

Snabdijevanje električnom energijom

SNABDIJEVANJE INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

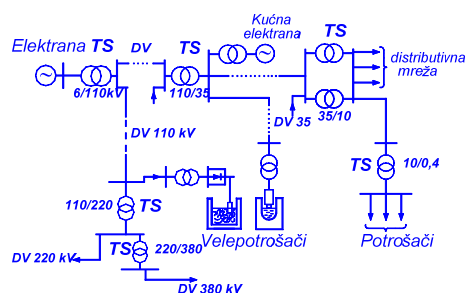
5. SNABDIJEVANJE INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

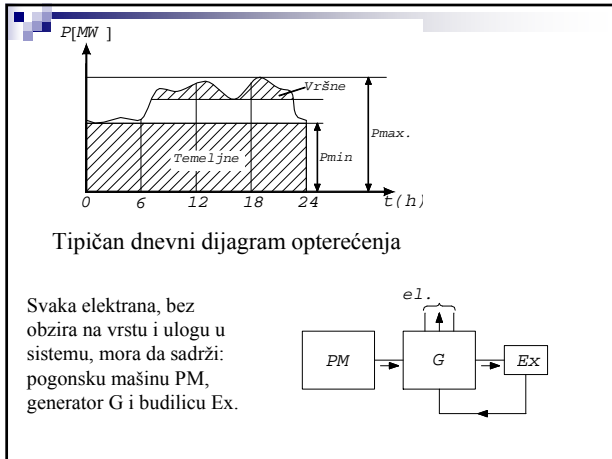
Električna energija predstavlja najplemenitiji oblik energije, jer je moguća njena efikasna konverzija u mehaničku, toplotnu, hemijsku i svjetlosnu energiju. Ni jedan drugi oblik energije ne može zadovoljiti tako raznorodne potrebe industrijskih postrojenja kao što to može električna energija. Stoga, svako industrijsko postrojenje koristi električnu energiju. Snabdijevanje električnom energijom moguće je iz sopstvenog izvora ili iz **elektroenergetskog sistema**. Sopstveni izvori se koriste samo u rjeđim slučajevima.

Elektroenergetskim sistemom nazivamo skup uređaja, od postojenja za proizvodnju električne energije do uključivo potrošača električne energije.

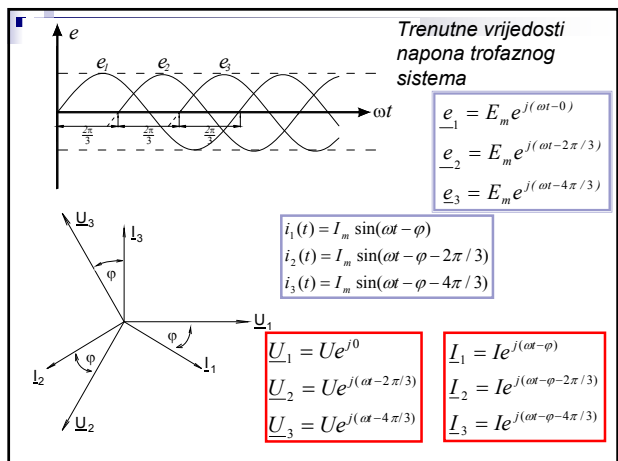
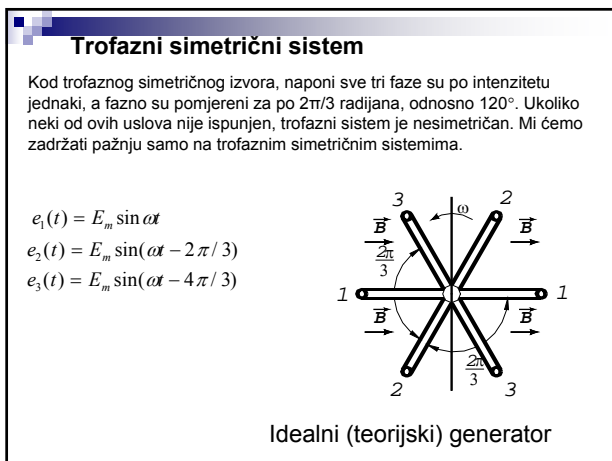
Elektroenergetski sistem se sastoji iz sljedećih glavnih dijelova:

- elektrana za proizvodnju električne energije,
- stanica za razvod i transformaciju električne energije, ili samo za razvod,
- vodova za prenos i distribuciju električne energije.





Ekonomičnost prenosa električne energije od elektrane do potrošača, zahtjeva da se prenos vrši sa višim naponima i slabijim strujama. Prenešena snaga, tj. prenešena energija u jedinici vremena, jednaka je proizvodu napona i jačine struje. Gubici energije u prenosnim vodovima nastaju uslijed Džulovih gubitaka, dakle, srazmjerni su sa kvadratom struje u vodu. Očigledno, ista snaga će biti prenešena uz manje gubitke ako se prenosi sa višim naponom. Generatori, po pravilu, ne mogu da daju napon pogodan za prenos energije. Zbog toga se u neposrednoj blizini elektrane grade stanice za transformaciju i razvod (trafo-stanice -TS). Isto tako, visoki napon, koji vlada na prenosnim vodovima -**dalekovodima**, nije pogodan za direktno priključenje na potrošače. Zbog toga se u blizini potrošača takođe grade TS. Uređaji koji vrše ove preobražaje (transformacije) napona nazivaju se **uzlazni transformatori** (zadatak im je da povećavaju napon), a oni koji se nalaze blizu potrošača nazivaju se **silazni transformatori** (zadatak im je da snize napon dalekovoda na niži napon, pogodan za distribuciju i potrošače).



Trofazno simetrično kolo sa vezama izvora i prijemnika u zvijezdu.

$$U_{112} = U_{f1} - U_{f2};$$

$$U_{123} = U_{f2} - U_{f3};$$

$$U_{131} = U_{f3} - U_{f1}$$

$$I_l = I_f$$

$$U_l = \sqrt{3}U_f$$

Trofazno simetrično kolo vezano u trougao

$$U_l = U_f ; \quad I_l = \sqrt{3}I_f$$

Snage trofaznog sistema

$$p(t) = p_1(t) + p_2(t) + p_3(t)$$

$$p_1(t) = u_1 i_1 = \sqrt{2}U_f \sin \omega t \cdot \sqrt{2}I_f \sin(\omega t - \varphi) = U_f I_f (\cos \omega t - \cos(2\omega t - \varphi))$$

$$p_2(t) = u_2 i_2 = \sqrt{2}U_f \sin(\omega t - 2\pi/3) \cdot \sqrt{2}I_f \sin(\omega t - \varphi - 2\pi/3) = U_f I_f (\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi - 4\pi/3))$$

$$p_3(t) = u_3 i_3 = \sqrt{2}U_f \sin(\omega t - 4\pi/3) \cdot \sqrt{2}I_f \sin(\omega t - \varphi - 4\pi/3) = U_f I_f (\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi - 8\pi/3))$$

$$p(t) = P = 3U_f I_f \cos \varphi$$

$$U_l = \sqrt{3}U_f ; \quad I_l = I_f$$

$$P = 3 \frac{U_l}{\sqrt{3}} I_l \cos \varphi = \sqrt{3}U_l I_l \cos \varphi$$

$$\underline{S} = 3U_f I_f \cos \varphi + j3U_f I_f \sin \varphi = P + jQ \quad [\text{VA}]$$

$$P = 3U_f I_f \cos \varphi = \sqrt{3}U_l I_l \cos \varphi \quad [\text{W}]$$

$$Q = 3U_f I_f \sin \varphi = \sqrt{3}U_l I_l \sin \varphi \quad [\text{VAr}]$$

Elektronika

Osnovni pojmovi

Pojam elektronike

Elektronika je oblast elektrotehnike koja se bavi proizvodnjom, prenosom i obradom električnih signala

- Signal je nosilac informacije
 - Analogne informacije
 - Digitalne informacije

- Elektronika
 - Analogni elektronika
 - Digitalna elektronika

Analogni signali

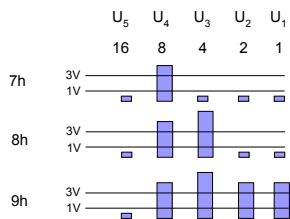
- Jedna električna veličina opisuje jedan signal
- Male vrijednosti napona i struja
- Velika osjetljivost na šum
- Ne obaziremo se na koeficijent korisnog dejstva

Analogni elektronski signali

- Jednosmjerne struje obezbeđuju rad elektronskih kola
- Signali su promjenljivi, pa i struje moraju biti promjenljive
- Struje u elektronici su **promjenljive jednosmerne struje**

Digitalni signali

Temperatura		
broj	temp[°C]	temp[°F]
1	7	8
2	8	12
3	9	15
4	10	17
5	11	18
6	12	18



- Jedna električna veličina opisuje jednu cifru (0 ili 1)
- Jedan signal se opisuje sa više cifara
- Smanjena osjetljivost (praktično neosjetljiv) na šum

Komponente elektronskih kola

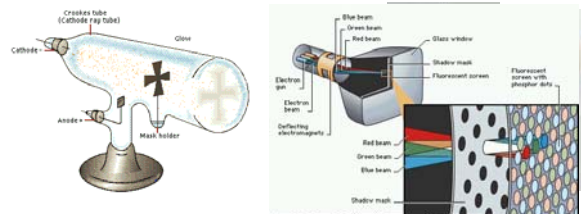
- Linearne elektronske komponente
 - Rad ovih komponenti se opisuje linearnim diferencijalnim jednačinama
 - Otpornici, kalemovi, kondenzatori
- Nelinearne elektronske komponente
 - Strujno naponska zavisnost je nelinearna
 - Diode, tranzistori, ...

Nelinearne elektronske komponente

- Elektronske cijevi
- Poluprovodničke komponente

Nelinearne elektronske komponente

- Elektronske cijevi
 - Struja elektrona koja protiče kroz vakuum
 - Struja elektrona potiče iz usijane negativno naelektrisane žice - katode



Nelinearne elektronske komponente

- Elektronske cijevi
 - Prednosti
 - Mali šum
 - Otpornost na radioaktivno zračenje
 - Nedostaci
 - Velike dimenzije
 - Velika potrošnja energije
 - Osjetljivost na udar
 - Skupa proizvodnja
 - Primjena
 - Vojna elektronika
 - Hi-fi audio uređaji ekstremnog kvaliteta reprodukcije

Nelinearne elektronske komponente

- Poluprovodničke komponente
 - Poluprovodnici su izolatori u kojima pod dejstvom spoljašnjih uticaja nastaju pokretna naelektrisanja
 - Elementi četvrte grupe periodnog sistema (silicijum i germanijum)
 - Jedinjenja elemenata III i V grupe, ili II i VI grupe
 - Hemijskom obradom stvaramo u njima naelektrisanja u onoj mjeri u kojoj to želimo !!! (to kod metala ne možemo)
 - Negativna naelektrisanja – elektroni (n poluprovodnici)
 - Pozitivna naelektrisanja – šupljine (p poluprovodnici)
 - Prema želji, ostavljamo neobrađen da bude izolator
 - Cijelo kolo od jednog materijala !!!



... i to najjeftinijeg, jer je zemljina kora (pijesak) sastavljena od silicijuma

Nelinearne elektronske komponente

- Poluprovodničke komponente
 - Prednosti
 - Minimalna cijena
 - Male dimenzije
 - Mala potrošnja energije
 - Robusne
 - Nedostaci
 - Šum nešto veći nego kod elektronskih cijevi
 - Osjetljivije na NEKE spoljašnje promene (temperatura, radioaktivno zračenje)
 - Primjena
 - Svuda

Elektronika

Elektronska kola

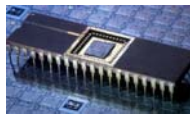
Elektronska kola

- Diskretna elektronska kola
 - Sastavljena od prethodno proizvedenih komponenti
 - Velike dimenzije
 - Popravljiva i podesiva



- Integrisana elektronska kola

- Sve komponente kola se proizvode istovremeno
- Minijaturne dimenzije
- Velika gustina komponenti
- Teži se smanjenju proizvedene toplote



- Hibridna elektronska kola



Elektronska kola

- Pasivna elektronska kola

- Koriste energiju signala za svoj rad
- Podjela pasivnih kola
 - pasivna linearna kola (sadrže samo linearne komponente: otpornike, kondenzatore i kalemove)
 - pasivna nelinearna kola (sadrže bar jednu nelinearnu komponentu)

- Aktivna elektronska kola

- Potrebna je dopunska energija za njihov rad (sadrže komponente kojima je potrebno napajanje, a to su tranzistori i operacioni pojačavači)
- Sva aktivna kola su nelinearna

Napajanje elektronskih kola

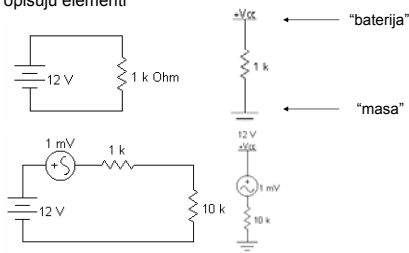
- Konstantno jednosmjerno napajanje, smatramo idealnim naponskim generatorima, jer su najmanje impedanse elektronskih komponenti reda kilooma
- Ima i važnu ulogu obezbjeđivanja referentnih potencijala
 - potencijal polova napajanja je konstantan, ne mijenja se tokom rada
 - za jedan od njih, obično onaj koji ima manji potencijal (minus) se uzima da ima vrijednost nula, i taj kraj se naziva **masa** (ponekad i **zemlja**), na sličan način kao što se nivo mora uzima za nulti nivo visine
 - Svi ostali potencijali u kolu se računaju u odnosu na taj potencijal
 - **SVI NAPONI U KOLU SU MANJI OD NAPONA IZMEĐU POLOVA NAPAJANJA** (kao što je i svaka visina između dve tačke na rijeci manja od visine između izvora i ušća reke)
 - **SVI POTENCIJALI U KOLU MORAJU BITI MANJI OD POTENCIJALA POZITIVNOG KRAJA NAPAJANJA** (kao što izvor mora imati najveću visinu od svih tačaka na jednoj rijeci)

Izvori elektronskih signala

- Signal generatori, prijemnici (antene) i pretvarači (senzori)
- I oni su izvori električne struje ali:
 - realni, a ne idealni (imaju velike unutrašnje impedanse)
 - promjenljivog a ne konstantnog potencijala (stvaraju mali signal)

Predstavljanje elektronskih kola

- Veliki broj elemenata
- Ekonomisanje u prikazivanju
 - ne prikazuju se konture, koje sadrže napajanje, već samo njihovi elementi
 - ne prikazuju se jedinice već samo vrijednosti veličina kojima se opisuju elementi



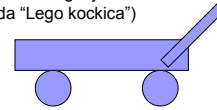
Proračuni elektronskih kola

- Principijelno jednostavniji
- Rijetko se traže tačne vrijednosti napona i struja u kolu, već su od interesa njihove međusobne zavisnosti, odnosno kako promjena jedne od struja ili napona utiče na neku drugu struju ili napona
- Rijetko, skoro nikada se ne koristi metoda Kirhofovih zakona
- Obično se koriste Omov zakon i ekvivalentne transformacije

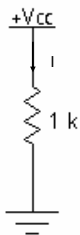
$$I_{xy} = \frac{V_x - V_y}{R_{xy}}$$

$$i_{xy} = \frac{v_x - v_y}{R_{xy}}$$

- Mnogo se koristi i razlaganje kola na blokove kojima je poznata funkcija (metoda "Lego kockica")



Proračuni elektronskih kola



$$I = \frac{12V - 0V}{1k\Omega} = 12mA$$

Elektronika

Pasivne linearne komponente i pasivna linearna elektronska kola

Pasivne linearne elektronske komponente

- Otpornici, kalemovi i kondenzatori
- Otpornici
 - imaju velike vrednosti, da bi se smanjilo generisanje toplote ($Q=U^2/R$)
 - otpornici velikih vrednosti imaju male dimenzije, što je pogodno za minijaturizaciju
- Kondenzatori
 - u principu kapacitivnost od reda pikofarada do nanofarada, male dimenzije
- Kalemovi
 - ne mogu da se proizvedu od poluprovodnika
 - imaju velike dimenzije ako su od bakarne žice sa jezgrom

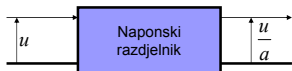


Pasivna linearna elektronska kola

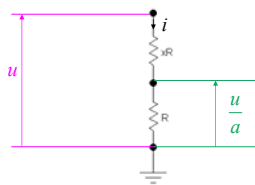
- Vrste
 - Razdjelnici
 - naponski razdjelnici
 - strujni razdjelnici
 - Filtri
 - niskofrekventni
 - visokofrekventni
 - propusnici opsega
 - prigušnici opsega

Razdjelnici

■ Naponski razdjelnik



$$u \rightarrow \frac{u}{a}$$



$$i = \frac{u-0}{R+xR} = \frac{u}{(1+x)R}$$

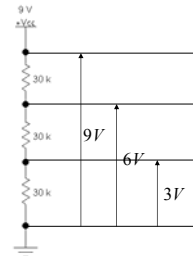
$$\frac{u}{a} = Ri = R \frac{u}{(1+x)R} = \frac{u}{(1+x)}$$

$$a = 1+x \Leftrightarrow x = a-1$$

Razdjelnici

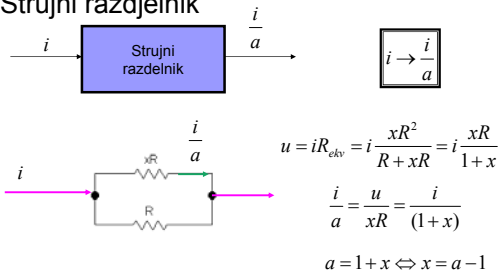
■ Naponski razdjelnik

- mnogo se koristi da se dobiju svi potrebni naponi polazeći od napona napajanja



Razdjelnici

Strujni razdjelnik



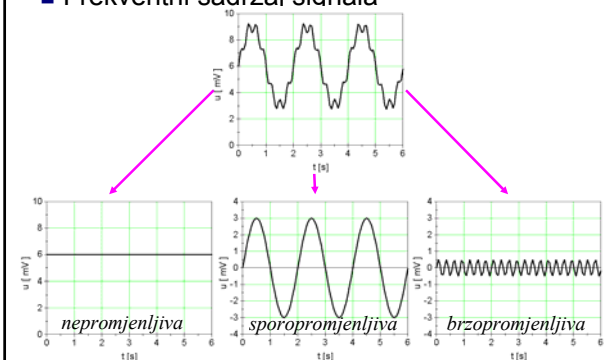
- Strujni signali nisu pogodni za obradu, ali su pogodni za prenos provodnicima

Filtri

- Elektronska kola čija je namjena da mijenjaju frekventni sadržaj signala
- Najčešća primjena – uklanjanje nepoželjno nastalih napona (šumova)
- Elektronski filter se različito ponaša prema signalima različitih frekvencija
- Elektronski filteri imaju impedansu koja zavisi od frekvencije (ne mogu da se naprave samo od otpornika)

Filtri

Frekventni sadržaj signala



Filtri

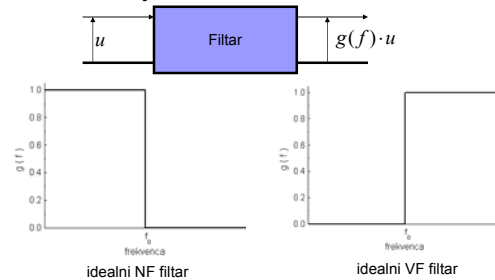
- Frekventni sadržaj signala
 - Izraženo brzinom promjene
 - nepromjenljiva komponenta
 - sporopromjenljiva komponenta
 - brzopromjenljiva komponenta
 - Izražemo frekvencijom
 - jednosmjerna ($f=0$)
 - niskofrekventna komponenta
 - visokofrekventna komponenta

Filtri

- Prema namjeni
 - niskofrekventni (NF ili LF)
 - propuštaju niskofrekventne, a ne propuštaju visokofrekventne komponente signala
 - visokofrekventni (VF ili HF)
 - propuštaju visokofrekventne, a ne propuštaju niskofrekventne komponente signala
 - propusnici opsega ("band pass")
 - propuštaju frekvencije u nekom opsegu, a niže frekvencije i više frekvencije ne propuštaju
 - prigušnici opsega ("band stop")
 - prigušuju frekvencije u nekom opsegu, a niže frekvencije i više frekvencije propuštaju

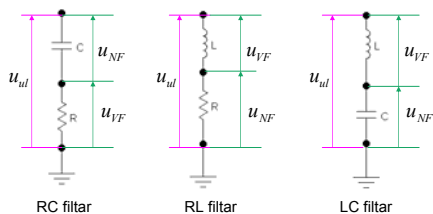
Filtri

- Prema namjeni



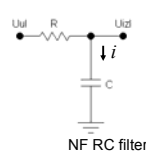
Filtri

- Prema elementima koje koristi
 - RC filtri
 - RL filtri
 - LC filtri
- Najjednostavniji filtri su razdjelnici naizmjeničnog napona



RC filter

- Najjednostavniji i najčešći jer su mu dimenzije male



$$g(f) = \frac{V_{izl}}{V_{ul}}$$

$$i = \frac{V_{ul} - 0}{Z_R + Z_C} = \frac{V_{ul}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega C}{1 + j\omega RC} V_{ul}$$

$$V_{izl} = Z_C i = \frac{1}{j\omega C} i = \frac{1}{1 + j\omega RC} V_{ul}$$

$$g(f) = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_0}}$$

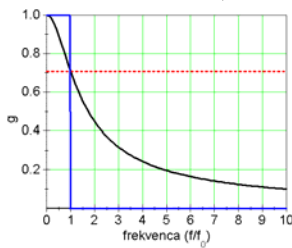
- Za frekvencije $f \ll f_0$ (niske frekvencije): $g(f) \approx 1$
- Za frekvencije $f \gg f_0$ (visoke frekvencije): $g(f) \approx 0$
- f_0 se naziva **granična frekvencija filtra**

$$\omega_0 = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$$

RC filtar

■ Prenosna karakteristika filtra g(f)

$$g(f) = \frac{1}{1 + j\frac{f}{f_0}} \Rightarrow |g(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}} \quad |g(f)| < 1 \quad g - \text{slabljenje filtra}$$

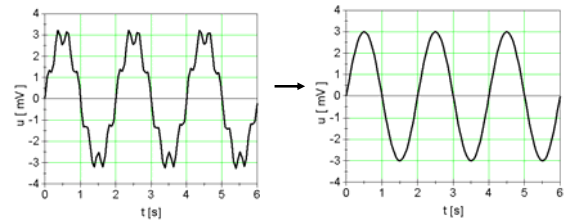


- $f < f_0/10 \rightarrow g > 0.99$
- $f > 10f_0 \rightarrow g < 0.1$
- Skoro idealno radi za frekvencije 10 puta veće ili manje od granične
- Treba izabrati graničnu frekvenciju desetak puta manju od one koje hoćemo da prigušimo

RC filtar

■ Primjena

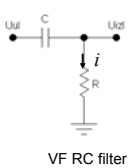
- prigušenje visokofrekventnih smetnji pri mjerenjima
- uklanjanje "talasanja" kod ispravljača



RC filtar

■ VF filtar

- sve je upravo obrnuto od NF filtra



VF RC filter

$$g(f) = \frac{V_{ul}}{V_{ul}} = \frac{V_{ul} - 0}{Z_R + Z_C} = \frac{V_{ul}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega C}{1 + j\omega RC} V_{ul}$$

$$V_{ul} = Z_R i = R i = \frac{j\omega C R}{1 + j\omega RC} V_{ul}$$

$$g(f) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} = \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau} = \frac{1}{1 - j\frac{\omega_0}{\omega}} = \frac{1}{1 - j\frac{f_0}{f}}$$

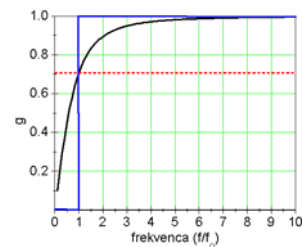
- Za frekvencije $f < f_0$ (niske frekvencije): $g(f) \approx 0$
- Za frekvencije $f \gg f_0$ (visoke frekvencije): $g(f) \approx 1$
- f_0 se naziva **granična frekvencija filtra**

$$\omega_0 = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$$

RC filtar

■ Prenosna karakteristika filtra g(f)

$$g(f) = \frac{1}{1 - j\frac{f_0}{f}} \Rightarrow |g(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}} \quad |g(f)| < 1 \quad g - \text{slabljenje filtra}$$

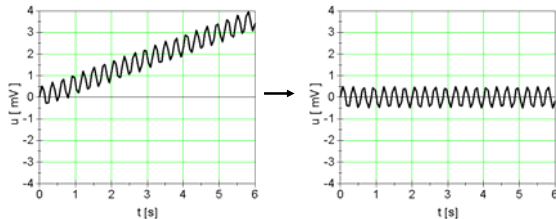


- $f < f_0/10 \rightarrow g < 0.1$
- $f > 10f_0 \rightarrow g > 0.99$
- Skoro idealno radi za frekvencije 10 puta veće ili manje od granične
- Treba izabrati graničnu frekvenciju desetak puta veću od one koje hoćemo da prigušimo

RC filter

■ Primena VF filtra

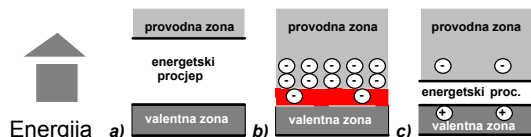
- uklanjanje uticaja nestabilnosti napajanja pri mjerenjima, u audio-sistemima (brujanje zvučnika) i drugim primjenama



6. ELEKTRONIKA

Elektronika je oblast elektrotehnike u kojoj se proučavaju zakonitosti i efekti proticanja nosilaca elektriciteta kroz provodnike, poluprovodnike, gasove ili vakum. U elektronskim kolima nosioci elektriciteta mogu da se kreću unilaterano – u jednom smjeru. Pri tome, ne važi linearna relacija između napona i struje, kao što je važio Ohm zakon u R, L, C kolima, pri bilateralnom kretanju elektrona kroz metalne provodnike.

U prvom periodu razvoja elektronike osnovni elementi u elektronskim kolima bile su vakumske ili gasne **elektronske cijevi**, koje su danas, zahvaljujući razvoju tehnologije, skoro potpuno ustupile mjesto **poluprovodničkim elektronskim elementima i sklopovima**, koji imaju više prednosti i pružaju više mogućnosti različitih tehničkih primjena.



Šematski prikaz energetske zone:

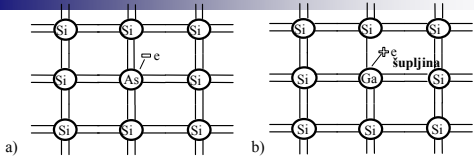
a) Dielektrika; b) Provodnika; c) Poluprovodnika.

Poluprovodnici su čvrsti materijali, čija se vrijednost specifične električne otpornosti nalazi između otpornosti provodnika i dielektrika, i reda je od $10^3 \Omega\text{m}$ do $10^{-2} \Omega\text{m}$. Od niza poluprovodničkih materijala u elektrotehničkoj primjeni su tipični silicijum i germanijum.

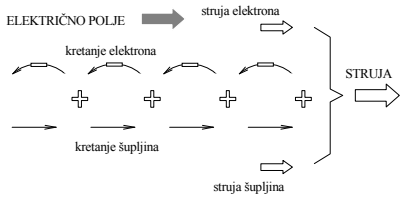
n-tip i p-tip poluprovodnika

Povećanje električne provodnosti u praksi se postiže dodavanjem određene primjese (nečistoće) poluprovodniku visoke čistoće. Dodavanjem hemijskih primjesa čak i u tragovima $1:10^6$, postiže se znatno povećanje provodnosti. Ovakva provodnost se naziva **primjesna provodnost** poluprovodnika.

Čisti poluprovodnici, npr., germanium (Ge) i silicijum (Si), su četvorvalentni elementi, a primjese treba da budu petovalentni (donori) ili trovalentni (akceptori) elementi.



Površinska šema obrazovanja primjesne provodnosti kod silicijuma:
a) Sa primjesom astatana; b) Sa primjesom galijuma.

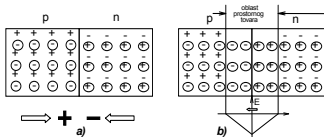


6.2 Poluprovodničke komponente

Poluprovodničkim komponentama nazivamo: diode, tranzistore, tiristore i druge elemente koji se proizvode na bazi poluprovodničkih materijala. One se mogu, sasvim generalno, podijeliti u dvije grupe; **aktivne i pasivne komponente**. Aktivne imaju osobinu da pojačavaju signale. Pojačanje se vrši na račun energije spoljnog izvora koji napaja komponentu i obezbjeđuje joj normalan rad. Pasivne komponente ne pojačavaju signale, ali imaju važnu ulogu u obradi vremenski promjenljivih signala.

Poluprovodničke komponente se proizvode kao diskretne i kao integrisane. Diskretna komponenta je element od određenog tipa osnovnog elementa kao što su dioda, tranzistor itd. Integrisana komponenta je jedinstveni kristal poluprovodnika u kome su, posebnom tehnologijom, zajedno napravljeni osnovni poluprovodnički elementi istog i različitog tipa zajedno sa otpornicima, kondenzatorima i njihovim zajedničkim vezama.

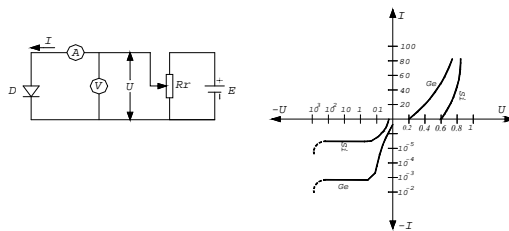
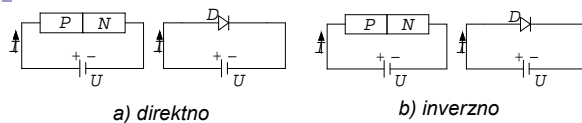
6.2.1 Dioda



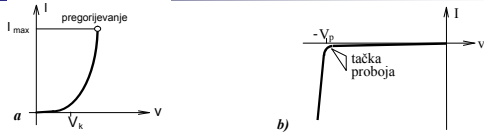
p-n spoj. a) Trenutak stvaranja; b) Oblast prostornog tovara.

Na sobnoj temperaturi (uz uobičajenu koncentraciju primjesa), razlika potencijala ove barijere iznosi oko 0,2V za germanijumske, odnosno oko 0,6V silicijumske za diode.

Polarisanje dioda



Šema mjerenja karakteristika i karakteristike diode



Karakteristika diode: a) Direktna polarizacija; b) Inverzna polarizacija.

Parametri diode

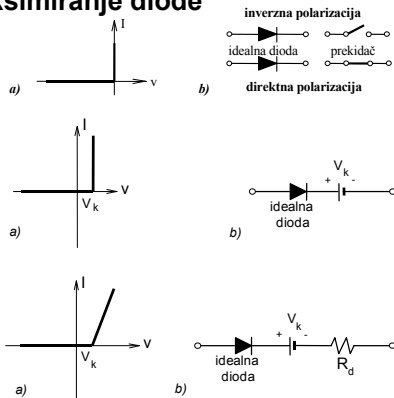
Parametri diode su veličine koje karakterišu ponašanje diode. Osnovni parametar diode je njena **inverzna struja zasićenja**, koja se kreće od 10^{-8} do 10^{-2} mA za germanijumske i od 10^{-12} do 10^{-6} mA za silicijumske diode.

Drugi važan parametar diode je njena otpornost. Razlikujemo statičku i dinamičku otpornost diode. Statička se definiše kao odnos napona na diodi i struje koja protiče kroz diodu i nema neki tehnički značaj. **Dinamička ili unutrašnja otpornost diode** definiše se za tačku na karakteristici (U_0, I_0) na sljedeći način:

$$R_i = \frac{1}{\frac{dI}{dU} \Big|_{U=U_0}}$$

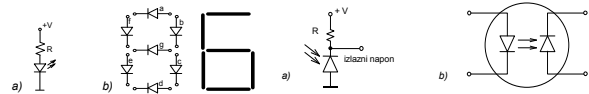
Sljedeći parametar je **maksimalni inverzni napon diode**, pri kome dolazi do proboja. Ako se pri proboju struja kroz diodu ne ograniči, npr. nekim spoljnim otporom, kumulativno povećanje struje imaće za posljedicu preveliko zagrijavanje spoja, tako da će se on razoriti. Silicijumske diode imaju veći inverzni napon od germanijumskih.

Aproksimiranje diode

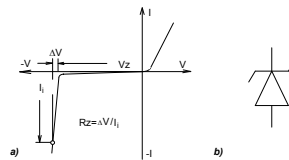


Svjetleća dioda (LED)

Fotodiode i optoizolatori



Zener dioda

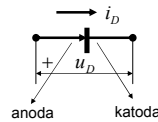


Elektronika

Nelinearna pasivna elektronska kola

Dioda

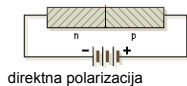
- Nelinearna pasivna elektronska kola se zasnivaju na električnom elementu koji se naziva dioda



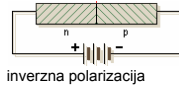
- Idealna dioda
 - Ako je potencijal anode viši od potencijala katode, dioda provodi električnu struju bez otpora
 - Ako je potencijal anode niži od potencijala katode, dioda provodi ne provodi struju
- nesimetričan element
- nelinearan element
- pasivan element

Dioda

- Realna poluprovodnička dioda
- Mnogo prosto se pravi, samo se spoje jedan komad n-poluprovodnika i jedan komad p-poluprovodnika
- Komad p-poluprovodnika je tada anoda, a komad n-poluprovodnika je katoda
- Komadi mogu biti PROIZVOLJNO MALI, minijaturizacija moguća do mikronskih razmjera



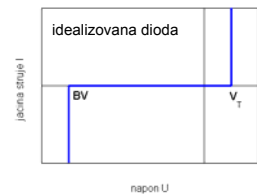
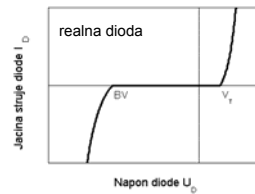
direktna polarizacija



inverzna polarizacija

Dioda

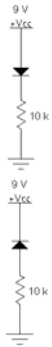
- Strujno naponska zavisnost realne poluprovodničke diode



- V_T oko 0,5 V
- BV varira, obično nekoliko desetina volti
- ako se pređu V_T ili BV dioda obično pregorijeva
- struja diode se ne može odrediti na osnovu napona na diodi
- struju određuju drugi elementi kola

Dioda

■ Određivanje jačine struje koja protiče kroz diodu



- Anoda je na višem potencijalu, dioda provodi
- Napon na diodi je V_T , dakle oko 0,5 V

$$V_{CC} - V_T - Ri = 0 \Rightarrow i = \frac{V_{CC} - V_T}{R} = 0,85 \text{ mA}$$

- Katoda je na višem potencijalu, a napona napajanja nije dovoljan za proboj, znači dioda ne provodi
- Jačina struje je jednaka nuli

$$V_{CC} - U_D - Ri = 0 \wedge i = 0 \Rightarrow U_D = V_{CC}$$

Dioda

- Specijalne diode
 - Zener dioda
 - LED ("light emitting diode") dioda ili fotodioda
 - Tunel dioda
 - Šotkijeva dioda...

- Zener dioda
 - Dioda koja normalno radi u proboju
 - Probojni napon izuzetno temperaturno stabilan i iznosi 6,3 V
- LED dioda
 - Dioda koja emituje svjetlost kada je direktno polarisana

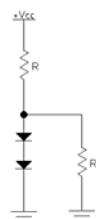


Diodna kola

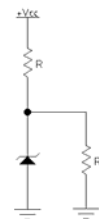
- To su ustvari, pasivna nelinearna kola
- Vrste
 - uspostavljači nivoa
 - ispravljajući

Uspostavljači nivoa

- Kola koja stvaraju i održavaju potrebne naponske nivoe
- Napon diode približno ne zavisi od jačine struje koja protiče kroz nju



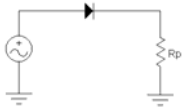
bez obzira kako se mijenjaju napon napajanja i otpornost potrošača, napon potrošača iznosi $2V_T$



bez obzira kako se mijenjaju napon napajanja i otpornost potrošača, napon potrošača iznosi 6,3 V

Ispravljači

- Elektronska kola koja naizmjeničnu struju pretvaraju u jednosmjernu
- Nezaobilazni deo svakog elektronskog uređaja
- Polutalasni ispravljač

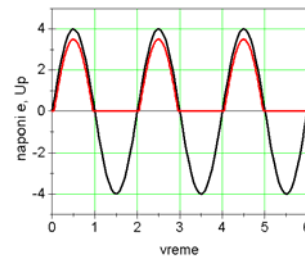


- Kada je generator u pozitivnoj poluperiodi, potencijal anode je viši od potencijala katode, i dioda provodi
- Kada je generator u negativnoj poluperiodi, potencijal katode je niži od potencijala katode, i dioda ne provodi

$$\begin{aligned}
 e > V_T & & e < V_T \\
 e - V_T - Ri = 0 \Rightarrow i = \frac{e - V_T}{R} & & i = 0 \\
 u_p = R_p i \Rightarrow u_p = e - V_T & & u_p = 0
 \end{aligned}$$

Ispravljači

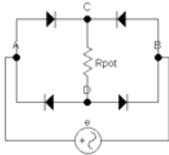
- Polutalasni ispravljači



- Napon jeste jednosmjernan, ali pulsira
- U najvećem broju slučajeva - neupotrebljiv

Ispravljači

- Grecov spoj (punitalasni ispravljač)

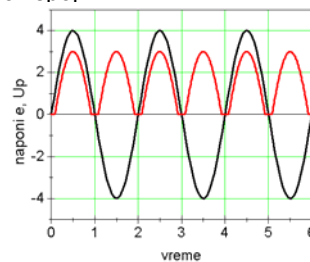


- Kada je generator u pozitivnoj poluperiodi, struja teče putem A-C-D-B
- Kada je generator u negativnoj poluperiodi, struja teče putem B-C-D-A
- Kroz potrošača struja uvek teče u smeru C-D

$$\begin{aligned}
 e > 2V_T & & e < -2V_T \\
 e - V_T - Ri - V_T = 0 \Rightarrow i = \frac{e - 2V_T}{R} & & e + V_T + R_{pot}i + V_T = 0 \Rightarrow i = \frac{-(e + 2V_T)}{R_{pot}} \\
 u_p = R_p i \Rightarrow u_p = e - 2V_T & & u_p = R_p i \Rightarrow u_p = -(e + 2V_T)
 \end{aligned}$$

Ispravljači

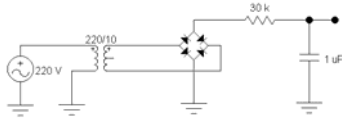
- Grecov spoj



- Pulsirajući napon na izlazu
- Potrebno "peglanje" napona, dakle potreban je filter

Ispravljači

- Principijelna šema ispravljača za elektronske uređaje



$$U = 10V \Rightarrow U_0 \approx 14V \quad U_{\max} \approx 12V \quad \tau = RC = 30ms$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\tau} = 33,33s^{-1}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 33,33s^{-1} \approx 5,3Hz$$

Elektronika

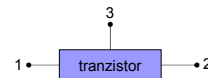
Tranzistori

Tranzistor

- Srce elektronike
- Osnova svih važnih primjena i sastavni dio svakog elektronskog kola
 - U 90% slučajeva se primjena zasniva na njemu
 - U preostalih 10% slučajeva, značajno poboljšava kvalitet rješenja

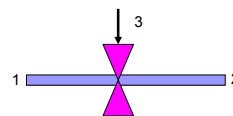
Ideja tranzistora

- Elektronski element sa tri kraja



- Tri napona (U_{12} , U_{13} , U_{23})
- Tri struje (i_1 , i_2 , i_3), tranzistor je u kolu čvor, a ne element grane

- Ventil u mehanici



- Kraj 3 upravlja tokom između 1 i 2
- Pad pritiska između 1 i 2 nije ključni faktor koji određuje protok među njima
- Male promjene na 3 mogu da uzrokuju drastične promjene između 1 i 2 – pojačavački efekat

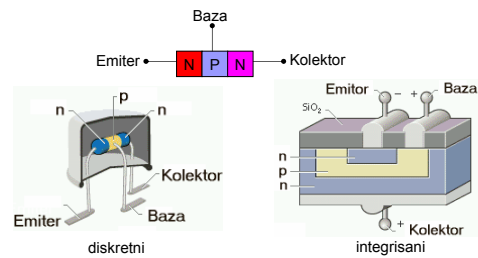
Konstrukcija tranzistora

Poluprovodnički uređaji

- bipolarni (imaju i pozitivna i negativna naelektrisanja)
 - NPN
 - PNP
- unipolarni (imaju većinom ili pozitivna ili negativna naelektrisanja), FET ili MOSFET
 - P
 - N

Bipolarni tranzistori

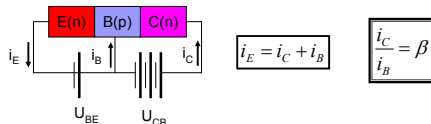
- Konstrukcija
 - tri sloja poluprovodnika
 - dva PN kontakta
 - Jedan sloj sa više naelektrisanja jednog znaka – emitor
 - Drugi sloj sa naelektrisanjima suprotnog znaka – baza
 - Treći sloj sa manje naelektrisanja prvog znaka - kolektor



Bipolarni tranzistori

Princip rada

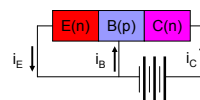
- čvor
- dva spoja pripadaju dvjema konturama



- Ulazni spoj direktno polarisan, stvara veliku struju
- Izlazni spoj inverzno polarisan, skoro ne stvara struju
- Struja baze je mnogo manja od struja kolektora i emitera, pa struja teče praktično od emitera ka kolektoru (tome služe emitor i kolektor)
- Struja između baze i kolektora uopšte ne zavisi od napona U_{BC} , već od "komandnog" napona U_{BE}

Bipolarni tranzistori

Princip rada



- Ako se napon U_{BE} smanji, i ulazni i izlazni spoj su inverzno polarisani, pa struja prestaje da teče između emitora i kolektora, bez obzira na to što postoji naponska razlika među njima
- Naponom na bazi se upravlja jačinom struje između emitora i kolektora (tome služi baza)

Bipolarni tranzistori

	spoj baza-emitor direktno polarisan	spoj baza-emitor inverzno polarisan
spoj baza-kolektor inverzno polarisan	AKTIVNI REŽIM (pojačavač)	REŽIM ZAKOČENJA (aut. prekidač)
spoj baza-kolektor direktno polarisan	REŽIM ZASIČENJA (aut. prekidač)	INVERZNI REŽIM (ne koristi se)

- Kod PNP tranzistora princip je potpuno isti, samo su naponi obrnuti

Bipolarni tranzistori

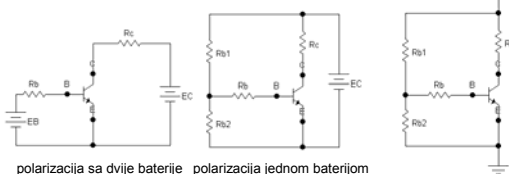
■ Oznake



Bipolarni tranzistori

■ Polarizacija

- napajanje tranzistora tako da radi u određenom režimu
- "priprema pozornice", "postavljanje kulisa"
- zadavanje velikog signala



polarizacija sa dvije baterije polarizacija jednom baterijom

$$E_C > E_B > V_T$$

Bipolarni tranzistori

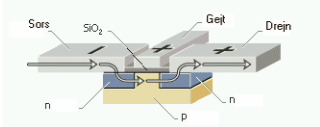
■ Aproksimacije pri proračunu rada tranzistora

- Struja baze je veoma mala, nekoliko mikroampera, pa se pri proračunu često uzima da je približno jednaka nuli
- Napon između baze i emitora tranzistora koji provodi je u stvari napon na direktno polarisanom PN spoju (diodi) koji provodi, i uzima se da iznosi oko 0,7 V
- Ako napon na bazi poraste tako da postane za V_T (oko 0,5V) veći od napona kolektora onda tranzistor prelazi u režim zasićenja (velike bazne struje). Tada je napon između kolektora i emitora oko 0,2V (0,7V-0,5V)

Unipolarni tranzistori

- Malo drugačija fizika, ali **potpuno ista elektrotehnika**

- manji napon V_T (oko 0,2 V)
- upravljačka struja potpuno jednaka nuli
- izrazito pogodni za integrisana kola



sors(source)=izvor, uloga emitora

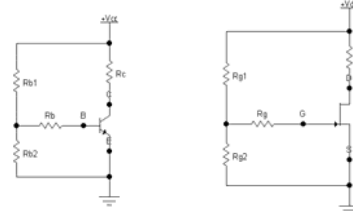
gejt(gate)=kapija, uloga baze

drejn(drain)=bunar, uloga kolektora



Unipolarni tranzistori

- Polarizacija (kao primjer)



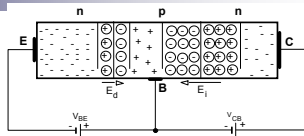
$$V_B - V_E > V_T$$

$$V_C - V_B > -V_T$$

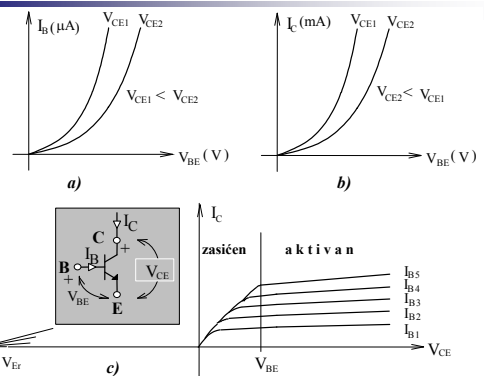
$$V_G - V_S > V_T$$

$$V_D - V_G > -V_T$$

Tranzistor



Tranzistor se sastoji od dva p-n spoja, kod kojih je jedna oblast zajednička za oba spoja, i naziva se **baza**. Zavisno od toga kakvog je tipa zajednička oblast, razlikuju se n-p-n i p-n-p tranzistori. Oblasti s jedne i druge strane baze, iako od istog tipa poluprovodnika, nisu identične. Naime, jedna je jače dopirana od druge. Priključak na jače dopiranoj oblasti naziva se **emitor E**, a na drugoj oblasti **kolektor C**.

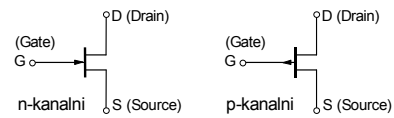


Statičke karakteristike tranzistora: a) Ulazna; b) Prenosna; c) Izlazna.

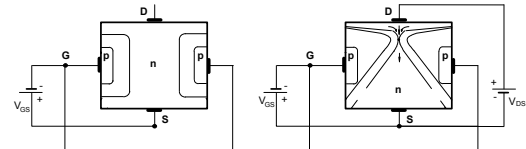
Pri radu sa tranzistorom, neophodno je poznavati ograničenja koja postoje u pogledu dovedenih napona na njegovim krajevima, kao i struja kroz njega, pri kojima neće doći do njegovog oštećenja. Unutar tih ograničenja nalazi se tzv. **oblast sigurnog rada tranzistora**. Ta oblast ograničena: maksimalnom snagom disipacije iznad koje bi se tranzistor zagrijavao do oštećenja, naponom proboja inverzno polarisanog p-n spoja i maksimalnom strujom pri kojoj neće doći do pregorijevanja veza unutar kućišta tranzistora.

Posebne vrste tranzistora, kod kojih se struja uspostavlja zahvaljujući djelovanju električnog polja, nazivaju se tranzistori sa efektom polja. Postoji više vrsta, ali mi ćemo pomenuti samo dvije JFET, ili, skraćeno, FET (field effect transistor) i MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor),

FET (field effect transistor)



Simboli n-kanalnog i p-kanalnog FET-a.



Principske šeme FET-a: bez a) i sa priključenjem b) napona V_{DS} .

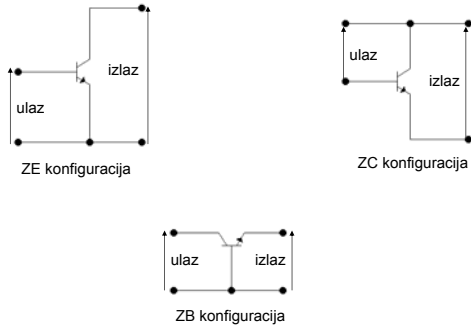
Elektronika

Tranzistorska kola

Tranzistorska kola

- Praktično sva kola i analogne i digitalne elektronike
- Tri osnovne konfiguracije
 - sa zajedničkim emitorom
 - naponski pojačavač (analogna elektronika)
 - prekidač (digitalna elektronika)
 - sa zajedničkom bazom
 - naponski stabilizator (analogna elektronika)
 - sa zajedničkim kolektorom
 - pojačavač snage (analogna elektronika)
 - razdvojni stepen (analogna i digitalna elektronika)

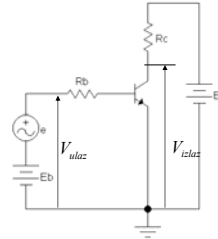
Tranzistorske konfiguracije



Pojačavač napona

- uređaj kod koga je izlazni napon proporcionalan ulaznom naponu
- ZE konfiguracija u aktivnom režimu rada

$$V_{iz} = A \cdot V_{ul}$$



potencijal baze: $V_B = V_T$

struja baze: $i_B = \frac{E + e - V_T}{R_B}$

struja emitor-kolektor: $i_C = \beta i_B = \beta \frac{(E - V_T) + e}{R_B}$

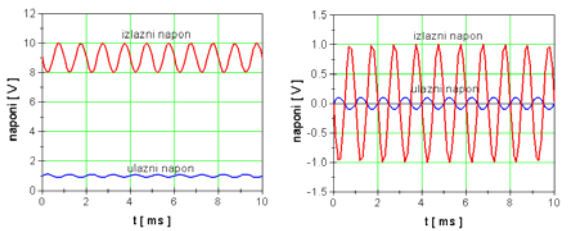
napon na otporniku R_C :

$u_R = R i_C = \beta \frac{R_C}{R_B} ((E - V_T) + e) = U + u$

$U = \beta \frac{R_C}{R_B} (E - V_T) \quad u = \beta \frac{R_C}{R_B} e$

$V_{izlaz} = E_C - R i_C = \left[V_{CC} - \beta \frac{R_C}{R_B} (E - V_T) \right] - \beta \frac{R_C}{R_B} e$

Pojačavač napona

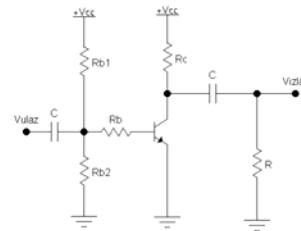


$$u_{izlaz} = -u_{R_C} = -\beta \frac{R_C}{R_B} e \Rightarrow A = -\beta \frac{R_C}{R_B}$$

- mali signal se pojačava nekoliko desetina puta !!!
- mali signal menja znak (fazno se pomera za π)

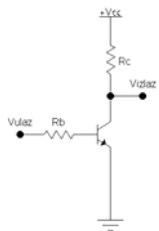
Pojačavač napona

- Za izdvajanje malog signala koriste se visokofrekventni filtri sa što nižom graničnom frekvencijom (da se nebi prigušili neki sporopromenljivi signali)
- Za veća pojačanja – više istih stepena
- Ne pojačava nepromenljivi napon, ali to nije od značaja u elektronici



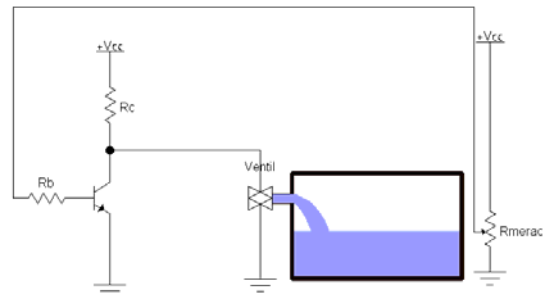
Prekidač

- Osnova digitalne elektronike i svih sistema upravljanja
- Bulova (prekidačka) algebra, račun pomoću 0 ili 1
- ZE konfiguracija koja radi u režimu zakočenja ili režimu zasićenja



- Ako je ulazni napon nizak, nijedan spoj u tranzistoru nije direktno polarisan, kroz tranzistor ne teče struja, i izlazni napon je blizak naponu napajanja, odnosno, izlazni napon je visok
- Ako je ulazni napon visok, oba spoja su direktno polarisana, kroz tranzistor protiče struja, a izlazni napon je nizak i iznosi oko 0,2 V

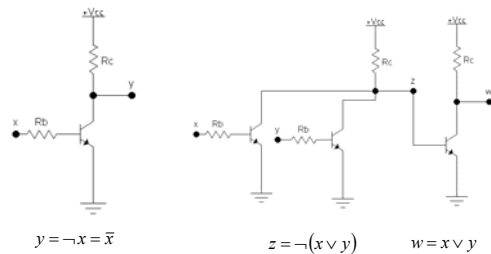
Prekidač



električno upravljanje električnom strujom

Logička kola

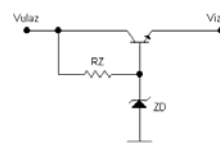
- Kola koja vrše logička izračunavanja (rezultat DA ili NE)
- DA-nizak napon, NE-visok napon



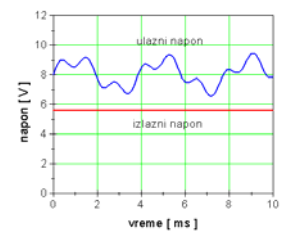
Bulova teorija pokazuje da se bilo koja logička operacija može predstaviti putem negacije i disjunkcije (ili pomoću negacije i konjunkcije)

Naponski stabilizator

- Električni uređaj kome izlazni napon ne reaguje na promene ulaznog napona, izlazne struje, temperature i drugih poremećaja
- Deo svakog napajanja
- ZB konfiguracija
- Baza se nalazi na nekom stabilnom potencijalu, rad tranzistora je stabilan

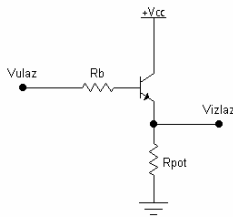


$$V_{\text{izlaz}} = V_z - V_T \approx 5,6V$$



Pojačavač snage

- Električni uređaj koji ne menja oblik već snagu signala
- Završni stepen kola za obradu signala
- ZC konfiguracija



$$V_{izlaz} = V_{ulaz} - R_b i_b - V_T \approx V_{ulaz} - V_T$$

$$\text{veliki signal: } U_{izlaz} \approx U_{ulaz} - V_T$$

$$\text{mali signal: } v_{izlaz} \approx v_{ulaz}$$

snaga ulaznog signala:

$$P_{ulaz} = V_{ulaz} \cdot i_{ulaz} = V_{ulaz} \cdot i_b$$

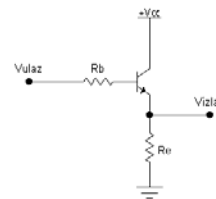
snaga izlaznog signala:

$$P_{izlaz} = V_{izlaz} \cdot i_{izlaz} = V_{izlaz} \cdot i_c$$

$$\frac{P_{izlaz}}{P_{ulaz}} = \frac{V_{izlaz}}{V_{ulaz}} \cdot \frac{i_{izlaz}}{i_{ulaz}} \approx 1 \cdot \beta = \beta$$

Razdvojni stepen

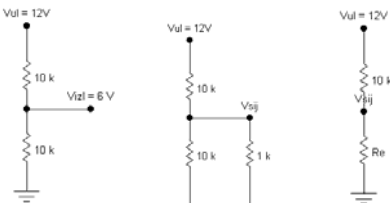
- Kolo koje sprečava nepoželjan uticaj izlaza na ulaz
- "Lijepak" elektronike, "elektronski šraf", "elektronska zakovica", kolo koje ne učestvuje u funkciji kola ali omogućava modularno projektovanje
- ZC konfiguracija



$$V_{izlaz} \approx V_{ulaz}$$

Razdvojni stepen

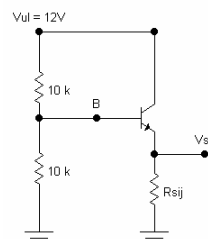
- Primer: imamo akumulator od 12V, a treba da sijalicu koja ima unutrašnji otpor od 1 kilooma povežemo na napon napajanja koji iznosi između 7V (ako je više pregoreće) i 4,5 V (ako je manje neće sijati)
- Rešenje – razdelnik napona



$$V_{sij} = \frac{V_{ul}}{10k\Omega + R_c} \cdot R_c \approx 12V \cdot \frac{1k\Omega}{10k\Omega} = 1,2V !!! \quad \text{Katastrofa !!!}$$

Razdvojni stepen

- Potrebno je dodati razdvojni stepen koji će sprečiti da naredni stepen (korisnik) utiče na rad prethodnog stepena



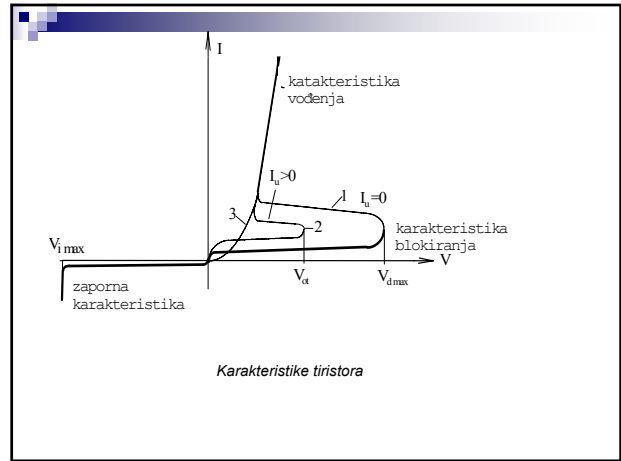
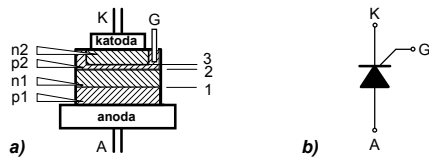
Poenta je u tome da iz prethodnog u naredni stepen teče struja baze koja je zanemarljiva, i ne utiče na rad razdelnika napona

U prethodnom slučaju je iz prethodnog u naredni stepen tekla velika struja koja je remetila rad razdelnika napona

$$V_{sij} = V_B - V_T \approx 5,3V$$

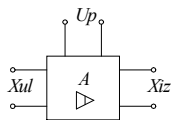
Tiristori

Tiristor je poluprovodnička komponenta čije su karakteristike veoma bliske idealnom prekidaču. Naime, tiristori imaju dva moguća stanja. U jednom stanju impedansa tiristora je vrlo velika, a struja kroz njega praktično je jednaka nuli. U drugom stanju, impedansa tiristora je praktično jednaka nuli, što znači da praktično ne predstavlja nikakav otpor proticanju struje kroz njega, već je struja kroz njega ograničena samo spoljnjim otporom. Prelazak iz jednog u drugo stanje vrši se najčešće kontrolisano. Tiristor se realizuje za struje od nekoliko ampera do nekoliko kiloampera, i za naponе od nekoliko desetina volti do nekoliko kilovolti.



Osnovi pojačavačke tehnike

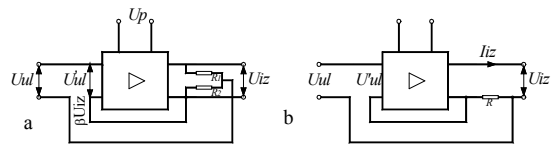
Osnovni zadatak mjernih pojačavača je pojačanje slabih strujnih i naponskih signala, dobijenih pri mjerenju različitih fizičkih veličina. Ulazna (mjerena) veličina X_{ul} dovodi se na ulaz pojačavača (sl.6.23), a na njegovom izlazu dobije se pojačana električna veličina X_{iz} .



$$A = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = const.$$

Zahvaljujući pomoćnom izvoru, sa koga se dovodi napona U_p , generalno, snaga na izlazu pojačavača višestruko je veća od snage koju pojačavač uzima na ulazu.

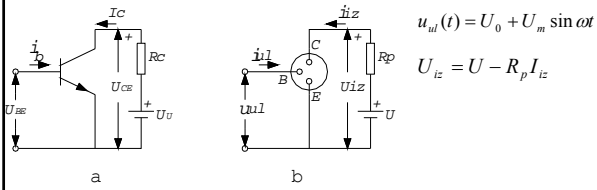
Generalno, ovaj odnos neće biti konstantan, već će zavisiti od veličina ulaznog i pomoćnog napona kao i od "starenja" upotrebljenih elemenata u pojačavaču, čiji se parametri tokom vremena mogu promijeniti. Zadovoljavajuća stabilizacija pojačanja se postiže primjenom **negativne povratne sprege**



Pojačavač sa negativnom povratnom spregom a) Naponskom, b) Strujnom

Tranzistor kao pojačavač

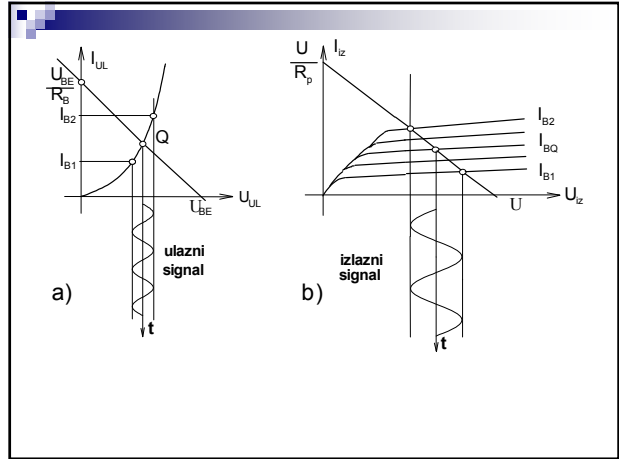
Posmatrajmo sada vezu tranzistora, takođe sa zajedničkim emitorom, u čijem se izlaznom kolu nalazi otpornik R_p i spoljnji napon U , a na ulaz je doveden napon u_{ul} , koji, pored jednosmjernog napona napajanja U_0 , sadrži i promjenljivi **napon signala**



$$u_{ul}(t) = U_0 + U_m \sin \omega t$$

$$U_{iz} = U - R_p I_c$$

$$\mu = - \frac{\Delta U_{iz}}{\Delta U_{ul}} \quad \text{pojačanje tranzistora}$$



Elektronika

Operacioni pojačavači

Pojam operacionih pojačavača

- Elektronski uređaj koji ulazni napon množi nekim velikim brojem

$$v_{ulaz} \xrightarrow{A} v_{izlaz} \quad \boxed{v_{izlaz} = A \cdot v_{ulaz}}$$

- Pojačanje A iznosi uvek preko 100 000, a u praksi ga smatramo beskonačnim kod idealnog pojačavača

invertujući ulaz

neinvertujući ulaz

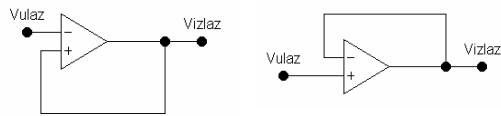
$$\boxed{v_{ulaz} = 0 \quad i_{ulaz} = 0}$$

- Pošto nijedan napon u kolu ne može biti veći od napona napajanja, ulazni napon operacionog pojačavača u realnom kolu je uvek reda mikrovolta i smatramo da je jednak nuli

- Pošto je ulazni napon operacionog pojačavača približno jednak nuli, i ulazna struja operacionog pojačavača je približno jednaka nuli

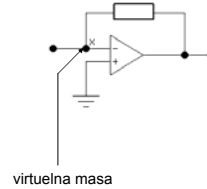
Povratna sprega

- Povratna sprega je uticaj izlaza na ulaz
 - pozitivna povratna sprega
 - povezivanje izlaza sa neinvertujućim krajem - "podjarivanje" pojačavača
 - nestabilan izlaz
 - za konstrukciju oscilatora
 - negativna povratna sprega
 - povezivanje izlaza sa invertujućim krajem - "smirivanje" pojačavača
 - stabilan izlaz
 - za konstrukciju operacionih kola



Virtuelna masa

- Značajan pojam vezan za primjenu operacionih pojačavača



- Primena negativne povratne sprege stabilizovala je napone u kolu
- Neinvertujući (+) ulaza operacionog pojačavača vezan je za masu, pa je potencijal tog ulaza jednak nuli
- Napon između ulaznih krajeva operacionog pojačavača je jednak nuli
- Potencijal invertujućeg (-) ulaza operacionog pojačavača je jednak nuli
- Tačka X [invertujući (-) ulaz] u ovačkoj konfiguraciji ima potencijal jednak nuli iako nema direktnu vezu sa masom i naziva se **virtuelna (prividna) masa**

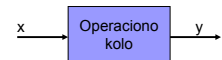
Elektronika

Operaciona kola

Pojam operacionih kola

- Kola koja vrše matematičke operacije

- množač ($y = a \cdot x$)
- sabirač ($y = ax_1 + bx_2$)
- diferencijator ($y = dx/dt$)
- integrator $y = \int_0^t x dt$

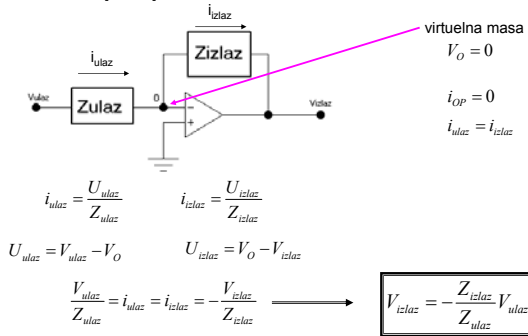


- Obezbeđuju realizaciju sistema automatskog upravljanja

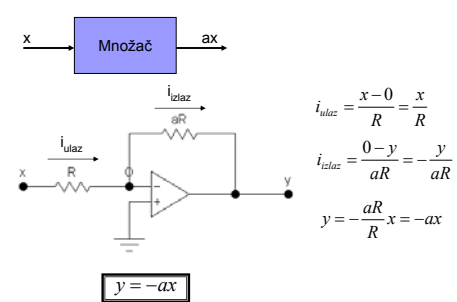
$$y = Px + I \int_0^t x dt + D \frac{dx}{dt}$$

P, I, D – konstante (realni brojevi)

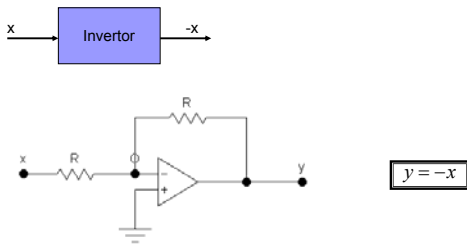
Princip operacionih kola



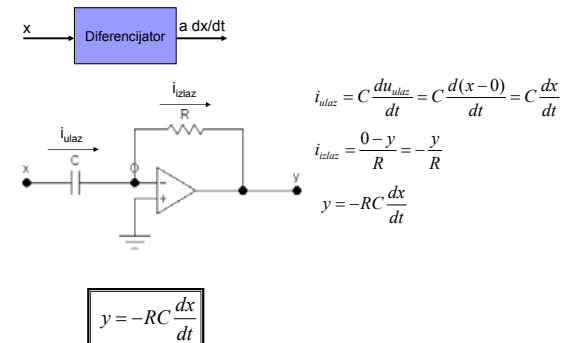
Množač



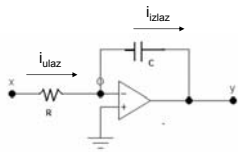
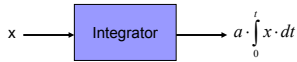
Invertor



Diferencijator



Integrator



$$y = -\frac{1}{RC} \int_0^t x \cdot dt$$

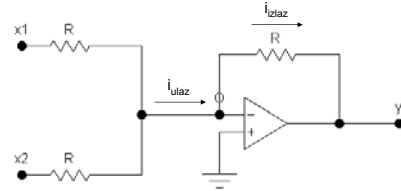
$$i_{ulaz} = \frac{x-0}{R} = \frac{x}{R}$$

$$u_{izlaz} = \frac{q_{izlaz}}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t i_{izlaz} \cdot dt = \frac{1}{C} \int_0^t i_{ulaz} \cdot dt$$

$$u_{izlaz} = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{x}{R} dt = \frac{1}{RC} \int_0^t x \cdot dt$$

$$y = -u_{izlaz} = -\frac{1}{RC} \int_0^t x \cdot dt$$

Sabirač



$$i_{ulaz} = i_1 + i_2 = \frac{x_1-0}{R} + \frac{x_2-0}{R} = \frac{x_1+x_2}{R}$$

$$i_{izlaz} = \frac{0-y}{R} = -\frac{y}{R}$$

$$y = -\frac{R}{R}(x_1+x_2) = -(x_1+x_2)$$

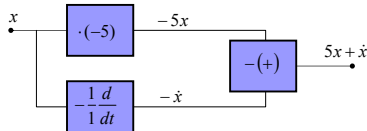
$$y = -(x_1+x_2)$$

Sinteza operacionih kola

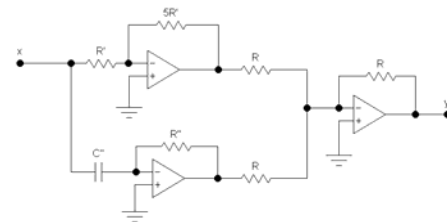
- Proces projektovanja kola koje vrši zadatu funkciju

$$f(x) = 5x + \dot{x}$$

- Blok dijagram



Sinteza operacionih kola



$$R''C'' = 1s$$

kondenzator malih dimenzija $C'' = 10 nF$ $R'' = 100 M\Omega$

što više jednakih elementa – to jeftinije kolo

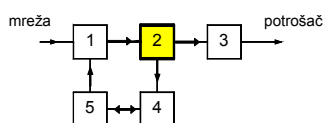
$$R'' = R = R' = 100 M\Omega$$

Energetski elektronski pretvarači

Energetski elektronski pretvarači su uređaji koji međusobno povezuju električne sisteme, preko beskontaktnih prekidačkih elemenata, ili, kako se često kaže, preko elektronskih ventila. Kako elektronski ventili mogu biti upravljivi i neupravljivi, to i energetski elektronski pretvarači mogu biti upravljivi i neupravljivi.

Energetski elektronski pretvarači uvijek se sastoje iz više sklopova:

- 1- sklop za prilagođavanje pretvarača na napojnu mrežu
- 2- pretvarački sklop
- 3- sklop za prilagođavanje pretvarača na potrošač
- 4- upravljački sklop
- 5- sklop za regulaciju i zaštitu



Zavisno od toga kakve sisteme povezuju, energetski elektronski pretvarači se dijele na:

-ispravljači; povezuju naizmjenični i jednosmjerni sistem,
-invertori (izmjenjivači); povezuju jednosmjerni sistem sa naizmjeničnim,

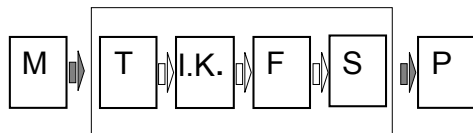
-konvertori; povezuju istovrsne sisteme, i mogu biti:

- jednosmjerni konvertori**; povezuju dva jednosmjerna sistema, i
- naizmjenični konvertori**; povezuju dva naizmjenična sistema.

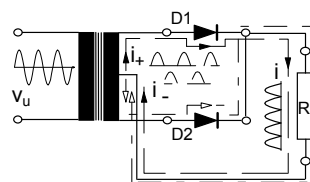
Ispravljači su elektronski uređaji koji pretvaraju energiju naizmjeničnog sistema u energiju jednosmjernog sistema, odnosno povezuju naizmjenične i jednosmjerne električne sisteme. Prema načinu povezivanja sa naizmjeničnim sistemom, ispravljače dijelimo na jednofazne, trofazne i višefazne ispravljačke spojeve. Prema načinu korišćenja energije naizmjeničnog sistema, ispravljački spojevi mogu da budu polutalasn i punotalasni. Pri ispravljanju, na izlazu se dobije pulsirajući napon, pa, u tom smislu, postoje jednopulsni i višepulsni ispravljački sklopovi. Prema stepenu upravljivosti, razlikujemo neupravljive sklopove u kojima su ventili diode i tranzistori, i upravljive ispravljačke sklopove, gdje su ventili upravljivi tiristori.

Struktura i opšte karakteristike ispravljača

Opšta blok-šema ispravljača, u koju ulaze: transformator (T), ispravljačko kolo (I.K.), filter (F) i stabilizator (S), prikazana je na slici.



Ulazni element ispravljača predstavlja mreža (M) naizmjeničnog napona. Na izlaz ispravljača veže se potrošač (prijemnik) (P).



Ispravljačko kolo za punotalasno ispravljanje sa transformatorom sa srednjom tačkom

