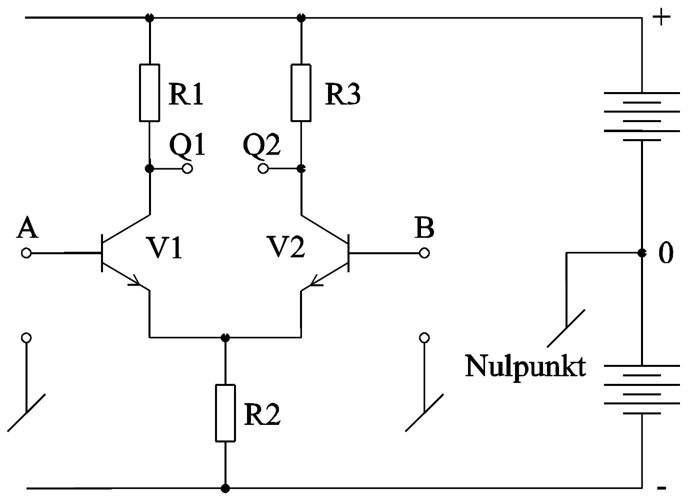
Forstærkerens udgange er, hvor relæet ikke er indbygget, ofte udført med åben kollektor, dvs. udgangstransistorens kollektor føres ud uden kollektormodstand.

Differentialforstærker

Ved følerforstærkere for små signaler, og på steder, hvor der kræves stor stabilitet over for temperaturvariationer samt ændringer i forsyningsspændingen, anvender man ofte differentialforstærkeren.

Den er opbygget af to transistorer, der har samme data, og som ofte er anbragt i samme hus eller på samme køleplade. Normalt er transistorerne forbundet som vist på nedenstående skitse.

Det ses her, at man anvender fælles emittermodstand - R2; desuden anvender man både positiv og negativ forsyningsspænding.



Forsyningens midtpunkt er differentialforstærkerens nulpunkt.

Årsagen til, at man anvender både positiv og negativ forsyningsspænding er bl.a., at man herved kan få en spænding på basis, der ligger omkring nul volt, hvilket ofte er praktisk.

Forudsat, at de to transistorer har samme data, og spændingen på de to baser er ens, fx nul volt, vil spændingsforskellen mellem udgang Q1 og udgang Q2 være nul volt.

Får basis på V1 en positiv spænding mens basis på V2 stadigvæk er på nul volt, vil strømmen stige i V1. Herved stiger spændingsfaldet over R1 og spændingsforskellen mellem Q1 og Q2 vil være forskellig fra nul.

Man får altså et udgangssignal.

Det viser sig, at størrelsen på udgangssignalet -Uout = UQ1 - UQ2 er direkte proportional med forskellen mellem de to basisspændinger samt forstærkningen AU for differentialforstærkeren.

Eksempel

Hvis AU = 100,UA = 0,79 V og UB = 0,75 V fås:

$$Uout = AU \cdot (UA - UB)$$

$$Uout = 100 \cdot (0{,}79 - 0{,}75) = \underline{\underline{4\ V}}$$

Det, at der i forstærkertrinnet er anvendt en fælles emittermodstand, R2, har bl.a. den virkning, at forstærkertrinnet er meget temperaturstabilt samt stabilt over for ændringer i forsyningsspændingen.

Forudsætningen herfor er dog, at data og køling er ens for de to transistorer.

Koblinger

Differentialforstærkeren kan bruges i flere koblinger.

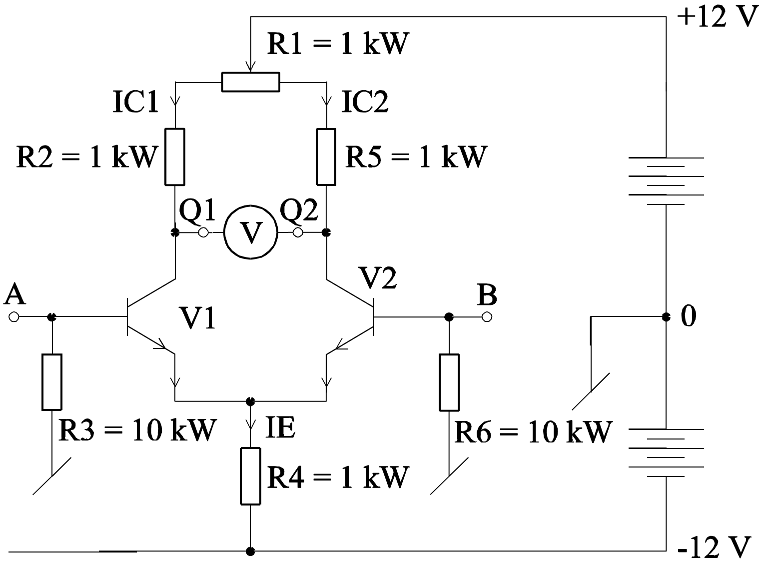
1. Enkelt indgang, hvor man fx tilfører indgang A signal, mens indgang B er jordet (forbundet til nul).
2. Differentialindgang, hvor indgang A og B varierer i modfase.

Udgangen kan også anvendes på to måder:

1. Enkelt udgang, idet indgangssignalet tages enten fra udgang Q1 eller Q2.
2. Balanceret udgang, hvor Uout = UQ1 - UQ2.

Uden signal

Figuren her viser lidt mere udførligt en differentialforstærker.



Indgangene er ført til nul gennem modstandene R1 og R5.

Med potentiometret R1 kan man udligne forskelle i de to transistorer således, at voltmetret mellem Q1 og Q2 viser nul.

Forstærkeren er nu i balance.

Dersom transistor V1's basisemitterspænding UBE1 = 0,7 V, kan vi beregne spændingen over den fælles emittermodstand - R4.

$$UR4 = U - UBE1$$

$$UR4 = 12 - 0{,}7\ V = \underline{\underline{11{,}3\ V}}$$

Emitterstrømmen bliver:

$$IE = \frac{UE}{R4}$$

$$IE = \frac{11{,}3}{1} = \underline{\underline{11{,}3\ mA}}$$

Da trinnet er i balance får vi:

$$IC1 = IC2 = \frac{IE}{2}$$

$$IC1 = IC2 = \frac{11{,}3}{2} = \underline{\underline{5{,}65\ mA}}$$

Antager man, at R1 står med armen på midten, kan spændingen på udgangen Q, i forhold til nul beregnes:

$$UQ1 = U - IC1 \cdot (R2 + \frac{R1}{2})$$

$$UQ1 = 10 - 5{,}65 \cdot (1 + 0{,}5) = \underline{\underline{+\ 3{,}5\ V}}$$

$$UQ1 = UQ2 = \underline{\underline{+\ 3{,}5\ V}}$$

$$Uout = \underline{\underline{0\ volt}}$$

Differentialforstærkerens spændingsforstærkning kan tilnærmet beregnes ved hjælp af strømmen gennem emittermodstanden.

Med en enkelt udgang:

$$AU = 10 \cdot IRE \cdot RE$$

$$AU = 10 \cdot 11{,}3 \cdot 1 = \underline{\underline{113\ gange}}$$

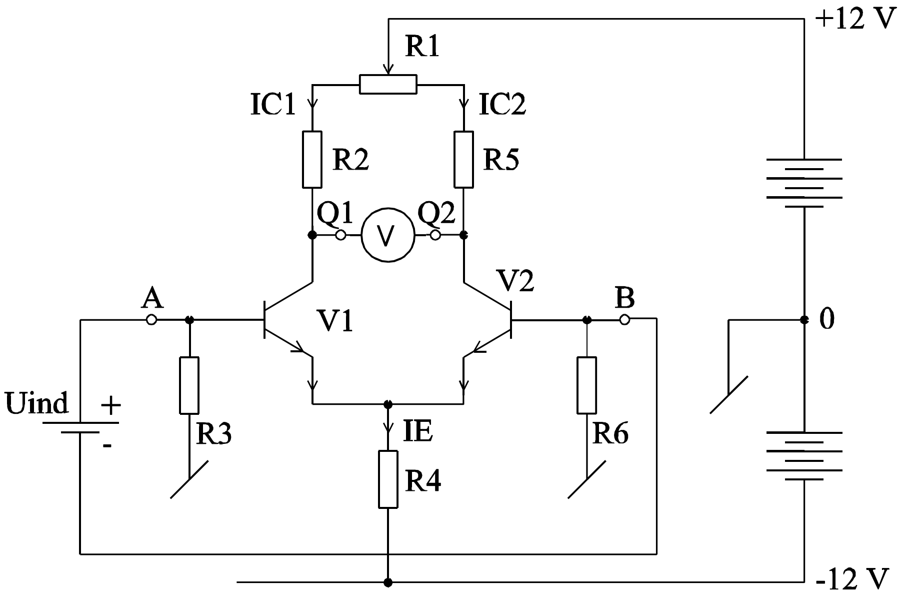
Med balanceret udgang:

$$AU = 20 \cdot IRE \cdot RE$$

$$AU = 20 \cdot 11{,}3 \cdot 1 = \underline{\underline{226\ gange}}$$

Med signal

Tilsluttes differentialforstærkeren et indgangssignal - U_{ind} således, at indgang A er positiv og indgang B negativ, vil V1 trække en større kollektorstrøm - IC1.



Dersom IC1 stiger til 7 mA vil IC2 blive:

$$IC2 = IE - IC1$$

$$IC2 = 11{,}3 - 7 = \underline{\underline{4{,}3\ mA}}$$

- idet emitterstrømmen forbliver konstant.

Spændingen på udgang Q1 bliver:

$$UQ1 = U - IC1 \cdot (R2 + \frac{R1}{2})$$

$$UQ1 = 12 - 7 \cdot (1 + 0{,}5) = \underline{\underline{1{,}5\ V}}$$

Spændingen på Q2 bliver:

$$UQ2 = U - IC2 \cdot (R5 + \frac{R1}{2})$$

$$UQ2 = 12 - 4{,}3 \cdot (1 + 0{,}5) = \underline{\underline{5{,}55\ V}}$$

Spændingsforskellen mellem Q1 og Q2 bliver:

$$Uout = UQ1 - UQ2$$

$$Uout = 1{,}5 - 5{,}55 = \underline{\underline{4{,}05\ V}}$$

- dvs. 4,05 V med Q1 negativ i forhold til Q2.

Da differentialforstærkerens forstærkning er AU = ca. 226 gange,

- vil Uout være - 4,05 V, når indgang A har spændingen:

$$UA = \frac{405}{226} = \underline{\underline{+\ 0{,}018\ V}}$$

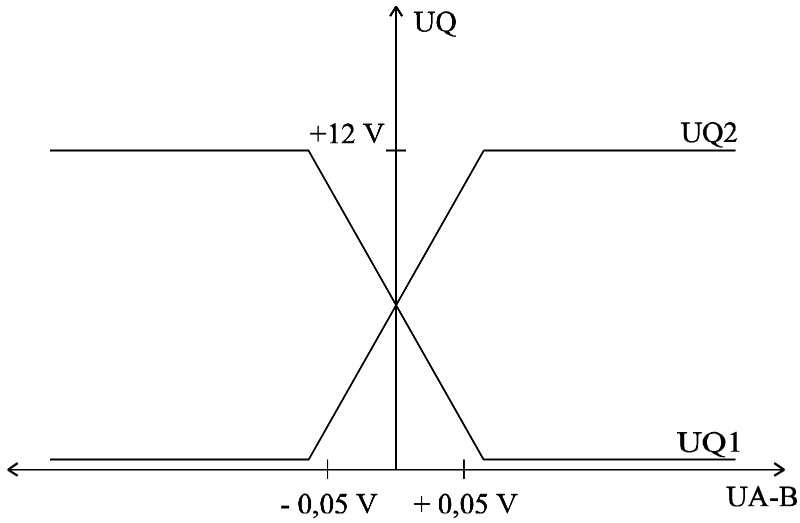
$$-i\ forhold\ til\ indgang\ B$$

Tilfører man indgang A en spænding på - 0,018 V i forhold til B, får udgang Q1 spændingen + 4,05 V i forhold til udgang Q2.

Man siger, at signalet på udgang Q1 er fasedrejet 180° i forhold til indgang A.

Mætning

Kurverne viser sammenhængen mellem ind- og udgangssignaler, idet UQ1 og UQ2 er målt i forhold til nul.



Tilfører man indgang A signalet UA = ca. + 0,06 V, i forhold til B, vil udgangssignalet blive:

$$Uout = UA{-}B \cdot AU$$

$$Uout = 0{,}06 \cdot 226 = \underline{\underline{ca.\ 12\ V}}$$

- med Q1 negativ og Q2 positiv.

Her er V1 styret helt ON, mens V2 er OFF.

Selv om man øger indgangssignalet, vil det ikke forårsage nogen ændring af udgangssignalet.

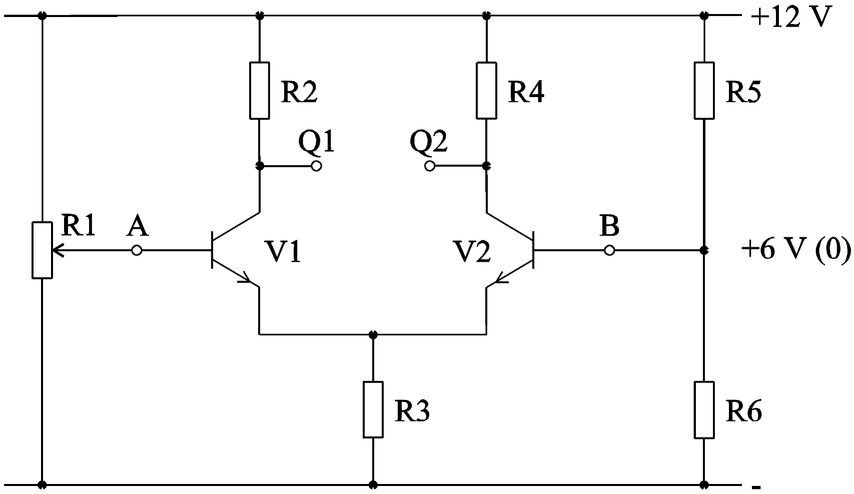
Forstærkeren er gået i mætning.

Får indgang A et signal på ca. - 0,06 V eller større, vil V1 styres OFF og V2 ON.

Forstærkeren er gået i mætning i modsatte stilling

Enkelt forsyning

Skal differentialforstærkeren tilsluttes en strømforsyning uden midtpunkt, kan det gøres ved at forsyne de to baser gennem hver sin spændingsdeler.

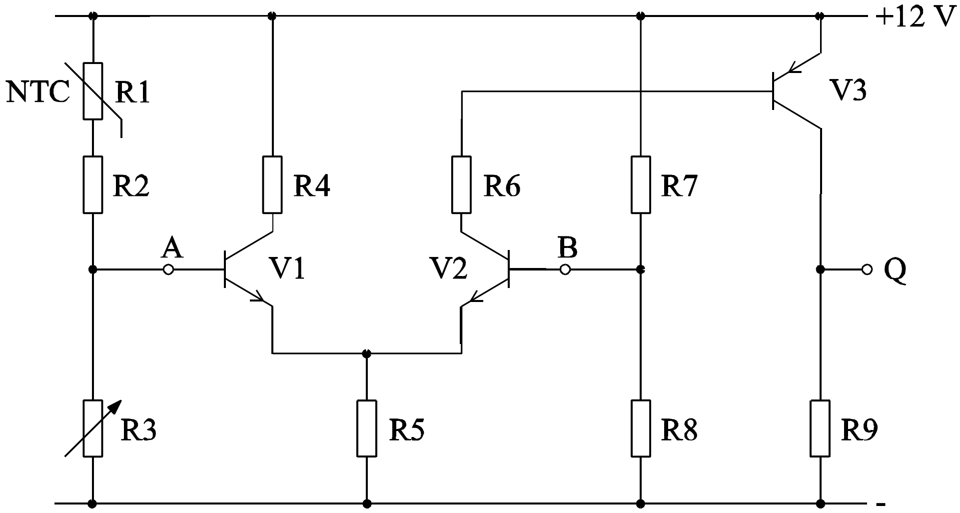


Figuren viser, hvorledes indgang A tilføres et signal fra potentiometer R1. Indgang B er fastlagt til den halve forsyningsspænding gennem spændingsdeleren R5 - R6, hvor R5 = R6.

Indgang B bliver således forstærkerens nulpunkt.

Følerforstærker

Den viste opstilling er en forstærker for en NTC-termoføler.



Differentialforstærkerens B-indgang er fastlagt til den halve forsyningsspænding gennem R7-R8.

Til indgang A er tilsluttet modstandene R1, R2 og R3.

R1 er selve NTC-føleren, R2 er en begrænsermodstand, der skal hindre egenopvarmning af NTC'en. R3 er referencepotentiometeret, hvormed temperaturen justeres.

R3 indstilles således, at dens modstandsværdi er lig med R1 + R2 ved den ønskede arbejdstemperatur.

Differentialforstærkeren sammenligner hele tiden spændingen over R1 + R2 med spændingen over R3, og en eventuel forskel vil i forstærket form findes på udgangen.

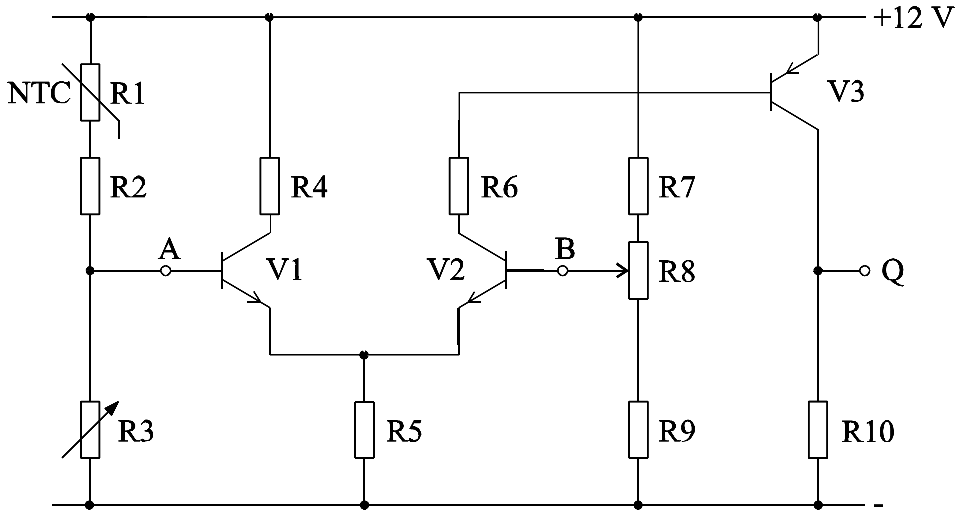
Som det fremgår af eksemplet bruges differentialforstærkeren her med enkelt indgang og med enkelt udgang.

Udgangssignalet tages fra V3, som er en PNP-transistor.

V3 får sin basisstrøm fra V2's kollektor.

Med dobbelt indgang

Differentialforstærkeren bruges ofte således, at den ene indgang tilsluttes følersignalet, mens den anden indgang tilsluttes referencepotentiometret.



Forstærkeren sammenligner så de to indgange og giver et signal på udgangen, der afhænger af forskellen mellem indgangene.

En anden mulighed er at tilslutte indgang B et potentiometer, hvormed differentialforstærkeren kan udbalanceres, således at man opnår en forbedret funktion af forstærkeren.

Føler og referencepotentiometer tilsluttes som før, indgang A.

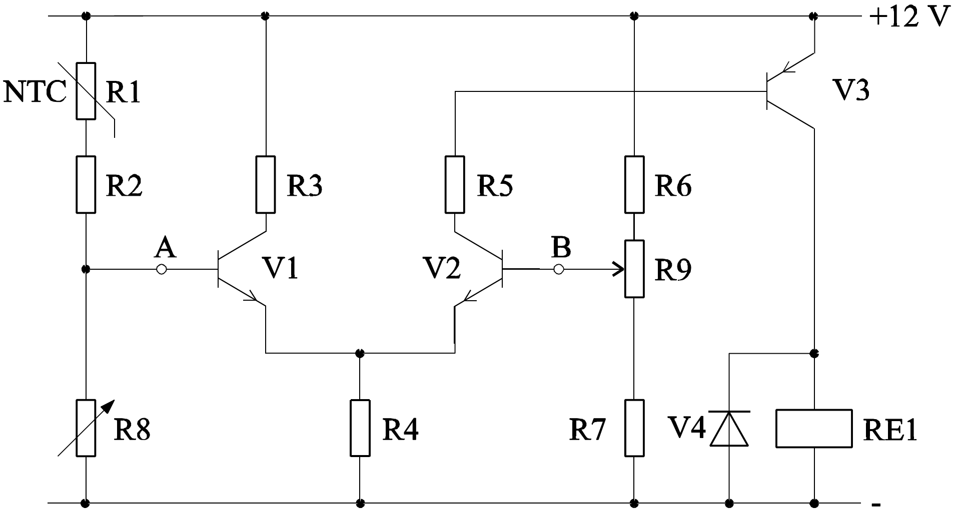
R3 er potentiometret, hvorpå det ønskede temperaturområde indstilles.

R8 bruges til at balancere forstærkeren.

Ved at anbringe R8 mellem to faste modstande, kan man bedre finindstille balancen.

Med relæudgang

Ønsker man at differentialforstærkeren skal aktivere et relæ, kan det gøres ved at indskyde relæet i V3's kollektorkreds.



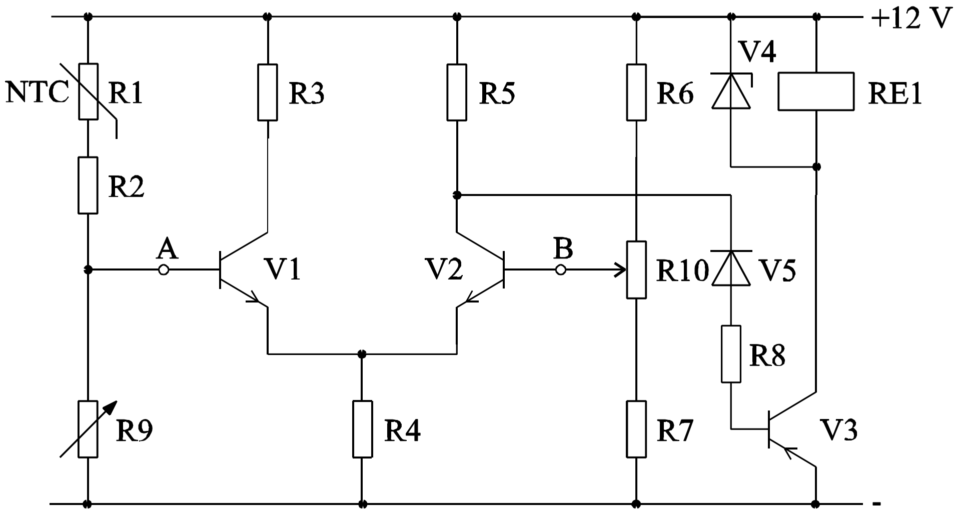
Dersom man ønsker, at V3 skal være af NPN-typen, som V1 og V2, må man indskyde en zenerdiode - V4.

Denne skal have en zenerspænding på ca. den halve forsyningsspænding.

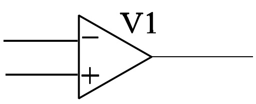
Den er nødvendig, da V2's kollektorspænding aldrig bliver mindre end ca.:

$$\frac{U}{2}$$

- målt i forhold til minus.



Operationsforstærker



Operational amplifier (OP AMP) DC-koblet differentialforstærker med forstærkning over 100 000 gange, indgangsimpedans over 1 MΩ og udgangsimpedans under 200 Ω.

Forstærkeren har to indgange, en positiv, som er i fase med udgangen +ind = +ud og en negativ, som giver negativt udgangssignal også kaldet den inverterende indgang.

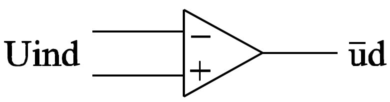
Spændingsforsyning

Hvis operationsforstærkeren skal arbejde med både positive og negative indgangssignaler og hermed generere tilsvarende udgangssignaler, skal den forsynes med en positiv og en negativ arbejdsspænding.

Typisk arbejdsspænding + 3 V til + 22 V (+ 0 -).

+ - spændingen behøver ikke at være den samme (symmetrisk) fx +9 V, -9 V, men måske +4 V, -9V.

Off-set fejl



Ved kortsluttede indgangsklemmer skulle den ideelle OP AMP selv finde balancen og give 0V ud. Tolerancer gør, at det ikke er muligt; fejlen hedder off-set fejl og ligger i størrelsesordenen < 2 mV.

Visse typer af forstærkere har benforbindelser, som gør det muligt at justere off-set fejl (nulpunktsforskydning).

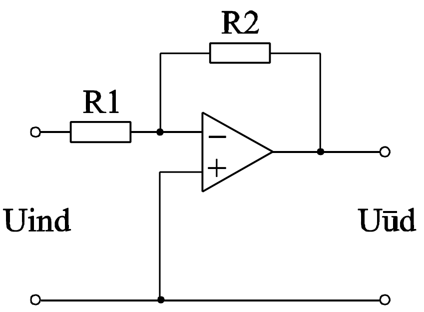
Modkobling

Ved så stor en forstærkning som OP AMP'en har, er det i de fleste tilfælde nødvendigt at modkoble. Udgangssignalet føres tilbage til indgangen, hvorved det dæmpes.

Inverteret kobling

Indgangssignalet tilføres forstærkerens -indgang.

Uden R1 og R2 ville forstærkningen være maksimal > 100 000 gange.



R2 kobling

$$Forstærkning\ A = \frac{R2}{R1}$$

$$U_{ud} = U_{ind} \cdot A$$

Eksempel

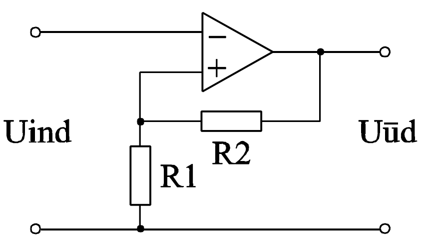
R1 = 10 kΩ R2 = 100 kΩ Uind = 0,3 V

$$A = \frac{100}{10} = \underline{\underline{10\ gange}}$$

$$U_{ud} = 0{,}3 \cdot 10 = \underline{\underline{3\ V}}$$

IKKE inverteret forstærker

Indgangssignalet tilføres forstærkerens +indgang.



$$A = \frac{R1 + R2}{R1} = 1 + \frac{R2}{R1}$$

$$U_{ud} = U_{ind} \cdot A$$

Eksempel

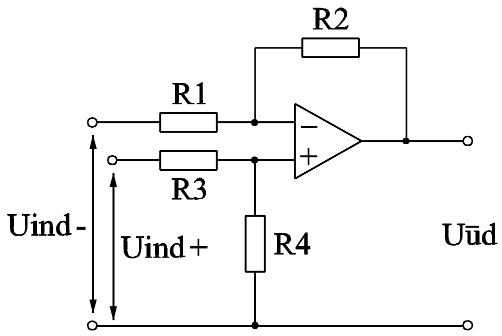
R1 = 10 kΩ R2 = 100 kΩ Uind = 0,3 V

$$A = 1 + \frac{100}{10} = \underline{\underline{11\ gange}}$$

$$U_{ud} = 0{,}3 \cdot 11 = \underline{\underline{3{,}3\ V}}$$

Differentialforstærker

I det foregående er kun en af forstærkerens indgange brugt. Bruger man begge på samme tid, opfattes indgangssignalet som differencen af de to signaler.



$$U_{ind} = (U_{ind}+) - (U_{ind}-)$$

$$Forstærkning\ A = \frac{R2}{R1}$$

$$U_{ud} = U_{ind} \cdot A$$

Eksempel

R1 = 10 kΩ R2 = 100 kΩ U_{ind+} = 0,3 = U_{ind-} = 0,1 V

$$U_{ind} = 0{,}3 - 0{,}1 = \underline{\underline{0{,}2\ V}}$$

$$A = \frac{100}{10} = \underline{\underline{10\ gange}}$$

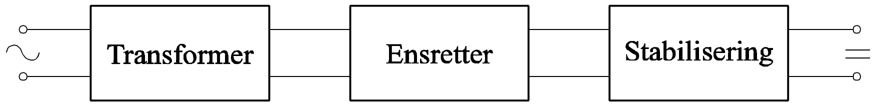
$$U_{ud} = 0{,}2 \cdot 10 = \underline{\underline{2\ V}}$$

Det forudsættes, at R1 og R2 er lige store samt R2 = R4.

Strømforsyning

I en strømforsyning til et styringsanlæg indgår der forskellige typiske enheder, såsom:

1. Transformer
2. Ensretter
3. Udglatning

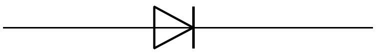


Transformeren

Transformeren har flere formål, bl.a.:

1. Tilpasning af den fornødne spænding.
2. Galvanisk adskillelse af jævnstrømskredsen fra forsyningsnettet.
3. At hindre støjimpulser fra nettet i at komme ind i styringsanlægget.

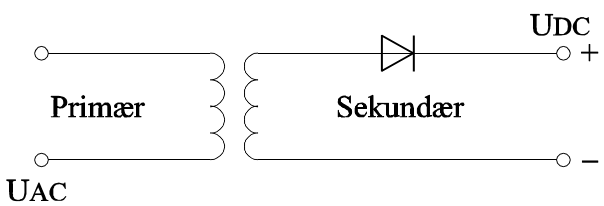
Fra veksel- til jævnstrøm



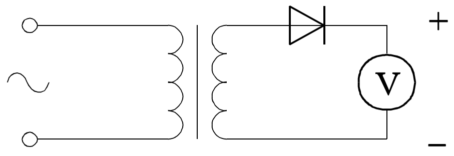
Da hovedparten af elektroniske styringer anvender jævnspænding som forsyning, er det nødvendigt at ensrette den nedtransformerede vekselspænding.

Ensretningen foretages ved hjælp af halvlederdioder, eller som dioderne benævnes i denne sammenhæng, ensrettere.

Der findes i grove træk to måder at ensrette vekselspænding på, nemlig ved enkeltensretning eller dobbeltensretning.



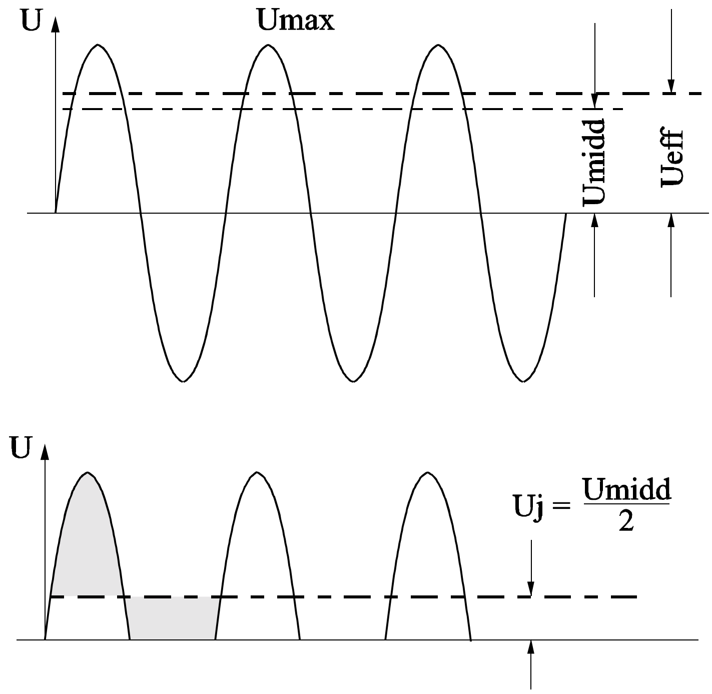
Enkeltensretning



Tomgangsspændingen for en E-kobling afhænger af den tilførte vekselspænding.

E-kobling

Vekselspændingen har tre værdier, det er af betydning at kende:



Umax, som er spændingens højeste værdi.

Umidd, som er gennemsnitsværdien af kurven.

Ueff eller blot U, som er den normalt angivne værdi for vekselspænding.

Der er følgende forhold mellem disse:

$$Umax = Umidd \cdot 1{,}57 = Ueff \cdot 1{,}414$$

$$Umidd = Ueff \cdot 0{,}9 = Umax \cdot 0{,}637$$

$$Ueff = Umax \cdot 0{,}707 = Umidd \cdot 1{,}11$$

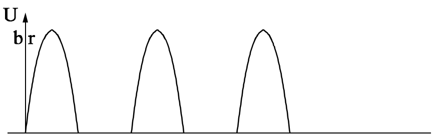
Den frembragte jævnspænding får den viste form.

Et drejespoleinstrument vil vise gennemsnittet af kurven (Uj), idet det virker, som om kurvens top er fyldt ned i hullet. De to skraverede arealer på kurven er lige store.

Da hver anden periodehalvdel mangler, vil jævnspændingens værdi blive lig med halvdelen af den tilførte vekselspændings middelværdi:

$$Uj = \frac{Umidd}{2}$$

Eksempel



Kender man effektivværdien af den tilførte vekselspænding U = 12 V, vil man måle den frembragte jævnspænding til:

$$Uj = \frac{0{,}9}{2} \cdot U = 12 \cdot 0{,}45 = \underline{\underline{5{,}4\ V}}$$

Uj kan også beregnes som:

$$Uj = \frac{Umax \cdot 0{,}637}{2}$$

Måler man den frembragte jævnspændings brumspænding med et instrument i AC-området, kan brumspændingen beregnes til ca. 120 % af den frembragte jævnspændings middelværdi.

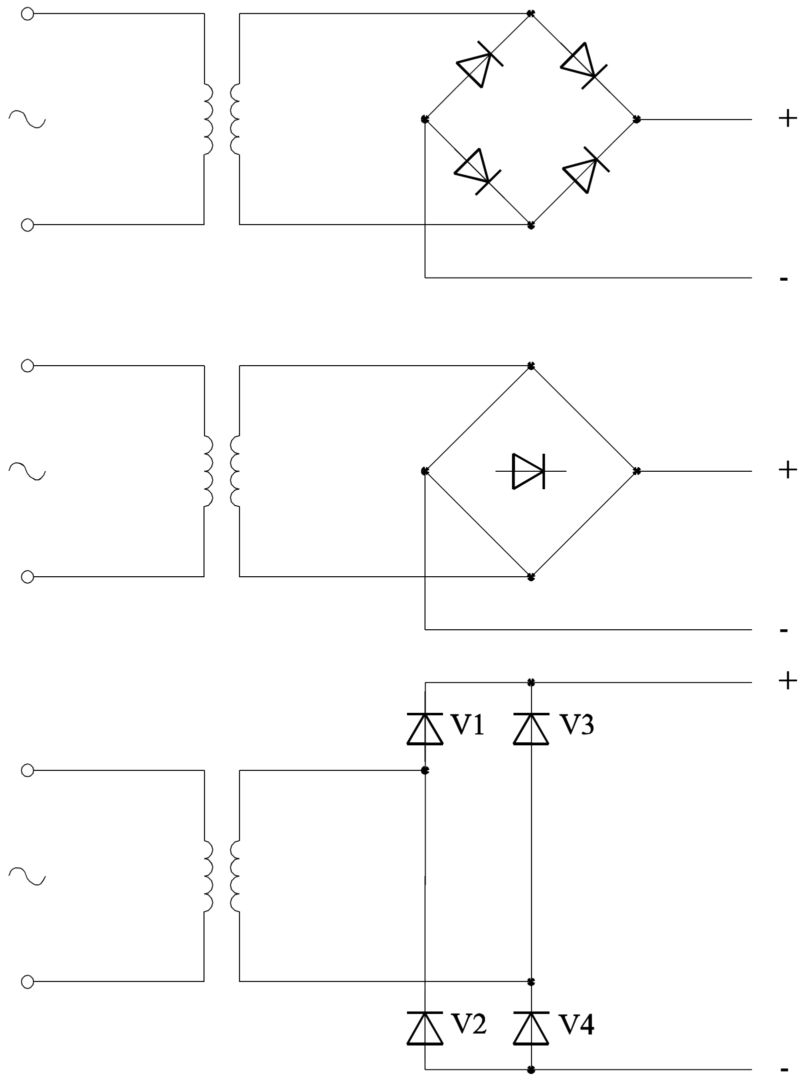
$$Ubr. = 1{,}2 \cdot Uj$$

$$Ubr = 1{,}2 \cdot 5{,}4 = \underline{\underline{6{,}48\ V}}$$

Brumspændingens spids/spids-værdi bliver:

$$Ubr\ pp = Umax = 12 \cdot 1{,}414 = \underline{\underline{16{,}97\ V}}$$

Dobbeltensretning
Brokobling, tegnemåde



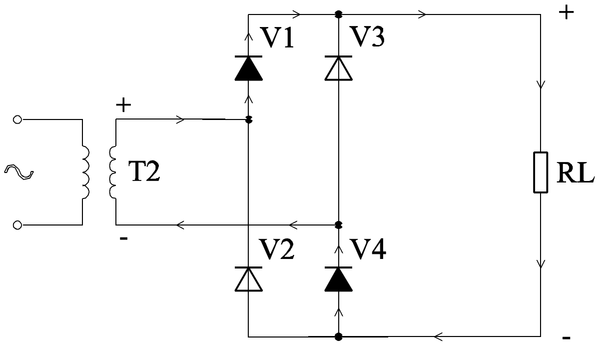
Virkemåde

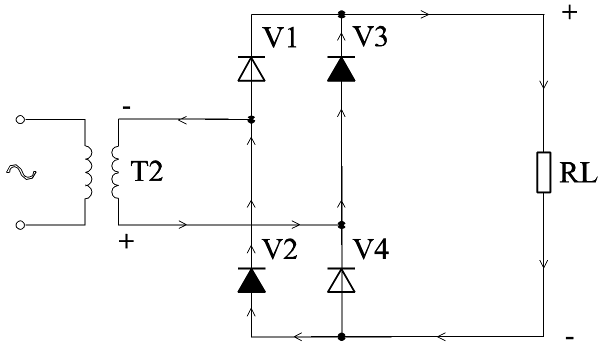
Brokoblingen arbejder således, at dioderne parvis leder strøm og spærrer.

I det øjeblik transformeren afgiver plus og minus, som vist på skitsen, vil dioderne V1 og V4 lede strømmen, mens V2 og V3 spærrer.

I modsatte halvperiode vil dioderne V2 og V3 lede, mens V1 og V4 spærrer.

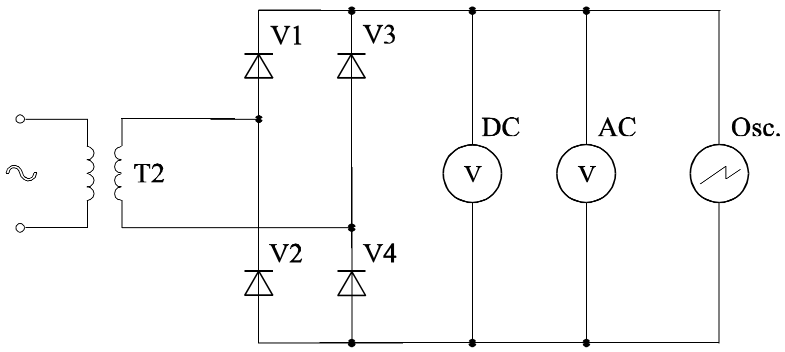
Det bemærkes at strømmen gennem belastningen har samme retning i begge halvperioder.

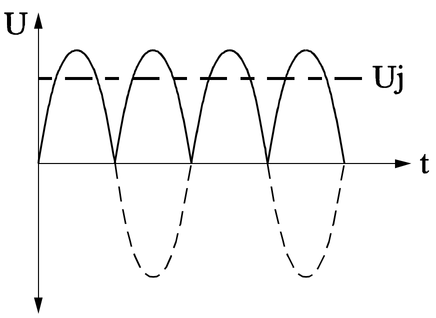




B-kobling

Den frembragte jævnspænding får den viste form.





Et universalinstrument i DC-området vil vise værdien Uj, dvs. gennemsnittet af spændingens øjebliksværdi.

Uj vil være lig med middelværdien af den tilførte vekselspænding.

$$Uj \;=\; Umax \cdot 0{,}637 \;\; eller$$

$$Uj \;=\; U2 \cdot 0{,}9$$

Ovennævnte skyldes drejespoleinstrumentets natur, idet den frembragte jævnspændings effektivværdi naturligvis er lig med effektivværdien af vekselspændingen.

Et universalinstrument i AC-område, vil vise brumspændingens effektivværdi - Ubr.

Brumspændingen bliver ca. 50 % af Uj,

$$Ubr = Uj \cdot 0{,}5$$

På oscilloskopet kan man aflæse brumspændingens spids/ spids-værdi - Ubr pp.

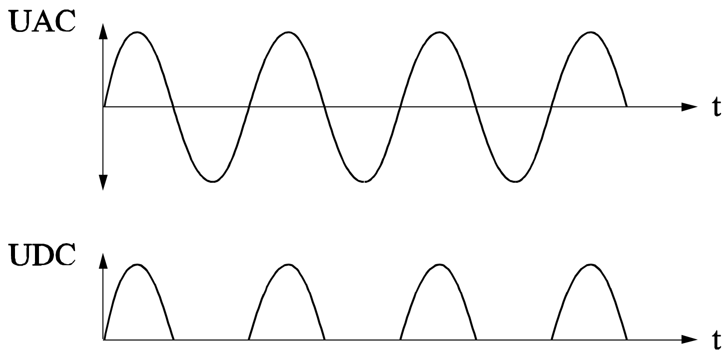
Ubr pp bliver lig med vekselspændingens maksimalværdi.

$$Ubr\ pp = Umax$$

Enkeltensretning

Enkeltensretningen har den ulempe, at den kun ensretter vekselspændingens ene halvperiode, hvorfor vekselspændingstiden bliver "skævt" belastet, hvilket igen betyder, at transformatoren skal være ca. dobbelt så stor som nødvendigt for en dobbeltensretter. Endvidere vil en senere udglatning og filtrering komponentmæssigt være dyrere at udføre.

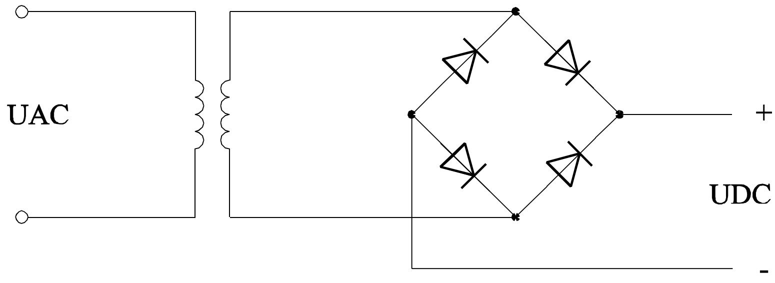
På grund af ovennævnte ulemper ved enkeltensretning anvendes denne type ensretter kun, hvor der er tale om meget små jævnspændingsbelastninger.



Spændingsforløb med enkel ensretning

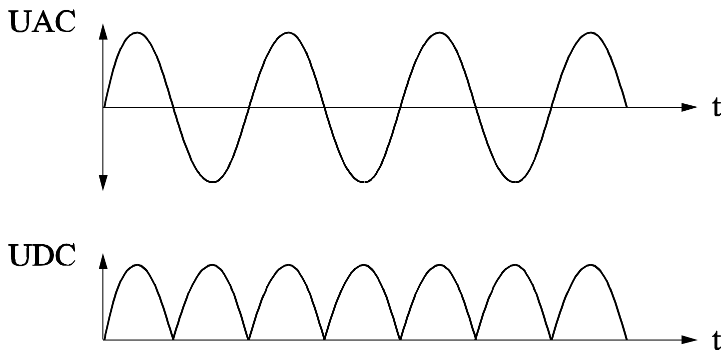
Dobbeltensretning

Den mest udbredte form for ensretning foretages ved hjælp af dobbeltensretning. Denne ensrettertype har den fordel, at den ensretter begge vekselspændingens halvperioder.



Dobbeltensretter

Dobbeltensretteren kaldes også en brokobling eller en Graetz-kobling. Selv om den spænding, som kommer fra ensretteren UDC, pr. definition er en jævnspænding, er den dog langt fra jævn og kaldes derfor en pulserende jævnspænding. I enkelte tilfælde kan denne spænding anvendes uden videre behandling, fx til DC-motorer og opladning af batterier.



Spændingsforløb med dobbeltensretning

En elektronisk styring vil dog ikke kunne anvende pulserende jævnspænding, hvorfor det vil være nødvendigt at udglatte den.

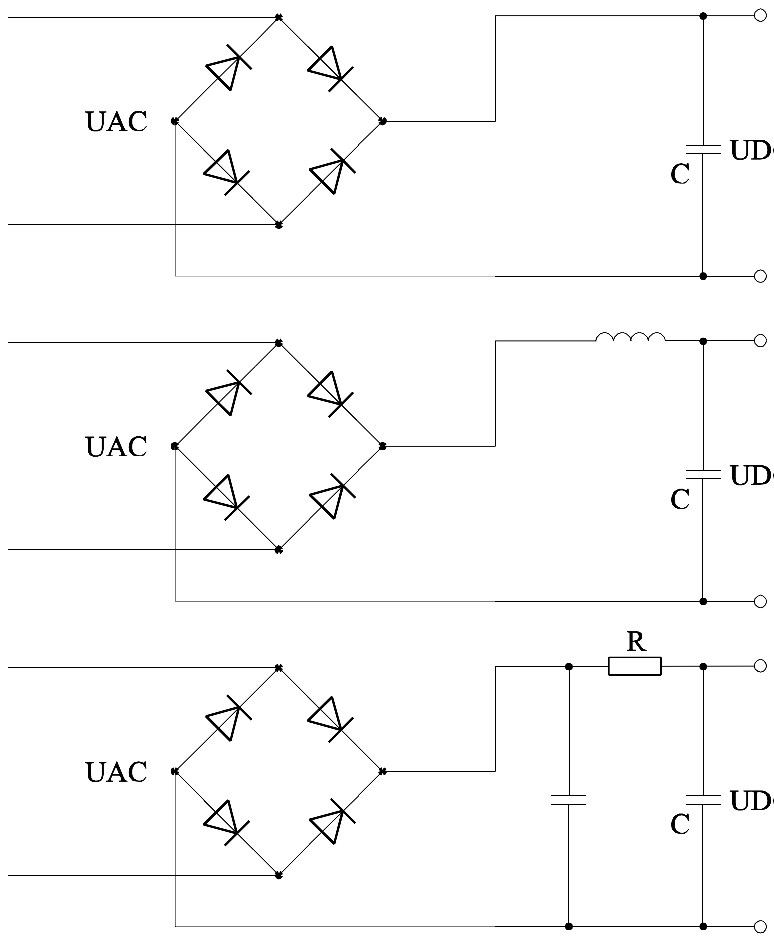
Denne udglatning foretages med en kondensator. I nogle tilfælde foretages udglatningen med en kombination af en spole og en kondensator eller v.hj.a. modstande og kondensatorer.

I alle tre tilfælde vil det være en ren jævnspænding, som kommer fra ensretteren.

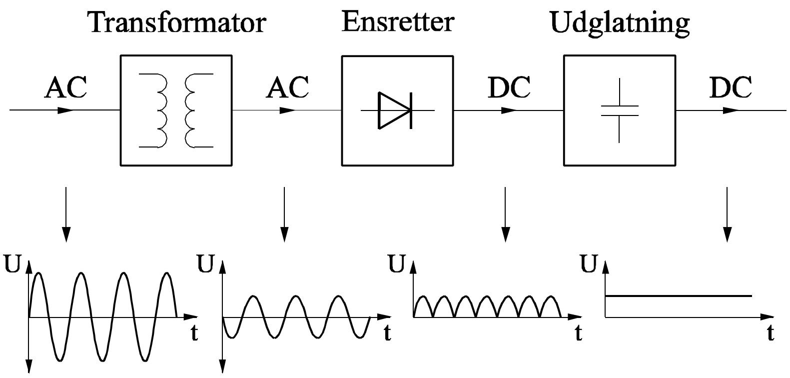
Den afgivne spænding vil være lig med sekundærspændingens spidsværdi eller Usek • $\sqrt{2}$. Det er forhold, man må tage hensyn til.

Hvis transformatorens Usek = 12 V, vil man få en udglattet jævnspænding på:

$$Usek \cdot \sqrt{2} \cdot 12 \cdot 1{,}414 \cong 17$$



Blokskema for DC-forsyning

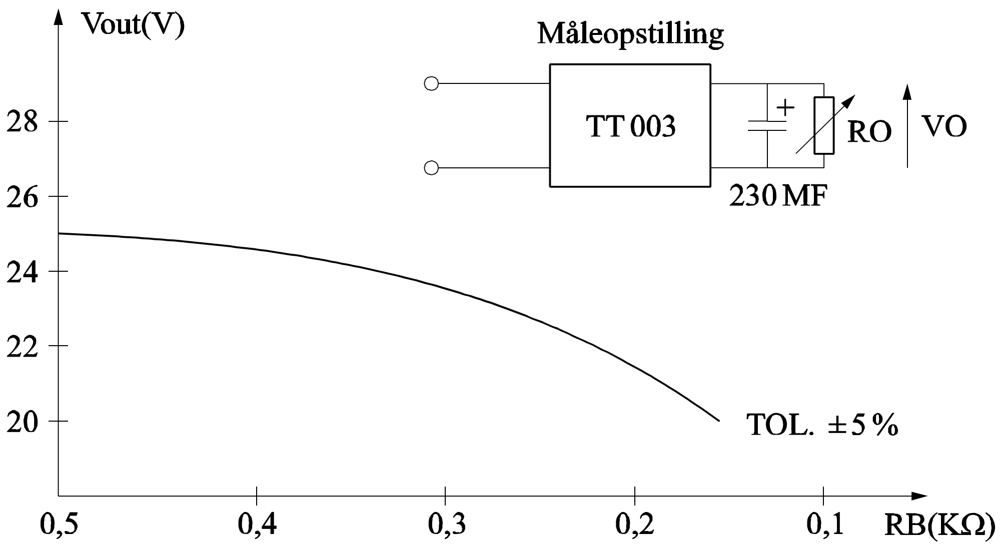


Spændingsstabilitet

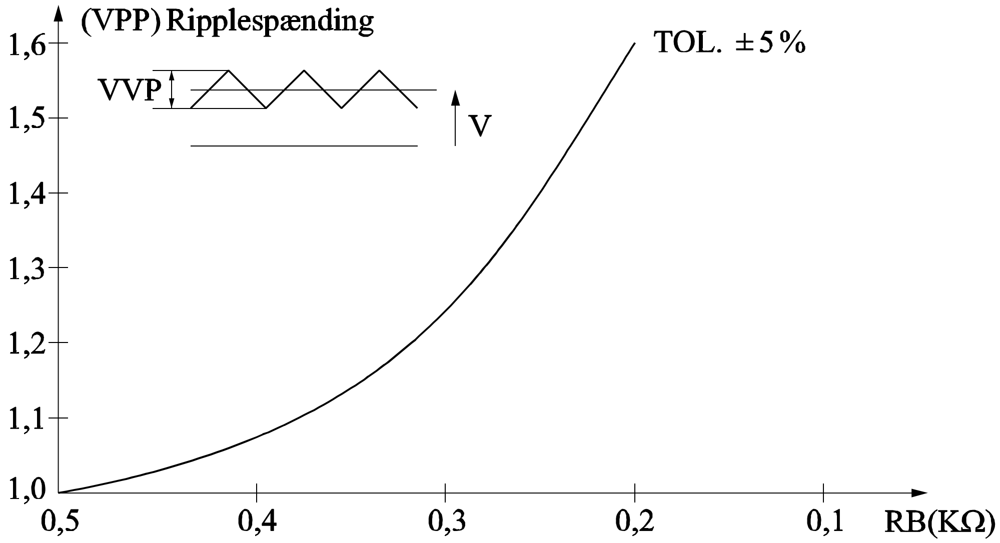
Den viste DC-forsyning er ikke stabiliseret, hvilket betyder, at dens afgivne spænding er belastningsafhængig. Samtidig med at spændingen falder ved belastning, vil den ved større og større belastning være overlejret med en større og større brumspænding eller ripplespænding, som den også kaldes.

Kurverne viser udgangsspændingens afhængighed af belastningen. Ved målingerne er en variabel modstand RO anvendt som belastning.

Ved stigende belastning falder udgangsspændingen Vout, og ripplespændingen Vpp stiger.



ENSRETNING


(VPP) Ripplespænding
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
VVP
V
TOL. ±5%
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
RB(KΩ)

Effektregulering

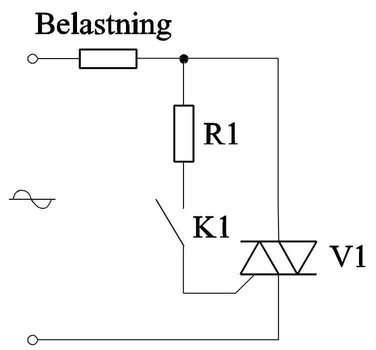
Et helt specielt område af elektronikken omfatter effektregulering. Her menes i denne forbindelse regulering af lysanlæg, varmeanlæg og motorer.

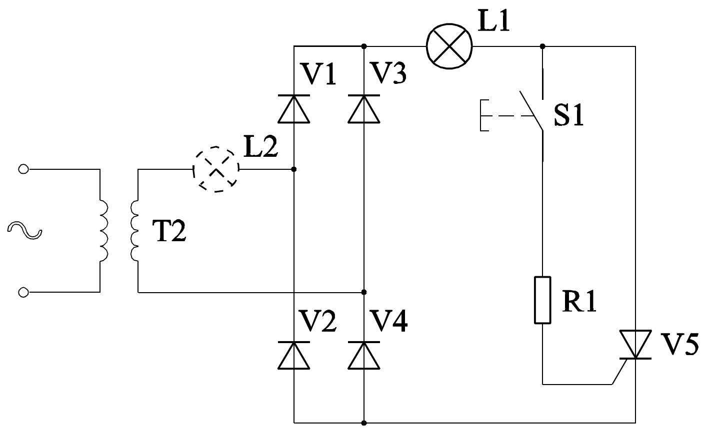
Man betjener sig af to overordnede reguleringsprincipper, nemlig usynkroniseret regulering og synkroniseret regulering.

Alt efter formålet frembringer man regulerbar jævnspænding eller vekselspænding, idet dog forsyningen af anlægget normalt sker fra et vekselstrømsnet.

Usynkroniseret regulering

Ved denne regulering forstår man koblinger, hvor thyristorer eller triac's arbejder i en ren ON/OFF-funktion som en statisk kontaktor.





Synkroniseret regulering

Herved forstås et princip, hvor reguleringen foretages synkroniseret med net-frekvensen.

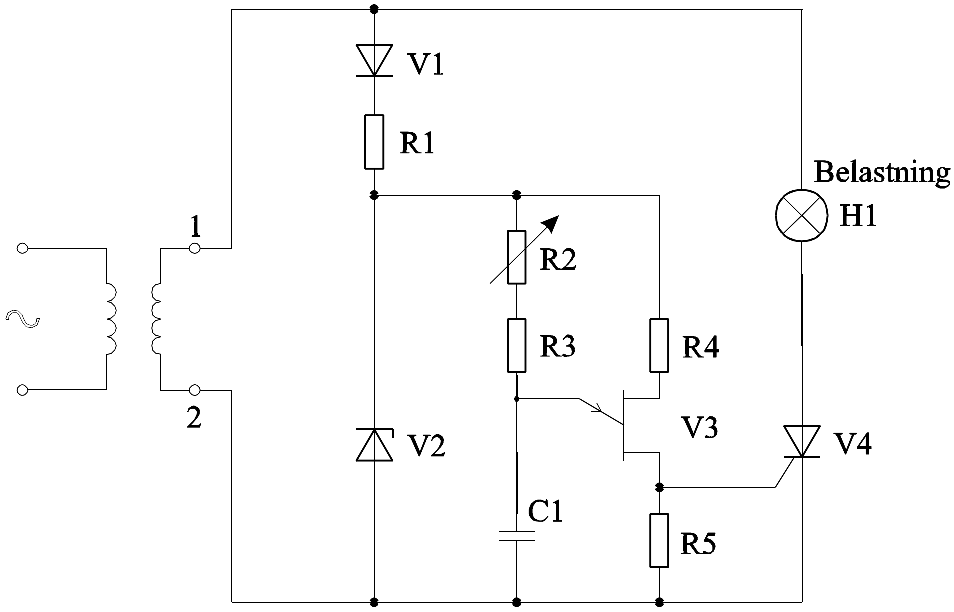
Dette princip kan realiseres som fasestyring eller nulpunktstyring.

Fasestyringen, som kan anvendes til regulering af både lys, varme og motorer, er forbundet med den ulempe, at den frembringer kraftig radiostøj.

Nulpunktstyringen, der findes i flere versioner, er fri for radiostøj, men bruges normalt kun til regulering af varmeanlæg.

Fasestyring

For at anskueliggøre princippet, vil vi først se på en ganske enkel halvbølgeberegning.



Strømmen gennem belastningen reguleres af thyristoren V4.

Thyristoren styres af triggerdelen, der består af: V1, R3, V2, R2, R3, C1, R4, V3 og R5.

Virkemåde

Når punktet 1 på transformeren er positiv, vil dioden V1 åbne, og spændingen over V2 vil hurtigt antage værdien Uz.

Denne spænding driver en strøm gennem R2 og R3 og oplader kondensatoren C1.

Når kondensatorspændingen bliver lig med UP for unijunction-transistoren, åbner denne og aflader kondensatoren. Derved frembringes et spændingsfald over R5, der virker som triggerimpuls for thyristoren.

Nu tænder thyristoren og åbner derved for strømmen gennem belastningen.

Strømmen vedvarer indtil sinuskurven næste gang passerer nulpunktet. Da falder strømmen gennem thyristoren under holdestrømmen, og den slukkes.

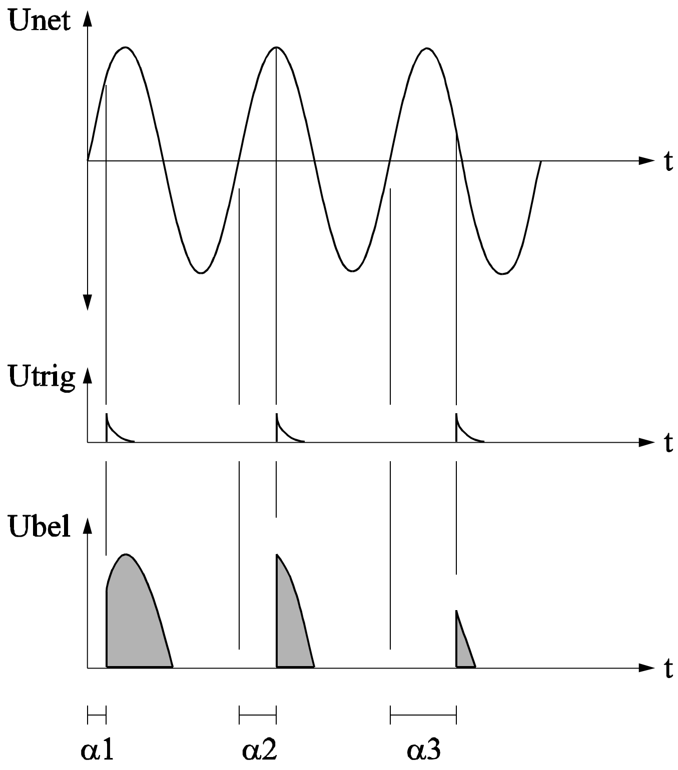
Ved den næste halvperiode vil transformerens punkt 1 være negativ, hvorfor diode V1 forbliver spærret.

Triggerkredsen går ikke i funktion og thyristoren forbliver slukket, indtil punkt 1 igen bliver positiv.

Zenerdioden skal sikre, at spændingen over unijunction holdes på en tilladelig værdi.

Princip

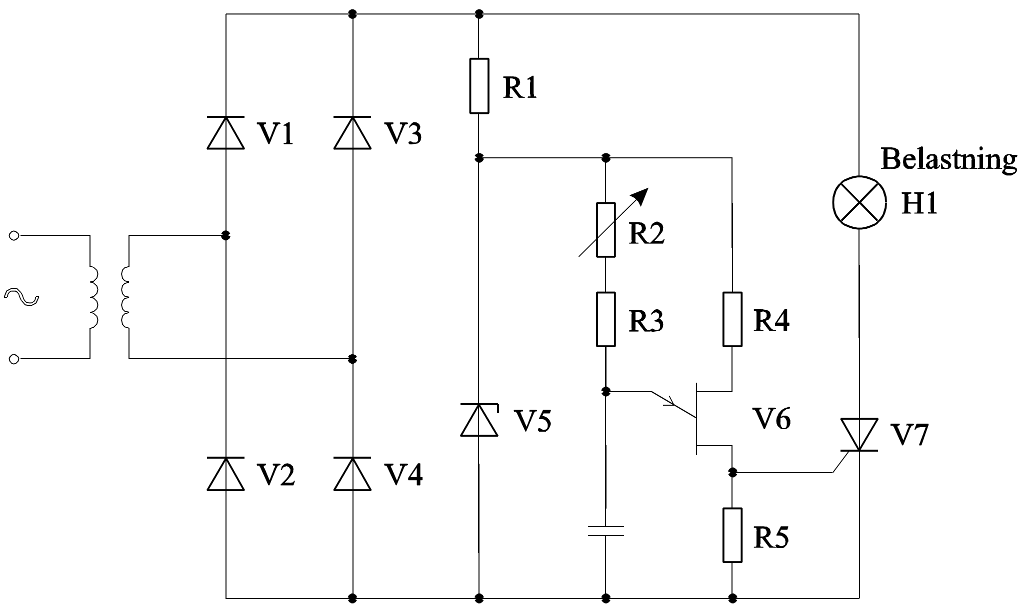
Selve reguleringen foregår derved, at man med R2 kan regulere tiden fra sinuskurvens nulværdi, til thyristoren trigges, den såkaldte tændvinkel α.

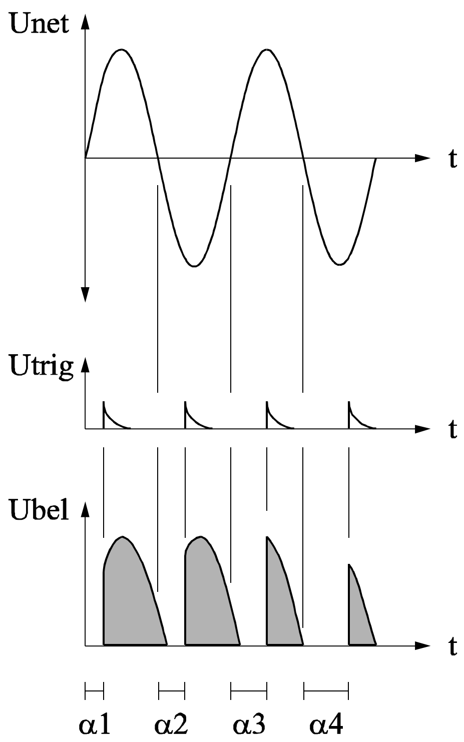


Figuren viser, hvorledes reguleringen sker ved at variere tændvinklen, idet det skraverede areal angiver den del af sinuskurven, som belastningen får tilført ved tre forskellige tændvinkler.

Helbølgestyring

Der findes mange metoder til at frembringe en helbølgestyring.

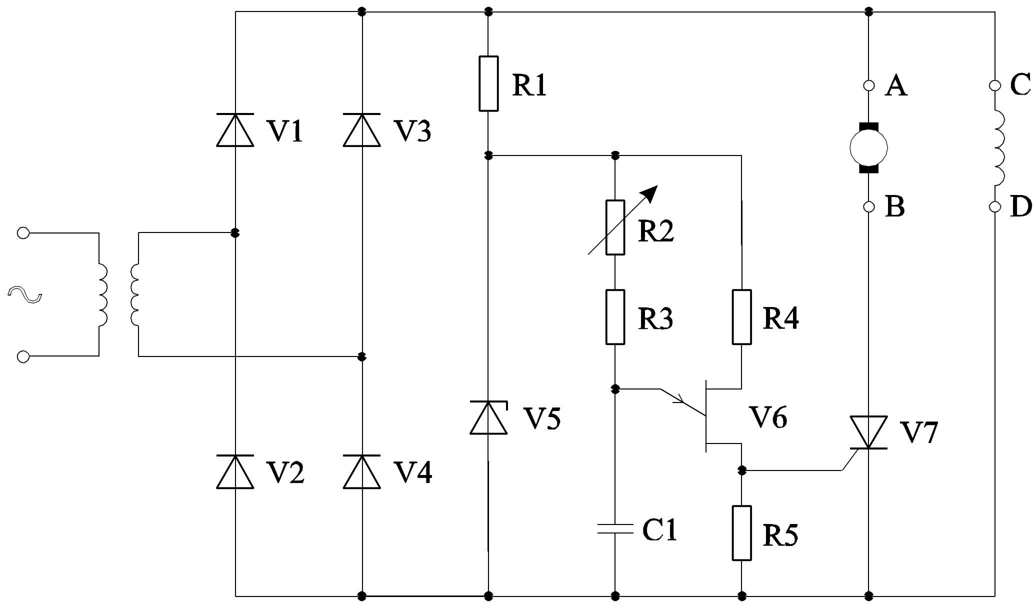




Ved den her viste opstilling ensretter man først vekselspændingen i en brokobling, hvorefter reguleringen af begge halvperioder kan ske med thyristoren.

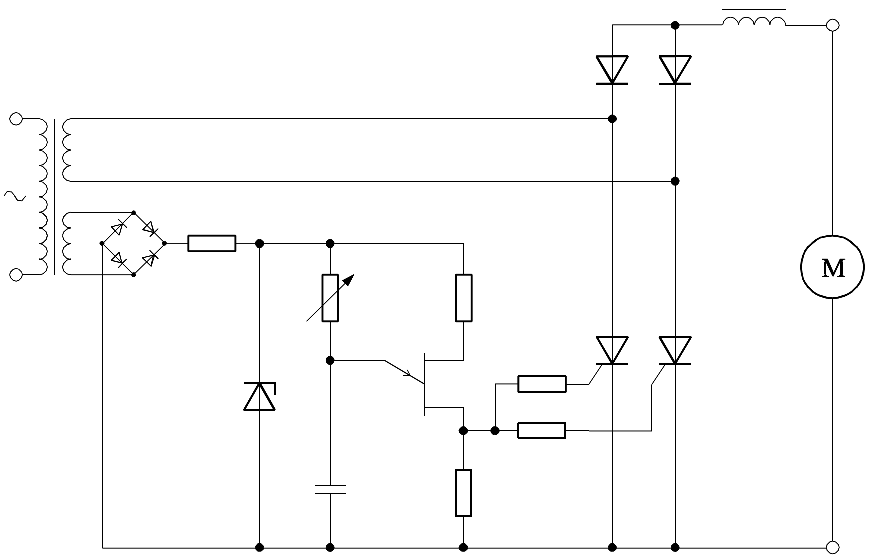
Kurverne viser spændingen over belastningen ved fire forskellige tændvinkler.

Vil man bruge opstillingen til trinløs hastighedsstyring af en shuntmotor, kan det gøres som nedenstående diagram viser.



Her styrer man strømmen i ankerkredsen, mens magnetfeltet forsynes med fast spænding fra brokoblingen.

En anden metode til helbølgestyring opnås ved brug af en brokobling bestående af 2 thyristorer og 2 dioder.



For at trigning forekommer i begge halvperioder, må triggerdelen forsynes fra en brokobling.

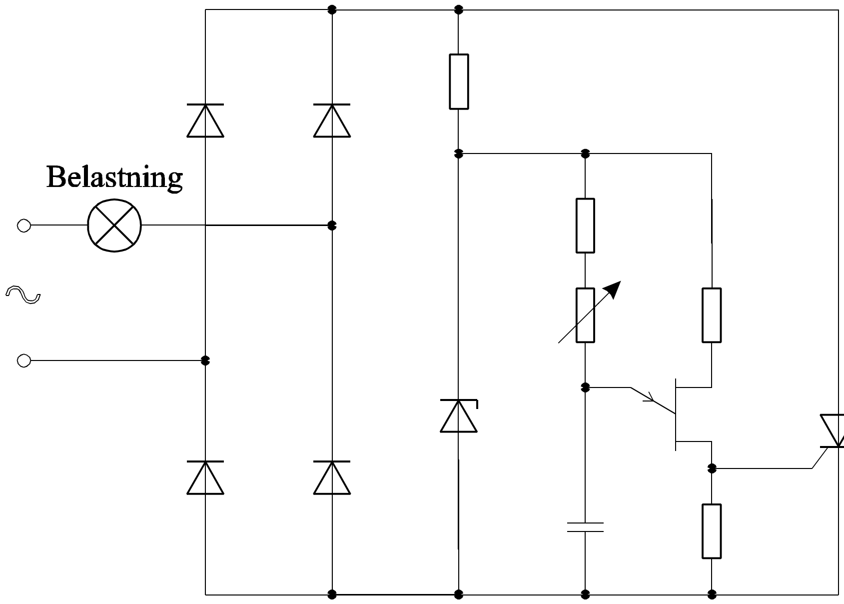
Drosselspolen skal udglatte pulsationer i strømmen til motoren.

Til store belastninger laves thyristoranlæggene 3-fasede.

Ved sådanne anlæg må der anvendes mere komplicerede triggerenheder, som tænder de respektive thyristorer på de korrekte tidspunkter.

Variabel vekselspænding

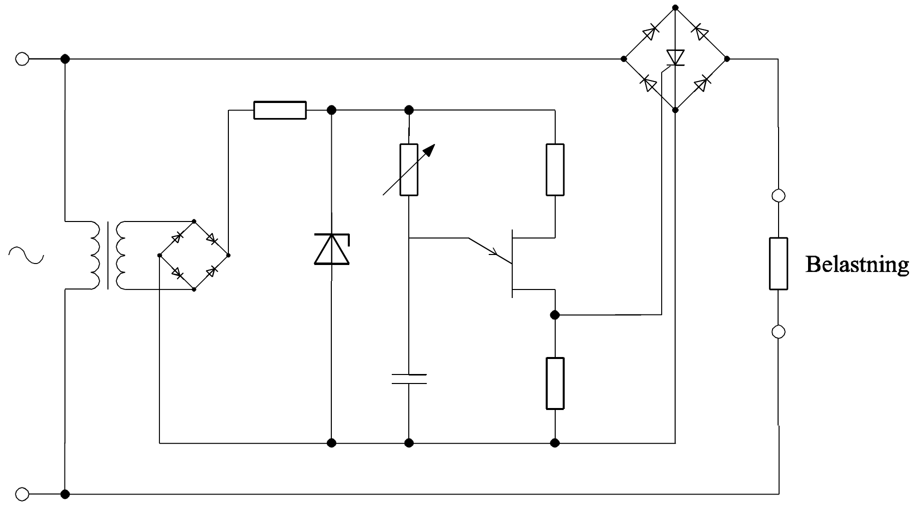
Ønsker man at kunne variere en vekselspænding trinløst, forbinder man opstillingen som vist.



Brokoblingen ensretter her vekselspændingen, så thyristoren kan lede begge periodehalvdele.

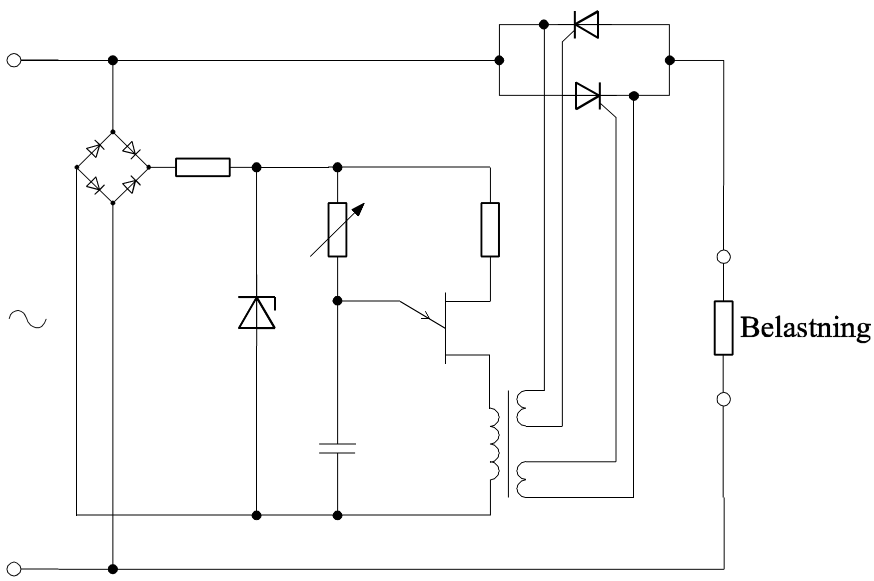
Belastningen gennemløbes af vekselstrøm.

En anden måde at løse problemet på er at lave opstillingen som vist her.



Triggerkredsen forsynes over en transformer og en brokoblet ensretter, så thyristoren bliver trigget i begge halvperioder.

Frembringelsen af en variabel vekselspænding kan også opnås med 2 thyristorer i "antiparallel"-kobling.

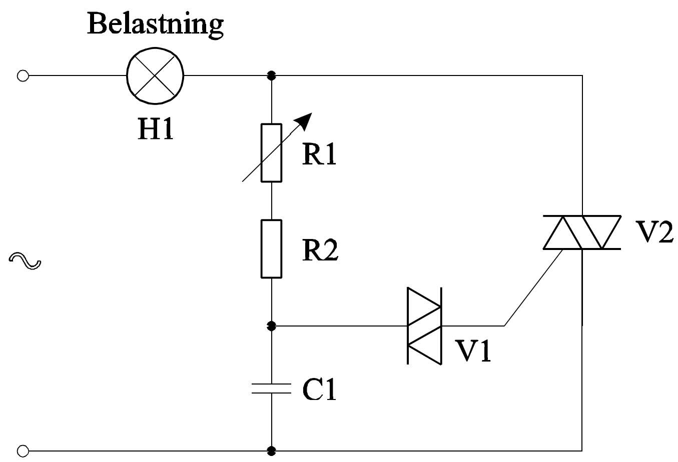


Her må man anvende en transformer i forbindelse med relaxations-oscillatoren, da de to thyristorer ikke har fælles katodeforbindelse.

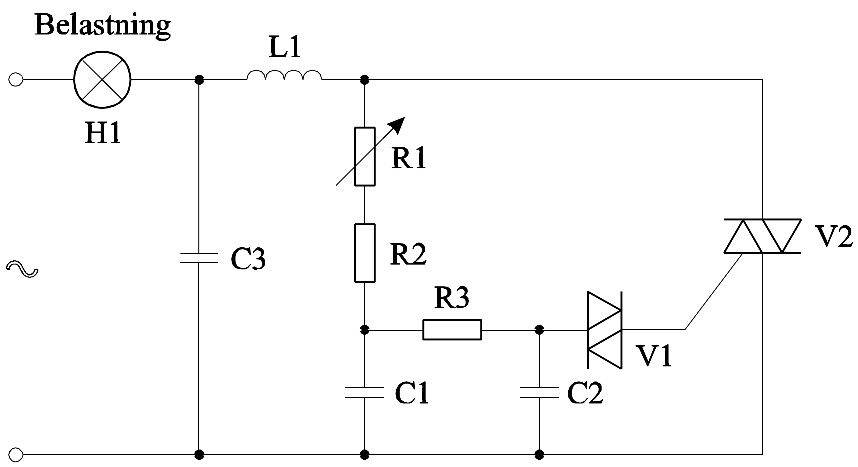
Triac-regulering

En variabel vekselspænding kan også opnås ved anvendelse af en triac.

Den enkleste form for fasestyring er grundkoblingen, som gennemgået under beskrivelsen af triac.



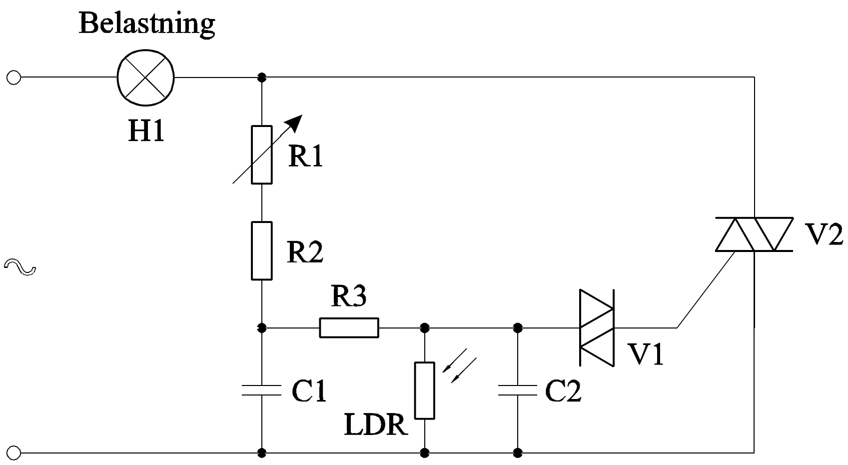
Koblingen med to tidskonstanter giver en mindre "snap-on" effekt og anvendes derfor hyppigst.



Skumringsrelæ

Man kan på utallige måder kombinere en fasestyring med en føler.

Eksemplet nedenfor viser, hvorledes man kan tilføje en LDR-modstand og opnå en kreds, der automatisk holder belysningsstyrken inden for visse grænser.



LDR-modstanden danner en spændingsdeler sammen med R3.

Spændingen over LDR lades på C2.

Ved belysning vil LDR have lille modstand, hvorfor C2 kun oplades langsomt.

Ved mørke vil LDR have stor modstand, derfor vil C2 oplades hurtigt og på et tidligt tidspunkt trigge V2.

Foruden triac-regulatoren må røret forsynes med en normal drosselspole for at begrænse strømmen gennem røret.

En blinkfri tænding opnås ved anvendelse af et rør med tændstrimmel.

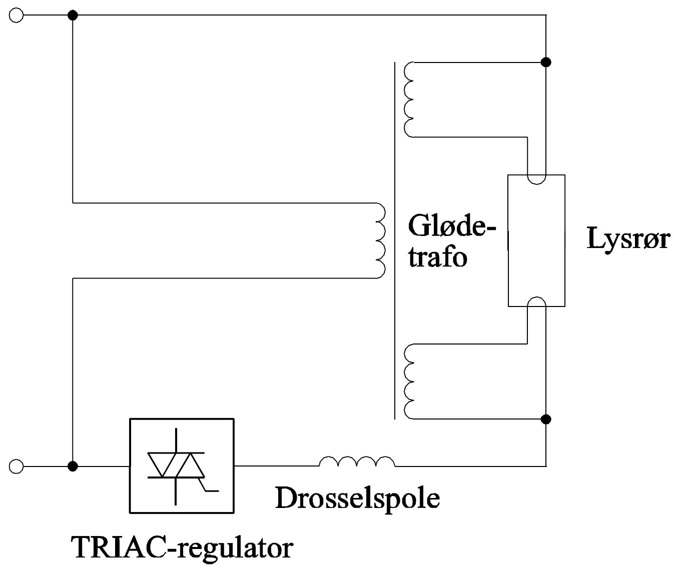
Lysrørs-regulering

Ved regulering på lysrør støder man ind i det problem, at rørets rette funktion er afhængig af, om rørets elektroder har den rigtige arbejdstemperatur.

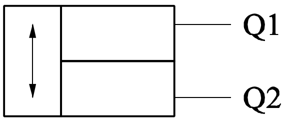
For at vedligeholde denne temperatur, må man forsyne lysrørsarmaturet med en transformer, der leverer glødespænding til elektroderne.

Foruden TRIAC-regulatoren må røret forsynes med en normal drosselspole for at begrænse strømmen gennem røret.

En blinkfri tænding af lysrøret opnås ved anvendelse af et rør med tændstrimmel.

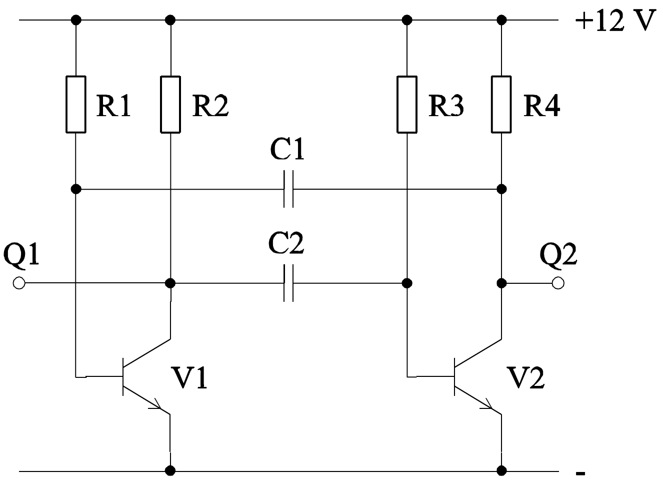


Astabil multivibrator



Den astabile multivibrator bruges i styringer til at frembringe blink på lamper, til periodisk ind- og udkobling af varmelegemer, til at fremkalde hyletoner ved alarmanlæg mv.

Den består af to switch-trin, der er gensidig kapacitivt koblet, dvs. at kollektor på V1 er koblet til basis på V2 gennem en kondensator C2, ligesom kollektor på V2 er koblet kapacitivt til basis på V1 gennem C1.



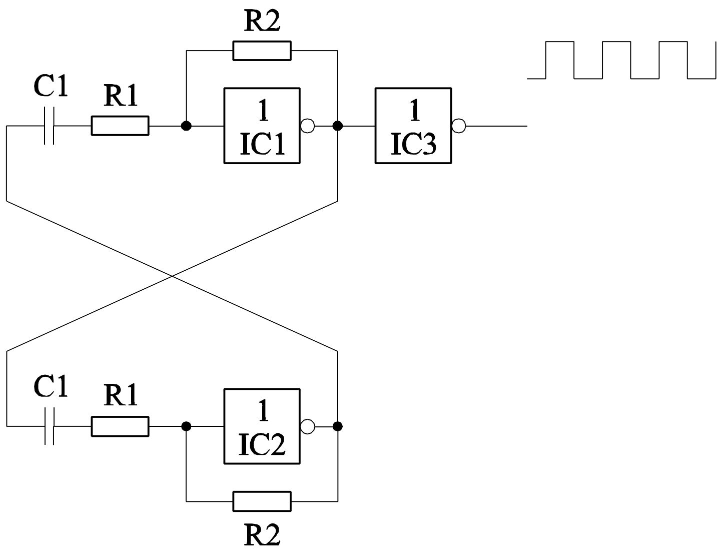
Kredsen har, som navnet siger, ingen stabil tilstand, men V1 og V2 skiftes til at være ON.

Man siger, at kredsen oscillerer.

Frekvensen, der frembringes, er bestemt af opstillingens komponenter.

Justerbar astabil multivibrator med integreret kreds

En lidt mere avanceret multivibrator kan udføres med tre NOT-led, som tegningen viser. Her kan man selv bestemme frekvensen.



De frekvensbestemmende komponenter er R1 og C1, modstandene R2 er anbragt for at få RC-leddene afladet. IC3 er her anvendt som schmitt-trigger for at få en ren firkant-impuls ud af kredsløbet. Ved yderligere at anbringe en IC (NOT) i udgangen af IC2 kan man få både plus og pausetiden ført ud.

Tiden for en periode er givet ved:

$$T = 2 \cdot R1 \cdot C1$$

- frekvensen er givet ved:

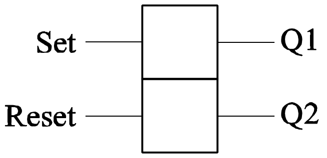
$$f = \frac{1}{2 \cdot R1 \cdot C1}$$

Dette gælder dog kun, når begge C1'er og begge R1'er er ens.

Ellers er formlen således:

$$T = (1 \cdot C1)\ øverst + (R1 \cdot C1)\ nederst$$

Bistabil multivibrator

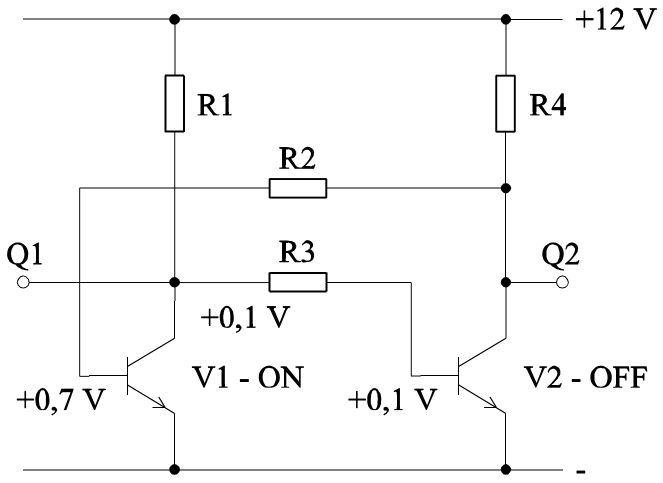


Den bistabile multivibrator findes i et stort antal forskellige udførelser.

To meget anvendte udførelser kaldes SR-flip-flop og T-flip-flop.

SR-flip-flop'en anvendes til hukommelsesfunktioner, og T-flip-flop'en anvendes bl.a. til tællefunktioner.

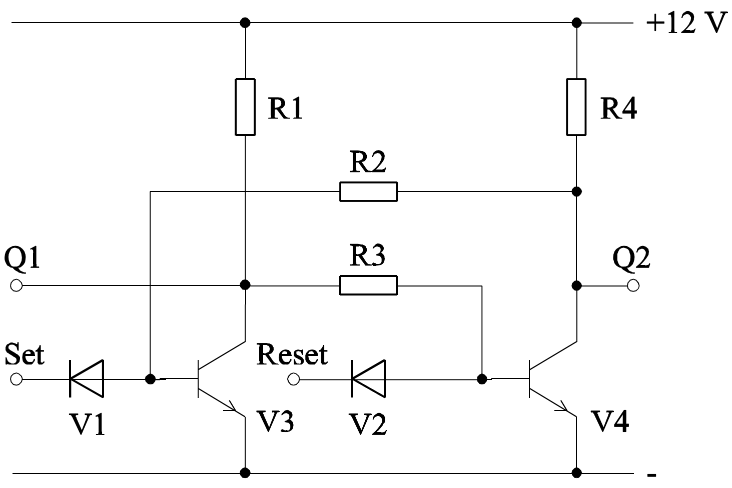
Det grundlæggende kredsløb består af to switch-trin, der er gensidigt ohmsk koblet.



Kredsen har som navnet siger to stabile tilstande. Den ene stilling er med V1-On og V2-OFF, mens den anden stilling med V1-OFF og V2 ON.

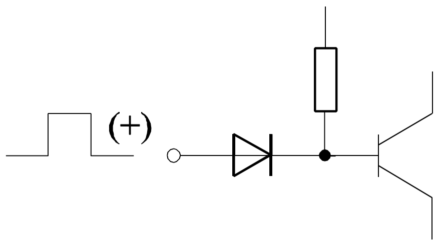
SR-flip-flop

Forbinder man, som vist, dioder på basis af de to transistorer, fås en SR-flip-flop beregnet for trigning med negative impulser.



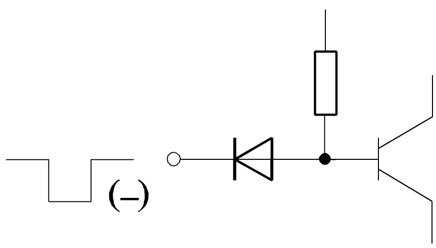
Positive impulser

Det er på dette tidspunkt vigtigt at fastslå, at en positiv impuls kan passere en diode, der vender som vist.

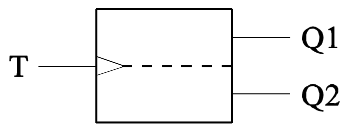


Negative impulser

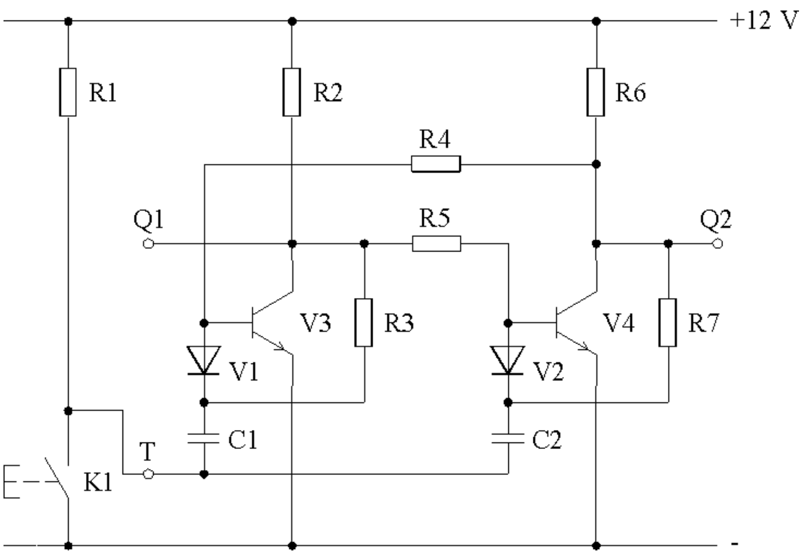
En negativ impuls kan passere en diode, der vender således:



T-flip-flop



Ved at indføre en diode, en modstand og en kondensator på hvert switch-trin, opnår man som vist en T-flip-flop.



Denne har kun en triggerindgang - T.

Impulser på triggerindgangen påvirker trinnet således, at første impuls fx sætter flip-flop'en med V1-ON og V2-OFF, næste impuls skifter trinnet, så V1 går OFF og V2-ON osv.

Den viste T-flip-flop trigges med negative impulser, derfor skal T-indgangen hvile på + 12 V.

Dette sker gennem modstanden R1.

Dominans

SR-flip-flops kan være udført således, at den ene indgang har dominans over den anden, hermed sikres at flip-flopp'en går i en bestemt stilling, hvis begge signaler gives samtidig.

Dette har især betydning, hvor enheden anvendes som startstop kredsløb i automatiske anlæg. Her har stopfunktionen som regel dominans over start.

Den bistabile multivibrator anvendes desuden i tælle- og regnekredsløb.

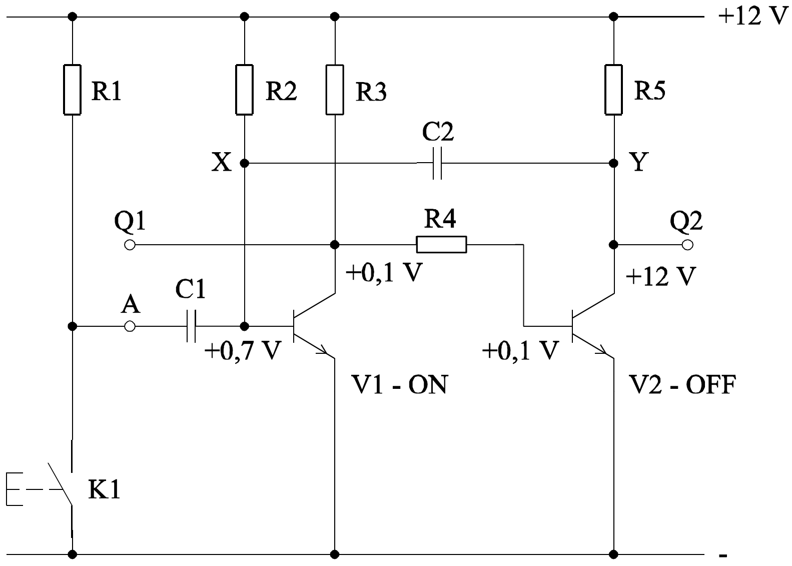
Monostabil multivibrator

Den monostabile multivibrator kendetegnes ved kun at have en stabil tilstand, som navnet siger.

I styreanlæg anvendes den til at frembringe tidsforsinkelser eller til at lave impulser af en bestemt varighed.

Den er karakteristisk ved at afgive en impuls på udgangen, når indgang-A modtager en styreimpuls.

Derfor kaldes den ofte one-shot-multivibrator.



De to switch-trin kobles dels ohmsk gennem R4 og dels kapacitivt gennem C2, så man kan betragte denne multivibrator som en blanding af en astabil og en bistabil multivibrator.

I hvilestilling vil V1 være ON, idet den forsynes med tilstrækkelig basisstrøm gennem R2, og således bliver UBE1 = 0,7 V.

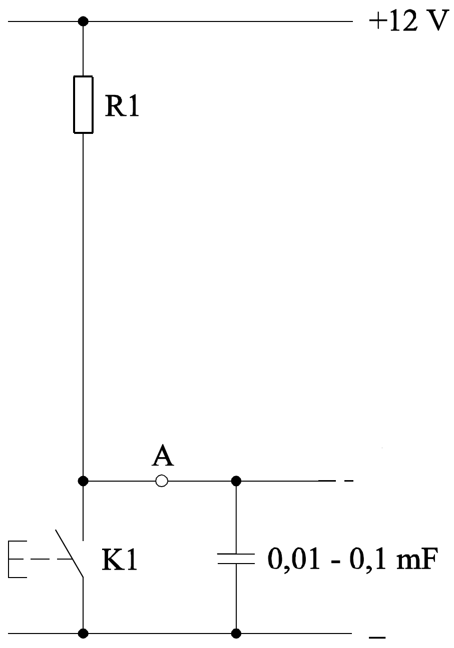
Spændingen på kollektoren af V1 vil være:

UCE1(sat) = 0,1 V.

Denne spænding overføres gennem R4 til basis af V2, så UBE2 bliver 0,1 V.

Som følge heraf holdes V2-OFF.

Støjproblemer



En one-shot-multivibrator er ret følsom over for elektriske støjspændinger, idet den kan opfatte disse som triggerimpulser.

Udgør støj et problem, kan man fx bedre på dette forhold ved at forbinde en lille kondensator mellem impulsindgangen og minuspolen.

Schmitt-trigger

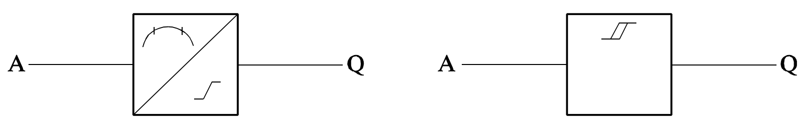
Schmitt-triggeren er en multivibrator med to stabile tilstande.

Den skifter tilstand, når indgangssignalet overskrider en bestemt tærskelværdi - U_{til} og denne tilstand varer, indtil indgangssignalet er faldet til en anden værdi - U_{fra}.

Ved U_{fra} skifter Schmitt-triggeren tilbage til den oprindelige stilling.

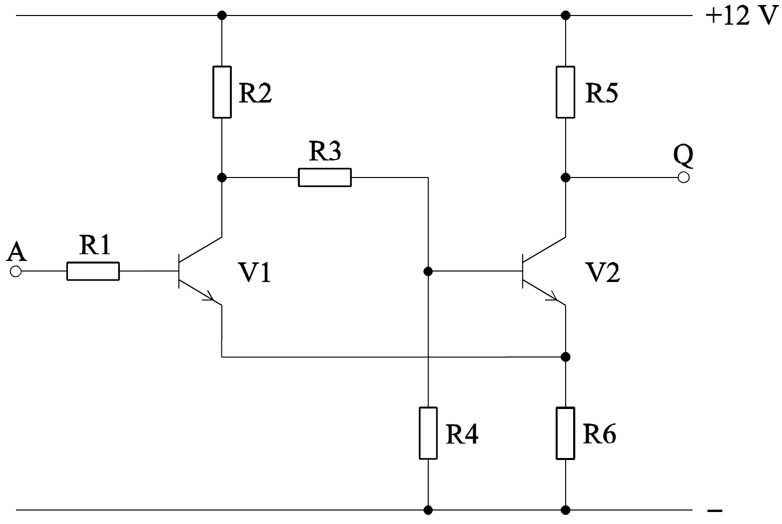
Schmitt-triggeren anvendes meget som indgangstrin i logikstyringer, hvor den omformer signalerne fra følerne til logiksignaler.

Endvidere anvendes den til at omforme impulser af vilkårlig form til firkant-impulser.



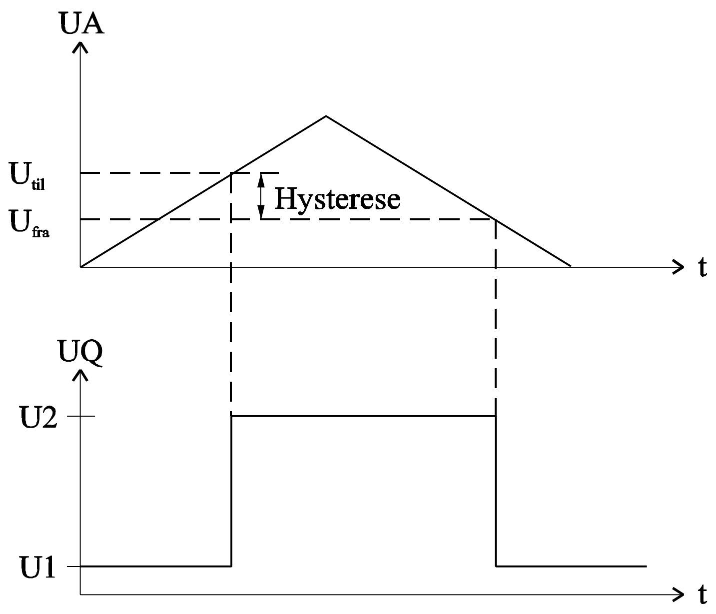
Opbygning

Som skitsen viser, består Schmitt-triggeren af to switch-trin, der er ohmsk sammenkoblet ved hjælp af spændingsdeleren R3 - R4.

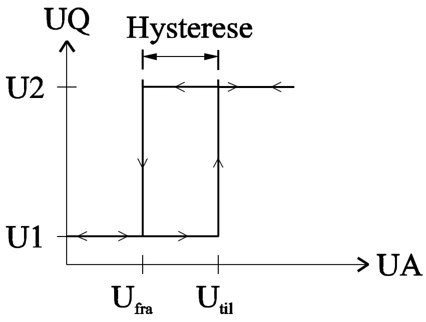


Karakteristik

Schmitt-triggerens funktion fremgår af kurverne.

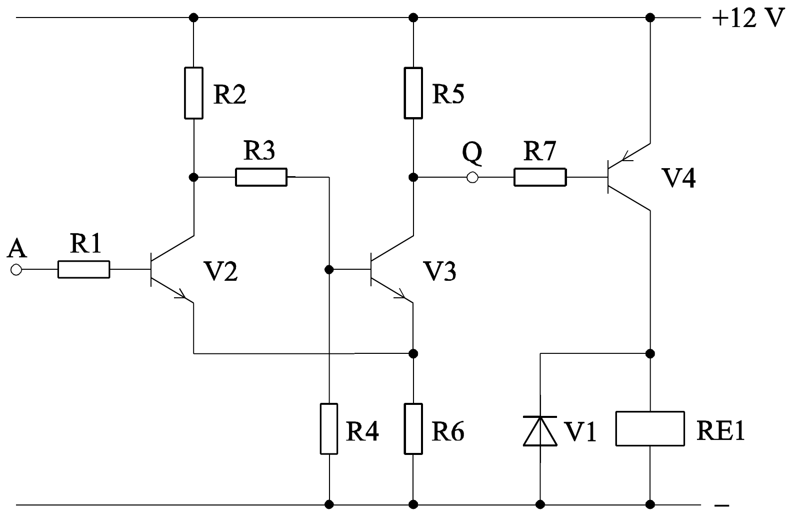


Man kan også afbilde sammenhængen i en kurve, som vist her.



Schmitt-trigger med drivertrin

Skal Schmitt-triggeren aktivere et relæ, kan dette gøres ved at tilføje et relæ-drivertrin.



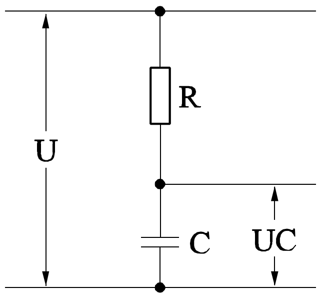
Når V3 går ON, vil IC2 danne et spændingsfald over R5:

UR5 = IC2 R5

Denne spænding virker som styrespænding for V4, der således styres ON af UR5 gennem R7.

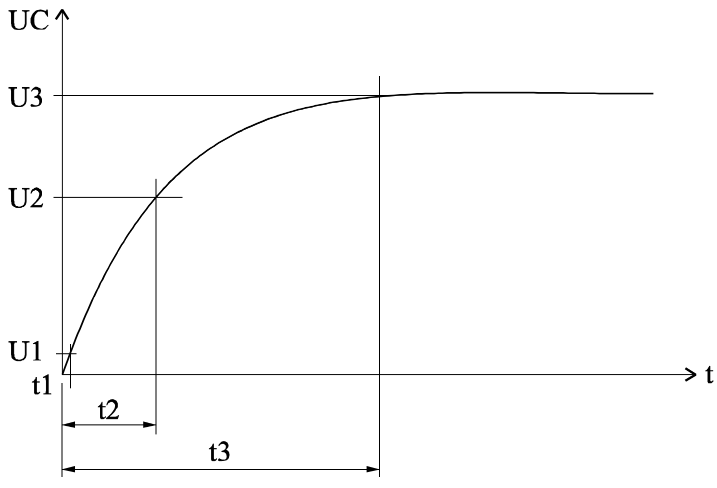
Når V3 går OFF bliver IC2 = 0 mA; samtidig bliver UR5 = 0 V, hvorved V4 styres OFF.

Tidsforsinkelse



I forbindelse med elektroniske styreanlæg findes der utallige forskellige timer-kredsløb.

Fælles for disse er dog, at selve tidsforsinkelsen frembringes med et RC-led.



For at opnå en rimelig udnyttelse af opladekurven, må den efterfølgende elektronik indeholde et spændingsfølende led, der reagerer, når UC befinder sig et passende sted på opladekurven - U2.

Sker dette for langt nede på kurven - U1, får man en relativ kort tidsforsinkelse.

Dersom det sker så højt på kurven, at den er fladet ud (U3), bliver tiden usikker.

Reagerer den efterfølgende elektronik ved en spænding, der er 63,2 % af forsyningsspændingen, bliver tidsforsinkelsen, som tidligere nævnt:

$$t = R \cdot C$$

hvor t er i s

hvor R er i MΩ

hvor C er i µF.

Det spændingsfølende led kan fx være en Schmitt-trigger, en zenerdiode eller en unijunction-transistor.

Tidsforsinkelse med zenerdiode

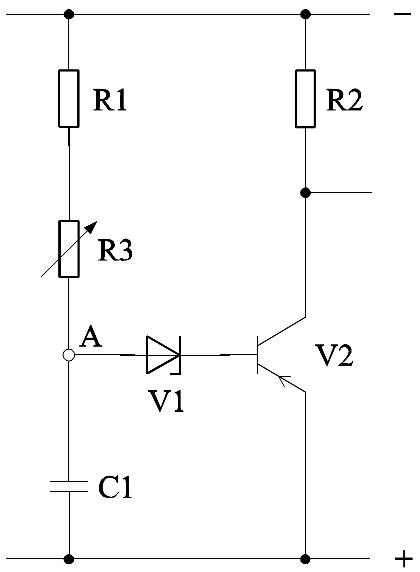
Den viste opstilling er forenklet og skal kun anskueliggøre princippet.

Når der sættes spænding på opstillingen, vil kondensator C1 oplades gennem R1 og R3.

På det tidspunkt, hvor UC bliver lig med Uz + UBE1, vil transistoren V2 styres ON.

Herefter virker R1 og R3 som basismodstand for V2.

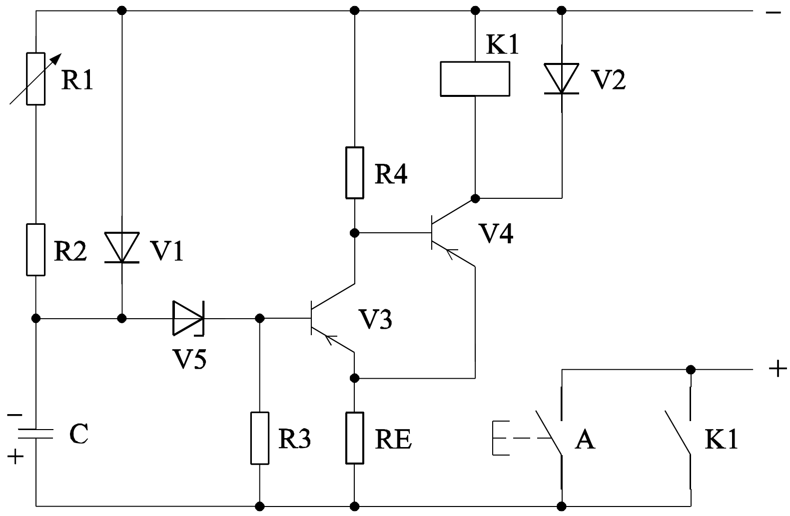
R3 giver mulighed for at variere tiden.



Elektronisk trappeautomat

En komplet opstilling til en elektronisk styret trappeautomat er vist her. Kredsen er forsynet med to transistorer i kaskadekobling.

Af hensyn til overskueligheden er dog ikke medtaget den stærkstrømsmæssige installation, idet lamperne ganske enkelt tændes af en ikke vist kontakt på relæet K1.



Virkemåden er følgende:

- Når trappetrykket A sluttes, vil V1 forblive OFF, fordi dens basis holdes på positiv potentiale af R3, derved kan V4 få basisstrøm gennem R4, hvilket bevirker at V4 går ON; relæet aktiveres og trappelyset tændes.

En af K1's kontakter fungerer som holdepunkt, efter at trappetrykket er sluppet.

Samtidig med at A sluttes, påbegyndes opladningen af C gennem R1 og R2.

Når kondensatorspændingen UC bliver lig med zenerspændingen plus V3's basis/emitter-spænding, går V3 ON.

Når V3 går ON, falder dens kollektor/emitter-spænding UCE til ca. 0,1 V.

Denne spænding er samtidig styrespænding for V4; men da basis/emitter-dioden på V4 kræver mindst 0,7 V, for at transistoren kan trække kollektorstrøm, vil V4 gå OFF - relæet udløser - og trappelyset slukker.

Det tidsrum, hvor man ønsker, at lyset skal være tændt, kan indstilles på potentiometret R1.

For at dette tidsrum bliver ens, hver gang trappeautomaten aktiveres, må kondensatoren være afladet.

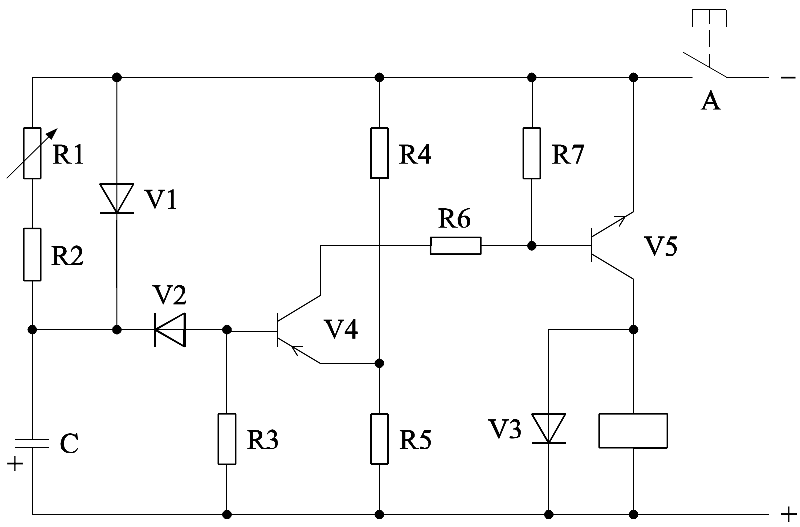
Afladningen af kondensatoren sker gennem følgende kreds:

- fra + på kondensatoren - gennem RE - videre gennem de to transistorer og deres kollektorbelastninger - gennem V1 - og til - på kondensatoren.

R1 og R2 ville på grund af deres ret store modstand bevirke en lang afladetid af kondensatoren; derfor er dioden V1 indskudt.

Indkoblingsforsinket timer

Med denne forbindelse kan man forsinke aktiveringen af relæet.



Det specielle ved denne kobling er, at dens indgangskreds er udført som en broforbindelse, bestående af R1 + R2 og C samt R4 og R5.

V4's basis/emitter-strækning er gennem V2 indkoblet som brodiagonal.

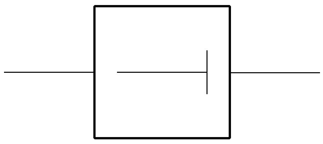
Når A sluttes, vil C oplades gennem R1 + R2.

Begge transistorer er OFF, indtil UC er vokset til en vis værdi. Da vil V4 gå ON og samtidigt styre V5 ON, hvorved relæet aktiveres.

Først når A afbrydes, udkobles relæet, og kondensatoren udlader sig gennem V1, R5 og R4.

- Ved denne opstilling kan opnås ret stabile forsinkelser på op til ca. 200 s.

Forsinket udkobling

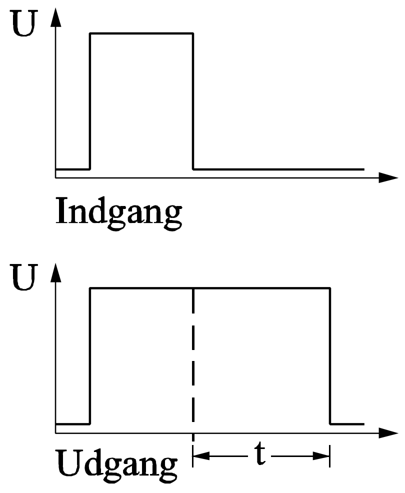


Nogle typer tidsled med forsinket udkobling kan holdes i den "ustabile" tilstand af en konstant spænding på indgangen.

Afbrydes spændingen på indgangen skifter udgangen til stabil tilstand efter tiden t.

Tilføres indgangen igen spænding inden tiden er udløbet, forbliver udgangen i den ustabile tilstand.

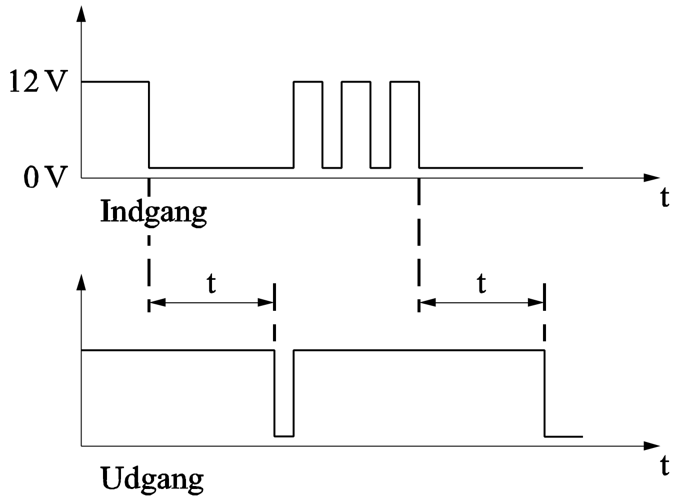
Denne funktion benævnes udkobling eller forsinket frafald.



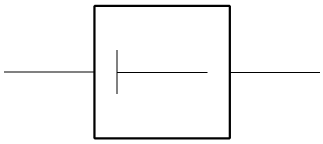
Er enheden udført med hvilestrømsudgang kan den direkte anvendes som impulskontrol, idet hvilestrømsudgangen står med spænding i den stabile tilstand.

Tilføres indgangen impulser med jævne mellemrum, holdes udgangen i den ustabile tilstand. Udebliver impulserne ud over et fastlagt tidsinterval, skifter leddet til stabil og giver signal på hvilestrømsudgangen.

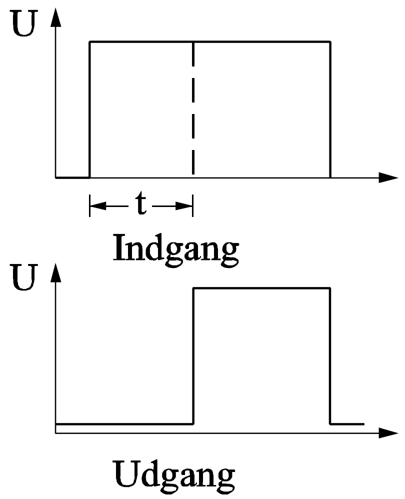
Tilsvarende funktioner kan fås ved forsinket indkobling med reset.



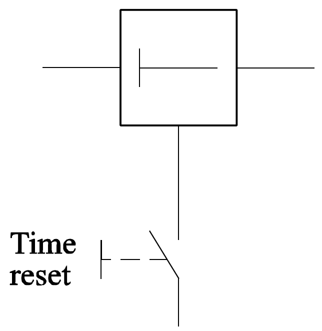
Forsinket indkobling



Ved forsinket indkobling eller forsinket tiltræk startes tidskredsløbet, når indgangen tilføres en spænding. Når tiden t er gået, skifter udgangen til stabil tilstand.



Ved afbrydelse af indgangssignalet skifter udgangen tilbage uden tidsforsinkelse.



Er enheden konstrueret med en indgang for time-reset vil signal på denne indgang, inden tiden er udløbet, bevirke, at tidsforløbet starter forfra.

Enheden kan således anvendes som impulskontrol. Tilføres time-reset indgangen impulser med jævne mellemrum, holdes leddet i ustabil tilstand.

Digitale timere

Ved langtidstimere og timere med stor repetitionsnøjagtighed anvendes tælleenheder som tidsmålere.

I vekselstrømssystemer kan perioderne optælles i en forvalgstæller, som giver udgangssignal, når det forvalgte antal perioder er gennemløbet.

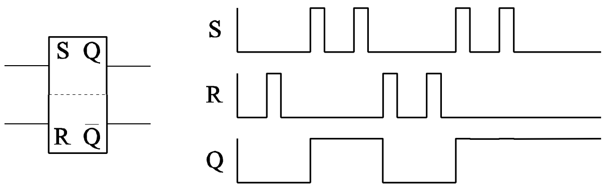
I jævnstrømssystemer kan forvalgstælleren styres af en astabil multivibrator. Nøjagtigheden vil da afhænge af multivibratorens stabilitet.

Tiden på digitaltimere af disse typer indstilles på tælleren, som kan være kalibreret i sekunder, minutter eller timer.

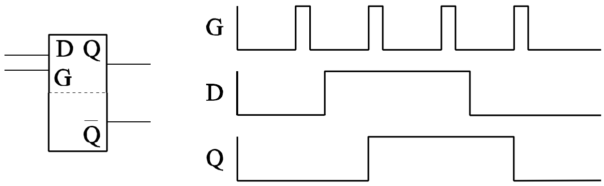
Multivibratortyper

Udover de her omtalte multivibratortyper findes andre, fx D-flip-flop og JK-flip-flop.

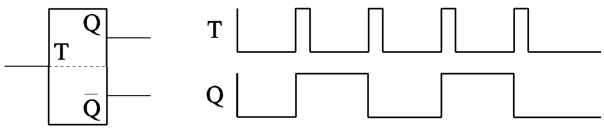
S-R Flip - Flop
(set - reset)



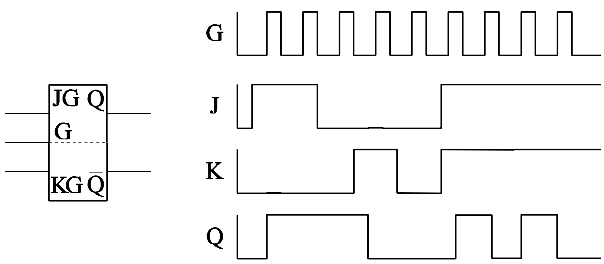
D Flip - flop
(data)



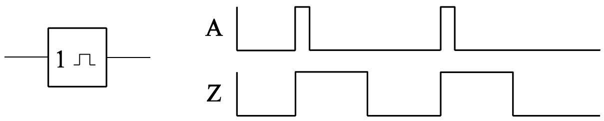
T Flip - Flop
(trigger)



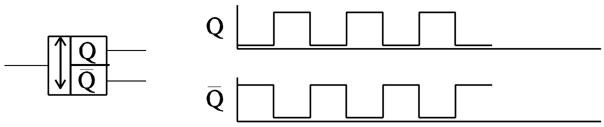
J - K Flip - Flop



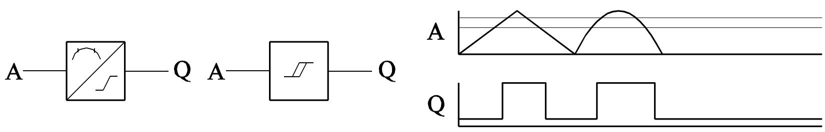
Monostabil
multivibrator



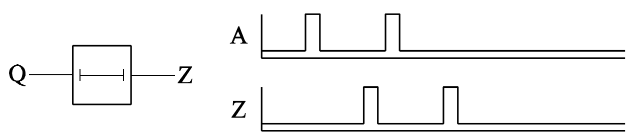
Astabil
multivibrator



Schmitt
trigger



Tidsforsinkelses-
element



Digitale systemer

I automatiske anlæg foregår ind- og udkoblingen af elektriske spændinger ved hjælp af mekaniske kontakter. Enten er kontakten sluttet eller også er den afbrudt.

I elektronisk udstyr udføres kontaktfunktionen i logiske kredsløb nøje svarende til funktionen af de mekaniske.

En sluttet kontakt ON = logisk 1 (høj) og en afbrudt kontakt OFF = logisk 0 (lav).

Signalniveau

Logisk 1 kan fx være 5 V TTL eller 3-18 V Cmos.

Logisk 0 = 0 V.

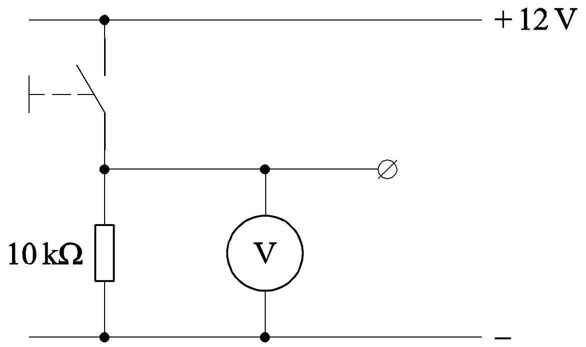
Er forsyningsspændingen eksempelvis 12 V (Cmos), vil logisk 0 ofte være spændingsværdierne mellem 0 V og 5 V og logisk 1 værdierne mellem 7 V og 12 V, dog varierende fra den ene logikfamilie til den anden.

Indgangssignaler

Indgangssignalerne til logikken kan komme fra følere eller mekaniske kontakter.

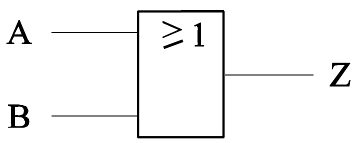
Åben kontakt 0 V = logisk 0

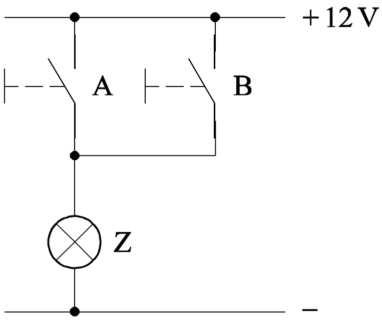
Sluttet kontakt 12 V = logisk 1



Modstanden skal sikre, at punkt A ikke svæver, når kontakten er afbrudt, da en svævende indgang er meget modtagelig for støjsignaler.

ELLER-led, OR





Sandhedstabel

Lampen Z tændtes ved at slutte kontakten A eller B.

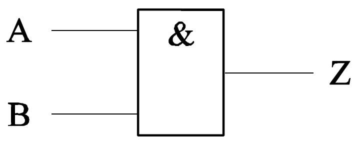
B	A	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

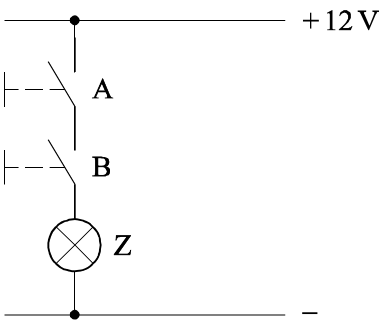
Ligning

$$Z = A + B, \; \mathit{ELLER{-}funktion}$$

Antal indgangskontakter kan være ubegrænset, dog stiger kombinationsmulighederne tilsvarende.
Fx: 2 kontakter $2^2 = 4$ kombinationer
Fx: 3 kontakter $2^3 = 8$ kombinationer

OG-led, AND





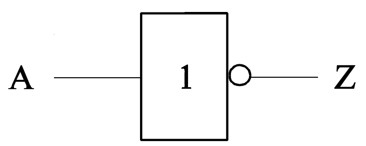
Sandhedstabel

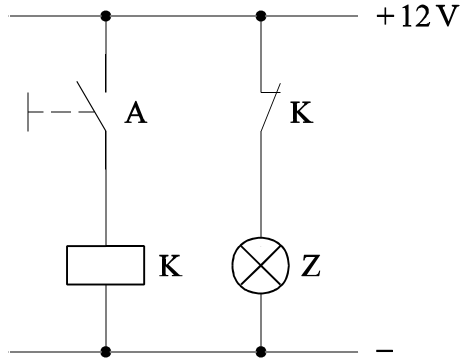
Lampen Z tændes ved at slutte kontakterne A og B.

B	A	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Ligning $Z = A \cdot B,\ OG\text{-}funktion$

IKKE-led, NOT





Lampen Z er tændt når kontakten A er afbrudt.
Leddet kaldes også inverteringsled eller inverter.

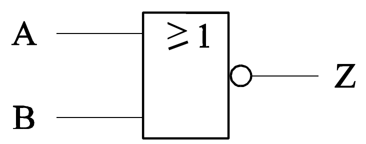
Sandhedstabel

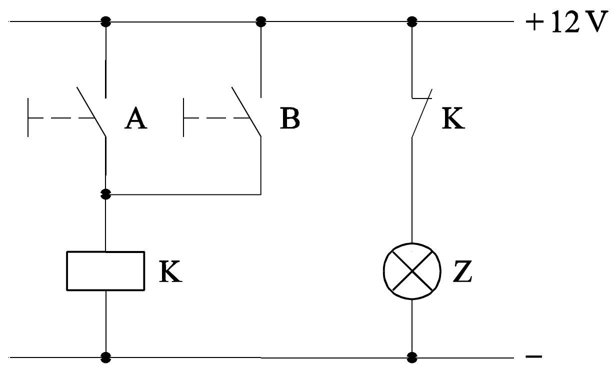
A	Z
0	1
1	0

Ligning $Z = \overline{A},\ IKKE\ A$

Ikke - eller - NOR

NOR står for not or.





Lampen Z er tændt, når afbryderne A eller B ikke er sluttet.

Sandhedstabel

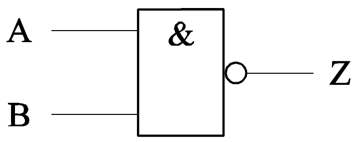
B	A	Z
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

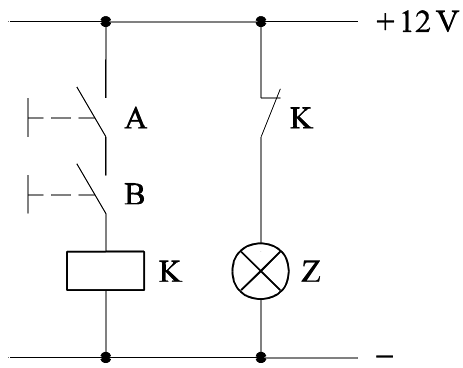
Ligning

$$Z = \overline{A + B},\ A \textit{ eller } B \textit{ inverteret}$$

Ikke og NAND

NAND står for not and.





Lampen Z er tændt når afbryderne A og B ikke er sluttet.

Sandhedstabel

B	A	Z
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Ligning

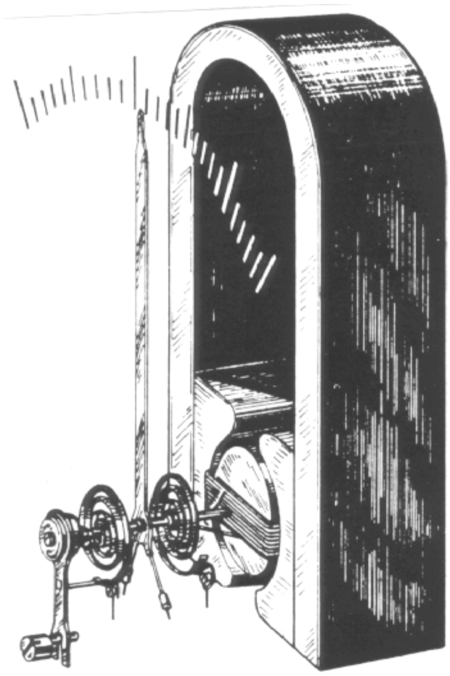
$$Z = \overline{A \cdot B},\ A \textit{ og } B \textit{ inverteret}$$

Instrumentprincipper

Den tekniske udvikling har bevirket, at typer og især data for måleinstrumenter har antaget et enormt omfang.

I det følgende afsnit forsøges givet en grov gennemgang af de instrumentprincipper, der oftest anvendes til måling af strøm, spænding, modstand og effekt.

Drejespoleinstrumentet



Drejespoleinstrumentet kan fremstilles som præcisionsinstrument og har mange anvendelsesmuligheder.

Drejespoleinstrumentet består af en permanent magnet og en cylindrisk jernkerne med en spole samt et visersystem. Visersystemet er fastgjort til den bevægelige cylinderspole.

Når der sendes målestrøm gennem spolen, vil denne magnetiseres og danne et felt. Feltet fra spolen og feltet fra den permanente magnet påvirker hinanden og får den bevægelige cylinderspole til at gøre et udslag. Hvis feltet, som spolen drejer i, er ensartet, vil viserens udslag være lineært.

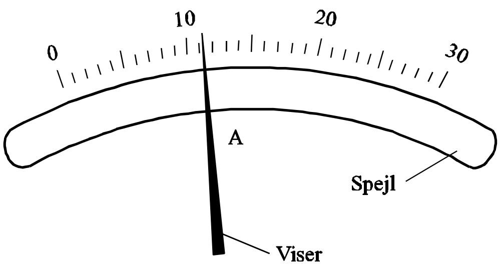
Dæmpning

Dæmpning af viserens bevægelser opnås ved, at man vikler drejespolen på en tynd ramme af aluminium eller kobber. Denne ramme virker som en kortsluttet vinding anbragt i magnetfeltet og vil derfor, gennem opståede hvirvelstrømme, søge at modvirke svingninger.

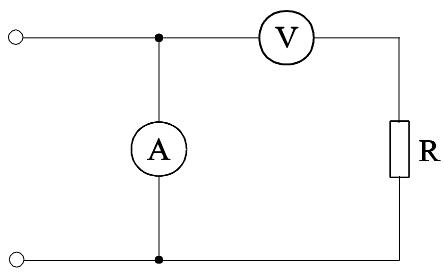
Spejlskala

Ofte er drejespoleinstrumentet udført med spejlskala.

På skalaen anbringes et smalt spejl. Når instrumentet skal aflæses, ser man på viseren med det ene øje i en sådan retning, at viser og spejlbillede dækker hinanden.

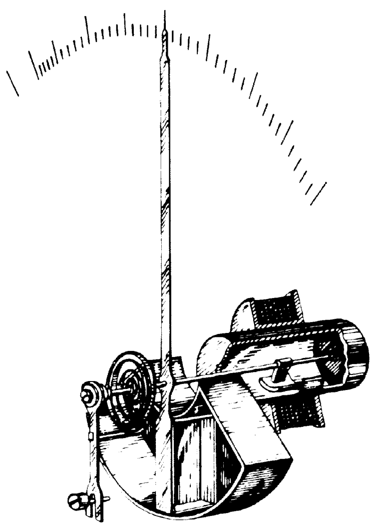


Anvendelse



Drejespoleinstrumentet kan fx anvendes som amperemeter og voltmeter på jævnstrømskredsløb. Instrumentet giver kun udslag for jævnstrøm, og ved pulserende strømme giver drejespoleinstrumentet et udslag, som er direkte proportionalt med middelværdien af målestrømmen.

Blødtjernsinstrument



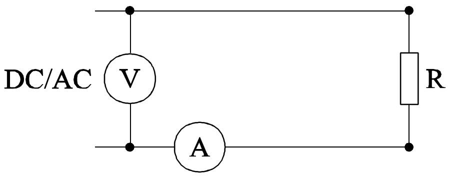
Blødtjernsinstrumentet udmærker sig ved at være et robust og enkelt instrument.

Blødtjernsinstrumentet består af en faststående spole og en bevægelig jernkerne.

På jernkernens aksel er visersystemet og en dæmpningsanordning fastgjort.

Når der sendes målestrøm gennem den fastsiddende spole, magnetiseres spolen og jernkernen med ensartede poler, hvorfor den bevægelige kerne vil gøre et udslag proportionalt med strømstyrken.

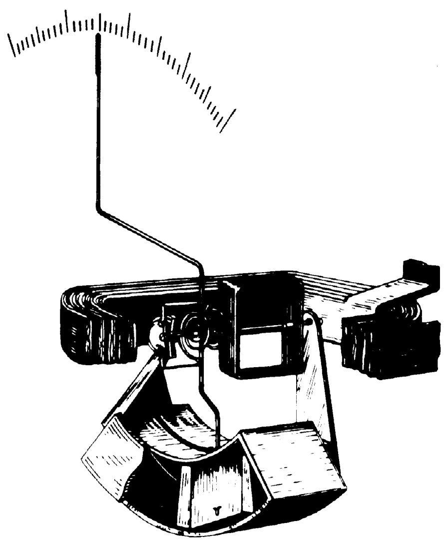
Anvendelse



Instrumentet kan anvendes som amperemeter og voltmeter både på jævn- og vekselstrømskredsløb.

Instrumentet viser ved vekselstrøm dennes effektivværdi uanset vekselstrømmens kurveform.

Elektrodynamisk instrument



Det elektrodynamiske instrument er opbygget med en fast spole og en spole ophængt på en aksel, der kan dreje i magnetfeltet fra den faste spole. På akslen er fastspændt viser, luftdæmper og to spiralfjedre. Fjedrene tjener som tilledninger til den bevægelige spole og sikrer viserens nulstilling.

Instrumentet kan være udført uden stålkappe, hvilket medfører, at visningen let påvirkes af fremmede magnetfelter.

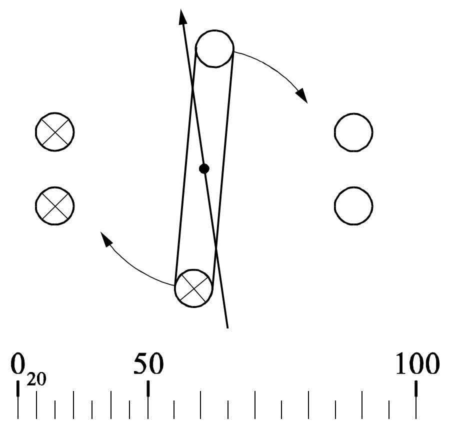
Ledningerne fra den bevægelige og den faste spole forbindes på forskellig måde afhængig af instrumentets anvendelse.

Når et elektrodynamisk instrument skal anvendes som amperemeter forbindes spolerne parallelt, og instrumentet udstyres med lille indre modstand.

Skal instrumentet anvendes som voltmeter, forbindes spolerne i serie og vikles med mange vindinger af tynd tråd, hvorfor den indre modstand er stor.

Luftdæmperen sørger for, at det let bevægelige visersystem hurtigt falder til ro. For at reducere fejlvisning på grund af spolernes forskellige selvinduktion og temperaturpåvirkning er der indskudt induktionsfrie manganinmodstande i serie med spolerne.

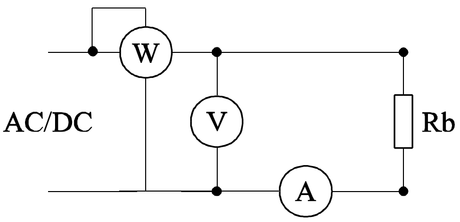
Virkemåde



Tilsluttes instrumentet med en vinding som voltmeter og en som amperemeter, vil der løbe strømme i de to spoler. Den bevægelige spole vil stille sig således, at strømmene løber gennem spolerne i samme retning, idet parallelle ledere med samme strømretning tiltrækker hinanden.

Tiltrækningen og dermed viserens udslag bliver proportionalt med kvadratet på strømmens effektive værdi, hvorfor skalainddelingen er kvadratisk. Ved særlig udformning af den faste spole kan skalaen forbedres, så den bliver næsten lineær på den midterste del.

Anvendelse

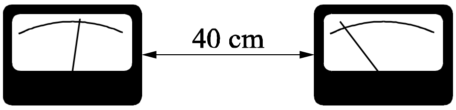


Det elektrodynamiske princip anvendes til instrumenter for strøm-, spændings- og effektmålinger.

Instrumentets visning er uafhængig af strømmens kurveform og kan, når det er justeret ved jævnstrøm, også vise rigtigt ved vekselstrøm.

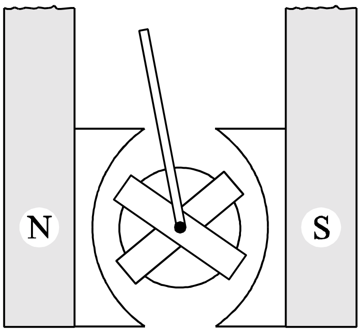
Det elektrodynamiske instrument kan anvendes som præcisionsinstrument ved jævn- og vekselstrøm og udføres i nøjagtighed op til klasse 0,1.

Ved målinger med elektrodynamiske instrumenter uden stålkappe skal instrumentet anbringes ca. 40 cm fra fremmede magnetfelter, fx andre instrumenter og motorer, for at vise korrekt.



Til målinger af strømme over 50 mA anvendes indbyggede eller påbyggede shunte - til spændingsmåling anvendes forlagsmodstande. Strøm- og spændingstransformere bør anvendes ved store strømme og høje spændinger på grund af instrumentets store egetforbrug.

Krydsspoleinstrument



Til måling af forholdet mellem to strømme kan anvendes et krydsmodulationsinstrument.

Instrumentets opbygning ligner drejespoleinstrumentets, men det er forsynet med to drejelige spoler anbragt som et kryds. Tilledningerne til spolerne er tynde, bevægelige tråde, idet instrumentet ikke indeholder nogen returfjeder.

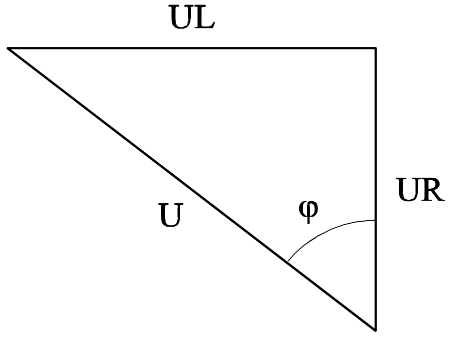
Det magnetiske felt er ikke ensartet (homogent), men aftager fra midten og ud mod siden af polskoen.

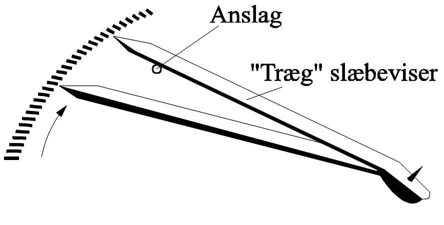
Udslaget på instrumentet er kun afhængig af forholdet mellem strømmene i de to spoler og proportionalt med dette.

Anvendelse

Krydsspoleinstrumentet anvendes til fx modstands-, isolations- og temperaturmåling samt som cos φ-meter.

Bimetalinstrument





Bimetalinstrumenter bygger på det princip, at en bimetalstrimmel, dvs. to sammenvalsede strimler af metaller med forskellig udvidelseskoefficient, vil krumme sig, når den gennemløbes af en elektrisk strøm eller af andre grunde opvarmes. Jo højere temperaturen er, desto mere vil bimetalstrimlen krumme sig.

For at kompensere for de bevægelser som svingninger i omgivelsernes temperatur vil bevirke, er hovedbimetalstrimlen koblet med en anden bimetalstrimmel, som kun påvirkes af omgivelsestemperaturen.

Da den kraft, der fremkalder udslaget, er meget stor, egner instrumentet sig godt til at fremføre en slæbeviser, som bliver stående ved det største udslag, viseren har været oppe på.

Da instrumentet er ret trægt, vil det ikke angive kortvarige strømstød såsom forbigående kortslutningsstrømme eller motorens igangsætningsstrømme.

Det er ikke særlig nøjagtigt, men egner sig udmærket til registrering af belastninger i transformerstationer.

Anvendelse

Instrumentet kan anvendes ved såvel jævn- som vekselstrøm.

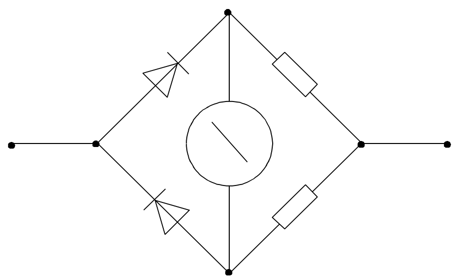
Skalaen bliver kvadratisk, og instrumentet vil som amperemeter vise strømmens effektive værdi uanset kurveform og frekvens inden for lavfrekvensområdet.

Bimetalinstrumenter kan udbygges med shunte og strømtransformere.

Instrumenttyper

I det følgende afsnit gennemgås de mest anvendte instrumenttyper til måling af strøm, spænding, modstand og effekt.

Drejespoleinstrument som universalinstrument



Drejespoleinstrumentets store målenøjagtighed kan også udnyttes ved vekselstrøm.

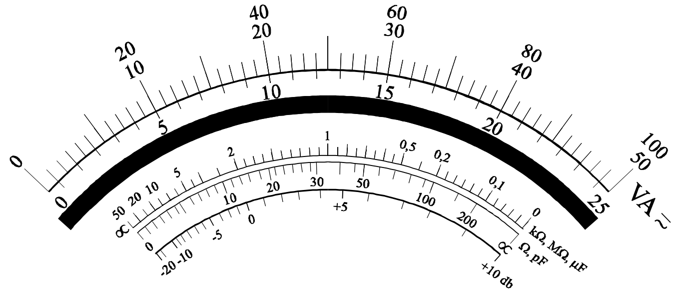
Der indbygges i instrumentet en ensretter, som ensretter målestrømmen.

Dette gør instrumentet mere anvendeligt til forskellige målinger af strøm og spænding både ved jævnstrøms- og vekselstrømskredsløb.

Yderligere kan instrumentet bygges til måling af modstand, kapacitet, decibel og til temperaturmåling ved hjælp af termoelement.

Skala

Instrumentet kan være forsynet med skala for henholdsvis jævn- og vekselstrøm eller med fælles skala som vist. Udslaget er proportionalt med den ensrettede vekselstrøms middelværdi, og skalaen justeres, så den ved sinusformet vekselstrøm viser 1,11 x middelværdi = effektiv værdi.



Anvendes instrumentet til måling af vekselstrømme og - spændinger, der ikke er sinusformede, vil udslaget ikke vise korrekt effektiv værdi.

Til beskyttelse mod overbelastning af instrumentet kan der være indbygget smeltesikring og momentudløsning. Desuden er nogle instrumenter forsynet med overspændingsafleder for ensretterkoblingen, således at dioden ikke ødelægges af spændingsspidser.

Ved spændingsmåling på følsomme kredsløb med små strømme som fx rør- og transistorkredsløb bør der anvendes instrumenter med meget stor indre modstand.

Den indre modstand i voltområderne og spændingsfaldet over instrumentet i ampereområderne er ofte konstant uanset måleområde.

Digitale multimetre

Den stadig stigende grad af kompleksitet i automatiske anlæg kræver en stadig stigende grad af nøjagtige målinger.

Det betyder, at i takt med udviklingen af anlæg, er der også sket en udvikling af måleinstrumenter.

Et multimeter som har vundet stor indpas er digitalmultimetret.

Som navnet antyder, anvender man et digitalt display til at vise de målte data.

Det mest almindelige display er de såkaldte LCD-displays.

LCD-display

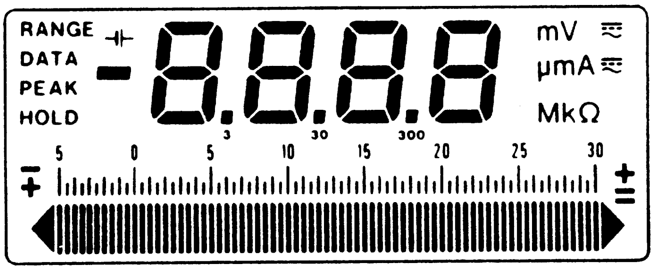
LCD er en engelsk forkortelse som betyder:

Liquid Crystal Display.

Liquid betyder flydende, Crystal betyder krystal og Display betyder fremviser.

LCD-displayet anvender som regel direkte visning med numeriske tegn - tal - i stedet for en viser.

Nogle LCD-displays er dog udformet med både tal og en slags viser.

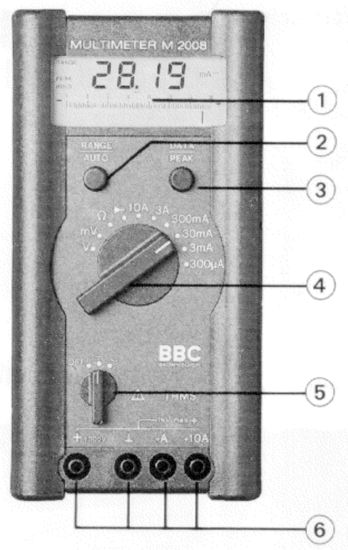


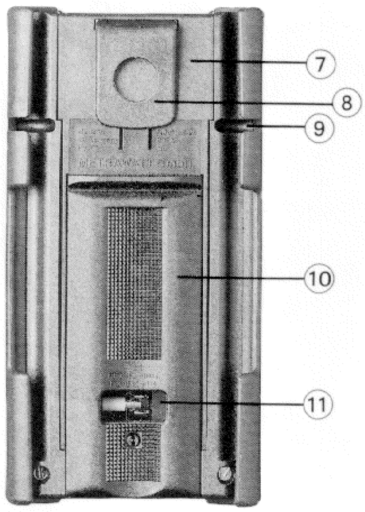
LCD-displayet giver mulighed for visning af meget andet end den målte værdi. Som det ses af tegningen, som indeholder både den numeriske visning, og den analoge "viser", kan man se det rigtige fortegn på den målte værdi. Man kan direkte på instrumentet se, hvilket område man måler i og mange andre visninger som kan være nyttige at have.

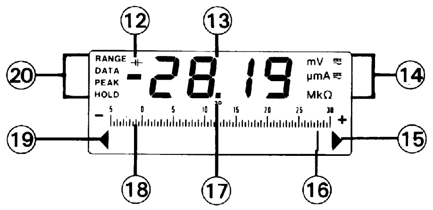
LCD-displayet kræver nogen elektronik for at kunne fungere. Det betyder samtidig, at man har bygget videre med elektronikken, og her igennem har fremstillet et måleinstrument med flere faciliteter end det traditionelle drejespolemultimeter.

Nogle af de primære forskelle er, at digitalmultimetret er et forstærkerinstrument, hvilket betyder, at instrumentet ikke kræver noget energitilførsel fra måleobjektet. Det betyder, at instrumentet har en høj indgangsmodstand. Indgangsmodstanden er typisk på 10 MΩ i alle spændingsområder, hvor det traditionelle drejespoleinstrument har en typisk værdi på 50-100 kΩ /V.

Et digitalmultimeter kunne se ud som vist.







1. LCD-display.
2. Tast for manuel områdevalg.
3. Tast for "DATA-HOLD" og "PEAK-HOLD".
4. Vælger for måleområde.
5. ON/OFF og strømvalg.
6. Tilslutningsbøsninger.
7. Batteriholder.
8. Ophængningsbøjle.
9. Klemmer til opbevaring af prøvepinde.
10. Bøjle for skråstilling af instrument.
11. Synlig sikringsholder.
12. Batteriindikator.
13. Digitalvisning (numerisk).
14. Visning af strøm, spænding og ohm.
15. Visning for overskridelse af måleområde.
16. Analogvisning (viser).
17. Visning af det valgte måleområde.
18. Visning af negativ overskridelse af måleområde.
19. Målområde.
20. Visning af funktionerne "RANGE-HOLD", DATA-HOLD", og "PEAK-HOLD".

Displaynøjagtighed

Det viste instrument har fire cifre for visning af måleresultat. Man bruger udtrykket at displayet har 3 1/2 digits nøjagtighed, da der ligger ± 50 % afvisning i det mindst betydende ciffer.

Måler man eksempelvis en spænding på 12,5549 V vil instrumentet vise 12,55 V men er den målte værdi 12,5551 V, vil instrumentet vise 12,56 V.

Dataeksempel for Analog-digital-multimetret M 200x

Nedenstående ses et typisk datablad for et digitalmultimeter.

5. Technische Kennwerte

<table>
<tr><th rowspan="2">Meß-funktion</th><th colspan="3">Meßbereich</th><th rowspan="2">Auf-lösung</th><th rowspan="2">Eingangs-impedanz</th></tr>
<tr><th>M 2004</th><th>M 2005</th><th>M 2006
M 2007
M 2008 1)</th></tr>
<tr><td rowspan="5">V⎓</td><td colspan="3">300,0 mV</td><td>0,1 mV</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">3,000 V</td><td>1 mV</td><td>11 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">30,00 V</td><td>10 mV</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">300,0 V</td><td>100 mV</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">1000 V</td><td>1 V</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td rowspan="5">V~</td><td colspan="3">300,0 mV</td><td>0,1 mV</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">3,000 V</td><td>1 mV</td><td>11 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">30,00 V</td><td>10 mV</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">300,0 V</td><td>100 mV</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td colspan="3">1000 V</td><td>1 V</td><td>10 MΩ//40 pF</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td>Spannungsabfall ca.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">A⎓</td><td>—</td><td>—</td><td>300,0 µA</td><td>0,1 µA</td><td>150 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">3,000 mA</td><td>1 µA</td><td>150 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">30,00 mA</td><td>10 µA</td><td>160 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">300,0 mA</td><td>100 µA</td><td>200 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">3,000 A</td><td>1 mA</td><td>650 mV</td></tr>
<tr><td colspan="3">10,00 (20,00) A</td><td>10 mA</td><td>160 mV</td></tr>
<tr><td rowspan="6">A~</td><td>—</td><td>—</td><td>300,0 µA</td><td>0,1 µA</td><td>150 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">3,000 mA</td><td>1 µA</td><td>150 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">30,00 mA</td><td>10 µA</td><td>160 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">300,0 mA</td><td>100 µA</td><td>200 mV</td></tr>
<tr><td>—</td><td colspan="2">3,000 A</td><td>1 mA</td><td>650 mV</td></tr>
<tr><td colspan="3">10,00 (20,00) A</td><td>10 mA</td><td>160 mV</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td>Max. Leerlaufspannung</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Ω</td><td colspan="3">300,0 Ω</td><td>100 mΩ</td><td>3,2 V</td></tr>
<tr><td colspan="3">3,000 kΩ</td><td>1 Ω</td><td>1,25 V</td></tr>
<tr><td colspan="3">30,00 kΩ</td><td>10 Ω</td><td>1,25 V</td></tr>
<tr><td colspan="3">300,0 kΩ</td><td>100 Ω</td><td>1,25 V</td></tr>
<tr><td colspan="3">3,000 MΩ</td><td>1 kΩ</td><td>1,25 V</td></tr>
<tr><td colspan="3">30,00 MΩ</td><td>10 kΩ</td><td>1,25 V</td></tr>
<tr><td>⊣◁⊢</td><td colspan="3">2,000 V⎓</td><td>1 mV</td><td>3,2 V</td></tr>
</table>

Digitalmultimeter for laboratoriebrug

Afhængig af stedet hvor multimetret skal anvendes, fås disse i forskellige udformninger.

Hvor det tidligere omtalte instrument er et typisk serviceinstrument til at medbringe i "marken", er der nedenstående vist et digitalmultimeter som typisk er til værksteds- og laboratoriebrug.

Det viste instrument er modulopbygget, så det passer i de mekaniske mål med en række forskellige andre instrumenter i samme familie.

Instrumenterne kan derved stables for at få en mere rationel placering af dem.

Led-display

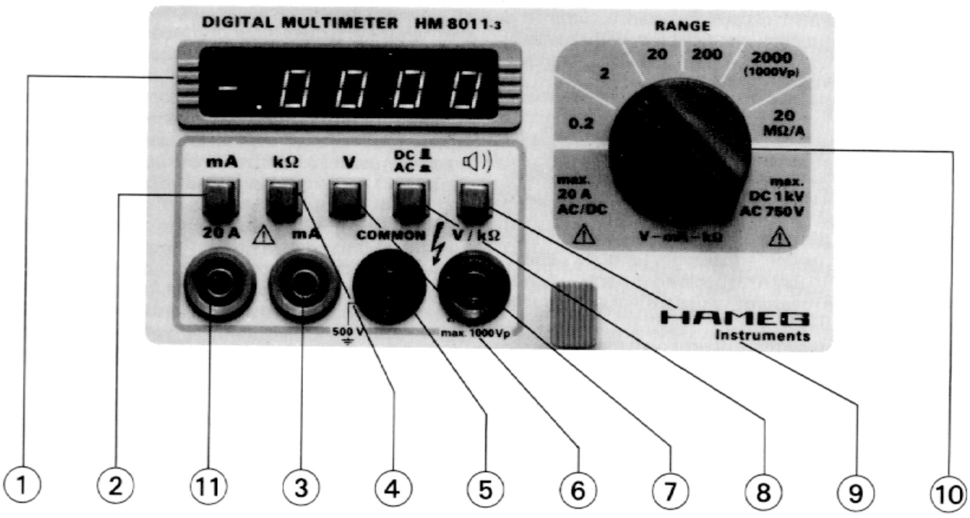
Displayet i det viste instrument er et LED-display.

Light **E**mitting **D**iode.

LED-displayet giver selv lys fra sig, og kan derfor læses i mørke. LCD-displayet er ikke lysgivende og kan derfor ikke ses i mørke.

Det viste multimeter har ikke analogvisning, da det netop er et LED-display. LED-displayet er vanskeligere at udforme forskellige mønstre og data i end LCD-displayet.

Control elements of HM8011-3



resolution of 4½ digits, the most significant digit being used up to "1". The measured value is displayed with correct point position and sign. When DC values are measured, the digits are preceded by a minus sign, if the positive pole of the measured quantity is connected to the COMMON input ⑤. If the measurement range is exceeded (>19999), the display flashes and displays "0", and the buzzer beeps intermittently.

② **mA** (pushbutton)
Function selection switch for current measurements (AC and DC current).

③ **mA** (shock-proof socket for connectors of 4 mm diameter)
Connection (high potential) for AC and DC current measurements in combination with the COMMON input ⑤ (low potential). The input is fuse-protected.

④ **kΩ** (pushbutton)
Function selection switch for resistance measurements.

⑤ **COMMON** (shock-proof socket for connectors of 4 mm diameter)
The COMMON socket (low potential) serves as a common connection for all measurement functions, to which the earthy potential of the measured quantity is applied. This input is connected with the internal shielding of the set.
The voltage across this terminal with respect to the cabinet (non-fused earthed conductor, ground) should not exceed 500 V to ensure safety of operation.

⑥ **V** (pushbutton)
Function selection switch for voltage measurements (AC und DC voltage).

Connection (high potential) for voltage and resistance measurements in combination with the COMMON input ⑤.
CAUTION! ***The voltage across this terminal with respect to case (non-fused earthed conductor, ground) should not exceed 1000 V to ensure safety of operation.***

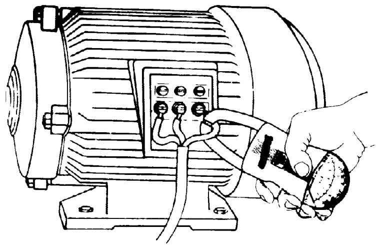
⑧ **DC/AC** (pushbutton)
Function selection between DC and AC measurements.

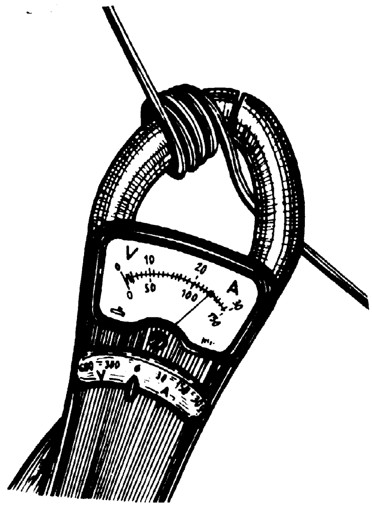
⑨ 🔈)) (pushbutton)
Swich for disconnecting the acoustic signal. The buzzer beeps with every change of the measurement range, when overload occurs, and if the display is zero in the resistance range.

⑩ **RANGE** (6-position rotary switch)
The range switch permits to adjust the measurement ranges within the selected functions. When voltages and currents of unknown magnitude are measured, ***firstly select the highest measurement range!*** Then set the switch to the next range in order, until optimum resolution is obtained.

⑪ **20 A** (shock-proof socket for connectors of 4 mm diameter)
Terminal (high potential) for AC and DC current measurements in the 20 A range in combination with the common input ⑤. ***The input is not fuse protected. At currents which exceed 10 A the maximum admissible measuring time is 30 sec. Measuring times exceeding 30 sec. can cause thermal damage of the internal resistors.***

Tangamperemeter





Til måling af vekselspænding og vekselstrøm bruges undertiden et tangamperemeter.

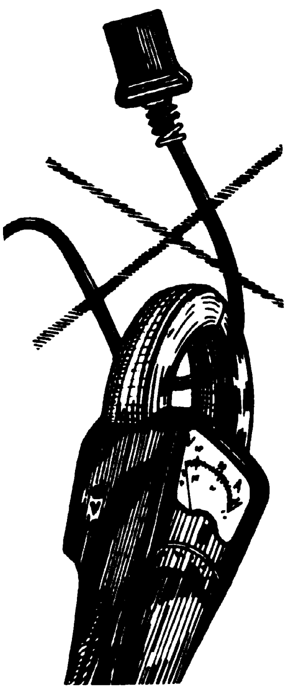
Tangen kan åbnes og derefter sluttes omkring den ledning eller skinne, man ønsker at måle strømmen i. Ledningen virker derved som primærvinding, mens tangen er kerne, og instrumentet er tilsluttet en sekundærvikling. Er instrumentet et drejespoleinstrument, ensrettes målekredsens strøm over en Graetz-kobling.

Tanginstrumentet kan have flere måleområder.

Det er vigtigt, at tangens flader er rene og slutter tæt mod hinanden under måling.

Tangamperemetrets følsomhed kan forøges ved at lægge ledningen som en spole omkring tangen.

$$I = \frac{udslag}{antal\ vindinger}$$



Hvis begge strømførende ledere går igennem tangen, giver instrumentet intet udslag.

Digitaltang

Digitaltangen er et eksempel på et forstærkende instrument, der kan have automatisk områdeindstilling og som indeholder en elektronisk enhed, der omformer måleværdierne og viser resultatet med lysende cifre.

Anvendelse

Digitaltangen kan, afhængig af typen, fx anvendes til strøm, spænding og modstandsmåling på AC og DC.

Desuden kan digitaltangen anvendes til bestemmelse af spidsværdier ved måling af:

motorstartstrøm

spændingsspidser ved netvariationer

styreimpulser

spidsværdier ved ind og udkobling af induktive,

kapacitive belastninger

- idet en digitaltang normalt indeholder en "hukommelse", der kan tilkobles og som kan huske den største værdi, der er målt.

Tilbehør

Til udvidelse af et instruments måleområde og anvendelsesmuligheder fås forskelligt tilbehør:

Formodstande

Shunte

Strømstænger

Strømtransformere

Spændingstransformere

Termofølere med termoelement.

Eksempel

De efterfølgende eksempler er beregnet for et universalinstrument, og normalt tilpasset et bestemt instrument.

Formodstand for jævnspændingsmåling til 25 kV.

Formodstand for jævn- og vekselspændingsmåling til 10 kV.

Shunt til måling af jævnstrøm op til 100 A, spændingsfald 100 mV.

Strømtang til måling af vekselstrøm med områderne 20 A, 100 A og 500 A.

Strømtransformer for måleområderne 25 A, 100 A og 500 A.

Termoføler med termoelement til måling af temperaturer fra 0 ^{o}C til ca. 200 ^{o}C.

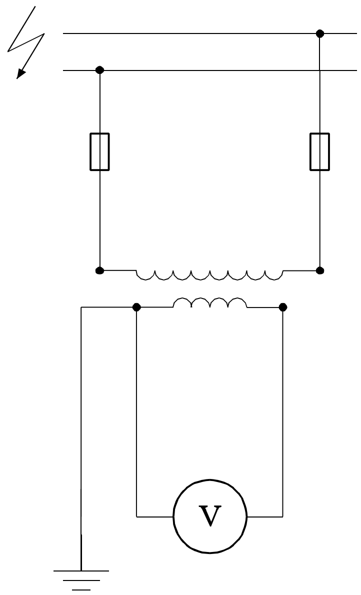
Spændingstransformer

Til måling af spænding og til effekt- og energimåling ved højspænding anvendes spændingstransformere.

Transformeren anvendes til at omsætte fra en højere spænding ned til fx 110 V; derved opnås, at instrumenterne kan udføres for samme spænding, og at målekredsen er isoleret fra højspændingen. Instrumenter og målere kan derved placeres uden for højspændingsområdet.

Spændingstransformere inddeles efter omsætningsfejl i fem nøjagtighedsklasser: 0,2 - 0,5 - 1 - 3 og 10, hvilket har betydning ved målere, men ikke ved spændingsmåling med voltmeter.

Anvendelse



Ved benyttelse af flere måleinstrumenter, voltmetre og spændingsspoler i målere, skal disse forbindes parallelt på sekundærsiden. De på mærkepladen anførte belastninger må ikke overskrides, hvis fejlvisningen skal holdes inden for klassificeringen.

Transformerne udføres til en sekundær belastning på 5 op til 600 VA og med omsætningsforhold på fx 6000/110-10 kV/110 V. Kølingen af spændingstransformeren kan være luft- eller oliekøling.

For at sikre transformeren mod ødelæggelse ved kortslutning på sekundærsiden indsættes smeltesikringer på primær- og sekundærsiden.

Kernen og den ene klemme på sekundærsiden samt eventuel oliebeholder jordforbindes af hensyn til betjeningspersonale.

Spændingstransformeren arbejder normalt i tomgang. Ved demontering af instrumenter og målere må sekundærsiden aldrig kortsluttes.

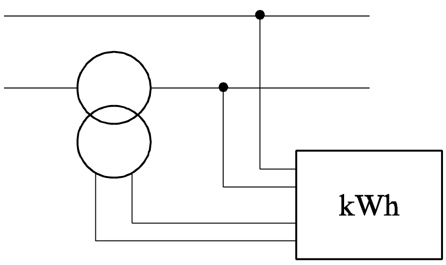
Strømtransformer

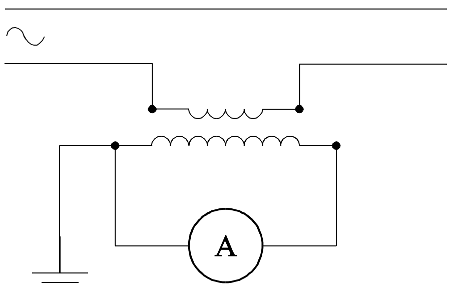
Til måling af strøm og til effekt- og energimåling ved høj- og lavspænding anvendes strømtransformere.

Strømtransformeren bruges til omsætning af store strømme til mindre målestrømme og adskiller samtidig målekredsen fra nettet, hvilket især har betydning ved højspænding.

Strømtransformere inddeles efter omsætningsfejl i fem nøjagtighedsklasser: 0,2-0,5-1-3 og 10 og med omsætningsforholdet som fx: 10/5, 20/5, 100/5 og 200/5 A.

Anvendelse





Strømtransformere anvendes ved lavspænding fortrinsvis i forbindelse med strømspoler i målere og wattmetre, men også til amperemetre og relæudstyr.

Ved anbringelse af flere måleinstrumenter, amperemetre og strømspoler til målere skal disse forbindes i serie i sekundærkredsen.

Belastningen af transformeren, som findes anført på mærkepladen, må ikke overskrides.

Ved serieforbindelse af flere instrumenter vil fejlvisningen ikke kunne holdes inden for de grænser, klassificeringen fastsætter. Endvidere kan sekundærspændingen blive så høj, at transformeren ødelægges.

En strømtransformer må aldrig stå med åben sekundærkreds, når der går strøm gennem primærviklingen.

Skal man udskifte et instrument under driften, må man derfor først kortslutte sekundærklemmerne, inden instrumentet fraskilles. Undlader man at gøre dette, vil der opstå en høj induktion i stålkredsen; herved vil strømtransformeren kunne ødelægges som følge af varmeudviklingen i stålkernen.

Der vil også opstå ret høj spænding i sekundærviklingen, som vil medføre berøringsfare og ødelæggelse af denne viklings isolation.

Af disse grunde anbringes der aldrig sikringer i en strømtransformers sekundærkreds. Kernen og den ene klemme på sekundærsiden jordforbindes af hensyn til berøringsfare på højspændingsnet.

Elektriske målemetoder

Moderne teknik kræver fintmærkede instrumenter til kontrol og især fejlsøgning.

Disse instrumenter er kostbare og ofte sårbare. Derfor er rigtig målemetodik vigtig, og instrumenterne skal behandles rigtigt i målesituationen og forsigtigt ved transport, således at de ikke lider overlast.

Valg af instrument

Det er vigtigt, at det instrument der vælges til en måleopgave er egnet til opgaven. Det er ikke sikkert, at det dyreste instrument er egnet til enhver opgave.

Måleresultatet afhænger af, om der måles på den rigtige måde og med det/de bedst egnede instrumenter.

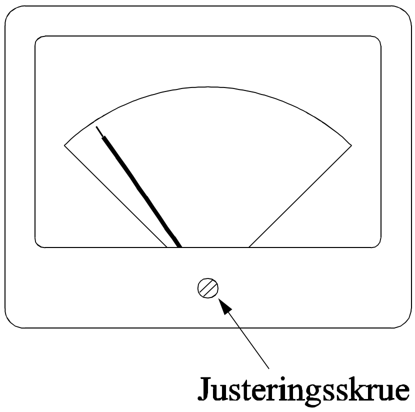
Overvejelser før måling

Før en måling påbegyndes må følgende punkter overvejes vedrørende instrumentets:

- type
- indre modstand
- klasse
- brugsstilling
- frekvensafhængighed
- følsomhed over for fremmede felter.

Nulpunktsindstilling

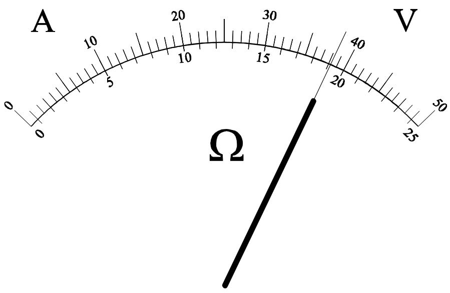
Før målingen påbegyndes kontrolleres, at instrumentet er mekanisk nuljusteret. Ved forstærkende instrumenter, at det også er elektrisk nuljusteret.



Instrumentskala

Ved instrumenter med flere skalaer skal der aflæses på skalaen, som hører til det område, instrumentet er indstillet på.

Ved digitale instrumenter er der mindre risiko for fejlaflæsning.



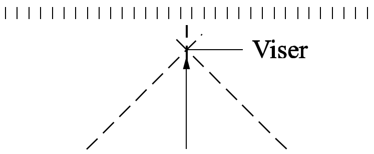
Parallaksefejl

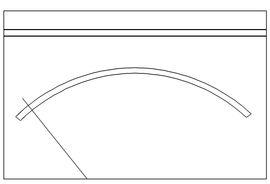
På grund af afstanden mellem viser og skala forekommer der ofte parallaksefejl, når der aflæses skråt fra venstre eller højre.

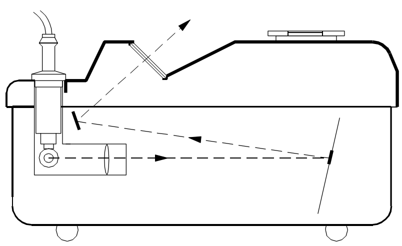
Instrumentet bør altid aflæses vinkelret på skalaen og med en nøjagtighed, der er i et rimeligt forhold til instrumentets klasse.

Er det et præcisionsinstrument, forsynet med spejlskala og knivviser, skal viseren dække sit spejlbillede for at få korrekt aflæsning.

Er instrumentet forsynet med lyspunktmarkering eller lup forbedres aflæsningsnøjagtigheden.







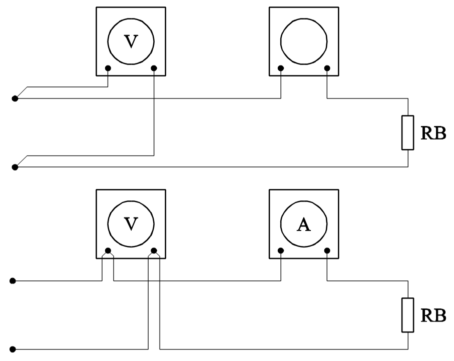
Øvrige forhold

Start målingen på stort måleområde for at beskytte instrumentet mod overbelastning - gå derefter nedad dersom det er ønskeligt.

Undersøg om instrumentet er indstillet på et område, der svarer til den spænding og strømart (AC, DC), der skal måles.

Undersøg om instrumentet er polet korrekt ved anvendelse af polariseret instrument.

Krav til måleopstillingen



I måleopstillingen skal strømkredse og spændingskredse holdes adskilt, så der ikke opstår rodede, uoverskuelige forbindelser.

Det skal være muligt at flytte et voltmeter i kredsløbet, uden at strømkredsen afbrydes, derfor bør sløjfninger af strømkredsene på voltmetre undgås.

Brug ikke flere instrumenter end nødvendigt i samme opstilling da det kan give forkerte måleresultater. Der opstår risiko for, at instrumenterne ændrer strømmene i kredsløbet hvor målingerne foretages, da et instruments spændingsspole vil forbruge strøm og strømspole vil give et spændingsfald.

Områdeskift

Man må være opmærksom på, at instrumentets indre modstand oftest ændrer sig ved områdeskift, hvorved instrumentets påvirkning af opstillingen ændres og dermed måleresultaterne.

Sammenlignende målinger

Hvor måleværdier for et kredsløb medfølger fra leverandøren, oplyses det ofte, at målingerne er foretaget med et instrument, der har bestemte data, og i bestemte måleområder.

Derfor skal kontrolmåling og fejlsøgning foretages med et instrument med samme data og i samme måleområde som angivet.

Ved anvendelse af instrumenter med andre data, eller i andre måleområder, kan der opstå ret grove målefejl - evt. risiko for ødelæggelse af dele i kredsløbet.

Måling på elektronik

Spændingsmåling er den almindeligst forekommende måling på elektroniske kredsløb.

Man må derfor gøre sig klart, at anvendes der et instrument med for lav indre modstand, eller for lavt måleområde, er der risiko for ødelæggelse af kredsløbet samt stor mulighed for fejlmåling.

Instrumentpåvirkning

Da måleinstrumenter i et kredsløb må opfattes som modstande, vil volt- og amperemetre, strøm- og spændingsspoler påvirke hinanden indbyrdes og de kredsløb, hvori de indsættes.

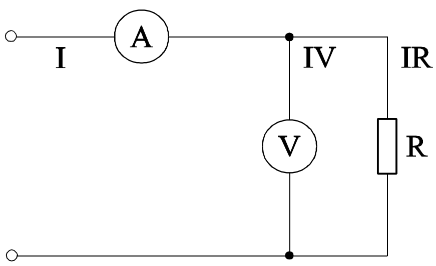
For at begrænse denne påvirkning må der vælges mellem metoderne:

- rigtig spændingsmåling
- rigtig strømmåling.

Måleopstilling

Undersøg om der, afhængig af instrument eller måleobjekt, skal måles med rigtig spænding eller rigtig strøm.

Rigtig spændingsmåling



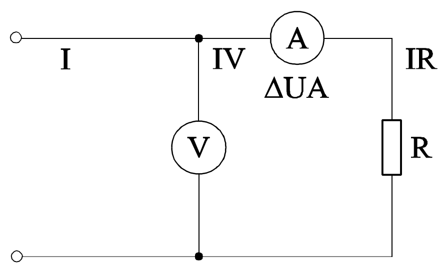
På skitsen måles "rigtig" spænding, hvorimod amperemetret viser "forkert" strøm, fordi det både måler strømmen gennem modstanden og gennem voltmetret.

$$R = \frac{UR}{IR + IV}$$

Beregner man modstanden efter Ohms lov, vil man altså beregne en værdi, som er mindre end den faktiske modstand i måleemnet.

Er modstanden i emnet lille i forhold til modstanden i voltmetret, vil langt den største del af den samlede strøm gå gennem modstanden. Fejlen på den målte strøm vil derfor være så lille, at man kan tillade sig at se bort fra den.

Rigtig strømmåling



På skitsen måles "rigtig" strøm, hvorimod voltmetret viser "forkert" spænding, fordi det måler spændingsfaldet over både modstand og amperemeter.

$$R = \frac{UA + UR}{IR}$$

Beregner man modstanden efter Ohms lov, vil man altså beregne en værdi, der er større end den faktiske modstand i måleemnet.

Er modstanden i emnet stor i forhold til modstanden i amperemetret, vil spændingsfaldet over amperemetret være meget mindre end over modstanden. Fejlen på den målte spænding vil derfor være så lille, at man kan tillade sig at se bort fra den.

Korrektion

Ved hjælp af Ohms lov kan man ved beregning korrigere for de målefejl, instrumentet medfører.

Måling med et instrument

Hvis der kun er et instrument til rådighed, fx et universalinstrument, måles strøm og spænding ad to gange.

Korrektion af målefejl kan ske på samme måde som ved rigtig strøm.

Ved måling af strøm og spænding med et universalinstrument skal belastningen være indkoblet, når spændingen måles. Der kan dog opstå nogen unøjagtighed, hvis forsyningsspændingen ikke er konstant, fx kan netspændingen i løbet af kort tid variere.

Indre modstand

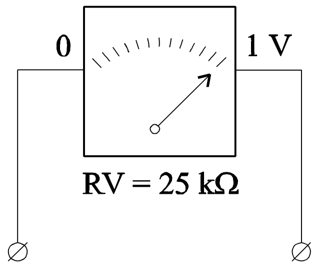
Den indre modstand i de forskellige typer måleinstrumenter varierer meget. Generelt kan man sige, at den indre modstand ønskes højest mulig, når instrumentet anvendes som voltmeter, men ønskes lavest mulig når instrumentet anvendes som amperemeter.

Voltmetrets indre modstand

Voltmetrets indre modstand angives i kΩ/V og er påstemplet instrumentets skala; hvis ikke, må den indre modstand aflæses i instrumentvejledningen.

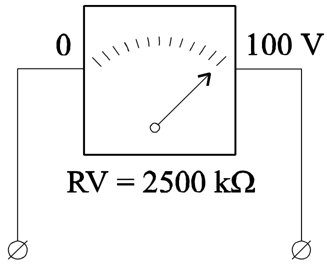
Eksempel

Et instrument kan have en indre modstand RV på 25 kΩ/V. Herved forstås, at ved et måleområde med fuldt udslag for 1 V er 25 kΩ mellem instrumentets bøsninger.



Ved et måleområde på 100 V er der en indre modstand på:

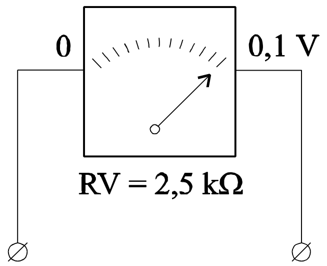
$$RV = 100 \cdot 25 = \underline{\underline{2500\ k\Omega}}$$



Ved et måleområde på 0,1 V

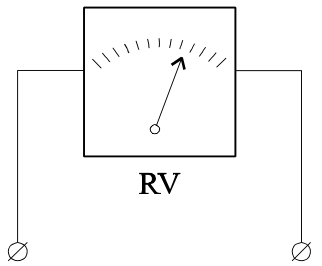
$$RV = 0{,}1 \cdot 25 = \underline{\underline{2{,}5\ k\Omega}}$$

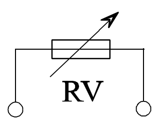
Den indre modstand i instrumentet er afhængig af måleområdet.



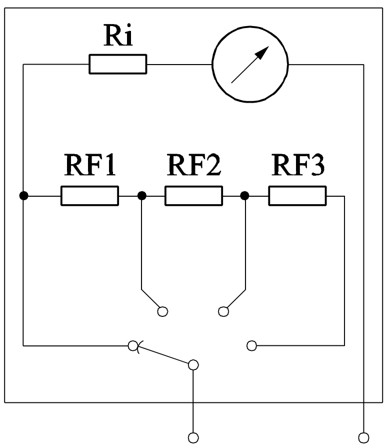
Stort måleområde giver stor indre modstand. Lille måleområde giver lille indre modstand.

Instrumentet kan derfor i en målesituation opfattes som en variabel modstand.





Formodstand



Når et instrument skal anvendes til at måle en spænding, der er større end den, som det umiddelbart kan anvendes til, indkobles der formodstande (seriemodstande) i serie med instrumentet. Derved forøges dets samlede indre modstand.

Formodstanden er som regel indbygget i instrumentet, som derfor er forsynet med en omskifter, så der er udtag for hvert måleområde.

Amperemetrets indre modstand

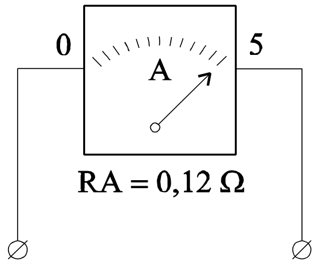
Amperemetrets indre modstand må normalt findes i vejledningen til instrumentet.

Grundlaget herfor er spændingsfaldet over instrumentet i det ønskede måleområde.

Eksempel

Disse oplysninger gives normalt i form af en tabel.

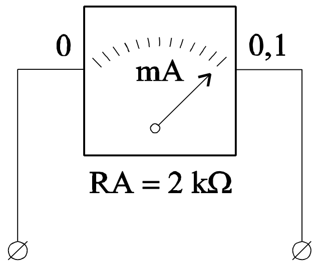
Strøm:	Spændingsfald:
5 A	0,6 V
1 A	0,45 V
0,25 A	0,3 V
0,05 A	0,3 V
10 mA	0,3 V
2,5 mA	0,3 V
0,5 mA	0,3 V
0,1 mA	0,2 V



Ved et måleområde på 5 A vil den indre modstand RA mellem instrumentets bøsninger være:

$$RA = \frac{\Delta \ UA}{IA}$$

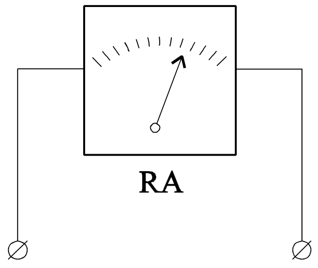
$$RA = \frac{0{,}6}{5} = \underline{\underline{0{,}12 \ \Omega}}$$



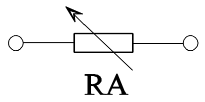
Ved et måleområde på 0,1 mA er den indre modstand:

$$RA = \frac{0{,}2}{0{,}1} = \underline{\underline{2 \ k\Omega}}$$

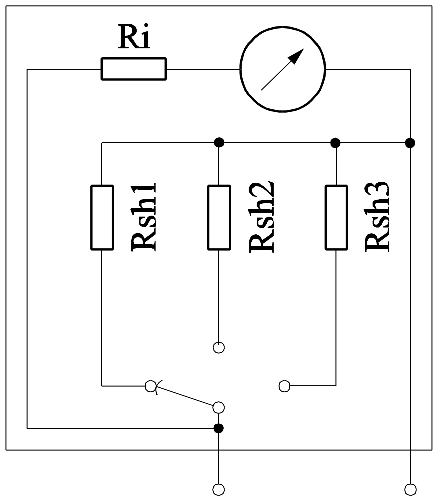
Den indre modstand og dermed spændingsfaldet over instrumentet er afhængig af måleområdet.



Instrumentet kan derfor betragtes som en variabel modstand.



Shunte



Amperemeter

Når instrumentet skal anvendes til at måle en strøm, der er større end den, det umiddelbart kan anvendes til, forbindes der en shunt (parallelmodstand) over instrumentet. Derved ledes en del af strømmen uden om selve instrumentet.

Shunten bestemmer altså sammen med instrumentets egen modstand den største strøm, der kan måles.

Shunterne er som regel indbygget i instrumentet, som derfor er forsynet med en omskifter, så der er udtag for hvert måleområde.

Klasse

Instrumenter inddeles normalt i klasser, der oplyser om den målenøjagtighed, der kan opnås.

Inddelingen sker oftest i fem klasser:

0,2 - 0,5, - 1 - 0 og 2,5.

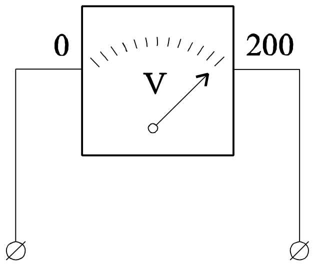
Der findes dog instrumenter i klasser under 0,2 og over 2,5, men disse er mere sjældne og beregnet til specielle formål.

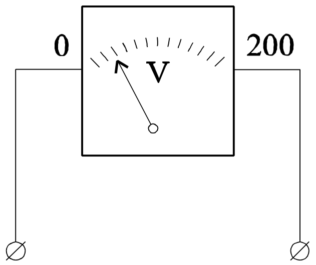
Et instruments klasse angives normalt på instrumentets skala.

Instrumentets klasse kan være forskellig i AC- og DC-område.

Ved manglende angivelse henvises til vejledningen for instrumentet.

Eksempel





Er et instrument i klasse 1,5, kan det maksimalt have en fejlvisning på + 1,5 % ved fuldt udslag.

Instrumentet indstilles på 200 V området.

1. måling: instrumentet viser 200 V.

$$Fejlvisning = \frac{1{,}5 \cdot 200}{100} = \underline{\underline{3\ V}}$$

Denne fejlvisning vil være konstant over hele området.

Den målte spænding kan derfor ligge mellem 197 V og 203 V.

2. måling: instrumentet viser 30 V.

Fejlvisning: ± 3 V.

Den målte spænding kan derfor ligge mellem 27 V og 33 V.

Reel fejlvisning $\frac{1}{10}$ af 30 V svarende til

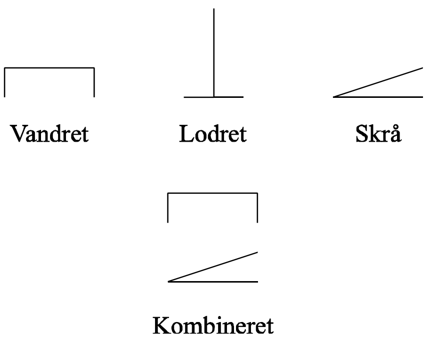
$$Fejlvisning = \frac{3 \cdot 100}{30} = \underline{\underline{10\ \%}}$$

Størst mulig målenøjagtighed opnås ved:

1. Størst mulig udslag på instrumentet.
2. Instrument af lav klasse.

Det skal dog bemærkes, at instrumenter af lavere klasse end 0,2 er kostbare og sårbare, hvorfor disse kun anvendes, hvor stor nøjagtighed kræves.

Brugsstilling



En af forudsætningerne for et rigtigt måleresultat er, at instrumentet anvendes i korrekt brugsstilling, da instrumentet er indjusteret i denne stilling.

Brugsstillingen angives oftest ved en signatur på instrumentets skala.

Hvis der ikke er angivet nogen brugsstilling, kan den evt. fremgå af instrumentets udformning.

Enkelte instrumenter kan dog anvendes i alle stillinger, men dette skal klart fremgå af vejledningen til instrumentet. Fx kan en skrå stilling fremkomme ved, at et bærehåndtag anvendes som støtte.

Digitalinstrumenter kan anvendes i alle stillinger.

Eksempel

Da et instrument ofte anvendes foran et tavlearrangement, og man står med instrumentet i hånden, er der en naturlig tilbøjelighed til at holde instrumentet i en sådan stilling, at lyset falder ind på skalaen, således at instrumentet kan aflæses.

Denne tilfældige stilling er meget sjældent i overensstemmelse med instrumentets brugsstilling, og der vil derfor opstå målefejl.

Frekvensafhængighed

Måleinstrumenter er, afhængig af typen, mere eller mindre påvirkelige af frekvensens størrelse, hvilket kan give anledning til målefejl.

Det er derfor nødvendigt, i en målesituation med høj frekvens, at kontrollere instrumentets øvre grænsefrekvens.

Instrumentets frekvensområde er ofte angivet på instrumentets skala eller må søges i vejledningen til instrumentet.

Dette gælder især for blødtjernsinstrumenter, der kan have lave grænsefrekvenser, hvorimod ventilinstrumenter har meget høje grænsefrekvenser.

Fremmede felters indflydelse

Instrumenters måling kan blive påvirket af felter udefra, fx:

Andre instrumenter.

Transformere i strømforsyninger m.m.

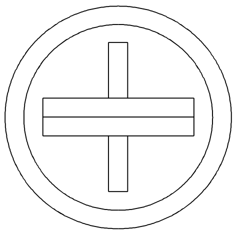
Herved kan opstå målefejl.

Blødtjern- og elektrodynamiske instrumenter er meget påvirkelige af fremmede felter, hvorimod drejespole- og ventilinstrumenter kun er svagt påvirkelige.

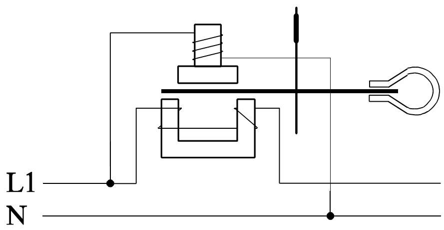
Skærmet elektrodynamisk instrument

Instrumenter kan fås i skærmet udførelse.

Dette vises ved en signatur på instrumentets skala eller fremgår af vejledningen.



Induktionsmåleren



Induktionsmålere er opbygget efter princippet i Ferraris drejefelt.

I måleren er anbragt en strømspole med få tykke vindinger, hvor forbrugerstrømmen ledes igennem, og en spændingsspole med mange tynde vindinger. Imellem disse spoler er placeret en drejelig aluminiumsskive.

På tegningen er strømspolen for tydelighedens skyld drejet 90°.

Ferraris princip

Magnetspolen, som gennemløbes af forbrugsstrømmen, vil danne to vekselfelter i aluminiumsskiven ved de to polben. Det af spændingsspolen frembragte vekselfelt ligger midt imellem, og sammen vil de tre vekselfelter inducere hvirvelstrømme i aluminiumsskiven.

Drejningsmomentet er afhængig af de felter, der fremkommer samtidig og proportionalt med middeleffekten:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \ [W]$$

Målerens omløbstal er direkte proportional med den forbrugte effekt, hvorfor tælleværket viser den forbrugte energi i kWh.

Bremsningen foregår med hvirvelstrømme ved hjælp af en permanent magnet.

Egetforbrug i spændingsspolen er ca. 10-20 kWh om året.

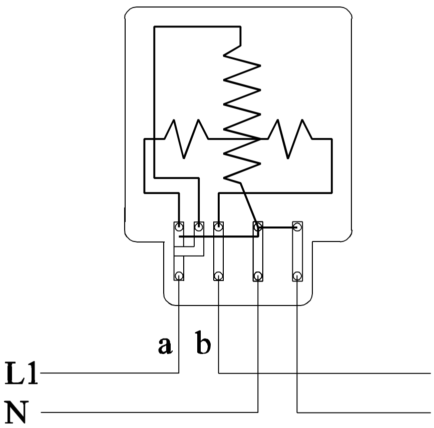
Anvendelse

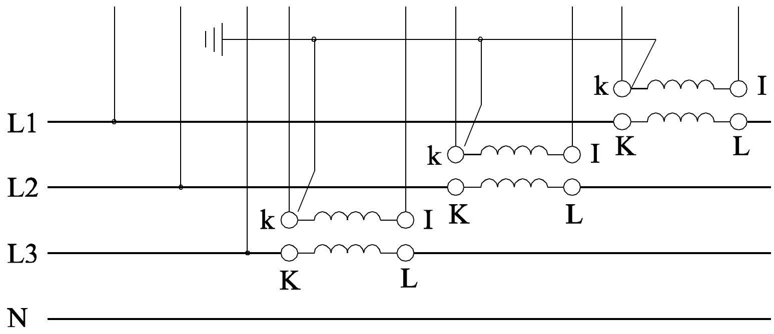
Induktionsmåleren kan kun anvendes til vekselstrøm og er velegnet til udbygning til flere faser.

Efter montering afprøves måleren for korrekt omløbsretning. Løber måleren modsat rundt, byttes strømpolens to tilledninger i klemmekassen.

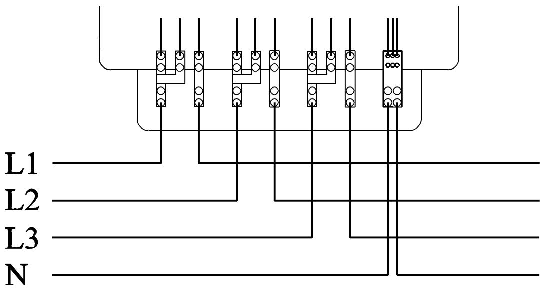
Flerfasemålere er opbygget med flere systemer svarende til den enfasede induktionsmåler.

Ved målinger af større strømstyrke end 63 A bruger man en 5 A måler og indskyder i ledningerne strømtransformere, som giver største sekundær strøm 5A. I højspændingsanlæg bruges af sikkerhedsgrunde både strøm- og spændingstransformere.





3-fasemåler med nul

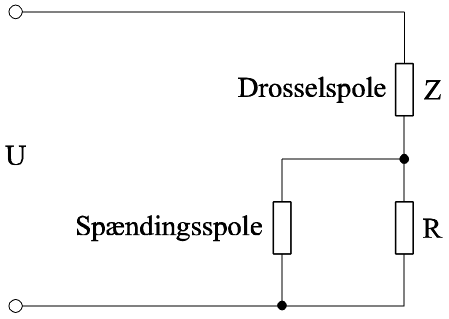


Kilovartimemålere

Til måling af reaktiv energi bruges kilovartimemåler. Målerne er opbygget som induktionsmåleren, men med spændingsspolen forbundet parallelt med en ohmsk modstand og i serie hermed indskydes en drosselspole.

Strømmen i spændingsspolen forskydes hermed 90° i forhold til spændingen og målerne registreres ved hjælp af tælleværket kvarh.

Måleren anvendes fortrinsvis til flerledersystemet og indeholder så, ligesom kWh-måleren, flere systemer.



kVA-målere

Til måling af kombinationsenergi bruges kVAh-målerne, som kan være en udbygning af timetalsinstrumentet, det elektrodynamiske instrument eller induktionsmålerne.

kVAh-måleren anvendes hyppigst som maksimummålere og sjældent til brug ved afregning af kVAh.

Af andre målere kan nævnes: Dobbelttarifmålere.

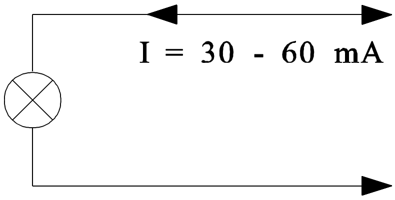
Digitaltester

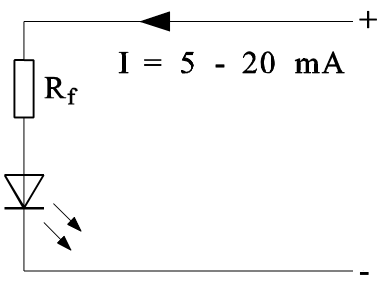
Når man arbejder med digitale styringer, er det ikke altid nødvendigt at måle eksakte spændinger.

Netop fordi der er tale om digitale signaler, er det ofte nok at konstatere om der er høj spænding eller om der er lav spænding tilstede. Det er meget ofte de logiske niveauer man er interesseret i at måle, eller rettere konstatere om disse niveauer - logisk "1" eller logisk "0" - er tilstede.

Hvis en styring kører digitalt med en forsyningsspænding på typisk 24 V DC, kalder man i de fleste tilfælde spændingsniveauet fra 20 til 24 for logisk "1", og spændingsniveauet fra 0 til 5 for logisk "0".

Spændinger mellem 5 og 20 er forbudte. De her nævnte spændingsniveauer, som er forbudte, er ikke altid gældende, men er typiske. I mange tilfælde står der i en styringsdata, hvor det forbudte område er.





Til måling af de logiske niveauer "0" og "1", kan man anvende en meget simpel prøvelampe, som er tilpasset den spænding som styringen kører på.

En almindelig glødelampe har dog den ulempe, at den er ret lavohmig, og vil derfor belaste opstillingen en del, og måske så meget, at den kan ødelægge de signaler man måler på.

Typiske strømværdier for en glødelampe ligger på omkring 30-60 mA.

En lidt mere avanceret prøvelampe har en indbygget lysdiode med formodstand. Herved opnås, at strømforbruget er mindre end glødelampen. Typisk for en lysdiodetester er, at den belaster opstillingen på mellem 5-20 mA.

En digitaltester som den sidst nævnte fås fx indbygget i en prøvepind, så hele testeren ikke fylder mere end en tyk kuglepen. Testeren er udformet med en tynd og spids testpind i spidsen, og en ledning i den anden enden.

Lysdioden er placeret synligt i siden af testeren.

Måler man på elektroniske kredse som fx CMOS, NMOS og QMOS-kredse, skal man være forsigtige med at belaste disse kredse, da de ofte kun har få mA til rådighed.

Hvor det drejer sig om sådanne kredse, kan man anvende en digitaltester med indbygget forstærker.

Herved opnås, at testeren er meget højohmig, og vil kun belaste måleopstillingen med få μA eller mA.

Digitaltesteren kan være udført med to strømforsyningsledninger, som man kan koble enten på opstillingens strømforsyning, eller hvis den er for lille på en ekstern strømforsyning. Endvidere kan digitaltesteren med den indbyggede forstærker også fås med indbygget batteri.

Digitaltester med flere lysdioder

Digitaltestere kan også fås med to lysdioder indbygget, som med to forskellige farver fortæller om der registreres et logisk "1" eller "0".

Endvidere er det muligt, at få digitaltestere med tre forskelligt farvede lysdioder indbygget som kan vise tre forskellige niveauer, "1", "0" og ingenting eller høj impedans. Den høje impedans kan i visse tilfælde være nødvendig at have kendskab til, da den under visse omstændigheder kan forårsage falske signaler for en opstilling.

De her omtalte digitaltestere har alle hver "en-kanal" testere. Det vil sige, at de er i stand til at måle på et enkelt punkt ad gangen. Det kan være nødvendigt i mange tilfælde, når en servicetekniker er i gang med at søge efter et signal. Dette foregår ofte ved, at man måler i klemmerækker, på printplader i samlemuffer og andre mere eller mindre tilgængelige steder.

En digitaltester som fortrinsvis bruges på laboratorier, er en multitester.

Denne tester har et testhoved som passer ned over en sokkel med en integreret kreds i. En såkaldt DIL-kreds, eller Dual In Line, som det er en forkortelse af.

Her måler man på samtlige 14, 16, 18 eller 20 ben på en gang og får 20 lysdioder til at fortælle samtlige signalstande på hele den målte sokkel.

Denne tester er let at anvende på hele sokler, men komplet umulig at anvende på vanskeligt tilgængelige steder.

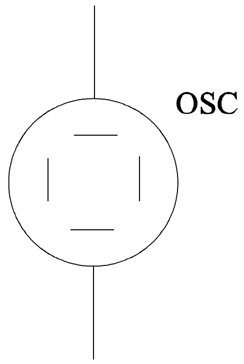
Den sidste digitaltester som vil blive omtalt her, og som nok falder uden for bogens områder, er en DIGITAL-ANALYZER.

Denne tester er primært til at konstatere digitale signalers kvalitet med. Det vil sige, at man kan analysere stige- og faldetider for signaler. Man kan ligeledes se forskellige signalers tidsmæssige forhold til hinanden.

DIGITAL-ANALYZER'eren er baseret på et skærmbillede i stil og størrelse med et oscilloskopbillede. På dette billede kan man måle og aflæse de forskellige værdier og forhold.

Endvidere er der mulighed for både at gemme måleresultater, og samtidig at få dem udprintet på papir.

Oscilloskop



Som et led i den stigende grad af automation, er der et stigende behov for, at teknikeren som opbygger og servicerer denne automation, kan foretage mere og mere komplicerede målinger.

Et af disse måleinstrumenter som anvendes i stigende grad af serviceteknikere er oscilloskopet.

Navnet oscilloskop er af latinsk oprindelse. Oscillare betyder svingning, og scop betyder betragter.

Oscilloskop betyder derfor direkte oversat til dansk en svingningsbetragter.

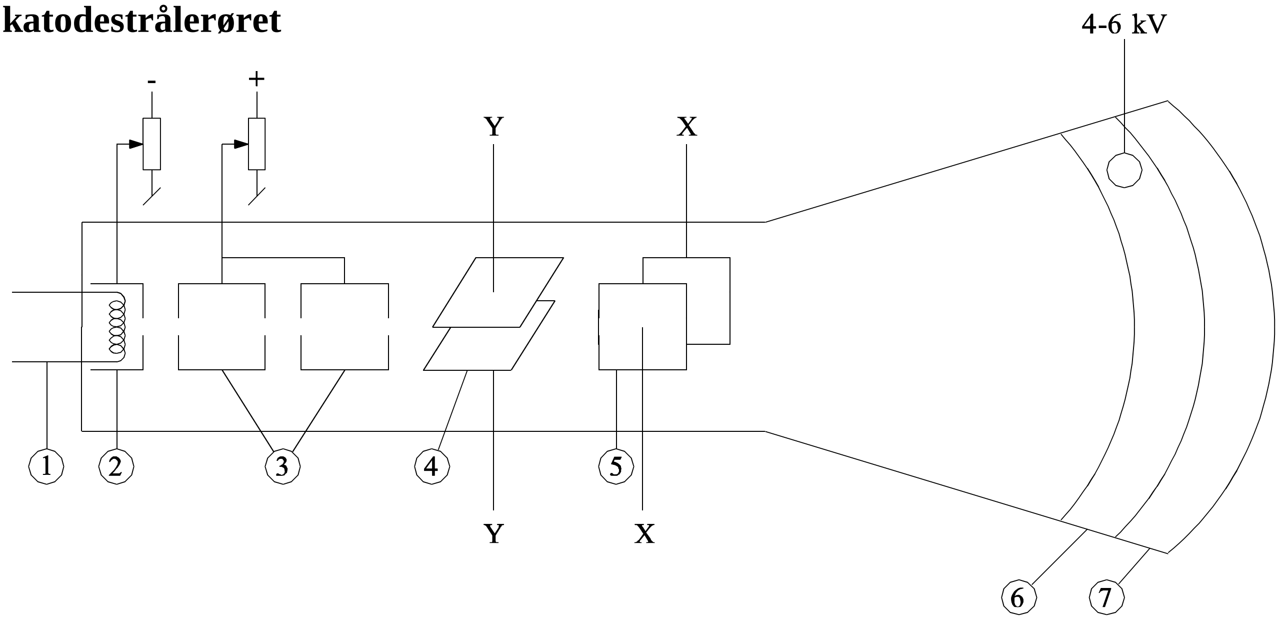
Oscilloskopet er velegnet til at måle både størrelser og tidsmæssige forløb af forskellige spændingsimpulser.

Den vigtigste komponent i oscilloskopet er billedrøret, som er et katodestrålerør.

Princippet i billedrøret er, at man styrer en elektronstråle, som afsætter en synlig lysplet på skærmen.

Katodestrålerøret er en lufttom glaskolbe, hvori der er placeret en række forskellige ting.

Skematisk tegning af katodestrålerøret



Forklaring til katodestrålerøret

1. Glødetråd som opvarmer katoden for løsrivelse af elektroner.
2. Intensitetsanode, trækker elektronerne fra katoden.

   Anoden påføres en negativ spænding i forhold til katoden. Bestemmer lysstyrken af strålen på skærmen.

   Den negative spænding begrænser elektronerne.
3. Fokuseringsanoder. Påføres en variabel positiv spænding for at samle elektronstrålen på en sådan måde, at den fokuserer på skærmens bagside.
4. Y-afbøjningsplader. Får ved varierende spænding elektronstrålen til at bevæge sig vertikalt.
5. X-afbøjningsplader. Får ved varierende spænding elektronstrålen til at bevæge sig horisontalt.
6. Accelerationsanode som accelererer elektronstrålen op til en meget høj hastighed før den rammer skærmens inderside. Påføres en positiv spænding på omkring 4-6 kV.

7. Lag af fx kalciumwolframat, kadmiumwolframat eller zinksulfit. Stof som har den egenskab, at det afgiver lys, når det rammes af elektroner. Der eksisterer flere forskellige stoffer som afgiver lys, når de bombarderes med elektroner. Der kan opnås forskellige farver.

Dobbeltstråleoscilloskop

Ved mange målinger er det aktuelt, at kunne sammenligne to kurveforløb samtidig.

Det kunne fx være hvis man havde et billede af en ideel kurve, som man skal have en styring justeret til.

For at kunne justere styringen til ideelkurven er det nødvendigt, at have begge billeder på skærmen samtidig.

Til dette brug anvendes et dobbeltstråleoscilloskop.

Dobbeltstråleoscilloskoper kan deles i to grupper:

1. Ægte dobbeltstråleoscilloskop
2. Chopperoscilloskop

Ægte dobbeltstråleoscilloskop

I det ægte dobbeltstråleoscilloskop har man i den samme glaskolbe anbragt to komplette sæt elektronstrålekanoner, to X-afbøjningsplader og to Y-afbøjningsplader.

I praksis betyder det, at man har to komplette elektronstrålerør bygget sammen i en kolbe.

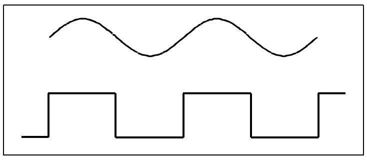
På forsiden af oscilloskopet er der også to omskiftere med Volt/div og to indgange.

Sweep-generatoren er fælles for begge stråler og intens og fokus er ligeledes fælles for begge stråler.

På et normalt oscilloskop er der ligeledes mulighed for at justere elektronstrålen i både X-retning og i Y-retning.

På dobbeltstråleoscilloskopet er der en fælles X-justering og to separate Y-justeringer.

Virkemåden af dobeltstråleoscilloskopet er nøjagtig den samme som for det tidligere beskrevne enkeltstråleoscilloskop.



Forskellen er blot at man nu har to oscilloskoper i et.

Tegningen viser et typisk billede af skærmen på et dobbelt stråleoscilloskop med en sinuskurve og en firkantkurve.

De to stråler benævnes normalt A og B.

Der er ligeledes to separate indgangsbøsninger på oscilloskopets forside hvortil hver sit målesignal føres.

Den del af skærmen man benytter til at vise billedet på, er som regel firkantet.

Chopperoscilloskop

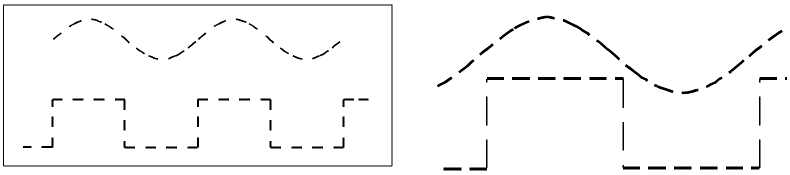
Chopperoscilloskopet er i modsætning til det ægte dobbeltstråleoscilloskop et enkeltstråleoscilloskop med nogle specielle funktioner indbygget. Chopper betyder at skifte mellem.

Chopperoscilloskopet virker næsten som en moderne stereoradiomodtager. Stereomodtageren har den egenskab, at den sender kun en kanal ad gangen ud i højttalerne. Først i den venstre, og så i den højre, og så fremdeles. Denne skiften mellem to kanaler sker blot så hurtigt, at det menneskelige øre ikke kan høre det.

På samme måde fungerer chopperprincippet. Når oscilloskopet modtager to signaler, sender oscilloskopet først en lille del af billedet til kanal A på skærmen, og derefter en lille del til kanal B på skærmen.

Dette princip anvendes når oscilloskopets Time/div knap står på en værdi som er lavere end 10 millisekunder. Dette kan dog afvige lidt fra oscilloskop til oscilloskop.

På tegningen ses princippet illustreret, men kan ikke i praksis ses, da det foregår så hurtigt, at det menneskelige øje ikke kan opfatte det.

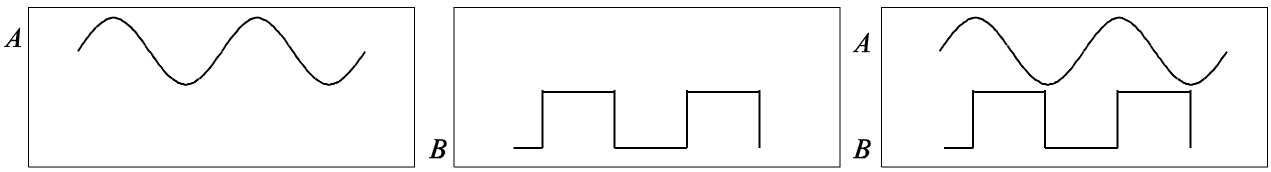


Hvis Time/div er hurtigere værdi end 10 millisekunder vil chopperprincippet afvikle skærmbilledet på en lidt anden måde, nemlig ved at køre først kanal A helt igennem, for derefter at køre kanal B helt igennem.

Hvis strålen kører meget hurtig over skærmen, vil det menneskelige øje ikke opfatte at oscilloskopet faktisk "snyder" ved først at tegne den ene stråle, og derefter den anden stråle på skærmen.

På tegningen er det søgt vist ved at tage nogle øjebliksbilleder af skærmen. Først vises kanal A, og derefter kanal B, og til sidst hvordan det menneskelige øje ville opfatte billedet.

Denne måde med først at afvikle forløbet på kanal A og derefter på kanal B, kaldes at alternere, hvilket betyder skiftevis.



Storageoscilloskopet

Storageoscilloskopet har indbygget hukommelse på skærmbilledet.

Dette oscilloskop er velegnet til at måle enkelte hurtige pulser med, da denne type pulser kan være meget vanskelige at nå at se på et normalt oscilloskop.

Et typisk anvendelsesområde er til måling af støjpulser. Støjpulser er i de fleste tilfælde pulser som er meget uens i form, og kommer på meget forskellige tidspunkter.

Der eksisterer 2 typer storageoscilloskoper:

1. Hvor hukommelsen ligger i billedrøret.
2. Digitaloscilloskop, hvor hukommelsen ligger i en RAM.

De lidt ældre storageoscilloskoper har som nævnt hukommelsen gemt i selve elektronstrålerøret.

På skærmens inderside er der pådampet et lag af fluorescerende stof med en stor efterglød.

Det vil sige, at når der har være tegnet et enkelt sweep over skærmen, vil dette billede blive stående i nogle sekunder, så det kan aflæses.

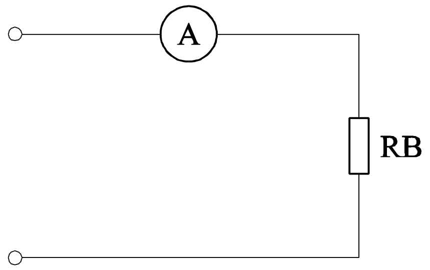
Digitaloscilloskopet har et normalt billedrør, men en indbygget RAM (Random Acces Memory), hvori indgangssignalets værdier bliver lagret. Oscilloskopet, som har en mikroprocessor indbygget, kan nu bruge disse lagrede værdier til at fremvise et skærmbillede.

Digitaloscilloskopet har også den fordel, at den kan gemme den målte spændings kurveform, og hvis oscilloskopet er lidt avanceret har det en printerudgang, som gør at man kan få et papirbillede af skærmbilledet.

Strømmåling

Ved strømmåling indskydes amperemetret i serie med den belastning, hvis strøm ønskes bestemt.

Det er derfor ønskeligt, at amperemetret har en meget lille modstand RA i forhold til belastningen RB, da amperemetret ellers vil påvirke strømmen i kredsen.

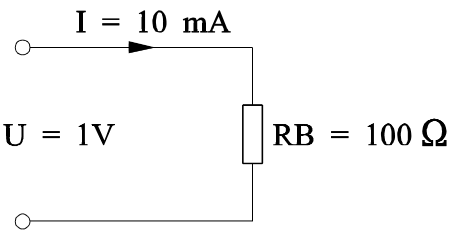


Opdeling

Til strømmåling kan anvendes:

- Direkte visende instrumenter
- Forstærkende instrumenter

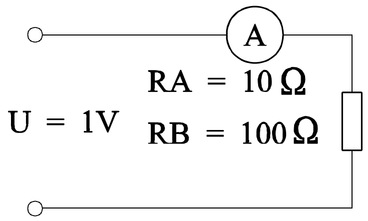
Eksempel



I den viste opstilling vil strømmen være:

$$I = \frac{U}{RB}$$

$$I = \frac{1}{100} = 0{,}01\ A \sim \underline{\underline{10\ mA}}$$



Indskydes nu et amperemeter, der i 10 mA området har en indre modstand på 10 Ω, bliver kredsens samlede modstand:

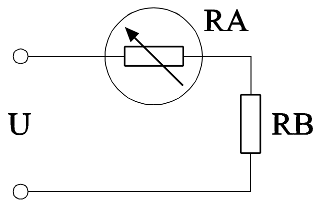
$$R = RB + RA$$

$$R = 100 + 10 = \underline{\underline{110\ \Omega}}$$

Strømmen vil nu være:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{1}{110} = 0{,}0091\ A \sim = \underline{\underline{9{,}1\ mA}}$$



Difference = 0,9 mA ~ 9 %

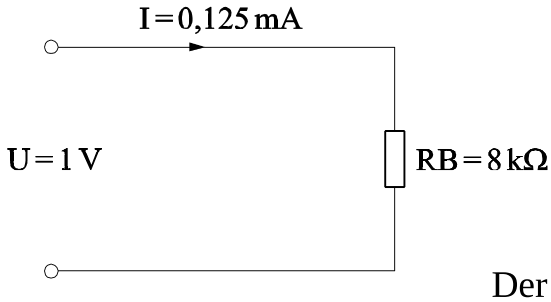
Det må erindres, at den indre modstand ændres ved områdeskift og dermed kredsens strøm.

Procentvis fejlvisning

Når et amperemeter i en målesituation kun giver et lille udslag, vil der være en stor procentvis fejlvisning (se afsnittet: instrumentdata).
Derfor drejes der ofte ned på et lavere område for at gøre udslaget større.

Eksempel

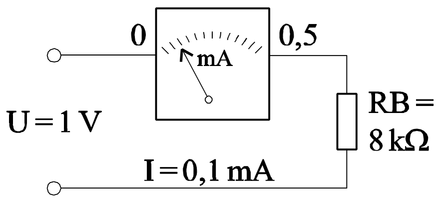
Strømmen før amperemetret indskydes:



$$I = \frac{U}{RB}$$

$$I = \frac{1}{8} = \underline{\underline{0{,}125\ mA}}$$

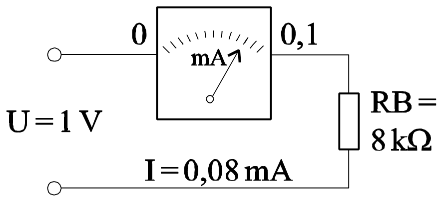
Der indskydes et amperemeter med en indre modstand RA på 1,2 kΩ, ved et måleområde på 0,5 mA. Strømmen bliver nu:



$$I = \frac{U}{RA + RB}$$

$$I = \frac{1}{1{,}2 + 8} = \underline{\underline{0{,}1\ mA}}$$

Fejlen skønnes for stor og der drejes nu på 0,1 mA måleområdet. Den indre modstand RA er nu 4,5 kΩ; strømmen bliver nu:



$$I = \frac{U}{RA + RB}$$

$$I = \frac{1}{4{,}5 + 8} = \underline{\underline{0{,}08\ mA}}$$

Konklusion

Som det ses af foranstående eksempel, falder strømmen i kredsen, når der drejes ned i måleområdet.

Selv om udslaget er blevet større og den procentvise fejl hermed mindre, har amperemetrets stigende modstand ændret strømmen i kredsen fra 0,125 mA til 0,08 mA, hvorved større målefejl er opstået.

Kompromis

I praksis må der, for at få den mest nøjagtige måling, indgås et kompromis mellem:

- udslagets størrelse og dermed den procentvise fejlvisning,
- det anvendte måleområde og dermed amperemetrets indre modstand.

Eksemplet fortæller også, at man kan risikere at få lige så mange forskellige strømaflæsninger, som der er måleområder på instrumentet.

Man kan i grænsetilfælde opnå, at spændingen over amperemetret er lig med eller større end spændingen over belastningen, hvorved belastningen på de meget lave måleområder ophører med at fungere.

Små strømme

Disse fænomener kan optræde, hvor instrumenter med ringe data anvendes til måling af små strømme fx i forbindelse med elektroniske kredsløb.

Store strømme

Ved måling af større strømme er instrumentets modstand så lav, at variationen er uden praktisk betydning.

Tommelfingerregel

For at opnå en anvendelig måling, skal amperemetrets indre modstand RA være 10-100 gange mindre end modstanden i det kredsløb, der måles på.

Måling af specielle strømme

Ved måling af strømme AC og DC, der har speciel karakter fx:

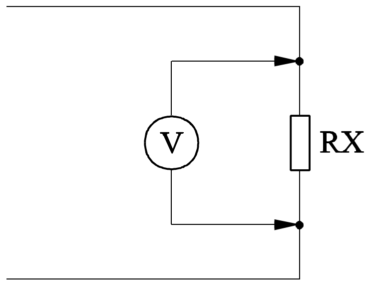
pulserende DC

ikke sinusformet AC

DC med overlejret AC

- er det nødvendigt at anvende et dertil egnet instrument, fx blødtjernsinstrument, bimetalinstrument eller et specielt forstærkerinstrument.

Spændingsmåling



Ved spændingsmåling indsættes et voltmeter parallelt over den del af kredsløbet, hvor spændingen ønskes bestemt.

Det er derfor ønskeligt, at voltmetret har en meget høj indre modstand RV i forhold til den del af kredsløbet RB, der måles over, da voltmetret shunter RB og dermed påvirker strømmen i kredsen.

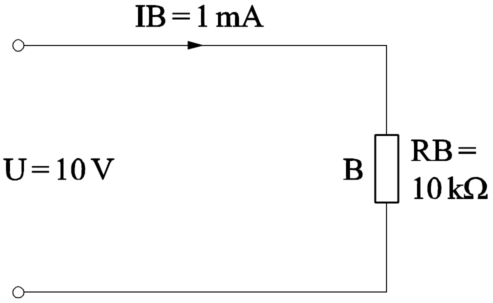
Opdeling

Til spændingsmåling kan anvendes:

direkte visende instrumenter

forstærkende instrumenter.

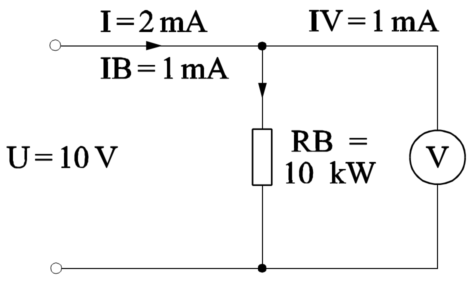
Eksempel



I den viste opstilling vil strømmen være:

$$IB = \frac{U}{RB}$$

$$IB = \frac{10}{10} = \underline{\underline{1\ mA}}$$



Der indsættes nu et voltmeter indstillet i 10 V måleområdet. Voltmetrets indre modstand er 1 kΩ/V.

$$RV = 10 \cdot 1 = \underline{\underline{10\ k\Omega}}$$

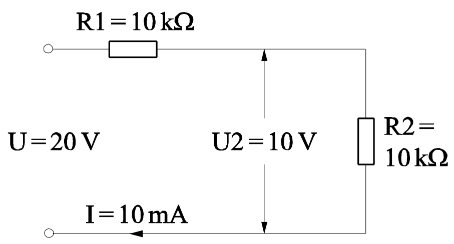
$$IV = \frac{10}{10} = \underline{\underline{1\ mA}}$$

Strømmen i tilledningerne vil nu være:

$$I = IB + IV = \underline{\underline{2\ mA}}$$

- dvs., at strømmen er fordoblet.

Forudsætningen er dog, at spændingen U er stabil.
I de fleste kredsløb er denne spænding ikke stabil, da der i kredsløbet vil være en eller flere komponenter placeret før og/eller efter den komponent, der måles over.
Dette kan medføre væsentlige ændringer i det målte resultat.
Før voltmetret tilsluttes:



$$R = R1 + R2$$

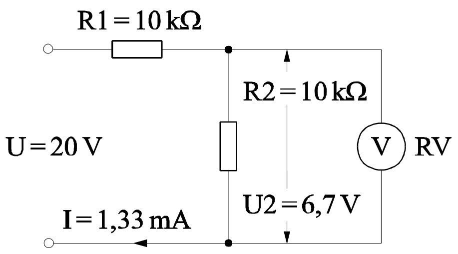
$$R = 10 + 10 = \underline{\underline{20\ k\Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{20}{20} = \underline{\underline{1\ mA}}$$

$$U2 = I \cdot R2$$

$$U2 = 1 \cdot 10 = \underline{\underline{10\ V}}$$



Efter voltmetret er tilsluttet:
Den samlede modstand i parallelforbindelsen, når RV i 10 V området er 10 kΩ:

$$R' = \frac{RV}{2}$$

$$R' = \frac{10}{2} = \underline{\underline{5\ k\Omega}}$$

Kredsens samlede modstand:

$$R = R' + R1 = \underline{\underline{15\ k\Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{20}{15} = \underline{\underline{1{,}33\ mA}}$$

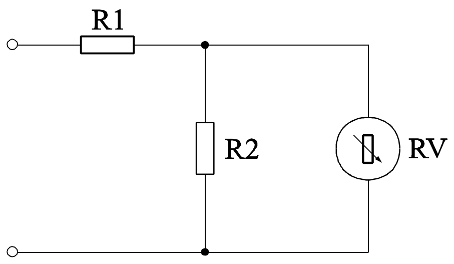
$$U1 = I \cdot R1$$

$$U1 = 1{,}33 \cdot 10 = \underline{\underline{13{,}3\ V}}$$

Voltmetret vil nu vise:

$$UV = U - U1$$

$$UV = 20 - 13{,}3 = U2 = \underline{\underline{6{,}7\ V}}$$



- altså 10 - 6,7 = 3,3 V mindre end før instrument-tilslutningen. Spændingen over og strømmen gennem R1 er samtidig vokset.

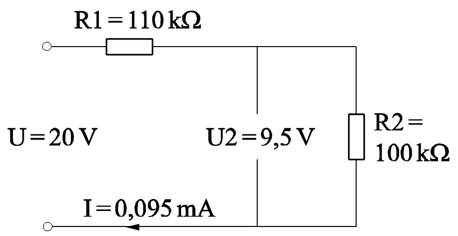
Det må erindres, at den indre modstand ændrer sig ved områdeskift.

Strømmen i kredsløbet vil derfor ændre sig.

Procentvis fejlvisning

Ligesom ved strømmåling vil den procentvise fejlvisning ved for lille udsalg være stor, hvorfor der ofte drejes ned til et lavere måleområde.

Eksempel



Før voltmetret indsættes er strømmen:

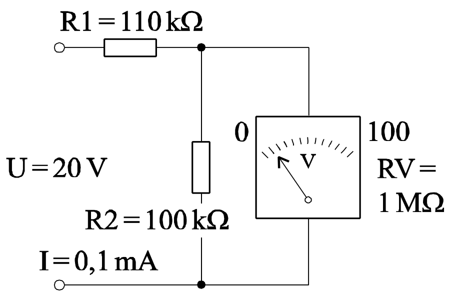
$$I = \frac{U}{R1 + R2}$$

$$I = \frac{20}{110 + 100} = \underline{\underline{0{,}095\ mA}}$$

- og spændingen:

$$U2 = I \cdot R2$$

$$U2 = 0{,}095 \cdot 100 = \underline{\underline{9{,}5\ V}}$$



Efter at voltmetret med en indre modstand på 10 kΩ/V er tilsluttet og indstillet på 100 V måleområdet er modstanden i parallelforbindelsen:

$$R' = \frac{R2 \cdot RV}{R2 + RV}$$

$$R' = \frac{0{,}1 \cdot 1}{0{,}1 + 1} = 0{,}09\ M\Omega \sim \underline{\underline{90\ k\Omega}}$$

Modstanden i hele kredsen:

$$R = R' + R1$$

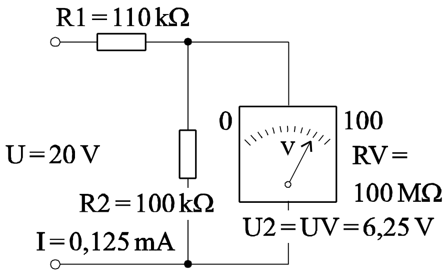
$$R = 90 + 110 = \underline{\underline{200\ k\Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{20}{200} = \underline{\underline{0{,}1\ mA}}$$

$$U1 = I \cdot R1 = \underline{\underline{11\ V}}$$

$$U2 = U - U1 = \underline{\underline{9\ V}}$$



Fejlvisningen skønnes for stor og der drejes ned på 10 V området; nu er den indre modstand:

$$RV = 10 \cdot 10 = \underline{\underline{100\ k\Omega}}$$

$$R' = \frac{RV}{2} = \underline{\underline{50\ k\Omega}}$$

- og den samlede modstand:

$$R = R' + R1 = \underline{\underline{160\ k\Omega}}$$

$$I = \frac{U}{R} = \underline{\underline{0{,}125\ mA}}$$

$$U = I \cdot R1 = \underline{\underline{13{,}75\ V}}$$

$$U2 = U - U1 = \underline{\underline{6{,}25\ V}}$$

Konklusion

Som det ses af foranstående eksempel, stiger strømmen i kredsen, og den målte spænding falder, når der drejes ned i måleområdet.

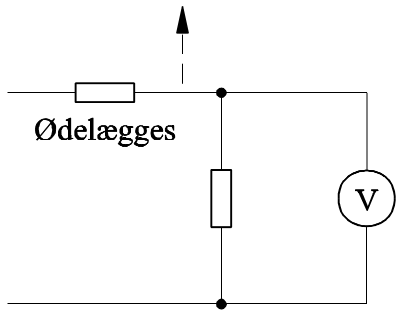
Selv om udslaget er blevet større og den procentvise fejl hermed mindre, har voltmetrets faldende modstand ændret strømmen og dermed den målte spænding over R2 fra 9,5 V til 6,25 V, hvorved større målefejl er opstået.

Eksemplet fortæller også, at det er muligt at få lige så mange forskellige spændingsaflæsninger, som der er måleområder på voltmetret.

Kompromis

I praksis må der, for at få den mest nøjagtige måling, indgås et kompromis mellem udslagets størrelse og dermed den procentvise fejlvisning samt det anvendte måleområde og dermed voltmetrets indre modstand.

Måling på kredsløb med små strømme



Da strømmen stiger, når der drejes ned i måleområdet, er denne fremgangsmåde risikabel ved måling på følsomme kredsløb (elektronik).

Fænomenet kan medføre, at de komponenter der sidder før og efter den komponent, der måles over, ødelægges på grund af den stigende strøm. Ødelæggelse kan dog også ske ved at anvende et voltmeter med lav indre modstand, selv i de høje måleområder.

Robuste kredsløb

Ved måling af højere spændinger på mere robuste kredsløb er instrumentmodstanden normalt så høj, at voltmetrets optagne strøm er uden praktisk betydning.

Tommelfingerregel

For at opnå en anvendelig måling skal voltmetrets indre modstand RV være 10-100 gange større end den modstand, der måles over.

Forstærkende instrumenter

Ved spændingsmåling med forstærkende viser- og eller digitalinstrumenter, vil problemerne ofte være mindre.

Dette skyldes, at disse instrumenters indre modstand kan gøres meget høj og ændres kun lidt eller slet ikke ved områdeskift.

Instrumentet vil derfor normalt ikke ændre kredsløbets modstand, og dermed den målte spænding, på en sådan måde, at der skal tages hensyn dertil.

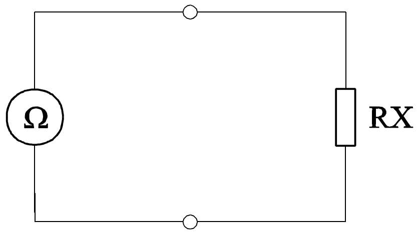
Måling af specielle spændinger

Ved måling af spændinger, AC og DC, der har speciel karakter fx:

pulserende DC
ikke sinusformet AC
DC med overlejret AC

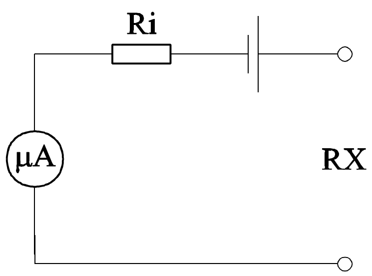
- er det nødvendigt at anvende et dertil egnet instrument, fx blødtjernsinstrument, bimetalinstrument eller et specielt forstærkerinstrument.

Modstandsmåling



Til måling af ohmske modstande kan anvendes universalinstrument, krydsspoleinstrument, målebroer samt indirekte måling med et amperemeter og voltmeter efterfulgt af en beregning af RX med Ohms lov.

Ohmmeter



Et ohmmeter består i sin enkleste form af en jævnstrømskilde med konstant spænding og et mikroamperemeter i serie med den ukendte RX.

Måling efter dette princip er egentlig en strømmåling, for det er strømmen gennem den ukendte modstand, der måles.

Som ohmmeter anvendes oftest et universalinstrument med indbygget element.

Instrumentet er forsynet med en områdevælger, der refererer til en skala graderet i Ω, kΩ evt. MΩ.

Før instrumentet kan anvendes til modstandsmåling, skal instrumentet nuljusteres, idet elementets spænding ikke vedbliver med at være konstant.

Målenøjagtigheden, ca. 3-5 %, er rimelig til de fleste kontrolmålinger.

Wheatstonesbro

Til måling af små modstande fra fx 0,08 Ω til 60 Ω kan anvendes en Wheatstonesbro.

Målebroer anvendes ofte til fejlfinding af både kortslutningsfejl og jordfejl på jordkabler, hvor modstandene ofte er meget små.

Da typerne af Wheatstonesbroer er ret forskellige, afhængigt af deres anvendelsesområde, må tilslutning og betjening altid klarlægges ved hjælp af en brugsanvisning.

Risiko

Instrumenter til modstandsmåling, ohmmetre, kan på grund af den strøm eller spænding instrumentet selv afgiver virke ødelæggende på især elektroniske kredsløb.

Isolationsmåling

Til måling af store modstande, fx isolationsfejl i installationer og maskiner, kan man anvende et krydsspoleinstrument med en indbygget variabel modstand og en spændingskilde i området 250 V-1000 V.

Instrumentet kaldes et isolationsprøveapparat eller ofte en "megger".

Effektmåling

Grundlaget for elektrisk effekt (virkeeffekt) udtrykt i watt er produktet af den samtidige effektive spænding og strøm.

Instrumenttyper og målemetoder

Til bestemmelse af en elektrisk effekts størrelse kan anvendes flere instrumenttyper og målemetoder.

Indirekte effektmåling

Der anvendes normalt universalinstrument til måling af "rene" DC- eller sinusformede spændinger og strømme.

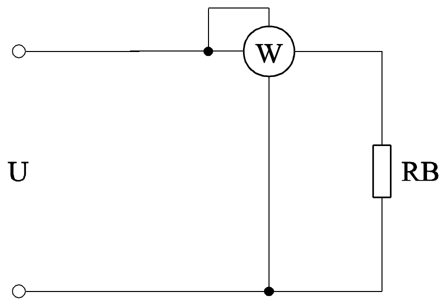
Ligeledes anvendes der blødtjernsinstrumenter, evt. specielle forstærkende digitale instrumenter til måling af pulserende/ ensrettet DC- eller ikke sinusformede spændinger og strømme.

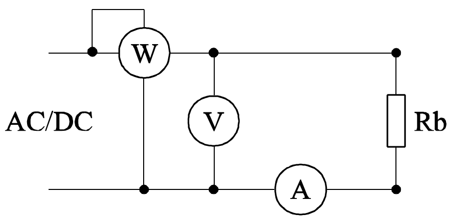
Direkte effektmåling

Der anvendes normalt et skærmet elektrodynamisk instrument (wattmeter).

Evt. anvendes ret kostbare, digitale multifunktionsmetre, der er i stand til at måle AC- og DC-spænding/-strøm og effekt.

Overbelastning





Ved anvendelse af et elektrodynamisk instrument (wattmeter), der indeholder både en strømspole og en spændingsspole, må man, ved tilslutning, være opmærksom på viserens udslag.

Slår viseren ud til den forkerte side, vendes de to tilledninger til enten spændings- eller strømspole.

Et wattmeter kan overbelastes, så enten spændings- eller strømspolen brænder over, uden at viseren i øvrigt gør fuldt udslag.

Ved transportable wattmetre må man være særlig forsigtig og ikke overskride instrumentets maksimale spændinger og strømme.

Det anbefales, ved ukendte kredsløb, at foretage kontrolmåling med volt- og amperemeter.

Måling af DC effekt

Måling af effekten på et DC-kredsløb sker normalt ved indirekte måling.

Der anvendes et voltmeter og et amperemeter til måling af spænding og strøm.

Effekten "P" angivet i watt findes derefter ved effektformlen:

$$P = U \cdot I \ [W]$$

Måling af AC effekt

Ved måling af effekt på AC kan der blive tale om måling af tre effektkategorier:

Virkeeffekt målt i W

Reaktiveffekt målt i var

Kombinationseffekt målt i VA.

Måling af virkeeffekt ved ohmsk belastning

Ved ren ohmsk belastning, hvor spænding og strøm ligger i fase, kan effekten måles indirekte som beskrevet under effektmåling på DC eller wattmeter.

Måling af virkeeffekt ved blandet belastning

Ved blandet belastning af ohmsk, induktiv, kapacitiv karakter, vil der være faseforskydning mellem spænding og strøm samt mulighed for, at der ikke måles på ren sinusform.

Derfor er det sikrest, hurtigst og nemmest at anvende et wattmeter til direkte måling af virkeeffekten i watt.

Ved stor faseforskydning kan en lille effekt indeholde en stor strøm.

For ikke at overbelaste instrumentets strømspole bør der sættes et A-meter i serie med denne, så strømmens værdi hele tiden kan kontrolleres.

Virkeeffekten kan dog bestemmes ved samtidig måling af den effektive spænding og strøm, og når effektfaktoren cos ϕ måles eller kendes, kan effekten beregnes:

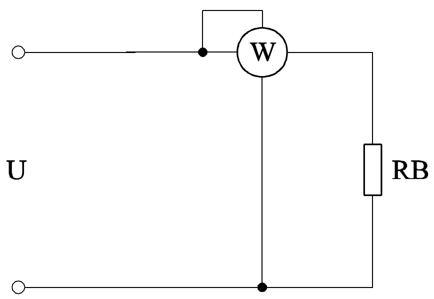
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \ [W]$$

Måling af virkeeffekt på forskellige ledersystemer

Her skelnes der mellem effektmåling på:

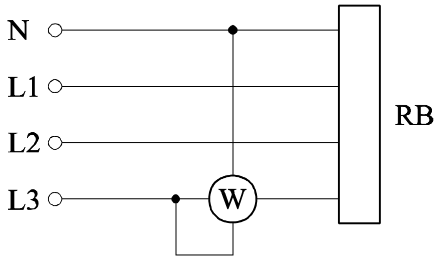
- 2-ledersystem: fase eller fase-fase
- 4-ledersystem: 3 faser-nul symmetrisk belastning
- 4-ledersystem: asymmetrisk belastning
- 3-ledersystem uden nul.

Måling på 2-ledersystem



Strømspolen tilsluttes i serie med belastningen som et amperemeter og spændingsspolen parallelt over fase og nul eller mellem to faser, som et voltmeter.

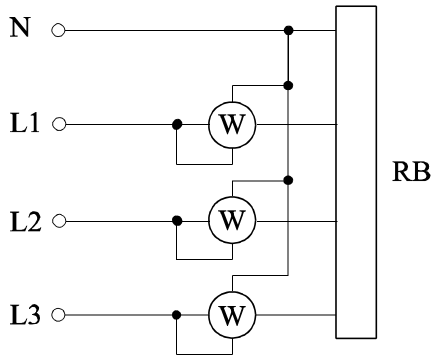
Måling på 4-ledersystem symmetrisk belastning



Her behøves kun et wattmeter, der tilsluttes en vilkårlig fase og nul.

Den samlede effekt findes ved, at multiplicere instrumentets udsalg med 3.

Måling af 4-ledersystem asymmetrisk belastning



Ved asymmetrisk belastning kan anvendes tre wattmetre.

Strømspolerne forbindes i serie med hver sin fase.

Spændingsspolerne tilsluttes hver sin fase og har fælles nul.

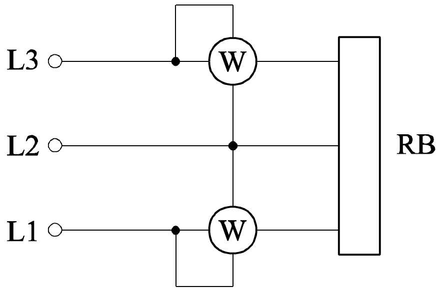
Den samlede virkeeffekt vil være summen af de tre instrumenters visning.

Undertiden anbringes alle "tre målesystemer" i samme hus med fælles aksel, og man aflæser da på en skala den samlede virkeeffekt.

Ved et instrument med "tre-wattmetersystem" kan forbindelserne kontrolleres ved at påtrykke spænding på én spændingsspole ad gangen og se, om viserens udslag er korrekt.

Kontrollen foretages ved en vis belastning, og ved forkert udslag vendes tilledningerne til spændingsspolen.

Måling på 3-ledersystem 3-faser uden nul



Den samlede virkeeffekt kan her måles ved "to-wattmetermetoden", der giver korrekt måling selv om belastningen er asymmetrisk.

Systemet anvendes især ved højspænding og ved måling af effekten til 3-fasede motorer.

Ved "to-wattmetermetoden" forbindes strømspolerne i hver sin yderfase, og den enkelte spændingsspole tilsluttes mellem den fase, hvor strømspolen er indskudt og midterfasen.

Er der tale om ren ohmsk, symmetrisk belastning, vil hvert af de to wattmetre vise halvdelen af den samlede virkeeffekt.

Optræder der faseforskydning, vil wattmetrene vise forskelligt, selv om belastningen er symmetrisk; men summen af instrumenternes visning er den samlede effekt.

Stor faseforskydning

Er der meget stor faseforskydning, vil det ene wattmeter vise mere end den samlede virkeeffekt, og det andet wattmeter vil slå "bak".

Forbindelsen til spændingsspolen, i det instrument der slog "bak", vendes, således at udslaget der fremkommer kan fratrækkes wattmetret med det rigtige udslag, for at få den samlede virkeeffekt.

For at udelukke fejltagelser er det nødvendigt at kontrollere viserens udslagsretning ved en ren ohmsk belastning.

De to wattmetre kan være sammenbygget i et hus med fælles aksel, og man aflæser da på en skala den samlede virkeeffekt.

Også her er det nødvendigt at kontrollere de to systemers udslag hver for sig.

Måling af virkeeffekt med kWh-måler

Ved hjælp af en installeret KWh-måler kan virkeeffekten findes.

Først afbrydes der for den del af installationen og for de brugsgenstande, der ikke skal medtages i målingen.

Ved derefter at indkoble måleobjektet i en bestemt tid og samtidig aflæse antal omdrejninger på måleren, kan effekten beregnes, idet måleren er mærket med det antal omdrejninger der svarer til 1 KWh.

Eksempel

På en måler med K = 240 o/kWh registreres i løbet af 300 s 12 omdrejninger.
Først findes det forbrugte arbejde:

$$A = \frac{n}{K}$$

$$A = \frac{12}{240} = \underline{\underline{0{,}05\ kWh}}$$

Herefter beregnes effekten:

$$P = \frac{A}{t}$$

$$P = \frac{0{,}05 \cdot 3600}{300} = \underline{\underline{0{,}6\ kW}}$$

Omskrevet til en samlet formel:

$$P = \frac{n \cdot 3600}{t \cdot K}\ [kW]$$

$$P = \frac{12 \cdot 3600}{300 \cdot 240} = \underline{\underline{0{,}6\ kW}}$$

Ved store belastninger kan man i stedet direkte aflæse forbruget kWh på målerens tælleværk i en bestemt tid, og effekten kan derefter udregnes som:

$$P = \frac{A}{t}\ [kW]$$

Måling af reaktiveffekt

På industrivirksomheder, hvor belastningen består af blandet ohmsk, kapacitiv og induktiv karakter, optræder der foruden virkeeffekten en reaktiveffekt, som måles i var.

Ledersystemer

Der kan blive tale om måling på:

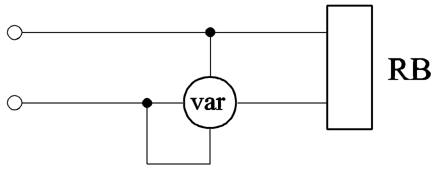
2-ledersystem, fase-nul eller 2 faser

4-ledersystem, 3 faser og nul, symmetrisk belastet

4-ledersystem, 3 faser og nul asymmetrisk

3-ledersystem, 3 faser uden nul, symmetrisk bela stet.

Måling på 2-ledersystem



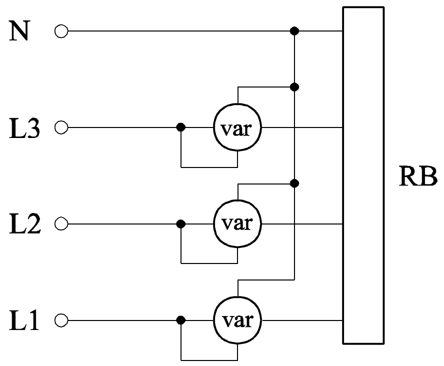
Reaktiveffekt kan måles med et var-meter, der tilsluttes ligesom et wattmeter.

Måling på 4-ledernet symmetrisk belastning

Der anvendes kun et var-meter, der tilsluttes en vilkårlig fase og nul (som ved 1-faset måling).

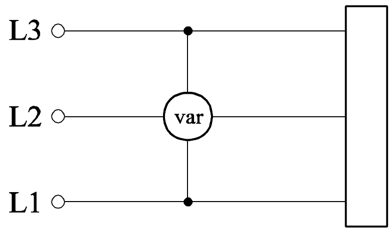
Den samlede reaktiveffekt vil være instrumentets visning ganget med 3.

Måling på 4-ledernet asymmetrisk belastet



Der anvendes her samme fremgangsmåde som ved "Måling af virkeeffekt på 3 faser, med nul, asymmetrisk", hvorfor der henvises til dette afsnit.

Måling på 3-ledernet uden nul

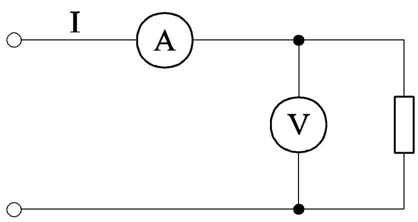


Ved symmetrisk 3-faset system, kan den samlede reaktiveffekt måles med et var-meter.

Strømspolen forbindes i serie med midterfasen og spændingsspolen tilsluttes de to yderfaser.

Reaktiveffekten kan også findes ved hjælp af volt, ampere og wattmeter samt beregning.

Måling af kombinationseffekt



Ved blandet ohmsk, induktiv belastning, vil der optræde både virkeeffekter og reaktive effekter, hvoraf der dannes en kombinationseffekt (samlet, total effekt), der måles i VA.

Der kan blive tale om måling af kombinationseffekt på:

- 2-ledersystem (fase og nul, eller to faser)
- 3-faset system, med nul, symmetrisk belastet
- 3-faset system, med nul, asymmetrisk belastet
- 3-faset system uden nul, symmetrisk belastet.

Spændingen U og strømmen I måles, hvorefter kombinationseffekten "S" beregnes:

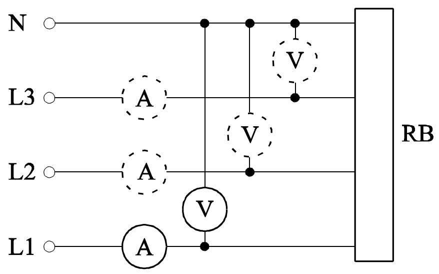
$$S = U \cdot I \; [VA]$$

Måling på tre faser, med nul, symmetrisk

Et amperemeter indskydes i en tilfældig valgt fase og et voltmeter tilsluttet mellem den valgte fase og nul. Den samlede kombinationseffekt "S" beregnes herefter:

$$S = 3 \cdot U \cdot I \; [VA]$$

Måling på tre faser, med nul, asymmetrisk



Strømmen i hver fase måles, og ganges med spændingen målt mellem den enkelte fase og nul:

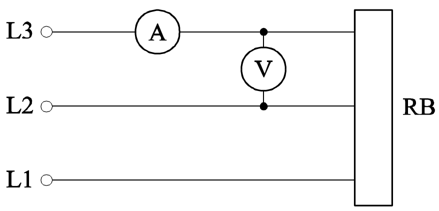
$$Fase\ L1:\ SL1 = UL1 \cdot IL1$$

$$Fase\ L2:\ SL2 = UL2 \cdot IL2$$

$$Fase\ L3:\ SL3 = UL3 \cdot IL3$$

$$Samlet:\ S = SL1 + SL2 + SL3$$

Måling på tre faser, uden nul, symmetrisk



Der indskydes et amperemeter i en vilkårlig valgt fase.
Der tilsluttes et voltmeter mellem to vilkårlige faser.
Kombinationseffekten kan derefter beregnes:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I\ [VA]$$

Energimåling

Betalingen for elektricitetsforbruget afhænger af den aftagne energi.
Til energimåling anvendes forskellige typer målere, fortrinsvis induktionsmålere, kVA, kvarh.

1-faset ohmsk belastning 273
2. gradsligning 61-63
Addition . . . 8, 10, 22, 59, 61, 75, 245, 279
Aktive kredsløb 335
Ampere-vindinger 202
Arbejde 83, 93, 95, 100, 101, 160, 182, 183, 250, 253, 305, 314, 337, 388, 486
Arbejde, energi 93, 100
Astabil multivibrator . . 411, 412, 426
Atmosfære 119, 143
Atmosfærisk tryk 122
Atomet 90, 125, 131, 132, 153
Baser 134, 135, 378, 384
Bimetalinstrument 437, 474, 480
Binær regning 75
Bistabil multivibrator 413, 416
Blandede forbindelser 176
Blødtjernsinstrument . . 434, 474, 480
Boole algebra 76
Brokobling . . 291, 313, 394, 397, 404-406
Brøker 13, 15
Cirkel 28, 31, 35, 37, 45, 286
Cosinus og sinus 45
Cosinusrelationen 49, 50
DC-forstærkere 373, 377
Det græske alfabet 4
Diac 318, 319, 363, 366, 368
Dielektrikum 141, 163, 305
Differentialforstærker . 377, 380, 388, 390
Digitale multimetre 439
Digitale systemer 429
Dioder . 277, 288, 296, 309, 310, 312, 314, 318, 320, 322, 325, 371, 405, 414
Division . 10, 11, 15, 22, 92, 237, 280
Dobbeltensretning 391, 394, 397
Drejespoleinstrumentet 433, 434
Effekt 93, 95, 101, 159, 160, 180, 181, 183, 184, 224, 226, 250-253, 255, 261, 263, 264, 266, 282-284, 287, 295, 315, 352, 361, 368, 408, 433, 438, 447, 448, 460, 481-485, 488
Effektfaktor 250
Eksponentiel vækst 68
Elektricitet 3, 141, 149, 150, 160, 164-166, 208, 213
Elektrodynamisk induktion . 206, 211
Elektrodynamisk instrument 435, 459, 482
Elektromagneter . . 192, 196, 197, 203
Elektromagnetisk induktion 206
Elektromotorisk kraft . . . 93, 103, 135, 138, 140, 141, 185, 207
Elektron 117, 127, 130-132, 149
Elektronisk trappeautomat 422
ELLER-led, ... 430
Enkeltensretning 391, 392, 396
Farver . . 119, 120, 294, 307, 464, 467
Faseforskydningsvinkel 231, 238
Fasekompensering 248
Fasestyring . . 360, 366, 401, 408, 409
Ferraris princip 460
Flerfaset belastning 257
Formodstand 171, 315, 322, 446, 455, 463
Fotodioder 320, 321
Fysik 3, 103

Generatorprincippet 208
Grundenheder 89, 90, 93, 96
Grundlæggende elektronik 277
Grundstoffer 128, 129, 133, 149
Hvirvelstrømme 217, 433, 460
Hysterese 216, 368
IKKE-led 431
Induktiv vekselstrømsbelastning . 228
Integrerede kredse 277, 371
Invertfunktion "IKKE" 78
Jordmagnetisme 191
Kapacitet og ladninger 161
Kapacitiv vekselstrømsbelastning 225, 251
Karnaugh-diagram 83, 84, 86, 87
Kernen . 125-127, 153, 154, 194, 447, 449
Kirchoffs 1. lov 169
Kirchoffs 2. lov 169
Kombinationseffekt . . . 252, 262, 266, 482, 488
Kompression 145
Kondensatorer . . . 164, 165, 248, 277, 301, 305, 307, 397
Kondensatortyper 305
Koordinatsystemet 42, 257
LDR-modstand 292, 374
LED-diode 321
Ledeevne 149, 157, 163, 201
Ledningsmodstand 155, 169, 271
Liniens ligning 57
Logaritmer 70, 71
Lommeregneren . . . 22, 23, 25, 26, 70
Lyd 120, 121
Lys 117, 119, 121, 154, 251, 293, 294, 314, 321, 322, 324, 368, 374-376, 401, 443, 467
Løsning af ligninger 15
Magneter . . . 192, 193, 195, 196, 200, 204
Magnetfelter 196, 205, 435, 436
Magnetform 195
Matematik 3
Modstand . 15, 95, 113, 151, 153-156, 158-161, 167, 168, 170-176, 179-182, 186, 187, 189, 190, 204, 212, 214, 215, 218, 220, 224, 225, 228-230, 232-236, 238-243, 269, 278, 281, 283-285, 287-297, 299-302, 309-311, 313, 314, 328, 334, 345, 346, 364, 366, 374-376, 399, 409, 415, 423, 433, 435, 438, 439, 449, 451-456, 462, 471-481
Modstande . . 155, 164, 169, 170, 172-175, 177, 215, 216, 232, 263, 277-279, 281-286, 288-292, 295, 297, 298, 339, 371, 386, 397, 452, 480, 481
Modstandsfylde 155-158
Modstandsmåling 155, 446, 480, 481
Molekyler 91, 119, 132, 133
Monostabil multivibrator 416
Multiplikation . . 9, 11, 22, 60, 75, 92, 279, 280
NAND 432
NOR 431
NPN-transistoren 325
NTC-modstand 289-291
OG-led 430
Ohmmeter 155, 346, 480
Ohms lov . . . 167, 168, 180, 204, 224, 226, 232, 239, 240, 452, 453, 480
Ohmsk vekselstrømsbelastning . . 224
Operationsforstærker 388

Optokoblere 341
Oscilloskop . 225, 465, 467, 468, 470
Parallelforbindelse "ELLER" 78
Parallelforbindelser . . . 164, 172, 176, 179, 239-241
Parenteser 11-13
Plangeometri 27
Pneumatik 143
PNP-transistorer 324
Potens 25, 26, 43, 58, 59, 61
Potentiale . . . 137, 152, 161, 166, 422
Potentiometer 180, 286, 366, 384, 386
Procentregning 19
PTC-modstand 288
Pythagoras læresætning 36, 43
RC-led 301, 303, 368, 374, 420
Reaktiveffekt 251, 263, 266, 482, 486-488
Regning 3, 10, 75, 316
Remanens 195, 201, 217
Resonans 235, 243
Rigtig spændingsmåling 452
Rigtig strømmåling 452, 453
Sandhedstabeller 79, 80, 82
Schmitt-trigger . . . 373, 412, 417, 419
Selvinduktion 204, 213, 215, 224, 228, 230, 234-236, 242, 243, 435
Serieforbindelser . . 77, 164, 170, 190, 230-232, 240
Serieforbindelser "OG" 77
Shunte 297, 436, 438, 446, 456
Shuntmodstand 176
SI-systemet . . . 89-91, 94, 96, 100, 102
Sinusrelationen 49, 50
Spole . . 194, 199-201, 203-205, 207, 211, 213-215, 217, 228-230, 238, 239, 248, 397, 433-436, 445
Spænding . . 27, 93, 95, 138, 151, 154, 159-164, 166-168, 170, 177-179, 181, 182, 184-186, 204-215, 217, 221, 224, 228, 230, 232-235, 237, 252, 257, 260, 263, 267, 268, 271, 275, 278, 288, 295-297, 301, 303-307, 309, 311, 312, 314-316, 318, 319, 326, 330-332, 342, 344, 347, 351, 352, 354, 362, 366, 378, 383, 391, 397-399, 402, 405, 416, 419-425, 433, 438, 441, 442, 446-448, 451-453, 455, 457, 462, 463, 466, 475, 478-484
Spændingsdelere 177
Spændingsfald . . . 155, 168-171, 187, 188, 269-271, 275, 276, 335, 336, 402, 419, 446, 451, 455
Spændingsforskel 135, 150, 151, 208, 303, 341
Spændingsmåling 151, 436, 439, 447, 452, 474, 479
SR-flip-flop 413, 414
Standardrække for modstande . . . 279
Stjerneforbindelse 258, 259, 261
Strain-gauge 299, 300
Strøm . . 52, 90, 91, 97, 138, 141, 150-152, 154, 159-161, 167, 168, 172, 174, 177, 179, 181, 184, 187, 189, 190, 194, 199, 202-204, 207, 208, 211-214, 216, 217, 219, 224-226, 228, 232, 234, 235, 240, 243-246, 252, 255, 263, 266, 274, 275, 278, 289, 296, 311, 315-317, 321, 322, 326, 327, 331, 332, 344, 346, 351, 357, 361, 366, 369, 370, 374, 394, 402, 433, 436-438, 441, 445, 446,

448, 451-453, 455, 456, 461, 471, 479, 481-483
Strømførende leder i magnetfelt . 205
Strømmåling 153, 452, 453, 471, 476, 480
Strømstyrke . . . 95, 97, 155, 201, 232, 271, 311, 461
Subtraktion 9, 10, 22, 59, 61, 75
Syrer 133-135
T-flip-flop 413, 415
Talsystemer 5, 8
Tangamperemeter 445
Tangens 46, 54, 55, 445
Thyristor-tændmetoder 354
Thyristorer . . 277, 349, 353, 361, 401, 405-407
Transformerprincippet 212
Trekanter . . 31, 36, 38, 40, 46, 48-50, 259
Trekantforbindelse 259, 262, 263
Triac 318, 361-367, 370, 408-410
Trigonometri 22, 23, 45
Unijunction-transistor 342, 420
Universalinstrument . . 313, 340, 395, 396, 438, 446, 453, 480, 481
Variabel vekselspænding 406-408
Variable modstande 286
VDR-modstand 295-297, 374
Vekselstrømmens værdier 220
Vektorer 52, 223, 266
Vinkelhastighed 92, 223
Virkningsgrad 183-185
Zenerdioden 314, 315, 317, 403