

# Forelesning nr.8 IN 1080

## Elektroniske systemer

Dioder og felteffekt-transistorer



# Dagens temaer

- Impedanstilpasning
- Dioder
- Likerettere og strømforsyninger
- Spesialdioder
- Dagens temaer er hentet fra kapittel 15.1-15.6

# Impedanstilpasning

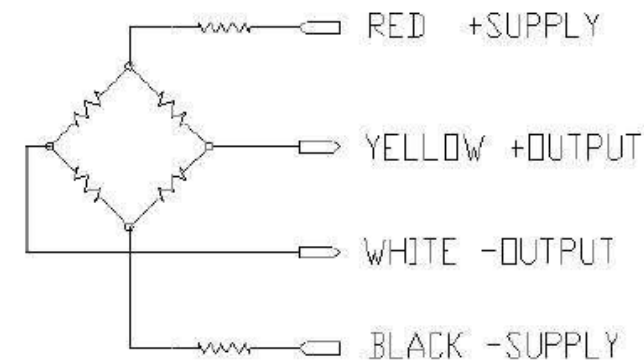
- Når man kobler sammen ulike kretser må man ta hensyn til en rekke faktorer
  - Hvilket spenningsnivå opererer de ulike kretsene på?
  - Hvilke strømstyrker trenger de/leverer de?
  - Hva slags inngangs- og utgangsimpedans er de laget for å fungere med?
  - Hva slags frekvensområder er de laget for?

# Eksempel

Supply Voltage: 5.0V, Ambient Temperature: 25°C (unless otherwise specified)

PARAMETERS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Recommended Excitation		5		V
Full Scale Output Span	16	20	24	mV/V
Full Scale Output Span (200lbf)	34.2	36	37.8	mV/V
Zero Offset	-15		15	mV/V
Non-Linearity	-1		1	%FSO
Hysteresis	-0.80		0.80	%Span
Thermal Zero Shift	-0.05		0.05	%FSO / °C
Thermal Sensitivity Shift	-0.05		0.05	%FSO / °C
Insulation Resistance	50			MΩ
Maximum Overload		250		%FSO
Maximum Overload (200lbf)		150		%FSO
Operating Temperature	0		50	°C
Storage Temperature	-40		+85	°C
Creeping			0.5	%FSO
Zero Drift			0.5	%FSO
Zero Return	-0.8		0.8	%FSO
Span Repeat	-0.8		0.8	%FSO
Humidity	0	5	90	%R.H.
Deflection		0.05		mm At Rated Load
Span Compensation Resistor (10, 25, 50 100lbf)		464		Ω
Input Resistance	2.4	3	3.6	KΩ
Output Resistance	1.76	2.2	2.64	KΩ

## FX1901 Compression Load Cell



# 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
- **Dioder** er halvledere som ikke kan styres
- For å forklare virkemåten til halvledere må man forstå begreper som
  - Ladingsbærere
  - Energibånd og valens
  - Majoritets- og minoritetsbærere

# Halvmetaller og Halvledere?

- Halvmetaller kan brukes i halvledere
  - Kan finnes i flere former med forskjellige egenskaper
    - Eks Karbon...
      - Hvilke former kjenner vi?
    - I all hovedsak så brukes Silisium (Silicon) til chip'er, mens dioder gjerne kan bestå av flere typer.
      - Dette kan endre seg i fremtiden...
- Halvledere kan også være forbindelser av flere stoffer (også utenfor tabellen til høyre)

Elements recognized as metalloids V · T · E					
	13	14	15	16	17
2	B Boron	C Carbon	N Nitrogen	O Oxygen	F Fluorine
3	Al Aluminium	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur	Cl Chlorine
4	Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsenic	Se Selenium	Br Bromine
5	In Indium	Sn Tin	Sb Antimony	Te Tellurium	I Iodine
6	Tl Thallium	Pb Lead	Bi Bismuth	Po Polonium	At Astatine

Commonly recognized (93%): B, Si, Ge, As, Sb, Te

Irregularly recognized (44%): Po, At

Less commonly recognized (24%): Se

Rarely recognized (9%): C, Al

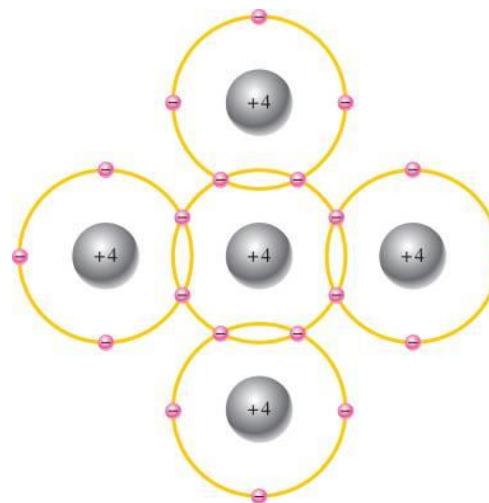
Arbitrary metal-nonmetal dividing line: between  
Be and B, Al and Si, Ge and As, Sb and Te, Po and At

## Halvmetaller

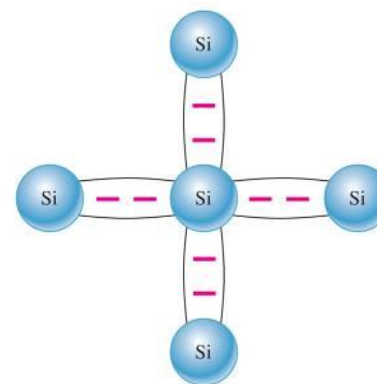
kilde: Wikipedia 2018-03-05  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Metalloid>

# Halvlederes oppbygging

- Halvledere er krystallinske materialer med spesielle energibånd for elektronene
- Krystaller består av grunnstoff hvor atomene knytter seg til hverandre og danner faste strukturer
- Silisium danner krystallstruktur med fem atomer, og hvert atom deler ett valenselektron med naboatomene



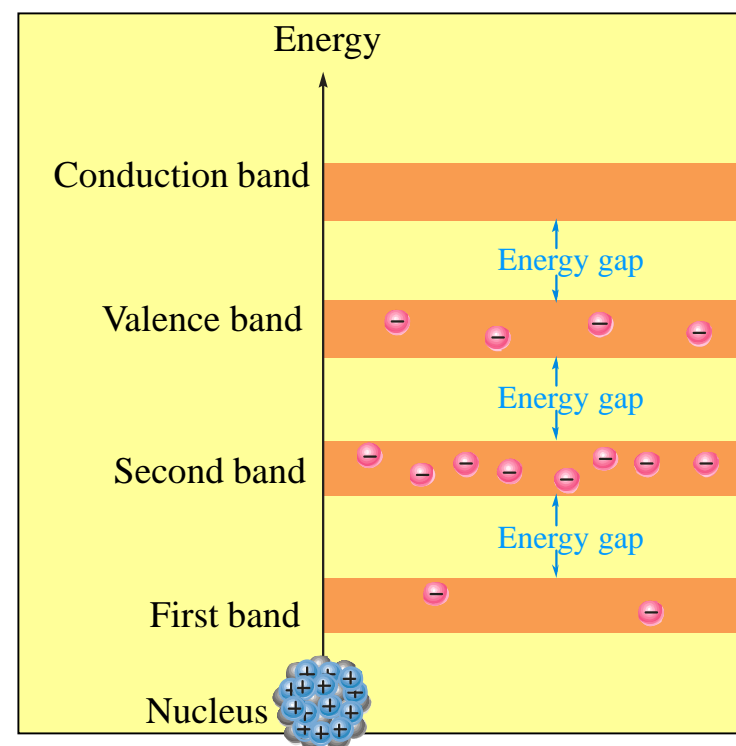
(a) The center silicon atom shares an electron with each of the four surrounding silicon atoms, creating a covalent bond with each. The surrounding atoms are in turn bonded to other atoms, and so on.



(b) Bonding diagram. The red negative signs represent the shared valence electrons.

## Halvlederes oppbygging (forts)

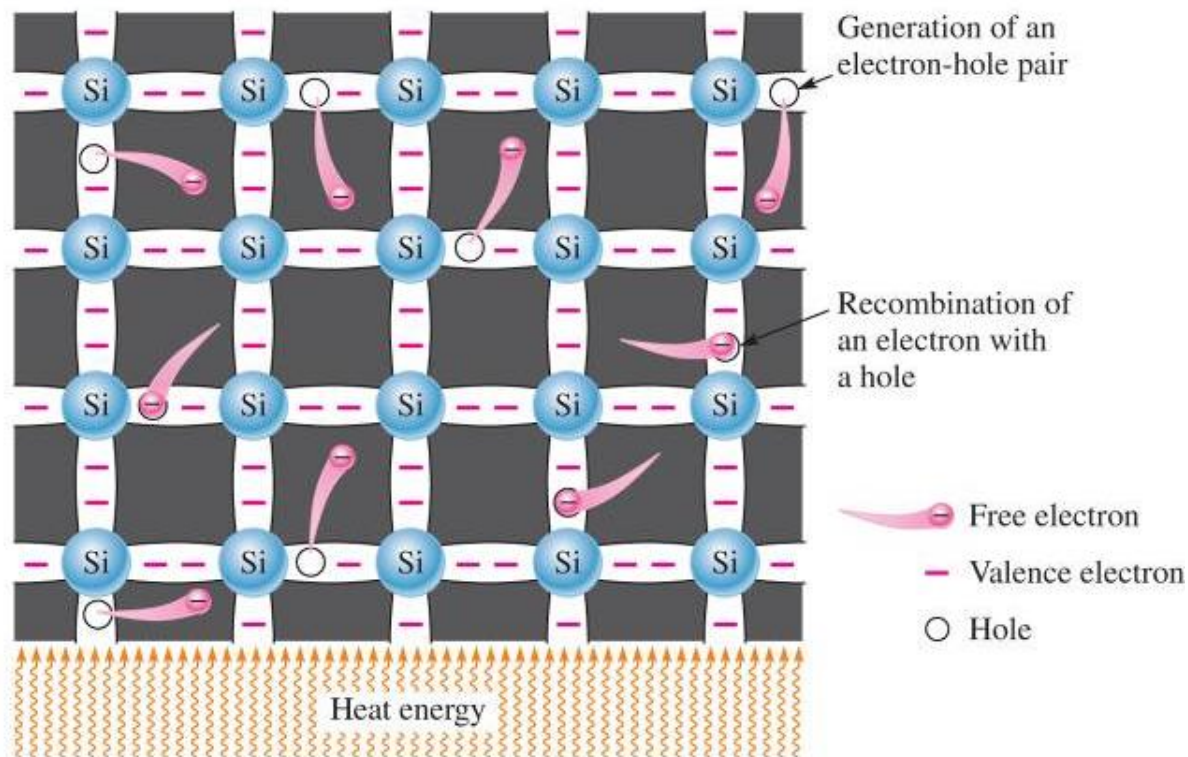
- Elektronene i de ytterste banene har større energi enn de i indre baner, og kan lettere forlate atomet
- Hvis et elektron i et krystall forlater krystallet, oppstår en ledig plass som kalles for et *hull*
- Hullet kan senere fylles av et nytt elektron





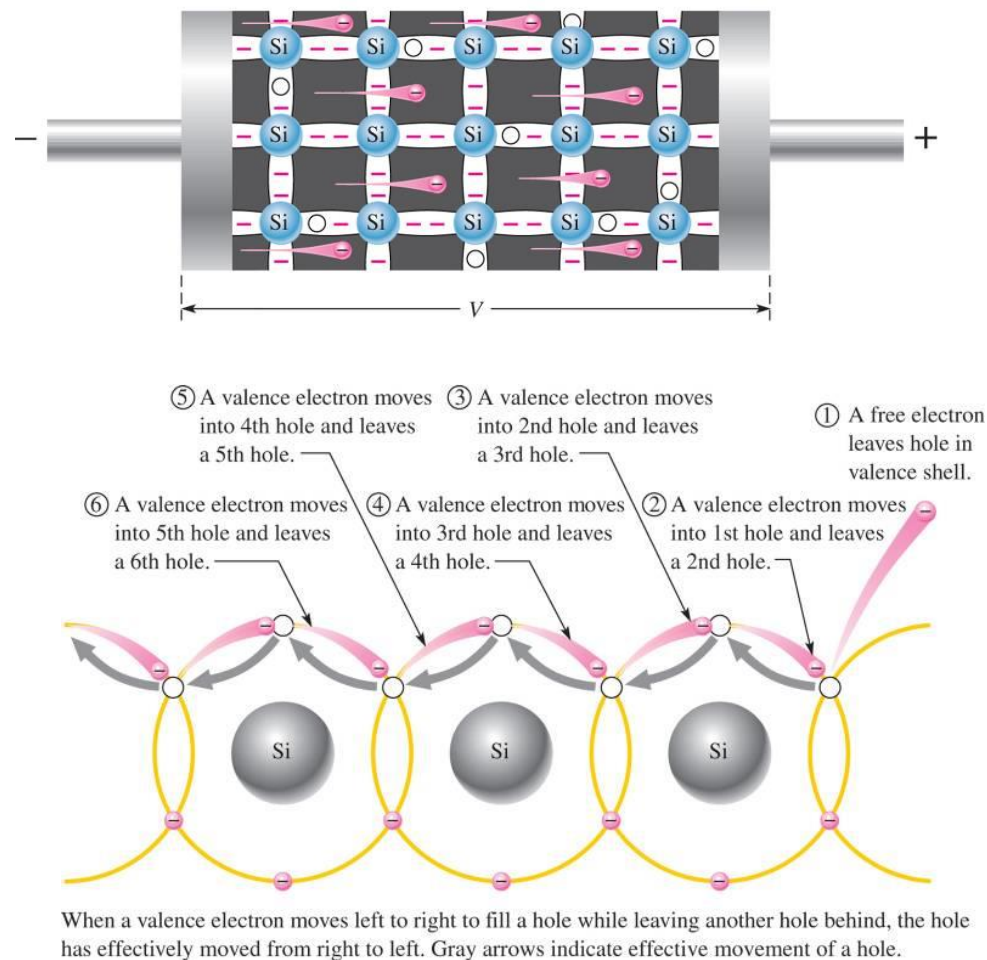
## Halvlederes oppbygging (forts)

- For å forlate valensbåndet kreves energi, mens det frigjøres energi hvis et elektron fanges inn av et ledig hull



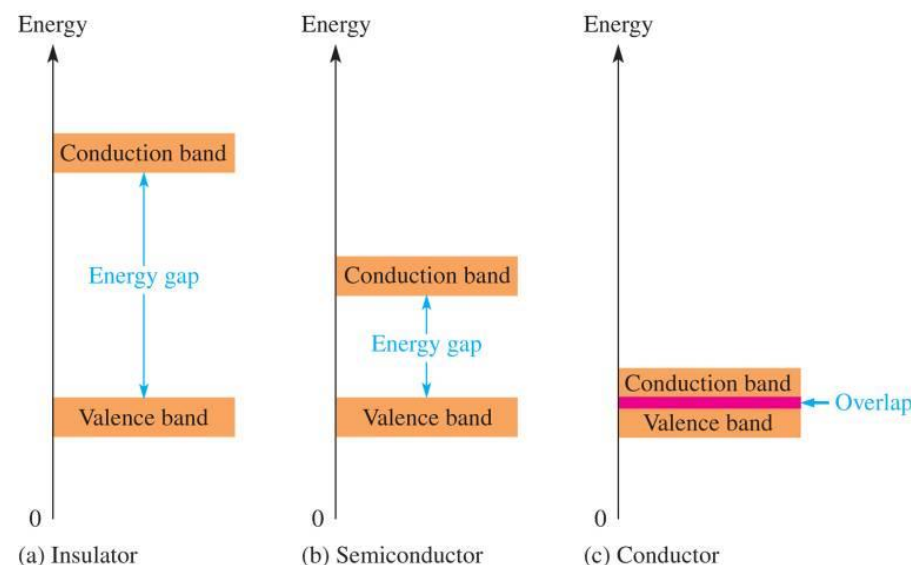
# Elektronstrøm og hullstrøm

- Hvis man setter på en spenning over et stykke silisium, vil elektronene bevege seg mot den positive polen og danner en *elektronstrøm*
- Hvis elektronene beveger seg mot høyre, vil hullene bevege seg mot venstre, og dette kalles for en *hullstrøm*



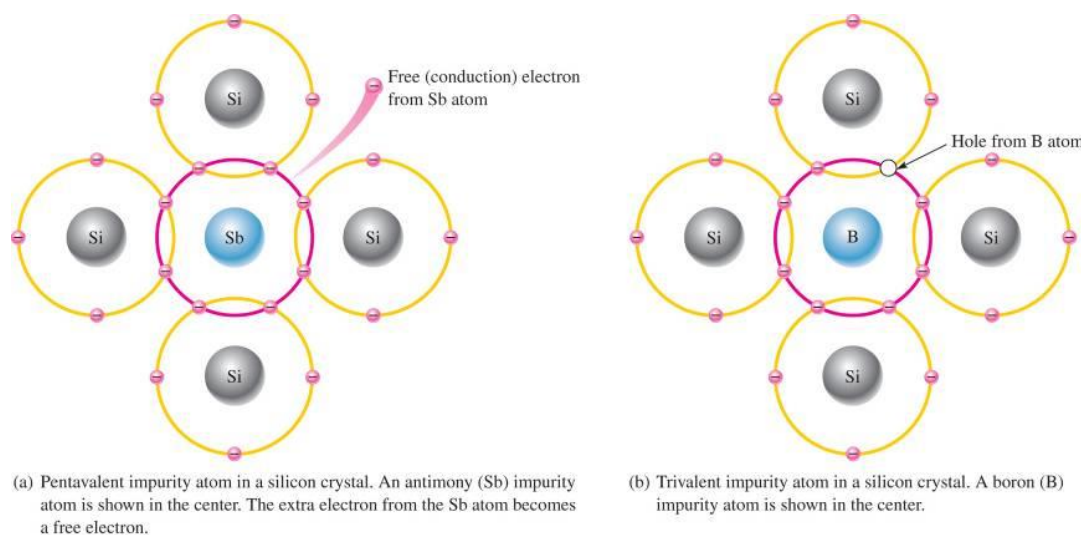
## N- og P-type halvledere

- Ren silisium leder strøm dårlig på grunn av få frie elektroner
- Ved å tilsette urenheter (*doping*) bedres ledningsevnen ved at det blir flere frie elektroner eller hull
- Doping kan enten være av *n-type* eller *p-type*, avhengig av om man øker antall frie elektroner eller hull

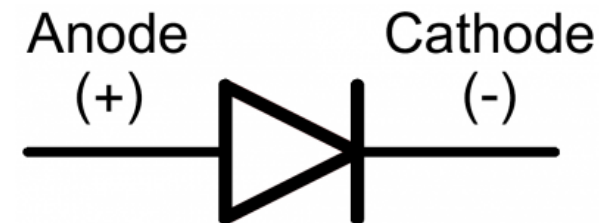


## N- og P-type halvledere (forts)

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



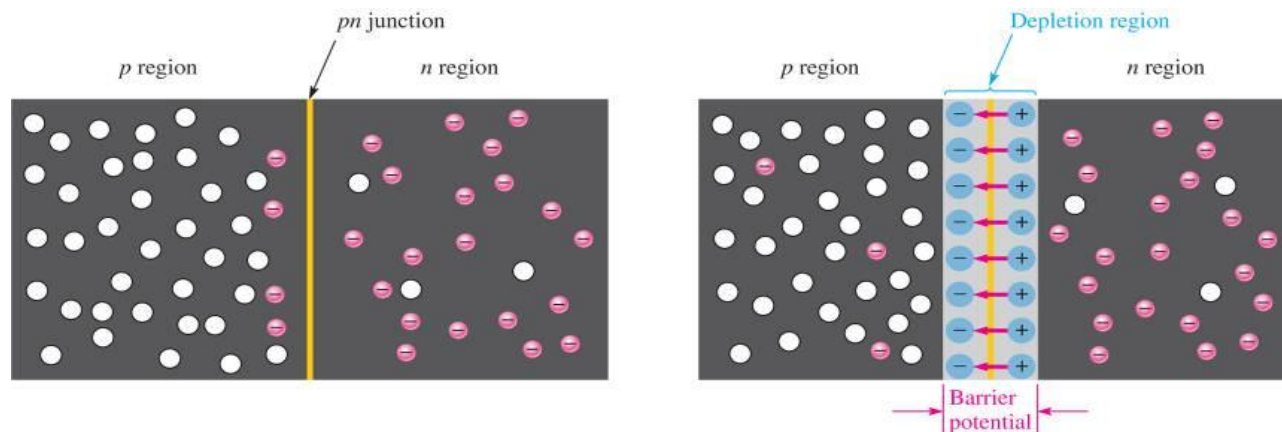
# Dioder



- En diode leder strøm i bare én retning
- En diode består av en *p-type* og *n-type* halvleder som er 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)

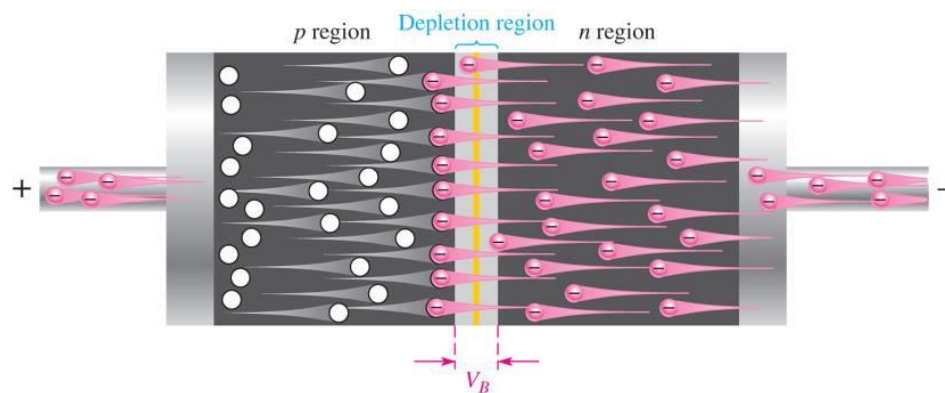
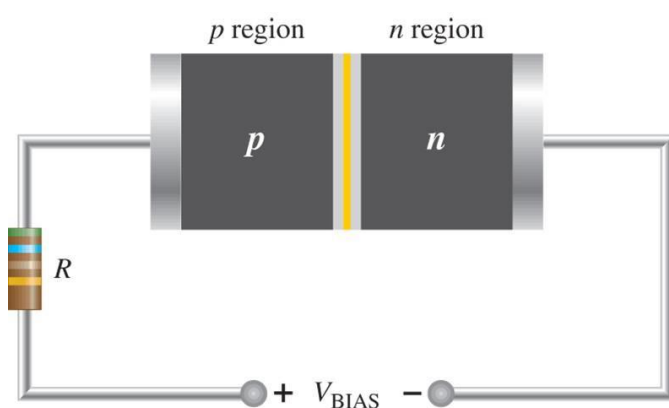


- Området hvor det er opphopning av elektron-hull kalles for et *deplesjonsområde* (tømt for frie elektroner)
- Deplesjonsområdet har en spenningsforskjell (potensialbarriere) på ca 0.7 volt (avhengig av dopingmaterialet)
- [Animasjon](#) deplesjonsområdet



## Biasing (forspenning) av dioder

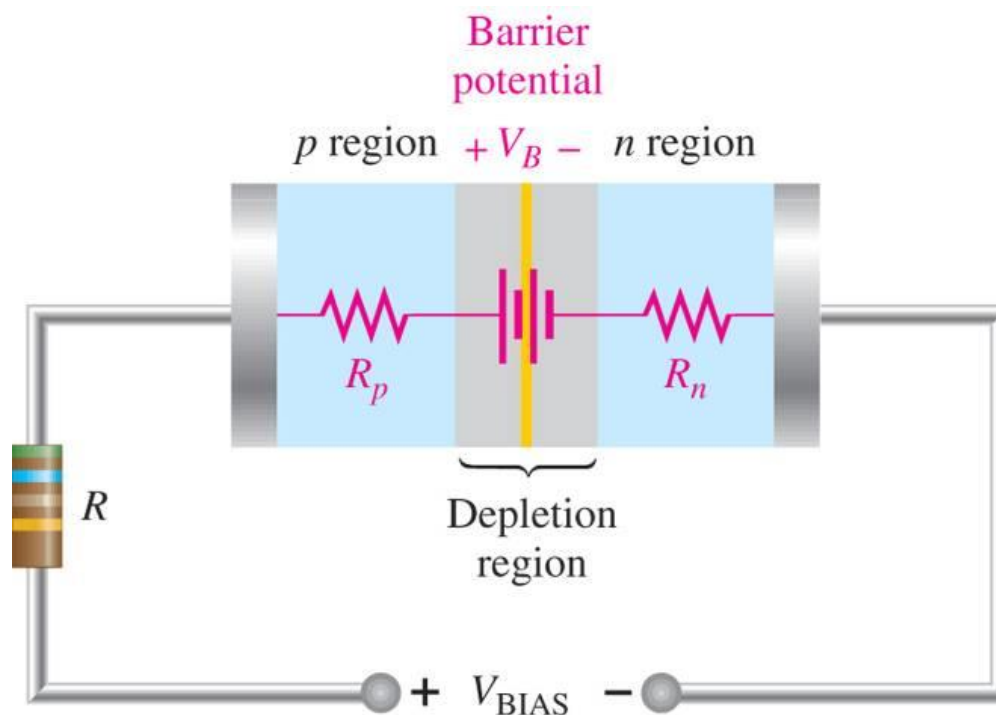
- Avhengig av polariteten til  $p$ -regionen i forhold til  $n$ -regionen vil dioden enten lede eller sperre for strøm



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

## Biasing (forspenning) av dioder (forts)

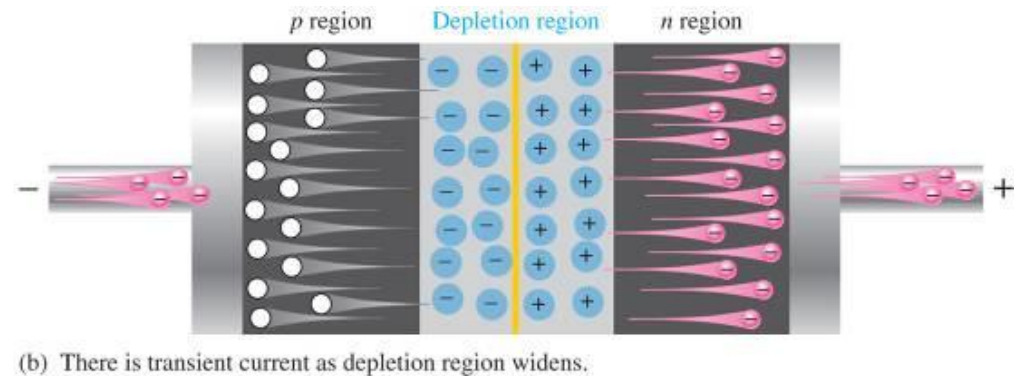
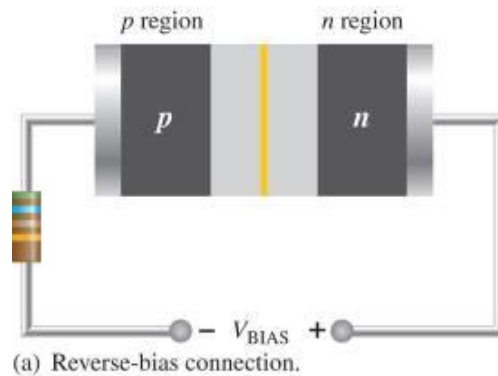
- Når dioden opererer i forover-modus, kan den modelleres som to motstander i serie med et batteri



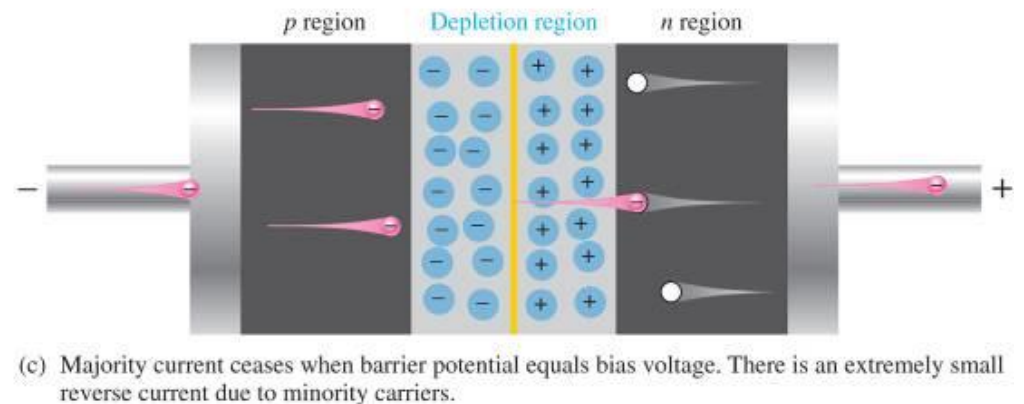


## Diode i revers-modus (sperre)

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



- [Animasjon av diodeforspenninger](#)



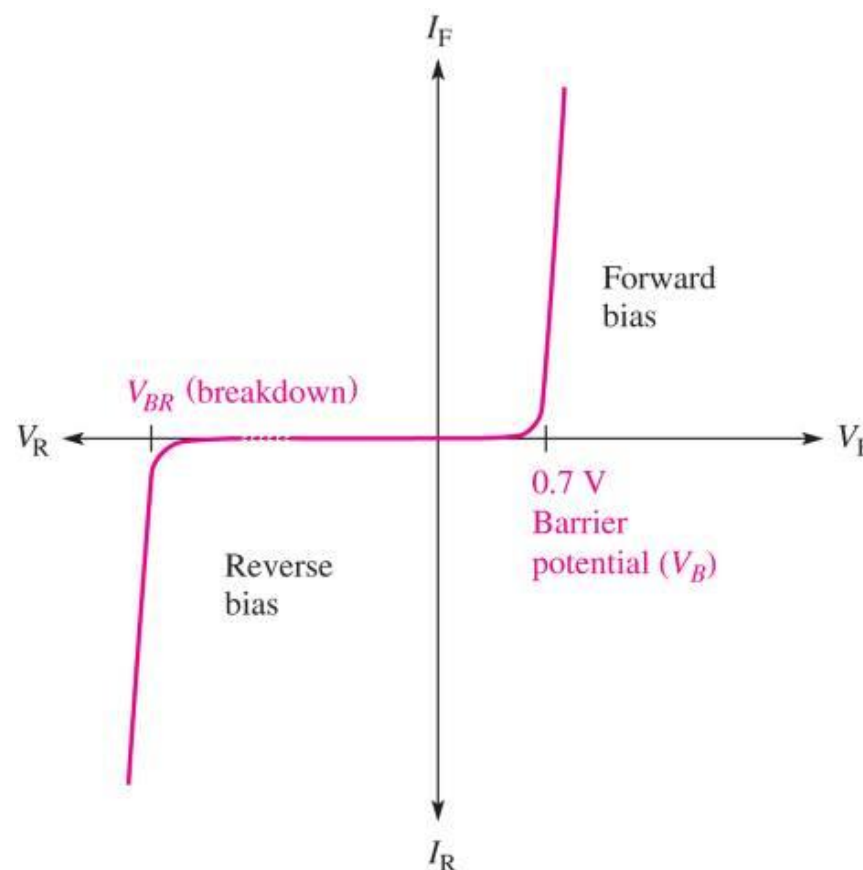
## Sammenbrudd



- Hvis dioden opererer i revers (sperre)-modus og spenningen øker til et visst nivå, vil noen elektroner i p-regionen få nok energi til å bryte deplesjons-barrieren
- Dette kan forårsake kollisjoner med andre elektroner i valensbånd, disse slås løs og kolliderer med andre elektroner
- Til slutt bryter strukturen sammen i en såkalt snøskred-effekt («avalanche»), og dioden leder strøm
- Vanlige dioder blir permanent ødelagt av dette, mens andre dioder (Zener-dioder) tåler å bryte sammen og sperrer på nytt når spenningen blir lavere enn breakdown-spenningen

## Diodekarakteristikker

- Diodekarakteristikken beskriver strømmen gjennom dioden som funksjon av spenningen over den
- 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  $|V_B|$



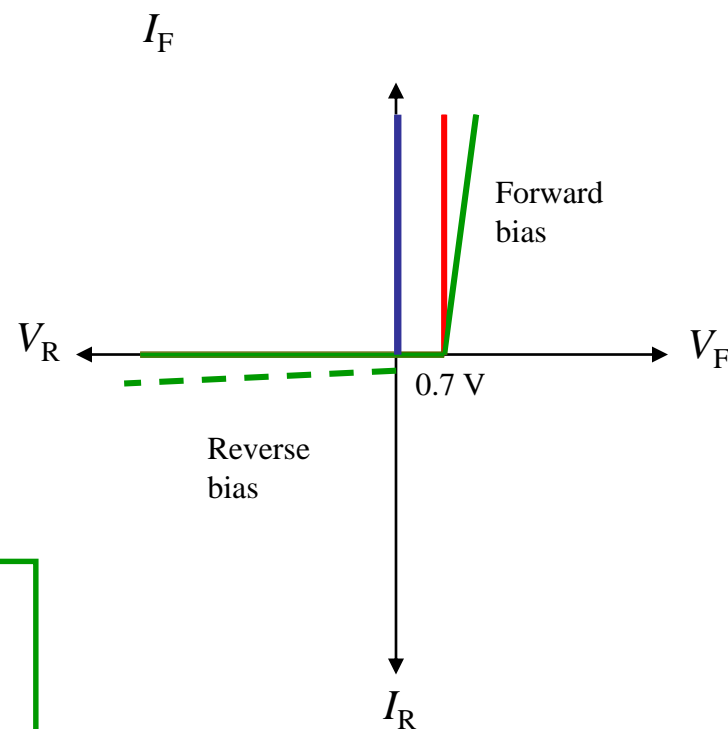
## Diodemodell

- En diode kan modelleres på flere måter, avhengig av hvor nøyaktig man trenger den

Den enkleste modellen antar at dioden er en bryter av/på ved 0 volt

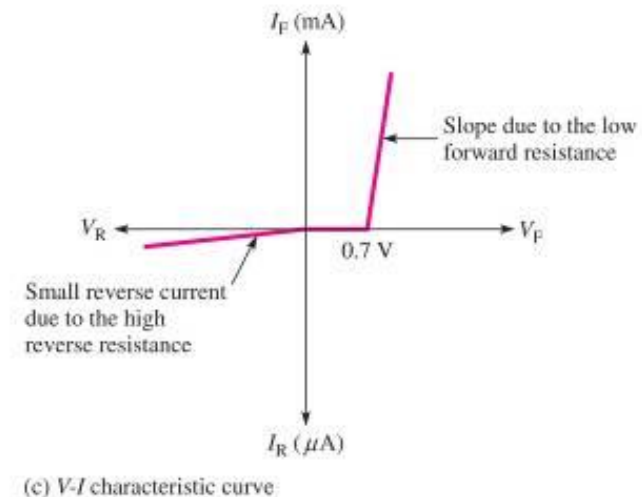
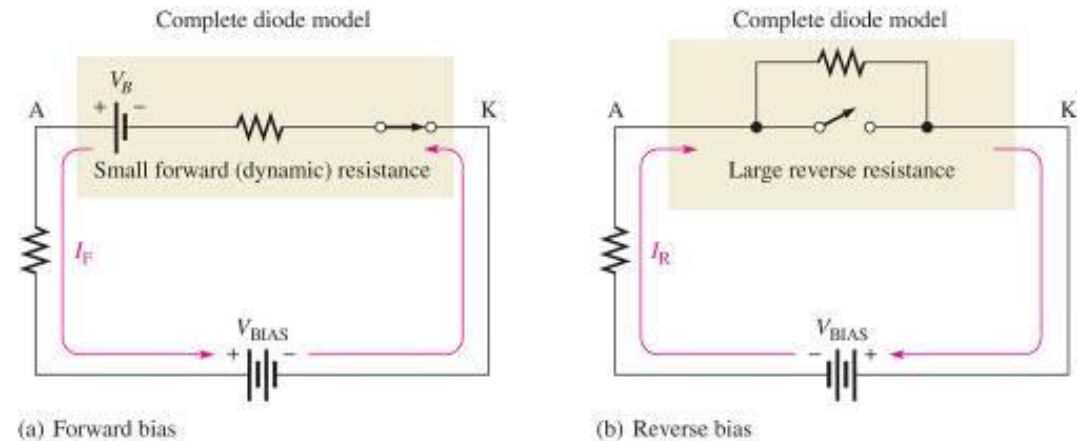
En mer realistisk modell inkluderer barrierespenningen i foroverretningen

En enda mer komplett modell inkluderer motstand i forover-retningen, eventuelt også i reversretningen



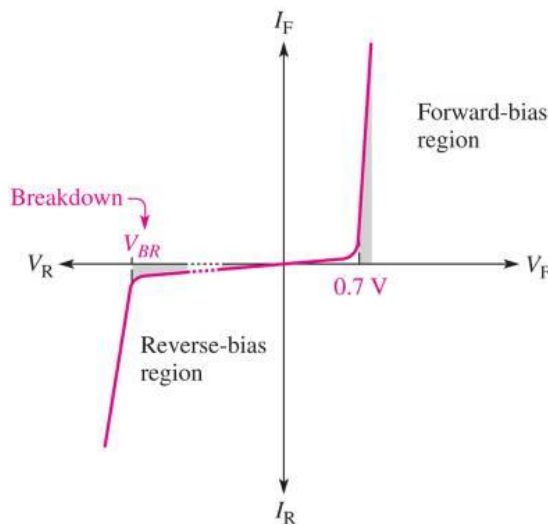
## Diodemodell (fortsatt)

- Modellering av strømmen i sperre-modus (returretningen)

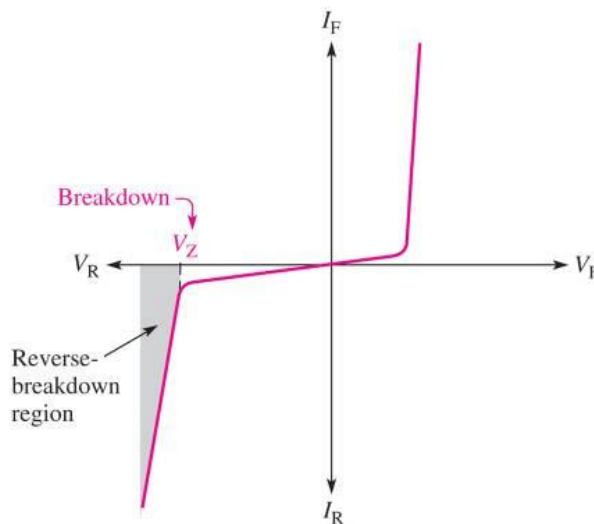


# Spesialdioder

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



(a) The normal operating regions for a rectifier diode are shown as shaded areas.



(b) The normal operating region for a zener diode is shaded.

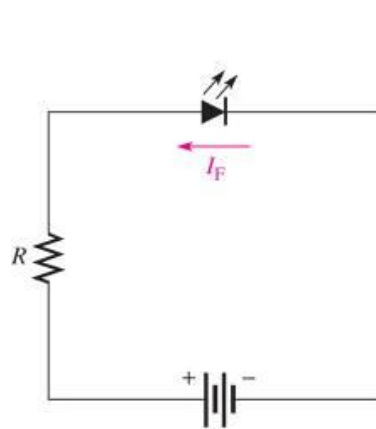


- Zener-dioden brukes ofte for å lage en spenningsreferanse

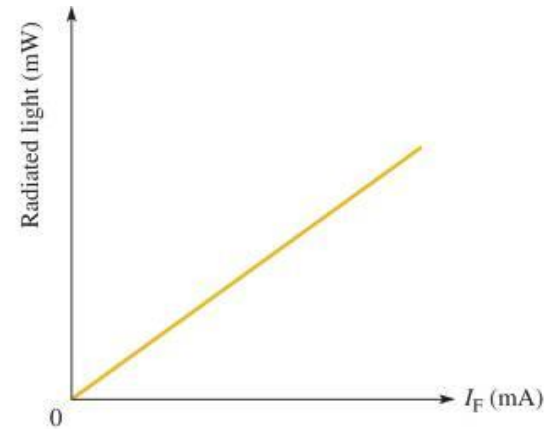
# Spesialdioder (forts)

- 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  $> 2\text{V}$



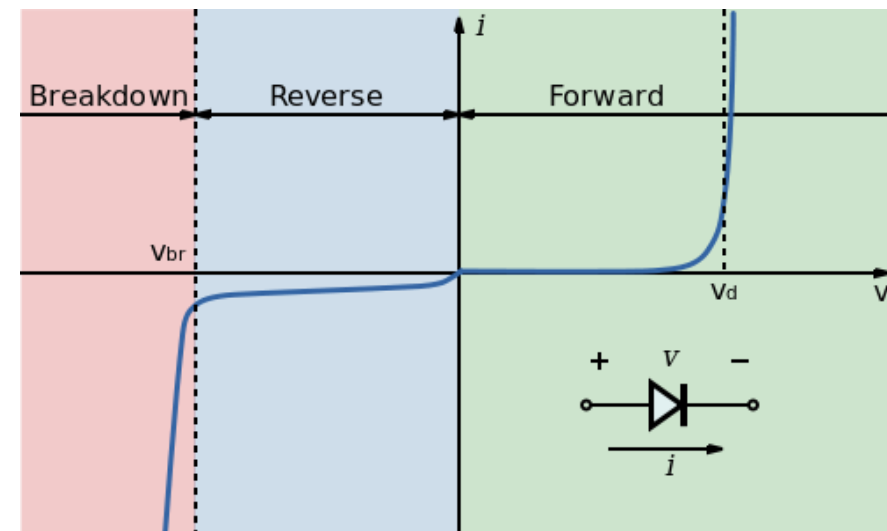
(a) Forward-biased operation



(b) Typical light output versus forward current

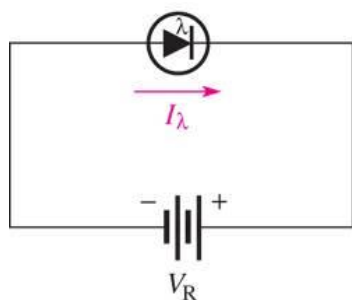


(c) Typical LEDs

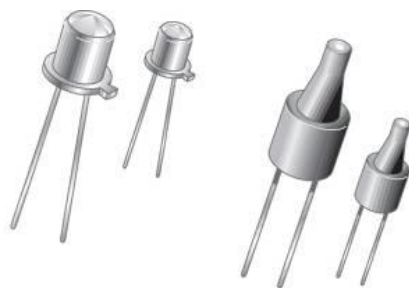


# Fotodioder

- 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



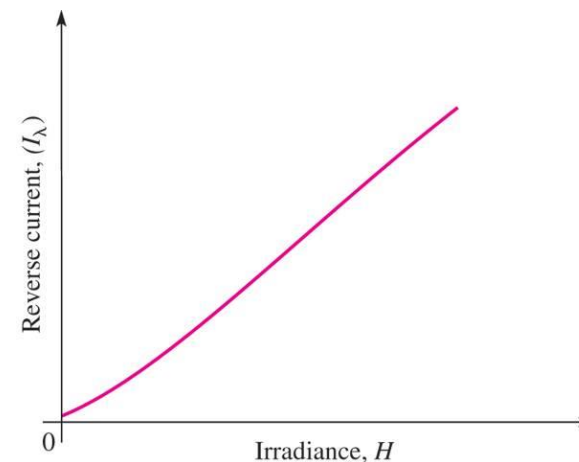
(a) Reverse-bias operation



(b) Typical devices



(c) Alternate symbol



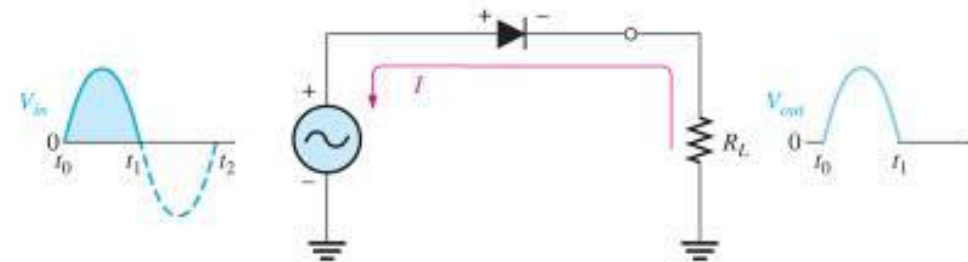


## Bruk av dioder: Likerettere

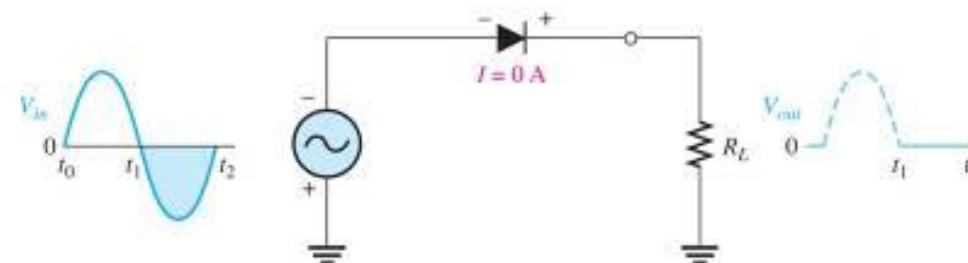
- Ofte trenger man å konvertere en vekselspanning/strøm til en likespenning/strøm, f.eks i strømforsyninger
- Dioder er essensielle i alle former for likerettere
- Den enkleste formen for likeretter er en *halvbølge*-likeretter



(a) Half-wave rectifier circuit



(b) Operation during positive alternation of the input voltage



(c) Operation during negative alternation of the input voltage

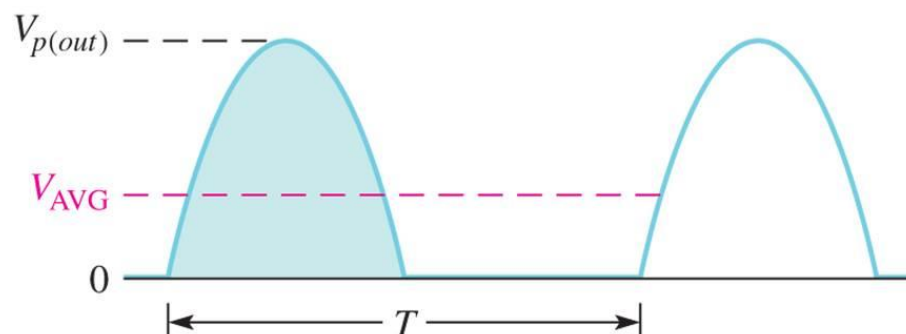


(d) Half-wave output voltage for three input cycles

## Halvbølgelikeretter

- Den gjennomsnittlige utspenningen fra en halvbølgelikeretter er

$$V_{AVG} = \frac{V_{P(OUT)}}{\pi}$$

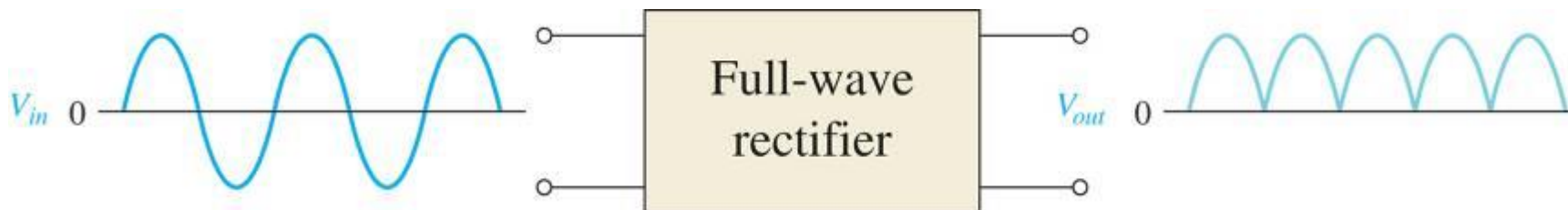


- Den maksimale utspenningen er gitt av  $V_{AVG} = \frac{V_{P(IN)} - 0,7v}{\pi}$
- Tar man hensyn til spenningsfallet over dioden blir utspenningen  $V_{p(out)} = V_{p(IN)} - 0,7v$

## Fullbølgelikeretter

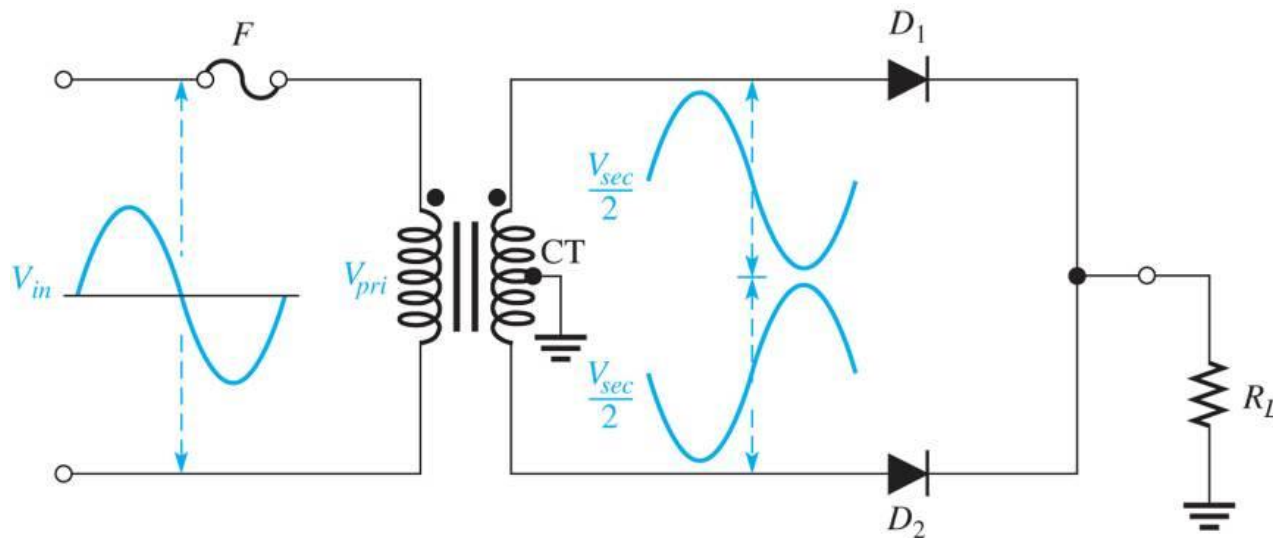
- Halvbølgelikeretteren er lite anvendelig siden den fjerner halve signalperioden – kun halvparten av signalet benyttes
- Fullbølgelikeretteren «snur» den negative halvperioden og gjør den positiv, og den gjennomsnittlige utspenningen er det dobbelte av halvbølgelikeretterens

$$V_{AVG} = \frac{2V_{P(OUT)}}{\pi}$$



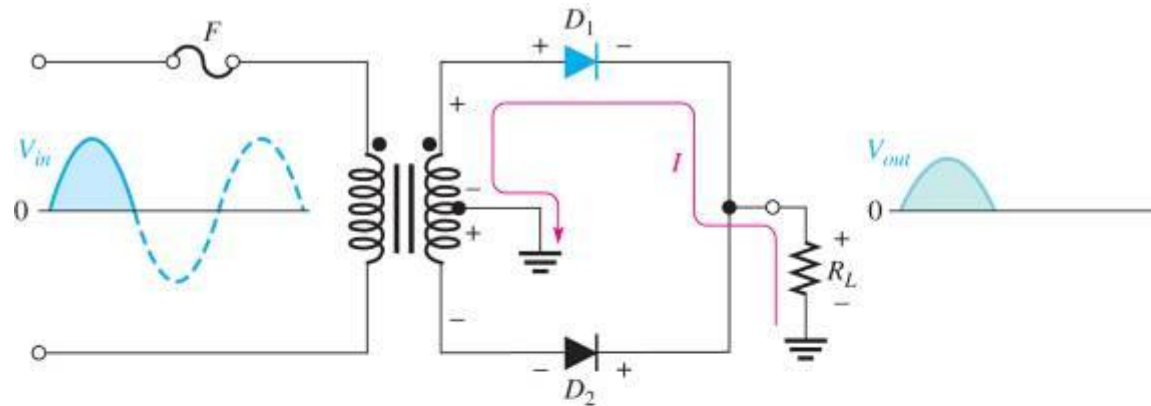
## Fullbølgelikeretter (forts)

- Fullbølgelikerettere konstrueres enkelt hvis man har en transformator med to utganger som er forskjøvet 180 grader i forhold til hverandre

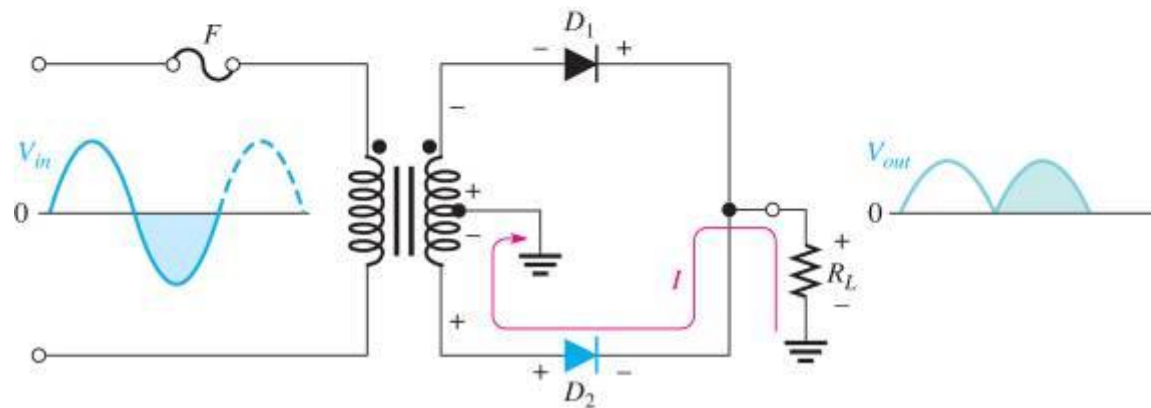


## Fullbølgelikeretter (forts)

- I den ene halvperioden leder den ene dioden mens den andre sperrer
- Når polariteten snur sperrer den første mens den andre leder



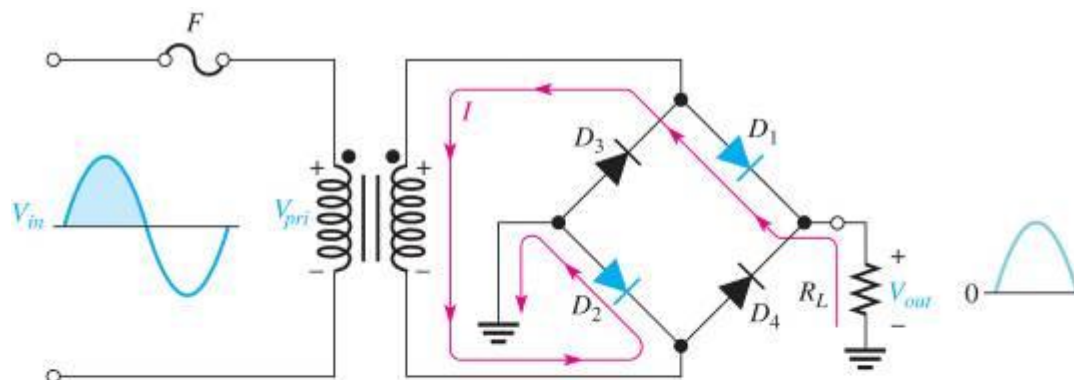
(a) During positive half-cycles,  $D_1$  is forward-biased and  $D_2$  is reverse-biased.



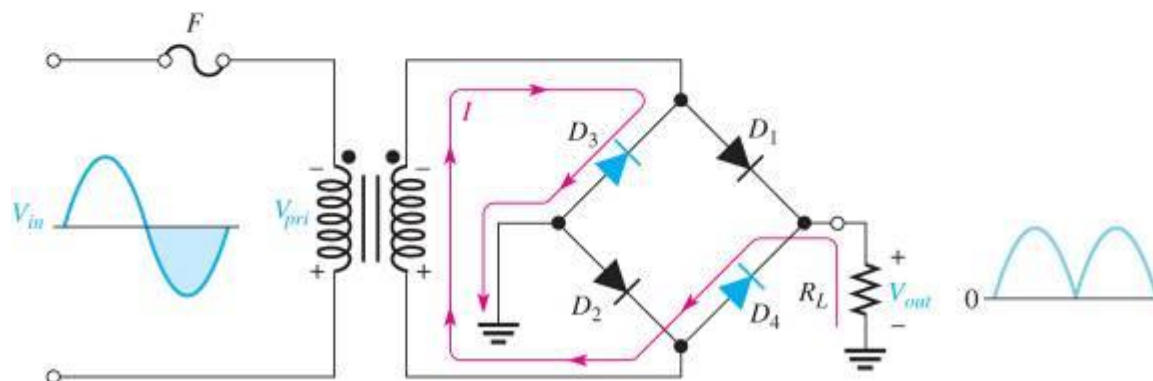
(b) During negative half-cycles,  $D_2$  is forward-biased and  $D_1$  is reverse-biased.

## Brolikeretter (forts)

- Hvis det ikke er praktisk å hente ut separate halvbølger med motsatt polaritet fra en strømforsyning, kan man bruke en *brolikeretter*



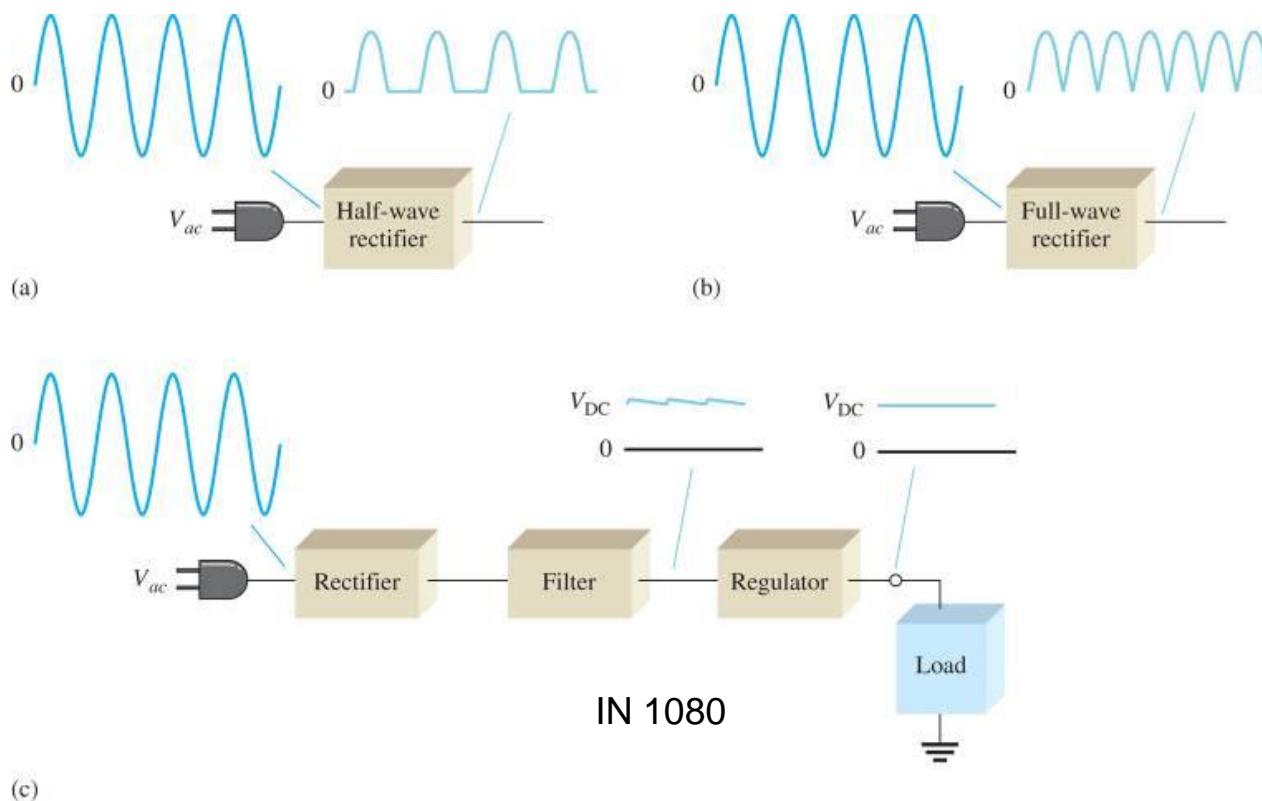
(a) During positive half-cycle of the input,  $D_1$  and  $D_2$  are forward-biased and conduct current.  $D_3$  and  $D_4$  are reverse-biased.



(b) During negative half-cycle of the input,  $D_3$  and  $D_4$  are forward-biased and conduct current.  $D_1$  and  $D_2$  are reverse-biased.

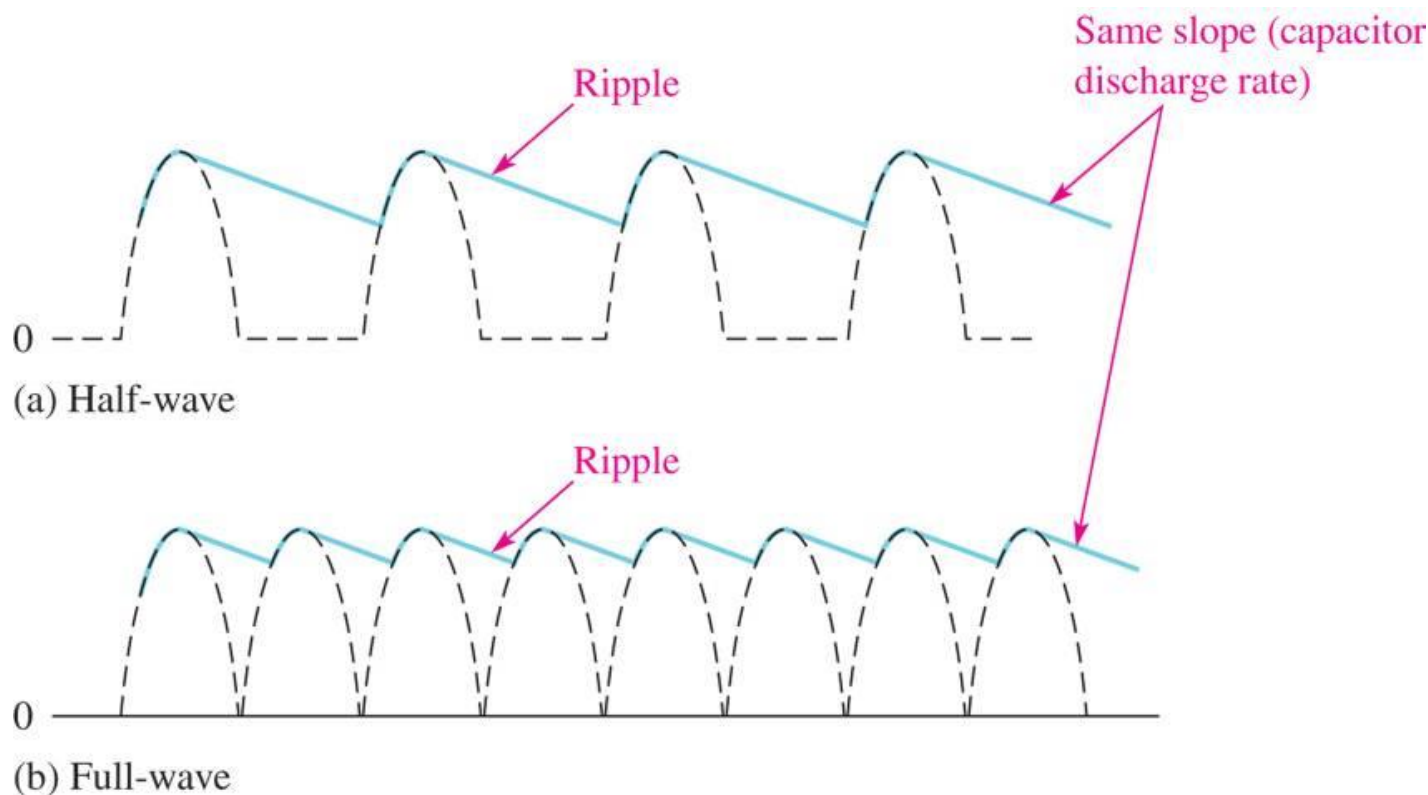
# Strømforsyninger

- Selv om en fullbølgelikeretter er mer effektiv enn halvbølge-likeretter, kan den ikke alene brukes som DC-forsyningsspenning
- Ved å koble til et *filter* på utgangen av fullbølge-likeretteren får man en spenning med mindre variasjon



## Strømforsyninger (fortsatt)

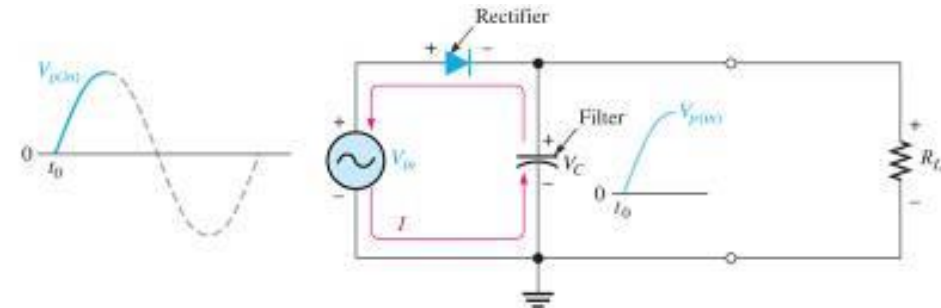
- Fullbølggelikerettere er bedre enn halvbølggelikerettere fordi det er mindre spenningsvariasjon som skal glattes ut



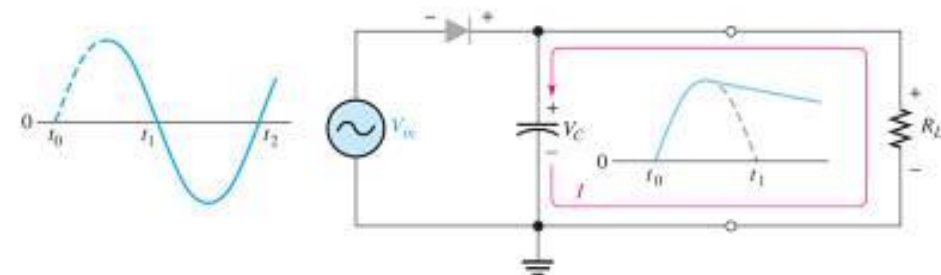


# Strømforsyninger (fortsatt)

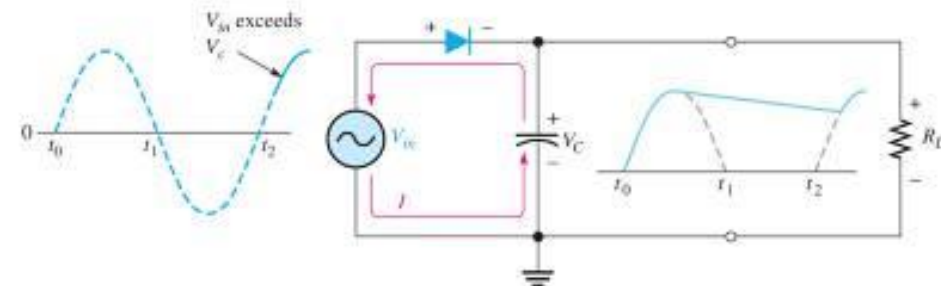
- Ved å koble inn en kondensator kan man glatte ut variasjonen i utgangssignalet
- I tillegg kan man sette inn regulatorer som kompenserer for temperatur, last og variasjon i input-spenning
- Lysdimmere kan lages ved å kutte ut kortere eller lengre deler av sinussignalet på inngangen



(a) Initial charging of capacitor (diode is forward-biased) happens only once when power is turned on.



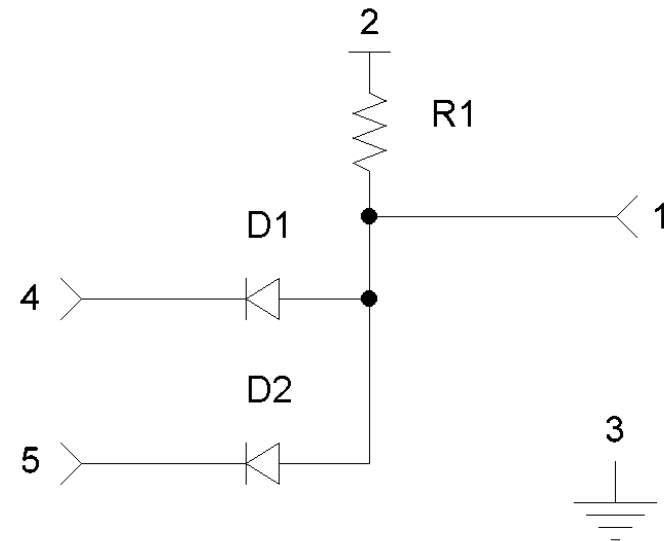
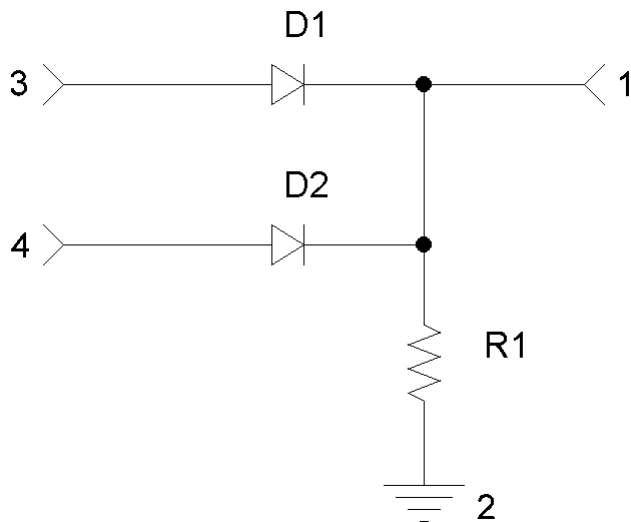
(b) The capacitor discharges through  $R_L$  after peak of positive alternation when the diode is reverse-biased. This discharging occurs during the portion of the input voltage indicated by the solid dark blue curve.

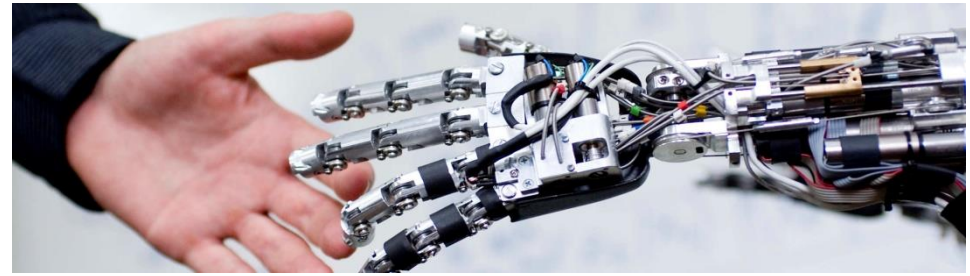


(c) The capacitor charges back to peak of input when the diode becomes forward-biased. This charging occurs during the portion of the input voltage indicated by the solid dark blue curve.

## Nøtt til neste gang

Hvilke Boolske funksjoner utfører de to kretsene?





# Oppsummeringsspørsmål