

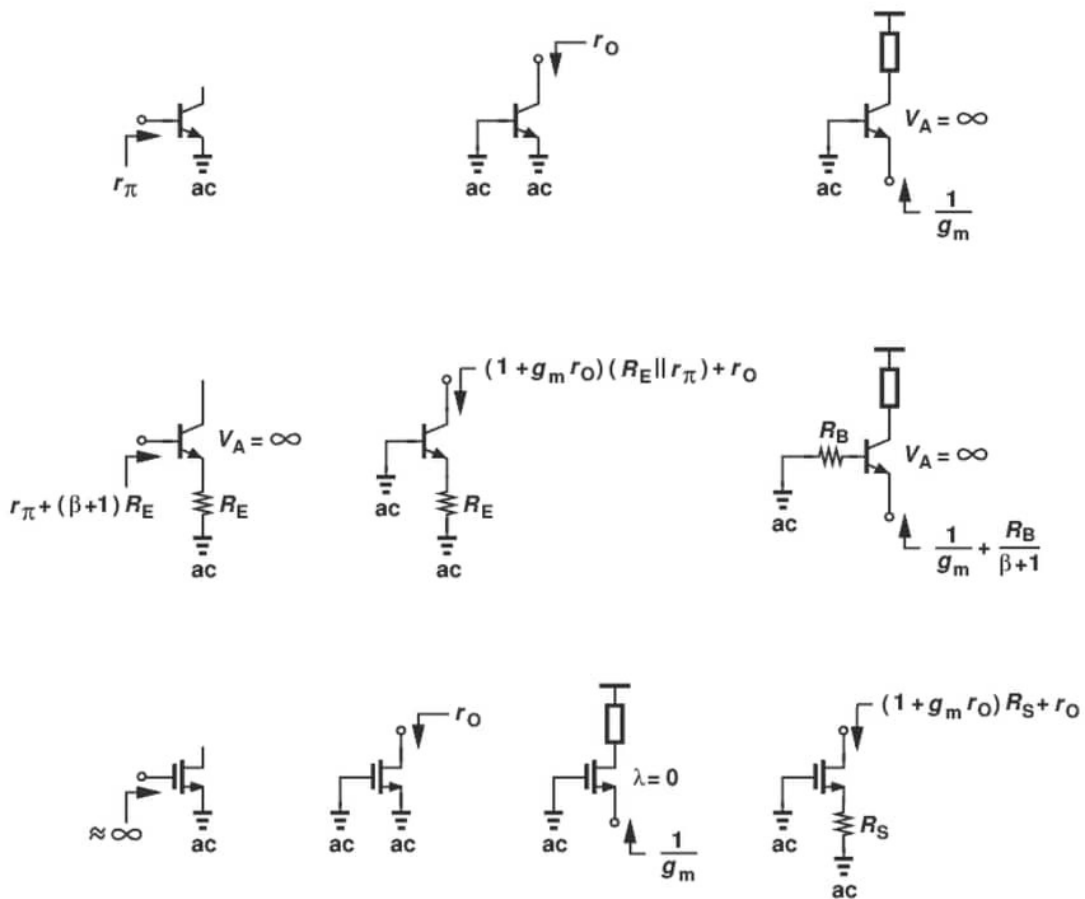
I. Impedanski pristup određivanju parametara pojačavača

1. Pojačavač je sastavljen isključivo od linearnih prijemnika i linearnih kontrolisanih naponskih generatora. Pojačavač ekvivalentirati aktivnim četveropolom sa odgovarajućom zamenskom šemom. Odrediti, od ulaza ka izlazu pojačavača, veze između

- (a) Naponskog pojačanja a_v , izlazne otpornosti R_{out} i transkonduktanse g_m pojačavača,
- (b) Strujnog pojačanja a_i , izlazne provodnosti G_{out} i transrezistanse r_m ovog pojačavača.

Rezultat: (a) $g_m R_{out} = a_v$ (b) $r_m G_{out} = a_i$.

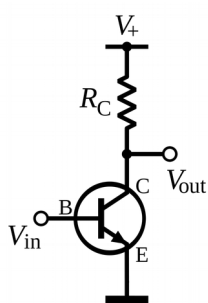
2. Dokazati označene ekvivalentne otpornosti koje se vide ka masi u mrežama prikazanim na slici¹. Tranzistori su ispravno polarisani, a otpornosti u bazi r_π i usled Earlyijevog efekta r_o su poznate. **Napomena:** Ove otpornosti treba zapamtiti (ili imati u vidu) prilikom daljeg rešavanja zadataka!



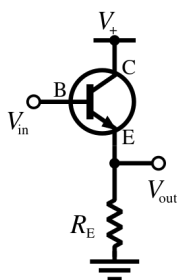
Slika 2. Tablica otpornosti.

¹ B Razavi – *Microelectronic circuits*, prva strana nakon naslovnice!

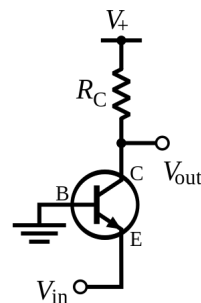
3. U pojačavačima sa slika smatrati da je polarizacija ispravno obavljena. Otpornosti u bazi r_π su poznate, transkonduktansa je g_m . Izračunati naponsko pojačanje, ulazne i izlazne otpornosti pojačavača. Razmotriti slučajeve otpornosti usled Earlyijevog efekta (a) $r_o = \infty$ i (b) $r_o < \infty$.



(i) CE



(ii) CC



(iii) CB

Rezultat:

(a)

(i) $a_v = -g_m R_C$, $R_{in} = r_\pi$, $R_{out} = R_C$

(ii) $a_v = \frac{(\beta+1)R_E}{(\beta+1)R_E + r_\pi}$, $R_{in} = r_\pi + (\beta+1)R_E$, $R_{out} = R_E \parallel \frac{r_\pi}{\beta+1}$

(iii) $a_v = R_C g_m$, $R_{in} = r_\pi / (\beta+1)$, $R_{out} = R_C$

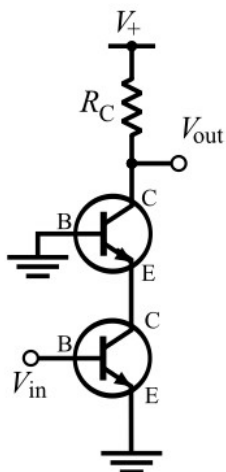
(b)

(i) $a_v = -g_m (R_C \parallel r_o)$, $R_{in} = r_\pi$, $R_{out} = R_C \parallel r_o$.

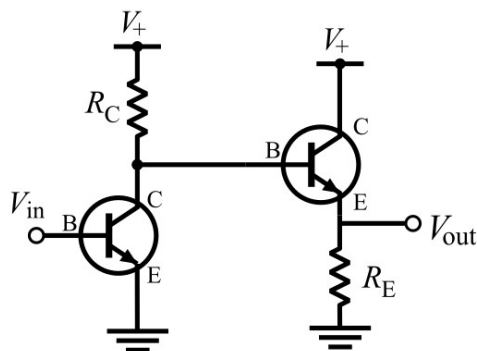
(ii) $a_v = \frac{(\beta+1)R_E \parallel r_o}{(\beta+1)R_E \parallel r_o + r_\pi}$, $R_{in} = r_\pi + (\beta+1)R_E \parallel r_o$, $R_{out} = R_E \parallel \frac{r_\pi}{\beta+1} \parallel r_o$

(iii), $a_v = \left(R_C \parallel \frac{1}{r_o} \right) \left(g_m + \frac{1}{r_o} \right)$, $R_{in} \approx r_\pi / (\beta+1)$, $R_{out} = R_C \parallel \frac{1}{r_o}$

4. U višestepenim pojačavačima sa slika a i b smatrati da je polarizacija ispravno obavljena. Izračunati naponsko pojačanje i izlaznu otpornost. Parametri tranzistora su r_π , g_m i r_o . Earlyjev efekat nije zanemarljiv, tranzistori **nisu** identični.



(a) Kaskodni pojačavač



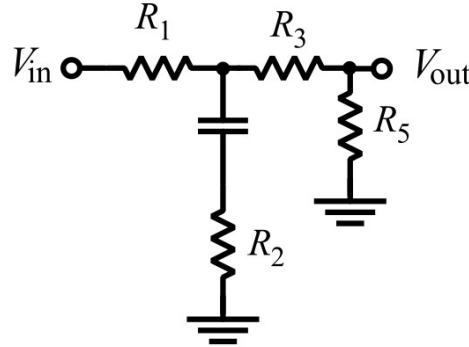
(b) Višestepeni pojačavač CE-CC

Rezultat:

(a) $a_v \approx g_{m2} R_C \parallel (r_{o2} + r_{o1}(1 + g_{m1})r_{o2})$, (b) $a_v = -g_{m1} [R_C \parallel ((\beta_2 + 1) R_E)] \cdot \frac{(\beta_2 + 1) R_E}{(\beta_2 + 1) R_E + r_{\pi 2}}$

II. Extra element theorem² (Divide and conquer)

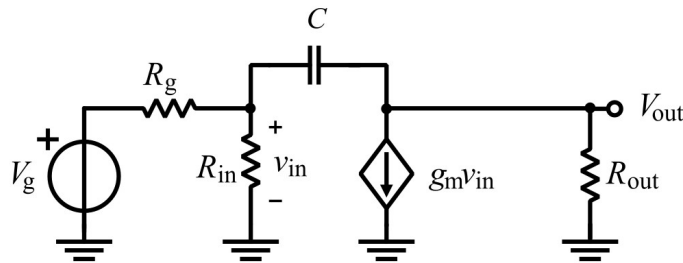
5. Primenom teoreme o dodatnom elementu, odrediti transfer funkciju $V_{out}(s)/V_{in}(s)$ za pasivnu mrežu sa slike.



Rezultat:

$$H(s) = \frac{R_5}{R_5 + R_3 + R_1} \cdot \frac{1 + s C R_2}{1 + s C [R_2 + R_1 \parallel (R_3 + R_5)]}$$

6. U aktivnoj mreži sa slike (a) odrediti učestanost pola i nule sa kojim kondenzator C doprinosi transfer funkciji kola $V_{out}(s)/V_{in}(s)$. (b) Ukoliko se kondenzator C zameni rednom vezom kondenzatora C i otpornika R , izračunati novu učestanost nule. (c) Pri kojoj vrednosti otpornosti R se ova nula pomera u beskonačnost?



Rezultat:

(a) $\omega_z = -g_m / C$, $\omega_p = (C [(R_g \parallel R_{in})(1 + g_m R_{out}) + R_{out}])^{-1}$

(b) $\omega_z = \left[C \left(R - \frac{1}{g_m} \right) \right]^{-1}$

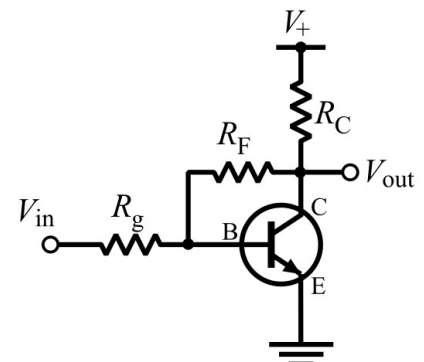
(c) $R = 1/g_m$

7. Na slici je nacrtan pojačavač sa povratnom spregom, izračunati njegovo pojačanje i izlaznu otpornost koristeći EET.

Rezultat:

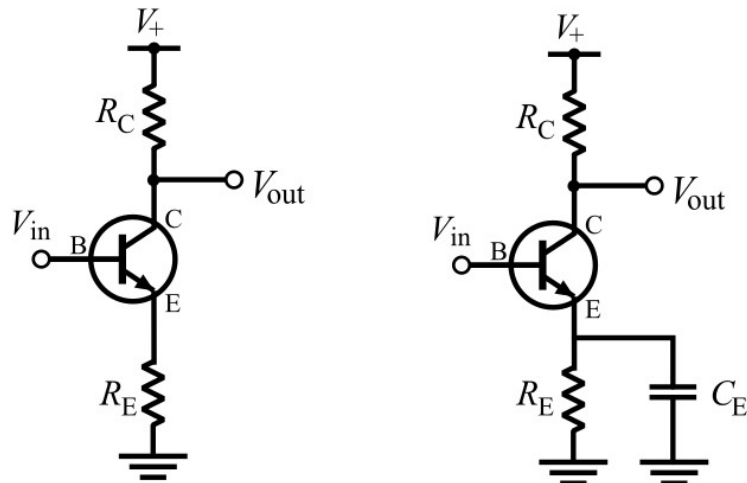
$$a_v = -\frac{r_{\pi} g_m R_C}{r_{\pi} + R_g} \cdot \frac{R_F - 1/g_m}{R_F + (R_g \parallel r_{\pi})(1 + g_m R_C)}$$

$$R_{in} = r_{\pi} \cdot \frac{R_F - 1/g_m}{R_F + r_{\pi}(1 + g_m R_C)}$$



2 R D Middlebrook – Null Double Injection and the Extra Element Theorem
Vorpérian, Vatché – Fast analytical techniques for electrical and electronic circuits

8. Na slikama su predstavljeni pojačavači sa zajedničkim emitorom sa emitorskom degeneracijom. Postepeno, uvođenjem jednog po jednog elementa, a polazeći od rezultata zadatka 3, izvesti izraze za naponska pojačanja ovih pojačavača. Za pojačavač (b) odrediti učestanost pola i nule.



(a) Degenerisani emitor

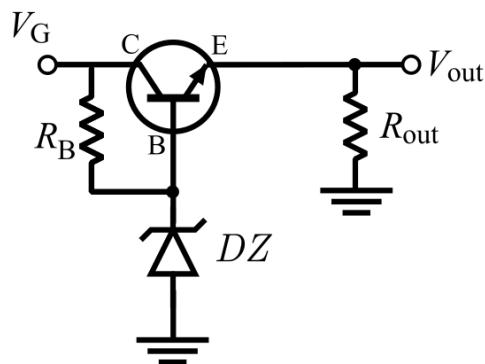
(b) Degenerisani emitor sa kondenzatorom

Rezultat:

$$(a) \quad a_v = \frac{g_m R_C r_\pi}{r_\pi + R_E (\beta + 1)}$$

$$(b) \quad a_v = a_v(s) = \frac{g_m R_C r_\pi}{r_\pi + R_E (\beta + 1)} \cdot \frac{1 + s C R_E}{1 + s C \left[R_E \parallel \left(\frac{r_\pi}{\beta + 1} \right) \right]}$$

9. U stabilizatoru napona koji je prikazan na slici poznato je R_{out} , V_Z , r_z , R_B , g_m , r_π . Napon pobudnog generatora je stalan $v_g = 0$. Ako je otpornost usled Earlyijevog efekta r_o izračunati izlaznu otpornost ovog stabilizatora.



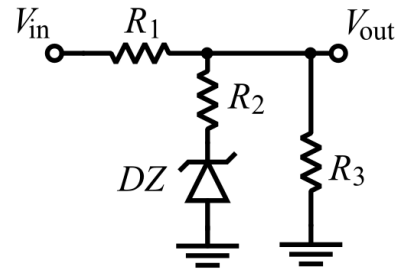
Rezultat:

$$R_{out} = \frac{r_\pi + r_z \parallel R_B}{\beta + 1} \cdot \frac{r_o}{r_o + \frac{r_\pi + R_B \parallel r_z}{\beta + 1}}$$

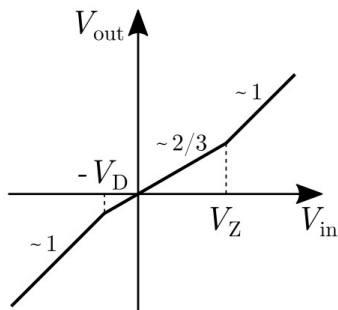
10. Polazeći od rezultata zadatka 3 u tački (a), izvesti izraze u tački (b) uvođenjem otpornosti r_o kao dodatnog elementa.

III. „Delta“ kolo

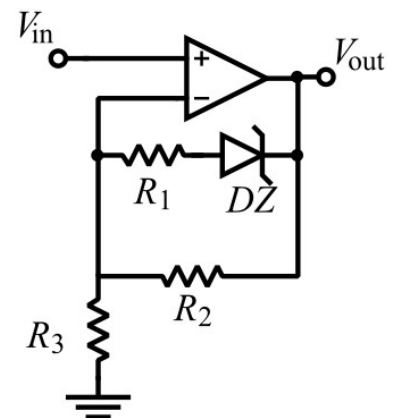
11. U kolu prikazanom na slici poznato je $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$ i parametri Zener diode $V_D = 0.6 \text{ V}$ i $V_Z = 5.6 \text{ V}$. Odrediti statičku prenosnu karakteristiku kola $V_{OUT} = V_{OUT}(V_{IN})$.



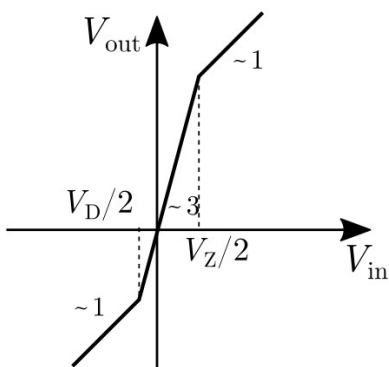
Rezultat:



12. U kolu sa sa slike operacioni pojačavač je idealan sa naponima napajanja $V_{CC} = +15 \text{ V}$ i $V_{EE} = -15 \text{ V}$. Otpornosti u kolu su $R_1 = R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ i $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$. Parametri Zener diode su $V_Z = 5.6 \text{ V}$ i $V_D = 0.6 \text{ V}$. Nacrtati statičku prenosnu karakteristiku ovog kola.



Rezultat:



13. U kolu dvostepenog pojačavača sa slike, odrediti (a) minimalnu i (b) maksimalnu vrednost napona na prijemniku pri kome su oba tranzistora u direktnom aktivnom režimu.

Rezultat:

- (a) $V_{p, \min} = -V_{BE1} - V_{BE2} + V_{CES2} + (V_{CC} - R_3 I_{C2})$
 (b) $V_{p, \max} = (R_3 || R_p) I_{C2}$.

