

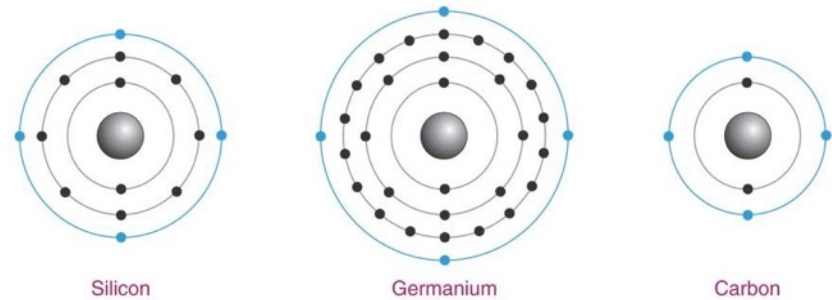
# UKE 6

- Dioder, kap. 17, s. 533-564,
- Diode Kretser, kap. 18, s. 574-605

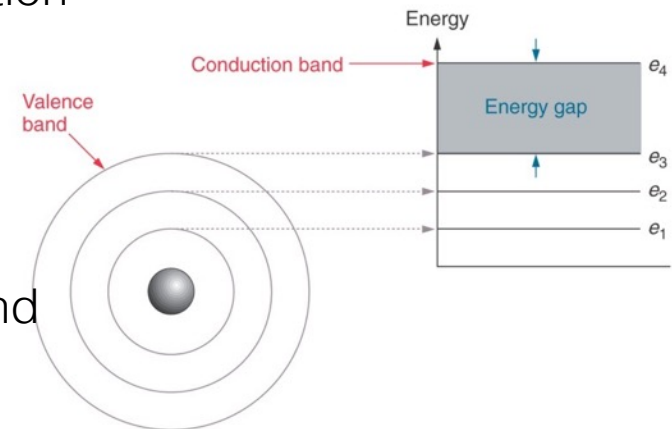
# Dioder

## Solid State Components

- Halvledere – Semiconductors
- Atomer med 4 valenselektroner
- Mange materialer kan opptre som halvledere:
- SiC, PbS, InAs, GaAs, GaN, ZnO ...

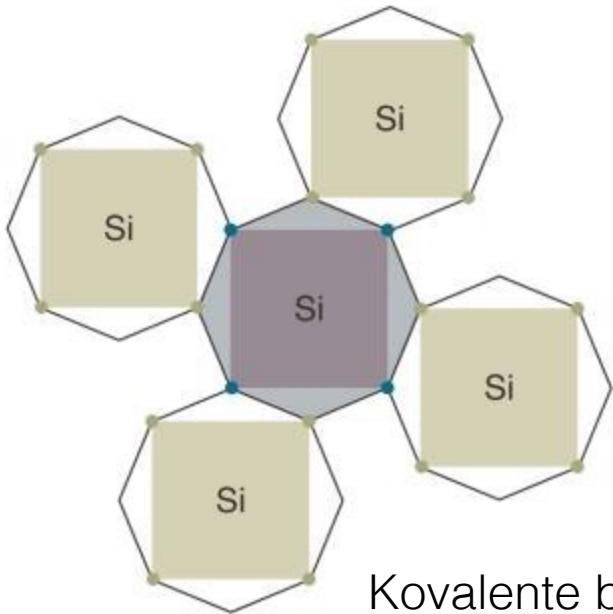


- Ladning og ledning – Charge and Conduction
  - Conduction Band – “Lednings - bånd” - Energitilstand over valens-båndet
  - Et elektron som absorberer energi og “hopper” fra valensbåndet til ledningsbåndet sier vi er i eksitert tilstand (excited state )

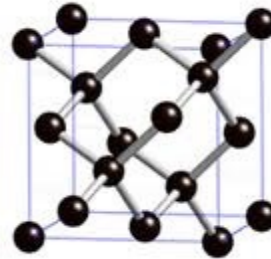


# Halvledere

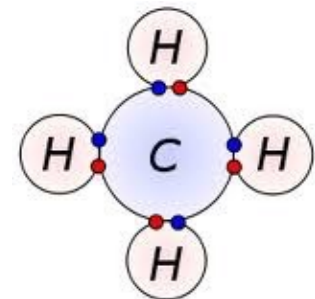
- Covalent Bonding – struktur som enkelte atomer bruker for å komplettere “valensbåndet” til 8 elektroner. Det utveksles elektroner med naboatomene -
- Silisium med 4 valenselektroner danner en “diamantstruktur”. Det utveksles elektroner med naboatomene slik at det dannes en konfigurasjon med 8 elektroner rundt hvert atom.



Kovalente bindinger hos C og Si danner sterke krystallstrukturer



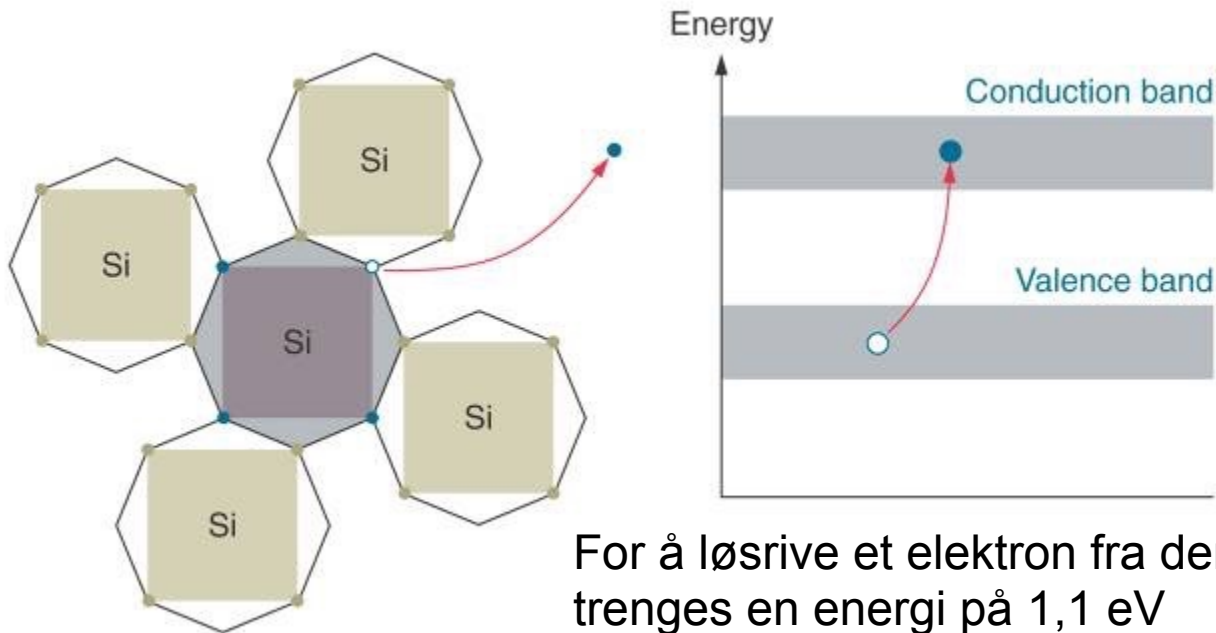
Kjemiske forbindelser søker også en konfigurasjon med 8 elektroner



Metan CH<sub>4</sub>

# Halvledere

- Conduction – Ledning i rene halvledere
  - Electron-Hole Pair - Når det tilføres energi i form av varme/stråling løftes et elektron fra valensbåndet opp i ledningsbåndet.
  - Recombination – Når et fritt elektron i ledningsbåndet “faller ned” i et ledig “hull” i valensbåndet. Energien frigjøres enten som varme eller elektromagnetisk stråling



For å løsrive et elektron fra denne strukturen trenges en energi på 1,1 eV

# Halvledere

## -Doping

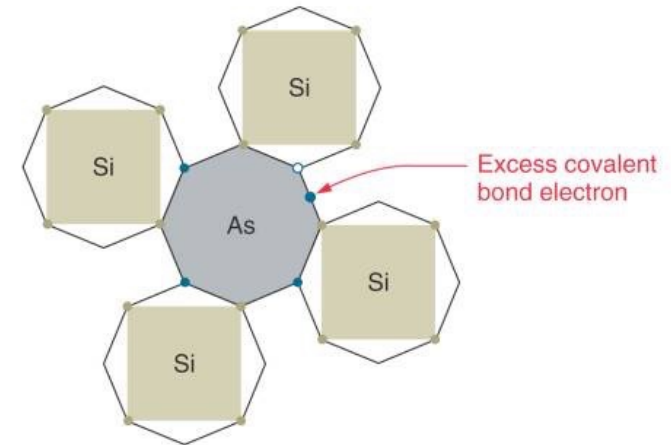
- Doping – En prosess hvor vi “forurensner” rent (intrinsic) silisium ved å tilsette trivalente og pentavalente grunnstoffer. Dette gjør vi for å øke ledningsevnen (conductivity) til silisiumkrystallen. Ca 1 “forureningsatom” pr.  $10^6$  silisiumatomer
  - Trivalent Grunnstoff med 3 elektroner i valensbåndet (ytte skall)
  - Pentavalent Grunnstoff med 5 elektroner i valensbåndet

<i>Trivalent Impurity</i>	<i>Pentavalent Impurity</i>
Aluminum (Al)	Phosphorus (P)
Gallium (Ga)	Arsenic (As)
Boron (B)	Antimony (Sb)
Indium (In)	Bismuth (Bi)

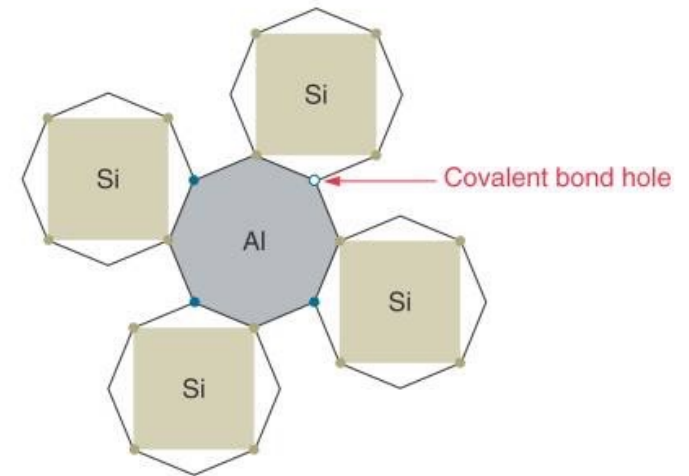
# Halvledere

## -Doping

- N-Type Materials – vi “forurenses” med et stoff so har 5 valenselektroner. Vi får et ekstra elektron so ikke blir med i den kovalente bindingen.
  - Electrons – majority carriers
  - Holes – minority carriers
- P-Type Materials Vi tilfører et stoff med 3 valenselektroner. Det betyr at strukturen ikke fylles – det mangler et elektron i den kovalente bindingen
  - Holes – majority carriers
  - Electrons – minority carriers



Det skal lite energi til før dette elektronet frigjøres - ca 0,05eV

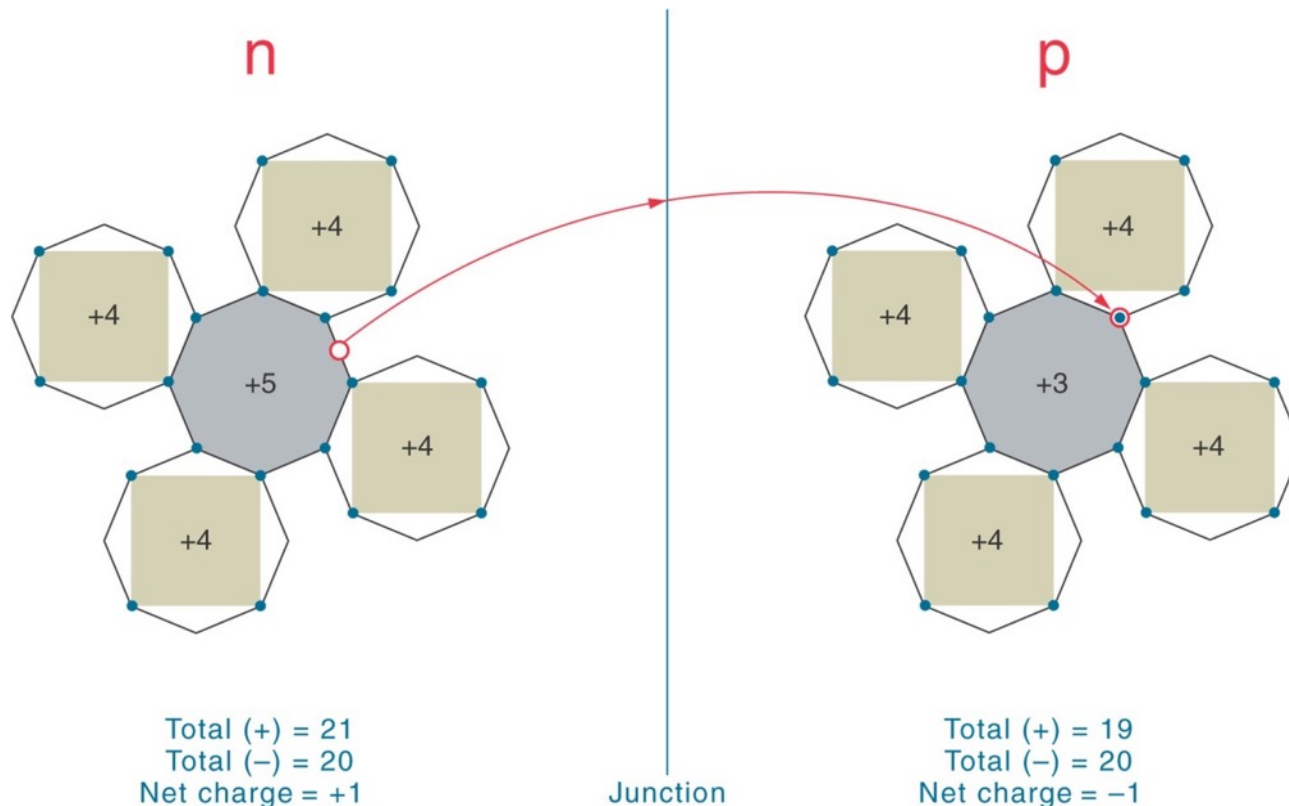


# Halvledere

## -Doping

Setter vi et n-dopet silisium sammen med p-dopet silisium får vi en diffusjon av elektroner fra n-siden over til p-siden.

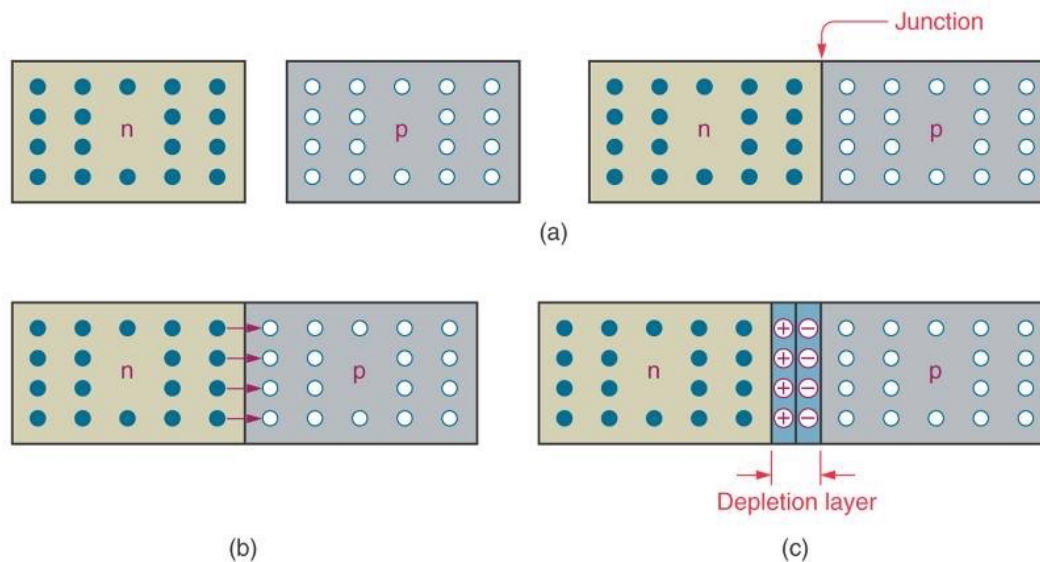
( Diffusjon = En drift av elektroner fra et område med høy elektrontetthet til et område med lav elektrontetthet )



# The PN Junction – P1

PN Junction – vi setter sammen n-type og p-type materialer

- Frie elektroner i n-området vil pga. diffusjon vandre over til p – hvor de rekombinerer med "hull". Elektronene etterlater seg et positivt ladet område i n, - og der de rekombinerer med hull for vi et negativt ladet område på p-siden.
- Det dannes et sperresjikt (depletion layer = område uten frie ladningsbærere) mellom de to materialene som straks stopper videre ladningstransport fra n – over til p.



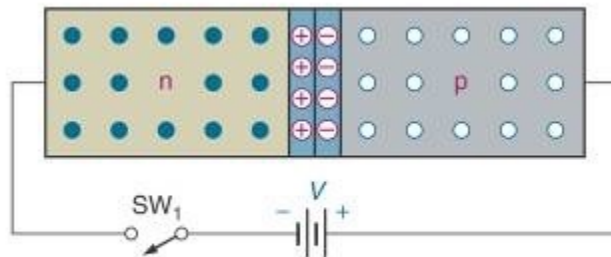




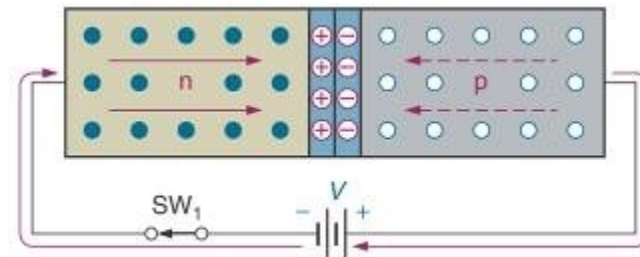
# Bias – P1

## Kap 17.4

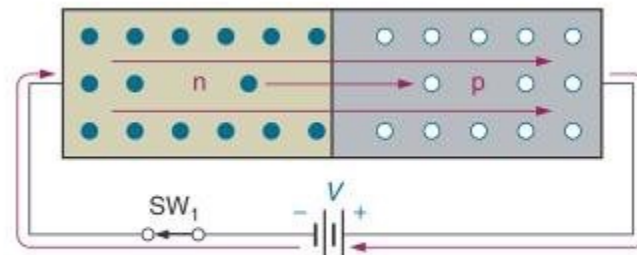
- Bias eller forspenning – et potensial som tilføres pn junction fra en utvendig spenningskilde (f.eks. batteri). Denne bias-spenning bestemmer bredden på depletion layer
- Forward Bias – Tilført spenning motvirker det interne sperrefeltet. Dette åpner for elektrontransport fra n til p



(a) An unbiased *pn* junction



(b) Majority carrier motion at the moment  $SW_1$  is closed.



(c) Conduction increases as the depletion layer breaks down.

# Bias – P2

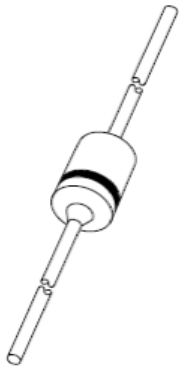
## Kap 17.4

### Forward Bias (Continued)

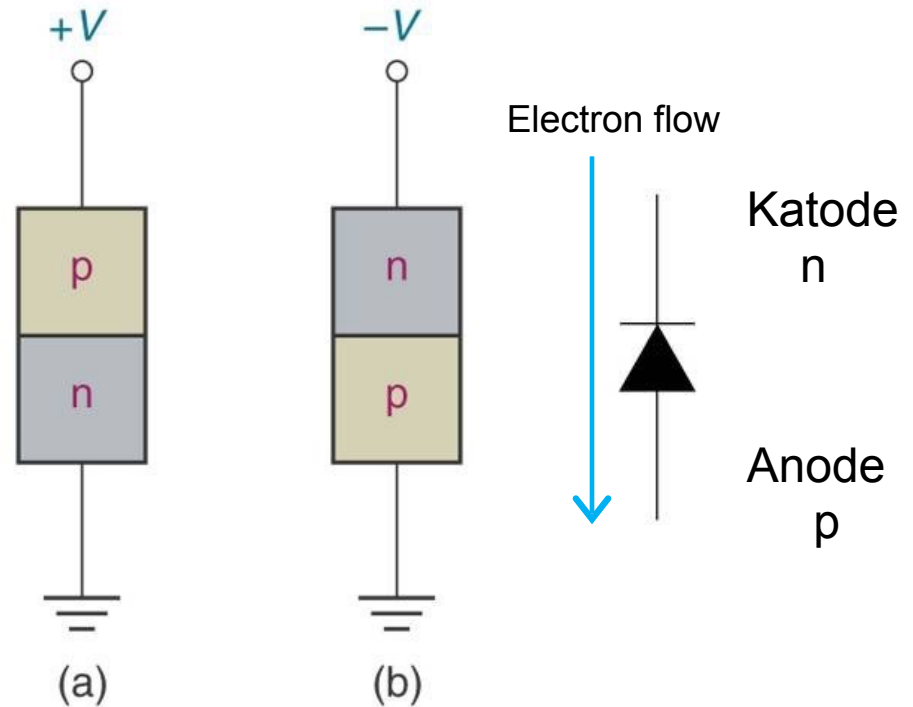
Bulk Resistance ( $R_B$ )

$V_F \cong 0.7 \text{ V}$  for silicon

$V_F \cong 0.3 \text{ V}$  for germanium



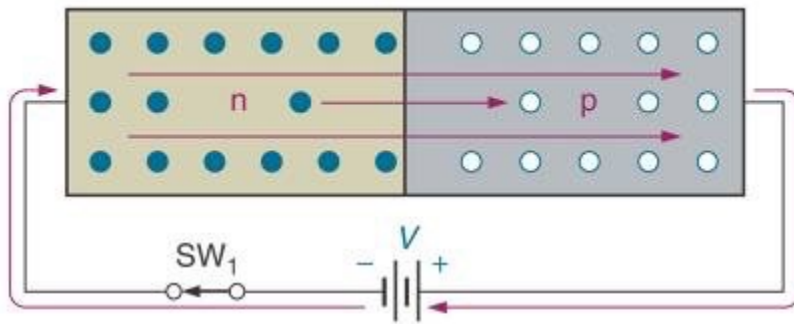
På vanlige dioder vil katoden ofte være merket med en ring eller prikk



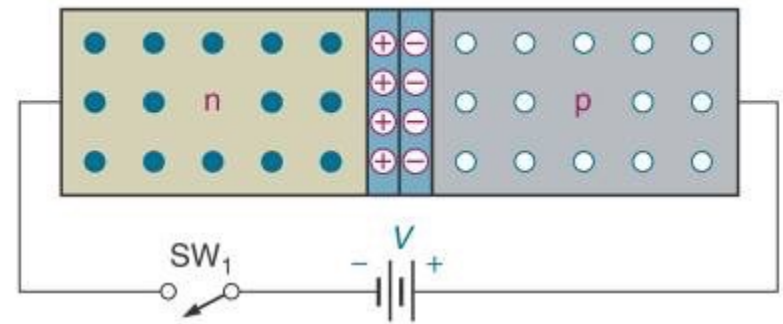
# Bias – P3

## Kap 17.4

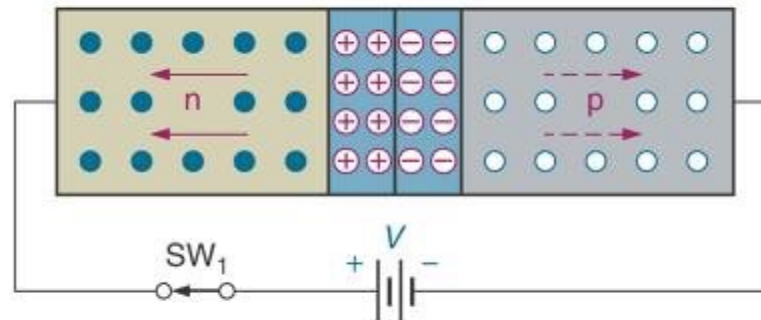
Reverse Bias. Tilført spenning virker sammen med det interne sperrefeltet. Dette sperrer for elektrontransport fra n til p



(a) A conducting  $pn$  junction



(b) A depletion layer forms when the current path is broken.



(c) When the polarity of  $V$  is reversed, the depletion layer widens.

# PN Junction Diodes – P1

## Kap 17.5

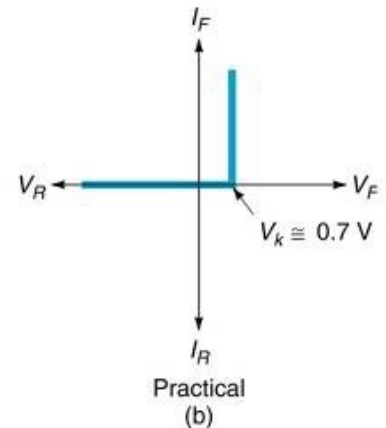
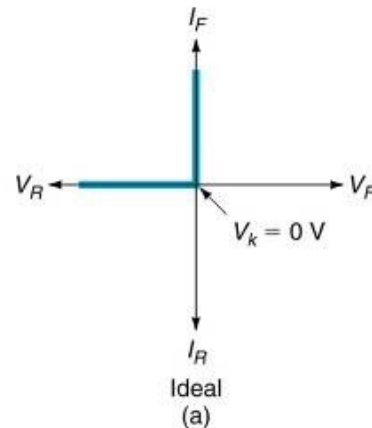
- Diode – en komponent som leder strøm i en retning
- Elektroner vandrer fra Katode til Anode når dioden er forspent i lederetning.



Ideal Diode Characteristics – would act as a simple switch

**Reverse Biased (Open Switch)** – has infinite resistance, zero reverse current, and drops the applied voltage across its terminals

**Forward Biased (Closed Switch)** – has no resistance, and therefore, no voltage across its terminals

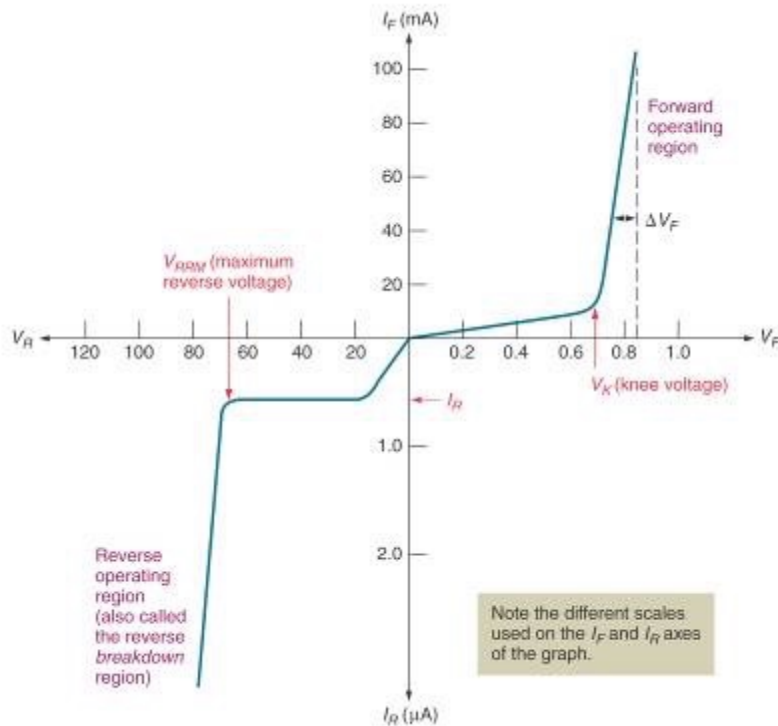


# Other Diode Characteristics – P1

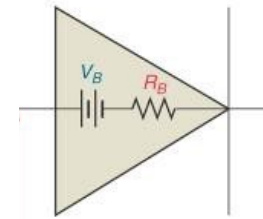
## Kap 17.7

### Bulk Resistance ( $R_B$ )

- Den “naturlige” motstanden i diodematerialet for p-type og n-type
- Denne motstanden får betydning når dioden leder strøm



$$V_F = 0,7\text{v} + I_F \cdot R_B$$



$$I_D = I_R (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

$I_D$  = diodestrømmen

$I_R$  = Reverse Current ( lekkasjestrøm )

$V_D$  = diodespenningen

$V_T$  = termisk spenning = 25mV

$n$  = 1 ev. 2

# Other Diode Characteristics – P2

## Kap 17.7

Reverse Current ( $I_R$ ) ( lekkasjestrøm – noen bruker betegnelsen  $I_S$  )

- En liten strøm av minoritetsbærere (elektroner i p-området) vil lekke over sperresjiktet (depletion layer) når dioden er forspent i sperreretning
- $I_R$  består av to uavhengige strømmer
  - Reverse Saturation Current ( $I_R$ ) for Si =  $10^{-15}$  A for Ge =  $10^{-7}$  A
  - Surface - Leakage Current ( $I_{SL}$ ) varierer med overflatens størrelse

Det korrekte uttrykk for strømmen i dioden er gitt av likningen

$$I_D = I_R (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

$V_D$  = spenningen over dioden

$V_T$  = den termiske spenningen = 25mV

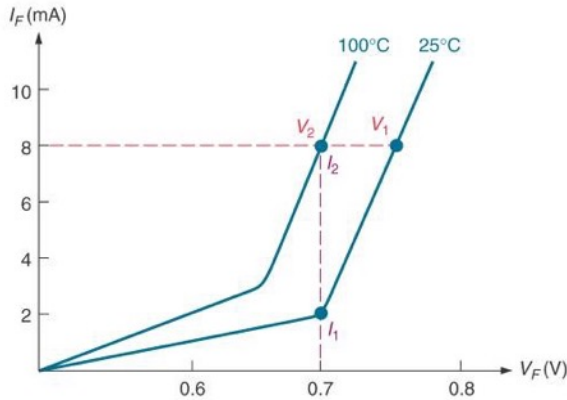
ved 300° Kelvin (se komp. fys.elektr)

$$V_T = \frac{\bar{k} \cdot T}{q} = \frac{T}{11600} = 0,0259 \text{ volt} \approx 25 \text{ mV}$$

# Other Diode Characteristics – P3

## Kap 17.7

### Temperature Effects on Diode Operation

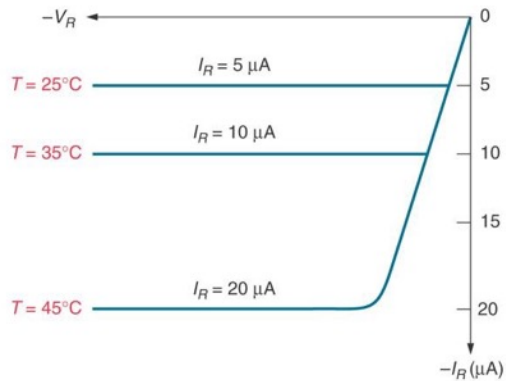


NB! Husk disse kurvene er eksponentialfunksjoner. Bokas fremstilling er ikke helt korrekt..

$$I_F \approx I_R \cdot e^{V_D/V_T} \quad \text{Hvor}$$

$$V_T = \frac{\bar{k} \cdot T}{q} = \frac{T}{11600} = 0,0259 \text{ volt}$$

Ved 300° Kelvin

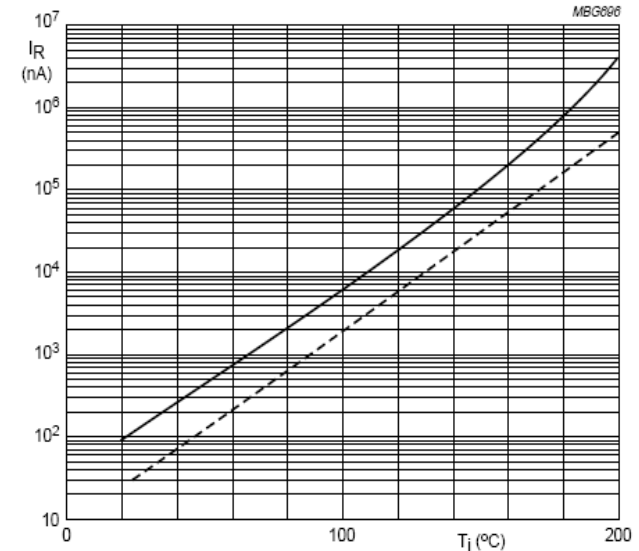


”Revers-strømmen”  $I_R$  vil også øke med temperaturen. Legg merke til at  $I_R$  holder seg konstant selv om ”revers-spenningen” ( $-V_R$ ) øker ... Strømmen bestemmes kun av antall termisk eksiterte elektroner.

Litt fysikalsk elektronikk

$$\frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T \quad \text{Einstein 1905}$$

Forholdet mellom diffusjonskonstanten  $D$  og mobiliteten  $u$  til en ladningsbærer er konstant



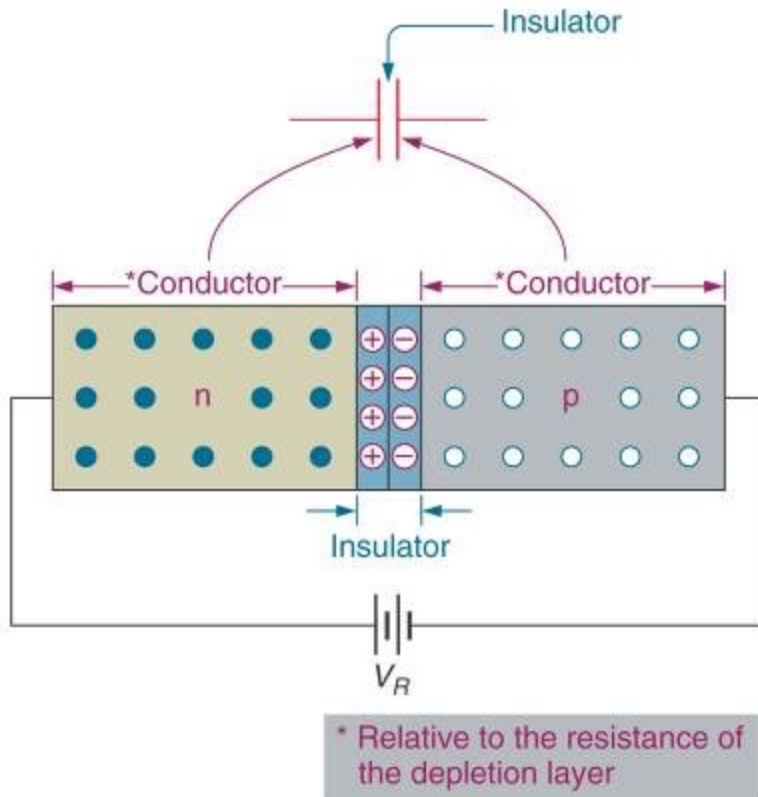
Reverse Current  $I_R$  som funksjon av temperatur ( dioden BAX 12 )  
Stiplet linje = typisk verdi  
- hel linje = max verdi iht. datablad



# Other Diode Characteristics – P4

## Kap 17.7

### Diode Capacitance



Depletion layer virker som en isolator mellom anode og katode. Vi ser at dioden kan betraktes som en kondensator når den er forspent i sperre- retning.

Hvis spenningen i sperre- retning økes - vil tykkelsen på depletion layer øke.

Det betyr at dioden i sperre- retning kan brukes som en variabel kondensator.

Det lages spesielle dioder til slikt bruk – "varicap-dioder"

Brukes ofte i radiomottakere til frekvens- innstilling (stasjonsvalg)

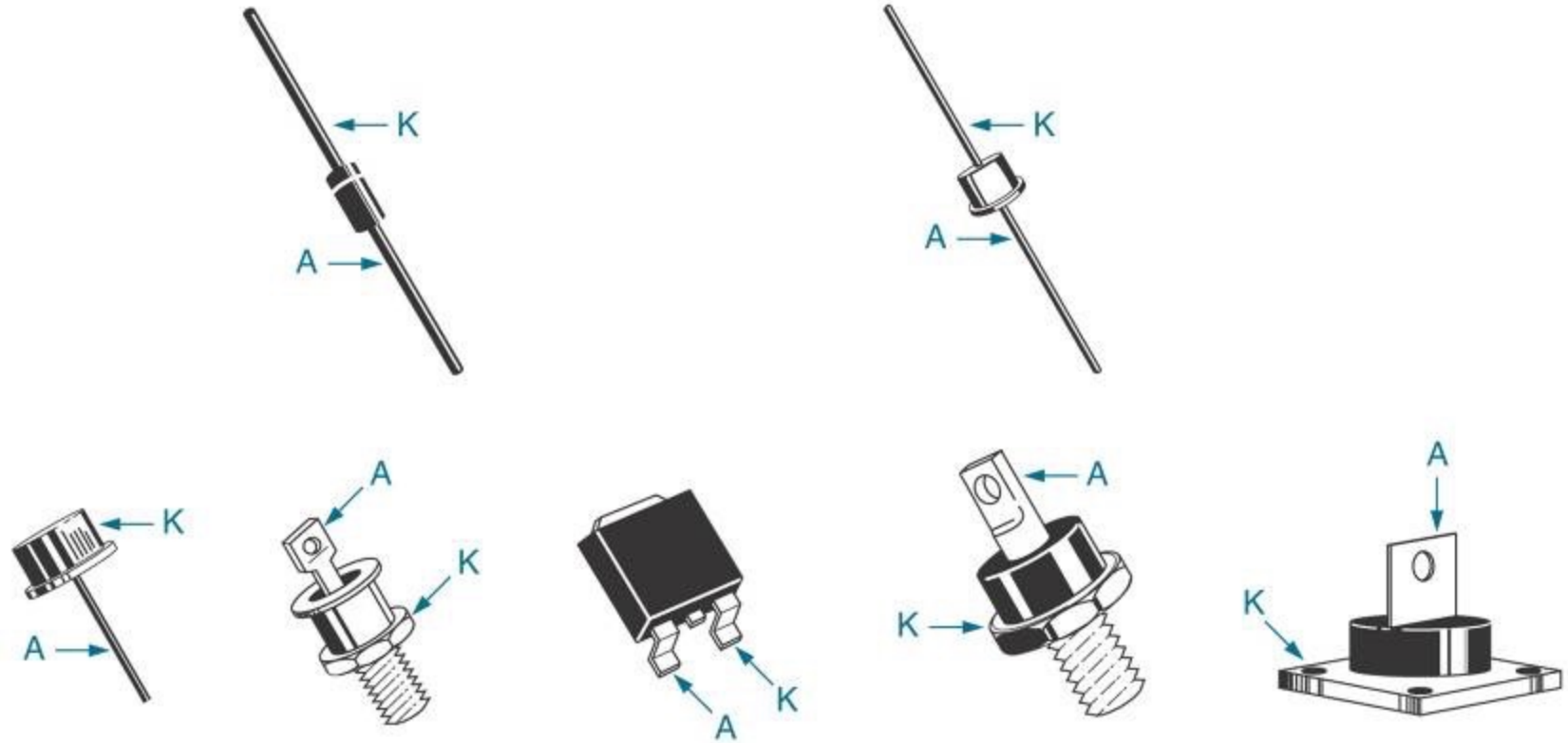
$$W_{dep} = \sqrt{\frac{2\epsilon_S}{q} \cdot \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right)} \cdot V_0$$

Typiske verdier for  $W_{dep} = 0,1 - 1\mu\text{m}$

# Other Diode Characteristics – P5

Kap 17.8

## Diode Identification



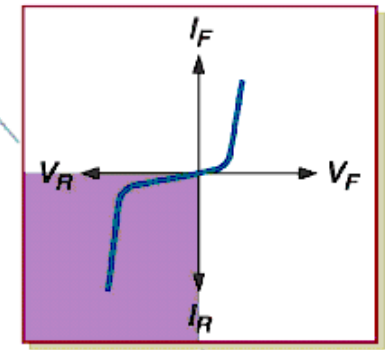
# Zener Diodes P1

## Kap. 17.9

Zener Diode – a type of diode that is designed to work in the reverse breakdown region of its operating curve.

- Reverse Breakdown Voltage ( $V_{BR}$ )
- Application: Voltage Regulator
- Zener Voltage ( $V_Z$ )

Zener operating curve



To effekter gir grunnlag for zener-diodens karakteristikk:

- Avalanche (skred) Frie ladninger akselereres – disse kolliderer med Si-strukturen og frigjør nye ladninger
- Zener-effekt (kvantemekanisk tunneling) E-feltet er så sterkt at elektroner rives løs fra de kovalente bindingene

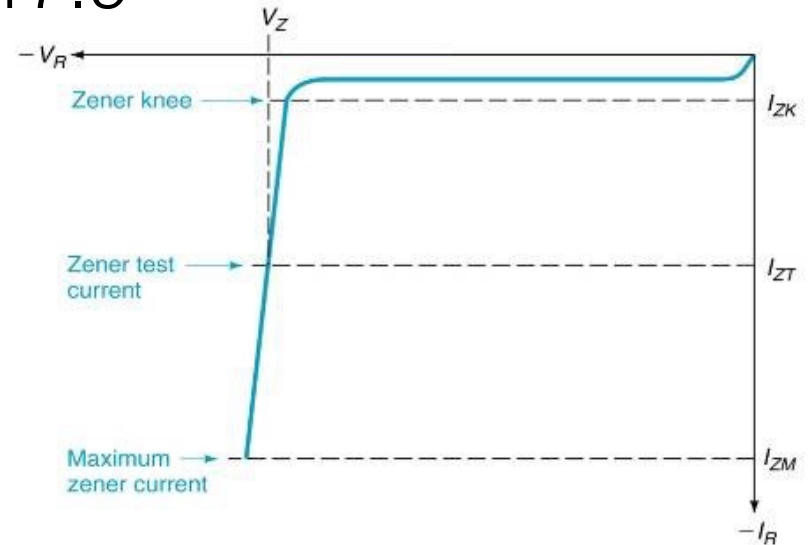
Avhengig av doping-graden vil en eller begge disse effektene bestemme zenerdiodens "breakdown voltage"

# Zener Diodes P1

## Kap. 17.9

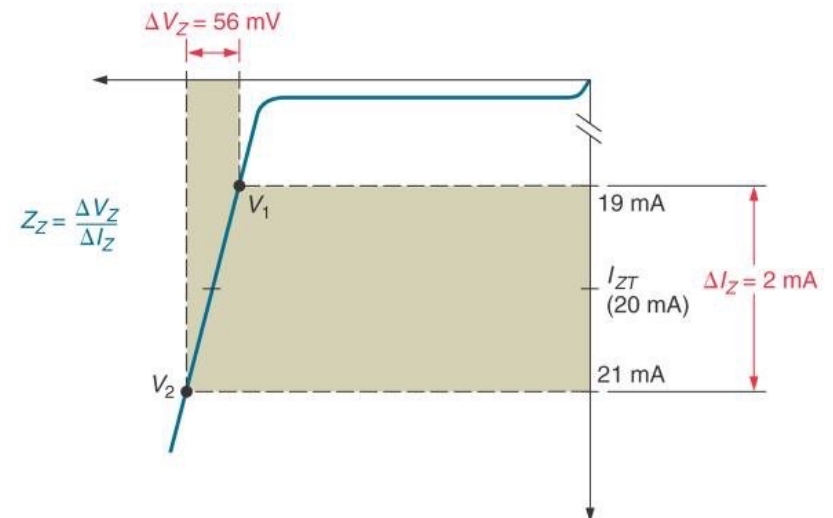
### Zener Operating Characteristics

- Zener Knee Current ( $I_{ZK}$ )
- Maximum Zener Current ( $I_{ZM}$ )
- Zener Test Current ( $I_{ZT}$ )
- Zenerspenningen vil være temperaturavhengig – dioder med en spenning på ca. 5,6 volt vil være temperaturstabile. Vi kaller ofte slike dioder – referansedioder



### Zener Impedance ( $Z_Z$ ) –

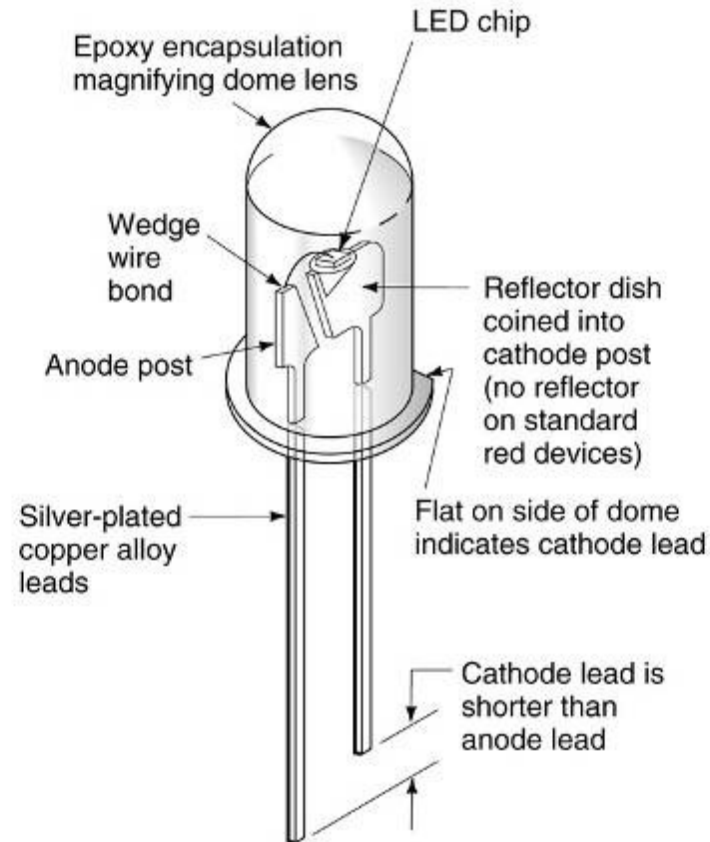
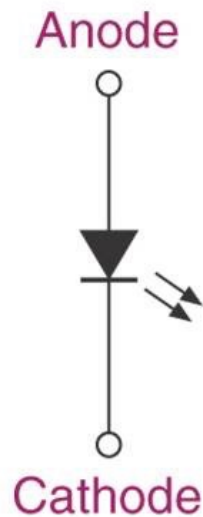
the zener diode's opposition to a change in current



# Light-Emitting Diodes P1

## Kap 17.11

**Light-emitting diodes** (LEDs) – lysdioder er bygget opp av spesielle halvleder-materialer hvor energi-nivåene (ledningsbånd – valensbånd) er slik at et fritt elektron som rekombinerer med et 'hull' vil avgi en strålingsenergi som ligger i frekvensområdet for synlig lys. - J.fr. Planck  $E = h \cdot f$

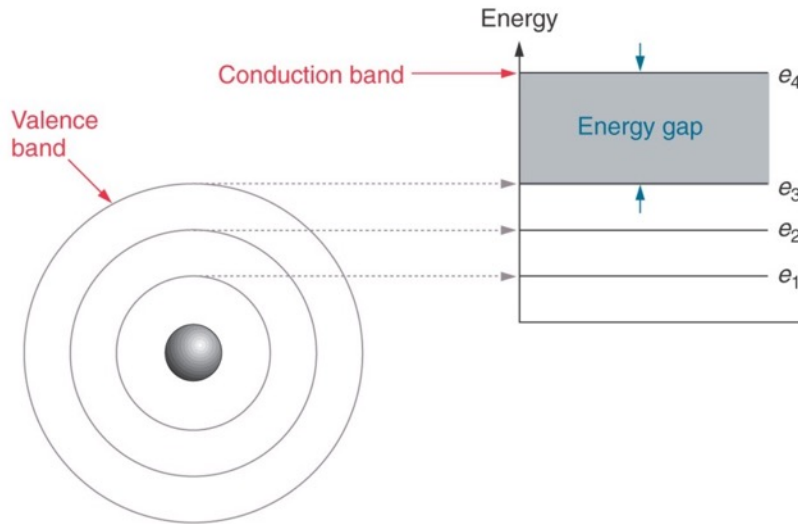


# Light-Emitting Diodes P2

## Kap 17.11

### LED Characteristics

- Forward Voltage: +1.2 to +4.3 V (typical)
- Reverse Breakdown Voltage: -3 to -10 V (typical)



Et fritt elektron som rekombinerer med et "hull" vil avgis energi  $E$ . Avhengig av materialene som benyttes vil denne energien bli avgitt som varme – eller som elektromagnetisk stråling med en frekvens ( $f$ ) vi oppfatter som lys.

$$E = h \cdot f \quad h = \text{Planck's konstant}$$

Gallium Arsenid

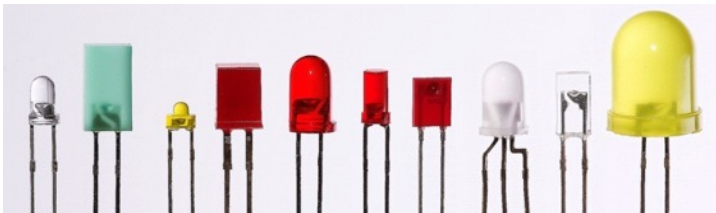
GaAs – infrarødt lys  $\lambda \approx 900\text{nm}$

Gallium Arsenid-fosfid ,

GaAsP RØDT LYS - ca. 2,0 volt

GaP – GRØNT LYS - ca.

GaN – BLÅTT LYS



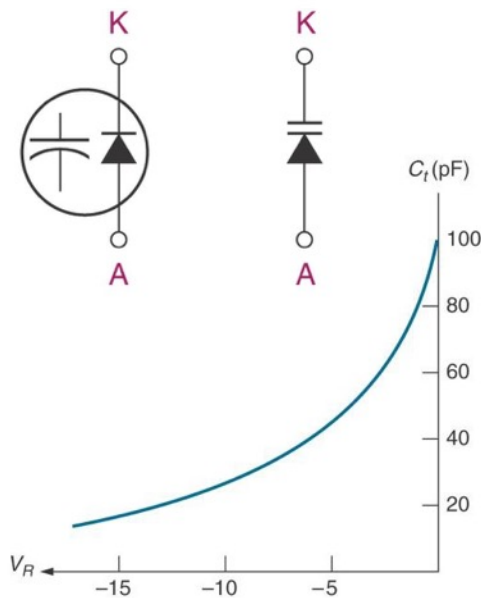
# Spesielle dioder

## -Varicap-diode

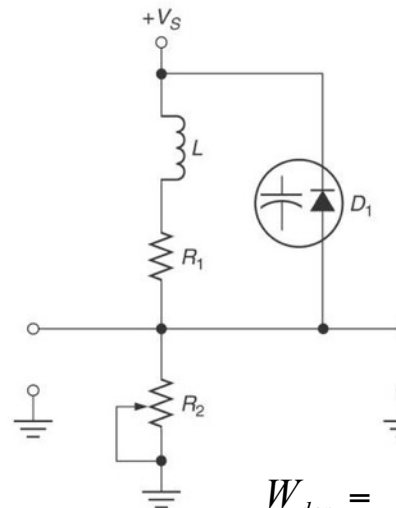
Varicap-diode – Varactor diode - Variable capacitance diode

Dioden brukes som variabel kondensator i for eksempel resonanskrets (LC-krets). Kretsens resonansfrekvens bestemmes av spenningen over dioden.

Sperresjiktets tykkelse varierer med spenningen som legges over dioden. Brukes i radioapparater for å stille inn frekvens til ønsket radiokanal. ( NRK P1 Tryvann 88,7 MHz, NRK P1 Halden 94,8 MHz )



Spenning i sperreretning



Resonanskrets

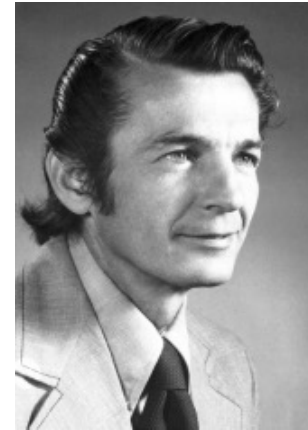
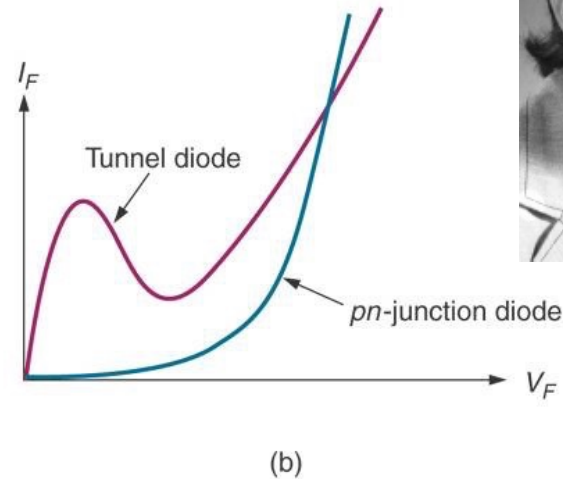
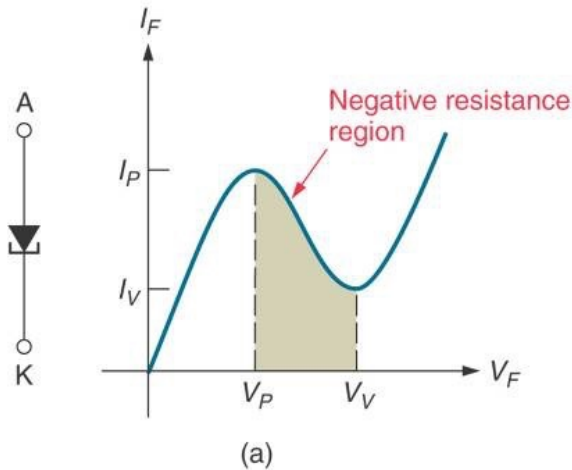
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz}$$

$$W_{dep} = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \cdot \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right)} \cdot V_0$$

Typiske verdier for  $W_{dep} = 0,1 - 1\mu\text{m}$

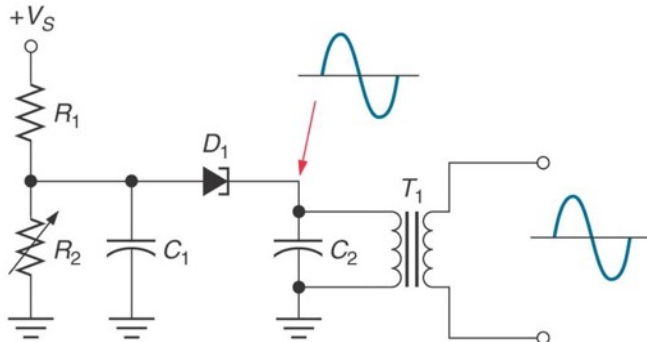
# Spesielle dioder

## -Tunnel diode



Leo Esaki, Ivar Gjæver og B.D. Josphson for their experimental discoveries regarding tunneling phenomena in semiconductors and superconductors, Ivar Gjæver - nobelprisvinner i fysikk 1973 – prof. UiO 1989

Ved sterk doping kan spenningen over sperresjiktet bli så høy at de kovalente bindingene brytes. Det oppstår frie elektroner – først når vi påtrykker en tilstrekkelig ytre spenning i lederetning vil kovalente bindinger etableres – og strømmen avtar (negativ motstand). Deretter følger strømmen en eksponentialfunksjon – litt forskjellig fra en vanlig pn-junction diode. Slike dioder brukes i hovedsak til UHF og mikrobølge applikasjoner



<http://www.viten.no/biografi>

### Tunell diode oscillator

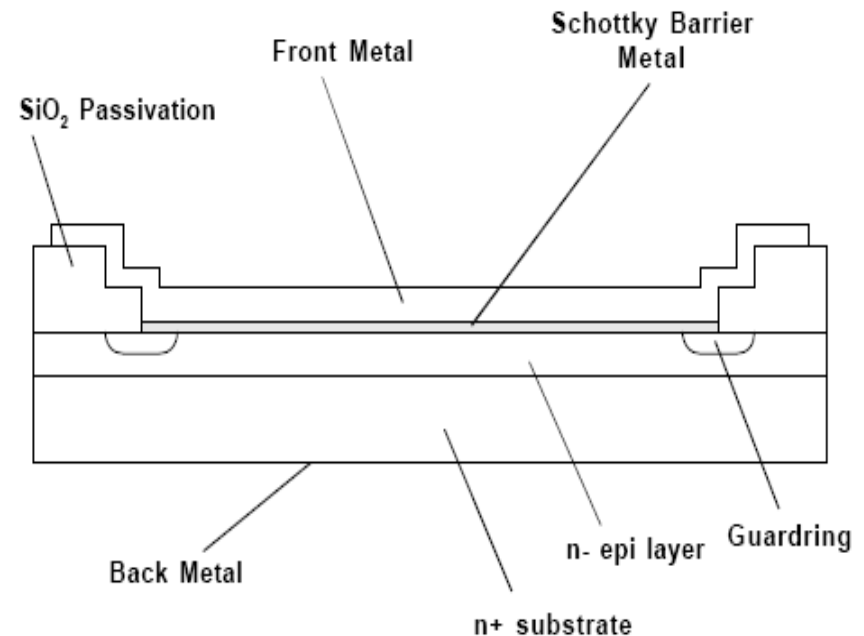
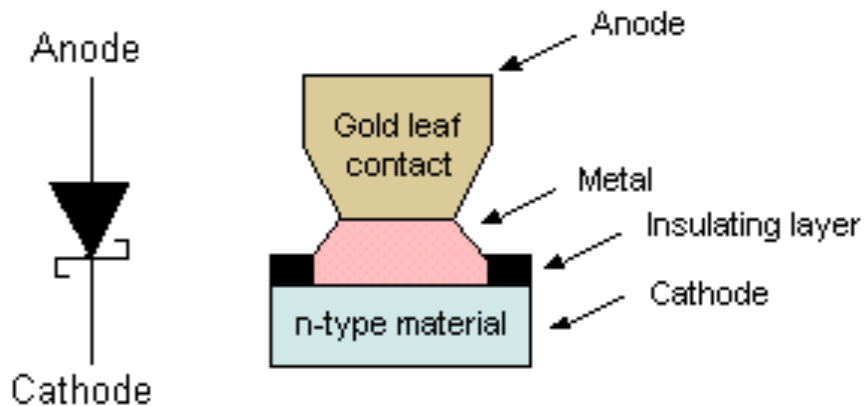
Det er innenfor et lite spenningsområde neg. motstand opptrer ( 0,2 -0,5 volt ). Signalspenningen begrenses derfor til ca. 300mV. Vi bruker ofte en transformator slik at signalspenningen tilpasses etterfølgende kretser.



# Spesielle dioder

## -Schottky diode

Diode med ekstremt liten kapasitans over "junction". Det betyr at dioden kan arbeide med meget høye frekvenser. Vi har erstattet p-halvlederen med et metall. Dvs. vi har ingen normal pn-junction – derfor liten "junction" kapasitans. Bare majoritetsbærere (elektroner) deltar i ladningstransporten. Schottky dioder har lavt spenningsfall i lederetning – ca 0,15 – 0,45 volt hvor Si pn-junction har ca 0,7 - 1 volt Ulempe – relativt høy lekkasjestrøm i sperreretning

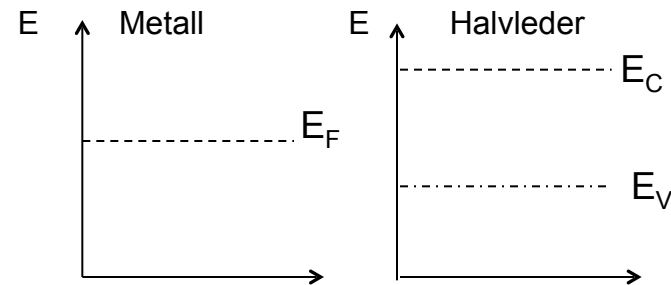
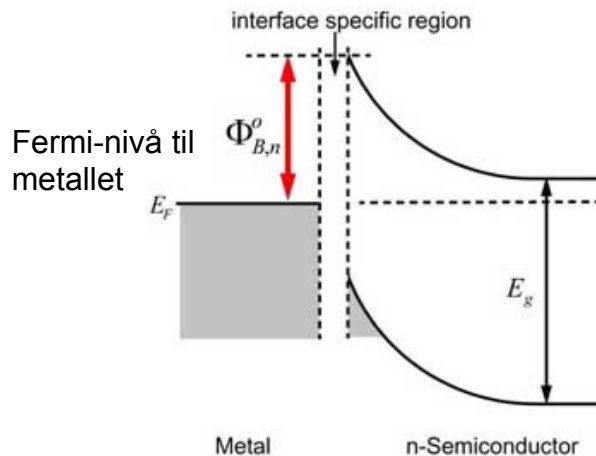


# Spesielle dioder

## -Schottky diode

Når man setter en halvleder sammen med et metall kan det oppstå en "Schottky Barriere". Høyden på denne barrieren bestemmes av energinivået i ledningsbåndet i halvlederen  $E_C$  og Fermi-nivået til metallet,  $E_F$ . Hvor stort barrierепotensialet faktisk blir - har vært diskutert i lang tid..

Kjennskapet til Fermi-Dirac-statistikk har vært av grunnleggende betydning for forståelsen av metallers elektriske og termiske ledningsevne, - for elektronemisjon, - for studier av atom- og molekylstrukturer m.m. Spesielt interesserte henvises til kurs i halvledermaterialer og kvantemekanikk



Båndgapet til halvlederen  $E_G$   
Energien til elektroner i ledningsbåndet  $E_C$   
- minus energien til valenselektronene  $E_V$

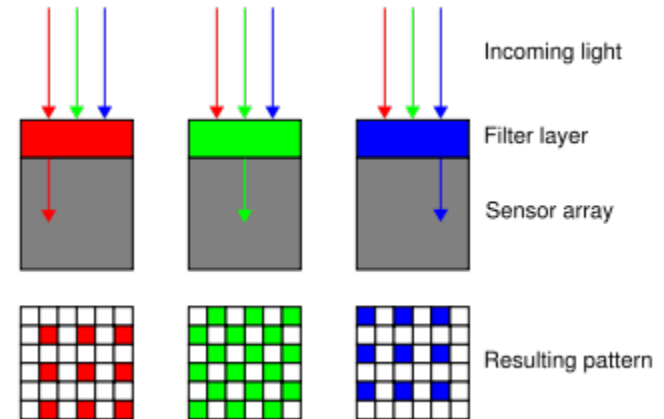
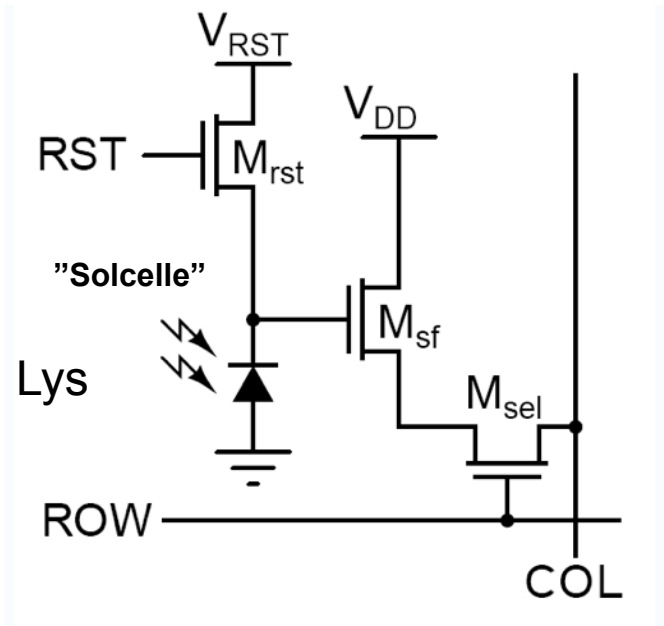
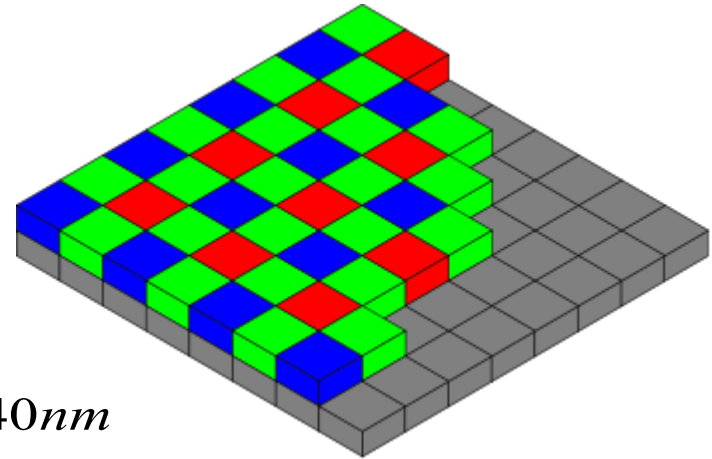
# Digitalt kamera

Planck  $w = h \cdot f$

$h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$w_g(\text{Si}) = 1,1 \text{ eV} \quad h \cdot f > w_g \quad f = c/\lambda$

$\lambda < \frac{h \cdot c}{w_g} \quad \lambda < 1100 \text{ nm} \quad \text{lys} \cong 380 - 740 \text{ nm}$



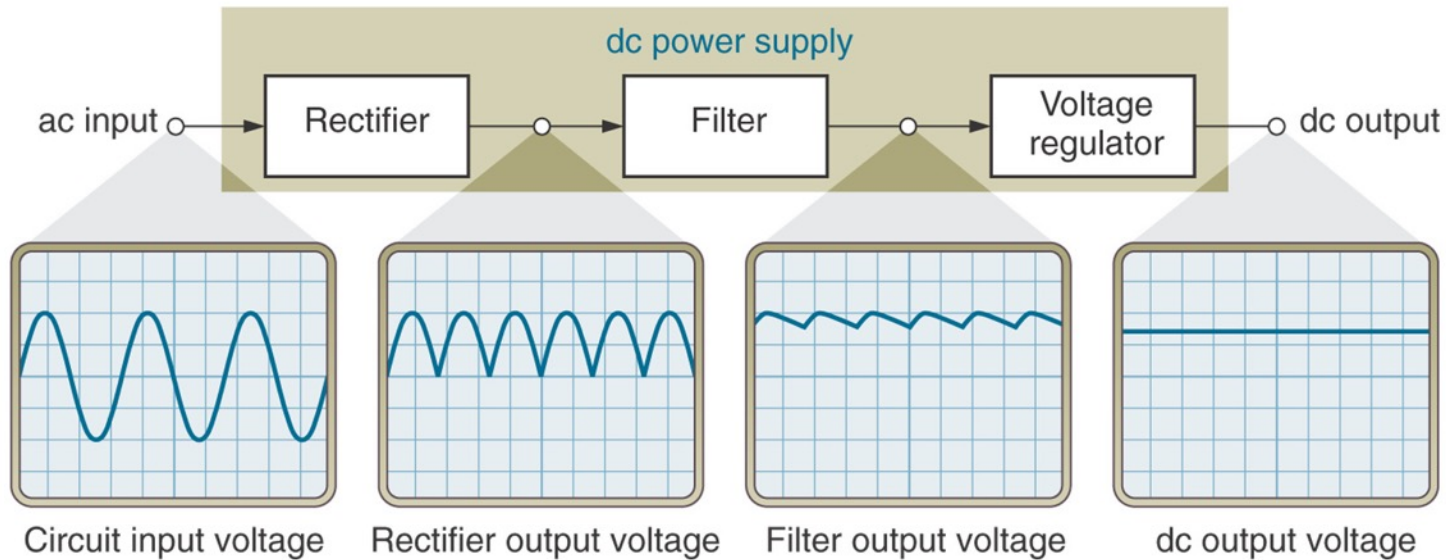
**Bayer filter**

# Revidert versjon 1. feb. 2013 T.Lindem

# Grunnleggende diodekoplinger

## Kap. 18

Likeretter (Rectifier) – omforme AC til DC



Basic power supply block diagram and waveforms

**Rectifier (Likeretter)** – en diodekrets som omformer en AC til pulserende DC

**Filter** – en krets som reduserer variasjonene i spenningen ut fra en likeretter

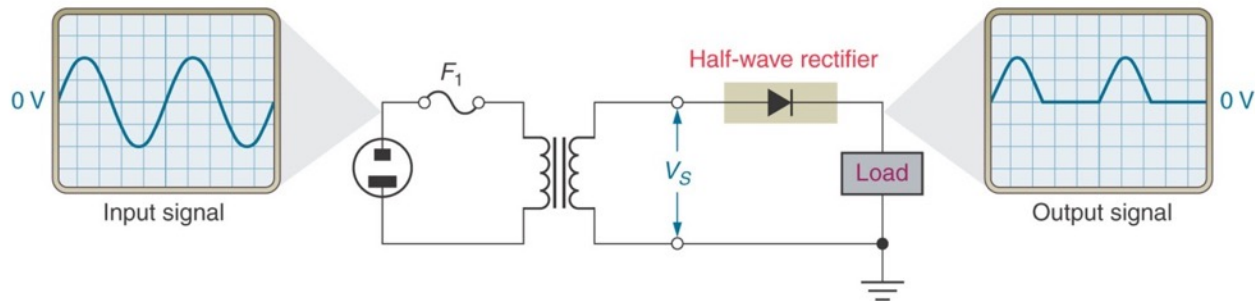
**Voltage Regulator – Spenningsregulator** – krets som opprettholder konstant spenning (DC-out) Spenningen holdes konstant selv om belastningen endres (!)

# Grunnleggende diodekoplinger

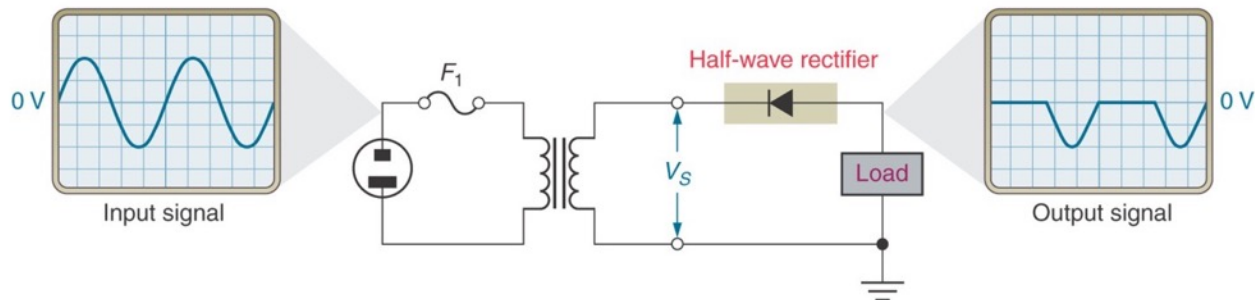
## Kap. 18

Halvbølge likeretter – en diode er plassert i serie mellom en transformator og lasten ( mottakerkretsen ).

- Positiv halvbølge likeretter – leverer en serie positive pulser
- Negativ halvbølge likeretter – leverer en serie negative pulser



(a) Positive half-wave rectifier

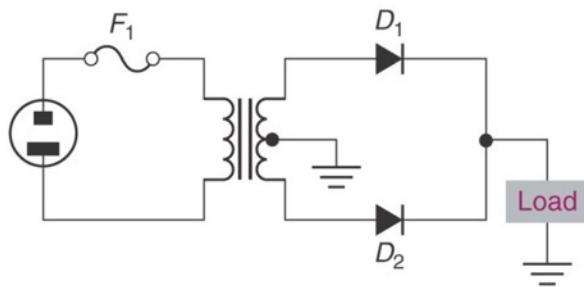


(b) Negative half-wave rectifier

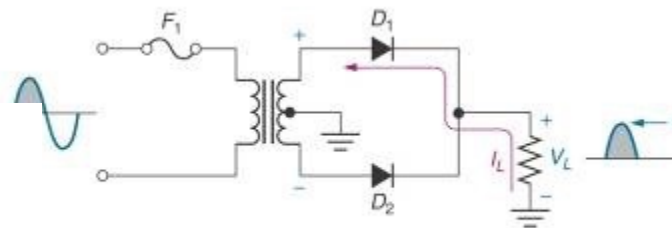
# Helbølge likeretter

## Kap. 18

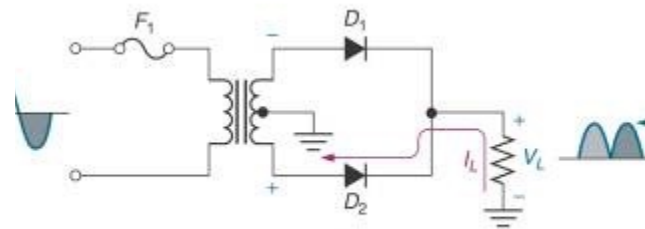
Helbølge likeretter – 2 dioder tilkopleet en sentertappet transformator



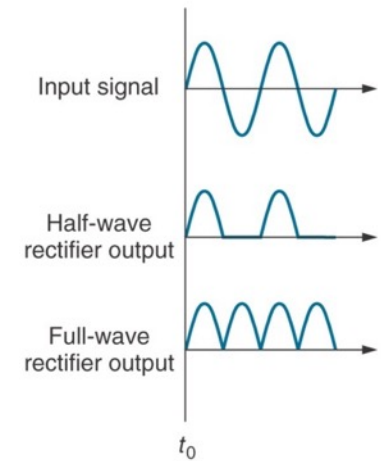
A full-wave rectifier



(a)



(b)



Typical rectifier waveforms

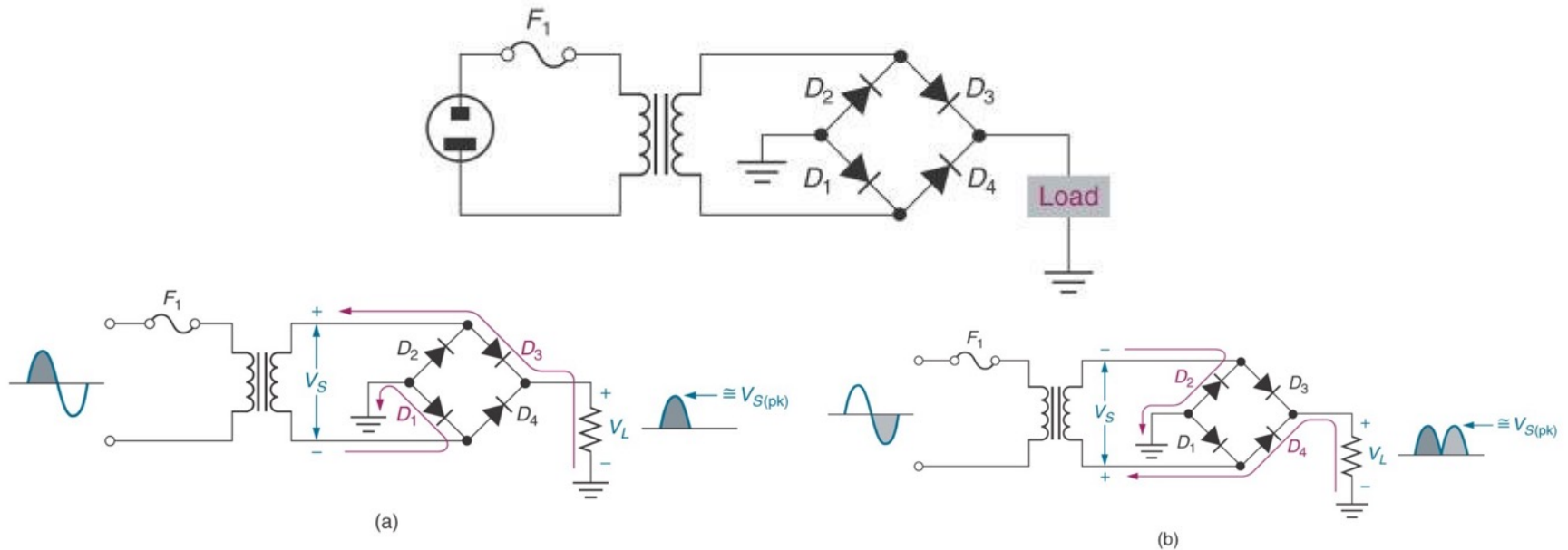
# Helbølge likeretter

## Kap. 18

Helbølge likeretter – uten sentertappet transformator , - men med 4 dioder

Dette er den mest benyttede likeretterkopling.

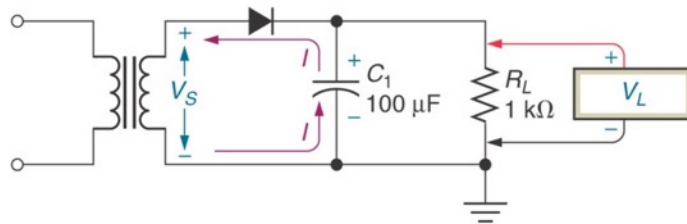
( Sentertappet transformator er en kostbar komponent – dioder er billige - men vi «mister» ca. 0,7volt DC over hver diode)



# Likeretter med filter

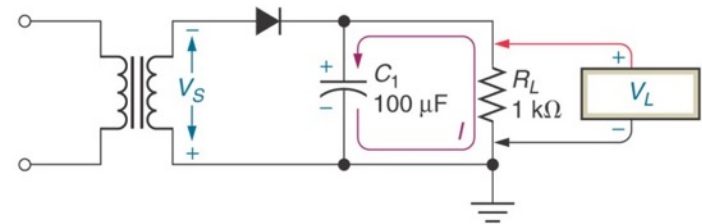
## Kap. 18

- Power Supply Filter – en krets som reduserer variasjonene i DC spenningen ut fra likeretteren. En stor kondensator koples parallellt med lasten. ( RC-filter )
- I den pos. halvperioden – når dioden leder – mottar kondensatoren ladning. I den neg. halvperioden – når dioden ikke leder – vil spenningen på kondensatoren drive en strøm gjennom last-motstanden – slik at spenningen over lasten opprettholdes. Hvor lenge spenningen opprettholdes bestemmes av tidskonstanten =  $R \cdot C$
- Restene av AC-spenningen - som modulerer DC-spenningen - kalles Rippelspenning



Charge circuit

(a)

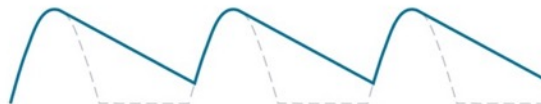


Discharge circuit

(b)

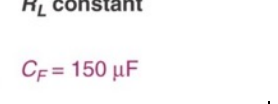
$C_F$  constant

$R_L = 500 \Omega$

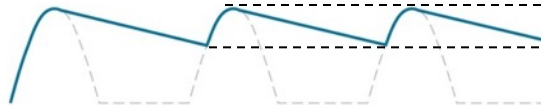


$R_L$  constant

$C_F = 150 \mu\text{F}$

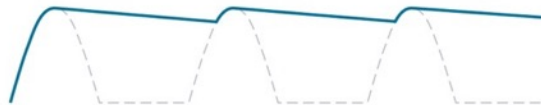


$R_L = 1 \text{ k}\Omega$



$C_F = 300 \mu\text{F}$

$R_L = 1.5 \text{ k}\Omega$



$C_F = 470 \mu\text{F}$

Rippel-spenning

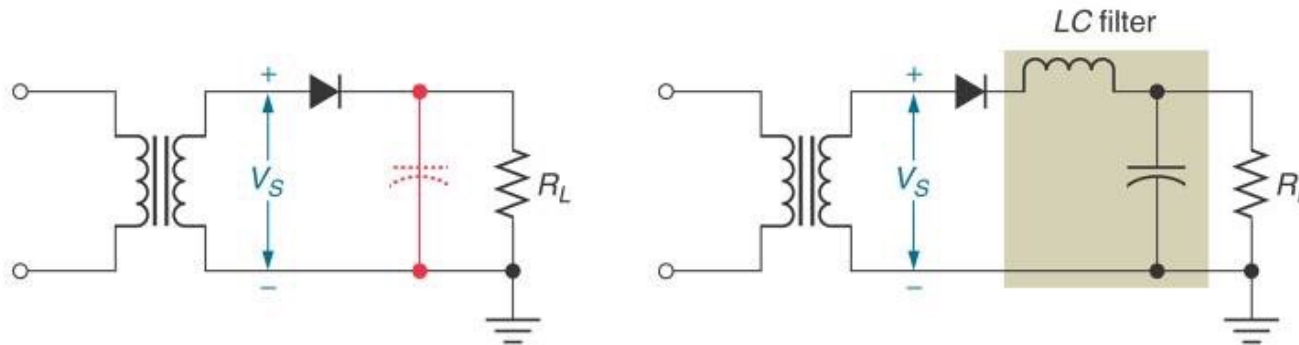


# Likeretter med filter

## Kap. 18

### Surge Current – ladestrøm til kondensatoren

- I det øyeblikk dioden begynner å lede – og kondensatorspenningen er 0 volt – vil kondensatoren virke som en kortslutning. Strømmen begrenses kun av:
  - Motstanden i transformatorens sekundærvikling
  - Motstanden i ledningene
  - Den interne motstanden i dioden (Bulk resistance)
- Ladestrømmen kan bli redusert hvis vi setter inn en spole i serie.

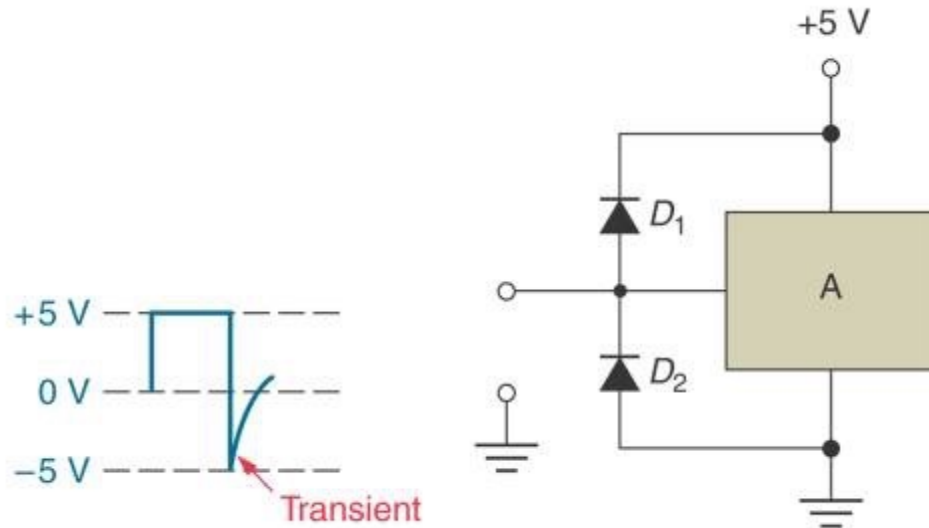


# Klippere

## Kap. 18

### Transient beskyttelse

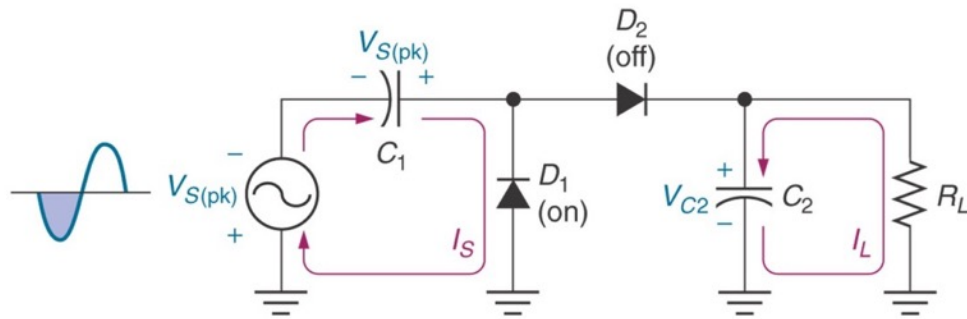
- Transient – en meget rask endring i enten strøm eller spenning – Kan ødelegge halvlederkomponenter. Forekommer ofte som elektrostatisk utladning når man berører komponenter. Har du klær av syntetisk materiale kan du fort “lades opp” til spenninger på over 1000 volt. Det er viktig at du er “jordet” når du behandler transistorer og integrerte kretser !
- Mange kretser må beskyttes mot overspenninger – til dette brukes diode“klippere” . Diode  $D_1$  leder hvis input-signalet overstiger +5,7volt ---  $D_2$  leder hvis input-signalet blir lavere enn - 0,7volt



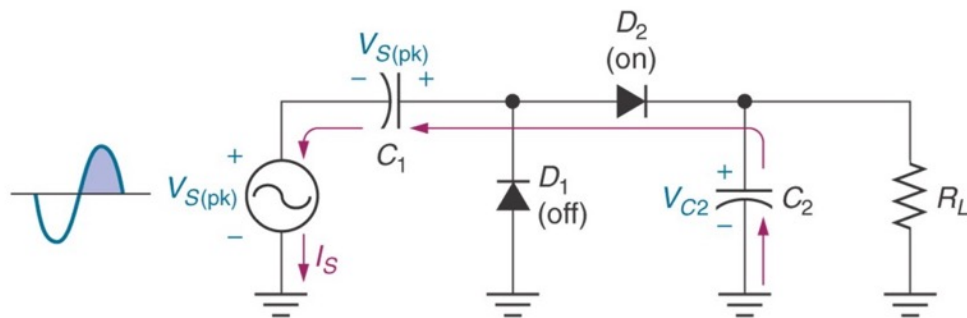
# Spenningsdoblere (Voltage Multipliers)

## Kap. 18

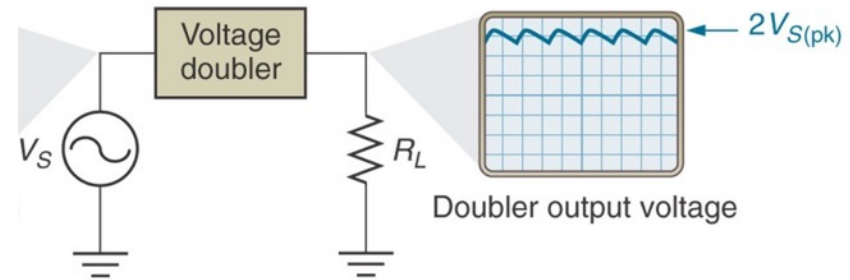
### Halvbølge "Voltage Doublers"



(a)  $C_1$  charges and  $C_2$  discharges during the negative alternation of the input.



(b) The source and  $C_1$  charge  $C_2$  during the positive alternation of the input.



# Spenningsdoblere (Voltage Multipliers)

## Kap. 18

- Kvadrupler Vi øker spenningen 4 ganger (4 kV -> 16 kV)
- De 2 figurene under viser samme krets – men tegnet opp litt forskjellig

