

## Transformere

Transformeren er en vekselstrømsmaskine, men i modsætning til andre maskiner har den ingen bevægelige dele. Den tilføres elektrisk energi og afgiver elektrisk energi igen. Siden man gik over til at distribuere elektricitet som vekselstrøm, har transformeren fået stor udbredelse i såvel forsyningsnettet som i elektriske apparater.

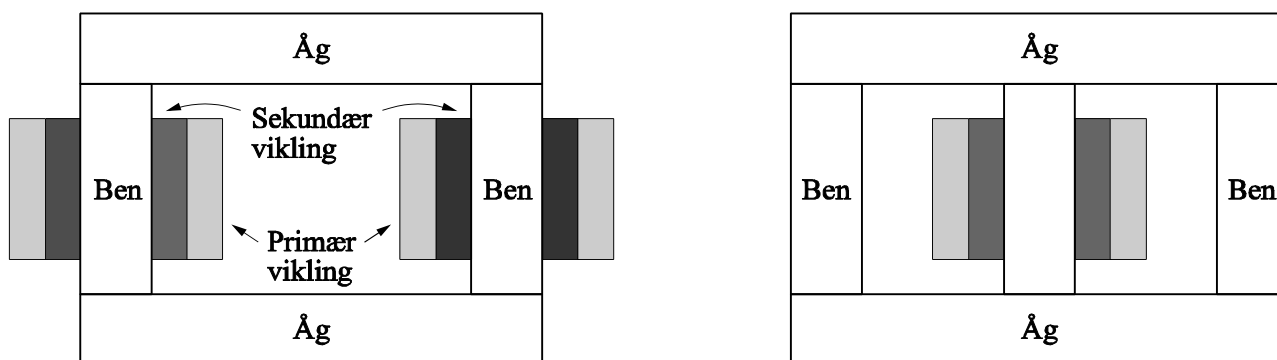
Den praktiske udførelse af en transformator kan variere en del, alt efter hvad den skal anvendes til.

Transformeren anvendes oftest til:

- at omsætte en høj vekselspænding fra forsyningsnettet til en lavere vekselspænding, som kan anvendes i almindelige installationer.
- at opnå en elektrisk adskillelse mellem to strømkredse.
- at omsætte en fast vekselspænding til en variabel vekselspænding.
- at omsætte en høj vekselspænding eller vekselstrøm til en praktisk målelig størrelse.
- at omsætte en lav vekselspænding til en høj vekselspænding.

## Transformerens opbygning og bestanddele

En transformator består grundlæggende af 3 dele:

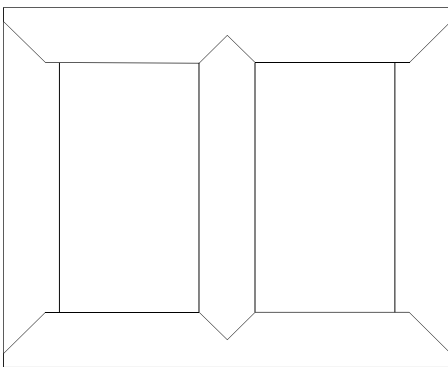


1. Kernen, som bærer viklingerne gennemløbes af de magnetiske kraftlinier, der skabes af strømmen i viklingerne.

2. Primærviklingen, der tilsluttes en forsynings-spænding, benævnes ofte som 1. vikling.
3. Sekundærviklingen, der afgiver en spænding, be-nævnes ofte som 2. vikling.

En vikling kan bestå af en eller flere spoler, og en spo-le kan bestå af en eller flere vindinger.

### Transformerkernen

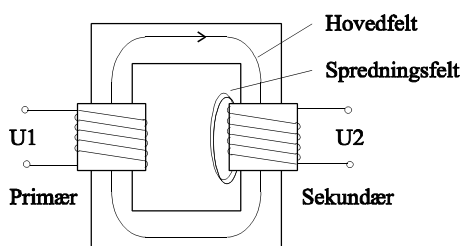


Kernen opbygges af jernplader, der er legeret med si-licium og overfladebehandlet, så to plader ikke danner elektrisk forbindelse. Denne legering forøger jernets ohmske modstand, så hvirvelstrømstabene nedsættes. Samtidig får jernet en smal hystereses-løjfe og dermed et lille hysteresetab.

Ved opbygning af kernen tilstræbes det, at de enkelte pladestykker bliver indsat, så de magnetiske kraftlinier forløber i jernets valseretning, hvor den magnetiske ledeevne er bedre end på tværs af valseretningen.

Pladerne samles meget omhyggeligt, så luftmellem-ruddene bliver så små som mulige. Herefter spændes kernen sammen med tværgående bolte, der føres gen-nem udstansede huller i pladerne. For at disse bolte ikke skal kortslutte pladerne elektrisk, forsynes huller-ne først med et isolationsrør.

### Kernetyper



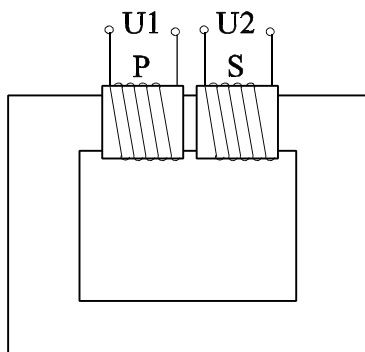
Ringkernen virker som en sluttet jernring. Den del af jernkernen, der omsluttes af spolerne, kaldes benene og den øvrige del kaldes åget.

Normalt anbringes der en vikling på hvert ben, men ved store strømme, hvor der dannes kraftige magnet-felter, vil kraftlinierne sprede sig uden for kernen ved hjørnerne. Dette medfører, at der opstår et tab af kraft-linier, som kaldes spredningsfeltet.

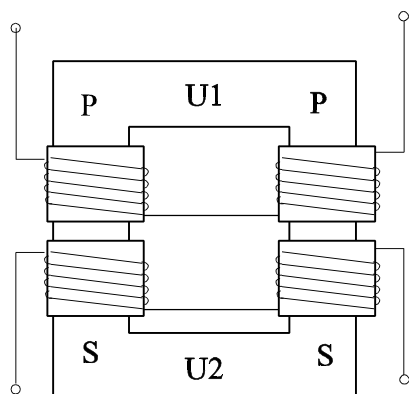
---

**TRANSFORMERE - GRUNDFORLØB**

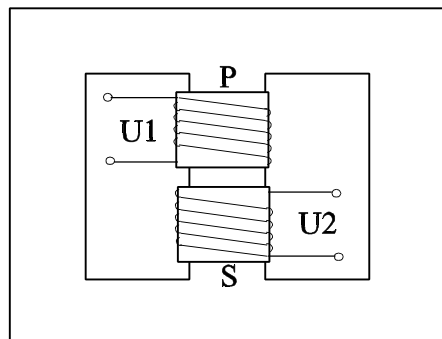

---



Lægges begge viklinger på samme ben, vil kraftlinietallet være ens for de to viklinger.



Nogle transformere har den enkelte vikling opdelt i to spoler, så der lægges en spole fra hver vikling på benene. Her er kraftlinietallet også ens for begge viklinger.



Kappekernen omslutter viklingerne, der er anbragt på midterbenet, og da det kun er halvdelen af det samlede kraftlinietal, der gennemløber kernens sider, vil spredningsfeltet uden for kernen være minimal.

## Viklingerne

Til viklingerne anvendes der et materiale med god elektrisk ledeevne, oftest kobber eller aluminium. I mindre transformere maskinfremstilles viklingen af en lang lakisoleret kobbertråd. I større transformere, til forsyningsnettet, kan en vikling være fremstillet af flere spoler og fremstillet af aluminiumsplade, isoleret med papir. Når der anvendes papir som isolation, er viklingen nedsænket i olie. Det er dermed olien, der virker som isolation, papirets formål er at holde en vis afstand.

**Transformerstørrelser**

På de fleste transformere er størrelsen opgivet i VA. Størrelsen kan variere fra nogle få VA, såsom transformeren i en radio, op til størrelser på mange MVA, som anvendes i forsyningsnettet. Men princippet er altid det samme.

Effekten, som transformeren opgives i, er altid den afgivne effekt, beregnet ud fra sekundær spænding og strøm.

**Virkemåde**

Når de magnetiske forhold ændres omkring en leder, bliver der induceret en spænding i lederen, og dette er grundlaget for transformerens virkemåde.

Tilsluttes primærviklingen en vekselspænding, vil der gå en vekselstrøm i viklingen og denne strøm vil skabe et vekselfelt i jernkernen. Vekselfeltet inducerer en elektromotorisk kraft i både primær- og sekundærspolene. Hvis sekundærspolen er tilsluttet en belastning, så der dannes en strøm-kreds, vil der gå en strøm i sekundærspolen.

Spændingen over hver vikling er ens for både primær- og sekundærviklingen, så forholdet mellem primær- og sekundærspænding bliver det samme som forholdet mellem primær- og sekundærvindingstal.

**Omsætningsforhold**

Som nævnt er omsætningsforholdet forholdet mellem antallet af vindinger på primærside og sekundærside. Det kan udregnes med følgende formel, hvor 'n' er omsætningsforholdet, der er et ubenævnt tal, 'N1' er antallet af vindinger på primærsiden, og 'N2' er antallet af vindinger på sekundærsiden.

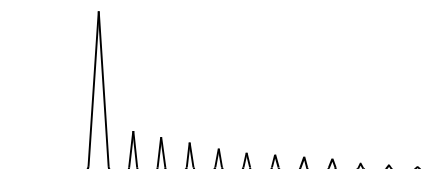
$$n = \frac{N1}{N2}$$

Da spænding pr. vinding er ens for primær og sekundær, når der ses bort fra det spændingsfald der opstår i vindingerne under belastning, kan omsætningsforholdet også udregnes tilnærmelsesvis med følgende formel.

$$n \approx \frac{U1}{U2}$$

Hvis det primære vindingstal  $N1$  er 10 gange større end det sekundære vindingstal  $N2$ , er den primære spænding  $U1$  også 10 gange større end sekundærspændingen  $U2$ .

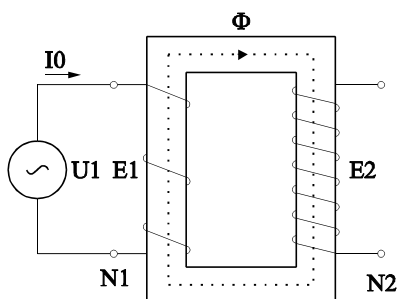
### **Transformeren under indkobling**



Ved tilslutning af spænding til primærviklingen vil magnetiseringsstrømmen blive mange gange større end tomgangsstrømmen, da det tager en vis tid at opbygge magnetfeltet i kernen.

Primærviklingen vil derfor ikke kunne yde den nødvendige modspænding, så strømmen begrænses kun af viklingernes ohmske modstand. Derfor kan der opstå et kraftigt indkoblingsstrømstød, der dog kun bliver af kort varighed, idet feltet ret hurtigt får normal styrke. Tegningen viser strømstødet, der opstår under indkobling. Ved valg af sikring foran en transformere i forsyningsnettet bruges en håndregel, der siger, at sikringen skal kunne holde til 12 x fuldlaststrømmen i mindst 0,1 sek.

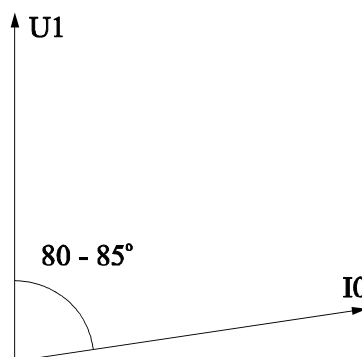
### Transformeren under tomgang



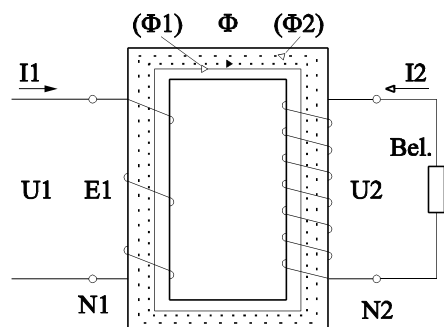
Ved tomgang forstås driftstilstanden, når transformeren er uden belastning på sekundærsiden, der går altså ingen strøm i sekundærviklingen. Tomgangsstrømmen benævnes  $I_0$ . Denne strøm er meget lille i forhold til fuldlaststrømmen, der benævnes  $I_n$ .

Ved tomgang kan transformeren betragtes som en spole med jernkerne.

$I_0$  benævnes ofte som magnetiseringsstrømmen, da der hovedsageligt er tale om en reaktiv strøm.  $I_0$  er faseforskudt  $80-85^\circ$  efter spændingen.



### Transformeren under belastning



Når der tilsluttes en belastning til sekundærviklingen, går der strøm i viklingen. Strømmen betegnes  $I_2$ .

Denne strøm vil frembringe et vekselfelt, der til enhver tid er modsat rettet det af primærviklingen dannede felt. Kraftlinietallet formindskes derved, og den inducerede modspænding  $E_1$  i primærviklingen bliver mindre.

Primærstrømmen  $I_1$  vil derfor stige, så kraftlinietallet i kernen forøges, til det igen svarer til kraftlinietallet under tomgang.

### Transformerens tab

Det er ikke muligt at fremstille en transformer uden et vist effekttab. Der er to typer af tab; det ene er strømvarmetab i viklingerne, dette tab afhænger meget af belastningen. Det andet tab er magnetiseringstab, også kaldet jernetab. Dette tab er uafhængigt af belastningen, da det er forårsaget af jernets træghed mod ommagnetisering. Disse to tab gør, at der skal tilføres mere effekt til primærsiden, end der kan aftages på sekundærsiden. Tabene afsættes i transformerens vik-

linger og jernkerne som varme. Strømvarmetabene kan holdes på en ret lav værdi ved at benytte svær tråd til viklingerne, så deres ohmske modstand er lille.

Strømvarmetabet,  $P_{cu}$ , for en vikling kan udregnes med følgende formel.

$$\Delta P_{cu} = I^2 \cdot R = [W]$$

Jerntabet kan holdes på en ret lav værdi ved at opbygge kernen af materiale med god magnetisk ledsevne, lav remanens og stort tværsnit.

Jerntabet,  $P_{fe}$ , kan beregnes som det tab der er, når transformeren kører i tomgang, da strømmen i primærviklingen er så lille, at der faktisk ingen strømvarmetab er. Jerntabet kan således udregnes med følgende formel.

$$P_{fe} \approx P_0 = U_1 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi_0 = [W]$$

Virkningsgraden er afhængig af de tab, der er i transformeren. Hvis tabene er små, er virkningsgraden god. Tilført effekt minus tab giver afgiven effekt, der kan udregnes med følgende formel.

$$P_2 = P_1 - \Delta P$$

Virkningsgraden er et ubenævnt tal og kan beregnes med følgende formel.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

For transformere op til 10 kVA kan virkningsgraden sættes til 0,9-0,95, for transformere på 100-300 kVA til 0,95-0,98 og for størrelserne 1-10 MVA kan virkningsgraden komme op på 0,98-0,99.

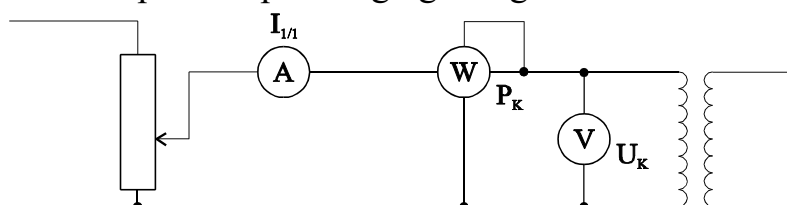
Virkningsgraden beregnes af fuldlastværdierne for  $P_1$  og  $P_2$ .

Da jerntabet anses for at være konstant, vil virkningsgraden ved en svag belastning ikke være så god, som når belastningen stiger. Virkningsgraden vil være 0 ved tomgang, da der ikke aftages effekt. Den effekt, der tilføres, går til at dække tab i transformeren.

Der tilføres altså altid mere effekt end der kan afgives. Derfor kan omsætningsforholdet ikke bruges til at finde forholdet mellem primærstrømmen og sekundærstrømmen.

## Kortslutning

Transformerens kortslutningsspænding, der betegnes  $U_k$ , er den spænding, der skal tilsluttes primærviklingen, for at strømmen i sekundærviklingen får mærkestrømmens værdi, når sekundærviklingen kortsluttes. Kortslutningsspændingen angives ofte i procent af nominel primærspænding og betegnes så  $U_k$ .



Kortslutningsstrømmen vil være ligeså mange gange større end mærkestrømmen, som kortslutningsspændingen er mindre end mærkespændingen.

Ud fra den viste måleopstilling kan transformerens impedans, ohmske og induktive modstand findes.

Først findes  $\cos \varphi_k$

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{U_k \cdot I_{1/1}}$$

Transformerens impedans kan findes som:

$$Z = \frac{U_k}{I_{1/1}} \quad [\Omega]$$



Transformerens ohmske modstand kan findes som:

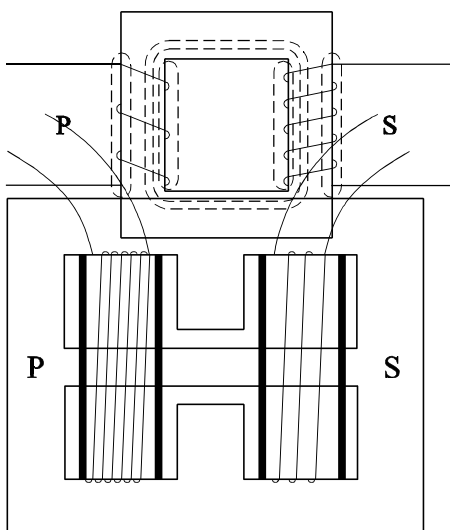
$$R = Z \cdot \cos\varphi k \quad [\Omega]$$

Transformerens induktive modstand kan findes som:

$$X = Z \cdot \sin\varphi k \quad [\Omega]$$

De modstandsværdier, der kan findes ud fra disse formler, kan bruges når der skal udregnes, hvor stort et tab og spændingsfald der er i en transformer. Det skal blot huskes, at værdierne er udregnet ved primærspændinger. Alle efterfølgende beregninger skal derfor foretages med primære spændinger og strømme.

### Kortslutningssikkerhed



En kortslutningssikker transformer er en transformer der, med kortsluttet sekundærvikling, har strømme af så lave værdier, at den udviklede varme hverken kan skade viklingernes isolation eller omgivelserne.

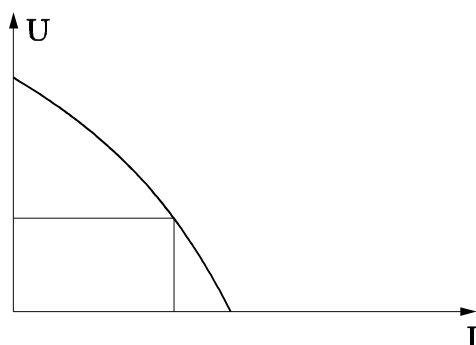
For at opnå kortslutningssikkerhed, er det nødvendigt at placere viklingerne på hver sit ben af en ringkerne-transformer. Den opbygges sådan, at der opstår kraftige spredningsfelter ved stor belastning. Feltspændingen vil forårsage, at en del af det felt, der frembringes af strømmene i viklingerne, ikke vil forløbe i kernen, men uden for denne og derved inducere en modspænding i den vikling, hvis strøm har skabt feltet. Den inducerede modspænding vil så begrænse strømmen. Kappekernetransformerer kan gøres kortslutningssikker med en magnetisk shunt. En del af feltet fra hver vikling kan herved undgå at gennemløbe den anden vikling og dermed inducere spænding. Ved at justere den luftspalte der er i shunten, samt shuntens tværsnit, kan man "styre" strømmen i sekundærviklingen.

Denne type transformer anvendes ofte til ringeanlæg, neontransformere, tændtransformere til oliefyringsanlæg samt til svejsetransformere. I svejsetransformere kan man så ændre på shunten med et håndtag, alt efter hvor stor svejsestrøm der ønskes.

---

**TRANSFORMERE - GRUNDFORLØB**


---

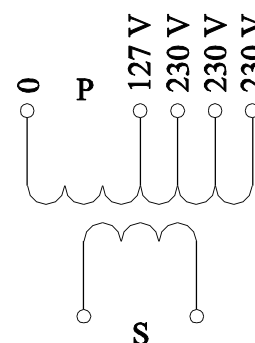
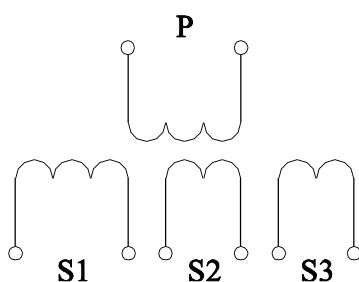
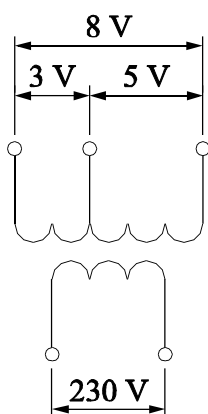


Fælles for alle kortslutningssikre transformere er, at sekundærspændingen falder forholdsvis meget ved belastning, da der jo ingen sekundærspænding er ved kortslutning.

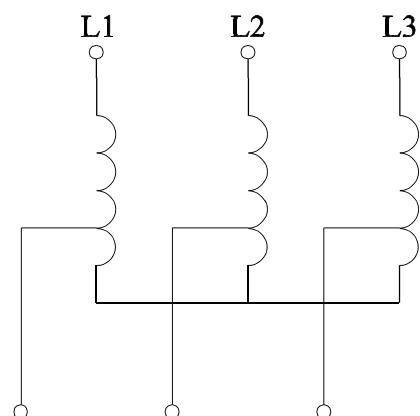
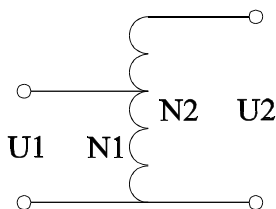
**Viklingsudtag**

Mange transformere udføres med udtag på viklingerne. Herved gives der mulighed for flere primær- og sekundærspændinger. Disse udtag kan laves på både primær- og sekundærviklingen. I forsyningstransformere er det almindeligt, at primærviklingen har et antal udtag, så man herved kan tilpasse sekundærspændingen til den højspænding, der er på stedet. Grunden til at udtagene er placeret i primærviklingen er, at strømmene der skal kobles på, er mindre end sekundærstrømmene.

Transformeren kan også forsynes med f.eks. flere adskilte sekundærviklinger. Herved kan samme primærvikling forsyne flere adskilte sekundære kredsløb.



### Autotransformeren



### Regulerbare transformere

En autotransformer har kun én vikling.

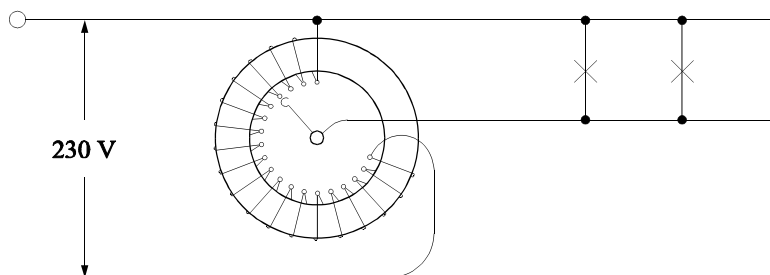
Tilsluttes den primære klemspænding,  $U_1$ , opstår det sædvanlige vekselfelt i jernkernen, som inducerer en vis mod-elektromotorisk kraft.

Optransformeres spændingen, som vist her, vil sekundærstrømmen være mindre end primærstrømmen. Strømmene vil være i modfase. Strømmen i den del af viklingen, der gennemløbes af både primær- og sekundærstrømmene, vil altid være mindre end den mindste strøm. Tilnærmet kan den sættes til differencen mellem strømmene, hvis der ses bort fra en lille tomgangsstrøm.

Ulempen ved autotransformeren er, at der ikke er elektrisk adskillelse mellem primær- og sekundær spændingerne, så den personlige sikkerhed er ikke optimal, selvom sekundærspændingen i sig selv er nede på et ufarligt niveau.

Autotransformeren kan også udføres 3-faset, hvor den normalt er opbygget som tre 1-fasede autotransformere, der er stjernekoblet. Hvis ikke alle tre faser er ens belastet, kan det være nødvendigt at forbinde nul- len til stjernepunktet for at fastholde dette.

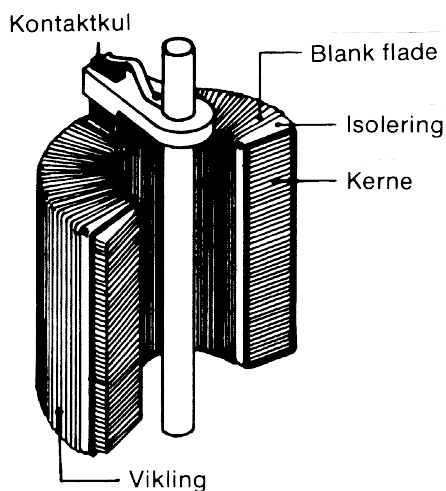
Regulerbare transformere kaldes også variotransformere. De anvendes, hvor man har behov for en variabel vekselspænding uden at sinusformen ændres. Variotransformeren udføres ofte som en autotransformer med ét udtag pr. vinding.



---

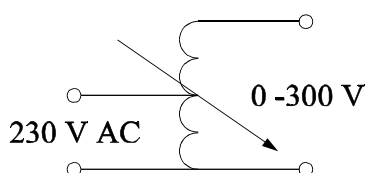
**TRANSFORMERE - GRUNDFORLØB**


---



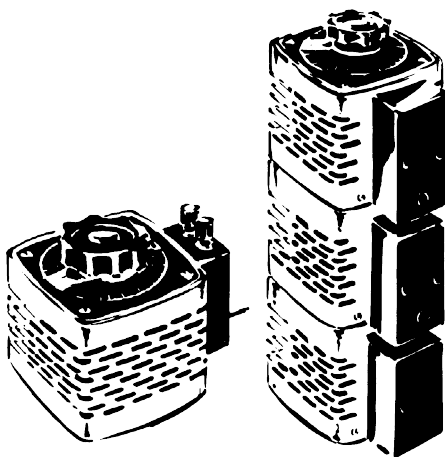
Normalt bygges variotransformeren op med en ringkerne af lamineret jern. Viklingen vikles på kernen og fastgøres med emalje. Den ene ende af viklingen slibes blank så et fjederbelastet kontaktkul kan danne kontakt med vindingerne.

Kontaktkullet er anbragt på en drejelig aksel.



Hvis der er brug for en optransformering af spændingen, skal der være mulighed for at få flere vindinger på sekundærsiden end på primærsiden, ligesom ved autotransformeren.

Variotransformere kan anvendes, hvor der er brug for at kunne regulere en vekselspænding.

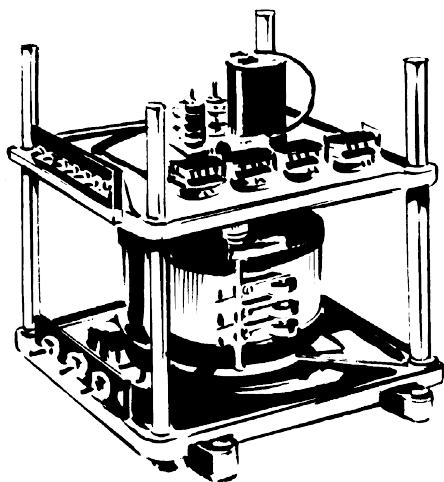


Til laboratoriebrug anvendes i almindelighed hånddrevne variotransformere. Som efterfølgende skitse viser, kan disse sammenbygges til flerfasede enheder.

---

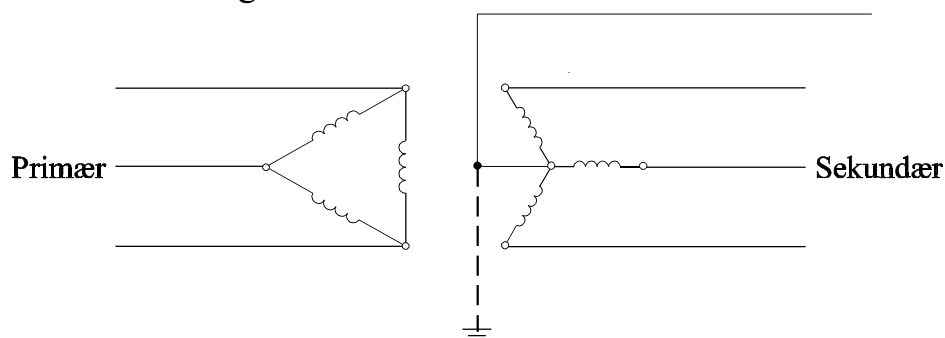
**TRANSFORMERE - GRUNDFORLØB**


---


**3-fasede transformere**

Før elektroniske lysdæmpere blev almindelige, blev variotransformeren ofte brugt i teatre, biografer, foredragssale m.m. når der var behov for at regulere lysstyrken. Til disse formål var variotransformere ofte udstyrede med en motor, så der var mulighed for at fjernbetjene dem.

Da vores forsyningsnet er opbygget som et 3-faset net, bruges der 3-fasede transformere, når alle faser ønskes ført videre ved en anden spænding. Transformeren opbygges normalt som en jernkerne med tre ben. På hvert ben er der anbragt en primær og en sekundær vikling.



Viklingerne kan forbindes i stjerne eller trekant.

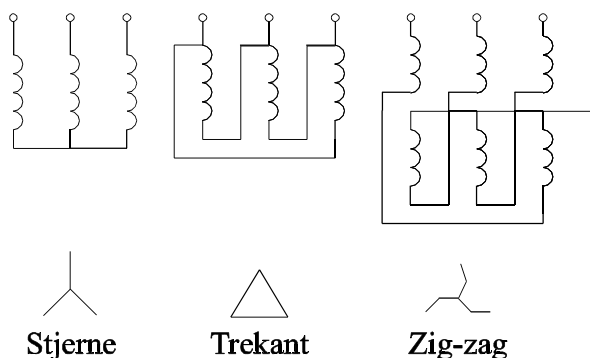
Da der ikke er fremført en nul i højspændingsnettet, er primærviklingen i forsyningstransformere ofte trekantforbundet. Lavspændingsviklingen er stjerneforbundet for at muliggøre tilslutning af et 4-leder 3 x 230/400 V net samt jordforbindelse af stjernepunktet.

---

**TRANSFORMERE - GRUNDFORLØB**


---

På 3-fasede transformere er viklingerne ofte ført ud. Det er derfor muligt at forbinde dem på forskellige måder.



### Stjernekobling

Det er den oftest anvendte kobling for sekundærviklingerne i en transformer i forsyningsnettet. Fordelen ved denne kobling er, at der er mulighed for at udtage tre ens fasespændinger mellem nul og hver af de tre faser. Der er endvidere mulighed for at udtage netspændinger mellem to eller tre faser. Nullen jordforbindes normalt. Derved får man fastlagt fasespændingerne i forhold til et potentiale.

Ulempen ved stjernekobling er, at en stor belastning på en fase også giver en stor belastning på en fase i højspændingsnettet.

### Trekantkobling

Denne kobling er meget lidt anvendt for sekundærviklingerne i transformere til forsyning af lavspændingsnettet, da der ikke er mulighed for at udtage fasespændinger. Det er endvidere ikke muligt at jordforbinde noget stjernepunkt, så i lavspændingsnettet ses denne kobling meget sjældent.

### Zig-zag kobling

Denne koblingsform kræver at sekundærviklingen er udført som to viklinger pr. fase som det ses af figuren. Belastningen af en fase på sekundærsiden bevirker, at der sker en belastning af to faser på primærsiden. Dette er netop formålet med zig-zag koblingen. Hvis der er en meget skæv belastning af faserne i et lavspændingsnet, vil man ofte bruge denne kobling for at und-

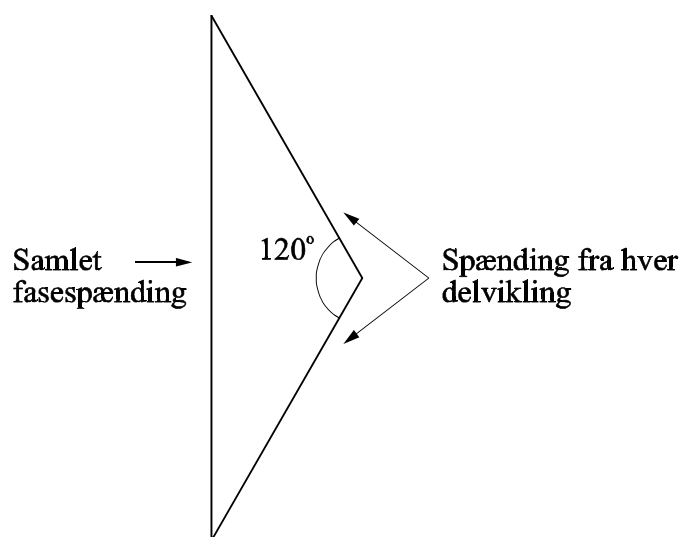
---

**TRANSFORMERE - GRUNDFORLØB**

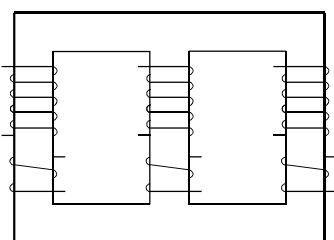

---

gå, at denne skæve belastning også forekommer på højspændingsnettet.

Ulempen ved denne kobling er, at der kræves flere vindinger på sekundærsiden, da fasespændingen er opbygget af to spændinger, der er forskudt i forhold til hinanden.



### Opbygning



Den 3-fasede transformers virkemåde er den samme som ved 1-fasede transformere.

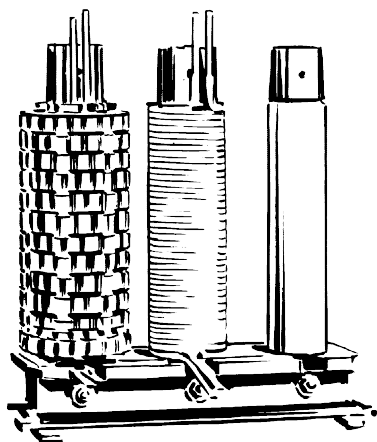
Til 1-fasede transformere kan der anvendes en lukket ring som kerne. Denne opbygning virker ikke ved 3-fasede, idet det resulterende magnetfelt fra de tre primærstrømme vil være nul, og der vil derfor ikke blive nogen transformervirkning.

Den 3-fasede transformer opbygges derfor normalt som en jernkerne med tre ben. På hvert ben placeres henholdsvis en primær- og sekundær vikling.

---

**TRANSFORMERE - GRUNDFORLØB**


---



Jernkernen for den 3-fasede transformere er ikke symmetrisk; det vil sige, at kraftlinievejen for de tre fasers magnetfelter er forskellige. Dette forhold bevirker at tomgangsstrømmen i den midterste vikling er mindst, da den magnetiske modstand her er mindst, fordi feltet fra det midterste ben kan forløbe i begge yderben. Forholdet er dog uden betydning ved belastning.

Lavspændingsviklingen udføres oftest som en cylindrisk spole, mens højspændingsviklingen normalt opdeles i flere, indbyrdes serieforbundne spoler, der svarer til ca. 300-500 V. En vikling for 10000 V kan f.eks. være opbygget af 20 spoler.

Hvis hele primærviklingen var udført som én spole, ville spændingen mellem de enkelte lag på denne spole blive så stor, at det ville medføre et større forbrug af isolationsmateriale.

Under belastning af transformeren udvikles der en betydelig varme, hvorfor man må sørge for en passende afkøling.

Ved at nedsænke viklingerne i olie opnår man, foruden afkøling, en beskyttelse af viklingerne mod fugt og samtidig virker olien isolerende.

For at få den bedste afkøling forsynes olietanken med køleribber. Der er endvidere monteret en ekspansionsbeholder, da temperaturen i olien kan variere meget.

