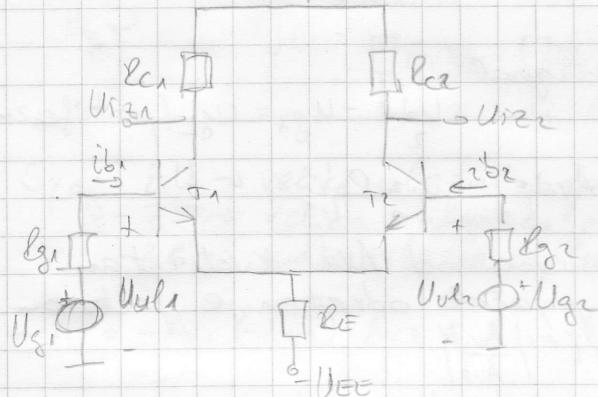


Pitanje

Nacrtat diferencijsko pojačalo s emiterskim otporom i objasnit kvantitativan odnos zajedničkog i diferencijskog napona kroz pojačanje (doje je pojačanje veće i sto bi provijenio na shemi da pojačanje bude još veće?)

U_{EE}



$$zajednički: U_3 = U_{31} + U_{32}$$

$$U_{3z} = \frac{U_{31} + U_{32}}{2} = -\frac{q_{31} + q_{32}}{2R_E}$$

i odgovara spoju $\frac{1}{2}RE$ s emiter
skom degeneracijom i
diferencijalom.

$$U_d = U_{32} - U_{31}$$

$$A_{vd} = \frac{U_{32} - U_{31}}{U_d} = \frac{1}{2} \frac{U_{3z}}{\frac{U_d}{U_{3z}}} \approx -\frac{q_{31} + q_{32}}{2U_d}$$

i odgovara spoju $\frac{1}{2}RE$ bez
emiterске degeneracije

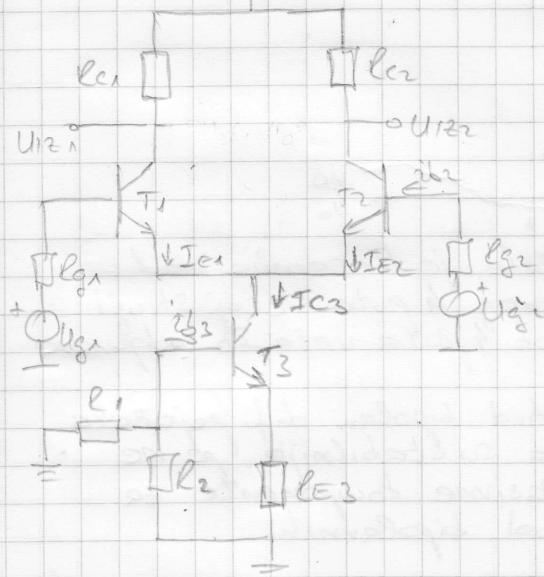
- u log objecaju emiterne degeneracije se A_{vd} , dok
uz približnoj diferencijskog signala degeneracija nema i
pojačanje A_{vd} znatno je veće.

- Da bi pojačanje bilo isto veće treba veći faktor potiskivanja
 $f = \frac{|A_{vd}|}{|A_{vz}|}$, što se postiže većim otporom RE koji bi svamilo
i A_{vd} , no time bi se svamila struja I_{CE} i gur tako
bi rastele A_{vd} . Da bi se određao A_{vd} treba porecati
- U_{EE} sto nije praktično.

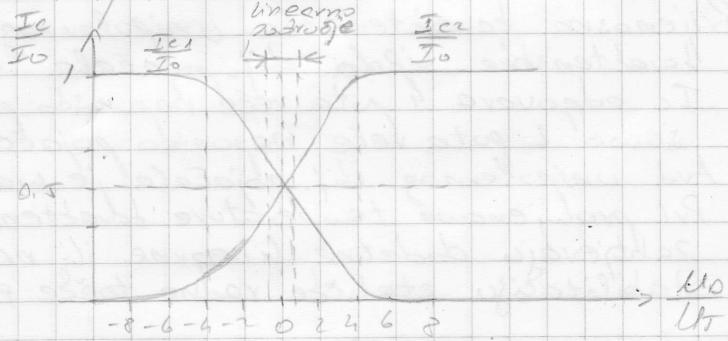
- drugi način je pojačalo sa strojnim rezistorima
- je dinamički otpor velik težište i emiterска
degeneracija i A_{vd} je znatno svamljeno, a A_{vd}
ostaje isti čime je f znatno povećan.

U_{EE}

diferencijsko pojačalo sa strojnim rezistorima
ložiš čine T_3, R_1, R_2, R_{E3} .



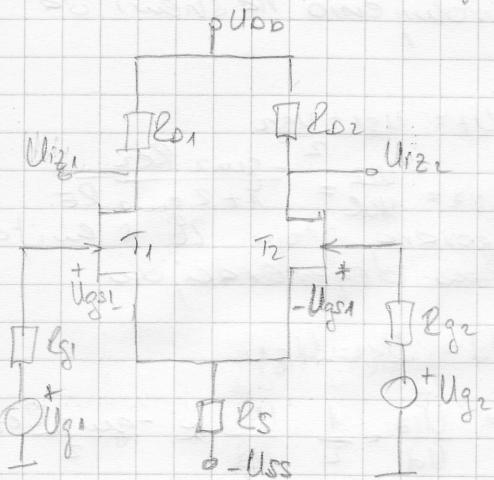
Prijenosna karakteristika



→ direkto nelinearna
→ $U_{O1} = U_{EE} - U_{O51}$

- znak razlikovanjanja A_{vd} je u log togu što nizom razdvajanja grana
+ suvise manji raspon pada napona na R_{E3} i da bi se sačuvao
pad napona stavljanju $2R_{E3}$.

Pitanje? Načrtati diferencijalno pojačalo s FET-om, odnese zajednički i diferencijalno pojačanja, vrijednosti i neostvareni red dif. s bipolarnim tranzistom, kako se može poboljšati dif. poj.



Zajednički signal: $U_2 = U_{g1} = U_{g2}$

$$A_{V2} = \frac{U_2}{U_D} \approx -\frac{g_m R_D}{1 + 2g_m R_D}$$

Diferencijalni signal:

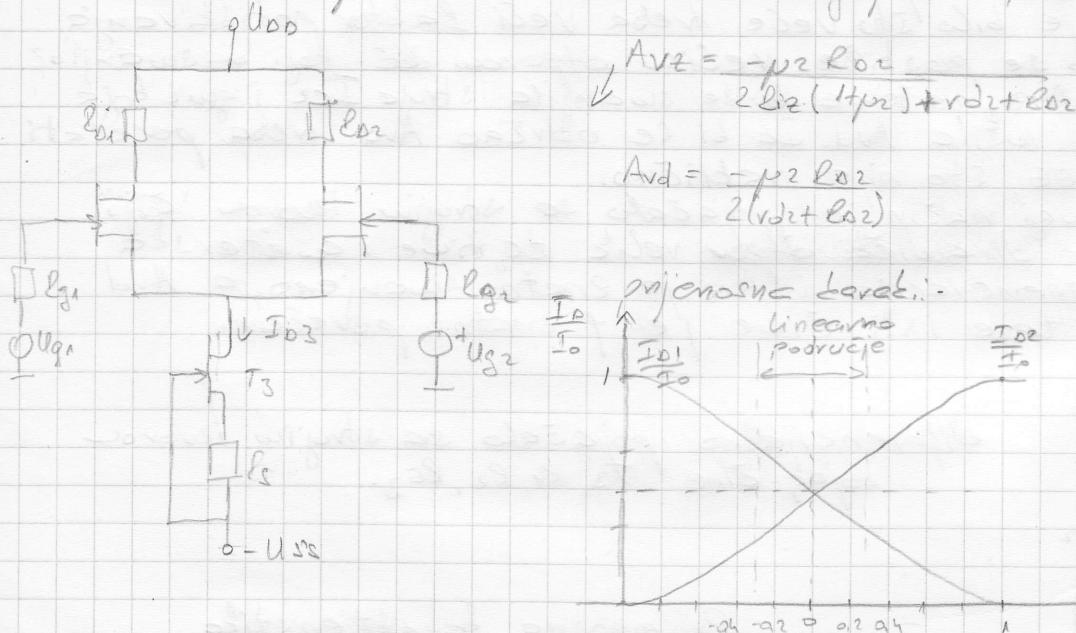
$$\frac{U_1}{2} = -U_{g1} = U_{g2} \text{ (protifazna)}$$

$$A_{vd} = -\frac{g_m R_D}{2}$$

A_v ima veći iznos od A_{V2}. Kvalitetan oljefencijalnog pojačala određen je faktorom potiskivanja $\beta = |A_{vd}| / A_{V2}|$

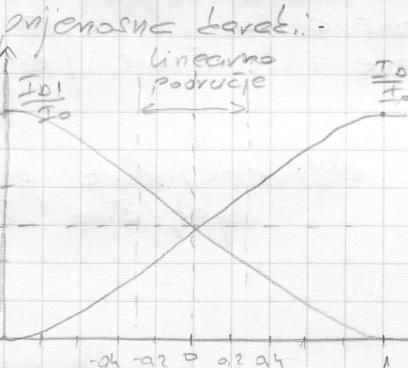
Povećanje β se ostvaruje većim otporom u dinamičku vrijednost rada (otpornik R_s) uz zadržavanje istog nivoa napona $-U_{ss}$.

To se ostvaruje smanjenjem nivoa napona R_s , taj je u dinamičku vrijednost i u veći odgovor i time znatno smanjuje A_{V2}, a A_{vd} ostaje isti.



$$A_{V2} = -\frac{\mu_2 R_D}{2R_2(1+\mu_2) + R_D + R_2}$$

$$A_{vd} = -\frac{\mu_2 R_D}{2(R_D + R_2)}$$



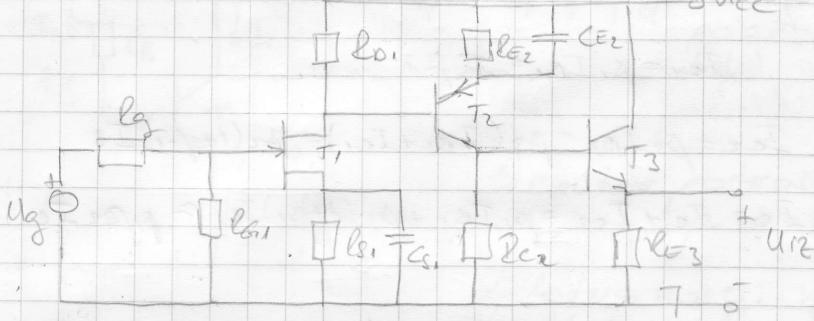
Prijenosna karakteristika unipolarnog dif. pojačala je linearija od karakteristike bipolarnog dif. pojačala. Kod bipolarnog 4 puta većoj strujni Ic odgovara 4 puta veće naponsko pojačanje, dok 4 puta veća I_D odgovara samo 2 puta veće naponsko pojačanje.

- Avd unipolarnog dif. pojačala je manje od Avd bipolarnog dif. pojačala.
- Pri primjenjivanju temperature karakteristike FET-a su stabilnije jer ne zahtijevaju dodatne linearne ili nelinearne pasivne komponente za stabilizaciju statičke radne točke za razliku od bipolarnih.

Pitanje: Načrtati spoj pojačala koji ima veliki A_U , malo A_E i veliko naponsko pojačanje.

U_{CE}

kaskada ZU-ZE-ZC



Spoj - $ZU \rightarrow$ veliki ulazni otpor - (negativno naponsko pojačanje)

- $ZE \rightarrow$ veliko naponsko pojačanje - A_V (negativno) ($A_T > \rightarrow$ negativno)

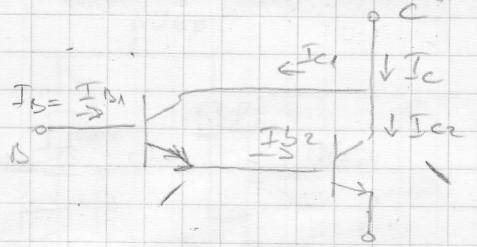
- $ZC \rightarrow$ mali izlazni otpor - (pozitivno pojačanje)

$$A_v = -A_{v1} \cdot (-A_{v2}) \cdot A_{v3} = A_{v23} \text{ (pozitivno, ne zatreće fazu)}$$

Pitanje

Darlingtonov spoj

- znatno veća strujna pojačanja - spoj 2 bipolarnih tranzistora



$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = \beta_1 I_B$$

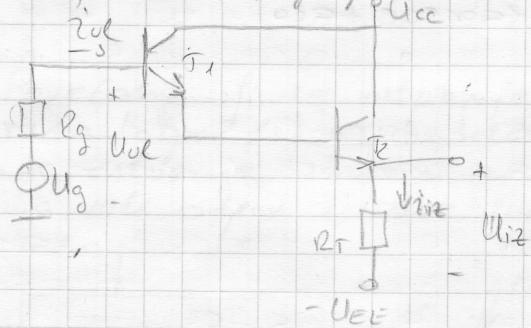
$$I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_2 (I_{B1} + I_{C1}) = \beta_2 (1 + \beta_1) I_B$$

$$I_C = I_{C1} + I_{C2} = \beta_1 I_{B1} + \beta_2 (1 + \beta_1) I_B \approx \beta_1 \beta_2 I_B$$

- veliki ulazni dinamički otpor

izvedba: čvrste s tri modu na jednoj plošći
dopreda: pojačala, stabilizatori

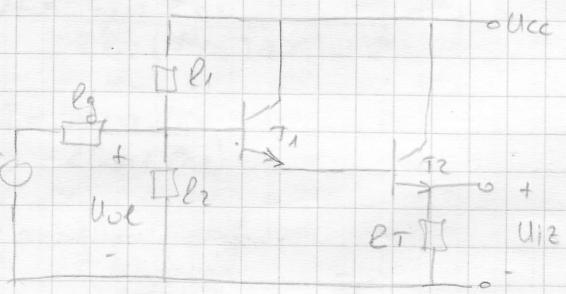
- Darlington u spoju EC:



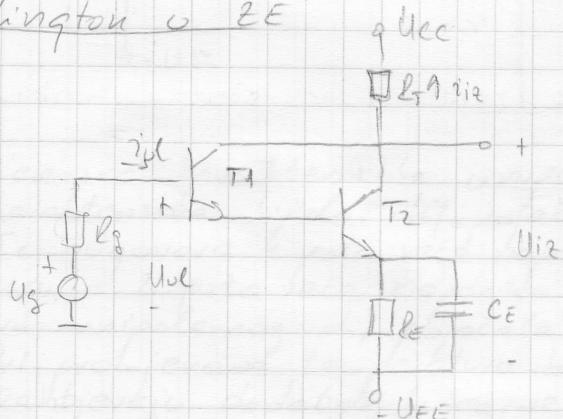
- istosmjerno kaskadno pojačalo \rightarrow spoj EC-EC
- vrlo velike A_f , $A_v \gg 1$, vrlo velik R_{iz}

podjeljivanje radne točke:

=> lošiji slučaj jer otpomođenje djelelo su i R_z smanjuju R_{iz} , smanjuje se A_f
jer se R_z razdvaja (neti dio)
 I_{C2} je R_1 i R_2



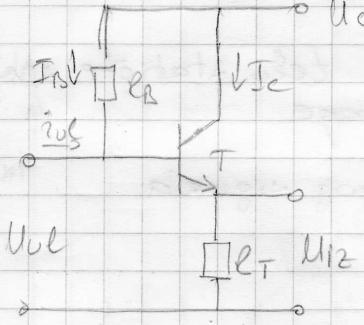
- Darlington u ZE



spoј ZC \rightarrow ZE
(T1) (T2)

u usporedbi sa ZE: veći A_f , veći R_{iz}
 A_v dvostruko, $R_{iz} > R_z$
 A_f i $A_v \rightarrow$ negativni.

Pitanje Pojačalo klase A, općenito, graf raspodjelje snage

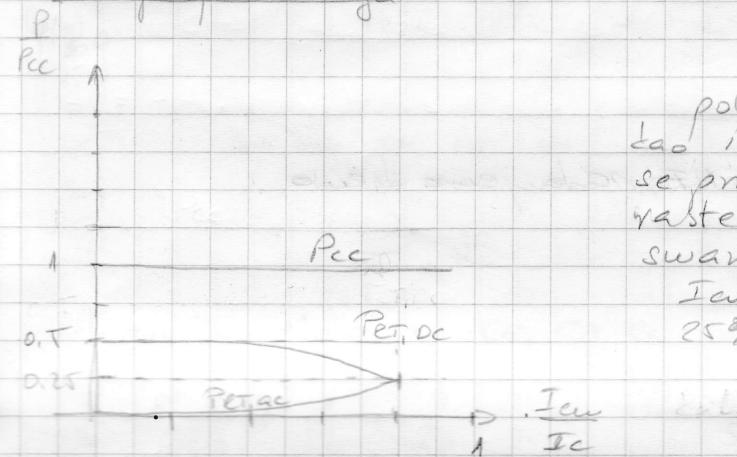


Spoj $T_1 T_2 \rightarrow$ prijenos snage sa izlaza pojačala na trošilo je najveća kada su otponi pojačala i trošila jednaki.

trenutna potrošnja snage na tranzistor
 $P_T(t) = U_{CE} \cdot i_b + U_{CE} \cdot i_c \approx U_{CE} \cdot i_c$

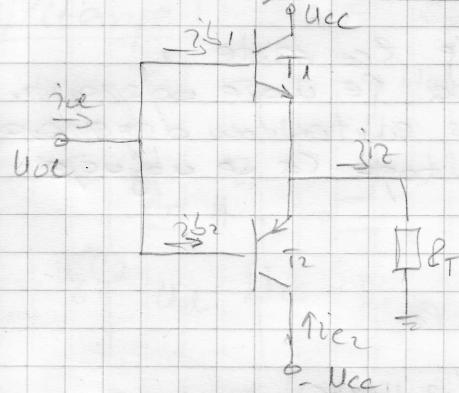
djelotvornost: $\eta = 25\%$
 upotrebai: klarno pojačalo snage u prijenosu s manjku snagama izlaznog signala.

Raspodjella snaga



pola snage izvora napajanja P_{CC} troši se kao istosmjerna snaga trošila $P_{T,DC}$. Kada se on izgubi signale, postupno povećanjem raste izlazna snaga $P_{T,AC}$, a time smanjuje snagu na tranzistoru P_T . Na $I_{CQ} = I_C$ $P_{T,AC} = P_T$ i djelostnost iznosi 25% od ukupne snage izvora napajanja P_{CC} .

Klasa B



Spoj $T_1 T_2 \rightarrow$ oba RC

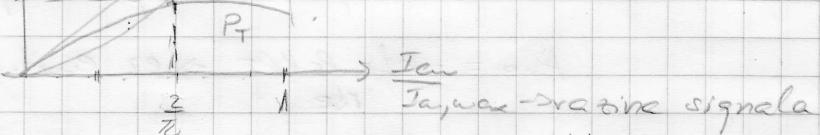
orijentacije i polupriodi vode T_1 i T_2
 $2a + (i_{CE} = 2i_{B1}, i_{B2} = 0)$
 $2a - (i_{CE} = 2i_{B2}, i_{B1} = 0)$

- protutaktno pojačalo zbog neizvješćenog rada tranzistora.

- snaga izvora raste s povećanjem razine signala.

$$\eta = 78.5\%$$

P_{CC} - snage izvora
 P_{ER} - snage trošila
 P_T - snaga tranzistora

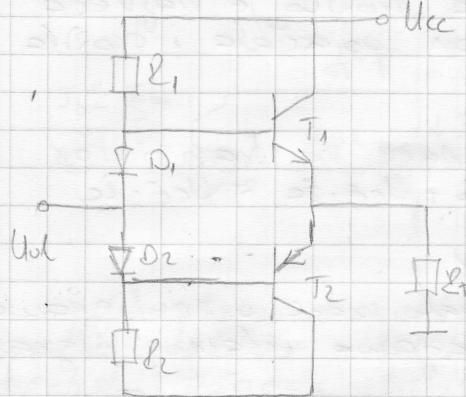


prijenosna karakteristika: $U_{IZ,MAX}$



Klasa AB

↳ rješava problem prethodnih izobličenja



• Ucc

- bez priključenog signala tele staticke struje i učinkuju podvojenu snagu

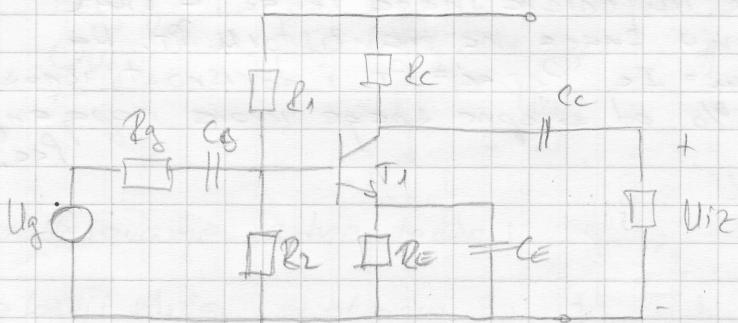
- smanjuje hoda izlaznog signala

$$n(A) < n(AB) < n(B)$$

- za razliku od klase A, tranzistori vode učine duže od polovice perioda učina signala.

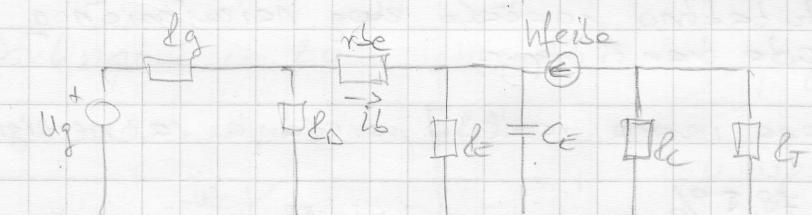
Pitanje

SJE i utjecaj CE na NF, nastavljeno sljewa.



utjecaj CE: $Z_{CE} = \frac{1}{j\omega C_E}$

- smanjenje frekvencije će raste i postane tako velike da CE može odspojiti. Time bi joj SJE radio s emitenskom degeneracijom i smanjuje Av. Stoga CE se ubjeduje u NF analizu.



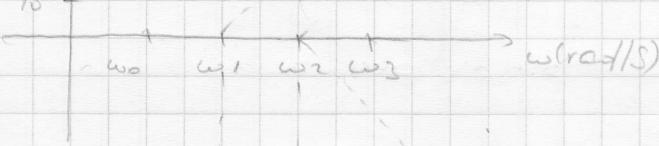
$$Z_1 = C_E R_E$$

$$R_2 = C_E \left(\frac{1}{Z_{CE}} \parallel \left(r_{BE} + \frac{1}{j\omega C_E} \right) \right)$$

$$Av(j\omega) = \frac{A_m}{1 + \frac{j\omega}{\omega_1} + \frac{j\omega}{\omega_2}}$$

$$A_m = -h_{FE} \cdot R_C / R_L \rightarrow \text{za emitensku degeneraciju}$$

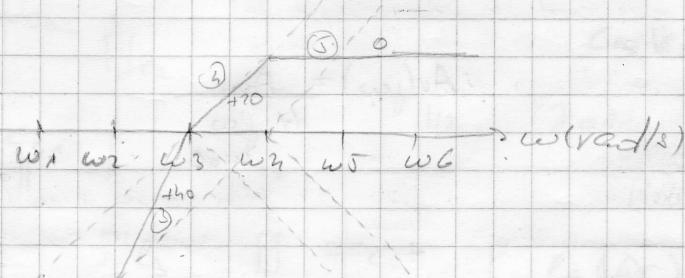
$$Av_o = -h_{FE} \cdot R_C / R_L \rightarrow \text{bez emit. degen.}$$



Uticaj C_0 i C_E

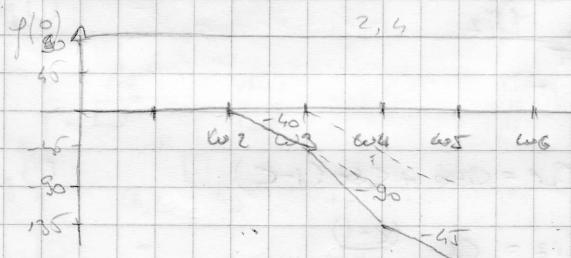
$$Av(j\omega) = Av_n \cdot \frac{\frac{j\omega}{w_3}}{1 + \frac{j\omega}{w_3}} \cdot \frac{\frac{j\omega}{w_4}}{1 + \frac{j\omega}{w_4}}$$

$A(dB)$
 $|Av|$



$$\bar{C}_E = C_E (R_E + R_T)$$

$$\bar{C}_0 = (\sqrt{b} \parallel R_S) C_0$$

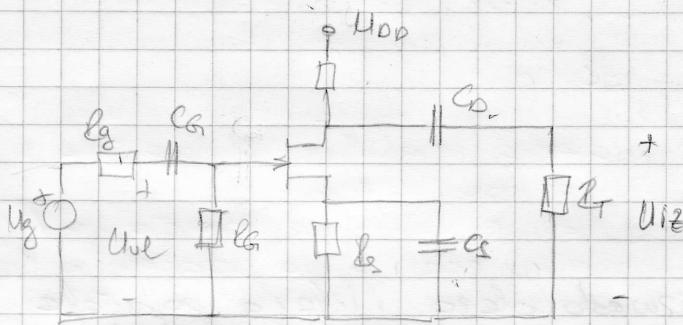


Ukupno djelovanje C_0, C_E, C_E $\omega_3 \omega_4 \omega_5 \omega_6$

$$\omega_0 = \frac{1}{\bar{C}_0} + \frac{1}{\bar{C}_E} + \frac{1}{\bar{C}_0}$$

$$\omega_0 = \omega_{\max}(w_0, w_C, w_E) \quad \text{najveće je } w_0$$

Pitanje] NF SZU, koje komponente utječu na ω_0



Uz R_S, R_P, R_A i V_{DD} podešava se
stabilnost početka

Uticaj C_0, C_E, C_E

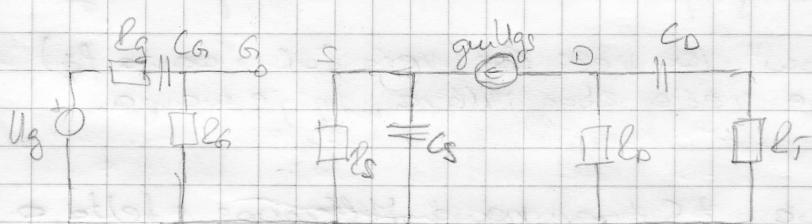
$$\bar{C}_0 = C_E R_S$$

$$\bar{C}_E = C_E \left(R_S \parallel \frac{1}{j\omega} \right)$$

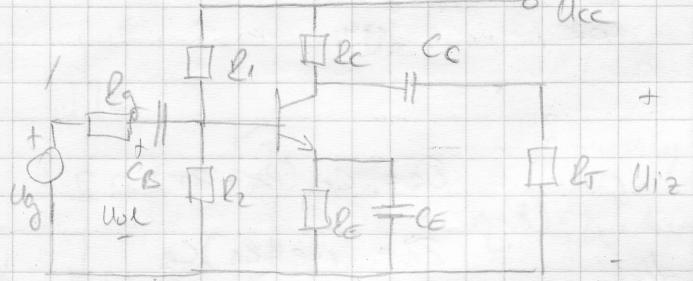
$$\bar{C}_0 = C_E (R_S + R_T) \quad \bar{C}_E = C_E R_S$$

$$Av(j\omega) = Av_n \cdot \frac{1 + \frac{j\omega}{w_1}}{1 + \frac{j\omega}{w_2}} \cdot \frac{\frac{j\omega}{w_3}}{1 + \frac{j\omega}{w_3}} \cdot \frac{\frac{j\omega}{w_4}}{1 + \frac{j\omega}{w_4}}$$

$$\omega_0 = \omega_{\max}(w_0, w_S, w_E)$$

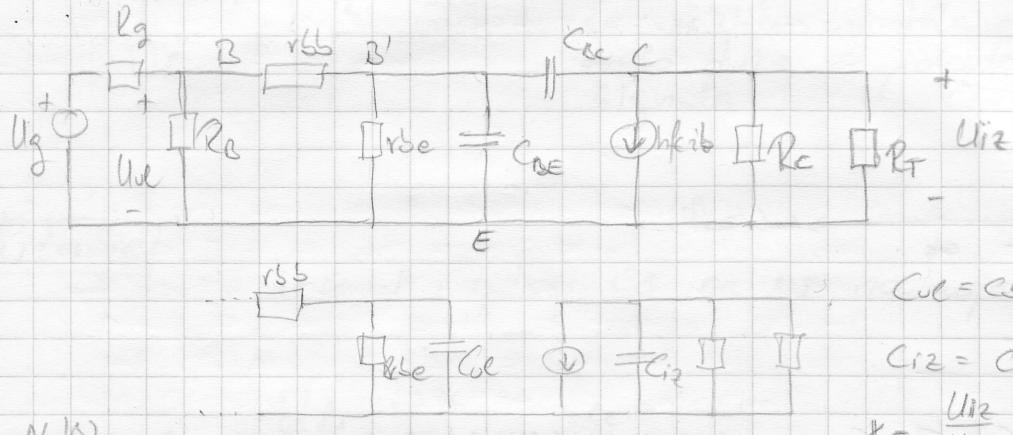


Pitanje VF - S2E, shewa, wg, na koji način wozewo vkloniti loša
VF svojstva ZE, koji stop i rastje je on bolji od S2E



ne učiš jo ni C_e, C_B, C_C samo
kapaciteti tranzistora C_{BE}, C_{CE}

$$A_v(j\omega) = \frac{A_v}{1 + j\omega/\omega_0}$$



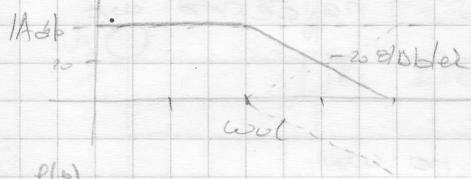
$$C_{dG} = C_{dS} + C_{be}(1-t)$$

$$C_{dZ} = C_{dG} \frac{(t-1)}{t}$$

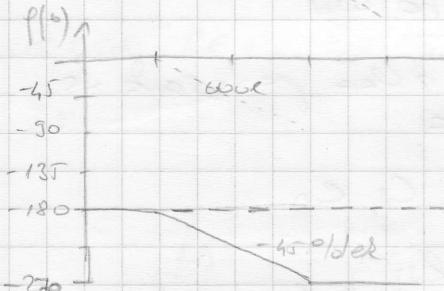
$$t = \frac{U_{dZ}}{U_{be}} = -g_m (R_s || R_d)$$

$$\omega_g = \omega_{be}$$

$$2\omega_c = [(R_s + r_{bb}) || R_{be}] \omega_{be}$$



$\rightarrow \omega_{crossover}$



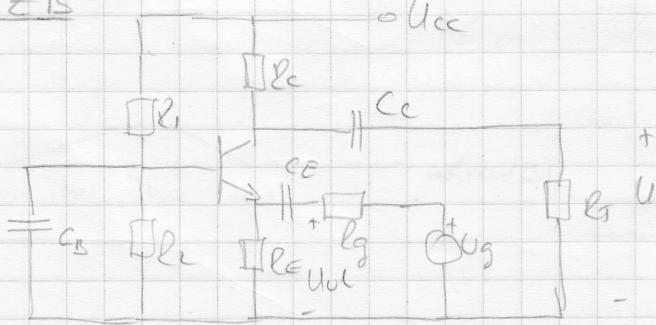
$\rightarrow \omega_{crossover}$

- Hillerov efekt - kapacitet spojen između izlaza i izlaza pojačala presečava u ulazni krug povećen i razasao naponačnog pojačanja

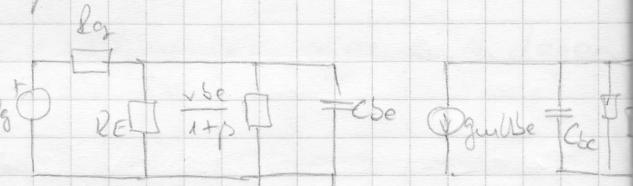
- Pojačalo s Hillerovim efektom ima veći A_{vL} (veći ω_{cL} i manja f_g) što je naposled pojačanje veće, zbog Hillera, f_g je manja.

- Bolja VF svojstva od ZE, iwe ZC jer nema Hillerova efekta, a brže i swajanje gornje granice frekvencije.

VF ZB



ω_{cL}



$$A_{vL} = g_m (R_s || R_d)$$

$$A_{v(j\omega)} = \frac{A_{vL}}{1 + \frac{f_{cL}}{\omega_{cL}}}$$

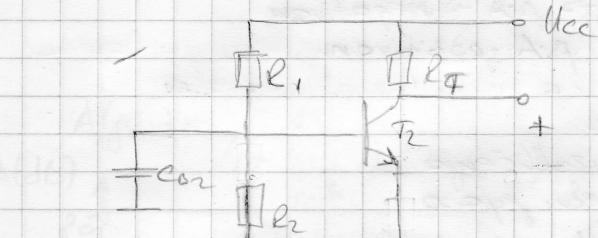
$$f_{cL} = (R_s || R_d || R_g) C_{dS}$$

$$\omega_g = \omega_{cL} (\omega_{cL}, \omega_{cZ})$$

Pitanje

Kaskoda

Spoj $2E \rightarrow 2B$



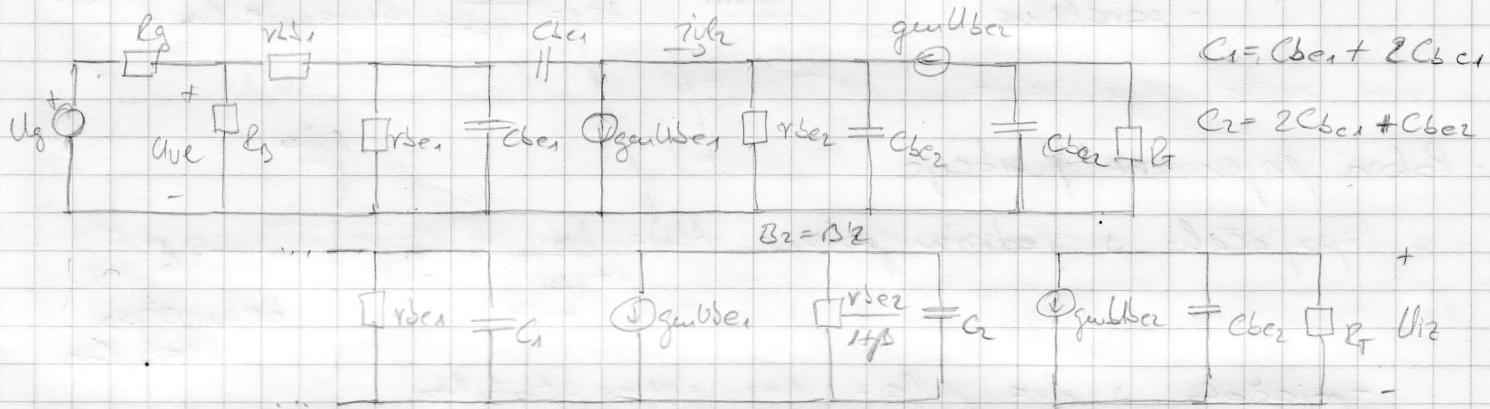
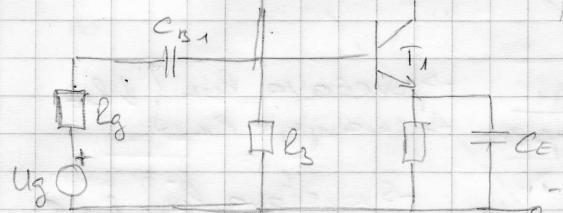
$2E \rightarrow A_I, A_V \gg, R_{UL} \gg$, Miller (βg)
 $2B \rightarrow A_I \ll, R_{UL} \ll$

C_{be1}, C_{be2}, C_E djeluju na NF

U_{in}

Kaskoda: $\beta g \rightarrow$ zbroj uvalog iznosa napona
zbroj pojačanja prvega stupnja pojačala
Millera je znatno slabiji nego kod $2E$.

$\beta g (A_I) \beta$



$$T_1 = (r_{be1} \parallel r_{bb1}) C_1 \quad T_2 = \left(\frac{r_{be2}}{1 + \beta_2} \right) C_2 \quad T_3 = C_{be2} \cdot R_T$$

Pitanje

Povratne veze

- pozitivna (povećava nizlazni signal) $\rightarrow \beta \cdot A \rightarrow$ negativna
- negativna (svanjuje $-11 - 1$) $\rightarrow \beta \cdot A$ - pozitiven

Negativna \rightarrow pojedaljiva :- stabilizira rješenje

- svanjuje nelihane izobličenja
- povećava dininu frekv. pojača
- djeluje na fazu i fazu

A_v

viste: Naponsko - serijisti
- paralelna

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$R_M = \frac{R_f}{1 + \beta R_f}$$

\rightarrow povećava R_M } bliz
 \rightarrow svanjuje R_M

strujno - serijisti
- paralelna

$$G_{Mf} = \frac{G_M}{1 + \beta G_M}$$

$$A_{if} = \frac{A_I}{1 + \beta A_I}$$

\rightarrow povećava A_I } bliz
 \rightarrow svanjuje A_I

- Polari prijenosne funkcije

- pojačalo \rightarrow jedan pol: $A(s) = \frac{A_0}{1 + j\omega_p}$

pjw

$$-\omega_p$$

bezvjetno
stabilno

- pojačalo s dva pola: bezvjetno stabilno

- pojačalo s tri ili više polova: ujetno stabilno

Pitanje

A.O. i F.O. - Nyquist i Bode

A.O. \rightarrow razina stabilnosti pojačala s povratnom vezom.

\rightarrow pokazuje koliko se pojačanje IT(jω) može povećati da pojačalo ostaje stabilno.

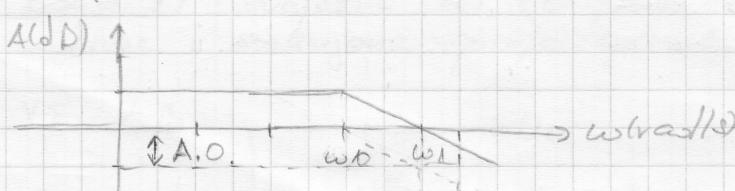
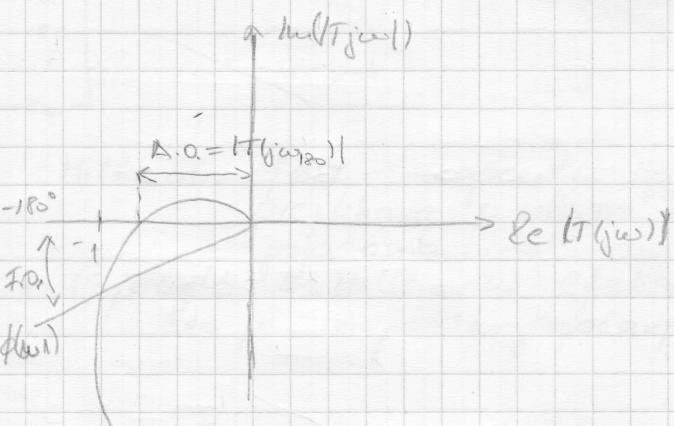
\rightarrow dok je wanje od 1, pojačalo je stabilno

F.O. \rightarrow određuje razinu stabilnosti pojačala u ovisnosti o kutu $\phi(\omega_1)$

$\rightarrow \phi(\omega_1)$ mora biti wanje negativan od 2

\rightarrow nebiti skoro biti wanji od 45°

$\rightarrow \phi(\omega_1) + 180^\circ$



pojačalo je stabilno jer je F.O. = 45°

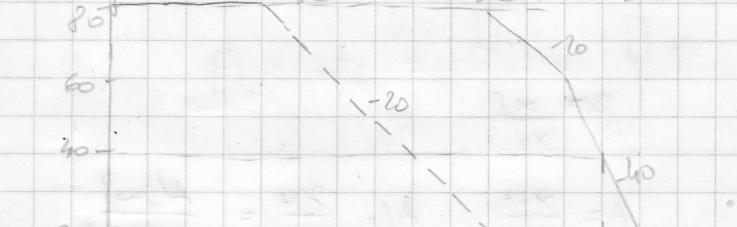
$$F.O. = \phi + 180^\circ = -135^\circ + 180^\circ = 45^\circ$$

Osiguranje stabilnosti se može
još osigurati pomoću podešavanja
nja koeficijenta povratne veze β

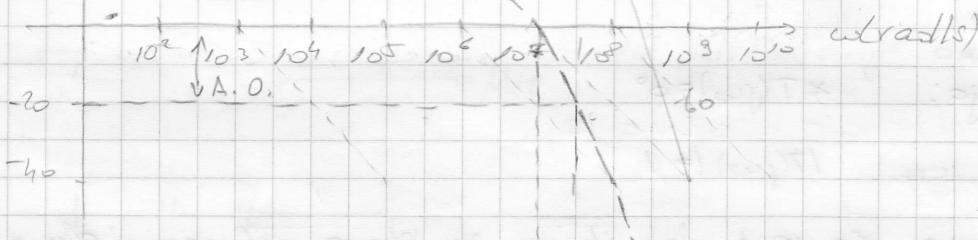
Pitanje! Frekvenčna kompenzacija

→ mijenjanje prijenosne funkcije s dominantnim polom

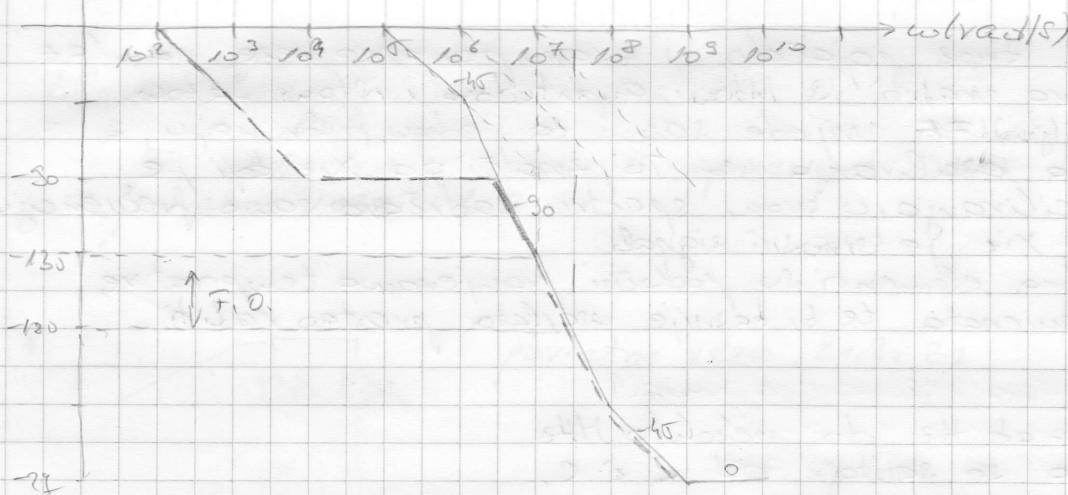
$$A(j\omega) = \frac{80}{(1 + j\omega/10^6)(1 + j\omega/10^7)(1 + j\omega/10^8)}$$



--- kompenzirana karakteristika
— originalna karakteristika



$\phi(\omega)$



→ u originalnoj karakteristici je $\phi = -180^\circ$ $|T(j\omega)| > 1$ što čini pojačalo nestabilno.

→ potrebno je realizirati dominantni pol da novi pol u prijenosnoj funkciji bude sljepovrstav rješenjem frekv. najnižeg pola u originalnoj karakteristici prave vrijednosti frekv.

→ sa pozakom pola 10^6 na 10^3 dobivena je kompenzirana karakteristika koja je $|T(j\omega)| = 1$ odnosno -20 dB čime je pojačalo stabilno.

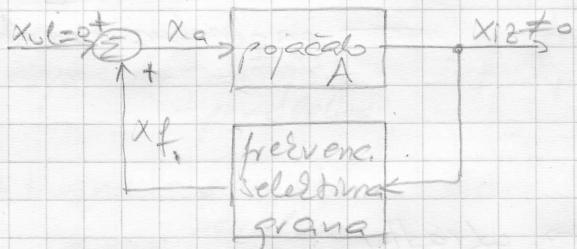
$$\rightarrow \text{T.O.} = 45^\circ \quad \phi(\omega) = -135^\circ$$

→ frekvenčna kompenzacija se primjenjuje za osiguranje stabilnosti pojačanja, iznos pojačanja i sl.

[Pitanje] Sinusni oscilatori, na tavanju čega se radi oscilator nabrojati kriterije osciliranja...

→ sinusni → generiraju sinusne napone (u harmoničkim sustavima za modulaciju signala)

→ Barkhausenov kriterij osciliranja



$$\beta = \frac{Xf}{Xi}$$

$$A = \frac{XiZ}{Xf}$$

$$Af = \frac{XiZ}{Xi} = \frac{A(j\omega)}{1 - T(j\omega)}$$

dva uvjeta osciliranja: $\beta T(j\omega) = 1$

$$|T(j\omega)| = 1$$

za $|T(j\omega)| > 1$ oscilacije će rast dok ih ne zaustave nelinearni elementi (čvode)

za $|T(j\omega)| < 1$ oscilacije će se priuštiti

→ prolazak signala kroz pojedino i granu povratne veze na ulaz pojedinačno se mora vratići u istou amplitudu i istom fazom.

$\beta T(j\omega) = 1$ mijede samo za jednu frekvenciju, a to je frekvencija osciliranja ω_0 . To znači da Xiz koji je posljedica osciliranja, u svom spektru sadržava samo frekvenciju ω_0 , odnosno Xiz je sinusni signal.

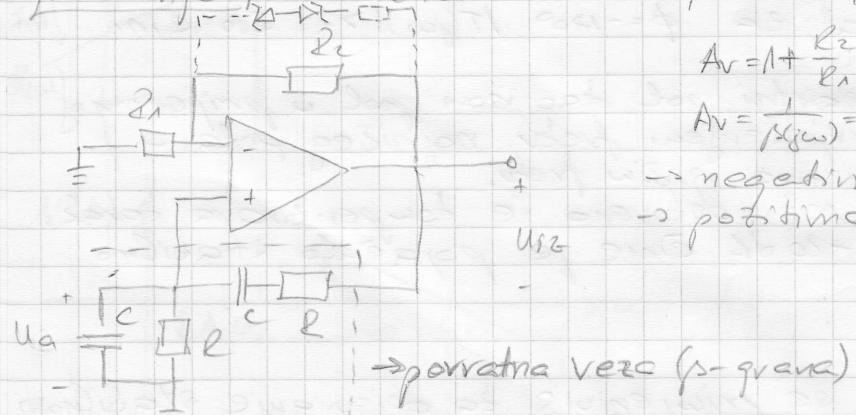
→ $|T(j\omega)| = 1$ nije dobro, elementi su podložni promjenama temperature, starenje elemenata te bi bilo više oscilator prestao raditi.

DC oscilatori

→ rade od 10-ak Hz do nekoliko MHz

→ povratna veza se sastoji od R i C .

[Pitanje] Wienov oscilator, shewa, kako radi



$$Av = 1 + \frac{R2}{R1} = 3$$

$$\frac{R2}{R1} = 2$$

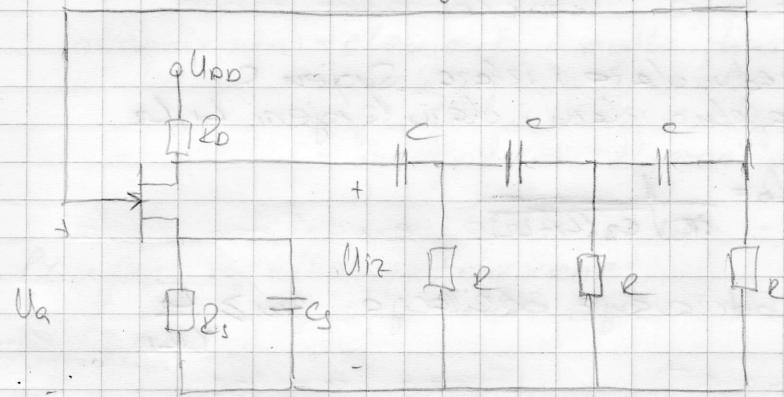
$$Av = \frac{1}{1(j\omega)} = 3$$

→ negativna povratna veza $R2:j\omega$ (pojedanje)

→ pozitivna $R3C2 : R1C1$ (uzročje oscilacija)
podesavanje frekvencije

stabilizacija amplitude stabilizira se nelinearnim mrežom ($D1, D2, R$)

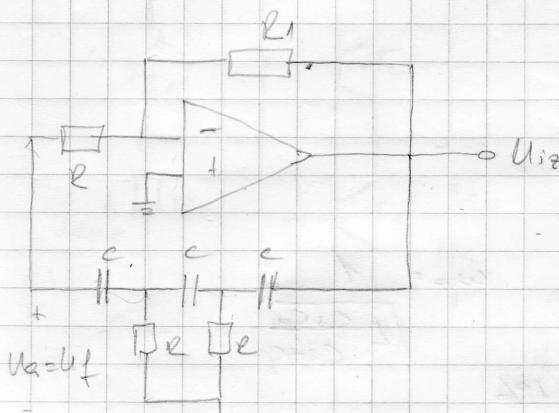
Oscilator s fazniem povratom



→ poravnna vrednost $3 \times RC$
→ svaki RC zadržava fazu za 90°

→ oscilacija se uspostavlja u
nac frekv. na kojoj će amplituda
osnovne faze povrat od 180°

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad |Av| \geq 29 = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot \omega_0}$$

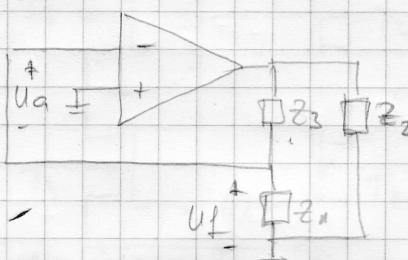


$$Av = -\frac{R_1}{R} \geq 29$$

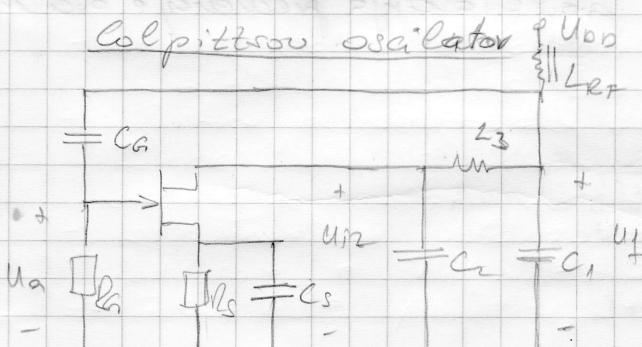
- za održavanje oscilacija $|Av| > 29$

LC oscilatori

- za generiranje sinusnih napona, od 100 Hz do 100-krinjači MHz
- poravnna vrednost $L \approx C$.



poravnna vrednost Z_1, Z_2, Z_3

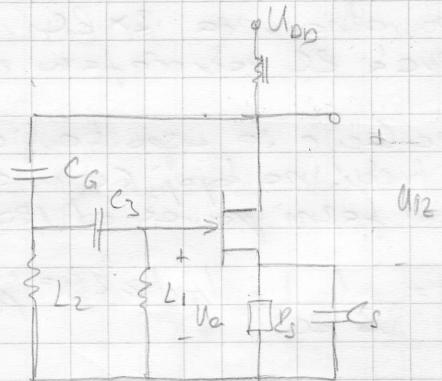


poravnna vrednost C_1, C_2, L

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \sqrt{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

→ za održavanje oscilacija: $q_m = \frac{C_1}{R_1 C_2}$

Hartley oscillator



→ izvedu učesu i rezonans frekvenciju
→ paralelni rezonans i učes u frekvenciji L_1, L_2

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_3(L_1+L_2)}}$$

→ za određivanje oscilacija i gubici $\frac{L_2}{2(L_1+L_2)}$

Oscilatori s kristalom

→ za stabilnost frekvencije osciliranja



$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC_S}}$$

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{\frac{C_S + C_P}{LC_S + C_P}}}$$

$$\omega_p > \omega_s \approx 1\%$$

Piercov osцилатор

→ zavijenou L_3 sa kristalom u Colpittsovom oscilatoru dobiva se Piercov osc.

→ frekvencija osciliranja: $f_0 = \frac{\omega_s}{2\pi}$

→ Kristal → -stabilna rezonantna frekv.

- visoki faktor dobrote

- stabilna frekvencija

- $f \sim 1\text{Hz} - \sim \text{MHz}$

- nedostatak 'nemožnosti' podešavanja frekvencije osc.

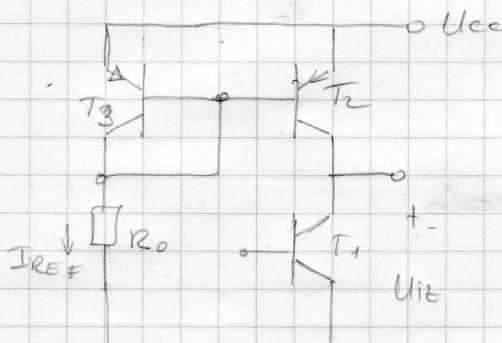
Integrirana i diskretna izvedba

Integrirana - elementi u svih dijelovima

- manje paratni kapaciteti u poljivim linijama
- manje potrošnja snage zbog svih dijelova
- integrirani stupovi pouzdaniji i jeftiniji

Prijevod izvedbe integrirane:

→ SEE



T2 → aktivno tranz.

→ uz T3 i R0 omogućiti izvor za podešavanje staticke rad. točke T1

nadvjezne shemai



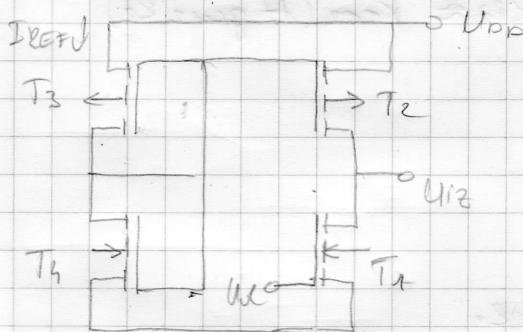
$$Av = -g_{m1} \frac{R_{cc}}{r_{bb} + r_{bc}}$$

$$R_{bb} = r_{bb} = \frac{U_T}{I_{bb}}$$

$$I_{bb} = -I_{cc}$$

Mali put se povećava suvremeniju statičku struju tranz.

SEE → integrirane izvedbe

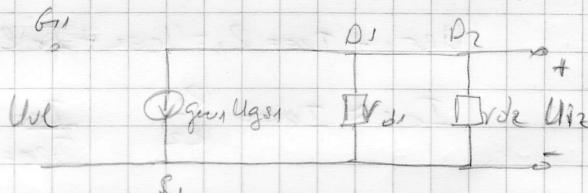


tranz. T2.

→ staticka uz T3, T2 za tranz. T1

→ IREF određuje T3 i T1

$$-I_{D3} = -I_{D2} = I_{D1} = I_{D0} = I_{REF}$$



$$Av = -g_{m1} \frac{R_{cc}}{r_{bb} + r_{bc}}$$

$$R_{bb} = r_{bb} = \frac{U_T}{I_{bb}}$$

$$R_{cc} = \frac{1}{g_{m1}}$$

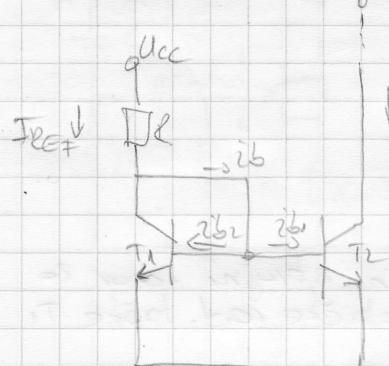
$$g_{m1} = \sqrt{2 \times I_0}$$

$$Av = -\frac{R_{cc}}{r_{bb} + r_{bc}} \cdot \frac{1}{I_{REF}}$$

$$I_{REF} = \frac{2k}{Av^2(\lambda_1 + \lambda_2)^2}$$

Strujni izvor \rightarrow izvor stalne struje
 \rightarrow služi za podešavanje statičke radne točke

Widlarov strujni izvor



$T_1 \rightarrow$ spojeni C_B , $p =$ radišao dioda

$$I_B = I_{B1} = I_{B2} \quad I_{REF} = I_{C1} + 2I_B$$

$$I_{C1} = \beta I_B$$

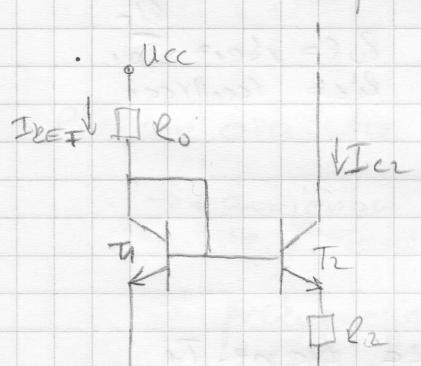
$$I_{REF} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_0}$$

$$I_{C1} = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{2}{\beta}}$$

\rightarrow preiskivanje I_{REF} u I_{C2} \rightarrow strujno zrcalo

$$R_{iz} = r_{ce2} \approx \frac{U_A}{I_{C2}}$$

Widlarov logaritamski strujni izvor



\hookrightarrow za wanje struje

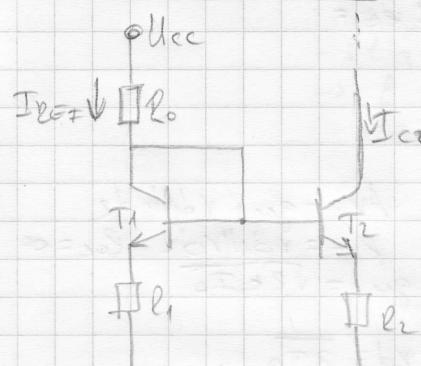
\hookrightarrow zbog logaritamskog odnosa struja
 $U_{BE1} = U_{BE2} + I_{C2} R_1$

$$I_{REF} = I_s \exp\left(\frac{U_{BE1}}{U_T}\right)$$

$$I_{C2} = \frac{U_T}{R_1} \ln\left(\frac{I_{REF}}{I_{C2}}\right)$$

$$R_{iz} \approx r_{ce2} (1 + g_m R_2)$$

Widlarov s emiterom otpornicama



$$U_{BE1} + I_{REF} R_1 = U_{BE2} + I_{C2} R_2$$

$$I_{C2} \approx I_{REF} \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{I_{C2}}{I_{REF}} \approx \frac{R_1}{R_2}$$

R_1 i R_2 povećavaju R_{iz}