

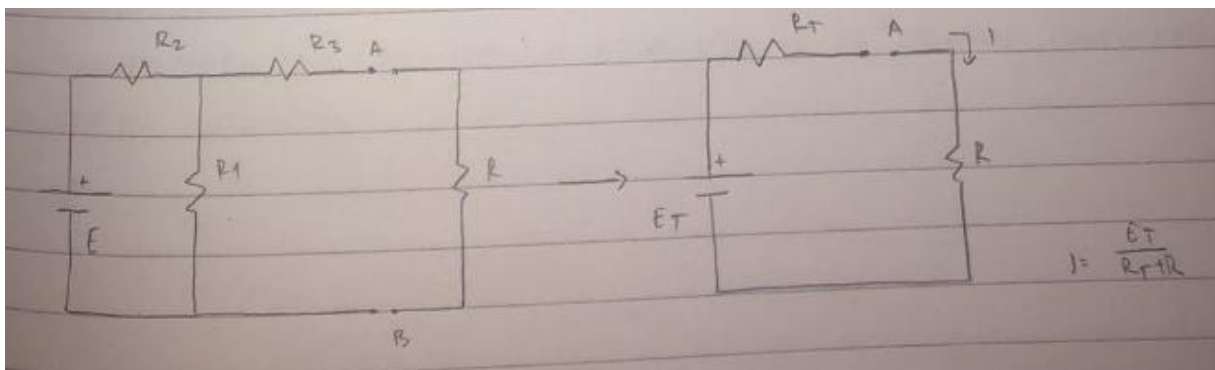
1) OMOV ZAKON I TEVENENOVA TEOREMA

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

$$U = I \cdot R$$

Zakon je nastao eksperimentalno. Utvrđeno je da struja koja protiče kroz provodnik približno proporcionalna primenjenom električnom polju. Konstanta srazmernosti je otpornost provodnika R . Standardna vrednost R je 1Ω - $20M\Omega$, ako je reda veličine $m\Omega$ onda se zanemaruje dok u slučaju da su $>$ od $20M\Omega$ onda se smatraju izolatorima.

Tevenenova teorema: Bilo koje el kolo između dve tačke moguće je predstaviti ekvivalentnim kolom koje se sastoji od naponskog izvora i otpornika koji je redno vezan.



Tevenenova otpornost se nalazi nalazenjem ekvivalentne otpornosti između krajeva kola pri čemu se naponski izvor zamenjuje kratkim spojem a strujni otvorenim vezom.

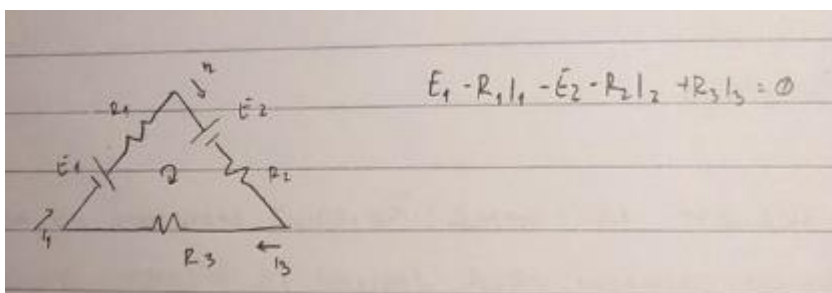
$$(U \text{ ovom primeru } R_t = R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2})$$

Vrednost naponskog generatora se određuje izračnavanjem napona na krajevima kola bilo kojom metodom (U našem primeru $E_t = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot E$)

2) KIRHOFOVI ZAKONI I PRIMENA

I KZ: Zasniva se na primeni održanja naelektrisanja: Promena količine naelektrisanja u nekom delu prostora jednaka količini naelektrisanja koja u taj prostor ulazi minus količina naelektrisanja koja iz tog prostora ulazi (Algebarska suma svih struja u čvoru jednaka je nuli)

II KZ: Zasniva se na principu održanja energije: Ukupna suma napona unutar bilo koje konture (zatvorene petlje) jednak je nuli.



3) OTPORNICI

Vrednost elektnog elementa je mera sposobnosti materijala da se suprostavi proticanju struje kroz element. Zavisi od geometrijskih i elektricnih svojstava materijala.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad l - \text{duzina,} \quad S - \text{povrsina pp} \quad \rho - \text{specifcna otpornost materijala} [\Omega \cdot \text{m}]$$

$$G = \frac{1}{R} \text{ specifcna provodnost [S- simens]}$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \text{ specifcna provodnost} \left[\frac{\text{S}}{\text{m}} \right]$$

Posto otpornik pretvara elektricnu energiju u toplotnu dolazi do disipacije : $P_d = U \cdot I$ (snaga disipacije)

Standardna vrednost R je $1\Omega - 20\text{M}\Omega$, ako je reda velicine $\text{m}\Omega$ onda se zanemaruje dok u slucaju da su $> 20\text{M}\Omega$ onda se smatraju izolatorima.

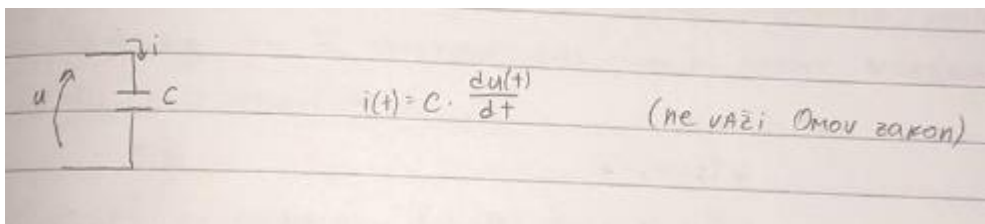
4) KONDENZATORI I INDUKTIVOST

Kapacitivnost je sposobnost materijala da skladišti naelektrisanje. Ti uređaji nazivaju se kondenzatori. Njega cine dva provodnika izmedju kojih se nalazi izolator (dielektrik).

Kolicina naelektisanja skladištena u kondenzatoru proporcionalna je kapacitivnosti i naponu na njegovim krajevima.

$$Q = C \cdot U \quad C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

Kondenzator je pasivni element kroz koji tece struja i :



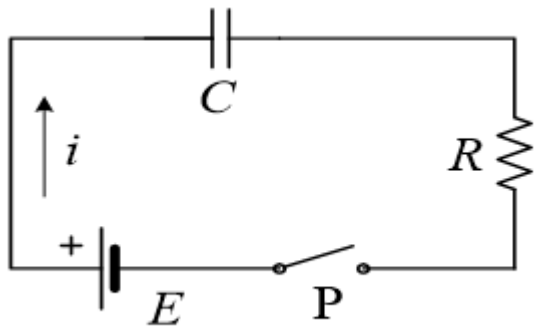
$$\text{Redna veza } \frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

$$\text{Paralelna veza } C_e = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

U kondenzatoru dolazi do nagomilavanja naelektrisanja i on ostaje naektrisan i kada ga izvadimo

$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$, snaga predstavlja brzinu akumulisane energije $p = \frac{dW}{dt}$ i za razliku od otpornika nema promene u toploti.

Prelazni rezim se mora opisati diferencijalnim jednacinama, nije dovoljno samo KZ i Omovim zakonom



$$E - \frac{q}{C} - R \cdot i = 0$$

$$i = \frac{dq}{dt}$$

$$R \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E$$

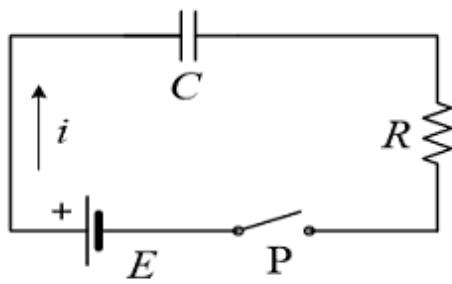
$$q(t) = q_p(t) + q_h(t)$$

$$q_p(t) = C \cdot E = \text{const}$$

$$R \cdot \frac{dq_h}{dt} + \frac{q_h}{C} = 0$$

$$\frac{dq_h}{dt} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot q_h$$

$$\frac{dq_h}{q_h} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot dt$$



• τ – vremenska konstanta

$$\tau = R \cdot C$$

$$\ln q_h = -\frac{t}{\tau} + k_1$$

$$q_h = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

• početni uslov

$$q(t=0) = 0$$

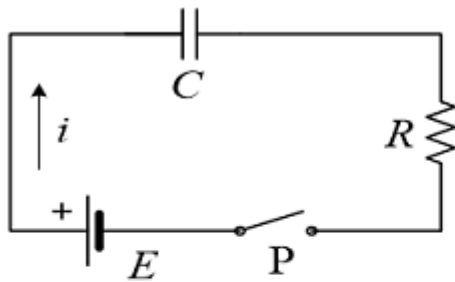
$$q(t) = q_p(t) + q_h(t)$$

$$q(t) = C \cdot E + k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$q(t=0) = C \cdot E + k = 0 \Rightarrow k = -C \cdot E$$

$$q(t) = C \cdot E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$q(t) = C \cdot E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$



$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$$i(t) = C \cdot E \cdot \frac{1}{R \cdot C} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

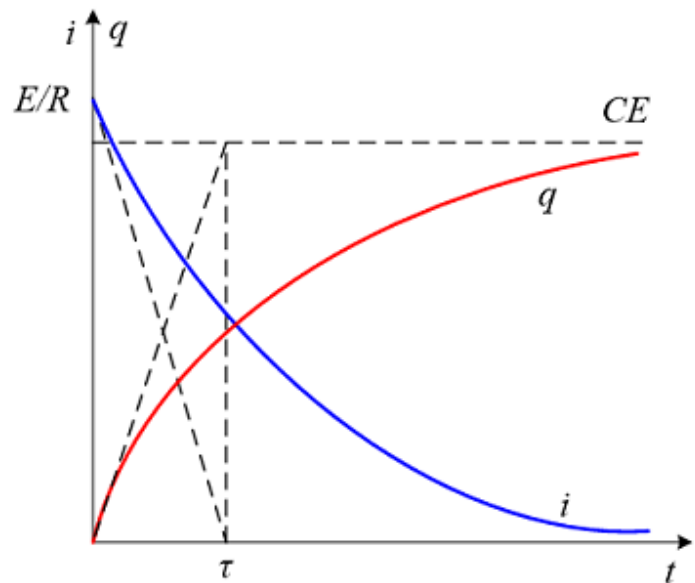
$$q(t) = C \cdot E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$u(t) = \frac{q(t)}{C}$$

$$u(t) = E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$q(t) = C \cdot E \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$$

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$



Vrste i osobine:

Razlikujemo na osnovu 2 parametara:

-kapacitivnost [F]

-probojni napon U_p (ne sme da predje taj napon inace pca izolator)

-Elektrolitski kondenzator:

1 μ F- 10000 μ F (velika kapacitivnost), imaju jedan dielektrik i koriste se samo kod jednosmernih struja jer su polarisani i ako pogresno povezano doci ce do unistenja kondenzatora, brzina punjenja(praznjenja) 100KHz i koristi se kod feltera(ispravljac)

-Folijski(klasicni):

Uglavom od aluminijuma (2 folije i izmedju dielektrik, urolaju se da se smanji površina)

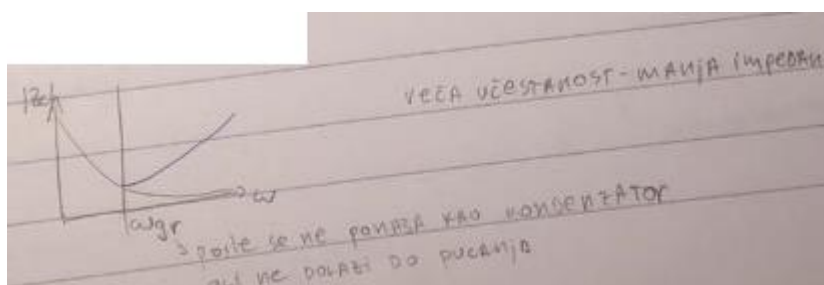
20kHz i nije polarisan

-Keramicki:

Izolacija od keramike, visok probojni napon a vrlo tanak, koristi se u elektronici i frekvencije do GHz

Primena kondenzatora: da ublazi promene napona. Frekvencijski selektivan element (menja impedansu za razlicite frekvencije)

$$\text{Impedansa } Z_c = \frac{1}{j\omega C}$$



Induktivost

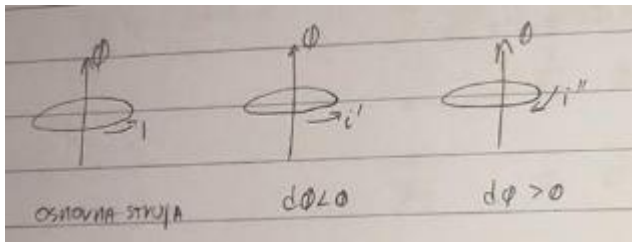
Posledica proticanja struje je magnetno polje $B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi r}$

Promenom fluksa javlja se induktivna struja koja stvara takvo polje da se suprotstavlja promeni fluksa.

$$\Phi = B \cdot S$$

Indukovana ems (faradejev zakon) $e(t) = -\frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow e(t) = -\frac{d(L \cdot i)}{dt} = -i \cdot \frac{dL}{dt} - L \cdot \frac{di}{dt}$ ($\frac{dL}{dt} = 0$ jer je L const)

$$\Phi = L \cdot i$$



L-induktivnost odgoara geometriji provodnika i magnetnim svojstvima sredine. Fizicki se pravi kao izolovana zica namotana na nesto.

$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$ i to je pasivni element

Bitni parametri :

-Induktivnost [H]

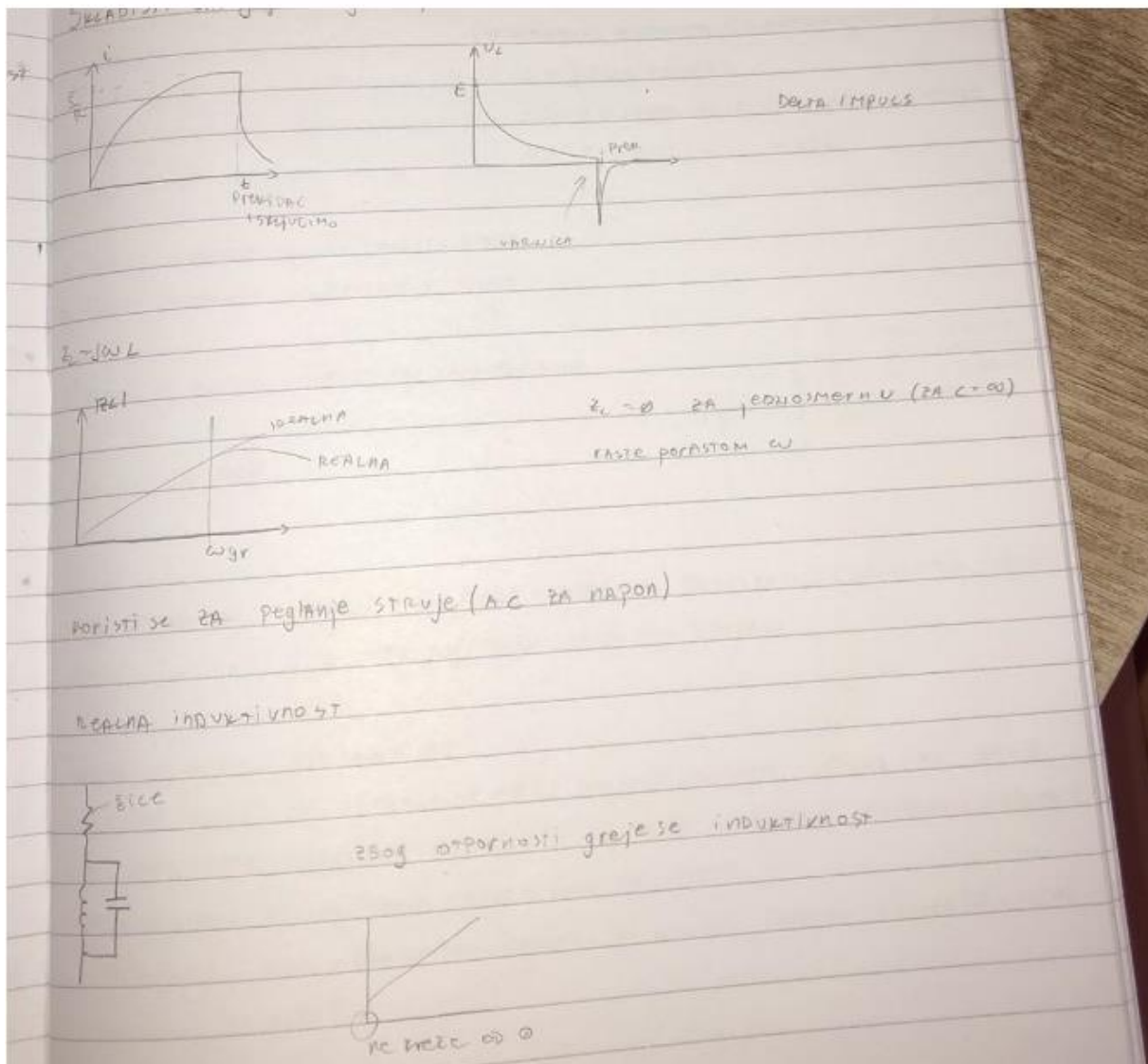
-red velicine uglavnom nH, μH, mH

-max struja kad jezgro udje u zasicenje i onda se ponasa kao kratak spoj i jezgra su najcesce od gvozdj, legure nikla ili feriti za vece ucestanosti

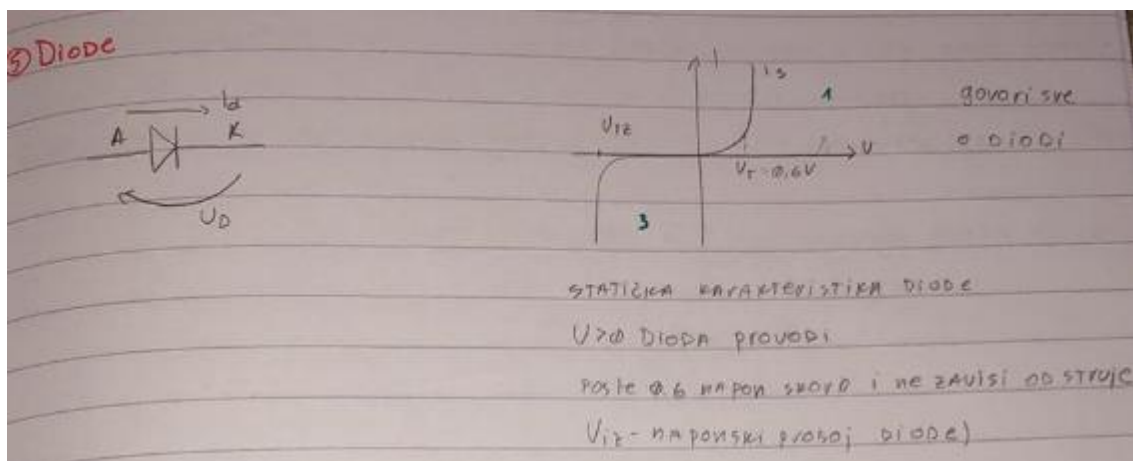
-redna i paralelna veza suprotna u odnosu na kondenzatore

L – sopstvena induktivnost, predstavlja osbinu provodnika da u odnosu na promenu struje indukuje ems u provodniku. Medeluje se preko impedanse. Zavojnica: $L = \frac{\mu \cdot A \cdot N^2}{l}$

Skladisti energiju magnetnog polja $W = \frac{1}{2} L \cdot i^2$



5) DIODE: TIPOVI I PARAMETRI KOJI IH KARAKTERISU



Imamo dve oblasti :

-Oblast direktne polarizacije

-Oblast inverzne polarizacije

Bitni parametri:

- I_{dmax} maksimalna struja direktne polarizacije(preko te vredosti pregori)

- U_{iz} maksimalan negativan napon koji moze da izdrzi

Takodje je bitno i gdje se koristi:

-Signalne diode za ispravljanje malih signala, par mA do 100mA,

-Ispravljacke diode za ozbiljnije struje $>1A$ do $100A$ i napone od $100V$ pa navise, koristi se za ispravljanje mreznog napona

-Prekidacke diode: nekoliko stotina nS vreme isključenja i uključenja

*podvrsta: sotki imaju veliku brzinu i nije PN spoj vec P i metal ili N i metal

-Zener dioda: rade u oblasti proboja, kao naponske reference, obezbedjuje konstantan napon

-Led dioda: svetli kada je direktno polarisana, probojni napon mali par V

6)PROBOJ KOD ELEKTRONSKIH KOMPONENTI

Kada komponenta koja u datim uslovima treba da bude neprovodna postane provodna.Uzrok nastanka proboja je **NAPON** izmedju dva priklucka komponente dok je rezultat proboja uvek **STRUJA**. Imamo **PROBOJ DIELEKTIKA** I **PROBOJ PN SPOJA**.

PROBOJ DIELEKTIKA: Obicno kod kodenzatora I komponenti koje koriste izolatore. Proboj gasnih izolatora dovode da jonizacije gasova I stvaranje strujnog luka. Tipicna dielektricna cvrstoca je oko $5KV/mm$. Slicne pojave se javljaju I kod tecnih dielektrika I tamo je dielektricna cvstoca oko $30KV/mm$. Kod ova dva stanja dolazi do jonizacije I komponenta postane provodna. Kod proboja cvrstih dielektrika dolazi do degradacije izolacionih karakteristika I nakon isključenja komponenta vise nije upotrebljiva. Javljaju se otvori u dielektiku I kratki spojevi izmedju komponentata. Dielektricna cvrstoca je oko $160 KV/mm$. Najveci broj kondenzatora je sa tecnim I cvrstim dielektrikom sto dovodi do trajnog unistenja. Izaziva ga preveliki napon na njegovim prikljućima.

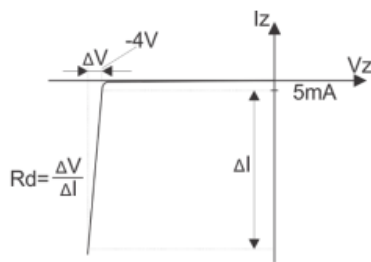
PROBOJ PN SPOJA: nastaje pri inverznoj polarizaciji PN spoja pri dostizanju probojnog napona. Razlika u odnosu na proboj dielektrika je ta sto u toku proboja napon ostaje priblizno konstantan u toku proboja I jednak je probojnom naponu. Sam proboj nije fatalan ako ogranicimo snagu disipacije (snaga Dzulovih gubitaka). Takodje neke komponente rade u oblasti proboja PN spoja(Zener dioda).

Struja je jako bitan factor za posledice, ukoliko je ona ogranicena na dovoljnu malu vrednost nece doći do posledica po tu komponentu. U elektronskim kolima koja nisu predvidjena da rade u probuju ne postoji ogranicenje struje I proboj ce biti fatalan za tu komponentu.

7)ISPRAVLJACI

8)STABILIZATORI NAPONA SA ZENER DIODOM

Kada nam je potrebno da imamo konstantno napajanje i da ne zavisi od varijacije napona samog izvora kao ni intenziteta struje koje „trosgti“ elektronski sklop. Zener dioda radi u inverznoj polarizaciji tj u oblasti proboja.



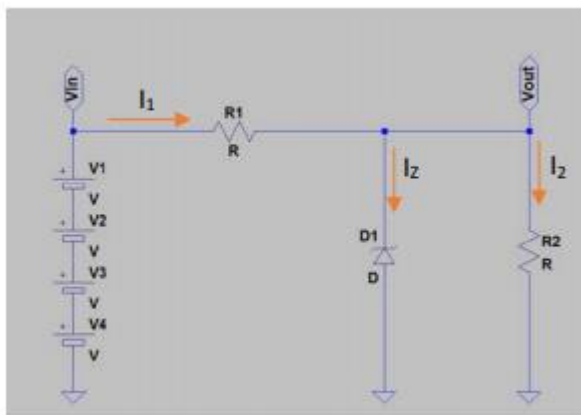
1-Probodni napon V_Z - definise se pri specificnim vrednostima I_Z

2-Minimalna struja I_Z - potrebna struja kroz diodu da bi se radna tacka nasla ispod kolena stat. krive

3-Dinamička otpornost R_d -sto manja kod kvalitetnih zener, definise nagib stat. karak. u probodu

4-Dozvoljena snaga disipacije P_d - max snaga disipacije koju dioda moze konstantno da izdrzi

Slika isod je sema stabilizatora napona sa zener diodom



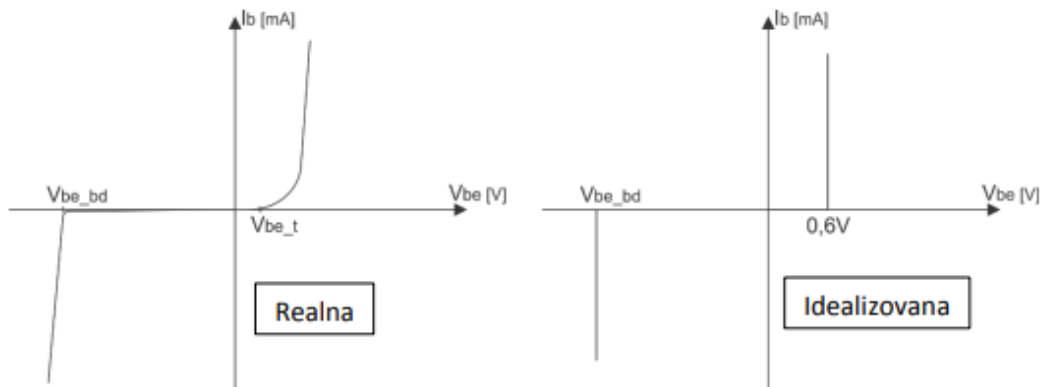
Projektovanje stabilizatora svodi se na odredjivanje otpornika $R1$ i zenerove diode $D1$. Stabilizator cine $R1$ i $D1$. Ako zelimo da imamo na izlazu napon od 4V trebamo da odaberemo zenerovu diodu koja ima probodni napon bas od 4V. Da obezbedimo da nam zener radi u oblasti proboja treba da nam struja kroz nju bude min 5mA. $I_1 = I_Z + I_2$ i $V_{in} - I_1 \cdot R1 - V_{out} = 0 \Rightarrow V_{out} = V_{in} - (I_Z + I_2) \cdot R1$

Posto nam je $V_{out} = V_Z$ (naponu proboja) imamo da nam se menja napon na $R1$ tako da uvek na njemu bude napon $V_{in} - V_{out}$. Upravljacka velicina je I_Z jer I_2 zavisi od $R2$ a $R1$ nam je fiksna ($V_{r1} = (I_Z + I_2)R1$). Ako povecamo V_{in} prouzrokuje porast V_{out} koji prouzrokuje porast I_Z koje nam nece dozvoliti da dodje do porasta napona na izlazu vec ce doci do porasta na $R1$ isto se desava i sa smanjenjem napona V_{in} . Izvrсни organ je $R1$ jer on menja napon V_{out} , a regulator je zener koja preko struje I_Z upravlja otpornikom. Prvo trebamo da odredimo $R1$ tako da pri min V_{in} i max I_2 tako da I_Z bude 5mA ($R1 = (V_{in_min} - V_{out}) / (I_{Z_min} + I_{2_max})$) I $R1$ ne sme biti veka od te vrednosti jer bi zener izašla iz oblasti proboja. 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 $R1$ a to cemo odrediti pri max V_{in} . Ovakav tip stabilizacije se koristi za male struje potrosaca, posto je tolerancija zenera +/- 5 posto tolika je I tolerancija I napona, zagrevanje diode dovodi do promene vrednosti probodnog napona, zbog stat kakar imamo da se vrednst napona blago menja sa povecanjem struje kroz zenera.

8)BIPOLARNI TRANZISTORI:OSNOVNE KARAK, OBLAST RADA, RADNA PRAVA

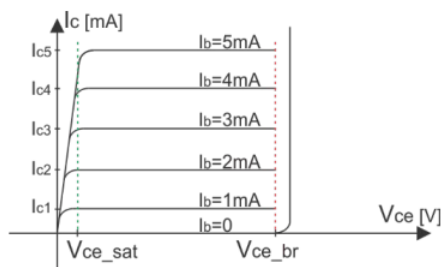
Sastoji se od 3 sloja poluprovodnika sa po 1 elektrodom I u zavisnosti od rasporeda mogu biti NPN I PNP. Emitor I kolektor su napravljeni od istog tipa dok je baza od drugog. Obicno se koriste kao pojacavac I kao prekidac. Imamo **BAZNO KOLO** I **KOLEKTORSKO KOLO**.

BAZNO KOLO: PN spoj baza-emitor predstavlja direktno polarisanu diodu I struja kroz diodu I_b dok je napon odredje stat karak. U praksi da bi postojala struja I_b treba nam $V_{be}=0.6V$ 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.

Razlikujemo 4 oblasti rada:

-OBLAST ZAKOCENJA: bazna struja je nula zbog toga je I_c jednaka nuli I transistor se ponasa kao otvoreno kolo

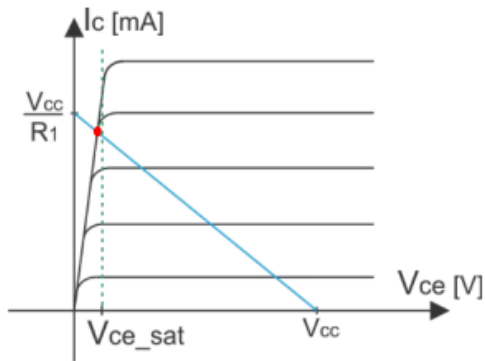
-AKTIVNA OBLAST: Prvo je potrebno da I_b bude veca od nule sto znaci da je baza-emitor direktno polarisan, a baze-kolektor inverzno. U ovoj oblasti se ponasa kao strujni generator, kolektorska struja je proporcionalna baznoj, a V_{ce} zavisi od kolektorskog kola ali mora biti veca od V_{ce_sat} . Strujno pojacanje je od 5 do 300. $I_{ce} = h_{fe} \cdot I_b$ – strujno pojacanje

OBLAST ZASICENJA: Oba PN spoja su direktno polarisana I $V_{ce}=V_{ce_sat}$, u ovoj oblasti ne radi kao pojacavac vec kao prekidac koji je ukljucen.

OBLAST PROBOJA: $V_{ce} > V_{ce_br}$, doci ce do proboja I protece I_c iako ne postoji I_b , tj gubi se sposobnost da se prekine struja u kolektorskom kolu.

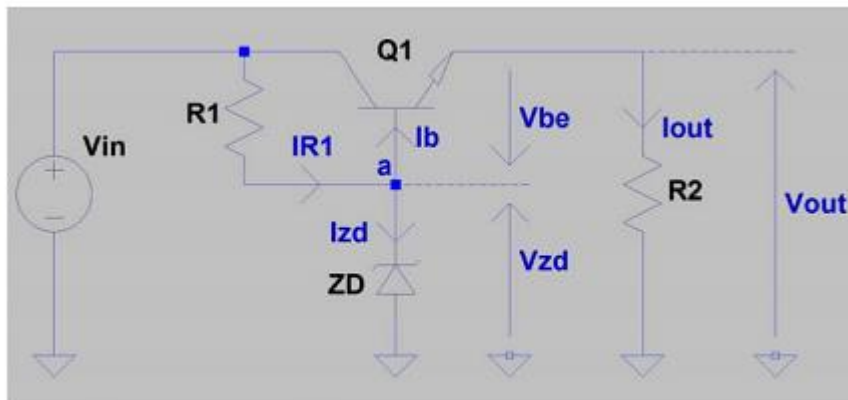
RADNA PRAVA: Kolektorsko kolo deli napon V_{cc} na V_{ce} I napon na R_1 . U oblasti zakocenja I_c i $I_b = 0$ pa je napon na $R_1=0$ I $V_{cc}=V_{ce}$. Porastom I_b i I_c V_{ce} se menja $\Rightarrow V_{ce} = V_{cc} - I_c \cdot R_1$. V_{ce} se sa porastom I_c opadati od V_{cc} sve do oblasti saturacije. Ako bi nam napon saturacije bio nula celokupan napon

V_{cc} bi se preslikao na R_1 . Ova linija predstavlja radnu pravu a bilo koja tacka na toj liniji je radna tacka. Npr radna tacka u oblasti saturacije: $V_{ce}=V_{ce_sat}$, $I_c = (V_{cc}-V_{ce_sat})/R_1$



Slika 8: Radna prava tranzistora

10) STABILIZATOR NAPONA SA BIPOLARNIM TRANZISTOROM

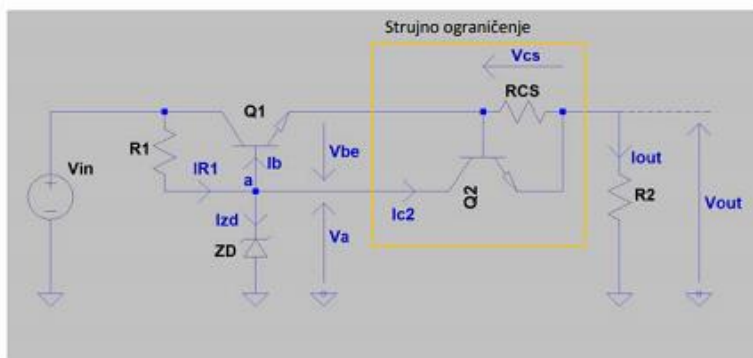


Slika 1: Stabilizator napona sa tranzistorom

Koristimo ga kada nam treba stabilizator za veće vrednosti struje. Tranzistor Q_1 je direktno polarisan u aktivnoj oblasti (kolektorski PN spoj direktno, emitorski spoj inverzno polarisan). Napon na bazi je jednak napou na zeneru a izlazni napon je $V_{out} = V_z - V_{be}$. $I_{R1} = (V_{in} - V_z) / R_1 = I_z + I_b$. Ako poraste izlazni napon raste I struja na zeneru a posto je zbir I_z i I_b const opada I_b sto prouzokuje da I_c smanjuje napon na potrosacu tj izlazi napon. Za smanjenje izlasnog isto samo suprotno. R_1 odredjujemo za min V_{in} , I_{out} maksimalna, minimalno pojacanje h_{fe} i minimalnu struju zenera:

$R_1 \leq (V_{in_min} - V_z) / ((I_{out_max} / h_{fe_min}) + I_{z_min})$ I ako je ovo ispunjeno zener je u proboju a transistor u aktivnoj oblasti. Prvo da odredimo $V_z = V_{out} + V_{be}$. Maksimalna snaga disipacije tranzistora je $P_{d_max} = (V_{in_max} - V_{out}) * I_{out_max}$. A max snaga disipacije zenera je $P_{z_max} = V_z * ((V_{in_max} - V_z) / R_1) - (I_{out_min} / h_{fe_max})$. Tranzistor vrši pojacanje struje i time smanjuje snagu disipacije na zeneru.

11) PRINCIP RADA STRUJNOG OGRANICENJA KOD STABILIZATORA NAPONA SA BIPOLARNIM TRANZ



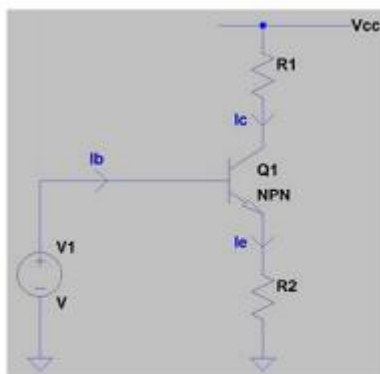
Slika 2: Stabilizator napona sa tranzistorom i prekostrujnom zaštitom

Stabilizator napona ima jako malu izlaznu otpornost pa se u slučaju kratkog spoja teći beskonačna struja i uništiti transistor Q1. Zato koristimo osigurac. On se sastoji od otpornika Rsc i tranzistora Q2. Kada nam je Iout u dozvoljenom opsegu Vcs (napon na otporniku) je manja od 0.6V i transistor Q2 je u zakločenom stanju. Kada je on zakločen ponasa se isto kao i stabilizator sa bipolarnim tranz samo je izlazna otpornost povećana za Rcs. Kada struja prije dozvoljenu vrednost Vcs je 0.6V i tada Q2 ulazi u aktivno stanje i $I_{r1} = I_b + I_z + I_{c2}$. 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 Iout_cl 10% veća od maksimalne struje i pomoću nje projektujemo $R_{cs} = V_{be} / I_{out_cl}$.

$V_a = V_z = R_2 \cdot I_{out_cl} + V_{cs} + V_{be} \Rightarrow R_2 = (V_z - 1.2) / I_{out_cl}$ ($V_{cs} + V_{be} = 1.2V$). Ukoliko nam je R2 manji od ove vrednosti zener nam više nije u probodu. Biramo transistor Q1 tako da može da podrži najgori slučaj a to je kada je R2=0 tj imamo kratak spoj i tada nam je snaga disipacije $P_{dmax} = I_{out_cl} \cdot (V_{in_max} - V_{cs})$. Za transistor Q2 maksimalne vrednosti su: $V_{ce2_max} = V_{cs} + V_{be}$

$I_{c2_max} = ((V_{in_max} - V_{be} - V_{cs}) / R_1) - I_{out_cl} / h_{fe_max}$; $P_{d2_max} = V_{ce2_max} \cdot I_{c2_max}$. Jedini nedostatak je povećanje izlazne otpornosti za Rcs.

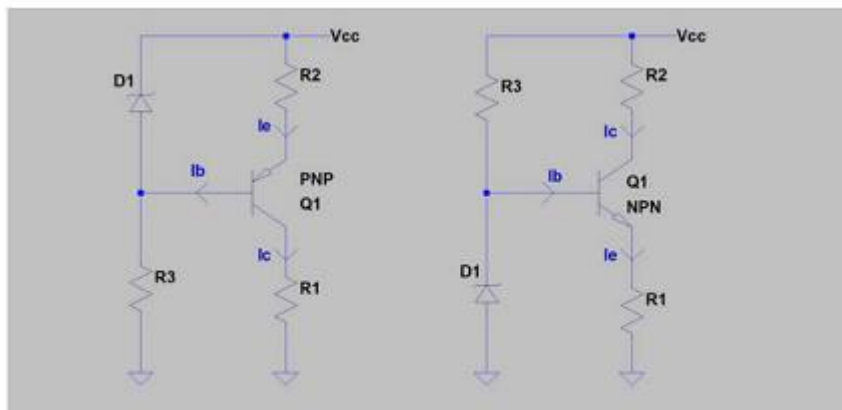
12) STRUJNI GENERATOR SA BIPOLARNIM TRANZISTOROM



Slika 1: Ponor konstantne struje – principna šema

Principna šema strujnog generator nasliva se i strujni ponor jer struja teče ka tranzistoru tj masi. Imamo konstantan napon V1, tranzistor Q1 i R2 dok je otpornik R1 potrošac. $V_1 = V_{be} + I_e \cdot R_2$ i iz ove jednačine možemo da izrazimo struju emitora i ona je konstantna. Otpornost R1 mora da nam bude takva da nam transistor radi u aktivnoj oblasti tj da ne dodje u zasícenje. $V_{cc} - R_1 \cdot I_c - V_{ce} - R_2 \cdot I_e = 0$. Da ne bi dosao u zasícenje $V_{ce} > V_{ce_sat}$ i ako smatramo da je $I_c = I_e$ dobijamo da nam R1 mora biti u opsegu $0 < R_1 < (V_{cc} - V_{ce_sat}) / I_c - R_2$. Ako su nam uslovi ispunjeni možemo da menjamo R1 i pri tome struja kroz njega će biti konstantna. Isti princip je i za PNP transistor.

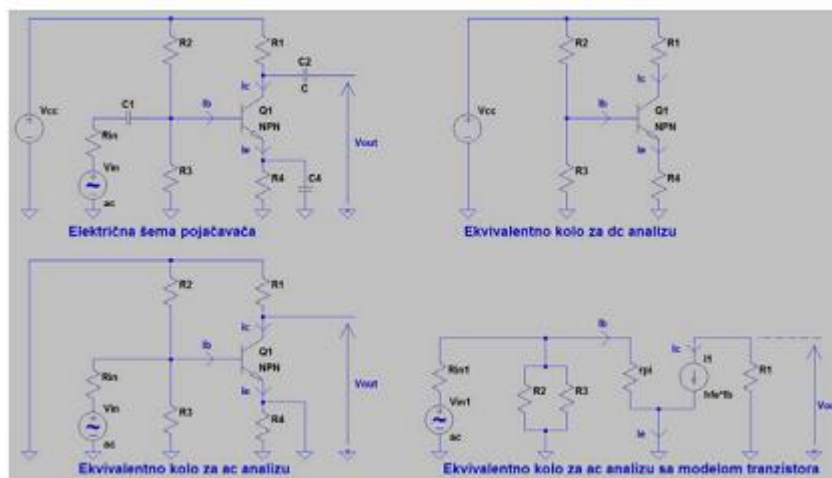
U praksi se naponski generator zamenjuje elektronskim kolom sa zener diodom koji obebedjuje konstantan napon.



Slika 3: Strujni generatori

R3 mora da bude dovoljno veliko da obezbedi struju za napajanje baze tranz i da odrzi zener diodu u proboju. Posebno trebamo voditi racuna o snazi d isipacije tranz. Potrosac treba da nam ima malu vrednost da bi tranz bio u aktivnoj oblasti. Medjutim mala vrednost potrosaca ce nam dovesti do toga da imamo vecu vrednost Vce odnosno do povecane disipacije na tranzistoru.

13)POJACAVAC KLASA A SA BIPOLARNIM TRANZ I KAPACITIVOM SPREGOM



Slika 5: Šema pojačavača klase A sa jednim tranzistorom

Kondenzator C1 nam služi da razdvoji kolo jednosmerne bazne struje od kola naizmenicne bazne struje (Pretpostavimo da je $V_{in}=0$, C1 ce se puniti iz V_t sve dok $V_{c1}=V_{be}$ I onda ce sva struja ići u Ib. Ako ukljucimo V_{in} u toku pozitivne poluperiode kondenzator ce se delimicno isprazniti dok ce u toku negativne puniti za isti iznos I srednja vrednost V_c ce I dalje biti V_{be} . $I_b = (V_t - V_{be})R_t + V_{in}/R_{in}$. To je struja baze). Kao I C1, kondenzator C2 nam ima istu ulogu, odnosno otklanja jednosmernu komponentu signala pa nam je V_{out} naizmenicni signal sa srednjom vrednoscu 0. Kondenzator C4 otklanja uticaj R4, uticaj negativne povratne sprege, na pojacanje naizmenicnih signala a da pri tome zadrzi negativnu povratnu spregu za jednosmerne signale tj stabilizaciju radne tacke. Kolo za AC analizu podrazumeva da je transistor pravilno polarisan I gleda samo male promene napona I struje oko radne tacke koje izaivaju naizmenicni signali koji se pojacavaju. Jednosmerne signale ne gleda. Pored parametra za strujno pojacanje imamo dinamicku otpornost baze tranzistora r_{pi} .

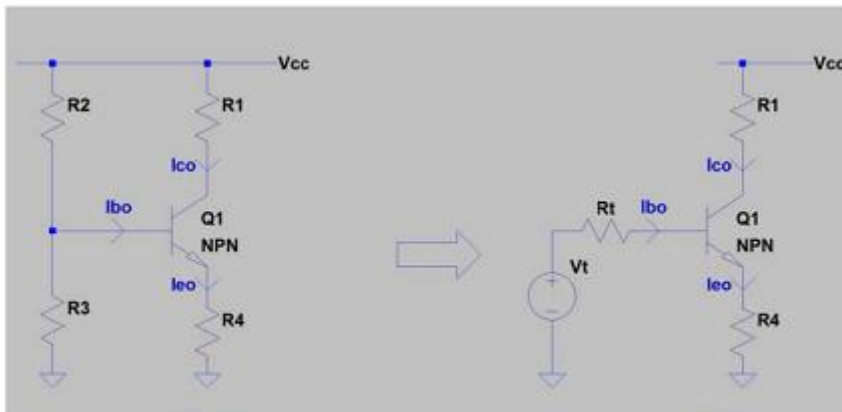
$$V_{out} = -i_c \cdot R_1 = -h_{fe} \cdot i_b \cdot R_1$$

$V_{in} = V_{be} = i_b \cdot r_{\pi} \rightarrow V_{be}$ nije 0.6V vec je to mala promena napona baza-emitor oko vredosti 0.6

Naponsko pojacanje $A_v = V_{out}/V_{in} = -(h_{fe} \cdot i_b \cdot R_1)/(i_b \cdot r_{\pi}) \Rightarrow$ Imamo negativno pojacanje sto znaci da menja fazu ulaznog signala i zavisi od parametara tranzistora i otpornika u kolektorskom kolu R_1 .

14) STABILIZACIJA MIRNE RADNE TACKE POJACAVACA KLASA A

Najveci nedostatak pojacavaca bez povratne sprege je sto mirna radna tacka direktno zavisi od strujnog pojacanja sto nije bas izvodljivo u praksi. Takodje I tolerancija osostalnih komponenti ima uticaja na mirnu radnu tacku. Zbog toga se uvodi negativna povratna sprega.



Slika 4: Stabilizacija mirne radne tacke sa otpornikom u emitorskom kolu

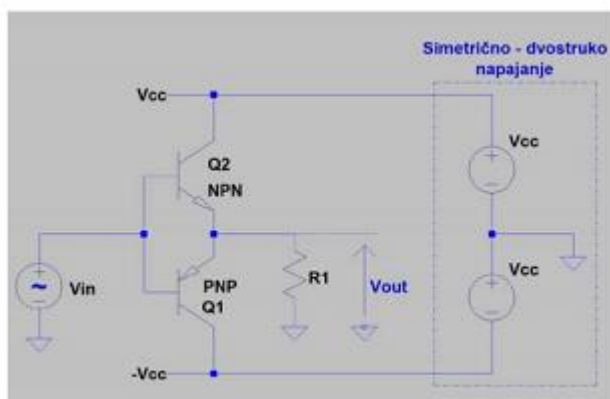
Jednacina po II K.Z. za bazno kolo je $\Rightarrow V_t - R_t \cdot I_{b0} - V_{be} - R_4 \cdot I_{e0} = 0$

$$I_{b0} = (V_t - V_{be} - R_4 \cdot I_{e0})/R_t \quad (V_t = V_{cc} \cdot R_3/(R_2 + R_3); \quad R_t = (R_2 \cdot R_3)/(R_2 + R_3))$$

I_{b0} I I_{e0} su mirne bazne I emitorske struje. Vidimo da je sprega negativna jer svako povecanje emitorse struje dovodi do smanjenja bazne sto ce na kraju smanjiti emitorsku. Ako uzmemo da je $h_{fe} \gg 1$ i $I_{e0} = I_{c0}$ sledi $I_{e0} = I_{c0} = (V_t - V_{be}) / (R_t/h_{fe} + R_4)$. Sto nam je vrednost R_4 veka a vrednost R_t manje imamo da uticaj pojacanja manji. U praksi se obicno uzima da je R_4 u opsegu 10-50 posto R_1 .

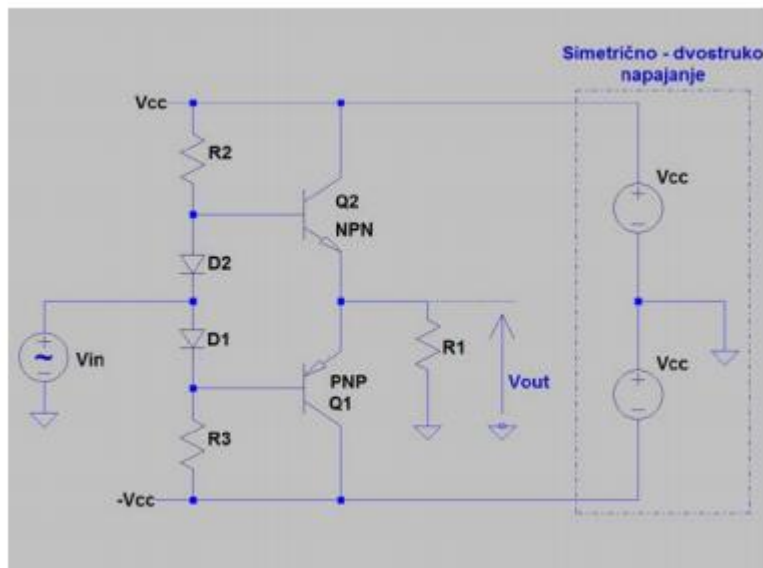
15) PUSH-PULL POJACAVACKI STEPEN I DARLINGTONOVA SPREGA

Kada treba se obezedi veliki napon I struja kroz potrosac koristimo PUSH-PULL pojacavac.



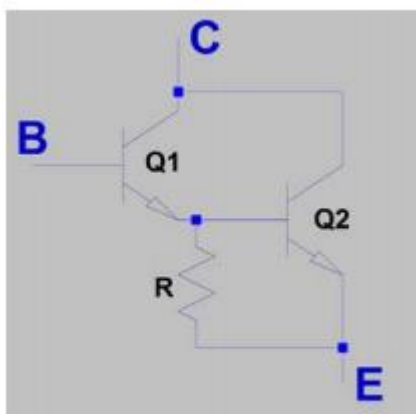
Slika 6: Push-Pull pojačavački stepen

Potrebno nam je simetrično-dvostruko napajanje odnosno umesto jednog izvora napajanja elektronskog sklopa imamo dva ali suprotnog znaka I masa, tj zajednicka referenta tacka je srednja vrednost ta dva potencijala. Ukoliko je $V_{in}=0$ oba tranzistora ce biti zakocena. Kada V_{in} poraste preko $+0.6V$ $Q2$ postaje aktivan dok je $Q1$ zakocen I izlazni napon $V_{out} = V_{in} - V_{be2}$. Ukoliko V_{in} padne ispod $-0.6V$ tada je $Q1$ aktivan a $Q2$ zakocen I $V_{out} = V_{in} - V_{be1}$ pri cemu su V_{in} I V_{be1} negativni naponi. Nedostatak je taj sto nece pojacavati ulazne napone u opsegu od -0.6 do $0.6 V$ I tada je izlazni napon jednak nuli. To se regulise ubacivanjem dioda I otpornika koji ce nam obezbediti da su tranzistori uvek polarisani tj da ce u svakom trenutku jedan od tranzistora da provodi.



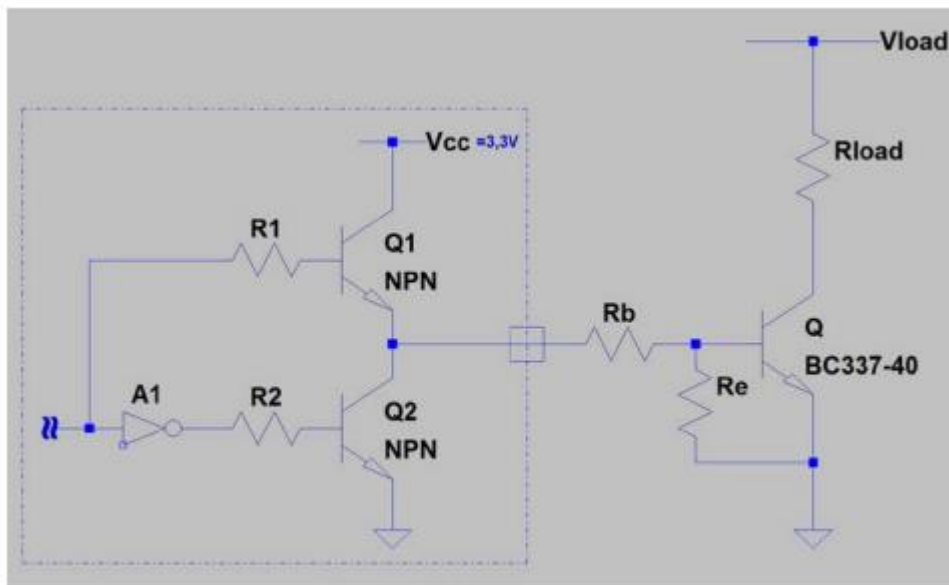
DARLINGTONOVA SPREGA

Otpornik služi da onemogući struju curenja tranzistora $Q1$ da se pojaca u tranzistoru $Q2$. Da bi postojala bazna struja kroz $Q2$ emitorska struja $Q1$ mora da stvori pad napona od $0.6V$ na otporniku sto predstavlja prag provodjenja tranz. Ako pretpostavimo da su tranz idealni, ne postoji struja curenja, bazna struja $Q2$ je emitorska od $Q1$ pa sledi : $I_{c2} = h_{fe2} \cdot I_{b2} = h_{fe2} \cdot h_{fe1} \cdot I_{b1}$. Strujno pojacanje $h_{fe1} \cdot h_{fe2}$, $V_{be} = V_{be1} + V_{be2}$ i transistor $Q2$ ne moze ući u zasicenje pa je $V_{ce_min} = V_{ce2} = V_{be2} + V_{ce_sat1}$.



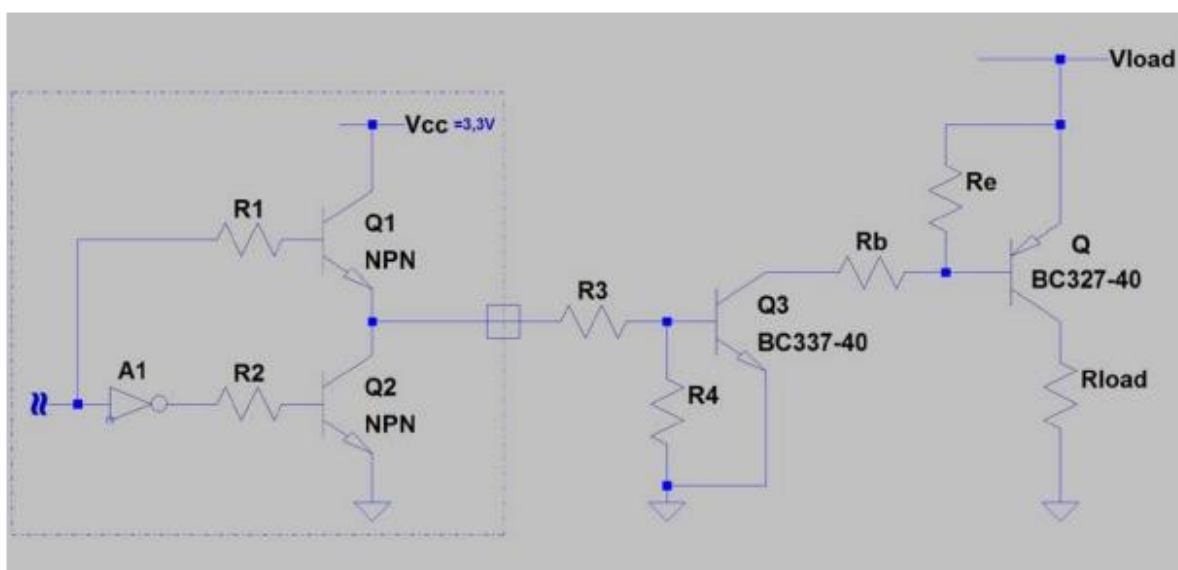
Slika 5: Darlingtonova sprega

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



Slika 1: Prekidačko kolo sa NPN tranzistorom

Uokviren deo je izlazni stepen porta mikrokontrolera. Realizuje se pomocu 2 tranzistora koji se naizmenicno ukljucuju (Q1 za logicku jedinicu, Q2 za log nulu). Tokom reseta oba su u zakocenju. Re služi da obezbedi sigurno isključenje Q i da se u toku reseta ne bi ukljucio zbog struja curenja. Da bi tranzistor Q roveo na Re mora da se obezbedi pad napona od 0.6V i Re mora da bude takvo da tu vrednost napona ne može da dostigne pri malim vrednostima struje koje nisu posledica logicke jedinice. Maksimalna vrednost baznog otpornika se projektuje tako da transistor Q sigurno bude u zasicenju kada je na izlazu logicka jedinica. Sa slucaj da se napon napajanja potrosaca V_{out} i napon napajanja mikrokontrolera V_{cc} razlikuju jedini uslov koji treba da bude isunjen je da imaju zajedicku masu. U tom slucaju se koristi prekidačko kolo sa PNP.

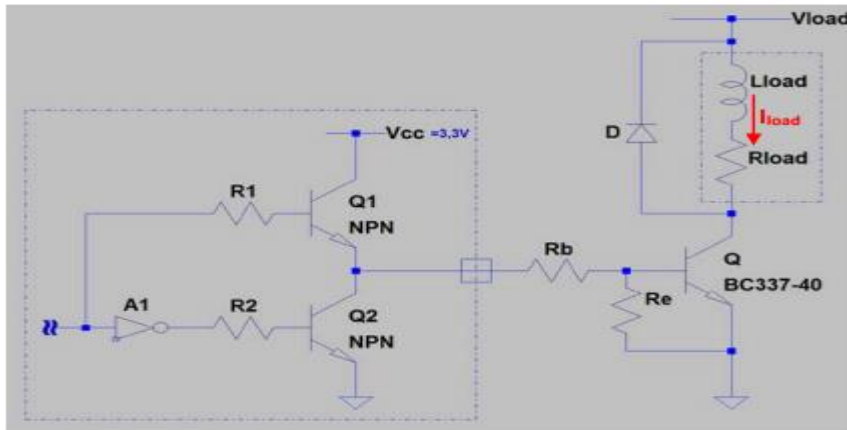


Slika 2: Prekidačko kolo sa PNP tranzistorom

Kada se iskljuci Q3 kroz njegov kolektor-emitor prolazi struja curenja I da nemamo Re kroz potrosac bi prolazila struja koja je veca od dozvoljene.

SA INDUKTIVNIM POTROSACEM

Sama induktivnost potrosaca ima znacaj u trenutku ukljucenja i iskljucenja. Pri iskljucenju imamo problem jer induktivnost nece dozvoliti trenutni prekid struje, dok pri ukljucenju induktivnost ce samo usporiti uspostavljanje struje. Intenzitet struje odredjuje untrasnja otpornost.



Slika 3: Prekidačko kolo sa induktivnim potrošačem

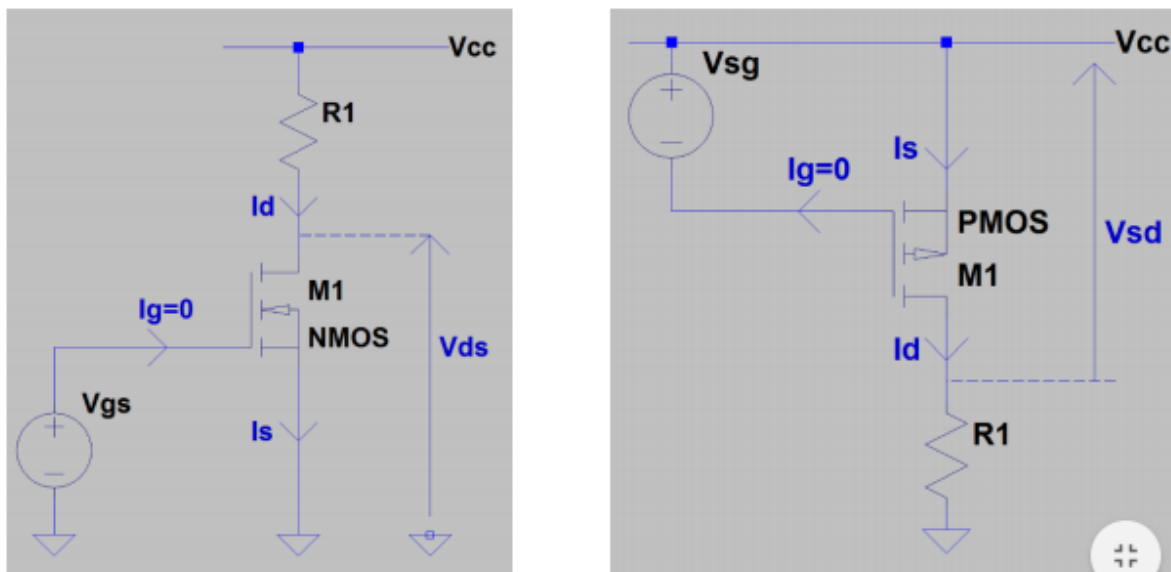
Struja kroz potrosac $I_{load} = (V_{load} - V_{ces}) / R_{load}$. Dioda D je inverzno polarisana. Kada se iskljuci bazna struja Q (isključen Q1, uključen Q2) potrosac ce se ponasati kao generator i smer napona je takav da je pozitivniji kraj ka kolektoru tranzistora od Vload. Ukoliko ne postoji diode doslo bi do proboja tranzistora i protekla bi struja. Dioda nam služi da ograniči napon. Ona ce u trenutku iskljucenja Q i promene smer napona postati direktno polarisana i ograniciti napon na potrosacu na 0.6V pa ce $V_{ce} = V_{cc} + 0.6$. Struja I_{load} ce se smanjivati pri konstantnom naponu od 0.6V dok ne padne na nulu. Ako zelimo brze iskljucenje ubacujemo zenera na red sa diodom i $V_{ce} = V_{cc} + 0.6 + V_z$.

17) MOSFET TRANZISTORI: PRINCIP RADA, KARAKTERISTIKE, OBLAST RADA, RADNA PRAVA

Sastoji se od poluprovodnickog substrata P tipa u kojem su napravljena sva ostrva N+ tipa na kojim su izvedeni metalni izvodi S-sors i D-drejn. Druge dve electrode formiraju kondenzator G-gejt i izolator (silicijum oksid)



Struja izmedju sorsa i drejna tece kroz isti tip poluprovodnika pa se nazivaju i unipolarnim. Posto se sors povesuje sa substratum dolazi do pojave parazitne diode i ona odredjuje smer struje drejna. Kod NMOS-a drejn mora da bude pozitivniji od sorsa kako bi se parazitna diode inverzno polarisala jer u suprotnom ne bi mogla da prekine tok struje. Kod PMOS-a smer struje i polarizacija drejna, sorsa suprotna.



Slika 5: Osnovno elektronsko kolo sa MOSFET-om (NMOS leva, a PMOS desna slika)

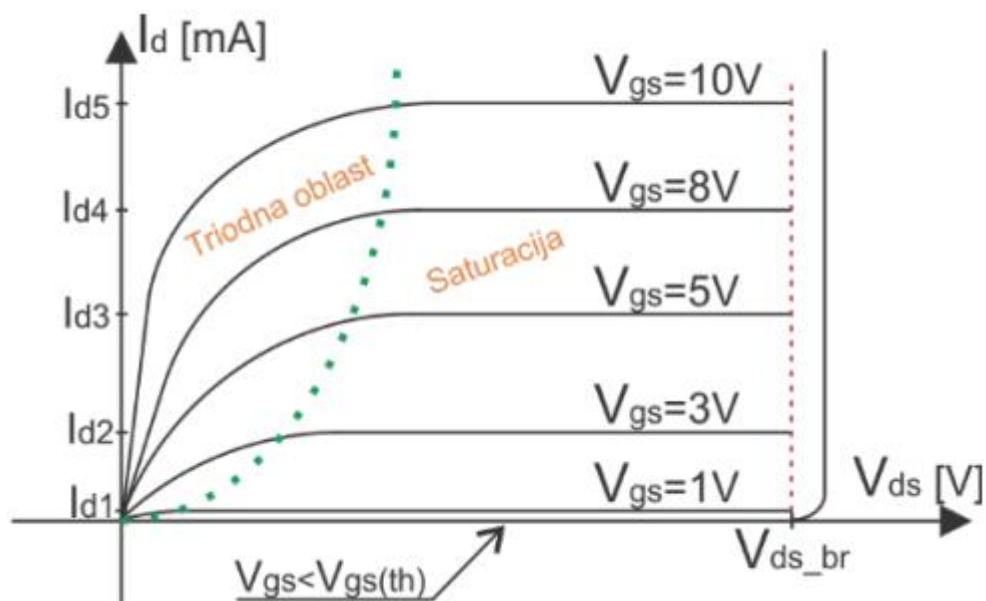
Mozemo da ga koristimo kao pojacavac I kao prekidac.

Razlikujemo kolo Gejta I kolo Drejna.

Kolo GEJTA:

Njegova upravljacka elektroda je potpuno izolovana I struja gejta u stacionarnom stanju jednaka je nuli. Mosfet je naponski upravljana komponenta te struja drejna zavisi od napona izmedju gejta I sorsa pri cemu je struja gejta nula. Zbog svega ovoga mzero ga zameniti kondenzatorom za dinamicku analizu I otvorenim kolom za staticku. Probojni napon je $\pm(10 \div 20)V$ i ukoliko predje taj napon dolazi do proboja izolacije gejta i mosfet je unisten. Zbog svega ovoga treba voditi racuna o zastiti od elektrostatickog praznjenja. Najvazniji parametar za izbor mosfeta je napon praga gejt-sors V_{gs} koji predstavlja napon pri kom se uspostavlja kanal i mosfet pocinje da provodi.

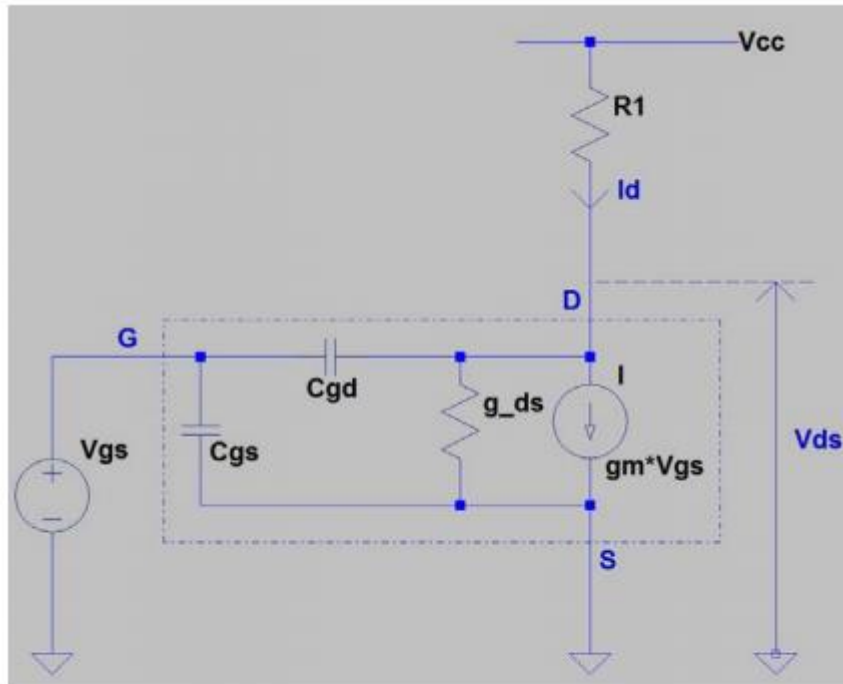
Kolo Drejna:



Razlikujemo 4 oblasti:

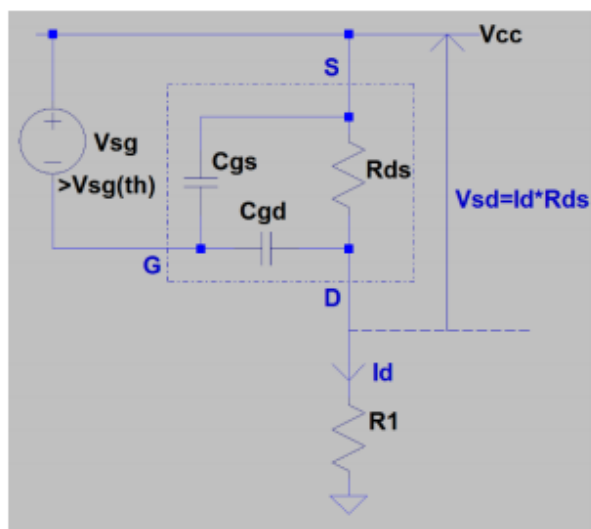
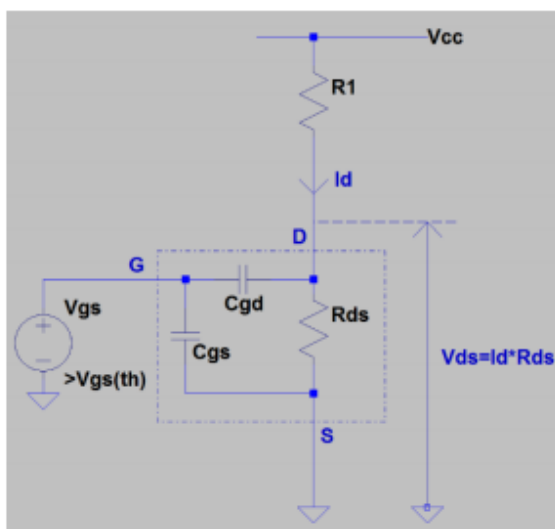
OBLAST ZAKOCENJA- kada je $V_{gs} < V_{gs(th)}$ tada je struja drejna $=0$ I ponasa se kao otvorena veza tj. prekida tok struje kroz kolo drejna

OBLAST ZASICENJA-SATURACIJE: Ova oblast odgovara aktivnoj oblasti bipolarnog tranz. Da bi se nasao u ovoj oblasti $V_{ds} \leq V_{gs} - V_{gs(th)}$. Ponasa se kao naponsko kontrolisani struji generator tj struja drejna je proporcionalna naponu gejta V_{gs} dok V_{ds} zavisi od ostatka kola ali mora da vazi prethodna relacija $V_{ds} \leq V_{gs} - V_{gs(th)}$.



Slika 8: Model kola sa slike 5 sa MOSFET-om u oblasti zasićenja

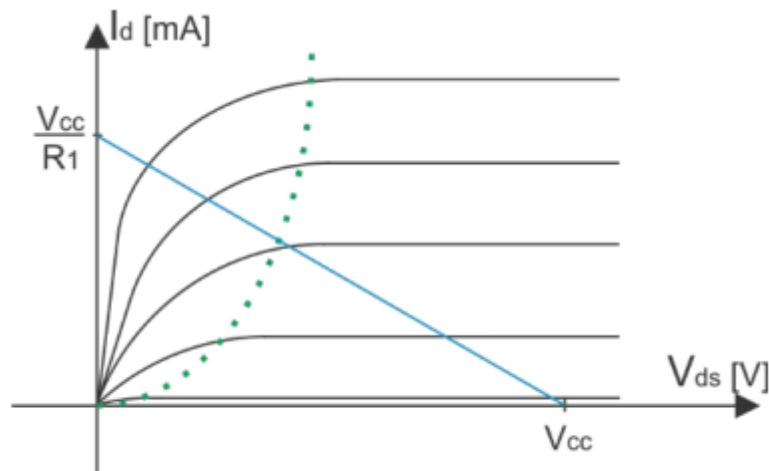
TRIODNA OBLAST: U ovoj oblasti moset se ponasa kao naponski kontrolisani otpornik cija otpornost zavisi od napona V_{gs} . Cesto se koristi u prekidadckim aplikacijama pa zbog toga ima I veliku brzinu ukljucenja/iskljucenja. Snaga pobunog kola je mala jer je struja drejna jednaka nuli Ipobudno kolo mora da obezbedi efikasno punjenje I praznjenje kapacitivnosti gejta kako bi mosfet promenio stanje. Da bi obezbedili sto manju otpornost R_{ds} u ukljucenom stanju V_{gs} mora da bude znacajno vece od napona praga $V_{gs(th)}$



Slika 9: Model kola sa slike 5 sa MOSFET-om u triodnoj oblasti (NMOS leva, a PMOS desna slika)

OBLAST PROBOJA: $V_{ds} > V_{ds_br}$. Ukoliko se predje dozvoljeni napon izmedju drejna i sorsa doci ce do proboja i protecece struja drejna iako je napon gejta manji od praga.

RADNA PRAVA I RADNA TACKA:



Slika 10: Radna prava MOSFET-a

Kolo drejna se ponasa kao razdelnik napona koji deli V_{cc} na napone V_{ds} i napon na otporniku R_1 . U oblsti zakocenja $I_d = 0$ 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} ce opadati sa porastom struje sve dok u triodnoj oblasti ne dostigne vrednost koja je definisana otpornosc u R_{ds} koja zavisi od V_{gs} . Parove V_{ds} i I_d odredjuje napon V_{cc} i otpornost kolektorskog otpornika R_1 i to je plava linija (radna prava) a bilo koja tacka na toj liniji je radna tacka.

Jedini nedostatak u prekidackim aplikacijama za vece snage je sto je minimalni pad napona $V_{ds} = R_{ds} \cdot I_d$ veci od napona saturacije bipolarnih tranz.

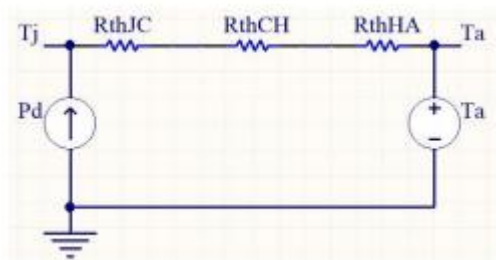
18) HLADJENJE POLUPROVODNICKIH KOMPONENTI-PRORACUN HLADNJAKA

Toplotna otpornost se javlja izmedju :

- Silicijumskog jezgra i kucista komponente
- Kucista komponente i hladnjaka
- Hladnjaka i ambijentalnog vazduha

Temperatura silicijumskog jezgra ne sme da predje vrednost u data sheet-u. Temperatura ambijentalnog vazduha zavisi od nacina upotrebe i moze da iznosi od 25-50 stepeni.

Snaga disipacije odgovara u elektricnom kolu struji, termicka otpornost odgovara u elektricnom kolu otpornosti, temperature odgovara u elektricnom kolu naponu



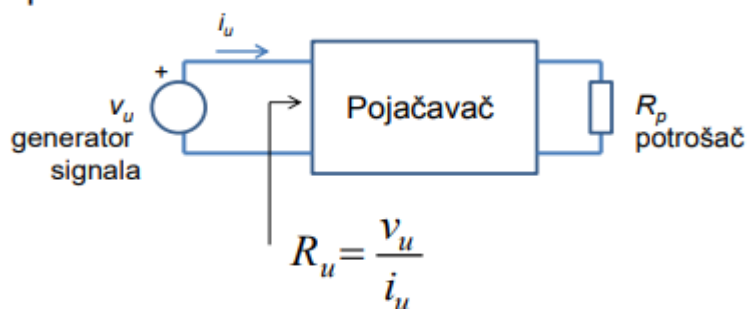
Snaga disipacije P_d se modeluje kao izvor struje, a temperature ambijentalnog vazduha kao napon T_a

Izbor hladnjaka se svodi na odredjivanje njegove termicke otpornosti tako da bude zadovoljen uslov: $T_{jmax} > T_j = P_d(R_{thjc} + R_{thch} + R_{thha}) + T_a$. R_{thjc} zavisi od konstrukcije komponenti i nalazi se u data sheet-u, R_{thch} zavisi od nacina montaze komponente na hladnjak i iznosi $0.2-2\text{ }^{\circ}\text{C/W}$.

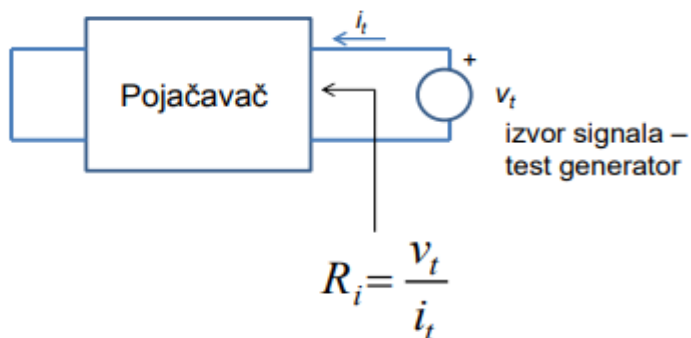
$R_{thha} = (T_j - T_a)/P_d - (R_{thjc} + R_{thch})$. Na osnovu dobijene vrednosti bira se hladnjak cija je termicka otpornost manja ili jednaka izracuatoj vrednosti.

19) ULAZNA I IZLAZNA OTPORNOST POJACAVACA

Ulazna otpornost



Izlazna otpornost



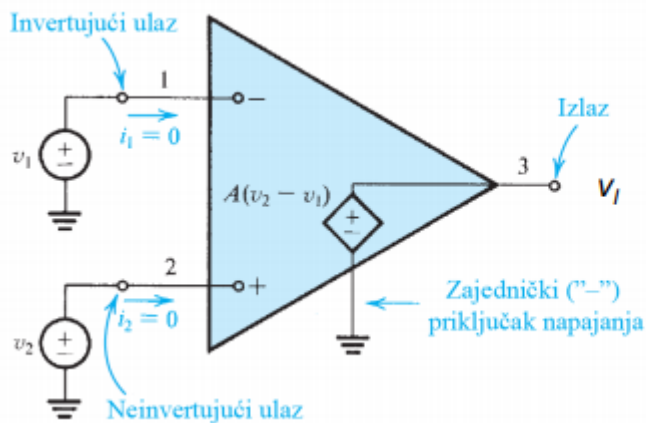
20) IDEALNI OPERACIONI POJACAVAC

Beskonacno veliko pojacanje $A = \infty$

Beskonacno velika ulazna otpornost $R_u = \infty$

Izlazna otpornost $= 0$

Beskonacno veliki factor potiskivanja signala srednje vrednosti $p = \infty$



Ako je $A = \infty$, onda je

$$v_1 - v_2 = \frac{v_I}{A} = 0$$

Iz čega sledi:

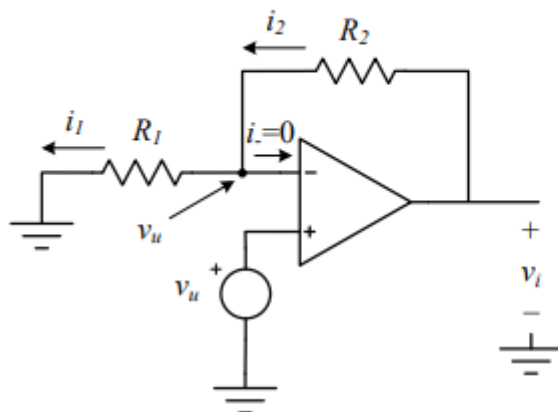
$$v_I = v_2$$

Ako je $R_u = \infty$, onda je

$$i_I = i_2 = 0$$

21) NEINVERTUJUCI POJACAVAC

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

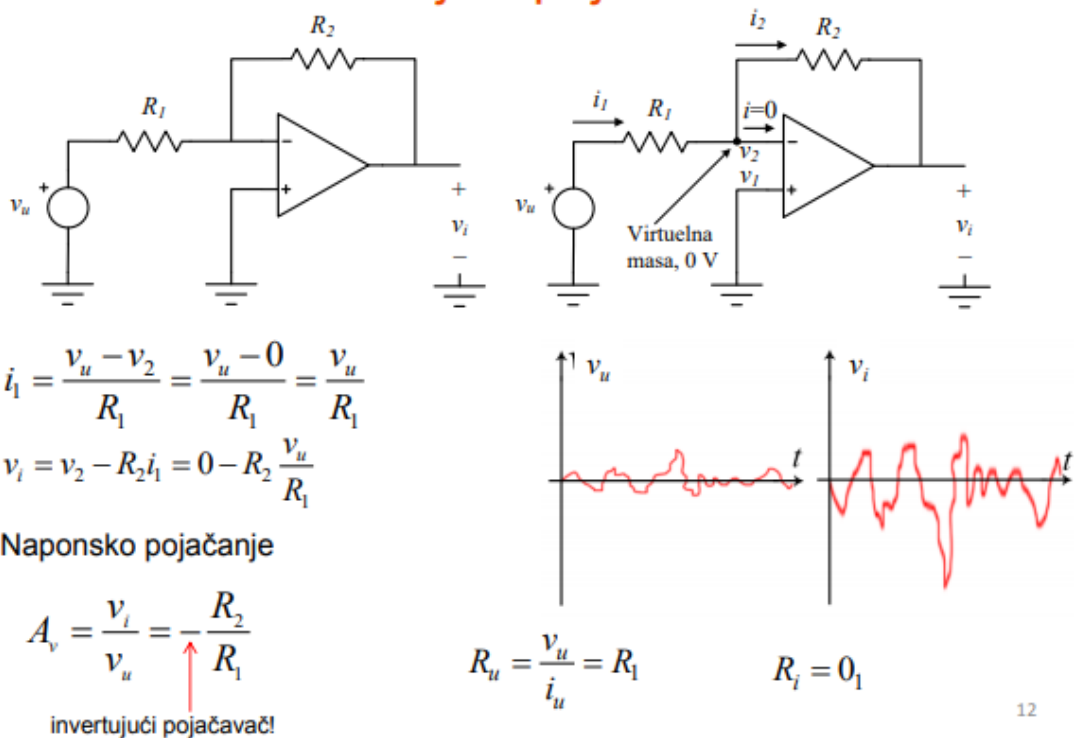
$$A_v = \frac{v_i}{v_u} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Ulazna i izlazna otpornost

$$R_u = \infty$$

$$R_i = 0$$

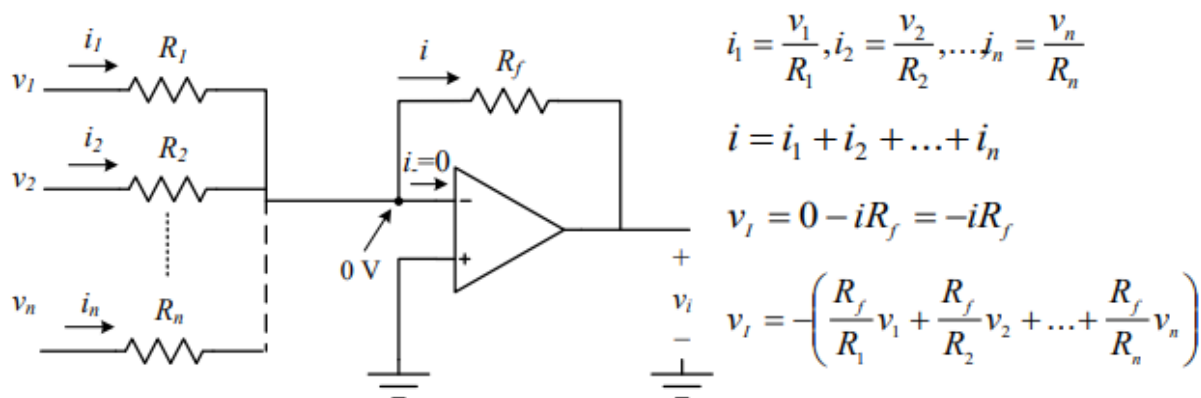
22) INVERTUJUCI POJACAVAC



12

23)SABIRAC

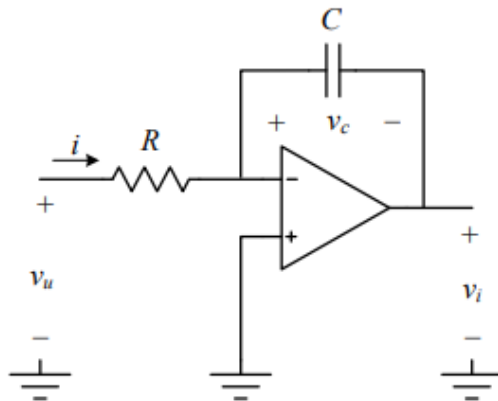
Sabirač



Faktor skaliranja R_f/R_i ($i=1, 2, \dots, n$) može se nezavisno podesiti za svaki ulaz izborom odgovarajućih vrednosti otpornosti R_1, R_2, \dots, R_n .

24)INTEGRATOR

Integrator



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

Struja i teče i kroz C te je

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

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

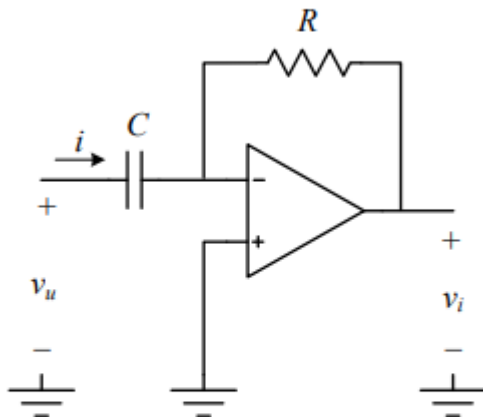
$$v_i(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_u(\tau) d\tau - v_c(0)$$

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

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

25) DIFERENCIJATOR

Diferencijator



Analiza kola

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

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

Napon na izlazu

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