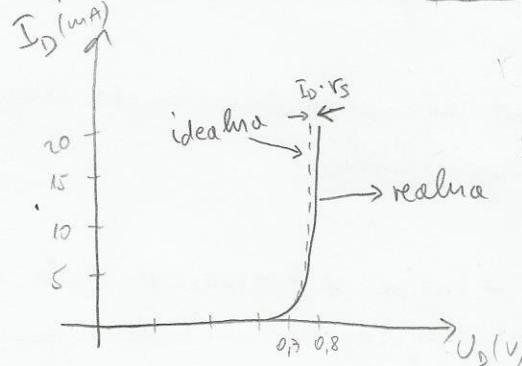


1) RAZLIKA IZ MEĐU REALNE I IDEALNE DIODE str. 112

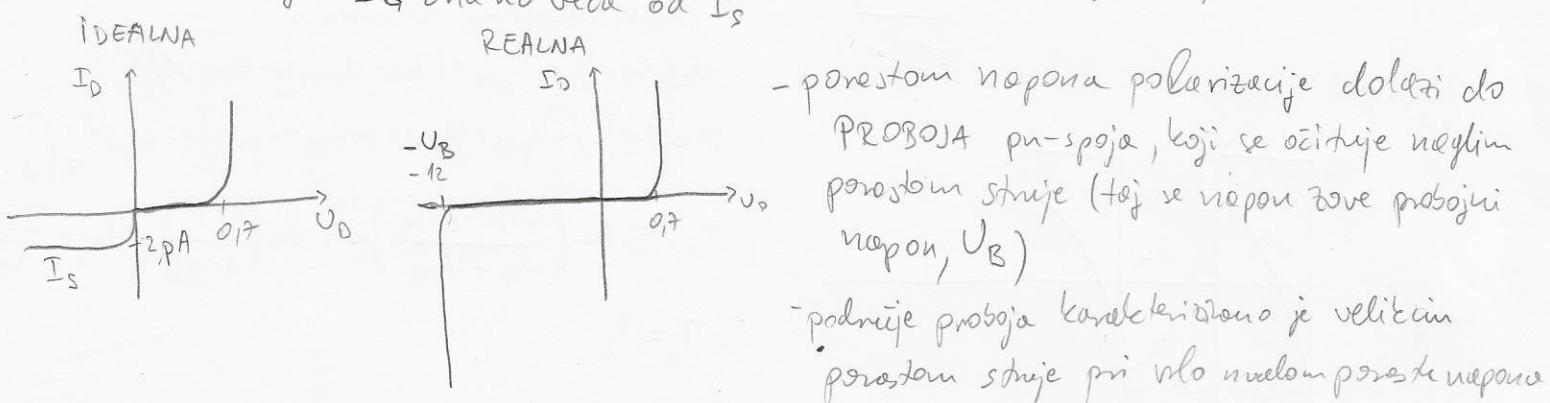
Stajno-nepostaka karakteristika propusne polarnizacije diode:



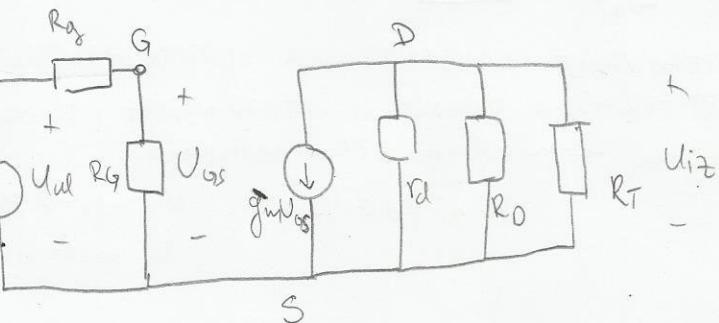
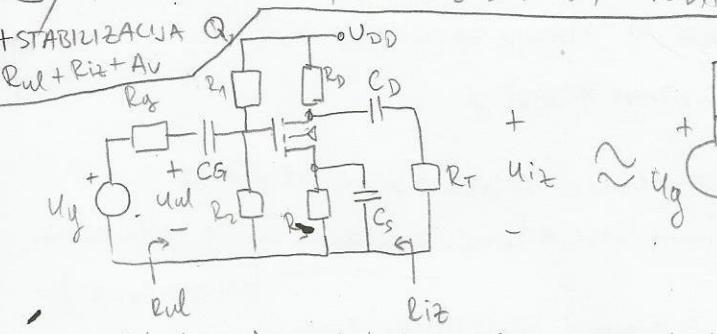
- kroz neutralnu godinu predstavljaju otpore na kojima se pri velikim stujama javlja padovi napona; oni dodatno smenjuju parost stuje diode s nepom propusne pol.
- tej se utjecaj aproksimira dodavanjem otpora r_s u seriju s idealnom diodom.

- odstupanje pri zaporoj polarnizaciji:

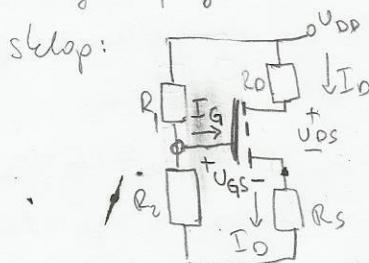
kroz idealnu diodu pri zaporoj polarnizaciji teče samo male stuje zasadenja I_s , dok kod realne diode uz I_s teće i generacijska stuje I_g , usmjerena generacijom nosilaca u osimovanjem sloju. I_g znatno veća od I_s



2) POJĀČALO U SPĀJU ZAJEDNIČKOG UVODA

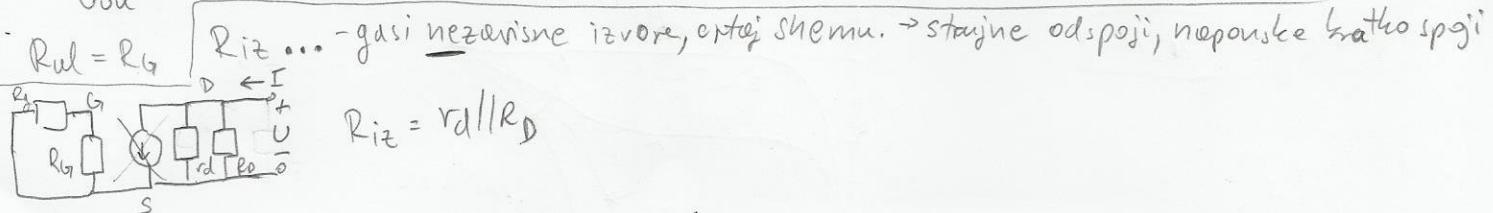


- za stabilizaciju statičke radne točke treba osigurati stabilnost izlazne stuje odvoda I_{DQ}
- manju osjetljivost radne točke na promjenu parametara tranzistora, tko bolju stabilitetu osigureve



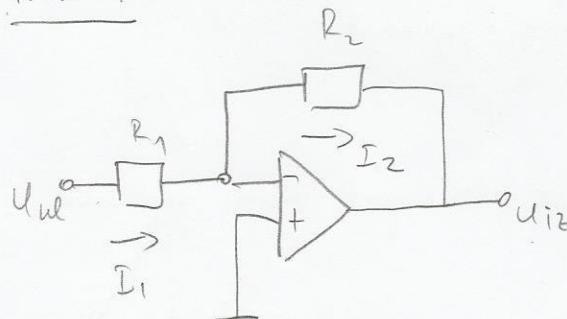
$$\begin{aligned} I_G &= 0 \\ U_{GG} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{DD}, \quad I_{DQ} = \frac{k}{2} (U_{G2Q} - U_{G1Q})^2 \\ U_{DS} &= U_{DD} - I_D (R_s + R_d) \end{aligned}$$

$$A_V = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} \quad U_{iz} = -gm U_{GS} (r_d || R_D || R_T) \quad U_{ul} = U_{GS} \quad A_V = -gm (r_d || R_D || R_T)$$



(19) NEINVERTIRAJUĆE, INVERTIRAJUĆE (OP. POJASNACO, formule se pojačenje str. 398

INVERT.



$$I_1 = \frac{U_{in} - U_-}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_- - U_{iz}}{R_2}$$

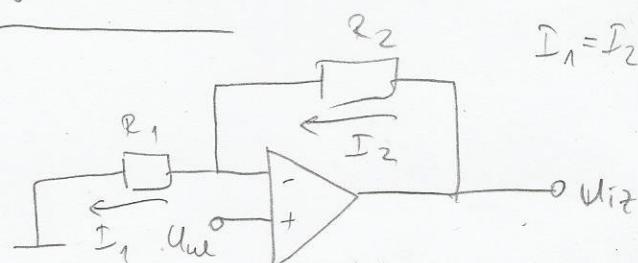
$$U_+ = 0$$

$$U_- = -\frac{U_{iz}}{A_{vop}}$$

$$A_V = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{vop}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

$$A_{vop} \rightarrow \infty \Rightarrow A_V = -\frac{R_2}{R_1}$$

NEINVERT



$$I_1 = I_2$$

$$\frac{U_-}{R_1} = \frac{U_{iz} - U_-}{R_2}$$

$$U_+ - U_- = U_{in} - U_- = \frac{U_{iz}}{A_{vop}}$$

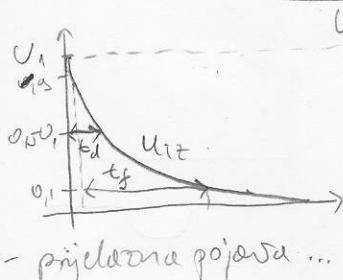
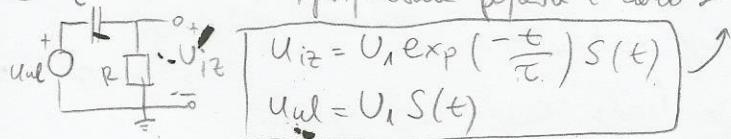
$$A_V = \frac{U_{iz}}{U_{in}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{vop}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

idealno pojač. ... $\frac{U_{in}}{R_1} = \frac{U_{iz} - U_{in}}{R_2}$

$$A_{vop} \rightarrow \infty \Rightarrow A_V = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

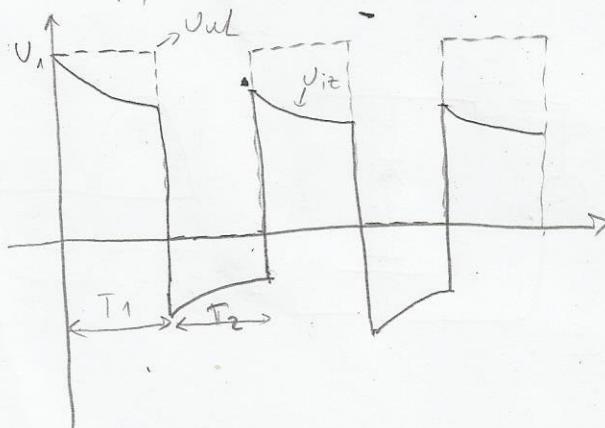
(20) CR-mreža, prijelazna pojava i kako se računa

str. 30



$t_d \rightarrow$ realna vremena kada ulazni dolet ne 50% u odnosu na izlazni dolet
 t_f (fall) \rightarrow do sjenjenja smjeri s 50% na 10%

$C \gg T_p \Rightarrow$ sponje prouzina



(21) PODRUČJA RADA BIPOLARCA ZAŠTO SE KORISTE

- NAP, INVERZNO AKT POD, PO'D ZASIC, POD ZAPIRANJA

- NAP - tranzistor posjeduje svojstva pojedinačna
- koristi se kao u POJEDINIMA

- INV.A.P. - može se gledati kao NAP uz zamenu uloga E i C.

- u realnim pojedinim ovredama simetrija ne postoji
- IAP se ne koristi

- POD ZASICE - superpozicija NAP + IAP

- POD ZAPIR - vrlo mali struje teku kroz tranz., skoro 0 } pojedinačna

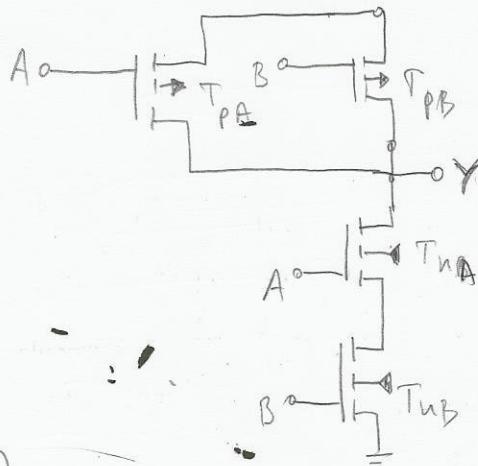
- u zasiciju struje velike - otpori mali } rabi kao selektoru
- u zapiraju struje male - otpori veliki }

} ne počinje superpozicija

} pojedinačna

		E - B	
POLARIZACIJE		PN - SPOJERA	ZAPON
C-B	ZAPON	PROPS	ZASICE
		ZASICE	INVERZ-AKT
C-B	ZAPON	NORM-AKT	ZAPIRANJE

(22) NI-selop



A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



SUMIČNI I. PAS

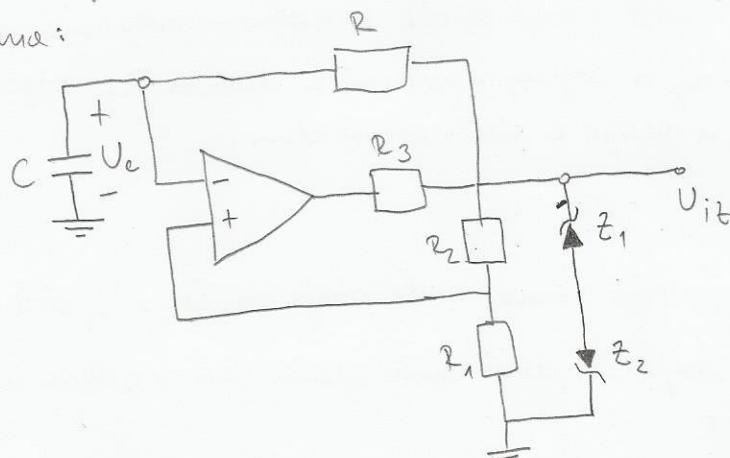
(23)

3) Astabil (shema, izgled napona U_+ , U_+ i uiz) str. 417/18

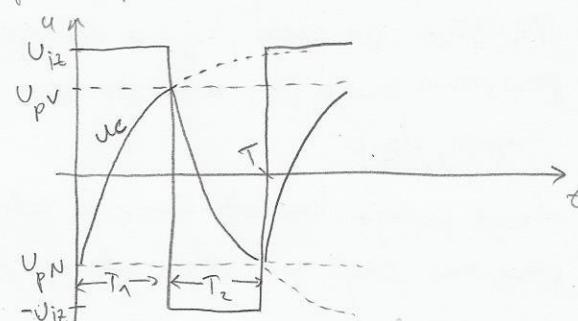
- \Rightarrow MULTIVIBRATOR = impulsni skloovi čiji izlazni napon poprima samo jedno od 2 stanja: niske ili visoke nistine
- stanje može biti: stabilno - ostaje trojno kretistabilno - ostaje ograničeno vrijeme, određeno konst. sklopa

- Astabil je multivibrator kod kojeg su oba stanja kretistabilna.

shema:



- izgled napona



- inace se komponente sklopa prouzrokuju većim naponima. Dodavanjem RC mreže postigli smo automatsko okidanje

- zenerove diode nam služe da ogranicuju vrijednost izlaznog napona na

$$U_{iz} = \pm (U_z + U_D)$$

- karakteristična vremena ...

$$U_C(T_1) = U_{PV} = U_{PN} + (U_{iz} - U_{PN}) \left[1 - \exp\left(-\frac{T_1}{\tau}\right) \right]$$

$$U_C(T_1 + T_2) = U_{PN} = U_{PV} + (-U_{iz} - U_{PV}) \left[1 - \exp\left(-\frac{T_2}{\tau}\right) \right]$$

$$\tau_1 = \tau \ln \left(\frac{U_{iz} - U_{PN}}{U_{iz} - U_{PV}} \right) = \tau \ln \left(\frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right) = \tau \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right)$$

$$T_1 = T_2$$

4) ODREĐIVANJE KONCENTRACIJA SLOBODNIH NOSILACA U STANJU RAVNOTEŽE + TEMPERATURNI OVISNOST U INTRINZIČNOM, EKSTRINZIČNOM PODRUČJU str. 53.

- zakon termodynamike ravnoteže

$$N_i \cdot p_0 = n_i^2$$

n_i i $p_0 \Rightarrow$ ravnotežne koncentracije nosilaca

$n_i \Rightarrow$ intrinzične konc. = konc. nosilaca čistog poluvodiča

$(n_0 = p_0 = n_i)$

iseljivo str. 55

- s porastom temperature raste intrinzične konc. a time i konc. električnih i šupljina. \rightarrow nema primjera

• poluvodič n-tipe

- porast temp. uzrokuje negativni konc. međusobnih šupljina, budući da one nastaju termičkim generiranjem

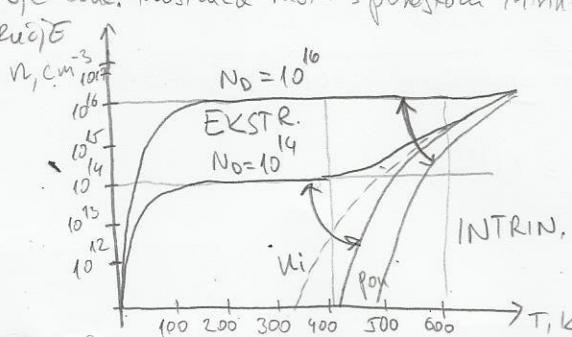
- temp. podnosi u kojem konc. je konc. većinskih nosilaca određena neto konc.

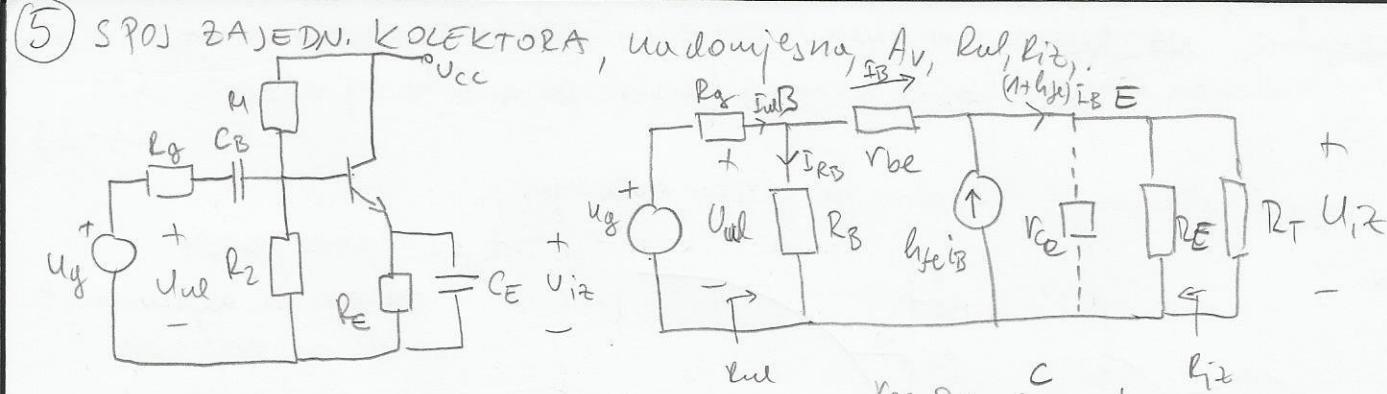
primjera naziva se EKSTINZIČNO TEM. PODRUČJE $\Rightarrow N_{on} \gg N_i \gg N_{on}$, vrijedi $N_{on} \approx N_D - N_A$

- kafi se porastom temp. intrinzična konc. približi neto iznosu konc. donora ($N_D - N_A$), tada počnu rasti i koncentracije redinskih elektrara.

- temp. podnosi u kojem obje konc. nosilaca raste s porastom intrinzične konc. naziva se INTRINZIČNO TEM. PODRUČJE

temp raste, ni raste





$$A_V = \frac{u_{iz}}{u_{ul}}$$

$$u_{iz} = (1+h_{fe}) i_B (R_E \parallel R_T)$$

$$u_{ul} = i_B r_{be} + (1+h_{fe}) i_B (R_E \parallel R_T)$$

$$A_V = \frac{(1+h_{fe}) R_E \parallel R_T}{r_{be} + (1+h_{fe}) R_E \parallel R_T} \approx \frac{h_{fe} R_E \parallel R_T}{r_{be} + h_{fe} R_E \parallel R_T} \approx \frac{g_m R_E \parallel R_T}{1 + g_m R_E \parallel R_T}$$

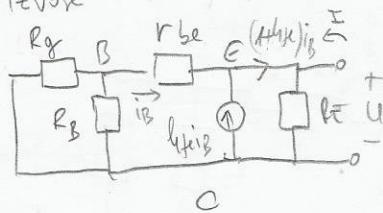
$$R_{ul} = \frac{u_{ul}}{i_B}$$

$$u_{ul} = i_B r_{be} + (1+h_{fe}) i_B (R_E \parallel R_T)$$

$$I_{ul} = I_{R_B} + I_B = \frac{U_{ul}}{R_B} + \frac{U_{ul}}{r_{be} + (1+h_{fe}) R_E \parallel R_T}$$

$$R_{ul} = R_B \parallel (r_{be} + (1+h_{fe}) R_E \parallel R_T)$$

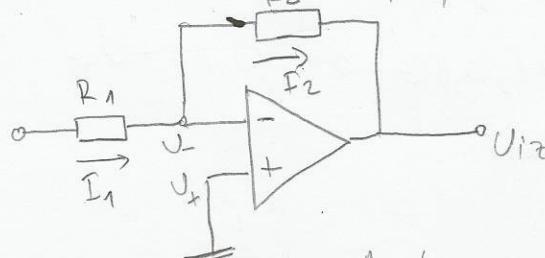
R_{iz} : gasi izvor



$$U = -i_B (R_g \parallel R_B + r_{be})$$

$$R_{iz} = \frac{U}{I_B} = \frac{1}{\frac{1}{R_E} + \frac{1+h_{fe}}{R_g \parallel R_B + r_{be}}} = R_E \parallel \frac{R_g \parallel R_B + r_{be}}{1+h_{fe}}$$

6) INVERTIRAJUCI POJASALO, A_V , shema



$$U_{iz} = A_{op}(U_+ - U_-)$$

$$U_+ = 0$$

$$U_{iz} = -\frac{U_{iz}}{A_{op}}$$

$$I_1 = \frac{U_{ul} - U_-}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_- - U_{iz}}{R_2} \quad I_1 = I_2$$

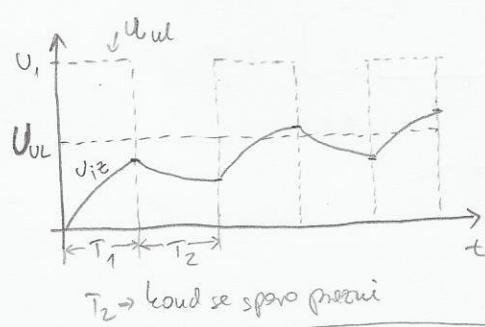
$$\frac{U_{ul} - U_-}{R_1} = \frac{U_- - U_{iz}}{R_2}$$

$$A_V = \frac{U_{iz}}{u_{ul}} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{op}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

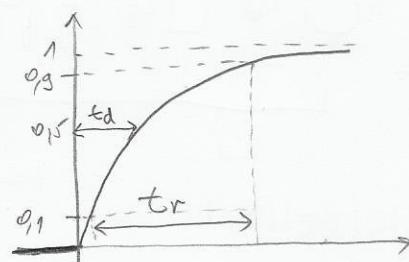
$$A_{op} \rightarrow \infty \quad A_V = -\frac{R_2}{R_1}$$

7) ODZIV RC - vrlo je NA PRAVOKUTNI NAPON. ODZIV NA² POČETAKU DJELOVANJA NAPONA.
ODZIV U STACIONARNOM STANJU. Kako se računaju karakteristični parametri tog odziva? str.
3 24-29

1) odziv na pravokutni napon.



2) odziv na početak djelovanja



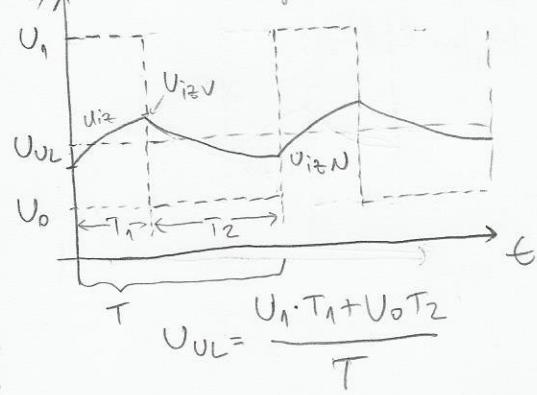
$t_{r\downarrow}$ = vrijeme ponešte

Vrijeme da napon naraste
s 10% na 90% svoje
konačne vrijednosti

$t_d \Rightarrow$ vrijeme krajnje
zbog koncentričnosti

$t_f :=$ razlika vremena kad
ulazni napon postigne 50%
konačne vrijednosti i kad
izlazni napon dođe na 50%
konačne vrijednosti

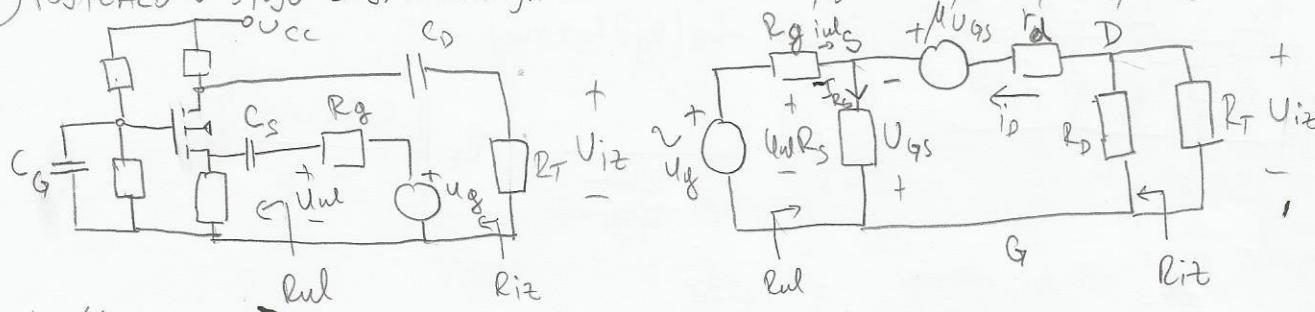
3) stac. stanje



$$t = T_1 \quad V_{izV} = U_1 + (V_{izN} - U_1) \exp\left(-\frac{T_1}{\tau}\right)$$

$$t = T_1 + T_2 \quad V_{izN} = U_0 + (V_{izV} - U_0) \exp\left(-\frac{T_2}{\tau}\right)$$

8) POJEDALO U SPOJU ZA UPRAVLJAJEĆE ELEKTRODE, shema, A_V , R_{ul} , R_{iz}



$$A_V = \frac{U_{iz}}{U_{ul}}$$

$$U_{iz} = -I_D R_D \parallel R_T$$

$$A_V = \frac{(1+\mu)(R_D \parallel R_T)}{r_d + R_{ul} \parallel R_T} \approx g_m (r_d \parallel R_D \parallel R_T)$$

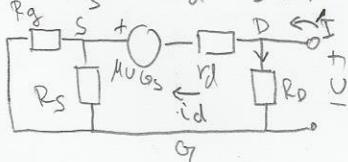
$$I_{RS} = I_{ul} + I_D$$

$$R_{ul} = \frac{U_{ul}}{I_{ul}}$$

$$R_{iz} = \frac{U}{I}, \text{ gasi izvore.}$$

$$I_{ul} = I_{RS} - I_D$$

$$I_{ul} = \frac{U_{ul}}{R_S} + \frac{U_{ul}(1+\mu)}{r_d + R_{ul} \parallel R_T}$$



$$R_{ul} = R_S \parallel \left(\frac{r_d + R_D \parallel R_T}{1+\mu} \right)$$

$$I = i_D + i_{RD}$$

$$U = (r_d + R_S \parallel R_g) i_D - \mu U_{GS} \Rightarrow U = (r_d + (1+\mu) R_S \parallel R_g) i_D$$

$$U_{GS} = -(R_S \parallel R_g) i_D$$

$$I_{RD} = \frac{U}{R_D}$$

$$R_{iz} = R_D \parallel (r_d + (1+\mu) R_S \parallel R_g)$$

9) Izraz za stejno-naponsku karakteristiku pu-spoja. Kako se zove te jedinice? koji su njeni parametri? Očemu ovise?

str. 105

$$J = J_{Dn}(-d_{Sp}) + J_{Dn}(d_{Bn}) = g \left(D_n \frac{N_{op}}{L_n} + D_p \frac{N_{ou}}{L_p} \right) \left[\exp\left(\frac{V}{V_T}\right) - 1 \right]$$

gustota struja

Shockleyeva jednadžba.

poprečnost

D → difuzijska konstanta = $\mu \cdot V_T$

L → difuzijska duljina = $\sqrt{D \tau}$ vrijeme živote manjinskih nosilaca

$g = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

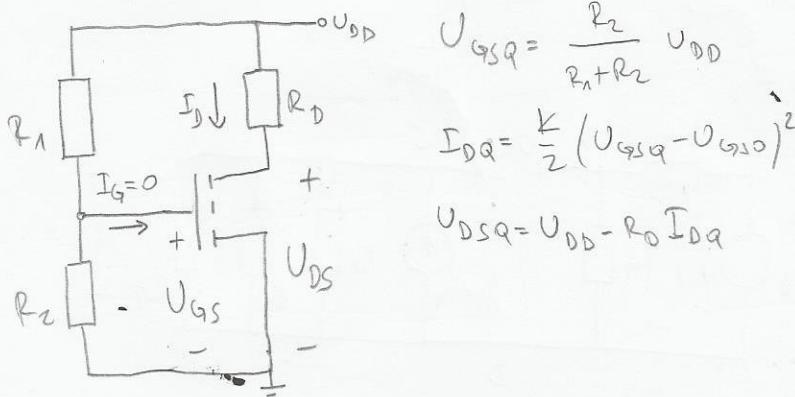
$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{V}{V_T}\right) - 1 \right] \quad I_s = g S \cdot \left(D_n \frac{N_{op}}{L_n} + D_p \frac{N_{ou}}{L_p} \right)$$

S → površina prejeka pu-spoja

10) sklop za postavljanje staticke redne točke pojačala s MOSFETOM

Što je stabilizacija redne točke i kako se postiže?

- u spoju pojačala FET treba rediti u podnežju zasicanja, što se osigurava podešavanjem staticke redne točke, tj. uspostavom istosmjerne napona V_{GSQ}



$$U_{GSQ} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{DD}$$

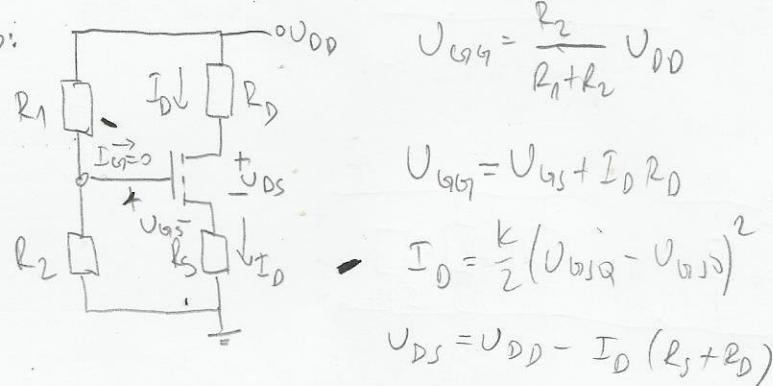
$$I_{DSQ} = \frac{k}{2} (U_{GSQ} - U_{GSS})^2$$

$$U_{DSQ} = U_{DD} - R_D I_{DSQ}$$

stabilizacija redne točke = osiguranje stabilnog položaja staticke redne točke u polju izložili karakteristika.

postiže se osiguranjem stabilnosti izložene struje odvoda I_{DSQ}

- stabilnost osigurana sljedeći sklop:



$$U_{GGS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{DD}$$

$$U_{GGS} = U_{GS} + I_D R_D$$

$$I_D = \frac{k}{2} (U_{GSQ} - U_{GSS})^2$$

$$U_{DS} = U_{DD} - I_D (R_S + R_D)$$

(11) KOJE VRSTE STRUJA POSTOJE U POLUVODIČU? ŠTO JE NJIHOV uzrok? koji PARAMETRI

PV utjecaj na struje i kako?

- struje: DRIFTNA i DIFUZIJSKA

str. 69

• DRIFTNA: struja usmjerena elektičnim poljem

$$\vec{J}_F = \sigma \vec{E} \quad \sigma \Rightarrow \text{spec. radljivost}$$

$$\vec{F} \Rightarrow \text{jakost el. polja}$$

- driftna struja nestaje s porastom
prikupljanja i s porastom temp

$$\vec{J}_{Fn} = q n \cdot \mu_n \vec{F} \quad \rightarrow n = \text{konzentracije elektrona}$$

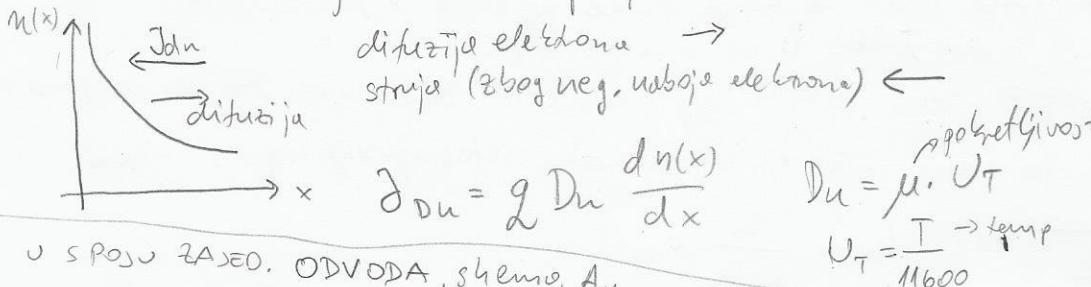
$$\mu_n = \text{pokretljivost elektrona}$$

$$\vec{J}_{Fp} = q P \mu_p \vec{F}$$

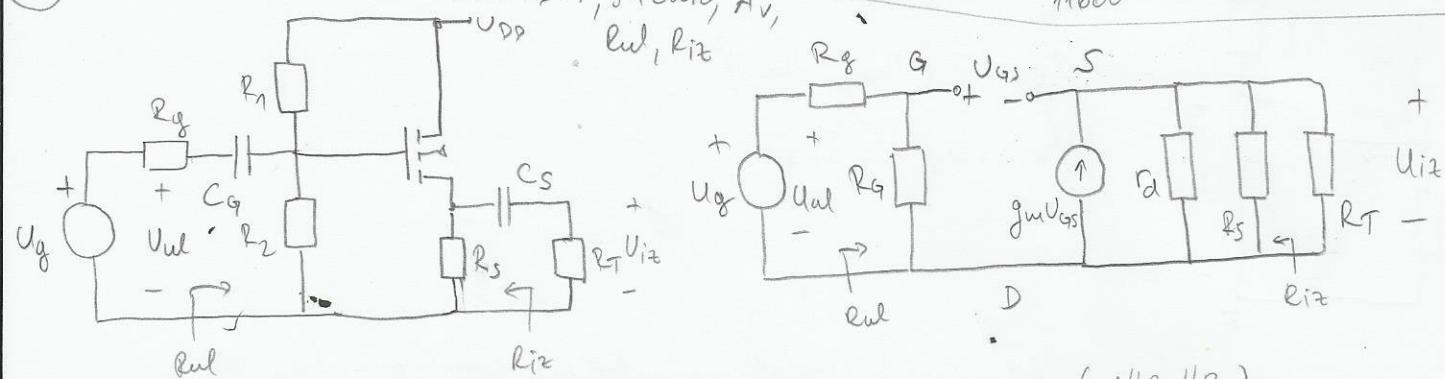
• DIFUZIJSKA - pošto je nejednolika raspodjela elektrona ili šupljina dolazi do difuzije nosilaca, tij ujihovog gibanja s mjesto nije prema mjestu niže konc., s tendencijom izjednačavanja konc.

- usinjeno gibanje nosjaja uslijed DIFUZIJE predstavlja DIFUZIJSKU STRUJU

- uzrok DIF. str. = nejednolika raspodjela nosilaca



(12) POJĀČ U S POJU ZAŠEO. ODVOĐA, shemno, A_v , R_{ul} , R_{iz}

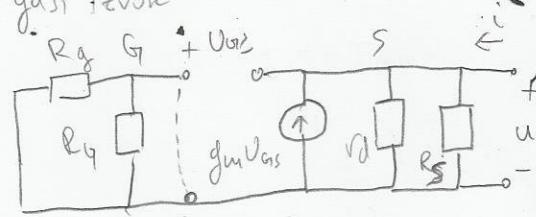


$$A_v = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} \quad U_{iz} = g_m V_{GS} (R_d || R_s || R_T) \quad U_{ul} = V_{GS} + g_m U_{GS} (R_d || R_s || R_T)$$

$$A_v = \frac{g_m (R_d || R_s || R_T)}{1 + g_m (R_d || R_s || R_T)}$$

$$R_{ul} = R_G$$

R_{iz} ... gasi izvore



$$U_{GS} = -U \quad u = (R_d || R_s) \cdot (i + g_m U_{GS})$$

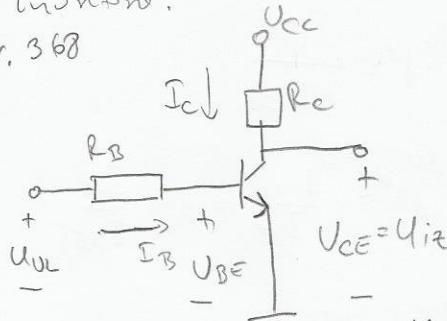
$$U = (R_d || R_s) I - g_m (R_d || R_s) U$$

$$U(1 + g_m (R_d || R_s)) = (R_d || R_s) I$$

$$R_{iz} = \frac{U}{I} = \frac{R_d || R_s}{1 + g_m (R_d || R_s)}$$

13) INVERTOR S BIPOURNIM TRANTISNOM. NACRTA, U KOJIM PODRUČJIMA radi bip. tranz. u invertoru i kako se osiguravaju te područja rada? Logičke režime metasustava povezanih invertora.

str. 368



- pođnje režde: - zapiranje - zasicanje

- NAP (norm. del - pod.)
- zasicanje

$U_{IN} < 0,7V$ da male ulazne napone tranz. ne vodi struju, pa je prekidač u zapiranju.

$$U_{IN} = 0,7 - 1,** = \text{NAP cca}$$

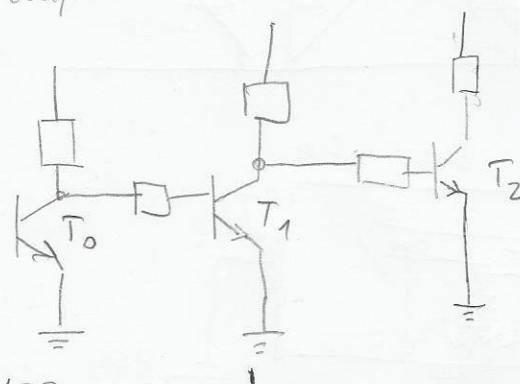
$$U_{IN} > 1,** = \text{zasicanje}$$

str. 371 2

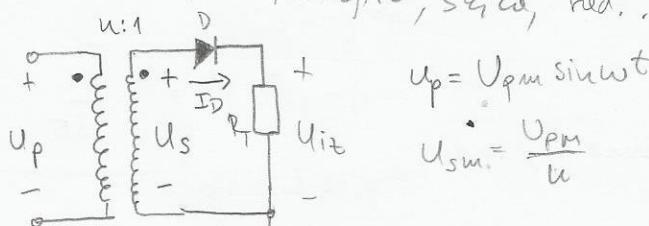
$$\text{- logička '0'} \Rightarrow U_0 = U_{CE\text{ zas}} = U_{IZ}$$

↳ To zapira, T_0 zasici, T_1 zapinje

$$\text{- logička '1'} \Rightarrow T_0 \text{ zasici}, T_1 \text{ zapinje}, T_2 \text{ zasici}$$



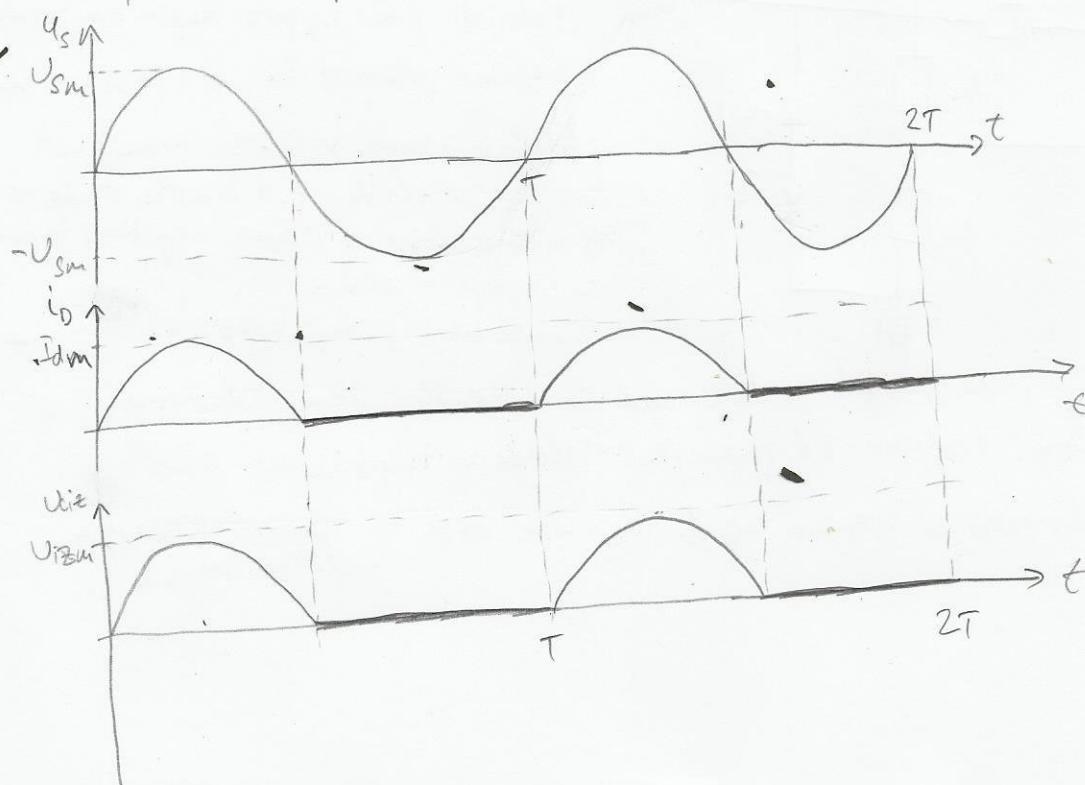
14) POLUVALNI ISPRAVLJAČ, skica, red... str. 157.



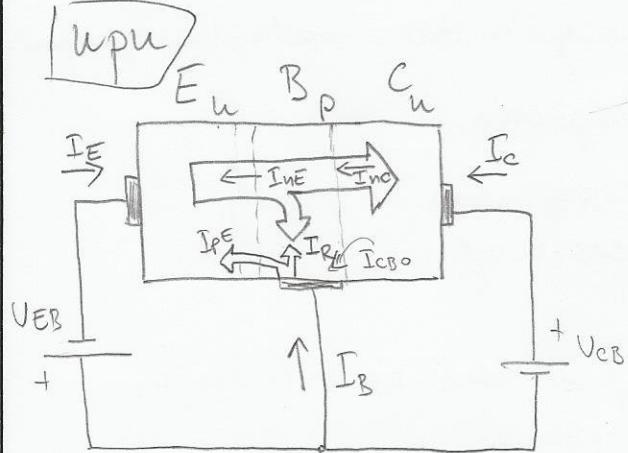
$$U_p = U_{PM} \sin \omega t$$

$$U_{SM} = \frac{U_{PM}}{\pi}$$

- ispravljač ispravlja izmjenični napon da bude pulsnog i de osim istosmjernice sadrži i izmjenične komponente.



(15) bipolarei trezor u NAPe skico, kako staje učenje na sebe, nekada staje



$$I_c = I_{nc} + I_{cbo}$$

$$I_B = I_{PE} + I_Q - I_{CBO}$$

$$I_R = I_{hE} - I_{hc}$$

$$-I_E = I_{NE} + I_{PE}$$

$$I_F + I_B + I_C = 0$$

FAKTO RI

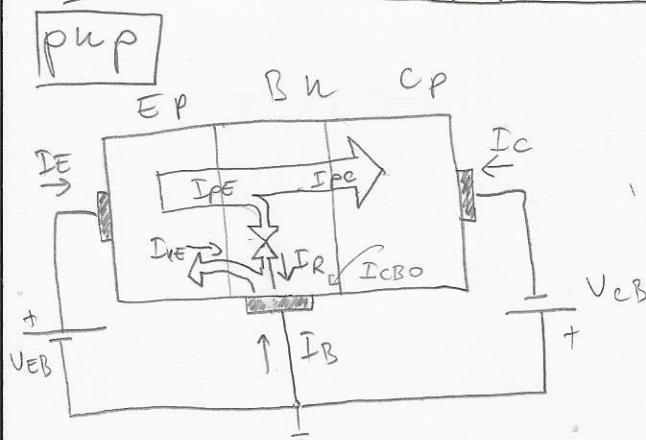
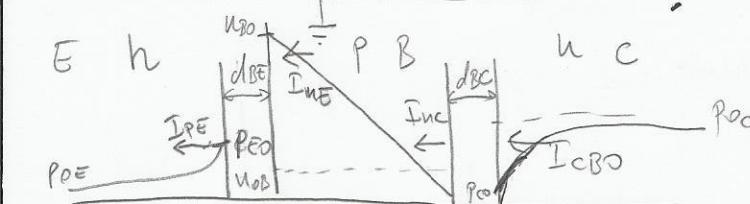
$$(N), f = \frac{I_{nE}}{-IE}$$

TRANS P. BAZÉ

$$\beta^* = \frac{I_{nc}}{I_{ne}} = 1 - \frac{I_R}{I_{ne}}$$

Stryj. project

$$\alpha = \beta^* \cdot \gamma \quad d = \frac{I_c}{-I_E}$$



$$I_E = I_E + I_{pE}$$

$$I_C = -I_{PC} + I_{CB} \quad 0$$

$$I_R = -I_{NC} - I_a - I_{CBO}$$

$$I_F = I_{pe} - I_{pc}$$

$$(N): \quad y = \frac{I_p z}{I_E}$$

$$\gamma = \frac{I_E}{I_E}$$

Transf. base

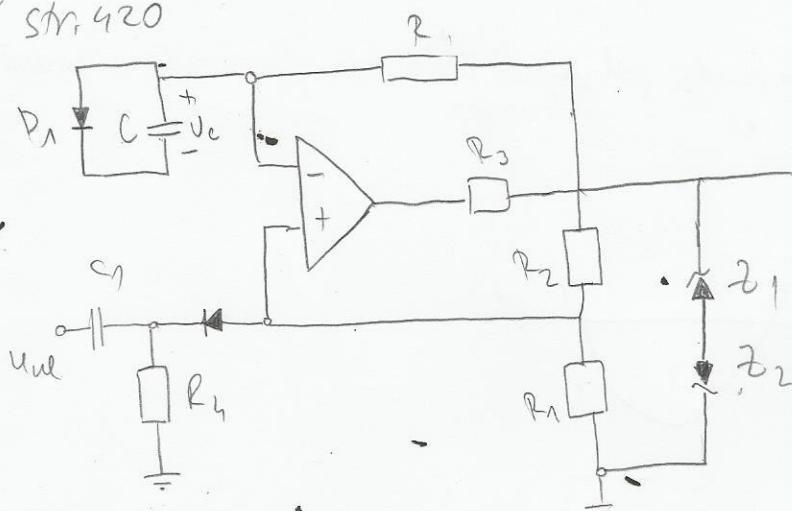
$$\beta^* = \frac{I_{pc}}{I_{pe}} = 1 - \frac{I_R}{I_{pe}}$$

Styff, pol.

$$\beta = \beta^*, \gamma = -\frac{1}{\beta}$$

16 MONOSTABIL = multivibrator koji ima jedno stabilno i jedno krajstabilno stanje

Str. 420



- monostabil je zbož diode D₁

- ako je V_1 pozitiven C se pomiče uobičajeno preko R; poz. napon na konden. propisuo polarizaciju $D_1 \Rightarrow$ STABILNO STANJE

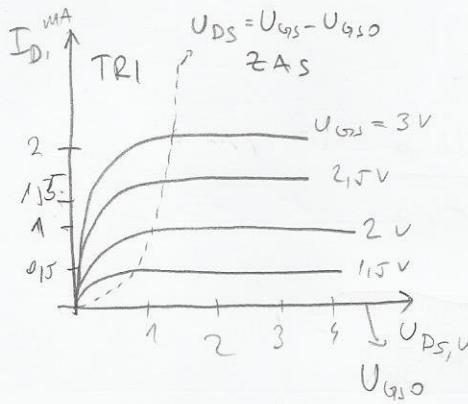
-stabilno stanje se može pravljati sklopom se održavaju. u trenutku održavanja ne ulazi sklop se dovodi negativni impuls u ist postaje negativan.

-stacionerno stanje se uspostavlja tek kada napon na kondenzatoru dosegne napon kofera diode U_{D1} . Vrijeme od ponijene izlozne napona na pocetku stabilnog stanja je do pravistu napona kond. $U_c = U_{D1}$ zove se VRIJEME OPORAVKA

(17) MOSFET - izl. karakter, prijenosne, podnje reda (zasić, triodno, zapinjaju), tipovi (bez./s kan.

NMOS IZLAZNE KAR.

str 180



$U_{GS} < U_{GS0} \Rightarrow$ kanal ne postoji, zapinjaju

$-U_{GS} > U_{GS0} \Rightarrow$ vodi struju

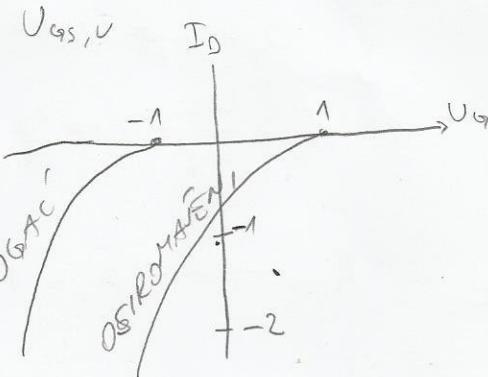
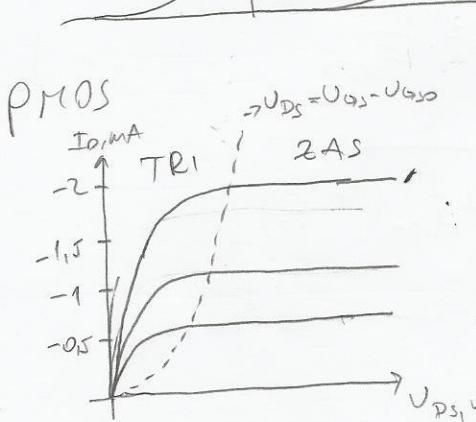
- obogaćeni tip: kanal se stvara pozitivnim naponom
 $U_{GS} = U_{GS0}$

- ostromeđeni \rightarrow vodi struju uz $U_{GS0} = 0V$, kanal se zatvara neg. naponom $U_{GS} = U_{GS0}$

PRIJENOSNE KAR.

ID, mA
OSTROMAJENI
OBOGAĆENI

\rightarrow



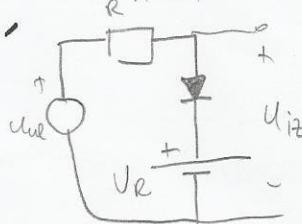
$f_0 < 0$

- obogaćeni tip \rightarrow kanal se stvara negativnim naponom $U_{GS} = U_{GS0}$

- ostromeđeni tip \rightarrow vodi struju uz $U_{GS} = 0V$, kanal se zatvara poz. naponom $U_{GS} = U_{GS0}$

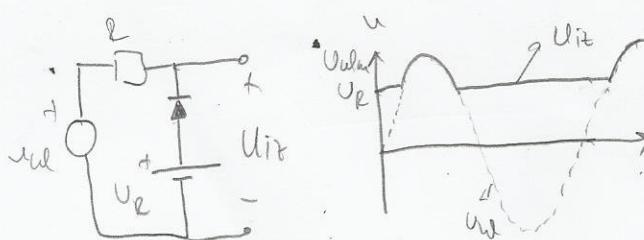
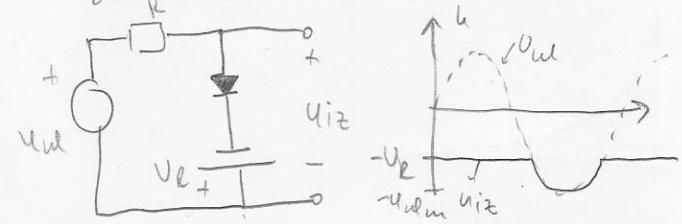
(18) OGRANIČAVACI

STV. 167



- koriste se da ogranicjuju hod naponskog signala

- temelje svoj rad na neliničarnoj karakteristici diode



- postoji paralelni i serijski

PARALL.



serijski

(21) PODRUČJA RADA BIPOLARCA ZAŠTO SE KORISTE

• NAP, INVERZNO AKT POD, PO'D ZASIC, POD ZAPIRANJA

• NAP - tranzistor posjeduje svojstva pojedinja
- koristi se kao u POJEDINIMA

• INV.A.P. - može se gledati kao NAP uz zauvijenu ulogu E i C.

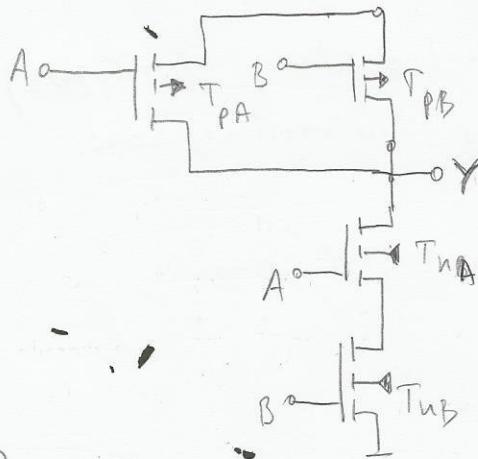
- u realnim pojedinima ovačka simetrija ne postoji
- IAP se ne koristi

• POD ZASICE - superpozicija NAP : IAP

• POD ZAPIR - učlo male struje teku kroz trouz., skoro 0 } pojedinja

- u zasidaju struje velike otpornosti mali } radi kao s elektromagnetom
- u zapiraju struje male otpornosti veliki }

(22) NI-selop str. 266



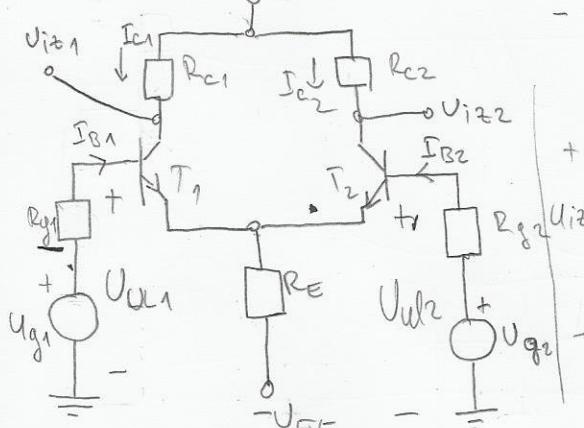
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



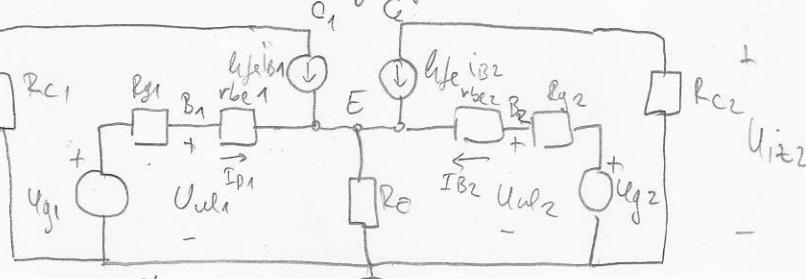
(23) DIFERENCIJSKO POJEDINO, ali izvedeno BIPOLARCEM, NE operacijama pojedino.

str. 353 - najvjereničije tranzistorško pojedino, koristi se kao ulazno pojedino.

- nemaju granice frekv., tj. pojedine sve signale od frekv. 0 pa do gornje granice



$$A_{Vz} = \frac{U_{iz}}{U_{iz}} = -\frac{R_f}{R_{b2}} \frac{R_{f1}}{R_{b1}}$$



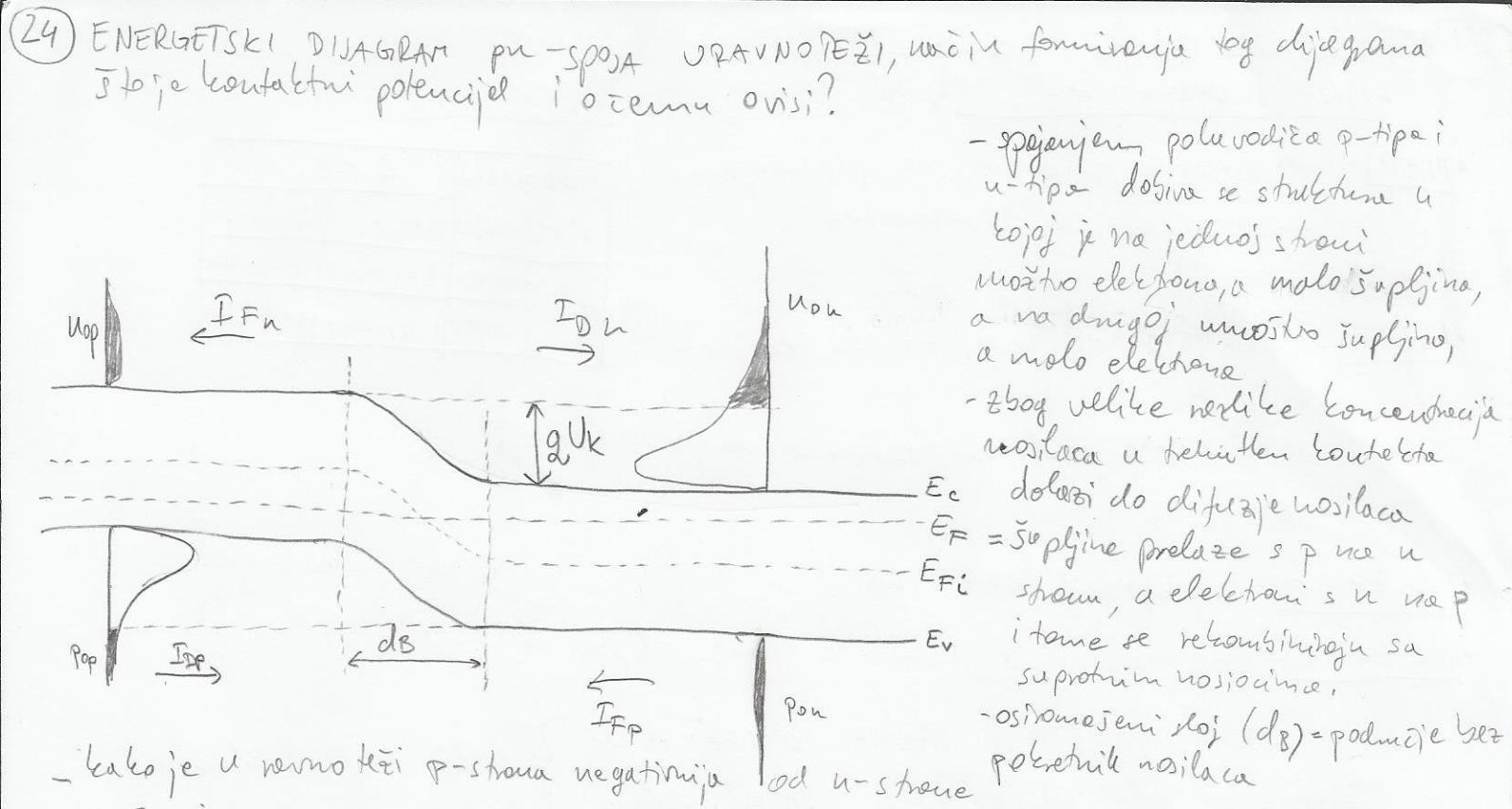
$$U_z = \frac{U_{g1} + U_{g2}}{2}$$

zajednički

$$U_d = U_{g2} - U_{g1}$$

diferencijalni signal

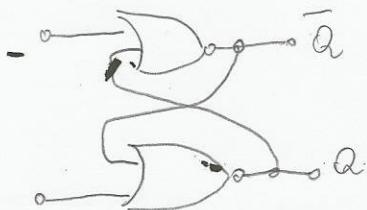
$$U_d \Rightarrow U_{g2} = -U_{g1} = \frac{U_d}{2} \quad A_{vd} = \frac{U_{iz}}{U_d} = \frac{-U_{je} R_{c2}}{2(R_{g2} + r_{be2})}$$



- kako je u ravnoteži p-strana negativnija od n-strane
- E_p je viša od E_n pa zbog toga se javlja svijanje u osimnosetenu sloju
- $E = -q\psi$ $\psi \rightarrow$ potencijal
- kontaktni potencijel $V_k \Rightarrow$ razlika potencijala u i p-strane ($\psi_n - \psi_p = V_k$)
- ovisi o temp., koncentracijama veličinskih nosilaca i intrinzičnoj E_{onc} .

$$V_k = V_T \ln \left(\frac{N_{on} N_{op}}{N_i^2} \right)$$

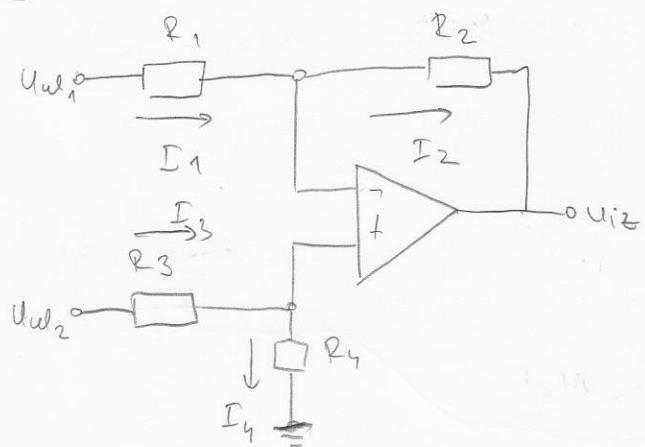
25) CMOS-SR klijent



S	R	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}
0	0	Q_n	\bar{Q}_n
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	-	-

- memorijski sklop

(26) DIFERENCIJSKO POJĀCĀLO, OPERĀCIJSKIM POJĀCĒ, opis rod, pojēcāje



$$I_1 = I_2 \quad I_3 = I_4 \rightarrow U_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_{in2}$$

$$\frac{U_{in1} - U_-}{R_1} = \frac{U_- - U_{in2}}{R_2}$$

$$U_{in2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_- - \frac{R_2}{R_1} U_{in1}$$

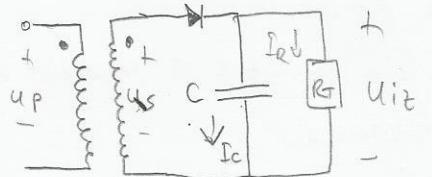
$$U_{in2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_{in2} - \frac{R_2}{R_1} U_{in1}$$

$$\text{za } R_3 = R_1 \quad R_4 = R_2$$

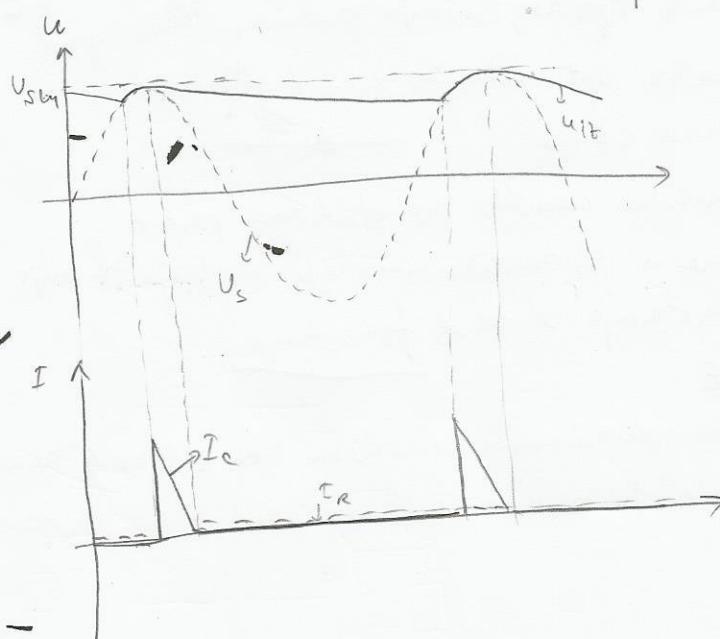
$$U_{in2} = \frac{R_2}{R_1} (U_{in2} - U_{in1}) = \frac{R_2}{R_1} U_{in1}$$

$$A_{vd} = \frac{R_2}{R_1}$$

(27) ISPRAVLJAJĆ S KAPACITIVNIM OPTREDENJEM str. 162



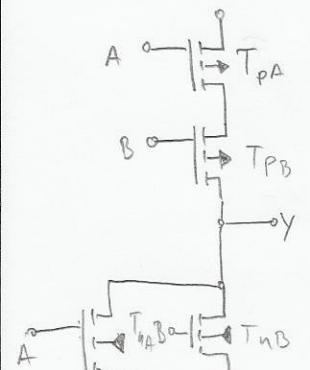
- kondenzator koji izmjenjuje komponente ispravljenih nepona, spojen paralelno
- dioda vodi struju, kond. se načija, kad se dioda zatvara polarizira, kond. se izbijja i drži napon.



(28) CMOS

N111

str. 264



A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

pMOS \rightarrow nježa izvoranMOS \rightarrow nježa ponosa

- tako su oba ulaza 0 \rightarrow n-MOS ne vode, a vode oba pMOS-a, tako je 1 od ulaza u 1 ne vodi pripadni pMOS i nježa izvora je isključena.

$$\text{log. rezultat: } V_o = 0 \quad V_i = V_{DD}$$

(29) DIODE U OPTOELEKTRONICI str. 135

- temelje svoj rad na pretvorbi optičkog zračenja u električnu E i obrnuto

$$E = h f = \frac{hc}{\lambda}$$

- svjetleća dioda (LED - light emitting diode)



\hookrightarrow pretvara električnu energiju u optičko zračenje (svjetlost)

- emisija opt. zračenja osigurana propisna polarizacija pn-diode

- uslijed injekcije manjinskih nosilaca uz rub ostrva, sloja povećava se produkt n.p., te namjenska manjotera izaziva pojedinu rekombinaciju elektrona.

- rekombinacijom elektron prelazi iz vodljivog u valentni pojas, oslobađajući energiju činjeni slobodnoj pojasu E_F , od kojeg dioda pretvara u zračenje velike duljine $\lambda = \frac{hc}{E_F}$ nm

- fotodioda \rightarrow detektor u kojem energija upravo optičkog zračenja generira električni signal.

- uz zagon polarn. fotodiode, bez prisutstva opt. zračenja, kroz diodu teče mala struja zasilenja I_s , koja se naziva termna struja

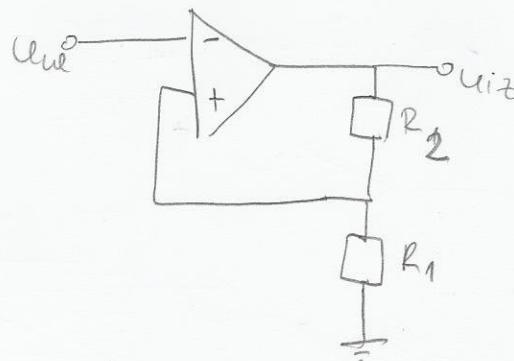


- svojom energijom upravo opt. zrač. generira unutar p.v. strukture parove nosilaca elektron-supljina. Nosioci generirani u osimbenom sloju nadređuju el. polje elek. na n-, supljina p-stranu, njihovo kretanje se zove fotostruja

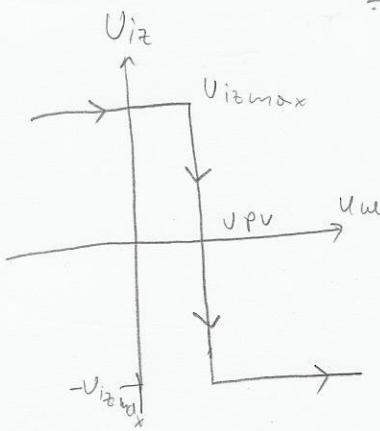
- sunčane celije - sunčeva E zračenja u el. E

\hookrightarrow ne polarizuju se, već se redovnjajem fotogeniranih nosilaca u srednjem diode stranu fotoaporni koji se upotrebljavaju kao istosmjeri npr. izvor svjetlosti, veća struja

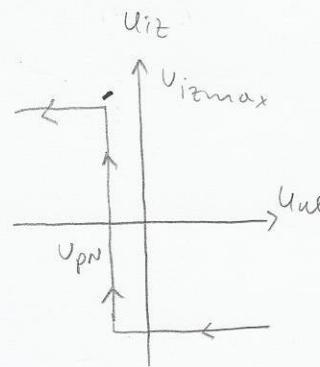
(30) KOMPARATOR - uspoređuje 2 ulazna napona str. 413



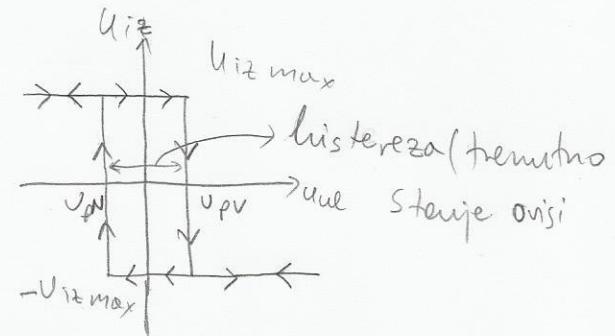
$$U_+ = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{iz} = \beta U_{iz}$$



povećanje ulaznog napona



smanjenje ulaznog napona

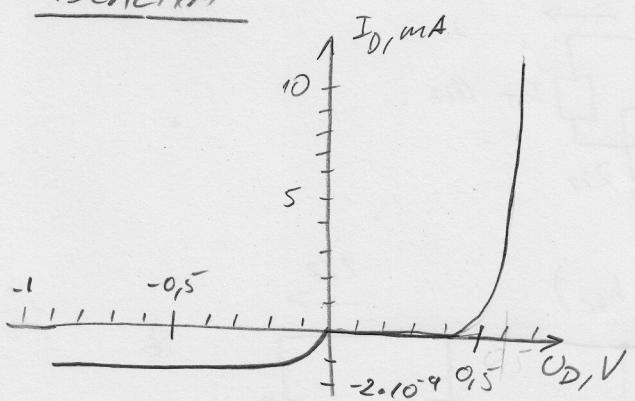


ukupna prijenosna karakteristika

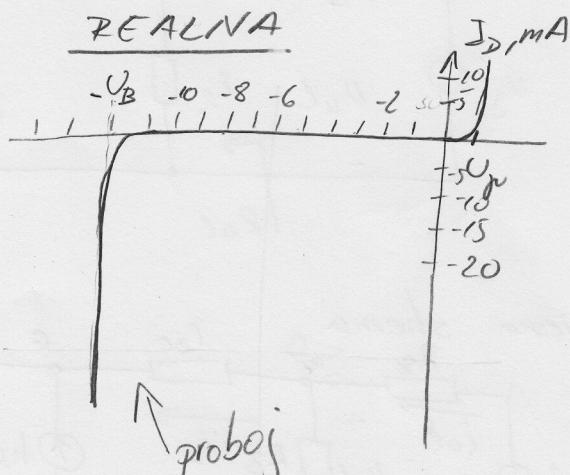
PITANJA ZA USMENI

1. U1 karakteristika idealne i realne pn diode, kod propusne i zaporne polarizacije \rightarrow shrgta 103. str Shockley 111. str. U1

IDEALNA

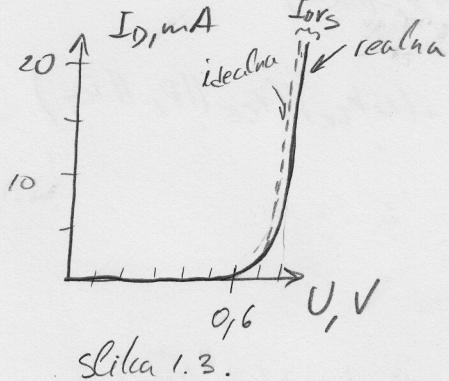


Slika 1.1



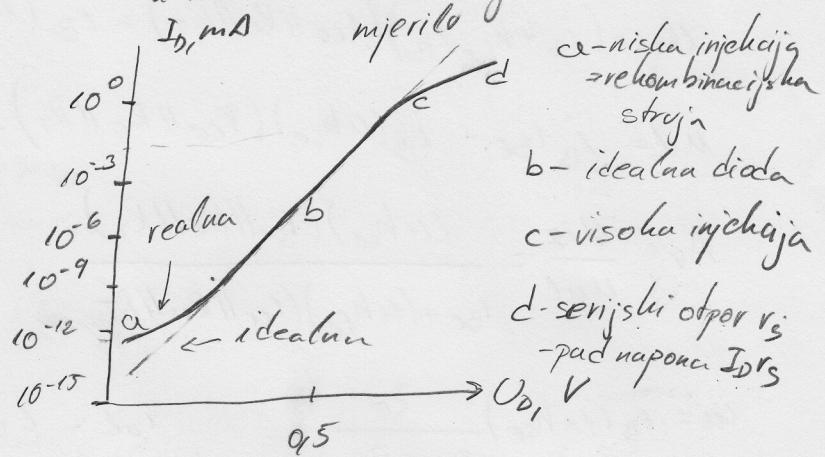
USPOREDBA IDEALNE I REALNE Slika 1.2

karakteristika u linearnom mjerilo



Slika 1.3.

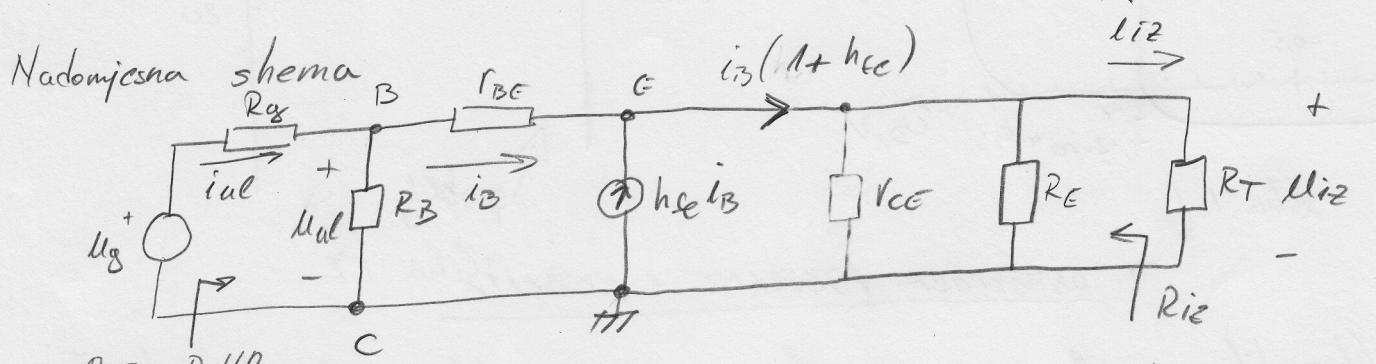
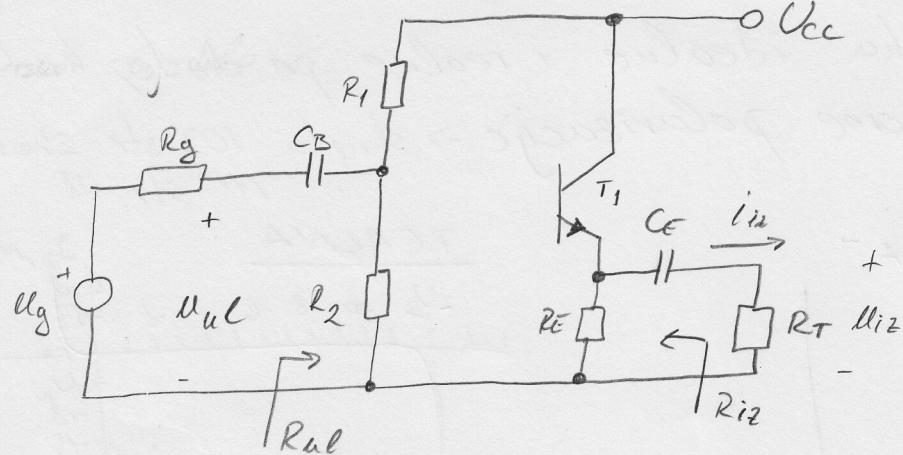
karakteristika u logaritamskom mjerilo



Kod idealne diode pretpostavlja se da nema probaja u zapornoj polarizaciji te da je jedina struja pri zapornoj polarizaciji struja rasicenja (I_S). U idealnoj diodi se takođe zanemaruje otpor levazineutralnih godovača r_s , koji u realnoj diodi uzrokuje pad napona I_{D_s} .

Kroz realnu diodu pri zapornoj polarizaciji uz struju rasicenja deće i generacijska struja I_G verovatno generacijom nosilaca u osiromasnjenom sloju. Porast naponu zaporne polarizacije dolazi do probaja pn-spoja koji se očituje u negativnom porastu struje \Rightarrow probojni napon (U_B)

2. Pojazdalo u spoju z pojednicihog kolektora, slivacati, dinamika, itd,
→ str. 347.



$$R_B = R_1 // R_2$$

$$U_{12} = (i_B + h_{fe} i_B) (r_{ce} // R_E // R_T) = i_B (1 + h_{fe}) (r_{ce} // R_E // R_T)$$

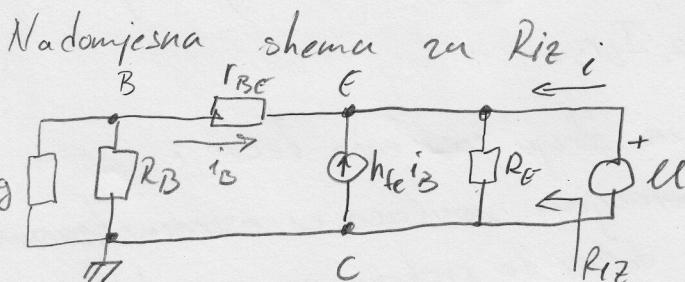
$$U_{11} = i_B r_{BE} + i_B (1 + h_{fe}) (r_{ce} // R_E // R_T) = i_B (r_{BE} + (1 + h_{fe}) (r_{ce} // R_E // R_T))$$

$$A_V = \frac{U_{12}}{U_{11}} = \frac{(1 + h_{fe}) (r_{ce} // R_E // R_T)}{r_{BE} + (1 + h_{fe}) (r_{ce} // R_E // R_T)}$$

$$i_{12} = i_B (1 + h_{fe}) \frac{R_E}{R_E + R_T}$$

$$i_{11} = i_B \frac{R_B + r_{BE} + (1 + h_{fe}) (R_E // R_T)}{R_B}$$

$$A_I = \frac{i_{12}}{i_{11}} = (1 + h_{fe}) \cdot \frac{R_E}{R_E + R_T} \cdot \frac{R_B}{R_B + r_{BE} + (1 + h_{fe}) (R_E // R_T)}$$



$$U = -i_B (r_{BE} + R_g // R_B)$$

$$i = i_{12} - i_B (1 + h_{fe}) = \frac{U}{R_E} - i_B (1 + h_{fe})$$

$$R_{12} = \frac{U}{i} = R_E // \frac{R_g // R_B + V_{BE}}{1 + h_{fe}}$$

(2.)

Za spoj zajedničkog kolektora još se kaže da je emiterško slijedilo jer izlazni napon emitera slijedi ulazni napon baze.

Statički radni točku određuje otporno djelilo, s otpornicima R_1 i R_2 , spojeno na napon napajanja V_{cc} te otpornih R_e

S obzirom da je kolektor spojen direktno na V_{cc} , u dinamičkim prilozima se on, kao zajednički privigaćak, spaja na masu.

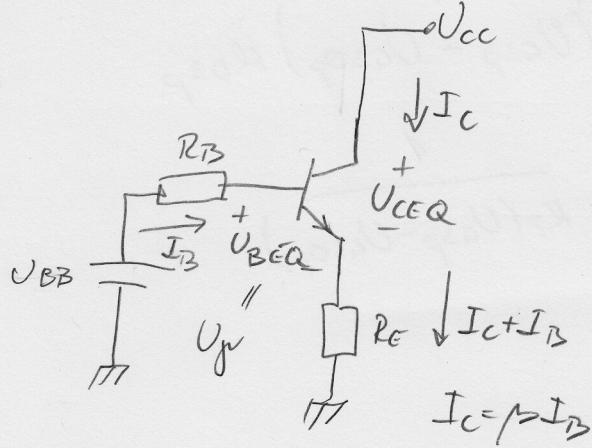
Bipolarni tranzistor nadomjesten je modelom između emitora baze B , emitera E i kolektora C . Između B i E uključen je dinamički otpor

r_{BE} pri čemu je zanemaren serijski otpor baze, a između C i E spojeni su ovisni strujni izvor $h_{fe} \cdot I_B$ i dinamički otpor r_{ce} . Ovisni strujni izvor ugrađan je strujom i_c koja teče od B do E kroz r_{BE} , a struja izvora mijenja teču od C prema E . r_{ce} redovito je znatno veći od R_e i R_1 pa se može zanemariti.

Naponsko pojačanje je pozitivno, ali je manje od 1. Kako je otpor r_{ce} redovito znatno manji od $(1+h_{fe})(R_e || R_T)$ pojačanje će prema 1

Iznosi strujnih pojačanja pojačala u spojima zajedničkog emitera i kolektora mogu biti velika, ali ovise o gubitima struja u ulaznom i izlaznom lungu pojačala. Za manji gubitak pojačane struje u izlaznom lungu (tj. veće struko pojačanje) otpor trošila treba biti znatno manji od ostalih otpora koji su u paraleli u izlaznom lungu.

STATIKA



$$U_{BB} - R_1 I_B - U_{BCEQ} - R_e I_B (1+\beta) = 0$$

$$U_{cc} - U_{CEQ} - R_e I_B (1+\beta) = 0$$

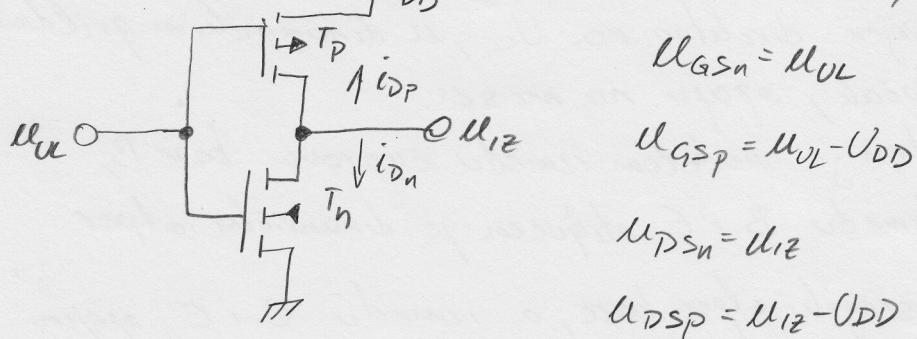
→ ponadud se I_B zanemaruje jer je njen tenor mijenjan u μA

$$I_c = \beta I_B$$

3. CMOS Invertor - str. 253

CMOS - complementary MOS

CMOS invertor sastoji se od komplementarnog para n-kanalnog MOSFET-a T_n i p-kanalnog MOSFET-a T_p spojenih prema slici.



$$i_{Dn} = -i_{Dp}$$

Za ispravan rad oba tranzistora moraju biti obogaćenog tipa.

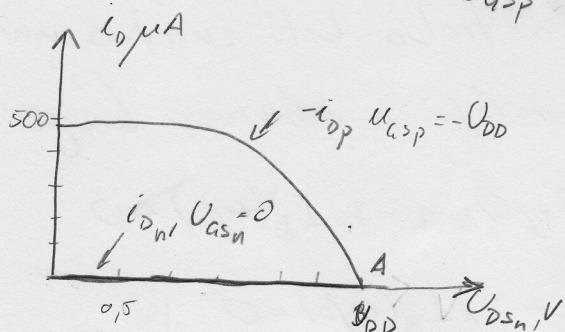
Pragovi napona (U_{aso}) su najčešće komplementarni (jednaki po iznosu, suprotnog predznaka) $U_{GSOn} = -U_{GSOp}$

Ulazni i izlazni napon invertora digitalni su signali: i poprimaju vrijednosti napona niske ravine što odgovara logičkoj 0 ili visoke ravine (logička 1)

$$\rightarrow U_{asn} = U_{ul}$$

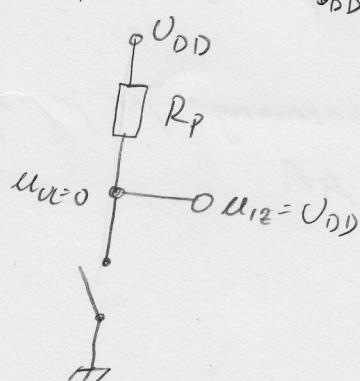
U_{ul} niske ravine (jednako 0) $\rightarrow U_{asn} < U_{ason} \rightarrow T_n$ je u području capiranja

$$\rightarrow U_{GSp} = U_{ul} - U_{DD} = -U_{DD} > U_{GSOp} \rightarrow T_p$$
 vodi

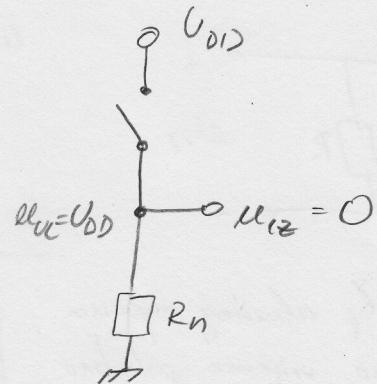
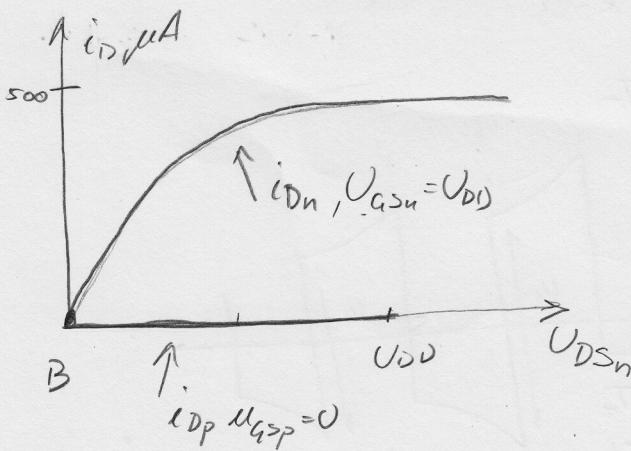


T_n ne vodi, T_p vodi - u početku triodnog područja

$$i_{Dp} = K_p (U_{GSp} - U_{GSOp}) \cdot U_{DSp}$$

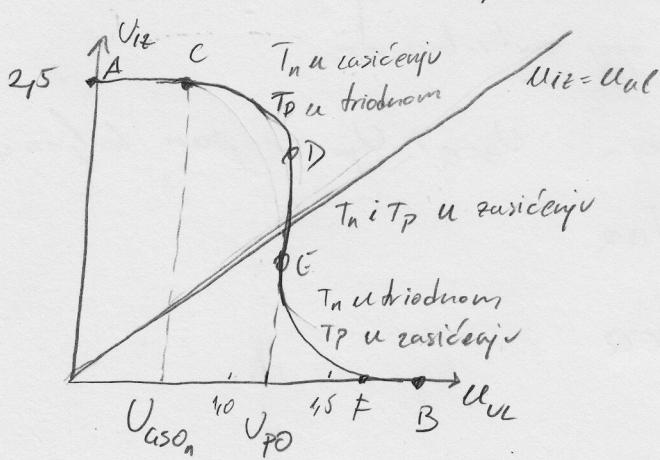


$$R_p = \frac{U_{DSp}}{i_{Dp}} = \frac{1}{K_p (U_{GSp} - U_{GSOp})}$$



$$R_L = \frac{U_{DSn}}{i_{Dn}} = \frac{1}{K_n(U_{GSn} - U_{ASn})}$$

- U_{in} visoke razine = U_{iz} niske razine i obrnuto
- $U_o = 0 \quad U_i = U_{DD} \rightarrow$ razlika naponskih razine je velika \Rightarrow porogno se ostvaruje većih granica smetnji
- Naponi ne ovisi o dimenzijama tranzistora
- U statičkim stanjima izlaz je uvećan preko konacnog otpora spojen ili na masu ili na napon napajanja pa je sklop manje ojekljiv na smetnje
- Izlaz je niskoomski $\Rightarrow R_o$ i R_p su reda veličine kΩ
- Ulaz je visokoomski \Rightarrow sklop se upravlja bez struje
- Ni u jednom od statičkih stanja ne postoji pot struje izmedu napajanja i mase što znači da sklop radi bez počesnje



A i B - stacionarna stanja

$$C - U_{iz} = U_{ASn} - T_n \text{ gođanje voditi}$$

C - D $\rightarrow T_n$ vodi sve bolje, a T_p sve slabije

D - E \rightarrow oba tranzistora su u zasidenu

E - T_n prelazi u triodno područje

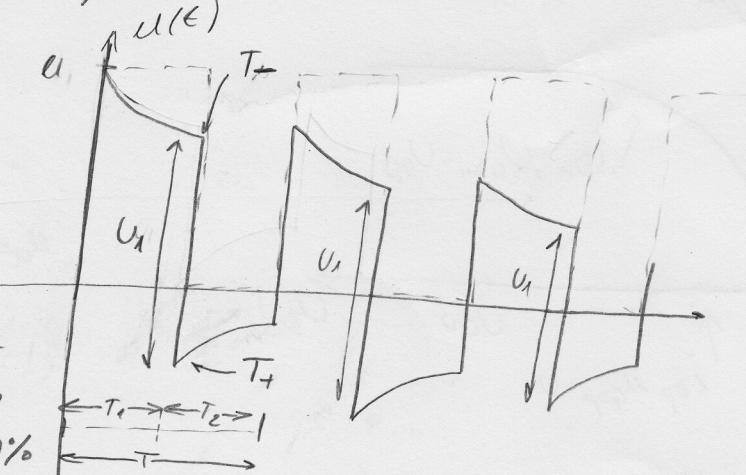
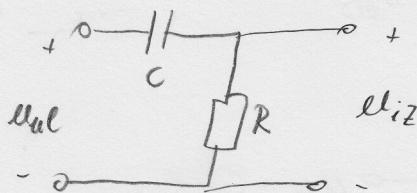
F - T_p prestaje voditi

$$r = f \cdot K_p / K_n$$

Prag ohridanja - mjesto gdje $U_{iz} = U_{ie}$ presjeca prijenosnu karakteristiku

$$i_{Dn} = -i_{DP} \Rightarrow K_n(U_{ASn} - U_{ASop})^2 = -K_p(U_{P0} - U_{DD} - U_{ASop})^2 \Rightarrow U_{P0} = \frac{r(U_{DD} + U_{ASop}) + U_{ASop}}{1+r}$$

4. Nacrtati odziv CR mreže i još o CR-er



Vrijeme pada t_f izlaznog napona definira se kao vrijeme potrebno da se napon smanji s 90% na 10% konacne vrijednosti

$$U_{12}(T_{P-}) = U_1 \exp\left(-\frac{T_P}{\tau}\right) = U_{12T-}$$

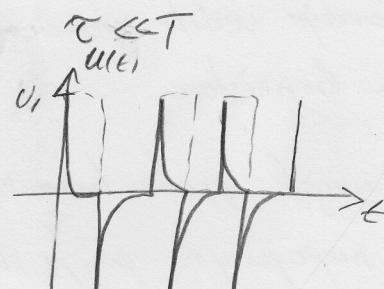
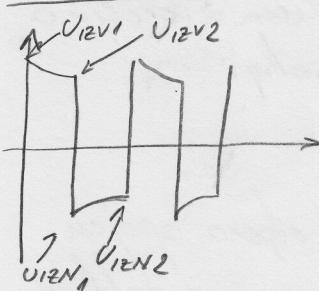
$$U_{12}(T_{P+}) = U_{12T-} - U_1 = U_{12T+}$$

Stacionarno stanje - izlazni napon periodički se ponavlja i nemai istosmjerno komponentu

$$U_{12v2} = U_{12v1} \exp(-T_1/\tau)$$

$$U_{12N_2} = U_{12N_1} \exp(-T_1/\tau)$$

STACIONARNO



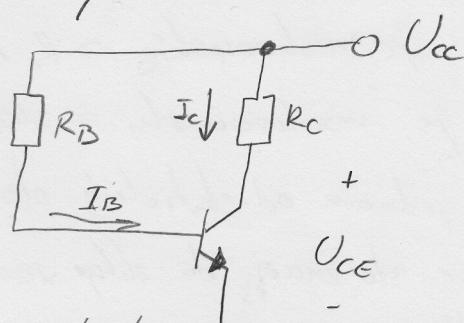
5. Stabilizacija radne točke bipolarnog, sto je - str. 320

1. Podesavanje SRT stalnom baznom strujom

Rada normalnom aktivnom području a ulaznom strujom tranzistora osigurava I_{BQ}

$$I_{BQ} = \frac{V_{cc} - V_{BEQ}}{R_B}$$

\rightarrow ulazi u tranzistor i propusno polariziraju spoj emiter-baza



V_{BEQ} - napon propusno polariziranog spoja $V_{BEQ} \approx V_p$ - napon kolicica

Ako tranzistor radi u NAP-u $I_{CQ} = \beta I_{BQ}$

$$V_{CEQ} = V_{cc} - R_C I_{CQ} \quad \rightarrow \quad V_{CEQ} > V_{BEQ}$$

2. Stabilizacija SRT emiterškim otpornikom

- omogućava smanjenje osjetljivosti položaja SRT na promjenu parametara tranzistora

$$U_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{CC}$$

$$U_{BB} = R_B I_{BQ} + U_{BEQ} + (1+\beta) R_E I_{BQ}$$

$$I_{BQ} = \frac{U_{BB} - U_{BEQ}}{R_B + (1+\beta) R_E}$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} - R_C I_{CQ} - R_E (I_{BQ} + I_{CQ}) \approx U_{CC} - (R_C + R_E) I_{CQ}$$

R_E - spojen između mase i emitera smanjuje učinkovito pojačanje \Rightarrow degeneracija

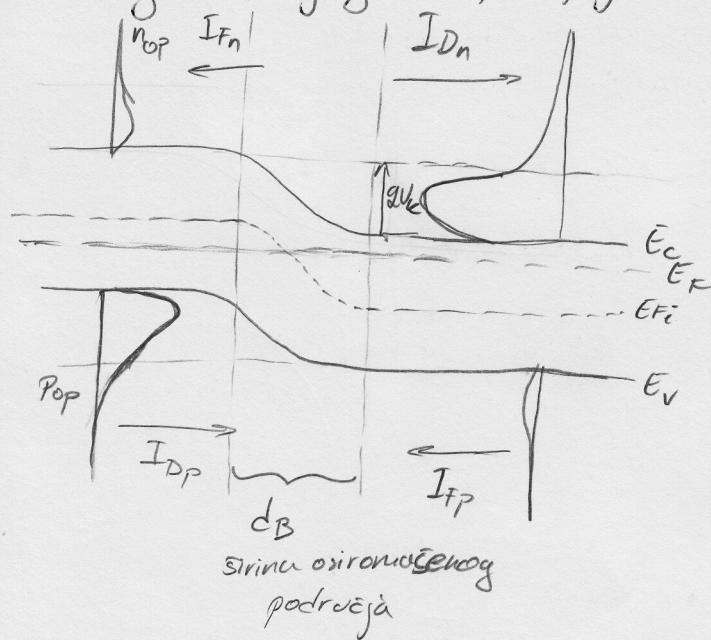
3. Podesavanje SRT s dva napona napajanja
 \rightarrow 2 napona napajanja \Rightarrow pozitivni i negativni

$$U_{EE} = R_B I_B + U_{BE} + R_E (I_B + I_C)$$

$$I_{BQ} = \frac{U_{EE} - U_{BE}}{R_B + (1+\beta) R_E}$$

$$U_{CEQ} = U_{CC} + U_{EE} - (R_C + R_E) I_{CQ}$$

6. Energetski dijagram pri spoju, kontaktni potencijal

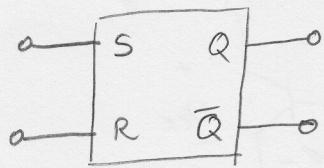


I_F - driftne struje manjinskih nosilaca
 I_D - difuzijske struje većinskih nosilaca

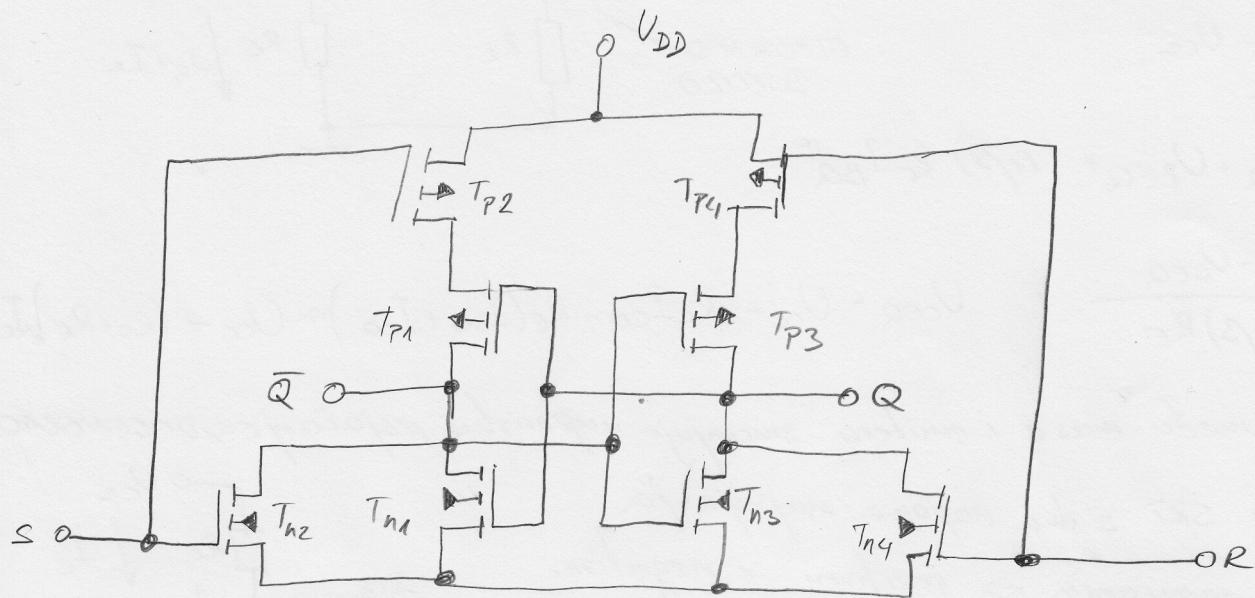
$$U_K = \frac{E_{Fn} - E_{Fp}}{2} = V_T \ln \left(\frac{n_{op} \cdot p_{op}}{n_i^2} \right)$$

Kontaktni potencijal raste s porastom koncentracija primjesa jer s tim raste i razlika termičkih energija

7. Nacrtati SR bistabil, princip radca - str 269.



SR	Q_{n+1}	\bar{Q}_{n+1}
00	Q_n	\bar{Q}_n
01	1	0
10	0	1
11	-	-



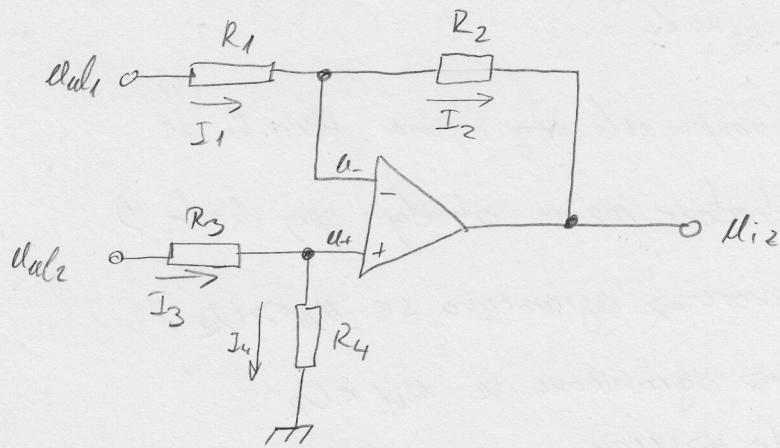
ona sa $S \neq R \rightarrow$ isključuje T_{n2} i T_{n4}
 \rightarrow uključuje T_{p2} i T_{p1}

1 na $Q \rightarrow$ uključen je T_{n1} } na \bar{Q} je 0 -> isključen T_{n3}
 \rightarrow isključen T_{p1} } na \bar{Q} je 0 -> isključen T_{p3}
 \rightarrow uključen T_{p3}

$S=1$ } uključuje T_{n2} i \bar{T}_{p4}
 $R=0$ } isključuje T_{p2} i \bar{T}_{n4}
 $\rightarrow \bar{Q}=0 \rightarrow$ uključen T_{p3}
 \rightarrow isključen T_{n3}

8. Diferencijalno pojačalo pomoću operacijskog pojačala

(5)



$$\frac{U_{in1} - U_{in2}}{R_1} = \frac{U_{in1} - U_{in2}}{R_2}$$

$$U_{in2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{in2} - \frac{R_2}{R_1} U_{in1}$$

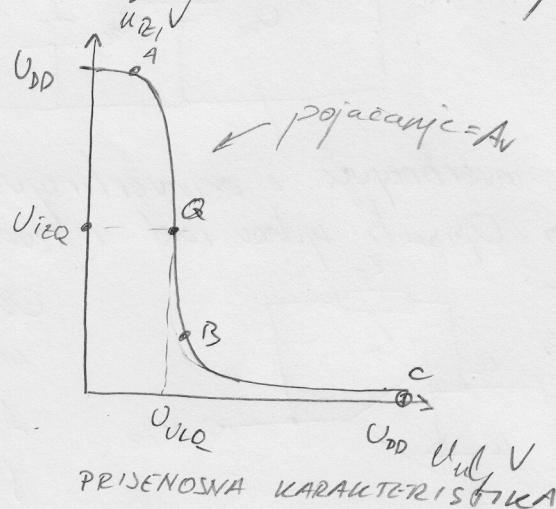
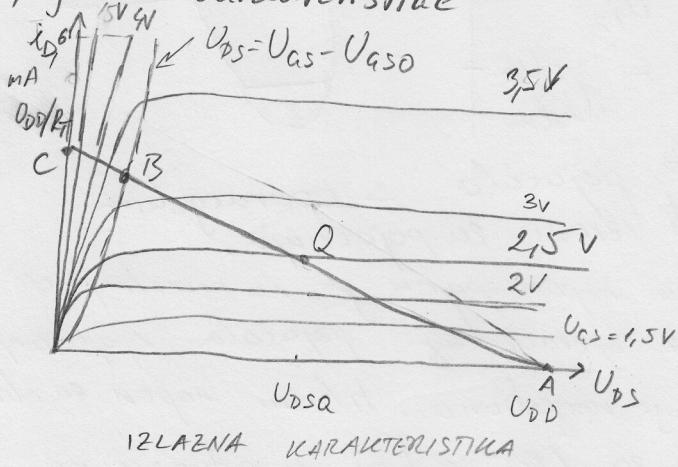
$$U_o = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_{in2}$$

$$A_{VOP} \rightarrow \Delta \Rightarrow U_+ = U_- \Rightarrow U_{in2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_{in2} - \frac{R_2}{R_1} U_{in1}$$

Ako $R_1 = R_3$ i $R_4 = R_2$

$$\Rightarrow U_{in2} = \frac{R_2}{R_1} (U_{in2} - U_{in1}) \quad A_{vd} = \frac{U_{in2}}{U_{in2} - U_{in1}} = \frac{R_2}{R_1}$$

9. Načrtati izlaznu i prijenosnu karakteristiku mosteta, objasniti područje rada. Može vrste MOSFETA postoji s obzirom na položaj prijenosne karakteristike



$$U_{in2} = U_{DS} = U_{DD} - i_D R_T$$

A - leži na granici zapiranja i zasicanja
izmedu A i B - u zasicanju
izmedu B i C - u triodnom području

Promjena izlaznog napona s promjenom ulaznog napona izmedu A i B - u zasicanju

B - iz područja zasicanja u triodno područje

S obzirom na prijenosnu karakteristiku MOSFET se može koristiti kao

1. SKLOPKA

2. POJAČALO - napomenuto pojačanje $A_v = \Delta u_o / \Delta u_{in}$ odgovara nagibu funkcije prijenosne karakteristike u točki Q

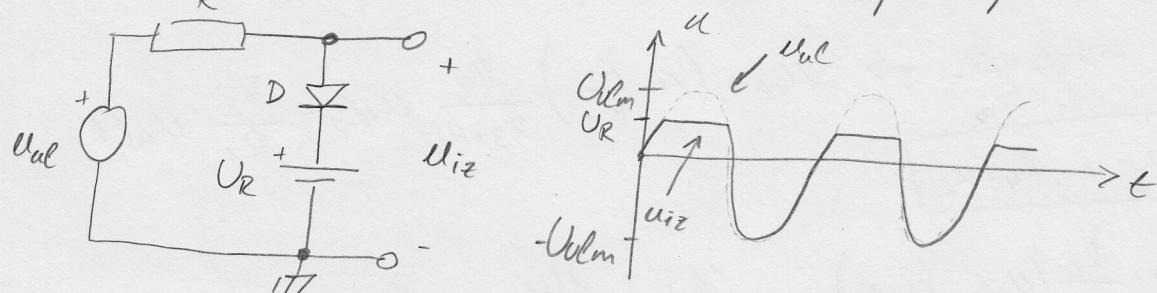
10. Što je diodni ograničivač? Načrtati shemu jednog i objasniti njegov rad
str. 162
Koristi se za ograničenje kota naponskog signala

Istosmjerni izvor U_R određuje razinu ograničavanja izlaznog napona. Može li se ograniciti ulazni napon iznad ili ispod određene razine određuje spoj diode D

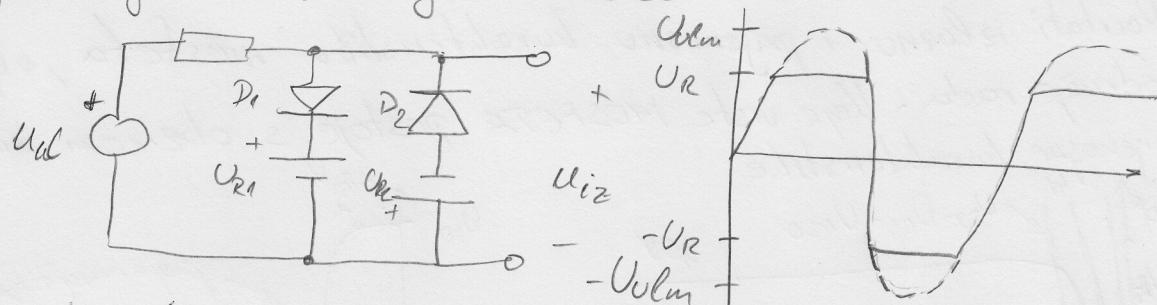
⇒ Ako je dioda ohrenuta prema izvoru ⇒ ograničava se $u_{ul} > U_R$

⇒ Ako je dioda ohrenuta od izvora ⇒ ograničava se $u_{ul} < U_R$

⇒ Ako je izvor ohrenut +.om od diode ⇒ u_{ul} se uspoređuje s $-U_R$

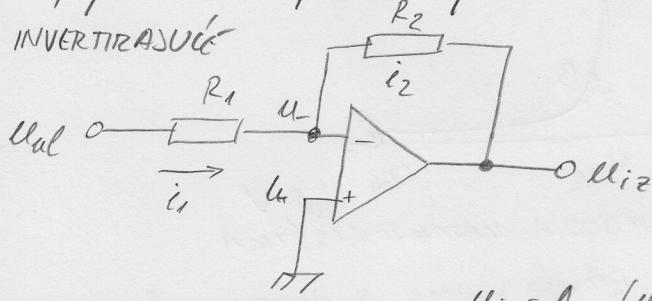


Ako želimo signal ograniciti i odozgo i odozdo



11. Načrtati inverhirajuće i neinverhirajuće pojedinačno operacijsko pojačalo → operacijskim pojedinačno. Opisati njihov rad i izvesti izraze za pojačanje.

INVERTIRAJUĆE



Ukljni napon spojen je na inverhirajući ulaz operacijskog pojačala i pojačava se. Av je negativno. Ukljni napon za obrenut je za 180° u fazu u odnosu na

$$u_{iz} = A_{op}(u_+ - u_-)$$

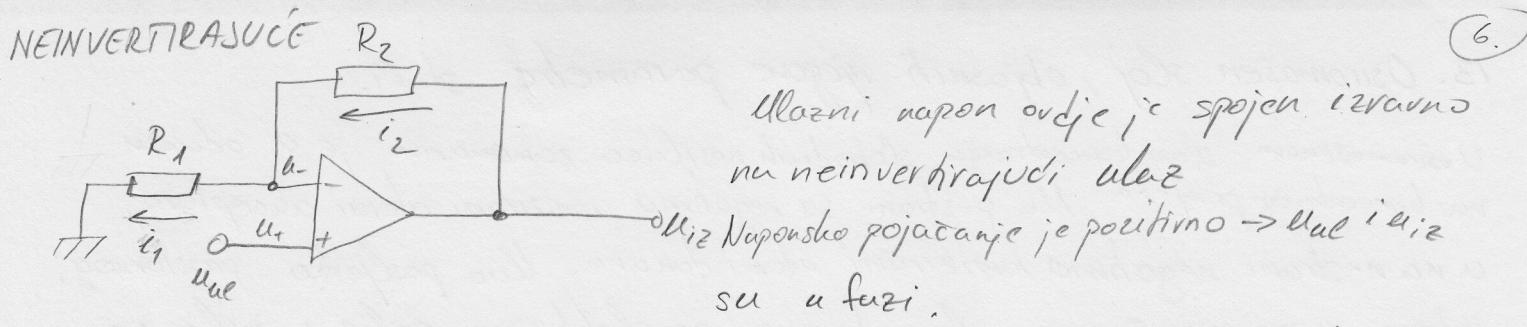
$$i_1 = i_2, u_+ = 0 \Rightarrow u_- = -\frac{u_{iz}}{A_{op}}$$

$$i_1 = \frac{u_{ul} - u}{R_1}$$

$$\frac{u_{ul} - u_-}{R_1} = \frac{u_- - u_{iz}}{R_2}$$

$$Av = \frac{u_{iz}}{u_{ul}} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{op}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)}$$

$$i_2 = \frac{u - u_{iz}}{R_2}$$

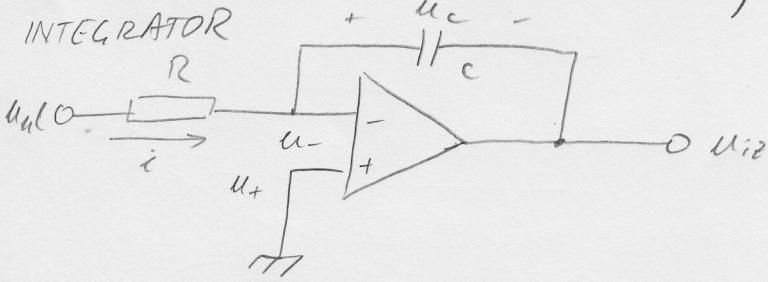


Naponsko pojačanje neinvertirajućeg pojačala ovisi o naponskom pojačanju operacijskog pojačala A_{vop} kao i naponsko pojačanje invertirajućeg pojačala. A_v ne ovisi o A_{vop} ako je $A_{vop} \gg \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$

$$i_1 = \frac{u_-}{R_1} = \frac{u_{iz} - u_-}{R_2} = i_2 \quad u_+ - u_- = u_{ul} - u_- = \frac{u_{iz}}{A_{vop}}$$

$$A_v = \frac{u_{iz}}{u_{in}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{vop}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

12. INTEGRATOR I DERIVATOR s operacijskim pojačalom str. 414.



$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt + U_{co} = \\ = \frac{1}{RC} \int u_{iz}(t) dt + U_{co}$$

$$u_{iz}(t) = -u_c(t) = -\frac{1}{RC} \int u_{in}(t) dt + U_{co}$$



$$- zamijenjeni R i C \\ u_{iz}(t) = -R i(t) = -RC \frac{d u_c(t)}{dt} \\ i(t) = C \frac{d u_{iz}(t)}{dt}$$

13. Osiromasen sloj, objasni njegove parametre s d. 89.

U osiromasenom sloju koncentracija slobodnih nosilaca zanemariva je u odnosu na koncentraciju primjera. Na p-strani su negativno ionizirani atomi acceptora, a na n-strani negativno ionizirani atomi donora. Kao posljedica prostornog naboja u osiromasenom sloju formira se električno polje i javlja se promjena potencijala

$$q N_A d_{Bp} = q N_D d_{Bn} \Rightarrow \frac{d_{Bn}}{d_{Bp}} = \frac{N_A}{N_D}$$

Prostorni negativni naboje acceptora jednaki su pozitivnom naboju donora zbog čega zaključujemo da je OSIROMASENI SOS kao cjelina NEUTRACAN

Osiromaseno područje briše se jače na slabije dopirano stranu pn-spoja