

1. ELEKTRONIKA U SUSTAVIMA ZA MJERENJE, UPRAVLJANJE I ZAŠTITU UREĐAJA I POSTROJENJA

Počeci razvoja i primjene elektronike povezuju se s razvojem radiotehnike. Postupno elektronika ima sve veću primjenu u industriji i ostalim područjima tehnike. Osobito se primjena elektronike širi sredinom dvadesetoga stoljeća razvojem poluvodičke tehnike, prvo pronalaskom tranzistora a zatim pojavom sve većeg broja različitih poluvodičkih elemenata i integriranih poluvodičkih sklopova. Danas je uloga elektronike, nadasve digitalne, u svim područjima tehnike nezaobilazna.

Stoga je nužno da svaki elektrotehničar spozna temeljna znanja iz elektroničkih analognih i digitalnih sklopova kako bi s potpunim razumijevanjem mogao pratiti njihovo djelovanje u sustavima različitih mjerenja, upravljanja i zaštite uređaja i postrojenja.

U ovome, uvodnom, poglavlju navedeni su osnovni pojmovi iz elektronike te pokazan jednostavan primjer sustava u kojemu su primijenjeni sklopovi koji se detaljnije razmatraju u sljedećim poglavljima.

Osnovni pojmovi i sistematizacija

Elektronika je grana znanosti i tehnike koja obuhvaća izučavanje i primjenu pojava povezanih s gibanjem elektrona i električki nabijenih čestica u vakuumu, plinovima, tekućinama i poluvodičima koje se ostvaruju u elementima elektroničkih uređaja (*Tehnička enciklopedija 4*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža).

Ovisno o području u kojem elektronički sklopovi, tj. elektronika nalazi primjenu upotrebljavaju se nazivi informacijska elektronika i energetska elektronika. **Informacijska elektronika** bavi se dobivanjem, pretvorbom, obradom i prijenosom signala koji sadrži informaciju (radiokomunikacije i telekomunikacije, mjerna tehnika, računalna tehnika). **Energetska elektronika** je područje elektronike koje se bavi elementima i sklopovima u području proizvodnje, prijenosa i razdiobe električne energije.

Prema karakteru električnog signala može se govoriti o analognoj i digitalnoj elektronici. U **analognoj elektronici** iznos signala koji sadrži informaciju može imati bilo koju vrijednost između dviju krajnjih. U **digitalnoj elektronici** iznos signala ima jednu od dvije međusobno dovoljno različite veličine.

Uz te podjele, s kojima se najčešće susrećemo, javljaju se i različiti drugi pojmovi i podjele koje proizlaze iz različitih područja primjene. Elementi i sklopovi koji se proizvode masovno i proizvedeni su za rad u uvjetima prihvatljivim za boravak ljudi, svrstavaju se u **potrošačku elektroniku** (engl. consumer, commercial). Od njih se traži da uz određenu kvalitetu utvrđenu normama imaju što nižu cijenu. Elementi i sklopovi **profesionalne elektronike** (engl. professional, military) predviđeni su za rad u težim uvjetima pa njihova pouzdanost i trajnost moraju udovoljiti znatno višim normama.

Elektronički uređaji sastavljeni su od elektroničkih sklopova, a elektronički sklopovi od elektroničkih elemenata međusobno povezanih u strujne krugove.

Elektronički elementi su sastavni dijelovi elektroničkih sklopova. Dije se na pasivne i aktivne. **Aktivni elektronički elementi** mogu se podijeliti na dvije skupine: **elektronske cijevi** i **poluvodičke elemente**. U elektronskim cijevima nosioci su struje elektroni koji se gibaju u vakuumu ili plinovima. Njihova uporaba je u današnje vrijeme znatno smanjena. Najčešće upotrebljavani element iz te skupine je katodna cijev osciloskopa. Pretežno se u elektroničkim sklopovima danas nalaze poluvodički elementi kod kojih se

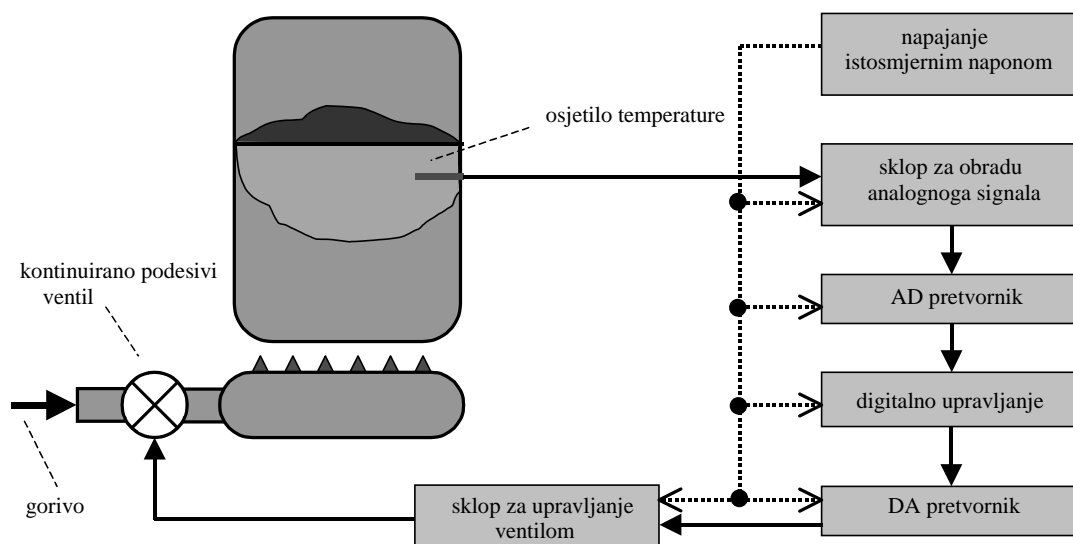
protjecanje struje ostvaruje gibanjem nosilaca naboja (elektrona i šupljina) u krutim tvarima. **Pasivni elektronički elementi** su otpornici, kondenzatori, zavojnice i transformatori. Djeluju tako da na njima nastaje pad napona, odnosno uvjetuju međusobne odnose električnih veličina.

Elektronički sklopovi složeni su strujni krugovi koji se sastoje od elektroničkih elemenata i obavljaju neku funkciju (npr. generiranje signala, pojačanje signala itd.). Sklopovi mogu biti građeni od pojedinačnih (diskretnih) elemenata ili u integriranoj izvedbi kod koje su svi elementi sklopa smješteni u jedno kućište. S obzirom na međusobni razmještaj i povezanost elemenata, integrirani sklopovi mogu biti hibridni i monolitni. Kod hibridnih integriranih sklopova grupe elemenata izvedene su na posebnim dijelovima kristala smještenim na podlogu od izolatora. Grupe elemenata međusobno su povezane vrlo tankim žicama i sve zatvorene u jednom kućištu. U monolitnim integriranim sklopovima svi elementi izvedeni su na jednoj poluvodičkoj podlozi u zajedničkom kućištu.

Pojedinačni elektronički elementi ili integrirane izvedbe sklopova nazivaju se **elektroničke komponente**. To su najmanji odvojivi sastavni dijelovi elektroničkog sklopa i uređaja.

Primjer sustava za upravljanje

Na slici 1.1. prikazana je blok-shema sustava za regulaciju temperature u tehnološkom procesu. Temperaturno osjetilo daje podatak o temperaturi promatranoga sredstva u tehnološkom procesu. Osjetilo je ujedno pretvornik temperature u naponski signal čija je veličina proporcionalna iznosu temperature. Taj signal, nakon obrade (pojačanje, linearizacija karakteristike osjetila), pretvara se s pomoću analognog-digitalnog pretvornika u digitalni oblik. Digitalni signal dovodi se na sklop za digitalno upravljanje u kojemu se uspoređuje sa zadanom vrijednošću. Izlaz iz digitalnog upravljačkog sklopa pretvara se u analogni signal koji se dovodi na sklop za upravljanje ventilom koji regulira dovod goriva u plamenik u skladu s potrebnom temperaturom. Tijek signala prikazan je na blok-shemi punom crtom. Potreban napon za djelovanje svih spomenutih elektroničkih sklopova osigurava izvor stabiliziranih napona. Razdioba napona napajanja pokazana je na blok-shemi isprekidanom crtom.



Slika 1.1. Blok-shema sustava za reguliranje temperature



2. SKLOPOVI S DIODAMA

Poluvodičke diode su elektroničke komponente s dvije elektrode, različitih izvedbi, svojstava i namjena. U ovom poglavlju opisane su dioda opće namjene (u stručnoj literaturi susreće se naziv ispravljačka dioda, engl. rectifier diode, njem. Gleichrichterdiode) i Zenerova dioda. Višeslojne diode opisane su u poglavlju 9. *Tiristori i jednospojni tranzistor*, a fotodioda, svijetleća i laserska dioda u poglavlju 10. *Optoelektronički elementi*.

Načela djelovanja dioda poznata su čitatelju od prije iz predmeta ELEKTROTEHNIČKI MATERIJALI I KOMPONENTE. Stoga su ovdje ukratko opisana osnovna svojstva dioda proširena sa znanjima o tehničkim podacima važnim za uporabu. Glavni dio čine prikazi izvedbi, svojstava i primjene sklopova s diodama.

Ovo poglavlje ima četiri dijela. U prvom dijelu opisana su svojstva dioda opće namjene. U sljedeća dva opisane su izvedbe, svojstva i primjene ispravljačkih sklopova te ograničavača i restauratora napona. U posljednjem dijelu dan je prikaz svojstava i osnovne primjene Zenerove, tunelske i kapacitivne diode.

2.1. Svojstva dioda

Propusno polarizirana dioda
Zaporno polarizirana dioda
Strujno-naponska karakteristika diode
Karakteristične veličine diode

2.2. Ispravljački sklopovi

Poluvalni ispravljač
Punovalni ispravljač
Glađenje ispravljenoga napona

2.3. Diodni ograničavači i restauratori

Paralelni diodni ograničavači
Serijski diodni ograničavači
Dvostrani diodni ograničavač
Restauratori

2.4. Ostale vrste dioda

Svojstva Zenerove diode
Stabilizacija napona sa Zenerovom diodom

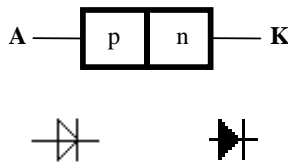
Zadaci za laboratorijske vježbe

Vježba 2.1. Poluvalni ispravljač
Vježba 2.2. Punovalni ispravljač
Vježba 2.3. Stabilizacija napona sa Zenerovom diodom

Pitanja i zadaci za ponavljanje i provjeru znanja

2.1. SVOJSTVA DIODA

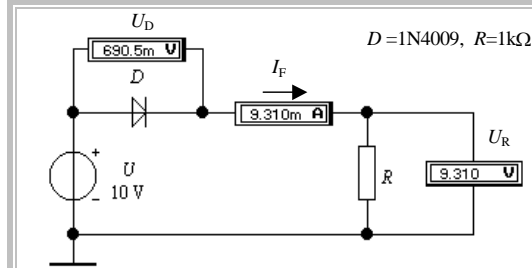
Diode opće namjene (ispravljačke diode) sastoje se od p -tipa i n -tipa poluvodiča. Izvod povezan s p -tipom poluvodiča je **anoda** (A), a izvod povezan s n -tipom je **katoda** (K). Mogu biti silicijske i germanijske. Imaju svojstvo da u jednemu smjeru propuštaju struju, a u drugom ne.



Slika 2.1. Građa i simboli diode

Propusno polarizirana dioda

Pokus



Slika 2.2. Spoj propusno polarizirane diode

Kad je anoda na pozitivnijem potencijalu od katode, za diodu se kaže da je propusno polarizirana. U tom slučaju kroz diodu teče **propusna struja** I_F (engl. forward current, njem. Durchlassstrom) od anode prema katodi. Na diodi je mali pad napona koji za silicijske diode iznosi oko 0,7V, a za germanijske diode oko 0,3V (slika 2.2.).

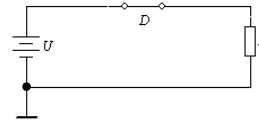
Iznos struje, koja teče kroz propusno polariziranu diodu, ovisi o priključenom naponu U i otporu R otpornika spojenog u seriju s diodom:

$$I_D = I_F = \frac{U - U_D}{R}$$

Dioda ima vrlo mali otpor pa je napon $U_D = U_F$ na diodi mali. Stoga je gotovo sav napon U priključenog izvora na otporu R , pa struja kroz diodu približno iznosi:

$$I_D = I_F = \frac{U}{R}$$

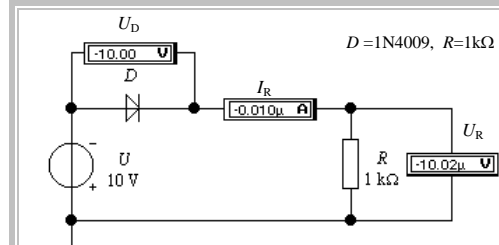
Stoga se može reći da dioda djeluje kao uključena sklopka (slika 2.3.).



Slika 2.3. Djelovanje propusno polarizirane diode

Zaporno polarizirana dioda

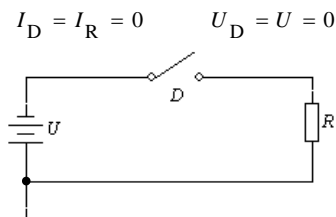
Pokus



Slika 2.4. Spoj zaporno polarizirane diode

Kad je katoda na pozitivnijem potencijalu od anode, dioda je zaporno (nepropusno) polarizirana (slika 2.4.). Kroz diodu teče u smjeru od katode prema anodi vrlo mala struja I_R koja se naziva **reverzna struja** (preostala struja, engl. reverse current, njem. Sperrstrom). Reverzna struja za germanijske diode reda je veličine desetak mikroampera, a za silicijske desetak nanoampera.

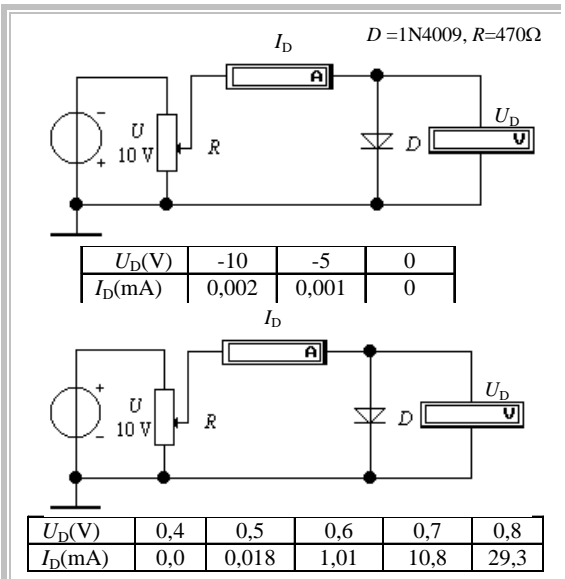
U serijskom spoju zaporno polarizirane diode i otpornika R reverzna struja diode može se zanemariti. Stoga se može zanemariti i pad napona na otporniku R . Zaporni napon na diodi (engl. reverse voltage, njem. Sperrspannung) napon je U priključenog izvora. Dioda djeluje praktično kao isključena sklopka (slika 2.5.)



Slika 2.5. Zaporno polarizirana dioda djeluje kao isključena sklopka

Strujno-naponska karakteristika diode

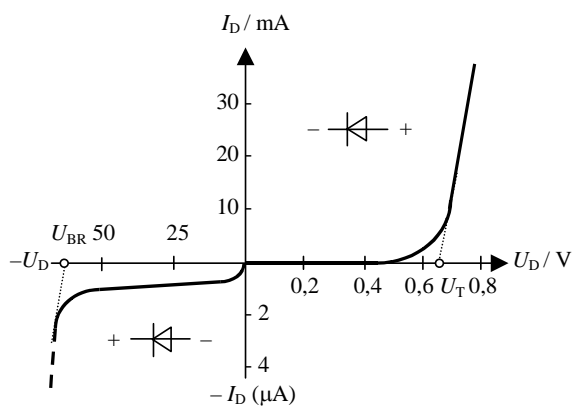
Pokus



Slika 2.6. Snimanje strujno-naponske karakteristike diode

Grafički prikaz odnosa napona i struje diode naziva se **strujno-naponska karakteristika diode** (slika 2.7.).

Dioda postaje vodljiva kad priključeni napon propusne polarizacije dostigne iznos U_T . Taj napon naziva se **napon praga** ili **napon koljena** (engl. threshold voltage, knee voltage, njem. Schwellspannung, Schleusenspannung) i za silicijske diode iznosi oko 0,6V-0,7V, a za germanijske diode 0,2V-0,3V.

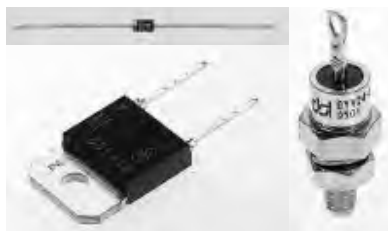


Slika 2.7. Strujno-naponska karakteristika diode

Ako priključeni napon zaporne polarizacije prijeđe vrijednost U_{BR} , koja se naziva **probojni napon** (engl. breakdown reverse voltage, njem. Durchbruchspannung), dolazi do nagloga porasta reverzne struje, što može prouzročiti uništenje diode. Iznos probojnoga napona za diode kreće se u rasponu od nekoliko desetaka volta do nekoliko kilovolta.

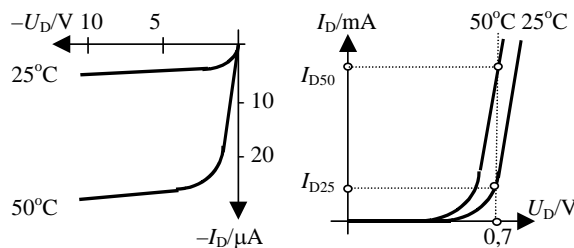
Karakteristične veličine diode

- Najvažnije karakteristične veličine diode jesu:
- **dopuštena vrijednost napona zaporne polarizacije U_R** koja se smije priključiti na diodu a da ne dođe do njezina trajnog oštećenja
 - **dopuštena jakost struje I_F** koja smije teći kroz diodu pri propusnoj polarizaciji a koja neće uzrokovati trajno oštećenje diode
 - **dopušteni utrošak snage P_{tot}**
 - **temperaturno područje rada**
 - **oblik kućišta i raspored izvoda.**



Slika 2.8. Primjeri izvedbi dioda

Dopušteni zaporni napon silicijskih dioda iznosi od nekoliko desetaka pa do tisuću volta. Dopuštene jakosti struja dioda iznose od nekoliko desetaka miliampera do nekoliko kiloampera. Utjecaj temperature na karakteristike diode pokazan je na slici 2.9. U tvorničkim podacima karakteristične veličine dioda uvijek se daju za određeno područje temperatura.



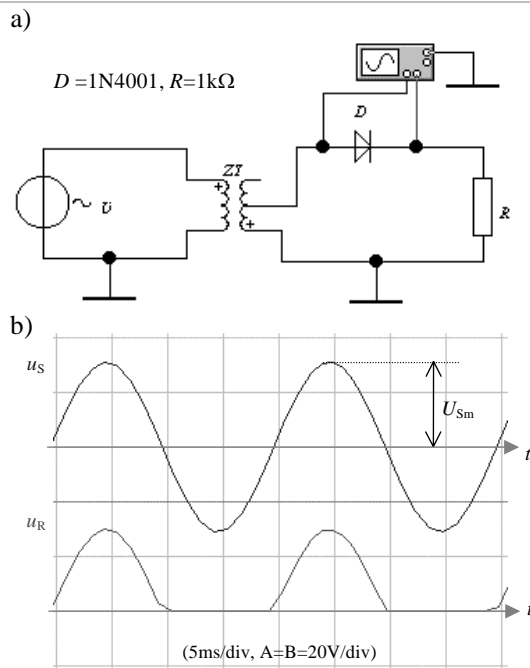
Slika 2.9. Utjecaj temperature na karakteristike diode

2.2. ISPRAVLJAČKI SKLOPOVI

Za normalan rad elektronički sklopovi trebaju istosmjerni napon napajanja. U tu se svrhu izmjenični napon mreže transformira na potrebnu vrijednost i zatim ispravlja. Ispravljanje se obavlja spojevima ispravljačkih dioda koji se nazivaju ispravljački sklopovi, kraće ispravljači (engl. rectifier circuits, njem. Gleichrichterschaltungen). Ispravljački spojevi mogu biti poluvalni i punovalni.

Poluvalni spoj ispravljača

Pokus



Slika 2.10. Poluvalni ispravljač: a) shema, b) ulazni i izlazni napon

Poluvalni spoj ispravljača (engl. halfwave rectifier, njem. Einweggleichrichter) najjednostavniji je ispravljački spoj. Dioda propušta struju samo za vrijeme jedne poluperiode izmjeničnoga napona. Za spoj na slici 2.10.a to je pozitivna poluperioda. Stoga se na trošilu javlja samo pozitivni dio izmjeničnoga napona (slika 2.10.b). Srednja vrijednost ispravljenoga napona (istosmjerna komponenta), uz zanemareni pad napona na diodi, iznosi:

$$U_{ST} = \frac{U_{Sm}}{\pi} = 0,45U_s$$

gdje su U_{Sm} i U_s vršna, odnosno efektivna vrijednost napona na sekundaru transformatora, tj. na ulazu ispravljača. Dopuštena vrijednost napona zaporne polarizacije diode mora biti veća od U_{Sm} .

Primjer 2.1.

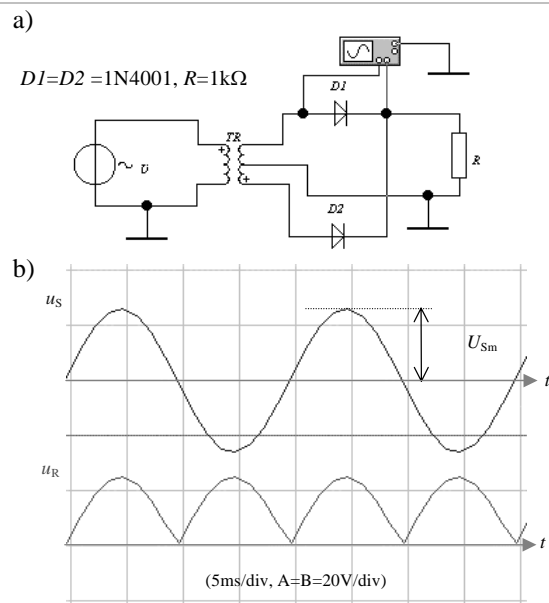
Koliki mora biti najmanje dopušteni napon zaporne polarizacije diode ako je sklop sa slike 1.11. priključen na mrežni napon uz prijenosni omjer transformatora 10:1?

$$U_R > U_{Sm} = (220/10) 2^{1/2} = 31,11V$$

Punovalni spoj ispravljača

Znatno bolja svojstva imaju punovalni ispravljači. To su spoj s dvije diode (slika 2.11.) i mosni ili Graetzov spoj (slika 2.12.).

Pokus



Slika 2.11. Punovalni ispravljač: a) shema, b) ulazni i izlazni napon

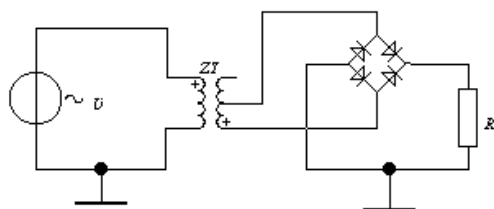
U spoju s dvije diode (engl. fullwave rectifier using a center-tapped transformer, njem. Mittelpunktgleichrichter) za vrijeme pozitivne poluperiode napona na sekundaru transformatora vodljiva je dioda $D1$, a za vrijeme negativne poluperiode dioda $D2$. Struja teče kroz trošilo uvijek u istom smjeru pa se na njemu dobije pozitivan napon u obje poluperiode.

Srednja vrijednost ispravljenoga napona (istosmjerna komponenta), uz zanemareni pad napona na diodi, iznosi:

$$U_{ST} = 2 \frac{U_{Sm}}{\pi} = 0,9U_S$$

gdje su U_{Sm} i U_S vršna, odnosno efektivna vrijednost napona na sekundaru transformatora (napon gornjeg ili donjeg izvoda prema srednjem izvodu), tj. na ulazu ispravljača. Dopuštena vrijednost napona zaporne polarizacije diode mora biti veća od $2U_{Sm}$.

Isti oblik napona dobije se s pomoću ispravljača u mosnome spoju (Graetzov spoj, engl. bridge rectifier, njem. Brückenschaltung). U_{Sm} je vršna, a U_S efektivna vrijednost napona na sekundaru transformatora, tj. na ulazu ispravljača. Dopuštena vrijednost napona zaporne polarizacije diode mora biti veća od U_{Sm} . Spoj zahtijeva četiri diode ali je transformator jednostavniji.



Slika 2.12. Mosni spoj punovalnog ispravljača

Proizvođači poluvodičkih elemenata proizvode oba spoja ispravljača kao element u jednom kućištu (slika 2.13.).



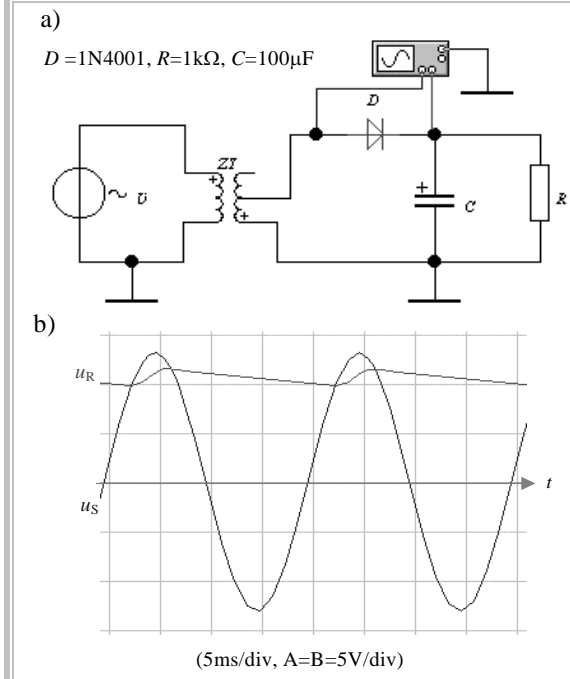
Slika 2.13. Ispravljač u jednom kućištu

Gladeenje ispravljenoga napona

Izlazni napon otporno opterećenog ispravljača ima veliku **valovitost**, tj. uz istosmjernu komponentu sadrži jako izraženu izmjeničnu komponentu, tzv. **napon brujanja** (engl. ripple, njem. Brummspannung). Takav napon nije pogodan za napajanje elektroničkih sklopova. Pобољшanje oblika izlaznoga napona (povećanje istosmjerne komponente uz sma-

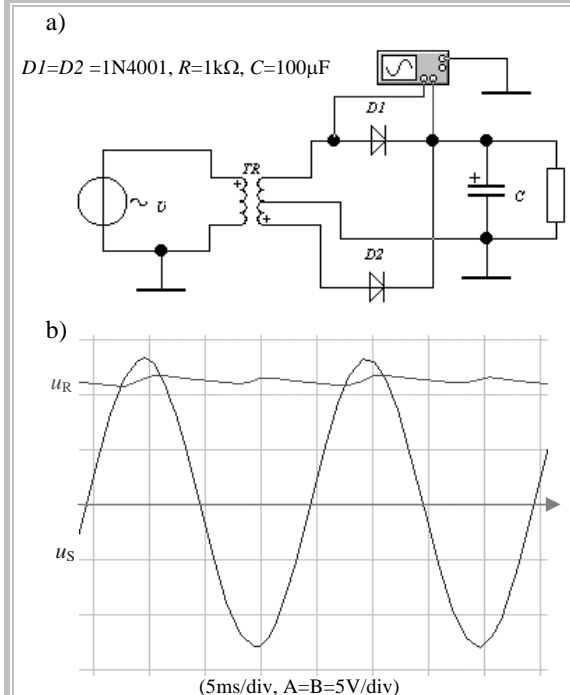
njenje valovitosti) dobije se postupkom gladeenja (filtriranja) ispravljenoga napona. Za gladeenje ispravljenoga napona najčešće se upotrebljavaju kondenzatori velikoga kapaciteta (slika 2.14.).

Pokus



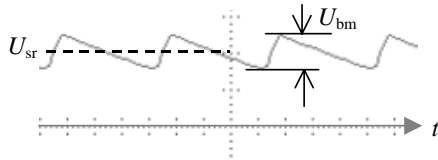
Slika 2.14. Gladeenje poluvalno ispravljenoga napona: a) shema spoja, b) naponi

Pokus



Slika 2.15. Gladeenje punovalno ispravljenoga napona: a) shema spoja, b) naponi

Dioda vodi samo dok je anoda pozitivnija od katode. U tome dijelu periode izmjeničnoga napona kondenzator se nabija. U ostalome dijelu periode dioda je zaporno polarizirana. Struju trošilu daje nabijeni kondenzator pa se napon na njemu smanjuje. Što je opterećenje veće, bit će znatnije smanjenje izlaznoga napona. Da se to spriječi, potrebno je primijeniti kondenzatore velikoga kapaciteta.



Slika 2.16. Napon brujanja

Iznos napona brujanja U_{bm} (mjereno od vrha do vrha, slika 2.16.) ovisi o vršnoj vrijednosti ispravljenoga napona (približno jednaka vršnoj vrijednosti napona na sekundarnom namotu transformatora U_{Sm}), o frekvenciji napona brujanja f_b (za poluvalni ispravljač $f_b=50\text{Hz}$, za punovalni ispravljač $f_b=100\text{Hz}$), o opterećenju ispravljača R i kapacitetu kondenzatora za glaćenje C :

$$U_{bm} = \frac{U_{Sm}}{f_b RC}$$

Primjer 2.2.

Izračunati napon brujanja ispravljača sa slike 1.15. ako je prijenosni omjer transformatora 10:1, $C=100\mu\text{F}$ i $R=1\text{k}\Omega$.

$$U_{Sm} = (220/10) 2^{1/2} / 2 = 15,56\text{V}$$

$$U_{bm} = 15,56 / (100 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^{-6}) = 1,556\text{V}$$

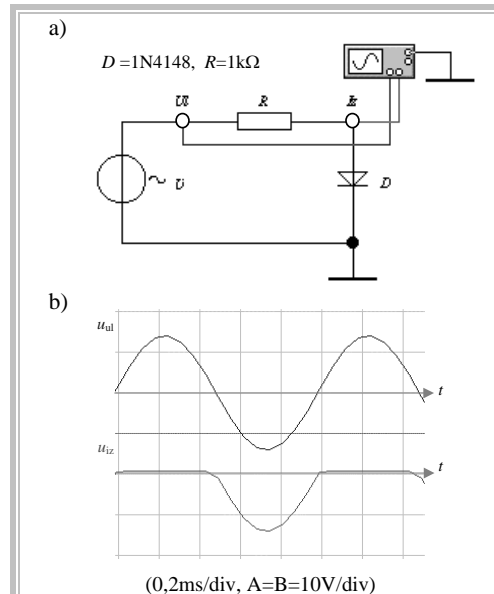
2.3. DIODNI OGRANIČAVAČI I RESTAURATORI

U elektronici je često potrebno ograničiti porast napona iznad određene vrijednosti. Sklopovi koji obavljaju tu funkciju nazivaju se ograničavači (engl. clipping circuits, limiting circuits, skraćeno clippers, odnosno limiters, njem. Begrenzerschaltung).

Neki električni i elektronički sklopovi imaju svojstvo da signalima oduzimaju istosmjernu komponentu (npr. RC-mreža). Kad je potrebno obnoviti (uspostaviti) istosmjernu komponentu, upotrebljavaju se restauratori (engl. restorer, njem. Klemmschaltung).

Paralelni diodni ograničavač

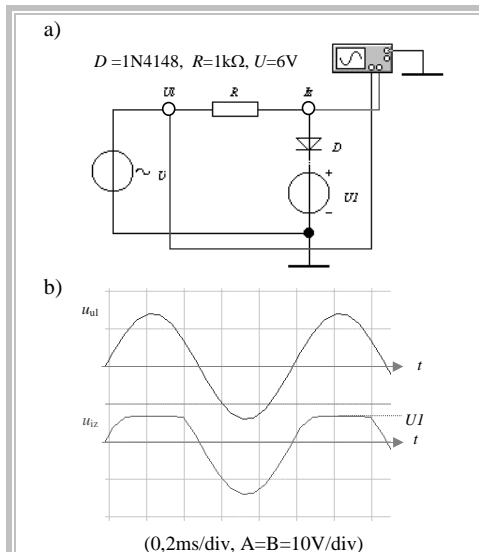
Pokus



Slika 2.17. Ograničavanje napona diodom

Na slici 2.17. pokazan je spoj diode i otpornika koji ograničava porast izlaznoga napona za vrijeme pozitivne poluperiode ulaznoga napona. Kako je dioda spojena paralelno izlazu, spoj se naziva paralelni ograničavač.

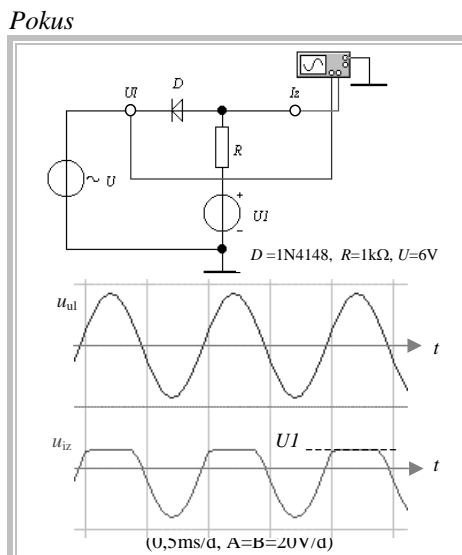
Pokus



Slika 2.18. Paralelni diodni ograničavač

Kod paralelnih diodnih ograničavača ulazni napon prenosi se na izlaz kad je dioda nevodljiva. Kad je dioda vodljiva, na izlazu je napon propusne polarizacije diode U_F . Ako se želi porast izlaznog napona ograničiti na neku vrijednost veću od U_F , dodaje se u seriju s diodom izvor napona U_I (slika 2.18.).

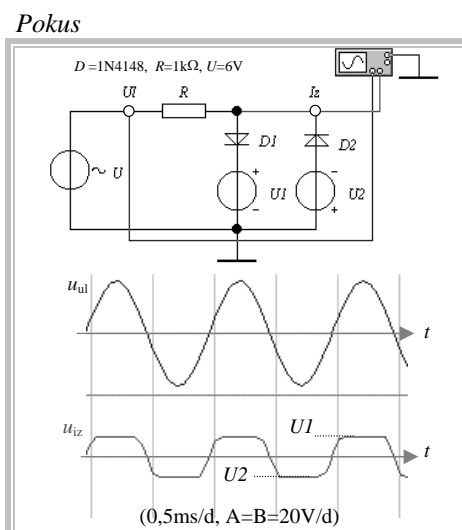
Serijski diodni ograničavač



Slika 2.19. Serijski diodni ograničavač

Isti učinak može se postići serijskim diodnim ograničavačem. Ulazni napon prenosi se na izlaz kad je dioda vodljiva. U protivnom je na izlazu napon U_I dodanog istosmjernog izvora (slika 2.19.)

Dvostrani ograničavač

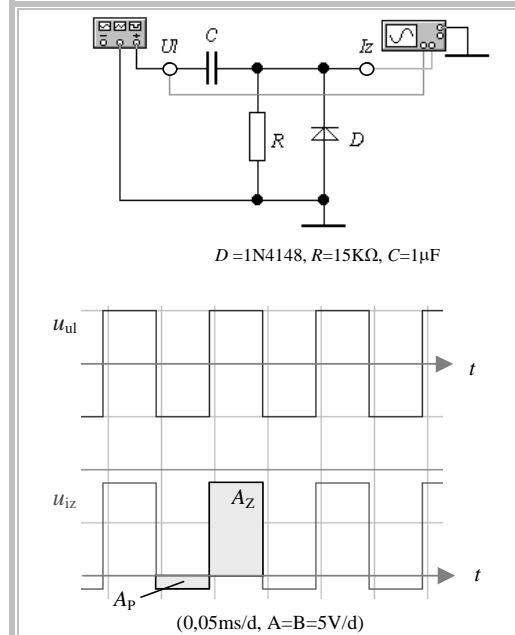


Slika 2.20. Dvostrani paralelni ograničavač

Kad je potrebno ograničiti napon na dvije razine, upotrebljavaju se dvostrani paralelni ograničavači (slika 2.20.).

Restauratori

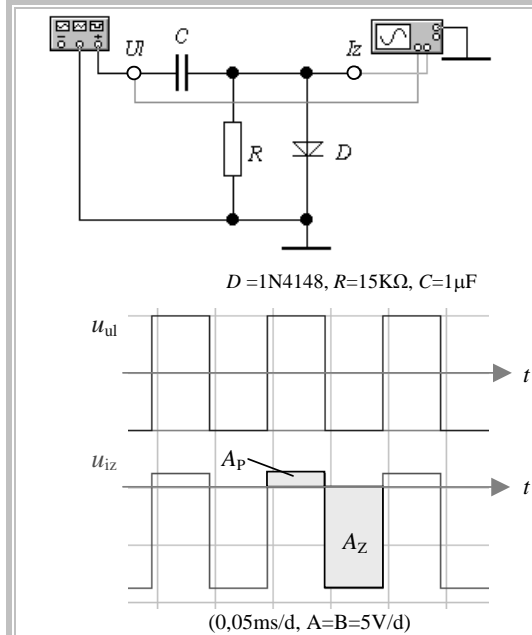
Pokus



Slika 2.21. Restaurator pozitivne komponente

Pokus sa slike 2.21. pokazuje djelovanje restauratora koji obnavlja pozitivnu istosmjernu komponentu.

Pokus



Slika 2.22. Restaurator negativne komponente

Pokus sa slike 2.22. pokazuje djelovanje restauratora koji obnavlja negativnu istosmjernu komponentu.

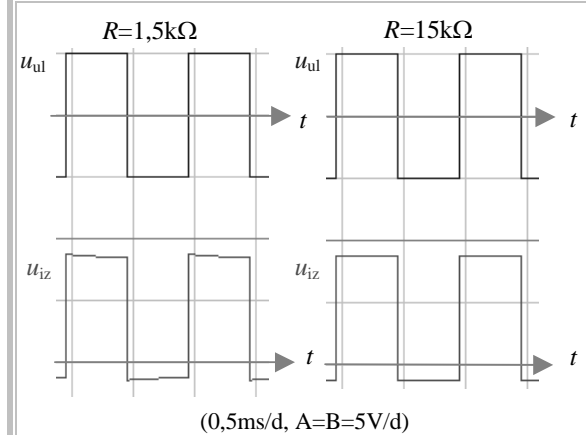
Izlazni napon restauratora nije u potpunosti samo pozitivan, odnosno samo negativan. Uzrok tome je odstupanje svojstava diodne sklopke od onih za idealnu sklopku.

Površina koju izlazni napon zatvara s vremenskom osi u vremenu kad je dioda propusno polarizirana prema površini koju izlazni napon zatvara s vremenskom osi u vremenu kad je dioda zaporno polarizirana, odnosi se kao otpor propusno polarizirane diode r_d prema otporu R (slika 2.21. i 2.22.).

$$\frac{A_p}{A_z} = \frac{r_d}{R}$$

Iz toga proizlazi da bi otpor R trebao biti što veći u usporedbi s otporom propusno polarizirane diode. Međutim, povećanje otpora R ograničeno je iznosima otpora zaporno polarizirane diode.

Pokus



Slika 2.23. Djelovanje restauratora pozitivne istosmjerne komponente

Rezultati pokusa pokazani na slici 2.23. pokazuju utjecaj iznosa otpora R na djelovanje restauratora.

2.4. ZENEROVA DIODA

Svojstva Zenerove diode

Zenerove diode su silicijske diode kod kojih se primjenjuje svojstvo da kod Zenerova (lavinskog) proboja održavaju stalan napon, praktički neovisan o struji kroz diodu.



Slika 2.24. Simboli Zenerove diode

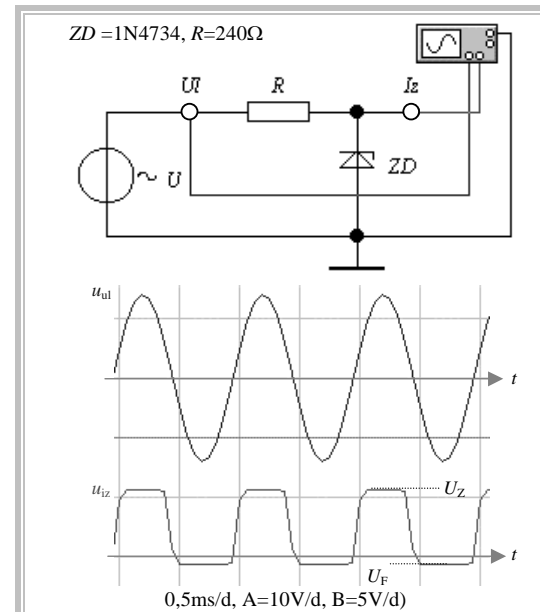


Slika 2.25. Primjeri izvedbi Zenerovih dioda

U pokusu na slici 2.26. na ulaz sklopa spojen je promjenljivi sinusoidni napon. Kad je ulazni napon negativan, Zenerova dioda je propusno polarizirana i na njoj je mali napon $-U_F$. Uz pozitivni ulazni napon manji od napona U_Z dioda je zaporno polarizirana i na njoj je napon izvora. Kad iznos ulaznoga napona

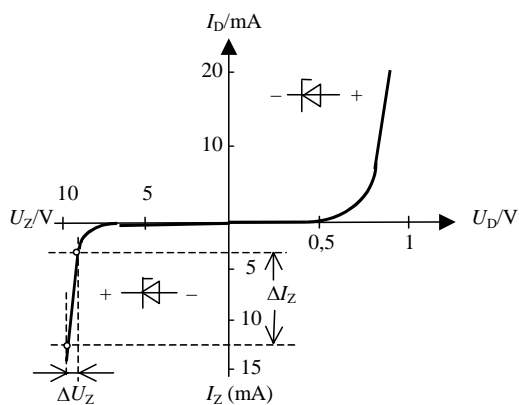
zadobije vrijednost veću od U_Z dioda prelazi u stanje lavinskoga proboja i na njoj je stalan napon U_Z .

Pokus



Slika 2.26. Pobuda Zenerove diode sinusoidnim naponom

Vrijednosti probojnoga napona Zenerovih dioda može se kontrolirati u tijeku procesa proizvodnje. To omogućuje da se proizvode diode s probojnim naponima od volta do nekoliko stotina volta. Dioda s probojnim naponom manjim od 5V nemaju oštro izražen probojni napon. Dioda s probojnim naponom ispod 5V imaju negativan temperaturni koeficijent (s porastom temperature smanjuje se Zenerov napon). Dioda sa Zenerovim naponom iznad 5V imaju pozitivan temperaturni koeficijent (s porastom temperature raste Zenerov napon).



Slika 2.27. Strujno-naponska karakteristika Zenerove diode

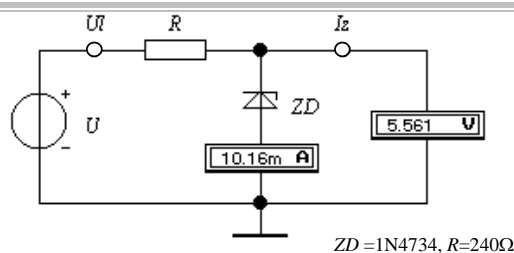
Dioda s većim probojnim naponom imaju veći unutarnji otpor. Unutarnji otpor Zenerove diode jest omjer promjene napona na diodi i promjene struje kroz diodu koja je dovela do promjene napona:

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$$

Zenerove diode upotrebljavaju se kao stabilizatori i ograničavači napona. Prilikom odabira Zenerovih dioda potrebno je voditi računa o najvećoj dopuštenoj struji diode u Zenerovu području I_Z , odnosno o dopuštenu utrošku snage. Iznosi dopuštenih utrošaka snage kreću se od nekoliko stotina milivata do nekoliko desetaka vata.

Stabilizacija napona sa Zenerovom diodom

Pokus



U (V)	5	6	7	8	9
U_Z (V)	5	5,54	5,61	5,64	5,68
I_Z (mA)	0	3,04	9,33	15,72	22,14

Slika 2.28. Stabilizacija napona sa Zenerovom diodom

Primjer uporabe Zenerove diode pokazan je na slici 1.28. Riječ je o najjednostavnijoj izvedbi stabilizatora napona. Izlazni je napon ovoga stabilizatora Zenerov napon U_Z . Kako promjene struje I_Z neznatno mijenjaju napon U_Z , izlazni napon može se smatrati stalnim.

Promjena ulaznoga napona uzrokuje promjenu struje Zenerove diode I_Z . Zato se mijenja pad napona na otporniku R , pa je izlazni napon gotovo konstantan.

$$U_i = U_u - I \times R = U_Z$$

Otpornik R služi za ograničenje struje Zenerove diode. Struja kroz diodu ne smije prijeći najveću dopuštenu vrijednost koja je propisao proizvođač kako ne bi došlo do oštećenja diode. No isto tako struja ne smije pasti ispod određene vrijednosti kad se počne smanjivati napon na diodi. Za siguran rad stabilizatora ulazni napon treba biti veći od izlaznoga oko dva puta.

ZADACI ZA LABORATORIJSKE VJEŽBE

VJEŽBA 2.1. POLUVALNI ISPRAVLJAČ

Zadatak

Upoznati svojstva poluvalnog ispravljača mjerenjem istosmjernoga napona i struje opterećenja univerzalnim instrumentom te napona brujanja uporabom osciloskopa.

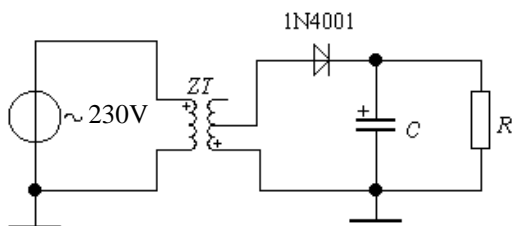
Ustanoviti utjecaj kapaciteta kondenzatora za glađenje na vrijednost istosmjernoga napona na izlazu i na napon brujanja te mogućnost opterećenja ispravljača.

Ustanoviti utjecaj opterećenja na vrijednost izlaznoga napona i napona brujanja.

Pribor i instrumenti

- diode 1N4001 (4 komada)
- otpornici 0,1k Ω , 0,47k Ω i 1k Ω
- kondenzatori 47 μ F, 100 μ F i 470 μ F
- eksperimentalna pločica i spojni vodovi
- univerzalni instrument (2 komada)
- osciloskop
- izvor izmjeničnoga napona 0-48V, 50Hz (regulacijski transformator).

Priprema



Slika 2.29. Poluvalni ispravljač

1. Navedite najveći dopušteni zaporni napon i najveću dopuštenu struju pri propusnoj polarizaciji za diodu 1N4001.

2. Izračunajte srednju vrijednost ispravljenoga napona ispravljača sa slike 2.29. bez spojenoga kondenzatora C uz napon na sekundarnom namotu transformatora $U_S=24V$.

3. Izračunajte napon brujanja izlaznoga napona ispravljača sa slike 2.29. uz $C=100\mu F$ ako je napon na sekundarnom namotu transformatora $U_S=24V$.

4. Nacrtajte shemu spoja poluvalnog ispravljača (slika 2.29.) s ucrtanim instrumentima za mjerenje izlazne struje te izlaznoga napona i napona brujanja.

Pokusi

1. Ispitivanje ovisnosti izlaznoga napona o kapacitetu kondenzatora za glađenje

1.1. Namjestite izlazni napon iz regulacijskoga transformatora na 24V. Prema nacrtanoj shemi povežite elemente sklopa i instrumente te priključite ulazni napon.

Izmjerite pad napona U_R i struju I_R kroz otpor $R=1k\Omega$ za vrijednosti kapaciteta kondenzatora C : 47 μ F, 100 μ F i 470 μ F. Rezultate mjerenja prikažite tablicom.

1.2. Osciloskopom ustanovite oblike ulaznoga i izlaznoga napona poluvalnog ispravljača za vrijednosti kapaciteta kondenzatora za glađenje C : 47 μ F, 100 μ F i 470 μ F. Izmjerite napon brujanja za svaki zadani kapacitet kondenzatora.

2. Ispitivanje ovisnosti izlazne struje i napona te valovitosti o otporu potrošača

2.1. Namjestite izlazni napon regulacijskoga transformatora na 24V. Prema nacrtanoj shemi povežite elemente i priključite napon napajanja.

Izmjerite izlazni napon i struju kroz otpor R za vrijednosti otpora 100 Ω , 470 Ω i 1k Ω . Rezultate mjerenja prikažite tablicom.

2.2. Osciloskopom ustanovite oblik ulaznoga i izlaznoga napona i izmjerite iznos napona brujanja za zadane vrijednosti otpora opterećenja R iz točke 2.1.

VJEŽBA 2.2. PUNOVALNI ISPRAVLJAČ

Zadatak

Upoznati svojstva punovalnog ispravljača mjerenjem istosmjernoga napona i struje opterećenja univerzalnim instrumentom te napona brujanja uporabom osciloskopa.

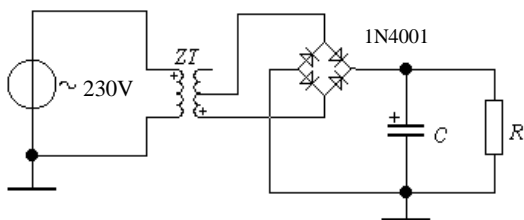
Ustanoviti utjecaj kapaciteta kondenzatora za glade-
nje na vrijednost istosmjernoga napona na izlazu i
napon brujanja te mogućnost opterećenja ispravljača.

Ustanoviti utjecaj opterećenja na vrijednost
izlaznoga napona i napona brujanja.

Pribor i instrumenti

- diode 1N4001 (4 komada)
- otpornici 100Ω, 470Ω i 1kΩ
- kondenzatori 47μF, 100 μF i 470 μF
- eksperimentalna pločica i spojni vodovi
- univerzalni instrument (2 komada)
- osciloskop
- izvor izmjeničnoga napona 0-48V, 50Hz (regulacijski transformator).

Priprema



Slika 2.30. Punovalni ispravljač

1. Navedite najveći dopušteni zaporni napon i najveću dopuštenu struju pri propusnoj polarizaciji za diodu 1N4001.
2. Izračunajte srednju vrijednost ispravljenoga napona ispravljača sa slike 2.30. bez spojenoga kondenzatora C uz napon na sekundarnom namotu transformatora $U_S = 24V$.
3. Izračunajte napon brujanja izlaznoga napona ispravljača sa slike 2.30. ako je napon na sekundarnome namotu transformatora $U_u = 24V$.
4. Nacrtajte shemu spoja punovalnog ispravljača (slika 2.30.) s ucrtanim instrumentima za mjerenje izlazne struje te izlaznoga napona i napona brujanja.

Pokusi

1. Ispitivanje ovisnosti izlazne struje i napona te valovitosti o kapacitetu kondenzatora za glade- nje

1.1. Namjestite izlazni napon iz regulacijskoga transformatora na 24V. Prema nacrtanoj shemi povežite elemente sklopa i instrumente te priključite ulazni napon.

Izmjerite pad napona U_R i struju I_R kroz otpor $R=1k\Omega$ za vrijednosti kapaciteta kondenzatora C : 47μF, 100μF i 470μF. Rezultate mjerenja prikažite tablicom.

1.2. Osciloskopom ustanovite oblike ulaznoga i izlaznoga napona poluvalnog ispravljača za vrijednosti kapaciteta kondenzatora za glade-
nje C : 47μF, 100μF i 470μF. Izmjerite napon brujanja za svaki zadani kapacitet kondenzatora.

2. Ispitivanje ovisnosti izlazne struje i napona te valovitosti o otporu potrošača

2.1. Namjestite izlazni napon regulacijskoga transformatora na 24V. Prema nacrtanoj shemi povežite elemente i priključite napon napajanja.

Izmjerite izlazni napon i struju kroz otpor R za vrijednosti otpora 100Ω, 470Ω i 1kΩ. Rezultate mjerenja prikažite tablicom.

2.2. Osciloskopom ustanovite oblik ulaznoga i izlaznoga napona i izmjerite iznos napona brujanja za zadane vrijednosti otpora opterećenja R iz točke 2.1.

VJEŽBA 2.3. STABILIZACIJA NAPONA SA ZENEROVOM DIODOM

Zadatak

Upoznati stabilizatorsko djelovanje Zenerove diode mjerenjem napona i struja jednostavnoga stabilizatora napona izvedenoga s pomoću Zenerove diode. Ustanoviti ovisnost izlaznoga napona o promjenama ulaznoga napona i promjenama struje opterećenja.

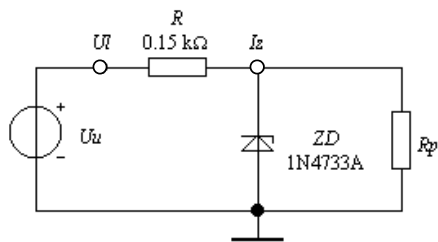
Pribor i instrumenti

- Zenerova dioda 1N4733
- otpornici 150Ω, 330Ω, 470Ω, 680Ω i 1kΩ
- eksperimentalna pločica i spojni vodovi
- univerzalni instrument (3 komada)
- izvor istosmjernoga napona 0-15V, 1A.

Priprema

1. Navedite Zenerov napon, dopuštenu struju i dopušteni utrošak snage za diodu 1N4733.

2. Nacrtajte shemu stabilizatora sa Zenerovom diodom prema slici 2.31. opterećenog otporom R_P i spojenim instrumentima za mjerenje ulaznoga i izlaznoga napona te struja kroz diodu i trošilo.



Slika 2.31. Stabilizator s diodom 1N4733

Pokusi**1. Ovisnost izlaznoga napona o promjenama ulaznoga napona**

1.1. Povežite elemente stabilizatora i instrumente prema shemi. Na ulaz priključite izvor promjenljivog istosmjernog napona i izmjerite vrijednosti izlaznoga napona te struje kroz diodu i trošilo za vrijednosti ulaznoga napona $U_u = 5V, 6V, 7V, 8V, 9V$ i $10V$.

1.2. Grafički prikažite ovisnost izlaznoga napona o promjenama ulaznoga napona.

2. Ovisnost izlaznoga napona o promjenama struje opterećenja

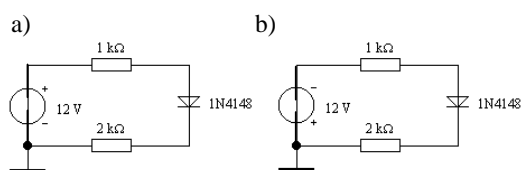
2.1. Na ulaz stabilizatora priključite izvor istosmjernog napona $10V$ i izmjerite vrijednosti izlaznoga napona te struje kroz diodu i trošilo za vrijednosti otpora $R_P = 330\Omega, 470\Omega, 680\Omega$ i $1k\Omega$.

2.2. Grafički prikažite ovisnost izlaznoga napona o promjenama opterećenja.

PITANJA I ZADACI ZA PONAVLJANJE I PROVJERU ZNANJA

1. Kada se dioda može smatrati isključenom, a kada uključenom sklopkom?

2. Koliko približno iznose jakosti struja kroz diode i padovi napona na otpornicima spoja dioda i otpornika sa slike 2.32.?



Slika 2.32. Serijski spoj otpornika i diode

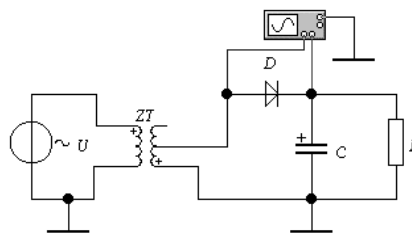
3. Kakav je utjecaj kapaciteta kondenzatora za glađenje na iznos izlaznoga napona i struje ispravljača?

4. Kakav je utjecaj kapaciteta kondenzatora za glađenje na iznos napona brujanja?

5. Kakav je utjecaj opterećenja na izlazni napon ispravljača?

6. Kakav je utjecaj opterećenja na iznos napona brujanja?

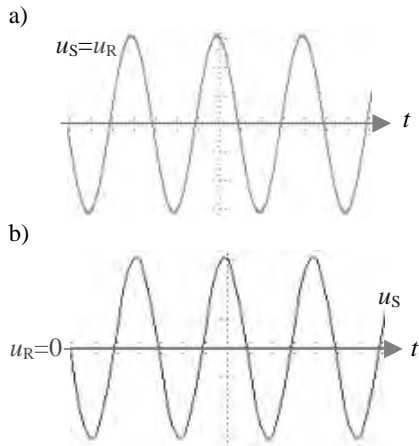
7. Koliki treba biti kapacitet kondenzatora C da napon brujanja izlaznoga napona ispravljača sa slike 2.33. ne bude veći od $500mV$ uz napon $24V$ na sekundarnom namotu transformatora i $R=1k\Omega$?



Slika 2.33. Mjerenje na poluvalnom ispravljaču

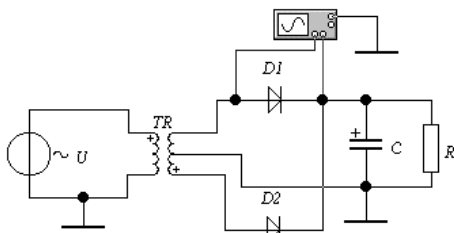
8. Mjerenjem napona prema slici 2.33. dobiven je napon pokazan na slici 2.34.a. Koja je komponenta u kvaru?

9. Mjerenjem napona prema slici 2.33. dobiven je napon pokazan na slici 2.34.b. Koja je komponenta u kvaru?



(u_S - napon na sekundaru transformatora)
Slika 2.34. Oscilogrami napona na neispravnomu ispravljaču

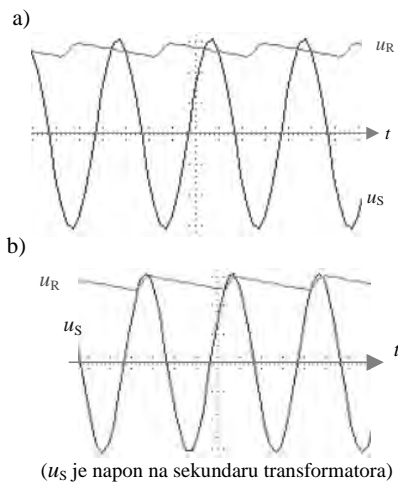
10. Koliki treba biti kapacitet kondenzatora C da napon brujanja izlaznoga napona ispravljača sa slike 2.35. ne bude veći od 500mV uz napon 24V na sekundarnom namotu transformatora i $R=1k\Omega$?



Slika 2.35. Mjerenje na poluvalnom ispravljaču

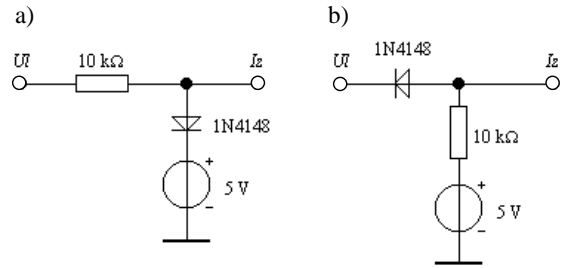
11. Mjerenjem napona prema slici 2.35. dobiven je napon pokazan na slici 2.36.a. Koja je komponenta u kvaru?

12. Mjerenjem napona prema slici 2.35. dobiven je napon pokazan na slici 2.36.b. Koja je komponenta u kvaru?



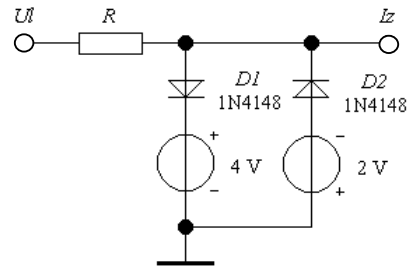
(u_S je napon na sekundaru transformatora)
Slika 2.36. Oscilogrami napona na neispravnomu ispravljaču

13. Nacrtajte oblike izlaznoga napona diodnih ograničavača sa slike 2.37. pobuđenoga sinusoidnim naponom frekvencije 1kHz i amplitude 6 V.



Slika 2.37. Diodni ograničavači

14. Usporedite međusobno djelovanje ograničavača sa slike 2.37.



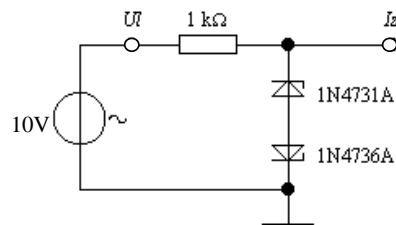
Slika 2.38. Dvostrani diodni ograničavač

15. Nacrtajte oblike izlaznoga napona diodnog ograničavača sa slike 2.38. pobuđenoga sinusoidnim naponom frekvencije 1kHz i amplitude 6 V.

16. Opišite djelovanje stabilizatora sa Zenerovom diodom uz promjene struje opterećenja. Što je kritičnije za Zenerovu diodu, neopterećen ili kratko spojeni izlaz?

17. Kakav će biti izlani napon spoja Zenerovih dioda prema slici 2.39. ako je na ulaz priključen izmjenični napon frekvencije 1kHz i amplitude 10V?

18. Kolika je vršna vrijednost struje kroz diode spoja sa slike 2.39. ako izlaz nije opterećen?



Slika 2.39. Spoj dvaju Zenerovih dioda

19. Kako vrijednost otpora R restauratora utječe na njegovo djelovanje i oblik izlaznoga napona?