

Forelesning nr.8 INF 1411

Elektroniske systemer

Dioder
Praktiske anvendelser



Dagens temaer

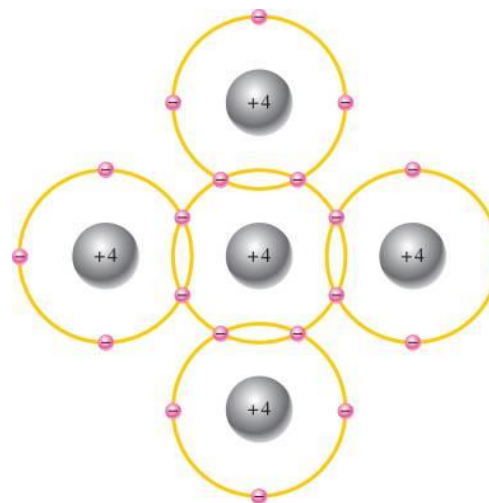
- Dioder
 - Halvlederfysikk
 - Ulike typer halvledere og ladningsbærere
- Diodekarakteristikker
- Likerettere og strømforsyninger
- Spesialdioder
- Dagens temaer er hentet fra kapittel 15.1-15.6

Halvledere

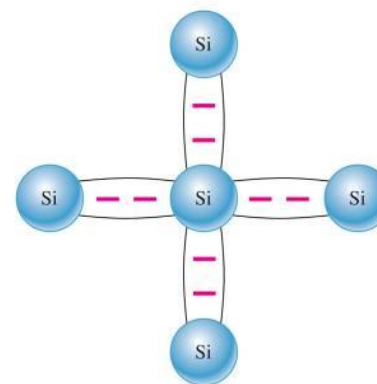
- Halvledere er ledere som under visse betingelser leder strøm, og under andre ikke
- Noen halvledere kan man styre oppførselen til med en strøm eller spenning, mens for ikke er styrbare
- For å forklare virkemåten, må man forstå begreper som
 - Ladingsbærere
 - Energibånd og valens
 - Majoritets- og minoritetsbærere

Halvlederes oppbygging

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



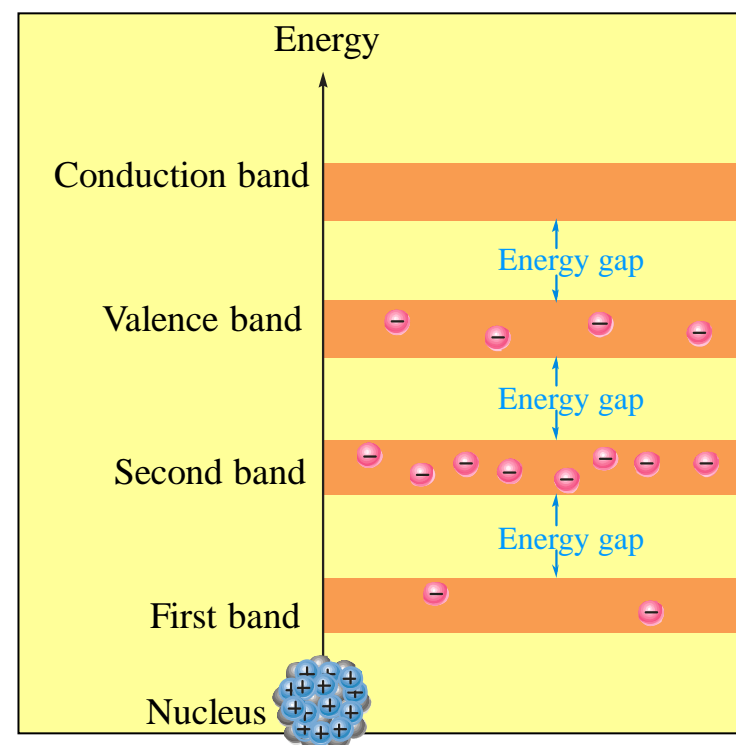
(a) The center silicon atom shares an electron with each of the four surrounding silicon atoms, creating a covalent bond with each. The surrounding atoms are in turn bonded to other atoms, and so on.



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

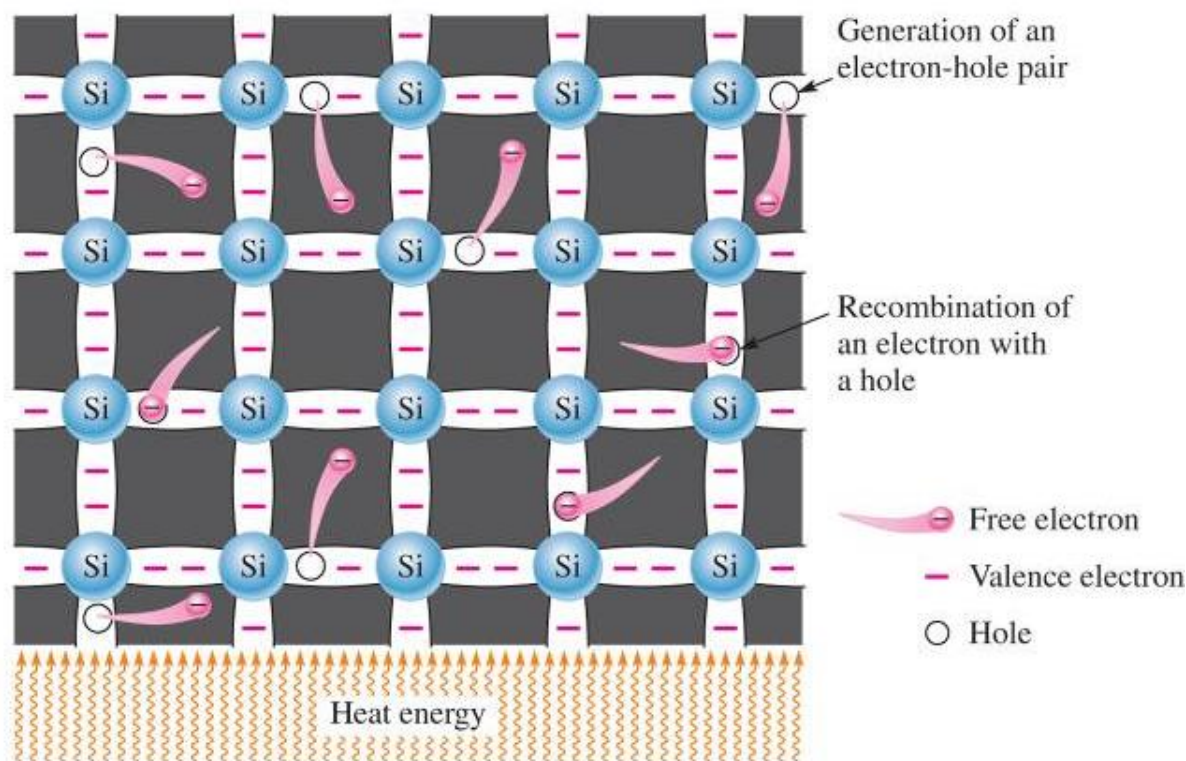
Halvlederes oppbygging (forts)

- 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



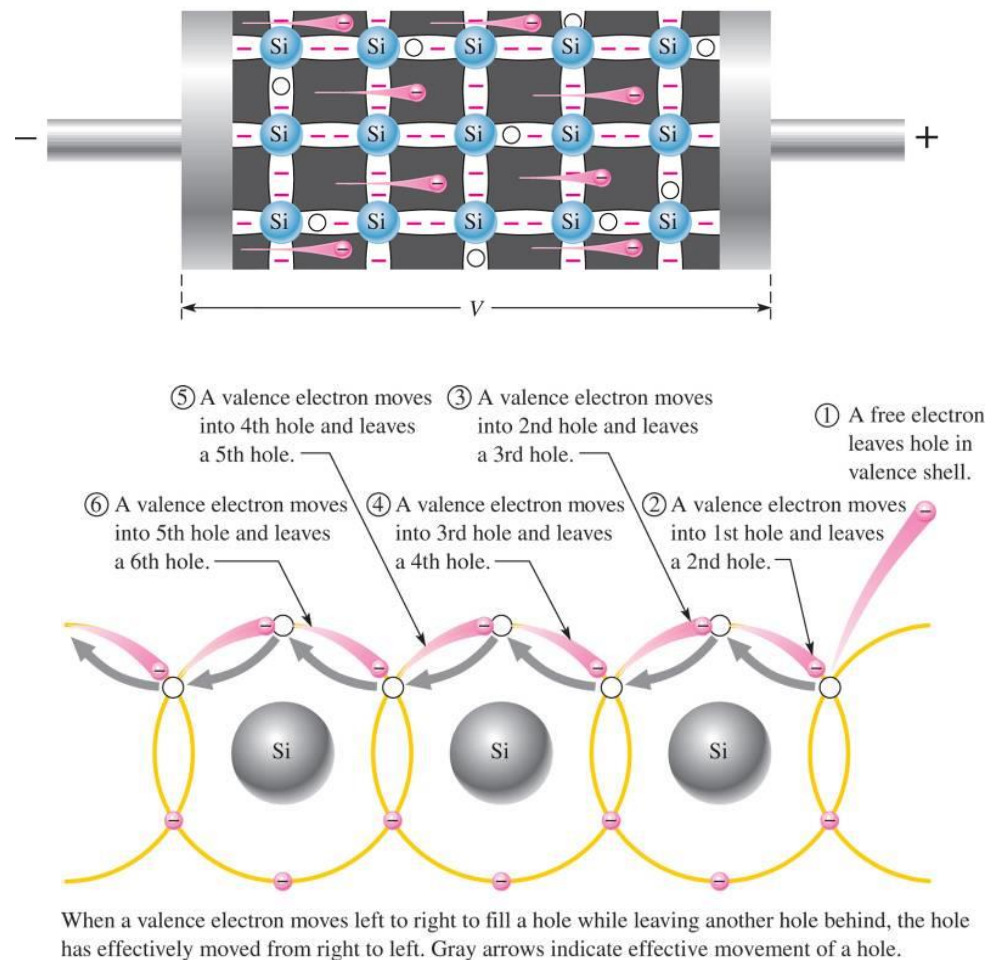
Halvlederes oppbygging (forts)

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



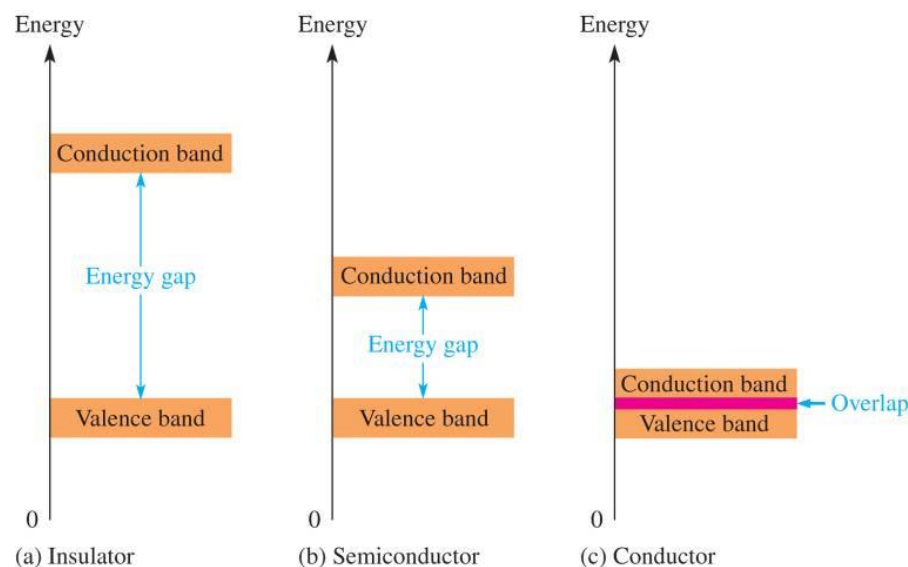
Elektronstrøm og hullstrøm

- 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*



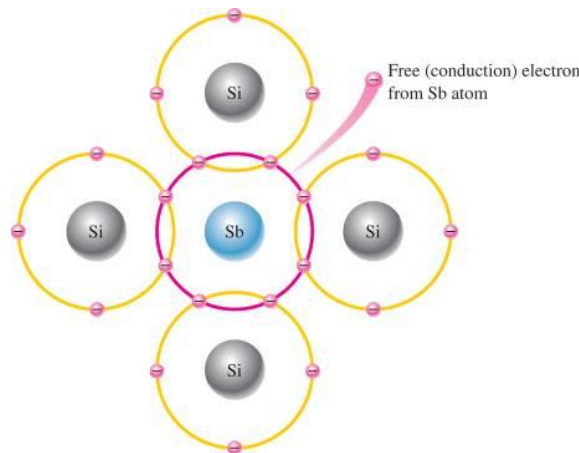
N- og P-type halvledere

- Ren silisium leder strøm dårlig på grunn av få frie elektroner
- Ved å tilsette urenheter (*doping*) bedres ledningsevnen betraktelig 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

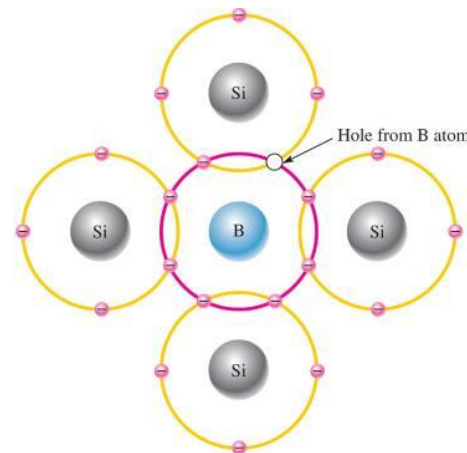


N- og P-type halvledere (forts)

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

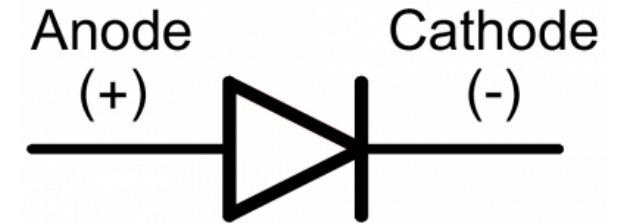


(a) Pentavalent impurity atom in a silicon crystal. An antimony (Sb) impurity atom is shown in the center. The extra electron from the Sb atom becomes a free electron.

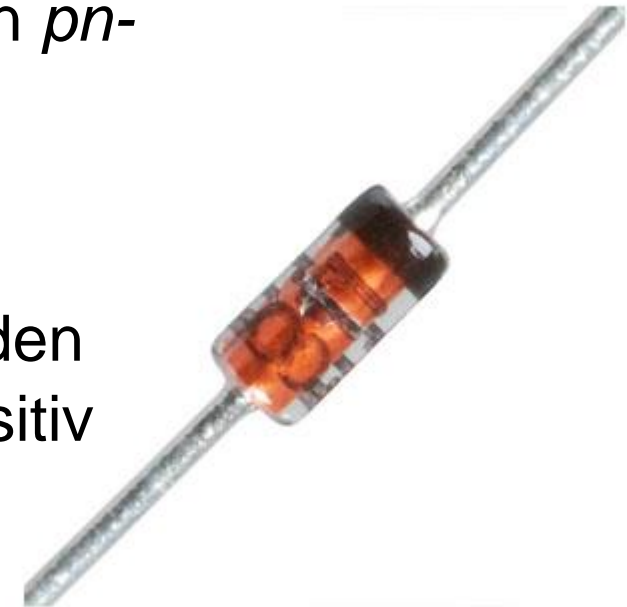


(b) Trivalent impurity atom in a silicon crystal. A boron (B) impurity atom is shown in the center.

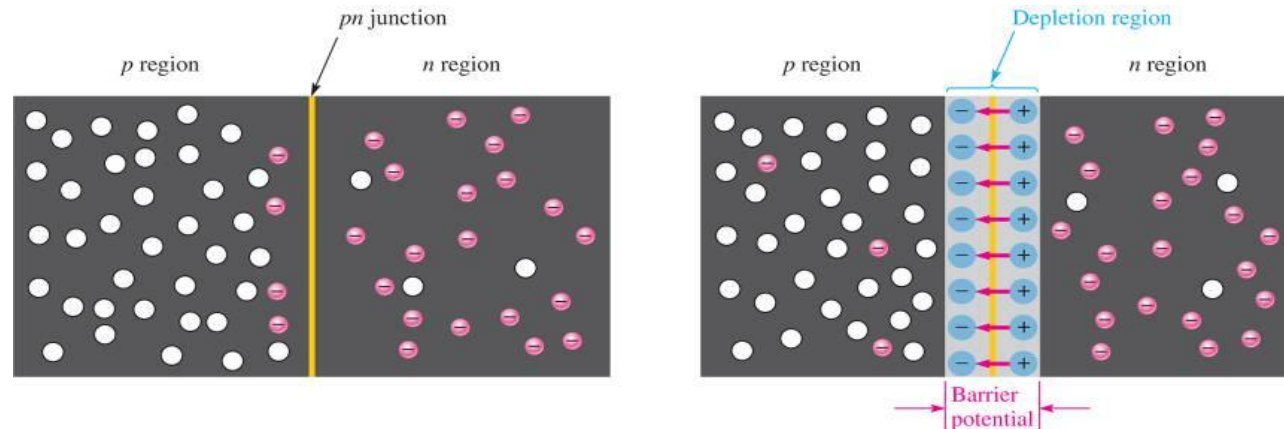
Dioder



- En diode leder strøm i én retning, men ikke i den andre
- 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
- Dette gjør at n-siden får et lite overskudd av positiv ladning, mens p-siden får overskudd av negativ ladning
- Driften av elektroner stanser opp når p-siden får for mange elektroner



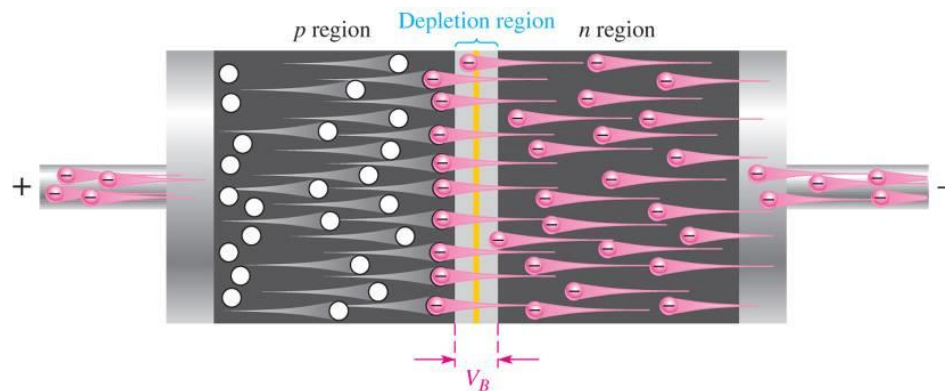
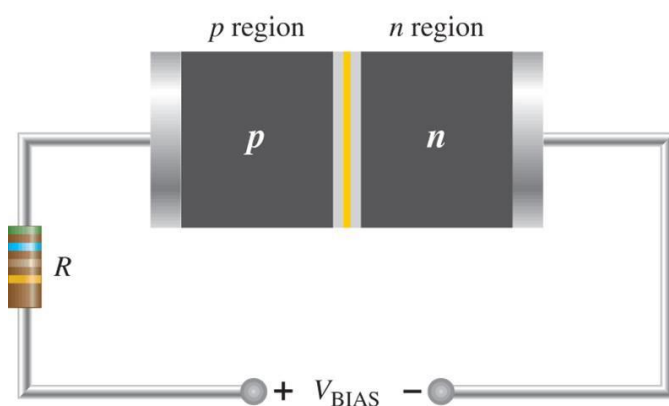
Dioder (forts)



- Området hvor det er opphopning av elektroner-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 av dioder

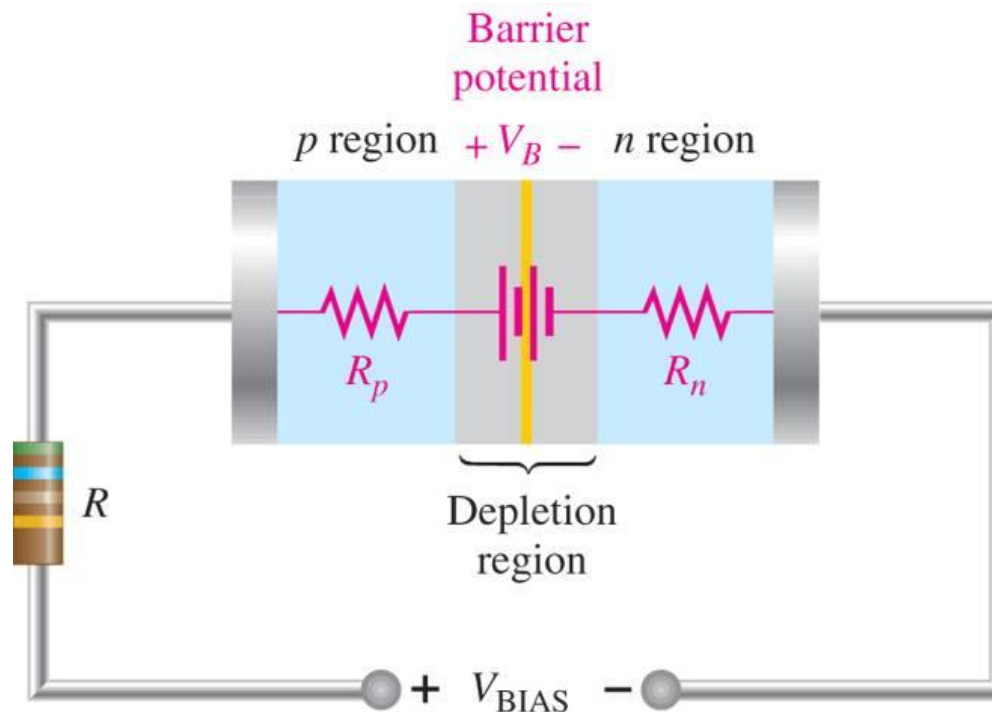
- Avhengig av polariteten til p -regionen i forhold til n -regionen vil dioden enten lede eller sperre for strøm



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

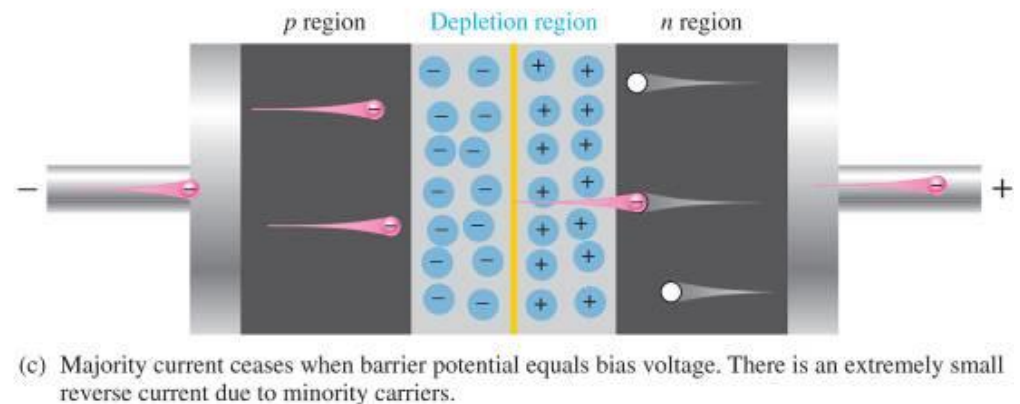
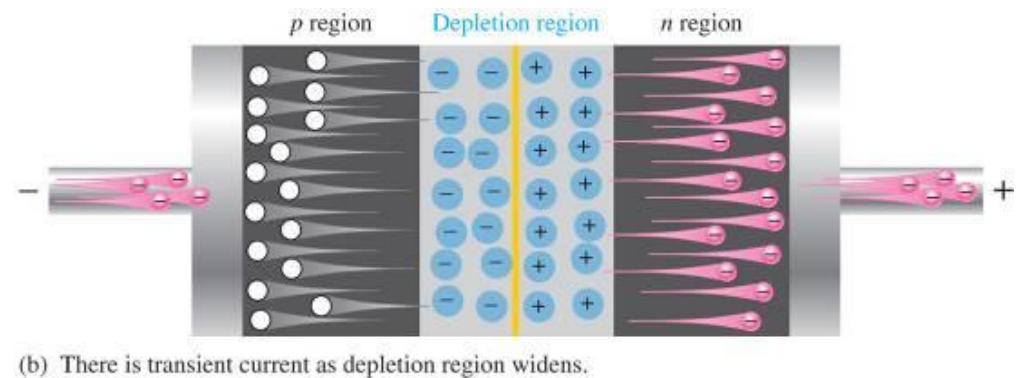
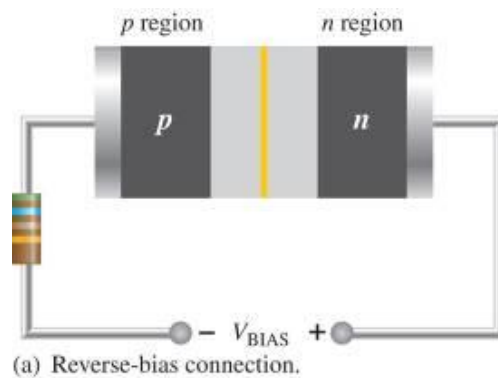
Biasing av dioder (forts)

- 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 diode-forspenninger

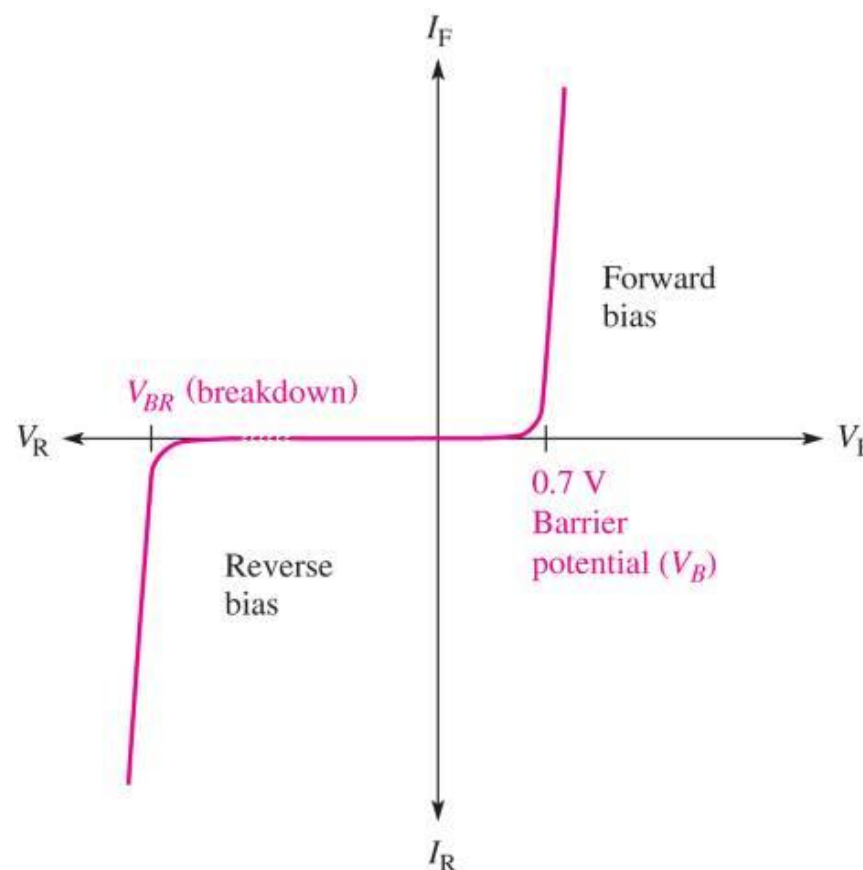
Sammenbrudd



- 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 snøskred-effekt, og dioden leder strøm
- Vanlige dioder blir permanent ødelagt av dette, mens andre dioder (Zener-dioder) tåler å bryte sammen og sperrer 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 bakover-retningen går det ikke strøm før V_{BR} nås
- V_{BR} er typisk mye større enn V_B



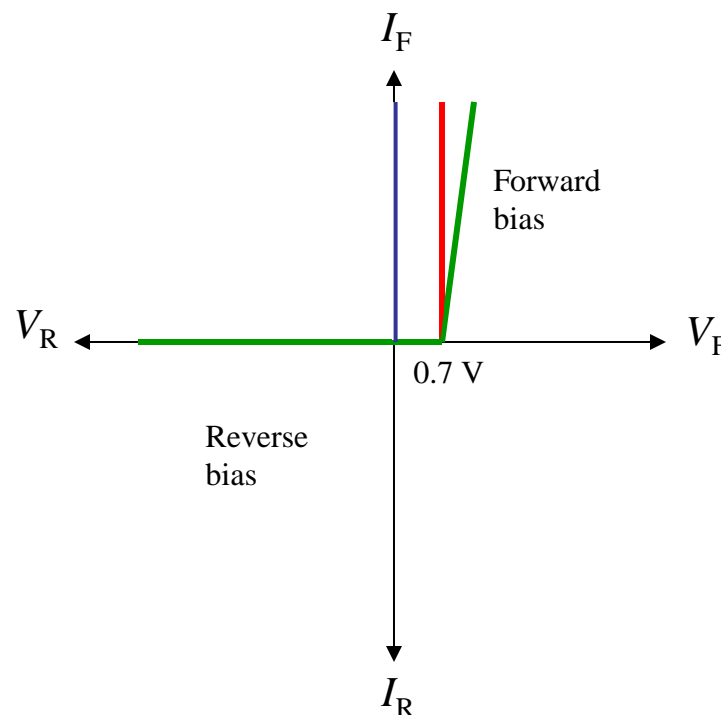
Diodemodell

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

Den ideelle modellen bruker en bryter

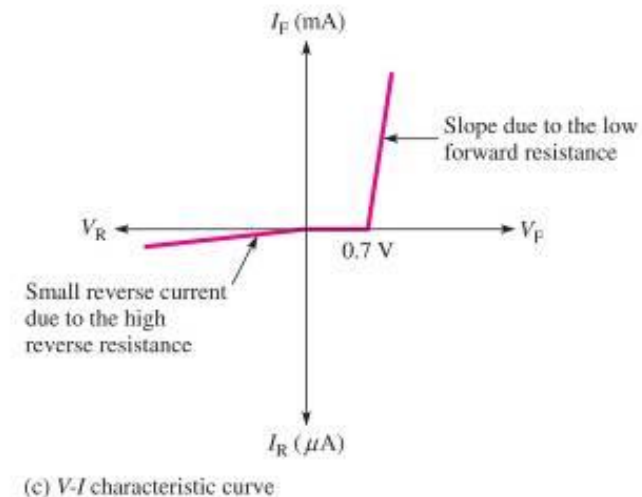
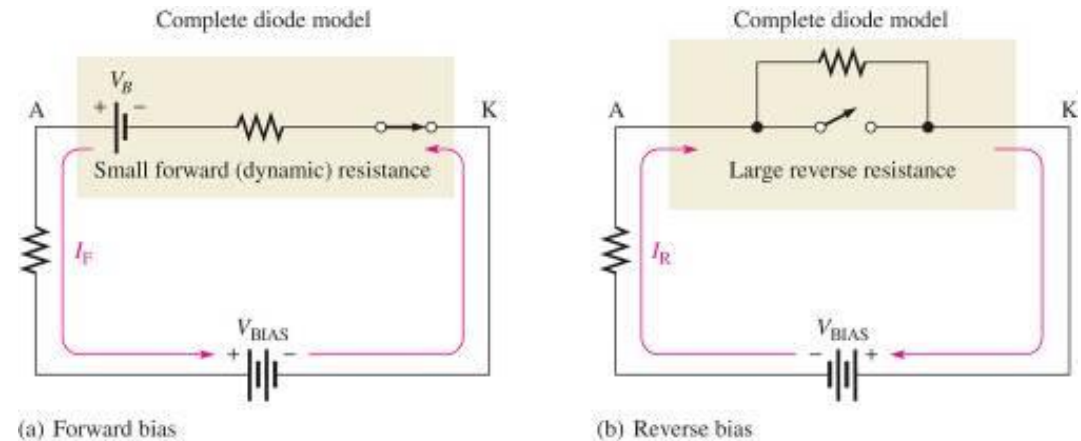
En mer realistisk modell inkluderer forover-barrieren.

En mer komplett modell inkluderer motstand i forover-retningen



Diodemodell (fortsatt)

- I noen tilfeller må man også modellere strømmen som går når dioden er i sperre-modus

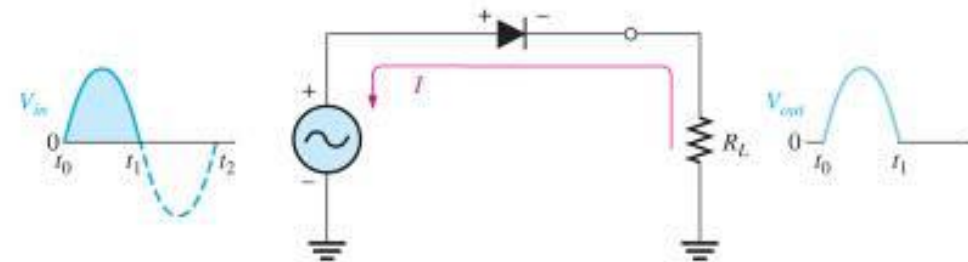


Bruk av dioder: Likerettere

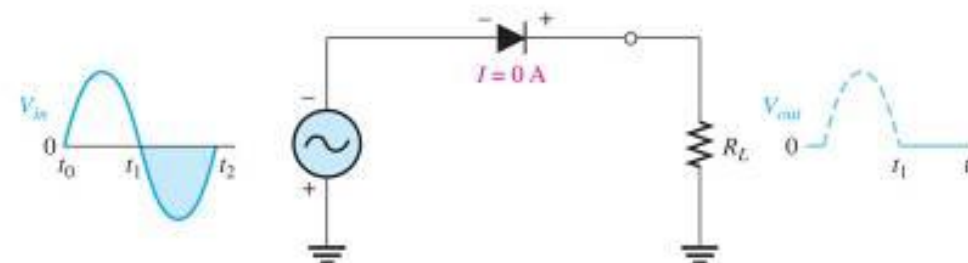
- Ofte trenger man å konvertere en vekselspanning/strøm til en likespenning/strøm, f.eks i strømforsyninger
- Dioder er essensielle i alle former for likerettere
- Den enkleste formen for likeretter er en *halvbølge*-likeretter



(a) Half-wave rectifier circuit



(b) Operation during positive alternation of the input voltage



(c) Operation during negative alternation of the input voltage

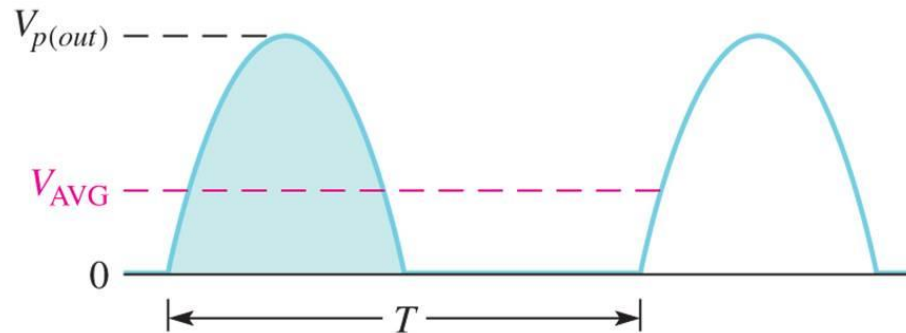


(d) Half-wave output voltage for three input cycles

Halvbølgelikeretter

- Den gjennomsnittlige utspenningen fra en halvbølgelikeretter er

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

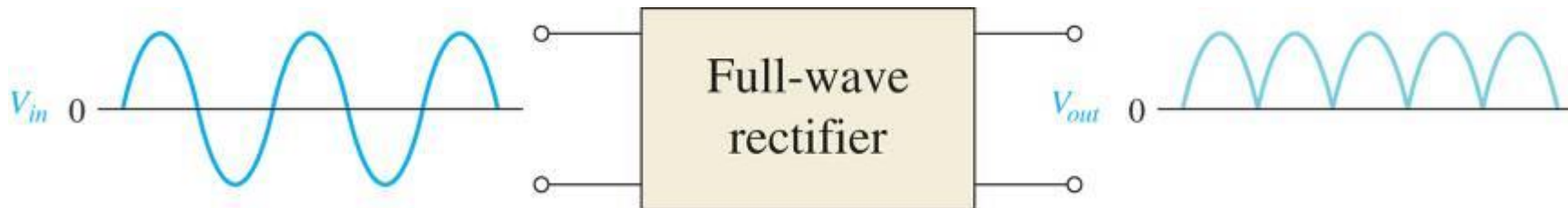


- Den maksimale utspenningen er gitt av $V_{AVG} = \frac{V_{P(IN)} - 0,7v}{\pi}$
- Tar man hensyn til spenningsfallet over dioden blir utspenningen $V_{p(out)} = V_{P(IN)} - 0,7v$

Fullbølgelikeretter

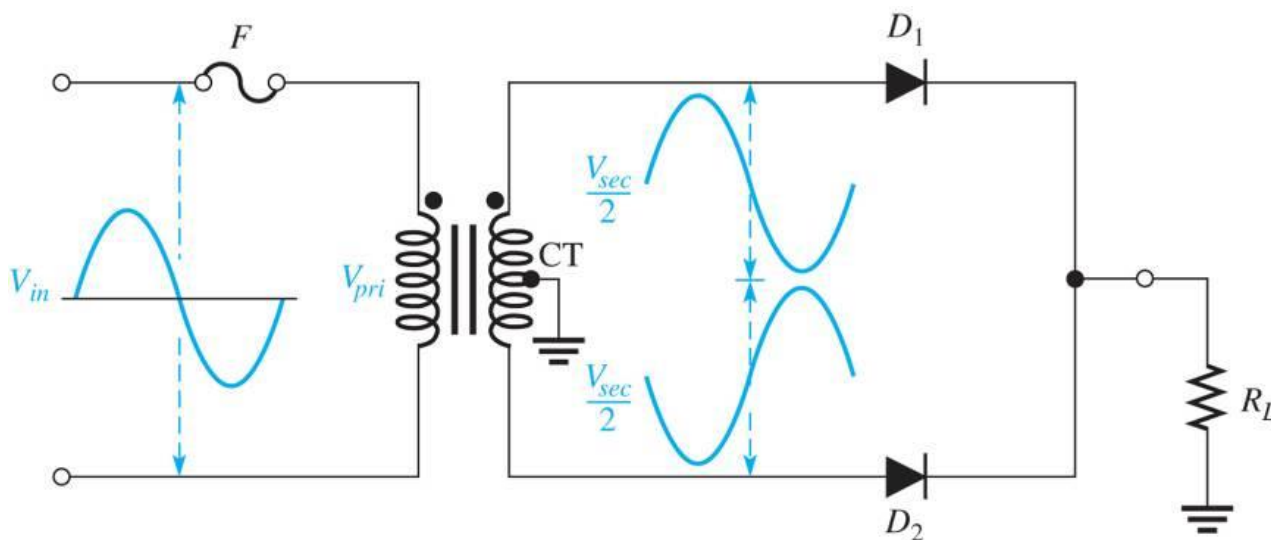
- Halvbølgelikeretteren er lite anvendelig siden den fjerner halve signalperioden
- Fullbølgelikeretteren «snur» den negative halvperioden og gjør den positiv, og den gjennomsnittlige utspenningen er det dobbelte av halvbølgelikeretterens

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



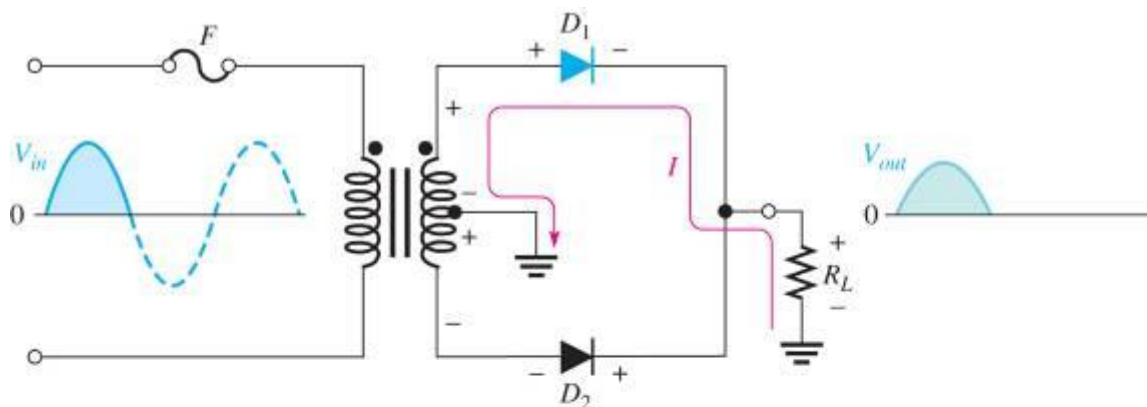
Fullbølgelikeretter (forts)

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

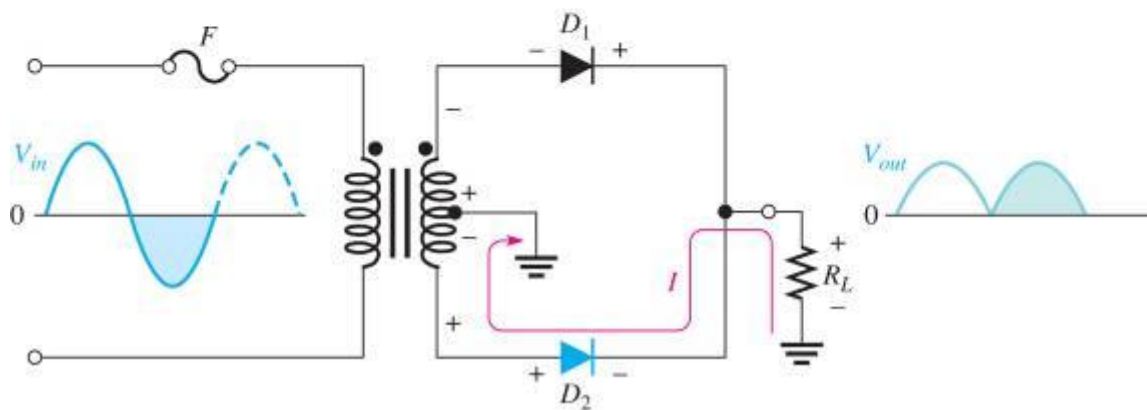


Fullbølgelikeretter (forts)

- I den ene halvperioden leder den ene dioden mens den andre er sperret, og når polariteten snur sperrer den første mens den andre leder



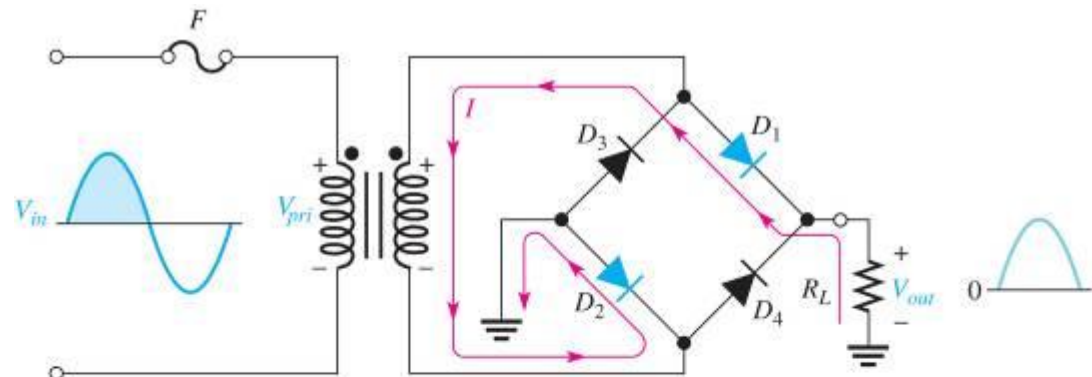
(a) During positive half-cycles, D_1 is forward-biased and D_2 is reverse-biased.



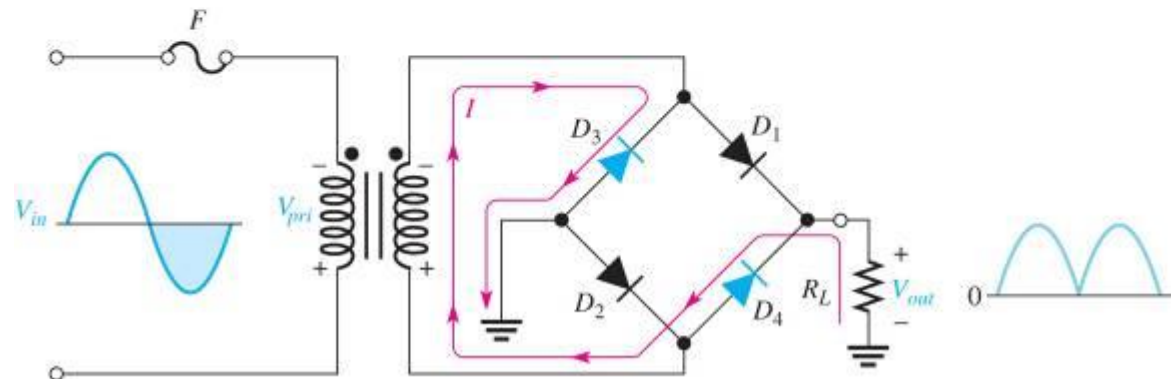
(b) During negative half-cycles, D_2 is forward-biased and D_1 is reverse-biased.

Brolikeretter (forts)

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



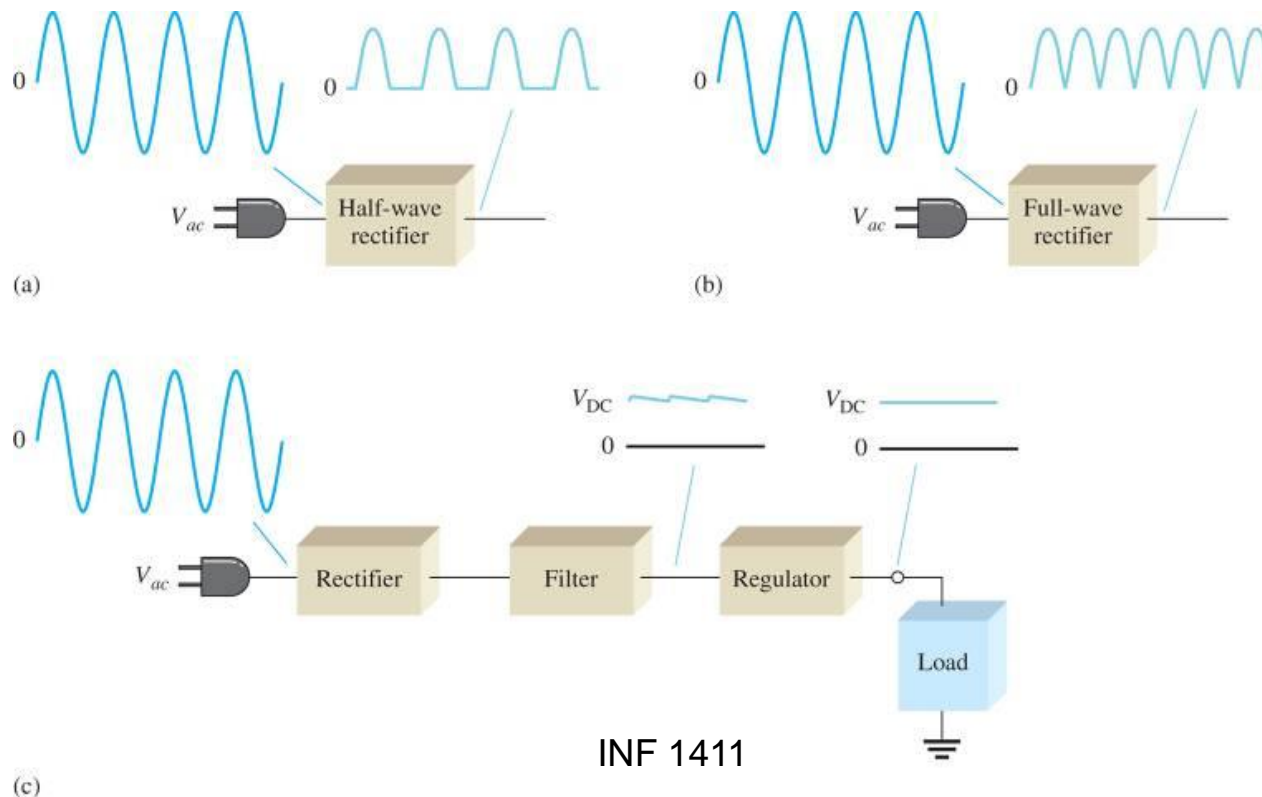
(a) During positive half-cycle of the input, D_1 and D_2 are forward-biased and conduct current. D_3 and D_4 are reverse-biased.



(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.

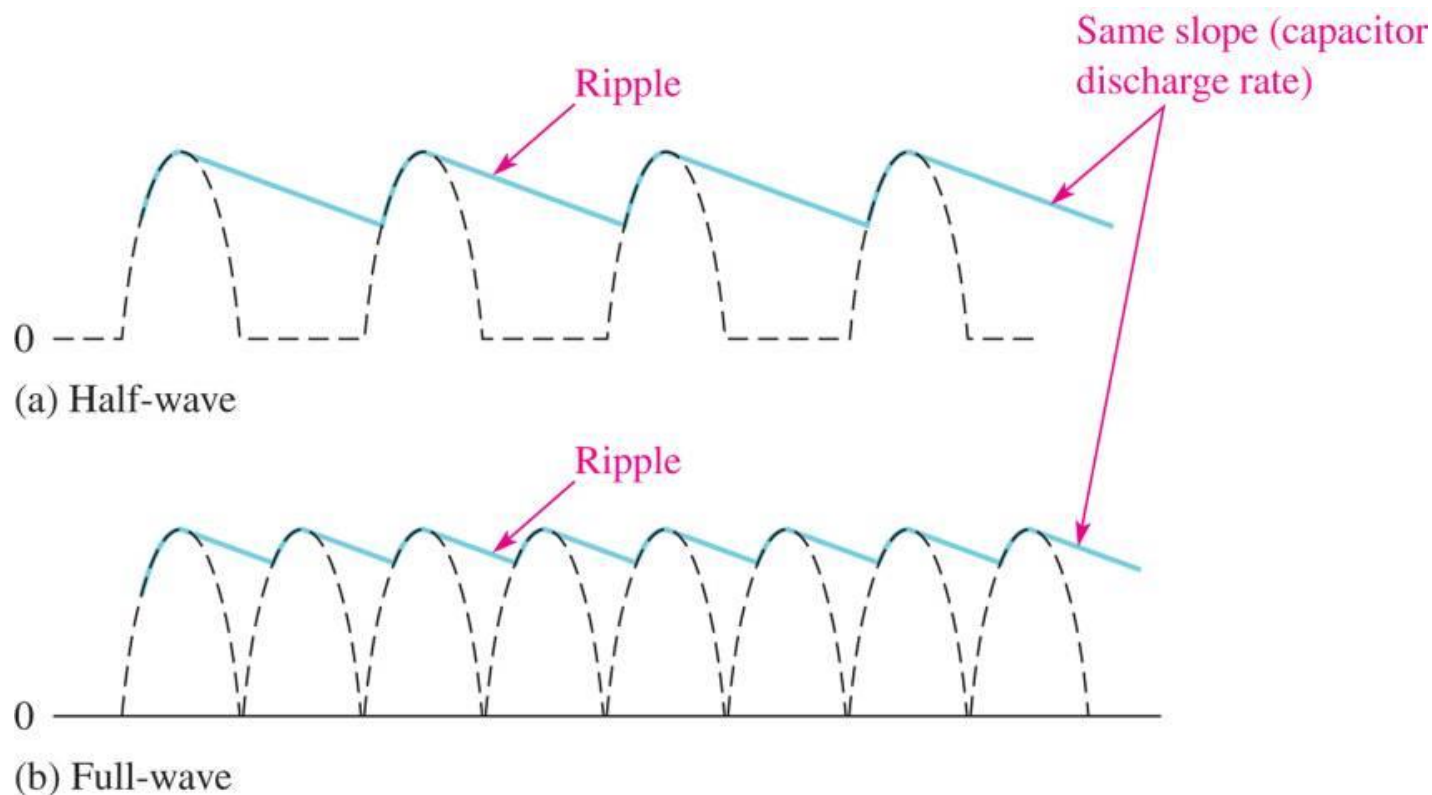
Strømforsyninger

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



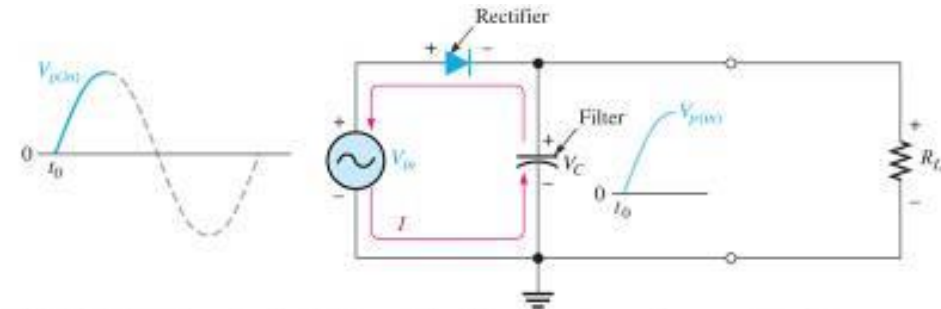
Strømforsyninger (fortsatt)

- Fullbølgelikerettere er bedre å bruke fordi det er mindre spenningsvariasjon som skal glattes ut

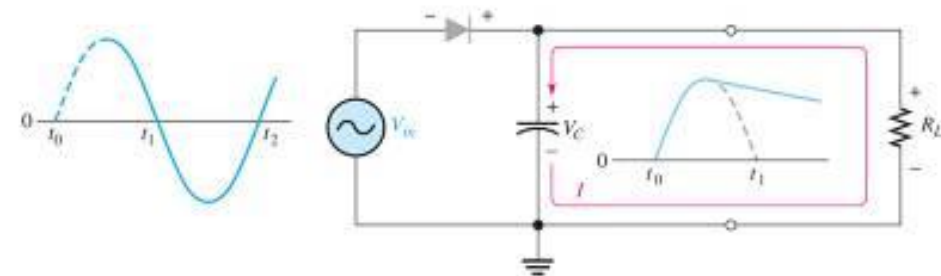


Strømforsyninger (fortsatt)

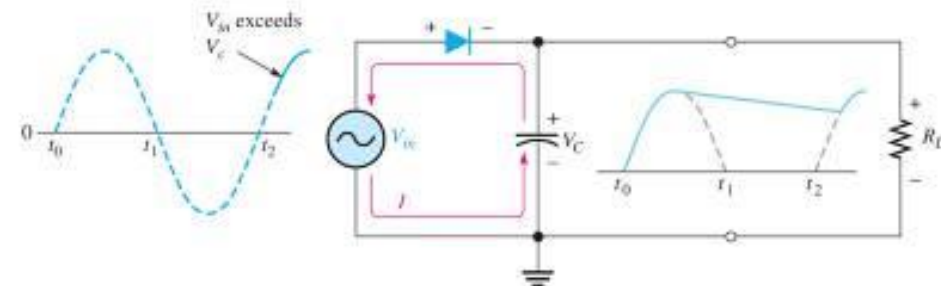
- Ved å koble inn en kondensator kan man glatte ut variasjonen i utgangssignalet
- I tillegg kan man sette inn regulatorer som kompenserer for temperatur, last og variasjon i input spenning



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



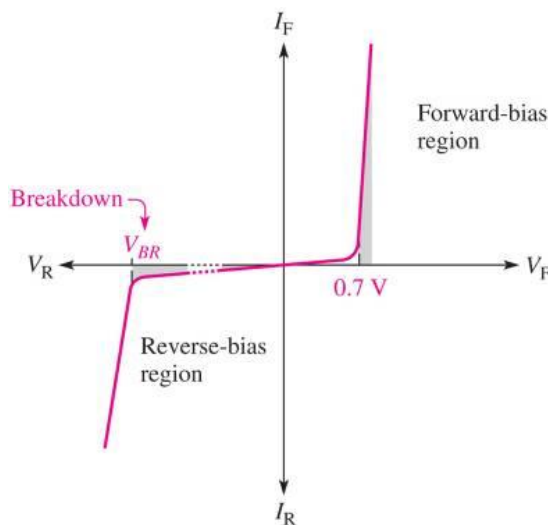
(b) The capacitor discharges through R_L after peak of positive alternation when the diode is reverse-biased. This discharging occurs during the portion of the input voltage indicated by the solid dark blue curve.



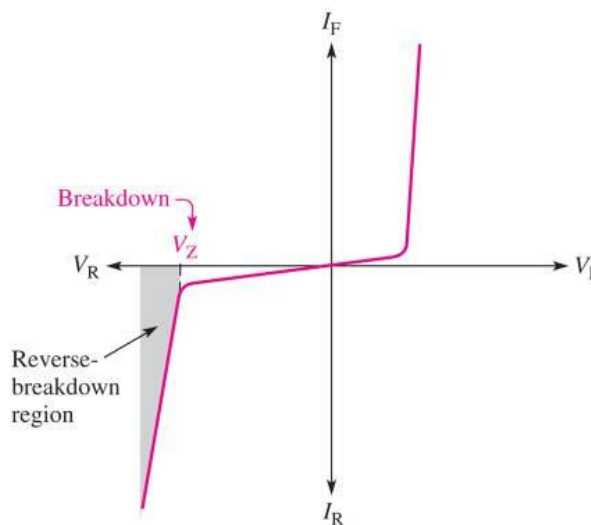
(c) The capacitor charges back to peak of input when the diode becomes forward-biased. This charging occurs during the portion of the input voltage indicated by the solid dark blue curve.

Spesialdioder

- En Zener-diode tåler høy revers-spenningen 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.



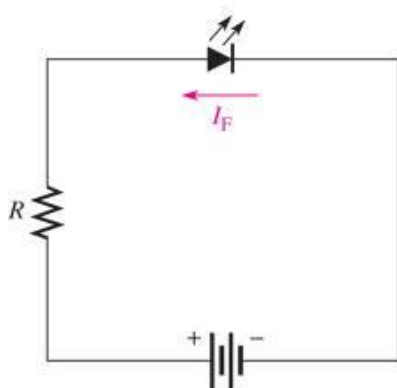
(b) The normal operating region for a zener diode is shaded.



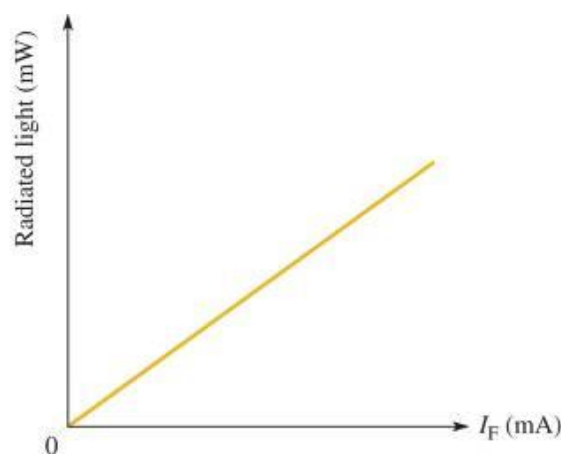
- Zener-dioden brukes ofte for å lage en spenningsreferanse

Spesialdioder (forts)

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



(a) Forward-biased operation



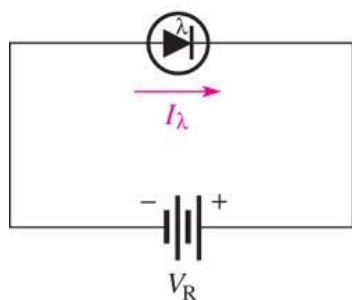
(b) Typical light output versus forward current



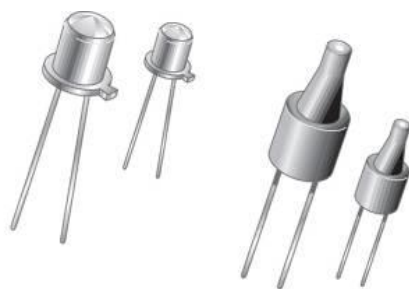
(c) Typical LEDs

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



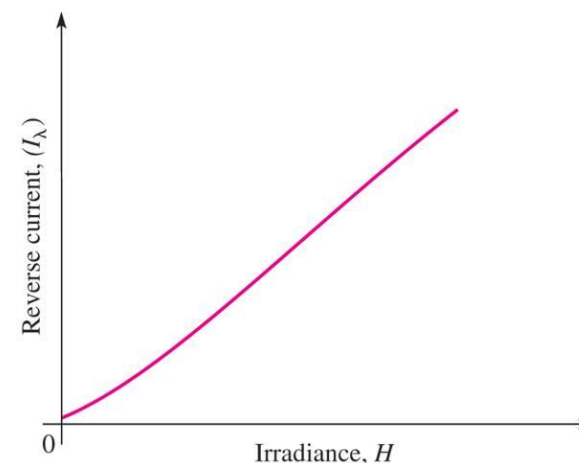
(a) Reverse-bias operation



(b) Typical devices

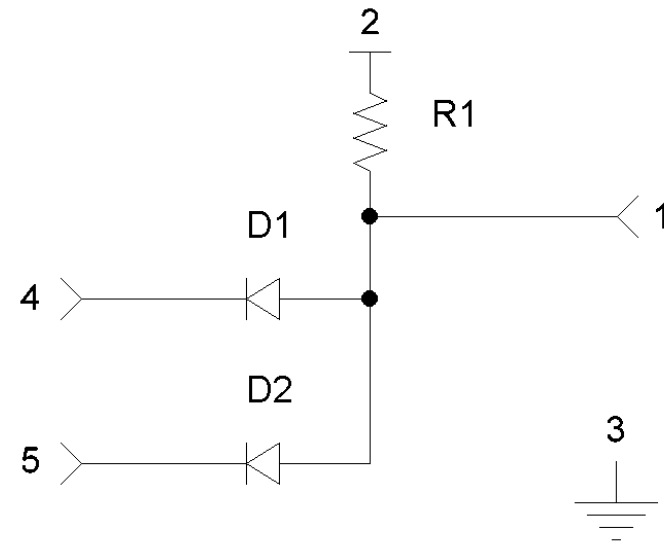
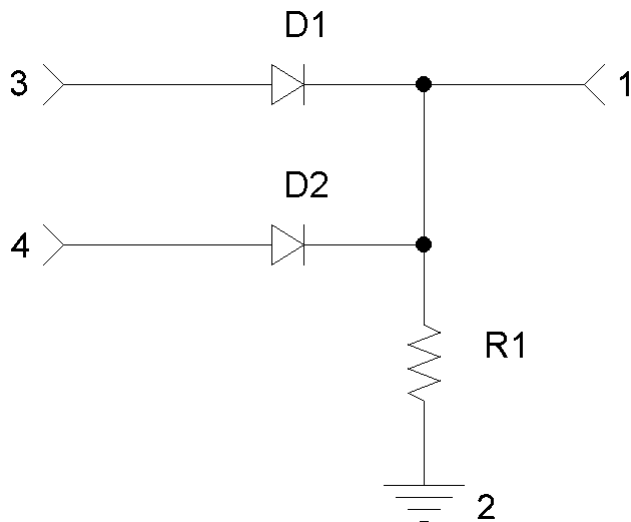


(c) Alternate symbol



Nøtt til neste gang

Hvilke Boolske funksjoner utfører de to kretsene?



Spørsmål

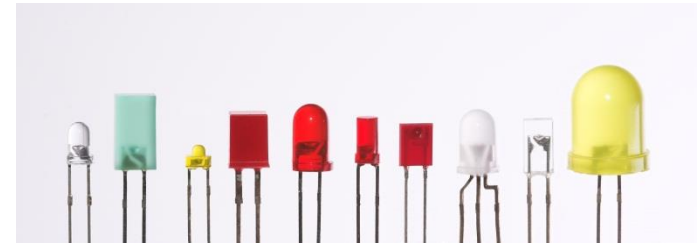
- Hva kjennetegner en leder, isolator og halvleder?
- Hva er et krystall?
- Hvilke to typer ladningbærere finnes det i halvledere?
- Hva er hhv majoritetsbærer og minoritetsbærer?
- Hva er p-type halvleder, og hva er n-type halvleder?
- Hva er et deplesjonsområde?
- Hva er en potensialbarriere?
- Hva er en diode?
- Hva er den viktigste egenskapen til diode?

Spørsmål

- Når leder en diode strøm, og når sperrer den?
- Hva skjer når en diode er i breakdown?
- Hva er årsaken til potensialbarrieren?
- Hvilke 4 ulike diodemodeller kan man ha?
- Går det strøm i foroverretningen når spenningen over dioden er mindre enn V_b ?
- Går det strøm i bakoverretningen når spenningen er negativ (men større enn breakdown-spenningen)?

Spørsmål

- Hva er en halvbølgelikeretter?
- Hva er rippelspenning?
- Hva er en helbølgelikeretter?
- Er en helbølgelikeretter god nok som et DC power-supply?
- Hva er en Zener-diode?
- Hva er det normale operasjonsområdet til en Zener-diode?
- Hva er en lysdiode?
- Hva er en fotodiode?
- Lyser en fotodiode?



Oppsummeringsspørsmål



Spørsmål 1

En halvleder

- a) Leder strøm bedre enn en leder
- b) Kan lede strøm i begge retninger
- c) Leder strøm bedre enn en isolator
- d) Kan ikke styres med strøm eller
spenning

Spørsmål 2

En majoritetsbærer vil si at

- a) Elektroner er hovedladningsbærere
- b) Hull er hovedladningsbærere
- c) Det enten er overvekt av hull eller elektroner som ladningsbærere
- d) Det ikke er frie elektroner tilgjengelig

Spørsmål 3

I deplesjonsområdet er det

- a) Overskudd på majoritetsbærere
- b) Overskudd på minoritetsbærere
- c) Overskudd av elektroner
- d) En potensialforskjell mellom p- og n-områdene

Spørsmål 4

Potensialbarrieren i en halvleder oppstår fordi

- a) Elektroner driver over mot det p-dopede området
- b) Hull driver over mot det n-dopede området
- c) Elektroner driver over mot det n-dopede området
- d) Hull driver over mot det p-dopede området

Spørsmål 5

I en diode er

- a) Strømmen i revers-retningen lik 0
- b) Deplesjonsområdet bredere under «reverse bias» enn under «forward bias»
- c) Potensialbarrieren alltid 0.7v
- d) Det en lineær sammenheng mellom strøm og spenning i foroverretningen

Spørsmål 6

En likeretter

- a) Endrer polariteten til en spenning
- b) Endrer retningen til strøm
- c) Slipper igjennom bare likespenninger
- d) Slipper bare igjennom strøm i en retning og sperrer i den motsatte retningen

Spørsmål 7

Zenerdioder

- a) Kan ikke brukes i spenningsreferanser
- b) Tåler høyere reversspenning enn vanlige dioder
- c) Ødelegges hvis den opererer i foroverretningen
- d) Kan ikke brukes i «breakdown»-området

Spørsmål 8

Doping

- a) Vil si å tilføre frie elektroner
- b) Vil si å fjerne frie elektroner
- c) Vil si å tilføre urenheter for å øke ledningsevnen
- d) Kan bare tilføres til silisium
- e) Er ikke å anbefale

Spørsmål 9

En diode

- a) Leder strøm i foroverretningen og sperrer i returretningen
- b) Sperrer strøm i foroverretningen og leder strøm i returretningen
- c) Leder strøm i foroverretningen hvis spenningen over dioden er lavere enn potensialbarrieren
- d) Sperrer i foroverretningen hvis spenningen over dioder er høyere enn potensialbarrieren

Spørsmål 10

Rippelspenning

- a) Er avviket fra en ren DC-spenning
- b) Skyldes at barrierespenningen er større en 0v
- c) Øker ved bruk av glattekondensatorer
- d) Finnes bare i fullbølge-likereettere