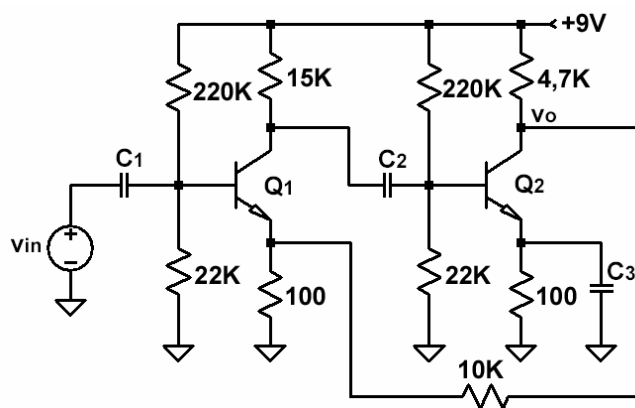


11.3 Για το κύκλωμα ενισχυτή δύο βαθμίδων, να βρεθεί το κέρδος τάσης και οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου. Για τα τρανζίστορ δίνονται $\beta_1 = \beta_2 = 100$, $r_o \rightarrow \infty$.

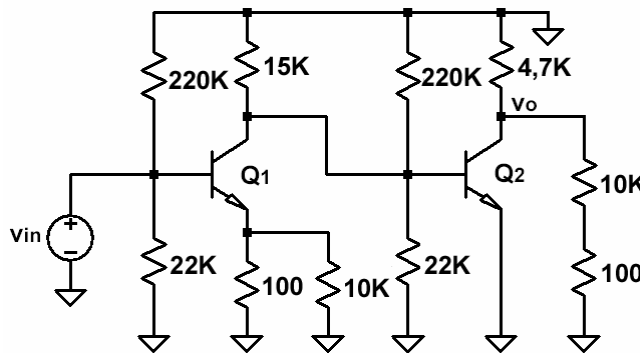


Το δυναμικό στη βάση των τρανζίστορ είναι ίσο με 0,818 V. Το ρεύμα εκπομπού των τρανζίστορ υπολογίζεται ως

$$I_E = \frac{0,818V - 0,7V}{100 + \frac{220k \parallel 22k}{101}} \approx 0,4mA$$

επομένως $r_{e1} = r_{e2} = 65 \Omega$.

Η αντίσταση ανάδρασης των $10 \text{ k}\Omega$ δειγματοληπτει την τάση εξόδου και προσθέτει το αποτέλεσμα σε σειρά με την είσοδο. Έχουμε επομένως τοπολογία ανάδρασης τάσης-σειράς. Για να υπολογίσουμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην είσοδο βραχυκυκλώνουμε την έξοδο οπότε η αντίσταση ανάδρασης $10 \text{ k}\Omega$ παραλληλιζείται με την αντίσταση εκπομπού του Q_1 . Για να βρούμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην έξοδο διακόπτουμε το ρεύμα στο βρόχο εισόδου οπότε οι αντιστάσεις R_f και R_{E1} συνδέονται σε σειρά με τον κόμβο εξόδου. Το ισοδύναμο κύκλωμα ανοιχτού βρόχου είναι το παρακάτω



Για τα τρανζίστορ εύκολα υπολογίζονται οι τιμές των αντιστάσεων προς τη βάση ως $z_{b1} = 16,56 \text{ k}\Omega$ και $z_{b2} = 6,57 \text{ k}\Omega$. Η αντίσταση εισόδου του 2^{ου} σταδίου είναι

$$z_{b2} = 220k \parallel 22k \parallel 6,57k = 4,95k\Omega$$

Το κέρδος τάσης του 1^{ου} και 2^{ου} σταδίου ενίσχυσης υπολογίζεται ως

$$A_1 = -\frac{15k \parallel 4,95k}{65 + 100 \parallel 10k} = -22,7$$

$$A_2 = -\frac{4,7k \parallel (10k + 100)}{65} = -49,3$$

Το κέρδος τάσης ανοιχτού βρόχου επομένως είναι

$$A_v = A_1 A_2 = (-22,7) \cdot (-49,3) = 1119 \quad (61dB)$$

Ο συντελεστής ανάδρασης είναι

$$\beta = \frac{100}{100 + 10k} = 0,0099$$

και ο λόγος επιστροφής $T = \beta A_V = 11,08$. Το κέρδος κλειστού βρόχου έχει την τιμή

$$A_{vf} = \frac{1}{0,0099} \cdot \frac{11,08}{1+11,08} = 92,65 \quad (39,3dB)$$

Η αντίσταση στη βάση του Q_1 $z_{b1} = 16,56 \text{ k}\Omega$ αυξάνεται λόγω της εφαρμογής ανάδρασης σε

$$z_{b1f} = (1+11,08) \cdot 16,56k = 200k\Omega$$

Η αντίσταση εισόδου του κυκλώματος είναι

$$z_{inf} = 220k \parallel 20k \parallel 200k = 18,2k\Omega$$

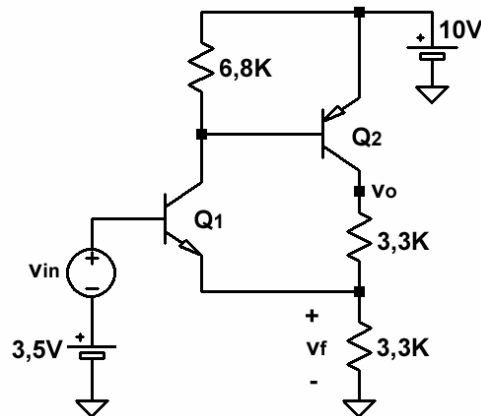
Η αντίσταση εξόδου ανοιχτού βρόχου έχει την τιμή

$$z_o = 4,7k \parallel (10k + 100) = 3207\Omega$$

Με την εισαγωγή ανάδρασης τάσης η αντίσταση εξόδου μειώνεται σε

$$z_{of} = \frac{3207}{1+11,08} = 265,5\Omega$$

11.4 Για το παρακάτω κύκλωμα ενισχυτή, να υπολογιστεί το κέρδος τάσης και οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου. Για τα τρανζίστορ δίνονται $\beta_1 = \beta_2 = 100$, $r_o \rightarrow \infty$.



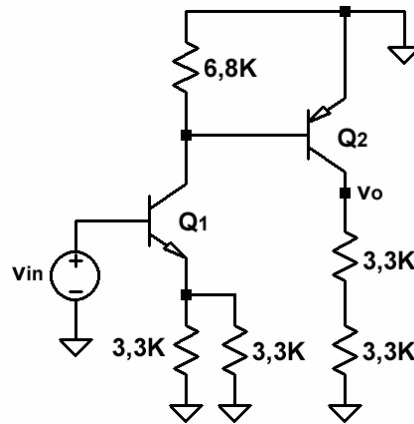
Τα ρεύματα συλλέκτη των τρανζίστορ υπολογίζονται ως

$$I_{C1} = \frac{0,7V}{6,8k} \approx 100\mu A$$

$$I_{C2} = \frac{3,5V}{3,3k} - 100\mu A = 750\mu A$$

από όπου υπολογίζουμε τις τιμές $r_{e1} = 260 \Omega$, $r_{e2} = 35 \Omega$, $z_{b2} = 3,53 \text{ k}\Omega$.

Η τάση εξόδου δειγματοληπτείται από το διαιρέτη τάσης των αντιστάσεων 3,3 kΩ και το σήμα ανάδρασης προστίθεται σε σειρά με την είσοδο. Έχουμε επομένως τοπολογία ανάδρασης τάσης-σειράς. Για να υπολογίσουμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην είσοδο βραχυκυκλώνουμε την έξοδο οπότε ο συνδυασμός αντιστάσεων 3,3k || 3,3k εμφανίζεται στον εκπομό του Q₁. Για να βρούμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην έξοδο διακόπτουμε το ρεύμα στο βρόχο εισόδου οπότε το ισοδύναμο κύκλωμα ανοιχτού βρόχου είναι όπως παρακάτω



Το κέρδος τάσης για τα τρανζίστορ Q₁ και Q₂ υπολογίζεται ως

$$A_1 = -\frac{6,8k \parallel 3,53k}{260 + 3,3k \parallel 3,3k} = -1,22$$

$$A_2 = -\frac{3,3k + 3,3k}{35} = -188,6$$

Το κέρδος τάσης ανοιχτού βρόχου επομένως είναι

$$A_V = A_1 A_2 = (-1,22) \cdot (-188,6) = 230$$

Ο συντελεστής ανάδρασης είναι

$$\beta = \frac{3,3k}{3,3k + 3,3k} = 0,5$$

και η τιμή του λόγου επιστροφής $T = \beta A_V = 115$. Το κέρδος κλειστού βρόχου έχει την τιμή

$$A_{Vf} = \frac{1}{0,5} \cdot \frac{115}{1+115} = 1,983$$

Η αντίσταση εισόδου στη βάση του Q₁ είναι

$$z_{in} = 101 \cdot (260 + 3,3k \parallel 3,3k) = 192,9k\Omega$$

και αυξάνεται λόγω της εφαρμογής ανάδρασης σε

$$z_{b1f} = (1 + 115) \cdot 192,9k = 22,4M\Omega$$

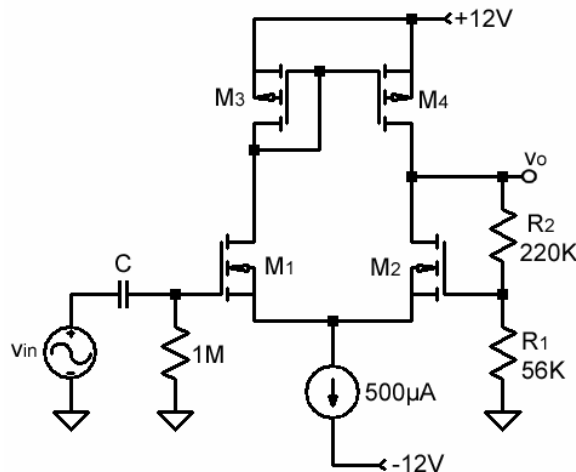
Η αντίσταση εξόδου ανοιχτού βρόχου έχει την τιμή

$$z_o = 3,3k + 3,3k = 6,6k\Omega$$

Με την εφαρμογή ανάδρασης τάσης η αντίσταση εξόδου μειώνεται σε

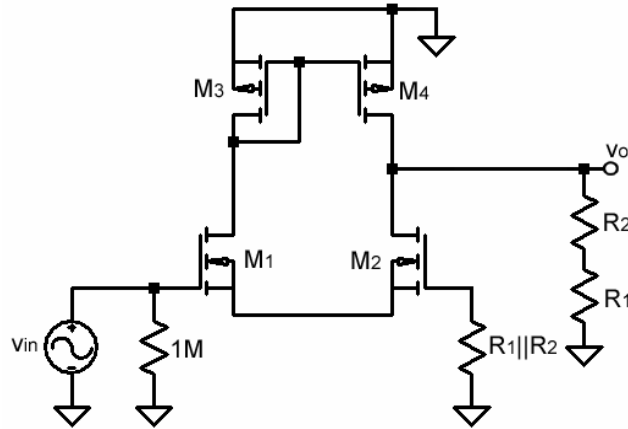
$$z_{of} = \frac{6,6k}{1 + 115} = 57,4\Omega$$

11.5 Για τον ενισχυτή του σχήματος να υπολογιστούν το κέρδος τάσης και οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου. Για τα MOSFET δίνονται $K_n = K_p = 0,05 \text{ A/V}^2$, $V_{TN} = 1,2 \text{ V}$, $V_{TP} = -1,2 \text{ V}$, $\lambda_N = 0,1 \text{ V}^{-1}$, $\lambda_P = 0,15 \text{ V}^{-1}$.



Το dc ρεύμα σε κάθε σκέλος του διαφορικού ενισχυτή είναι ίσο με $250 \mu\text{A}$. Από τις παραμέτρους των MOSFET υπολογίζουμε $g_{mN} = g_{mP} = 7,07 \text{ mS}$, $r_{oN} = 40 \text{ k}\Omega$, $r_{oP} = 26,7 \text{ k}\Omega$.

Η τάση εξόδου δειγματοληπτείται από το διαιρέτη τάσης των αντιστάσεων R_1 και R_2 και το σήμα ανάδρασης προστίθεται στο βρόχο εισόδου. Έχουμε επομένως τοπολογία ανάδρασης τάσης-σειράς. Για να υπολογίσουμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην είσοδο βραχυκυκλώνουμε την έξοδο οπότε ο συνδυασμός αντιστάσεων $R_1 \parallel R_2$ εμφανίζεται στην πύλη του M_2 . Για να βρούμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην έξοδο διακόπτουμε το ρεύμα στο βρόχο εισόδου οπότε ο συνδυασμός αντιστάσεων $R_1 + R_2$ εμφανίζεται παράλληλα με την έξοδο. Το ισοδύναμο κύκλωμα ανοιχτού βρόχου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Το ρεύμα στην εκροή του M_1 είναι ίσο με $i_{d1} = g_{m1}v_{in}$. Λόγω του καθρέφτη αυτό το ρεύμα καθρεφτίζεται και στην εκροή του M_2 . Είναι

$$v_o = i_{d2} [r_{o2} \parallel r_{o4} \parallel (R_1 + R_2)] = g_{m1} [r_{o2} \parallel r_{o4} \parallel (R_1 + R_2)] v_{in}$$

Το κέρδος τάσης ανοιχτού βρόχου ισούται με

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{v_o}{v_{in}} = g_{m1} [r_{o2} \parallel r_{o4} \parallel (R_1 + R_2)] \\ &= 7,07 \times 10^{-3} [40k \parallel 26,7k \parallel (56k + 220k)] = 106,8 \end{aligned}$$

Ο συντελεστής ανάδρασης είναι

$$\beta = \frac{56k}{56k + 220k} = 0,203$$

και επομένως $T = \beta A_v = 21,7$. Το κέρδος τάσης κλειστού βρόχου έχει την τιμή

$$A_{vf} = \frac{1}{0,203} \cdot \frac{21,7}{1 + 21,7} = 4,7$$

Η αντίσταση εισόδου προς την πύλη του M_1 είναι άπειρη και αυξάνεται με την εφαρμογή ανάδρασης. Επομένως η αντίσταση εισόδου είναι ίση με $1 \text{ M}\Omega$.

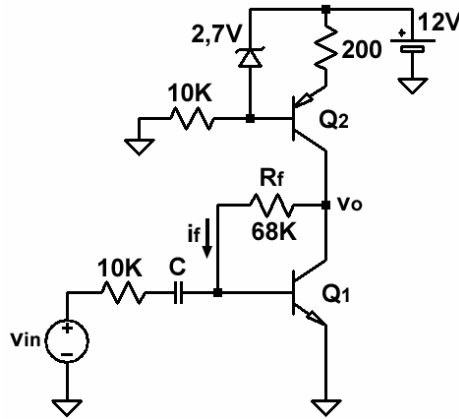
Η αντίσταση εξόδου ανοιχτού βρόχου έχει την τιμή

$$z_o = 40k \parallel 26,7 \parallel (56k + 220k) = 15,1k\Omega$$

Με την εφαρμογή ανάδρασης η αντίσταση εξόδου μειώνεται σε

$$z_{of} = \frac{15,1k}{1 + 21,7} = 665\Omega$$

11.6 Για τον ενισχυτή του σχήματος να υπολογιστούν η διαντίσταση κλειστού βρόχου, το κέρδος τάσης και οι τιμές των αντιστάσεων εισόδου και εξόδου. Θεωρείστε ότι τα τρανζίστορ έχουν κέρδος ρεύματος $h_{fe} = 100$ και τάση Early $V_A = 100V$.



Το ρεύμα που παρέχει η πηγή ρεύματος γύρω από το Q_2 έχει τιμή

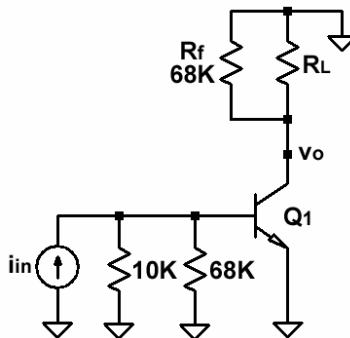
$$I_{C2} = I_{C1} = \frac{2,7V - 0,7V}{200} = 10mA$$

από όπου υπολογίζουμε τις τιμές $r_{e1} = r_{e2} = 26\Omega$ και $r_{o1} = r_{o2} = 10\text{ k}\Omega$.

Η αντίσταση R_f προσθέτει το σήμα ανάδρασης υπό τη μορφή ρεύματος παράλληλα στον κόμβο εισόδου. Επομένως έχουμε τοπολογία ανάδρασης τάσης-παράλληλα. Για τον υπολογισμό της διαντίστασης βρίσκουμε το κατά Norton ισοδύναμο της πηγής. Για να υπολογίσουμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην είσοδο του ενισχυτή βραχυκυκλώνω την έξοδο οπότε η αντίσταση R_f εμφανίζεται παράλληλα στη βάση του Q_1 . Για να βρούμε το φόρτο που προκαλεί η ανάδραση στην έξοδο βραχυκυκλώνουμε την είσοδο. Η αντίσταση R_f εμφανίζεται παράλληλα στην πηγή ρεύματος γύρω από το Q_2 . Το ισοδύναμο κύκλωμα ανοιχτού βρόχου φαίνεται παρακάτω

Η πηγή ρεύματος στο συλλέκτη του Q_1 ισοδυναμεί με φορτίο τιμής

$$R_L = [1 + g_{m2}(r_{\pi 2} \parallel R_{E2})]r_{o2} = [1 + 0,385(2,6k \parallel 200)]10k = 725k\Omega$$



Η αντίσταση στη βάση του Q_1 είναι ίση με $z_{bl} = 101 \cdot 2,6 = 263 \Omega$. Το ρεύμα στη βάση του τρανζίστορ υπολογίζεται ως

$$i_b = \frac{(10k \parallel 68k)}{(10k + 68k) + 263} i_m = 0,97 i_m \quad (1)$$

Η τάση εξόδου είναι

$$v_o = h_{fe} i_b \cdot (R_L \parallel R_f \parallel r_o) = 100 i_b (725k \parallel 68k \parallel 10k) = 861600 i_b \quad (2)$$

Συνδυάζοντας τις (1) και (2) η τιμή της διαντίστασης ανοιχτού βρόχου προκύπτει ως

$$R_m = \frac{v_o}{i_m} = 835,8k\Omega$$

Ο συντελεστής ανάδρασης υπολογίζεται ως

$$\beta = \frac{i_f}{v_o} = \frac{1}{68k\Omega}$$

Ο λόγος επιστροφής έχει την τιμή

$$T = \beta R_m = \frac{1}{68k\Omega} \cdot 835,8k\Omega = 12,3$$

Η διαντίσταση για τον ενισχυτή κλειστού βρόχου υπολογίζεται από τη σχέση

$$R_{mf} = 68k \cdot \frac{12,3}{1 + 12,3} = 62,9k\Omega$$

Η αντίσταση εισόδου του κυκλώματος υπολογίζεται ως

$$R_{in} = 68k \parallel 263 = 262\Omega$$

Η αντίσταση εισόδου μετά την εφαρμογή ανάδρασης ελαττώνεται στην τιμή

$$R_{inf} = \frac{262}{1 + 12,3} = 19,7\Omega$$

Η πηγή βλέπει αντίσταση εισόδου ίση με $10k + 19,7 = 10019,7 \Omega$. Η αντίσταση εξόδου έχει την τιμή

$$R_o = 725k \parallel 68k \parallel 10k = 8,62k\Omega$$

Μετά την εφαρμογή ανάδρασης η αντίσταση εξόδου ελαττώνεται σε

$$R_{of} = \frac{8,62k}{1+12,3} = 648\Omega$$

Για τον υπολογισμό του κέρδους τάσης γράφουμε

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{v_o}{i_{in} 10k} = \frac{62,9k}{10k} = 6,29$$