

Dioda

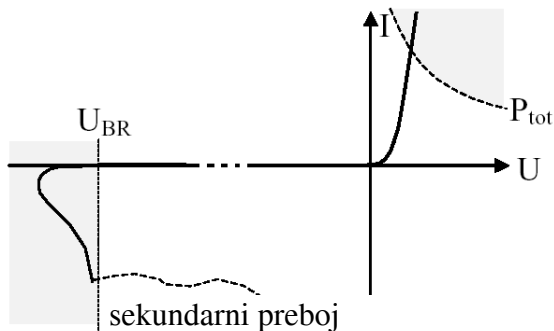
Najenostavnejši bipolarni polprevodniški element je dioda, ki izkorišča osnovne fizikalne lastnosti PN spoja nameščenega v primerno ohišje in opremljenega s priključnimi vezicami. Ker je tok skozi PN spoj v reverzni smeri zanemarljiv glede na tok v prevodni smeri, pravimo, da se dioda obnaša kot polprevodniški "ventil", ki prepušča tok le v eni smeri (idealizirano). Slednje je grafično ponazorjeno tudi s simbolom diode. Tok teče od anode proti katodi, pri čemer je z anodo poimenovana priključna vezica, ki je spojena s p-tipom polprevodnika, katoda pa z n-tipom.



Slika: Simbol diode

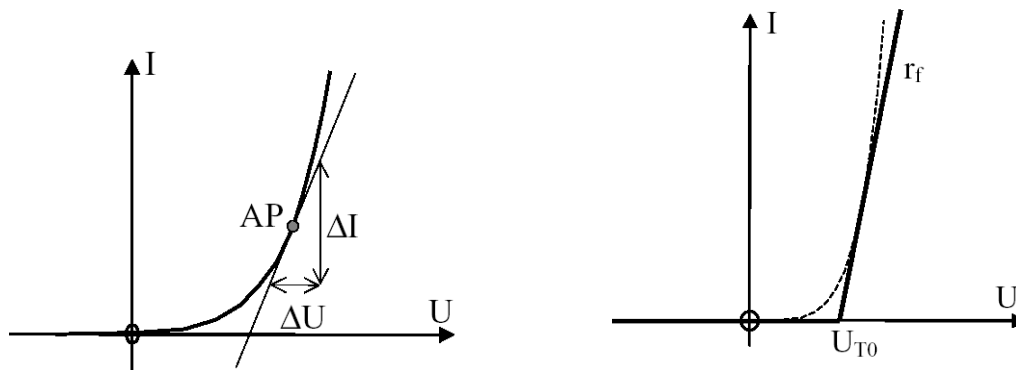
Statična u-i karakteristika diode

Karakteristika je enaka karakteristiki PN spoja in sestoji iz dveh delov: prevodnega in reverznega.



Slika: U-I karakteristika diode s podanimi omejitvami

V prevodni smeri (angl. Forward) tok strmo narašča in je padec napetosti relativno majhen. Za delovno točko (AP), ki se nahaja na strmejšem delu karakteristike, si lahko poenostavljeno mislimo, da je padec napetosti sestavljen iz dveh delov: iz konstantne pragovne napetosti in iz dela, ki je enak produktu toka in diferencialne upornosti $u_F = U_{T0} + i_F \cdot r_F$,



Slika: Realna in idealizirana (linearizirana) karakteristika diode v prevodni smeri

kjer je r_F nadomestna notranja diferencialna upornost diode v prevodni smeri

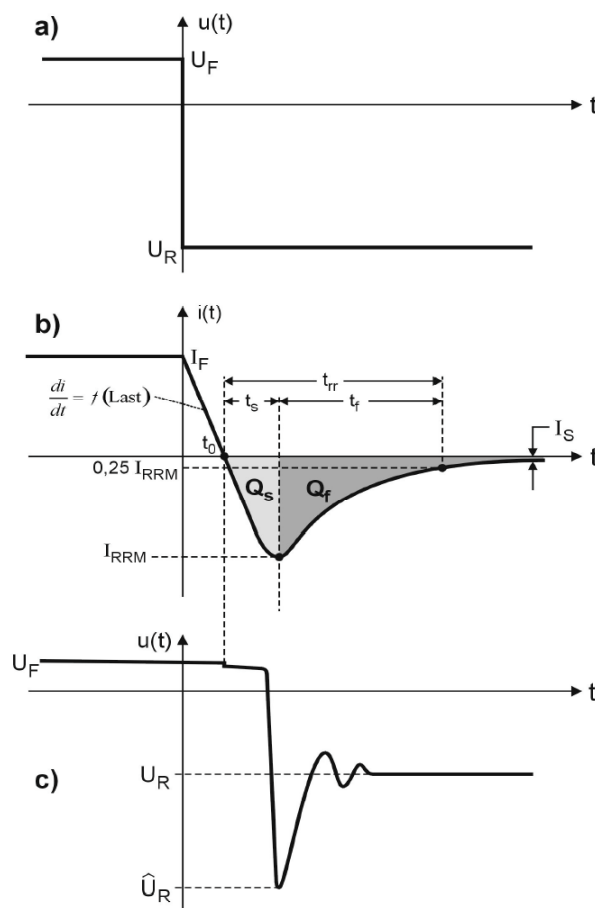
$$r_F = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{\Delta u_F}{\Delta i_F}.$$

Zaradi nastalih izgub je tok v prevodni smeri omejen na neko maksimalno dopustno vrednost, pri kateri statične izgube (mišljene so konstantne enosmerne razmere) ne prekoračijo dopustne vrednosti P_{tot} . Dopustne so kratkotrajne preobremenitve, ki pa so pretežno omejene z dinamičnimi lastnostmi ohlajevanja PN spoja.

Napetostno tokovne razmere so v reverzni smeri omejene z maksimalno napetostjo, pri kateri še ne nastopi enormno povečanje reverznega toka skozi PN spoj (reverzibilni, primarni preboj). Pri prekoračitvi maksimalne izgubne moči v reverzni smeri pride do t.i. sekundarnega, termičnega preboja, ki vodi v uničenje diode.

Dinamične lastnosti

Diode prehajajo iz zapornega v prevodno stanje in narobe z določeno zakasnitvijo. Pri zelo hitrem porastu prevodnega toka i_F se le-ta ne more enakomerno porazdeliti na celotno Si-tabletko in zato nastopajo krajevna pregretja, ki lahko uničijo kristal. Zato podajajo proizvajalci za svoje diode največje dopustne strmine naraščanja toka $(di/dt)_{KRIT}$. Njihove vrednosti znašajo od 50 do 300 A/ μ s.



Slika 2.2: Izklop diode

V trenutku, ko postane zunanja gonilna napetost u_A negativna, tok skozi diodo ne preneha teči skočno, ampak postopoma upada do vrednosti nič. Tok diode i_F steče tedaj za kratek čas v nasprotni smeri dalje (glej t_S na sl.2.2). Ta čas je potreben, da iz zapornega sloja, ki je bil do sedaj preplavljen s prostimi nosilci naboja le-ti odtečejo v zunanjo baterijo oziroma se rekombinirajo. Ko je ta inverzni tok i_R dosegel svojo največjo vrednost I_{RRM} , se začneja z veliko strmino $-di_F/dt$ zmanjševati proti vrednosti nič in dioda prevzame nase zaporno napetost u_R . Ta tokovna sprememba lahko povzroči na obstoječi induktivnosti tokokroga zelo velike inducirane napetosti, ki lahko napetostno ogrozijo diodo.

Na sl.2.2 šrafirano označena napetostno-časovna ploščina $Q_{rr} = Q_s + Q_f$ se imenuje naboj sprostitve in je merilo za velikost tako imenovanega efekta koncentracije nabojev. Sproščeni naboj Q_s v času t_s ni konstanten, temveč postaja večji, če narašča temperatura kristala,

amplituda toka I_F in velikost tokovne strmine $-di_F/dt$ pri prehodu toka i_F skozi vrednost nič. Po drugi strani je naboj Q_f , potek toka v času t_f in čas upadanja t_f odvisen pretežno od uporabljenega tehnološkega procesa in strukture diode.

Usmerniške in signalne diode

Usmerniške ali univerzalne diode opravljajo funkcijo usmerjanja tokov (signalov) v vezjih kot so:

- napetostni omejevalnik,
- omrežni usmerniki,
- demodulacijska vezja,
- napetostni množilniki,
- enostavna logična vezja,
- ...

Za tako raznovrstne naloge obstaja množica diod, ki se razlikujejo po karakteristikah, ohišju ter še čem. Orientacijske vrednosti signalnih in usmerniških diod podaja tabela.

Oznaka		1 N 4148	MR 501 .. 510	1 N 3913
Uporaba		signalna dioda	usmerniška dioda	usmerniška z fast recovery karakteristiko
Mejne vrednosti				
Periodična vršna vrednost zaporne napetosti (peak repetitive reverse voltage)	U_{RRM}	100 V	100 V, 200 V, ...1000 V	400 V
Srednja vrednost toka (average rectified forward current)	I_{FAV}	150 mA	3 A	30 A
Neponovljiva (udarna) vrednost toka v prevodni smeri (surge forward current)	I_{FSM}	500 mA	100 A	300 A
Tipične karakteristične vrednosti (pri 25 °C)				
Zaporni tok (leakage current / reverse current)	I_R	25 nA	100 nA	10 μ A
Kapacitivnost zapornega spoja ($U_R = 1V$) (junction capacitance)	C	4 pF	40 pF	90 pF
Čas sprostitve (reverse recovery time)	t_{rr}	4 ns	5 μ s	150 ns
Termična upornost (thermal resistance)	R_{th}	350 K/W	1,2 K/W	28 K/W
Ohišje		Stekleno z aksialnimi priključki	Plastično z aksialnimi priključki	Kovinsko ohišje, pritrđitev z vijakom

Tabela: Orientacijske vrednosti

Signalna dioda

.....

Usmerniška (preklopna) dioda

Konstrukcija usmerniških diod za večje moči in višje napetosti je tem nalogam posebej prilagojena. Da se poveča prebojna trdnost, je med P in N spoj vstavljen bodisi čisti (i) ali pa zelo šibko dopiran polprevodnik. Govorimo o PIN diodah.

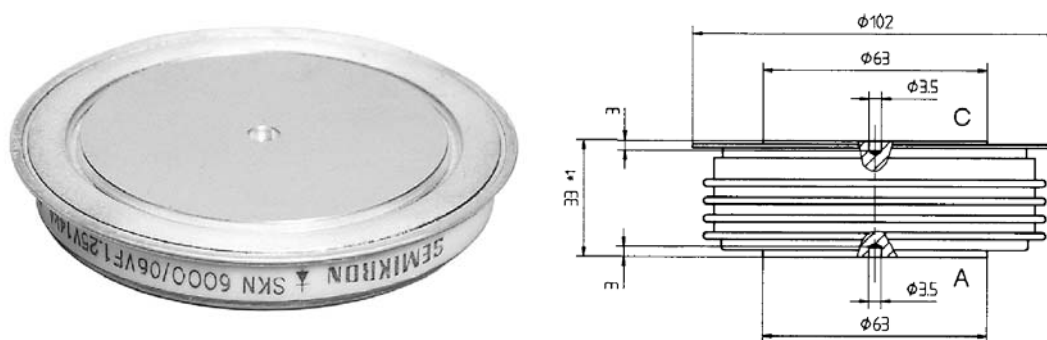


Slika: Notranja struktura visokonapetostnih diod

Čprav je vstavljen sloj polprevodnika, ki je šibkeje dopiran, pa le-ta ne povzroči prekomernega povečanja padca napetosti v prevodni smeri. Temu je vzrok velika koločina prostih nosilcev naboja, ki "preplavijo" (vderejo) v osiromašeno področje. Tipične karakteristike takšne visokonapetostne močnostne diode povzema spodnja tabela.

Mejne vrednosti		
Periodična vršna reverzna napetost (50 Hz)	U_{RRM}	4000 V
Neponovljiva vršna reverzna napetost (< 5 ms)	U_{RSM}	5200 V
Srednja vrednost toka (50 Hz)	I_{FAVM}	3300 A
Efektivna vrednost toka (50 Hz)	I_{FRMS}	5180 A
Neponovljiva (udarna) vrednost toka	I_{FSM}	50 000 A (10 ms) 130 000 A (1 ms)
Tipične karakteristične vrednosti (pri 25 °C)		
Pragovna napetost	U_{T0}	1,0 V
Diferenčna upornost	r_f	0,13 mΩ
Padec napetosti pri $I_F = 5000$ A	U_F	< 1,68 V
Zaporni tok (pri $T_j = 150$ °C; $U_R = 4000$ V)	I_{RRM}	< 400 mA
Termična upornost – enostransko hlajenje (junction to case) - dvostransko hlajenje	$R_{th/J-C}$	16 K/kW 8 K/kW
Termična upornost – enostransko hlajenje (case to heat sink) - dvostransko hlajenje	$R_{th/C-H}$	6 K/kW 3 K/kW
Ohišje:	disk premera 102 mm, debelina 33 mm	

Tabela:



Slika: Pripadajoče ohišje diode in njene dimenzije

Toke od nekaj amperov do nekaj 1000 A, ki tečejo v raznovrstnih pretvornikih, usmerjamo in preklapljammo s hitrimi preklopnimi močnostnimi diodami, velikost katerih je odvisna od toka. Ker je izgubna moč močnostne diode odvisna tako od trenutne kot tudi od efektivne vrednosti toka (enačba), sta za izbiro oziroma dimenzioniranje diode pomembna:

- I_{FRMS} (RMS Forward current) efektivna vrednost toka v prevodni smeri in,
- I_{FAV} (Mean Forward current) srednja vrednost toka.

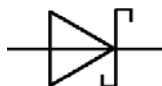
V blokirni oziroma reverzni smeri gonilna napetost ne sme preseči:

- U_{RSM} (non-repetative peak reverse voltage)
- U_{RRM} (Repetative reverse voltage).

Kjer je frekvenca gonilne napetosti visoka (nad 500 Hz), moramo pri izbiri hitrih preklopnih diod preveriti preklopne čase in njeno obnašanje pri izklopu toka. Razvojni trendi sodobnih preklopnih diod so usmerjeni v izdelavo diod z izredno majhnimi sprostitvenimi časi in "mehkim" upadom toka v drugem delu izklopnega pojava (t_f) (soft turn-off dioda, CAL dioda).

Schottky dioda

Delovanje Schottky-eve diode ne temelji na klasičnem PN spoju, temveč na spoju med kovino in polprevodnikom (ponavadi n-tip). Zaporni sloj nastane tudi pri takšni strukturi, le da se slednji razprostira le v polprevodniku, s čimer ta struktura pridobi »usmerniški« karakter klasične PN diode.



Slika: Simbol Schottky diode

Zaradi specifične sestave sodelujejo pri toku zgolj večinski nosilci naboja (elektroni), medtem ko je transport manjšinjskih nosilcev onemogočen (ni možnosti rekombinacij slednjih). S tem se bistveno izboljšajo dinamične lastnosti (sprstitveni čas) diode, saj so le-te pretežno odvisne od počasnega procesa rekombinacije manjšinjskih noslicev naboja.

Ostale prednosti in slabosti Schottky diode:

- padec napetosti v prevodni smeri je bistveno nižji (0,3 .. 0,4V),
- reverzni tok je nekajkrat večji od toka klasične PN diode, in močno odvisen od velikosti reverzne napetosti,
- nižja prebojna napetost.

Oznaka	1N 5711	BAT 42	1N5819	MBR1035	
Mejne vrednosti					
Srednja vrednost toka v prevodni smeri	I_{FAVM}	15 mA	100 mA	1 A	10 A

Oznaka		1N 5711	BAT 42	1N5819	MBR1035
Periodična reverzna napetost	U_{RRM}	70 V	30 V	40 V	35 V
Tipične vrednosti					
Padec napetosti v prevodni smeri	U_F	< 0,41 V pri 1 mA	< 0,4 V pri 10 mA	< 0,35 V pri 100 mA	< 0,57 V pri 10 A
Spojna kapacitivnost	C	2 pF	5 pF		

Tabela: Karakteristične vrednosti nekaterih Schottky diod

Schottky diodo zato uporabljamo predvsem v aplikacijah:

- kjer nastopajo visoke preklopne frekvence,
- preklopne diode z izredno majhnimi sprostitvenimi časi,
- močnostni usmerniki z velikimi izhodnimi tokovi,
- Schottky - logična vezja,
- optoelektronski sklopi.

Kapacitivna (varicap) dioda

Delovanje kapacitivnih diod sloni na izkoriščanju osnovnih lastnosti PN spoja, ki se mu v reverzni smeri zelo spreminja spojna kapacitivnost.



Slika: Simbol varicap diode (star/novejši)

S spreminjanjem reverzne napetosti se spreminja debelina zapornega sloja, ki je revno z nosilci naboja (obnaša se kot izolator-dielektrik), medtem ko oba močno dopirana konca polprevodnika predstavljata elektrodi tako namišljenega kondenzatorja. Njegova kapacitivnost

$$C_s = C_{s0} \cdot \left(\frac{U_D}{U_D + U_R} \right)^n$$

se lahko glede na jakost dopiranja ($n = 0,5$ do 2) vzdolž kristala spreminja tudi v razmerju 1:30. Karakteristične lastnosti nekaterih varicap diod povzema spodnja tabela.

Oznaka	BB112	BB139	BB631	BB709A
Max. kapacitivnost C_{max} pri $U_R = 1$ V	500 pF	50 pF	50 pF	35 pF
Min. kapacitivnost C_{min}	20 pF pri $U_R = 9$ V	5 pF pri $U_R = 25$ V	3,5 pF pri $U_R = 25$ V	2,7 pF pri $U_R = 28$ V
C_{max} / C_{min}	25	10	14,3	13
Uporaba: uglaševanje nihajnih tokokrogov				

Tabela: