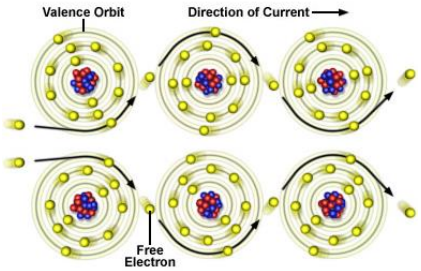
ELLÆRENS KERNE-BEGREBER (DC)



Hvad er elektrisk:

- Ladning
- Strømstyrke
- Spændingsforskel
- Resistans
- Energi og effekt

KELD DYRMOSE

AAMS
Aarhus Maskinmesterskole
Aarhus School of Marine and Technical Engineering

Elektrisk ladning

Atomets partikler:

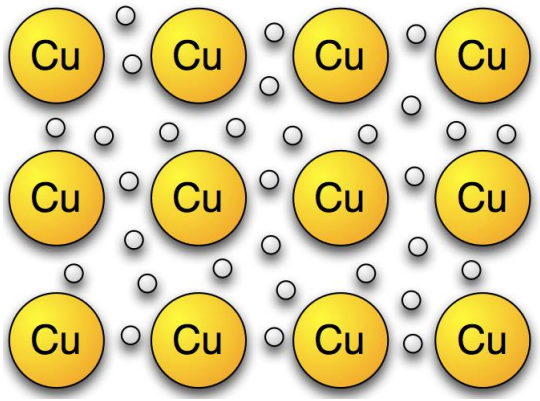
Lad os se på et fysisk stof som kobber:

Elektrisk ladning

Atomets partikler:

Lad os se på et fysisk stof som kobber:

Kobberets atomer hænger sammen
ved metalbindinger:

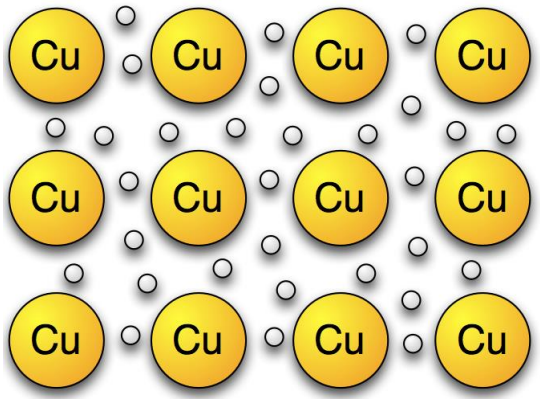


Elektrisk ladning

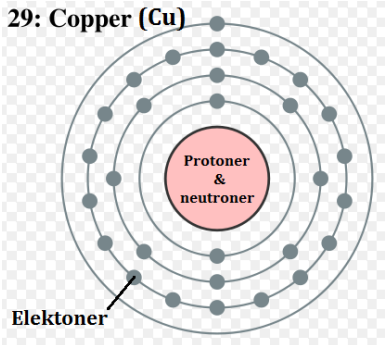
Atomets partikler:

Lad os se på et fysisk stof som kobber:

Kobberets atomer hænger sammen ved metalbindinger:



Kobberatomet:

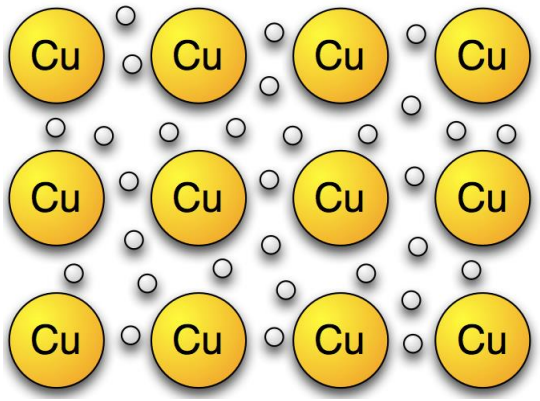


Elektrisk ladning

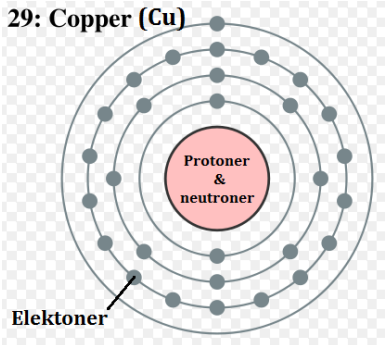
Atomets partikler:

Lad os se på et fysisk stof som kobber:

Kobberets atomer hænger sammen ved metalbindinger:



Kobberatomet:

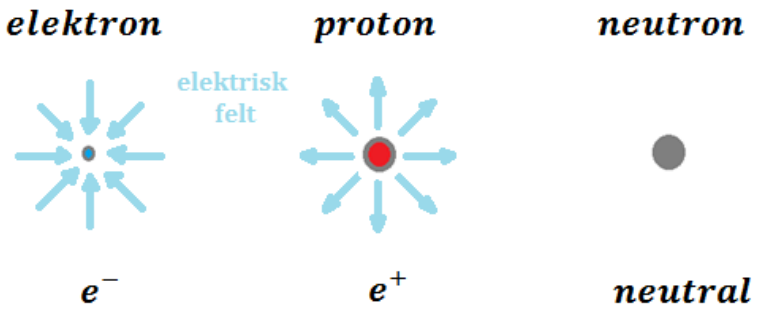


Atomets 3 partikler:

Elektrisk ladning

Partiklernes ladning:

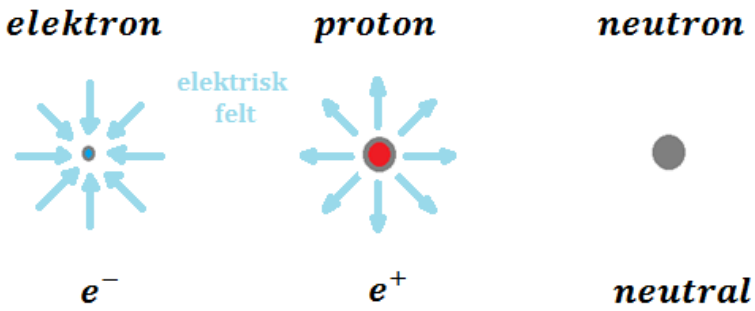
Omkring elektrisk ladede partikler,
Er der et elektrisk felt:



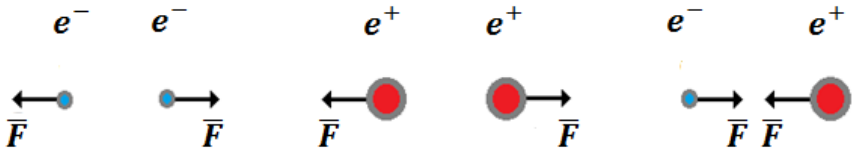
Elektrisk ladning

Partiklernes ladning:

Omkring elektrisk ladede partikler,
Er der et elektrisk felt:



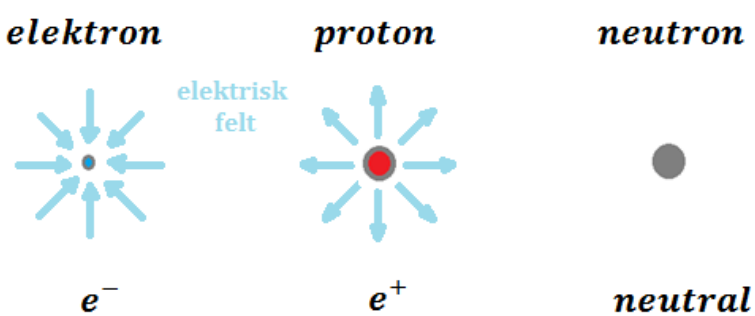
Elektrisk ladede partikler påvirker hinanden:



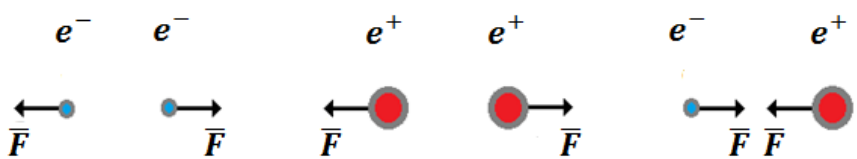
Elektrisk ladning

Partiklernes ladning:

Omkring elektrisk ladede partikler,
Er der et elektrisk felt:



Elektrisk ladede partikler påvirker hinanden:



Kraften de påvirker hinanden med:

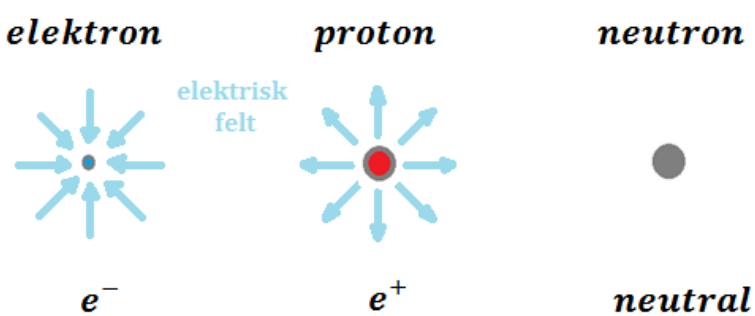
$$\overline{F} = k_C \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$k_C = 8{,}99 \cdot 10^9 \ \frac{N \cdot m^2}{C^2} \ (konstant)$
$r = afstanden\ mellem\ ladningerne$
$Q = Ladningsmængde\ målt\ i\ Coulomb$

Elektrisk ladning

Partiklernes ladning:

Omkring elektrisk ladede partikler,
Er der et elektrisk felt:

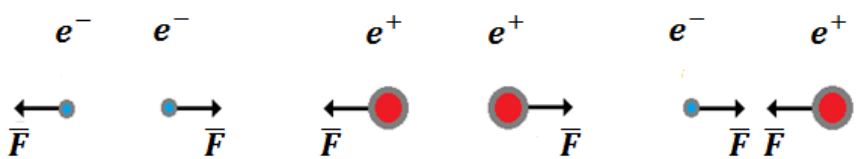


Kraften de påvirker hinanden med:

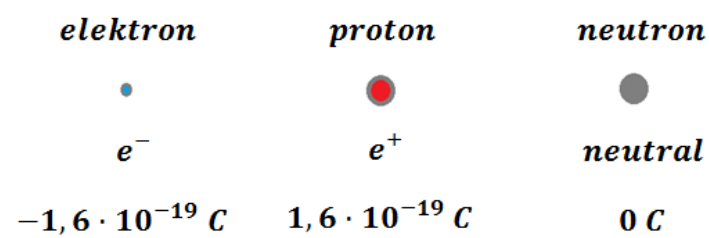
$$\overline{F} = k_C \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$k_C = 8{,}99 \cdot 10^9 \ \frac{N \cdot m^2}{C^2} \ (konstant)$
$r = afstanden\ mellem\ ladningerne$
$Q = Ladningsmængde\ målt\ i\ Coulomb$

Elektrisk ladede partikler påvirker hinanden:



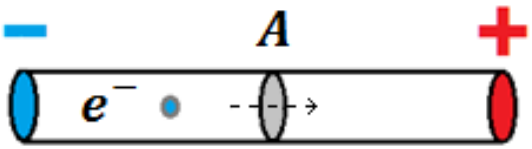
Partiklernes elementarladninger:



Elektrisk strømstyrke

Definition:

Hvis man betragter et udsnit af et elektrisk kredsløb, så er den elektriske strømstyrke (også blot kaldet strømmen) i dette kredsløb, lig med den ladningsmængde målt i Coulomb, der passerer en snitflade i dette kredsløb, hvert sekund

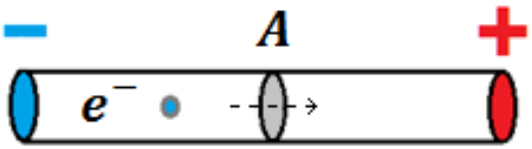


Ⓐ

Elektrisk strømstyrke

Definition:

Hvis man betragter et udsnit af et elektrisk kredsløb, så er den elektriske strømstyrke (også blot kaldet strømmen) i dette kredsløb, lig med den ladningsmængde målt i Coulomb, der passerer en snitflade i dette kredsløb, hvert sekund



Udtrykt med fysiske størrelser:

$$\boldsymbol{I = \frac{Q}{t}} \qquad \left(Strømstyrken = \frac{Ladningsmængden}{tiden}\right)$$

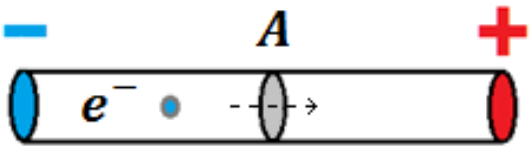
Udtrykt med enheder:

$$[\boldsymbol{A}] = \frac{[\boldsymbol{C}]}{[\boldsymbol{s}]} \qquad \left(Ampere = \frac{Coulomb}{sekund}\right)$$

Elektrisk strømstyrke

Definition:

Hvis man betragter et udsnit af et elektrisk kredsløb, så er den elektriske strømstyrke (også blot kaldet strømmen) i dette kredsløb, lig med den ladningsmængde målt i Coulomb, der passerer en snitflade i dette kredsløb, hvert sekund



Udtrykt med fysiske størrelser:

$$\boldsymbol{I = \frac{Q}{t}} \qquad \left(Strømstyrken = \frac{Ladningsmængden}{tiden}\right)$$

1 A (ampere) svarer til at $6{,}24 \cdot 10^{18}$ elektroner passerer en snitflade hvert sekund.

Udtrykt med enheder:

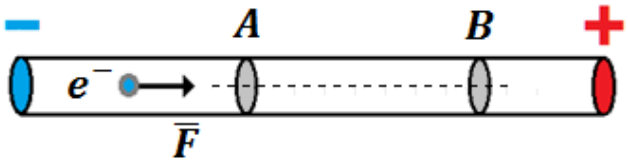
$$[\boldsymbol{A}] = \frac{[\boldsymbol{C}]}{[\boldsymbol{s}]} \qquad \left(Ampere = \frac{Coulomb}{sekund}\right)$$

Strømstyrke måles med et amperemeter, som symboliseres i et kredsskema med: Ⓐ

Elektrisk spændingsforskel

Definition:

En spændingsforskel i et elektrisk kredsløb, er den forskel i elektrisk potentiel energi, som en ladningsmængde har mellem to punkter i kredsløbet. Denne forskel er udtryk for at elektronerne har måttet udføre et arbejde undervejs i bevægelsen mellem de to punkter

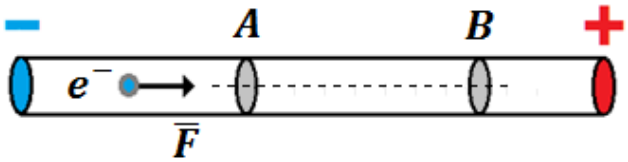


$$U_{AB} = \frac{E_{pot\,A} - E_{pot\,B}}{Q}$$

Elektrisk spændingsforskel

Definition:

En spændingsforskel i et elektrisk kredsløb, er den forskel i elektrisk potentiel energi, som en ladningsmængde har mellem to punkter i kredsløbet. Denne forskel er udtryk for at elektronerne har måttet udføre et arbejde undervejs i bevægelsen mellem de to punkter



Udtrykt med fysiske størrelser:

$$U_{AB} = \frac{W_{el\,AB}}{Q} \quad \left(Spændingsforskel = \frac{Work}{Ladningsmængde}\right) \qquad U_{AB} = \frac{E_{pot\,A} - E_{pot\,B}}{Q}$$

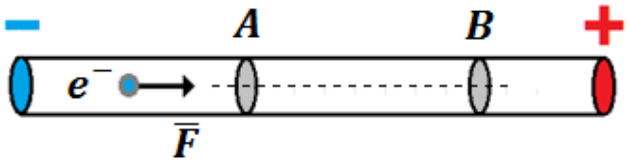
Udtrykt med enheder:

$$[V] = \frac{[J]}{[C]} \qquad \left(Volt = \frac{Joule}{Coulomb}\right)$$

Elektrisk spændingsforskel

Definition:

En spændingsforskel i et elektrisk kredsløb, er den forskel i elektrisk potentiel energi, som en ladningsmængde har mellem to punkter i kredsløbet. Denne forskel er udtryk for at elektronerne har måttet udføre et arbejde undervejs i bevægelsen mellem de to punkter



Udtrykt med fysiske størrelser:

$$U_{AB} = \frac{W_{el\,AB}}{Q} \qquad \left(Spændingsforskel = \frac{Work}{Ladningsmængde}\right)$$

$$U_{AB} = \frac{E_{pot\,A} - E_{pot\,B}}{Q}$$

Udtrykt med enheder:

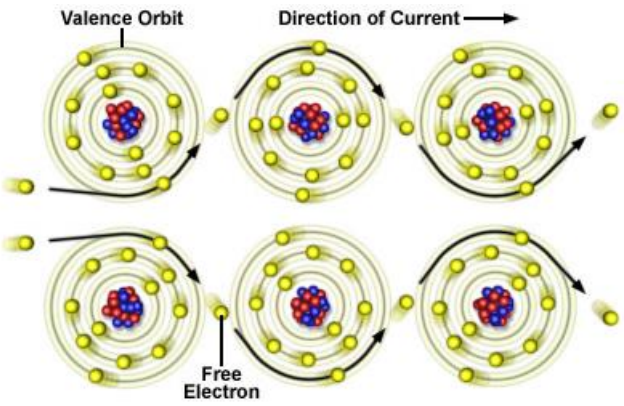
$$[V] = \frac{[J]}{[C]} \qquad \left(Volt = \frac{Joule}{Coulomb}\right)$$

Spændingsforskel måles med et voltmeter, som i et kredsskema symboliseres med:

Elektrisk Resistans

Resistans:

Resistans i en leder skyldes at elektronerne (ladningerne), i deres bevægelse rundt i det elektriske kredsløb, interagere med ledermaterialets atomer.



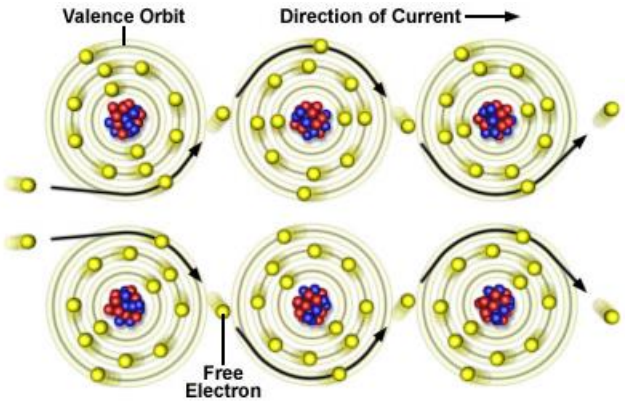
Denne interaktion eller kollision mellem elektron og atom i metalbindingen (hvis metal), er altså en slags modstand som elektronen skal overvinde.

Samtidig er det arbejde som elektronen må udføre for at overvinde denne modstand, netop årsagen til at elektronernes energi falder, hvilket jo er det samme som spændingsforskel

Elektrisk Resistans

Resistans:

Resistansen i et kredsløb må afhænge af tre ting:

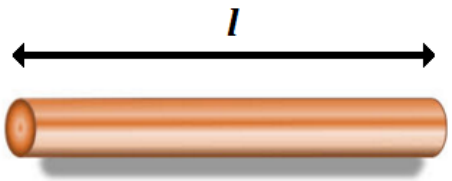


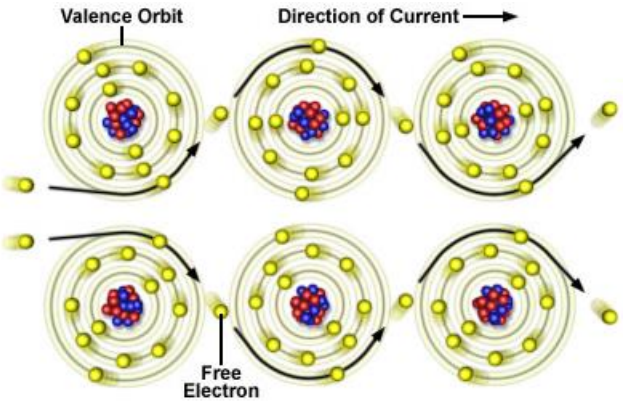
Elektrisk Resistans

Resistans:

Resistansen i et kredsløb må afhænge af tre ting:

1. Lederens længde (l)



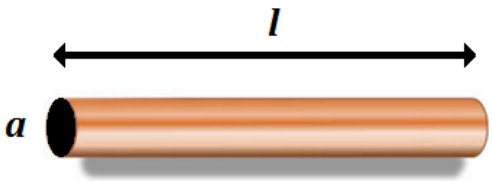


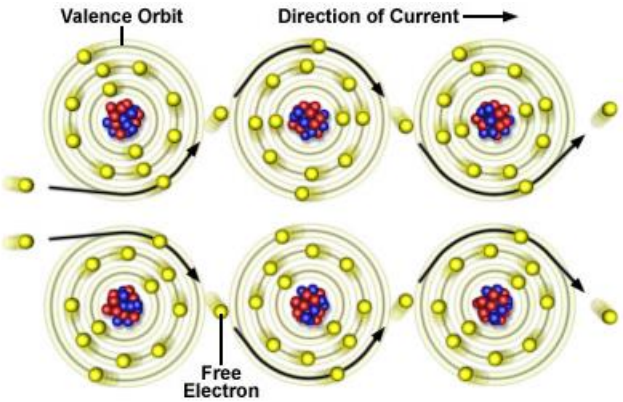
Elektrisk Resistans

Resistans:

Resistansen i et kredsløb må afhænge af tre ting:

1. Lederens længde (l)
2. Lederens tværsnitsareal (a)



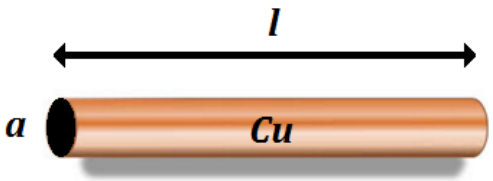


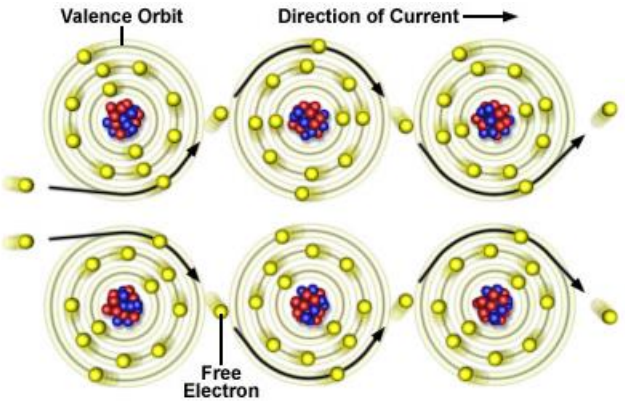
Elektrisk Resistans

Resistans:

Resistansen i et kredsløb må afhænge af tre ting:

1. Lederens længde (l)
2. Lederens tværsnitsareal (a)
3. Ledermateriale-konstant (ρ)



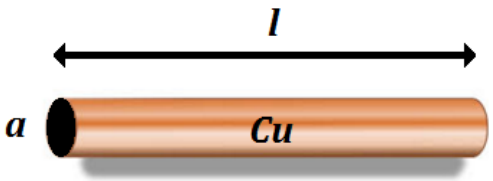


Elektrisk Resistans

Resistans & Resistivitet:

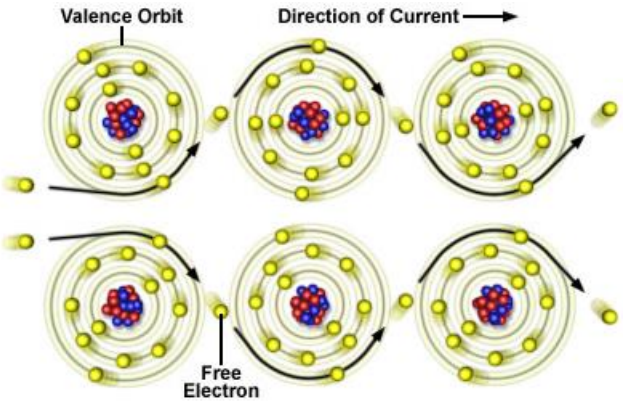
Resistansen i et kredsløb må afhænge af tre ting:

1. Lederens længde (l)
2. Lederens tværsnitsareal (a)
3. Ledermateriale-konstant (ρ)



Resistansen (R) af et lederstykke måles i Ohm [Ω] og størrelsen af resistansen kan bestemmes af følgende sammenhæng (formel):

$$\boldsymbol{R = \rho \cdot \frac{l}{a}} \quad [\Omega]$$

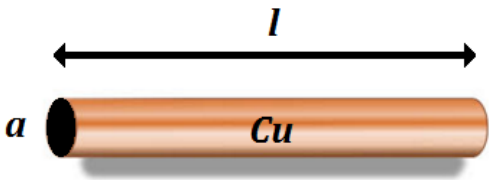


Elektrisk Resistans

Resistans & Resistivitet:

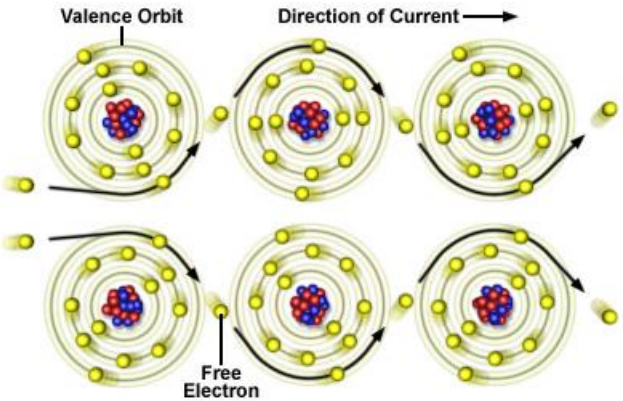
Resistansen i et kredsløb må afhænge af tre ting:

1. Lederens længde (l)
2. Lederens tværsnitsareal (a)
3. Ledermateriale-konstant (ρ)



Resistansen (R) af et lederstykke måles i Ohm [Ω] og størrelsen af resistansen kan bestemmes af følgende sammenhæng (formel):

$$\boldsymbol{R = \rho \cdot \frac{l}{a}} \quad [\boldsymbol{\Omega}]$$



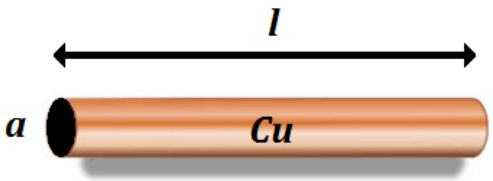
Materialekonstanten for et ledermateriale kaldes for materialets resistivitet med symbolet ρ (Rho)
To vigtige materialekonstanter:
$\rho_{Cu} = 0{,}0155 \quad \rho_{Al} = 0{,}029 \quad [\Omega \cdot mm^2/m]$

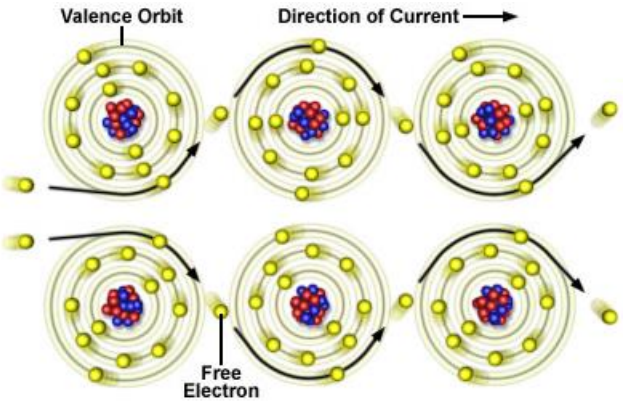
Elektrisk Resistans

Resistans & Temperatur:

Som påstået tidligere, så mister elektronerne energi ved deres interaktion med ledermaterialet rundt i det elektriske kredsløb, og så kunne man spørge:

Hvor bliver den energi af?

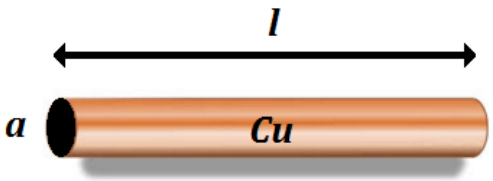




Elektrisk Resistans

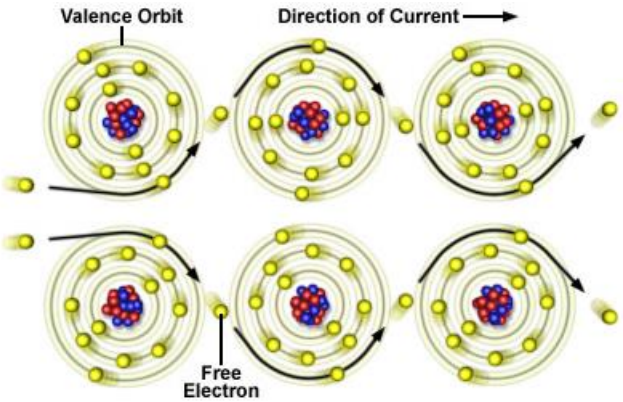
Resistans & Temperatur:

Som påstået tidligere, så mister elektronerne energi ved deres interaktion med ledermaterialet rundt i det elektriske kredsløb, og så kunne man spørge:



Hvor bliver den energi af?

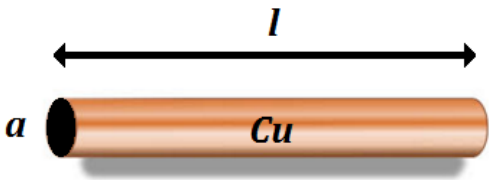
Som vi ved er et materiales temperatur udtryk for at dets molekyler (atomer her) har en indre energi, og denne energi kommer til udtryk ved at molekylet vibrerer (kinetisk energi)



Elektrisk Resistans

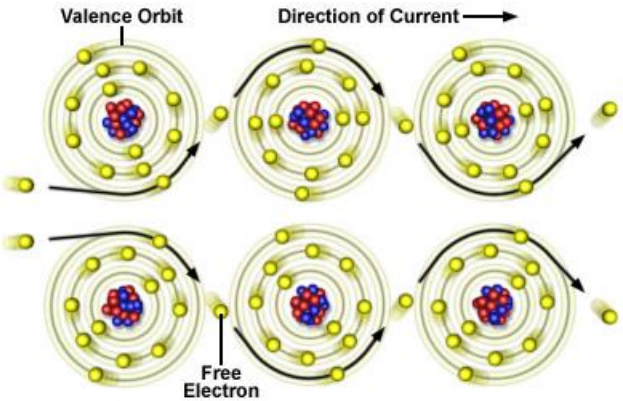
Resistans & Temperatur:

Som påstået tidligere, så mister elektronerne energi ved deres interaktion med ledermaterialet rundt i det elektriske kredsløb, og så kunne man spørge:



Hvor bliver den energi af?

Som vi ved er et materiales temperatur udtryk for at dets molekyler (atomer her) har en indre energi, og denne energi kommer til udtryk ved at molekylet vibrerer (kinetisk energi)

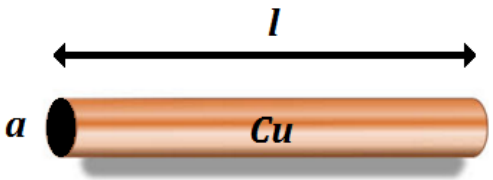


Når elektronerne kolliderer med molekylerne, vil den energi som elektronerne mister, overføres til molekylet, og det kommer til udtryk ved at molekylet vil vibrere lidt kraftigere – vi siger at materialets temperaturen er steget, og da molekylet nu fylder mere pga. øget vibrering, så stiger resistansen også!

Elektrisk Resistans

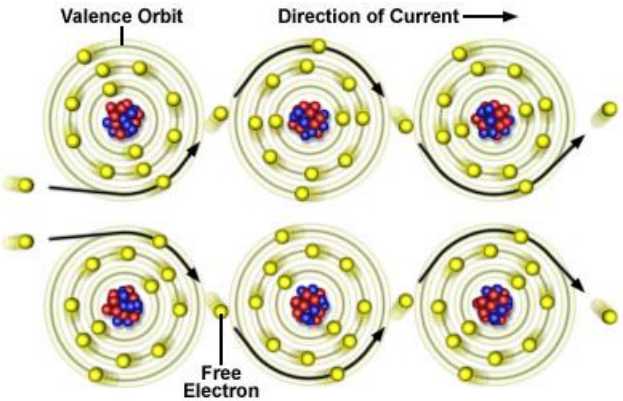
Resistans & Temperatur:

Hvis resistansen kendes ved én temperatur, kan man finde resistansen ved en ny temperatur, med følgende sammenhæng:



$$\boldsymbol{R_t = R_0 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (T_t - T_0)\right)}$$

R_t = Resistansen man ønskes at kende for en leder ved bestemt temperatur (t)
R_0 = Resistansen ved kendt temperatur
α = Temperaturkoefficient for ledermaterialet $(°C)^{-1}$.
(α er i sig selv temperaturafhængig)
T_t = Temperaturen ved hvilken man ønsker at kende resistansen ($°C$ eller K)
T_0 = Temperaturen ved hvilken man kender resistansen ($°C$ eller K)



Tabel over metallers resistivitet og Temperaturkoefficient på næste side!

Elektrisk Resistans

Tabel: Resistivitet & Temperaturkoefficient

Metal	Resistivitet (ρ)	Temperaturkoefficient (α)
	$[\Omega \cdot mm^2/m]$	$[°C^{-1}]$
Kobber (Cu)	0,0155	0,0043
Aluminium (Al)	0,029	0,0037
Guld (Au)	0,022	0,0034
Sølv (Ag)	0,0158	0,004
Platin (Pt)	0,090	0,004
Tin (Sn)	0,200	0,0046
Jern (Fe)	0,140	0,0064
Zink (Zn)	0,0625	0,0039

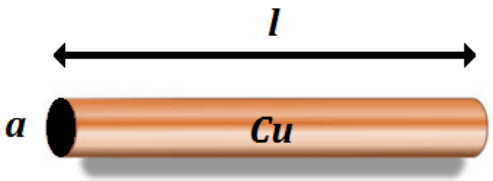
Elektrisk Resistans

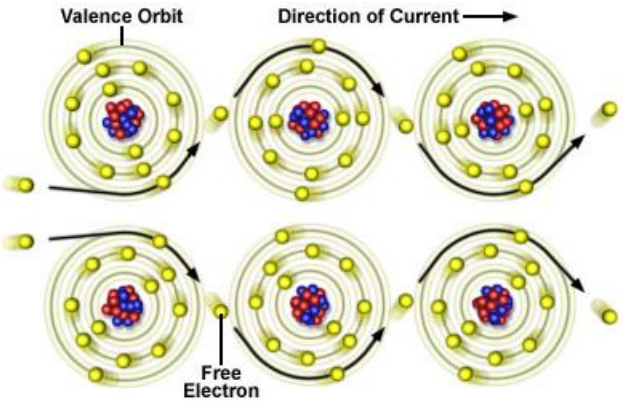
Resistans & Konduktans:

Konduktans (G) betyder egentlig bare ledningsevne, og man kan derfor sige at konduktans blot er det modsatte af resistans. Sammenhængen er da også:

$$\boldsymbol{R = \frac{1}{G}}$$

$G = Konduktans, med\ enheden\ Siemens\ (S)$

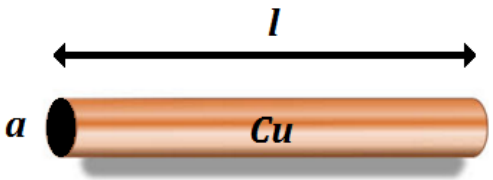




Elektrisk Resistans

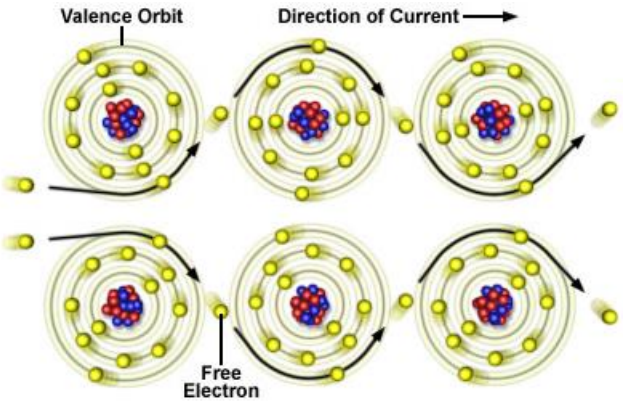
Resistivitet & Konduktivitet:

Akkurat som konduktans og resistans er hinandens reciprokke værdier, gælder det også at konduktivitet og resistivitet er hinandens reciprokke værdier



$$\boldsymbol{\rho = \frac{1}{\gamma}} \quad \Leftrightarrow \quad \boldsymbol{\frac{R \cdot a}{l} = \frac{1}{\gamma}} \quad \Leftrightarrow \quad \boldsymbol{R = \frac{l}{a \cdot \gamma}}$$

l = lederlængde i enheden meter (m)
a = Ledertværsnit oftest i enheden mm^2, men kan være i m^2
(afhængig af konduktivitetstabel)
γ = konduktivitet med enheden $1/\rho$



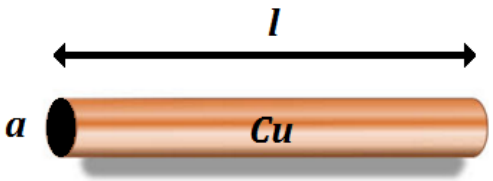
Resistivitet kaldes også for "specifik modstand" og Konduktivitet for "specifik ledningsevne"

Resistans måles med et Ohmmeter, som i et kredsskema symboliseres med: Ω

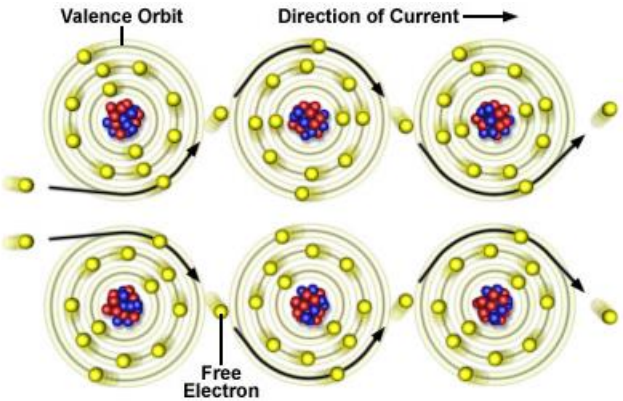
Elektrisk Resistans

Resistans:

Den sidste bemærkning om resistans i denne omgang er blot en note som evt. kan læses og bruges senere, da den foregriber begivenhederne her en smule!



Man bør være opmærksom på, at det der indtil nu har været omtalt, er det vi kalder statisk resistans, som egentlig kun vil gælde for det som kaldes lineærer komponenter. En komponent siges at være lineær, når sammenhængen i Ohm's lov er gældende for komponenten, altså vil man få en ret linje gennemløbende (0,0) i et koordinatsystem, hvor x-aksen er spændingen påtrykt komponenten, og y-aksen er strømmen som gennemløber komponenten. Uanset hvilken spændingen man påtrykker komponenten, vil strømmen følge proportionalt med. Dette gælder med en god tilnærmelse for alle deciderede resistorer som f.eks. et kabel eller et varmelegeme.
Men man bør være opmærksom på, at der findes ikke-lineærer komponenter, der ikke opfylder ovenstående "regler" for at kunne betragte resistansen som statisk. Eksempler på dette er batterier, dioder og andre komponenter af halvledermaterialer. De ikke-lineærer komponenter har altså det man også kalder en "dynamisk" resistans, og selv om Ohms lov kan anvendes i visse spændingsområder for disse komponenter, vil det egentlig være mere korrekt at betragte disse situationer med en differentialkvotient:



$$R = \frac{dU}{dI}$$

(OBS: maskinmesterstudiets teori omfatter dog primært statiske betragtninger)

Elektrisk Energi & Effekt

Energi:

For at give dig en god fornemmelse af hvad energibegrebet dækker over, har jeg i det følgende skrevet én længere forklaring (kan gribes an på andre måder!), som er mest egnet til selvstudium – læs det og stil evt. spørgsmål:

Begrebet *energi* er på en gang både ret vanskeligt at forholde sig til, og samtidigt ret simpelt. Mange vil argumentere for, at der helt grundlæggende kun findes 2 former for energi, nemlig; kinetisk og potentiel energi. Hvis man f.eks. løfter et lod på 10 kg 1 meter op over en plan, har man tilført loddet en potentiel energi på 100 J. Hvis samme lod bevæger sig med en konstant hastighed på 4,472 m/s hen ad planet, har loddet en kinetisk energi på 100 J.
Med disse 2 koncepter, kan energibegrebet altså forklares fuldstændigt, forstået på den måde, at alle energiformer her har sit forklaringsmæssige udspring. Det skyldes at på et atomart plan, vil alle partiklers energi kunne forklares med deres masse, hastighed (eller fart) og relative position ift. hinanden, og hvis partiklernes energi kan forklares herved, følger det at de legemer som partiklerne evt. er en del af, også kan forklares på den måde.

Men kan det virkelig passe, at man også kan forklare den elektriske energi på denne måde?
Ja, det kan det! Fremstilling af elektrisk energi kan foregå på flere måder, men lad os følge energien i et kraftværk:

Elektrisk Energi & Effekt

Energi:

- Det første der sker rent procesmæssigt er en forbrænding, og en forbrænding er en kemisk proces hvori den molekylærer struktur ændrer sig, og denne molekylærer proces er egentlig bare en frigørelse af potentiel energi.
- Den potentielle energi fra forbrændingsprocessen frigives på 2 måder: Dels sker det ved, at forbrændingsmolekylerne overfører deres indre energi ved konvektion til kedlens vandmolekyler. Da den indre energi (termiske energi) blot er et udtryk for hvor meget molekylerne vibrerer, og altså at de har en eller anden fart, må denne energi blot være kinetisk energi.
  Dels sker denne frigørelse af energi ved elektromagnetisk stråling, som varmer kedelvandsrørene op, men stråling er blot måden hvorved elektroner frigiver potentiel energi efter, at have været blevet eksiteret, og igen skifter tilbage ind i deres oprindelige elektronskal. Stråling er altså også bare et udtryk for frigivelse af potentiel energi, helt analogt med at vi slap vores lod fra tidligere, og lod det falde tilbage ned på planet.
- Når vandet i kedlen er varmt nok, føres det som tør damp igennem en turbine, hvor termisk energi og trykenergi (potentiel) omdannes til mekanisk energi (kinetisk).
- Den mekaniske energi i form af en roterende aksel, driver, via en gearkasse, en magnetiseret rotor i en generator, som igen inducerer en elektromotorisk kraft (spændingsforskel) hen over generatorens statorviklinger (potentiel).
- Via magnetfeltet i rotoren har vi nu fået givet elektronerne i statorens kobberledere en potentiel energi, som der kan bruges til at drive en strøm rundt i et elektrisk kredsløb. Som vi husker fra kapitlet om ladning, så frastøder elektroner hinanden med en eller anden kraft, og denne kraft bruger vi netop til at transportere elektrisk energi (kinetisk), via el nettet, ud til forbrugerne.

Elektrisk Energi & Effekt

Energi:

Energi beskrives ofte med lidt forskellige symboler i de forskellige fagdiscipliner, men det skyldes primært praktiske årsager og tilfældigheder. Symbolet E anvendes dog ofte. Men selve begrebet energi, kan måske siges at være meget neutralt og uden relation til en sammenhæng.
I en kontekst vil man derfor ofte møde begrebet arbejde (A) eller det Engelske work (W), som et udtryk for hvilket arbejde en given energimængde kan udføre, eller har udført, i en eller anden sammenhæng, men det er selvfølgelig to sider af samme sag.
Energi kan ses opgjort i mange forskellige enheder, og årsagerne hertil er både historiske, geografiske og praktiske. Eksempler på enheder for energi er:

J	**Joule**. SI enhed, og således verdens fælles standardenhed for energi.
Btu	**British thermal unit**. 1 Btu er energimængden der skal til for at hæve 1 pund vand med 1 F. Energimængden svarer omtrentlig til $\mathbf{1055\ J}$
cal	**Kalorie**. 1 kalorie er energimængden der skal til for at hæve 1 g vand med 1 °C, fra 14,5 °C til 15,5 °C ved et tryk på 1 Atm. Energimængden svarer til $\mathbf{4,185\ J}$
eV	**Elektronvolt**. 1 eV er den energimængde (kinetisk) 1 elektron mister ved gennemløbning af et spændingsfald på 1 V. Energimængden svarer til $\mathbf{1,602 \cdot 10^{-19}\ J}$
kWh	**kilowatt time**. 1 kWh er den energimængde som en forbruger på 1 kW bruger i løbet af 1 time. Energimængden svarer til $\mathbf{3,6 \cdot 10^{6}\ J}$

Elektrisk Energi & Effekt

Effekt:

I elektroteknikken defineres begrebet effekt slet og ret som:

Energiforbrug pr sekund!

Elektrisk Energi & Effekt

Effekt:

I elektroteknikken defineres begrebet effekt slet og ret som:

Energiforbrug pr sekund!

Med denne simple betragtning, kan vi udlede effektformlen ud fra de to tidligere definerede sammenhænge for strømstyrke og spændingsforskel.

Elektrisk Energi & Effekt

Effekt:

I elektroteknikken defineres begrebet effekt slet og ret som:

Energiforbrug pr sekund!

Med denne simple betragtning, kan vi udlede effektformlen ud fra de to tidligere definerede sammenhænge for strømstyrke og spændingsforskel.

Spændingsforskellen mellem 2 punkter (snitflader) på en elektrisk leder var:

$$U_{AB} = \frac{W_{el\,AB}}{Q}$$

Strømstyrken gennem en elektrisk leder var:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Elektrisk Energi & Effekt

Effekt:

Energiforbrug pr sekund!

Spændingsforskellen mellem 2 punkter (snitflader) på en elektrisk leder var:

$$\boldsymbol{U_{AB} = \frac{W_{el\ AB}}{Q}}$$

Strømstyrken gennem en elektrisk leder var:

$$\boldsymbol{I = \frac{Q}{t}}$$

Den elektrisk effekt afsat i lederen fra punkt A til B bliver da:

$$\boldsymbol{P = U \cdot I} \quad \Leftrightarrow \quad P = \frac{W_{el\ AB}}{Q} \cdot \frac{Q}{t} \quad \Leftrightarrow \quad P = \frac{W_{el\ AB}}{t} \qquad \left[\frac{J}{s}\right] = [W] \quad (Watt)$$

Effektformlen

Elektrisk Energi & Effekt

Effekt:

Energiforbrug pr sekund!

Den elektrisk effekt afsat i lederen (<u>eller anden komponent</u>) fra punkt A til B bliver da:

$$\boldsymbol{P = U \cdot I} \quad [\boldsymbol{W}]$$

Effekt måles med et Wattmeter, som i et kredsskema symboliseres med:

Selvom vi endnu ikke har snakket om Ohms lov ($U = I \cdot R$), så bør den alligevel nævnes her, da ovenstående effektformel vha. Ohms lov kan omskrives til brugbare formler til beregning af effekter – begge disse går under nævnes **Joules lov**:

$$P = U \cdot I \quad \Leftrightarrow \quad P = (I \cdot R) \cdot I \quad \Leftrightarrow \quad \boldsymbol{P = I^2 \cdot R} \quad [\boldsymbol{W}]$$

$$P = U \cdot I \quad \Leftrightarrow \quad P = U \cdot \left(\frac{U}{R}\right) \quad \Leftrightarrow \quad \boldsymbol{P = \frac{U^2}{R}} \quad [\boldsymbol{W}]$$