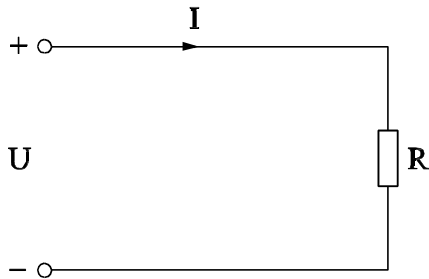


Ohms lov

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

$$U = I \cdot R$$

Kan også skrives:

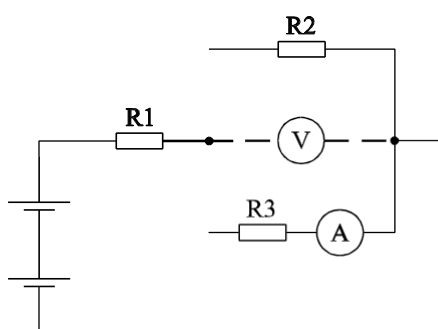
$$I = \frac{U}{R} \text{ eller } R = \frac{U}{I}$$

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.

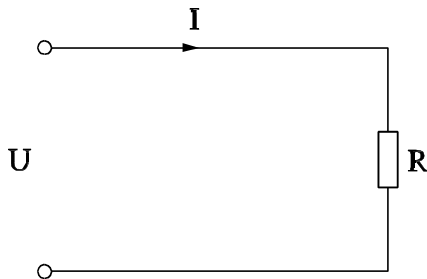
Anvendelse



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 S?

$$U = I \cdot R$$

$$U = 8 \cdot 27,5 = \underline{\underline{220 \text{ V}}}$$

En modstand på 80 S tilsluttes en spænding på 440 V. Hvor stor er strømmen?

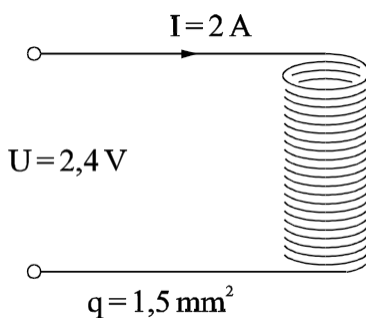
$$U = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{440}{80} = \underline{\underline{5,5 \text{ A}}}$$

Hvor stor er modstanden, når strømmen måles til 2,5 A ved en spænding på 90 V?

$$U = I \cdot R \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{90}{2,5} = \underline{\underline{36 \Omega}}$$



Gennem en rulle 1,5 mm² 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:

$$U = I \cdot R \Rightarrow R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{2,4}{2} = \underline{\underline{1,2 \Omega}}$$

Dernæst indsættes ledningsmodstanden i formelen for ledningsmodstand og ledningslængden findes:

$$Rl = \frac{\rho \cdot l}{q} \Rightarrow l = \frac{Rl \cdot q}{\rho}$$

$$l = \frac{1,2 \cdot 1,5}{0,018} = \underline{\underline{100 \text{ m}}}$$

Forbindelsesmuligheder

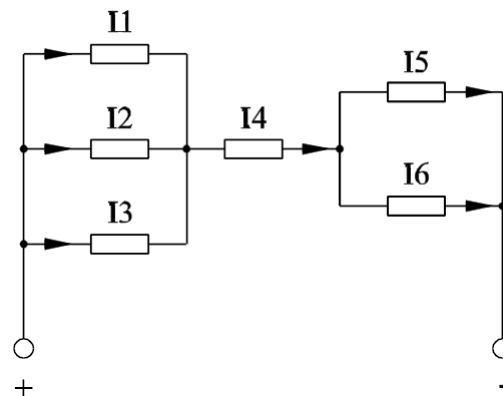
Skal flere komponenter tilsluttes, kan disse tilsluttes enten i serieforbindelse, i parallelforbindelse eller som en blanding af begge dele i et kombineret kredsløb.

For at forstå hvordan strømme og spændinger fordeler sig i sådanne kredsløb, er det nødvendigt at kende et par grundlæggende regler kaldet: Kirchoffs love.

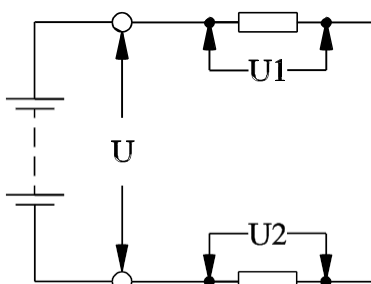
Kirchoffs 1. lov

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



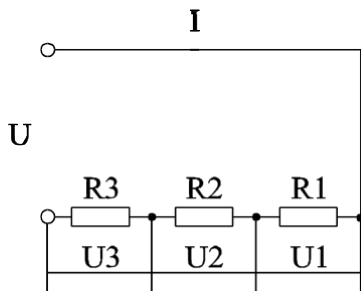
I et sluttet kredsløb er summen af de påtrykte spændinger lig med summen af spændinger (spændingsfald) over de enkelte modstande.

$$U = U1 + U2$$

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.

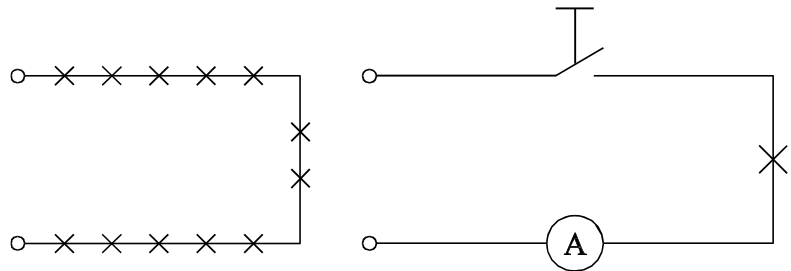
Den påtrykte spænding er lig summen af spændingsfald over de enkelte modstande.

$$U = U1 + U2 + U3$$

Den resulterende modstand er lig summen af de enkelte modstande.

$$RS = R1 + R2 + R3$$

Eksempler på anvendelse



Eksempler

Tre modstande på 10 S, 8 S og 4 S serieforbindes og tilsluttes 220 V.

Find:

den resulterende modstand

strømmen

spændingen over hver modstand.

$$RS = R1 + R2 + R3$$

$$RS = 10 + 8 + 4 = \underline{\underline{22 \Omega}}$$



$$U = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{220}{22} = \underline{\underline{10 \text{ A}}}$$

$$U1 = I \cdot R1$$

$$U1 = 10 \cdot 10 = \underline{\underline{100 \text{ V}}}$$

$$U2 = I \cdot R2$$

$$U2 = 10 \cdot 8 = \underline{\underline{80 \text{ V}}}$$

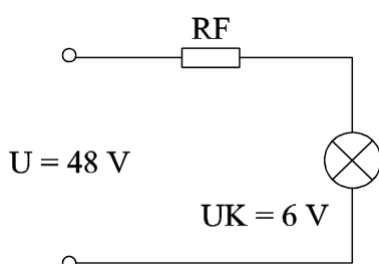
$$U3 = I \cdot R3$$

$$U3 = 10 \cdot 4 = \underline{\underline{40 \text{ V}}}$$

$$U1 + U2 + U3 = \underline{\underline{220 \text{ V}}}$$

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

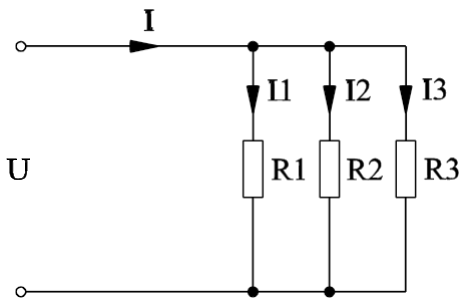
$$RF = RS - \frac{UK}{I}$$

$$RF = 480 - \frac{6}{0,1} = \underline{\underline{420 \Omega}}$$

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.

$$R' = \frac{U}{I} \text{ (Ohms lov)}$$

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 S parallelforbindes.
Find R'.

$$R' = \frac{R}{n}$$

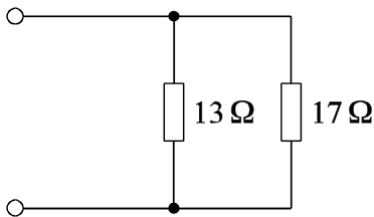
$$R' = \frac{150}{5} = \underline{\underline{30 \Omega}}$$

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

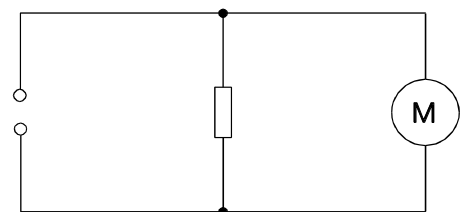
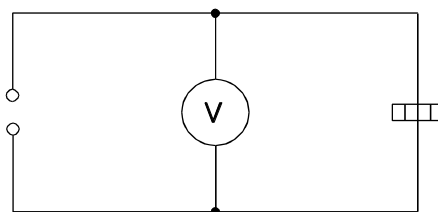


Beregn den resulterende modstand:

$$R' = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

$$R' = \frac{13 \cdot 17}{13 + 17} = \underline{\underline{7,37 \Omega}}$$

Eksempler på anvendelse



Eksempel

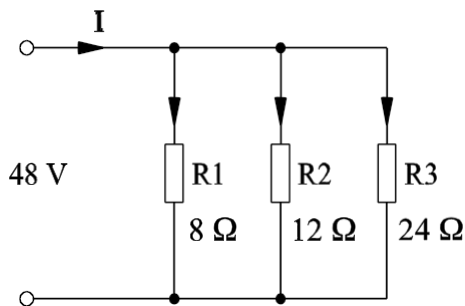
Tre modstande på 8 S, 12 S og 24 S parallelforbindes og tilsluttes 48 V.

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:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{8} + \frac{1}{12} + \frac{1}{24}$$

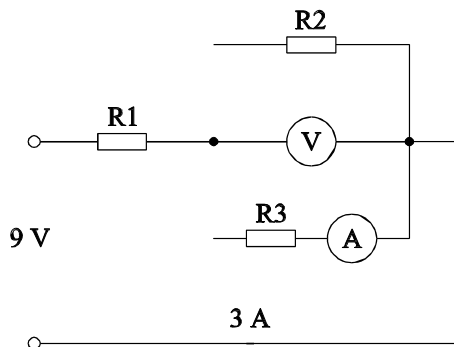
Fællesnævner sættes lig med: 24

$$\frac{1}{R'} = \frac{3}{24} + \frac{2}{24} + \frac{1}{24} = \frac{6}{24}$$

Brøkerne vendes på begge sider af lighedstegn:

$$R' = \frac{24}{6} = \underline{\underline{4 \, \Omega}}$$

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

$U = 6 \text{ V}$ og $I = \underline{\underline{2 \text{ A}}}$ kan $R3$ beregnes:

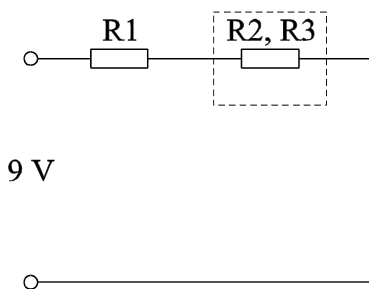
$$R3 = \frac{U}{I3} = \frac{6}{2} = \underline{\underline{3 \Omega}}$$

Herefter findes "rene" serie- eller parallelforbindelser.

R2 og R3 er en "ren" parallelforbindelse, dvs. U = fælles og

$$\begin{aligned}
 I &= I_2 + I_3 \\
 I_2 &= I - I_3 \\
 I_2 &= 3 - 2 = \underline{1A} \\
 R_2 &= \frac{U}{I_2} \\
 R_2 &= \frac{6}{1} \\
 R_2 &= \underline{\underline{6 \Omega}}
 \end{aligned}$$

Erstatningsdiagram



Der kan så tegnes et erstatningsdiagram også kaldet et ækvivalentdiagram. Dette viser nu en "ren" serieforbindelse dvs. I = fælles og

$$\begin{aligned}
 U &= U_1 + U_2, U_3 \\
 U_1 &= U - U_2, U_3 \\
 U_1 &= 9 - 6 = \underline{\underline{3V}}
 \end{aligned}$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

$$R_1 = \frac{3}{3} = \underline{\underline{1 \Omega}}$$

Effekt

Når den elektriske effekt i et jævnstrømsanlæg skal findes, bruges formelen:

$$P = U \cdot I$$

Indsætter vi Ohms lov, $U = I \cdot R$, i formelen 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:

$$P = U \cdot I$$

$$P = 6 \cdot 0,5 = \underline{\underline{3 \text{ W}}}$$

En glødelampe er stemplet 230 V 60 W. Find den optagne strøm.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{230} = \underline{\underline{0,26 \text{ A}}}$$

En varmeovn skal ved 2 A udvikle en effekt på 1000 W. Find den nødvendige spænding.

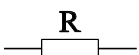
$$U = \frac{P}{I}$$

$$U = \frac{1000}{2} = \underline{\underline{500 \text{ V}}}$$

Hvor stor en strøm må en modstand mærket 100 S $\frac{1}{4}$ W, maksimalt gennemløbes af?

$$P = I^2 \cdot R \Rightarrow I^2 = \frac{P}{R}$$

$$I^2 = \frac{0,25}{100} \Rightarrow I = \sqrt{0,0025} = \underline{\underline{0,05 \text{ A}}}$$



Arbejde

Når det elektriske arbejde skal findes, bruges formelen $A = P \cdot t$.

Eksempler

Et strygejern optager 750 W. Hvor stor energi vil det bruge ved otte timers uafbrudt drift?

$$A = P \cdot t$$

$$A = 0,75 \cdot 8 = \underline{6 \text{ kWh}}$$

Gennem en 2,4 S modstand sendes 10 A i 4 timer. Find forbruget i kWh.

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = 10^2 \cdot 2,4 = 240 \text{ W} = \underline{0,24 \text{ kW}}$$

$$A = P \cdot t$$

$$A = 0,24 \cdot 4 = \underline{0,96 \text{ kWh}}$$

Til 230 V spænding sluttes en varmeovn med 4,4 S modstand i 3 timer. Find forbruget i kWh.

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = \frac{52900}{4,4} = 12023 \text{ W} = \underline{11 \text{ kW}}$$

$$A = P \cdot t$$

$$A = 11 \cdot 3 = \underline{33 \text{ kWh}}$$

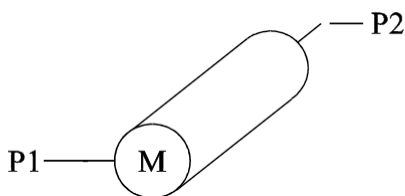
En kunde spørger: Hvad koster det at bruge en lysekrone i to timer? Den pågældende lysekrone har 4 stk. 60 W lamper, og der betales 150 øre/kWh.

$$P = 4 \cdot 60 = 240 \text{ W} = \underline{\underline{0,240 \text{ kW}}}$$

$$A = P \cdot t$$

$$A = 0,24 \cdot 2 = 0,48 \text{ kWh}$$

$$Pris = 0,48 \cdot 150 = \underline{\underline{72 \text{ øre}}}$$



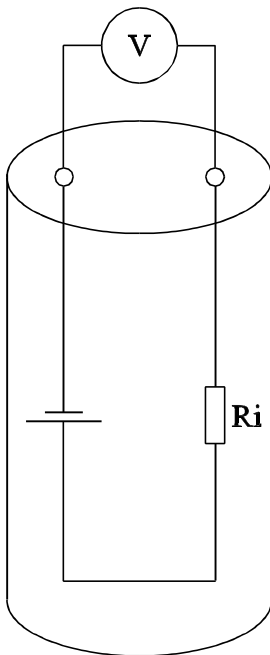
$$A1 = A2 + tab$$

$$\eta = \frac{A2}{A1}$$

$$P1 = P2 + tab$$

Spændingskilder

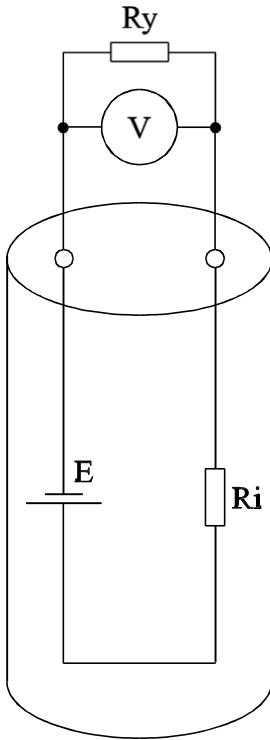
Elektromotorisk kraft



En spændingskilde er fx et batteri eller en generator. Tilsluttes et voltmeter over en energikildes to klemmer, måles spændingen i ubelastet tilstand.

Denne spænding kaldes den elektromotoriske kraft. Som formeltegnet benyttes E .

Klemspænding



Tilsluttes der derefter en modstand, viser voltmetret et mindre udslag. Spændingen på klemmerne er blevet mindre.

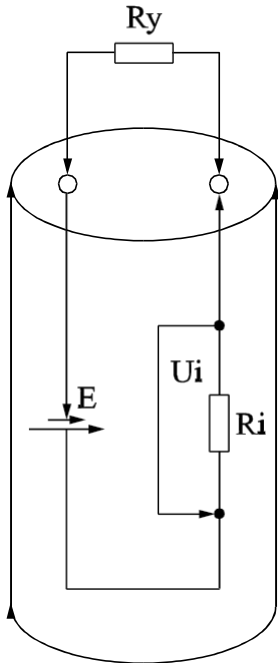
Denne mindre spænding kaldes klemspændingen. Som formel tegn benyttes U .

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 formel tegn benyttes R_i .

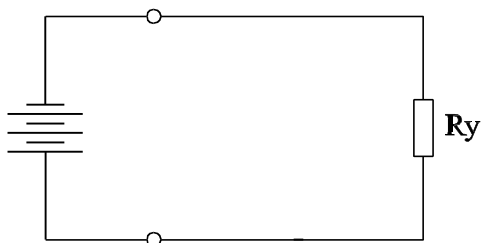
Indre spændingsfald



Strømmen, der gennemløber modstanden(e) i det ydre kredsløb R_y , vil også gennemløbe den indre modstand og forårsage et indre spændingsfald. Som formeltegnet benyttes U_i .

$$U_i = I \cdot R_i$$

Formler



Da energikildens indre modstand gennemløbes af den samme strøm som den ydre modstand, gælder reglerne for en serieforbindelse altså:

$$E = U + U_i$$

$$I = \frac{E}{(R_i + R_y)}$$

$$\Sigma R = R_i + R_y$$

$$U = I \cdot R_y$$

$$U_i = I \cdot R_i$$

Eksempler

Tre elementer hver med $E = 1,5 \text{ V}$, $R_i = 0,2 \text{ S}$ serieforbindes og tilsluttes en ydre belastning med $R_y = 8,4 \text{ S}$.

Beregn: Strømstyrken

Klemspændingen U

Indre spændingsfald U_i .

$$I = \frac{E}{R_i + R_y}$$

$$I = \frac{4,5}{0,6 + 8,4} = \underline{\underline{0,5 \text{ A}}}$$

$$U = I \cdot R_y$$

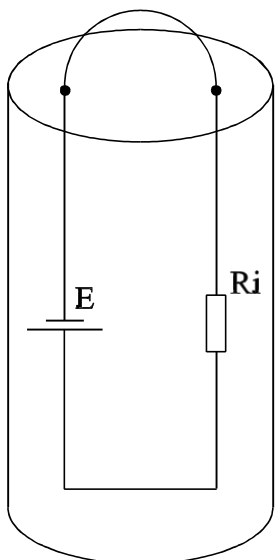
$$U = 0,5 \cdot 8,4$$

$$U = \underline{\underline{4,2 \text{ V}}}$$

$$U_i = \frac{I \cdot R_i}{3}$$

$$U_i = \frac{0,5 \cdot 0,6}{3} = \underline{\underline{0,1 \text{ V pr. element}}}$$

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:

$$I_K = \frac{E}{R_i}$$

Selv om spændingen over energikildens tilslutningsklemmer muligvis er ganske lille, kan der godt opstå ret anseelige strømme ved kortslutning.

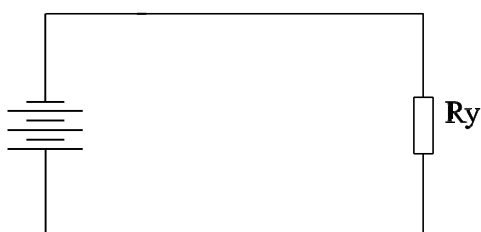
Eksempler

Et 1,5 V element med $R_i = 0,1 \text{ S}$ kortsluttes. Find kortslutningsstrømmen.

$$I_K = \frac{E}{R_i}$$

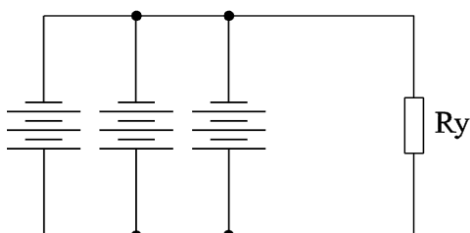
$$I_K = \frac{1,5}{0,1} = \underline{\underline{15 \text{ A}}}$$

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 S, må batteriets elektromotoriske kraft være mindst $I R_y = 4,2 \text{ V}$, 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 S, vil de tre serieforbundne batterier have en resulterende indre modstand på $3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ S}$.

Ud fra de tidligere angivne formler kan vi finde strømmen i hele kredsen som:

$$I = \frac{E}{R_i + R_y}$$

$$I = \frac{4,5}{0,3 + 1,4} = \underline{\underline{2,65 \text{ A}}}$$

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.

$$\Sigma R_i = \frac{3 \cdot R_i}{n}$$

$$\Sigma R_i = \frac{3 \cdot 0,1}{3} = \underline{\underline{0,1 \Omega}}$$

$$I = \frac{E}{R_i + R_y}$$

$$I = \frac{4,5}{0,1 + 1,4} = \underline{\underline{3 \text{ A}}}$$