

# DISPOZITIVE ELECTRONICE ÎN ELECTRONICA APLICATĂ

## Tema 3: **DIODELE.**

Tipuri de diode. Caracteristicile.  
Funcționarea diodelor.  
Aplicațiile.



# Dioda - jonctiune PN

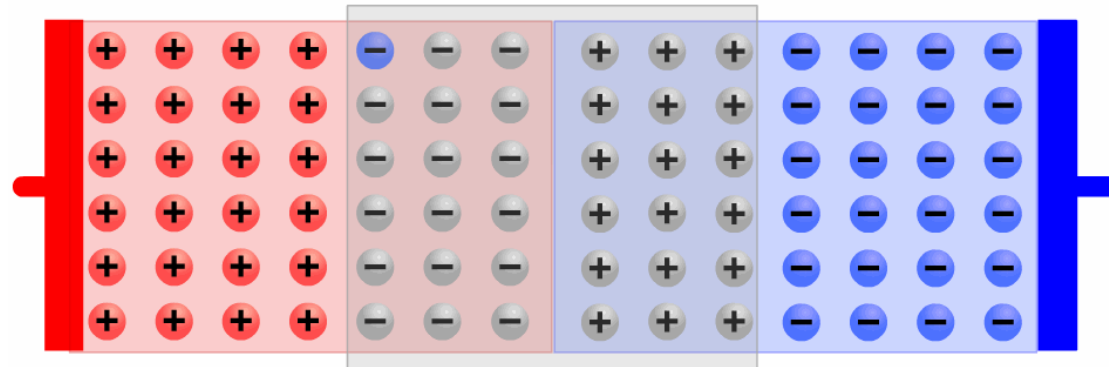
O diodă (jonctiune PN) este formată atunci când un semiconductor de tip  $p$  este fuzionat cu un semiconductor de tip  $n$ , creând o tensiune barieră de potențial pe jonctiunea diodei.

Efectul descris în tema precedentă este realizat fără ca o tensiune externă să fie aplicată pe jonctiunea PN reală, rezultând că jonctiunea este într-o stare de echilibru.

Dar, dacă am fi făcut conexiuni electrice la capetele materialelor de tip N și de tip P și apoi le-am conecta la o sursă baterie, acum ar exista o sursă suplimentară de energie pentru a depăși bariera de potențial.

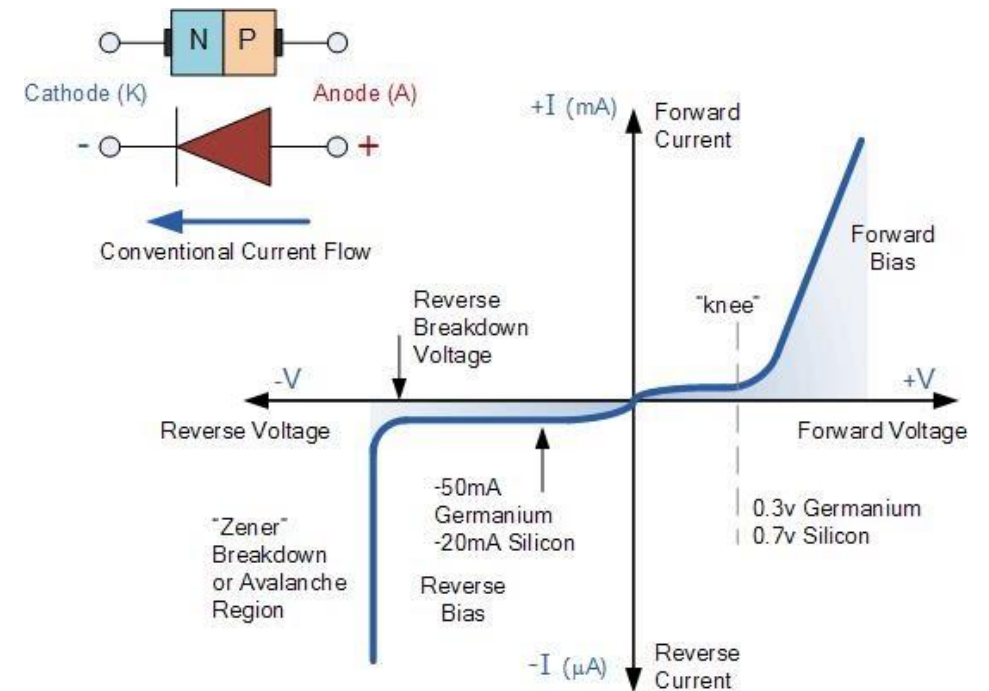
Efectul adăugării acestei surse de energie suplimentare determină ca electronii liberi să poată traversa regiunea epuizată dintr-o parte în alta. Comportamentul jonctiunii PN cu privire la lățimea barierei de potențial produce un dispozitiv asimetric cu două terminale, mai bine cunoscut sub numele de **dioda - jonctiune PN**.

O diodă - jonctiune PN este unul dintre cele mai simple dispozitive semiconductoare din jur și care are caracteristica de trecere a curentului într-o singură direcție. Totuși, spre deosebire de un rezistor, o diodă nu se comportă liniar în raport cu tensiunea aplicată, deoarece dioda are o relație exponențială de curent-tensiune (I-V) și, prin urmare, nu putem descrie funcționarea sa pur și simplu folosind o ecuație cum ar fi legea lui Ohm.



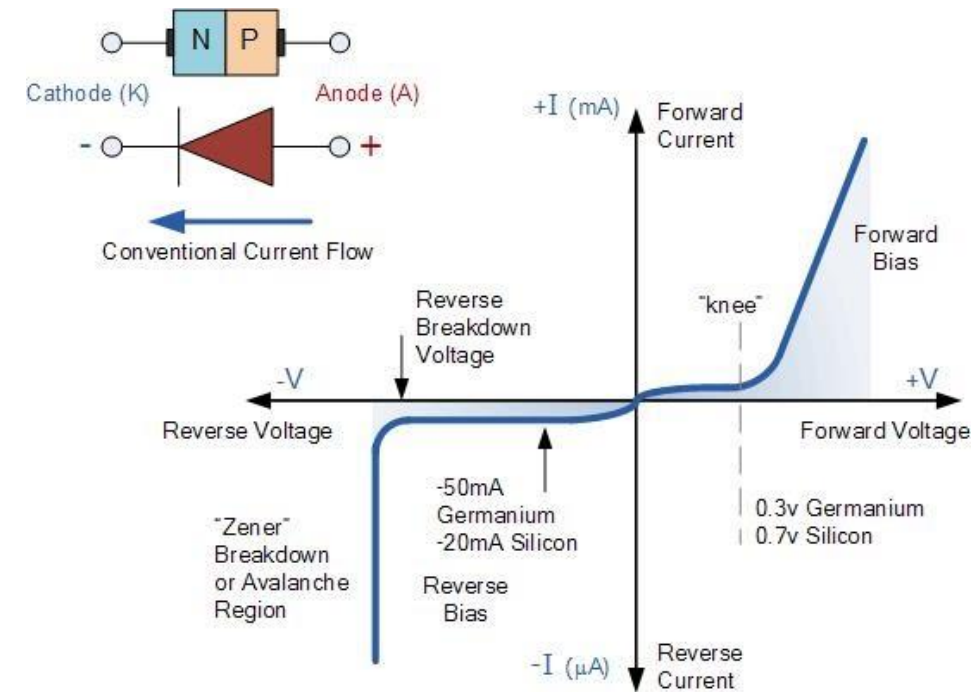
# Dioda - jonctiune PN

- Dacă se aplică o tensiune pozitivă potrivită (polarizare directă) între cele două extremități ale jonctiunii PN, aceasta poate furniza electroni liberi și goluri cu energie suplimentară necesară pentru a traversa jonctiunea, deoarece lățimea stratului de epuizare în jurul jonctiunii PN este scăzută.
- Aplicând o tensiune negativă (polarizare inversă) rezultă că sarcinile libere sunt extrase din jonctiune, rezultând o creștere a lățimii stratului de epuizare. Acest lucru are ca efect creșterea sau scăderea rezistenței efective a jonctiunii în sine permițând sau blocând circulația curentului prin diodă.
- Atunci, stratul de epuizare se lărgiște cu o creștere a aplicării unei tensiuni inverse și se îngustează cu o creștere a aplicării unei tensiuni directe. Acest lucru se datorează diferențelor de proprietăți electrice de pe cele două părți ale jonctiunii PN, ceea ce are ca rezultat schimbări fizice. Unul dintre rezultate generează redresarea, așa cum se observă în caracteristicile statice I-V (curent-tensiune) ale diodelor jonctiune PN. Redresarea este arătată de un flux de curent asimetric atunci când polaritatea tensiunii de polarizare este modificată așa cum se arată în desenul alăturat.



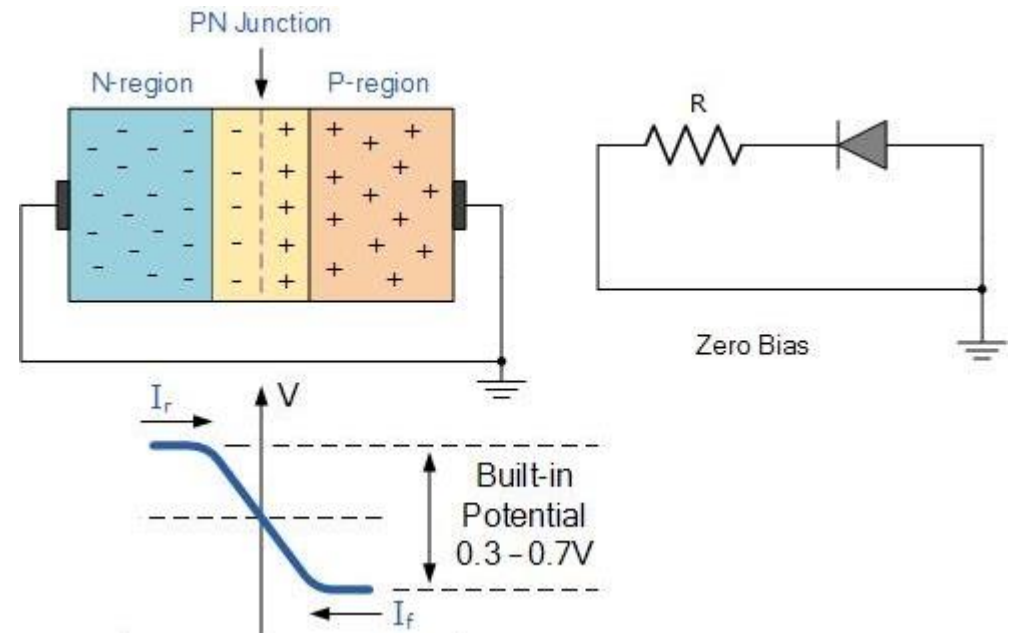
# Dioda - joncțiune PN

- Dar, înainte de a putea folosi joncțiunea PN ca dispozitiv practic sau ca un dispozitiv de redresare trebuie, în primul rând, să **polarizăm** joncțiunea, adică a conecta un potențial de tensiune peste ea. Pe axa de tensiune, polarizarea inversă "**Reverse Bias**" se referă la un potențial extern de tensiune care mărește bariera de potențial. O tensiune externă care scade bariera de potențial se spune că acționează ca polarizare directă "**Forward Bias**".
- Există două regiuni de operare și trei condiții posibile de polarizare "**biasing**" pentru **dioda - joncțiune** standard și acestea sunt:
  1. **Zero Bias** (nepolarizată) - Nu se aplică nici un potențial de tensiune externă la dioda joncțiune PN.
  2. Polarizare inversă - potențialul de tensiune este conectat negativ, (-Ve) la materialul tip P și pozitiv, (+Ve) la materialul tip N pe diodă care are ca efect **creșterea** lățimii joncțiunii PN a diodei.
  3. Polarizare directă - potențialul de tensiune este conectat pozitiv, (+Ve) la materialul tip P și negativ, (-Ve) la materialul de tip N de-a lungul diodei care are efectul de **reducere** a lățimii joncțiunii PN a diodei.



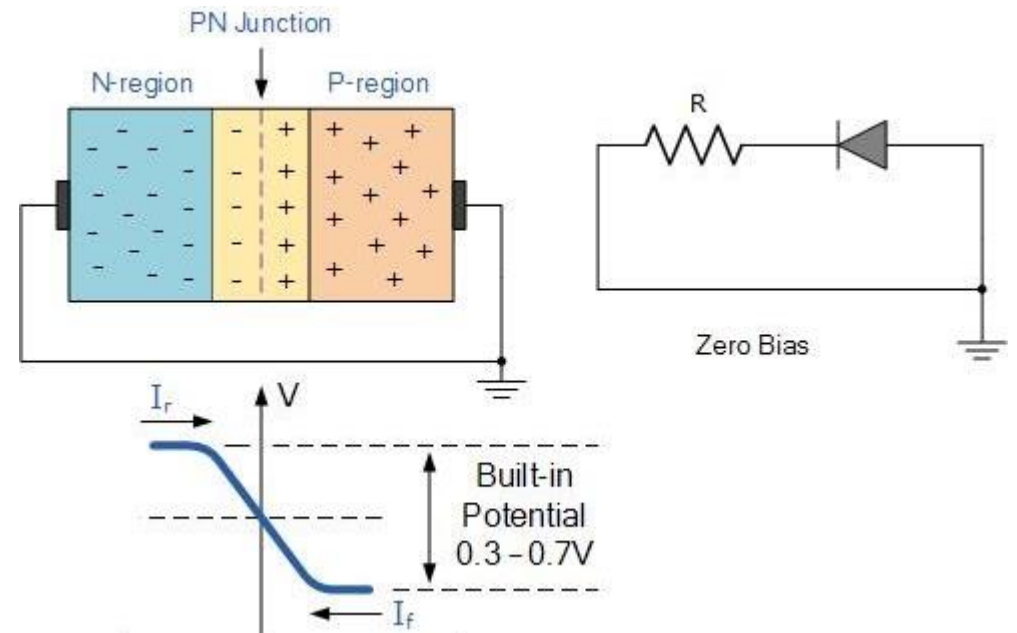
# Dioda - joncțiune PN nepolarizată

- Bariera de potențial care există acum descurajează difuzarea altor purtători majoritari prin joncțiune. Cu toate acestea, bariera de potențial ajută purtătorii minoritari (câțiva electroni liberi în regiunea P și puține goluri din regiunea N) să se deplaseze peste joncțiune.
- Atunci, se va stabili un "echilibru" când purtătorii majoritari sunt egali și ambii se mișcă în direcții opuse, astfel încât rezultatul net este zero curent care curge în circuit. Când se întâmplă acest lucru, joncțiunea se spune că se află într-o stare de "**echilibru dinamic**".
- Purtătorii minoritari sunt generați în mod constant din cauza energiei termice, astfel încât această stare de echilibru poate fi întreruptă prin creșterea temperaturii joncțiunii PN, determinând o creștere a generării purtătorilor minoritari, rezultând o creștere a curentului de scăpări, dar un curent electric nu poate circula deoarece nu a fost conectat nici un circuit la joncțiunea PN.



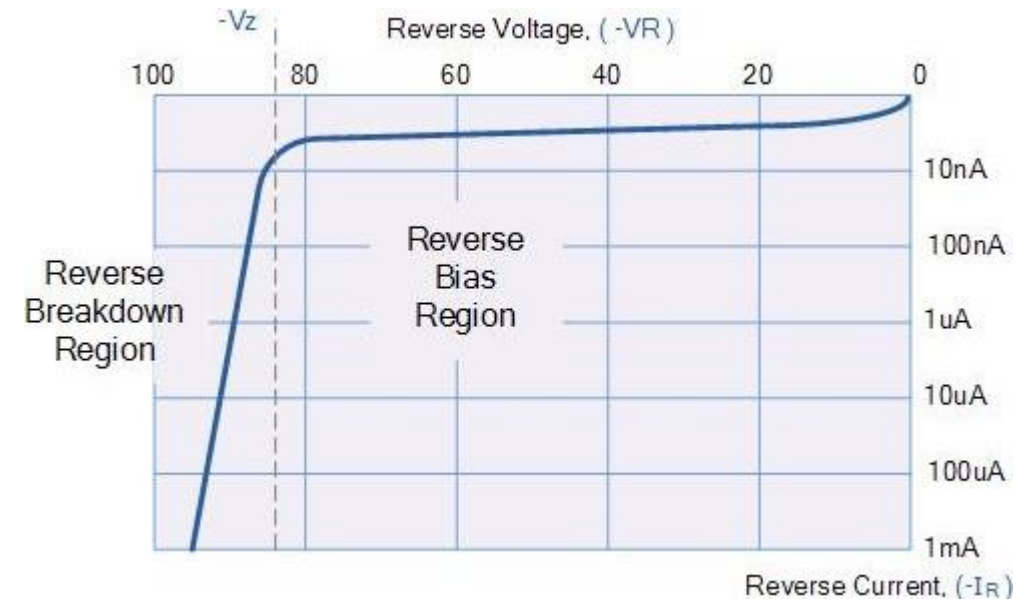
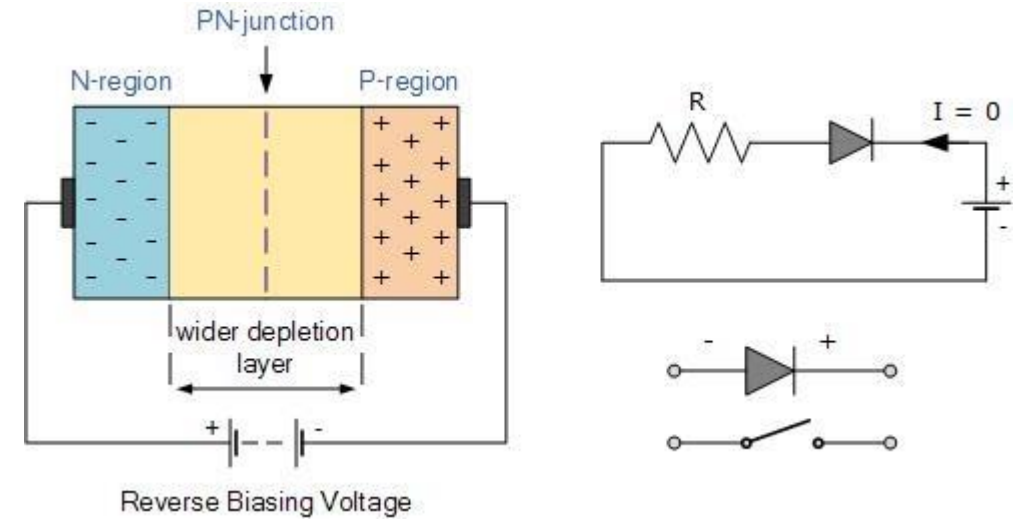
# Dioda - joncțiune PN polarizată invers

- Când o diodă este conectată într-o stare de **polarizare inversă**, se aplică o tensiune pozitivă materialului tip N și se aplică o tensiune negativă materialului tip P.
- Tensiunea pozitivă aplicată materialului tip N atrage electroni spre electrodul pozitiv și departe de joncțiune, în timp ce golurile din capătul tip P sunt de asemenea atrase departe de joncțiune către electrodul negativ.
- Rezultatul net este că stratul de epuizare crește din cauza lipsei de electroni și goluri și prezintă o cale de impedanță ridicată, aproape un izolator. Rezultatul este că se creează o barieră de potențial ridicat, împiedicând astfel circulația curentului prin materialul semiconductor.



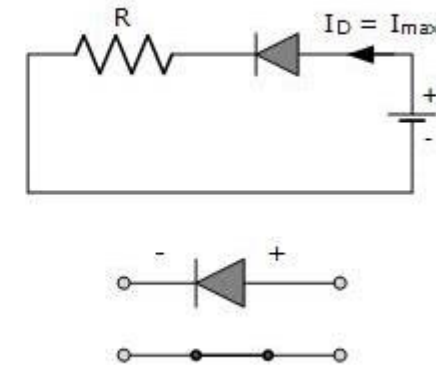
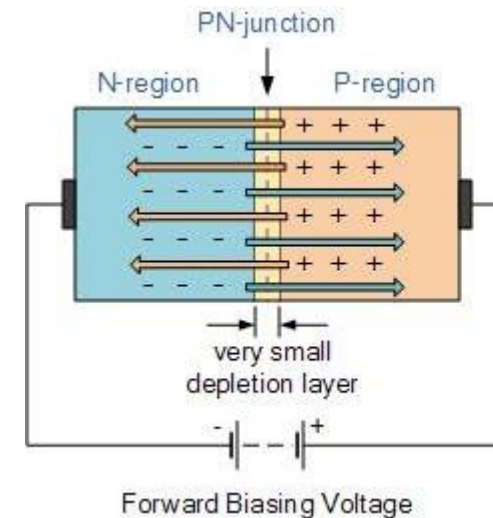
# Creșterea stratului de epuizare datorită polarității inverse

- Această condiție reprezintă o valoare ridicată a rezistenței la jonctiunea PN și practic curentul zero trece prin dioda jonctiune cu o creștere a tensiunii de polarizare. Cu toate acestea, un **curent de scăpări** foarte mic curge prin jonctiune, care poate fi măsurat în micro-amperi, ( $\mu\text{A}$ ).
- Un punct final, dacă tensiunea de polarizare inversă  $V_r$  aplicată diodei este mărită la o valoare suficient de ridicată, va provoca supraîncălzirea și distrugerea jonctiunii PN a diodei datorită efectului de avalanșă din jurul jonctiunii. Acest lucru poate determina scurtcircuitarea diodei și va duce la curgerea curentului de circuit maxim, iar aceasta va fi prezentată ca o pantă descendentă în jos în curba caracteristicilor statice inverse de mai jos.
- Uneori, acest efect de avalanșare are aplicații practice în circuitele de stabilizare a tensiunii, unde un rezistor serie de limitare este utilizat cu dioda pentru a limita acest curent de străpungere invers la o valoare maximă prestabilită, producând astfel o ieșire de tensiune fixă pe diodă. Aceste tipuri de diode sunt cunoscute sub numele de diode Zener.



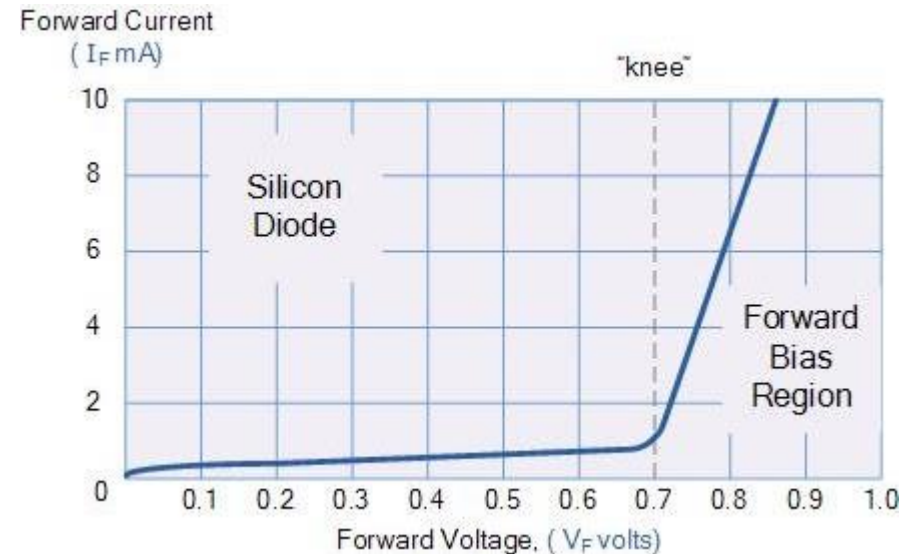
# Dioda - joncțiune PN polarizată direct

- Atunci când o diodă este conectată într-o stare de **polarizare directă**, se aplică o tensiune negativă materialului tip N și o tensiune pozitivă materialului tip P. Dacă această tensiune externă devine mai mare decât valoarea barierei de potențial, aprox. 0,7 volți pentru siliciu și 0,3 volți pentru germaniu, opoziția barierei de potențial va fi depășită și curentul va începe să circule.
- Acest lucru se datorează faptului că tensiunea negativă împinge sau respinge electronii spre joncțiune, oferindu-le energia să treacă și să se combine cu golurile care sunt împinse în direcția opusă spre joncțiune prin tensiunea pozitivă. Aceasta are ca rezultat curba caracteristică a curentului zero care circulă până la acest punct de tensiune, denumit "genunchi" pe curbele statice și de aici un curent ridicat circulă prin diodă, la o creștere mică a tensiunii externe, după cum se arată mai jos.





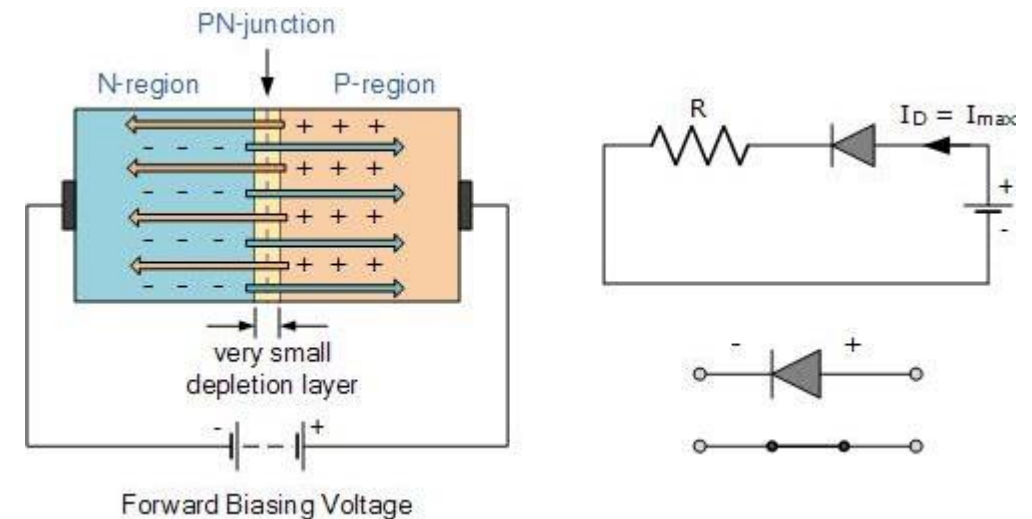
# Curba caracteristici directe pentru o diodă jonctiune



Aplicarea unei tensiuni de polarizare directă diodei jonctiune are ca rezultat faptul că stratul de epuizare devine foarte subțire și îngust, ceea ce reprezintă o cale de impedanță scăzută prin jonctiune, permițând astfel circulația unor curenți mari. Punctul de la care are loc această creștere bruscă a curentului este prezentat pe curba caracteristică statică I-V mai sus ca punct "genunchi," sau cum se mai spune "Tensiunea de prag sau de deschidere".

# Reducerea stratului de epuizare datorită polarității directe

- Această condiție reprezintă cale de rezistență scăzută prin joncțiunea PN, permițând curenților foarte mari să circule prin diodă, cu numai o mică creștere a tensiunii de polarizare. Diferența de potențial prezentă pe joncțiune sau diodă este menținută constantă de acțiunea stratului de epuizare la aproximativ 0,3 V pentru germaniu și aproximativ 0,7 V pentru diodele joncțiune de siliciu.
- Deoarece dioda poate conduce curenți "infiniți" deasupra acestui punct genunchi, devenind efectiv un scurtcircuit, sunt folosite rezistoare în serie cu dioda pentru a limita fluxul de curenți. Depășirea specificației de curenți direct maxim obligă dispozitivul să disipeze mai multă putere sub formă de căldură decât a fost proiectat, ceea ce duce la o defecțiune foarte rapidă a dispozitivului.



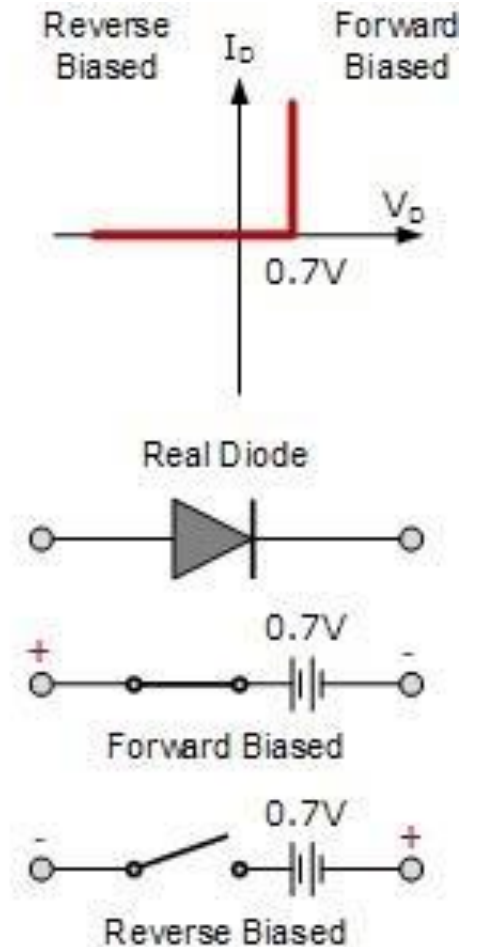
# Dioda - Rezumat

Regiunea joncțiunii PN a unei **diode** are următoarele caracteristici importante:

- Semiconductoarele conțin două tipuri de purtători mobili de sarcină, "goluri" și "electroni".
- Golurile sunt încărcate pozitiv în timp ce electronii sunt încărcăți negativ.
- Un semiconductor poate fi dopat cu impurități donatoare, cum ar fi Antimoniu (dopaj tip N), astfel încât să conțină sarcini mobile care sunt în principal electroni.
- Un semiconductor poate fi dopat cu impurități acceptoare cum ar fi bor (dopaj tip P), astfel încât să conțină sarcini mobile care sunt în principal goluri.
- Regiunea joncțiunii însăși nu are purtători de sarcină și este cunoscută ca regiune de epuizare.
- Regiunea joncțiunii (epuizare) are o grosime fizică care variază în funcție de tensiunea aplicată.
- Atunci când o diodă este **nepolarizată**, nu se aplică o sursă de energie externă și se dezvoltă o **barieră de potențial** naturală pe un strat epuizat care este de aproximativ 0,5 până la 0,7 V pentru diodele cu siliciu și aproximativ 0,3 V pentru diodele cu germaniu.
- Atunci când o diodă joncțiune este **polarizată direct**, grosimea zonei de epuizare scade și dioda acționează ca un scurtcircuit care permite curgerea curentului maxim.
- Atunci când o diodă joncțiune este polarizată **invers**, grosimea zonei de epuizare crește, iar dioda acționează ca un circuit deschis care blochează orice flux de curent (doar un curent de scăpări foarte mic).

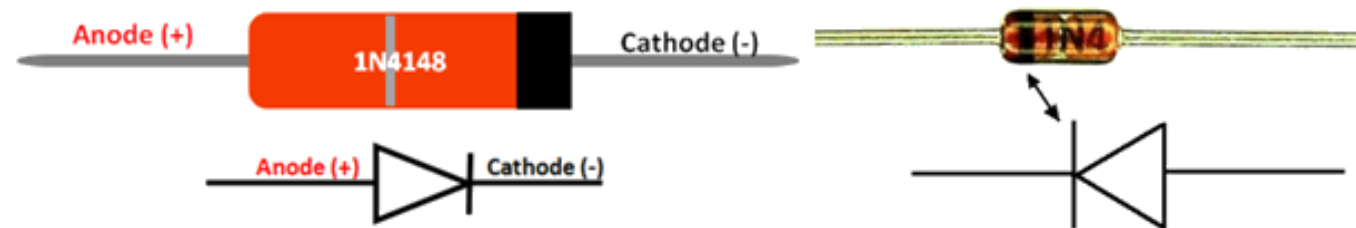
# Caracteristici ideale și reale ale diodei

Am văzut mai sus că dioda este un dispozitiv cu două terminale, neliniar, a cărei caracteristică I-V este dependentă de polaritatea tensiunii aplicate  $V_D$ , dioda fiind *polarizată direct* cu  $V_D > 0$  sau *polarizată invers* cu  $V_D < 0$ . Oricum, putem modela aceste caracteristici de curent-tensiune atât pentru o diodă ideală, cât și pentru o diodă cu siliciu reală așa cum este arătat:



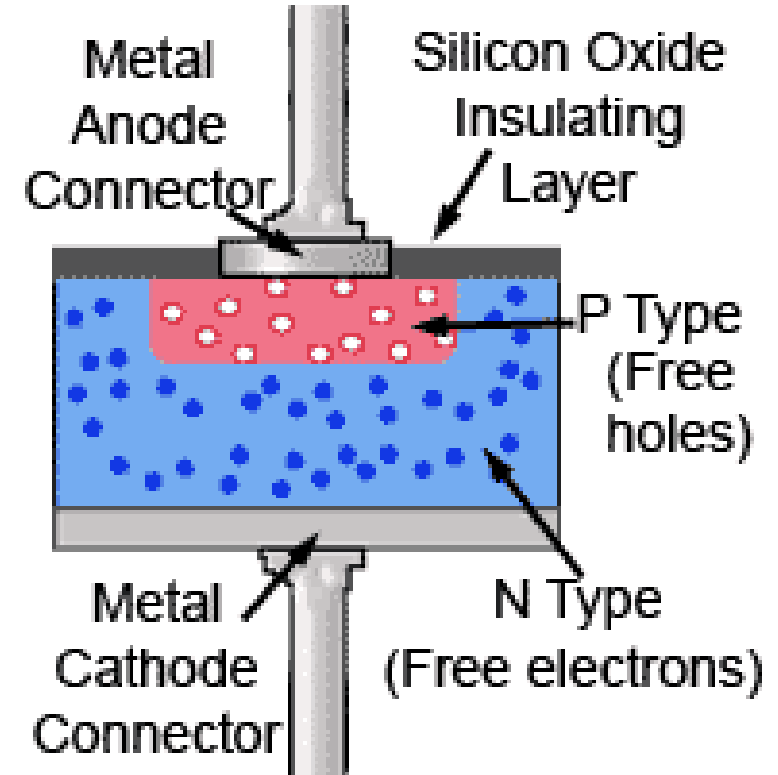
# Dioda de semnal (Small signal Diode)

- **Diodele de semnal** sunt mici, cu două terminale, care conduc curentul atunci când sunt polarizate direct și blochează debitul de curent atunci când sunt polarizate invers.
- Dioda de semnal este un dispozitiv semiconductor mic, neliniar, utilizat în general în circuite electronice, unde sunt implicați curenți mici sau frecvențe înalte, cum ar fi circuitele de radio, televiziune și circuite logice digitale.
- Diodele de semnal, uneori cunoscute sub denumirea mai veche de diodă cu contact punctiform sau diodă de sticlă pasivată, sunt fizic foarte mici în comparație cu diodele de putere mai mari.
- În general, joncțiunea PN a unei diode mici de semnal este încapsulată în sticlă pentru a proteja joncțiunea PN și de obicei are o bandă roșie sau neagră la un capăt al corpului pentru a ajuta la identificarea capului care este terminalul catodic. Cea mai largă utilizare dintre toate diodele de semnal încapsulate în sticlă este foarte comuna 1N4148 și dioda sa de semnal 1N914 echivalentă.



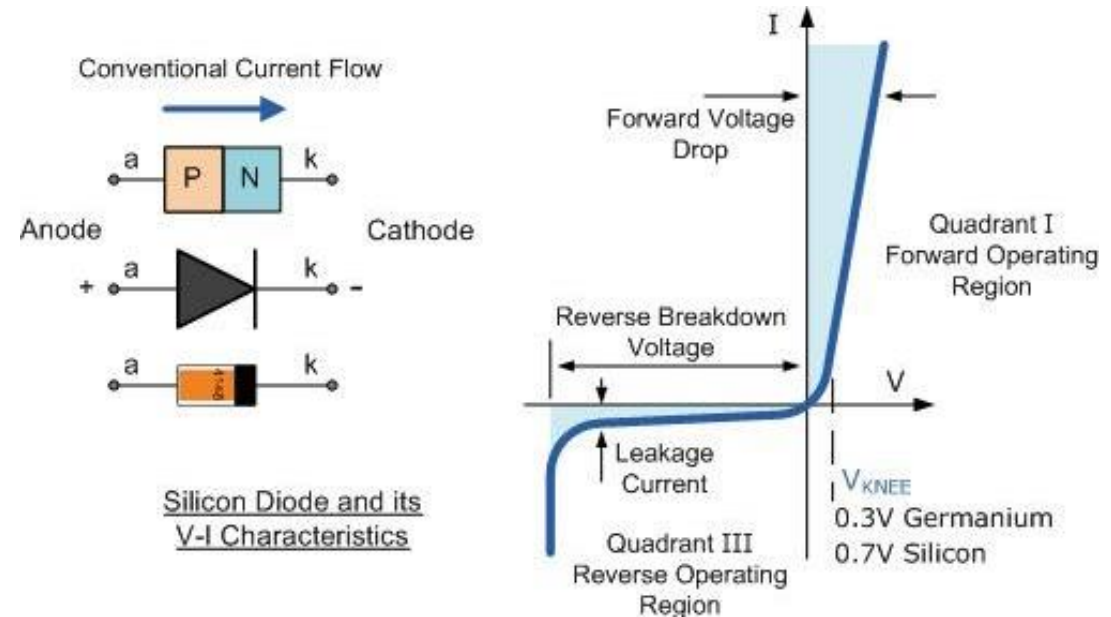
# Dioda de semnal

- Diodele de comutare și semnale mici au o putere și un curent mult mai reduse, în jur de maxim 150 mA, 500 mW în comparație cu diodele redresoare, dar pot funcționa mai bine în aplicații de înaltă frecvență sau aplicații de limitare și comutare care se ocupă de forme de undă cu durată scurtă.
- Caracteristicile unei diode cu contact punctiform de semnal sunt diferite atât pentru tipurile cu germaniu cât și pentru cele cu siliciu și sunt date de:
  1. Diodele de semnal cu germaniu - Acestea au o valoare scăzută a rezistenței inverse dând o cădere de tensiune directă mai mică pe joncțiune, în mod obișnuit numai de aproximativ 0,2 până la 0,3 V, dar au o valoare de rezistență directă mai mare din cauza zonei mici de joncțiune.
  2. Diodele de semnal cu siliciu - Acestea au o valoare foarte mare a rezistenței inverse și dau o cădere de tensiune directă de aproximativ 0,6 până la 0,7 V pe joncțiune. Ele au valori destul de scăzute ale rezistenței directe, oferindu-le valori de vârf ridicate ale curent direct și tensiunii inverse.



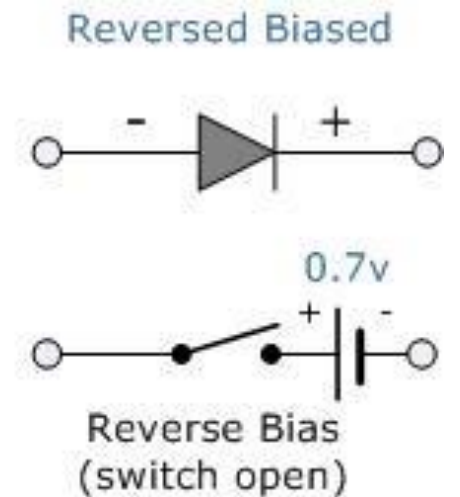
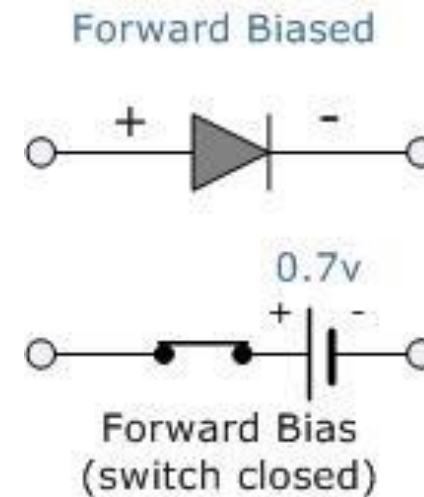
# Dioda de semnal

- Simbolul electronic dat pentru orice tip de diodă este cel al unei săgeți cu o bară sau o linie la capătul acesteia, iar acest lucru este ilustrat în imaginea alăturată, împreună cu curba caracteristică V-I de stare staționară.
  - Săgeata indică întotdeauna direcția curentului convențional prin diodă, ceea ce înseamnă că dioda va conduce numai dacă o sursă de alimentare pozitivă este conectată la terminalul anod (a) și o alimentare negativă este conectată la terminalul catod (k), deci permițând curentului să curgă prin ea numai într-o singură direcție, acționând mai mult ca o supapă electrică cu o singură cale, (condiție de polarizare directă).
  - Dar, știm că, dacă conectăm sursa externă de energie în altă direcție, dioda va bloca orice curent care trece prin ea și în schimb va acționa ca un comutator deschis (condiție de polarizare inversă).



# Dioda polarizată direct și invers

Putem spune că o diodă ideală, de semnal mic, conduce curentul într-o direcție (conducție directă) și blochează curentul în cealaltă direcție (blocare inversă). Diodele de semnal sunt utilizate într-o mare varietate de aplicații, cum ar fi un comutator în redresoare, limitatoare de curent, snubbere (amortizoare) de tensiune (pentru rele) sau în circuite de modelare a undelor.





# Parametrii diodei de semnal

**Diodele de semnal** sunt fabricate într-o gamă de tensiuni și curenți nominali și trebuie să se aibă grijă atunci când se alege o diodă pentru o anumită aplicație. Există o serie de caracteristici statice asociate cu dioda de semnal, dar cele mai importante sunt:

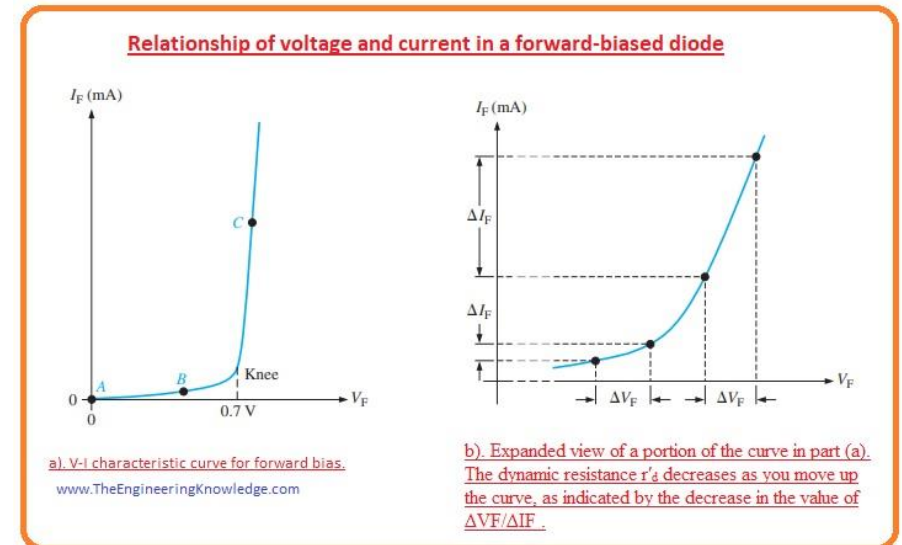
1. Curentul direct maxim
2. Tensiunea inversă de vârf
3. Disiparea totală a puterii
4. Temperatura maximă de funcționare

# Curentul direct maxim

**Maximum Forward Current** - **Curentul direct maxim** ( $I_F(\max)$ ) este *curentul maxim* permis să curgă prin dispozitiv. Când dioda conduce în condiții de polarizare directă, are o rezistență "ON" foarte mică pe joncțiunea PN și, prin urmare, puterea este disipată pe această joncțiune (Legea lui Ohm) sub formă de căldură.

Atunci, depășirea valorii lui  $I_F(\max)$  va genera mai multă căldură în joncțiune, iar dioda se va distruge din cauza suprasarcinii termice. Deci, când diodele funcționează în jurul valorii maxime a curentului nominal, este întotdeauna cel mai bine să se asigure răcire suplimentară, pentru a disipa căldura produsă de diodă.

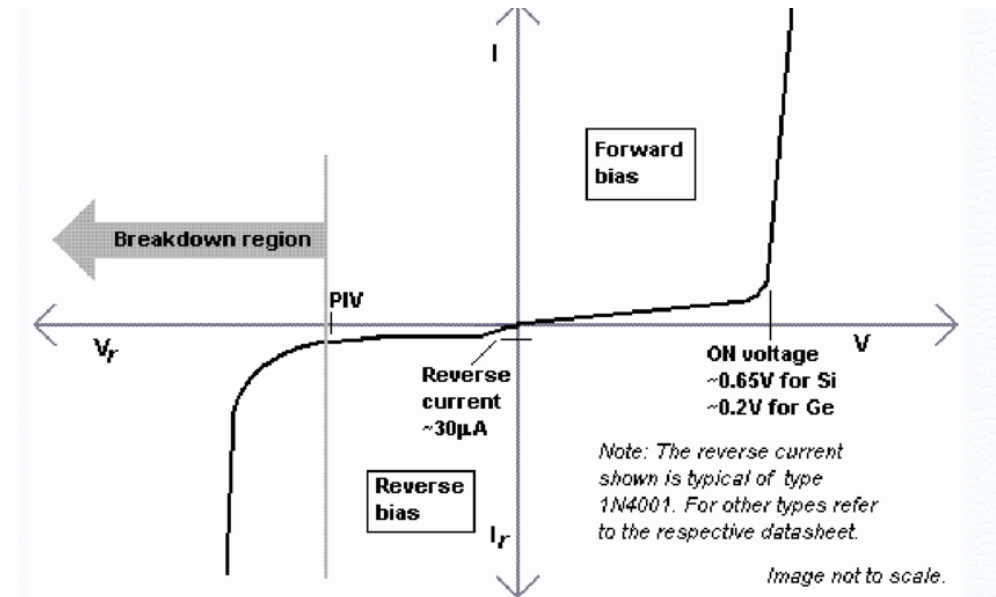
De exemplu, mica noastră diodă de semnal 1N4148 are un curent maxim nominal de aproximativ 150 mA cu o disipare de putere de 500 mW la 25°C. Deci, trebuie să fie utilizat un rezistor în serie cu dioda pentru a limita curentul direct  $I_F(\max)$  prin aceasta, sub această valoare.



# Tensiunea inversă de vârf

Peak Inverse Voltage (PIV) sau tensiunea maximă inversă ( $V_R(\max)$ ) este tensiunea de funcționare inversă maxim admisibilă, care poate fi aplicată pe diodă fără străpungere inversă și avarii survenite la dispozitiv. Prin urmare, această clasificare este, de obicei, mai mică decât nivelul "străpungerii în avalanșă" pe curba caracteristică de polarizare inversă. Valorile tipice ale  $V_R(\max)$  variază de la câțiva volți la mii de volți și trebuie luate în considerare la înlocuirea unei diode.

Tensiunea inversă de vârf este un parametru important și este utilizată în principal pentru diodele redresoare din circuitele de redresare AC cu referire la amplitudinea tensiunii unde formele de undă sinusoidale se schimbă de la o valoare pozitivă la una negativă pentru fiecare ciclu.



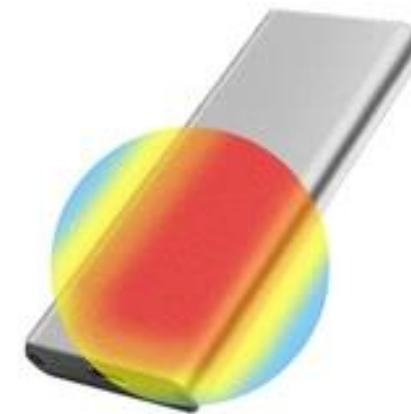
# Disiparea totală a puterii

Diodele de semnal au o putere totală de disipare (PD(max)). Această evaluare este disiparea maximă posibilă a puterii diodei atunci când aceasta este polarizată direct (conduce). Când curentul trece prin dioda de semnal, polarizarea joncțiunii PN nu este perfectă și oferă o anumită rezistență circulației de curent care conduce la disiparea (pierderea) puterii în diodă sub formă de căldură.

Deoarece diodele mici de semnal sunt dispozitive neliniare, rezistența joncțiunii PN nu este constantă, este o proprietate dinamică, deci nu putem folosi Legea lui Ohm pentru a defini puterea în termeni de curent și rezistență sau tensiune și rezistență, așa cum putem pentru rezistențe. Atunci, pentru a găsi puterea care va fi disipată de diodă, trebuie să înmulțim căderea de tensiune pe ea cu curentul ce circulă prin ea:  $PD = V \cdot I$ .

## Reliable heat conduction

All-aluminum case + cooling fan cast the heat away



Measured temperature **65°C**



Measured temperature **34°C**

# Temperatura maximă de funcționare

Temperatura maximă de funcționare se referă de fapt la temperatura joncțiunii ( $T_J$ ) diodei și este legată de disiparea maximă a puterii. Este temperatura maximă admisibilă înainte ca structura diodei să se deterioreze și este exprimată în unități de grade Celsius per Watt ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ).

Această valoare este legată strâns de curentul direct maxim al dispozitivului, încât la această valoare temperatura joncțiunii să nu fie depășită. Cu toate acestea, curentul direct maxim va depinde, de asemenea, de temperatura ambiantă în care funcționează dispozitivul, astfel încât curentul direct maxim este, de obicei, indicat pentru două sau mai multe valori ale temperaturii ambiante cum ar fi  $25^{\circ}\text{C}$  sau  $70^{\circ}\text{C}$ .

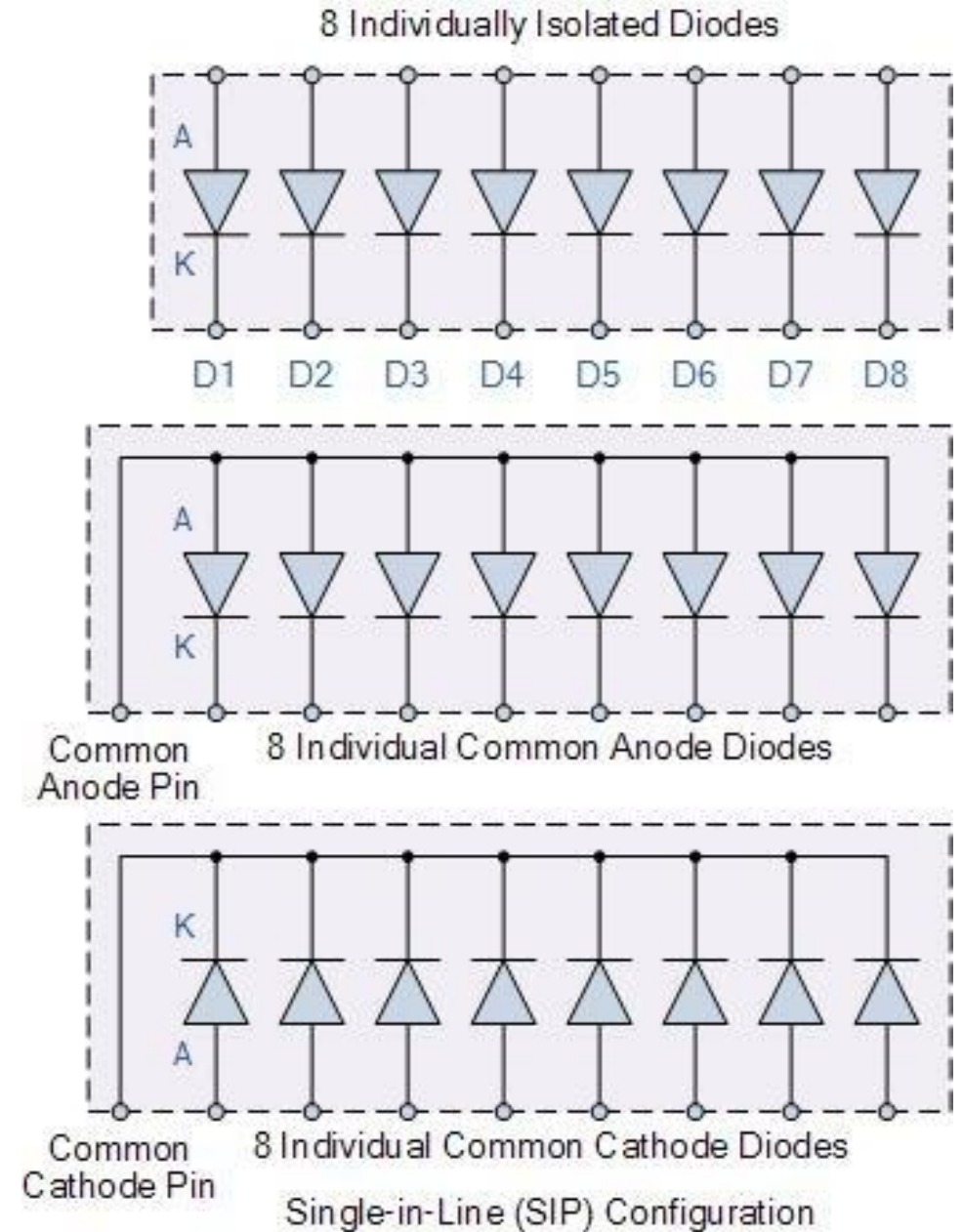
Deci, există trei parametri principali care trebuie luați în considerare când selectați sau înlocuiți o diodă de semnal și aceștia sunt:

- Evaluarea tensiunii inverse
- Evaluarea curentului direct
- Evaluarea disipării de putere directă



# Matrici de diode de semnal

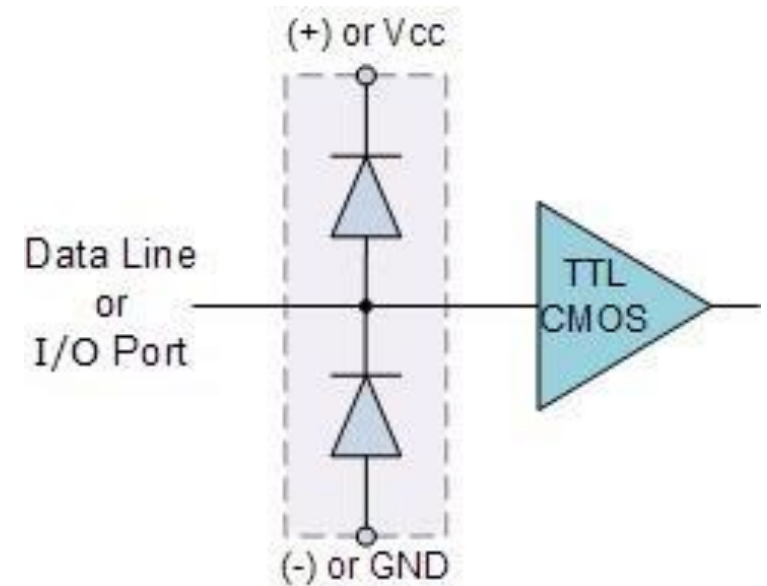
Atunci când spațiul este limitat sau sunt necesare perechi de diode de semnal de comutare, pot fi foarte utile matricele de diode. Ele cuprind, în general, diode de siliciu de mare viteză și mică capacitate, cum ar fi 1N4148 conectate împreună în pachete de diode multiple, numite matrice pentru utilizarea în comutare și limitare în circuite digitale. Acestea sunt încapsulate în pachete [single inline](#) (SIP) care conțin 4 sau mai multe diode conectate intern pentru a da fie o matrice izolată individuală, catod comun (CC), fie o configurație anod comună (CA), după cum se arată.



# Matrici de diode de semnal

Matricele diodelor de semnal pot fi de asemenea utilizate în circuite digitale și de computer pentru a proteja liniile de date de mare viteză sau alte porturi paralele de intrare/ieșire împotriva descărcărilor electrostatice (ESD) și a tranzițiilor de tensiune.

Prin conectarea a două diode în serie pe șinele de alimentare cu linia de date conectată la joncțiunea lor, așa cum se arată în figură, orice tranziții nedorite sunt disipate rapid și deoarece diodele de semnal sunt disponibile în matrice de 8 ori pot proteja opt linii de date într-un singur pachet.

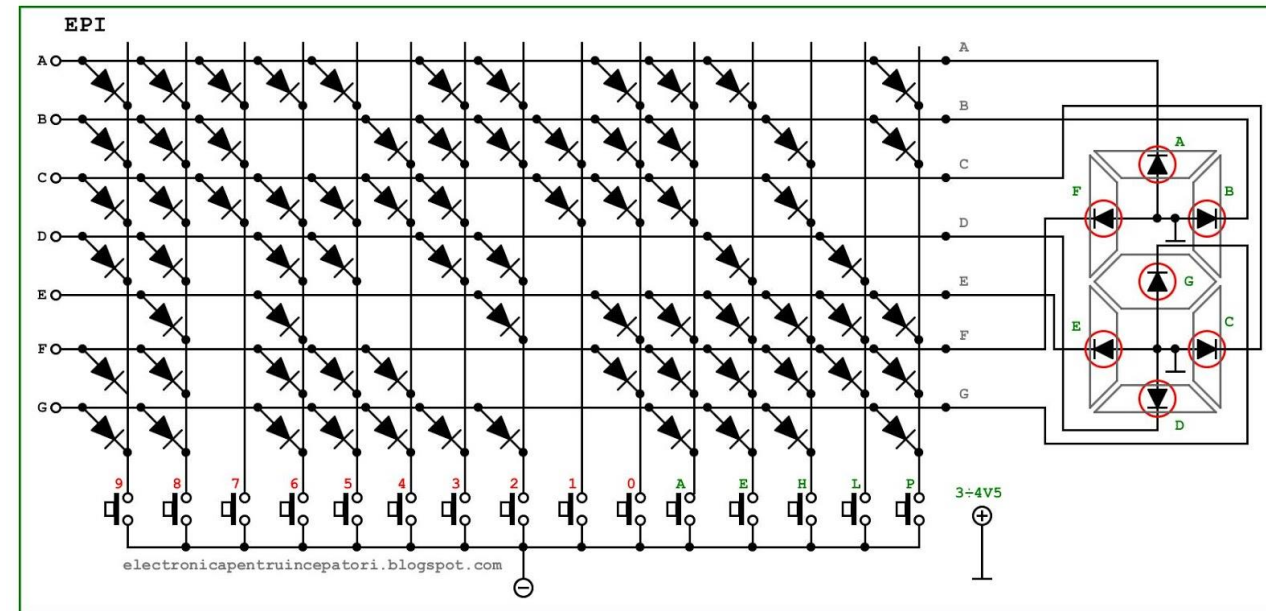


Protecția liniei de date CPU

# Matrici de diode de semnal

- Matricele cu diode de semnal pot fi de asemenea utilizate pentru a conecta împreună diode în combinații de serie sau paralel pentru a forma circuite de tip regulator de tensiune sau de reducere a tensiunii sau chiar pentru a produce o tensiune de referință fixă cunoscută.
- Căderea de tensiune directă pe o diodă de siliciu este de aproximativ 0,7 V și prin conectarea împreună a unui număr de diode în serie, căderea totală de tensiune va fi suma căderilor individuale de tensiune pe fiecare diode.

- Dar, atunci când diodele de semnal sunt conectate împreună în serie, curentul va fi același pentru fiecare diodă, astfel încât curentul maxim direct să nu fie depășit.

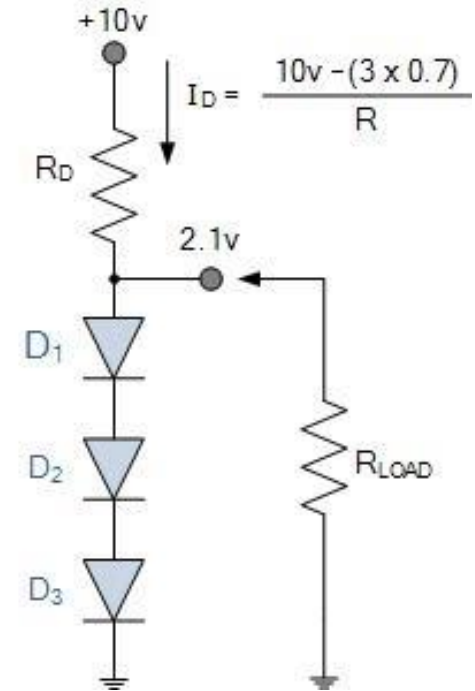
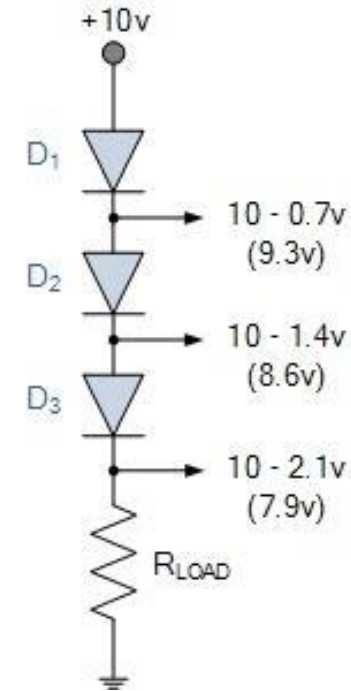




# Conectarea diodelor de semnal în serie

O altă aplicație pentru dioda mică de semnal este de a crea o sursă de tensiune reglabilă. Diodele sunt conectate împreună în serie pentru a asigura o tensiune continuă DC pe combinația de diode. Tensiunea de ieșire pe diode rămâne constantă, în ciuda modificărilor în curentul de sarcină extras din combinația serie sau a modificărilor în tensiunea de alimentare DC care le alimentează.

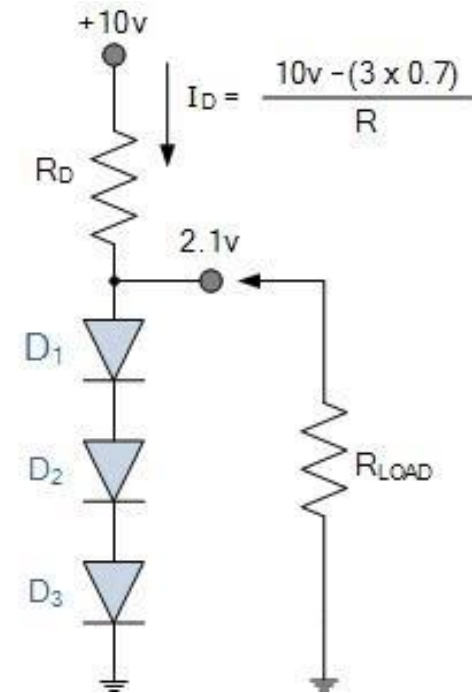
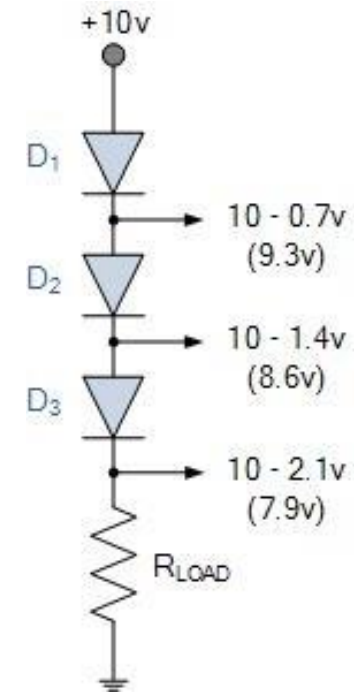
Deoarece căderea de tensiune directă pe dioda de siliciu este aproape constantă la circa 0,7 V, în timp ce curentul prin ea variază în cantități relativ mari, o diodă de semnal polarizată direct poate face un circuit simplu de reglare a tensiunii. Căderile individuale de tensiune pe fiecare diodă sunt scăzute din tensiunea de alimentare pentru a lăsa un anumit potențial de tensiune pe rezistența de sarcină, iar în exemplul nostru simplu de mai sus este dat ca  $10\text{ V} - (3 * 0,7\text{ V}) = 7,9\text{ V}$ .



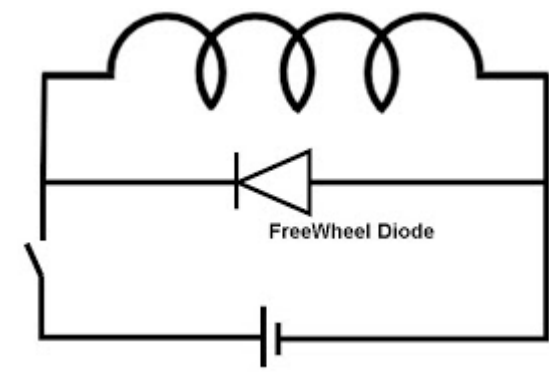
# Conectarea diodelor de semnal în serie

Acest lucru se datorează faptului că fiecare diodă are o rezistență de joncțiune referitoare la curentul mic de semnal care curge prin ea și cele trei diode de semnal în serie vor avea de trei ori valoarea acestei rezistențe, formând împreună cu rezistența de sarcină R un divizor de tensiune pe alimentare.

Prin adăugarea mai multor diode în serie se va produce o reducere mai mare a tensiunii. De asemenea, diodele conectate în serie pot fi plasate în paralel cu rezistorul de sarcină pentru a acționa ca un circuit de reglare a tensiunii. Aici tensiunea aplicată rezistorului de sarcină va fi de  $3 \times 0,7 \text{ V} = 2,1 \text{ V}$ . Putem, desigur, produce aceeași sursă constantă de tensiune utilizând o singură diodă Zener. Rezistorul  $R_D$  este folosit pentru a preveni curgerea excesivă a curentului prin diode în cazul în care sarcina este îndepărtată.



# Diodele Flywheel (supresoare)



Diodele de semnal pot fi, de asemenea, utilizate într-o varietate de circuite de limitare, de protecție și de formare a undelor, cea mai obișnuită formă de circuit de diodă de limitare este cea care utilizează o diodă conectată în paralel cu o bobină sau sarcină inductivă pentru a preveni deteriorarea circuitului delicat de comutare prin suprimarea vârfurilor de tensiune și/sau a fronturilor (tranzițiilor) generate când sarcina este comutată brusc "OFF". Acest tip de diodă este, în general, cunoscut sub numele de "Free Wheelind Diode", "Flywheel Diode" sau pur și simplu diodă Freewheel.

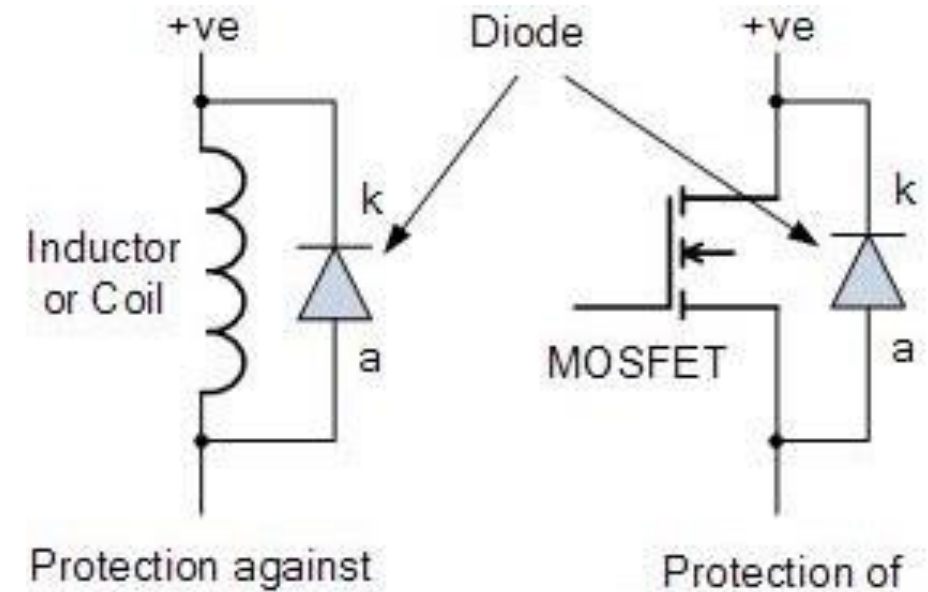
Dioda Freewheel este folosită pentru a proteja comutatoare solid-state, cum ar fi tranzistoare de putere și MOSFET, de la distrugere prin protecție la alimentare inversă precum și o protecție la sarcini puternic inductive, cum ar fi bobine de releu sau motoare și un exemplu de conexiune a sa este prezentată mai jos.

# Utilizarea diodei Freewheel (supresoare)

Dispozitivele semiconductoare moderne de comutare rapidă, de putere, necesită diode de comutare rapidă, cum ar fi diodele supresoare, pentru a le proteja de sarcini inductive cum ar fi bobinele motorului sau înfășurările releului. De fiecare dată când dispozitivul de comutare reprezentat în figură este activat ON, dioda supresoare se schimbă de la o stare de conducție la o stare de blocare, deoarece devine polarizată invers.

Dar, atunci când dispozitivul comută rapid în "OFF", dioda devine polarizată direct și colapsează energia stocată în bobină determinând un curent să curgă prin diodă. Fără protecția diodei freewheel s-ar produce curenți mari  $di/dt$  care ar provoca un vârf de tensiune înaltă sau front pentru a curge prin circuitului, eventual deteriorând dispozitivul de comutare.

Anterior, viteza de operare a dispozitivului semiconductor de comutare, fie tranzistor, MOSFET, IGBT sau digital, a fost afectată de adăugarea unei diode freewheel pe sarcina inductivă, cu diode Schottky și Zener folosite în schimb în unele aplicații. Dar, în ultimii câțiva ani, diodele freewheel și-au recăpătat importanța datorită în principal caracteristicilor lor îmbunătățite de recuperare inversă și utilizării materialelor semiconductoare super-rapide capabile să funcționeze la frecvențe mari de comutare.

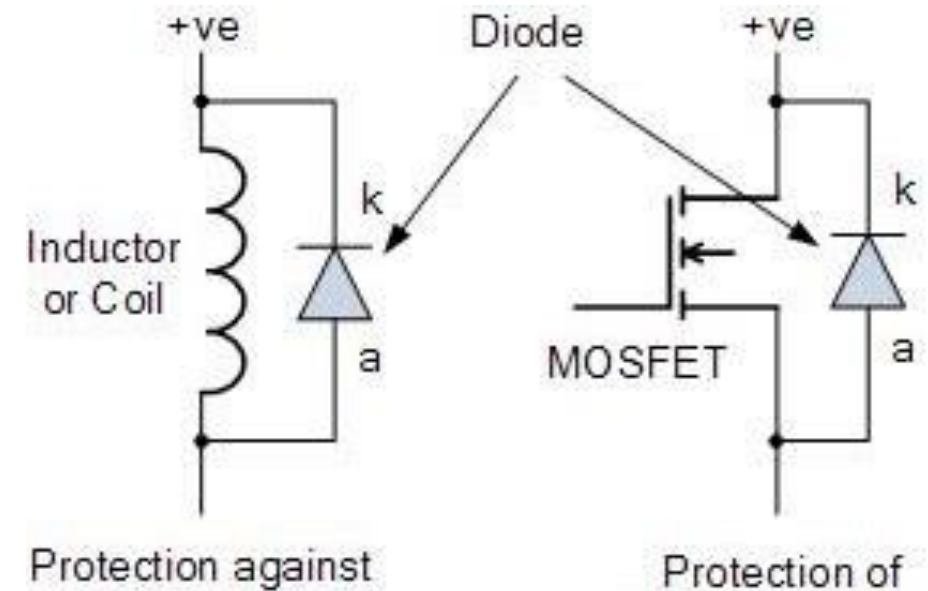


# Utilizarea diodei Freewheel (supresoare)

Alte tipuri de diode specializate sunt fotodiode, diode PIN, diode de tunel și diode barieră Schottky. Prin adăugarea mai multor joncțiuni PN la structura de bază a diodelor cu două straturi pot fi realizate alte tipuri de dispozitive semiconductoare.

De exemplu, un dispozitiv semiconductor cu trei straturi devine un tranzistor, un dispozitiv semiconductor cu patru straturi devine un tiristor sau redresor controlat cu siliciu, iar dispozitivele cu cinci straturi cunoscute ca Triac sunt, de asemenea, disponibile.

În continuare com studia dioda mare de semnal, denumită uneori **diodă de putere**. Diodele de putere sunt diode de siliciu proiectate pentru a fi utilizate în circuite de redresare de înaltă tensiune, de mare curent.



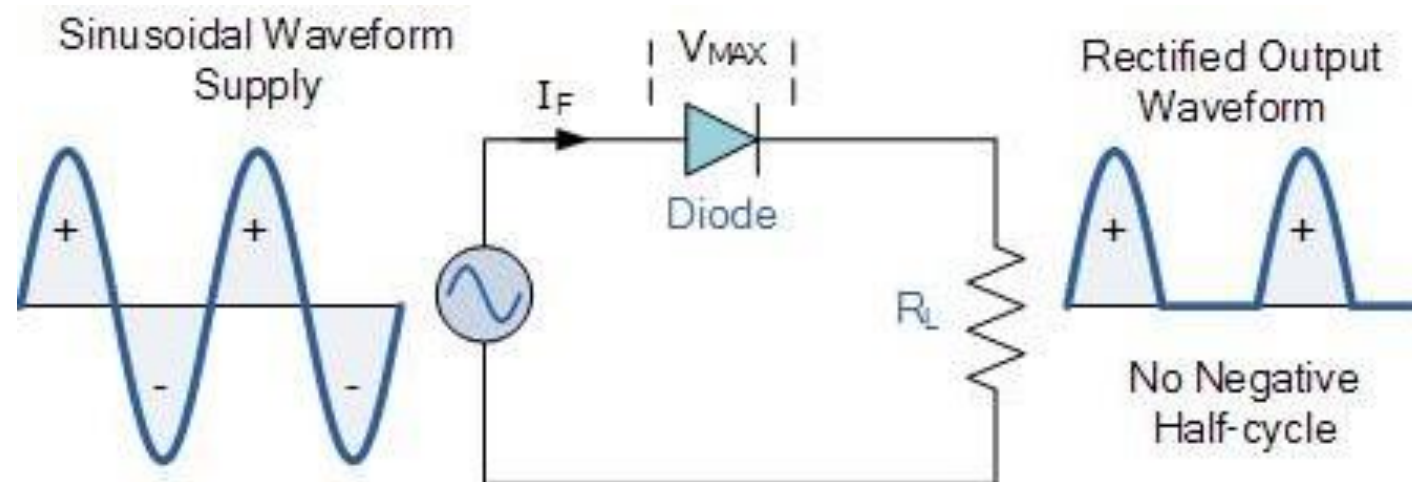
# Diode de putere

Diodele de putere sunt joncțiuni PN semiconductoare capabile să treacă curenți mari la valori de înaltă tensiune pentru utilizare în circuite redresoare.

O aplicație pe scară largă a acestei caracteristici, și a diodelor în general, se referă la conversia unei tensiuni alternative (AC) într-o tensiune continuă (DC). Cu alte cuvinte, **redresarea**.

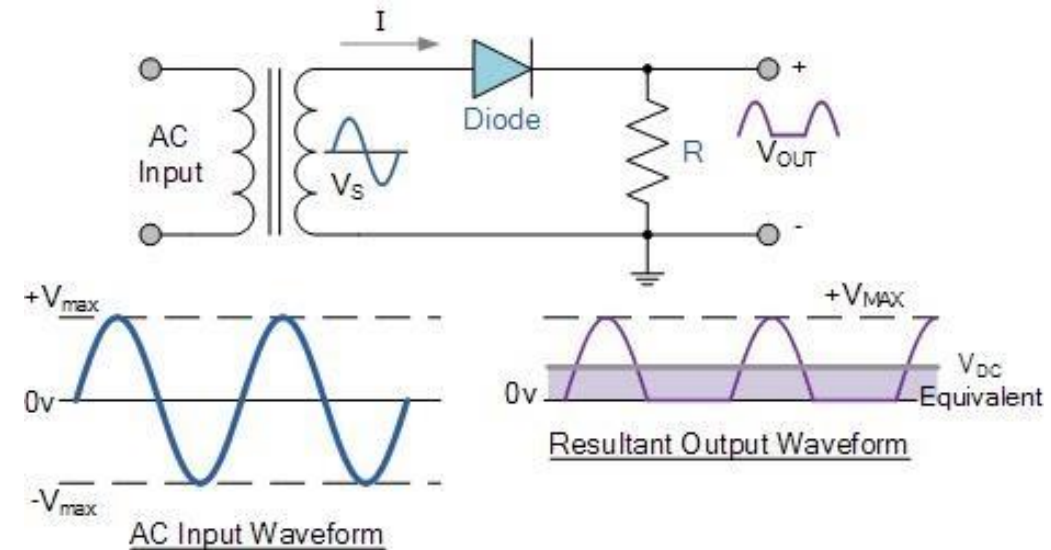
Dar diodele mici de semnal pot fi de asemenea folosite ca redresoare în aplicații cu curent redus (mai puțin de 1 amper), dar în cazul în care curenții mai mari de polarizare directă sau tensiunile de blocare în polarizare inversă mai mari implică joncțiunea PN a unei diode mici de semnal să se supraîncălzească, eventual să se topească, trebuie să se utilizeze diode de putere, mai mari și mai robuste.

Dioda semiconductoare de putere, cunoscută simplu ca **dioda de putere**, are o zonă de joncțiune PN mult mai largă comparativ cu dioda de semnal mai mică, rezultând o capacitate de curent direct înaltă până la câteva sute de amperi (KA) și o tensiune de blocare inversă de câteva mii de volți (KV).



# Aplicație a diodei de putere

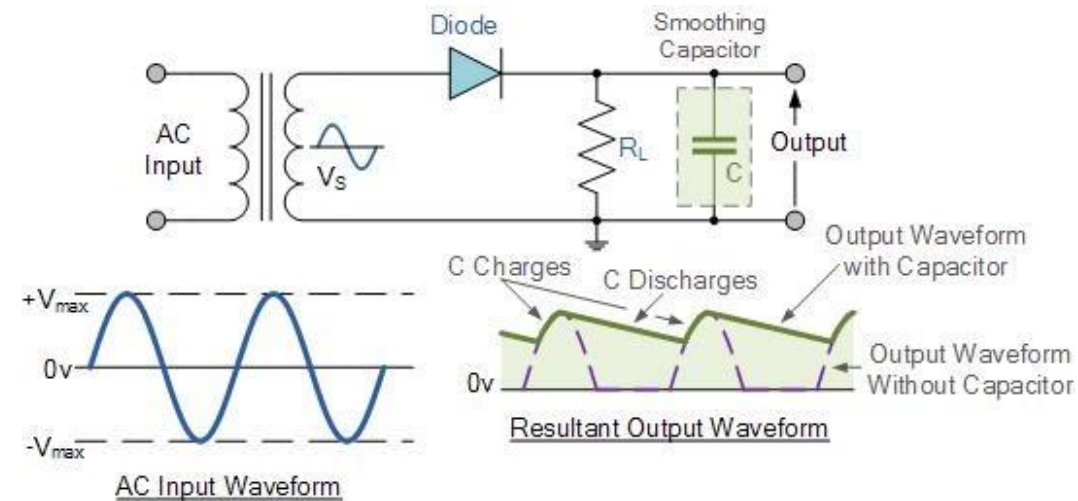
- Un redresor este un circuit care convertește puterea de intrare de curent *alternativ* (AC) într-o putere de ieșire de *curent continuu* (DC). Sursa de alimentare de intrare poate să fie o sursă de alimentare monofazată, sau una multi-fazăată, cea mai simplă dintre toate circuitele redresorului fiind aceea a **redresorului monoalternanță**.
- Dioda de putere într-un circuit de redresare monoalternanță trece doar o jumătate din fiecare undă sinusoidală a sursei AC pentru a o transforma într-o sursă DC. Atunci, acest tip de circuit este numit redresor "monoalternanță", deoarece trece doar o alternanță din sursa de curent alternativ, așa cum se arată mai jos.



# Redresor monoalternanță cu condensator de netezire

Atunci când redresarea este utilizată pentru a furniza o sursă de tensiune directă (DC) de la o sursă alternativă (AC), cantitatea de tensiune **riplu** poate fi redusă prin folosirea unor condensatoare de valoare mai mare, dar există limite atât la cost cât și la dimensiune la tipurile condensatoarelor de netezire utilizate.

Pentru o valoare dată a unui condensator, un curent de sarcină mai mare (rezistență de sarcină mai mică) va descărca mai repede condensatorul (Constanta de timp  $RC$ ) și astfel va crește **riplu** obținut. Deci, pentru circuitul redresor monoalternanță, folosind o diodă de putere, nu este foarte practic să încercați și să reduceți tensiunea de **riplu** cu un condensator de netezire singur. În acest caz, ar fi mai practic să folosiți "Redresarea bialternanță".



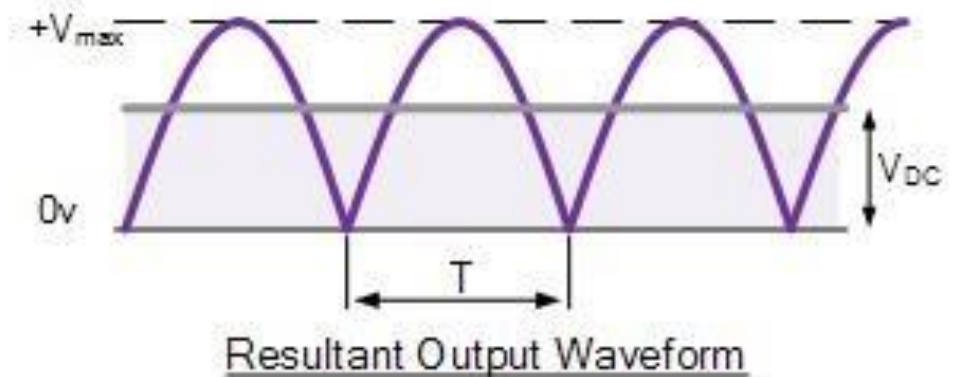
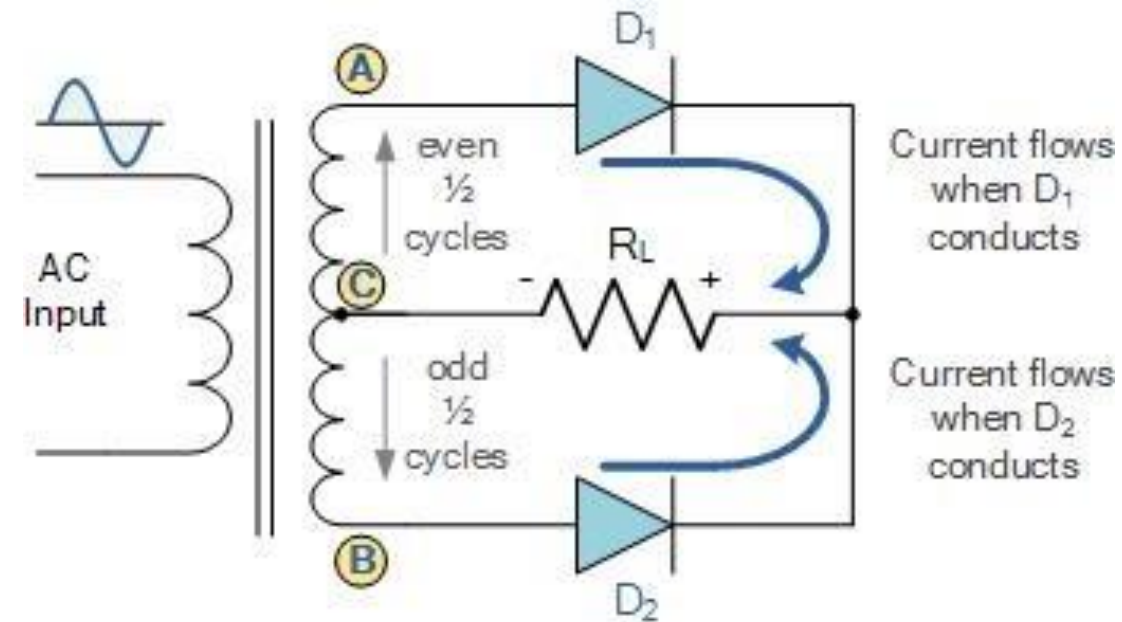


# Redresoare

Diodele de putere pot fi conectate împreună pentru a forma un redresor dublă-alternanță care transformă tensiunea de curent alternativ în tensiune DC pulsatorie pentru utilizare în surse de alimentare.

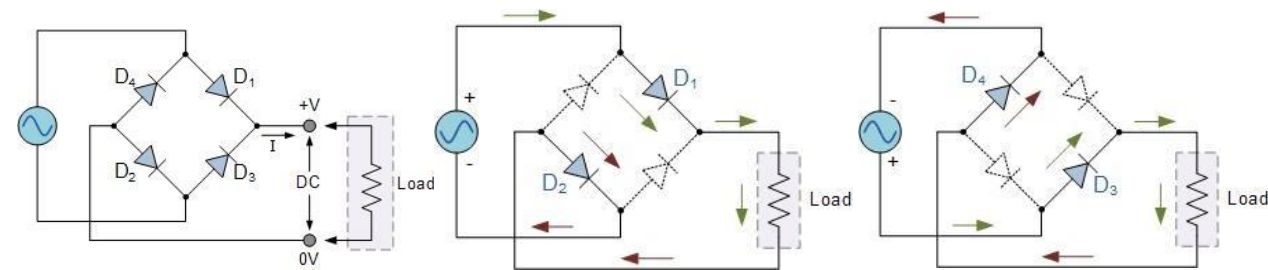
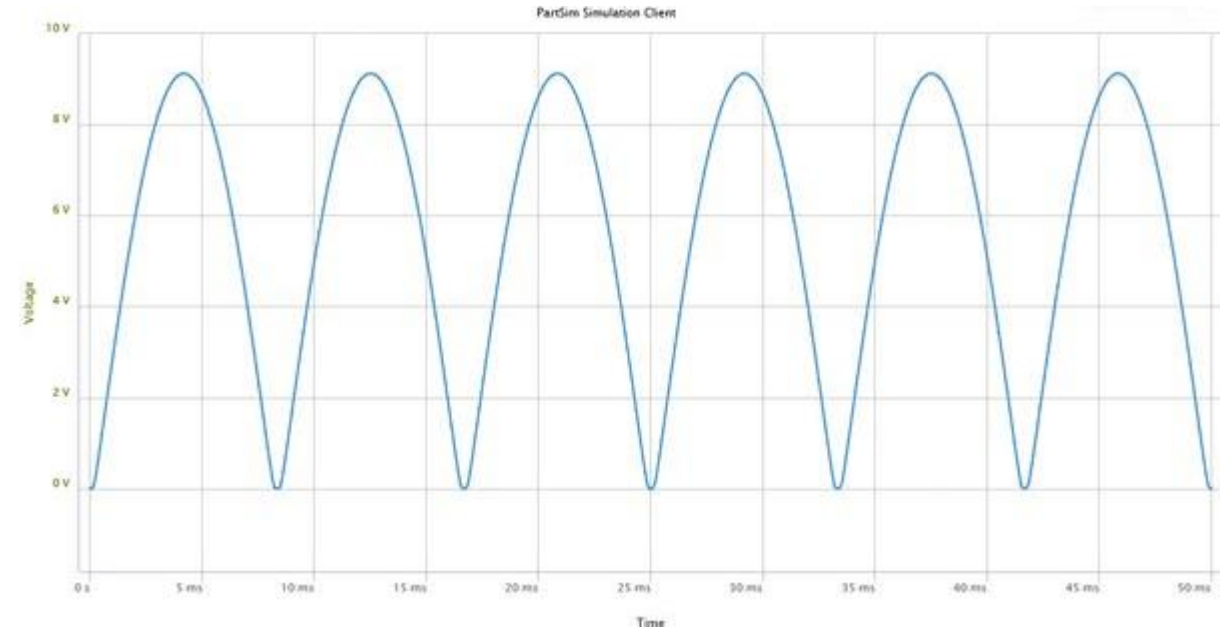
În tutorialul anterior am discutat modalități de reducere a variațiilor de tensiune sau a riplului la o tensiune DC directă prin conectarea condensatoarelor de netezire pe rezistența la sarcină.

Deși această metodă poate fi potrivită pentru aplicații cu putere redusă, este inadecvată aplicațiilor care necesită o tensiune de alimentare constantă și netedă. O metodă de îmbunătățire în acest sens este folosirea fiecărei alternanțe a tensiunii de intrare în loc de doar una pozitivă. Circuitul care ne permite să facem acest lucru se numește **redresor dublă-alternanță**.



# Redresoare

- Circuitul de redresor dublă-alternanță constă din două *diode de putere* conectate la o singură rezistență de sarcină (RL), fiecare diodă comutând pe rând pentru a furniza curent la sarcină. Atunci când punctul A al transformatorului este pozitiv în raport cu punctul C, dioda D1 conduce în direcția indicată de săgeată.
- Atunci când punctul B este pozitiv (în alternanța negativă a ciclului) față de punctul C, dioda D2 conduce în direcția arătată și curentul care trece prin rezistorul R este în aceeași direcție pentru ambele alternanțe. Deoarece tensiunea de ieșire pe rezistorul R este suma fazorială a celor două forme de undă combinate, acest tip de circuit de redresor dublă-alternanță este cunoscut ca un circuit "bi-fazic".



# Dioda Zener

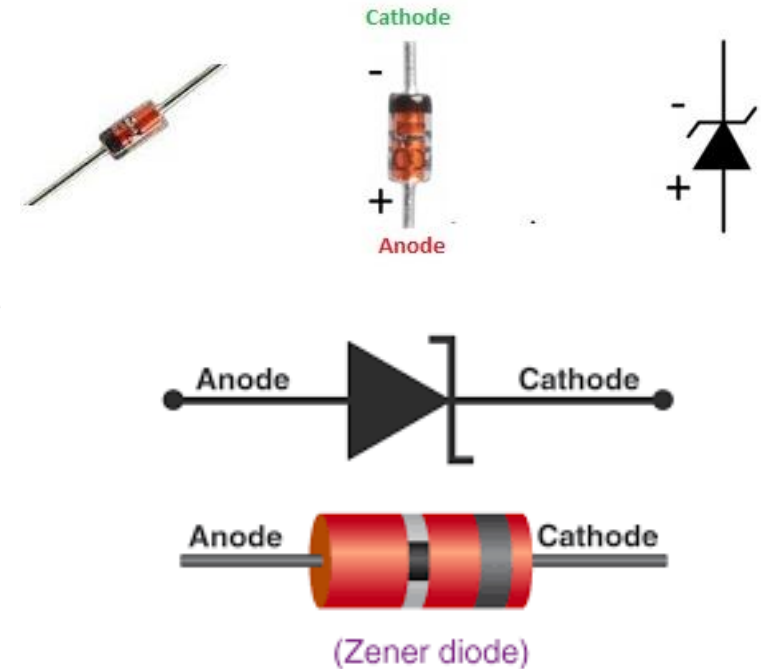
O diodă semiconductoră blochează curentul în direcție inversă, dar va suferi defecțiuni sau străpungere prematură dacă tensiunea inversă aplicată pe ea este prea mare. Dar, **dioda Zener** sau "Dioda de străpungere", este în esență aceeași ca dioda joncțiune PN standard, dar special concepută pentru a avea o **tensiune de străpungere reversibilă** mică și specificată, care profită de orice tensiune inversă aplicată ei.

**Dioda Zener** se comportă la fel ca o diodă de scop general normală, constând dintr-o joncțiune PN de siliciu, atunci când este polarizată direct, anod pozitiv în raport cu catodul, permițând să circule curentul nominal.

Dar, spre deosebire de o diodă convențională care blochează orice flux de curent prin ea când se polarizează invers, sau catodul devine mai pozitiv decât anodul, de îndată ce tensiunea inversă atinge o valoare prestabilită, dioda zener începe să conducă în direcție inversă.

Acest lucru se datorează faptului că un proces numit *străpungere în avalanșă* apare în stratul de epuizare a semiconductorului și un curent începe să curgă prin diodă pentru a limita această creștere a tensiunii.

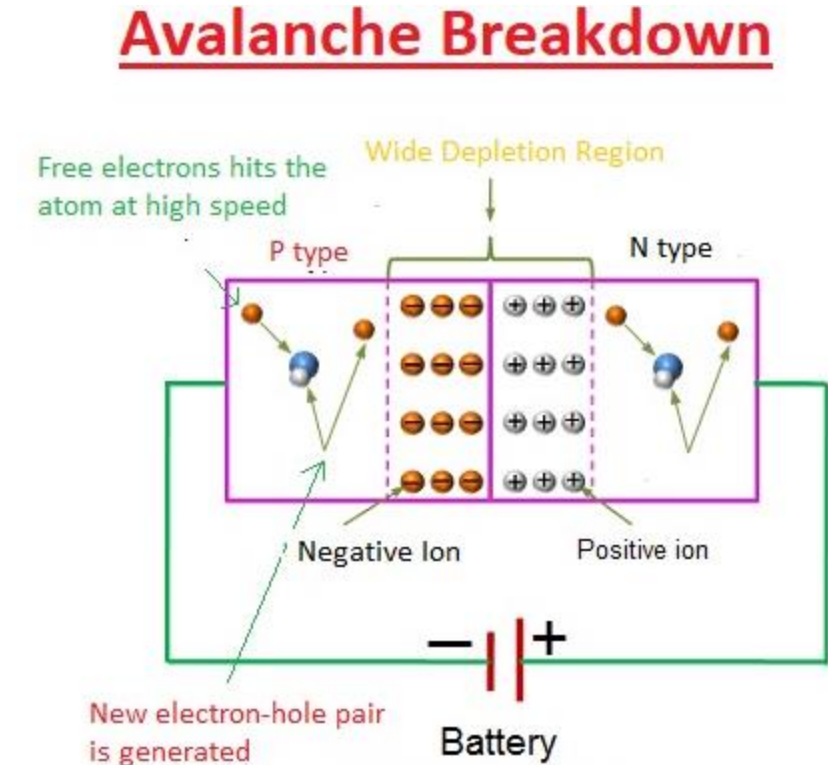
## What is the Zener Diode



# Dioda Zener

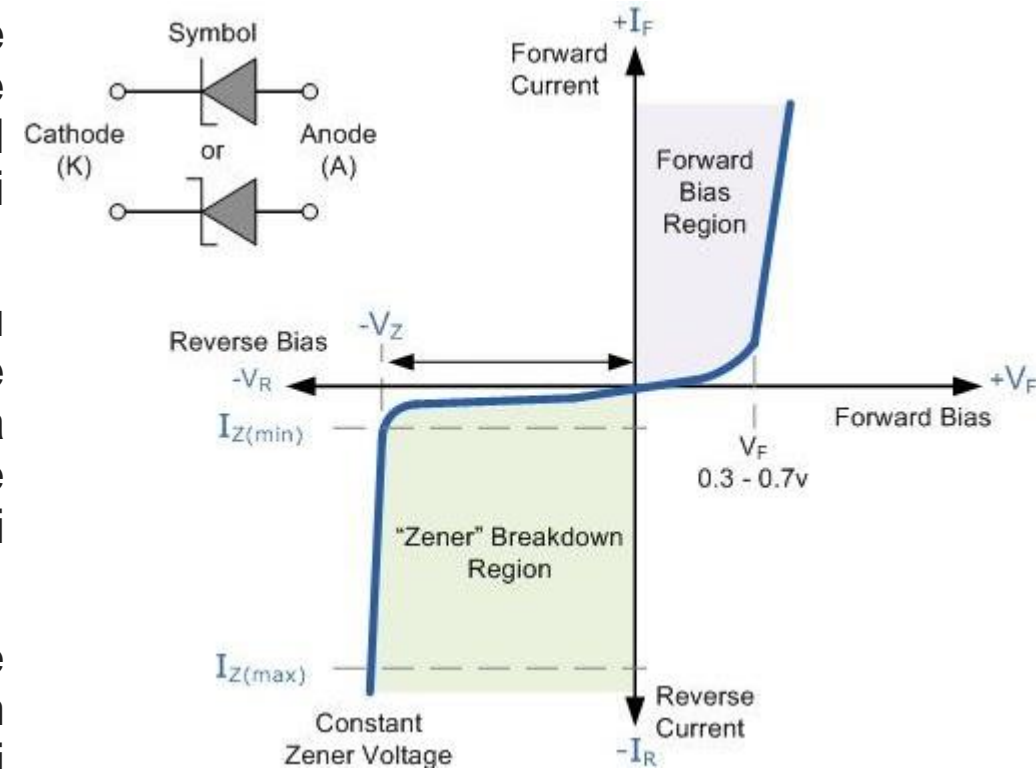
Curentul care curge acum prin dioda zener crește dramatic la valoarea maximă a circuitului (care este de obicei limitată de un rezistor serie) și, odată atins, acest curent de saturație inversă rămâne destul de constant pe o gamă largă de tensiuni inverse. Punctul de tensiune, la care tensiunea pe dioda zener devine stabilă, se numește "tensiune zener" ( $V_z$ ), iar pentru diodele zener această tensiune poate varia de la mai puțin de un volt până la câteva sute de volți.

Punctul la care tensiunea zener declanșează curentul să circule prin diodă poate fi controlat foarte precis (la o toleranță mai mică de 1%) în stadiul de dopare al construcției semiconductoare a diodelor, oferind diodei o anumită *tensiune de străpungere* zener ( $V_z$ ) pentru exemplu, 4,3 V sau 7,5 V. Această tensiune de străpungere zener pe curba I-V este aproape o linie dreaptă verticală.



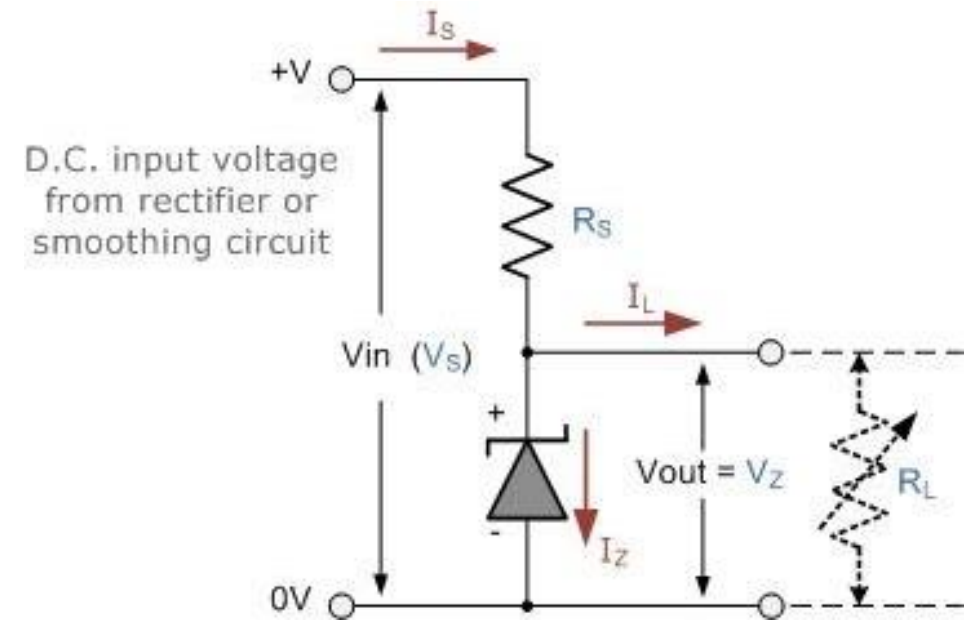
# Dioda Zener

- **Dioda Zener** este utilizată în „polarizare inversă” sau mod de străpungere inversă, adică anodul diodei conectat la sursa negativă. Din curba caracteristicilor I-V de mai sus, putem vedea că dioda zener are o regiune în caracteristicile de polarizare inversă cu o tensiune negativă aproape constantă, indiferent de valoarea curentului care trece prin diodă, și rămâne aproape constantă chiar și cu variații mari de curent, în timp ce curentul diodelor zener rămâne între curentul de străpungere  $I_{Z(\min)}$  și curentul nominal maxim  $I_{Z(\max)}$ .
- Această abilitate de a se controla ea însăși poate fi utilizată cu mare efect pentru a regla sau stabiliza o sursă de tensiune față de variațiile de alimentare sau sarcină. Faptul că tensiunea pe diodă în regiunea de străpungere este aproape constantă se dovedește a fi o caracteristică importantă a diodei zener, deoarece poate fi folosită în cele mai simple tipuri de aplicații de reglare a tensiunii.
- Funcția unui regulator este de a furniza o tensiune de ieșire constantă la o sarcină conectată în paralel cu acesta, în ciuda **riplurilor** în tensiunea de alimentare sau variația curentului de sarcină, iar dioda zener va continua să regleze tensiunea până când curentul diodelor scade sub valoarea minimă  $I_{Z(\min)}$  în regiunea de străpungere inversă.



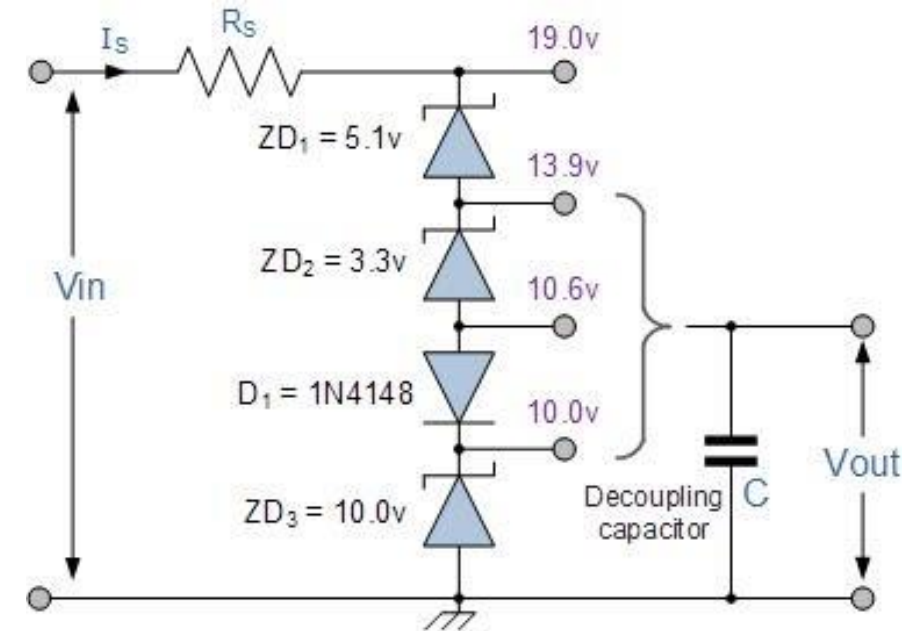
# Regulator cu diode Zener

- **Diodele Zener** pot fi utilizate pentru a produce o ieșire de tensiune stabilizată, cu un riplu redus, în condiții de sarcină variată. Prin trecerea unui curent mic prin diodă dintr-o sursă de tensiune, prin intermediul unui rezistor de limitare a curentului adecvat ( $R_S$ ), dioda zener va conduce un curent suficient pentru a menține o cădere de tensiune  $V_{out}$ .
- Ne amintim că tensiunea de ieșire DC de la redresoarele mono- sau dublă-alternanță conține un **riplu** suprapus peste tensiunea DC și că, deoarece valoarea sarcinii se modifică și tensiunea medie de ieșire se modifică. Prin conectarea unui circuit simplu de stabilizare cu zener, așa cum se arată mai jos, pe ieșirea redresorului, se poate produce o tensiune de ieșire mai stabilă.



# Diode Zener conectate în serie

- Valorile diodelor Zener individuale pot fi alese pentru a se adapta aplicației, în timp ce dioda de siliciu va scădea întotdeauna în jur de 0,6 - 0,7 V în condiția de polarizare directă. Tensiunea de alimentare  $V_{in}$  trebuie să fie, desigur, mai mare decât cea mai mare tensiune de referință de ieșire și în exemplul nostru de mai sus acest lucru este 19 V.
- O **diodă zener** tipică pentru circuitele electronice generale este seria *BZX55* de 500 mW sau seria *BZX55* mai mare de 1,3 W, seria *BZX85* unde tensiunea zener este dată ca, de exemplu *C7V5* pentru o diodă de 7,5 V, care oferă numărul de referință pentru diodă *BZX55C7V5*.
- Seria de 500 mW de diode zener este disponibilă de la aproximativ 2,4 până la aproximativ 100 de volți și are în mod obișnuit aceeași secvență de valori ca cea folosită pentru seria rezistoarelor de 5% (E24) cu tensiuni nominale individuale pentru aceste diode mici, dar foarte utile, tabelul care urmează.

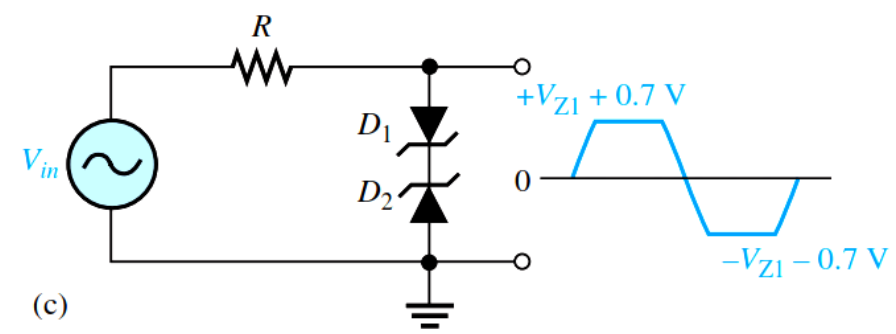


# Tensiuni standard pentru diode Zener

Diodă Zener BZX55 Putere nominală 500mW							
2.4V	2.7V	3.0V	3.3V	3.6V	3.9V	4.3V	4.7V
5.1V	5.6V	6.2V	6.8V	7.5V	8.2V	9.1V	10V
11V	12V	13V	15V	16V	18V	20V	22V
24V	27V	30V	33V	36V	39V	43V	47V
Diodă Zener BZX85 Putere nominală 1,3W							
3.3V	3.6V	3.9V	4.3V	4.7V	5.1V	5.6	6.2V
6.8V	7.5V	8.2V	9.1V	10V	11V	12V	13V
15V	16V	18V	20V	22V	24V	27V	30V
33V	36V	39V	43V	47V	51V	56V	62V



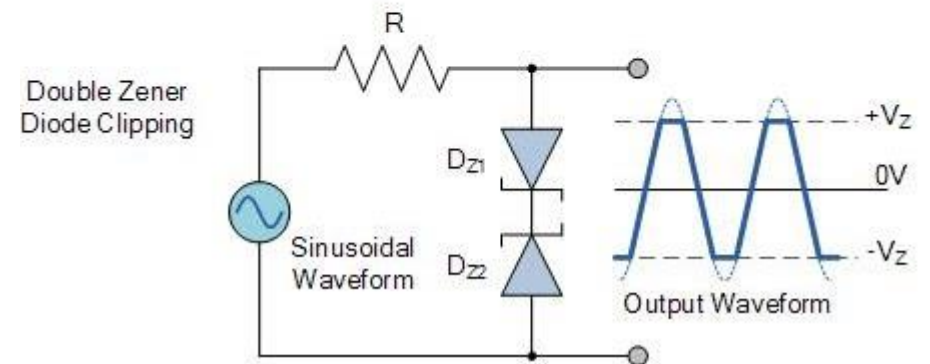
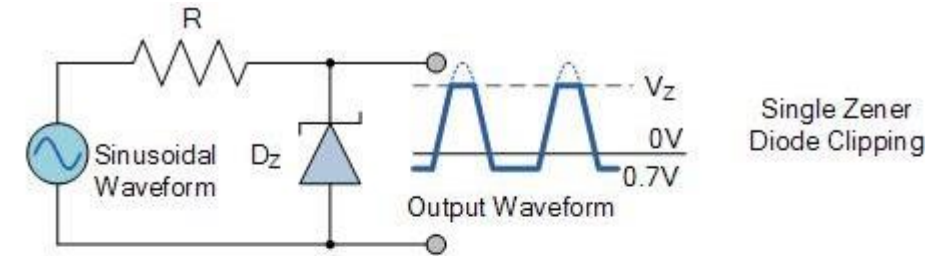
# Circuite de limitare cu diode Zener



- Până acum ne-am uitat la modul în care o diodă zener poate fi folosită pentru a reglementa o sursă constantă DC, dar ce se întâmplă dacă semnalul de intrare nu a fost starea de echilibru DC, ci o formă de undă alternativă AC? Cum ar reacționa dioda zener la un semnal în continuă schimbare.
- Circuitele de tăiere și de limitare cu diode sunt circuite care sunt utilizate pentru a modela sau modifica o formă de undă de intrare AC (sau orice sinusoidă) producând o formă de undă de ieșire diferită, în funcție de aranjamentul de circuit. Circuitele de tăiere cu diodă sunt, de asemenea, numite limitatoare deoarece limitează sau elimină partea pozitivă (sau negativă) a unui semnal de intrare AC. Deoarece circuitele de tăiere Zener limitează sau decupează o parte a formei de undă de pe ele, acestea sunt utilizate în principal pentru protecția circuitului sau în circuitele de modelare a formelor de undă.
- De exemplu, dacă am dori să limităm o formă de undă de ieșire la  $+7,5\text{ V}$ , am folosi o diodă zener de  $7,5\text{ V}$ . În cazul în care forma de undă de ieșire încearcă să depășească limita de  $7,5\text{ V}$ , dioda zener va "tăia" tensiunea excesivă de la intrare, producând o formă de undă cu un vârf plat, păstrând încă ieșirea constantă la  $+7,5\text{ V}$ . Rețineți că în condiția de polarizare directă o diodă zener este o diodă și când ieșirea formei de undă AC devine negativă sub  $-0,7\text{ V}$ , dioda zener comută "ON" ca orice diodă cu siliciu normală și va limita ieșirea la  $-0,7\text{ V}$  așa cum este arătat în continuare.

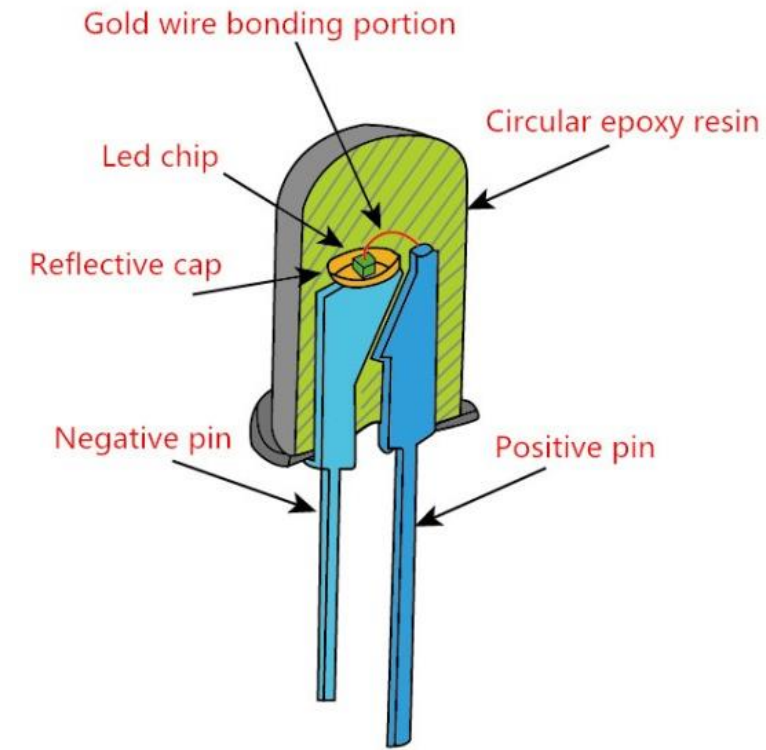
# Semnal de undă dreptunghiulară

- Diodele zener conectate "spate în spate" pot fi utilizate ca regulator de curent alternativ, care produc ceea ce este denumit în mod glumeț "generator de undă dreptunghiulară pentru săraci". Folosind acest aranjament putem limita forma de undă între o valoare pozitivă de + 8,2 V și o valoare negativă de -8,2 V pentru o diodă zener 7,5 V.
- De exemplu, dacă vrem să limităm o formă de undă de ieșire între două valori minimă și maximă diferite, de exemplu + 8 V și - 6 V, am folosi pur și simplu două diode zener diferite. Rețineți că ieșirea va limita de fapt forma de undă AC între + 8,7 V și -6,7 V datorită adăugării tensiunii pe dioda polarizată direct.
- Cu alte cuvinte, o tensiune vârf la vârf de 15,4 volți în loc de 14 volți așteptați, deoarece căderea de tensiune de polarizare directă pe diodă adaugă încă 0,7 volți în fiecare direcție.
- Acest tip de configurație a limitatorului este destul de comun pentru protejarea unui circuit electronic de supra-tensiune. Cele două zenere sunt amplasate în general pe bornele de intrare ale sursei de alimentare și în timpul funcționării normale, una dintre diodele zener este "OFF", iar diodele au un efect mic sau deloc. Dar, dacă forma de undă de tensiune de intrare depășește limita sa, atunci zenerul comută "ON" și limitează intrarea pentru a proteja circuitul.



# LED (*Light-emitting diode*)

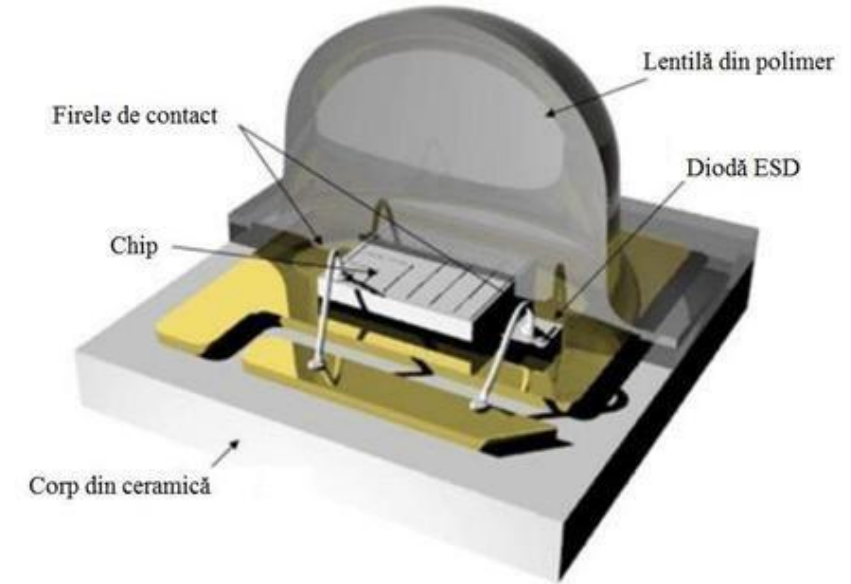
- Diodele emițătoare de lumină sau pur și simplu LED-uri, sunt printre cele mai utilizate dintre toate tipurile de diode semiconductoare disponibile astăzi și sunt utilizate în mod obișnuit în afișajele TV și color.
- Acestea sunt cel mai vizibil tip de diodă care emite o lățime de bandă destul de îngustă de lumină vizibilă la lungimi de undă colorate diferite, lumină infraroșie invizibilă pentru comenzi de la distanță sau lumină de tip laser atunci când un curent direct trece prin ele.



- "**Dioda emițătoare de lumină**" sau LED, așa cum se numește mai des, este în principiu doar un tip specializat de diodă, având caracteristici electrice foarte asemănătoare cu o diodă joncțiune PN. Aceasta înseamnă că un LED va trece curentul în sens direct, dar va bloca fluxul de curent în direcția inversă.
- LED-urile sunt realizate dintr-un strat foarte subțire de material semiconductor destul de puternic dopat și în funcție de materialul semiconductor folosit și de cantitatea de dopare, atunci când este polarizat direct, LED-ul va emite o lumină colorată la o anumită lungime de undă spectrală.

# LED (*Light-emitting diode*)

- Atunci, putem spune că atunci când sunt polarizate direct, **LED-urile** sunt dispozitive semiconductoare care convertesc energia electrică în energie luminoasă.
- Construcția unui LED este foarte diferită de cea a unei diode normale de semnal. Joncțiunea PN a unui LED este înconjurată de o carcasă sau corp de formă emisferică din rășină epoxidică transparentă, care protejează LED-ul atât de vibrații, cât și de șocuri.
- În mod surprinzător, o joncțiune LED nu emite prea mult lumină, astfel încât corpul din rășină epoxidică este construit astfel încât fotonii luminii emise de joncțiune să fie reflectați departe de baza substratului înconjurător de care este atașată dioda și sunt focalizați în sus prin partea superioară a LED-ului, care acționează ca o lentilă pentru a concentra cantitatea de lumină. Acesta este motivul pentru care lumina emisă pare a fi mai strălucitoare în partea de sus a LED-ului.
- Dar, nu toate LED-urile sunt realizate de formă emisferică pentru carcasa lor epoxidică. Unele LED-uri indicatoare au o construcție în formă dreptunghiulară sau cilindrică, care au o suprafață plană pe partea de sus sau corpul lor este modelat într-o bară sau săgeată. În general, toate LED-urile sunt fabricate cu două terminale care ies din partea inferioară a corpului.
- Aproape toate LED-urile moderne au catodul lor, terminalul (-), identificat fie printr-o creștătură sau loc plat pe corp, fie terminalul catod mai scurt decât celălalt, anodul (+).
- Spre deosebire de lămpile normale cu incandescență și becuri care generează cantități mari de căldură atunci când luminează, LED-ul produce o generație "rece" de lumină care conduce la eficiență ridicată față de "becul" normal, deoarece cea mai mare parte a energiei generate radiază departe în spectrul vizibil. Deoarece LED-urile sunt dispozitive **solid-state**, ele pot fi extrem de mici și durabile și oferă o viață a lămpilor mult mai lungă decât sursele normale de lumină.



# Culorile LED-urilor

Caracteristicile tipice ale LED-urilor			
Material semiconductor	Lungime de undă	Culoare	$V_F @ 20mA$
GaAs	850-940nm	Infraroșu	1,2V
GaAsP	630-660nm	roșu	1,8V
GaAsP	605-620nm	Chihlimbar	2,0V
GaAsP: N	585-595nm	Galben	2,2V
AlGaP	550-570nm	Verde	3,5V
SiC	430-505nm	Albastru	3,6V
GaN	450nm	alb	4,0V

# Tipuri de materiale pentru LED-uri

- Gallium Arsenide (GaAs) - infraroșu
- Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP) - roșu până la infraroșu, portocaliu
- Aluminium Gallium Arsenide Phosphide (AlGaAsP) - luminozitate ridicată roșu, orange-roșu, orange și galben
- Gallium Phosphide (GaP) - roșu, galben și verde
- Aluminium Gallium Phosphide (AlGaP) - verde

- Gallium Nitride (GaN) - verde, verde smarald
- Gallium Indium Nitride (GaInN) - aproape de ultraviolete, albastru-verde și albastru
- Silicon Carbide (SiC) - albastru ca substrat
- Zinc Selenide (ZnSe) - albastru
- Aluminium Gallium Nitride (AlGaN) - ultraviolete



RED

GaAsP

AlGaInP

GaP



ORANGE

GaAsP

AlGaInP

GaP



YELLOW

GaAsP

AlGaInP

GaP



GREEN

GaP

GaN

InGaN



BLUE

InGaN

AlGaN

ZnSe



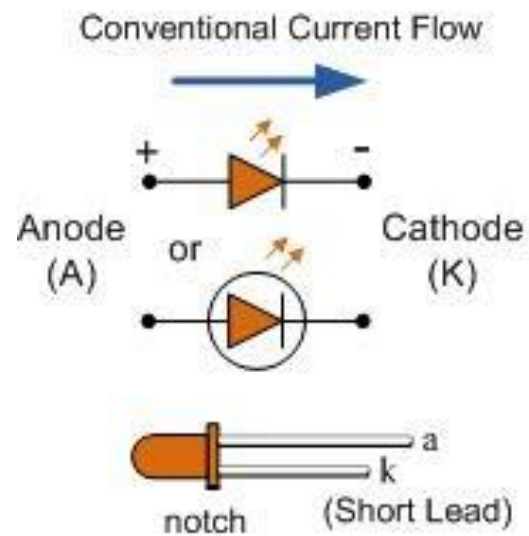
VIOLET

InGaN

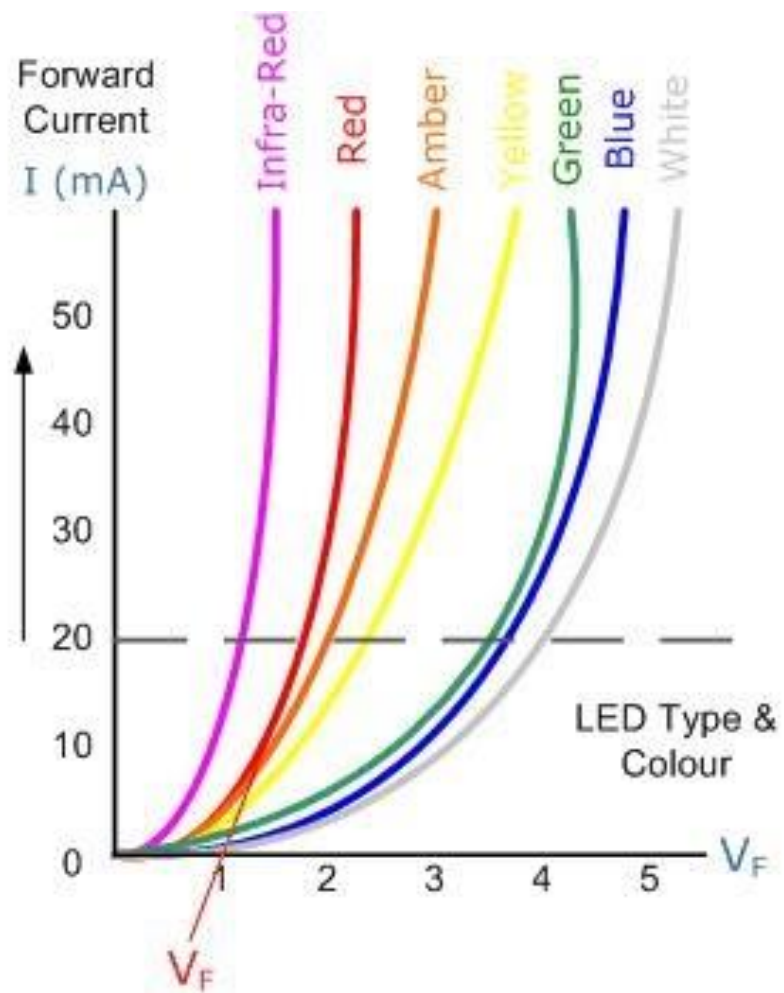
AlGaN

GaN

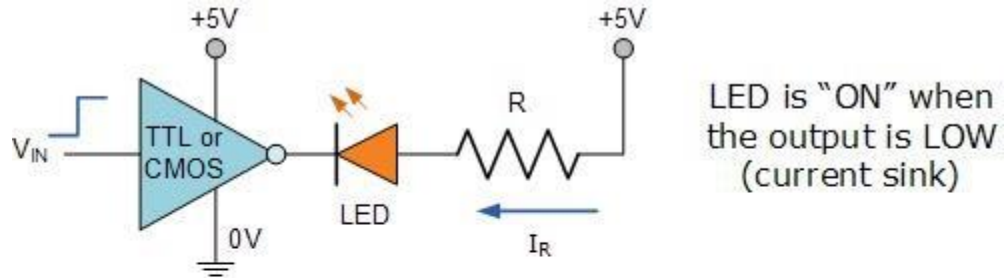
# Caracteristici I-V pentru LED-uri



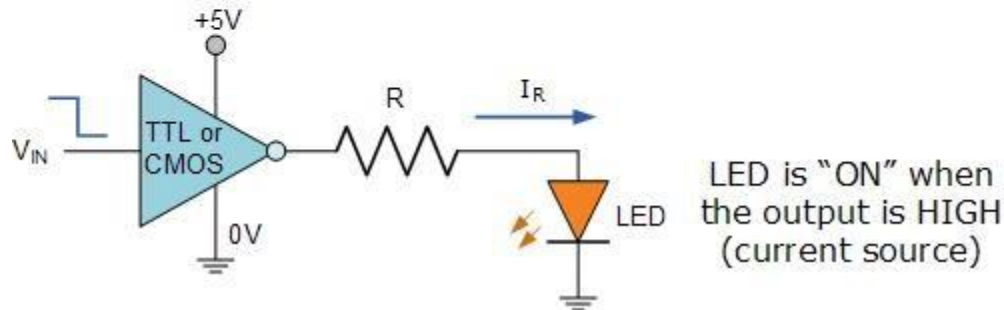
LED and its I-V Characteristics



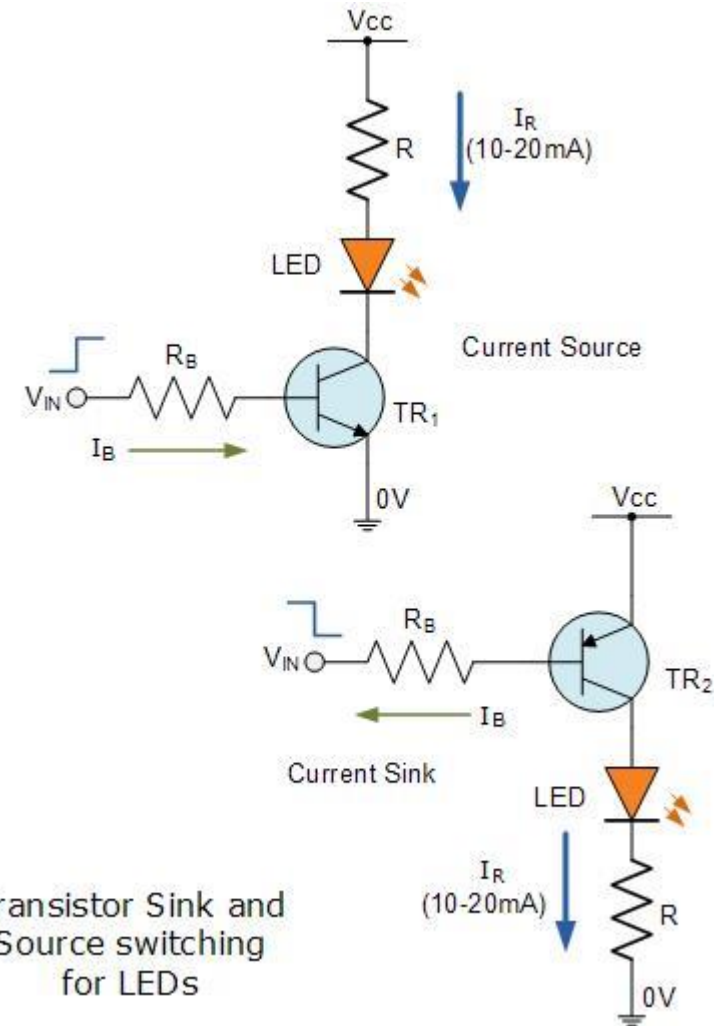
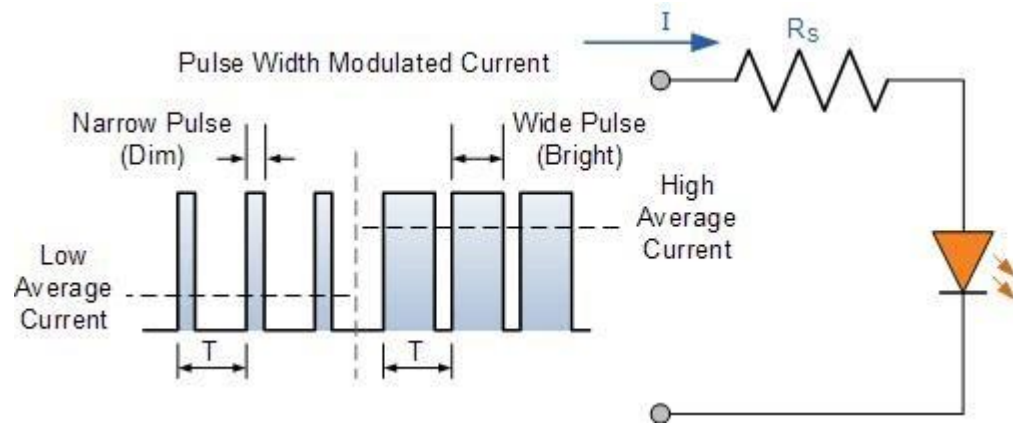
# Circuite de comandă pentru LED-uri



LED is "ON" when the output is LOW (current sink)



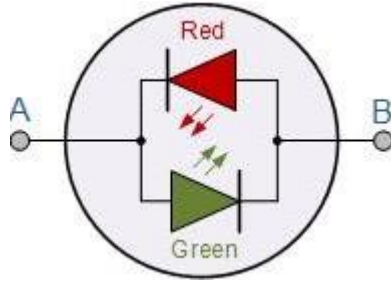
LED is "ON" when the output is HIGH (current source)



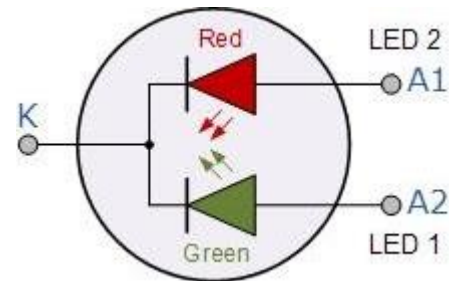
Transistor Sink and Source switching for LEDs



# LED multicolor



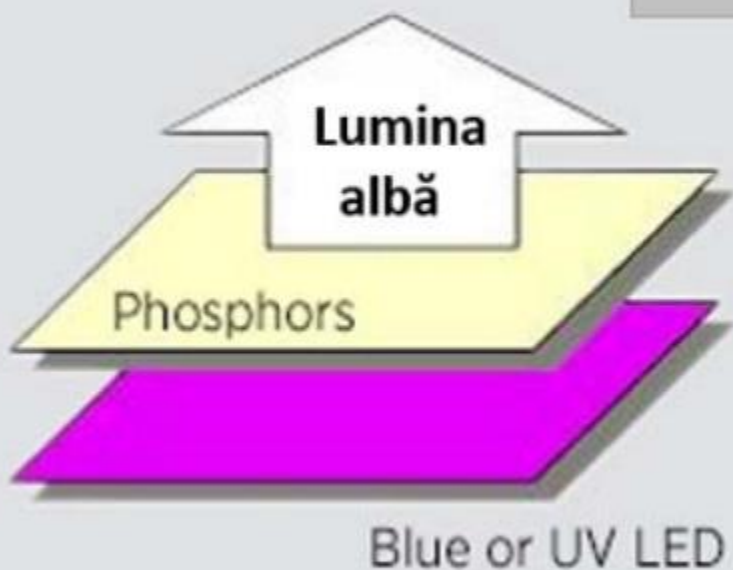
LED selectat	Terminalul A		AC
	+	-	
LED 1	ON	OFF	ON
LED 2	OFF	ON	ON
Culoare	Verde	roșu	Galben



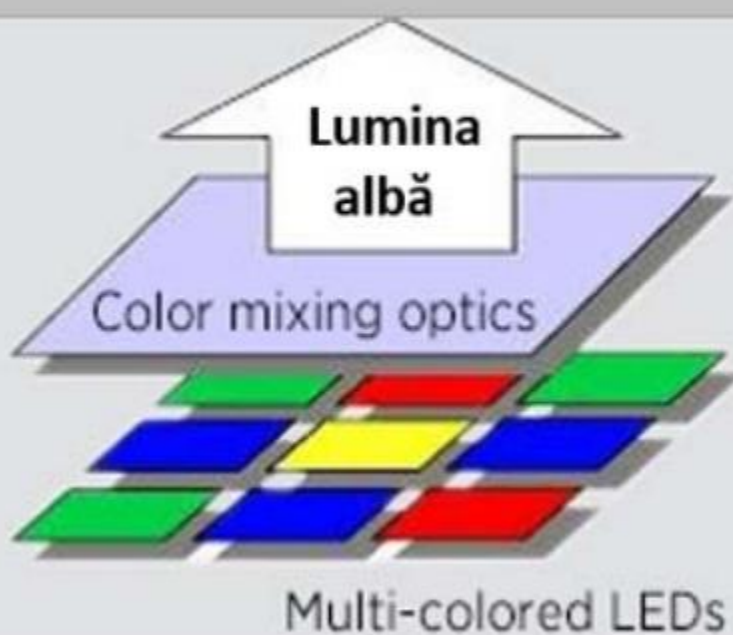
Culoare ieșire	Roșu	Portocaliu	Galben	Verde
curent LED 1	0	5mA	9.5mA	15mA
curent LED 2	10mA	6.5mA	3.5mA	0

# Două moduri de obținere a luminii albe cu LED-uri RGB

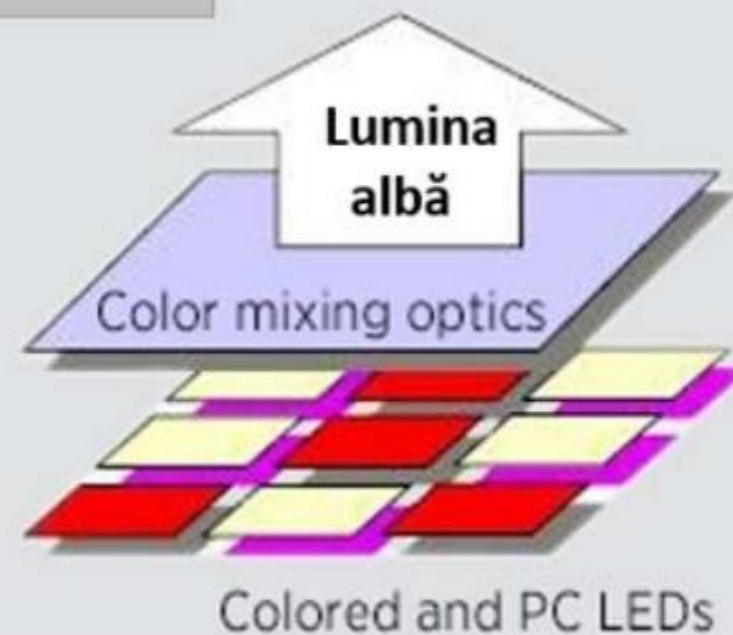
## 3 metode de obținerea luminii albe



a) LED convertit cu film de fosfor

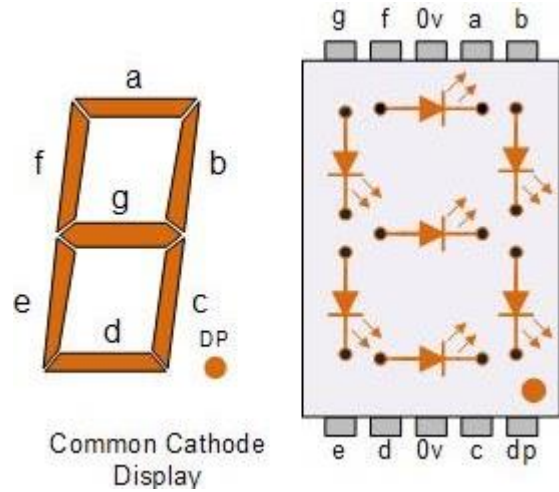


b) Mixarea culorilor roșie, verde și blue

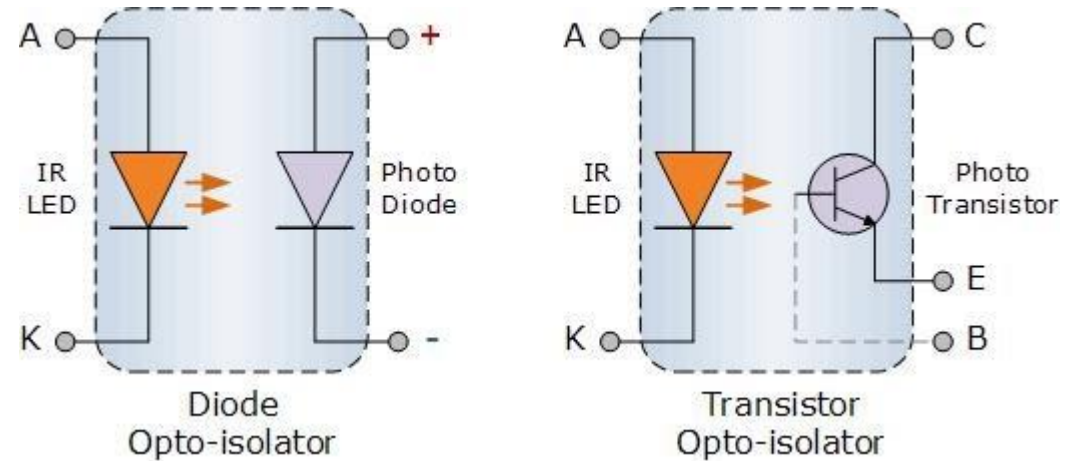


Hibridă: a) + b)

# Afișaje LED



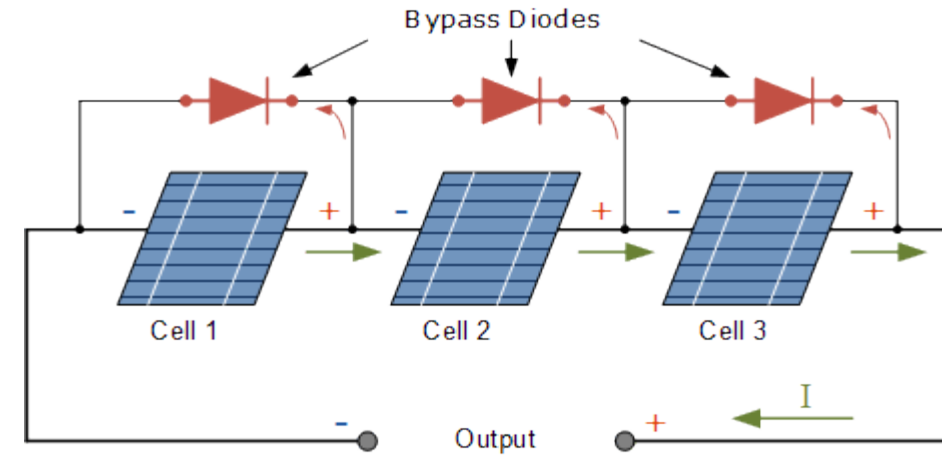
Un afișaj LED cu 7 segmente oferă o modalitate foarte convenabilă atunci când se decodifică corect afișarea informațiilor sau a datelor digitale sub formă de numere, litere sau chiar caractere alfanumerice și, după cum sugerează și numele acestora, ele constau în șapte LED-uri individuale (segmentele) într-un singur pachet de afișare.



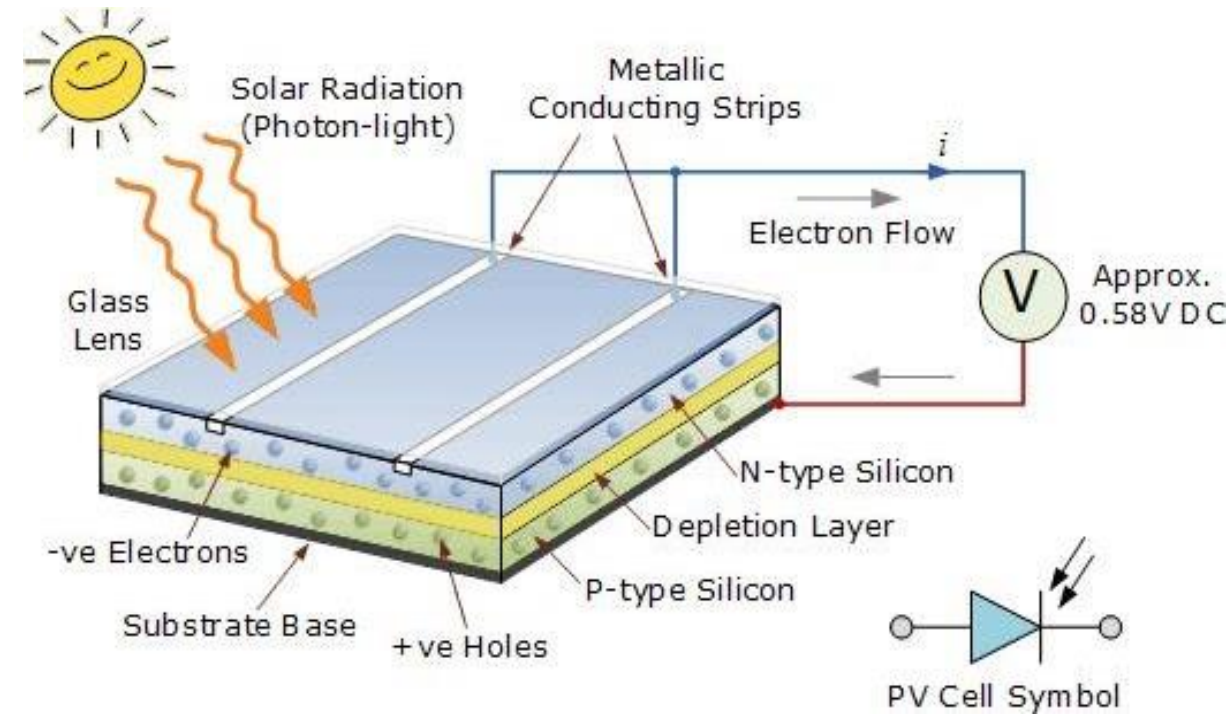
O altă aplicație utilă a LED-ului este în opto-cuplare. Un opto-cuplor sau un optoizolator, așa cum se mai numește, este un singur dispozitiv electronic care constă dintr-un LED combinat fie cu o foto-diodă, fie cu un foto-tranzistor sau cu un foto-triac pentru a furniza o cale de semnal optic între o conexiune de intrare și o conexiune de ieșire, menținând izolarea electrică între două circuite.

# Diode bypass

- Diodele **bypass** (de ocolire) sunt cablate în paralel cu celule sau panouri solare individuale, pentru a oferi o cale de curent în jurul lor, în cazul în care o celulă sau un panou devine defect sau circuit-deschis.
- Această utilizare a diodelor **bypass** permite unei serii (numite șir) de celule sau panouri conectate să continue să furnizeze energie la o tensiune redusă, mai degrabă decât nimic la toate.
- Diodele **bypass** sunt conectate în polarizare inversă între terminale de ieșire pozitivă și negativă ale unei celule solare (sau panou) și nu are nici un efect asupra ieșirii ei. În mod ideal, ar exista o diodă **bypass** pentru fiecare celulă solară, dar acest lucru poate fi destul de scump, astfel încât, în general, se utilizează o diodă pe grup mic de celule în serie.
- Un "panou solar" este construit folosind **celule solare** individuale, iar celulele solare sunt realizate din straturi de materiale semiconductoare din siliciu. Un strat de siliciu este tratat cu o substanță pentru a crea un exces de electroni. Acesta devine strat negativ sau tip N. Celălalt strat este tratat pentru a crea o lipsă de electroni și devine un strat pozitiv sau de tip P, similar tranzistoarelor și diodelor.
- Când este asamblat împreună cu conductorii, acest aranjament de siliciu devine un semiconductor cu joncțiune PN sensibilă la lumină. De fapt, celulele solare fotovoltaice sau PV-uri, așa cum sunt ele numite mai des, nu sunt decât diode mari, plate, foto-sensibile.
- Celulele solare fotovoltaice transformă lumina fotonilor din jurul joncțiunii PN direct în electricitate fără părți mecanice sau mobile. Celulele PV produc energie de la lumina soarelui, nu de la căldură. De fapt, ele sunt cele mai eficiente când sunt reci!
- Când este expusă la lumina soarelui (sau la o altă sursă de lumină intensă), tensiunea produsă de o singură celulă solară este de circa 0,58 volți DC, debitul de curent (amperi) fiind proporțional cu energia luminii (fotoni). În majoritatea celulelor fotovoltaice, tensiunea este aproape constantă, iar curentul este proporțional cu dimensiunea celulei și intensitatea luminii.



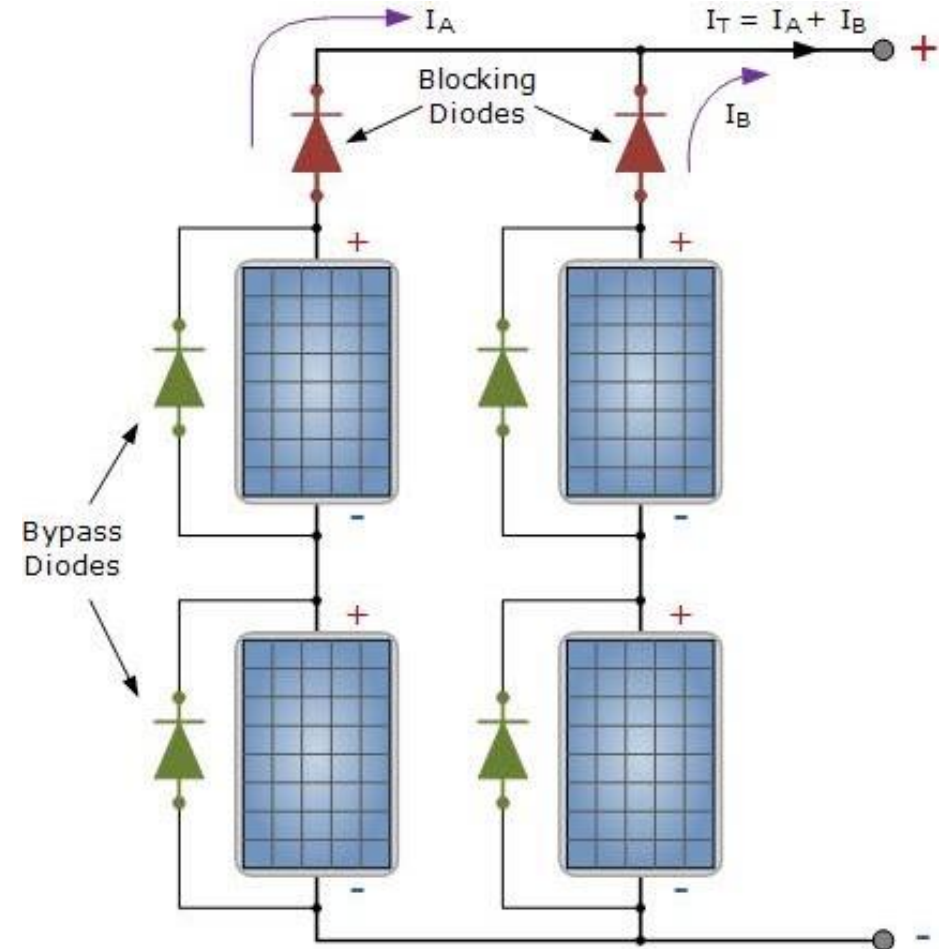
# Construcția celulei solare fotovoltaice



Tipul de energie solară produsă de o celulă fotovoltaică este DC identică cu cea a unei baterii. Cele mai multe celule solare fotovoltaice produc o tensiune de circuit deschis "fără sarcină" de aproximativ 0,5 până la 0,6 volți atunci când nu există nici un circuit extern conectat. Această tensiune de ieșire ( $V_{OUT}$ ) depinde foarte mult de cerințele curentului de sarcină ( $I$ ) ale celulei PV. De exemplu, pe o zi foarte noroasă sau plictisitoare, cererea de curent ar fi scăzută și astfel celula ar putea furniza tensiunea de ieșire maximă, dar la un curent de ieșire redus. Dar, când cererea de curent a sarcinii crește, o lumină mai puternică (radiație solară) este necesară la joncțiune pentru a menține o tensiune de ieșire maximă  $V_{OUT}$ .

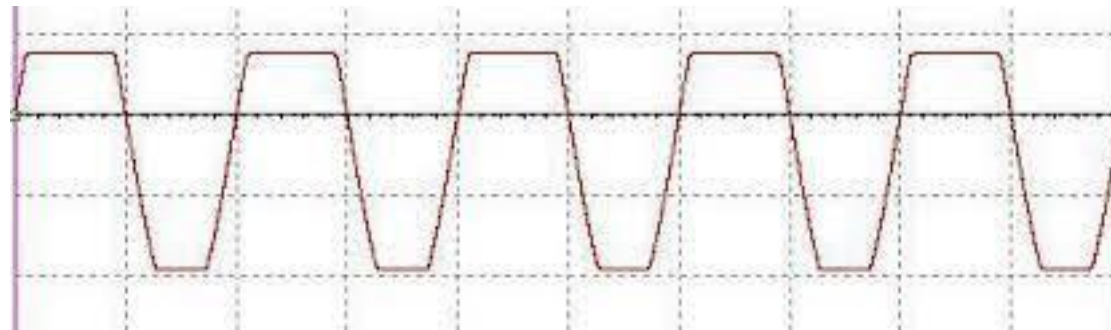
# Diode bypass în panouri fotovoltaice

- Așa cum am spus mai devreme, *diodele* sunt dispozitive care permit curentului să curgă într-o singură direcție. Diodele colorate verde de mai sus sunt "diode **bypass**", una în paralel cu fiecare panou solar pentru a oferi o cale de rezistență scăzută. Diodele **bypass** în panouri solare trebuie să poată să transporte în siguranță acest curent de scurtcircuit.
- Cele două diode colorate roșii sunt denumite "diode de blocare", una în serie cu fiecare ramură. Aceste diode de blocare, denumite și diode serie sau diode de izolare, asigură curgerea curentului electric numai într-o direcție "**OUT**" către sarcina externă, controller sau baterii.
- Motivul este de a împiedica curenții generați de celelalte panouri PV conectate paralel în aceeași rețea să curgă înapoi printr-o rețea mai slabă (umbrită) și, de asemenea, să împiedice descărcarea bateriilor complet încărcate înapoi prin matrice în timpul nopții. Deci, atunci când mai multe panouri solare sunt conectate în paralel, trebuie folosite diode de blocare în fiecare ramură conectată paralel.



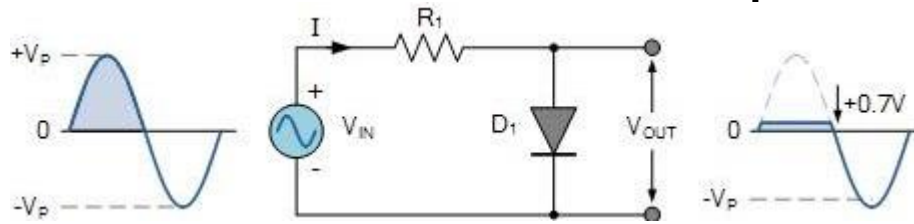
# Circuite de limitare cu diode

- **Diode Clipper**, cunoscut ca limitator cu diode, este un circuit de formare undă care ia o formă de undă de intrare și limitează sau taie jumătatea superioară, jumătatea inferioară sau ambele jumătăți împreună.
- Această tăiere a semnalului de intrare produce o formă de undă la ieșire care seamănă cu o versiune aplatizată a intrării. De exemplu, redresorul monoalternanță este un circuit de tăiere, deoarece toate tensiunile sub zero sunt eliminate.
- Dar **circuitele de limitare cu diode** pot fi folosite la varietate de aplicații, pentru a modifica o formă de undă de intrare folosind diode de semnal și diode Schottky sau pentru a asigura o protecție la supratensiune folosind diode zener pentru a se asigura că tensiunea de ieșire nu depășește niciodată un anumit nivel de protecție a circuitului la vârfurile de înaltă tensiune. Deci circuitele de tăiere cu diode pot fi utilizate în aplicații de limitare a tensiunii.
- Am văzut că, atunci când o diodă este polarizată direct, permite curentului să treacă prin ea fixând tensiunea. Când dioda este polarizată invers, nu curge curent prin ea și tensiunea pe terminalele sale nu este afectată, iar aceasta este operația de bază a circuitului de tăiere cu diode.
- Deși tensiunea de intrare pentru circuitele de tăiere cu diode poate avea orice formă de undă, vom presupune aici că tensiunea de intrare este sinusoidală.

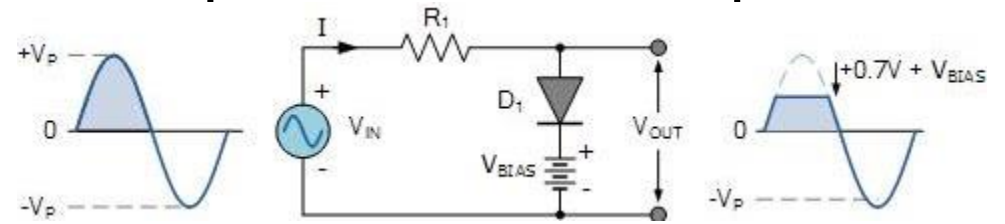


# Circuite de limitare cu diode

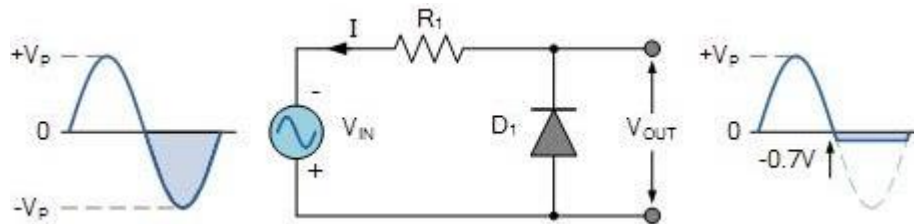
- Circuite cu diode de tăiere pozitivă



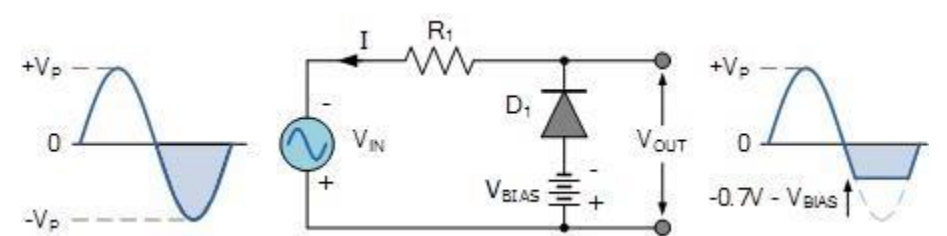
- Tăiere pozitivă cu dioda polarizată



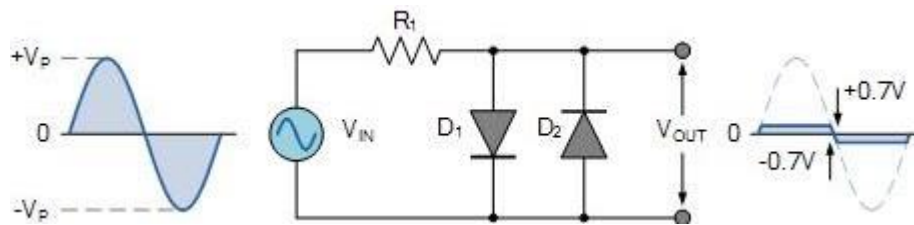
- Circuite cu diode de tăiere negativă



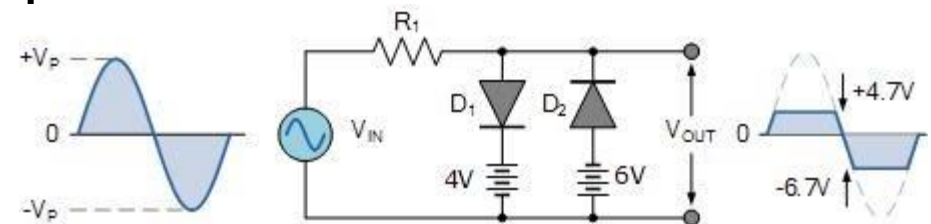
- Tăiere negativă cu dioda polarizată



- Tăierea ambelor alternanțe



- Diode de tăiere cu diferite niveluri de polarizare

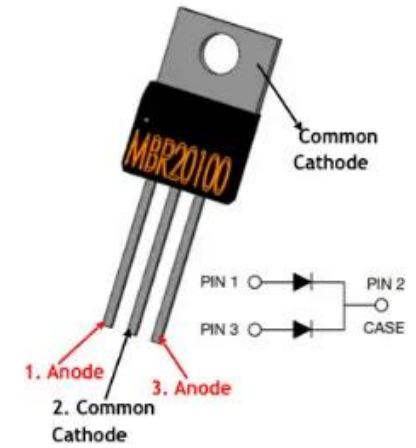
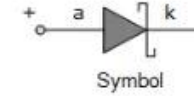
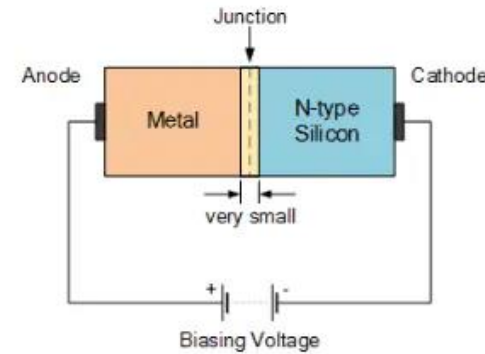




# Diode Schottky

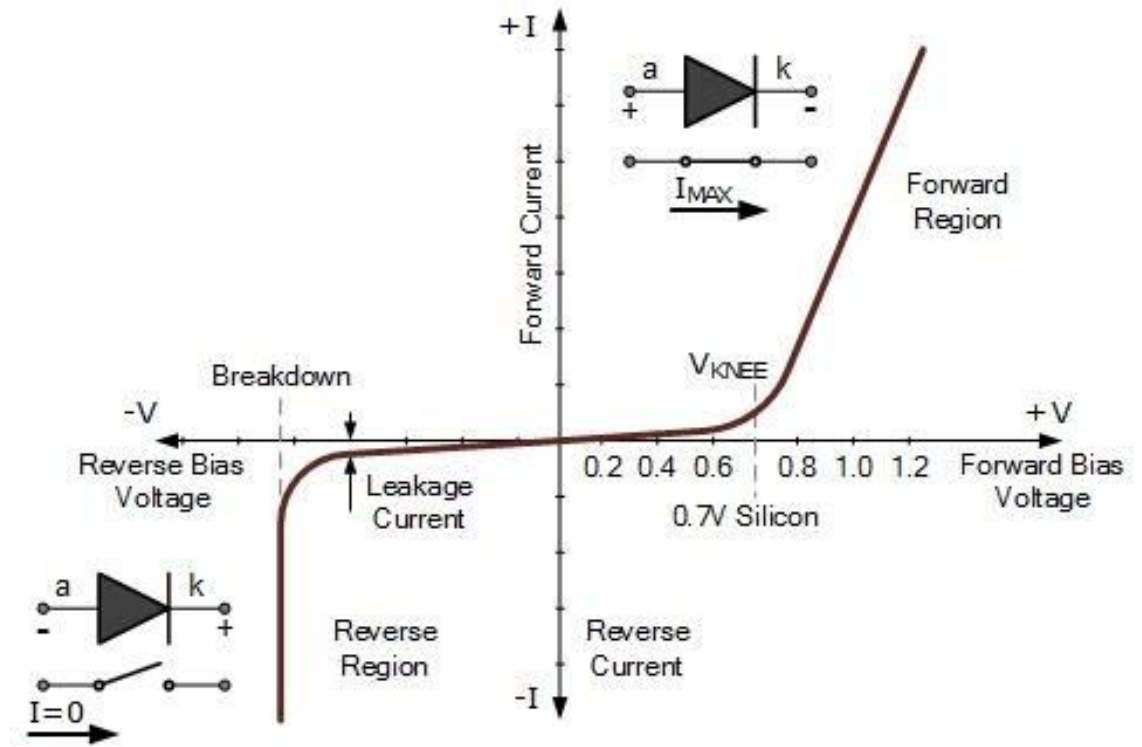
- **Dioda Schottky** este un alt tip de diodă semiconductoră, dar are avantajul căderii lor de tensiune directă substanțial mai mică decât cea a diodelor convenționale de siliciu cu joncțiune-pn.
- *Diodele Schottky* au multe aplicații utile de la redresare, condiționarea semnalului și comutare, până la porți logice TTL și CMOS datorită în principal puterii lor reduse și vitezei rapide de comutare. Porțile logice TTL Schottky sunt identificate prin literele LS care apar undeva în codul lor de circuit al porții logice, de ex. 74LS00.
- Diodele cu joncțiune-pn se formează prin îmbinarea unui material semiconductor de tip-p și unul de tip-n, permițându-le să fie folosite ca dispozitiv de redresare și am văzut că, atunci când sunt *polarizate direct*, regiunea de epuizare este mult redusă, permițând curentul să curgă prin ea în direcția înainte iar atunci când este *polarizată invers*, regiunea de epuizare este crescută blocând fluxul de curent.
- Acțiunea de polarizare a joncțiunii-pn folosind o tensiune externă pentru a o polariza direct sau invers, scade sau crește, respectiv, rezistența barierei de joncțiune. Astfel, relația tensiune-curent (curba caracteristică) a unei diode cu joncțiune-pn tipice este influențată de valoarea rezistenței joncțiunii. Amintiți-vă că dioda cu joncțiune-pn este un dispozitiv neliniar, astfel încât rezistența sa DC va varia atât în funcție de tensiunea de polarizare, cât și de curentul prin ea.
- Când este polarizată direct, conducția prin joncțiune nu începe până când tensiunea de polarizare externă atinge „tensiunea VKNEE de genunchi”, moment în care curentul crește rapid, iar pentru diodele de siliciu, tensiunea necesară pentru conducția directă este de aproximativ 0,65 până la 0,7 volți, așa cum se arată mai jos.

## What is a Schottky Diode?



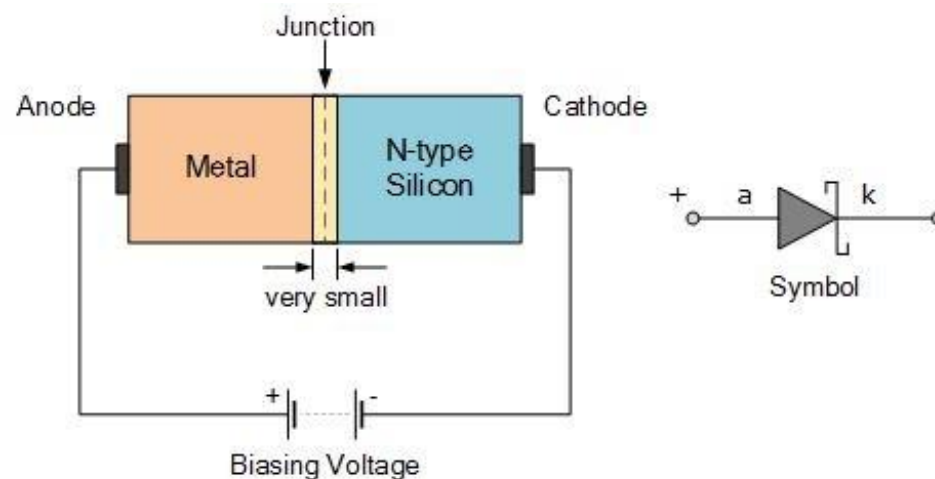
# Diode Schottky

- Pentru diode practice cu joncțiune de siliciu, această tensiune de genunchi poate fi între 0,6 și 0,9 volți, în funcție de modul în care a fost dopată în timpul fabricării și dacă dispozitivul este o diodă de semnal mică sau o diodă de redresare mult mai mare. Tensiunea de genunchi pentru o *diodă* standard de *germaniu* este, însă, mult mai mică la aproximativ 0,3 volți, ceea ce o face mai potrivită pentru aplicații de semnal mic.
- Dar există un alt tip de diodă redresoare care are o mică tensiune de genunchi, precum și o viteză de comutare rapidă numită **diodă cu barieră Schottky**, sau pur și simplu „diodă Schottky”. Diodele Schottky pot fi utilizate în multe dintre aceleași aplicații ca diodele convenționale cu joncțiune-pn și au multe utilizări diferite, în special în aplicații de logică digitală, energie regenerabilă și panouri solare.



# Dioda Schottky

- Spre deosebire de o diodă convențională cu joncțiune-pn care este formată dintr-o bucată de material de tip-P și o bucată de material de tip-N, diodele Schottky sunt construite folosind un electrod metalic legat de un semiconductor de tip-N. Deoarece sunt construite folosind un compus metalic pe o parte a joncțiunii lor și siliciu dopat pe cealaltă parte, dioda Schottky nu are, prin urmare, niciun strat de epuizare și sunt clasificate ca dispozitive unipolare, spre deosebire de diodele tipice cu joncțiune-pn, care sunt dispozitive bipolare.
- Cel mai comun metal de contact utilizat pentru construcția diodei Schottky este „Silicidul”, care este un compus din siliciu și metal extrem de conductiv. Acest contact silicid metal-siliciu are o valoare a rezistenței ohmice destul de scăzută, permițând să curgă mai mult curent, producând o cădere de tensiune directă mai mică, de aproximativ  $V_f < 0,4 \text{ V}$  la conducție. Diferiți compuși metalici vor produce diferite căderi de tensiune directe, de obicei între 0,3 și 0,5 volți.

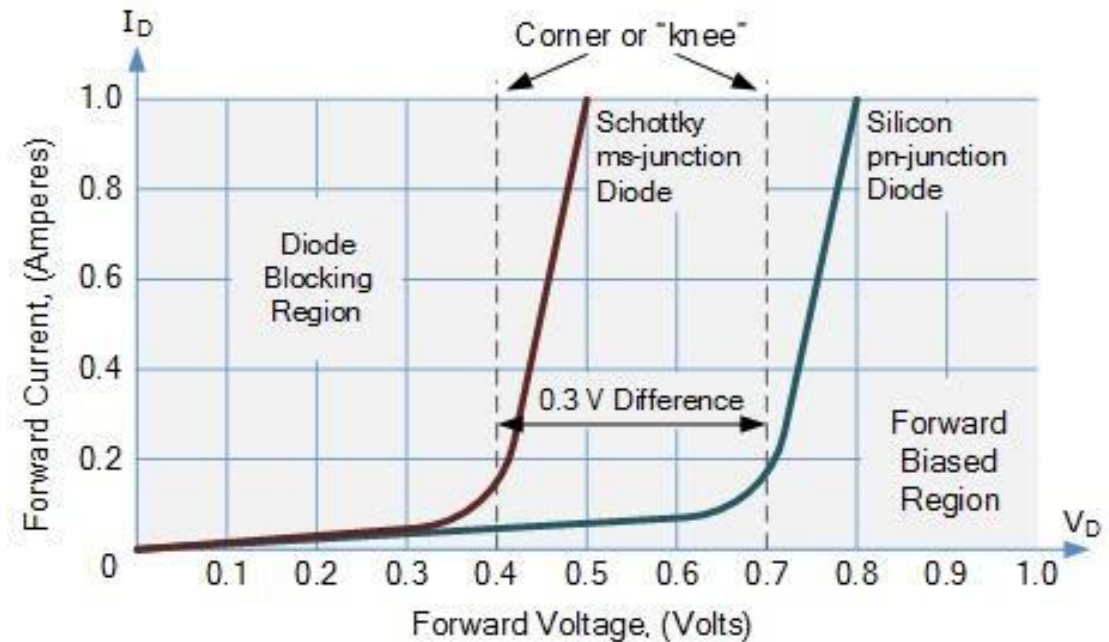


# Dioda Schottky

După cum putem vedea, forma generală a caracteristicilor I-V ale diodei Schottky metal-semiconductoare este foarte similară cu cea a unei diode standard cu joncțiune-pn, cu excepția tensiunii de colț sau de genunchi la care începe să conducă dioda cu joncțiune-ms, care este mult mai mică, în jur de 0,4 volți.

Datorită acestei valori mai mici, curentul direct al unei diode Schottky din siliciu poate fi de multe ori mai mare decât cel al unei diode tipice cu joncțiune-pn, în funcție de electrodul metalic utilizat. Amintiți-vă că legea lui Ohm ne spune că puterea este egală cu volți ori amperi, ( $P = V \cdot I$ ), deci o cădere mai mică a tensiunii directe, pentru un anumit curent de diodă  $I_D$ , va produce o disipare mai mică a puterii directe, sub formă de căldură pe joncțiune.

Această pierdere de putere mai mică face ca dioda Schottky să fie o alegere bună în aplicații de joasă tensiune și curent mare, cum ar fi panourile solare fotovoltaice, unde tensiunea-directă ( $V_F$ ) care cade pe o diodă standard cu joncțiune-pn ar produce un efect de încălzire excesiv. Însă, trebuie remarcat faptul că curentul de scurgere invers, ( $I_R$ ) pentru o diodă Schottky este, în general, mult mai mare decât pentru o diodă cu joncțiune-pn.

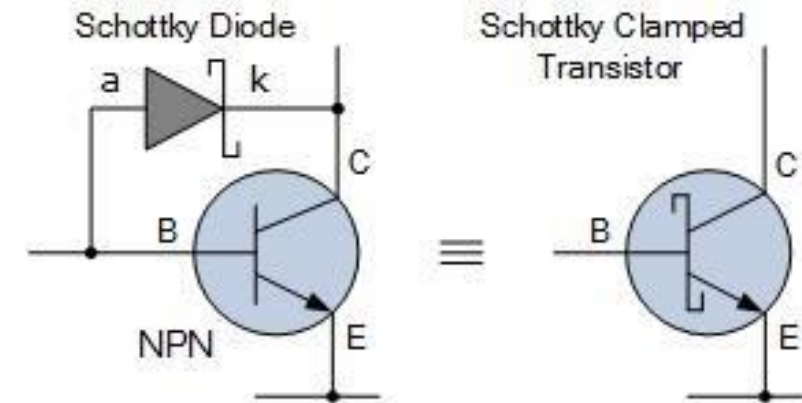


# Diode Schottky în porți logice

Dioda Schottky are, de asemenea, multe utilizări în circuitele digitale și sunt utilizate pe scară largă în porțile și circuitele logice digitale cu logica tranzistor-tranzistor (TTL) Schottky datorită răspunsului lor în frecvență mai înalt, a timpilor de comutare scăzute și a consumului redus de putere. Acolo unde este necesară comutarea de mare viteză, TTL bazat pe Schottky este alegerea evidentă.

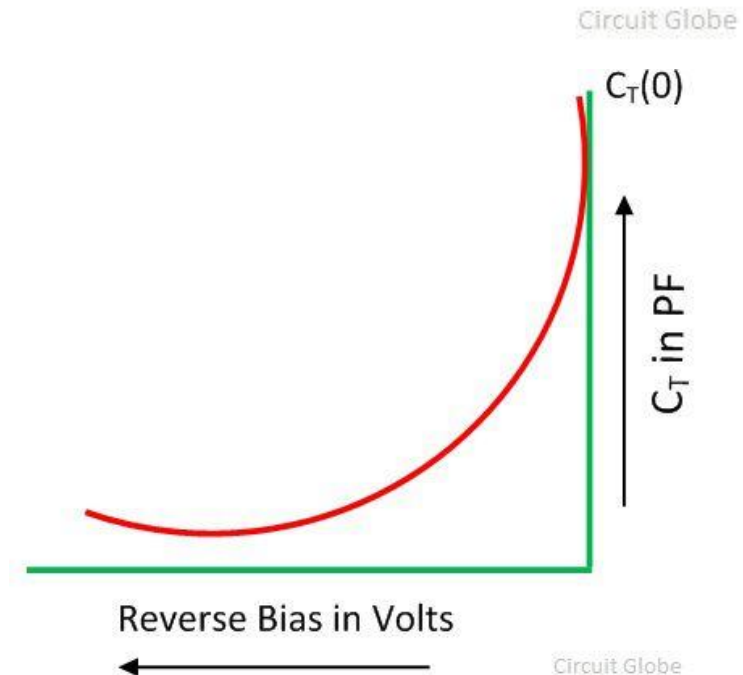
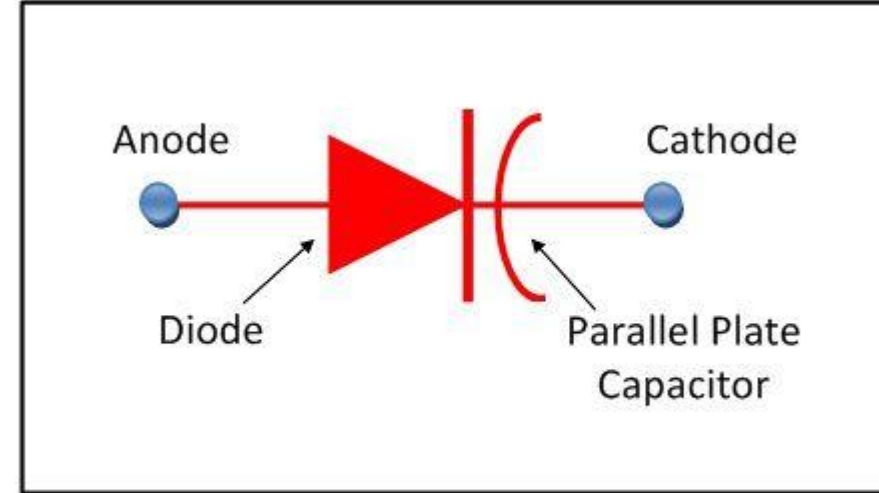
Există diferite versiuni ale Schottky TTL, toate cu viteze și consum de putere diferite. Cele trei serii principale de logică TTL care utilizează dioda Schottky în construcția sa sunt date de:

- Schottky Diode Clamped TTL (seria S) - Schottky seria „S” TTL (74SXX) este o versiune îmbunătățită a porților logice și circuitelor originale diodă-tranzistor DTL și tranzistor-tranzistor TTL seria 74. Diodele Schottky sunt plasate peste joncțiunea bază-colector a tranzistoarelor de comutare pentru a preveni saturarea acestora și a crea întârzieri de propagare, permițând o operare mai rapidă.
- Low-Power Schottky (seria LS) - Viteza de comutare a tranzistorului, stabilitatea și disiparea puterii din seria 74LSXX TTL este mai bună decât seria 74SXX anterioară. Pe lângă o viteză de comutare mai mare, familia TTL Low-Power Schottky consumă mai puțină putere, făcând seria TTL 74LSXX o alegere bună pentru multe aplicații.
- Advanced Low-Power Schottky (seria ALS) - Îmbunătățiri suplimentare în materialele utilizate pentru fabricarea joncțiunilor-ms ale diodelor înseamnă că seria 74LSXX are un timp de întârziere de propagare redus și o disipare a puterii mult mai mică comparativ cu seria 74ALSXX și 74LS. Dar, fiind o tehnologie mai nouă și un model inerent mai complex decât TTL standard, seria ALS este puțin mai scumpă.



# Diode Varicap

- Dioda varicap este o dioda a carei jonctiune functioneaza in **polarizare inversa** pana la valoarea de strapungere. Ea utilizeaza proprietatea jonctiunii pn de a se comporta ca o capacitate (capacitate de bariera) dependenta de tensiunea de polarizare inversa.
- Curba caracteristică a diodei varactor este prezentată în figura de mai jos. Graficul arată că, atunci când tensiunea de polarizare inversă crește, regiunea de epuizare crește, iar capacitatea diodei se reduce.



# Diode Varicap

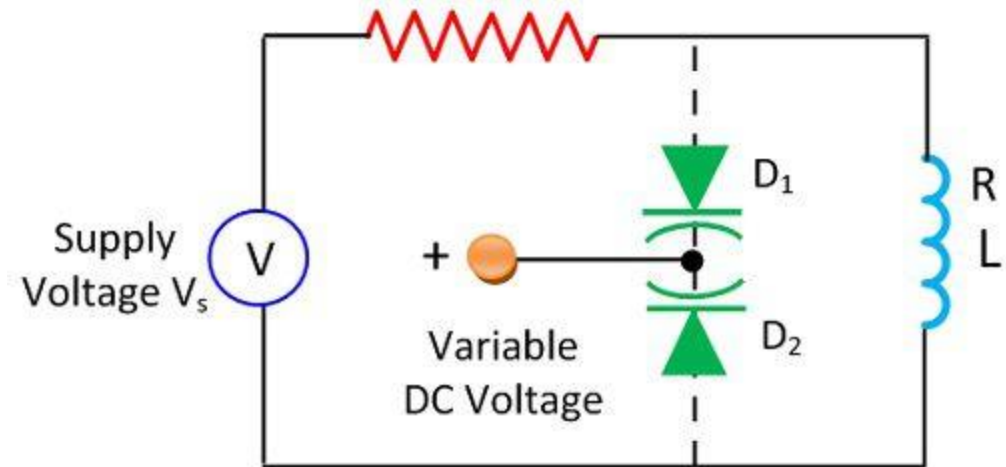
- Următoarele sunt avantajele diodei varactor.

1. Dioda varactor produce mai puțin zgomot ca fiind mai puțin în comparație cu celelalte diode.

2. Este mai puțin costisitor și mai fiabil.

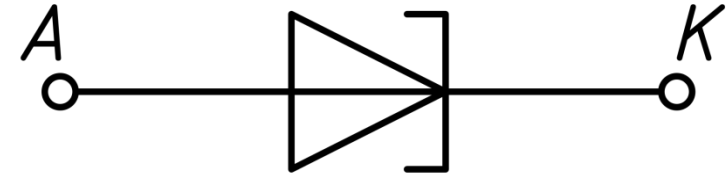
3. Dioda varactor este de dimensiuni mici și greutate redusă.

Figura de mai jos arată că  $D_1$  și  $D_2$  sunt cele două diode Varactor. Aceste diode asigură rezistența variabilă în circuitul de rezonanță paralelă.  $V_{uc}$  este tensiunea DC utilizată pentru controlul tensiunii inverse a diodei.



Varactor Diode in Tuning Circuit

# Diode Tunel



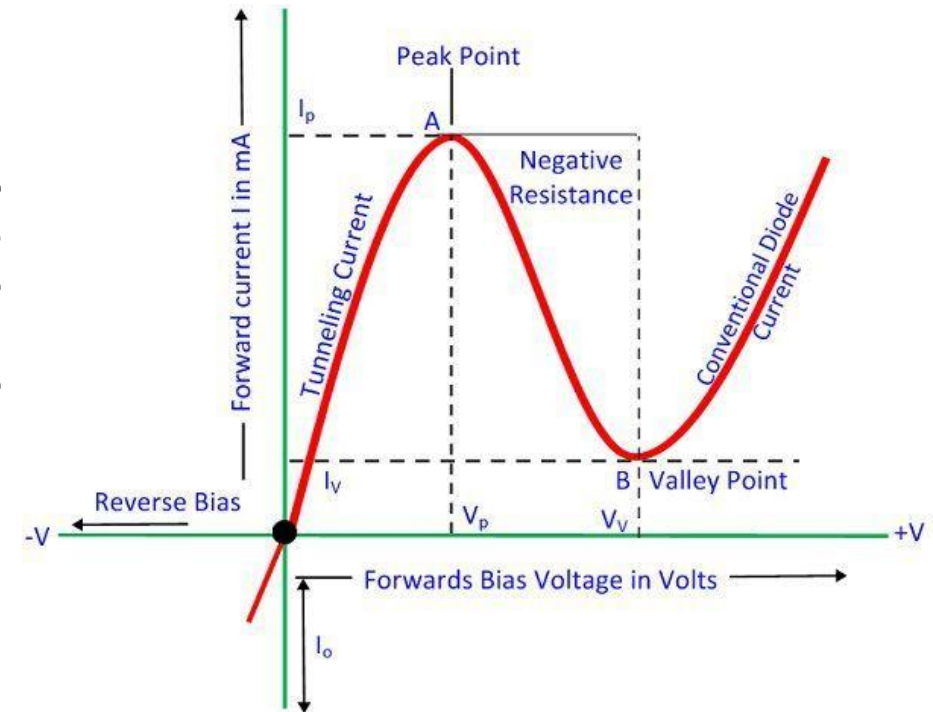
- O diodă tunel sau diodă Esaki este un tip de diodă semiconductoare capabilă de operare la viteze foarte mari, în domeniul microundelor (frecvențe de ordinul gigahertzilor), utilizând efecte cuantice.
- Numele de diodă Esaki vine de la Leo Esaki, care în 1973 a primit Premiul Nobel pentru Fizică pentru descoperirea tunelării electronilor, efect folosit în aceste diode.
- Diodele tunel au o joncțiune p-n puternic dopată, cu o lățime de doar 10 nm (100 Å). Doparea puternică are ca rezultat un spațiu rupt între benzile de electroni, unde nivelele electronilor din banda de conducție de pe partea n sunt mai mult sau mai puțin aliniată cu nivelele electronilor din banda de valență a golurilor din zona p.



# Funcționarea la polarizare directă

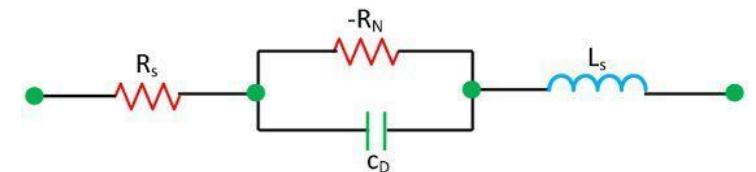
La polarizare directă normală, cu creșterea tensiunii, electronii întâi tunelează prin bariera foarte îngustă a joncțiunii p-n deoarece nivelele umplute cu electroni din banda de conducție din regiunea n se aliniază cu nivelele libere din banda de valență din regiunea p a joncțiunii. Dacă tensiunea crește mai mult, aceste nivele devin mai puternic defazate iar curentul scade — ceea ce se numește rezistență negativă, deoarece curentul scade cu creșterea tensiunii. Dacă tensiunea crește mai mult, dioda începe să funcționeze ca o diodă normală, unde electronii se deplasează prin conducție prin joncțiunea p-n, și nu prin tunelarea prin bariera de potențial. Astfel, cea mai importantă regiune de funcționare a unei diode tunel este regiunea de rezistență negativă (caracteristica diodei tunel are forma literei N).

Dioda tunel poate fi folosită ca amplificator și ca oscilator pentru detectarea de înaltă frecvență mică sau ca comutator. Este o componentă de înaltă frecvență deoarece oferă răspunsuri foarte rapide la intrări. Dioda tunel nu este utilizată pe scară largă deoarece este un dispozitiv de curent scăzut.



V-I Characteristic of Tunnel Diode

Circuit Globe



Equivalent Circuit for a Tunnel Diode

Circuit Globe