



2023

13. Diode

R2: SCRAPY Vodič

Broj projekta: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



 Co-funded by
the European Union

Podrška Europske komisije za izradu ove publikacije ne znači odobravanje sadržaja, koji odražava samo stavove autora, a Komisija se ne može smatrati odgovornom za bilo kakvu upotrebu informacija sadržanih u njoj.

ECAM EPMI
30/04/2023

Sadržaj

1 Uvod	2
2 Idealne diode	2
3 Simbol kruga	3
4 Karakteristike stvarne diode	4
4.1 Odnos struja-napon	4
4.2 Prednji napon	5
4.3 Probojni napon	6
4.4 Liste podataka o diodama	6
5 vrsta dioda	8
5.1 Energetske diode	8
5.2 Dioda koje emitiraju svjetlost (LED!)	9
5.3 Schottky diode	10
5.4 Zenerove diode	11
5.5 Fotodiode	12
6. Primjene dioda	13
6.1 Ispravljači	13
6.2 Zaštita od povratne struje	14
6.3 Logička vrata	15
7. Povratne diode i suzbijanje skokova napona	16
8 Zaključak	17

1 Uvod

Nakon što pređete na jednostavne, pasivne komponente kao što su otpornici, kondenzatori i induktori, vrijeme je da zakoračite u prekrasan svijet poluvodiča. Jedna od najčešće korištenih poluvodičkih komponenti je dioda.

Dioda

U ovoj lekciji ćemo pokriti:

- Što je dioda!?
- Teorija rada dioda
- Važna svojstva diode
- Različite vrste dioda
- Kako izgledaju diode
- Tipične primjene dioda

Neki od koncepata u ovoj lekciji nadovezuju se na prethodno znanje o elektronici. Prije nego što skočite na ovaj vodič, razmislite o tome da prvo pročitate (barem letimično) ovo:

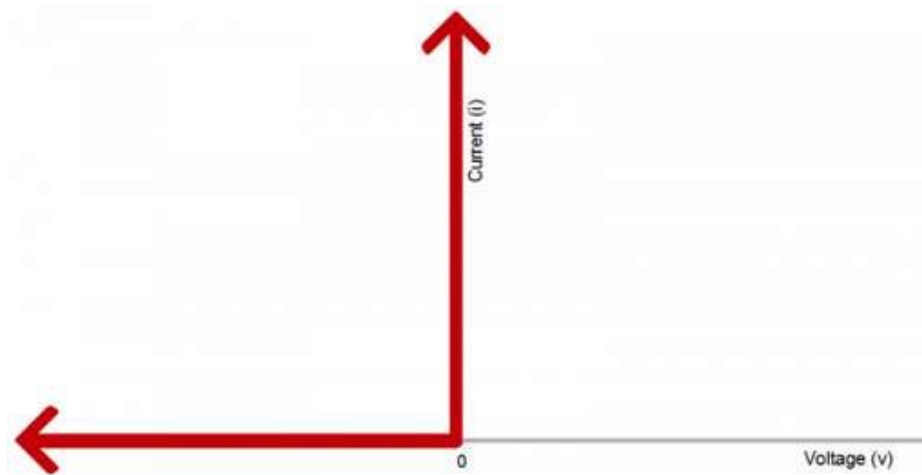
- Što je strujni krug?
 - Svaki električni projekt započinje strujnim krugom. Ne znate što je strujni krug? Ovdje smo da pomognemo.
- Napon, struja, otpor i Ohmov zakon
 - Naučite o Ohmovom zakonu, jednoj od najtemeljnijih jednadžbi u cijeloj elektrotehnici.
- Što je električna energija?
 - Možemo vidjeti struju na djelu na našim računalima, kako osvjetljava naše kuće, kao što munje udaraju u olujama, ali što je to? Ovo nije lako pitanje, ali ovaj će ga vodič rasvijetliti!
- Serijski i paralelni krugovi
 - Uvod u serijske i paralelne sklopove.

2 Idealne diode

Ključna funkcija idealne diode je kontrola smjera protoka struje. Struja koja prolazi kroz diodu može ići samo u jednom smjeru, koji se naziva smjer prema naprijed. Trenutačni pokušaj protoka u obrnutom smjeru je blokiran. Oni su kao jednosmjerni ventil elektronike.

Ako je napon na diodi negativan, struja ne može teći*, a idealna dioda izgleda kao otvoreni krug. U takvoj situaciji se kaže da je dioda isključena ili da ima obrnuti prednapon.

Sve dok napon na diodi nije negativan, ona će se "upaliti" i provoditi struju. U idealnom slučaju* dioda bi djelovala kao kratki spoj (0 V preko nje) ako bi vodila struju. Kada dioda provodi struju, ona je usmjerena naprijed (elektronički žargon za "uključeno").



*Odnos struje i napona idealne diode. Svaki negativni napon proizvodi nultu struju -- otvoreni krug.
Sve dok je napon nenegativan, dioda izgleda kao kratki spoj.*

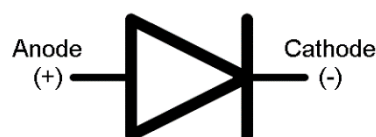
Idealne karakteristike diode

Način operacije	Uključeno (naprijed pristrano)	Isključeno (obrnuto pristrano)
Prolaz struje	$I > 0$	$j_a = 0$
Preko napona	$V = 0$	$V < 0$
Dioda izgleda	Kratki spoj	Otvoreni krug

3 Simbol strujnog kruga

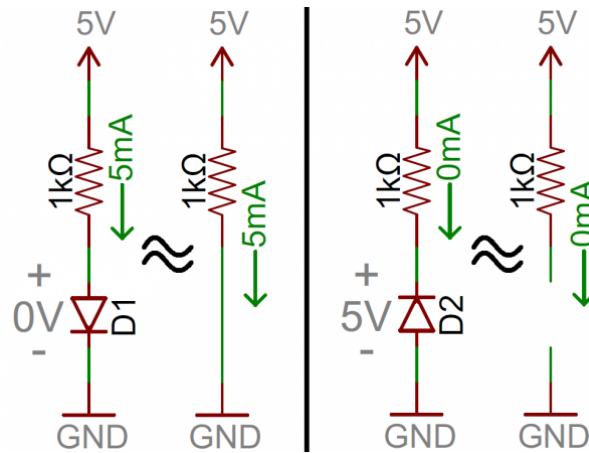
Svaka dioda ima **dva terminala** -- veze na svakom kraju komponente -- i ti terminali su **polarizirani**, što znači da su dva terminala izrazito različita. Važno je ne pomiješati spojeve na diodi. Pozitivni kraj diode naziva se anoda, a negativni kraj katoda. Struja može teći od kraja **anode** prema **katodi**, ali ne u drugom smjeru. Ako ste zaboravili na koji način teče struja kroz diodu, pokušajte se sjetiti mnemonike ACID: "anodna struja u diodi" (također anoda-katoda je dioda).

Simbol strujnog kruga standardne diode je trokut koji se naslanja na liniju. Kao što ćemo pokriti kasnije u ovom vodiču, postoje različite vrste dioda, ali obično će njihov simbol kruga izgledati ovako:



Simbol diode

Terminal koji ulazi u ravni rub trokuta predstavlja anodu. Struja teče u smjeru u kojem pokazuje trokut/strelica, ali ne može ići u suprotnom smjeru.



Primjer jednostavnog kruga diode

Gore je nekoliko primjera jednostavnih krugova dioda. S lijeve strane, dioda D1 je usmjerena prema naprijed i dopušta protok struje kroz krug. Izgleda kao kratki spoj. S desne strane, dioda D2 ima obrnuti prednapon. Struja ne može teći kroz krug i izgleda kao otvoreni krug.

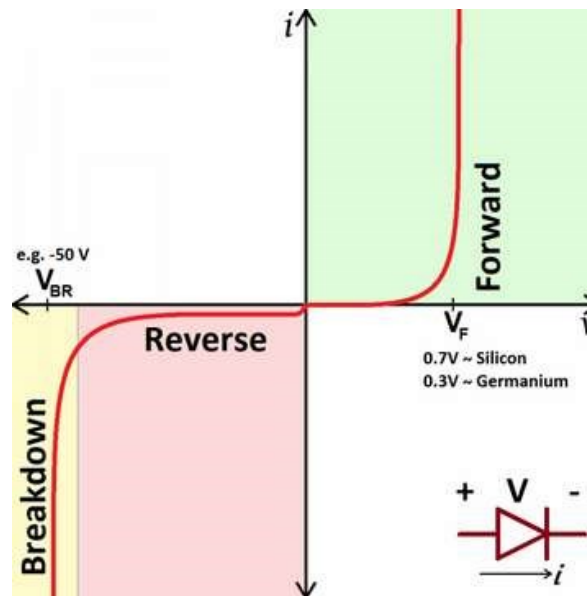
*Upozorenje! Zvezdica! Ne-potpuna-točno... Nažalost, idealna dioda ne postoji. Ali ne brinite! Dioda su stvarne, samo imaju nekoliko karakteristika zbog kojih rade malo manje od našeg idealnog modela...

4 Realne karakteristike diode

U idealnom slučaju, diode će blokirati svaku struju koja teče u obrnutom smjeru ili će djelovati kao kratki spoj ako struja teče naprijed. Nažalost, stvarno ponašanje diode nije sasvim idealno. Dioda troše određenu količinu energije kada provode struju prema naprijed i neće blokirati svu povratnu struju. Dioda u stvarnom svijetu su malo kompliciranije i sve imaju jedinstvene karakteristike koje definiraju njihov rad.

4.1 Strujno-naponski odnos

Najvažnija karakteristika diode je odnos struje i napona ($i-v$). Ovo definira kolika je struja koja teče kroz komponentu, s obzirom na to koji se napon mjeri na njoj. Otpornici, na primjer, imaju jednostavan, linearan $i-v$ odnos... **Ohmov zakon**. Ipak, $i-v$ krivulja diode potpuno je nelinearna. Izgleda otprilike ovako:



Odnos struje i napona diode. Da istaknemo nekoliko važnih točaka u zapletu, ljestvice u pozitivnoj i negativnoj polovici nisu jednake.

Ovisno o naponu koji se primjenjuje preko nje, dioda će raditi u jednom od tri područja:

1. Prednapon: kada je napon na diodi pozitivan, dioda je "uključena" i struja može teći kroz nju. Napon bi trebao biti veći od prednjeg napona (V_F) da bi struja bila značajna.
2. Reverse bias: Ovo je "isključeno" stanje diode, gdje je napon manji od V_F , ali veći od $-V_{BR}$. U ovom načinu rada protok struje je (uglavnom) blokiran, a dioda je isključena. Vrlo mala količina struje (reda veličine nA) -- koja se naziva reverzna struja zasićenja -- može teći obrnuto kroz diodu.
3. Kvar: Kada je napon primijenjen preko diode vrlo visok i negativan, puno struja će moći teći u obrnutom smjeru, od katode do anode.

4.2 Prednji napon

Da bi se "uključila" i provela struju u smjeru prema naprijed, dioda zahtijeva određenu količinu pozitivnog napona koji se primjenjuje na nju. Tipični napon potreban za uključivanje diode naziva se prednji napon (V_F). Također se može nazvati ili naponom uključivanja ili naponom uključivanja.

Kao što znamo iz i - v krivulje, struja kroz diodu i napon na diodi međusobno su ovisni. Veća struja znači veći napon, a manji napon znači manju struju. Međutim, kada napon dosegne otprilike nominalni napon, velika povećanja struje i dalje bi trebala značiti samo vrlo malo povećanje napona. Ako je dioda potpuno vodljiva, obično se može pretpostaviti da je napon na njoj nominalni napon prema naprijed.



Multimetar s postavkom diode može se koristiti za mjerenje (minimalnog) pada napona diode prema naprijed.

VF određene diode ovisi o poluvodičkom materijalu od kojeg je napravljena. Tipično, silicijska dioda će imati VF od oko 0,6-1V. Dioda na bazi germanija mogla bi biti niža, oko 0,3 V. Tip diode također ima određenu važnost u definiranju pada napona prema naprijed; diode koje emitiraju svjetlost mogu imati puno veći VF, dok su Schottky diode posebno dizajnirane da imaju puno niži napon prema naprijed od uobičajenog.

4.3 Probojni napon

Ako se na diodu primijeni dovoljno veliki negativni napon, ona će popustiti i omogućiti struji da teče u obrnutom smjeru. Taj veliki negativni napon naziva se probojni napon. Neke diode su dizajnirane za rad u području sloma, ali za većinu normalnih dioda nije baš poželjno da budu izložene velikim negativnim naponima.

Za normalne diode, ovaj probojni napon je oko -50 V do -100 V, ili čak i negativniji.

4.4 Podaci o diodama

Sve gore navedene karakteristike trebaju biti detaljno navedene u podatkovnoj tablici za svaku diodu. Na primjer, ova podatkovna tablica za diodu 1N4148 navodi maksimalni prednji napon (1V) i probojni napon (100V) (među mnogim drugim informacijama):

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F			1000	mV
Reverse current	$V_R = 20\text{ V}$	I_R			25	nA
	$V_R = 20\text{ V}, T_J = 150^{\circ}\text{C}$	I_R			50	μA
	$V_R = 75\text{ V}$	I_R			5	μA
Breakdown voltage	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}, t_D/T = 0.01, t_D = 0.3\text{ ms}$	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}, V_{HF} = 50\text{ mV}$	C_D			4	pF
Rectification efficiency	$V_{HF} = 2\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	η_r	45			%
Reverse recovery time	$I_F = I_R = 10\text{ mA}, i_R = 1\text{ mA}$	t_{rr}			8	ns
	$I_F = 10\text{ mA}, V_R = 6\text{ V}, i_R = 0.1 \times I_R, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{rr}			4	ns
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT		
Repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	100	V		
Reverse voltage		V_R	75	V		
Peak forward surge current	$t_D = 1\text{ }\mu\text{s}$	I_{FSM}	2	A		
Repetitive peak forward current		I_{FRM}	500	mA		
Forward continuous current		I_F	300	mA		
Average forward current	$V_R = 0$	$I_{F(AV)}$	150	mA		
Power dissipation	$l = 4\text{ mm}, T_L = 45^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	440	mW		
	$l = 4\text{ mm}, T_L \leq 25^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	500	mW		

List s podacima o diodi

Podatkovna tablica može vam čak predstaviti vrlo poznati graf struje i napona, kako bi dodatno opisao kako se dioda ponaša. Ovaj graf iz podatkovne tablice diode povećava zaobljeni, prednji dio i -v krivulje. Primijetite kako veća struja zahtijeva veći napon:

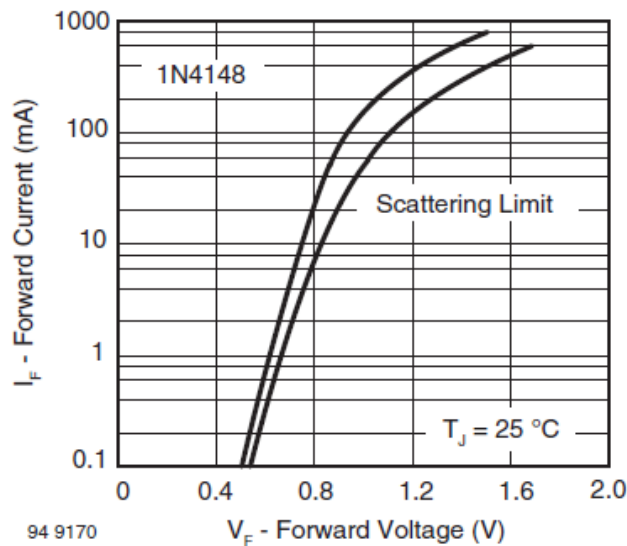


Fig. 2 - Forward Current vs. Forward Voltage

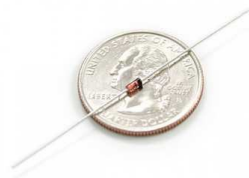
Grafikon struja-napon

Taj grafikon ukazuje na još jednu važnu karakteristiku diode -- maksimalnu struju naprijed. Baš kao i svaka komponenta, diode mogu raspršiti samo onoliko snage prije nego što eksplodiraju. Sve diode trebaju navesti maksimalnu struju, povratni napon i rasipanje snage. Ako je dioda izložena većem naponu ili struji nego što može podnijeti, očekujte da će se zagrijati (ili još gore; otopiti, zadimiti,...). Neke su diode dobro prilagođene visokim strujama -- 1 A ili više -- druge poput 1N4148 diode malog signala prikazane gore mogu biti prilagođene samo za oko 200 mA. Taj 1N4148 samo je maleni uzorak svih različitih vrsta dioda koje postoje. Zatim ćemo istražiti kakva nevjerojatna raznolikost dioda postoji i kojoj svrsi svaka vrsta služi.

5 vrsta dioda

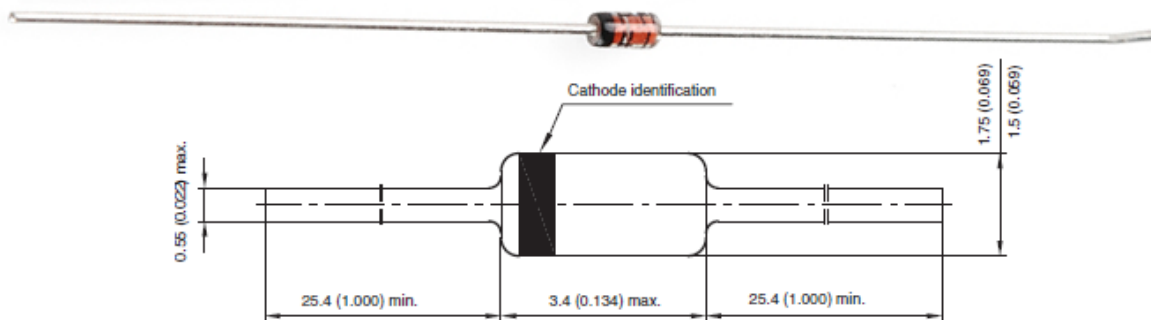
Normalne diode - signalne diode

Standardne signalne diode su među najosnovnijim, prosječnim, jednostavnim članovima obitelji dioda. Obično imaju srednje visoki pad napona i nisku maksimalnu struju. Uobičajen primjer signalne diode je **1N4148**.



Standardne signalne diode

Vrlo opće namjene, ima tipičan pad napona od 0,72 V i maksimalnu struju od 300 mA.



Dioda malog signala, 1N4148. Primijetite crni krug oko diode, koji označava koji je od terminala katoda.

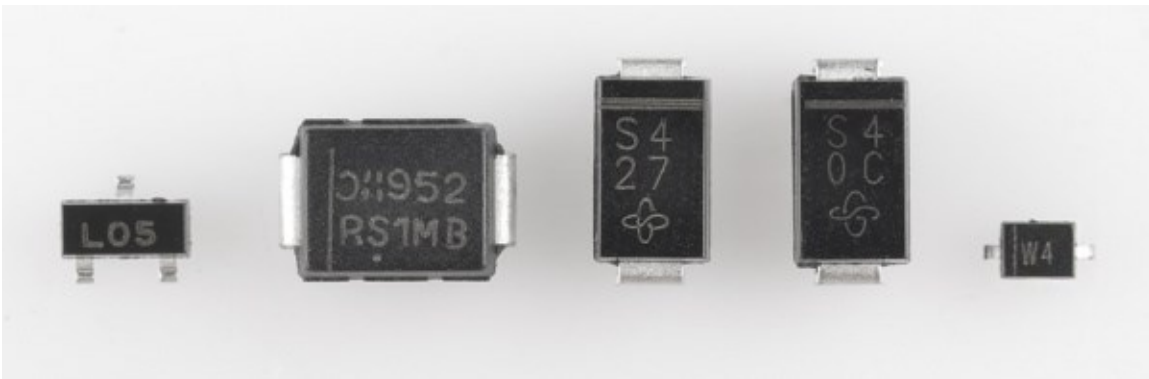
5.1 Energetske diode

Ispravljačka ili energetska dioda standardna je dioda s mnogo većom maksimalnom nazivnom strujom. Ova viša nazivna struja obično dolazi po cijenu većeg napona naprijed. 1N4001 je primjer energetske diode.

1N4001 ima nazivnu struju od 1 A i prednji napon od 1,1 V.



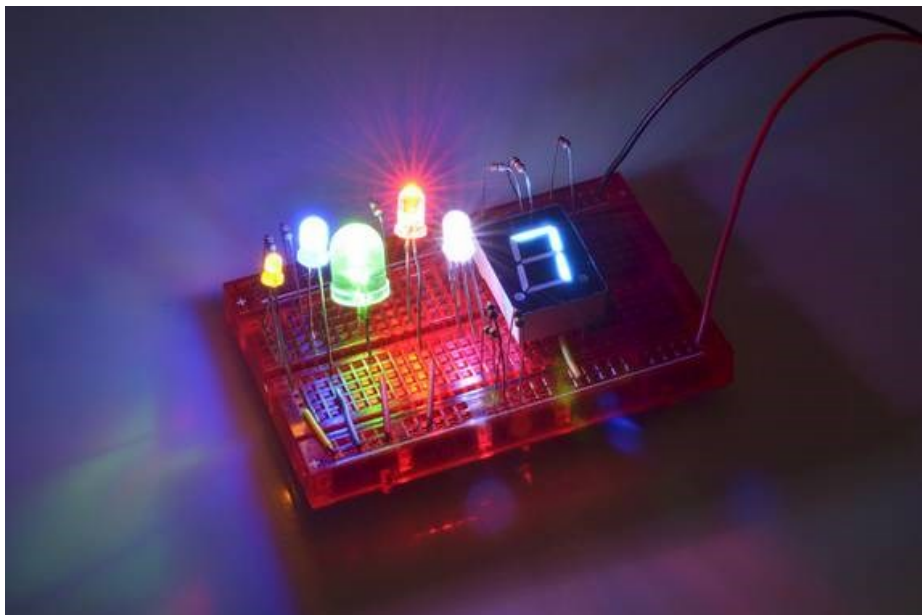
1N4001 PTH dioda.



1N4001 PTH dioda. Ovaj put siva traka označava koji je pin katoda.

5.2 Diode koje emitiraju svjetlo (LED!)

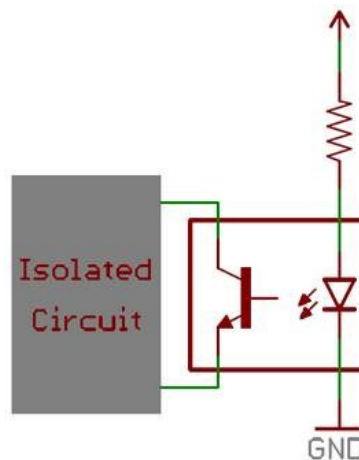
Najblještaviji član obitelji dioda mora biti dioda koja emitira svjetlo (LED). Ove diode doslovno svijetle kada se primijeni pozitivni napon.



Pregršt LED dioda s rupama. S lijeva na desno: žuta 3 mm, plava 5 mm, zelena 10 mm, super-jarka crvena 5 mm, RGB 5 mm i plava 7-segmentna LED dioda.

Kao i normalne diode, LED diode propuštaju struju samo u jednom smjeru. Oni također imaju prednji napon, što je napon potreban da bi zasvijetlili. VF vrijednost LED-a obično je veća od one normalne diode (1,2~3V), a ovisi o boji koju LED emitira. Na primjer, nazivni prednji napon Super Bright Blue LED-a je oko 3,3 V, dok je onaj jednake veličine Super Bright Red LED-a samo 2,2 V.

LED diode najčešće ćete pronaći u rasvjetnim aplikacijama. Trepćući su i zabavni! Ali više od toga, njihova visoka učinkovitost dovela je do široke upotrebe u uličnoj rasvjeti, zaslonima, pozadinskom osvjetljenju i još mnogo toga. Druge LED diode emitiraju svjetlost koja nije vidljiva ljudskom oku, poput infracrvenih LED dioda, koje su okosnica većine daljinskih upravljača. Druga uobičajena uporaba LED dioda je optička izolacija opasnog visokonaponskog sustava od niženaponskog kruga. Opto-izolatori spajaju infracrvenu LED diodu s fotosenzorom, koji omogućuje protok struje kada detektira svjetlo LED diode. Ispod je primjer kruga optoizolatora. Primijetite kako se shematski simbol za diodu razlikuje od normalne diode. LED simboli dodaju nekoliko strelica koje izlaze iz simbola.



Optoizolator _

5.3 Schottky diode

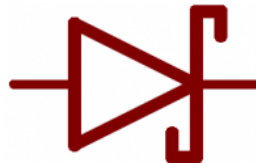
Još jedna vrlo česta dioda je Schottky dioda.



Schottky dioda

Sastav poluvodiča Schottky diode malo se razlikuje od normalne diode, a to rezultira mnogo **manjim padom napona prema naprijed**, koji je obično između 0,15 V i 0,45 V. Ipak će i dalje imati vrlo veliki probojni napon.

Schottky diode su posebno korisne u ograničavanju gubitaka kada se mora poštediti i zadnji dio napona. Dovoljno su jedinstveni da dobiju vlastiti simbol kruga, s nekoliko zavoja na kraju katodnog voda.



Simbol Schottky diode

5.4 Zener diode

Zener diode su čudan izopćenik iz obitelji dioda. Obično se koriste za namjerno provođenje obrnutih struja.

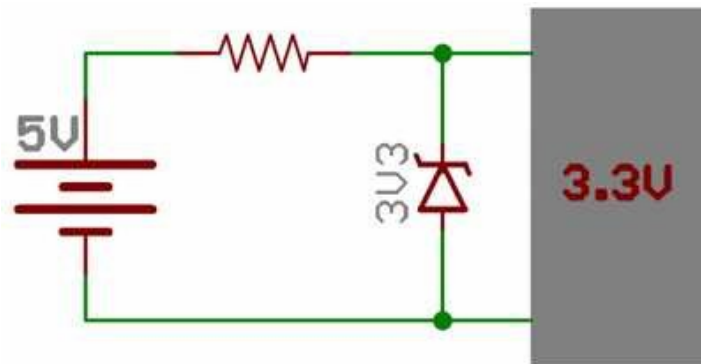


Zener dioda

Zener je dizajniran da ima vrlo precizan probojni napon, koji se naziva Zenerov proboj ili Zenerov napon. Kada dovoljno struje teče obrnuto kroz Zener, pad napona na njemu ostat će stabilan na probojnom naponu.

Iskorištavajući svoje svojstvo proboja, Zener diode se često koriste za stvaranje poznatog referentnog napona na točno njihovom Zener naponu. Mogu se koristiti kao regulator napona za mala opterećenja, ali nisu napravljeni za regulaciju napona u krugovima koji će povući značajne količine struje.

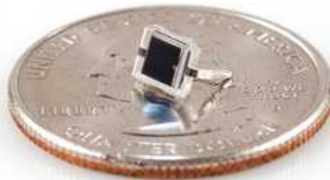
Zener je dovoljno poseban da dobije svoj simbol kruga, s valovitim krajevima na katodnoj liniji. Simbol bi čak mogao definirati što je točno Zener napon diode. Ovdje je Zener dioda od 3,3 V koja djeluje tako da stvara čvrsti referentni napon od 3,3 V:



Zener dioda od 3,3 V stvara solidan referentni napon od 3,3 V

5.5 Fotodiode

Fotodiode su posebno konstruirane diode koje hvataju energiju iz fotona svjetlosti (vidi Fizika, kvant) za stvaranje električne struje. Djeluje kao anti-LED.



BPW34 fotodioda (ne novčić, već sitnica povrh toga). Stavite ga pod sunce i može generirati oko nekoliko μW snage!

Solarne ćelije glavni su dobrotvori fotodiodne tehnologije. Ali te se diode također mogu koristiti za otkrivanje svjetlosti ili čak optičku komunikaciju.

6. Primjena dioda

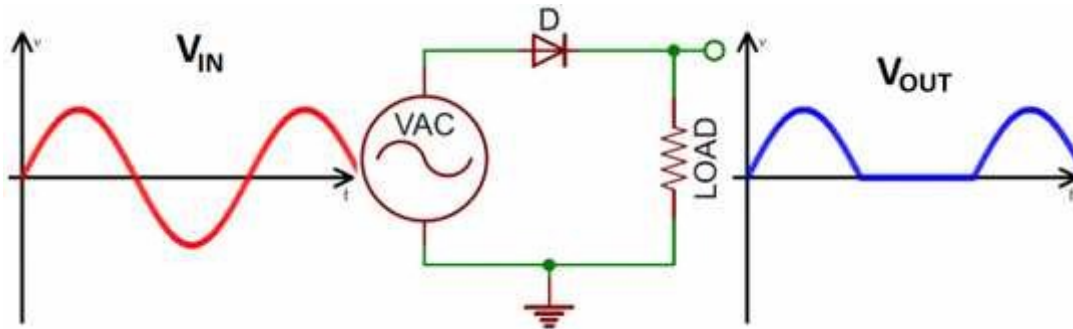
Za tako jednostavnu komponentu, diode imaju ogroman raspon upotrebe. Pronaći ćete diodu neke vrste u svakom krugu. Mogli bi biti predstavljeni u bilo čemu, od digitalne logike malog signala do visokonaponskog strujnog kruga za pretvorbu. Istražimo neke od ovih aplikacija.

6.1 Ispravljači

Ispravljač je krug koji pretvara izmjeničnu struju (AC) u istosmjernu (DC). Ova pretvorba je kritična za sve vrste kućanske elektronike. AC signali izlaze iz zidnih utičnica u vašoj kući, ali DC je ono što napaja većinu računala i druge mikroelektronike.

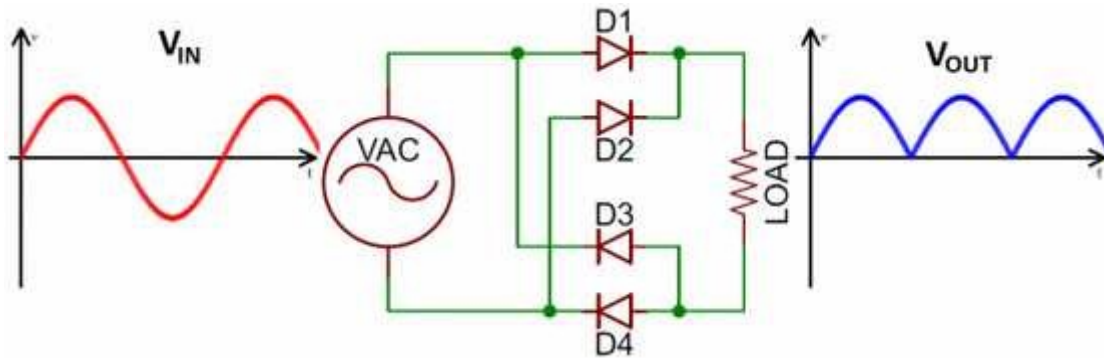
Struja u izmjeničnim krugovima se izmjenjuje -- brzo se prebacuje između pozitivnog i negativnog smjera -- ali struja u istosmjernom signalu teče samo u jednom smjeru. Dakle, za pretvorbu iz izmjenične u istosmjernu struju samo trebate biti sigurni da struja ne može teći u negativnom smjeru. Zvuči kao posao za DIODE!

Poluvalni ispravljač može se napraviti od samo jedne diode. Ako se izmjenični signal, poput sinusnog vala, na primjer, šalje kroz diodu, svaka negativna komponenta signala se izrezuje.



Ulazni (crveni/lijevo) i izlazni (plavi/desni) valni oblici napona, nakon prolaska kroz krug poluvalnog ispravljača (u sredini).

Punovalni mosni ispravljač koristi četiri diode za pretvaranje tih negativnih izbočina u AC signalu u pozitivne izbočine.



Krug prenosnog ispravljača (u sredini) i izlazni valni oblik koji stvara (plavo/desno).

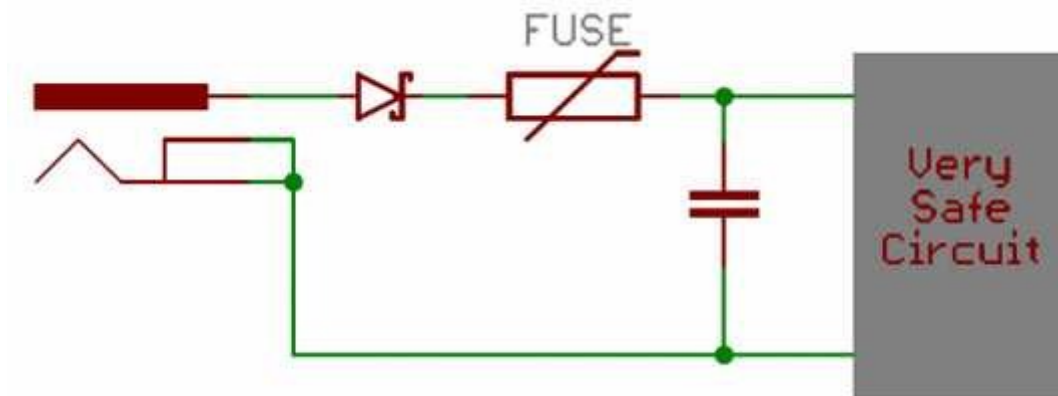
Ovi krugovi su kritična komponenta u AC-to-DC izvorima napajanja, koji pretvaraju 120/240VAC signal zidne utičnice u 3.3V, 5V, 12V, itd. DC signale. Ako ste rastavite zidnu utičnicu, najvjerojatnije bi unutra vidjeli pregršt dioda koje ju ispravljaaju.



Možete li uočiti četiri diode koje čine prenosni ispravljač u ovoj zidnoj utičnici?

6.2 Zaštita od povratne struje

Jeste li ikada stavili bateriju na pogrešan način? Ili zamijeniti crvenu i crnu strujnu žicu? Ako je tako, diodi možete zahvaliti što je vaš strujni krug još živ. Dioda postavljena u seriju s pozitivnom stranom napajanja naziva se reverzna zaštitna dioda. Osigurava da struja može teći samo u pozitivnom smjeru, a napajanje primjenjuje samo pozitivan napon na vaš krug.



Zaštita od povratne struje

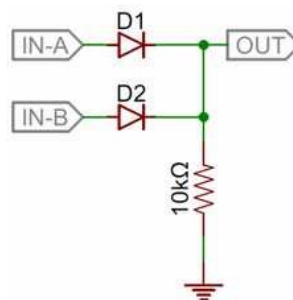
Ova diodna primjena korisna je kada konektor napajanja nije polariziran, što olakšava pogrešku slučajno spojiti negativni pol napajanja na pozitivni pol ulaznog kruga.

Nedostatak obrnute zaštitne diode je taj što će izazvati određeni gubitak napona zbog pada napona prema naprijed. To čini Schottky diode izvrsnim izborom za diode za zaštitu od povratne struje.

6.3 Logička vrata

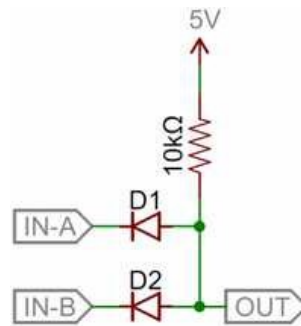
Zaboravite tranzistore! Jednostavna digitalna logička vrata, poput AND ili OR, mogu se sastaviti od dioda.

Na primjer, diodna vrata OR s dva ulaza mogu se konstruirati od dvije diode sa zajedničkim katodnim čvorovima. Izlaz logičkog sklopa također se nalazi na tom čvoru. Kad god je jedan od ulaza (ili oba) logička 1 (visok/5V), izlaz također postaje logička 1. Kada su oba ulaza logička 0 (nisko/0 V), izlaz se povlači nisko kroz otpornik.



Diodni dvoulazni OR

AND vrata su konstruirana na sličan način. Anode obje diode su spojene, gdje se nalazi izlaz kruga. Oba ulaza moraju biti logička 1 koja tjera struju da ide prema izlaznom pinu i također ga povlači visoko. Ako je bilo koji od ulaza nizak, struja iz izvora od 5 V teče kroz diodu.



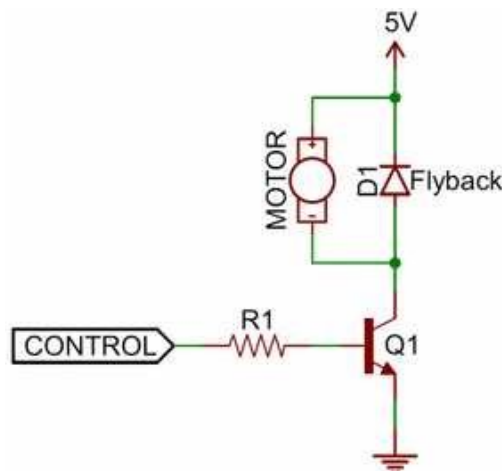
Dioda s AND vratima

Za oba logička vrata može se dodati više ulaza dodavanjem samo jedne diode.

7. Povratne diode i suzbijanje skokova napona

Diode se vrlo često koriste za ograničavanje potencijalne štete od neočekivanih velikih skokova napona. Diode za potiskivanje prijelaznog napona (TVS) su specijalne diode, poput više zen dioda -- niski probojni naponi (često oko 20 V) -- ali s vrlo velikom snagom (često u rasponu od kilovata). Dizajnirani su za usklađivanje struja i apsorbiranje energije kada naponi premaše svoj probojni napon.

Povratne diode rade sličan posao suzbijanja skokova napona, posebno onih induciranih induktivnom komponentom, poput motora. Kada se struja kroz induktor iznenada promijeni, stvara se skok napona, moguće vrlo velik, negativan skok. Povratna dioda postavljena preko induktivnog opterećenja dat će tom signalu negativnog napona siguran put do pražnjenja, zapravo se stalno ponavljajući kroz induktor i diodu dok se na kraju ne ugasi.



Povratna dioda

To je samo nekoliko aplikacija za ovu nevjerojatnu malu poluvodičku komponentu.

8 Zaključak

Sada kada ste se upoznali s diodama, željeli biste dalje istraživati više poluvodiča:

- Tranzistori
- LED diode
- Ili naučite o integriranim krugovima, kao što su:
 - 555 Brojači vremena
 - Operacijska pojačala
 - Registri pomaka

Ili otkrijte neke druge uobičajene elektroničke komponente:

- Otpornici
- Kondenzatori
- Induktori
- Regulatori napona