

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
 - Analogna elektronika
 - Digitalna elektronika

Analogni signali

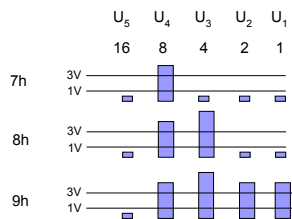
- Jedna električna veličina opisuje jedan signal
- Male vrijednosti napona i struja
- Velika osjetljivost na šum
- Ne obaziremo se na koeficijent korisnog dejstva

Analogni elektronski signali

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

Digitalni signali

Temperatura		
broj	vreme [h]	temp [°C]
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

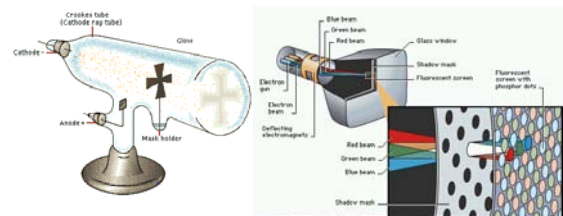
- **Linearne elektronske komponente**
 - Rad ovih komponenti se opisuje linearnim diferencijalnim jednačinama
 - Otpornici, kalemovi, kondenzatori
- **Nelinearne elektronske komponente**
 - Strujno naponska zavisnost je nelinearna
 - Diode, tranzistori, ...

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 neelektrisanja – 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 promjene (temperatura, radioaktivno zračenje)
 - Primjena
 - Svuda

Elektronika

Elektronska kola

Elektronska kola

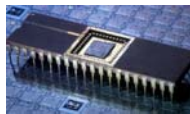
■ Diskretna elektronska kola

- 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
- Podela 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

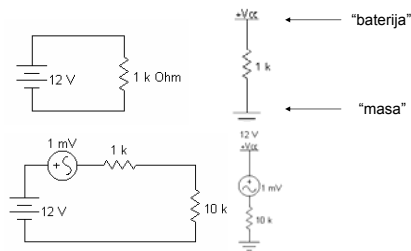
- Konstantno jednosmjerno napajanje, smatramo idealnim naponskim generatorima, jer su najmanje impedanse elektronskih komponenti reda kilooma
- Ima i važnu ulogu obezbjeđivanja referentnih potencijala
 - potencijal polova napajanja je konstantan, ne mijenja se tokom rada
 - za jedan od njih, obično onaj 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 nulli 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 rijeke)
 - **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



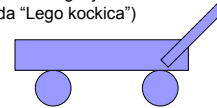
Proračuni elektronskih kola

- Principijelno jednostavniji
- Retko 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 napon.
- Rijetko, skoro nikada se ne koristi metoda Kirhofovih zakona
- Obično se koriste Omov zakon i ekvivalentne transformacije

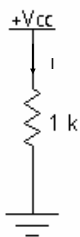
$$I_{xy} = \frac{V_x - V_y}{R_{xy}}$$

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

- 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 vrijednosti, da bi se smanjilo generisanje toplote ($Q=U^2/R$)
 - otpornici velikih vrijednosti 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

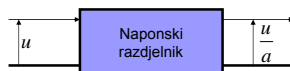


Pasivna linearna elektronska kola

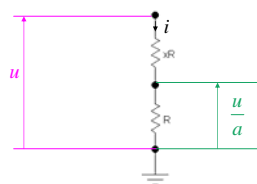
- Vrste
 - Razdjelnici
 - naponski razdjelnici
 - strujni razdjelnici
 - Filtri
 - niskofrekventni
 - visokofrekventni
 - propusnici opsega
 - prigušnici opsega

Razdjelnici

- Naponski razdjelnik



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



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

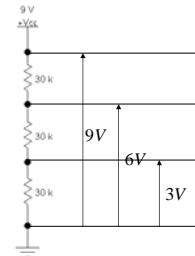
$$\frac{u}{a} = Ri = R \frac{u}{(1+x)R} = \frac{u}{(1+x)}$$

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

Razdjelnici

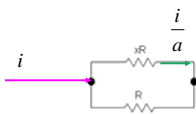
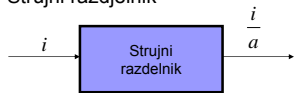
- Naponski razdjelnik

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



Razdjelnici

- Strujni razdjelnik



$$u = iR_{ekv} = i \frac{xR^2}{R + xR} = i \frac{xR}{1+x}$$

$$\frac{i}{a} = \frac{u}{xR} = \frac{i}{1+x}$$

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

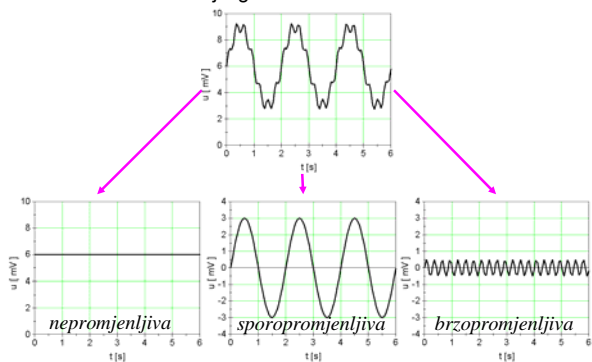
- Strujni signali nisu pogodni za obradu, ali su pogodni za prenos provodnicima

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

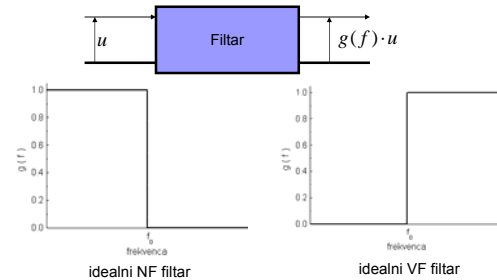
Filtri

■ 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

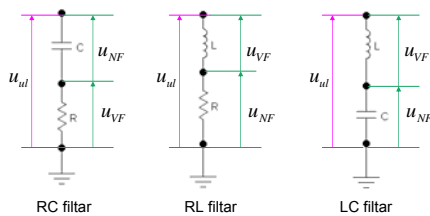


Filtri

■ Prema elementima koje koristi

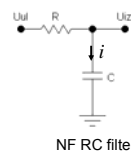
- RC filtri
- RL filtri
- LC filtri

■ Najjednostavniji filtri su razdjelnici naizmjeničnog napona



RC filter

■ Najjednostavniji i najčešći jer su mu dimenzije male



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

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

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

- 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

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

RC filtar

- VF filtar
 - sve je upravo obrnuto od NF filtra

VF RC filter

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

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

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

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

- 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**

RC filtar

- Prenosna karakteristika filtra $g(f)$

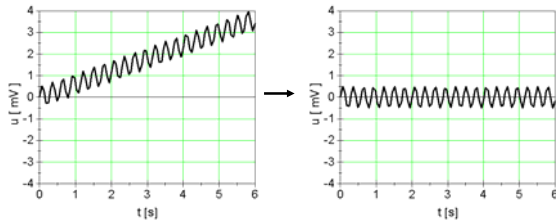
$$g(f) = \frac{1}{1 - j\frac{f_0}{f}} \Rightarrow |g(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}} \quad |g(f)| < 1 \quad g - \text{slabljenje filtra}$$

- $f < f_0/10 \Rightarrow g < 0.1$
- $f > 10f_0 \Rightarrow g > 0.99$
- 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 filtar

■ Primena VF filtra

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

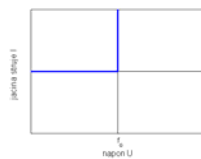
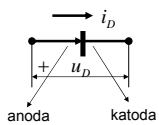


Elektronika

Nelinearna pasivna elektronska kola

Dioda

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



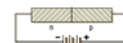
■ Idealna dioda

- 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

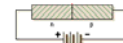
- nesimetričan element
- nelinearan element
- pasivan element

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 razmera



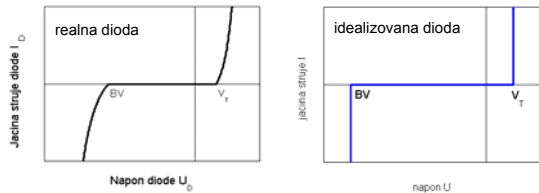
direktna polarizacija



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 fotodiode
 - Tunel dioda
 - Šotkijeva dioda...
- Zener dioda
 - Dioda koja normalno radi u probuju
 - Probojni napon izuzetno temperaturno stabilan i iznosi 6,3 V
- LED dioda
 - Dioda koja emituje svetlost kada je direktno polarisana

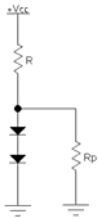


Diodna kola

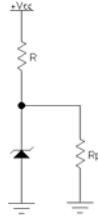
- To su ustvari, pasivna nelinearna kola
- Vrste
 - uspostavljači nivoa
 - ispravljajući

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 $6,3\text{ V}$

Ispravljači

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

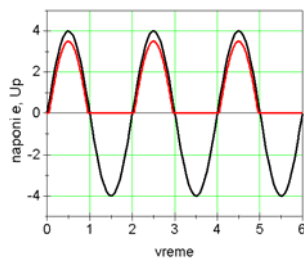


- Kada je generator u pozitivnoj poluperiodi, potencijal anode je viši od potencijala katode, i dioda provodi
- Kada je generator u negativnoj poluperiodi, potencijal katode je niži od potencijala anode, i dioda ne provodi

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

Ispravljači

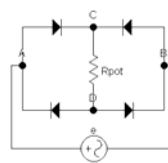
- Polutalasni ispravljači



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

Ispravljači

- Grecov spoj (punitalasni ispravljač)

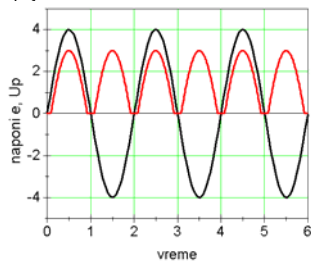


- Kada je generator u pozitivnoj poluperiodi, struja teče putem A-C-D-B
- Kada je generator u negativnoj poluperiodi, struja teče putem B-C-D-A
- Kroz potrošač struja uvek teče u smjeru C-D

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

Ispravljači

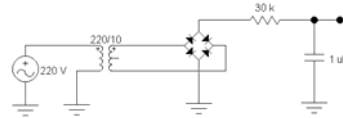
- Grečov spoj



- 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

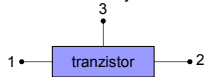
Tranzistori

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

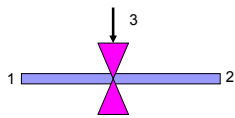
Ideja tranzistora

- 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



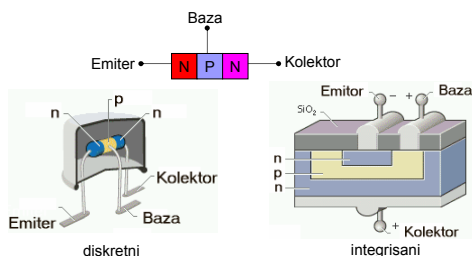
- Kraj 3 upravlja tokom između 1 i 2
- Pad pritiska između 1 i 2 nije ključni faktor koji određuje protok među njima
- Male promjene na 3 mogu da uzrokuju drastične promjene između 1 i 2 – pojačavački efekat

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

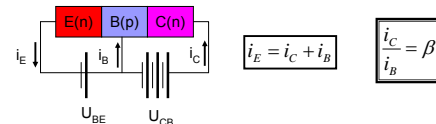
Bipolarni tranzistori

- 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

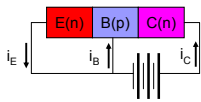
- Princip rada
 - čvor
 - dva spoja pripadaju dvjema konturama



- 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

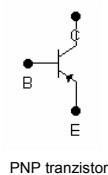
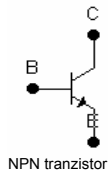
Režimi rada

	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

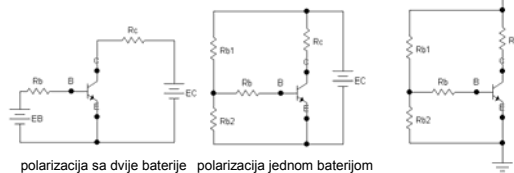
Oznake



Bipolarni tranzistori

Polarizacija

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



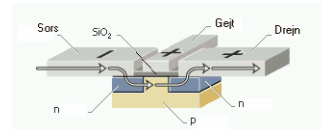
$$E_C > E_B > V_T$$

Bipolarni tranzistori

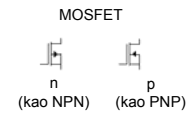
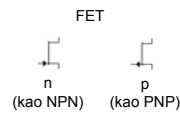
- Aproksimacije pri proračunu rada tranzistora
 - Struja baze je veoma mala, nekoliko mikroampera, pa se pri proračunu često uzima da je približno jednaka nuli
 - Napon između baze i emitora tranzistora koji provodi je u stvari napon na direktno polarisanom PN spoju (diodi) koji provodi, i uzima se da 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

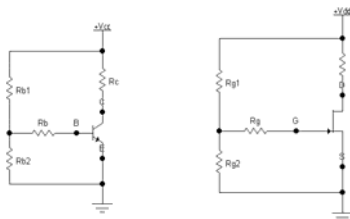


sors(source)=izvor, uloga emitora
gejt(gate)=kapija, uloga baze
drejn(drain)=bunar, uloga kolektora



Unipolarni tranzistori

- Polarizacija (kao primjer)



$$V_B - V_E > V_T$$

$$V_C - V_B > -V_T$$

$$V_G - V_S > V_T$$

$$V_D - V_G > -V_T$$

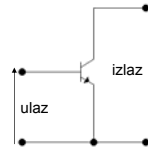
Elektronika

Tranzistorska kola

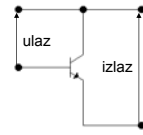
Tranzistorska kola

- 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)

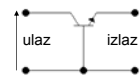
Tranzistorske konfiguracije



ZE konfiguracija



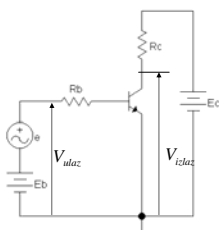
ZC konfiguracija



ZB konfiguracija

Pojačavač napona

- uređaj kod koga je izlazni napon proporcionalan ulaznom naponu $V_{iz} = A \cdot V_{ul}$
- ZE konfiguracija u aktivnom režimu rada



$$\text{potencijal baze: } V_B = V_T$$

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

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

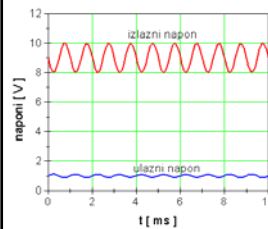
napon na otporniku R_C :

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

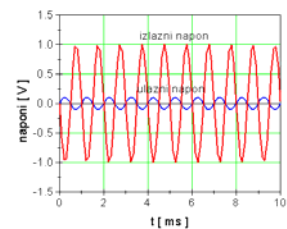
$$U = \beta \frac{R_C}{R_B} (E - V_T) \quad u = \beta \frac{R_C}{R_B} e$$

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

Pojačavač napona



ukupan ulazni i izlazni napon



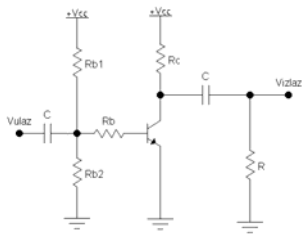
mali signal ulaznog i izlaznog napona

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

- mali signal se pojačava nekoliko desetina puta !!!
- mali signal mijenja znak (fazno se pomjera za π)

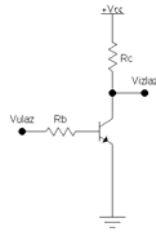
Pojačavač napona

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



Prekidač

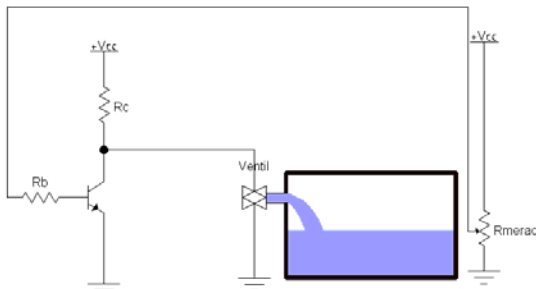
- Osnova digitalne elektronike i svih sistema upravljanja
- Bulova (prekidačka) algebra, račun pomoću 0 ili 1
- ZE konfiguracija koja radi u režimu zakočenja ili režimu zasićenja



- 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

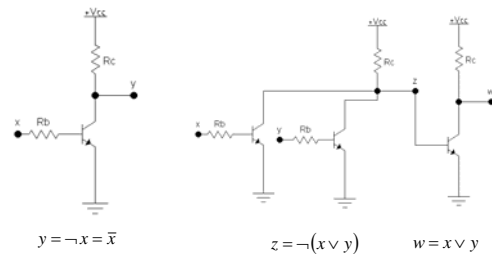
- Jednostavni primjer automatskog upravljanja



električno upravljanje punjenja posude tečnošću

Logička kola

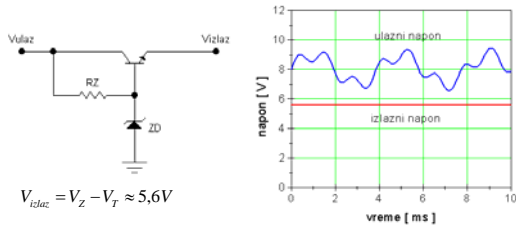
- Kola koja vrše logička izračunavanja (rezultat DA ili NE)
- DA-nizak napon, NE-visok napon



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

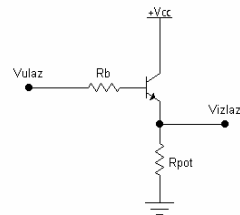
Naponski stabilizator

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



Pojačavač snage

- Električni uređaj koji ne mijenja 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:

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

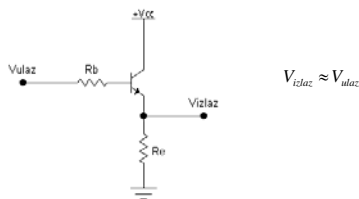
snaga izlaznog signala:

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

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

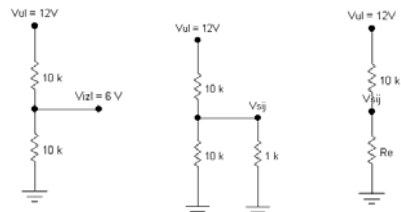
Razdvojni stepen

- 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



Razdvojni stepen

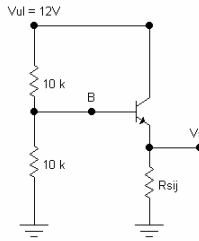
- Primjer: imamo akumulator od 12V, a treba da sijalicu koja ima unutrašnji otpor od 1 kilooma povežemo na napon napajanja koji iznosi između 7V (ako je više pregoreće) i 4,5 V (ako je manje neće sijati)
- Rešenje – razdjelnik napona



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

Razdvojni stepen

- Potrebno je dodati razdvojni stepen koji će spriječiti 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 razdjelnika napona

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

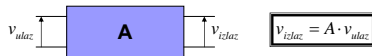
$$V_{sij} = V_B - V_T \approx 5,3 V$$

Elektronika

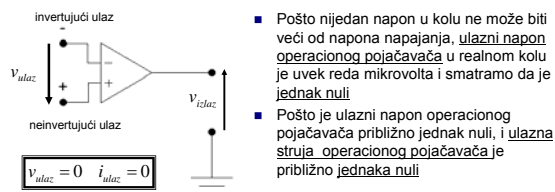
Operacioni pojačavači

Pojam operacionih pojačavača

- Elektronski uređaj koji ulazni napon množi nekim velikim brojem

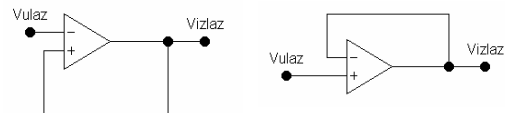


- Pojačanje A iznosi uvek preko 100 000, a u praksi ga smatramo beskonačnim kod idealnog pojačavača



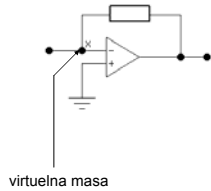
Povratna sprega

- 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 primenu 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] se u ovakvoj konfiguraciji ima potencijal jednak nuli iako nema direktnu vezu sa masom i naziva se **virtuelna (prividna) masa**

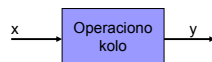
Elektronika

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 $y = \int_0^t x dt$

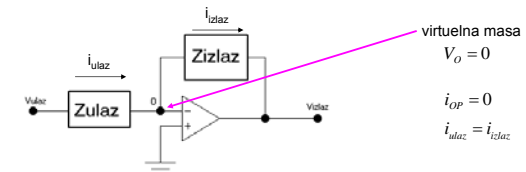


- Obezbeđuju realizaciju sistema automatskog upravljanja

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

P, I, D – konstante (realni brojevi)

Princip operacionih kola

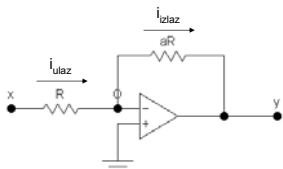
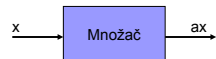


$$i_{ulaz} = \frac{U_{ulaz}}{Z_{ulaz}} \quad i_{izlaz} = \frac{U_{izlaz}}{Z_{izlaz}}$$

$$U_{ulaz} = V_{ulaz} - V_O \quad U_{izlaz} = V_O - V_{izlaz}$$

$$\frac{V_{ulaz}}{Z_{ulaz}} = i_{ulaz} = i_{izlaz} = -\frac{V_{izlaz}}{Z_{izlaz}} \longrightarrow V_{izlaz} = -\frac{Z_{izlaz}}{Z_{ulaz}} V_{ulaz}$$

Množač



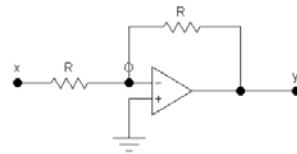
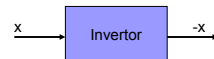
$$i_{ulaz} = \frac{x-0}{R} = \frac{x}{R}$$

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

$$y = -\frac{aR}{R}x = -ax$$

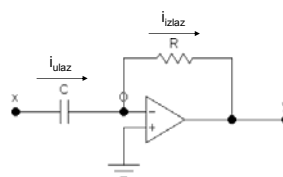
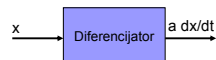
$$y = -ax$$

Invertor



$$y = -x$$

Diferencijator



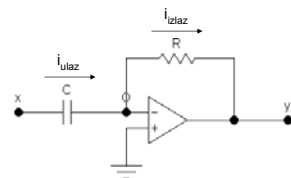
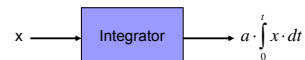
$$i_{ulaz} = C \frac{du_{ulaz}}{dt} = C \frac{d(x-0)}{dt} = C \frac{dx}{dt}$$

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

$$y = -RC \frac{dx}{dt}$$

$$y = -RC \frac{dx}{dt}$$

Integrator



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

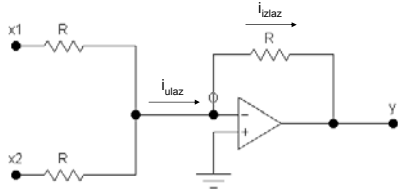
$$u_{izlaz} = \frac{q_{izlaz}}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t i_{izlaz} \cdot dt = \frac{1}{C} \int_0^t i_{ulaz} \cdot dt$$

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

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

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

Sabirač



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

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

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

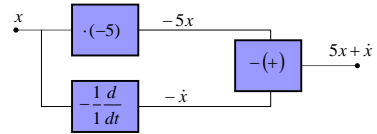
$$y = -(x_1 + x_2)$$

Sinteza operacionih kola

- Proces projektovanja kola koje vrši zadatu funkciju

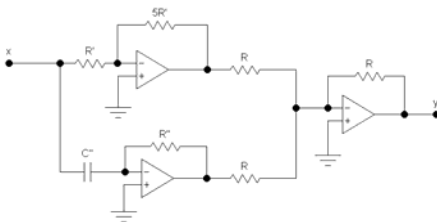
$$f(x) = 5x + \dot{x}$$

- Blok dijagram



Sinteza operacionih kola

- Elektronska šema



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

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

što više jednakih elementa – to jeftinije kolo

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