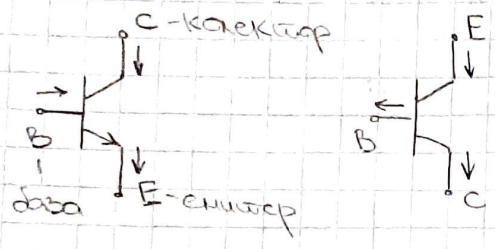


двухэлектронный транзистор (BJT)

МОС-структурный транзистор

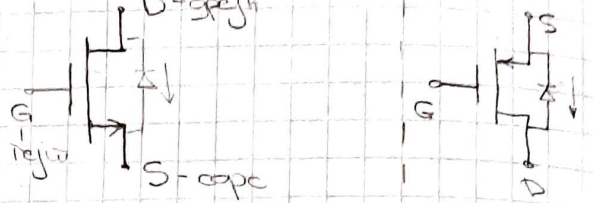
УНУЭЛЕКТРОННЫЙ



$i_b + i_c = i_e$

МОПЕ се окретишту, али те пагушту са лавијум карактеристикама

NMOS (N-канални) PMOS (P-канални)

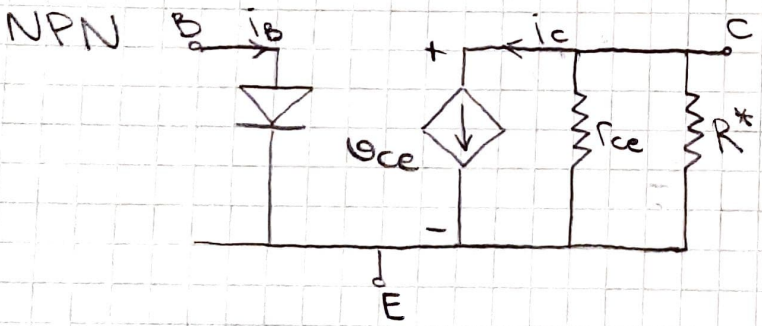


$i_g = 0, i_s = i_d$

He MOПE ce okpeTyшy, jep ja ga (caCTpибHy-гeO cpaBиByиo HeTHe yпoбaгышy

ako je бeнyкa V пага јoш јyкe кaк NMOS y PMOS

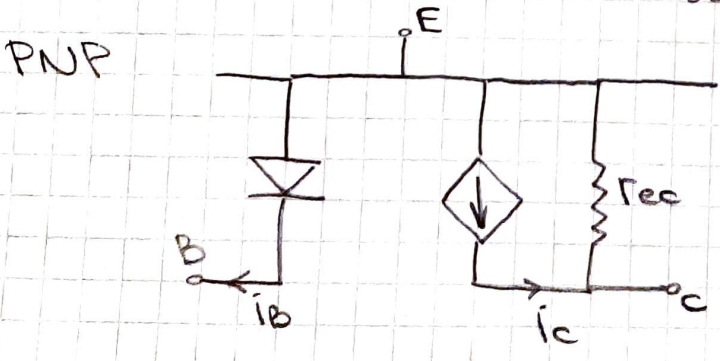
NPN — гoвeщyшyjам cлyпyja cy бyшy тaпe HCTO гeнe



$r_{ce} \rightarrow \infty$   
 $i_c = \beta i_B$   
 $i_c = \beta i_B + \frac{V_{ce}}{r_{ce}}$   
 kага HeMамo R\*

$i_e = (1 + \beta) i_B$   
 $\beta \gg 1 \Rightarrow i_e \approx i_c$   
 (100)

He бaшy aкo je пaзнyкa гoвeщyшy jанa Hyna (He пaгy кaк cлyпyшy yзбoп)



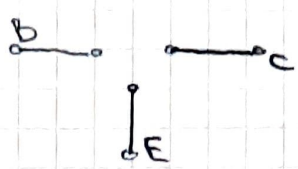
$r_{ec} \rightarrow \infty$   
 $i_c = \beta i_B$

# Решение задачи NPN транзистора

## I заключение

$$U_{BE} = U_D < V_{\gamma}$$

$$I_B = 0 \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow I_E = 0 \quad (\text{све 3 отворене везе})$$



## II директан активан режим (ДАР)

$$U_{BE} > V_{\gamma}$$

$U_{BE} \approx 0,7V = V_{BE} \rightarrow$  *когда између базе и емитера const. као код диоде*

$$U_{CE} > V_{CES} \approx 0,2V$$

*Највиша заштитна напон транзистора*

$$I_C = \beta I_B \rightarrow \text{раду као појачавач}$$

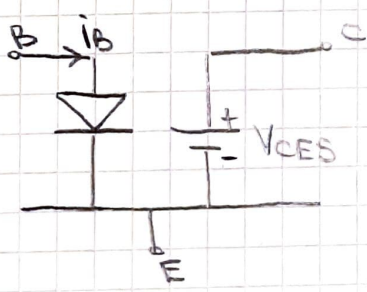
$$\beta \approx 100 \rightarrow \text{појачање транзистора}$$

## III заштита

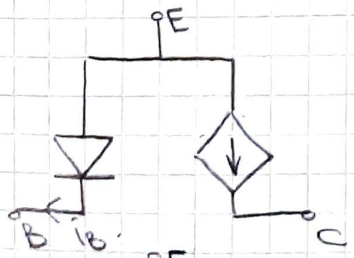
$$U_{CE} < V_{CES}$$

$$U_{BE} > V_{\gamma}$$

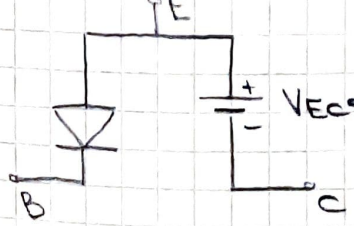
$$\Rightarrow I_C < \beta I_B$$



## 3a PNP - како се заштити инверсно

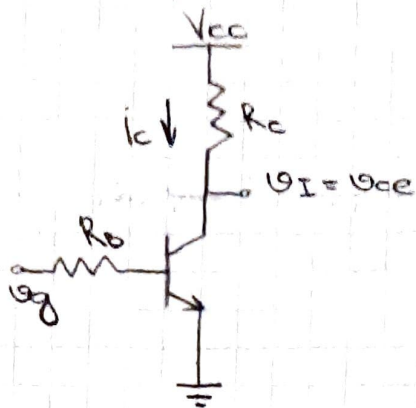


$U_{EB} > V_{\gamma}$  га допаго (ДАР)



заштита

$$0 < U_g < V_{max} + 1V$$



$$U_{CE} = f(U_g)$$

1.  $U_g < V_{BE}$

$$i_B = 0 \Rightarrow i_C = 0$$

$$U_{CE} = V_{CC}$$

2.  $U_g > V_{BE}$

$$i_B = \frac{U_g - V_{BE}}{R_B}$$

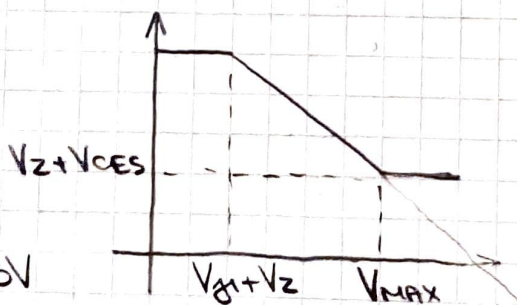
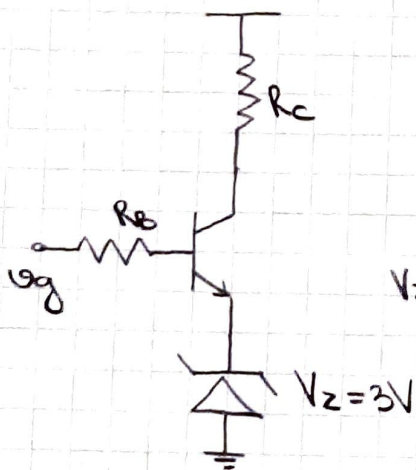
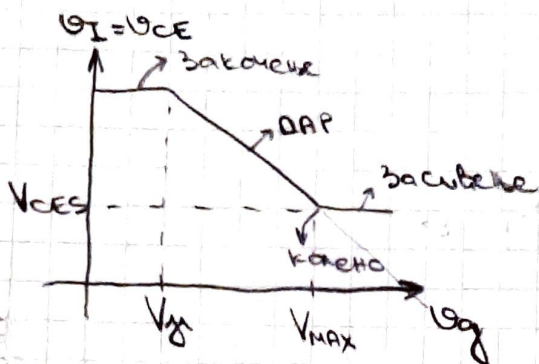
$$i_C = \beta i_B$$

$$U_{CE} = V_{CC} - R_C i_C = V_{CC} - R_C \beta \frac{U_g - V_{BE}}{R_B}$$

3. Третья загрузка

$$U_{CE}(V_{max}) = V_{CES} = V_{CC} - R_C \beta \frac{V_{max} - V_{BE}}{R_B}$$

установка на  $V_{max}$



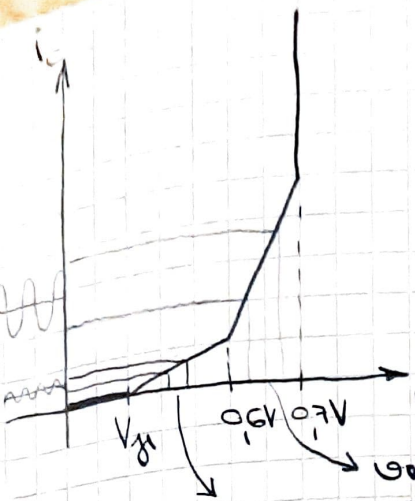
$$U_{CE}(V_{max}) = V_Z + V_{CES} \approx V_Z$$

$$i_B = I_{SB} \cdot e^{\frac{U_{BE}}{V_T}} \quad \text{ДАР}$$

$$i_C = \beta I_{SB} e^{\frac{U_{BE}}{V_T}}$$

$I_S$  - температурная постоянная диода

$$i_C = I_S e^{\frac{U_{BE}}{V_T}} \rightarrow \text{настройка температурной зависимости}$$



Матод → амплитудна копија

$$U_{BE} = 0,65V + 5mV \sin \omega t$$

$$U_{BE} = 0,55V + 5mV \sin \omega t$$

AC + DC      DC      AC

$$U_E(t) = V_E + u_e(t)$$

БЕМКУ      МАМУ  
СИНА      СИНА

$$I_c = I_c + i_c = I_s e^{\frac{U_{BE}}{V_T}} = I_s e^{\frac{V_{BE} + u_{be}}{V_T}} =$$

$$= I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} \cdot e^{\frac{u_{be}}{V_T}} = I_c e^{\frac{u_{be}}{V_T}}$$

= I\_c

$$I_c + i_c = I_c e^{\frac{u_{be}}{V_T}}$$

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots = 1 + x, \quad x \ll 1$$

$$I_c + i_c \approx I_c \left( 1 + \frac{u_{be}}{V_T} \right)$$

$$i_c = I_c \frac{u_{be}}{V_T}$$

$$\frac{I_c}{V_T} = g_m \rightarrow \text{Управљачкогукључања управљачког}$$

за МАМУ СИНА

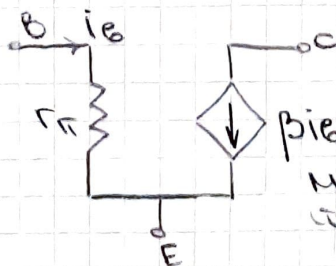
$$i_c = g_m u_{be}$$

$$i_c = \beta i_b$$

$$\frac{\beta}{g_m} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

$$\frac{\beta}{g_m} = r_{\pi}$$

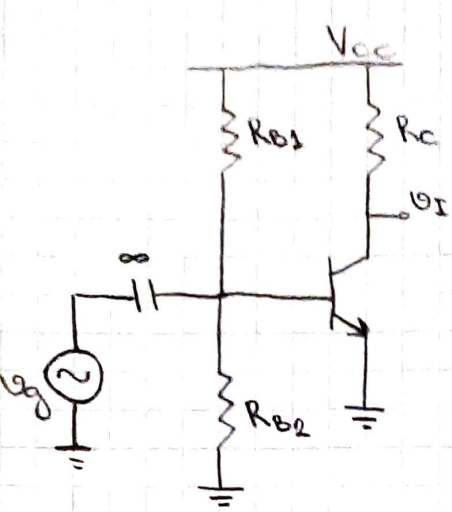
$$i_b = \frac{u_{be}}{r_{\pi}}$$



$$\beta i_b = g_m u_{be}$$

Моген управљачког  
копа за МАМУ СИНА

$g_m$  и  $r_{\pi}$  → управљачког за  
МАМУ СИНА

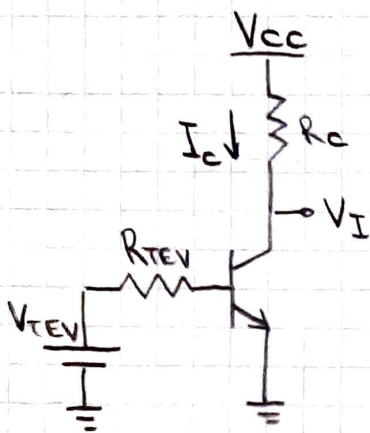


$$V_{TEV} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{cc}$$

$$R_{TEV} = R_{B1} \parallel R_{B2}$$

Угађаваћу са заједничком емисијом

## 1. DC анализа (за почетку анализа)



$$V_I = V_{cc} - R_c \beta \frac{V_T - V_{BE}}{R_T}$$

$$I_c = \beta I_B$$

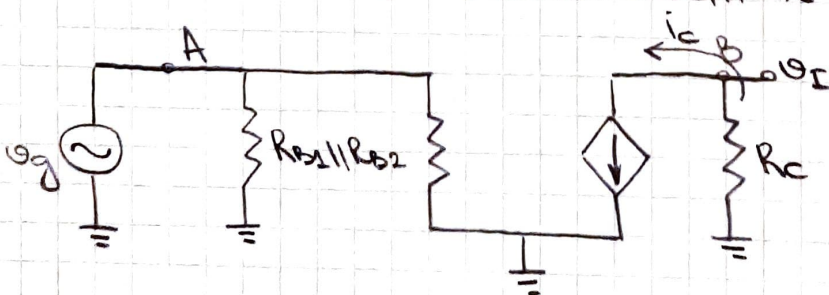
$(V_I, I_c)$  → мурна радна тачка

$(V_{CE}, I_c)$  утврђено за диоду кју транзистор

$$g_m = \frac{I_c}{V_T} \rightarrow \text{вероватноћа најах, не } V_{TEV}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

## 2. анализа за мали сигнал (AC)

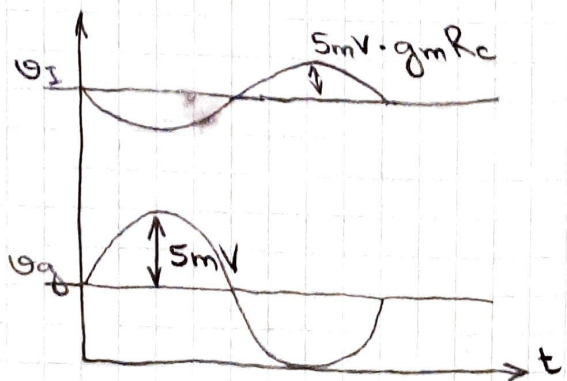


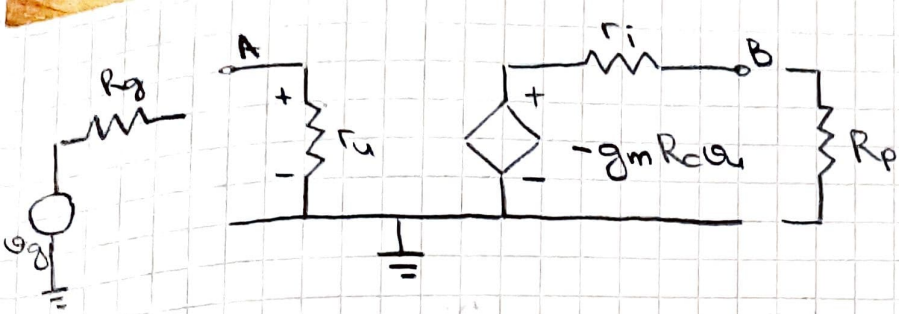
$$U_I = -R_c i_c$$

$$i_c = g_m U_{be} = g_m U_q$$

$$U_I = -g_m R_c U_q$$

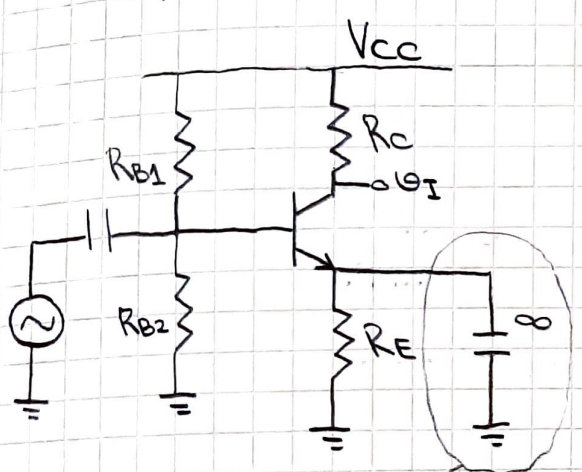
$$a_{MS} = -g_m R_c$$





$$r_i = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_{\pi}$$

$$r_i = R_c$$



сигнализация мурне  
рагхе уатке

$I_B$  затемарено

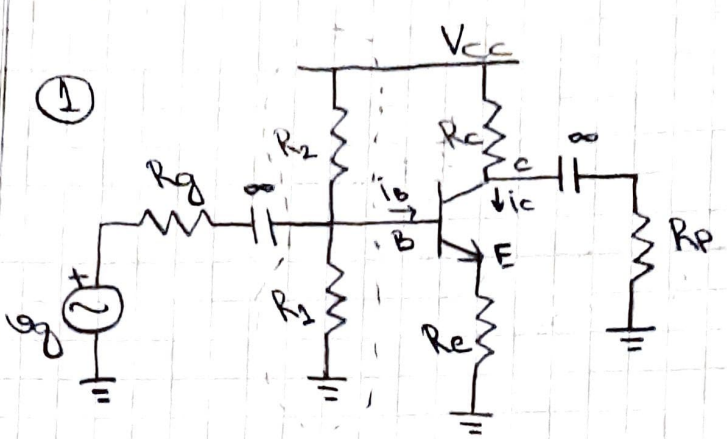
$$V_B \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} \approx 0.7V$$

ce 300  
манух ситхана

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \approx I_C$$

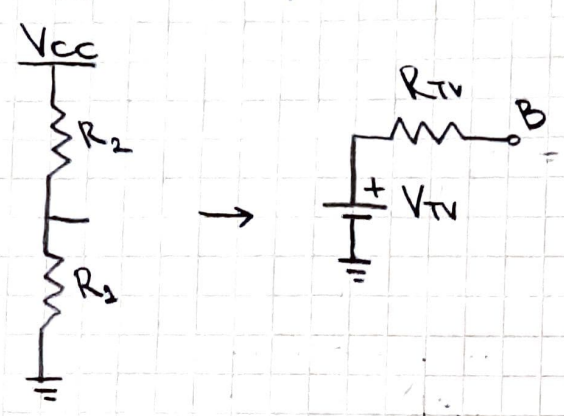
# Behide



$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

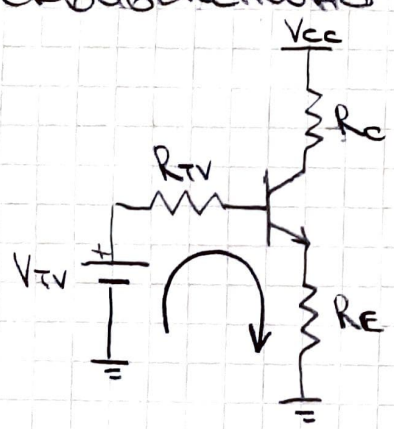
DC  $\rightarrow$  omlapetana paza



$$V_{TV} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$R_{TV} = R_1 \parallel R_2$$

ekvivalentno kolo



vojzgodovaj  $\rightarrow$  superkolo analiza

$$I_C = \beta I_B$$

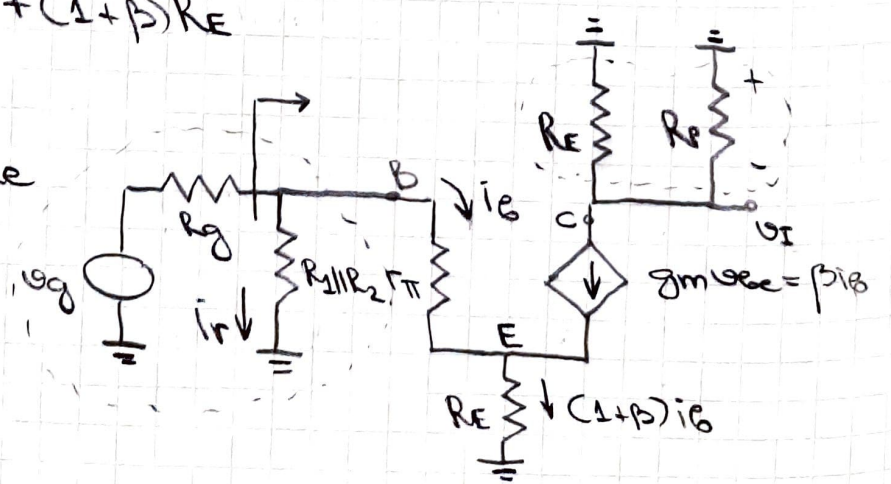
$$I_E = I_C + I_B = (1 + \beta) I_B$$

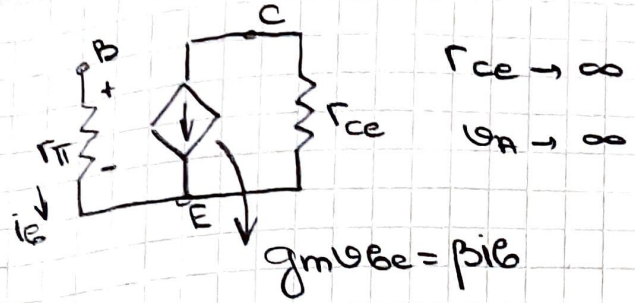
$$V_{TV} - I_B R_{TV} - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

$$V_{TV} - I_B R_{TV} - V_{BE} - (1 + \beta) I_B R_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{TV} - V_{BE}}{R_{TV} + (1 + \beta) R_E}$$

AC klena za mane avtore





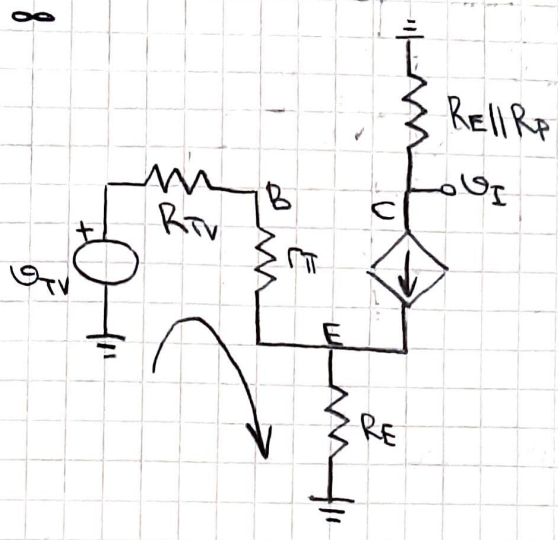
$$r_{ce} \rightarrow \infty$$

$$v_A \rightarrow \infty$$

$$g_m v_{be} = \beta i_b$$

$$v_{TV} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 \parallel R_2 + R_g} v_g$$

$$R_{TV} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_g$$

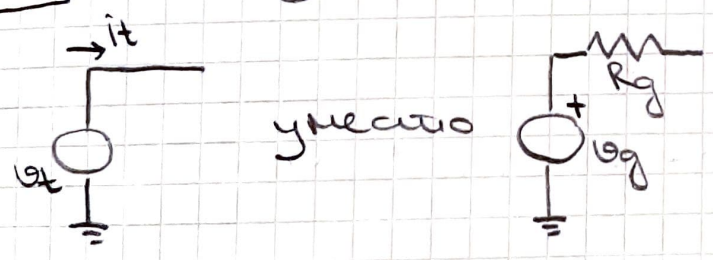


$$v_I = -\beta i_b R_E \parallel R_F \quad A = \frac{v_I}{v_{TV}}$$

$$v_{TV} - R_{TV} i_b - r_{\pi} i_b - R_E (1 + \beta) i_b = 0$$

$$i_b = \frac{v_{TV}}{R_{TV} + r_{\pi} + (1 + \beta) R_E} = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_{TV} + r_{\pi} + (1 + \beta) R_E} v_g$$

$R_U$  cbe go aipenneye ce neta of  $v_t$   $i_t$



$$R_U = \frac{v_t}{i_t}$$

$$i_t = i_r + i_b \quad i_r = \frac{v_t}{R_1 \parallel R_2}$$

$$v_t - i_b r_{\pi} - R_E (1 + \beta) i_b = 0$$

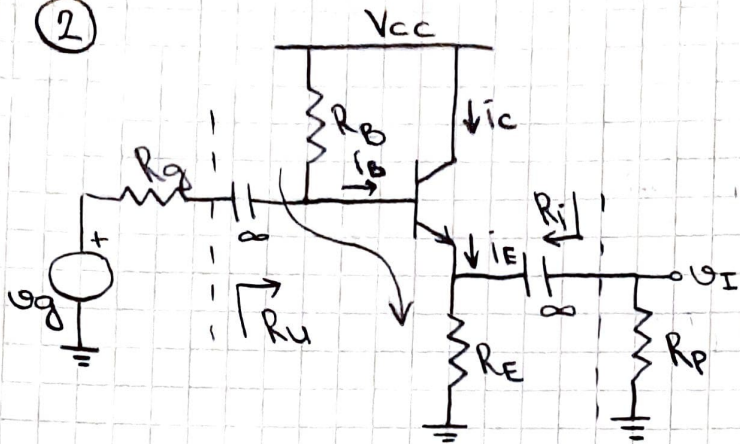
$$i_b = \frac{v_t}{r_{\pi} + (1 + \beta) R_E}$$

$$i_t = i_b + i_r = v_t \left( \frac{1}{r_{\pi} + (1 + \beta) R_E} + \frac{1}{R_1 \parallel R_2} \right)$$

$$R_U = \frac{v_t}{i_t} = (r_{\pi} + (1 + \beta) R_E) \parallel (R_1 \parallel R_2)$$



2

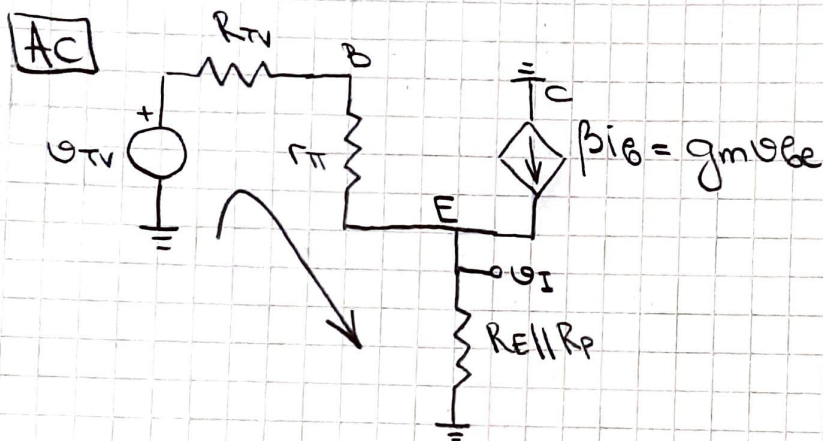


**DC**  $V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_E = 0$

$$I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - (1 + \beta) I_B R_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_E} \Rightarrow I_C = \beta I_B$$



$$V_{TV} - (R_{TV} + r_{\pi}) i_b - (1 + \beta) R_{E||R_p} i_b = 0$$

$$i_b = \frac{V_{TV}}{R_{TV} + r_{\pi} + (1 + \beta) R_{E||R_p}}$$

$$V_I = (1 + \beta) R_{E||R_p} i_b$$

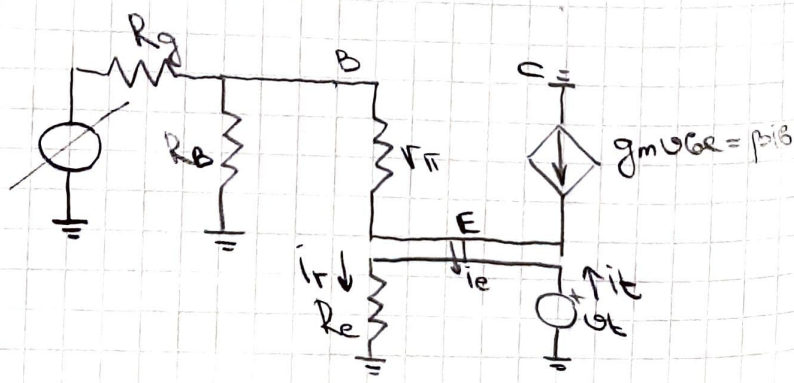
$$V_I = \frac{(1 + \beta) R_{E||R_p}}{R_{TV} + r_{\pi} + (1 + \beta) R_{E||R_p}} \cdot V_g \frac{R_B}{R_B + R_g}$$

$$A = \frac{V_I}{V_g}$$

**Ri**

$$i_t = i_r - i_e$$

$$i_e = (1 + \beta) i_b$$

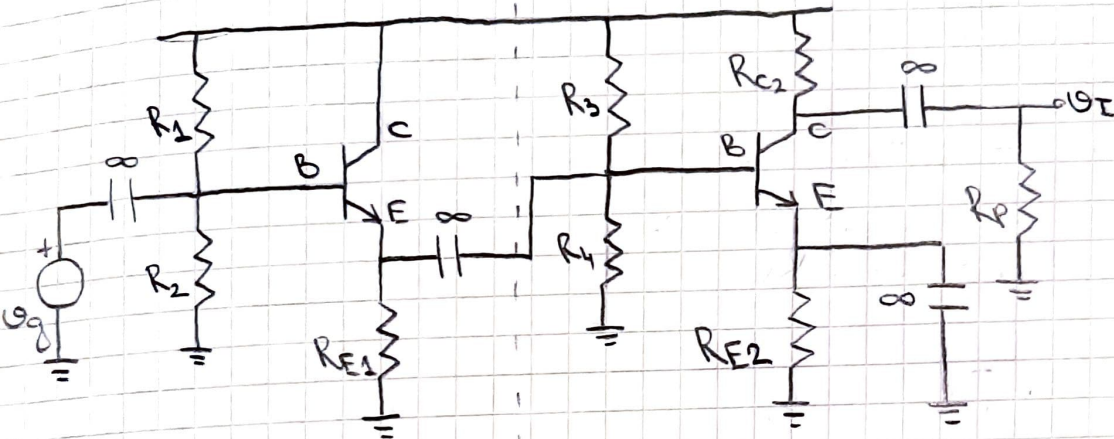


$$i_b = \frac{0 - u_t}{R_g \parallel R_B + r_{\pi}} = \frac{-u_t}{R_g \parallel R_B + r_{\pi}}$$

$$i_t = \frac{u_t}{R_e} - \left( \frac{-u_t}{r_{\pi} + R_g \parallel R_B} \right) (1 + \beta)$$

$$i_t = u_t \left( \frac{1}{R_e} + \frac{1 + \beta}{r_{\pi} + R_g \parallel R_B} \right)$$

### 3) Каскадер

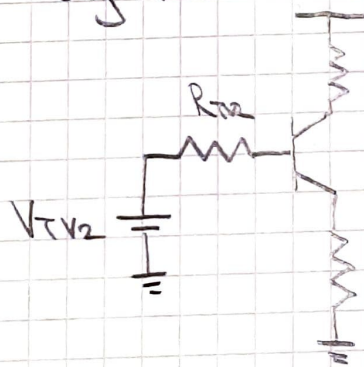
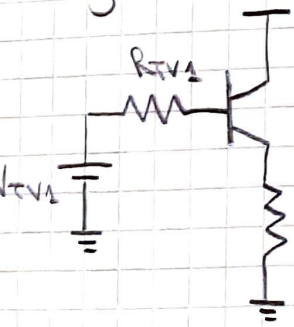


I са заједнички колекторан

II са заједнички емитеран

Осјачање позитивно

Осјачање негативно



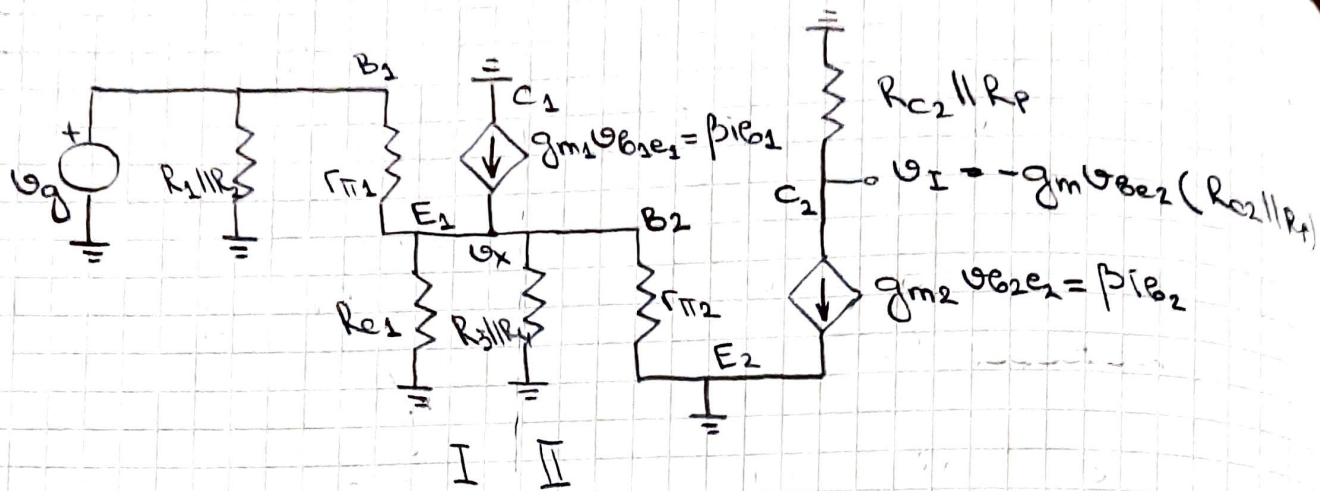
$$R_{TV1} = R_1 \parallel R_2$$

$$V_{TV1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$R_{TV2} = R_3 \parallel R_4$$

$$V_{TV2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{CC}$$

$$I_{B_i} = \frac{V_{TV_i} - V_{BE}}{R_{TV_i} + (1 + \beta) R_{E_i}}$$



$$V_I = -\beta i_{B2} (R_{C2} \parallel R_F) = -g_m V_{be2} (R_{C2} \parallel R_F)$$

$$V_x = V_{be2} = i_{B2} \Gamma_{\pi 2}$$

$$V_g - \Gamma_{\pi 1} i_{B1} - i_e (R_{E1} \parallel (R_3 \parallel R_4) \parallel \Gamma_{\pi 2}) = 0$$

$(1+\beta) i_{B1}$

$$i_{B1} = \frac{V_g}{\Gamma_{\pi 1} + (1+\beta)(R_{E1} \parallel (R_3 \parallel R_4) \parallel \Gamma_{\pi 2})}$$

$$V_x = (1+\beta) i_{B1} (R_{E1} \parallel (R_3 \parallel R_4) \parallel \Gamma_{\pi 2})$$

74) Za kono sa crke je gostovno  $V_{\gamma} = V_{BE} = 0,6V$ ,  
 $V_{CES} = 0,6V$ ,  $V_{CES} = 0,2V$ ,  $\beta_F = 100$ ,  $V_{CC} = 12V$ ,  $R_2 = 10k\Omega$   
 u  $R_2 = 1k\Omega$ . Odrediti radnim radu tranzistora  
 $Q_1$ , kao u stavku u stavku svih parametara  
 tranzistora  $Q_2$ .

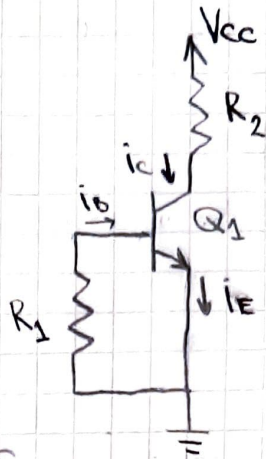
Operaciona stanja  $Q_1$ : OFF

$$V_{BE} < V_{\gamma} = ?$$

$$i_C = 0, i_B = 0, i_E = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} V_B = 0 \\ V_E = 0 \end{array} \right.$$

$$V_{BE} = 0 < V_{\gamma} \Rightarrow \text{stanje } \text{OFF}$$

$$i_B = 0, i_E = 0, i_C = 0, V_B = 0, V_E = 0, V_C = V_{CC} = 12V$$



75) Za kono sa crke je gostovno  $V_{\gamma} = V_{BE} = 0,7V$ ,  
 $V_{CES} = 0,7V$ ,  $V_{CES} = 0,2V$ ,  $\beta_F = 75$ ,  $V_{CC} = 10V$ ,  $R_2 = 5k\Omega$   
 u  $R_2 = 1,2k\Omega$ . Odrediti radnim radu tranzistora  
 $Q_2$ , kao u stavku u stavku svih parametara  
 tranzistora  $Q_1$ .

Operaciona stanja:  $Q_1$  - DAR

$$V_{CE} > V_{CES}$$

$$V_{CC} - R_2 i_{R2} - 0 = V_{CE}$$

$$i_{R2} = i_B + i_C = i_B + \beta i_B = i_B(1 + \beta)$$

$$V_{CC} - R_2 i_{R2} - R_1 i_B - V_{BE} = 0$$

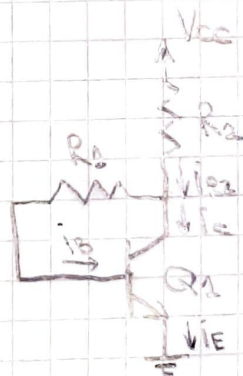
$$i_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_2(1 + \beta) + R_1} = 96,67 \mu A$$

$$V_{CE} = 1,18V > V_{CES} \Rightarrow \text{stanje } \text{ON}$$

$$i_E = (\beta + 1) i_B, i_C = \beta i_B$$

$$V_E = 0$$

$$V_C = V_{CE} \quad V_B = V_{BE} = 0,7V$$



76) За како са чуке је уостало  $V_{BE} = V_{BE} = 0,6V$ ,  
 $V_{BES} = 0,6V$ ,  $V_{CES} = 0,2V$ ,  $\beta_F = 100$ ,  $V_{CC} = 3V$ ,  $R_B = 20k\Omega$ ,  
 $R_C = 10k\Omega$ . Опређујемо режим рада транзистора  
 $Q_1$ , као и напоне и струје обухватајуће  
транзистора  $Q_1$ .

УС:  $Q_1$  - DAR

$V_{CE} > V_{CES} = ?$

$$V_{CE} = (V_{CC} - R_C I_C) - 0 = V_{CC} - R_C I_C =$$

$$= V_{CC} - R_C \beta I_B$$

$$-I_B R_B - V_{BE} + V_{CC} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$V_{CE} = -1,17V < V_{CES} \Rightarrow \text{нова УС}$$

УС:  $Q_1$  - зачепље

$I_C < \beta I_B = ?$

$$\beta I_B = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 12mA$$

$$V_{CC} - R_C I_C - V_{CES} = 0$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{R_C} = 0,28mA$$

$\beta I_B > I_C \checkmark$   
 јачња УС

$$I_B = 120\mu A$$

$$I_E = I_B + I_C = 400\mu A$$

$$V_B = V_{BES} = 0,6V$$

$$I_C = 280\mu A$$

$$V_C = V_{CES} = 0,2V$$

$$V_E = 0$$

77) За како са чуке је уостало:  $V_{BE} = V_{BE} = 0,6V$ ,  
 $V_{BES} = 0,6V$ ,  $V_{CES} = 0,2V$ ,  $\beta = 100$ ,  $V_{CC} = 12V$ ,  $R_1 = 10k\Omega$ ,  
 $R_2 = 1k\Omega$ . Опређујемо режим рада транзистора  
 $Q_1$ , као и напоне и струје обухватајуће  
транзистора  $Q_1$ .

УС:  $Q_1$  - OFF

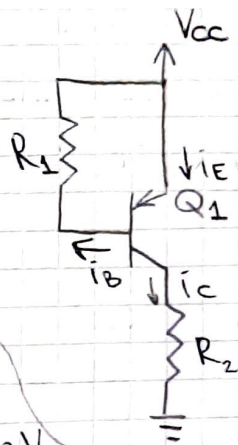
$$V_{BE} < V_{BE} = ? \quad I_E = 0, I_B = 0, I_C = 0 \Rightarrow V_B = V_{CC} = V_E$$

$$V_{EB} = 0 < V_{BE} \Rightarrow \text{транза } 000$$

$$V_C = 0V$$

$$V_E = V_B = 12V$$

$$I_C = I_B = I_E = 0V$$



78) За како са транза је уопштено

$$V_{BE} = V_{EB} = 0,6V, V_{EBS} = 0,6V, V_{ECS} = 0,2V,$$

$$\beta = 100, V_{CC} = 12V, R_1 = 200k\Omega \text{ и } R_2 = 1k\Omega. \text{ Опређујте}$$

режим раба транзистора  $Q_1$ , као и напоне и

струје свих управљачака транзистора  $Q_1$ .

$$000: Q_1 - \text{DAR} \rightarrow V_{EC} > V_{ECS} ?$$

$$V_{EC} = V_{CC} - I_C R_2$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{CC} - V_{EB} - I_B R_1 = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_1} = 57 \mu A$$

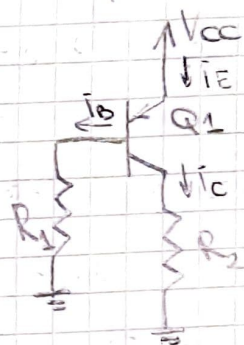
$$V_{EC} = V_{CC} - R_2 \beta I_B = 6,3V > V_{ECS} \checkmark \text{ транза } 000$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 5,76 \text{ mA}$$

$$I_C = 5,7 \text{ mA}$$

$$V_C = R_2 I_C = 5,7V$$

$$V_B = V_{CC} - V_{EB} = 11,4V \quad V_E = V_{CC} = 12V$$



79) За како са транза је уопштено  $V_{BE} = V_{EB} = 0,6V,$

$$V_{EBS} = 0,6V, V_{ECS} = 0,2V, \beta = 100, V_{CC} = 12V, R_1 = 10k\Omega \text{ и}$$

$$R_2 = 1k\Omega. \text{ Опређујте режим раба}$$

транзистора  $Q_1$ , као и напоне и

струје свих управљачака  $Q_1$ .

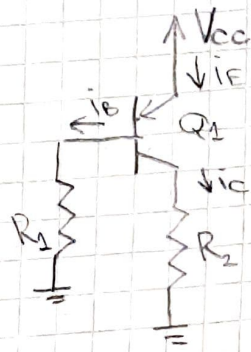
$$000: Q_1 - \text{DAR} \rightarrow V_{EC} > V_{ECS} ?$$

$$V_{EC} = V_{CC} - I_C R_2 = V_{CC} - \beta I_B R_2$$

$$V_{CC} - V_{EB} - I_B R_1 = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_1} \Rightarrow$$

$$\text{нова } 000 \Rightarrow V_{EC} = -102V < V_{ECS}$$



$U_{TC} = Q_1$  - zoculjenje  $\rightarrow \beta i_B > i_C = ?$

$$\beta i_B = \beta \frac{V_{CC} - V_{EBS}}{R_1} = 11,4 \text{ mA} \quad \left. \begin{array}{l} \beta i_B > i_C \quad \checkmark \text{ waha } U_{TC} \\ i_C = \frac{V_{CC} - V_{ECS}}{R_1} = 11,8 \text{ mA} \end{array} \right\}$$

$$i_B = 1,14 \text{ mA}$$

$$U_C = V_{CC} - V_{ECS} = 11,8 \text{ V}$$

$$i_E = i_B + i_C = 12,94 \text{ mA}$$

$$U_B = V_{CC} - V_{EBS} = 11,4 \text{ V}$$

$$i_C = 11,8 \text{ mA}$$

$$U_E = V_{CC} = 12 \text{ V}$$

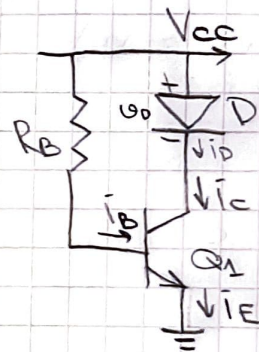
80) Za kono sa cikke je uobhato:  $V_{\gamma 1} = V_{BE} = 0,6 \text{ V}$   
 $V_{CES} = 0,6 \text{ V}$ ,  $V_{CES} = 0,2 \text{ V}$ ,  $\beta = 100$ ,  $V_{CC} = 3 \text{ V}$  u  $R_B = 20 \text{ k}\Omega$   
 Duoga D je ugeanta sa parametrom  $V_D = 0,6 \text{ V}$ .  
 Opregnutu peshume paga uparametrom  $Q_1$  u ga  
 oge D, kao u tabele u avrupje obuh uparametrom  
 uaka uparametrom  $Q_1$ .

$U_{TC} = Q_1$  - OFF, D - OFF

$$U_{BE} < V_{\gamma 1} = ? \quad (\text{jer } U_B \text{ u } i_C = 0 \Rightarrow i_D = 0)$$

$$i_C = 0, i_E = 0, i_B = 0 \quad \left. \begin{array}{l} U_B = V_{CC} \\ U_E = 0 \end{array} \right\}$$

$$U_{BE} = V_{CC} > V_{\gamma 1} \Rightarrow \text{nava } U_{TC}$$



$U_{TC} = Q_1$  - DAR, D - ON

$$U_{CE} > V_{CES}, i_D > 0 = ?$$

$$U_{CE} = U_C - U_E = V_{CC} - V_D - 0 = 2,4 \text{ V} > V_{CES}$$

$$i_D = i_C = \beta i_B = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = 12 \text{ mA} > 0 \quad \left. \begin{array}{l} \text{waha } U_{TC} \end{array} \right\}$$

$$V_{CC} - R_B i_B - V_{BE} = 0$$

$$i_B = 120 \mu\text{A}$$

$$U_E = 0 \text{ V}$$

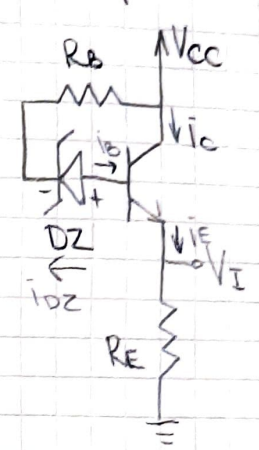
$$i_C = 12 \text{ mA}$$

$$U_B = V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

$$U_C = V_{CC} - V_D = 2,4 \text{ V}$$

$$i_E = (1 + \beta) i_B = 12,12 \text{ mA}$$

81) За како са слике је уостало:  $V_{BE} = V_{RE} = 0,6V$ ,  $V_{CES} = 0,6V$ ,  $V_{CES} = 0,2V$ ,  $\beta = 100$ ,  $V_{CC} = 10V$ ,  $R_B = 10k\Omega$  и  $R_E = 100\Omega$ . Јетер гуога је угеанга са саране-српума  $V_D = 0$  и  $V_Z = 3,2V$ .



а) Узрарунаиуи узрарну наоах  $V_I$ .

ууу:  $Q_1$  - ДАР, ДЗ - српоој

$V_{CE} > V_{CES}$ ,  $I_{DZ} < 0$  ?

$$V_{CC} - I_B R_B - V_Z - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

||  
( $\beta + 1$ )  $I_B$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_Z - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta) R_E} = 308,5 \mu A \Rightarrow I_{DZ} = -I_B < 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E R_E = V_{CC} - (1 + \beta) I_B R_E = 6,88V > V_{CES}$$

$$V_I = V_E = I_E R_E = (1 + \beta) I_B R_E = 3,12V$$

ууауа  
ууу

б) Узрарунаиуи каука оу српооао га оује српоооо наоаа  $V_{CC}$  га оу срарнуауауор  $Q_1$  оуа на ср-нуу узрару гуеркитна акитивна реуиуа и са-кауаа.

$I_B = 0$ ,  $I_C = 0$ ,  $I_E = 0$  и  $V_{BE} = V_{BE}$

$I_C = \beta I_B$ ,  $I_E = (\beta + 1) I_B$

$V_{BE} = V_B - V_E =$

$I_B = 0 \Rightarrow V_{CC} = V_Z + V_{BE}$

$= V_{CC} - V_Z = V_{BE}$

$V_{CC} = 3,8V$

82) За како са слике је уостало:  $\beta = 100$ ,  $V_{BE} = 0,7V$ ,  $V_T = 26mV$ ,  $V_{CC} = 12V$ ,  $c \rightarrow \infty$ ,  $R_1 = 19,5k\Omega$ ,  $R_2 = 39k\Omega$ ,  $R_E = 594\Omega$  и  $R_F = 1k\Omega$ .

а) Узрарунаиуи јгносмерне сррује ( $I_B$ ,  $I_C$  и  $I_E$ ) и јгносмерне наоае срарнуауауора ( $V_B$ ,  $V_C$  и  $V_E$ ).

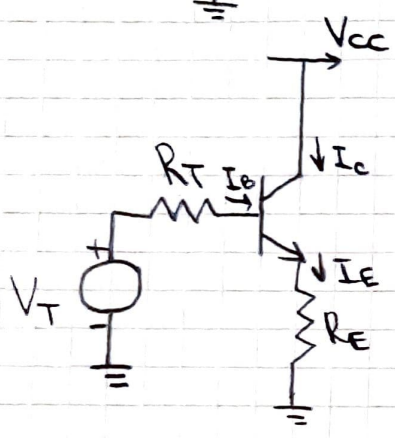
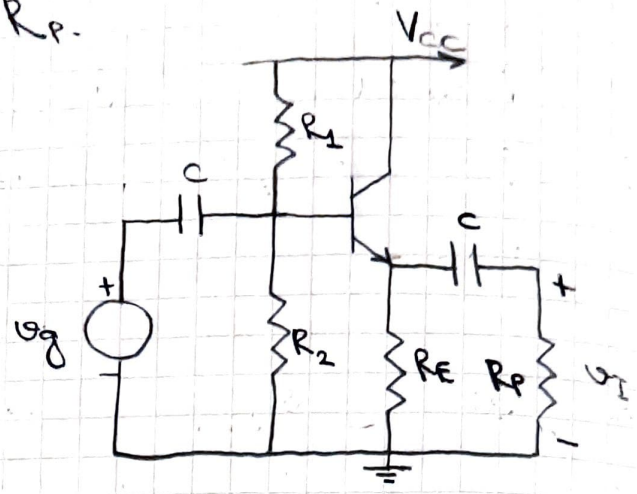
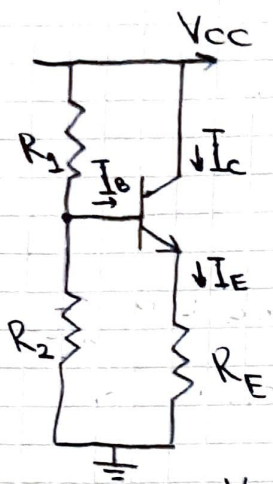
б) Узрарунаиуи наоаеко уојачање уојачиваа

$a_v = \frac{v_o}{v_i}$ , узрарну оуауауауау коју саруау реуеруауор



Настройка частотной характеристики и величины сопротивления  $R_p$ .

DC



$$R_T = R_1 \parallel R_2 = 13 \text{ k}\Omega$$

$$V_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 8 \text{ V}$$

DAR (уравнение)

$$V_T - I_B R_T - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

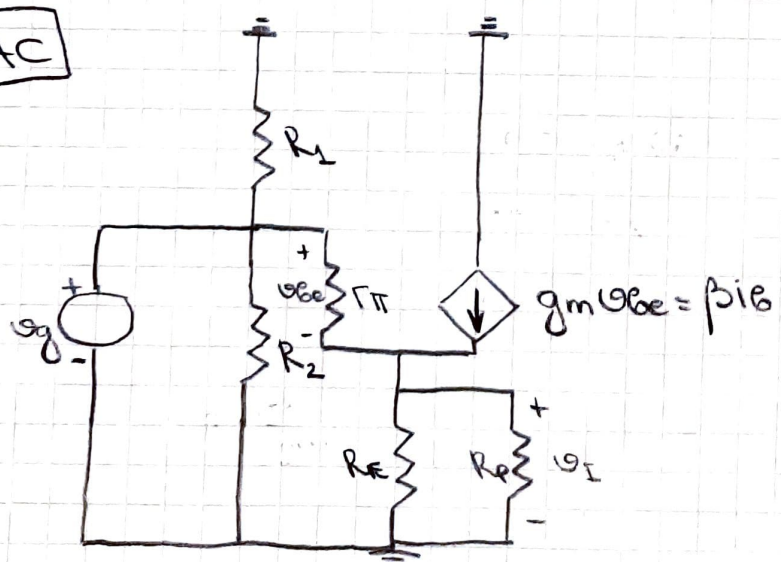
$$I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$I_B = \frac{V_T - V_{BE}}{R_T + (1 + \beta) R_E} \quad I_C = \beta I_B$$

$$V_E = I_E R_E \quad V_B = V_T - I_B R_T = V_E + V_{BE}$$

$$V_C = V_{CC}$$

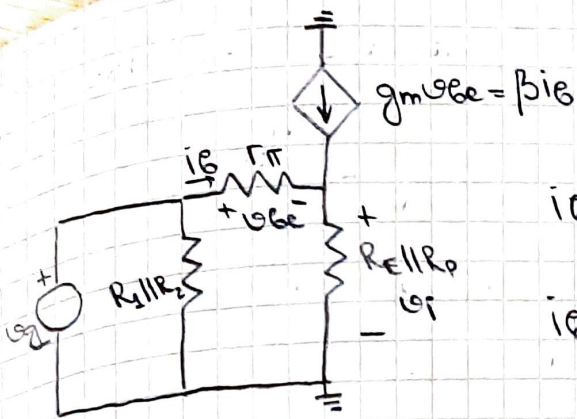
AC



$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$g_m v_{be} = \beta i_b$$



$$i_B + \beta i_B = \frac{U_i}{R_E \parallel R_P}$$

$$i_B = \frac{U_{be}}{r_\pi} = \frac{U_q - U_i}{r_\pi}$$

$$i_B = \frac{U_i}{(1+\beta) R_E \parallel R_P}$$

$$\frac{U_q}{r_\pi} = \frac{U_i}{r_\pi} + \frac{U_i}{(1+\beta) R_E \parallel R_P} = \frac{U_i (1+\beta) R_E \parallel R_P + U_i r_\pi}{r_\pi (1+\beta) R_E \parallel R_P}$$

$$a = \frac{U_i}{U_q} = \frac{(1+\beta) R_E \parallel R_P}{r_\pi + (1+\beta) R_E \parallel R_P}$$

**Ru** uge ut ymectio ug u us beta atpyja it

$$R_u = \frac{U_t}{i_t}$$

$$i_t = i_B + \frac{U_t}{R_1 \parallel R_2}$$

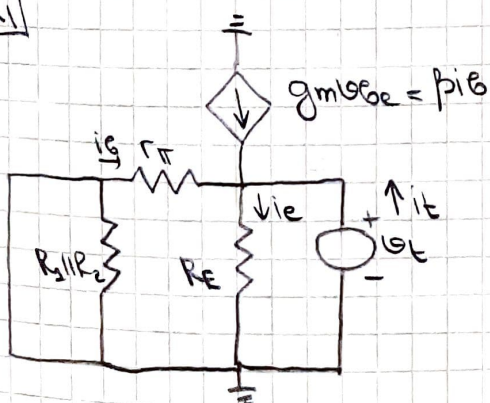
$$i_B + \beta i_B = \frac{U_e}{R_E \parallel R_P} \quad i_B = \frac{U_e}{(1+\beta) R_E \parallel R_P} = \frac{U_t - U_e}{r_\pi}$$

$$U_e = \frac{(1+\beta) R_E \parallel R_P}{r_\pi + (1+\beta) R_E \parallel R_P} U_t$$

$$i_t = \frac{U_t}{R_1 \parallel R_2} + \frac{U_t}{r_\pi + (1+\beta) R_E \parallel R_P}$$

$$R_u = \left( \frac{1}{R_1 \parallel R_2} + \frac{1}{r_\pi + (1+\beta) R_E \parallel R_P} \right)^{-1}$$

**Ri**



$$R_i = \frac{U_t}{i_t}$$

$$i_B + \beta i_B + i_t = i_e$$

$$i_e = \frac{U_t}{R_E}$$

$$i_B = -\frac{U_t}{r_\pi}$$

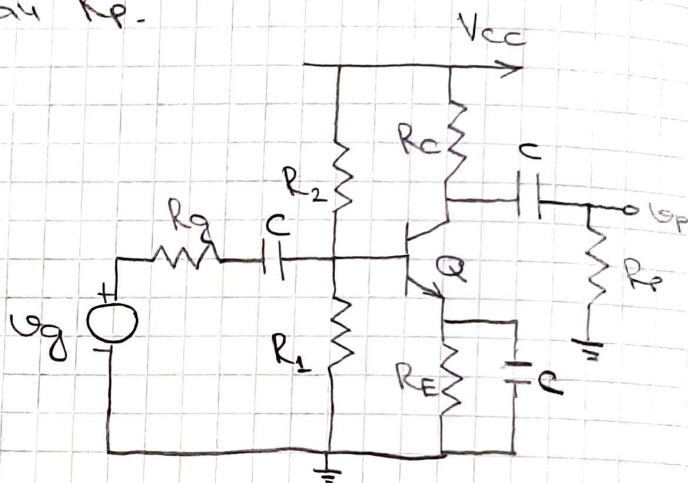
$$i_t = \frac{U_t}{R_E} + \frac{(1+\beta) U_t}{r_\pi}$$

$$R_i = \left( \frac{1}{R_E} + \frac{(1+\beta)}{r_\pi} \right)^{-1}$$

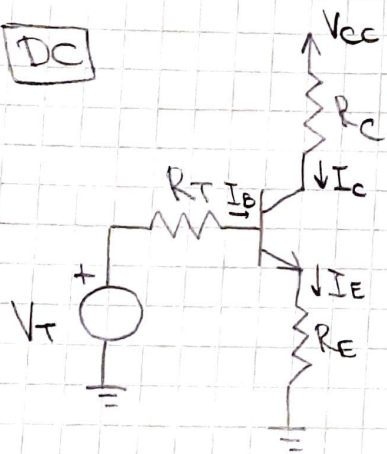
83) За оданованом са слике је познато  $\beta = 100$ ,  
 $V_{BE} = 0,7V$ ,  $V_T = 26mV$ ,  $V_{CC} = 12V$ ,  $C \rightarrow \infty$ ,  $R_g = 1k\Omega$ ,  $R_1 = 10k\Omega$ ,  
 $R_2 = 30k\Omega$ ,  $R_c = 4,3k\Omega$ ,  $R_E = 1,3k\Omega$  и  $R_P = 100k\Omega$ .

а) Израчунајте једносмерне струје ( $I_B, I_C$  и  $I_E$ )  
једносмерне напоне транзистора ( $V_B, V_C$  и  $V_E$ ).

б) Израчунајте најбоље одговоре одговарајуће  
 $a = \frac{U_{OP}}{U_{g}}$ , улазну отпорност коју види генератор  
наизменичног сигнала  $U_g$  и излазну отпорност  
коју види отпорник  $R_P$ .



DC



$$R_T = R_1 \parallel R_2$$

$$V_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$V_T - I_B R_T - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$I_B = \frac{V_T - V_{BE}}{R_T + (1 + \beta) R_E}$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B$$

$$V_E = I_E R_E$$

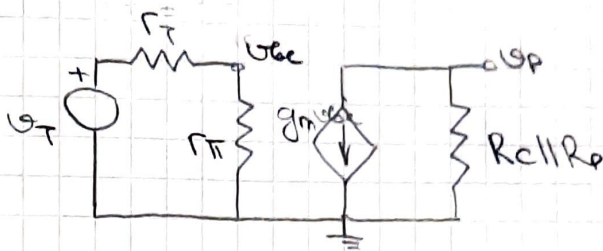
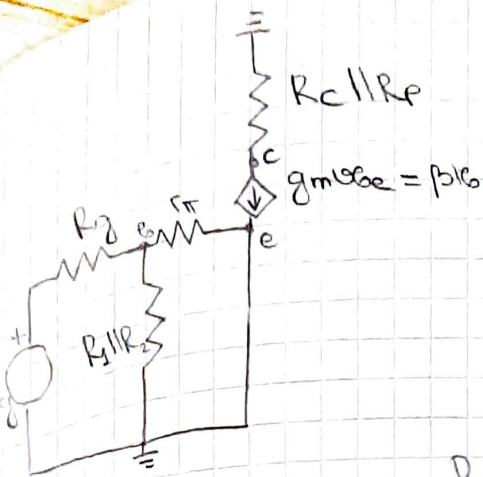
$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_B = V_T - I_B R_T$$

AC

$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

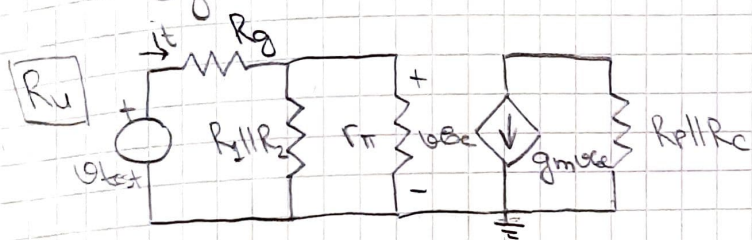


$$U_{OC} = \frac{R_1 || R_2}{R_g + R_1 || R_2} U_T, \quad r_{\pi} = R_1 || R_2 || R_g$$

$$U_{OP} = -g_m U_{BE} R_c || R_o$$

$$U_{BE} = \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + r_{\pi}} U_T$$

$$a = \frac{U_{OP}}{U_T}$$

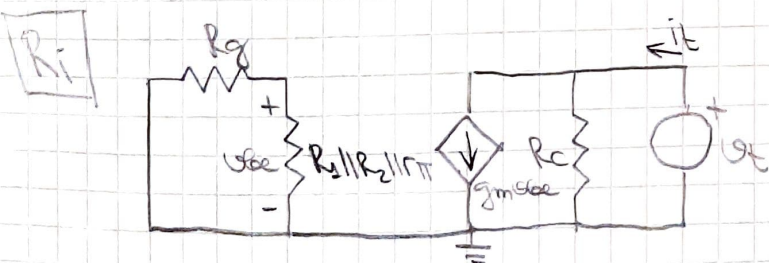


$$R_u = \frac{U_T}{i_T}$$

$$U_{BE} = \frac{R_c || R_o || r_{\pi}}{R_g + R_1 || R_2 || r_{\pi}} U_T$$

$$i_T = \frac{U_{BE}}{R_1 || R_2} + \frac{U_{BE}}{r_{\pi}} = U_{BE} (R_1 || R_2 || r_{\pi})$$

$$R_u = R_g + R_1 || R_2 || r_{\pi}$$



$$U_{BE} = 0 \rightarrow g_m U_{BE} = 0$$

$$R_i = \frac{U_T}{i_T} = R_c$$

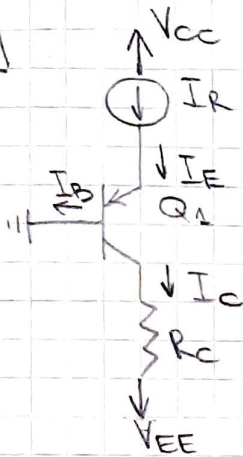
84) Параметрири транзистора у одјачавачу су следеће су:  $\beta = 50$ ,  $V_{EB} = 0,6V$ ,  $V_{CC} = -V_{EE} = 5V$ ,  $I_R = 1mA$ ,  $V_t = 25mV$ ,  $R_c = 5k\Omega$  и  $R_p = 30k\Omega$ .

a) Одредити једносмерне струје базе, колектора и емитера, као и једносмерне напоне.

б) Одредити напонско одјачање  $a = \frac{v_i}{v_g}$

в) Одредити  $R_u$  одјачавача и аутопромену коју би он извршио.

DC



$$I_E = I_R$$

$$I_E = I_B + \beta I_B$$

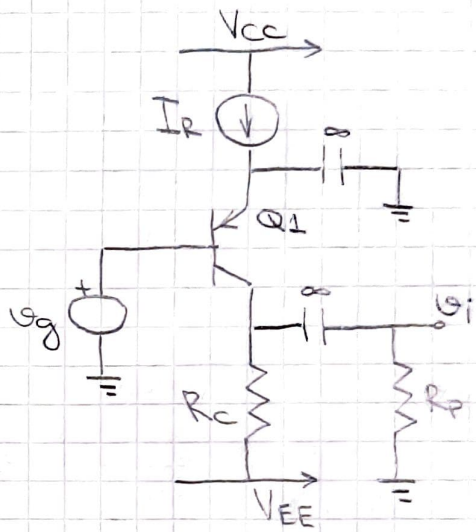
$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta}$$

$$I_C = \beta I_B$$

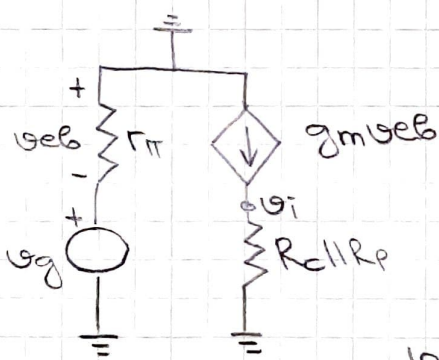
$$V_B = 0$$

$$V_C = V_{EE} + I_C R_C$$

$$V_E = V_B + V_{EB}$$



AC



$$g_m = \frac{I_C}{V_t}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$v_{eb} = -v_g$$

$$v_i = g_m v_{eb} (R_C || R_p) =$$

$$= -g_m v_g (R_C || R_p)$$

$$a = \frac{v_i}{v_g} = -g_m (R_C || R_p)$$

$R_u$

$v_t$  уместо  $v_g$

$$R_u = \frac{v_t}{i_t}$$

$$v_t = r_{\pi} i_t$$

$$R_u = r_{\pi}$$

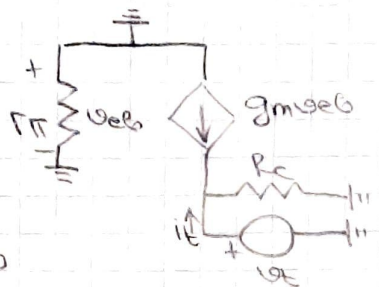
$R_i$

$v_t$  уместо  $R_E$

$$v_{eb} = 0 \Rightarrow g_m v_{eb} = 0$$

$$v_t = R_C i_t$$

$$R_i = R_C$$



85) Параметри отпредавача у одређеном напонском опходу са следећим подацима:  $\beta = 100$ ,  $V_{BE} = 0,6V$ ,  $V_{CC} = -V_{EE} = 5V$ ,  $V_t = 25mV$ ,  $R_c = 4,7k\Omega$ ,  $R_E = 4,7k\Omega$ ,  $R_B = 47k\Omega$  и  $R_P = 10k\Omega$ .

a) Određivanje jačine struje u baznoj, kolektorskoj i emitorskoj.

d) Određivanje napona pojačanja  $a = \frac{U_P}{U_G}$ .

b) Određivanje unosiću otpornosti pojačavača u odnosu na ulaz i izlaz u opterećenju.

**DC** Proračun struje u DAR po dužini pojačavača počinje

$$I_C = \beta I_B = 843 \mu A$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B$$

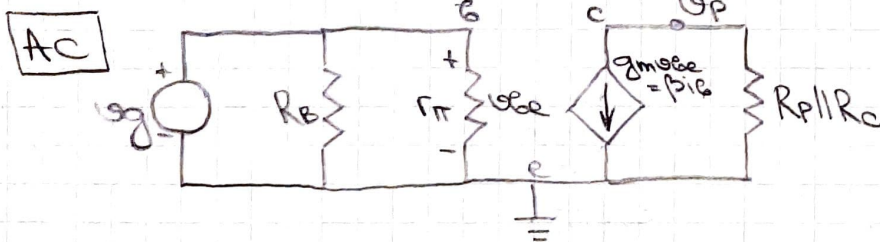
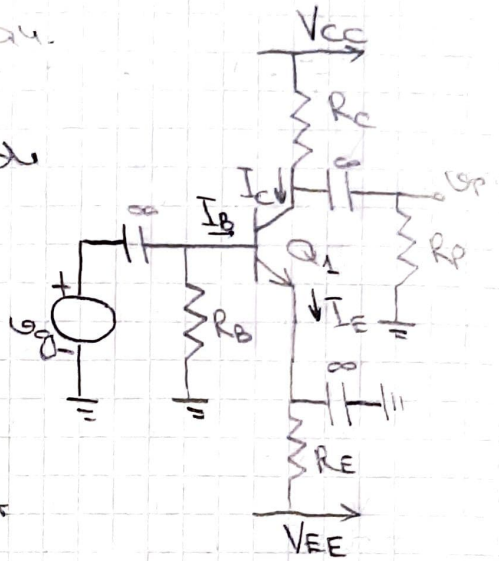
$$-I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E - V_{EE} = 0$$

$$I_B = \frac{-V_{BE} - V_{EE}}{R_B + (1 + \beta) R_E} = 8,43 \mu A$$

$$V_B = -I_B R_B$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$



$$g_m = \frac{I_C}{V_t} = 0,0337$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$U_P = -g_m U_{be} R_P || R_C$$

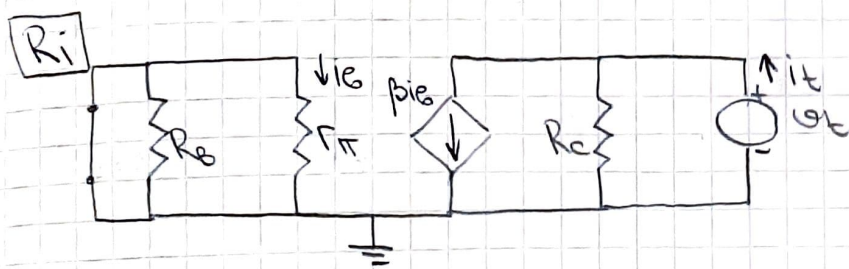
$$U_{be} = U_G$$

$$U_P = -g_m U_G R_P || R_C \quad a = -g_m R_P || R_C = -107,8$$

**R<sub>u</sub>** Kako će nešto utiče unosiću  $U_G$

$$R_u = \frac{U_t}{i_t} \quad i_t = i_B + i_R \quad i_R = \frac{U_G}{R_B}, \quad i_B = \frac{U_G}{r_{\pi}}$$

$$i_t = \frac{v_t}{R_B} + \frac{v_t}{r_{\pi}} \quad R_E = \left( \frac{1}{R_B} + \frac{1}{r_{\pi}} \right)^{-1} = R_B \parallel r_{\pi} = 2,75 \text{ k}\Omega$$



$$i_b = 0 \Rightarrow \beta i_b = 0 \quad R_i = \frac{v_t}{i_t}$$

$$v_t - i_t R_C = 0$$

$$R_C = \frac{v_t}{i_t} = R_i \Rightarrow R_i = 4,7 \text{ k}\Omega$$

86) У струјном избору са слике оба транзистора су идентичних карактеристика, при чему је  $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$  и  $\beta = 50$ . Познато је и  $V_{CC} = 10 \text{ V}$  и  $R = 10 \text{ k}\Omega$ . Израчунајте ток струје  $i_o$  коју генерише струјни избор.

$$\begin{cases} i_{C1} = I_S e^{\frac{V_{EB1}}{V_T}} \\ i_{C2} = I_S e^{\frac{V_{EB2}}{V_T}} \end{cases} \Rightarrow i_{C1} = i_{C2} = i_o$$

$$V_{EB1} = V_{EB2}$$

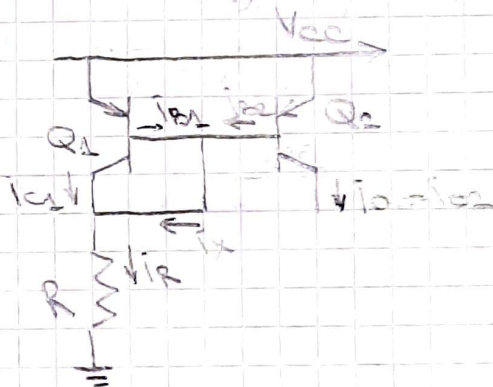
$$\Rightarrow i_{B1} = i_{B2}$$

$$i_x = i_{B1} + i_{B2} = 2i_{B1}$$

$$i_R = i_{C1} + i_x = i_{C1} + 2i_{B1} = i_{C1} + 2 \frac{i_{C1}}{\beta}$$

$$i_R = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R} = i_{C1} \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) = i_o \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right)$$

$$i_o = 905,85 \mu\text{A}$$



87) У струјном избору са слике оба транзистора су идентичних карактеристика, при чему је  $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$  и  $\beta = 100$ . Познато је и  $V_{CC} = 5 \text{ V}$  и  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Израчунајте ток струје  $i_o$  коју генерише струјни избор.

$$i_{c1} = I_s e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} = i_{c2}$$

$$i_R = i_x + i_{c1}$$

$$V_{CC} - i_R \cdot R - V_{BE} = 0$$

$$i_R = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

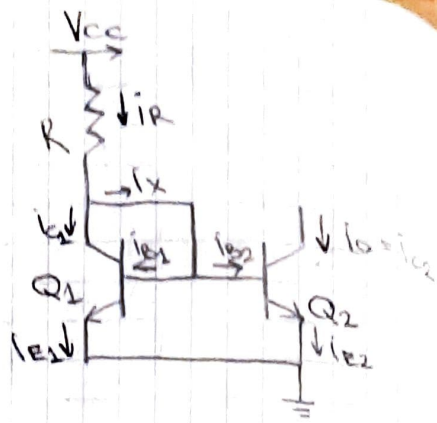
$$i_x = i_{B1} + i_{B2}$$

$$i_{c1} = \beta i_{B1}$$

$$i_{B2} = \frac{i_{c2}}{\beta} = \frac{i_o}{\beta}$$

$$i_R = i_{B1} + i_{B2} + i_{c1} = \frac{i_{c1}}{\beta} + \frac{i_o}{\beta} + i_{c1} = i_o \left(1 + \frac{2}{\beta}\right)$$

$$i_o = \frac{i_R}{1 + \frac{2}{\beta}} = 4,314 \text{ mA}$$



88) У одруженом избору са слике оба типа транзистора су идентичних карактеристика. Снаподржите га са  $V_{BE}$ ,  $\beta$ ,  $V_{CC}$  и  $R$  однаво величине, израчунајте струју  $i_o$  коју генерише одружено избор.

$$i_{c1} = I_s e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}} = I_s e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} = i_{c2} = i_o$$

$$i_{B1} = i_{B2}$$

$$i_{B1} + i_{B2} = i_{B3} = i_{B3} + i_{c3} \Rightarrow \frac{2i_o}{\beta} = i_{B3} + i_{c3}$$

$$i_R = i_{c1} + i_{B3}$$

$$i_R = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R}$$

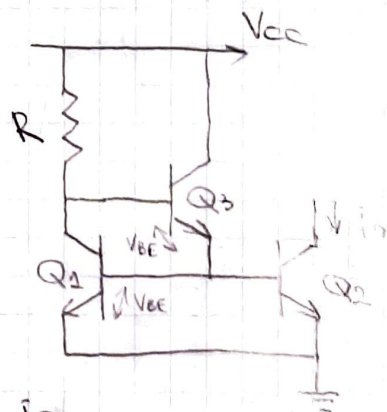
$$\frac{2i_o}{\beta} = (1 + \beta) i_{B3}$$

$$i_{B3} = i_R - i_{c1} = i_R - i_o$$

$$\frac{2i_o}{\beta} = (1 + \beta) i_R - (1 + \beta) i_o$$

$$i_o \left( \frac{2}{\beta} + 1 + \beta \right) = (1 + \beta) \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R}$$

$$i_o = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R \left( 1 + \frac{2}{\beta(1 + \beta)} \right)}$$

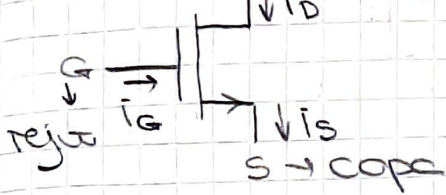




# MOS управлението

NMOS

D → грейт



$$\begin{aligned} i_D &= i_S \\ i_G &= 0 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{гребк}$$

1) Зачувате

$$V_{GS} > V_{TN}$$

$$V_{GD} < V_{TN}$$

$$i_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2, \quad B = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L}$$

↓  
капацитетна инерција  
управление

2) управлението однаво

$$V_{GS} > V_{TN}$$

$$V_{GD} > V_{TN}$$

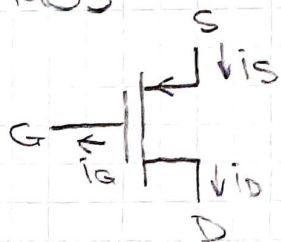
$$i_D = B \left( (V_{GS} - V_{TN}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right)$$

3) Зачувате (OFF)

$$V_{GS} < V_{TN}$$

$$i_D = 0$$

PMOS



$$\begin{aligned} i_D &= i_S \\ i_G &= 0 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{гребк}$$

1) Зачувате

$$V_{SG} > |V_{TP}|$$

$$V_{DG} < |V_{TP}|$$

$$i_D = \frac{B}{2} (V_{SG} - |V_{TP}|)^2$$

2) управлението однаво

$$V_{SG} > |V_{TP}|$$

$$V_{GS} > |V_{TP}|$$

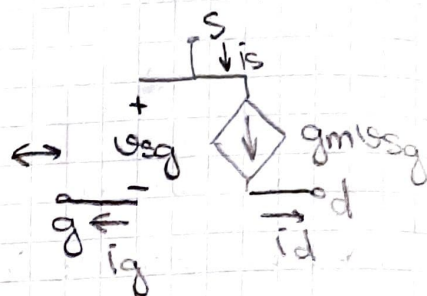
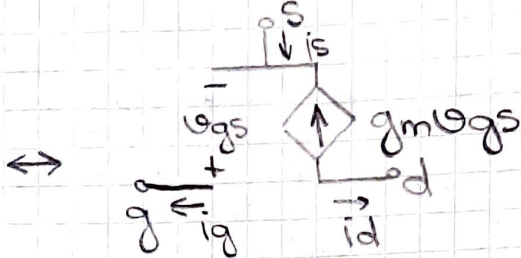
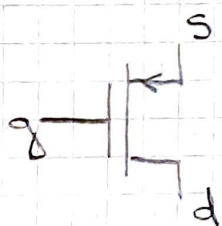
$$I_D = B \left( (V_{GS} - |V_{TP}|) V_{SD} - \frac{V_{SD}^2}{2} \right)$$

3) Зарядка (OFF)

$$V_{GS} < |V_{TP}|$$

$$I_D = 0$$

PMOS за мале cutoff

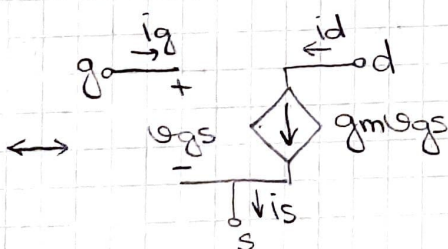
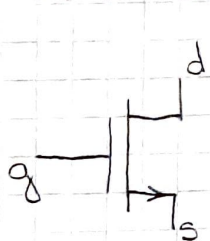


$$g_m = \sqrt{2BI_D}$$

$$I_D = I_S = g_m V_{GS}$$

$$I_G = 0$$

NMOS за мале cutoff



$$g_m = \sqrt{2BI_D}$$

$$I_D = I_S = g_m V_{GS}$$

$$I_G = 0$$

89) Параметри употребителот у кажу са цврке су  $V_{TN} = V_T = 3V$  и  $B = \frac{\mu_n C_{ox} W}{L} = 0.48 \frac{mA}{V^2}$ , горк је  $V_{DD} = 12V$ ,  $R_D = 2k\Omega$  и  $R_G = 10M\Omega$ . Узралуштави характере  $V_{GS}$  и  $V_{DS}$ .

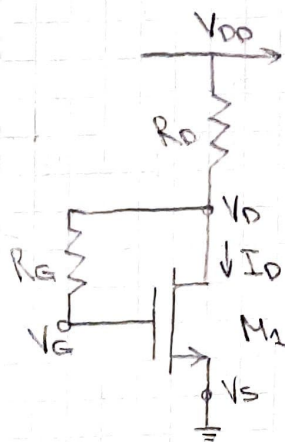
уше:  $M_1$  - заредител

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - 0V = V_G = V_D \quad (C_G = 0)$$

$$V_{GS} = V_{DD} - R_D I_D$$

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{DD} - R_D I_D - V_T)^2$$



$$I_D = 0,00024 (9 - 2000 I_D)^2$$

$$I_D' = 7,25 \text{ mA}$$

$$V_{GS}' = V_{DD} - R_D I_D' = -2,5 \text{ V} < V_T \downarrow$$

$$I_D'' = 2,79 \text{ mA}$$

$$V_{GS}'' = V_{DD} - R_D I_D'' = 6,42 \text{ V} > V_T \uparrow$$

$$V_{ED} = 0 < V_T \uparrow$$

$$\Rightarrow V_{GS} = V_{DS} = 6,42 \text{ V}$$

90) Параметри управљача у коју се смисли су:  
 $V_{TN} = V_T = 1 \text{ V}$  и  $B = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ , где је  $V_{DD} = 5 \text{ V}$ ,  $R_{G1} = R_{G2} = 10 \text{ k}\Omega$   
 и  $R_D = R_S = 6 \text{ k}\Omega$ . Узрачунавају струју  $I_D$ , као и  
 напоне  $V_G$ ,  $V_D$  и  $V_S$ .

Урач:  $M_1$  - засечење

$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD}$$

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - I_D R_S = V_G - I_D R_D$$

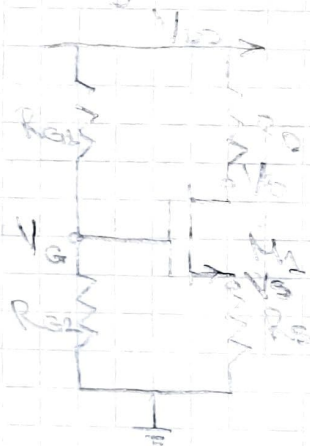
$$I_D = \frac{B}{2} \left( \frac{V_{DD}}{2} - I_D R_D - V_T \right)^2$$

$$I_D' = 0,889 \text{ mA} \Rightarrow V_{GS}' = -0,334 \text{ V} < V_T \downarrow$$

$$I_D'' = 0,5 \text{ mA} \Rightarrow V_{GS}'' = 2 \text{ V} > V_T \uparrow$$

$$V_{ED} = V_G - V_D = \frac{V_{DD}}{2} - (V_{DD} - I_D R_D) = -2 \text{ V} < V_T \uparrow$$

$$V_G = 5 \text{ V} \quad V_D = 7 \text{ V} \quad V_S = 3 \text{ V}$$



91) Параметри управљача у коју се смисли су:  
 $V_{TP} = -V_T = -1 \text{ V}$ ,  $B_1 = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ,  $B_2 = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ , где је  
 $V_{DD} = 12 \text{ V}$ ,  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  и  $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$ . Узрачунавају  
 струју грегга управљача  $M_1$ , као и напоне  $V_G$ .

UTC:  $M_1$  u  $M_2$  su u zračubetny

$$I_{D1} = \frac{B_1}{2} (V_{SG1} - |V_{TP1}|)^2$$

$$V_{DD} - V_{SG1} - R_1 I_{D1} = 0$$

$$V_{DD} - V_{SG1} - R_1 \frac{B_1}{2} (V_{SG1} - |V_{TP1}|)^2 = 0$$

$$V_{SG1}' = -0.1V < |V_{TP1}| \downarrow$$

$$V_{SG1}'' = 2V > |V_{TP1}| \quad \checkmark$$

$$I_{D1} = \frac{V_{DD} - V_{SG1}}{R_1} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{D1} = \frac{B_1}{2} (V_{SG1} - |V_{TP1}|)^2$$

$$I_{D2} = \frac{B_2}{2} (V_{SG2} - |V_{TP1}|)^2$$

$$V_{SG1} = V_{SG2}$$

$$\frac{I_{D1}}{I_{D2}} = \frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{2}$$

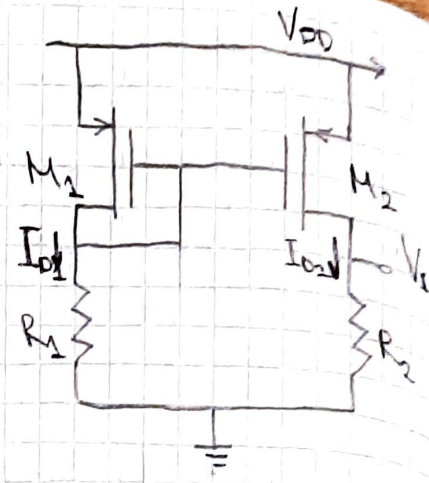
$$I_{D2} = 2 \text{ mA}$$

$$V_{DG1} = 0 < |V_{TP1}|$$

$$V_{SG2} = V_{SG1} = 2V > |V_{TP1}|$$

$$V_{DG2} = V_{D2} - V_{G2} = R_2 I_{D2} - (V_{DD} - V_{SG2}) = -2V < |V_{TP1}|$$

$$V_E = R_2 I_{D2} = 8V$$



92) Parametri upravljujućeg u kome sa slike su:  
 $V_{TN} = V_T = 1V$ ,  $B_1 = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ,  $B_2 = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ , gde je  $V_{DD} = 12V$ ,  
 $R_1 = 10k\Omega$  u  $R_2 = 4k\Omega$ . Upravljajući napajanje gornjeg upravljućeg  $M_1$ , kao u nastavku  $V_E$ .

UTC:  $M_1$  u  $M_2$  su u zračubetny

$$I_{D1} = \frac{B_1}{2} (V_{GS1} - V_T)^2$$

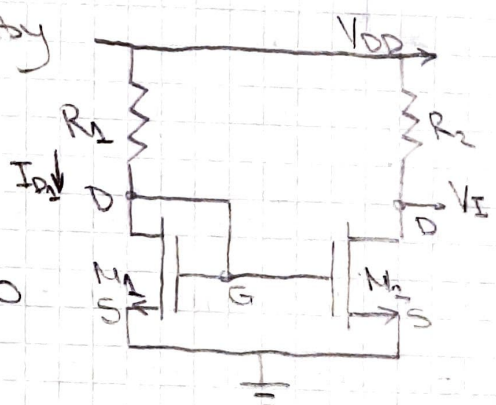
$$V_{GS1} = V_{DD} - I_{D1} R_1$$

$$V_{DD} - V_{GS1} - R_1 \frac{B_1}{2} (V_{GS1} - V_T)^2 = 0$$

$$12 - x - 10 \cdot (x - 1)^2 = 0$$

$$12 - x - 10x^2 + 20x - 10 = 0$$

$$10x^2 - 19x - 2 = 0 \quad x = \frac{19 \pm 21}{20} \quad V_{GS1}' = 2V \quad \vee \quad V_{GS1}'' = -0.1V$$



$V_{GS1}$  отрицательна и переключается

$$I_{D1} = \frac{V_{DD} - V_{GS1}}{R_1} = 1 \text{ mA}$$

$$V_{GS1} = V_{GS2} \Rightarrow \frac{I_{D1}}{I_{D2}} = \frac{B_1}{B_2} \Rightarrow I_{D2} = 2 \text{ mA}$$

$$V_{GD1} = 0 < V_T \checkmark$$

$$V_{GS2} = V_{GS1} = 2 \text{ V} > V_T \checkmark$$

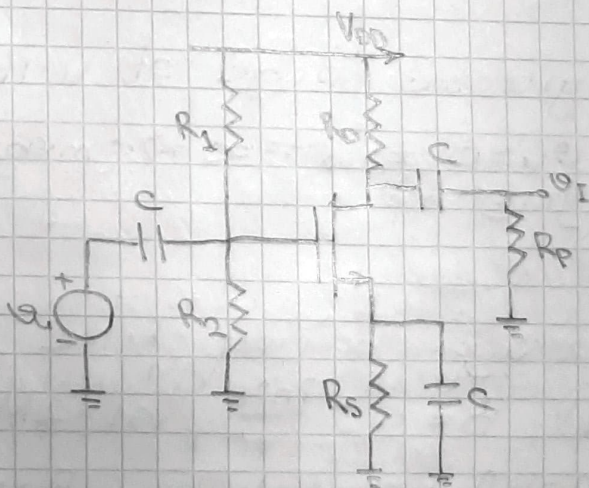
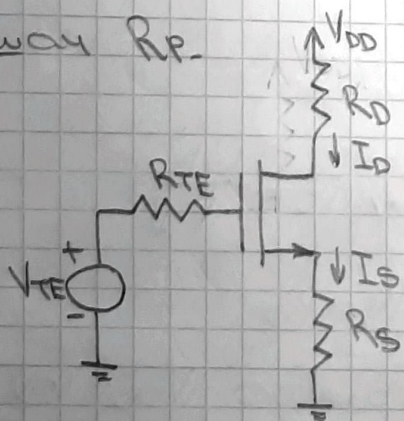
$$V_{GD2} = V_{GS1} - (V_{DD} - I_{D2}R_2) = -2 \text{ V} < V_T \checkmark$$

$$V_I = V_{DD} - I_{D2}R_2 = 4 \text{ V}$$

93) За заданными параметрами цепи  $V_{DD} = 12 \text{ V}$ ,  $V_{TN} = V_T = 1 \text{ V}$ ,  $B = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ,  $C \rightarrow \infty$ ,  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_D = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 1 \text{ k}\Omega$  и  $R_P = 4 \text{ k}\Omega$ .

а) Вычислить одномерный ток дрейфа  $I_D$  и напряжения на входе транзистора ( $V_G$ ,  $V_S$  и  $V_D$ ).

б) Вычислить мощность рассеяния транзистора  $P_{Diss}$  и мощность входной цепи  $P_{in}$  и мощность выходной цепи  $P_{out}$  со стороны  $R_P$ .



$$V_{TF} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = \frac{10}{30} \cdot 12 = 4 \text{ V}$$

$$R_{TF} = R_1 \parallel R_2 = \frac{200}{30} = 6,67 \text{ k}\Omega$$

у зарежеты (уреджанаб за угонаван)

$$I_D = \frac{B}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_{TF} - I_D R_2 = V_{TF} - I_D R_2 = V_{TF} - \frac{B}{2} R_2 (V_{GS} - V_T)^2$$

$$x = 4 - 0,5(x - 1)^2 \quad 0,5x^2 + 0,5x - 3,75 = 0$$

$$25x^2 + 50x - 375 = 0$$

$$x^2 + 2x - 15 = 0 \quad x = \frac{-2 \pm 8}{2}$$

$$x = -5V = V_{GS}'$$

$$x = 3V = V_{GS}''$$

$$V_{GS} > V_{TN} \Rightarrow V_{GS}'' \text{ W}$$

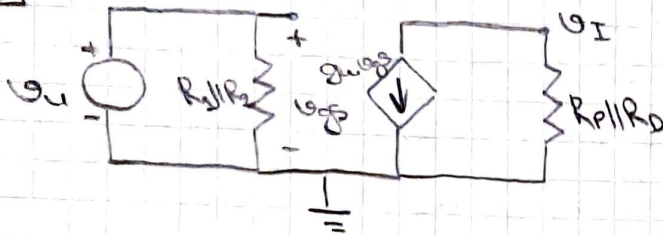
$$I_D = 1 \text{ mA}$$

$$V_G = V_{TE} = 4V$$

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D = 8V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = 1V$$

AC



$$g_m = \sqrt{2\beta I_D} = 1 \text{ mS}$$

$$u_i = -g_m u_{gs} R_{D||R_o}$$

$$u_{gs} = u_i$$

$$a = -g_m R_{D||R_o} \approx -2$$

R<sub>u</sub>

уменьшо  $u_i$  уге  $u_i$  и  $i_t$

$$R_u = \frac{u_i}{i_t}$$

$$i_t = \frac{u_i}{R_1 || R_2}$$

$$R_u = R_1 || R_2$$

R<sub>i</sub>

уменьшо  $R_p$  уге  $u_i$  и  $i_t$

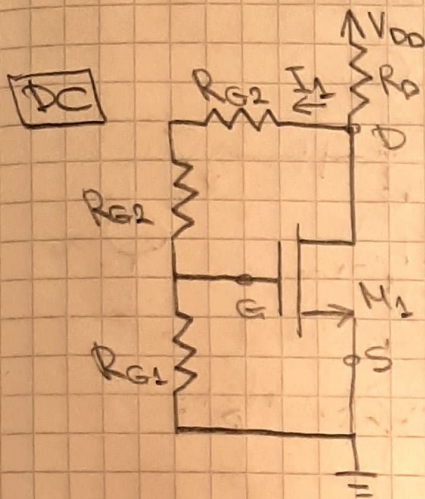
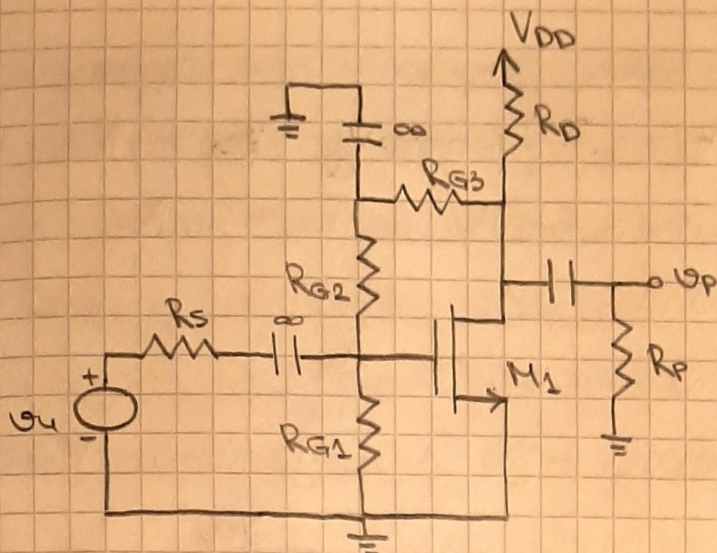
$$u_i = 0 \Rightarrow u_{gs} = 0 \Rightarrow g_m u_{gs} = 0 \Rightarrow i_t = \frac{u_i}{R_D}$$

$$R_i = R_D$$

94) За агагчлолсан са сннке је јошталло  $V_{DD} = 10V$ ,  $V_{TN} = V_T = 1V$ ,  $\beta = 0,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ ,  $R_{G1} = 2 \text{ M}\Omega$ ,  $R_{G2} = 2 \text{ M}\Omega$ ,  $R_{G3} = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $R_D = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_S = 10 \text{ k}\Omega$  и  $R_E = 100 \text{ k}\Omega$ .

а) Узралуналтн јешторнертн сурпун  $I_D$  и  $V_{GS}$  и  $V_{DS}$

б) Узралуналтн  $a = \frac{u_o}{u_i}$ ,  $R_u$  когн сугу  $u_i$  и  $R_i$  когн сугу  $R_E$ .



$$V_{DS} = V_{DD} - (I_1 + I_D) R_D$$

$$I_1 = \frac{V_{DS}}{R_{G1} + R_{G2} + R_{G3}}$$

$$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2} + R_{G3}} V_{DS} = 0,4 V_{DS}$$

$$x = 10 - \left( \frac{x}{5 \cdot 10^6} + 2,5 \cdot 10^{-4} (0,4x - 1)^2 \right) \cdot 2 \cdot 10^4$$

$$x = 10 - \frac{2x}{500} + 2,5 (0,4x - 1)^2$$

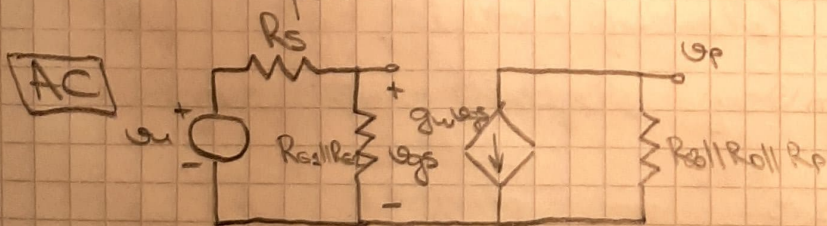
$$V_{DS}' = 5V$$

$$V_{DS}'' = -1,25V$$

$$V_{GS}' = 2V > V_T \quad W$$

$$V_{GS}'' = -0,5V < V_T$$

$$I_D = 250 \mu A$$



$$g_m = \sqrt{2\beta I_D}$$

$$v_o = -g_m v_{gs} R_D \parallel R_{G1} \parallel R_{G2} \parallel R_P$$

$$v_{gs} = \frac{R_{G1} \parallel R_{G2}}{R_s + R_{G1} \parallel R_{G2}} v_i$$

$$\alpha = -8,116$$

$$R_u = \frac{v_o}{i_t} \quad R_u = R_s + R_{G1} \parallel R_{G2}$$

$$R_i = v_{gs} = 0 \Rightarrow g_m v_{gs} = 0 \Rightarrow R_i = R_{G1} \parallel R_{G2}$$

95) У одређивању са слике параметри управљача су  $V_{TP} = -V_T = -1V$  и  $B = 1 \frac{mA}{V^2}$ , гок је  $V_{DD} = -V_{SS} = 10V$   
 $R_1 = 250\Omega$ ,  $R_D = 2k\Omega$ ,  $R_P = 6k\Omega$  и  $I_R = 2mA$ .

а) Одредити  $V_D$ ,  $V_S$  и  $I_D$ .

б) Одредити амплитуду сигнала  $a = \frac{i_p}{i_u}$ .

в) Одредити амплитуду које буге улазну темера-  
тор и саопштач.

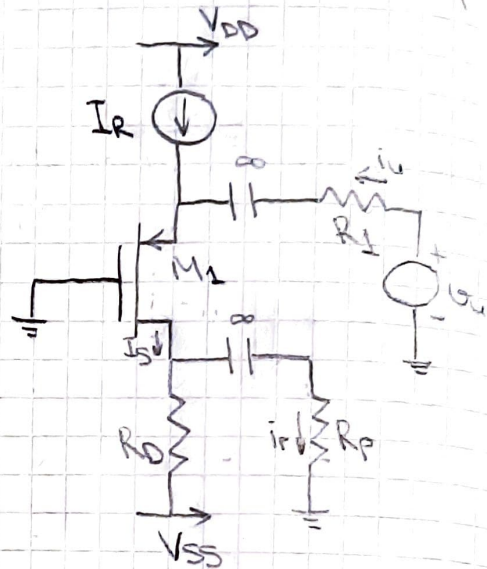
**DC**  $V_G = 0$

$$I_D = I_R = \frac{B}{2} (V_{SG} - |V_{TP}|)^2$$

$$V_D = V_{SS} + I_D R_D = -V_{SS} + I_D R_D = -6V$$

$$V_{SG} = \sqrt{\frac{2I_D}{B}} + |V_{TP}| = 3V$$

$$V_S = V_G + V_{SG} = 3V$$



**AC**

$$g_m = \sqrt{2BI_D}$$

$$i_p = \frac{R_D}{R_P + R_D} i_u$$

$$a = \frac{R_D}{R_P + R_D} = 0,25$$

**R\_u**

$$R_u = \frac{v_t}{i_t}$$

$$i_t = \frac{v_t - v_{sg}}{R_1} = g_m v_{sg}$$

$$i_t = g_m (v_t - R_1 i_t)$$

$$v_t = \left( \frac{1}{g_m} + R_1 \right) i_t$$

$$R_u = \frac{1}{g_m} + R_1$$

**R\_i**

$$\frac{v_{sg}}{R_1} = -g_m v_{sg}$$

$$v_{sg} \left( \frac{1}{R_1} + g_m \right) = 0 \Rightarrow v_{sg} = 0 \Rightarrow g_m v_{sg} = 0 \Rightarrow v_t = R_D i_t$$

$$R_i = R_D$$



26) У ајачаботи са цмке параметри употребитица  
 су  $\beta = 1 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$  и  $V_T = 1\text{V}$ , гок је  $V_{DD} = -V_{SS} = 10\text{V}$ ,  $R_1 = 250\Omega$   
 $R_D = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_P = 30\text{k}\Omega$  и  $I_0 = 500\mu\text{A}$ .

- Одредити  $V_D$ ,  $V_S$  и  $I_D$ .
- Одредити  $a = \frac{v_p}{v_u}$ .
- Одредити  $R_u$  и  $R_i$  књи бугу  $R_P$ .

**DC**  $I_S = I_D$

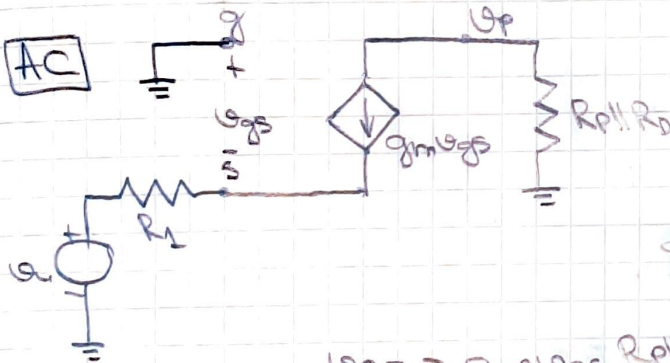
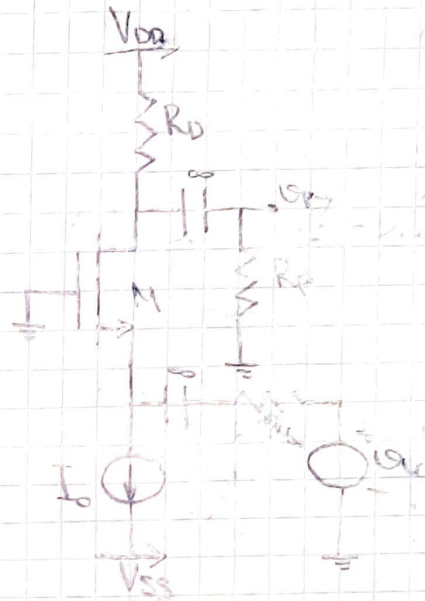
$$I_D = I_S = I_0 = 500\mu\text{A}$$

$$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{\beta}} + V_T = 2\text{V}$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = -2\text{V}$$

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D = 5\text{V}$$



$$g_m = \sqrt{2\beta I_D} = 2\text{mS}$$

$$v_p = -g_m v_{gs} R_{D||P}$$

$$v_{gs} = -v_s = -(v_u + g_m v_{gs} R_1)$$

$$v_{gs} = -v_u - g_m v_{gs} R_1$$

$$v_{gs} = \frac{-v_u}{1 + g_m R_1}$$

$$v_p = \frac{g_m v_u R_{D||P}}{1 + g_m R_1}$$

$$a = \frac{g_m R_{D||P}}{1 + g_m R_1} = \frac{2\text{mS} \cdot 15\text{k}\Omega}{1 + 0,25}$$

$$a = \frac{7,5}{1,25} = 6$$

**Ru**  $R_u = \frac{v_t}{i_t}$   $i_t = -g_m v_{gs}$

$$v_{gs} = -v_s = -(v_t + g_m v_{gs} R_1) \quad v_t = -v_{gs} (1 + g_m R_1)$$

$$R_u = \frac{1}{g_m} + R_1 = 1250\Omega$$

**Ri**  $v_{gs} = -v_s = g_m v_{gs} R_1 \Rightarrow v_{gs} = 0 \Rightarrow R_i = R_D = 10\text{k}\Omega$

97) У ајанавачку са струке, параметри транзистора су  $V_T = 1V$ ,  $\beta = 1 \frac{mA}{V^2}$ , гок је  $V_{DD} = 5V$ ,  $R_1 = 128k\Omega$ ,  $R_3 = 1k\Omega$  и  $R_P = 20k\Omega$ . Одредити:

- Одговори на  $R_2$  тако да једнакмерну напон на抄у дуге  $V_S = \frac{V_{DD}}{2}$ ;
- тавачко одговоре  $a = \frac{V_P}{V_U}$
- $R_U$  и  $R_I$  кгу бугу одговара.

DC

$$V_D = V_{DD}$$

$$I_D = \frac{\beta}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_S = I_D R_3 = I_D R_3$$

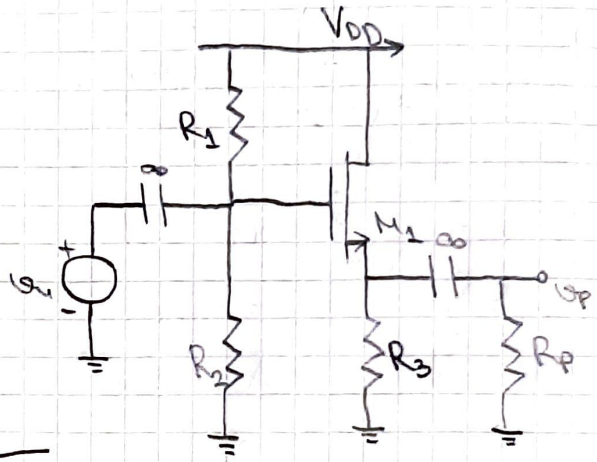
$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD}$$

$$V_S = V_G - V_{GS}$$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{\beta}} + V_T = \sqrt{\frac{2V_S}{\beta R_3}} + V_T$$

$$V_{GS} = \sqrt{\frac{V_{DD}}{\beta R_3}} + V_T = 1,71V$$

$$\frac{V_{DD}}{2} = V_G - V_{GS} \quad V_G = 4,21V$$



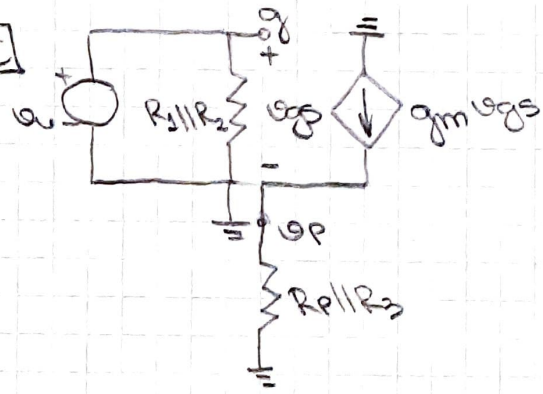
$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0,84$$

$$0,16R_2 = 0,84R_1$$

$$R_2 = 5,3 R_1 = 680k\Omega$$

$$I_D = 250\mu A$$

AC



$$g_m = \sqrt{2\beta I_D} = 0,7mS$$

$$U_P = U_S$$

$$U_{GS} = U_G - U_S = U_U - U_P$$

$$U_P = g_m U_{GS} R_{eff} R_3 = g_m (U_U - U_P) R_{eff} R_3$$

$$U_P = U_U \frac{g_m R_{eff} R_3}{1 + g_m R_{eff} R_3}$$

$$a = 0,825$$

$$\boxed{R_u} \quad R_u = \frac{v_t}{i_t} = \frac{v_t}{\frac{v_{gs}}{R_2 \parallel R_2}} = \frac{v_t}{\frac{v_t}{R_2 \parallel R_2}} = R_2 \parallel R_2$$

$$\boxed{R_i} \quad v_g = 0$$

$$v_{gs} = -v_s = -v_t$$

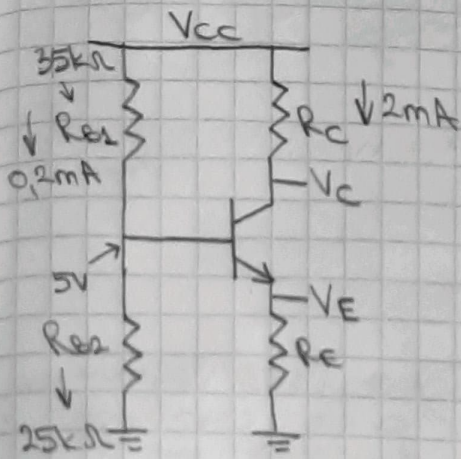
$$g_m v_{gs} + i_t - \frac{v_t}{R_3} = 0$$

$$-v_t g_m + i_t - \frac{v_t}{R_3} = 0$$

$$i_t = v_t \left( g_m + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$R_i = \frac{1}{g_m + \frac{1}{R_3}} = 1250 \Omega$$

# Прегабатве



$$V_{CC} = 12V$$

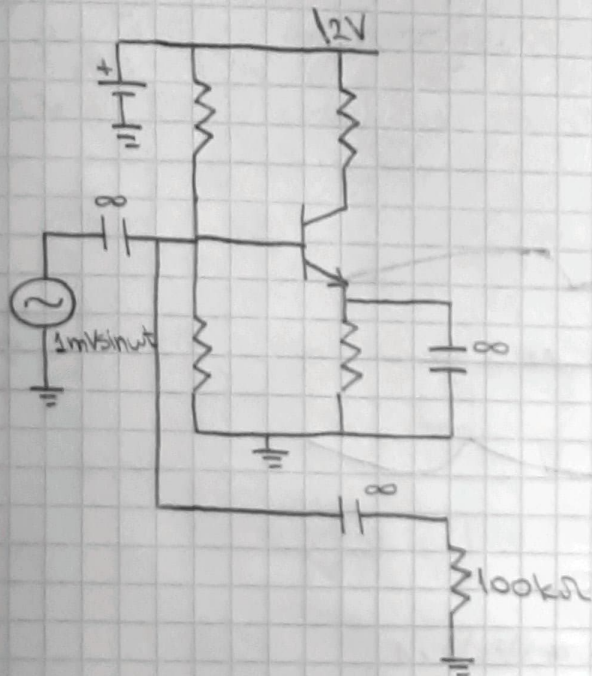
$$I_C \approx I_E = 2mA \rightarrow \text{уточнење због \beta}$$

$$V_C = \frac{2}{3} V_{CC} = 8V \quad V_E = \frac{1}{3} V_{CC} = 4V$$

$$\Rightarrow R_E = R_C = 2k\Omega$$

$$\beta = 100$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad \text{и} \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} \quad \text{се чини да је } r_{\pi} \text{ карактеристика}$$



$$r_{\pi} = 1,3k\Omega$$

$$f = 10^3 \text{ Hz}$$

$$|Z_c| \ll 1,3k\Omega \approx 1000\Omega$$

$$|Z_c| < 10$$

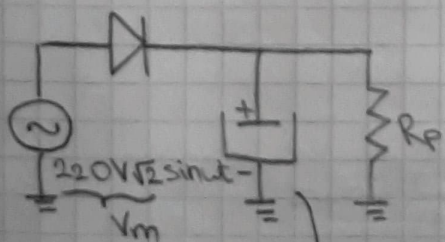
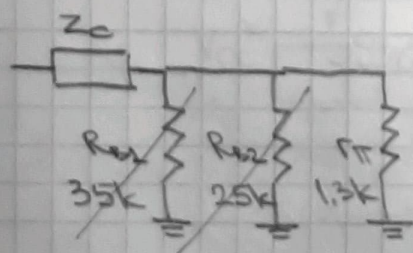
$$\left| \frac{1}{j\omega C} \right| < 10$$

$$\frac{1}{2\pi f C} < 10$$

$$C > \frac{1}{2\pi \cdot 10^3} = \frac{1}{2\pi} \cdot 10^{-4}$$

$$C > \frac{1}{2\pi} \cdot 100\mu F$$

$$C > 100\mu F$$



$$f = 50 \text{ Hz}$$

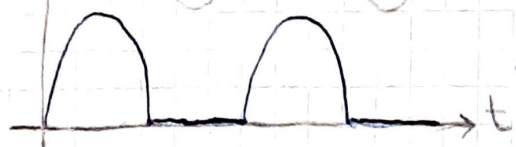
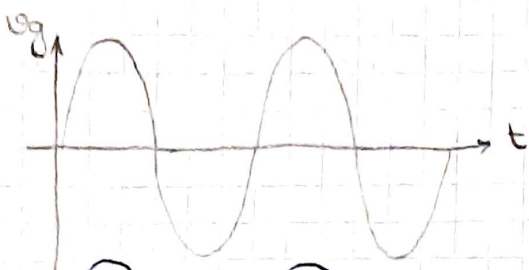
$$\omega = 100\pi \text{ rad/s}$$

једноставно усмеравање  
(полупроводник)

(од једног смера се не могу  
у једном смеру, већ само једно  
знака)

енергетички  
капацитет  
дужи је  $t_{ge}$  је +,  
а  $t_{ge}$  -

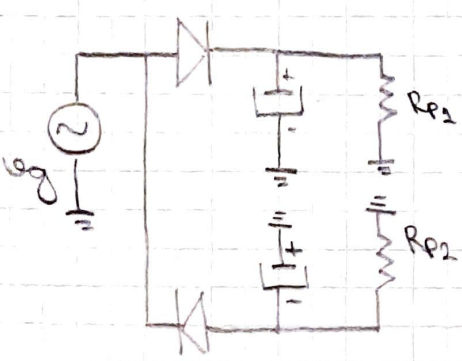
glodga tipu ywaa coto  
 zhuwvne bayu yepoge  
 kennyha halosa



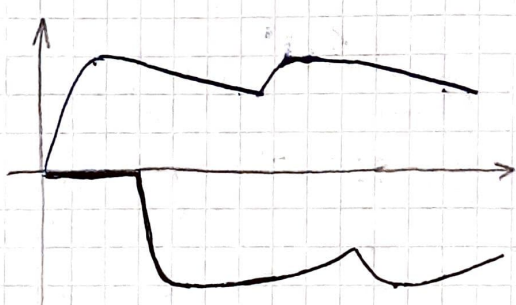
→ bez C



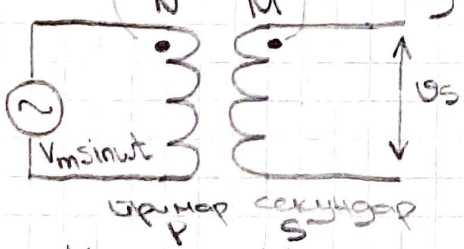
→ sa C (sobetraven C  
 kraynoba se chazhije  
 u odpraho)



jednosmerni (pauzatsani)  
 u prosu kalya shviti  
 neredymalni u zbor u  
 u nezadovolno jednosmerni



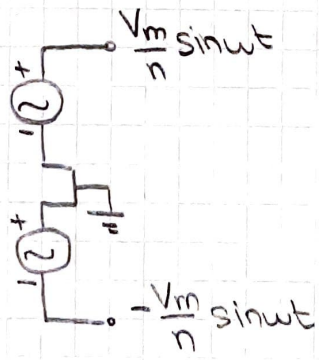
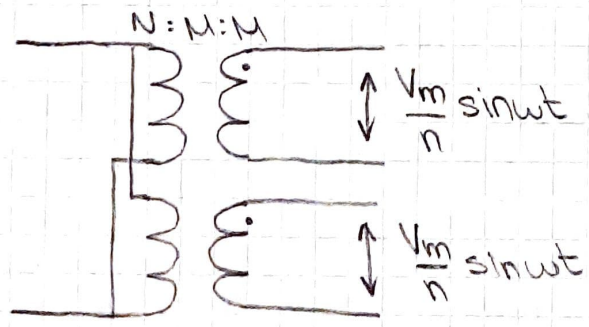
obstoyba q je  
 klyuchovaya  
 na uchu kraynu

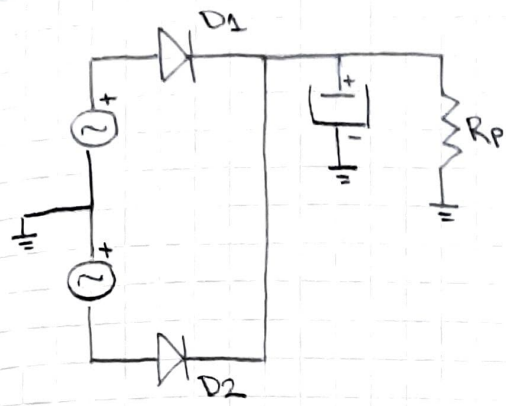


20:1  
 $N:M = n:1$

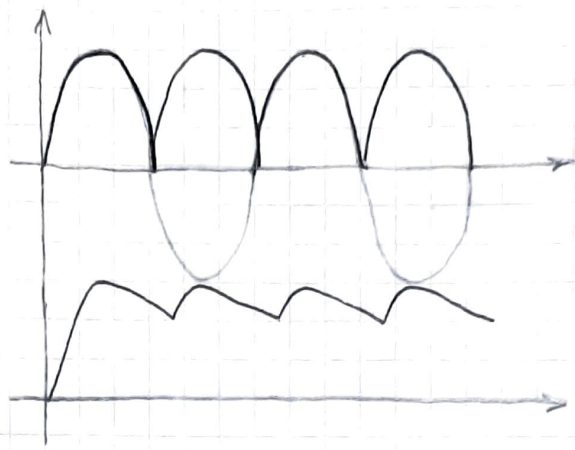
$U_s = \frac{V_m}{n} \sin wt$

$V_m = 300V, n = 20 \Rightarrow \frac{V_m}{n} = 15V$



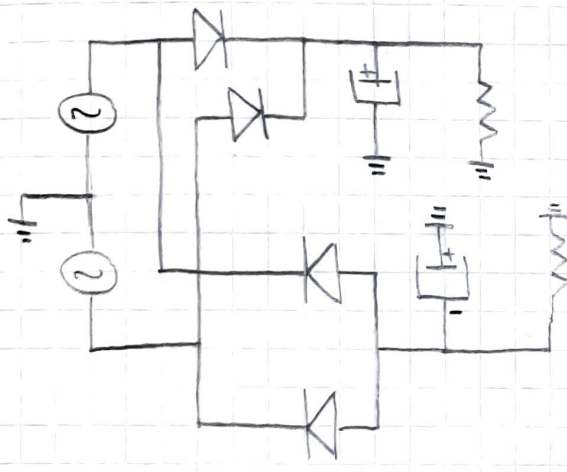


Полноволновое диодное устройство с обратной связью с средним значением

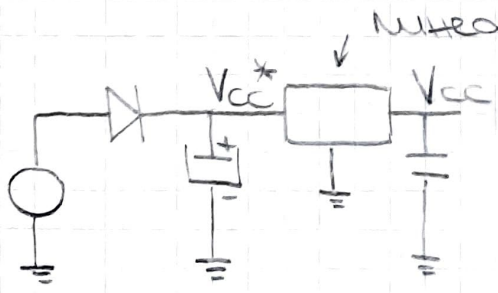
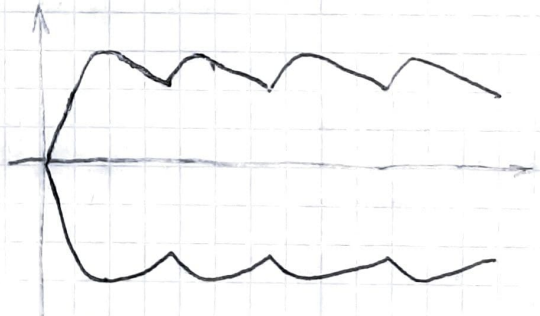


- генератор
- без C
- с C

(двухкратно чувствительности нето код симметричности усреднения)



Нерегулярный выход с зашумленностью и нестационарностью сигнала



Минимум амплитуды

Сигнал за подавление амплитуды на выходе каноническая средности при пренебрежении сопротивлением

Затем у нас 2 амплитуды сигнала тукта тоже оба у одного про- джа

