

Forelesning nr.6 analog elektronikk

IN1080 Mekatronikk

Effekt

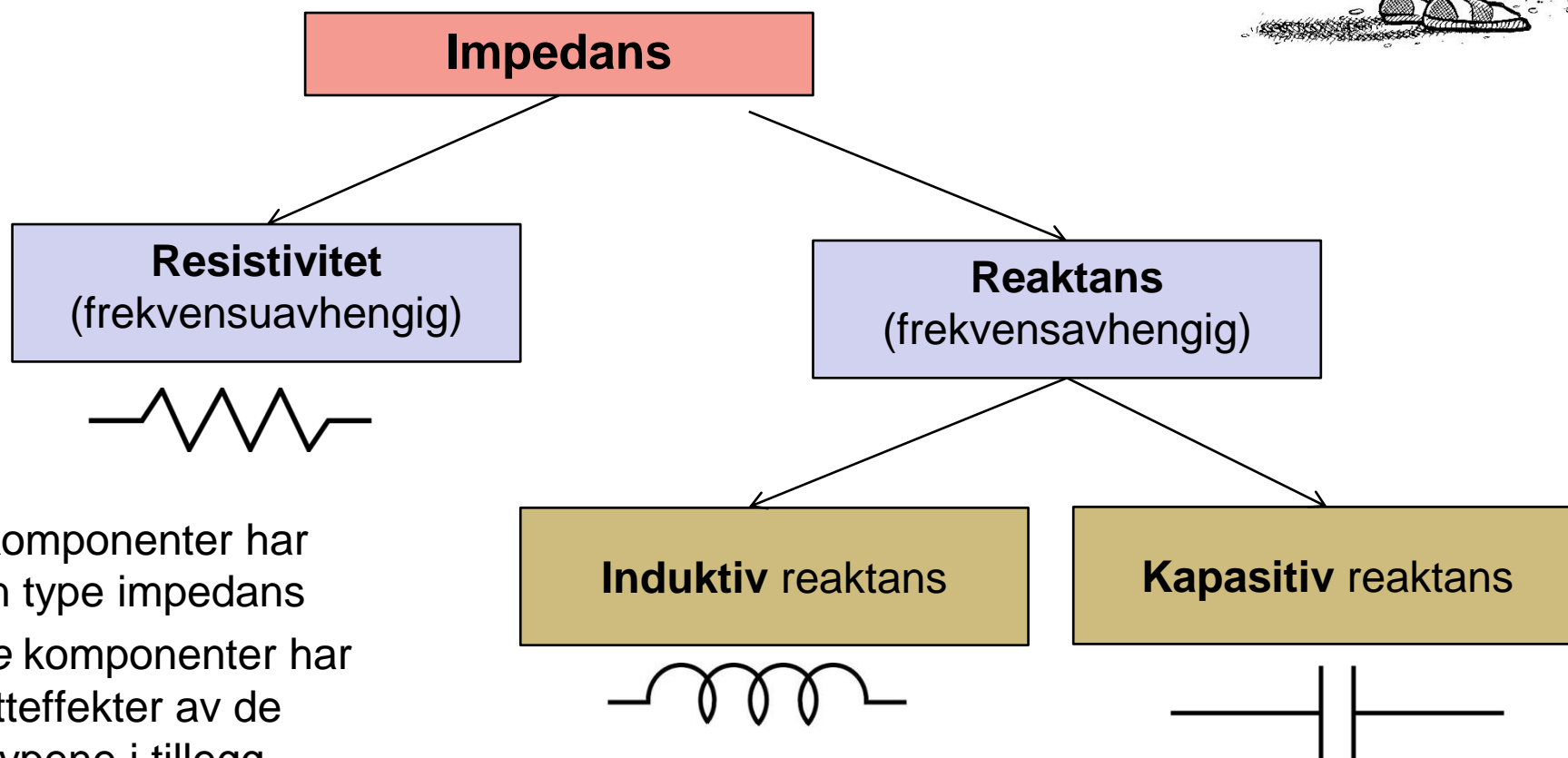
Wheatstonebroer

Dioder



Ulike typer impedans

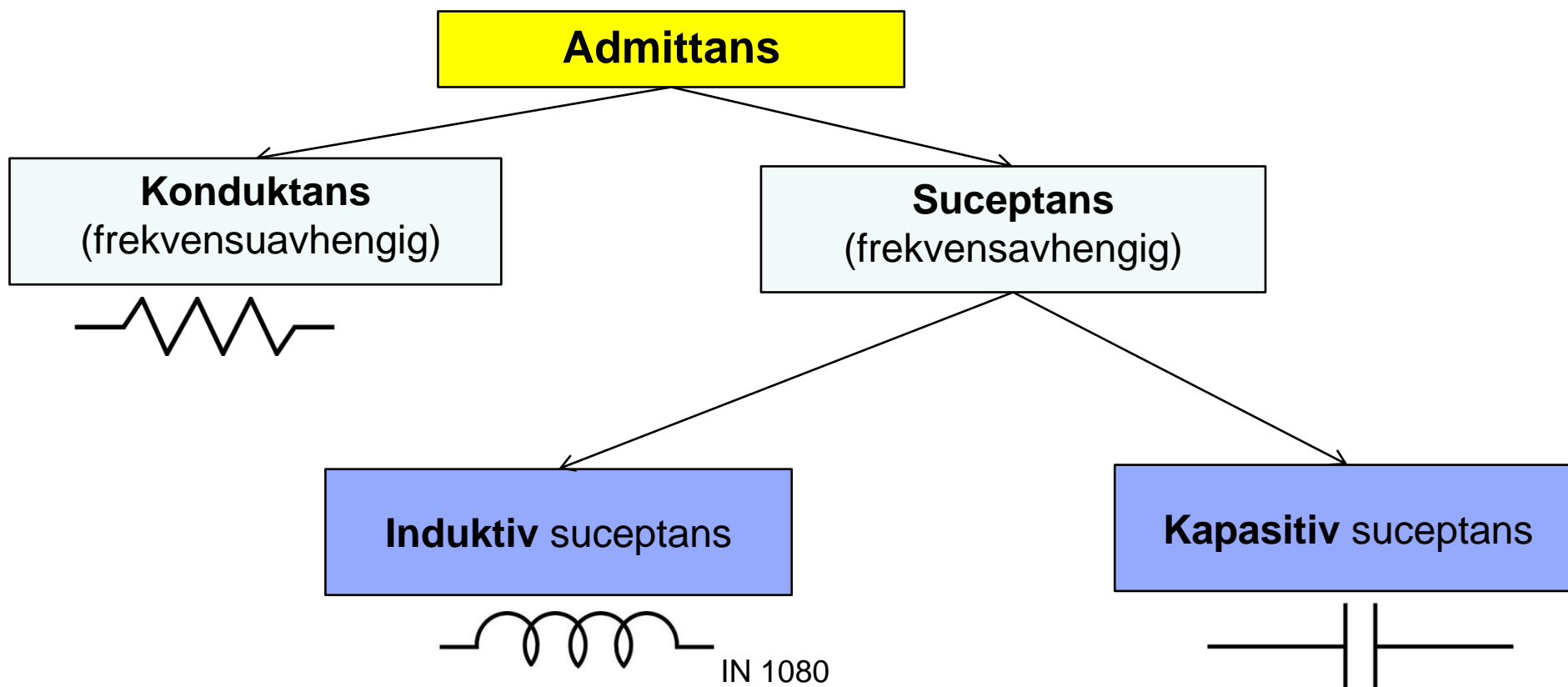
- Forholdet mellom spenning og strøm (V/I) er *impedans*



- *Idelle* komponenter har bare én type impedans
- *Fysiske* komponenter har parastitteffekter av de andre typene i tillegg

Ulike typer admittans

- Forholdet mellom strøm og spenning (I/V) kalles *admittans*, og er det motsatte av impedans.



Energi og effekt

- Energi er ”evnen til å utføre arbeid”
- Energi måles i joule (J) og er uttrykt ved grunnenhetene

$$J = \frac{kg \times m^2}{s^2}$$

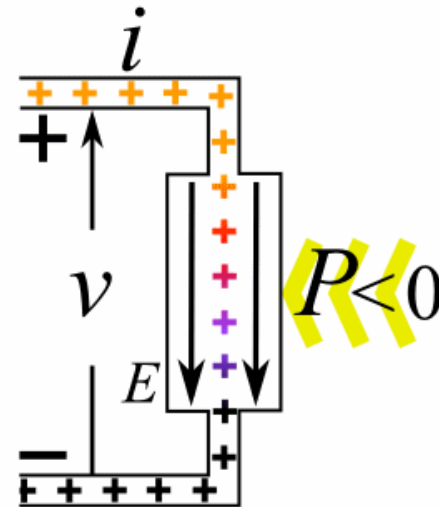
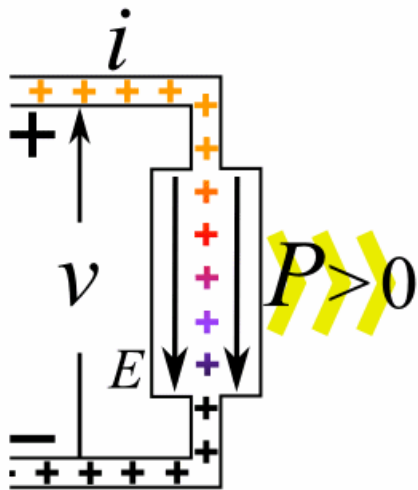
- *Effekt P* måles i *watt (W)*, defineres som ”arbeid per tidsenhet” og uttrykkes ved

$$P = \frac{J}{s}$$



Effekt, spenning og strøm

- Når en strøm I går gjennom et element med spenning V over terminalene, er effekten gitt ved $P=VI$
- Effekt kan både være **positiv** og **negativ**:
 - Positiv: Elementet *absorberer* effekt (og gjør effekten om til en annen energiform)
 - Negativ: Elementet *leverer* effekt (til andre elementer i kretsen)



Energitap i resistorer

- Resistans gjør at en del av energien til elektroner i bevegelse blir til *varme* eller *lys*
 - Ønsket: Produksjon av varme eller lys (f.eks. varmeovner eller lyspærer)
 - Uønsket: Overføringstap eller varme som må ledes bort
- Effekt er gitt av følgende formel:

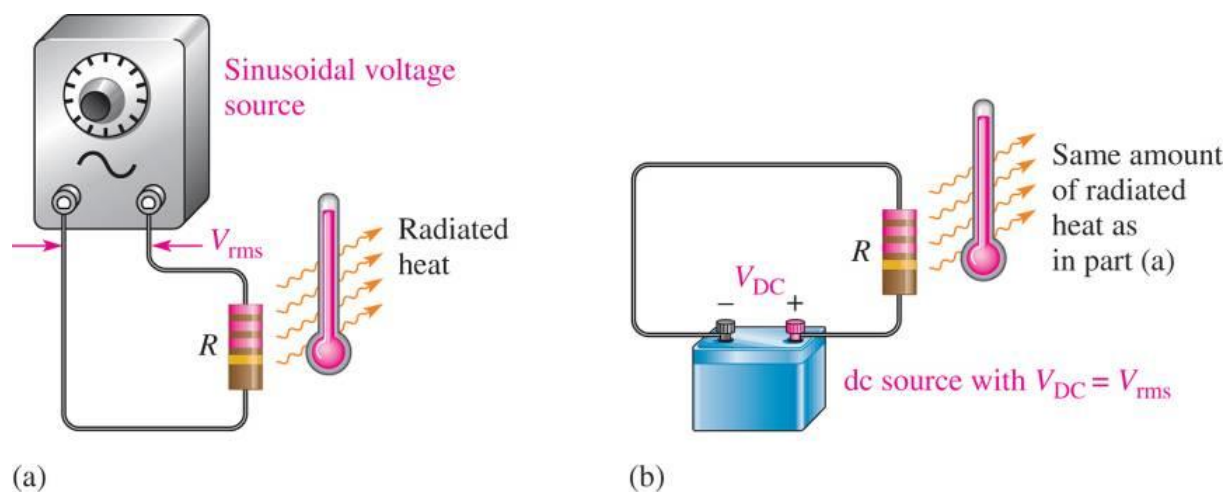


$$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$$



RMS-verdi

- Når vi snakker om effekt i ac-kretser er det nesten alltid RMS-effekt
- Root-Mean-Square (RMS)-effekt til et sinussignal angir hva et tilsvarende dc-signal må være for å produsere samme effekt i en resistor



RMS-verdi (forts)

- Sammenhengen mellom RMS-verdien, peakverdier og effekt er gitt av

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_p \approx 0.707V_p$$
$$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_p \approx 0.707I_p$$
$$P_{avg} = V_{rms}I_{rms} = RI_{rms}^2 = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

- Sammenhengen mellom RMS-verdi og peakverdi er:

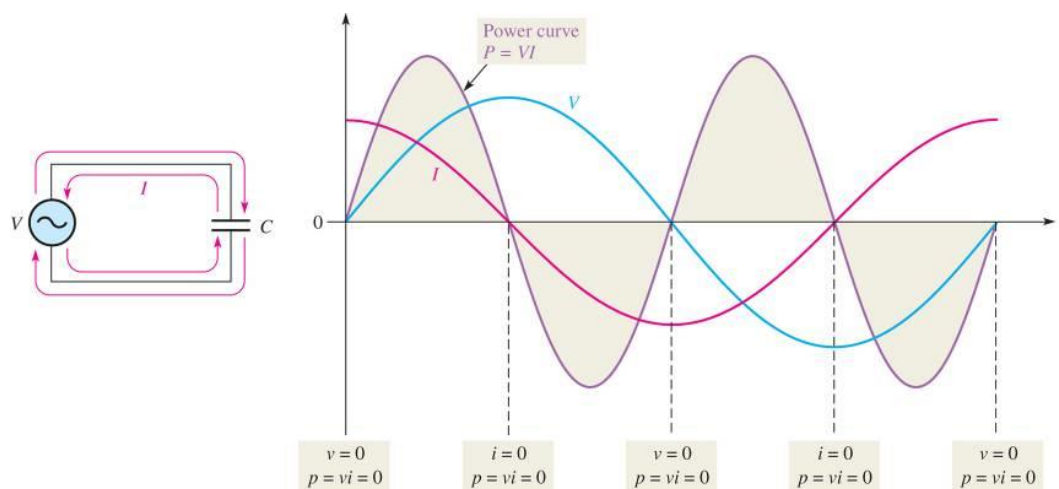
$$V_p = \sqrt{2}V_{rms} \approx 1,414V_{rms}$$

$$I_p = \sqrt{2}I_{rms} \approx 1,414I_{rms}$$

- Kondensatorer og induktorer både avgir og absorberer effekt
- I strømnettet finnes både induktiv og kapasitiv last og må tas hensyn til dette når man dimensjonerer strømnettet
 - Elbilladere, transformatorer og elektromotorer gir induktiv last
 - Nedgravde kabler gir kapasitiv last

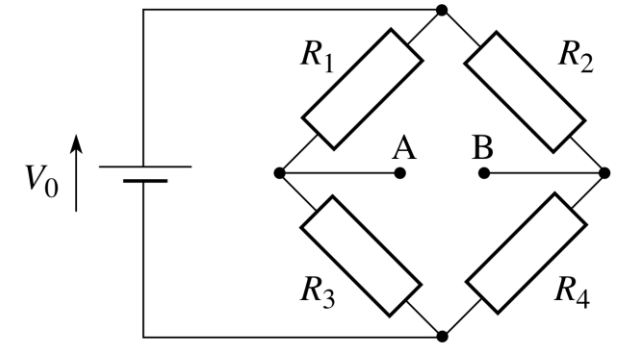
Effekt i kondensatorer

- En ideel kondensator vil ikke forbruke energi, men kun lagre og deretter avgis energi
- Effekten som lagres når strøm og spenning har samme polaritet vil avgis når strøm og spenning har motsatt polaritet

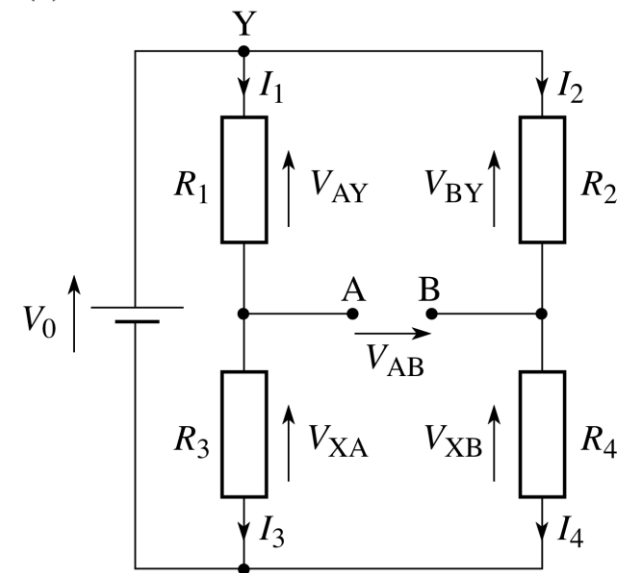


Wheatstone-bro

- **Oppgave:** Vi ønsker å måle en resistors ohm-verdi med stor nøyaktighet
- **Utfordring:** Dette krever at vi kan måle både strøm og spenning med stor nøyaktig
- **Løsning:** Wheatstone-broen, en seriell-parallell krets som består av fire motstander hvorav den ene har ukjent resistans
- Wheatstone-broen «avleser» den ukjente resistansen som en spenning med høy presisjon
- En variant av Wheatstone-broen brukes i likeretter-kretser for å omdanne en ac-spenning til en dc-spenning



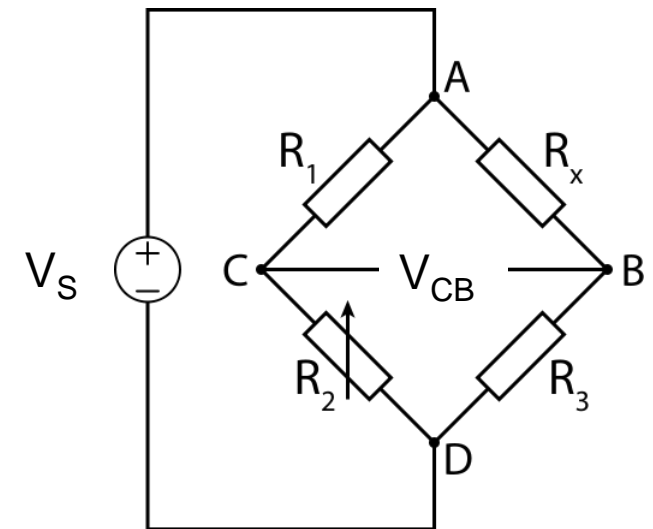
(a)



(b)

Wheatstone-bro (forts)

- En av de kjente resistorene kan være regulerbar
- Hvis spenningen $V_{CB} = 0$ volt er broen *balansert*
- Hvis $V_{CB} \neq 0$ volt er broen *ubalansert*
- Analyserer sammenhengene mellom V_S , V_{CB} , R_1 , R_2 , R_3 og R_x for de to tilfellene



Balansert Wheatstone-bro

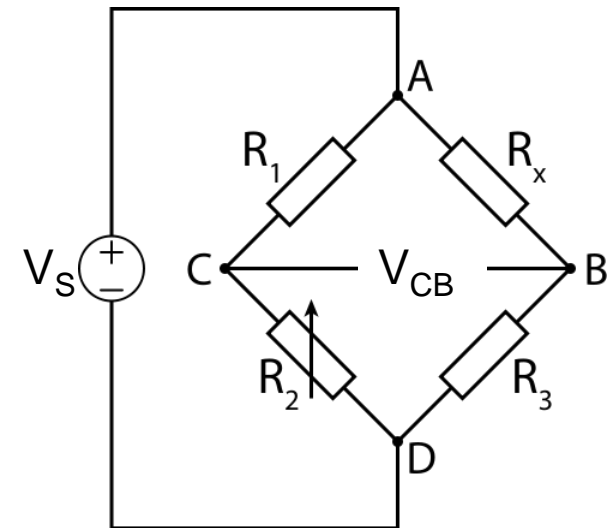
- Hvis spenningen $V_{CB} = 0$ volt, er spenningsfallet V_1 over R_1 og V_x over R_x like store, dvs $V_1 = V_x$
- Som en konsekvens må da $V_2 = V_3$

- Da må også $\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_x}{V_3}$

- Bruker Ohms lov og får

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_x R_x}{I_3 R_3} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3} \Rightarrow R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

- Ved å variere R_2 (og lese av verdien) slik at $V_{CB} = 0$ volt, kan R_x utledes *kun* fra de andre motstandsverdiene



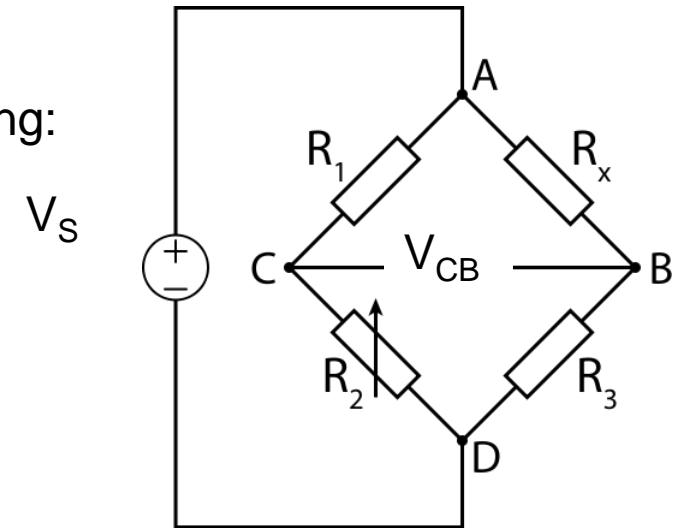
Ubalansert Wheatstone-bro

- Hvis R_x er en resistor som f.eks varierer med temperatur, vil ikke nødvendigvis $V_{BC} = 0$ volt
- Antar D er virtuell jord og bruker formlene for spenningsdeling:

$$V_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_S \quad V_B = \frac{R_3}{R_x + R_3} V_S$$

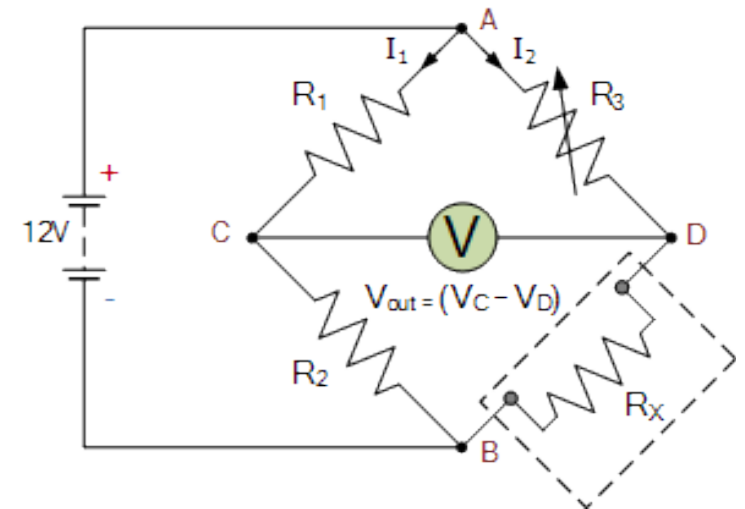
- Dette gir $V_{CB} = V_C - V_B = V_S \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_x + R_3} \right)$

- Hvis R_1, R_2, R_3 og V_S er kjent og V_{CB} kan måles, kan vi beregne R_x
- Hvis R_x er en *sensor* som måler en fysisk parameter (f.eks. temperatur) er vi ikke interessert i den faktiske resistansen, men endringen i V_{CB} fra et kjent referansepunkt



Krets for å måle temperatur

- R_3 er en regulerbar motstand for å sette et referansepunkt/nullstille målekretsen
- R_x er en temperaturavhengig resistor; ved $T_p = 25^\circ$ er $R_x = 1\text{k}\Omega$
 - R_3 settes til $1\text{k}\Omega$ slik at $V_{CD} = 0\text{v}$ (balansert Wheatstone-bro)
 - $R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{k}\Omega$
- Ved $T_p = 50^\circ$ er $R_x = 900\ \Omega$. Hva blir at V_{CD} ?
 - $V_C = R_2 / (R_1 + R_2) * 12\text{v} = 1\text{k}\Omega / (1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) * 12\text{v} = 6\text{v}$
 - $V_D = R_x / (R_x + R_3) * 12\text{v} = 900\Omega / (900\Omega + 1\text{k}\Omega) * 12\text{v} = 5,68\text{v}$
 - $V_{CD} = V_C - V_D = 6\text{v} - 5,68\text{v} = 0,32\text{v}$
- Ved $T_p = 60^\circ$ er $R_x = 850\ \Omega$. Da blir V_{CD}
 - $V_C = R_2 / (R_1 + R_2) * 12\text{v} = 1\text{k}\Omega / (1\text{k}\Omega + 1\text{k}\Omega) * 12\text{v} = 6\text{v}$ (dvs uendret)
 - $V_D = R_x / (R_x + R_3) * 12\text{v} = 800\Omega / (800\Omega + 1\text{k}\Omega) * 12\text{v} = 5,33\text{v}$
 - $V_{CD} = V_C - V_D = 6\text{v} - 5,33\text{v} = 0,67\text{v}$



Halvledere

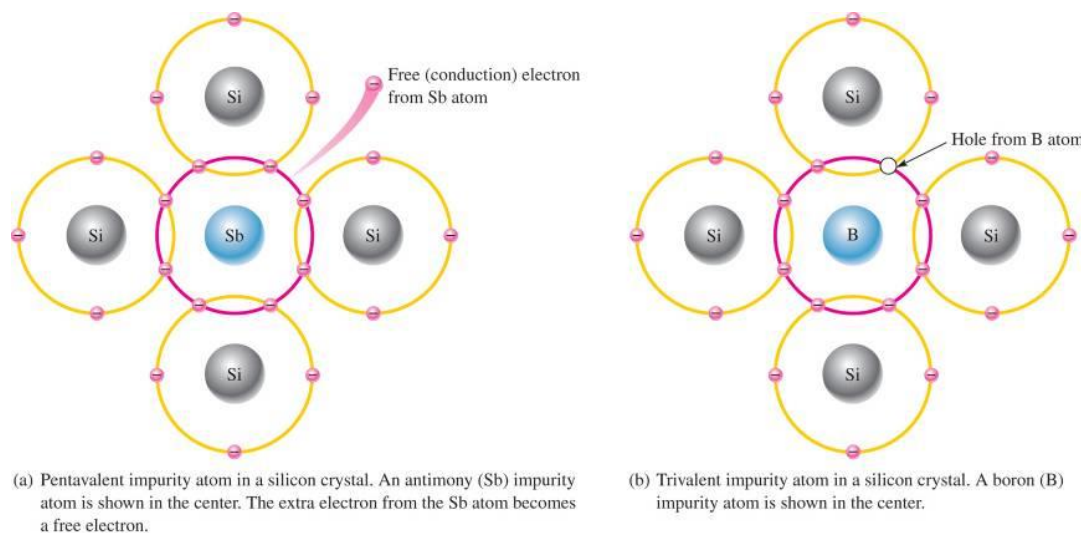
- **Halvledere** er ledere som under visse betingelser leder strøm, og under andre ikke
- **Transistorer** er halvledere som kan styres med en strøm eller spenning
 - Resistansen kan økes eller senkes gradvis vha en strøm eller spenning
- **Dioder** er halvledere som ikke kan styres
 - Retningen på strømmen avgjør om dioden leder (ingen motstand) eller sperrer (veldig høy motstand)

N- og P-type halvledere

- De fleste halvledere er laget av silisium
- Ren silisium leder strøm dårlig på grunn av få elektroner som kan bevege seg fritt
- Ved å tilsette urenheter (*doping*) bedres ledningsevnen ved at det blir flere frie elektroner eller flere hull (hull = ledig plass til elektroner)
- Doping kan enten være av *n-type* eller *p-type*, avhengig av om man vil øke antall frie elektroner eller antall hull

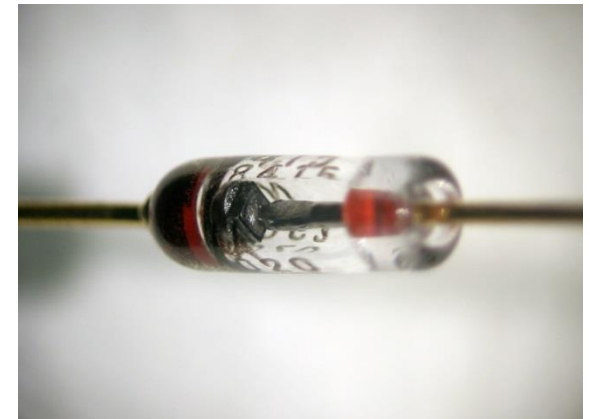
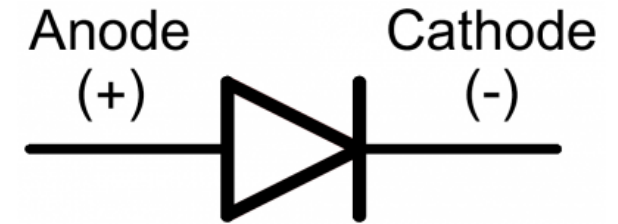
N- og P-type halvledere (forts)

- Hvis det er flere frie elektroner enn hull, er *elektronene majoritets-bærere* i N-type halvledere, og hullene er *minoritetsbærere*
- I P-type halvledere er det flere hull enn elektroner, og *hullene* er da *majoritetsbærere*, mens elektronene er *minoritetsbærere*

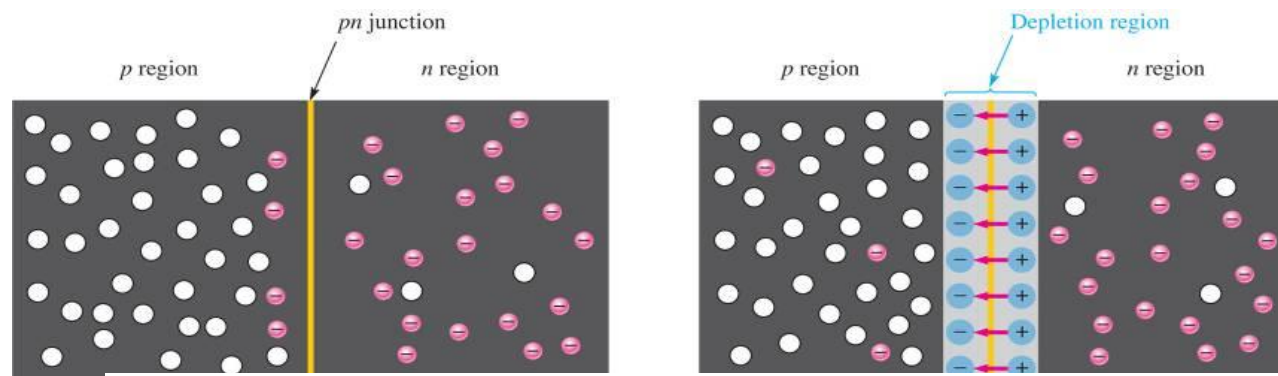


Dioder

- En diode leder strøm i bare én retning
 - «null» motstand for strøm i den ene retningen
 - «uendelig» motstand for strøm i motsatt retning
- En diode består av en *p-type* og *n-type* halvleder festet til hverandre; i snittflaten oppstår det en *pn-overgang*
- Siden det ene området har overskudd av frie elektroner og det andre av hull, vil elektroner i overgangsområdet «vandre» over til den andre siden
 - n-siden får et lite overskudd av positiv ladning, mens p-siden får overskudd av negativ ladning



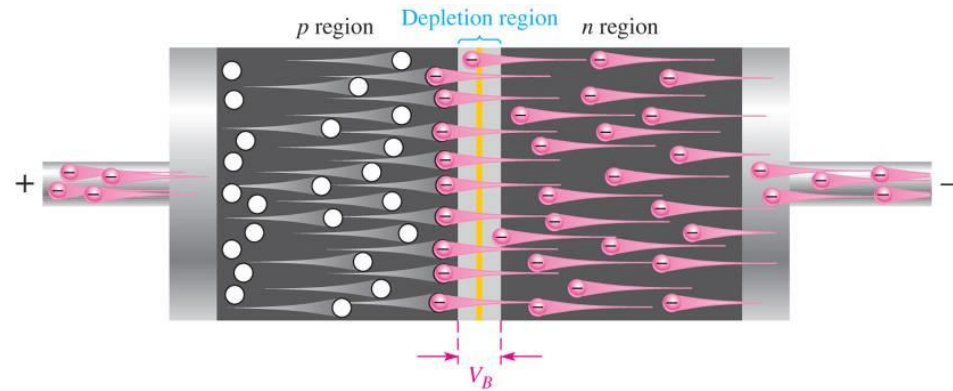
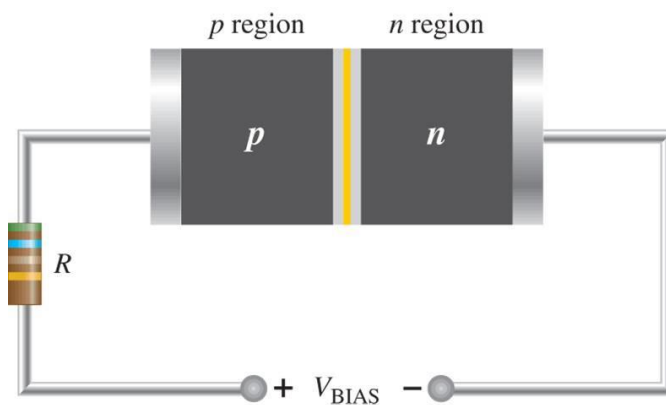
Dioder (forts)



- Området hvor det er opphopning av elektron-hull kalles for et *deplesjonsområde* som er tømt for frie elektroner
- Deplesjonsområdet har en spenningsforskjell (potensialbarriere) på ca 0.3-0.7 volt, avhengig av dopingmaterialet

Dioder (forts)

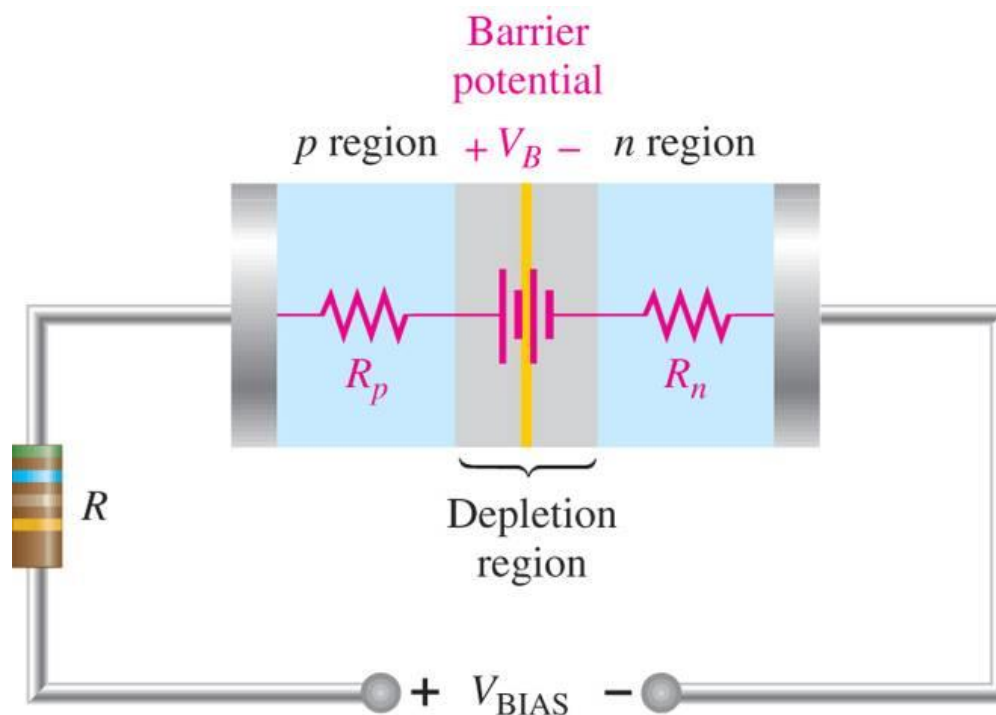
- Avhengig av polariteten til p -regionen i forhold til n -regionen vil dioden enten lede eller sperre for strøm



- Hvis p er mer positiv enn n -regionen (forover-modus), vil dioden lede strøm hvis V_{bias} er større enn potensialbarrieren

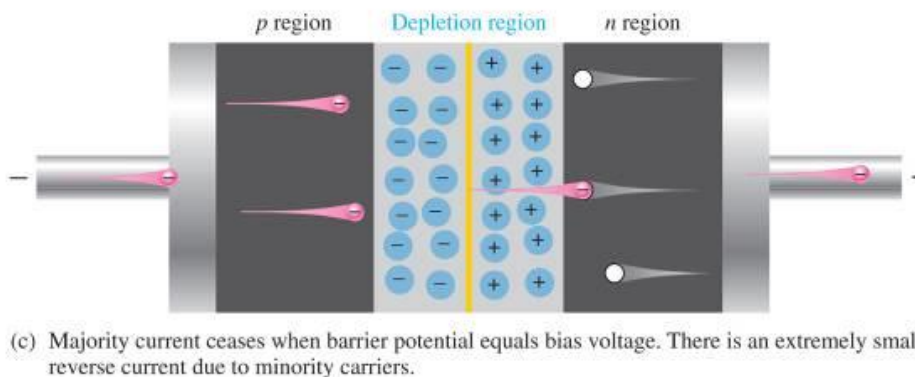
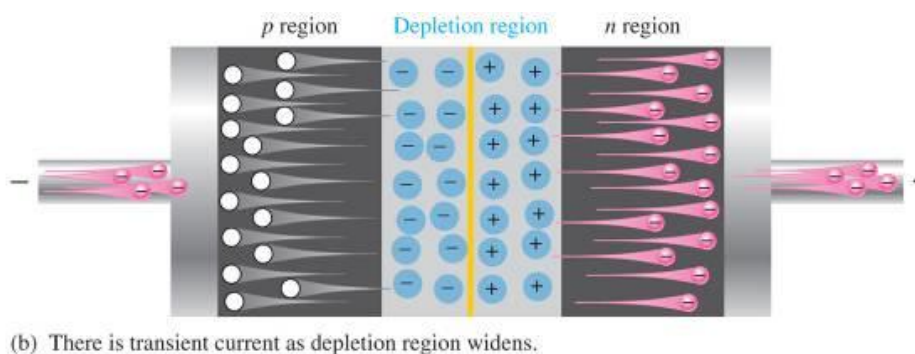
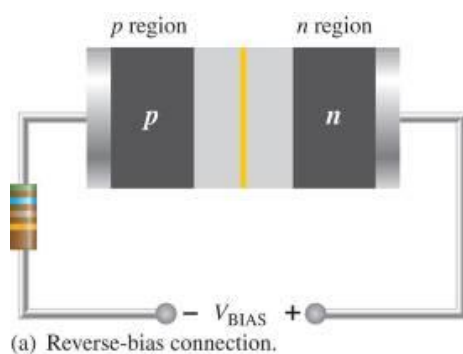
Dioder i forovermodus (dioden leder)

- Når dioden opererer i forover-modus, kan den modelleres som to motstander i serie med et batteri



Diode i reversmodus (dioden sperrer)

- Hvis p-regionen er mer negativ enn n-regionen, vil dioden være sperret (reverse bias)



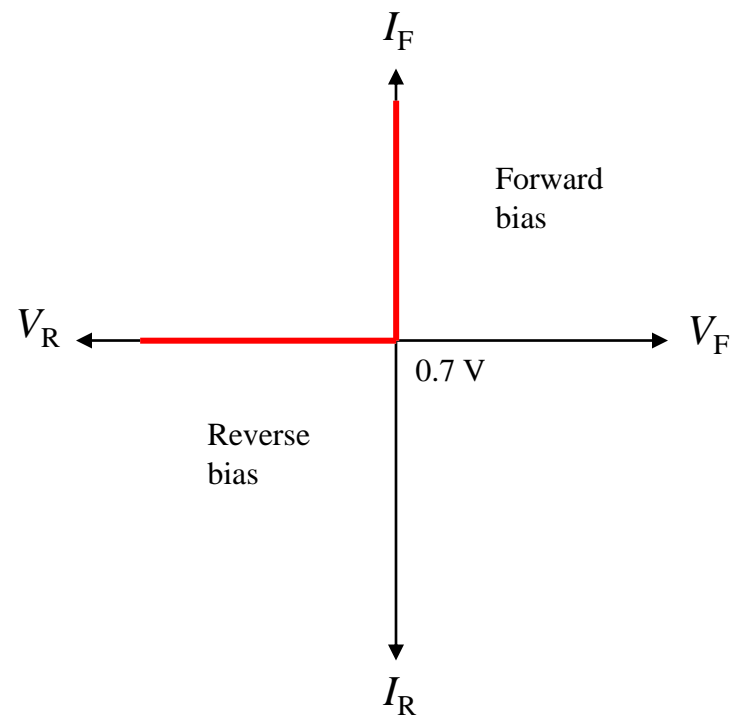


Sammenbrudd

- Hvis dioden opererer i revers (sperre)-modus og spenningen øker til et visst nivå (dvs blir spenningen blir mer og mer negativ), vil en vanlig diode til slutt bryte sammen og bli ødelagt
- Dioden vil da lede strøm i begge retninger (eller i verste fall brenner den opp og leder ikke strøm i noen retninger)
- Vanlige dioder blir permanent ødelagt av dette, men Zener-dioder tåler å «bryte sammen» og sperrer på nytt når spenningen blir mer positiv enn breakdown-spenningen

Diodemodell (1)

- For å forstå og bruke dioder er det enklest å se på sammenhengen mellom strømmen gjennom og spenningen over den, dvs. I-V karakteristikken
- I-V karakteristikken for en diode viser hvordan strømmen gjennom dioden varierer med spenningen.
- Strøm- og spenningsretningene har fått egne navn som sier om dioden leder eller sperrer
- I_F = strømmen når dioder leder, dvs strømmen i foroverretningen
- I_B = strømmen i reversretningen, dvs når dioden sperrer



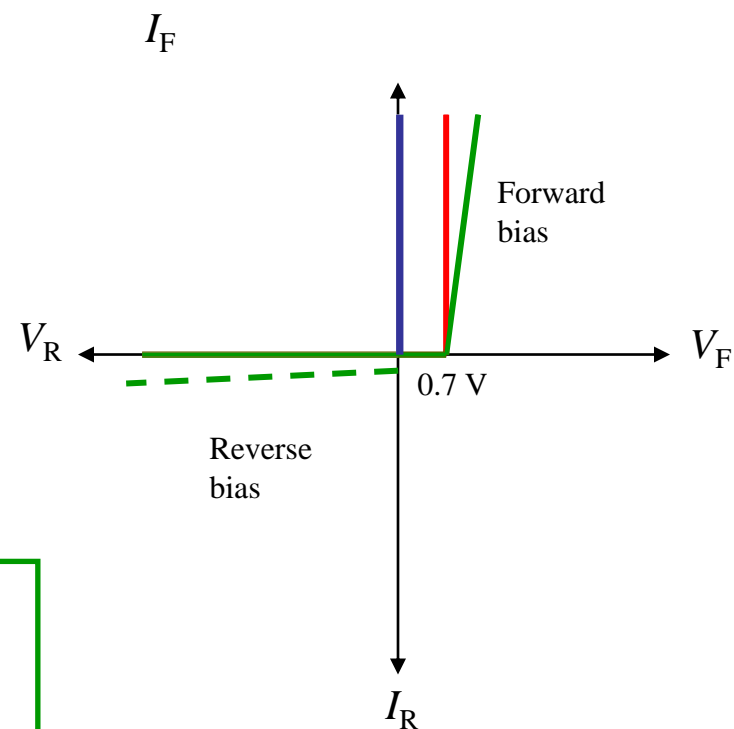
Diodemodell (2)

- For å bruke og forstå dioder trenger man å skjønne V-I karakteristikken

Enklest: dioden er en bryter som slår av/på ved 0 volt

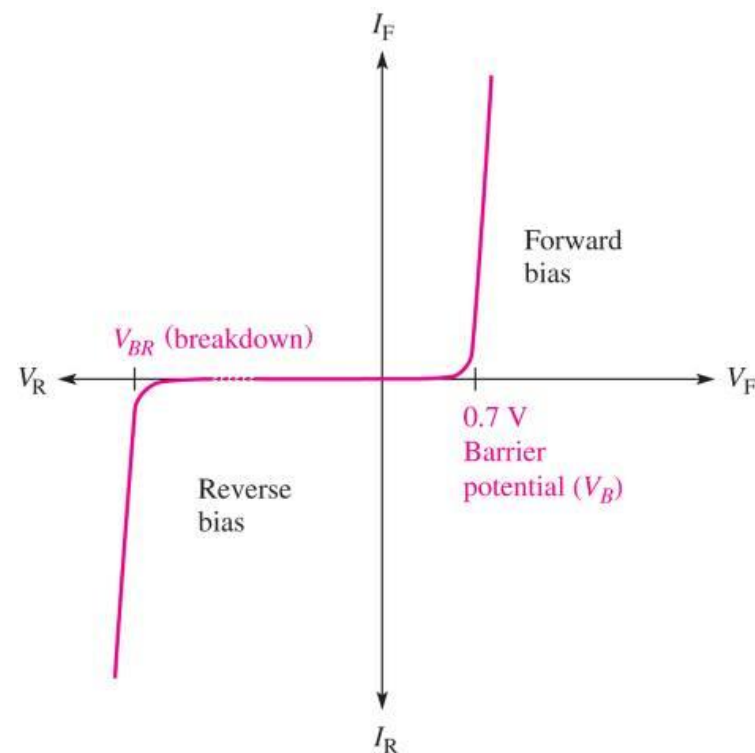
Mer realistisk: innslagspunktet er 0.7v (barrierespenningen)

Enda mer komplett: tar hensyn til barrierespenningen, motstand i foroverretningen, og i reversretningen



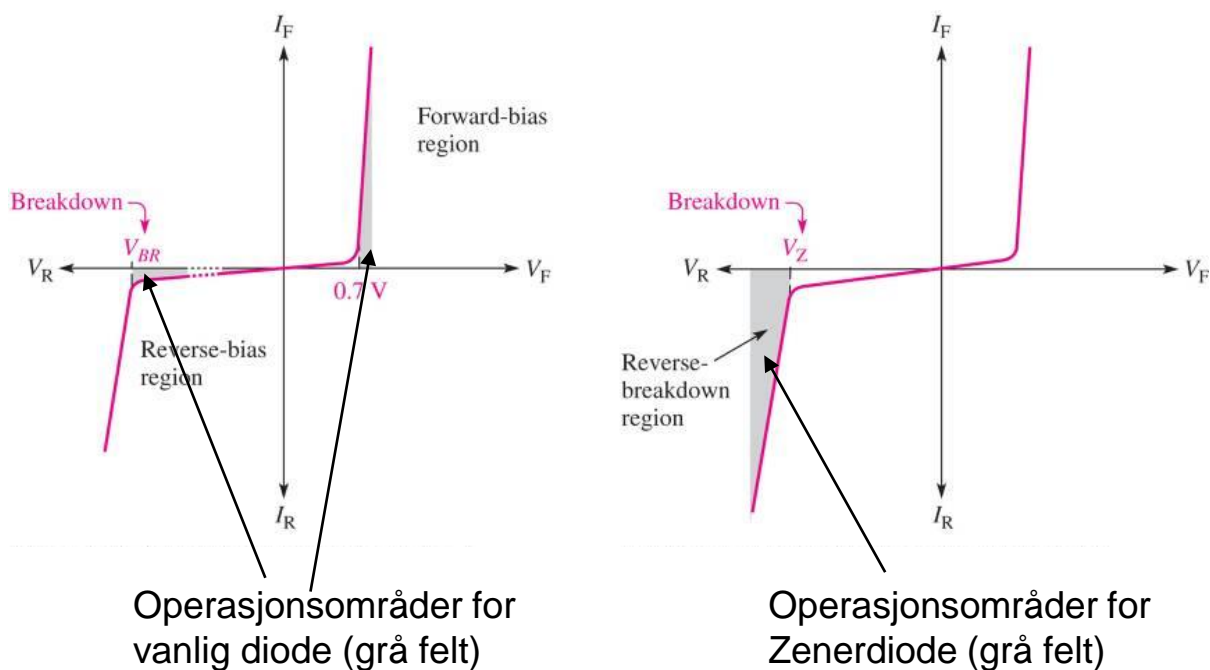
Diodekarakteristikk

- Diodekarakteristikken beskriver strømmen gjennom en bestemt type diode som funksjon av spenningen over den
- Mer nøyaktig enn forenklingene på forrige side
- I forover-retningen går det (nesten) ikke strøm hvis spenningen er lavere enn V_B
- I revers-retningen går det ikke strøm før V_{BR} nås
- $|V_{BR}|$ er typisk mye større enn $|V_B|$



Zenerdioder

- En Zener-diode tåler høy revers-spenning uten å ødelegges og er konstruert for å jobbe i break-down

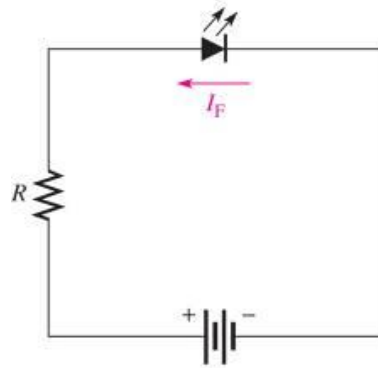


- Når Zener-dioden er i «reverse breakdown» har den litt motstand

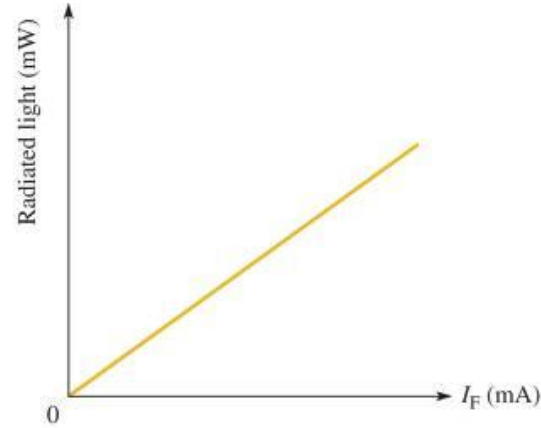
Spesialdioder (forts)

- En LED gir fra seg synlig lys når den opererer i foroverretningen
- Avhengig av halvledermaterialet og doping kan man produsere lysdioder i mange ulike farger

LED begynner å lyse når spenningen over den er $> V_d$
 V_B (kalt V_d for LED) er typisk $> 2v$



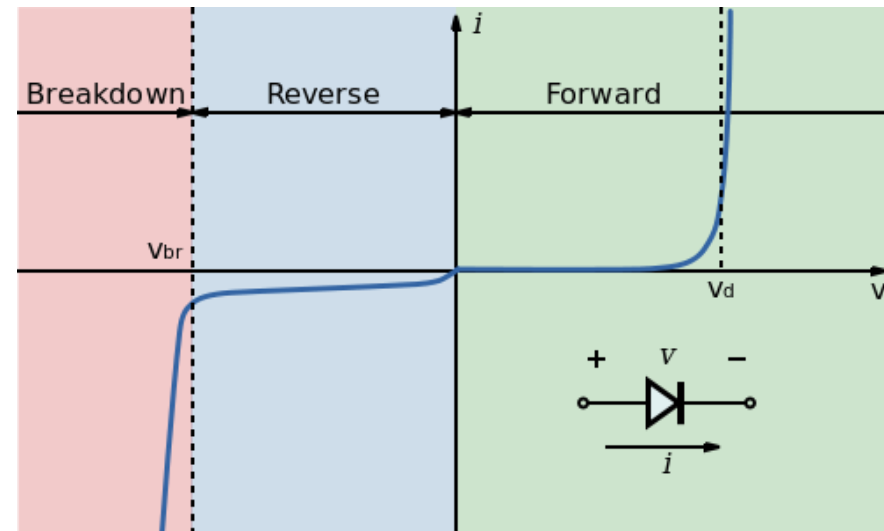
(a) Forward-biased operation



(b) Typical light output versus forward current

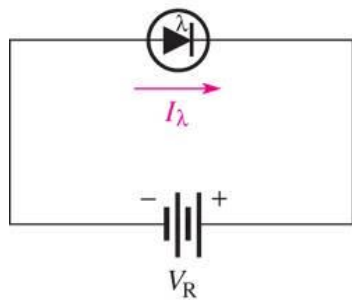


(c) Typical LEDs

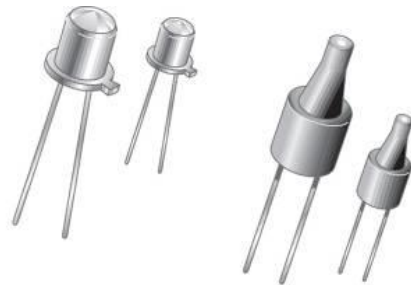


Fotodioder

- En fotodiode opererer i revers-modus og vil lede en strøm som er proporsjonal med lyset som treffer den: Lyset tilfører energi som øker reversstrømmen



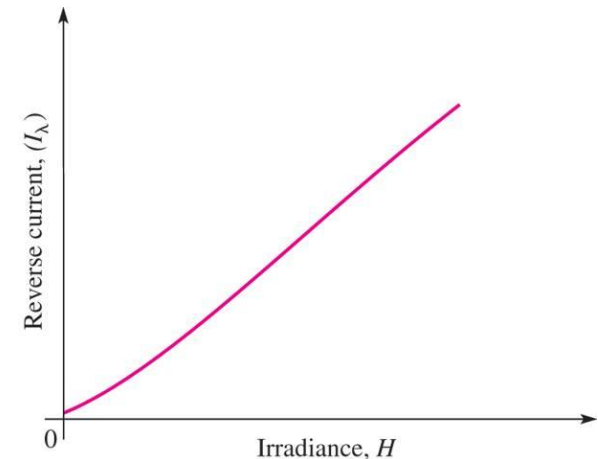
(a) Reverse-bias operation



(b) Typical devices

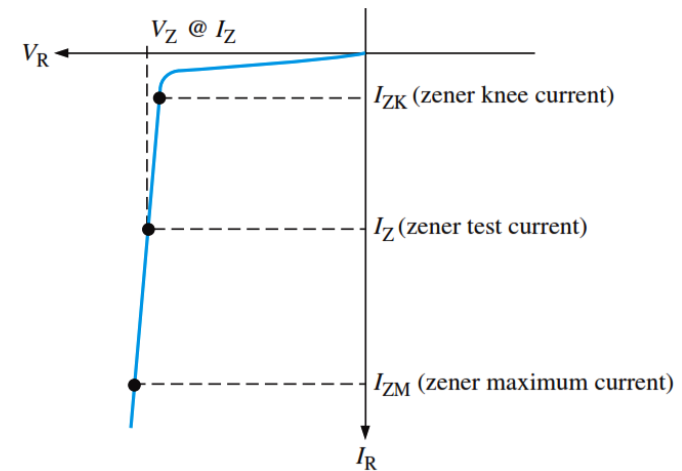
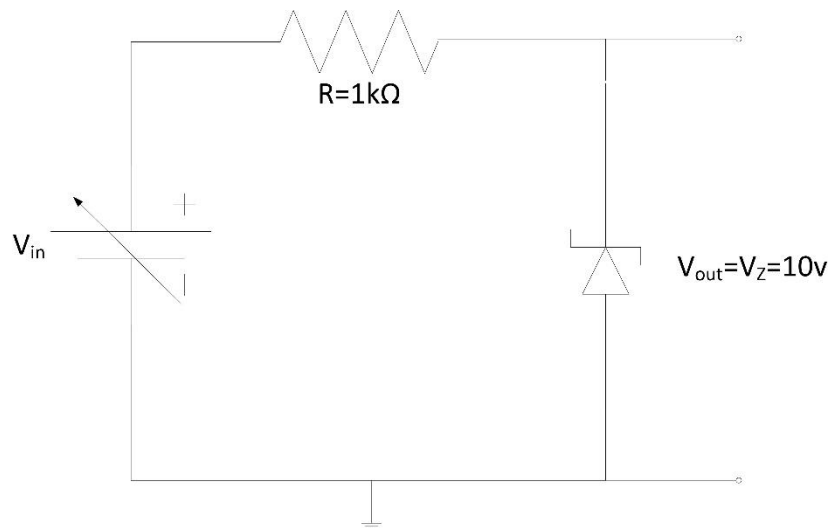


(c) Alternate symbol



Zenerdiode - spenningsreferanse

- En Zener-diode tåler høy revers-spenning uten å ødelegges og er konstruert for å takle varierende strøm



- Resistoren R sørger for at I_Z ikke blir større enn I_{Zmax}

Nøtt til neste gang

Hvilke Boolske funksjoner utfører de to kretsene?

