

IME I PREZIME _____

BR. INDEKSA _____

1	2	3	4	Σ

1. a) [2] Nacrtati najjednostavniji integrator sa idealnim operacionim pojačavačem i prekidačem za reset.

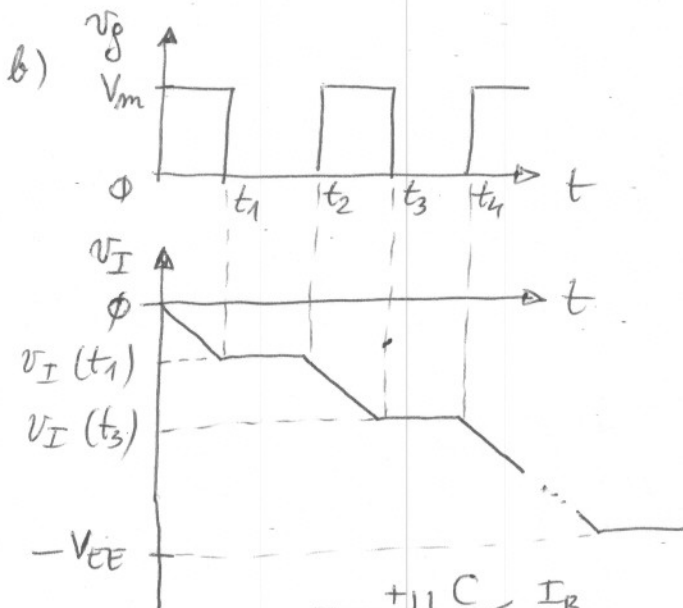
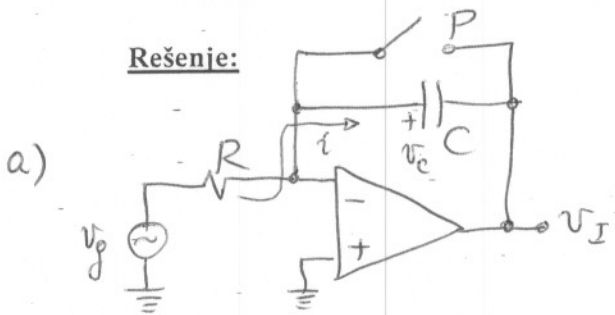
Izvesti izraz i nacrtati napon na izlazu integratora iz tačke a) u funkciji vremena, ako je u trenutku $t = 0^-$ kondenzator bio prazan, pri čemu pobudni generator:

b) [2] generiše povorku unipolarnih impulsa.

c) [3] je isključen, a ulazni npn tranzistori ulaznog stepena operacionog pojačavača su identični.

d) [3] je isključen, a naponski ofset operacionog pojačavača je V_{os} .

Rešenje:



$$v_I(t) = -v_c(t) \quad v_c(\phi) = \phi$$

$$i = \frac{v_g}{R} = C \frac{dv_c}{dt} \quad dv_c = \frac{v_g}{RC} dt$$

$$v_c(t) = v_c(\phi) + \frac{1}{RC} \int_0^t v_g(\tau) d\tau$$

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

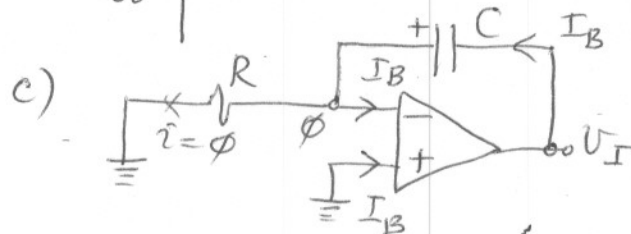
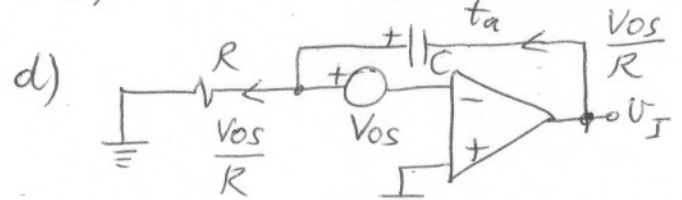
$$v_I(t_1) = -\frac{1}{RC} V_m t_1$$

$$v_I(t_2) = v_I(t_1)$$

$$v_I(t_3) = v_I(t_2) - \frac{1}{RC} V_m (t_3 - t_2)$$

$$v_I(t_4) = v_I(t_3)$$

$$v_I(t_b) = v_I(t_a) - \frac{1}{RC} \int_{t_a}^{t_b} v_g(\tau) d\tau$$



$$v_I(t) = -v_c(t) \quad v_c(\phi) = \phi$$

$$i_c = -I_B = C \frac{dv_c}{dt} \quad dv_c = -\frac{I_B}{C} dt$$

$$v_c(t) = v_c(\phi) - \frac{I_B}{C} t \quad v_I(t) = \frac{I_B}{C} t$$

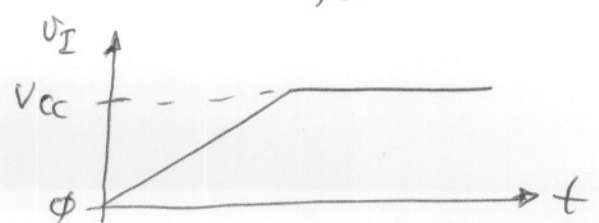


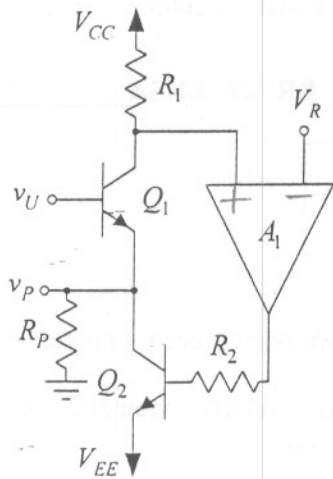
$$v_I(t) = -v_c(t) \quad v_c(\phi) = \phi$$

$$i_c = -\frac{V_{os}}{R} = C \frac{dv_c}{dt} \quad dv_c = -\frac{V_{os}}{RC} dt$$

$$v_c(t) = v_c(\phi) - \frac{V_{os}}{RC} t$$

$$v_I(t) = \frac{V_{os}}{RC} t$$





2. Parametri tranzistora u pojačavaču sa slike su: $V_{BE} = 0,6\text{V}$, $V_{CES} = 0,2\text{V}$, $\beta_F = \beta_0 = 100$ i $V_A \rightarrow \infty$. Operacioni pojačavač se napaja iz baterija $V_{CC} = -V_{EE} = 2,5\text{V}$ i može se smatrati idealnim, dok je: $R_2 = 10\text{k}\Omega$, $R_p = 1\text{k}\Omega$ i $V_R = 2\text{V}$.

- [1] Odrediti polaritet ulaznih priključaka operacionog pojačavača tako da u kolu bude ostvarena negativna povratna sprega. Smatrati da su oba tranzistora u direktnom aktivnom režimu.
- [3] Odrediti otpornost R_1 i vrednost ulaznog napona V_U tako da u mirnoj radnoj tački bude $V_p = 0$ i $I_{C1} = 2\text{mA}$.
- [3] U okolini mirne radne tačke odrediti otpornost R_i koju vidi potrošač R_p .
- [3] Odrediti i nacrtati zavisnost $v_p = f(v_U)$, $V_{EE} \leq v_U \leq V_{CC}$.

Rešenje:

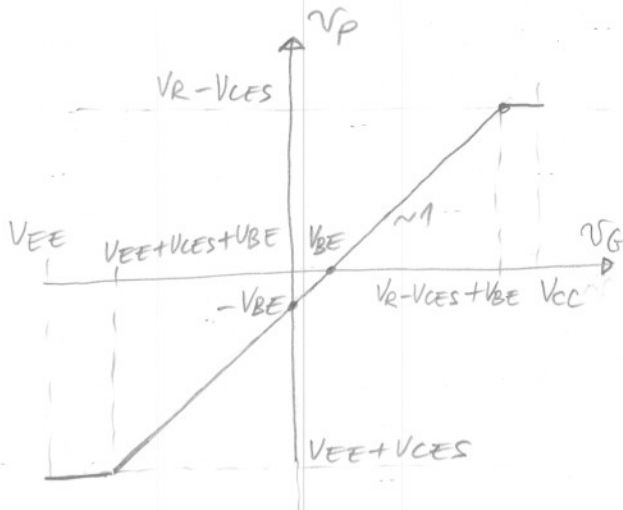
a) Videti sliku

$$b) I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_R}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{V_{CC} - V_R}{I_{C1}} = 250\Omega$$

$$V_U = V_p + V_{BE} = V_{BE} = 0,6\text{V}$$

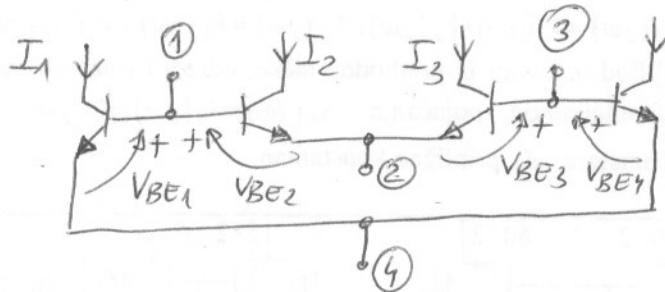
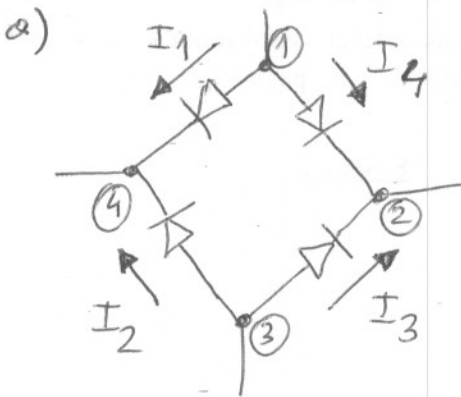
$$c) R_i = R_{i0} \frac{1 - \beta_{AKS}}{1 - \beta_{A0V}}, \beta_{AKS} = 0, \beta_{A0V} \rightarrow -\infty, R_{i0} = \frac{1}{g_{m1}} \Rightarrow R_i \rightarrow 0$$

d)



3. a) [2] Nacrtnati "A" (alternate) šemu pojačavačke ćelije sa naizmeničnim rasporedom pn spojeva sa diodama i sa bipolarnim tranzistorima.
 b) [3] Izvesti vezu između struja u granama šeme iz a).
 c) [2] Nacrtnati "B" (balanced) šemu pojačavačke ćelije sa balansiranim rasporedom pn spojeva sa diodama i sa bipolarnim tranzistorima.
 d) [3] Izvesti vezu između struja u granama šeme iz c).

Rešenje:

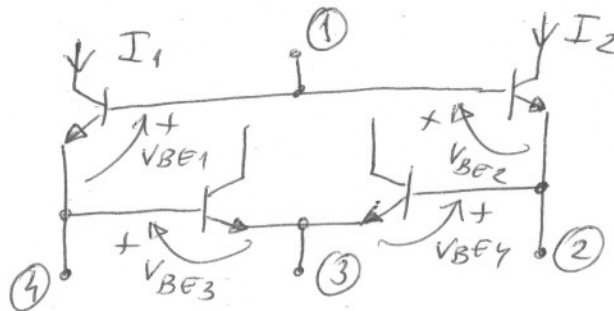
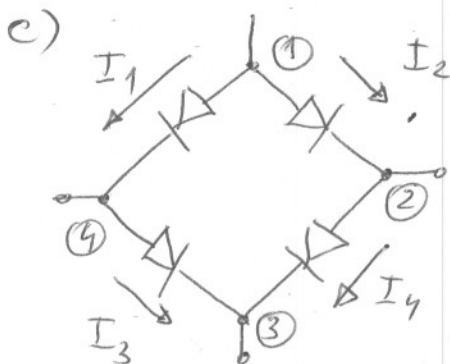


b) $V_{BE1} - V_{BE2} + V_{BE3} - V_{BE4} = \phi$

$$V_T \ln \frac{I_1}{I_{S1}} + V_T \ln \frac{I_3}{I_{S3}} = V_T \ln \frac{I_2}{I_{S2}} + V_T \ln \frac{I_4}{I_{S4}}$$

$$\ln \frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} = \ln \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}} \quad \frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} = \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}}$$

Ako $I_{S1} = I_{S3} = I_{S2} = I_{S4}$ $I_1 I_3 = I_2 I_4$



$$V_{BE1} + V_{BE3} = V_{BE2} + V_{BE4}$$

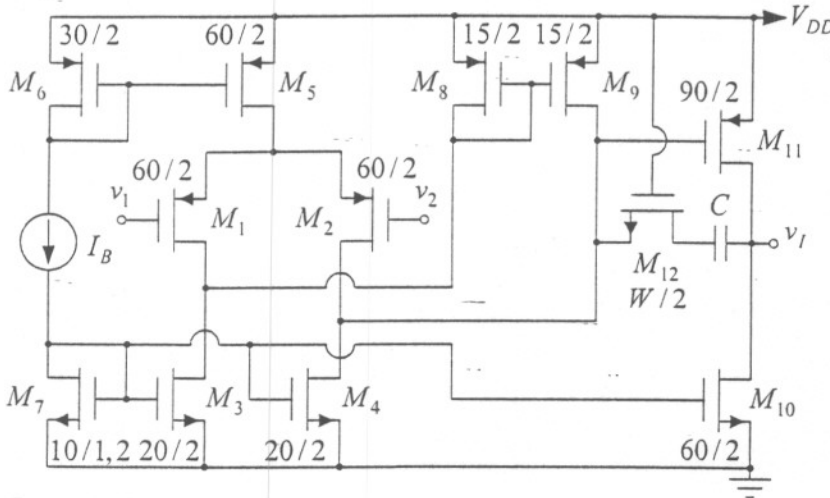
$$V_T \ln \frac{I_1}{I_{S1}} + V_T \ln \frac{I_3}{I_{S3}} = V_T \ln \frac{I_2}{I_{S2}} + V_T \ln \frac{I_4}{I_{S4}}$$

$$\ln \frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} = \ln \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}} \quad \frac{I_1 I_3}{I_{S1} I_{S3}} = \frac{I_2 I_4}{I_{S2} I_{S4}}$$

Ako $I_{S1} = I_{S3} = I_{S2} = I_{S4}$ $I_1 I_3 = I_2 I_4$

4. Parametri tranzistora u pojačavaču sa slike su: $\mu_n C_{ox} = 24 \mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox} = 8 \mu A/V^2$, $V_{TN} = -V_{TP} = 0,75 V$ i $\lambda_n = 0,01 V^{-1}$ i $\lambda_p = 0,02 V^{-1}$. Na istoj slici je, pored svakog tranzistora, dat odnos širine i dužine kanala (u μm), dok je: $V_{DD} = 1,5 V$, $I_B = 5 \mu A$ i $C = 5 pF$.

- [3] Odrediti struje drejna svih tranzistora u mirnoj radnoj tački ($v_1 = v_2 = 0$). Zanimariti uticaj Earlyjevog efekta.
- [4] Odrediti širinu kanala W tranzistora M_{12} tako da diferencijalno pojačanje $A_d(j\omega) = V_i(j\omega)/V_d(j\omega)$, $V_d(j\omega) = V_2(j\omega) - V_1(j\omega)$ bude jednopolna funkcija.
- [3] Pod uslovom iz prethodne tačke, odrediti i nacrtati asimptotsku amplitudsku karakteristiku diferencijalnog pojačanja $A_d(j\omega) = V_i(j\omega)/V_d(j\omega)$. Smatrati da je potencijal drejna tranzistora M_5 približno konstantan.



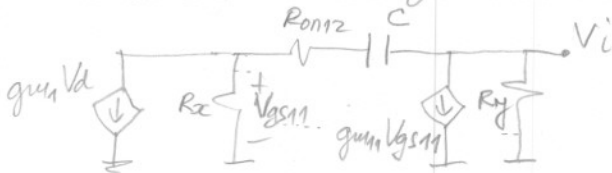
Rešenje:

a) $I_{D5} = 2I_{D6} = 2I_B = 10 \mu A$,
 $I_{D1,2} = I_{D5}/2 = I_B = 5 \mu A$,
 $I_{D3,4} = 1,2I_B = 6 \mu A$, $I_{D7} = I_B$,
 $I_{D8,9} = I_{D3,4} - I_{D1,2} = 0,2I_B = 1 \mu A$,
 $I_{D10} = 3,6I_B = 18 \mu A$, $I_{D11} = I_{D10} = 18 \mu A$
 i $I_{D12} = 0$

b) Nula koju unosi kondenzator C nalazi se na učestanosti $\omega_z = \frac{1}{C(R_{on12} \parallel \frac{1}{g_{m11}})}$, gde je R_{on12} otpornost između drejna i sorsa tranzistora M_{12} koji je u ovoj oblasti $R_{on12} = \frac{1}{\beta_2(V_{GS12} - V_T) \beta_2(V_{GS11} - V_T)}$

Pošto je $g_{m11} = \beta_{11}(V_{GS11} - V_T) \Rightarrow R_{on12} = \frac{1}{g_{m11}} \Rightarrow \beta_{11} = \beta_{12}$
 $\Rightarrow (W/L)_{12} = \frac{1}{3} (W/L)_{11} \Rightarrow W = \frac{30 \mu m}{3} = 10 \mu m$

c) Šema za male signale



$R_x = r_{ds9} \parallel r_{ds4} \parallel r_{ds2}$
 $R_y = r_{ds10} \parallel r_{ds11}$

• pojačanje na niskim učestanostima je

$a_d = |A_d(j\omega)|_{\omega \rightarrow 0} = g_{m12} \cdot R_x \cdot g_{m11} R_y = 5,74 \cdot 10^4$

• učestanost pola je, $\omega_p = \frac{1}{C R_d}$, gde je $R_d = R_x + R_{on12} + R_y(1 + g_{m11} R_x)$

$\Rightarrow \omega_p = 169,7 \text{ rad/s} \Rightarrow A_d(j\omega) = \frac{a_d}{1 + j\omega/\omega_p}$

