Resumé af emnet Elektricitet

Elektrisk strøm

En elektrisk *leder* er et materiale, som kan lede strømmen. Det er typisk metaller (fx kobber, sølv, aluminium, etc.). I en leder er der *frie elektroner*. Man kan få de frie elektroner til at bevæge sig, hvis man lægger en spænding mellem ledningens endepunkter. Elektronerne vil så bevæge sig fra – til + (elektronernes ladning er negativ, så de tiltrækkes af den positive pol). *Strømmens retning* defineres dog som den modsatte retning af den, som elektronerne vil bevæge sig. Strømmens retning er altså fra + til – .

Ladning

En elektron har en negativ ladning og en størrelse på $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C. Den kaldes for *elementarladningen* og har sit helt eget bogstav *e*. Enheden er C, som står for Coulomb. Har man mange elektroner, kan man eventuelt få en stor ladning. Symbolet for den fysiske størrelse ladning er *Q*.

Strømstyrke

Strømstyrken *I* i et kredsløb er defineret, som den ladning, som passerer et sted (tværsnit) af ledningen pr. sekund. Vi siger, at ”strømstyrken er ladning pr. tid”.

(1) $$I = \frac{Q}{t}$$

Enheden for strømstyrke er A for Ampere.

Spænding

Når en elektrisk strøm går igennem en komponent (fx en modstand, en elektrisk pære, en hårtørrer, etc.), så afsættes en energi E_{el} i komponenten. *Spændingsforskellen U* mellem komponentens endepunkter defineres ved:

(2) $$U = \frac{E_{el}}{Q}$$

hvor *Q* er den ladning, som passerer igennem komponenten. Vi siger kort, at ”Spænding er energi pr. ladning”. Enheden for spænding er V for Volt.

Effekt

Effekt er som bekendt energi pr. tid:

(3) $$P = \frac{E}{t}$$

Enheden er W for Watt.

Ved at kombinere formlerne (1), (2) og (3) kan man få følgende formler for effekten:

(4a) $$P = I \cdot U$$

(4b) $$P = \frac{U^2}{R}$$

(4c) $$P = I^2 \cdot R$$

Energi

Da (3) kan omskrives til $E = P \cdot t$ giver (4a), (4b) og (4c) umiddelbart følgende formler for energien, idet man blot ganger med tiden t :

(5a) $$E = I \cdot U \cdot t$$

(5b) $$E = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

(5c) $$E = I^2 \cdot R \cdot t$$

Disse formler betegnes ofte med *Joules' lov*.

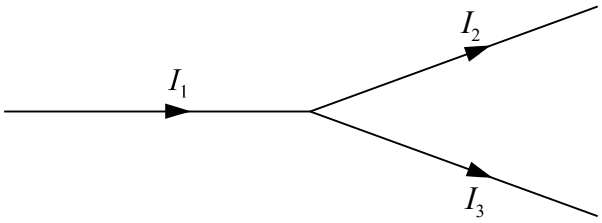
Forgreninger i et kredsløb

I nogle kredsløb vil en ledning deles ud i to eller flere grene eller samles. Da gælder følgende lovmæssighed:

Kirchhoffs 1. lov

Den samlede strømstyrke hen mod et forgreningspunkt er lig med den samlede strømstyrke bort fra punktet.

Det skyldes, at elektrisk ladning ikke kan ophobes, opstå eller forsvinde af sig selv. På figuren gælder følgende for strømstyrkerne: $I_1 = I_2 + I_3$, når der regnes uden fortegn.



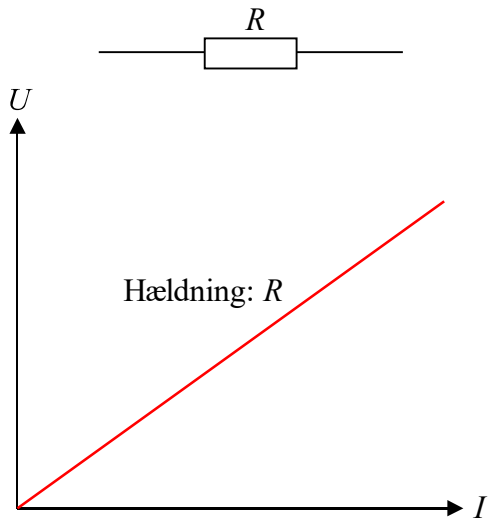
Ohms lov

Ohms lov er en *empirisk lov*, der beskriver en proportional sammenhæng mellem strømstyrke, spænding og modstand i et elektrisk kredsløb:

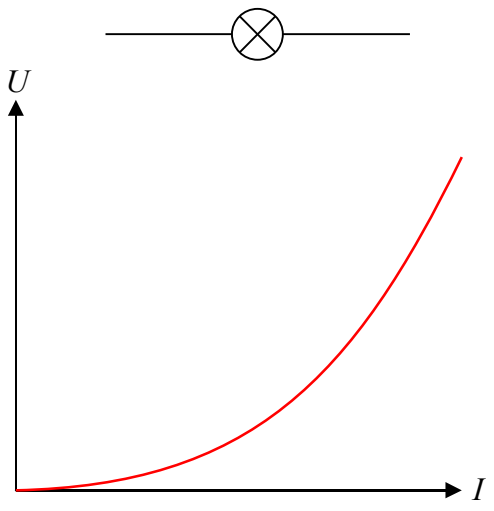
$$U = R \cdot I \tag{6}$$

hvor R er en konstant. Denne sammenhæng gælder for visse elektriske komponenter, og hvis man tegner en (I,U)-karakteristik for dem, får man en ret linje gennem (0,0), som vist på figur 1. Sådanne komponenter siges at følge Ohms lov. Hvis komponenten er en modstand, kaldes den for en *ohmsk modstand* eller en *resistor*. Der findes også komponenter, hvor spænding og strøm ikke er proportionalt. Et eksempel er en *glødepære*, hvor glødetrådens temperatur stiger, når der løber strøm igennem den, og dermed ændres dens modstand. Det giver en *ikke-lineær karakteristik* – som vist på figur 2. Et andet eksempel er en diode, som kun leder strøm i én retning og først ved en vis spænding.

Figur 1



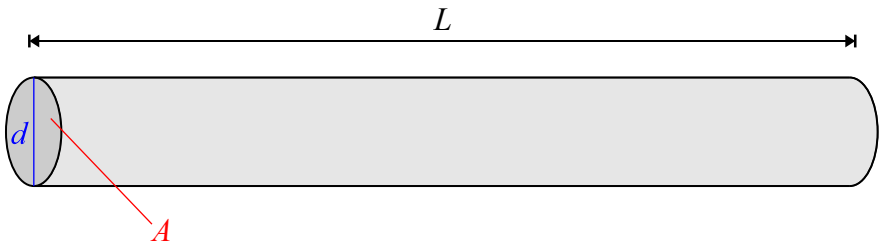
Figur 2



Resistivitet

Der er en modstand – eller resistans – i enhver elektrisk tråd. Den afhænger af:

- hvilket *materiale* tråden er lavet af,
- trådens *længde* L, og
- trådens *tværsnitsareal* A.



Sammenhængen beskrives ved formlen:

(7) $$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

hvor ρ er en materialkonstant, som kaldes for *resistiviteten*. Resistiviteten angiver, hvor stor modstand et materiale yder mod elektrisk strøm. Resistiviteten kan typisk angives i enheden $\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$. Formel (7) viser: a) Modstanden er proportional med længden af tråden, og b) Modstanden er omvendt proportional med trådens tværsnitsareal.

Hvis tråden har et cirkulært tværsnit, kan arealet beregnes som:

(8) $$A = \tfrac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

hvor d er trådens diameter.

De materialer, der har den laveste resistivitet, og dermed er de bedste elektriske ledere, er følgende:

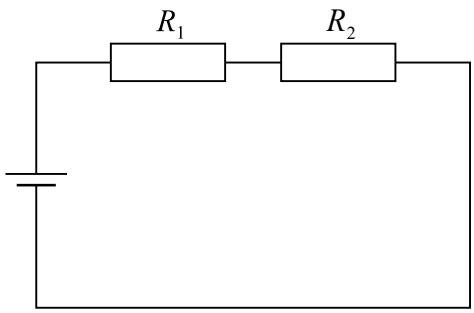
- *Sølv* har den laveste resistivitet af alle metaller, men bruges sjældent til ledninger på grund af prisen.
- *Kobber* bliver meget ofte brugt i elektriske installationer, da det har en lav resistivitet og er relativt billigt.
- *Guld* er ikke helt så ledende som sølv, men meget korrosionsbestandigt og bruges i kontakter og stik.
- *Aluminium* er lettere og billigere end kobber og bruges især i store kabler og i kabler til fly, hvor vægt spiller en vigtig rolle.

Serieforbindelse

To modstande R_1 og R_2 siges at sidde i *serie*, hvis de er anbragt efter hinanden på samme ledning. I en serieforbindelse går der den samme strøm igennem de to modstande. Desuden gælder, at spændingsfaldet over begge modstande er summen af spændingerne over hver af dem. De to modstande kan erstattes af en enkelt modstand R_{erstat}:

(9) $$R_{erstat} = R_1 + R_2$$

NB! Det er underforstået, at hvis man erstatter de to modstande med erstatningsmodstanden, så vil strømstyrken og spændingen være uændret.



Parallelforbindelse

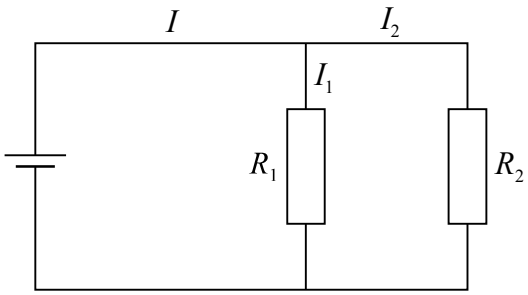
To modstande R_1 og R_2 siges at sidde *parallelt*, hvis de er anbragt på hver sin side i en forgrening. I en parallelforbindelse er der den samme spænding over hver modstand i forgreningen. Desuden gælder, at strømstyrken I *i* hovedkredsløbet er summen af strømstyrkerne I_1 og I_2 igennem hver af modstandene (Kirchhoffs lov). De to modstande kan erstattes af en enkelt modstand R_{erstat}, hvor der gælder:

(10a) $$\frac{1}{R_{erstat}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Hvis man isolerer R_{erstat} i (9a) får man følgende:

(10b) $$R_{erstat} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

NB! Det er underforstået, at hvis man erstatter de to modstande med erstatningsmodstanden, så vil strømstyrken og spændingen være uændret.



Transport af elektrisk energi

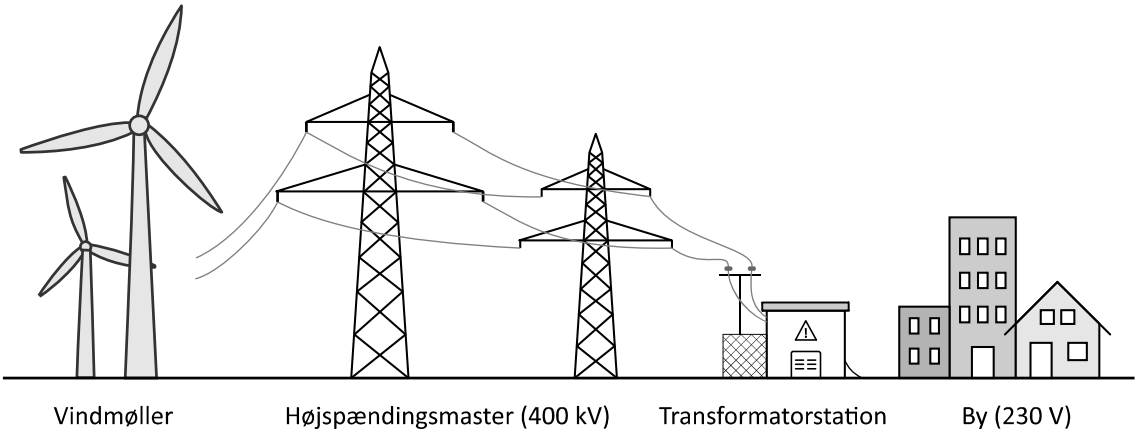
Når elektrisk strøm transporteres over store afstande, spiller modstanden i ledningerne en væsentlig rolle, fordi ledningerne er lange. Man kan til en vis grad modvirke effekttabet ved at anvende tykkere kabler, men der er en grænse for, hvor meget det hjælper.

Effekttabet i ledningerne kan beskrives med formlen:

(11) $$P_{tab} = I^2 \cdot R$$

Her ses, at tabet stiger med kvadratet på strømstyrken. Det kunne derfor være fristende at reducere strømmen for at mindske tabet. Men hvis strømmen bliver for lav, leveres der ikke nok elektrisk energi til byerne. Løsningen er at *transformere spændingen* op lige efter strømmen forlader kraftværket. I transformatorstationer øges spændingen, hvilket samtidig reducerer strømstyrken, da den leverede effekt er konstant. På den måde bliver effekttabet i kablerne relativt lille. I Danmark anvender man højspænding helt op til 400 kV. Når strømmen når frem til byerne, transformeres spændingen ned igen – typisk til 230 V – og strømstyrken øges, så den passer til husholdningernes behov.

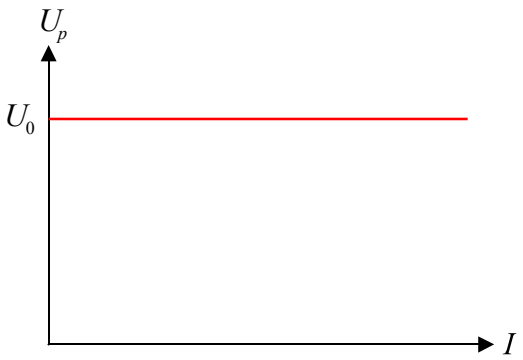
En vigtig pointe er, at man anvender *vekselstrøm* til dette formål, fordi spændingen her kan transformeres op og ned uden nævneværdige tab. Det ville ikke være muligt med jævnstrøm, som kræver helt andre og mere komplekse metoder til spændingsomformning.



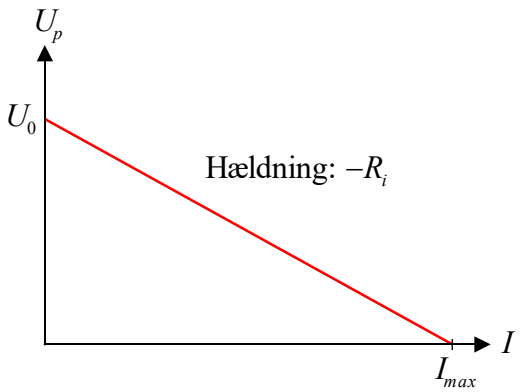
Spændingskilder

En spændingskilde (fx batterier, solceller, etc.) hæver *energien* for de ladninger, som passerer igennem spændingskilden. En *idéel* spændingskilde vil kunne levere den sammen spænding uanset hvor stor strøm der trækkes igennem batteriet. Det betyder, at vi har en (I,U)-karakteristik som vist på figur 1 nedenfor. En sådan findes imidlertid ikke, da der altid vil være et energitab i en spændingskilde. En reel spændingskilde vil derimod typisk have en (I,U)-karakteristik, hvor spændingen aftager lineært med strømstyrken, som vist på figur 2.

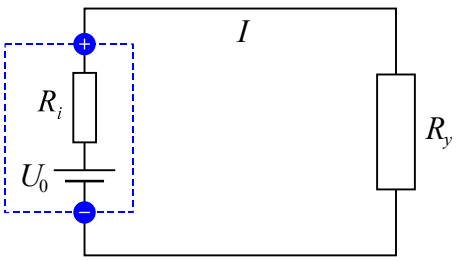
Figur 1 (Idéel spændingskilde)



Figur 2 (Realistisk spændingskilde)



Denne opførsel kan forklares ved at anvende en model, hvor spændingskilden har en *indre modstand* R_i i serie med en *ydre modstand* R_y, der repræsenterer den belastning, som spændingskilden driver.



Polspændingen U_p er den spænding, der er mellem minuspolen og pluspolen, som vist på figuren på forrige side. Når der går en strøm, giver en realistisk spændingskilde altså en lavere spænding end *hvilespændingen* U_0 – netop en spænding lavere, som svarer til spændingen over den indre modstand. Modellen giver anledning til følgende tre formler:

(12a) $$U_0 = I \cdot (R_i + R_y)$$

(12b) $$U_p = R_y \cdot I$$

(12c) $$U_p = U_0 - R_i \cdot I$$

hvor U_p er *polspændingen* på spændingskilden og U_0 er *hvilespændingen*. Den maksimale strøm, som kan trækkes fra spændingskilden kaldes *kortslutningsstrømstyrken* og er givet ved:

(13) $$I_{\max} = \frac{U_0}{R_i}$$

Formlen (13) kan fås ved at sætte $U_p = 0$ i formel (12c) og løse for *I*.