

HARDVERSKI INTERFEJSI

1.OMOV ZAKON I TEVENENOVA TEOREMA

Utvrđeno je da je struja koja protiče kroz provodnik približno proporcionalna primenjenom električnom polju.

Napon:

Definiše se kao razlika električnog potencijala između dve tačke.

Električni potencijal u nekoj tački električnog polja definiše se kao rad koji je potreban da se jedinično pozitivno naelektrisanje od tačke nultog potencijala prebaci u posmatranu tačku elektrostatičkog polja.

Struja:

Definiše se kao brzina proticanja naelektrisanja kroz provodnik.

Električna struja može biti posledica kretanja bilo pozitivnog bilo negativnog naelektrisanja, pa je, po konvenciji, izabrano da smer struje ne zavisi od nosilaca naelektrisanja.

Omov zakon: Razlika potencijala između krajeva jednog metalnog provodnika srazmerna je proizvodu njegove otpornosti R i struje I koja teče kroz provodnik:

$$U = R \cdot I$$

Otpornost standardno ima vrednosti od 1Ω do $20 M\Omega$.

Ako elementi imaju otpornost reda $m\Omega$ u tom slučaju se najčešće zanemaruju u analizi kola.

Slično, otpornosti mogu biti i veće od $20 M\Omega$, u tom slučaju se elementi smatraju izolatorima.



$$I = V/R$$

Omov zakon i šema kola

I = jačina struje [A]

U = električni napon [V]

R = električni otpor [Ω]

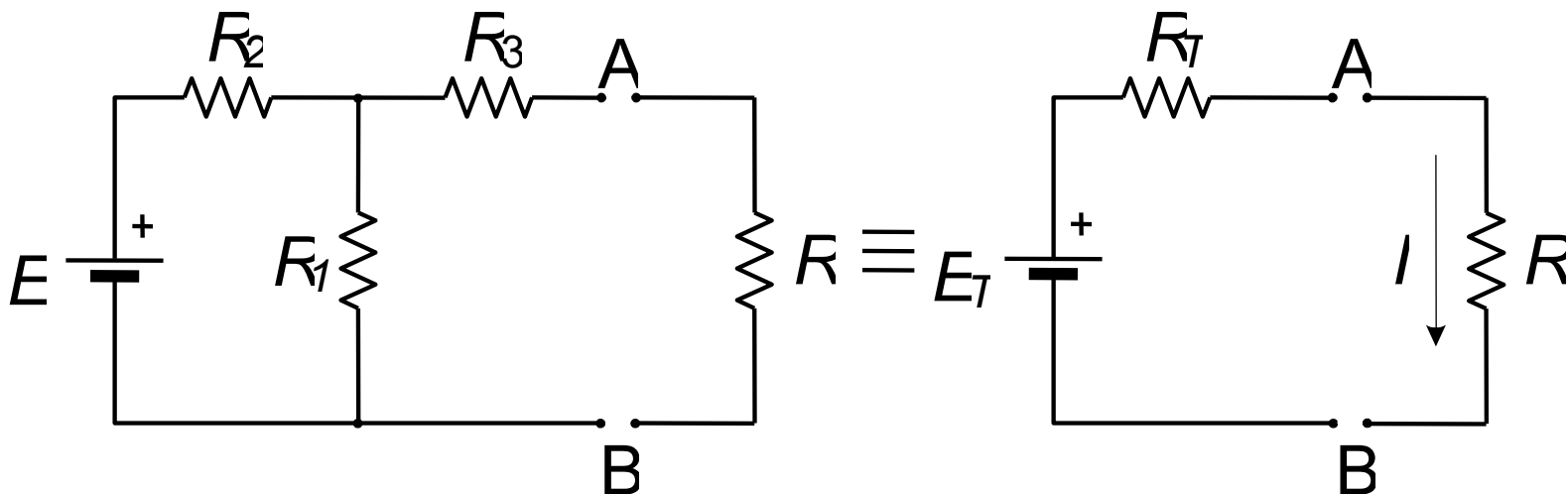
$$I = U/R$$

$$U = I \cdot R$$

$$R = U/I$$

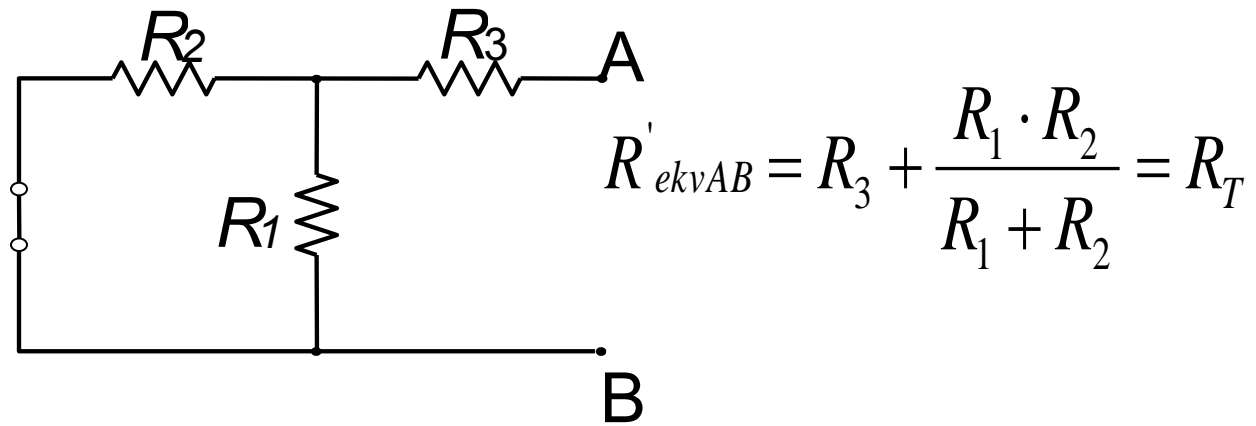
Oblici Omovog zakona

Tevenenova teorema:



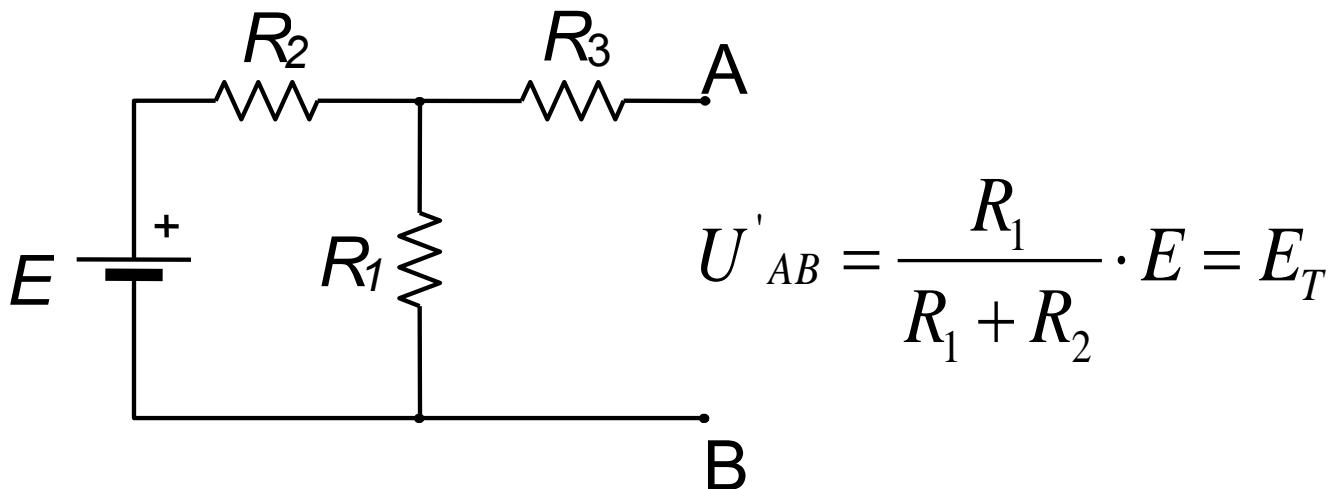
Prema Tevenenovoј teoremi, bilo koje električno kolo između dve tačke moguće je zameniti ekvivalentnim kolom koje se sastoji samo od naponskog izvora i otpornika koji su vezani na red. Tevenenov generator predstavlja realni naponski generator čija je unutrašnja otpornost R_T .

R_T računamo na sledeći način:



Tevenenova otpornost se određuje nalaženjem ekvivalentne otpornosti između krajeva kola pri čemu se naponski generatori zamenjuju kratkom a strujni otvorenim vezom.

ET računamo na sledeći način:



Vrednost naponskog generatora se određuje izračunavanjem napona između krajeva kola.

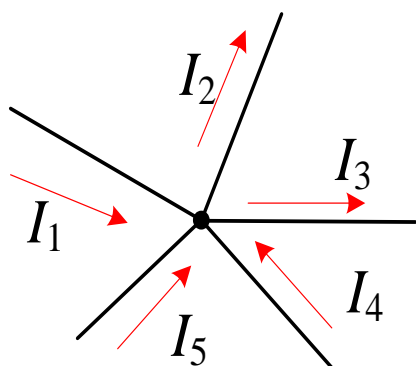
2.KIRHOFOVI ZAKONI I PRIMENA

Kirhofovi zakoni su dve jednačine koje opisuju odnos struje I napona u električnim kolima. Imaju veliku primenu u elektrotehnici.

Prvi Kirhofov zakon: zasniva se na principu održanja naelektrisanja. Princip održanja naelektrisanja je fizički zakon koji kaže da je promena količine naelektrisanja u nekom delu prostora jednaka količini naelektrisanja koja u taj prostor ulazi minus količina naelektrisanja koja izlazi iz tog prostora.

U svakom čvoru električnog kola, suma struja koje ulaze u čvor jednaka je sumi struja koje izlaze iz tog čvora:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

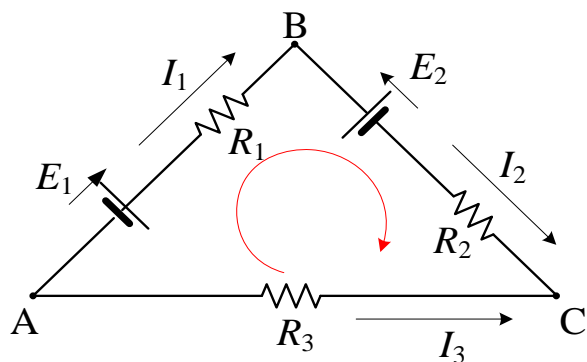


$$-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

Drugi Kirhofov zakon: zasniva se na principu održanja energije. Ukupna suma razlike električnih potencijala (napona) unutar bilo koje konture (zatvorene petlje) jednaka je nuli.

U opštem slučaju, za konturu sa m grana i n EMS generatora:

$$\sum_{i=1}^n E_i - \sum_{k=1}^m R_k \cdot I_k = 0 \quad \text{or} \quad \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{k=1}^m R_k \cdot I_k$$



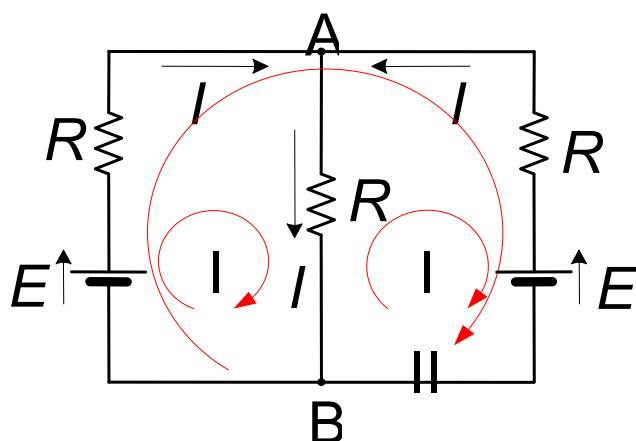
$$E_1 - R_1 \cdot I_1 - E_2 - R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 = 0$$

$$E_1 - E_2 = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3$$

Primena:

Broj čvorova (nč) odgovara broju jednačina po KZS(Prvi) koje se koriste : nč – 1
(2-1=1 u ovom primeru).

Broj grana (ng) i čvorova definiše broj jednačina po KZN(Drugi) koje se koriste
 $ng - (nč - 1)$



$$\text{čvor A: } -I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

$$\text{kontura I: } E_1 - R_1 \cdot I_1 - R_3 \cdot I_3 = 0$$

$$\text{kontura II: } R_3 \cdot I_3 + R_2 \cdot I_2 - E_2 = 0$$

3.OTPORNICI

Otpornost električnog elementa je mera sposobnosti materijala da se suprostavi proticanju električne struje kroz taj element.

Zavisí od geometrijskih i električnih svojstava tog materijala:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

ρ - specifična električna otpornost materijala, meri se u om-metrima (Ωm).

Najčešće se koriste elementi kao što su bakar, aluminijum i gvožđe jer imaju malu specifičnu električnu otpornost materijala.

SI jedinica za električnu otpornost je om (Ω).

Recipročna vrednost otpornosti je električna provodnost:

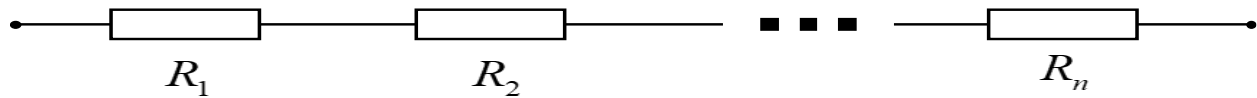
$$G = \frac{1}{R} = \frac{S}{\rho \cdot l} = \gamma \cdot \frac{S}{l}$$

SI jedinica električne provodnosti je simens (S).

Za svaki otpornik se definiše maks. Disipacija.

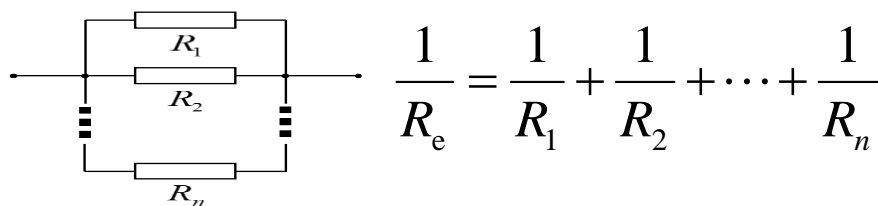
U elektronici se najčešće koriste otpornici sa 10% tolerancije.

Redna veza otpornika:



$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Paralelna veza otpornika:



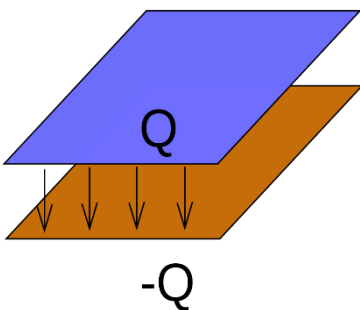
4.KONDENZATORI I INDUKTIVNOST

Kondenzatori:

Uređaj koji skladišti električno naelektrisanje naziva se kondenzator.

SI jedinica za kapacitivnost je Farad (F), dok su najčešće vrednosti kapacitivnosti male, reda veličine μF , nF or pF .

U opštem slučaju, bilo koja dva provodnika između kojih se nalazi izolator predstavljaju KONDENZATOR.



Količina naelektrisanja koja se skladišti proporcionalna je kapacitivnosti i naponu na krajevima kondenzatora.

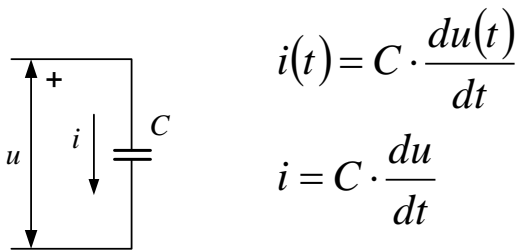
$$Q = C \cdot U$$

Kapacitivnost zavisi od geometrije kondenzatora i permeabilnosti sredine:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot A}{d}$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}, \text{ F/m}$$

Kondenzator, u teoriji kola, definiše se kao pasivni element sa dva kraja kroz koji teče struja proporcionalna prvom izvodu napona na njegovim krajevima.



Za jednosmerne struje kondenzator predstavlja otvorenu vezu.

Redna veza kondenzatora:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Paralelna veza kondenzatora:

$$C_e = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Energija akumulisana u kondenzatoru:

$$w(t) = \frac{1}{2} C \cdot u^2(t)$$

Parametri kondenzatora:

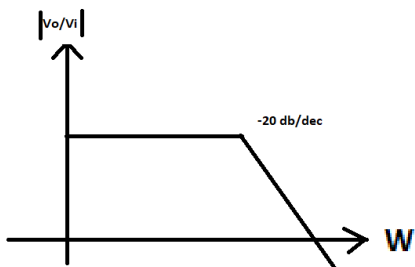
- Kapacitivnost

- Maksimalan dozvoljen napon
- Tolerancija(5%,10%)
- Tehnologija izrade

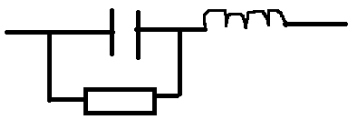
Vrste kondenzatora:

1. Elektrolitski
 - a. Velika kapacitivnost
 - b. Dobri za niske učestanosti
 - c. Tečni dielektrik
2. Folijski
 - a. Suv dielektrik
 - b. Dobri za srednje učestanosti
3. Keramički
 - a. Najkvalitetniji
 - b. Dobri za visoke učestanosti

Bodeov dijagram za kondenzator:



Model realnog kondenzatora:



Na velikim učestanostima kondenzator se ponaša kao kalem.

Induktivnost:

Jačina fluksa na nekoj lokaciji meri se gustinom magnetnog fluksa, B:

$$\Phi = B \cdot S \quad \text{zapravo} \quad \Phi = \oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Na osnovu Amperovog zakona i prethodne jednačine, fluks se

može izračunati kao $\Phi = L \cdot i$, gde je L induktivnost, parametar koji odgovara geometriji provodnika i magnetnim svojstvima sredine.

Ako su geometrija i magnetna svojstva sredine fiksna, elektromotorna sila jednaka je:

$$e(t) = -i \cdot \frac{dL}{dt} - L \cdot \frac{di}{dt} = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

Zavojnica je element kojim modelujemo efekte magnetnog polja na promenljive u kolu.

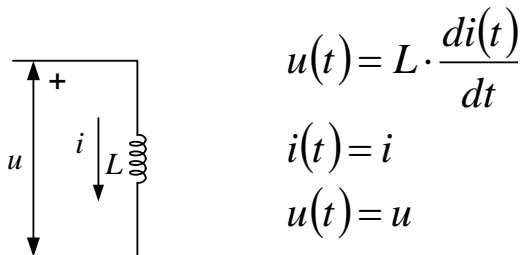
Koeficijent L naziva se sopstvena induktivnost jer predstavlja osobinu provodnika u odnosu na koju promena struje u provodniku “indukuje” (stvara) napon u tom provodniku.

SI jedinica za induktivnost je H (Henri).

Svaka promena struje u provodniku takođe utiče i na susedne provodnike što stvara efekat međusobne induktivnosti.

Indukovana elektromotorna sila, zbog negativnog predznaka, zapravo se ponaša kao elektromotorna komponenta u kolima.

Zavojnica se definiše kao pasivni element sa dva kraja, čiji je napon na krajevima proporcionalan prvom izvodu struje kroz taj element:



Za jednosmerne struje zavojnica predstavlja kratak spoj.

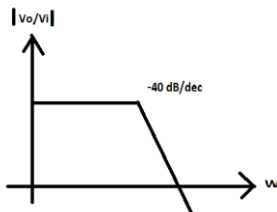
Energija akumulisana u zavojnici:

$$w(t) = \frac{1}{2} L \cdot i^2(t)$$

Parametri zavojnice:

- Induktivnost
- Maksimalna dozvoljena struja
- Frekvencija na kojoj radi

Bodeov dijagram za zavojnicu:



Model realnog kalema:



Na visokim učestanostima kalem se ponasa kao kondenzator.

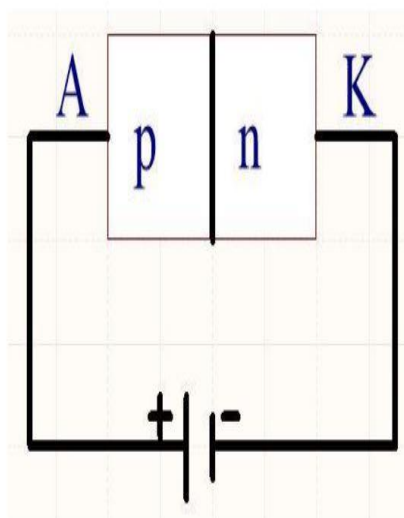
5.DIODE; TIPOVI I PARAMETRI KOJI IH KARAKTERISU

Dioda je elektronska komponenta sa dve elektrode koje se nazivaju anoda i katoda. Dioda su napravljene na bazi p-n spoja.

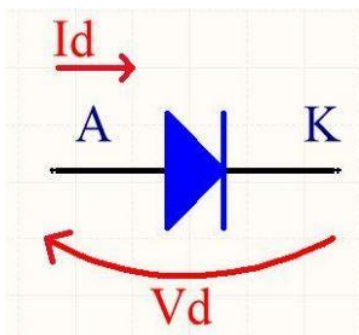
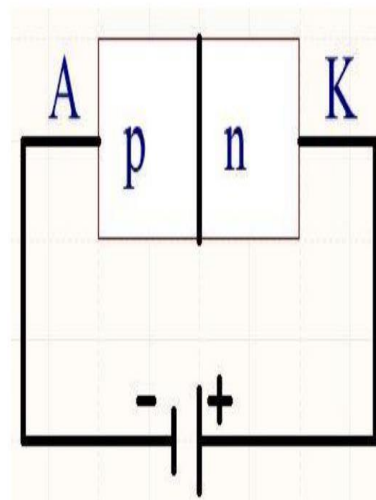
Princip rada: dolazi do difuzionog kretanja elektrona i šupljina, tj. elektroni počinju da se kreću od mesta veće ka mestima manje koncentracije, odnosno u smeru od N-tipa ka P-tipu poluprovodnika. Slično važi i za šupljine, koje se kreću od P-tipa ka N-tipu poluprovodnika. Na taj način, oko same granice spoja, obrazuje se jedan

sloj kojeg su napustili i elektroni i šupljine, i koji sada predstavlja delom pozitivno, odnosno delom negativno naelektrisanje, respektivno. Tada se uspostavlja električno polje, koje ima smer od pozitivnog ka negativnom naelektrisanju.

Direktno polarisan p-n spoj:



Inverzno polarisan p-n spoj:



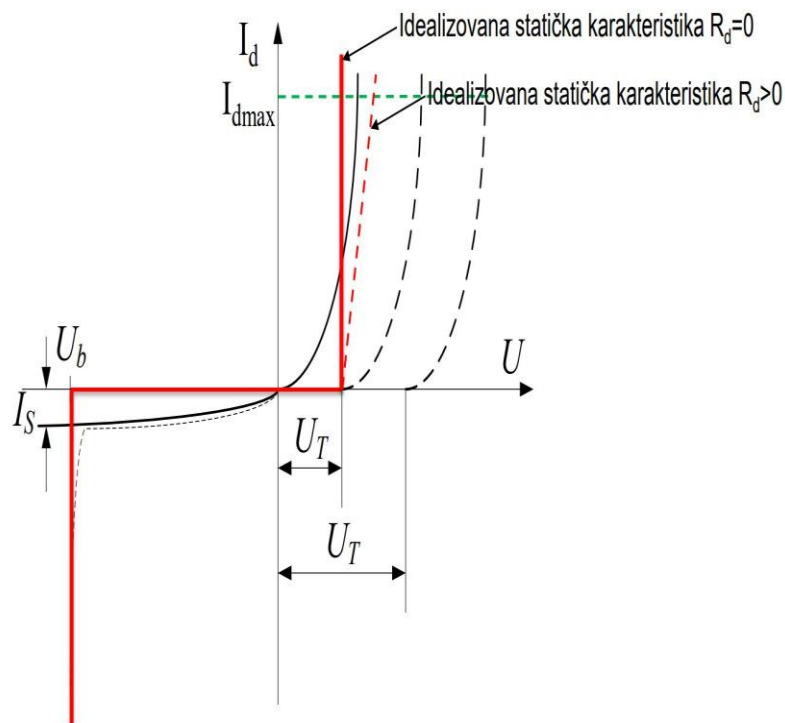
Parametri diode:

- Maksimalna struja direktne polarizacije - I_{dmax}
- Unutrašnja otpornost diode - R_d
- Maksimalan inverzni napon diode - U_b
- Maksimalna snaga disipacije - P_{dmax}
- Napon praga – U_t

Na p-n spoju mogu da se jave dva tipa proboja:

- Lavinski – nastaje usled velikog spoljašnjeg polja. Ovaj proboj ima pozitivan temperaturni koeficijent, a to znači da je sa povećanjem temperature potreban veći napon da dovede do proboja. To se dešava zato što je pri povećanoj temperaturi haotičnije kretanje nosilaca naelektrisanja pa je potreban veći napon da bi se napravio usmereni tok.
- Zenerov – ovaj proboj nastaje kao posledica velike koncentracije ubačenih primesa. Ovaj proboj ima negativan temperaturni koeficijent, a to znači da je pri većoj temperaturi potreban manji napon da dovede do proboja.

Karakteristika diode:



Vrste dioda:

- Prekidačke diode - nekoliko stotina nS vreme isključenja i uključenja (šotkijeve diode – nemaju PN spoj, već P I metal ili N I metal).
- Zener diode - rade u oblasti proboja, kao naponske reference, obezbeđuju konstantan napon.
- Led diode - svetle kada je direktno polarisana, probojni napon mali par V.

Primena:

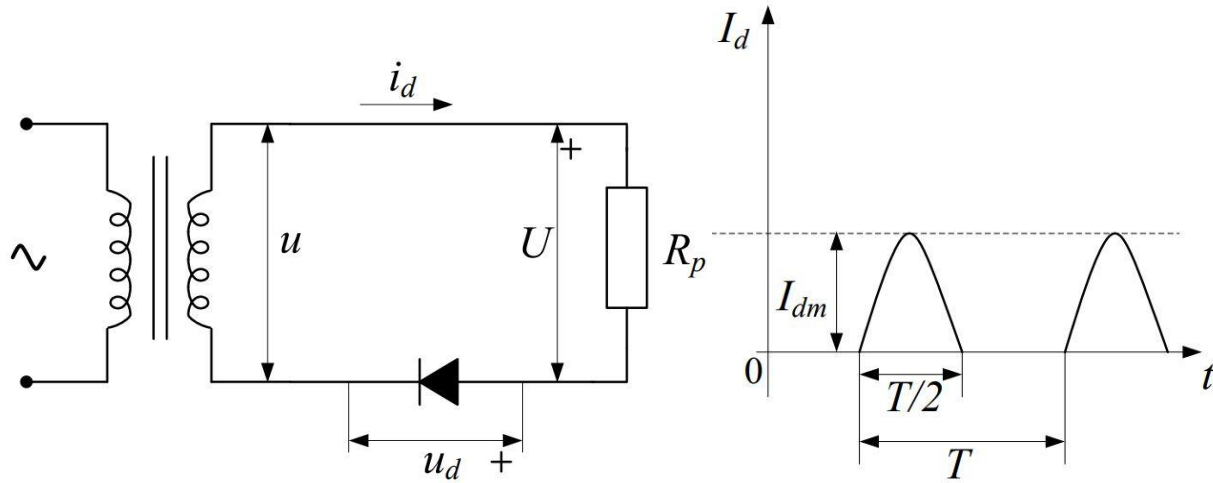
Signalne diode se koriste za ispravljanje malih signala, par mA do 100mA.

Ispravljačke diode za ozbiljnije struje $>1A$ do 100A i napone od 100V pa naviše, koriste se za ispravljanje mrežnog napona.

6.ISPRAVLJAČI

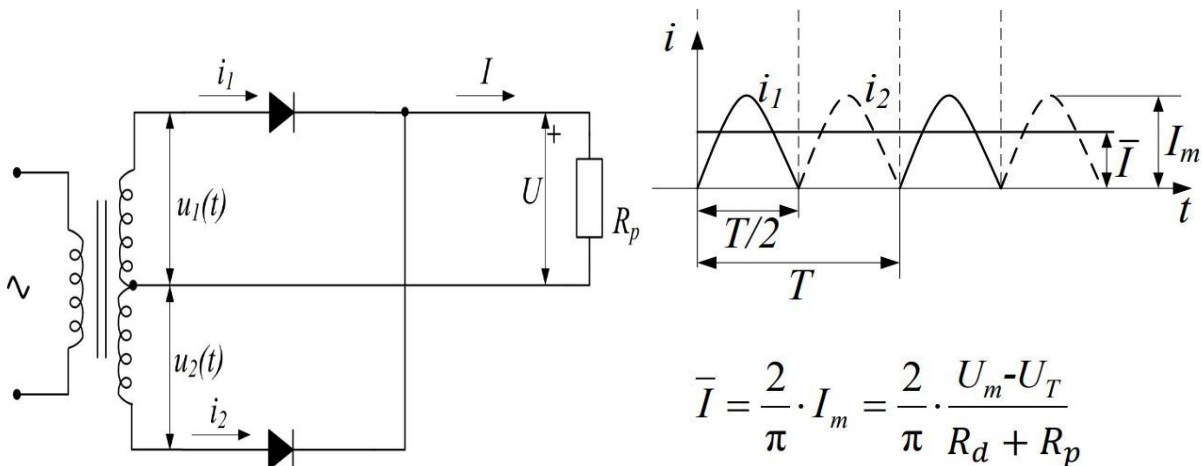
Naizmenični napon se primenom diode (usmerača) pretvara u jednosmerni pulsirajući napon. Nakon usmerača dodaje se filter da bi umanjio AC komponente u talasnom opsegu i da bi stvorio skoro konstantan oblik DC napona na njegovom izlazu. Na izlazu celokupnog kola dodaje se stabilizator napona (Zener dioda) kako bi izlazni napon uvek bio jednosmeran, konstantan, bez ikakvih oscilacija.

Jednofazno polutalasno usmeravanje:



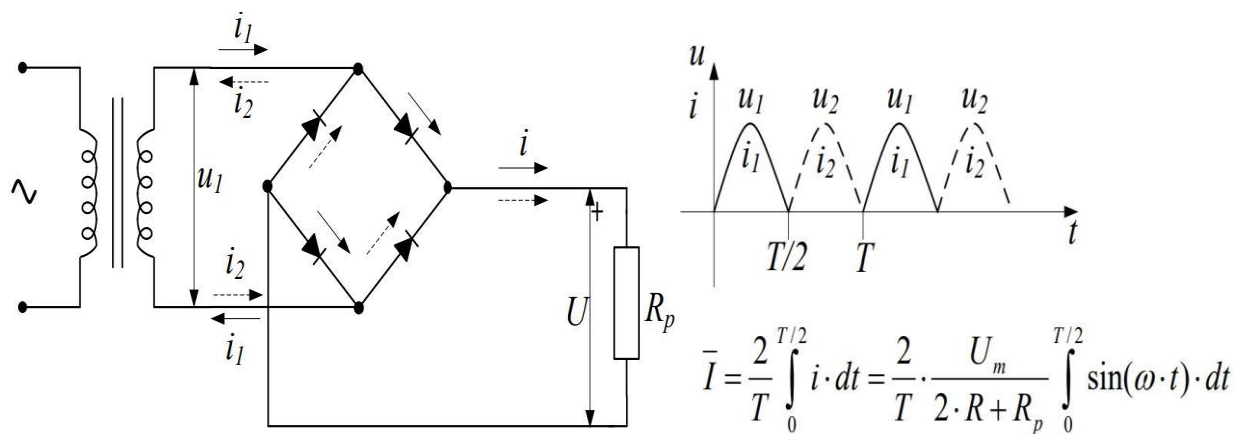
Propuščanje samo jedne poluperiode naizmeničnog napona jer u kolu imamo samo 1 diodu.

Dvofazno polutalasno usmeravanje:



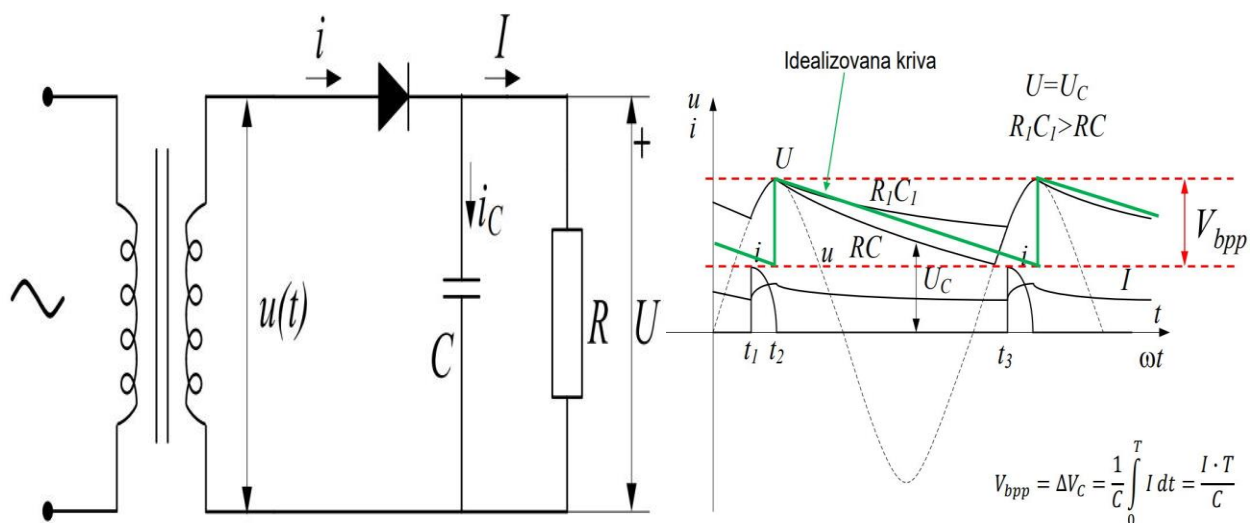
Pošto u kolu imamo 2 diode doći će do protoka struje I kod pozitivne i kod negativne poluperiode napona.

Punotalasno usmeravanje:

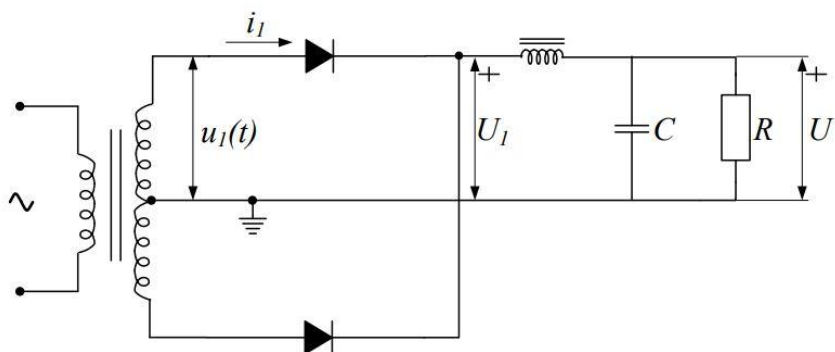


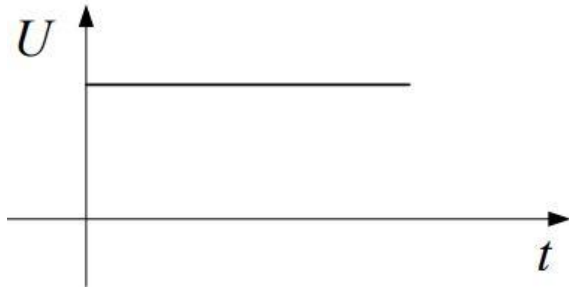
Struja u svakom ciklusu prolazi kroz 2 diode.

Kapacitivni filter:



Kada na ovo kolo dodamo još jednu diodu kao kod dvofaznog usmeravanja i Kalem(L) možemo očekivati izobličen napon na izlazu:



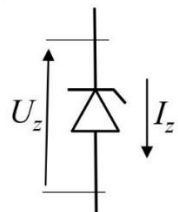
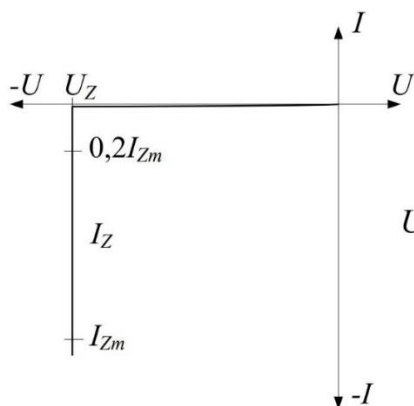


Kada dodamo I_L u kolo dobijamo sistem drugog reda.

7.STABILIZATOR NAPONA SA ZENER DIODOM

Zener dioda, je silicijumska poluprovodnička dioda, čiji je probojni napon u inverznom režimu rada značajno manji nego kod standardnih dioda. Namena Zener diode je za stabilizaciju i ograničavanje napona.

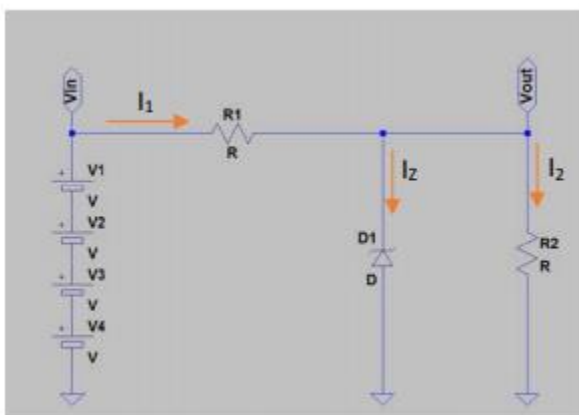
Ova dioda kombinuje lavinski i zenerov efekat, pa se dobija komponenta sa nultim temperaturnim koeficijentom.



$$\bullet I_1 = I_Z + I_2$$

$$\bullet V_{in} - I_1 \cdot R_1 - V_{out} = 0$$

$$\bullet V_{out} = V_{in} - (I_Z + I_2) \cdot R_1$$



Projektovanje stabilizatora svodi se na određivanje otpornika R_1 i zenerove diode $D1$. Ako želimo da imamo na izlazu napon od 4V trebamo da odaberemo zenerovu diodu koja ima probojni napon baš od 4V. Da obezbedimo da nam zener radi u oblasti proboja treba

da nam struja kroz nju bude min 5mA.

Ako povećamo V_{in} prouzrokuje porast V_{out} koji prouzrokuje porast I_z koje nam neće dozvoliti da dođe do porasti napona na izlazu već će doći do porasta na R_1 . isto se dešava i sa smanjenjem napona V_{in} . Izvršni organ je R_1 jer on menja napon V_{out} , a regurator je zener koja preko struje I_z upravlja otpornikom. Prvo trebamo da odredimo R_1 tako da pri min V_{in} i max I_2 tako da I_z bude 5mA:

$$\bullet R_1 = \frac{V_{in_min} - V_{out}}{(I_{Z_min} + I_{2_max})}$$

Zatim nam treba struja kroz zener pri max V_{in} i min I_2 da bi odredili snagu zenerove diode. Treba nam i max snaga na R_1 a to ćemo odrediti pri max V_{in} . Ovakav tip stabilizacije se koristi za male struje potrošača, posto je tolerancija zenera +/- 5.

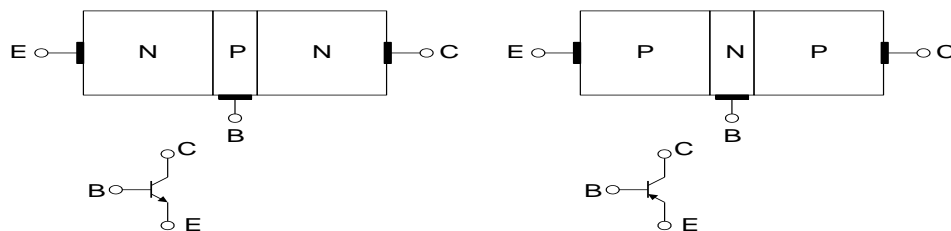
$$\bullet I_Z = \frac{V_{in_max} - V_{out}}{R_1} - I_{2_min}$$

$$\bullet P_{Z_max} = I_{Z_max} \cdot V_Z$$

$$\bullet P_{R1_max} = \frac{(V_{in_max} - V_{out})^2}{R_1}$$

8.BIPOLARNI TRANZISTORI:OSNOVNE KARAKTERISTIKE,OBLASTI RADA,RADNA PRAVA

Konstrukcija tranzistora je izvedena tako što su dva komada poluprovodnika istog tipa (zovu se kolektor i emiter) spojena uskim poluprovodnikom suprotnog tipa koji se zove baza. U zavisnosti od toga da li su kolektor i emiter poluprovodnici N tipa, a baza P tipa ili obrnuto imamo NPN i PNP tipove bipolarnih tranzistora.

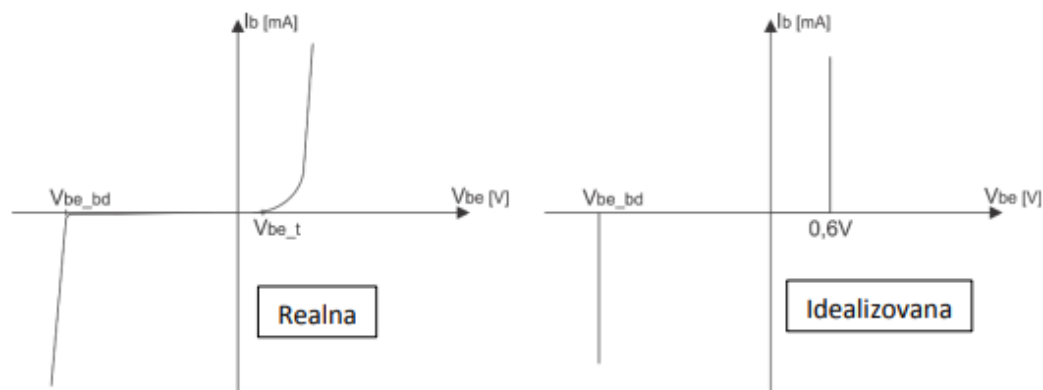


Obično se koriste kao pojačavač I kao prekidač. Tehnološki zahtevi da bi tranzistor imao pojačavačko svojstvo su: Emitor mora biti najjače dopiran, baza najslabije, a kolektor jače dopiran od baze a slabije od emitora.

Širina baze između emitora i kolektora mora biti dovoljno mala.

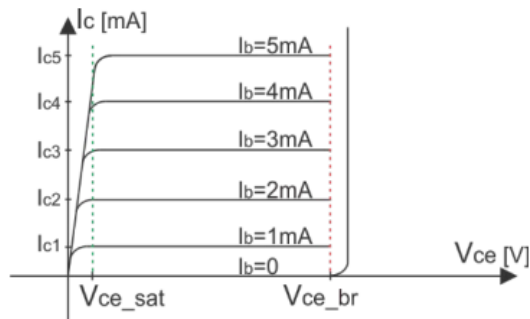
Imamo BAZNO KOLO I KOLEKTORSKO KOLO.

BAZNO KOLO: PN spoj baza-emitor predstavlja direktno polarisanu diodu I struja kroz diodu je I_b dok se napon određuje statičkom karakteristikom. U praksi da bi postojala struja I_b treba nam $V_{be} \geq 0.6V$ I tada bazna struja zavisi od ostatka kola.



Slika 3: Statička karakteristika baznog kola NPN tranzistora. Za PNP tranzistor potrebno je V_{be} zameniti sa V_{eb}

KOLEKTORSKO KOLO:



Slika 4: Kolektorska statička karakteristika NPN tranzistora. Za PNP tranzistor potrebno je V_{ce} zameniti sa V_{ec} . Naravno vrednosti bazne struje mogu imati bilo koju vrednost, na grafiku su prikazani samo neki karakteristični primeri.

Postoje 4 oblasti rada tranzistora:

- **Direktno aktivna** oblast: $V_{be} > 0$ i $V_{cb} > 0$

Emitorski spoj je polarizovan direktno, a kolektorski spoj inverzno. Kada tranzistor radi kao pojačavač onda je normalno da je na taj način polarisan.

$$I_c = h_{FE} \cdot I_b$$

$$V_{be} > V_{bet}$$

$$V_{ces} < V_{ce} < V_{cc}$$

- **Inverzno aktivna** oblast: $V_{be} < 0$ i $V_{cb} < 0$

Emitorski spoj je polarizovan inverzno, a kolektorski spoj direktno. Može se pokazati da tranzistor može da radi u toj oblasti kao pojačavač. Međutim, tranzistori su tako konstruisani da su transportni faktor i efikasnost emitora, a time i strujna pojačanja u ovoj oblasti rada, izrazito mali.

- **Oblast zasićenja:** $V_{be} > 0$ i $V_{cb} < 0$

Oba spoja su direktno polarisana. Naponi direktnih polarizacija su mali, tako da je otpornost između bilo kojih elektroda tranzistora mali, a naročito između emitora i kolektora.

$$I_c < h_{FE} \cdot I_B$$

$$V_{be} = V_{bes} (\approx 0.7 V)$$

$$V_{ce} = V_{ces} (\approx 0.2 V)$$

- **Oblast zakočenja:** $V_{be} < 0$ i $V_{cb} > 0$

Oba spoja su inverzno polarisana. Kada tranzistor radi kao prekidač u impulsnim kolima, onda se on obično prebacuje iz oblasti zakočenja u oblast zasićenja i obrnuto.

$$V_{be} < V_{bet}$$

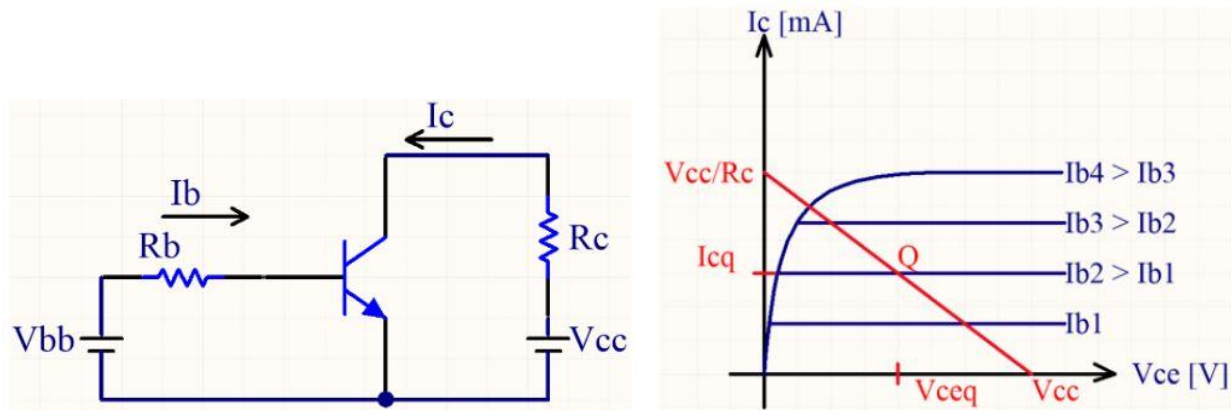
$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

$$I_e = 0$$

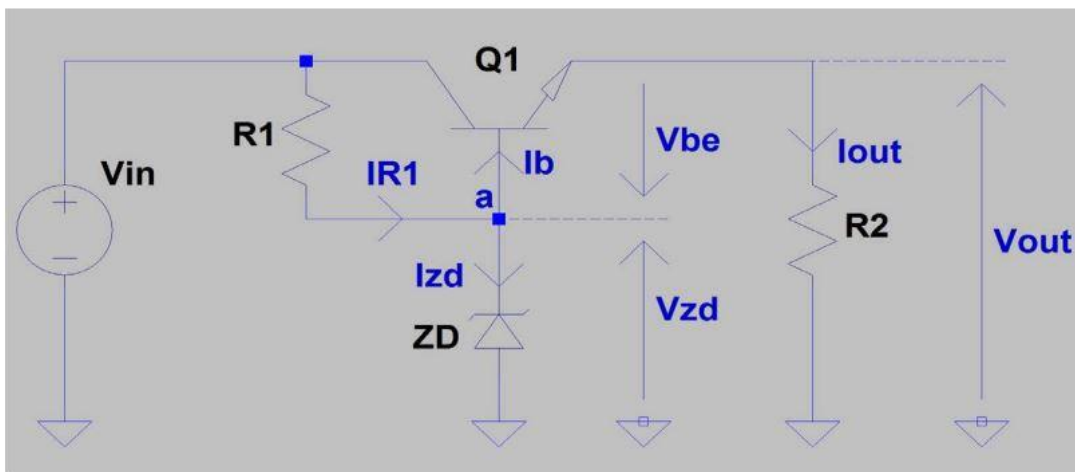
$$V_{ce} = V_{cc}$$

Radna prava I radna tačka:



Baterija V_{bb} direktno polariše spoj baza-emitor, a intenzitet struje baze se određuje izborom otpornika R_b . Preko baterije V_{cc} i otpornika R_c definiše se radna tačka Q , određena naponom V_{ce} i strujom I_c , tako da kolektorski spoj bude inverzno polarisan, odnosno da tranzistor radi u aktivnom režimu. Radna tačka se nalazi u preseku radne prave I karakteristike tranzistora.

9.STABILIZATOR NAPONA SA BIPOLARNIM TRANZISTOROM



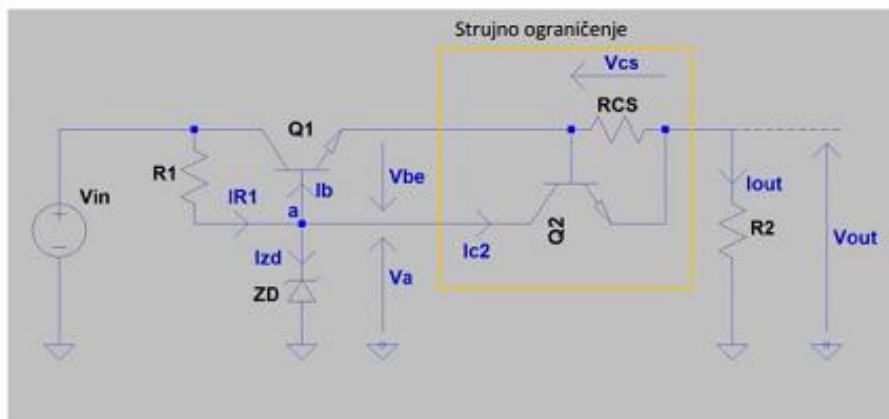
$$V_{out} = V_{zd} - V_{be} \quad I_{R1} = \frac{V_{in} - V_{zd}}{R_1} = I_{zd} + I_b \quad R_1 \leq \frac{V_{in_min} - V_{zd}}{I_{out_max}/h_{FE_min} + I_{zd_min}}$$

Tranzistor Q1 je direktno polarisan u aktivnoj oblasti(kolektorski PN spoj direktno, emitorski spoj inverzno polarisan). Napon na bazi je jednak naponu na zeneru a izlazni napon je Vout u formuli iznad. Otpornik R1 obezbeđuje baznu struju I struju zener diode. Ako poraste izlazni napon raste I struja na zeneru a pošto je zbir Iz i Ib const, opada Ib sto prouzrokuje da Ic smanjuje napon na potrošaču tj izlazi napon. Za smanjenje izlaznog napona opada struja na zeneru I postupak dalje je suprotan. Tranzistor vrši pojačanje struje I time smanjuje snagu disipacije na zeneru.

$$P_{d_max} = (V_{in_max} - V_{out}) \cdot I_{out_max}$$

$$P_{zd_max} = V_{zd} \cdot \left(\frac{V_{in_max} - V_{zd}}{R_1} - \frac{I_{out_min}}{h_{FE_max}} \right)$$

10.PRINCIP RADA STRUJNOG OGRANIČENJA KOD STABILIZATORA NAPONA SA BIPOLARNIM TRANZISTOROM



Slika 2: Stabilizator napona sa tranzistorom i prekostrujnom zaštitom

Stabilizator napona ima jako malu izlaznu otpornost pa se u slučaju kratkog spoja teći beskonačna struja i uništiće tranzistor Q1. Zato koristimo osigurač. On se sastoji od otpornika Rcs i tranzistora Q2. Kada nam je I_{out} u dozvoljenom opsegu V_{cs} (napon na otporniku) je manji od 0.6 i tranzistor Q2 je u zakočenom stanju. Kada je on zakočen ponaša se isto kao i stabilizator sa bipolarnim tranzistorom samo je izlazna otpornost povećana za Rcs. Kada struja pređe dozvoljenu vrednost V_{cs} je 0.6V i tada Q2 ulazi u aktivno stanje:

$$I_{r1} = I_b + I_z + I_{c2}$$

Vidimo da nam Q2 preuzima deo struje I_{r1} , smanjuje struje I_z i bazne struje Q1, a smanjenjem I_b smanjuje se i izlazna struja i izlazni napon. Usvajamo da je I_{out_cl} 10 % veća od maksimalne struje i pomoću nje projektujemo Rcs:

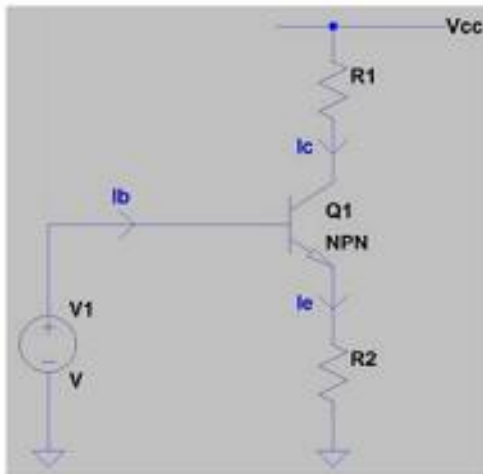
$$R_{cs} = V_{cs} / I_{out_cl}$$

$$V_a = V_z = R_2 * I_{out_cl} + V_{cs} + V_{be} \Rightarrow R_2 = (V_z - V_{be} - V_{cs}) / I_{out_cl}$$

Ukoliko nam je R2 manji od ove vrednosti zener nam više nije u proboju. Biramo tranzistor Q1 tako da može da podrži najgori slučaj a to je kada je $R_2=0$ tj. imamo kratak spoj i tada nam je snaga disipacije:

$$P_{dmax} = I_{out_cl} * (V_{in_{max}} - V_{cs})$$

11.STRUJNI GENERATORI SA BIPOLARNIM TRANZISTORIMA



Slika 1: Ponor konstantne struje – principna šema

Imamo konstantan napon V1, tranzistor Q1 i R2 dok je otpornik R1 potrošač.

$$V1 = V_{be} + I_e * R2$$

Iz ove jednačine možemo da izrazimo struju emitora i ona je konstantna.

Otpornost R1 mora da nam bude takva da nam tranzistor radi u aktivnoj oblasti tj. da ne dođe u zasićenje.

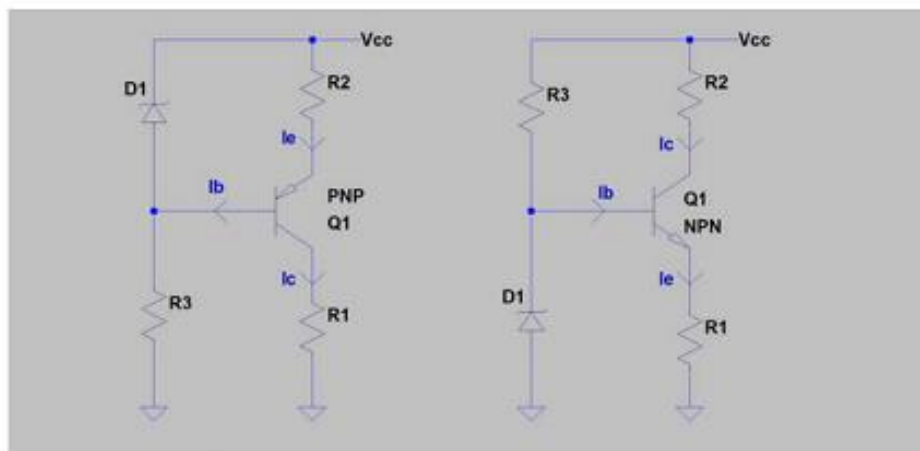
$$V_{cc} - R1 * I_c - V_{ce} - R2 * I_e = 0$$

Da ne bi došao u zasićenje $V_{ce} > V_{ce_sat}$ i ako smatramo da je $I_c = I_e$ dobijamo da nam R1 mora biti u opsegu:

$$0 \leq R1 \leq \frac{V_{cc} - V_{ce_sat}}{I_c} - R2$$

Ako su nam uslovi ispunjeni možemo da menjamo R1 i pri tome struja kroz njega će biti konstantna. Isti princip je i za PNP tranzistor.

U praksi se naponski generator zamenjuje elektronskim kolom sa zener diodom koja obezbeđuje konstantan napon.

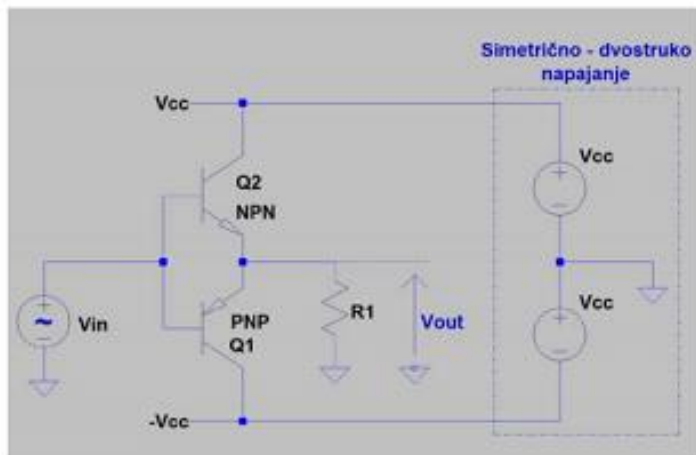


Slika 3: Strujni generatori

R3 mora da bude dovoljno veliko da obezbedi struju za napajanje baze tranzistora i da održi zener diodu u probouju. Potrošač treba da nam ima malu vrednost da bi

tranzistor bio u aktivnoj oblasti. Međutim mala vrednost potrošača će nam dovesti do toga da imamo veću vrednost V_{ce} odnosno do povećane disipacije na tranzistoru.

13. PUSH-PULL POJAČAVAČKI STEPEN I DARLINGTONOVA SPREGA

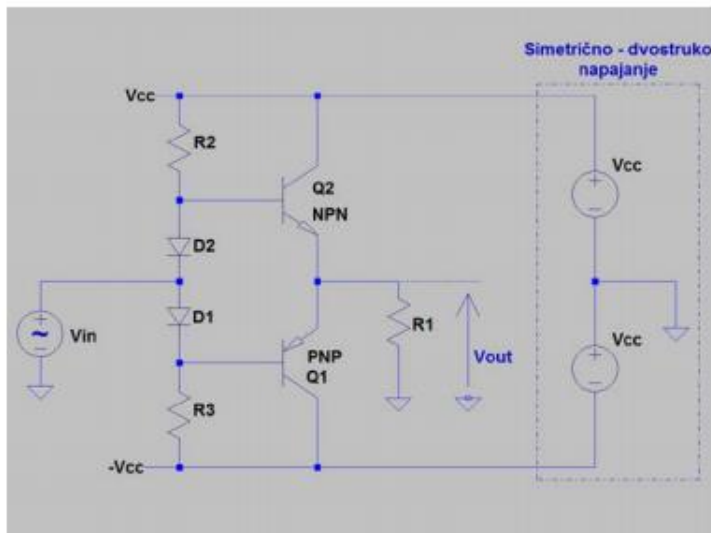


Slika 6: Push-Pull pojačavački stepen

Potrebno nam je simetrično dvostruko napajanje odnosno umesto jednog izvora napajanja elektronskog sklopa imamo dva ali suprotnog znaka, i masu (srednja vrednost ta dva potencijala).

Ukoliko je $V_{in}=0$ oba tranzistora će biti zakočena. Kada V_{in} poraste preko $+0.6V$ Q2 postaje aktivan dok je Q1 zakočen i izlazni napon $V_{out} = V_{in} - V_{be2}$. Ukoliko V_{in} padne ispod $-0.6V$ tada je Q1 aktivan a Q2 zakočen i $V_{out} = V_{in} - V_{be1}$ pri čemu su V_{in} i V_{be1} negativni naponi.

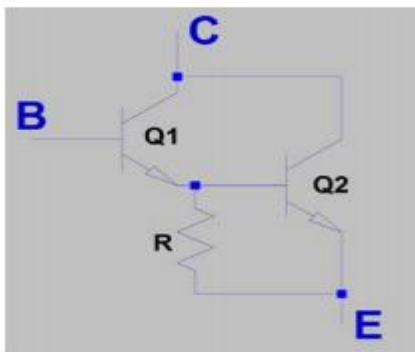
Nedostatak je taj što neće pojačavati ulazne napone u opsegu od -0.6 do $0.6 V$ i tada je izlazni napon jednak nuli. To se reguliše ubacivanjem dioda i otpornika koji će nam obezbediti da su tranzistori uvek polarisani tj. da će u svakom trenutku jedan od tranzistora da provodi.



Gornji tranzistor pojačava gornju poluperiodu a donji tranzistor donju poluperiodu.

Naponsko pojačanje push-pull pojačavača je 1, dok daje strujno pojačanje.

Darlingtonova sprega:



Slika 5: Darlingtonova sprega

Otpornik služi da onemogući struji curenja tranzistora Q1 da se pojača u tranzistoru Q2. Da bi postojala bazna struja kroz Q2 emitorska struja Q1 mora da stvori pad napona od 0.6V na otporniku što predstavlja prag provođenja tranzistora. Ako pretpostavimo da su tranzistori idealni, ne postoji struja curenja, bazna struja Q2 je emitorska od Q1 pa sledi:

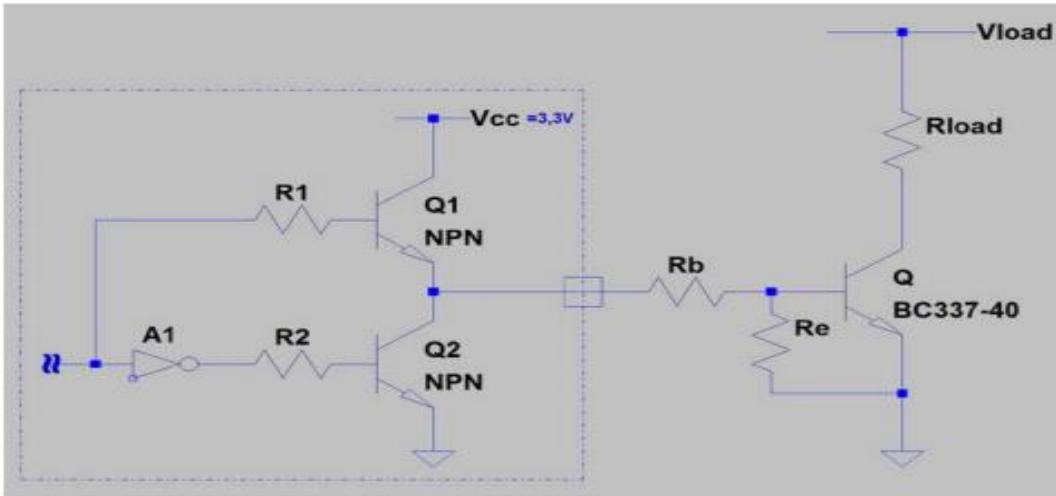
$$I_{c2} = h_{fe2} * I_{b2} = h_{fe2} * h_{fe1} * I_{b1}$$

Tranzistor Q2 ne može ući u zasićenje pa je:

$$V_{ce_{min}} = V_{ce2} = V_{be2} + V_{ce_{sat1}}$$

14.BIPOLARNI TRANZISTOR KAO PREKIDAČ SA OTPORNIM I INDUKTIVNIM POTROŠAČEM

Kada se tranzistor koristi kao prekidač njegova radna tačka se nalazi ili u oblasti zakočenja ako je prekidač isključen ili u oblasti zasićenja ako je uključen.

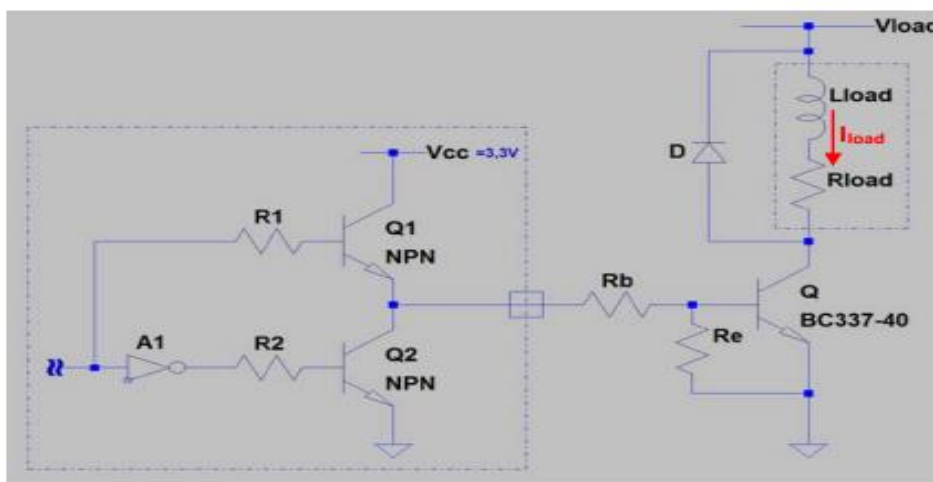


Uokviren deo je izlazni stepen porta mikrokontrolera. Realizuje se pomoću 2 tranzistora koji se naizmenično uključuju (Q1 za logičku jedinicu, Q2 za logičku nulu). R_b definiše struju baze. Struja mora biti velika da bi tranzistor bio u zasićenju. R_e služi da obezbedi sigurno isključenje Q i da se u toku reseta ne bi uključio zbog struja curenja. Da bi tranzistor Q proveo na R_e mora da se obezbedi pad napona od 0.6V. Maksimalna vrednost baznog otpornika se projektuje tako da tranzistor Q sigurno bude u zasićenju kada je na izlazu logička jedinica. Za slučaj da se napon napajanja potrošača V_{out} I napon napajanja mikrokontrolera V_{cc} razlikuju jedini uslov koji treba da bude ispunjen je da imaju zajedničku masu.

NPN se postavlja ispred PNP da bi prilagodili napon nivoa (npr. sa 23,4V na 3,3V). Oba tranzistora moraju biti u zasićenju. Kada se isključi Q3 kroz njegov kolektor-emitor prolazi struja curenja I da nemamo R_e kroz potrošač bi prolazila struja koja je veća od dozvoljene.

Sa induktivnim potrošačem

Sama induktivnost potrošača ima značaj u trenutku uključenja i isključenja. Pri isključenju imamo problem jer induktivnost neće dozvoliti trenutni prekid struje, dok pri uključenju induktivnost će samo usporiti uspostavljanje struje. Intenzitet struje određuje unutrašnja otpornost.



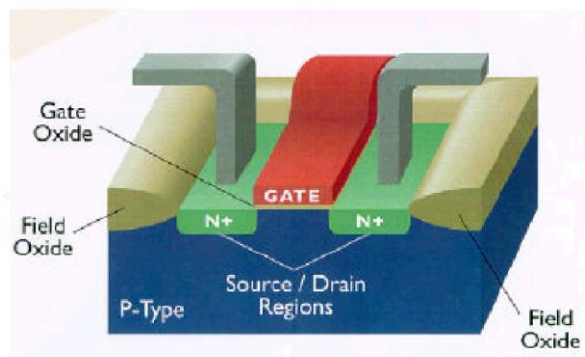
Slika 3: Prekidačko kolo sa induktivnim potrošačem

Dioda D je inverzno polarisana. Kada se isključi bazna struja Q (isključen Q1, uključen Q2) potrošač će se ponašati kao generator i smer napona je takav da je pozitivniji kraj ka kolektoru tranzistora od Vload. Ukoliko ne postoji dioda došlo bi do proboja tranzistora i protekla bi struja. Dioda nam služi da ograniči napon. Ona će u trenutku isključenja Q i promene smera napona postati direktno polarisana i ograničiti napon na potrošaču na 0.6V pa će $V_{ce} = V_{cc} + 0.6$. Struja I_{load} će se smanjivati pri konstantnom naponu od 0.6V dok ne padne na nulu. Ako želimo brže isključenje ubacujemo zener diodu na red sa diodom i $V_{ce} = V_{cc} + 0.6 + V_z$.

Struju kroz potrošač definišemo formulom:

$$I_{load} = (V_{load} - V_{ces}) / R_{load}$$

15. MOSFET TRANZISTORI: PRINCIP RADA, OSNOVNE KARAKTERISTIKE, OBLASTI RADA, RADNA PRAVA



Sastoji se od poluprovodničkog substrata P tipa u kojem su napravljena dva ostrva N+ tipa na kojim su izvedeni metalni izvodi S-source i D-drain. Između 2 N sloja se nalazi izolacija.

Šematski prikaz:



Između sorsa i drejna postoji dioda i ona je uvek inverzno polarisana.

Pomoću dužine i širine tranzistora možemo izračunati jednačine za njegovo ponašanje.

Struja između sorsa i drejna teče kroz isti tip poluprovodnika pa se nazivaju i unipolarnim. Kod NMOS-a drejn mora da bude pozitivniji od sorsa kako bi se parazitna dioda inverzno polarisala jer u suprotnom ne bi mogla da prekine tok struje. Kod PMOS-a smer struje i polarizacija drejna, sorsa suprotna.

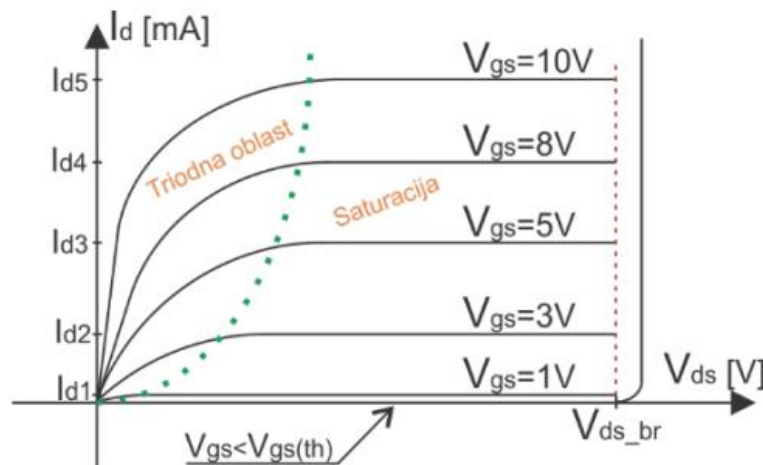
Možemo da ga koristimo kao pojačavač i kao prekidač.

Kolo Gejta:

Mosfet je naponski upravljana komponenta te struja drejna zavisi od napona između gejta i sorsa pri čemu je struja gejta nula. Probojni napon je $\pm(10 \div 20)V$ i ukoliko pređe taj napon dolazi do proboja izolacije gejta i mosfet je uništen.

Najvažniji parametar za izbor mosfeta je napon praga gejt-sors V_{gs} koji predstavlja napon pri kom se uspostavlja kanal i mosfet počinje da provodi.

Kolo Drejna:

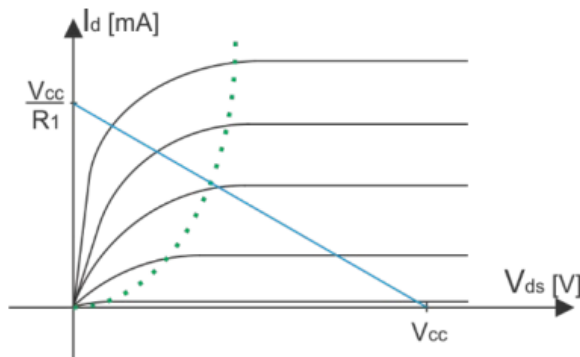


Nagib krive je jednak otpornosti kanala između drejna i sorsa.

Oblasti rada:

- **OBLAST ZAKOČENJA**- kada je $V_{gs} < V_{gs(th)}$ tada je struja drejna = 0 (prekid toka struje kroz kolo drejna)
- **OBLAST ZASIĆENJA-SATURACIJE**: Ova oblast odgovara aktivnoj oblasti bipolarnog tranzistora. Da bi se našao u ovoj oblasti $V_{ds} \leq V_{gs} - V_{gs(th)}$. Struja drejna je proporcionalna naponu gejta V_{gs} dok V_{ds} zavisi od ostatka kola ali mora da važi prethodna relacija $V_{ds} \leq V_{gs} - V_{gs(th)}$
- **TRIODNA OBLAST**: U ovoj oblasti mosfet se ponaša kao naponski kontrolisani otpornik čija otpornost zavisi od napona V_{gs} . Često se koristi u prekidačkim aplikacijama pa zbog toga ima i veliku brzinu uključjenja/isključenja. Snaga pobunog kola je mala jer je struja drejna jednaka nuli i pobudno kolo mora da obezbedi efikasno punjenje i pražnjenje kapacitivnosti gejta kako bi mosfet promenio stanje. Da bi obezbedili što manju otpornost R_{ds} u uključenom stanju V_{gs} mora da bude značajno veće od napona praga $V_{gs(th)}$
- **OBLAST PROBOJA**: $V_{ds} > V_{ds_br}$. Ukoliko se pređe dozvoljeni napon između drejna i sorsa doći će do proboja i proteći će struja drejna iako je napon gejta manji od praga

Radna prava i radna tačka:



Slika 10: Radna prava MOSFET-a

Kolo drejna se ponaša kao razdelnik napona koji deli V_{cc} na napone V_{ds} i napon na otporniku R_1 . U oblasti zakočenja $I_d = 0$ pa je i pad na $R_1 = 0$ pa mosfet preuzma ceo napon $V_{ds} = V_{cc}$. Porastom V_{gs} raste i struja drejna te je $V_{ds} = V_{cc} - I_d \cdot R_1$. V_{ds} će opadati sa porastom struje sve dok u triodnoj oblasti ne dostigne vrednost koja je definisana otpornošću R_{ds} koja zavisi od V_{gs} .

Parove V_{ds} i I_d određuje napon V_{cc} i otpornost kolektorskog otpornika R_1 i to je radna prava a bilo koja tačka na toj liniji je radna tačka.

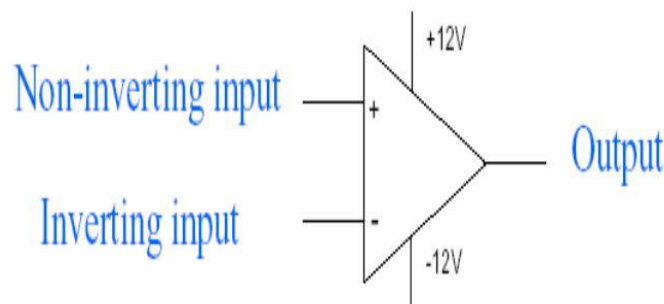
CMOS tranzistori se koriste za logička kola.

JFET tranzistori:

Kad nije pobuđen on provodi a kad ga pobudimo on ne provodi. Koriste se kod naponski kontrolisanih otpornika.

16. IDEALNI OPERACIONI POJAČAVAČ

Analogna integrisana kola. Pojačavaju napon između dva priključka (a ne između mase i priključka).



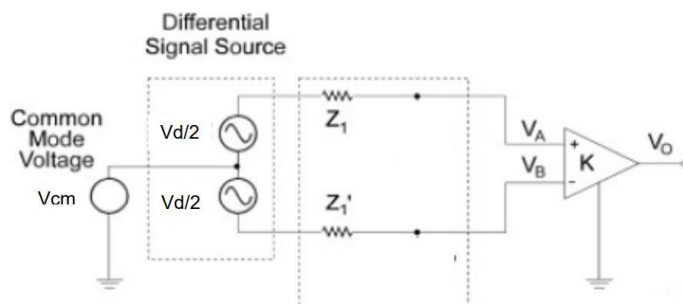
Uobičajene vrednosti napajanja pojačavača su +/-12V ili +/-15V.

Priključci za napajanje OP-a se na šemama najčešće izostavljaju.

Potrebno je obezbediti da razlika potencijala na ulazu bude 0.

Ako ne napravimo povratnu spregu na izlazu OP ćemo dobiti VCC ili -VCC.

CMRR faktor:



CMRR je mera tendencije uređaja da odbije srednju vrijednost ulaznih signala. Gdje je A_{cm} pojačanje srednje vrednosti signala.

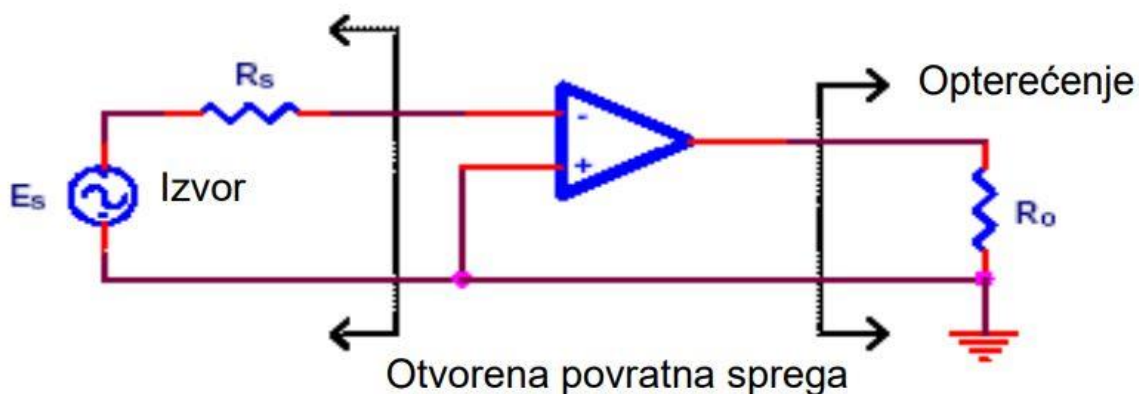
$$A_d = K$$

$$V_o = A_d(V_A - V_B) + A_{cm}V_{cm} = A_dV_d + A_{cm}V_{cm}$$

$$CMRR = 20 \log \frac{A_d}{A_{cm}}$$

Kod idealnog operacionog pojačavača vazi: $A_{cm}=0$ odnosno $CMRR=\infty$

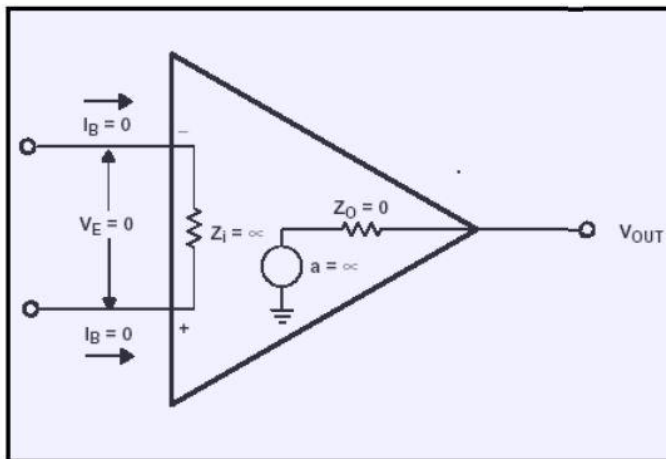
Virtuelna masa:



Da bi se dobio konačan napon na izlazu, pri beskonačnom pojačanju OP-a neophodno je da ulazni napon teži nuli.

Pri analizi se smatra da se ulazi OP-a nalaze na istom potencijalu koji se naziva virtuelna masa (ne mora biti na potencijalu mase kola).

Karakteristike idealnog operacionog pojačavača:



Beskonačno diferencijalno pojačanje

Beskonačna ulazna impedansa

Nulta izlazna impedansa

Beskonačan factor CMRR

Beskonačno širok propusni opseg

Beskonačan ulazni i izlazni dinamički opseg

Karakteristike realnog operacionog pojačavača:

Diferencijalno pojačanje konačno; preko 100dB

CMRR=20log(Adif/Acm) oko 100dB

Propusni opseg konačan

Ulazne impedanse i do više GΩ

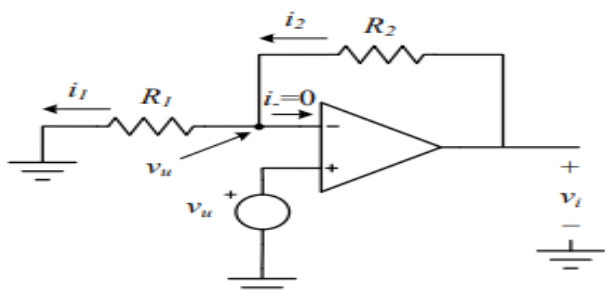
Izlazna impedansa nekoliko Ω

Ofset različit od nule; od μV naviše

17.NEINVERTUJUĆI POJAČAVAČ

Negativnu povratnu spregu ostvarujemo pomoću otpornika R2. Ulazni signal koji se pojačava dovodi se na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača, za razliku od invertujućeg spoja gde se dovodi na invertujući ulaz. Pošto je kod idealnog operacionog pojačavača razlika ulaznih napona jednaka nuli, odnosno pošto kroz ulazne priključke ne teče struja, možemo reći da se naponi V1 i V2 nalaze na istom potencijalu ($V_1=V_2=V_u$).

Neinvertujući pojačavač



$$i_1 = \frac{v_u - 0}{R_1} = \frac{v_u}{R_1}$$

$$v_i = v_u + R_2 i_1 = v_u + R_2 \frac{v_u}{R_1}$$

Naponsko pojačanje

$$A_v = \frac{v_i}{v_u} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

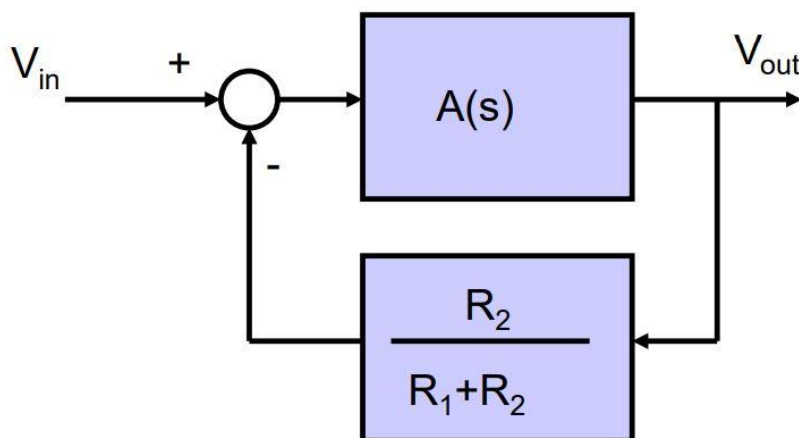
Ulazna i izlazna otpornost

$$R_u = \infty$$

$$R_i = 0$$

Pojačanje i u ovom slučaju ne zavisi od samog pojačavača, nego od izbora otpornika R1 i R2. Pojačanje ovog pojačavača je uvek veće od 1.

Funkcija prenosa neinvertujućeg pojačavača:



$$V_+ = V_-$$

$$V_+ = V_{in} \Rightarrow V_- = V_{in}$$

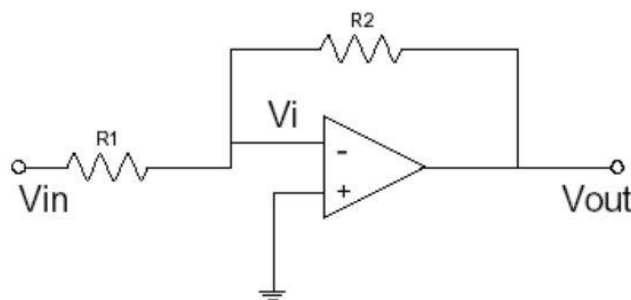
$$I_1 = I_2$$

$$\frac{V_{in} - V_{out}}{R_2} = \frac{0 - V_{in}}{R_1}$$

$$V_{out} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} V_{in}$$

18. INVERTUJUĆI POJAČAVAČ

Negativnu povratnu spregu ostvarujemo pomoću otpornika R2. Ulazni signal koji se pojačava se takođe dovodi na invertujućí ulaz. Pošto je pojačanje kod idealnih operacionih pojačavača beskonačno, da bi izlazni napon bio konačan tada mora da važi $V_i = 0$, odnosno $V_1 = V_2 = 0$. Pošto je ulazna otpornost kod idealnih operacionih pojačavača beskonačno velika, u tom slučaju možemo da kažemo da je struja kroz ulazne priključke jednaka nuli.



$$\frac{V_{in} - V_i}{R_1} = \frac{V_i - V_{out}}{R_2}$$

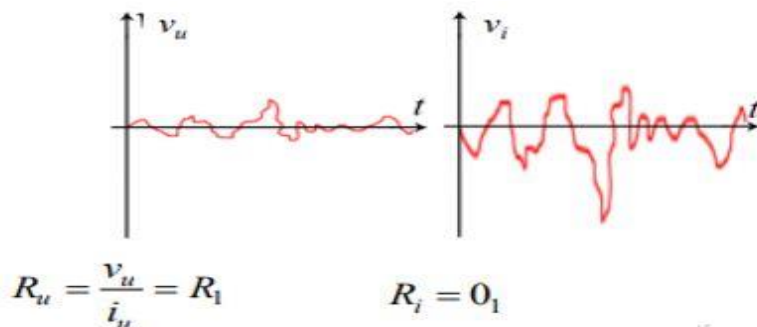
$$V_i - V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_{in} - V_i)$$

$$V_{out} = -A V_i$$

$$-\left(\frac{1}{A} + 1\right) V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \left(V_{in} + \frac{V_{out}}{A}\right)$$

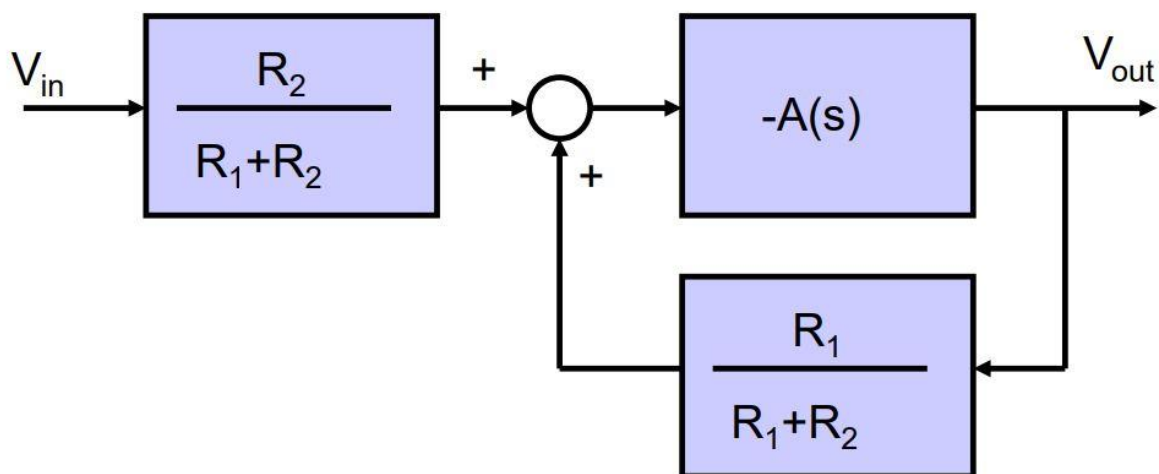
$$-\left(\frac{1}{A} + 1 + \frac{R_2}{A \cdot R_1}\right) V_{out} = \frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

Kada A teži beskonačnosti dobijamo sledeći izraz: $\frac{V_{out}}{V_{in}} = -R_2/R_1$



Vidimo da je pojačanje negativno, što znači da je izlazni signal fazno pomeren za -180° u odnosu na ulazni signal. Pojačanje može biti veće ili manje od jedan što zavisi od izbora otpornika. Ovde je važno primetiti da pojačanje ne zavisi od samog pojačavača, nego od izbora otpornika R1 i R2.

Funkcija prenosa invertujućeg pojačavača:



$$V_+ = V_-$$

$$V_+ = 0 \Rightarrow V_- = 0$$

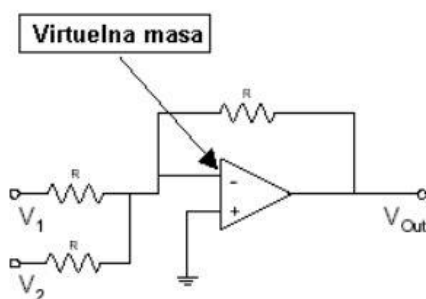
$$I_1 = I_2$$

$$\frac{V_{in} - 0}{R_1} = \frac{0 - V_{out}}{R_2}$$

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

19.SABIRAČ

Kao što sam naziv kaže operacioni pojačavači su se prvobitno koristili za izvođenje analognih računskih operacija. Jedno od tih kola je pojačavač za sabiranje signala.



Suma struja u čvoru virtuelne mase mora biti nula, a zbog beskonačne ulazne impedanse OP.AMP.-a struja prema OP.AMP.-u je nula te važi:

$$\frac{V_1}{R} + \frac{V_2}{R} + \frac{V_{out}}{R} = 0$$

$$V_{out} = -(V_1 + V_2)$$

Vidimo da se izlazni napon dobija kao linearna kombinacija ulaznih napona. U našem slučaju su proizvoljno uzeta dva ulaza, međutim na ovaj način je moguće sumirati proizvoljan broj ulaznih signala.

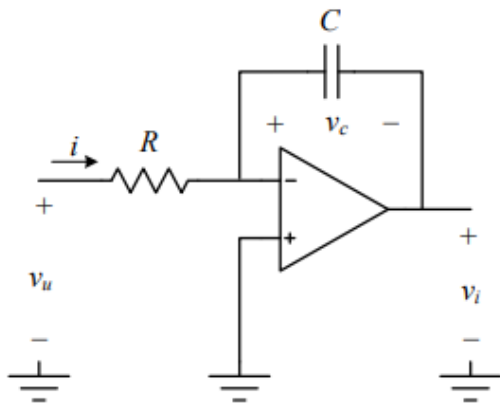
Jedna od najpoznatijih primena ovih kola je audio mikser.

20.INTEGRATOR

Kolo koje može da obavi integraljenje ulaznog signala naziva se integrator.

I u ovom slučaju možemo primeniti pretpostavku da je invertujući ulaz na 'virtuelnoj masi'. Takođe zbog velike ulazne otpornosti operacionog pojačavača možemo smatrati da ne postoji struja kroz ulazne priključke operacionog pojačavača. Odavde možemo zaključiti da je struja koja teče kroz otpornik R istovremeno i struja koja teče kroz kondenzator C, odnosno važi:

Integrator



$$i(t) = \frac{v_u(t)}{R}$$

Struja i teče i kroz C te je

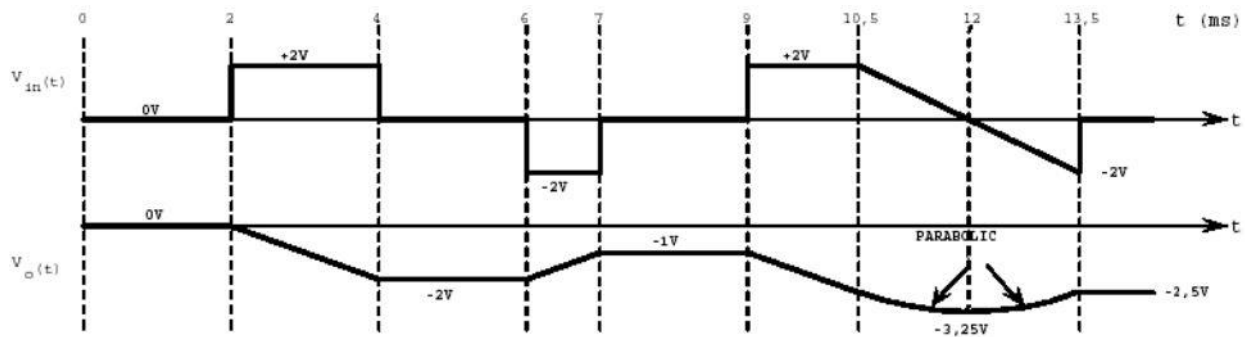
$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau + v_c(0)$$

$$v_i(t) = -v_c(t) = -\frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau - v_c(0)$$

$$v_i(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_u(\tau) d\tau - v_c(0)$$

Ako je napon na kondenzatoru u početnom trenutku bio jednak nuli, $v_c(0)=0$, onda je napon na izlazu integratora

$$v_i(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_u(\tau) d\tau$$



$$V_+ = V_- = 0$$

$$I_1 = I_2$$

$$\frac{V_{in}}{R} = -C \frac{dV_{out}}{dt}$$

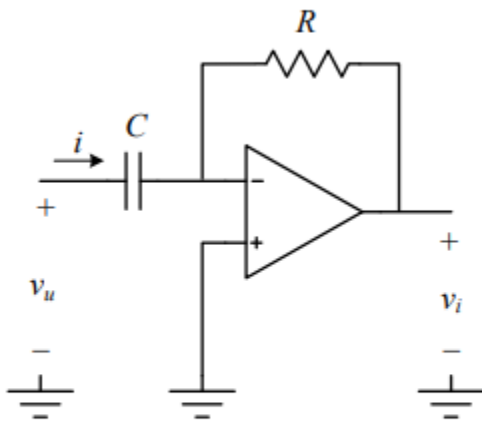
$$SV_{out}(s) - V_{out}(0) = -\frac{1}{RC} V_{in}(s)$$

$$V_{out}(s) = -\frac{1}{sRC} V_{in}(s)$$

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt$$

21.DIFERENCIJATOR

Diferencijator



Analiza kola

$$i_C(t) = C \frac{dv_u(t)}{dt}$$

$$v_i(t) = -Ri_C(t)$$

Napon na izlazu

$$v_i(t) = -RC \frac{dv_u(t)}{dt}$$

$$V_+ = V_- = 0$$

$$I_1 = I_2$$

$$\frac{0 - V_{out}}{R} = C \frac{dV_{in}}{dt}$$

$$V_{out}(s) = -RC(SV_{in}(s) - V_{in}(0))$$

$$V_{out}(s) = -sRC(V_{in}(s))$$

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

Dakle, izlazni napon je srazmeran prvom izvodu ulaznog napona, pa se ovo kolo naziva kolo za diferenciranje ili invertujući diferencijator.

Ukoliko se kolo pobudi sinusnim signalom, na izlazu će se generisati signal proporcionalan invertovanom kosinusnom signalu iste frekvencije.

Kada trebamo da izdvojimo brze promene koristimo diferencijator.