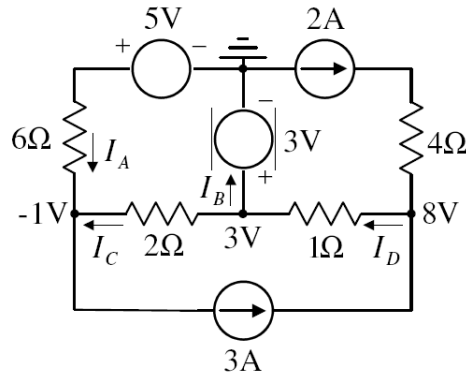


REŠENJA

1.

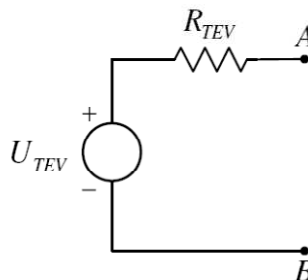
a) Traženi potencijali su prikazani na sledećoj slici:



b) $I_A = 1A$, $I_B = 3A$, $I_C = 2A$, $I_D = 5A$, $P_{2A} = 32W$, $P_{3A} = 27W$.
 $P_{3V} = -9W$, $P_{5V} = 5W$, $P_{2\Omega} = 8W$.

2.

a) $U_{TEV} = 5V$; $R_{TEV} = 5\Omega$.



b) $P_{1V} = -0,5W$.

3. Ako je ulazni napon $v_U > 0$ i ima dovoljno veliku vrednost, redna veza Zener dioda D_{Z1} i D_{Z2} će biti provodna. Dioda D_{Z1} će provoditi kao direktno polarisana obična dioda, dok će dioda D_{Z2} raditi u Zenerovom probroju. Dioda D će biti neprovodna. Tada napon na izlazu ima vrednost

$$v_I = V_Z + V_D = 5V.$$

Smanjivanjem vrednosti ulaznog napona najpre će doći do prestanka provođenja Zener diode D_{Z2} pa samim tim i diode D_{Z1} koja je povezana s njom na red, te u kolu neće provoditi ni jedna dioda i izlazni napon je jednak ulaznom

$$v_I = v_U.$$

Do prestanka provođenja Zener dioda dolazi kada ulazni napon padne na vrednost

$$v_{U1} = V_Z + V_D = 5V.$$

Takva situacija važi sve dok ulazni napon ne dostigne vrednost koja je potrebna da dioda D bude direktno polarisana tj. kada prelazi u provodno stanje. Dioda D prelazi u provodno stanje pri

$$v_{U2} = -V_D = 0V.$$

Kada dioda D provodi a diode D_{Z1} i D_{Z2} ne provode, napon na izlazu je

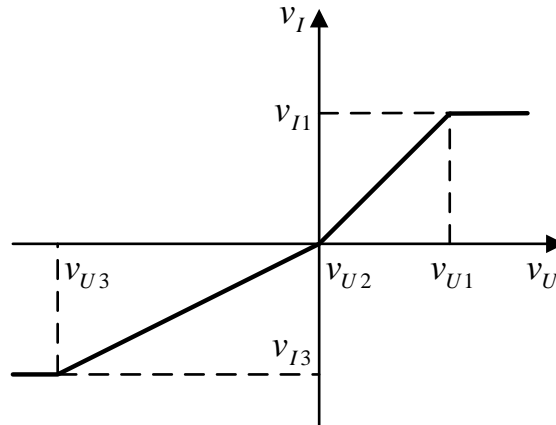
$$v_I = -V_D - \frac{-V_D - v_U}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{v_U}{2}.$$

Kada ulazni napon dostigne vrednost

$v_{U3} = 2(-V_Z - V_D) = -10 V$,
 dioda D_{Z1} će ući u oblast Zenerovog proboja dok će dioda D_{Z2} provoditi kao direktno polarisana obična dioda. Napon na izlazu tada ima minimalnu vrednost koja iznosi

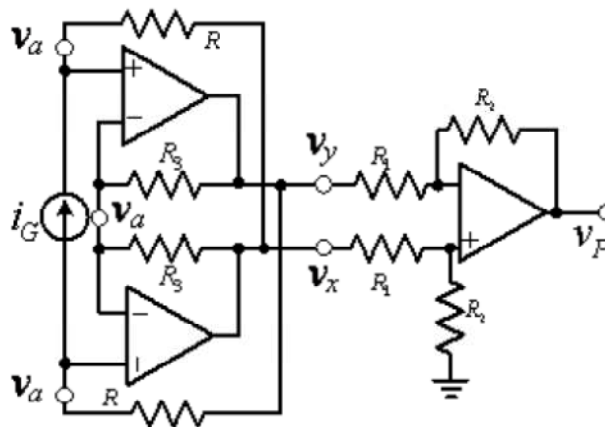
$$v_{I3} = -V_Z = -5 V.$$

Karakteristika prenosa kola sa slike prikazana je na slici 3.



Slika 3

4.



Očigledno je da su svi pojačavači sa NPS i da je potencijal na svim ulaznim priključcima prva dva pojačavača jednak. Naka je označen sa v_a .

Potencijali v_x i v_y su posledica pada napona na R koji pravi generator i_G :

$$v_x = v_a - R \cdot i_G, \quad v_y = v_a + R \cdot i_G.$$

Napon na izlazu je razlika $v_x - v_y$

pojačana idealnim diferencijalnim pojačavačem pojačanja R_2/R_1 :

$$v_P = (R_2/R_1) \cdot (v_x - v_y) = -2 (R_2/R_1) \cdot R \cdot i_G$$

5. a) U odsustvu naizmeničnog pobudnog signala v_g u kolu sa slike zadatka 5 teku jednosmerne struje i uspostavljeni su jednosmerni naponi. Kolo se može pojednostaviti primenom Tevenenove teoreme na način kao što je prikazano na slici 5.1. Parametri ekvivalentnog Tevenenovog generatoru su

$$V_{TT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (-V_{CC}) = -6 V,$$

$$R_{TT} = R_1 || R_2 = 3.75 k\Omega.$$

Kako po uslovu zadatka napon na izlazu treba da bude jednak nuli, struja koja teče kroz otpornik R_C predstavlja kolektorsku struju

$$I_C = \frac{V_{CC}-0}{R_C} = \frac{V_{CC}}{R_C} = 4 \text{ mA.}$$

Uz pretpostavku da tranzistor radi u aktivnom režimu, struje baze i emitora su

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 80 \text{ }\mu\text{A,}$$

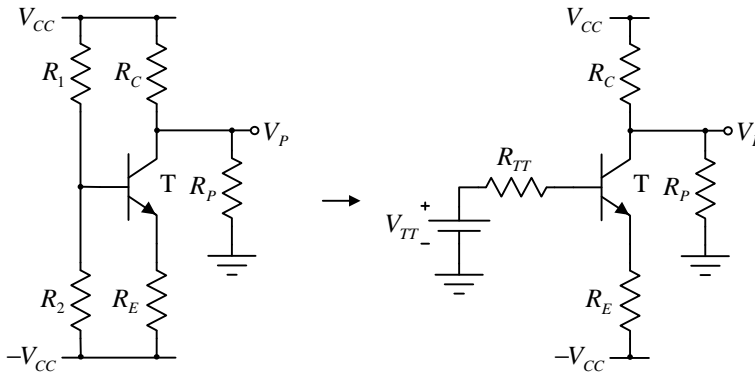
$$I_E = \frac{I_C}{\beta} (1 + \beta) = 4.08 \text{ mA.}$$

Za kolo sa ekvivalentnim Tevenenovim generatorom sa slike 5.1 se može pisati

$$V_{TT} - R_{TT}I_B - V_{BE} - R_E I_E = -V_{CC},$$

odakle se dobija tražena otpornost

$$R_E = \frac{V_{TT}+V_{CC}-R_{TT}I_B-V_{BE}}{I_E} = 1.23 \text{ k}\Omega.$$

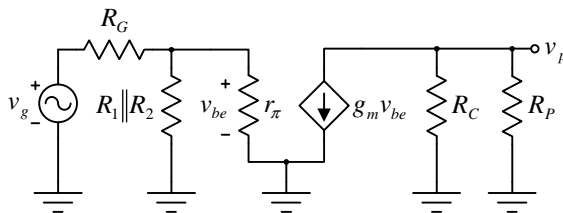


Slika 5.1

b) Ekvivalentno kolo pojačavača za male signale u kome je tranzistor zamenjen uprošćenim hibridnim π modelom, prikazano je na slici 5.2. Parametri tranzistora u modelu za male signale u mirnoj radnoj tački su

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 160 \text{ mS,}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 312.5 \text{ }\Omega.$$



Slika 5.2

Za kolo sa slike 5.2 može se pisati

$$v = -g_m v_{be} R_C \parallel R_P,$$

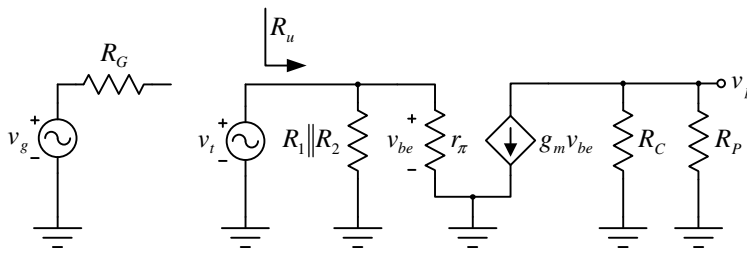
$$v_{be} = \frac{r_\pi \parallel R_1 \parallel R_2}{R_G + r_\pi \parallel R_1 \parallel R_2} v_g,$$

te je

$$A_v = \frac{v_p}{v_g} = -\frac{r_\pi \parallel R_1 \parallel R_2}{R_G + r_\pi \parallel R_1 \parallel R_2} g_m R_C \parallel R_P = -3.41$$

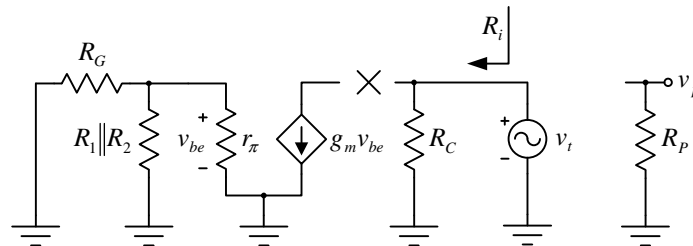
Na slici 5.3 je prikazano ekvivalentno kolo za određivanje ulazne otpornosti pojačavača. To je otpornost koju „vidi“ test generator v_i . Na osnovu slike 5.3 se može pisati

$$R_u = R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi = 288 \text{ }\Omega.$$



Slika 5.3

Za iznalaženje izlazne otpornosti pojačavača nezavisni idealni naponski izvor v_g je kratkospojen a na izlaz pojačavača je povezan test generator v_t , kao što je prikazano na slici 5.4.



Slika 5.4

Izlazna otpornost koja se „vidi“ kada se gleda u kolektor je

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

Sa slike 5.4 se vidi da je u ovom slučaju struja zavisnog generatora jednaka nuli jer je $v_{be}=0$, pa je izlazna otpornost

$$R_i = R_C = 3 \text{ k}\Omega.$$

6. a) U MRT u kolu diferencijalnog pojačavača postoji simetrija. Jedna od posledica te simetrije jeste jednakost struja drejnova tranzistora M_1 i M_2 . Dakle, ukoliko odredimo struju tranzistora M_1 , to znači da smo odredili i struju tranzistora M_2 i obratno. Postavkom zadatka je zahtevano da u MRT izlazni napon bude jednak 3V. Iz ovog zahteva možemo odrediti struju drejna koristeći sledeću jednakost

$$V_{OUT} + I_{D2} R_D = V_{DD}$$

odakle sledi:

$$I_{D2} = \frac{V_{DD} - V_{OUT}}{R_D} = 1 \text{ mA}$$

Kao što smo već rekli, na osnovu simetrije važi da su struje drejnova tranzistora M_1 i M_2 u MRT jednake i iznose po 1mA. Na osnovu poznatih vrednosti struja drejnova, ova dva tranzistora, možemo odrediti i struju I_{SS} kroz otpornik R_{SS} . Vrednost ove struje data je izrazom:

$$I_{SS} = I_{D1} + I_{D2} = 2 \text{ mA}$$

Izraz za vrednost struje I_{SS} može se odrediti i na drugačiji način koristeći sledeću jednakost:

$$I_{SS} = \frac{V_S - V_{SS}}{R_{SS}}$$

gde je V_S potencijal sorsa tranzistora M_1 i M_2 . Iz prethodne formule jasno je da ukoliko odredimo potencijal sorsa ova dva tranzistora možemo odrediti otpornost R_{SS} jer su svi ostali parametri u prethodnoj formuli poznati. Dakle, sada treba da odredimo potencijal sorsa ova dva tranzistora.

Potencijali sorsa tranzistora M_1 i M_2 su jednaki jer su struje drejnova jednake i gejtovi oba tranzistora se nalaze na istom potencijalu ($V_{G1} = V_{G2} = V_G = 0$). Potencijal sorsa oba tranzistora (V_S) možemo odrediti koristeći jednakost

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

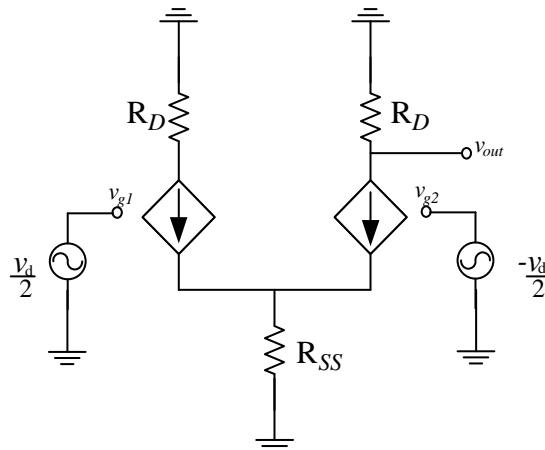
gde je V_{GS} jednako (na osnovu formule za struju drejna)

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{2I_D}{k_n}} = 4V$$

Dakle, potencijal sorsa iznosi -4V dok otpornost R_{SS} iznosi **2kΩ**

b) Na osnovu šeme za male signale (slika 6.1) jasno je da izraz za diferencijalno pojačanje iznosi:

$$A_d = \frac{g_{m2}R_D}{2}$$



c) Vrednost diferencijalnog pojačanja je $A_d = 5$.