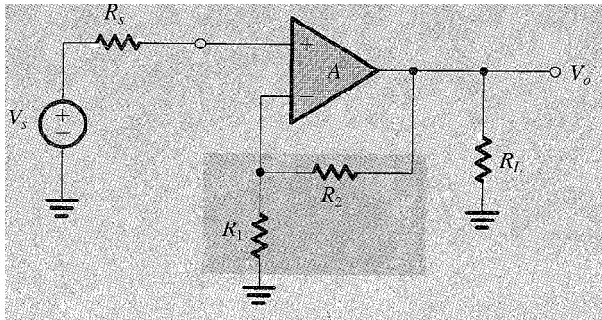


Ανατροφοδότηση

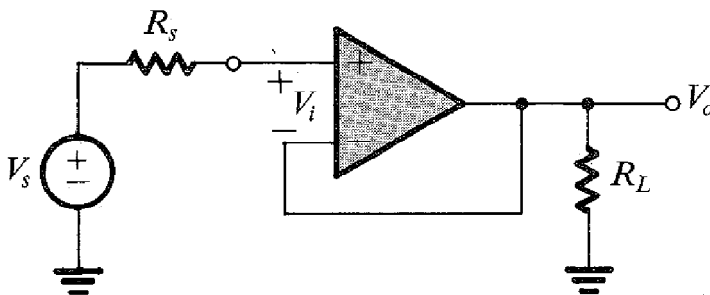
Ασκήσεις – Μέρος 1ο

Εκφωνήσεις

- I) Η μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία τελεστικού ενισχυτή που φαίνεται στο σχ.1 είναι μια άμεση εφαρμογή του γενικού βρόγχου ανάδρασης. Υποθέστε ότι ο τελεστικός ενισχυτής έχει άπειρη αντίσταση εισόδου και μηδενική αντίσταση εξόδου. Αν ο συντελεστής ανάδρασης είναι $R_1/(R_1+R_2)$ να βρείτε a) το λόγο R_2/R_1 για να επιτευχθεί κέρδος κλειστού βρόγχου 10 αν το κέρδος ανοιχτού βρόγχου είναι 100, b) ποιο είναι το ποσό της ανάδρασης σε db, c) Εάν $V_s=1V$ να βρεθούν V_o , V_f , και V_i , d) Ένα το κέρδος ανοιχτού βρόγχου μειωθεί κατά 20% ποια θα είναι αντίστοιχη μείωση του κέρδους κλειστού βρόγχου



- II) Επαναλάβετε την άσκηση I) για κέρδος τάσης κλειστού βρόγχου $A_f=100$ και $V_s=0.01V$
- III) Υποθέστε ότι ο τελεστικός ενισχυτής στο σχ.2 έχει άπειρη αντίσταση εισόδου και μηδενική αντίσταση εξόδου, ποιο είναι το β ; Αν $A=100$ ποιο το κέρδος τάσης κλειστού βρόγχου; Ποιο το ποσό ανάδρασης σε db; Για $V_s=1V$ να βρεθούν V_o και V_i , Αν το A μειωθεί κατά 10%, ποια είναι η αντίστοιχη μείωση του A_f

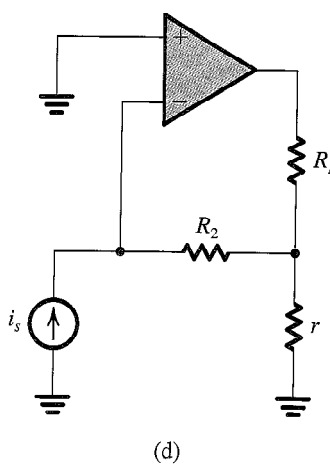
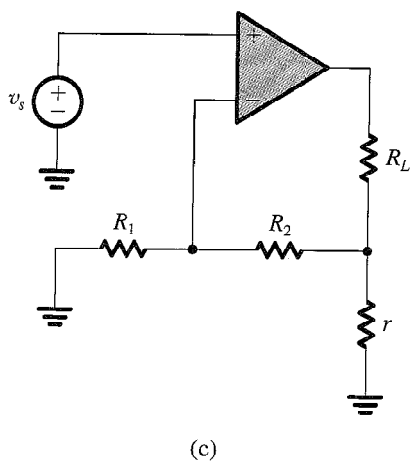
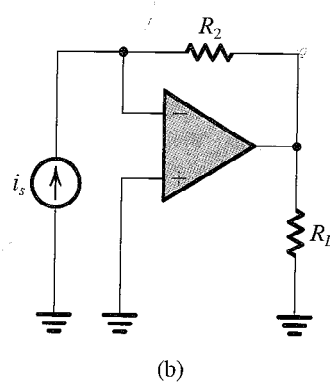
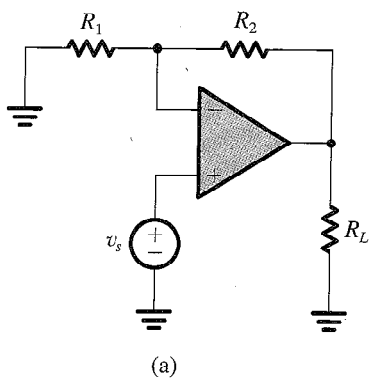


- IV) Να βρεθεί η απολαβή ανοιχτού βρόγχου, κλειστού βρόγχου και το ποσό της ανάδρασης για ενισχυτή τάσης στον οποίο το A_f και η ποσότητα $1/\beta$ διαφέρουν κατά a) 1%, b) 5%, c) 10%, d) 50%

-
- V) Για συγκεκριμένη σχεδίαση ενισχυτή, το βτου δικτύωματος ανάδρασης καθορίζεται από ένα γραμμικό ποτενσιόμετρο για το οποίο ισχύει ότι : $\beta=0$ όταν ο δρομέας του ποτενσιομέτρου είναι στο ένα άκρο, $\beta=0.50$ όταν είναι στην μέση και $\beta=1$ όταν είναι στο άλλο άκρο. Να βρεθούν οι τρεις τιμές της απολαβής κλειστού βρόγχου (για τις τρεις θέσεις ρύθμισης του ποτενσιομέτρου) όταν η απολαβή ανοιχτού βρόγχου είναι a) $1V/V$, b) $10V/V$, c) $100V/V$ d) $10000 V/V$
- VI) Απαιτείται η σχεδίαση ενός ενισχυτή με κέρδος 100 το οποίο θα διατηρείται με ακρίβεια 1%. Υπάρχουν διαθέσιμες ενισχυτικές βαθμίδες με κέρδος 1000 και ακρίβεια 30%. Προτείνετε ένα κύκλωμα που να χρησιμοποιεί τις ανωτέρω διαθέσιμες βαθμίδες με αρνητική ανάδραση κατάλληλου μεγέθους
- VII) Σε ενισχυτή με ανάδραση για τον οποίο $A=10000$ και $A_f=1000$, ποιος είναι ο παράγοντας απευαισθητοποίησης του κέρδους (gain desensitivity factor); Να βρεθεί το A_f με ακρίβεια και προσεγγιστικά σε δύο περιπτώσεις: a) Όταν το A μειώνεται κατά 10% και b) Όταν το A μειώνεται κατά 40%
- VIII) Ένας χωρητικά συζευγμένος ενισχυτής έχει κέρδος μέσης ζώνης 100, έναν μοναδικό πόλο υψηλών συχνοτήτων στα 10KHZ και έναν μοναδικό πόλο χαμηλών συχνοτήτων στα 100HZ. Γίνεται χρήση αρνητικής ανάδρασης και το κέρδος μέσης ζώνης μειώνεται στο 10. Ποια είναι η άνω και η κάτω συχνότητα -3db του κέρδους κλειστού βρόγχου;
- IX) Απαιτείται η σχεδίαση ενισχυτικής βαθμίδας με κέρδος κλειστού βρόγχου $10V/V$ με χρήση ενισχυτή τροφοδοτούμενου από μπαταρία, του οποίου η απολαβή A μειώνεται στο μισό για τη μέγιστη μείωση που θα παρουσιάσει η δεδομένη μπαταρία. Αν απαιτούμε μόνο 2% μείωση στην απολαβή (κλειστού βρόγχου) της ενισχυτικής βαθμίδας για τη μέγιστη μείωση που θα παρουσιάσει η δεδομένη μπαταρία, τι απολαβή ανοιχτού βρόγχου απαιτείται; Ποια τιμή β θα επιλεγεί; Αν τα στοιχεία που απαρτίζουν το δίκτυωμα ανάδρασης προκαλέσουν μια μεταβολή στην τιμή του β κατά 1%, πόσο θα πρέπει να αυξηθεί η απολαβή A για να ικανοποιείται το κριτήριο της μέγιστης διακύμανσης της A_f κατά 2%
- X) Απαιτείται η σχεδίαση ενός ενισχυτή άμεσης ζεύξης (dc) με κέρδος χαμηλών συχνοτήτων 1000 και συχνότητα -3db στα 0.5MHZ. Υπάρχουν διαθέσιμες ενισχυτικές βαθμίδες με κέρδος 1000 αλλά με επικρατούντα πόλο υψηλών συχνοτήτων στα 10KHZ. Να προτείνετε μία σχεδίαση τύπου cascade με χρήση των διαθέσιμων βαθμίδων, καθεμία από τις οποίες θα χρησιμοποιεί αρνητική ανάδραση καταλλήλου ποσού.
- XI) Ενισχυτής αποτελείται από δύο βαθμίδες εν σειρά και χρήση αρνητικής ανάδρασης. Η πρώτη βαθμίδα είναι με άμεση σύζευξη και έχει αρκετά υψηλή συχνότητα -3db. Η δεύτερη βαθμίδα έχει απολαβή μέσης ζώνης $10V/V$, άνω συχνότητα -3db στα 8KHZ και κάτω συχνότητα -3db στα 80HZ. Επιθυμούμε για τον ενισχυτή απολαβή μέσης ζώνης $100V/V$, και άνω συχνότητα -3db στα 40KHZ. Ποια πρέπει να είναι η απολαβή ανοιχτού βρόγχου

της πρώτης βαθμίδας; Ποια τιμή του β πρέπει να επιλέξουμε; Ποια θα είναι η κάτω συχνότητα -3db για τον ενισχυτή;

- XII) Ενισχυτής με ανάδραση σειράς-παράλληλα χρησιμοποιεί έναν ιδανικό βασικό ενισχυτή τάσης και λειτουργεί με $V_s=100\text{mV}$, $V_o=10\text{V}$ και $V_f=90\text{mV}$. Ποιες οι τιμές του A και β ;
- XIII) Ενισχυτής με ανάδραση παράλληλα-σειράς χρησιμοποιεί έναν ιδανικό βασικό ενισχυτή ρεύματος και λειτουργεί με $I_s=100\mu\text{A}$, $I_o=10\text{mA}$ και $I_f=90\mu\text{A}$. Ποιες οι τιμές του A και του β ;
- XIV) Ενισχυτής με ανάδραση σειράς-σειράς χρησιμοποιεί έναν ιδανικό βασικό ενισχυτή διαγωγιμότητας και λειτουργεί με $V_s=100\text{mV}$, $I_o=10\text{mA}$ και $V_f=90\text{mV}$. Ποιες οι τιμές του A και του β ;
- XV) Ενισχυτής με ανάδραση παράλληλα-παράλληλα χρησιμοποιεί έναν ιδανικό βασικό ενισχυτή διαντίστασης και λειτουργεί με $I_s=100\mu\text{A}$, $V_o=10\text{V}$ και $I_f=90\mu\text{A}$. Ποιες οι τιμές του A και του β ;
- XVI) Για κάθε ένα από τους παρακάτω τελεστικούς ενισχυτές να αναγνωριστεί η τοπολογία, το σήμα που δειγματοληπτείται από την έξοδο, το σήμα ανάδρασης, να προσδιοριστεί το β και το A_f



Απαντήσεις

I)

$$(b) A_f = 10 = \frac{100}{1 + 100\beta} \Rightarrow \beta = 90 \times 10^{-3}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{\beta} - 1 = 10.11$$

$$(c) \text{ amount of feedback} = 1 + A\beta \\ = 1 + 100(90 \times 10^{-3}) = 10 \equiv 20 \text{ dB}$$

$$(d) V_o = 10V_s = 10V$$

$$V_f = \beta V_o = 90 \times 10^{-3} \times 10 = 0.9V$$

$$V_i = V_s - V_f = 1 - 0.9 = 0.1V$$

$$(e) A_f = \frac{80}{1 + 80(90 \times 10^{-3})} = 9.756$$

$$\frac{\Delta A_f}{A_f} = \frac{9.756 - 10}{10} \Rightarrow -2.44\%$$

II)

$$(b) A_f = 10^3 = \frac{10^3}{(1 + 10^3\beta)}$$

$$\Rightarrow \beta = 900 \times 10^{-6}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{\beta} - 1 = 1110$$

$$(c) 1 + A\beta = 1 + 10^3(900 \times 10^{-6}) = 10 = 20 \text{ dB}$$

$$(d) V_s = 0.01V$$

$$V_o = 10^3 V_s = 10V$$

$$V_f = \beta V_o = 900 \times 10^{-6} \times 10 \equiv 9 \text{ mV}$$

$$V_i = V_s - V_f = 1 \text{ mV}$$

$$(e) A = 8000$$

$$A_f = \frac{8000}{1 + 8000(900 \times 10^{-6})} = 975.6$$

$$\frac{\Delta A_f}{A_f} = \frac{975.6 - 1000}{1000} \equiv -2.44\%$$

III)

Όλη η τάση εξόδου ανατροφοδοτείται στην έξοδο άρα $\beta=1$

$$A_f = \frac{100}{1 + 100 \times 1} = 0.99$$

$$1 + A\beta = 1 + 100 \times 1 = 101 \equiv 40.1 \text{ dB}$$

$$V_o = 0.99 V_s = 0.99 \text{ V}$$

$$V_i = V_s - V_o \beta = 1 - 0.99 = 10 \text{ mV}$$

$$A = 90 \Rightarrow A_f = \frac{90}{1 + 90 \times 1} \approx 0.989$$

$$\frac{\Delta A_f}{A_f} = \frac{0.989 - 0.99}{0.99} \equiv -0.1\%$$

IV)

$$A_f = \frac{A_o}{1 + A_o \beta} = \frac{1}{1/A_o + \beta} = \frac{1}{\beta(1 + 1/A_o \beta)}$$

so $A_f + 1/\beta$ will be within $x\%$ when

$$1/(A_o \beta) = 0.01 \times x$$

(a) For 1%: $A_o \beta = 1/0.01 = 100$

Let $A_o = 10^5 \vee A_o \beta = 100 \Rightarrow \beta = 10^{-3}$

(b) For 5%: $A_o \beta = 1/0.05 = 20$

Let $A_o = 10^5 \vee A_o \beta = 20 \Rightarrow \beta = 2 \times 10^{-4}$

(c) For 10%: $A_o \beta = 1/0.1 = 10$

Let $A_o = 10^5 \vee A_o \beta = 10 \Rightarrow \beta = 10^{-4}$

(d) For 50%: $A_o \beta = 1/0.5 = 2$

Let $A_o = 10^5$: $A_o \beta = 2 \Rightarrow \beta = 2 \times 10^{-5}$

% error	A_o	$A_o \beta$	$1 + A_o \beta$
1	10^5	100	101
5	10^5	20	21
10	10^5	10	11
50	10^5	2	3

V)

$0 \leq \beta \leq 1$ Linear

(a) For $A_o = 1$: $A_{f1} = \frac{A_o}{1 + A_o \beta} = \frac{1}{1 + 0} = 1 \text{ V/V}$

$A_{f2} = \frac{1}{1 + 1 \times 0.5} = 0.667 \text{ V/V}$

$A_{f3} = \frac{1}{1 + 1 \times 1} = 0.5 \text{ V/V}$

(b) For $A_o = 10$: $A_{f1} = \frac{10}{1 + 0} = 10 \text{ V/V}$

$A_{f2} = \frac{10}{1 + 10/2} = 1.6 \text{ V/V}$

$A_{f3} = \frac{10}{1 + 10 \times 1} = 0.909 \text{ V/V}$

(c) For $A_o = 100$: $A_{f1} = \frac{100}{1 + 0} = 100 \text{ V/V}$

$A_{f2} = \frac{100}{1 + 100/2} = 1.96 \text{ V/V}$

$A_{f3} = \frac{100}{1 + 100} = 0.99 \text{ V/V}$

(d) For $A_o = 10^4$: $A_{f1} = \frac{10^4}{1 + 0} = 10^4 \text{ V/V}$

$A_{f2} = \frac{10^4}{1 + 10^4/2} = 1.99 \text{ V/V}$

$A_{f3} = \frac{10^4}{1 + 10^4} = 0.9999 \text{ V/V}$

VI)

$A_0 \equiv 1000 \pm 30\%$ want $A_f = 100 \pm 1\%$
To reduce % change in A_0 we need

$$\frac{1}{1+A\beta} \approx \frac{1}{30} \Rightarrow A_f = \frac{1000}{30} < 100$$

For single stage $A_f = \frac{A}{1+A\beta} \Rightarrow \frac{1}{1+A\beta} = \frac{100}{1000} = \frac{1}{10}$

For two stages $A_2 = \frac{A}{1+A\beta_2} \Rightarrow 10$
(identical)

$$\Rightarrow (1+A\beta_2) = 1000/10 = 100$$

Thus each stage has $\pm 30/100 \% = \pm 0.3\%$

But two such stages may give $\pm 0.6\%$ OK

[3 stages $A_3 = A_1^3 = 100^{1/3}$
 $(1+A_0\beta_3) = 1000/100^{1/3} \approx 215$

Now each stage has $\pm 0.14\%$]

VII)

Gain desensitivity factor = $[1 + A_0\beta]$

$$A_f = \frac{A_0}{1+A_0\beta} = \frac{10^5}{1+10^5\beta} = 10^3$$

$$\Rightarrow \beta = 0.99 \times 10^{-3}$$

$$\text{From } \frac{dA_F}{A_F} = \frac{1}{1+A\beta} \cdot \frac{dA}{A}$$

(a) When A drops 10%

$$\text{then } A_F \text{ drops by } \frac{10\%}{1+A_0\beta} = \frac{10\%}{10^5/10^3} = 0.1\%$$

$$\text{But using } A_F = \frac{A}{1+A\beta} = \frac{0.9 \times 10^5}{1+(0.9 \times 10^5)(99/10^5)}$$

$$= 998.89$$

$$\text{Corresponding \% } \frac{1000 - 998.89}{1000} = 0.11\% \quad (\text{close})$$

(b) When A drops 30%

$$\text{then } A_F \text{ drops by } \frac{30\%}{100} = 0.3\%$$

$$\text{while } A_F = \frac{0.7 \times 10^5}{1+(0.7 \times 10^5)(99/10^5)} = 995.7$$

$$\text{and } \frac{1000 - 995.7}{1000} = 0.43\% \quad (\text{not so close})$$

VIII)

$$A_f = \frac{A_0}{1+A_0\beta} = 10 = \frac{100}{1+100\beta}$$

$$\therefore (1+A_0\beta) = 100/10 = 10$$

$$f'_L = f_L / (1+A_0\beta) = 100/10 = 10 \text{ Hz}$$

$$f'_H = f_H (1+A_0\beta) = 10 \text{ K} \times 10 = 100 \text{ KH?}$$

IX)

Χειρότερη περίπτωση (-2%) $A_{f_1} = \frac{A_0}{1+A_0B} = 9,8$ (1)

Πορτογαλική κινδύρια $A_{f_2} = \frac{2 \cdot A_0}{1+2 \cdot A_0 \cdot B} = 10$ (2)

από (1) $\rightarrow 1+A_0 \cdot B = \frac{A_0}{9,8} \Rightarrow B = \frac{1}{9,8} - \frac{1}{A_0}$ (3)

(2), (3) $A_{f_2} = \frac{2A_0}{1+2A_0 \cdot \left[\frac{1}{9,8} - \frac{1}{A_0} \right]} = 10 \Rightarrow$

$\Rightarrow 1+2A_0 \left[\frac{1}{9,8} - \frac{1}{A_0} \right] = \frac{2A_0}{10} \Rightarrow A_0 = 245$

$1+A_0 \cdot B = \frac{A_0}{A_{f_1}} = \frac{245}{9,8} = 25 \Rightarrow A_0 \cdot B = 24 \Rightarrow B = 0,0979$

η Av $B \xrightarrow{+1\%} 0,098979$ η A_0 οξύνω A_0'

$A_{f_1} = \frac{A_0'}{1+A_0'B'} \Rightarrow A_{f_1} + A_{f_1} \cdot A_0' \cdot B' = A_0' \Rightarrow$
 $A_{f_1} = A_0' - A_{f_1} \cdot A_0' \cdot B' \Rightarrow$
 $A_{f_1} = A_0' (1 - A_{f_1} \cdot B') \Rightarrow$

$A_0' = \frac{A_{f_1}}{1 - A_{f_1} \cdot B'} = \frac{9,8}{1 - 9,8 \cdot 0,098979} \approx 316$

x)

Χρειαζομαι ποσο στα $0,5\text{MHz}$. Ουδνηποτε παραπάνω είναι επιθυμητό.

Εχω $f_H = 10\text{kHz}$ και θέλω $f_{HF} \rightarrow 500\text{kHz}$
Απαιτείται αύξηση κατά $\frac{500\text{kHz}}{10\text{kHz}} = 50$

Αυτο είναι και το ποσο ανάδρασης $(1+AB) = 50$
Οπότε έχω $A_{F_1} = \frac{A}{1+AB} = \frac{1000}{50} = 20$

που μου δίνει $B = \frac{(50-1)}{1000} = 49 \cdot 10^{-3}$

Τα υπολοιπα σταδια πρέπει να μου δίνουν την απολαβή που απαιτείται \rightarrow δηλαδή πρέπει

$$\frac{A_{\text{TOTAL}}}{A_{F_1}} = \frac{1000}{20} = 50$$

Αν επιλέξω δυο ακόμα σταδια, αυτα πρέπει να μου δίνουν (καθ'ενα) απολαβή 50.

Εστω $f_{H_2} = 3 \cdot f_{H_1} = 1,5\text{MHz} = 1500\text{kHz}$
Αυτο χρειαζεται ποσο ανάδρασης $(1+AB_2) = \frac{1500}{10\text{kHz}} = 150$

που μου δίνει $A_{F_2} = \frac{1000}{150} = 6,67$

$$\text{και } B_2 = \frac{150-1}{1000} = 0,149$$

Το 3^ο σταδιο πρέπει να μου δώσει A_{F_3}

$$A_{F_1} \cdot A_{F_2} \cdot A_{F_3} = 1000 \rightarrow A_{F_3} = 7,5$$

που με οδηγεί σε ποσο ανάδρασης

$$1+AB_3 = \frac{1000}{7,5} = 133,3$$

$$\text{και } B = 0,132$$

Αυτο σε ποσο ανάδρασης θα μεταφέρει συν f_H

$$\text{σε } f_{HF_3} = 10 \cdot (1+AB_3) = 10\text{kHz} \cdot 133,3 = 1,33\text{MHz}$$

XI)

Ο A_1 έχει f_{H1} πολύ υψηλή
Ο A_2 έχει $f_{L2} = 80 \text{ Hz}$ και $f_{H2} = 8 \text{ kHz}$, $A_m = 10^5$

$$\text{Πρέπει } A_F = \frac{A_1 \cdot A_2}{1 + A_1 \cdot A_2 \cdot B} = 100 \quad (1)$$

$$\text{Απαιτώ } f_{HF} = 40 \text{ kHz} = 8 \cdot \text{kHz} \cdot (1 + A_1 \cdot A_2 \cdot B) = 1 \\ 1 + A_2 \cdot A_1 \cdot B = \frac{40}{8} = 5 \quad (2)$$

$$(1), (2) \quad 1 + A_1 \cdot A_2 \cdot B = \frac{A_1 \cdot A_2}{A_F} = 5 \Rightarrow$$

$$A_1 \cdot A_2 = 5 \cdot A_F = 5 \cdot 100 = 500 \Rightarrow \\ A_1 \cdot \frac{10^5}{V} = 500 \Rightarrow A_1 = \frac{500}{10} = 50.$$

$$(2) \Rightarrow 1 + A_1 \cdot A_2 \cdot B = 5 \Rightarrow B = \frac{5-1}{A_1 \cdot A_2} = \frac{5-1}{500} = 0,008.$$

Ετσι η f_L θα γίνει

$$f_L' = \frac{f_L}{1 + A_1 \cdot A_2 \cdot B} = \frac{80}{5} = 16 \text{ Hz}.$$

XII)

$$V_s = 100 \text{ mV}, V_f = 95 \text{ mV}, V_o = 10 \text{ V}$$

$$V_i = V_s - V_f = 100 - 95 = 5 \text{ mV}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{10 \text{ V}}{5 \text{ mV}} = 2 \times 10^3 \text{ V/V}$$

$$\beta = \frac{V_f}{V_o} = \frac{95 \times 10^{-3}}{10} = 9,5 \times 10^{-3} \text{ V/V} \\ = 0,0095$$

XIII)

$$I_S = 100 \mu\text{A}, I_F = 90 \mu\text{A}, I_O = 10 \text{mA}$$

$$A \equiv \frac{I_O}{I_S - I_F} = \frac{10 \times 10^{-3}}{(100 - 90) \times 10^{-6}} = 10^3 \frac{\text{A}}{\text{A}}$$

$$= 1 \text{mA}/\mu\text{A}$$

$$\beta \equiv \frac{I_F}{I_O} = \frac{90 \mu\text{A}}{10 \text{mA}} = 9 \mu\text{A}/\text{mA}$$

XIV)

$$V_S = 100 \text{mV}, V_f = 95 \text{mV}, I_O = 10 \text{mA}$$

$$V_i = V_S - V_f = 100 - 95 = 5 \text{mV}$$

$$V_f = \beta I_O \Rightarrow \beta = \frac{95 \text{mV}}{10 \text{mA}} = 9.5 \text{V}/\text{A}$$

$$A \equiv \frac{I_O}{V_i} = \frac{10 \text{mA}}{5 \text{mV}} = 2 \text{mA}/\text{V}$$

$$A_F \equiv \frac{I_O}{V_S} = \frac{A}{1 + \beta B} = \frac{2}{1 + 2(9.5)} = 0.1 \text{mA}/\text{V}$$

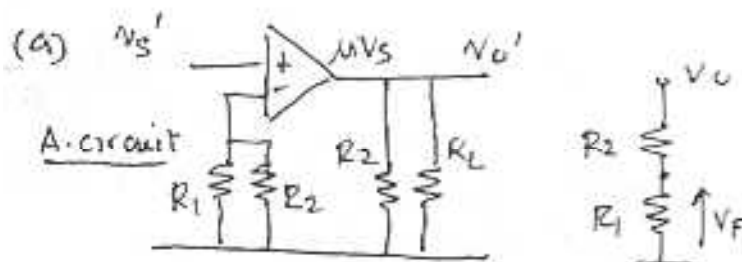
XV)

$$I_S = 100 \mu\text{A}, I_F = 95 \mu\text{A}, V_O = 10 \text{V}$$

$$A \equiv \frac{V_O}{I_i} = \frac{V_O}{I_S - I_F} = \frac{10}{(100 - 95) \times 10^{-6}} = 2 \times 10^6 \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

$$\beta \equiv \frac{I_F}{V_O} = \frac{95 \mu\text{A}}{10 \text{V}} = 9.5 \mu\text{A}/\text{V}$$

XVI)



Σειράς – παράλληλα → δειγματοληπτούμε τάση – ανατροφοδοτούμε τάση

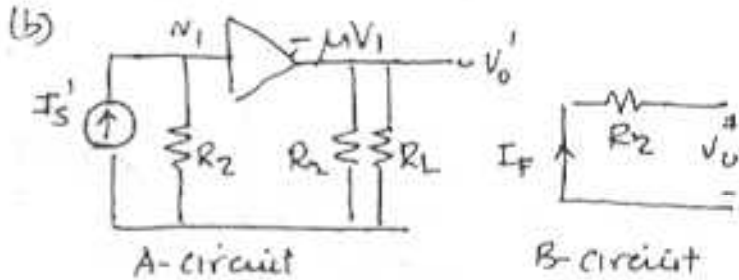
$$\beta \equiv \frac{V_F}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$A \equiv \frac{V_o'}{V_{S'}} = \mu$$

$$A_F \equiv \frac{V_o}{V_S} = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{\mu}{1 + \mu \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

$$\Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1/\beta$$

β) Σειράς – σειράς → δειγματοληπτούμε τάση – ανατροφοδοτούμε ρεύμα

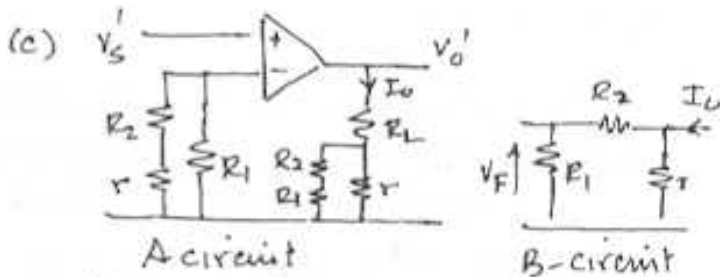


$$\beta \equiv \frac{I_F}{V_o} = -\frac{1}{R_2}$$

$$A \equiv \frac{V_o'}{I_{S'}} = -\mu R_2$$

$$A_F \equiv \frac{V_o}{I_S} = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{-\mu R_2}{1 + \mu R_2 / R_2} = -\frac{\mu R_2}{1 + \mu}$$

$$\Rightarrow -R_2 = -1/\beta$$

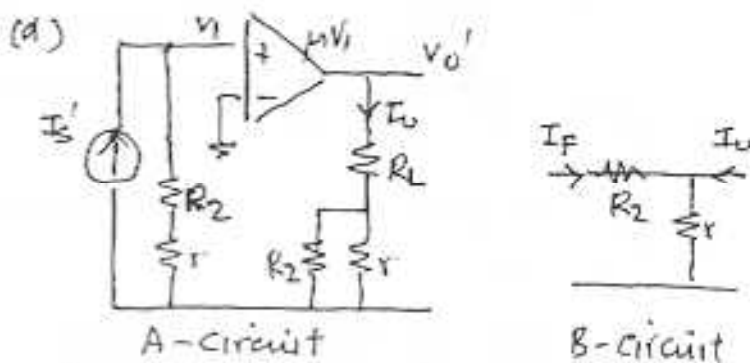


Σειράς – σειράς → Δειγματοληπτούμε ρεύμα – ανατροφοδοτούμε τάση

$$\beta \equiv \frac{V_F}{I_O} = \frac{R_1 r}{R_1 + R_2 + r} \quad \text{let } r^* = r \parallel (R_1 + R_2)$$

$$A \equiv \frac{I_O}{I_S} = \frac{\mu}{R_L + r \parallel (R_1 + R_2)} = \frac{\mu}{R_L + r^*}$$

$$A_F \equiv \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{\mu}{R_L + r^*} \cdot \frac{R_1 + R_2 + r}{1 + \frac{\mu}{R_L + r^*} \cdot \frac{R_1 r}{R_1 + R_2 + r}}$$



Παράλληλα – σειρές \rightarrow Δειγματοληπτούμε ρεύμα – ανατροφοδοτούμε ρεύμα

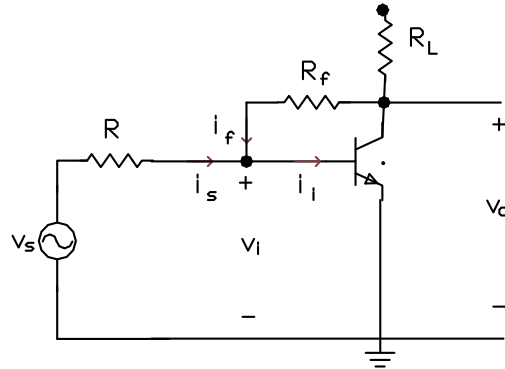
$$\beta \equiv \frac{I_F}{I_O} = \frac{r}{R_2 + r}, \quad A \equiv \frac{V_O'}{I_S'} = \frac{\mu(R_2 + r)}{R_L + r \parallel R_2}$$

$$\frac{I_O}{I_S} = \frac{\frac{\mu(R_2 + r)}{R_L + r \parallel R_2}}{1 + \frac{\mu(R_2 + r)}{R_L + r \parallel R_2} \cdot \frac{r}{r + R_2}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{r/(r + R_2)} \equiv \frac{1}{\beta}$$

Ασκήσεις – ΜερΟΣ 2ο

1. Για τον ενισχυτή του σχ.Α.1 δείξτε ότι, η ενίσχυση τάσης $A_v = v_o/v_s$ είναι ανεξάρτητη από το h_{fe} του τρανζίστορ. Θεωρείστε, $v_i \ll v_s \ll v_o$.



Σχ.Α.1

Λύση

Πρόκειται για ενισχυτή διεμπέδησης με ανατροφοδότηση τάσης παράλληλα προς την είσοδο. Με διέγερση πραγματικής πηγής τάσης στην είσοδο η διάταξη συμπεριφέρεται ως ενισχυτής τάσης.

- α) $R_f = \infty$, (παραβλέπουμε το θέμα πόλωσης του τρανζίστορ).

$$r_m = \frac{v_o}{i_i} = \frac{-h_{fe} R_L i_i}{i_i} = -h_{fe} R_L$$

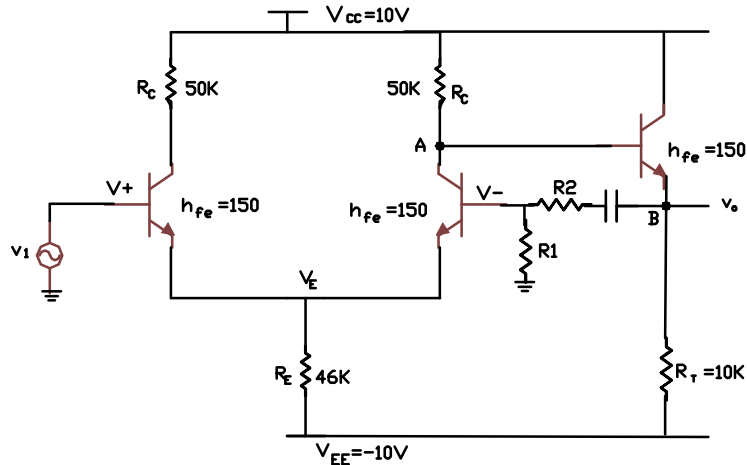
- β) $R_f \neq \infty$

$$i_f = \frac{v_o - v_i}{R_f} \approx \frac{1}{R_f} v_o \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{1}{R_f}$$

$$r_{mf} = \frac{v_o}{i_s} = \frac{r_m}{1 - \beta r_m} = \frac{-h_{fe} R_L}{1 + \frac{h_{fe} R_L}{R_f}} \approx -R_f$$

$$\frac{v_o}{i_s} = -R_f \Rightarrow \frac{v_o}{v_s/R} = -R_f \quad \Rightarrow \quad A_{vf} = \frac{v_o}{v_s} = -\frac{R_f}{R}$$

2. Στον ενισχυτή του σχ.Α.2 η ενίσχυση τάσης του διαφορικού ενισχυτή εισόδου είναι $A_v=90$ και η αντίσταση εισόδου $R_i=75K\Omega$. Η ενίσχυση τάσης του ακολουθητή εκπομπού είναι μονάδα και η αντίσταση εξόδου $R_o=320\Omega$, χωρίς την εφαρμογή ανατροφοδότησης. Προσδιορίστε τον τύπο της ανατροφοδότησης στο κύκλωμα. Υπολογίστε την ενίσχυση τάσης A_{vf} , την αντίσταση εισόδου R_{if} και την αντίσταση εξόδου R_{of} , μετά την εφαρμογή ανατροφοδότησης, όταν $R_1=1K\Omega$ και $R_2=9K\Omega$. Προσδιορίστε τη διεμπέδηση της βαθμίδας προ και μετά την ανατροφοδότηση.



Σχ.Α.2

Λύση

Πρόκειται για κύκλωμα με αρνητική ανατροφοδότηση τάσης σε σειρά με την είσοδο. Το ποσοστό ανατροφοδότησης είναι ,

$$v_f = v_- \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.1$$

Η ολική ενίσχυση είναι,

$$A_o = A_v \cdot 1 = 90$$

οπότε, η επιστρεφόμενη διαφορά προσδιορίζεται ως, $1 + \beta A_v = 10$.

$$R_m = A_o \cdot R_i = 6.75 M\Omega$$

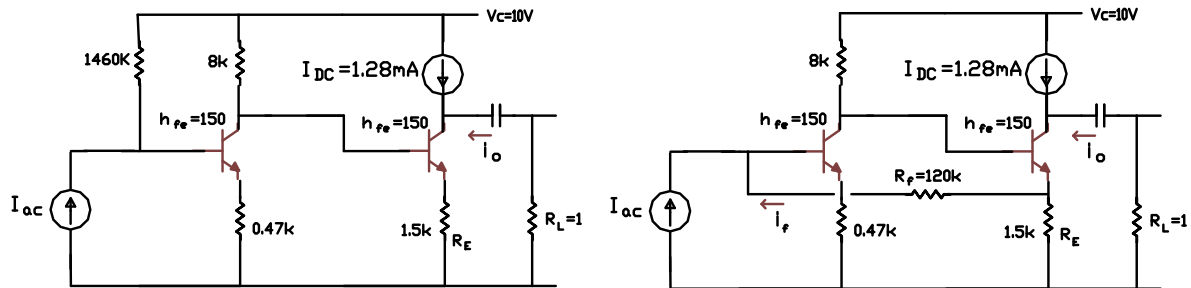
$$A_{of} = \frac{A_o}{1 + \beta A_v} = 9$$

$$R_{if} = (1 + \beta A_v) \cdot R_i = 750 K\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A_v} = 32 \Omega$$

$$R_{mf} = A_{of} \cdot R_{if} = 6.75 M\Omega$$

3) Στο σχ.Α.3 δεικνύονται δυο ίδιοι ενισχυτές, ο ένας χωρίς ολική ανατροφοδότηση και ο άλλος με ολική ανατροφοδότηση. Τα τρανζίστορ και στους δύο ενισχυτές βρίσκονται στη ίδια κατάσταση πόλωσης. Η ενίσχυση ρεύματος του ενισχυτή χωρίς ανατροφοδότηση είναι $A_i=705$, η αντίσταση εισόδου $R_i=71\text{ K}\Omega$ και η αντίσταση εξόδου $R_o=51\text{ K}\Omega$. Να προσδιορίσετε τα μεγέθη αυτά και για τον ενισχυτή με ανατροφοδότηση, καθώς και τη διαγωγιμότητα της βαθμίδας $G_m = i_o / v_i$, προ και μετά την ανατροφοδότηση.



α) Ενισχυτής ρεύματος χωρίς ανατροφοδότηση

β) Ενισχυτής ρεύματος με ανατροφοδότηση

Σχ.3

Λύση

Πρόκειται για ενισχυτή με ανατροφοδότηση ρεύματος παράλληλα προς την είσοδο. Ως εκ τούτου αναμένεται ελάττωση της ενίσχυσης ρεύματος, ελάττωση της αντίστασης εισόδου, αύξηση της αντίστασης εξόδου και σταθερή διαγωγιμότητα.

Από τα μεγέθη, που έχουν δοθεί, προκύπτει,

$$G_m = \frac{A_i}{R_i} = \frac{i_o / i_i}{v_i / i_i} = \frac{i_o}{v_i} = \frac{705}{71\text{ K}} = 9.92\text{ mS}$$

Από τα στοιχεία του κυκλώματος προκύπτει,

$$i_f \approx \frac{R_E}{R_E + R_f} i_o = 0.0123 i_o \Rightarrow \beta \approx 0.0123 \Rightarrow 1 + \beta A_i = 9.67$$

Επομένως,

$$A_{if} = \frac{A_i}{1 + \beta A_i} = 72.9$$

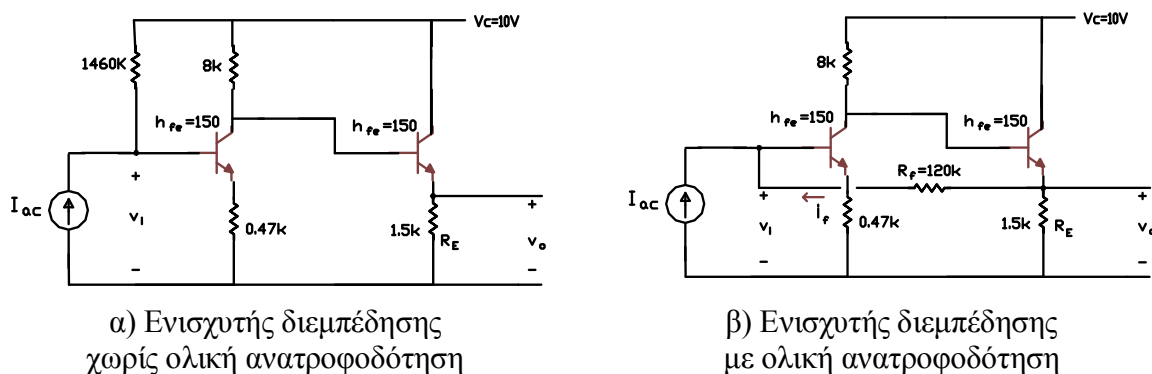
$$R_{if} = \frac{R_i}{1 + \beta A_i} = 7.3\text{ K}\Omega$$

$$R_{of} = (1 + \beta A_i) \cdot R_o = 493\text{ K}\Omega$$

$$G_{mf} = \frac{A_{if}}{R_{if}} = 9.98\text{ mS} \Rightarrow G_m \approx G_{mf} = C$$

Παρατήρηση: Η πηγή ρεύματος συνεχούς έχει τεθεί αντί αντιστάτη R_C για να μπορέσει να εκτιμηθεί η αντίσταση εξόδου σε περίπτωση εξομοίωσης. Αν τεθεί $R_C = 2.2\text{ K}\Omega$, τότε, οι πολώσεις του ενισχυτή παραμένουν οι ίδιες, ενώ η αντίσταση εξόδου προσδιορίζεται ως $R'_o = R_o // R_C \approx R_C$. Οι τιμές που προέκυψαν θεωρητικά βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις τιμές, που προκύπτουν από την εξομοίωση του κυκλώματος.

4) Στο σχ.4 δεικνύονται δυο ίδιοι ενισχυτές διεμπέδησης, ο ένας χωρίς ολική ανατροφοδότηση και ο άλλος με ολική ανατροφοδότηση. Τα τρανζίστορ και στους δύο ενισχυτές βρίσκονται στη ίδια κατάσταση πόλωσης. Η διεμπέδηση του ενισχυτή χωρίς ανατροφοδότηση είναι $R_m = -1\text{M}\Omega$, η αντίσταση εισόδου $R_i = 71\text{K}\Omega$ και η αντίσταση εξόδου $R_o = 70\Omega$. Να προσδιορίσετε τα μεγέθη αυτά και για τον ενισχυτή με ανατροφοδότηση, καθώς και την ενίσχυση τάσης της βαθμίδας $A_v = v_o/v_i$, προ και μετά την ανατροφοδότηση.



Σχ.4

Λύση

Πρόκειται για ενισχυτή διεμπέδησης με ανατροφοδότηση τάσης παράλληλα προς την είσοδο. Ως εκ τούτου αναμένεται ελάττωση της διεμπέδησης R_m , ελάττωση της αντίστασης εισόδου, ελάττωση της αντίστασης εξόδου και σταθερή την ενίσχυση τάσης.

Από τα μεγέθη, που έχουν δοθεί, προκύπτει,

$$A_v = \frac{R_m}{R_i} = \frac{v_o/i_i}{v_i/i_i} = \frac{v_o}{v_i} = -15.2$$

Από τα στοιχεία του κυκλώματος προκύπτει,

$$i_f \approx \frac{v_o - v_i}{R_f} \approx \frac{v_o}{R_f} = 8.33\text{E}-3 v_o \Rightarrow \beta \approx 8.33\text{E}-3 \text{ S}$$

$$D = 1 + \beta R_m = 10$$

Επομένως,

$$r_{mf} = \frac{R_m}{D} = -108\text{K}\Omega$$

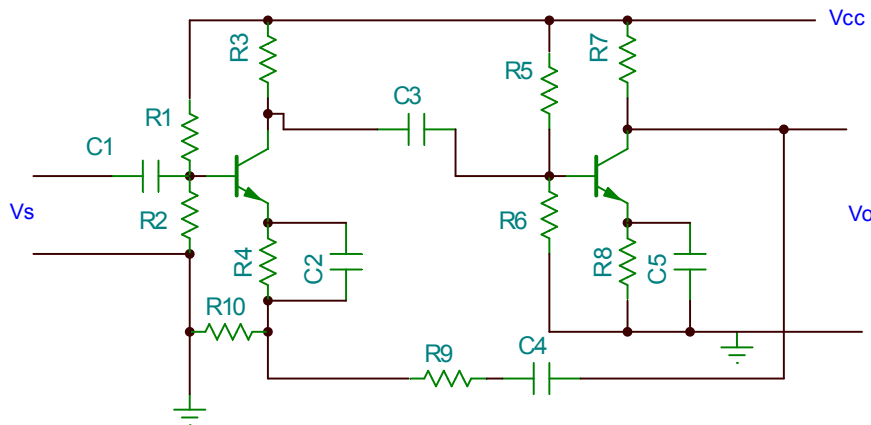
$$R_{if} = \frac{R_i}{D} = 7.15\text{K}\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{D} = 6.8\Omega$$

$$A_{vf} = \frac{R_{mf}}{R_{if}} = -15.2$$

Οι τιμές που προέκυψαν θεωρητικά βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τις τιμές, που προκύπτουν από την εξομοίωση του κυκλώματος.

5) Στον ενισχυτή τάσης του σχ.6 έχει εφαρμοστεί αρνητική ανάδραση από τις αντιστάσεις $R_9=2.2K\Omega$ και $R_{10}=100\Omega$. Η απολαβή τάσης ανοιχτού βρόγχου είναι $A_V=100$, η αντίσταση εισόδου $R_i=2K\Omega$ και η αντίσταση εξόδου $R_o=5K\Omega$. Να βρεθούν α) ο συντελεστής ανάδρασης, β) το κέρδος κλειστού βρόγχου και γ) οι αντιστάσεις εισόδου – εξόδου μετά την εφαρμογή της ανάδρασης



Λύση

Έχουμε ενισχυτή τάσης άρα δειγματοληπτούμε από την έξοδο και συγκρίνουμε τάση στην είσοδο. Η τάση ανάδρασης V_f είναι η τάση που εμφανίζεται στον κόμβο R_9 - R_{10} . Με χρήση σχέσεων διαιρέτη τάσης έχουμε

$$v_f = v_o \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} \Rightarrow \frac{v_f}{v_o} = \beta_f = \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} = \frac{0.1}{0.1 + 2.2} = 0.0438$$

Στη συνέχεια βρίσκουμε το ποσό ανάδρασης

$$1 + \beta_f A_V = 1 + 0.0438 \cdot 100 \approx 5.35$$

Είναι πλέον εύκολο να υπολογιστούν οι υπόλοιπες παράμετροι μετά τη χρήση αρνητικής ανάδρασης

$$R_{if} = (1 + \beta_f A_V) \cdot R_i \approx 10.7K\Omega$$

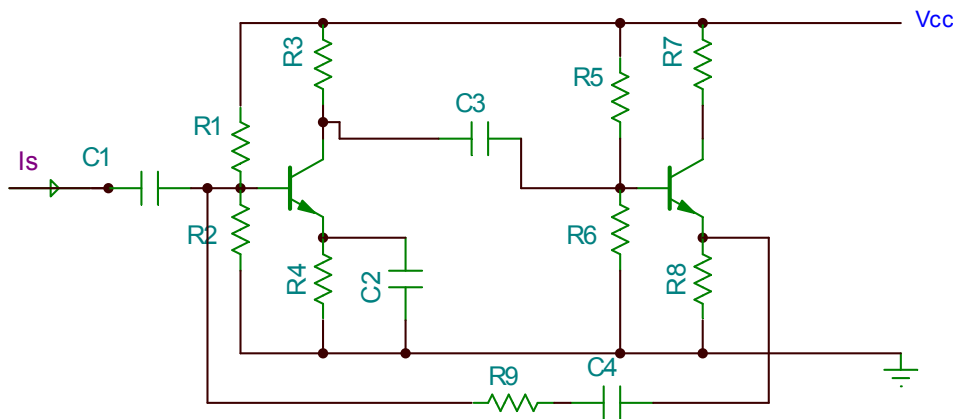
$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta_f A_V} \approx 0.93K\Omega$$

$$A_{vf} = \frac{A_V}{1 + \beta_f A_V} \approx 18.7$$

Παρατήρηση

Αν για τον υπολογισμό της απολαβής κλειστού βρόγχου χρησιμοποιούσαμε τον τύπο $A_{vf} \approx \frac{1}{\beta_f}$ θα λαμβάναμε $A_{vf} = 23$ το οποίο διαφέρει αρκετά από το 18.7 που υπολογίσαμε ανωτέρω. Γιατί; διότι δεν ικανοποιείται η συνθήκη $\beta_f A_v = 4.35 \gg 1$

7) Στον ενισχυτή τάσης του σχ.7 έχει εφαρμοστεί αρνητική ανάδραση από τις αντιστάσεις $R_8=220\Omega$ και $R_9=4.7K\Omega$. Η απολαβή ρεύματος ανοιχτού βρόγχου είναι $A_I=800$, η αντίσταση εισόδου $R_i=1K\Omega$ και η αντίσταση εξόδου $R_o=10K\Omega$. Να βρεθούν α) ο συντελεστής ανάδρασης, β) το κέρδος κλειστού βρόγχου και γ) οι αντιστάσεις εισόδου – εξόδου μετά την εφαρμογή της ανάδρασης



Λύση

Δειγματοληπτούμε ρεύμα (όχι το ρεύμα εξόδου στην R_7 αλλά το κατά α φορές μικρότερο του, I_{R8}) και ανατροφοδοτούμε ρεύμα. Το δικτύωμα ανάδρασης είναι στη ουσία διαιρέτης ρεύματος οπότε θα έχουμε

$$\beta_f \approx \frac{R_8}{R_9 + R_8} \approx \frac{0.22}{0.22 + 4.7} \approx 0.0446$$

Στη συνέχεια βρίσκουμε το ποσό ανάδρασης

$$1 + \beta_f A_I = 1 + 0.0446 \cdot 800 \approx 36.7$$

Οι υπόλοιπες παράμετροι του ενισχυτή ρεύματος, μετά τη χρήση αρνητικής ανάδρασης

$$R_{if} = (1 + \beta_f A_I) \cdot R_i \approx 27\Omega$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta_f A_I} \approx 367 K\Omega$$

$$A_{If} = \frac{A_I}{1 + \beta_f A_I} \approx 21.8$$

Παρατήρηση

Αν για τον υπολογισμό της απολαβής κλειστού βρόγχου χρησιμοποιούσαμε τον τύπο

$A_{If} \approx \frac{1}{\beta_f}$ θα λαμβάναμε $A_{If} = 22.4$ το οποίο δεν διαφέρει αρκετά από το 21.8 που

υπολογίσαμε ανωτέρω. Εδώ (σε αντίθεση με την προηγούμενη άσκηση) ικανοποιείται η συνθήκη $\beta_f A_V = 35.7 \gg 1$