

IN 1080

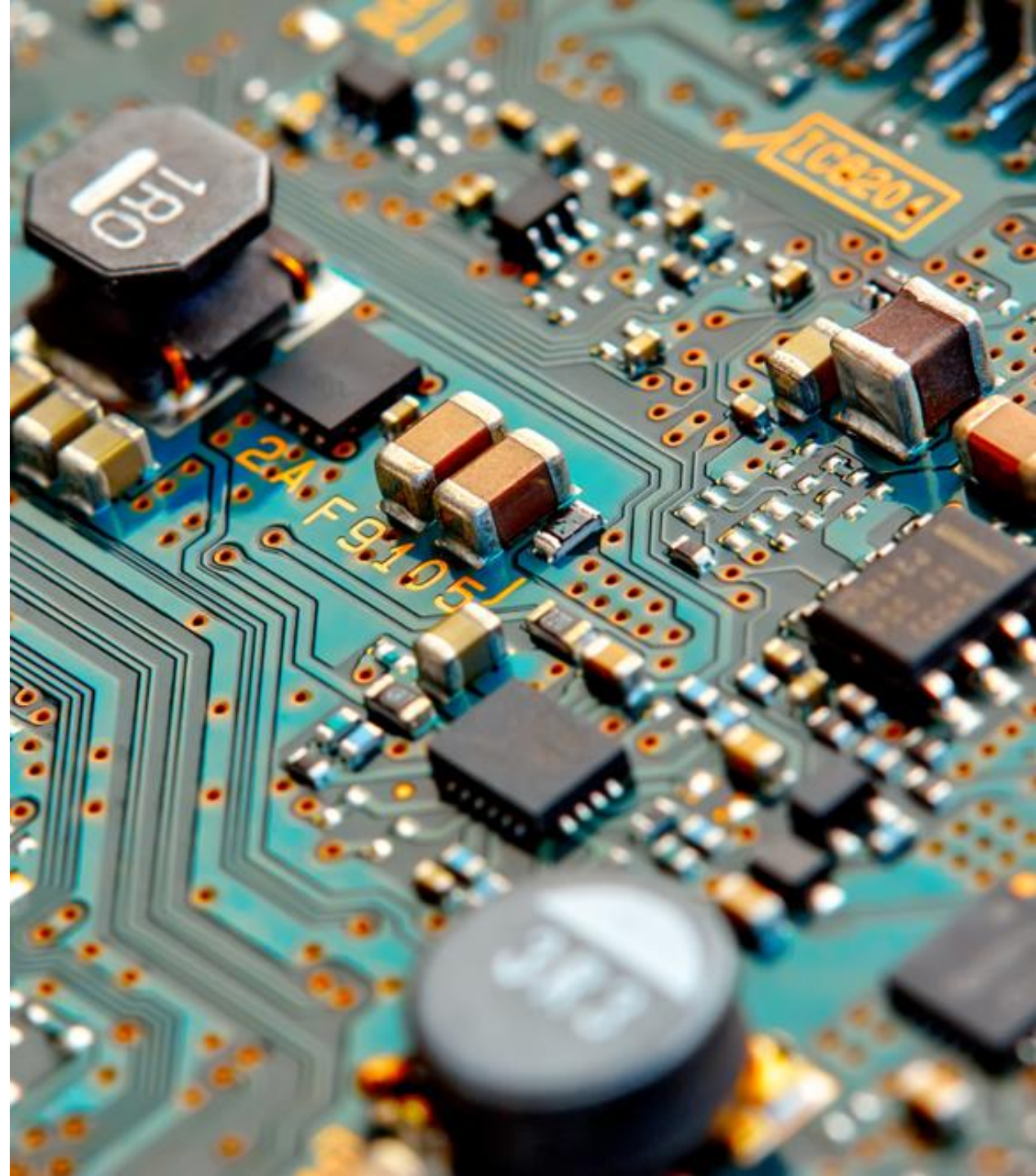
Mekatronikk

Del 1: Analog elektronikk

Forelesning 1



UNIVERSITETET
I OSLO



Om dagens forelesning

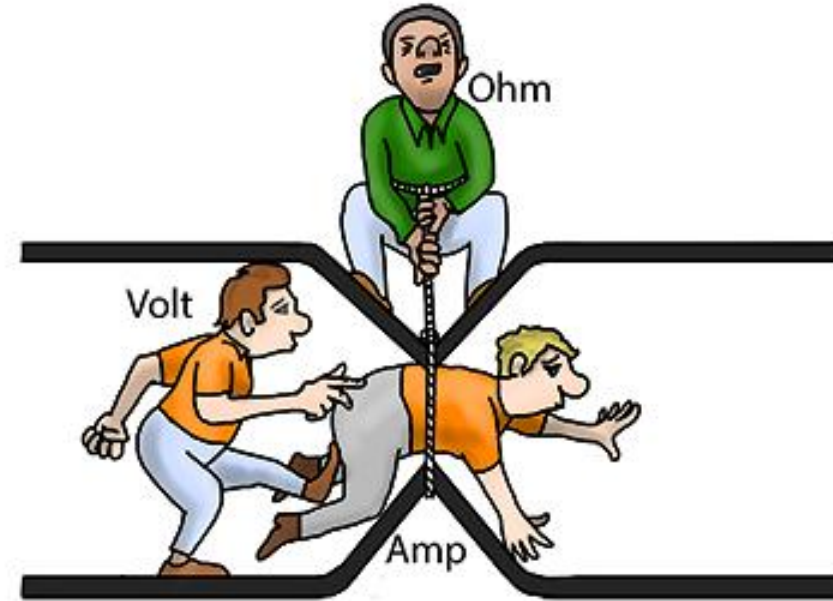
- I denne forelesningen skal vi se noen grunnleggende egenskaper og fenomener knyttet til elektronikk og elektrisitet
- For å forstå hvordan ting henger sammen, trenger vi å se på flere grunnleggende egenskaper som ikke er del av pensum
 - Det hjelper å skjønne sammenhenger, bla for å bruke formler riktig
- Vi starter med å forklare sammenhengene mellom fysiske fenomener som gir *elektrisk strøm, spenning, ladning og motstand*
- Trening i bruk av formler og annen teori får dere på regneøvelsen og gjennom de obligatoriske oppgavene



Elektrisk ladning, strøm, spenning og motstand

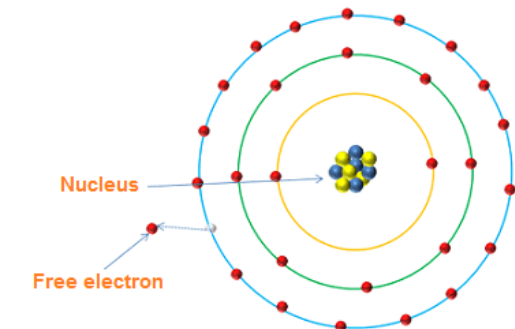
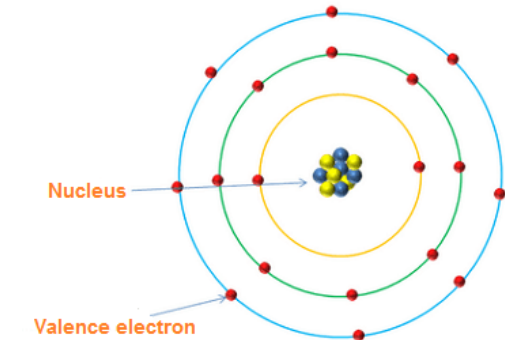
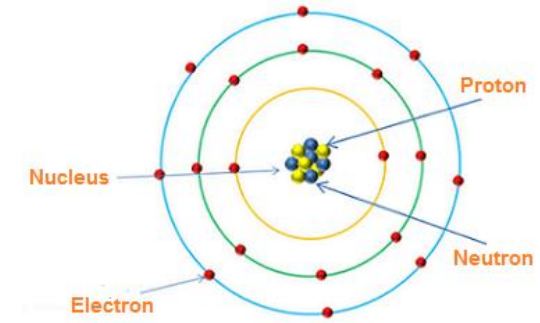
Ladning, strøm, spenning og motstand er grunnleggende i elektronikk:

- **Ladning:** fysisk egenskap ved et materiale som gjør at det blir utsatt for en kraft i et elektromagnetisk felt
- **Strøm:** Elektrisk ladede partikler i bevegelse
- **Spenning:** Forskjell i elektromagnetisk felt som får elektrisk ladede partikler til å bevege seg
- **Motstand** Egenskap som bremser bevegelsen til elektrisk ladede partikler
- I elektronikk bruker vi ofte ordet *impedans* istedenfor *motstand*
- Dere vil også støte på ordet *resistans*, som er en bestemt type motstand eller impedans
 - Noen typer impedans varierer med endringer i strøm og/eller spenning
 - Mer om dette senere i kurset



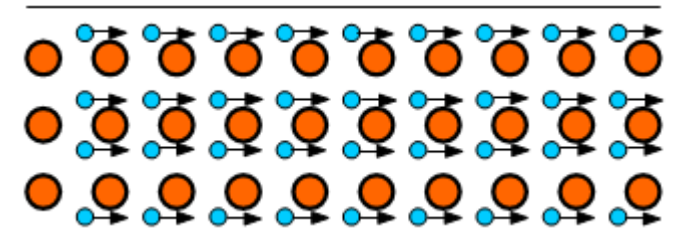
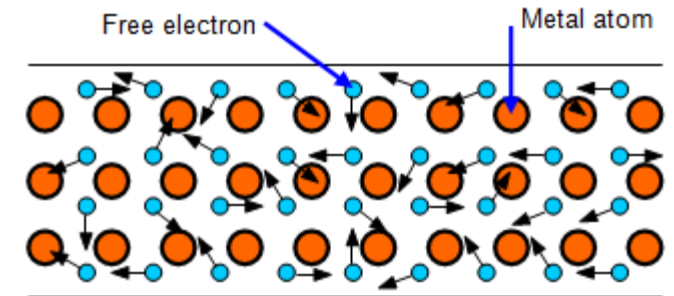
Atomers oppbygging

- For å forstå hva som forårsaker elektrisk strøm, ser vi nærmere på hvordan atomer er bygget opp
- Atomkjernen består av *positivt* ladete *protoner* og *nøytroner* uten ladning
- Rundt atomkjernen svever *negativt* ladete *elektroner* i faste baner eller skall, som kun har plass til et bestemt antall elektroner
- I et *elektrisk nøytralt* atom er antall elektroner og protoner likt
- Elektronene i det ytterste skallet, *valensbåndet*, er med på å bestemme elektriske egenskaper til atomet
- Elektronene i valensbåndet har høyere energi og lavere binding til kjernen enn elektroner i indre skall



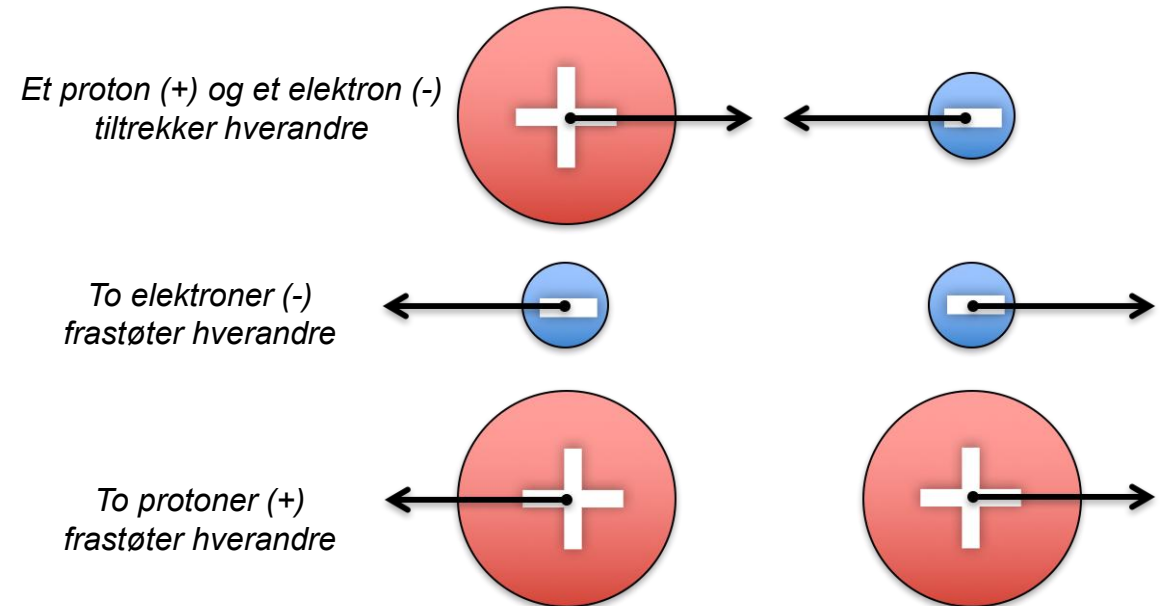
Atomer (forts)

- Hvis det er få elektroner i det ytterste båndet, kan de forlate atomet og bli *frie* elektroner
- Frie elektroner kan fanges inn av et naboatom hvis det er ledig plass i valensbåndet – eventuelt hoppe videre til et nytt atom
- Hvis elektroner ikke påvirkes av et elektromagnetisk felt, er det tilfeldig hvilken retning de beveger seg i
- Hvis frie elektroner påvirkes av et elektromagnetisk felt, vil de bevege seg i en felles retning som bestemmes av feltet og gi elektrisk strøm



Elektrisk ladning

- Et elektrisk felt oppstår rundt ladede partikler som er i ro
- Et magnetisk felt oppstår når ladede partikler beveger seg
- Elektromagnetisk felt er kombinasjonen av elektriske og magnetiske felt
- Elektriske og magnetiske felt utøver krefter på elektrisk ladede partikler
- Elektromagnetisme er ikke pensum i IN1080
- **Refleksjonsspørsmål:** Hva gjør at protonene i atomkjernen ikke frastøter hver og splitter kjernen?

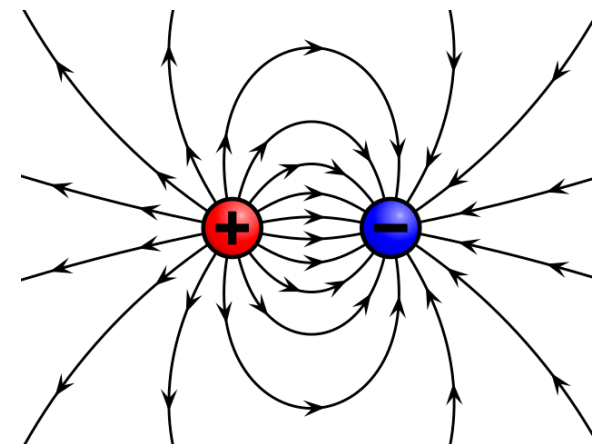


Elektrisk ladning (forts)

- Ladning måles i *coulomb* (C): 1 C er den samlede ladningen til $\approx 6.24 \times 10^{18}$ elektroner
- Elektroner og protoner har like stor ladning men med motsatte fortegn:
 - Elektronet har en ladning på $-1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C} \approx -1.602 \times 10^{-19}$
 - Protonet har en ladning på $+1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C} \approx 1.602 \times 10^{-19}$
- Ladninger summerer seg opp
 - F.eks. er 3 protoner og 2 elektroner er samlet sett positive med $+1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ladning
- Ladning skrives enten som Q eller $q(t)$
 - Q brukes når antall ladninger er konstant
 - $q(t)$ brukes når antall ladninger varierer som funksjon av tid
- **Merk:** Man må ikke blande *fysisk størrelse* med *måleenhet*
 - Fysisk størrelse: Egenskap til et fysisk objekt
 - Måleenhet: Hvor mye vi har av en fysisk enhet (måltall), etterfulgt av navnet på måleenheten
 - Eksempel: $Q = 10^{-9} \text{ C}$

Ladning Måleenhet for ladning


 - Måleenheten står alltid *etter* et tall

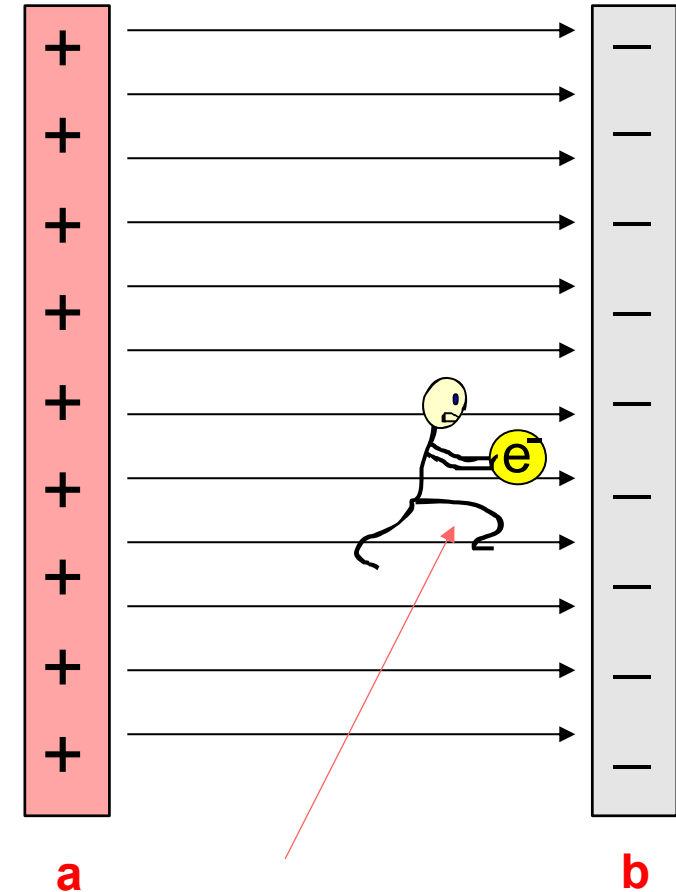


Elektrisk spenning

- For at ladninger skal bevege seg, må det være en *potensial-* eller *spenningsforskjell* mellom punktene (eller flatene) ladningene beveger seg mellom
- Spenningsforskjellen er et mål på arbeidet som kreves for å flytte ladninger fra *a* til *b*
- Spenning måles i *volt* og er definert ved ligningen

$$V = \frac{\text{energi}}{\text{ladning}} = \frac{W}{Q}$$

- **1 volt** er spenningsdifferansen mellom punkt **a** og **b** når **1 joule** brukes for å flytte en ladning på **1 coulomb** fra **a** til **b**



Arbeidet består i å «dytte elektronet mot sin vilje» fra **a** til **b**

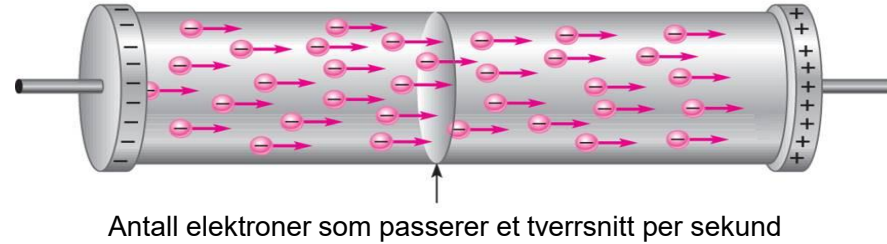
Elektrisk spenning (forts)

- Den fysiske størrelsen *spenning* betegnes med symbolet 'U' eller 'V', mens måleenheten er 'volt' eller 'v'
- Spenning måles alltid som *forskjellen* i det elektriske feltet mellom to punkter
 - 'Punkt' er det samme som 'flate' i denne sammenhengen
 - Vi bruker noen ganger ordet 'node' om punkt eller flate
 - En kabel som består av et ledende metall er ett punkt (eller en node eller en flate) i vår sammenheng, fordi det ikke vil være spenningsforskjell mellom ulike deler av kabelen.
 - Det gir ingen mening å snakke om spenningen i ett punkt uten å angi et referansepunkt som man måler spenningen i forhold til.
 - Et vanlig referansepunkt er 'jord' (mer om dette senere)



Elektrisk strøm

- Hvis elektrisk ladde partikler påvirkes av et elektromagnetisk felt vil de bevege seg → elektrisk strøm



- Elektrisk strøm I er mengden ladning Q som beveger seg gjennom et tverrsnitt per tidsintervall t

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

- Strøm måles i *ampere*: 1A betyr at en total ladning på 1C passerer et vilkårlig tverrsnitt i en elektrisk leder i løpet av 1sekund

$$A = \frac{C}{s} \Leftrightarrow C = As$$

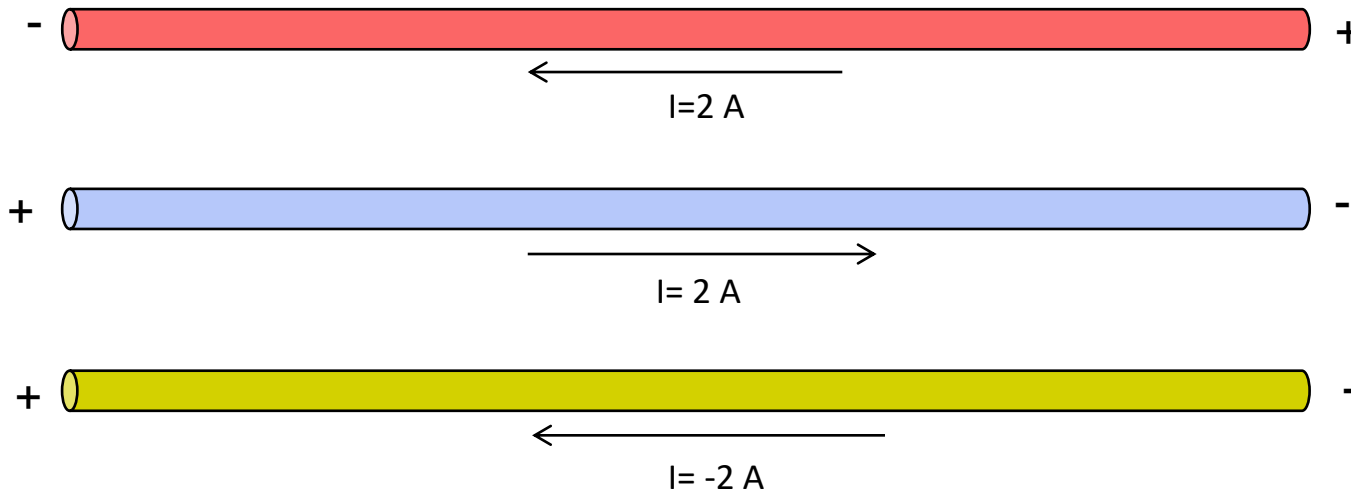
- **Refleksjonsspørsmål:** Hvor fort beveger elektrisk strøm seg?

Elektrisk strøm (forts)

- I elektronikk er vi oftere interessert i raten som ladninger forflytter seg med per tidsenhet:

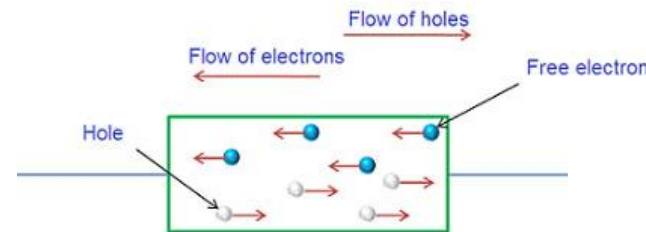
$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

- I faste stoffer ved «normale» temperaturer det kun elektroner som kan bevege seg fritt
 - Protoner kan bevege seg fritt i plasmatilstand (flere millioner grader)
 - Molekyler kan også bevege seg i elektriske felt hvis de har overskudd eller underskudd på elektroner (ioner)
- Strøm har både en *verdi* og en *retning*



Elektrisk strøm (forts)

- Retningen på det elektriske feltet bestemmer hvilken vei elektronene beveger seg
- To måter å definere strømretning på
 - Alternativ 1: Retningen som elektronene beveger seg i
 - Alternativ 2: Motsatt av retningen til elektronene, dvs. retningen til «hullene» som elektronene etterlater seg når de beveger seg



- Alternativ 2 er vanligst: vi sier at strømmen beveger seg fra '+' til '—'
 - Historisk årsak: I elektrisitetens barndom trodde man at elektrisk strøm skyldtes **positivt** ladde partikler som beveget seg
- **Husk:** Uten et elektrisk felt som «drar» i elektronene blir det ingen elektrisk strøm

Elektrisk strøm (forts)

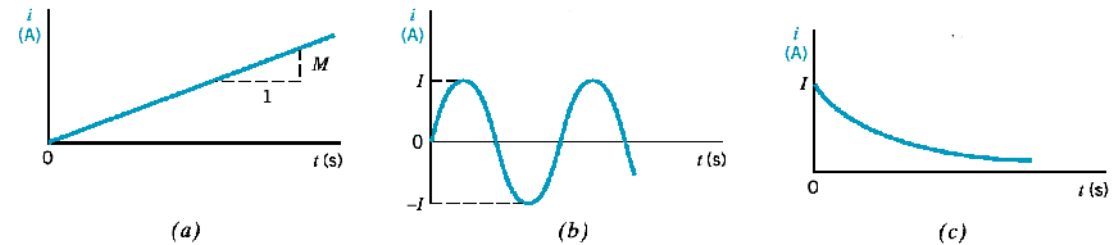
- Vi skiller mellom strømmer som ikke varierer over tid ('DC' = *direct current, likestrøm*) og strømmer som varierer ('AC' = *alternating current, vekselstrøm*)

- En *likestrøm* holder seg konstant som funksjon av tid



- Hva slags type strøm vi har med å gjøre er viktig både når vi skal analysere og konstruere kretser
- Oppførselen og analysen er enklere når vi har bare likestrøm

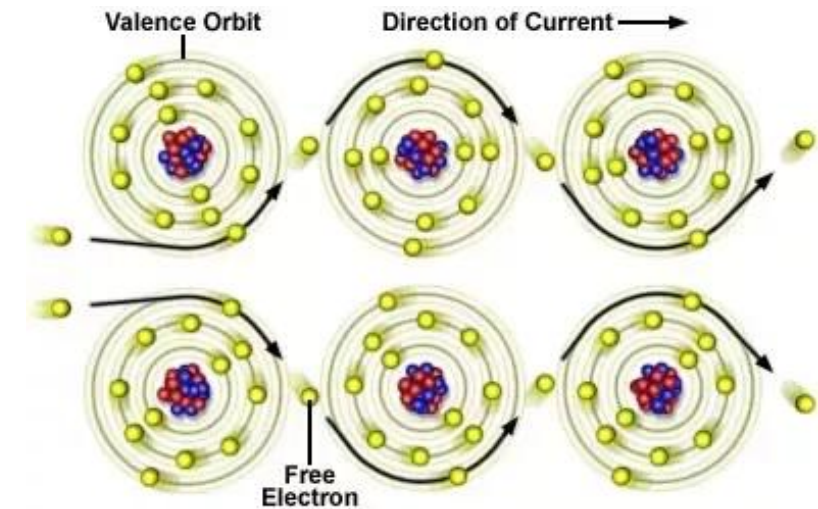
- En *vekselstrøm* varierer som funksjon av tid
- Variasjonen kan enten være *periodisk* eller *ikke-periodisk*



- Hvis variasjonen er langsom eller tidsvinduet lite, kan en vekselstrøm anses som likestrøm
- Legg merke til at strømmen både kan endre retning (b), eller variere i samme retning (a) og (c)

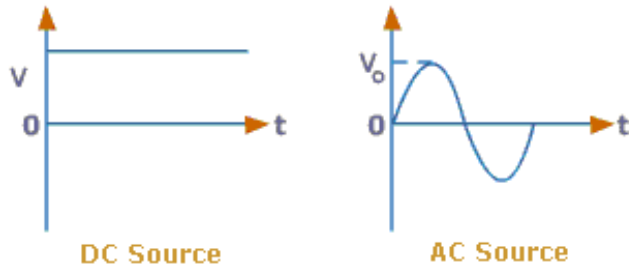
Elektriske egenskaper

- Antall elektroner i valensbåndet bestemmer hvor godt et materiale leder *elektrisk strøm*:
 - **Ledere:** Materiale med mange ledige elektronplasser i det ytterste valensbåndet, typisk. Kopper og sølv er eksempler på metaller som leder elektrisk strøm godt («lede godt» = «strømmen flyter lett»)
 - **Halvledere:** Vanligvis fire valenselektroner i det ytterste skallet. Silisium og germanium er halvledere som leder strøm passe godt. Halvleder har spesielle egenskaper som utnyttes i elektronikk
 - **Isolatorer:** Ingen valenselektroner eller valenselektroner som er sterkt bundet til kjernen. Leder ikke strøm
- I elektronikk trenger vi både ledere, halvledere og isolatorer
 - Halvledere er kanskje de viktigste byggeblokkene i elektronikk – mer om halvledere senere i kurset.



Spenningskilder

- For å lage en elektrisk spenning eller felt trengs en *spenningskilde*
- Spenning (akkurat som strøm) kan enten være konstant eller variere over tid:

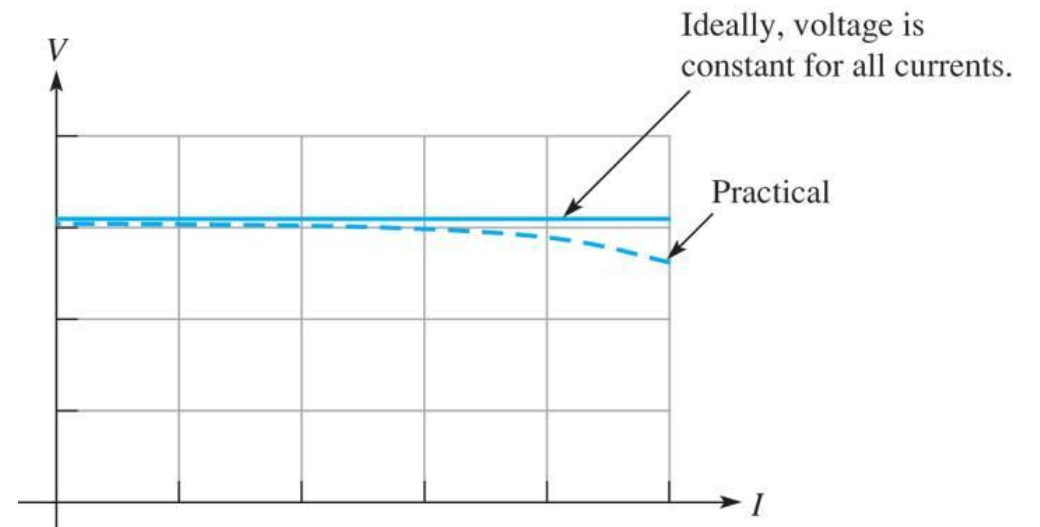


- Batterier og solceller er likespenningskilder hvor spenning kommer fra kjemiske reaksjoner eller konvertering av lys
- Generatorer lager vekselspenning ved omdanning av mekanisk bevegelsesenergi, f.eks vind, fossefall eller havbølger
 - Vi kan lage elektronikk som omdanner vekselspenning til likespenning og omvendt



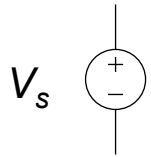
Spenningskilder (forts)

- En annen viktig egenskap ved spenningskilder er om de er **ideelle** eller **ikke-ideelle** (også kalt 'praktiske' eller 'fysiske')
- En ideell spenningskilde leverer konstant spenning, uavhengig av strømmen gjennom den
- I virkeligheten vil spenningen synke når strømmen øker (dvs. ikke-ideell oppførsel)
 - Dette skyldes at en fysisk kilde har litt indre motstand, mens en ideell kilde ikke har indre motstand

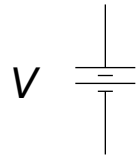


Spenningskilder (forts)

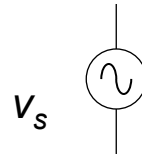
- Symboler for spenningskilder er



Likespenningsskilde
(DC-spenning)



Batteri
(DC-spenning)

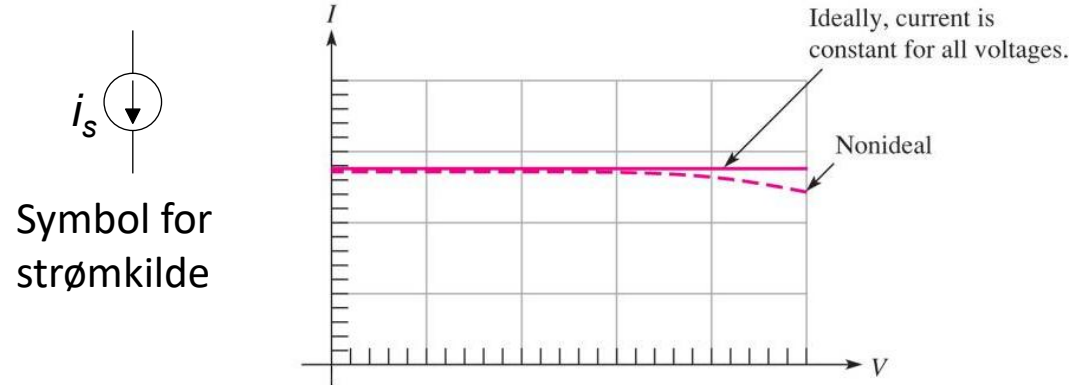


Vekselspenningskilde
(AC-spenning)

- '+' terminalen er V_s (eller v_s) volt mer *positiv* enn '-' terminalen.
- Hvis V_s er < 0 , er '+' terminalen *negativ* i forhold til '-' terminalen

Strømkilder

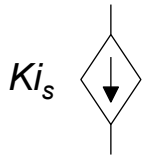
- Akkurat som spenningskilder er strømkilder enten **ideelle** eller **ikke-ideelle**
- En ideell strømkilde leverer **konstant** strøm, uavhengig av spenningen over kilden
- I virkeligheten vil strømmen **synke** når spenningen øker (dvs. ikke-ideell oppførsel)



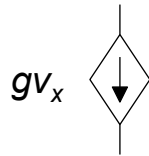
- Legg merke til at en spenningskilde også kan betraktes som en strømkilde fordi den lager et elektrisk felt som får elektroner til å bevege seg
- Tilsvarende vil en strømkilde gi opphav til en spenning fordi den setter elektroner i bevegelse
 - Men: strømkilder er vanskeligere å lage enn spenningskilder og paradoksal ved analyse (den kan både ha null og uendelig indre motstand!)

Avhengige og uavhengige kilder

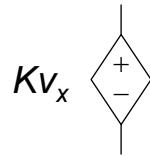
- Kilder klassifiseres også ut fra en annen egenskap:
 - **Uavhengig**: Strømmen eller spenningen er ikke avhengig av andre strømmer eller spenninger
 - **Avhengig**: Strømmen eller spenningen varierer i takt med en annen strøm eller spenning



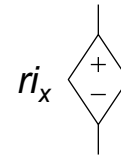
Strømkontrollert
strømkilde



Spenningskontrollert
strømkilde



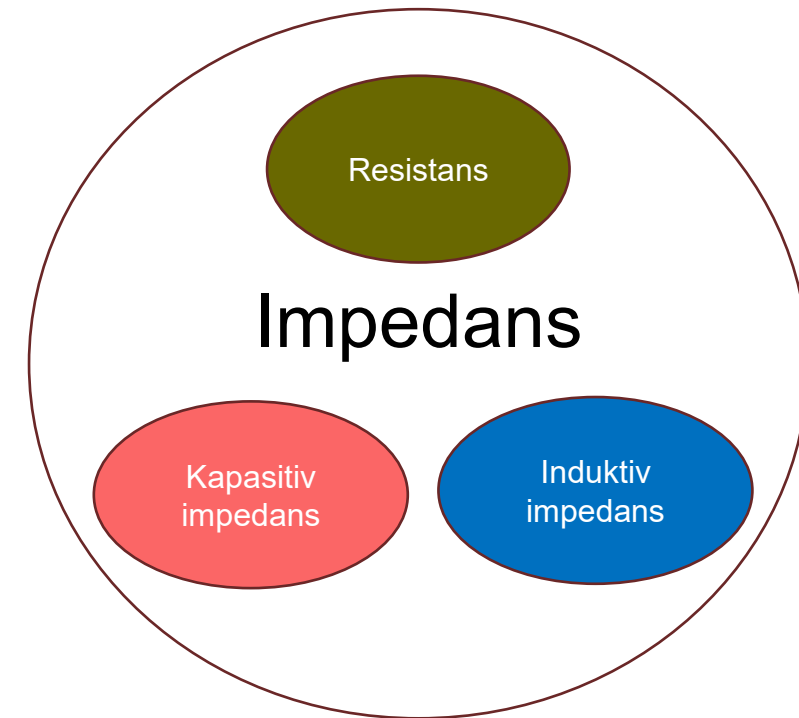
Spenningskontrollert
spenningskilde



Strømkontrollert
spenningskilde

Motstand (impedans)

- Når elektroner beveger gjennom et materiale, vil de bremses opp av ulike årsaker, bla pga temperatur og materialegenskaper
- Denne oppbremsingen kalles **motstand** eller **impedans**
- Vi skiller mellom tre ulike typer impedans, som skyldes forskjellige fysiske fenomener og om strømmen er ac eller dc
 - **Resistiv impedans** (vanligvis kalt **resistans** eller (noe upresist) **motstand**)
 - **Kapazitiv impedans** (også kalt **kapazitiv reaktans**)
 - **Induktiv impedans** (også kalt **induktiv reaktans**)
- Resistans bremser likestrømmer og vekselstrømmer like mye
- Kapazitiv og induktiv impedans bremser vekselstrømmer og likestrømmer ulikt
- Vi skal først studere resistans

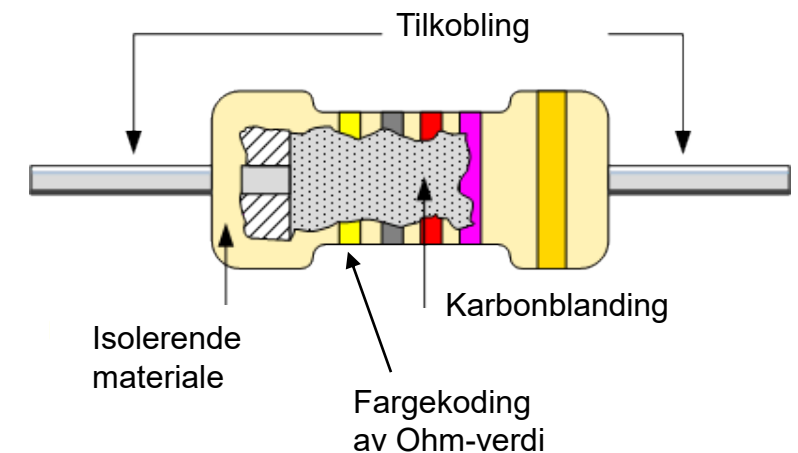
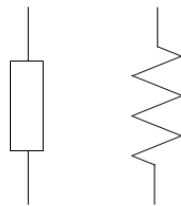


Resistans

- Resistans er et materiales motstand mot elektrisk strøm og er definert som forholdet mellom spenning og strøm, også kalt Ohms lov:

$$R = \frac{V}{I} \Leftrightarrow V = RI \Leftrightarrow I = \frac{V}{R}$$

- Resistans måles i enheten Ω (Ohm): **1 Ω** er motstanden når det går en strøm på **1 ampere** gjennom et materiale med **1 volt** spenningsforskjell
- I elektronikk trenger vi *resistorer*, som er fysiske komponenter («duppeditter») med en bestemt resistans for bla å begrense mengden strøm som flyter eller skalere ned en spenning
- To alternative symboler for resistor når vi tegner kretser (velg den du liker best)



Resistans (forts)

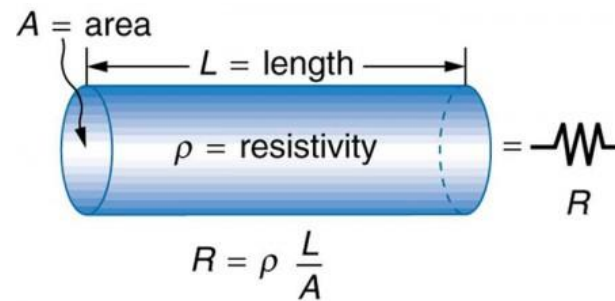
- Resistans omdanner noe av bevegelsesenergien til elektronene til lys og/eller varme
- Resistorer lages i ulike varianter, avhengig av bruksområde og med ulike egenskaper (f.eks. maksimal strøm/spenning/effekt, fysisk størrelse/form, nøyaktighet)
- Noen typer resistorer endrer motstand som funksjon av temperatur, fysisk påvirkning (trykk, strekk)
 - Brukes til å lage termometre, trykkmålere, elektroniske vekter etc.
 - Andre ganger ønsker vi at resistansen skal være konstant og ikke avhengig av omgivelsene
- *Ledere* ønsker man skal ha veldig lav eller ingen resistans for å unngå tap av energi
 - I praksis har selv gode leder noen få ohm motstand
 - Vi skal anta at leder er ideelle, dvs 0 ohm
- *Isolatorer* må ha veldig høy resistans
- Det motsatte av resistans kalles *konduktans* eller *ledningsevne* og er definert som den inverse av resistans:

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

- Konduktans måles i enheten *Siemens*

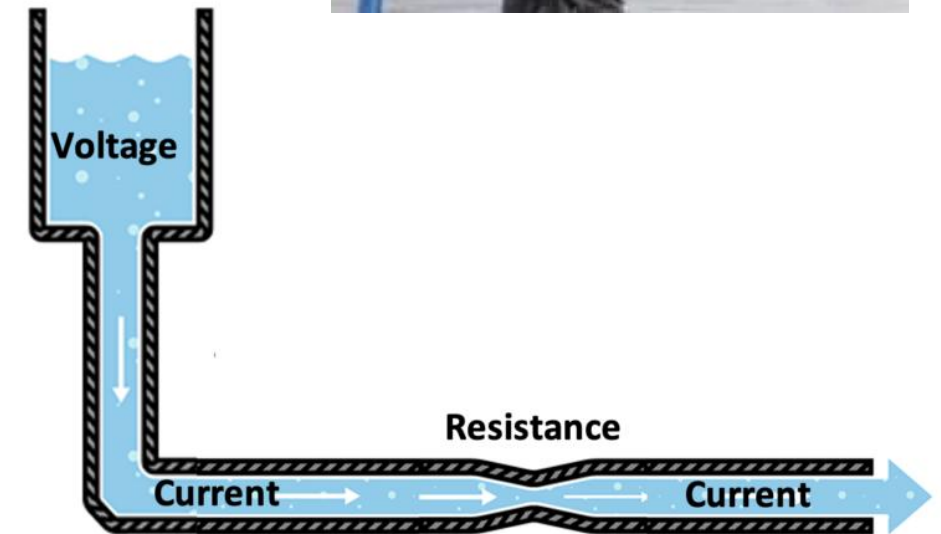
Resistivitet og resistans

- **Resistivitet ρ** er en egenskap ved et bestemt materiale og sier noe om hvor stor motstand det har mot elektrisk strøm. Resistiviteten er ikke avhengig av størrelsen på materialet, kun hva det er laget av. Måleenheten er Ωm (Ohm*meter)
- **Resistans R** er motstanden mot elektrisk strøm til et bestemt stykke av et materiale (f.eks en resistor) og er avhengig av resistiviteten til materialet i tillegg til bla lengden og tverrsnittet som strømmen.
- Eksempel: Hvis resistoren er sylinderformet med lengde L og tverrsnitt A , er sammenhengen mellom ρ og R



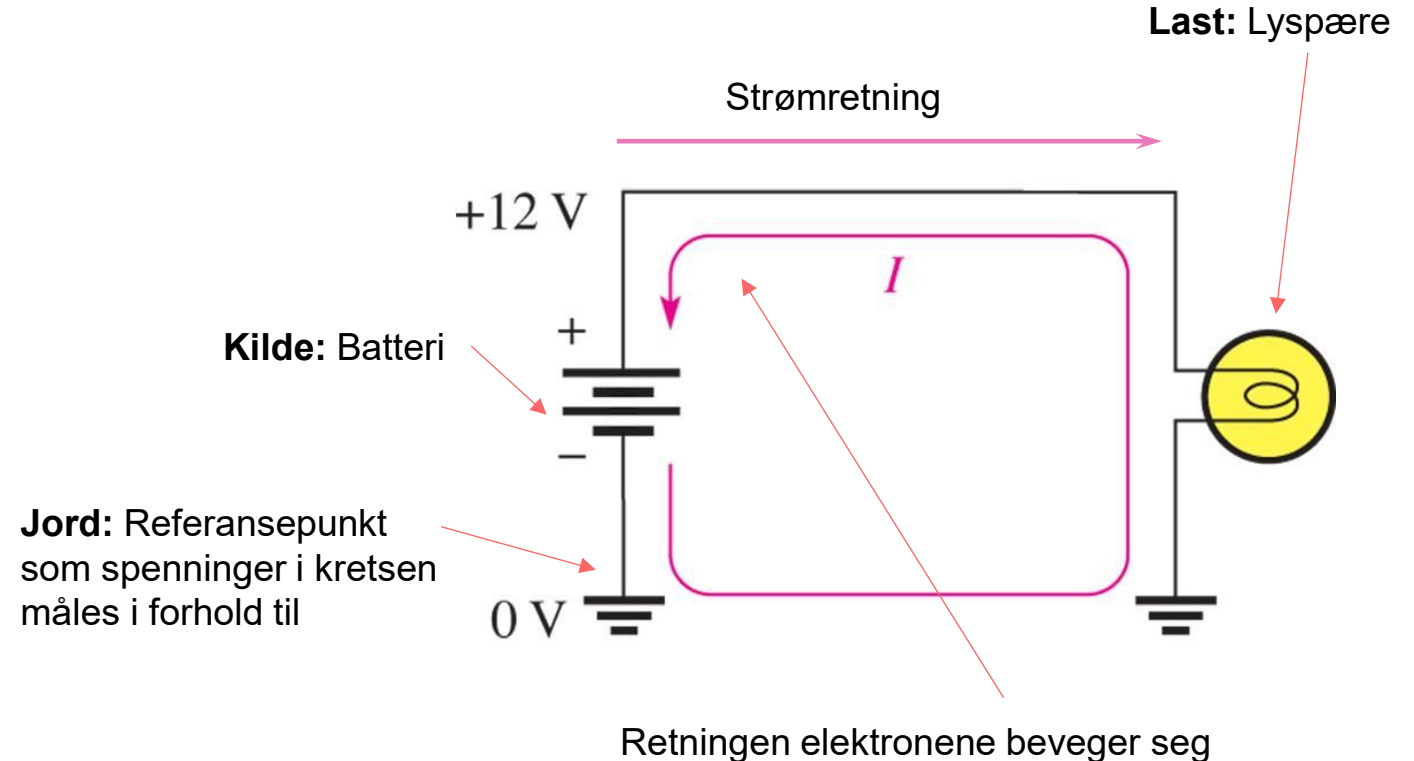
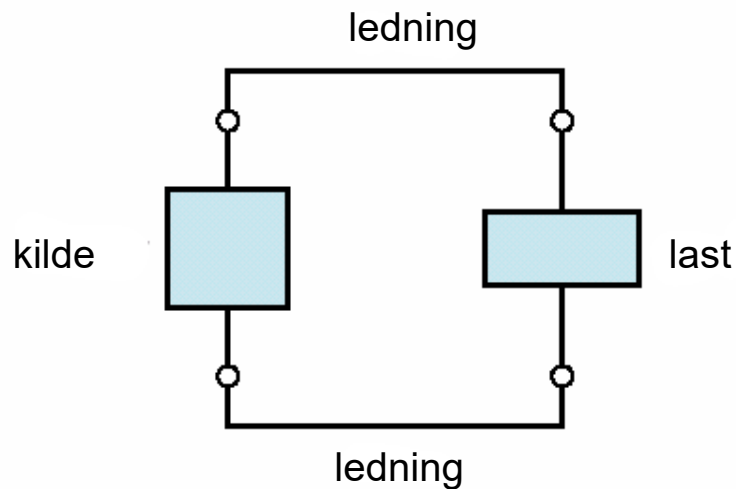
Strøm, spenning og motstand– en sammenligning

- For å forstå mer intuitivt hva strøm og spenning er, kan vi sammenligne det med vann som renner ut av et kar.
- Spenning: Trykket til vannet
- Strøm: Antall liter vann som renner ut per sekund
- Motstand: Tverrsnittet til røret vannet som
- Fra denne modellen kan vi se at
 - Høyt vanntrykk (spenning) gir mer vann per sekund ut av røret (strøm) enn lavt vanntrykk
 - Et tynt (høy motstand) rør bremser vannet (strømmen) mer enn et tykt rør
 - Et langt rør har høyere motstand enn et kort rør



Elektrisk krets

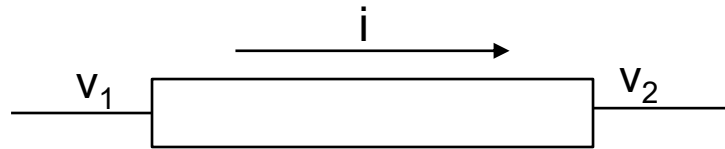
- En **elektrisk krets** er en sammenkopling av elektriske elementer hvor det kan gå elektrisk strøm
- Vi definerer nesten alltid at strømretningen fra spenningskildens '+' til '-', selv om elektronene beveger seg i motsatt retning



Oppgave a: Resistorer

Vi måler spenningene til de to tilkoblingspunktene til en resistor.

1) Siden spenning alltid er definert som *forskjell* i det elektromagnetiske feltet, hvordan er v_1 og v_2 målt?



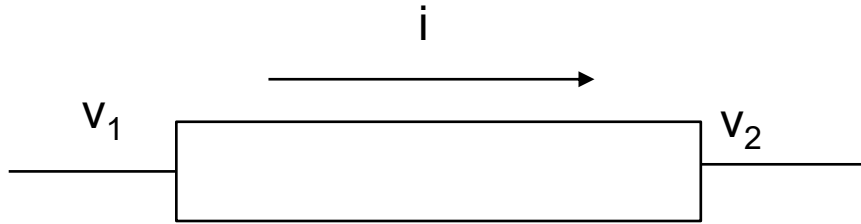
2) Finn resistansen til to resistorer gitt strømmene og spenningsfallene:

Resistor 1: $v_1 = 1.5$ volt, $v_2 = 1$ volt, $i = 0.1$ ampere

Resistor 2: $v_1 = 5.6$ volt, $v_2 = 2.6$ volt, $i = 0.06$ ampere

Oppgave b: Ledningsevne

Vi ønsker å klassifisere ledningsevnen til tre ulike materialer som er bygget som resistorer og får oppgitt målinger av strømmen for ulike spenningsforskjeller. Er de ulike materialene gode ledere, gode isolatorer eller noe midt i mellom?



- 1) Materiale 1: $v_1 = 10$ volt, $v_2=9$ volt, $i= 10^{-15}$ ampere
- 2) Materiale 2: $v_1 = 1$ volt, $v_2=0.99$ volt, $i= 1$ ampere
- 3) Materiale 3: $v_1 = 10$ volt, $v_2=9.999999$ volt, $i= 10^{-12}$ ampere

Oppgave c : Lineære vs. ikke-lineære resistorer

Resistansen R til en **ideell** resistor er konstant og uavhengig av strøm- og spenningsnivå, temperatur eller fysisk påvirkning.

Resistansen til en **fysisk** resistor er som regel konstant bare innenfor avgrensede spennings- og strømintervall, bestemte temperaturområdet etc.

- 1) Hvorfor ønsker vi at R skal være konstant?
- 2) Hvorfor er det ikke nødvendigvis et problem at R kan variere i praksis?
- 3) Hva må vi derfor ta hensyn til når vi velger resistor?
- 4) Hva kan man bruke en motstand til hvis resistansen er en funksjon av
 - a) Temperatur?
 - b) Mekanisk påvirkning?