

Forelesning nr.1 analog elektronikk

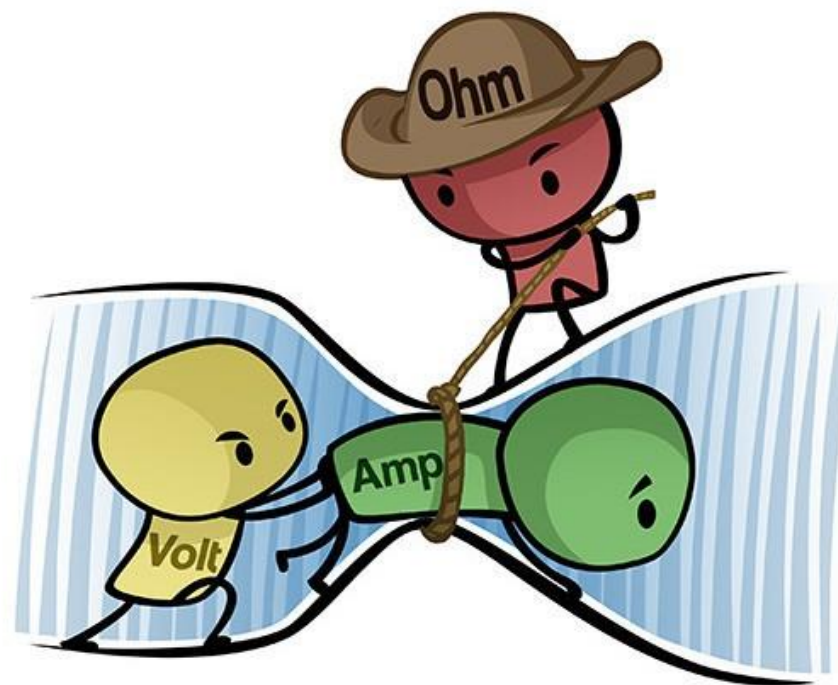
IN 1080 Mekatronikk

Strøm, spenning og impedans
Elektriske komponenter



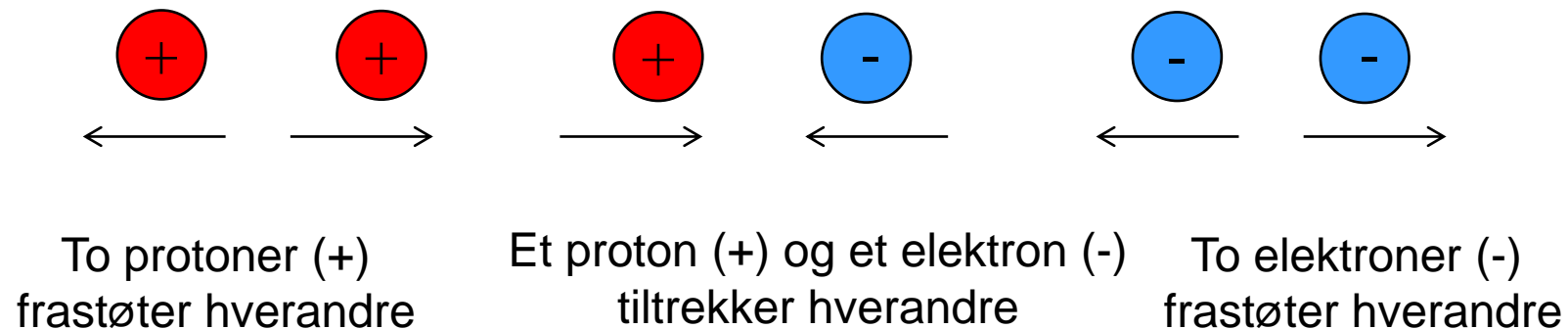
Strøm, spenning og motstand

- *Strøm, spenning og impedans (motstand)* er sentrale begreper i elektronikk:
 - **Strøm:** Elektrisk ladede partikler som beveger seg
 - **Spenning:** Forskjell i elektromagnetisk felt som får elektrisk ladede partikler til å bevege seg
 - **Impedans (motstand):** Egenskapen som bremser bevegelsen til elektrisk ladede partikler gjennom et materiale



Elektrisk ladning

- Mellom elektrisk *ladede* partikler oppstår det et elektrisk felt som gjør at de enten *tiltrekker* eller *frastøter* hverandre

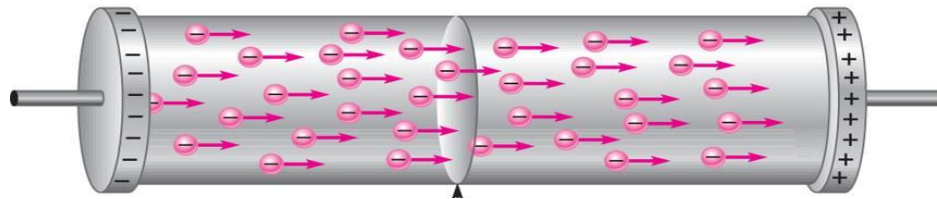


Elektrisk ladning (forts)

- Ladning måles i *coulomb* (C): 1C er den samlede ladningen til 6.25×10^{18} elektroner (uten fortegn)
- Elektronet har en ladning på -1.609×10^{-19} C og protonet har en ladning på $+1.609 \times 10^{-19}$ C
- Ladninger summerer seg opp
 - F.eks er 3 protoner og 2 elektroner er samlet sett positive med $+1.609 \times 10^{-19}$ C ladning
- Ladning benevnes enten Q eller $q(t)$

Elektrisk ladning og strøm

- Når elektrisk ladde partikler beveger seg oppstår en elektrisk strøm



- Elektrisk strøm I er mengden ladning Q som beveger seg eller overføres per tidsintervall t

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

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

$$A = \frac{C}{s} \leftrightarrow C = A \cdot s$$

Elektrisk ladning og strøm

- Strøm har både en *verdi* og en *retning* (vektor)
- Sammenhengen mellom i og q er gitt av:

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

- 'I' betegner konstant strøm, *likestrøm (dc)*, mens 'i' er en varierende strøm, en *vekselstrøm (ac)*
- Bruk av 'I' og 'i' for å skille mellom ac og dc er ikke alltid konsekvent 😞
- Ofte brukes ac og dc også om spenninger
- Elektrisk spenning lager et elektromagnetisk felt som får ladninger til å bevege seg, dvs elektrisk strøm
- Uten spenning ingen strøm
 - Hvis spenningsforskjellen mellom to punkter er 0 vil det ikke gå strøm mellom dem

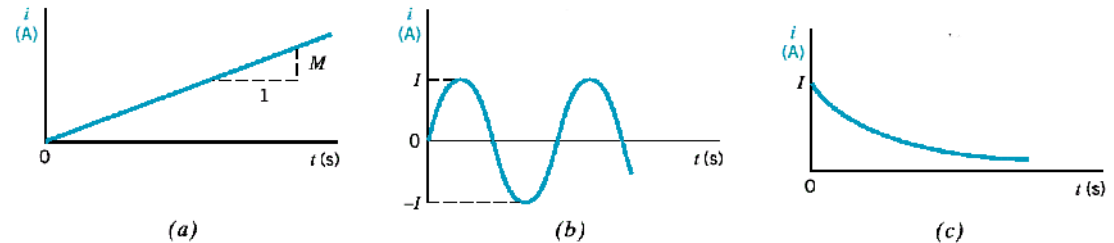
Likestrøm (dc) og vekselstrøm (ac)

- En *likestrøm* er konstant over tid (tidsinvariant)



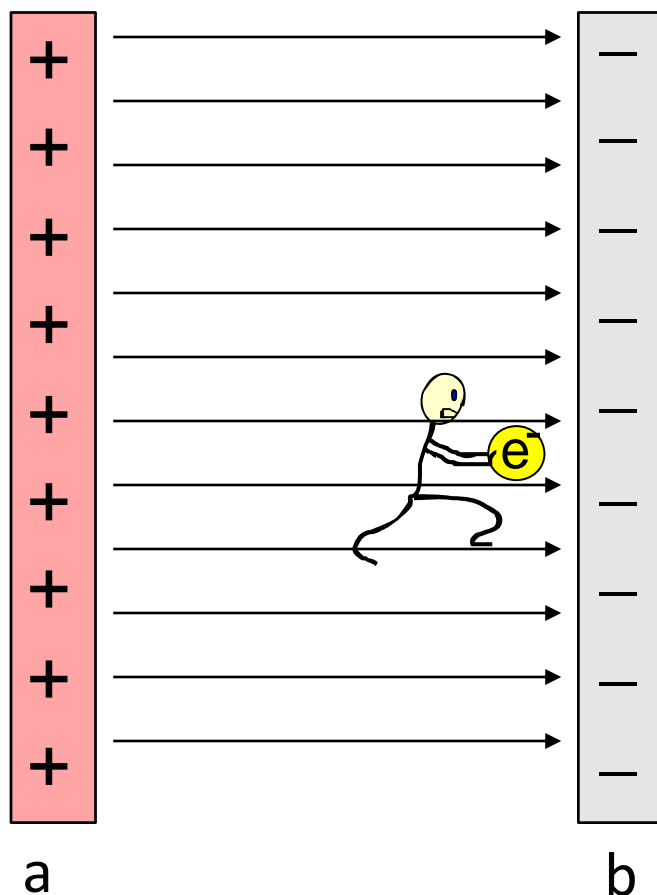
- Hva slags type strøm vi har med å gjøre er viktig både når vi skal analysere og konstruere kretser
- Oppførselen og analysen er enklere når vi har bare likestrøm/likespenning

- En *vekselstrøm* varierer over 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)

Elektrisk spenning



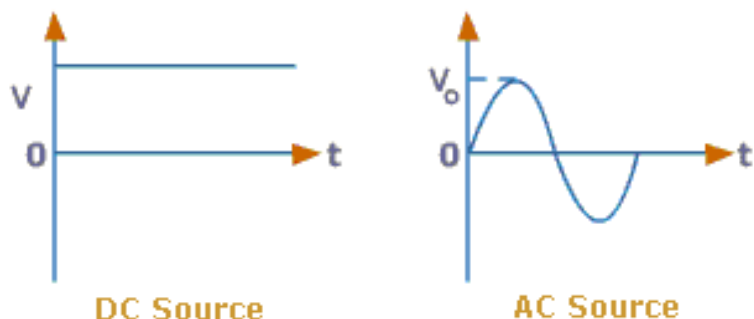
- For at ladninger skal bevege seg må det være en *potensial-* eller *spenningsforskjell*
- Spenningsforskjellen er et mål på arbeidet som kreves for å flytte ladninger fra *a* til *b*
- Spenning måles i *volt* og er definert ved

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

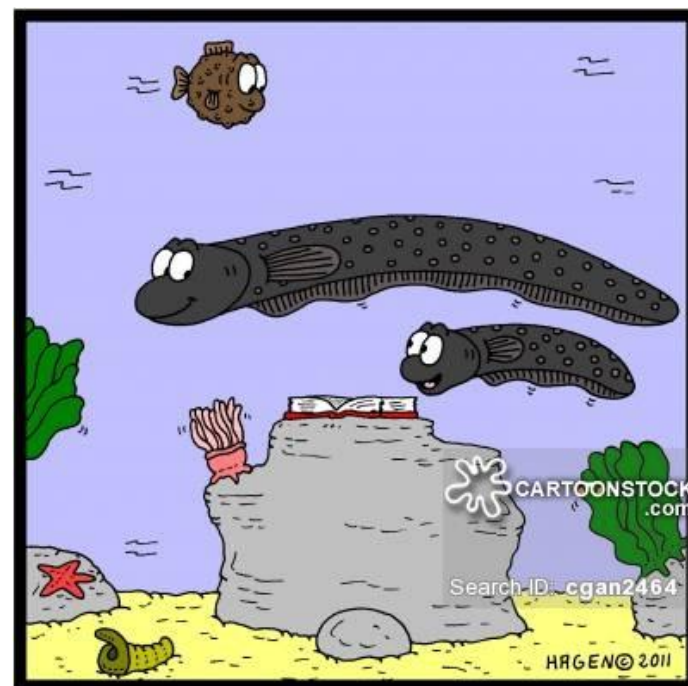
- **1 volt** er spenningen mellom punkt *a* og *b* når **1 joule** brukes for å flytte en ladning på **1 coulomb** fra *a* til *b*
- **Merk:** Spenning betegnes med *U* eller *V*

Spenningskilder

- Spenning (akkurat som strøm) kan enten være likespenning eller vekselspenning



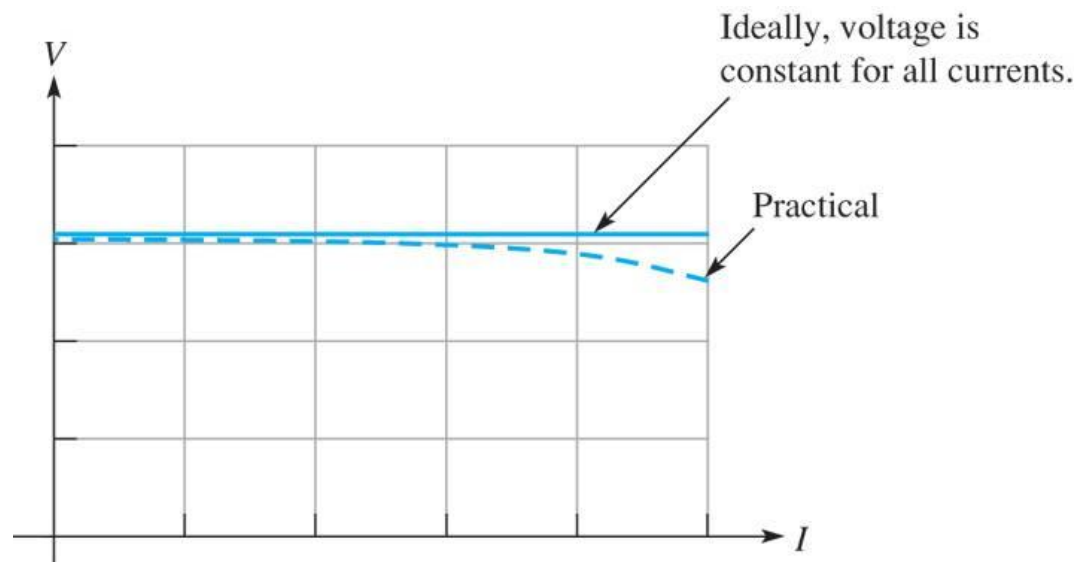
- Batterier og solceller er likespenningskilder hvor spenning kommer fra kjemiske reaksjoner eller konvertering av lys
- Generatorer lager vekselspenning ved omdanning av mekanisk bevegelsesenergi, f.eks vind, fossefall eller havbølger



Dad, do we zap in AC or DC?

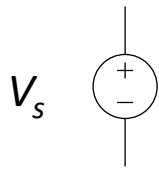
Spenningskilder (forts)

- Spenningskilder kan enten være *ideelle* eller *ikke-ideelle (praktiske)*
- En ideell kilde leverer konstant spenning uavhengig av strømmen kilden leverer
- I virkeligheten vil spenningen synke når strømmen øker

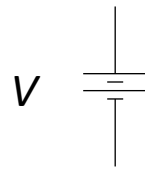


Spenningskilder (forts)

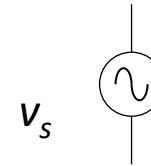
- Symboler for spenningskilder er



Likespenningsskilde
(DC-spenning)



Batteri
(DC-spenning)

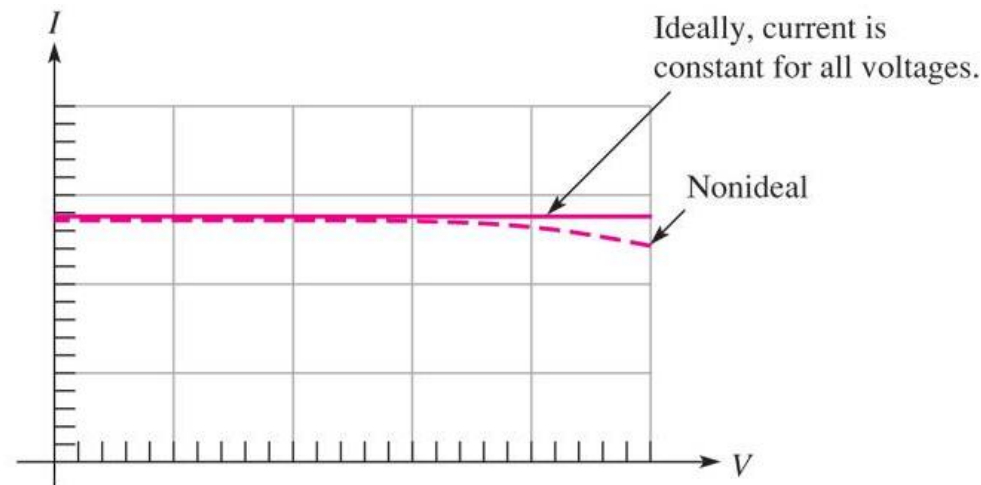
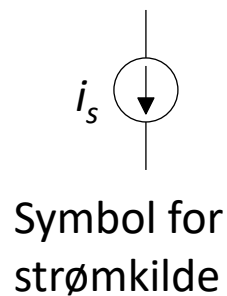


Vekselspenningsskilde
(AC-spenning)

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

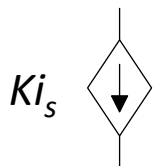
Strømkilder

- Strømkilder kan enten være **ideelle** eller **ikke-ideelle** (også kalt «praktiske» eller «fysiske»)
- En ideell strømkilde leverer **konstant** strøm, uavhengig av spenningen over kilden
- I virkeligheten vil spenningen **synke** når strømmen øker

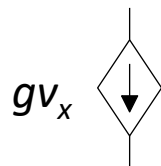


Oppsummering av kilder

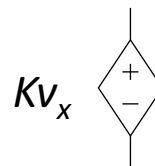
- Kilder klassifiseres også ut fra en annen egenskap:
 - **Uavhengig**: Strømmen eller spenningen er ikke avhengig av andre strømmer eller spenninger
 - **Avhengig**: Strømmen eller spenningen varierer i takt med en annen strøm eller spenning



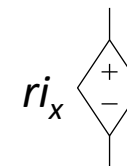
Strømkontrollert
strømkilde



Spenningskontrollert
strømkilde



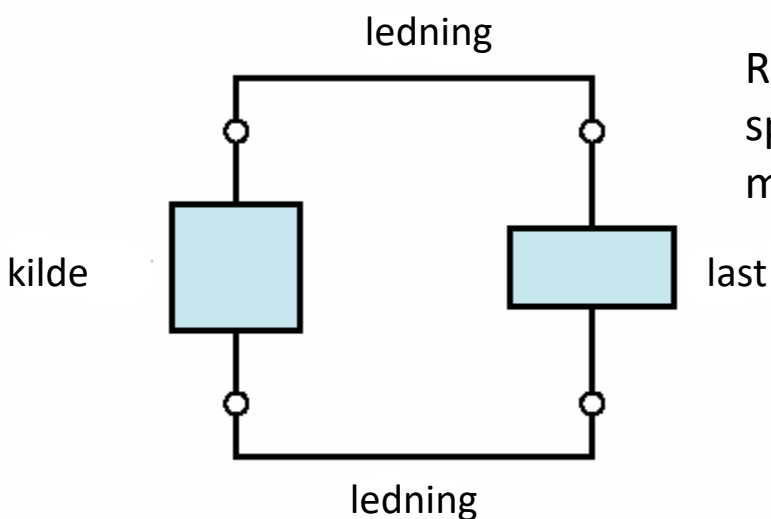
Spenningskontrollert
spenningskilde



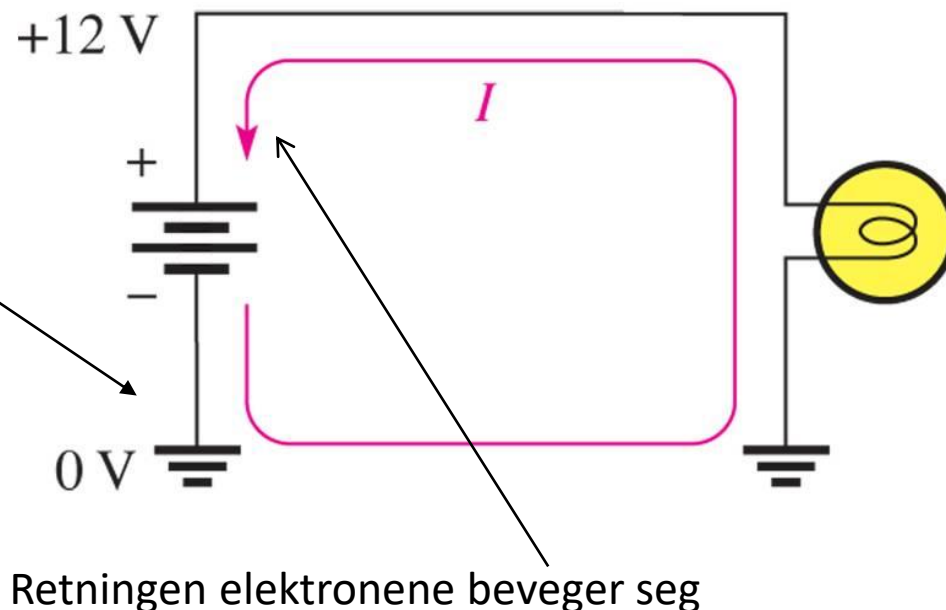
Strømkontrollert
spenningskilde

Elektrisk krets

- En **elektrisk krets** er en sammenkopling av elektriske elementer slik at elektrisk strøm beveger gjennom den
- Vanligst at strømretningen vises fra '+' til '-', selv om det er elektroner som beveger seg (fra '-' til '+')



Referansepunkt som
spenninger i kretsen
måles relativt til



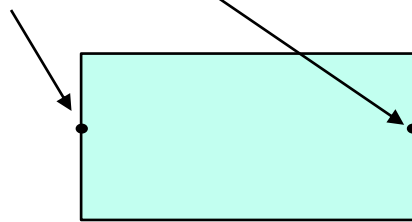
Elektroniske komponenter

- Begrepsbruk: elektrisk \approx elektronisk
- En krets består av ledere og komponenter (elementer)
- Elementer kan enten være **aktive** eller **passive**
- Strøm- og spenningskilder er **aktive** elementer
- Resistorer, kondensatorer og spoler (induktorer) er **passive** elementer
- Passive elementer kalles noen ganger for **last**

- Litt forenklet er forskjellen mellom passive og aktive elementer
 - **Aktive** elementer produserer eller tilfører energi som overføres gjennom strøm
 - **Passive** elementer omdanner energien fra en kilde til en annen form for energi (lys/varme/mekanisk bevegelse), eller lagrer energien (kortvarig)

Elektroniske komponenter (forts)

- En komponent (etelement) har minst to tilkoblingspunkter eller **terminaler**



- En strøm kan gå gjennom en terminal (enten inn eller ut)
- En terminal har en spenning målt i forhold til en annen terminal eller et annet punkt
 - Et elektrisk felt måles alltid mellom to punkter
- Komponenter tegnes ofte som en firkant
 - Men de vanligste typene har egne symboler

Elektroniske komponenter (forts)

- Virkemåten til en komponent kan beskrives ved hvordan strømmen inn/ut varierer i forhold til spenningsforskjellen mellom inngangen og utgangen
- Denne sammenhengen kan tenkes på som et matematisk funksjon som beregner en strøm eller spenning (utgang) som funksjon av en strøm eller spenning (inngang)
- Funksjonen kan beskrives med alt fra enkle lineære uttrykk til kompliserte uttrykk med mange ikke-lineære ledd
 - Stor nøyaktighet krever som regel kompliserte uttrykk

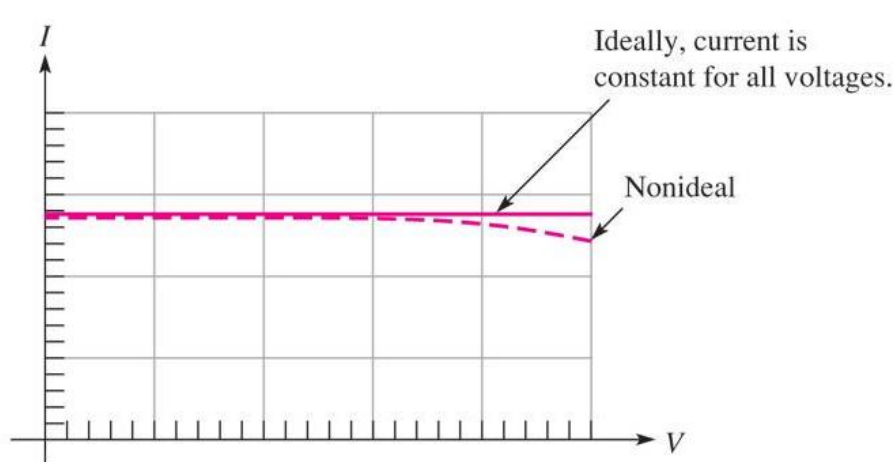


Elektroniske komponenter (forts)

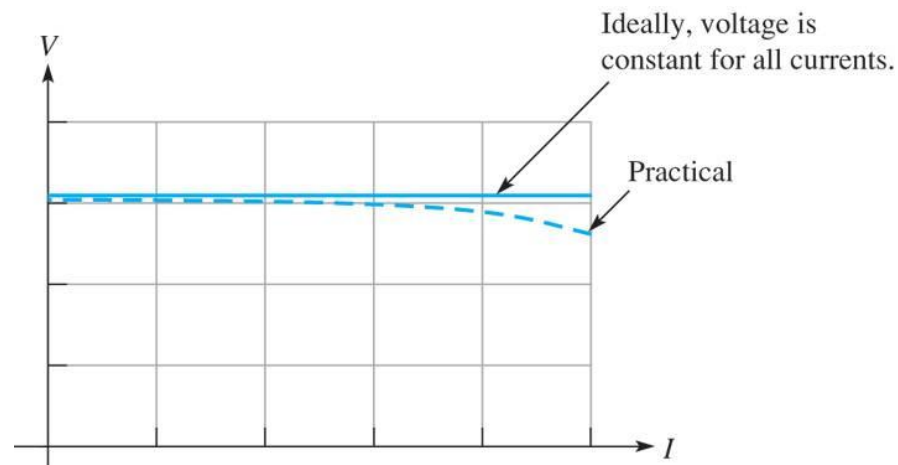
- Ulike kombinasjoner av strømmen/spenningen på inngangen/utgangen brukes for å beskrive virkemåten, f.eks
 - . *Strømmen ut* varierer som funksjon av *strømmen inn* og/eller *spenningen inn*
 - . *Spenningen ut* varierer som funksjon av *strømmen inn* og/eller *spenningen inn*
 - . *Mao: både strøm og spenning kan være uavhengige og avhengige variable*
- Vi velger oftsest en funksjon som sier noe om egenskapen vi er interessert i eller som beskriver virkemåten til komponenten
- Noen ganger trenger vi å si hvordan strømmen eller spenningen varierer som funksjon av tid eller frekvens
- Vi trenger flere ulike funksjoner for å beskrive ulike aspekter ved oppførselen til en komponent

Elektroniske komponenter (forts)

- Eksempel: En I - V eller *strøm-spenning karakteristikk* er en funksjon med I (el. V) på x-aksen og V (el. I) på y-aksen:



Strømmen varierer som funksjon av spenningen



Spenningen varierer som funksjon av strømmen

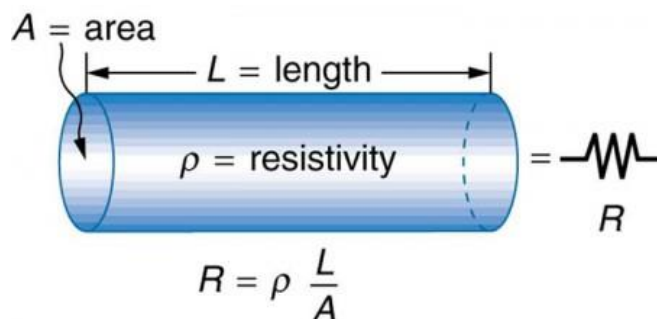
- En I - V karakteristikk visualiserer hvordan en komponent fungerer
 - En graf er som regel lettere å lese enn et komplisert matematisk uttrykk
 - Mye brukt ved simuleringer og fysiske målinger i lab

Oppsummering elektroniske komponenter

- En elektronisk komponent er en fysisk «duppeditt» som brukes i en elektronisk krets
- Vi trenger et eget «språk» for å beskrive hva en komponent gjør:
 - Vi kan se på komponenten som en matematisk funksjon med en strøm eller spenning som inngangsverdi og som «lager» en strøm eller spenning på utgangen
- Vi kan ha ulike (enkle eller kompliserte) matematiske funksjoner for å beskrive ulike sider av oppførselen til en komponent
- I-V karakteristikken
 - sier hvordan spenningen eller strømmen på utgangen varierer når spenningen eller strømmen på inngangen varierer
 - er kanskje den letteste måten å huske og se for seg hva en elektronisk komponent faktisk og hvorfor vi trenger den.
- *Vi kommer til å bruke I-V karakteristikk mye i IN1080 sammen med enkle matematiske uttrykk for å beskrive elektroniske komponenter*

Resistivitet og resistans

- **Resistivitet ρ** er en egenskap ved et bestemt materiale og sier noe om hvor stor motstand det har mot elektrisk strøm
- **Resistans R** er motstanden mot elektrisk strøm til en bestemt resistor og er avhengig av resistiviteten til materialet, i tillegg til bla lengden og tverrsnittet som strømmen beveger seg gjennom
- Hvis resistoren er sylinderformet med lengde L og tverrsnitt A er sammenhengen mellom ρ og R



Resitivitet og resistans (forts)

- Resistansen gjør at noe av bevegelsesenergien til elektronene blir til lys eller varme
- En *ideel* resistor endrer ikke resistans hvis f.eks. temperaturen, trykket, frekvensen osv endrer
 - Noen ganger ønsker vi at resistoren skal være ideel
 - Andre ganger kan man utnytte at resistansen varierer til f.eks å måle temperatur
- *Ledere* ønsker man skal ha veldig lav eller ingen resistans for å unngå tap av energi
- En *ideel* leder har ingen motstand, dvs 0Ω
- *Isolatorer* må ha veldig høy resistans

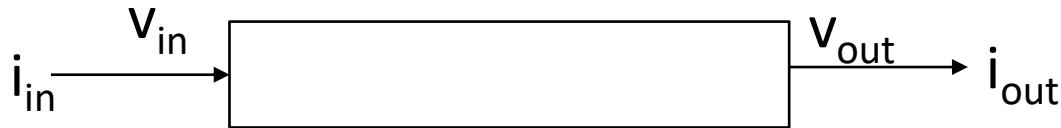
Resitivitet og resistans (forts)

- Motstand og impedans betyr stort sett samme
- Resistans er en spesiell type motstand eller impedans
 - Skal se på to andre typer impedans senere i kurset
- Noen ganger ønsker vi å beskrive hvor godt en komponent *leder* strøm, ikke hvor mye den *bremser* strøm
 - Ledningsevne heter *konduktans*, måles i *siemens* og er definert som

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

Resistorer

- En *resistor* eller (ohmsk) motstand er en elektronisk komponent:



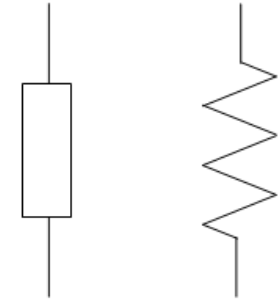
- I en resistor vil $i_{out} = i_{in}$ siden antall elektroner som går inn må komme ut på den andre siden (elektronene blir ikke borte inne i resistoren)
- Derimot bremses elektronene og det trengs en spenningsforskjell mellom inngangen og utgangen for å “skyve” dem igjennom, dvs $V_{out} < V_{in}$
- *Resistansen* R , en egenskap ved en resistor, bestemmer hvor mye de bremses opp og hvor mye energi de taper
 - Resistansen avhenger bla av hva resistoren er laget av, fysisk størrelse og temperatur

Resistorer (forts)

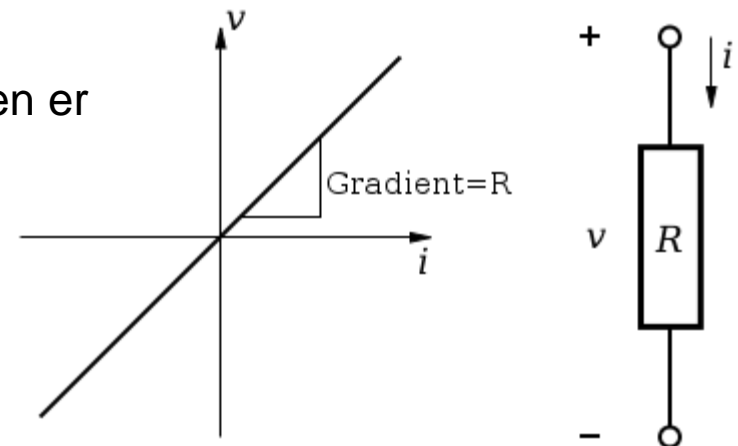
- Sammenhengen mellom R , strømmen I (enten i_{in} eller i_{out}) og spenningsfallet V ($v_{in} - v_{out}$) er gitt av Ohms lov:

$$R = \frac{V}{I} \leftrightarrow V = R \cdot I$$

- Måleenheten for resistans er **Ohm** som har symbolet Ω
- En resistor har 1 Ohm i motstand når spenningsfallet over den er 1 volt og strømmen gjennom den er 1 A
- Vi kan beregne R for en ukjent resistor:
 - Mål først spenningsfallene for minst to strømmer
 - Tegn en rett linje som forbinder målepunktene
 - Linjen er en I-V karakteristikk for resistoren hvor R er stigningstallet



To ulike symboler for resistor

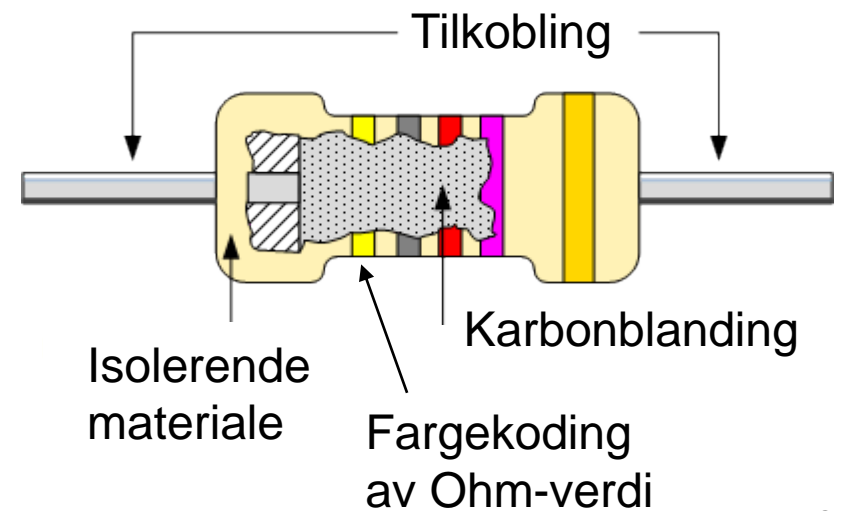


Ledningsevne

- I elektronikk er vi interessert i mye rart, blant annet hvor godt eller dårlig et materiale leder strøm
- Høyere motstand (impedans) betyr dårligere ledningsevne fordi ladninger bremses kraftigere opp
 - **Leder:** Materiale (stort sett metaller) med lav impedans og som leder elektrisk strøm godt, f.eks kopper, gull, aluminium og sølv
 - **Halvleder:** Materiale som leder strøm dårlig, men som kan tilsettes stoffer som bedrer lederegenskapene. Viktige i komponenter som transistorer og dioder. Silisium, germanium og gallium er eksempler på halvledere
 - **Isolator:** Leder ikke strøm og har svært høy impedans. Eksempler på isolatorer er glass, porselen, gummi, plast, papir og tørr luft
- Både ledere, halvledere og isolatorer behøves i elektroniske og elektriske systemer

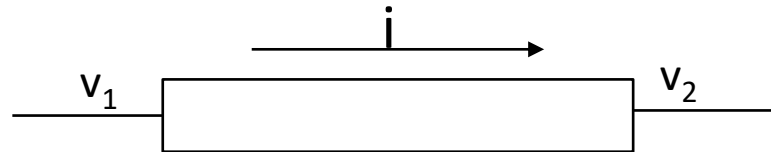
Resistorer

- Fargekoding brukes for å angi Ohm og prosentvis avvik eller nøyaktighet i forhold til eksakt verdi
- Resistorer lages vanligvis av karbon, ulike metaller eller metall-oksyd film
- På integrerte kretser er det vanlig å bruke halvledere også som resistorer



Oppgave: Resistorer

- **Oppgave** : Vi måler følgende strømmer og spenninger for to resistorer.
 - 1) Siden spenning alltid er definert som *potensialforskjell*, hvordan er v_1 og v_2 målt?



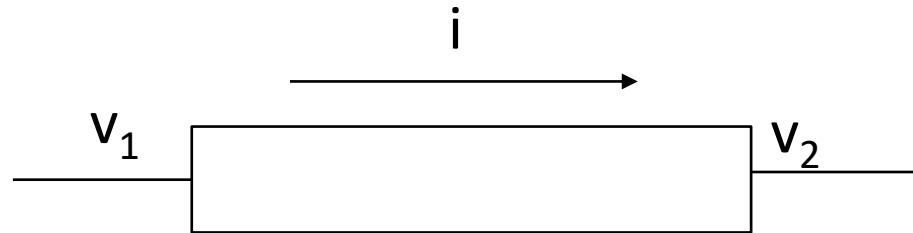
- 2) Finn resistansen til resistor 1 og resistor 2 gitt strømmene og spenningsfallene:

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: Ledningsevne

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



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

Oppgave : Lineære vs ikke-lineære resistorer

- Resistansen R til en ideel, lineær resistor er konstant, uansett uansett ytre faktorer, strøm og spenning
- Resistansen til fysiske resistorer er ikke konstant
- **Spørsmål 1:** Hvorfor ønsker vi at R skal være konstant?
- **Spørsmål 2:** Hvorfor er det allikevel ikke et problem at R kan variere?
- **Spørsmål 3:** Hva må vi derfor ta hensyn til når vi velger resistor?
- **Spørsmål 4:** Hva kan man bruke en motstand til hvis resistansen varierer med
 - a) Temperatur?
 - b) Mekanisk påvirkning?