

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2η ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

Ιωάννης Μπόσκοβιτς 03119640

2.3.1. Σχεδιάστε χονδρικά το διαφορικό στάδιο εισόδου ενός τυχόντος ΤΕ και εξηγήστε ποιοτικά τη λειτουργία του.

Για τον σχεδιασμό θα γίνει αναλυτική περιγραφή του ζητούμενου κυκλώματος. Το διαφορικό στάδιο εισόδου του ΤΕ αποτελείται από δύο τρανζίστορ που είναι συνδεδεμένα σε συνδεσμολογία διαφορικού ενισχυτή. Οι βάσεις των δύο τρανζίστορ είναι συνδεδεμένες με τις εισόδους του ενισχυτή, ενώ οι εκάστοτε εμιττερ τους είναι συνδεδεμένοι σε κοινό σημείο που λειτουργεί ως σημείο αναφοράς. Η λειτουργία του διαφορικού ενισχυτή βασίζεται στην αρχή της αντίθεσης (opposition), σύμφωνα με την οποία οι αλλαγές στην είσοδο του ενισχυτή διακυμαίνονται με αντίθετο πρόσημο στις βάσεις των δύο τρανζίστορ, προκαλώντας αντίστοιχες αλλαγές στο ρεύμα που διέρχεται από τους εμιττερ των τρανζίστορ.

Όταν η τάση στην είσοδο του ενισχυτή αυξάνεται, η τάση στη βάση του ενός τρανζίστορ αυξάνεται, ενώ στη βάση του άλλου τρανζίστορ μειώνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος που διέρχεται από τον εμιττερ του πρώτου τρανζίστορ και τη μείωση του ρεύματος που διέρχεται από τον εμιττερ του δεύτερου τρανζίστορ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος που διέρχεται από τον εξιτήριο του πρώτου τρανζίστορ και τη μείωση του ρεύματος που διέρχεται από τον εξιτήριο του δεύτερου τρανζίστορ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας εξόδου στην οποία οι αλλαγές στην τάση εισόδου μετατρέπονται σε αλλαγές στο ρεύμα εξόδου. Η αντίθετη κίνηση της τάσης εισόδου προκαλεί την αντίθετη κίνηση του ρεύματος εξόδου.

Ουσιαστικά, το διαφορικό στάδιο εισόδου του ενισχυτή μπορεί να ανιχνεύσει τις διαφορές στην τάση μεταξύ δύο σημείων εισόδου, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές όπως οι ενισχυτές σήματος και η επεξεργασία σήματος.

2.3.2. Παρατηρήστε το κύκλωμα του σχ. 2. Η τάση εξόδου, για ιδανικό ΤΕ, θα ήταν 0V. Υποθέστε, όμως, ότι ο ΤΕ έχει μη μηδενικά ρεύματα πολώσεως (ενώ κατά τα άλλα είναι ιδανικός). Πόση είναι η τάση εξόδου στην περίπτωση αυτή και γιατί; (Υπόδειξη: Δεδομένου ότι το I_B δεν είναι 0, υπάρχει πτώση τάσης στην R_f .)

Στην περίπτωση που ο ΤΕ έχει μη μηδενικά ρεύματα πολώσεως, θα υπάρχει μια πτώση τάσης στην αντίσταση R_f λόγω του ρεύματος που διέρχεται από αυτήν. Αυτή η πτώση τάσης θα επηρεάσει την τάση εξόδου του ενισχυτή. Και έτσι θα είναι $V_o = R_f \cdot I_B$ και αφού το I_B είναι διάφορο του 0 τότε και η τάση εξόδου θα είναι διάφορη.

2.3.3. Παρατηρήστε το κύκλωμα του σχ. 3. Η R_i δεν διαρρέεται από ρεύμα (γιατί;). Υπάρχει συνιστώσα λάθους στην έξοδο; Αν $I_{B-}=0.4\mu A$, τότε ποια είναι η τιμή της συνιστώσας αυτής;

Όταν έχουμε μια πηγή τάσης $E=0V$ και μια αντίσταση εισόδου $R_i=1M\Omega$ η οποία δεν διαρρέεται από ρεύμα, αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε ροή ρεύματος από την πηγή τάσης στην είσοδο του κυκλώματος. Συνεπώς, δεν θα υπάρχει οποιαδήποτε συνιστώσα λάθους στην έξοδο του κυκλώματος.

Ωστόσο, αν $I_{B-}=0.4\mu A$, τότε θα υπάρχει μια πτώση τάσης στην αντίσταση εισόδου R_i . Η τιμή της πτώσης τάσης θα είναι: $V = I_{B-} \cdot R_i$ όπου I_{B-} είναι το ρεύμα εισόδου και R_i είναι η αντίσταση εισόδου. Έτσι, αν $I_{B-}=0.4\mu A$ και η αντίσταση εισόδου είναι $R_i=1M\Omega$, τότε η πτώση τάσης θα είναι: $V = (0.4\mu A) \times (1M\Omega) = 0.4V$

Άρα θα υπάρχει μια πτώση τάσης στην έξοδο του κυκλώματος ίση με $0.4V$.

2.3.4. Εξετάστε το κύκλωμα του σχ. 4. Αυτή τη φορά, είναι το ρεύμα I_{B+} που προκαλεί μία πτώση τάσης στην R_G και “σηκώνει” το δυναμικό ως προς τη γη του μη αναστρέφοντος ακροδέκτη σε κάποια μη μηδενική τάση. Πόση είναι αυτή η τάση; Υποθέστε πάλι ότι, εκτός των μη μηδενικών ρευμάτων πολώσεως, ο ΤΕ είναι ιδανικός. Ποια είναι η συνιστώσα σφάλματος που εμφανίζεται στην έξοδο;

Όπως αναφέρεται και στην προηγούμενη ερώτηση, όταν έχουμε μια αντίσταση εισόδου R_G , το ρεύμα εισόδου I_{B+} προκαλεί μία πτώση τάσης στην R_G . Στην προκειμένη περίπτωση, έχουμε μια αντίσταση εισόδου $R_G = 1M\Omega$, οπότε η τάση που προκύπτει λόγω του ρεύματος I_{B+} είναι: $V = I_{B+} \cdot R_G = 0.4\mu A \cdot 1M\Omega = 0.4V$

Επομένως, στην περίπτωση αυτή, η έξοδος του κυκλώματος θα έχει μια μη μηδενική τάση $0.4V$ στον μη αναστρέφοντα ακροδέκτη.

Όσον αφορά τη συνιστώσα σφάλματος που εμφανίζεται στην έξοδο, αυτή προκύπτει από την πτώση τάσης πάνω στην αντίσταση εισόδου R_G και είναι ίση με το πολλαπλάσιο του ρεύματος I_{B+} με την αντίσταση εισόδου R_G : $V = I_{B+} \cdot R_G = 0.4\mu A \cdot 1M\Omega = 0.4V$

Συνεπώς, η συνιστώσα σφάλματος στην έξοδο είναι ίση με $0.4V$.

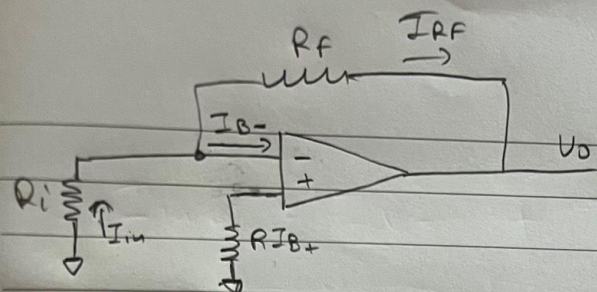
2.3.5. Παρατηρείστε το σχήμα 5, που είναι ένας αντισταθμισμένος ακόλουθος τάσης. Για να υπολογίσουμε τη συνιστώσα λάθους που οφείλεται στα ρεύματα πολώσεως σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράψαμε στα προηγούμενα, μηδενίζουμε την τάση εισόδου E_i και υπολογίζουμε την έξοδο. Ακολουθήστε αυτήν την διαδικασία και υπολογίστε τη συνιστώσα λάθους. Γιατί περιμένουμε να έχει η διάταξη αυτή μικρότερο DC σφάλμα από αυτή του σχήματος 4; (Υπόδειξη: Εκφράστε τη συνιστώσα λάθους συναρτήσει του ρεύματος αποκλίσεως εξόδου.) Εξηγείστε τον λόγο χρήσης της αντίστασης R_G στον μη αναστρέφοντα

ακροδέκτη. Σχολιάστε την εξάρτηση του μεγέθους της συνιστώσας λάθους από το “ταίριασμα” των ρευμάτων πολώσεως. Πόσο θα επηρεάσει η αντίσταση R_G την λειτουργία του κυκλώματος σαν ακόλουθου τάσης;

Επειδή όπως λέει και η θεωρία όσο πιο καλά είναι ταιριασμένα τα ρεύματα εισόδου τόσο μικρότερο σφάλμα θα έχουμε στην έξοδο και επειδή η διαφορά των ρευμάτων εισόδου $I_{os} = |I_{B+}| - |I_{B-}|$ είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερη από το $I_B = (|I_{B+}| + |I_{B-}|)/2$ καταλαβαίνουμε ότι η διάταξη αυτή θα είναι αρκετά καλύτερη σε σχέση με του προηγούμενου σχήματος σε σύγκριση με τη συνιστώσα λάθους.

Έχουμε για τις 2 πηγές ρεύματος συνολικά ότι για I_{B-} : $V_o = -I_{B-} \cdot R_f$ και για I_{B+} : $V_o = R_G \cdot I_{B+}$. Συνεπώς για το συνολικό V_o : $V_o = -I_{B-} \cdot R_f + R_G \cdot I_{B+}$. Βλέπουμε ότι αν $R_G = R_f$ τότε ο τελικός τύπος του V_o θα γίνει: $V_o = R_G(I_{B+} - I_{B-})$ και έτσι εμφανίζεται η ζητούμενη διαφορά των ρευμάτων εισόδου I_{os} που αυτό θέλουμε. Τέλος για την R_G όπως φαίνεται και από τον τελικό τύπο όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το σφάλμα εξόδου του ενισχυτή μας.

2.3.6. Το κύκλωμα του σχήματος 6 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιστάθμιση των ρευμάτων πολώσεως τόσο σε αναστρέφουσες, όσο και σε μη αναστρέφουσες συνδεσμολογίες με ΤΕ. Οι πηγές σήματος δεν σχεδιάστηκαν, γιατί δεν συμμετέχουν στον υπολογισμό της συνιστώσας λάθους. Η αντιστάθμιση επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας αντίστασης R σε σειρά με τον μη αναστρέφοντα ακροδέκτη, ίσης με τον παράλληλο συνδυασμό των R_i και R_f . Πόση είναι η συνιστώσα σφάλματος στην έξοδο που οφείλεται στα ρεύματα πόλωσης; Ποιο είναι το σκεπτικό του τρόπου αυτού αντιστάθμισης; (Υπόδειξη: Εκφράστε πάλι τη συνιστώσα λάθους σαν συνάρτηση του ρεύματος αποκλίσεως εισόδου)



$$R = R_i // R_f$$

$$I_{in} = I_{B-} + I_{Rf} \Rightarrow I_{Rf} = I_{in} - I_{B-} \quad (2)$$

$$I_{in} = (0 - V_-) / R_i \xRightarrow{V_- = V_+} I_{in} = -\frac{V_+}{R_i} \quad (2)$$

$$I_{Rf} = \frac{V_- - V_o}{R_f} = \frac{V_+ - V_o}{R_f} \quad (3)$$

$$V_+ = -R \cdot I_{B+} \quad (4)$$

And (1), (2), (3), (4) \Rightarrow

$$\frac{V_+ - V_o}{R_f} = \frac{-V_+}{R_i} - I_{B-} \Rightarrow \frac{-R \cdot I_{B+} - V_o}{R_f} = \frac{R I_{B+}}{R_i} - I_{B-}$$

$$\Rightarrow -R I_{B+} - V_o = \frac{R I_{B+} R_f}{R_i} - I_{B-} R_f \quad \rightarrow$$

$$-V_o = \frac{R_i R_f}{R_i + R_f} I_{B+} + \frac{\cancel{R_i} R_f R_f}{\cancel{R_i} (R_f + R_i)} I_{B+} - I_{B-} R_f$$

$$\Rightarrow V_o = -R_f \left[\frac{R_i}{R_i + R_f} I_{B+} + \frac{R_f}{R_i + R_f} I_{B+} - I_{B-} \right]$$

$$\Rightarrow V_o = -R_f [I_{B+} - I_{B-}]$$

2.3.7. Σχεδιάστε:

α) έναν μη αντισταθμισμένο (ως προς τα ρεύματα πολώσεως) αναστρέφοντα ενισχυτή με κέρδος -200 και

β) έναν μη αντισταθμισμένο, μη αναστρέφοντα ενισχυτή με κέρδος 200,

οι οποίοι χρησιμοποιούν αντίσταση $R_i = 10\text{K}\Omega$. Υπολογίστε τις εξόδους των ενισχυτών αυτών για ημιτονική είσοδο 50mV από κορυφή σε κορυφή και συμμετρική ως προς το 0. Θεωρείστε ότι $I_{B+} = I_{B-} \approx I_B = 0.4\mu\text{A}$. Στη συνέχεια,

γ) με βάση το σχήμα 6, αντισταθμίστε την επίδραση των ρευμάτων πόλωσης και στις δύο διατάξεις και υπολογίστε πάλι την έξοδο.

2.3.7

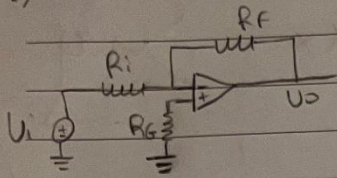
α)

Θα πρέπει $\frac{V_o}{U_i} = -200$
 αν αναστρέφων ενισχυτής
 όμως $\frac{V_o}{U_i} = -\frac{R_f}{R_i} = -\frac{R_f}{10\text{k}\Omega} = -200 \Rightarrow$
 $R_f = 2\text{M}\Omega$
 Έχουμε και πτώση τάσης λόγω της I_{B-} από στάθμη $V = R_f I_{B-} = 2 \cdot 10^6 \cdot 0.4 \cdot 10^{-6} = 0.8\text{V}$
 που προστίθεται στην τάση εξόδου

β)

Θα πρέπει $\frac{V_o}{U_i} = 200$
 όμως αναστρέφων ενισχυτής: $\frac{V_o}{U_i} = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) = 200$
 $\frac{R_f}{R_i} = 199 \Rightarrow R_f = 1.99\text{M}\Omega$
 Έχουμε πτώση τάσης λόγω της I_{B+} και I_{B-} που θα είναι
 $V = -I_{B-} R_f + R_i I_{B+} \stackrel{I_{B+} = I_{B-}}{=} I_B (R_i - R_f) = 0.4 \cdot 10^{-6} (10 - 1990) \cdot 10^3$
 $= 0.4 \cdot 10^{-3} \cdot 1980 = 0.792\text{V}$ που προστίθεται στην συνολική
 τάση εξόδου

8) Ila analisis superposisi pada analisis TE



$$I_{in} = I_{B-} + I_{Rf} \quad (1)$$

$$I_{in} = \frac{U_i - U_-}{R_i} \quad (2)$$

$$U_- = U_+ \text{ (superposisi TE)} \quad (3) \quad \text{Apakah } U_- = -R_G \cdot I_{B+}$$

$$I_{Rf} = \frac{U_- - U_o}{R_f} \quad (4)$$

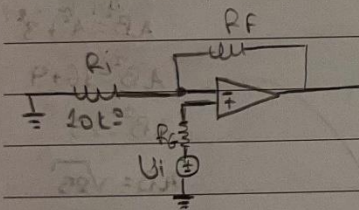
$$\textcircled{1} \xrightarrow{\textcircled{2} \textcircled{3}} \frac{U_i + R_G I_{B+}}{R_i} = I_{B-} + \frac{-U_- - R_G I_{B+} - U_o}{R_f}$$

$$-U_o = (U_i + R_G I_{B+}) \frac{R_f}{R_i} - I_{B-} R_f + R_G I_{B+} \Rightarrow$$

$$U_o = - (U_i + R_G I_{B+}) \frac{R_f}{R_i} - I_{B-} R_f + R_G I_{B+}$$

$U_i = 50 \text{ mV}$
 $R_i = 10 \text{ k}\Omega$
 $I_{B+} = I_{B-} = 0,4 \mu\text{A}$
 $R_G = R_i // R_f = 9,95 \text{ k}\Omega$
 $R_f = 2 \text{ M}\Omega$

$$\Rightarrow U_o = -200 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \sin(\omega t) + V_{oB} \Rightarrow U_o = -5 \sin(\omega t)$$



$$I_{in} = I_{B-} + I_{Rf} \quad (1)$$

$$I_{in} = \frac{0 - U_-}{R_i} \quad (2)$$

$$U_- = U_+ \text{ (superposisi TE)} \quad (3) \quad \text{Apakah } U_- = U_i - R_G I_{B+}$$

$$I_{Rf} = \frac{U_- - U_o}{R_f} \quad (4)$$

$$\textcircled{1} \xrightarrow{\textcircled{2} \textcircled{3}} \frac{-U_-}{R_i} = I_{B-} + \frac{U_- - U_o}{R_f} \Rightarrow \frac{-U_i + R_G I_{B+}}{R_i} = I_{B-} + \frac{U_i - R_G I_{B+} - U_o}{R_f}$$

$$(-U_i + R_G I_{B+}) \frac{R_f}{R_i} - I_{B-} R_f - U_i + R_G I_{B+} = -U_o$$

$$\Rightarrow U_o = (U_i - R_G I_{B+}) \frac{R_f}{R_i} + I_{B-} R_f + U_i - R_G I_{B+}$$

$$\Rightarrow U_o = 200 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \sin(\omega t) + V_{oB} = 5 \sin(\omega t)$$

2.3.8. Εξηγείστε γιατί χρησιμοποιούμε $R_3=R_2$ στο σχήμα 7 και όχι $R_3=R_1//R_2$.

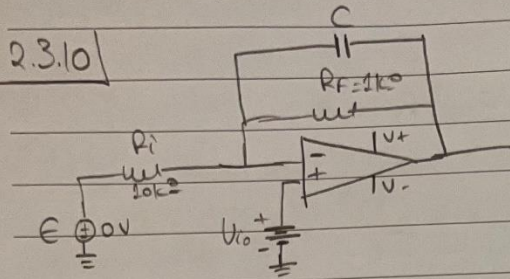
Όπως υποδεικνύει και η θεωρία από πάνω “ Σε κυκλώματα στα οποία υπάρχουν AC συζεύξεις, τα **συνεχή** ρεύματα πολώσεως **δεν** διαρρέουν τους κλάδους, στους οποίους τα DC μονοπάτια διακόπτονται από πυκνωτές. Σε τέτοια κυκλώματα, για τον υπολογισμό της συνιστώσας λάθους και την εύρεση του σωστού τρόπου αντιστάθμισης, λαμβάνουμε υπόψιν **μόνο τις DC αντιστάσεις**”. Συνεπώς επειδή στον κλάδο της τάσης εισόδου έχουμε πυκνωτή και συνεπώς AC ζεύξη για αυτό και αυτός ο κλάδος παραλείπεται, διότι είναι συνδυασμός σύνθετης αντίστασης ($Z=R+Z_c$ ωμικής σε σειρά με πυκνωτή). Έτσι στον υπολογισμό της R_3 δεν λαμβάνεται υπόψιν η R_1 αλλά μόνο η R_2 .

2.3.9. Εάν βραχυκυκλώσουμε τους ακροδέκτες εισόδου ενός πραγματικού ΤΕ (π.χ. του 741), ο οποίος είναι σε συνδεσμολογία ανοικτού βρόχου, τι έξοδο θα πάρουμε; (Υπόδειξη: Χρησιμοποιείτε το μοντέλο του ΤΕ του σχήματος 9. Χρησιμοποιείτε μία τυπική τιμή για τη V_{io} , π.χ. 2mV)

Αν βραχυκυκλώσουμε τους ακροδέκτες εισόδου ενός πραγματικού ΤΕ (π.χ. του 741) με τυπική τιμή $V_{io} = 2mV$, δεν θα πάρουμε μηδενική έξοδο. Αντίθετα, θα παρατηρήσουμε μία σταθερή τιμή εξόδου που θα οφείλεται στην τάση αποκλίσεως εισόδου (V_{io}) που είναι παρούσα στο διαφορικό στάδιο εισόδου του ΤΕ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αυτή η τιμή θα είναι περίπου 2mV και δεν θα μηδενιστεί από το βραχυκύκλωμα της εισόδου. Αυτό συμβαίνει επειδή η τάση αποκλίσεως εισόδου δεν επηρεάζεται από το βραχυκύκλωμα, καθώς οι ακροδέκτες εισόδου είναι κατευθείαν συνδεδεμένοι στο διαφορικό στάδιο εισόδου του ΤΕ.

2.3.10. Στο σχήμα 10, η V_{io} δρα σαν πηγή DC σήματος συνδεδεμένη εν σειρά προς τον μη αναστρέφοντα ακροδέκτη και παράγει μία DC συνιστώσα λάθους στην έξοδο, η οποία είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερο είναι το κέρδος της διάταξης. Ποια είναι η έξοδος του κυκλώματος του σχήματος 10; Πώς μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το κύκλωμα για να μετρήσετε την V_{io} ; (Ο πυκνωτής των 0.01μF χρησιμεύει για να μειώσει το θόρυβο στην έξοδο του ΤΕ.)

2.3.10



Θέλω ανοικτό κύκλωμα των συσκευών

$$I_{in} = I_{B-} + I_{Rf} \quad (1)$$

$$U_- = U_+ = U_{io} \quad (4)$$

$$I_{in} = \frac{U_- - U_-}{R_i} = \frac{-U_-}{R_i} \quad (2)$$

$$I_{Rf} = \frac{U_- - U_o}{R_f} \quad (3)$$

$$\stackrel{(1)}{\stackrel{(2)(3)}{\stackrel{(4)}{=}}} \frac{-U_-}{R_i} = I_{B-} + \frac{U_- - U_o}{R_f} \Rightarrow \frac{-U_{io}}{R_i} = I_{B-} + \frac{U_{io} - U_o}{R_f}$$

$$\Rightarrow -\frac{U_{io} R_f}{R_i} - I_{B-} \cdot R_f - U_{io} = -U_o \Rightarrow$$

$$U_o = U_{io} \left[\frac{R_f}{R_i} + 1 \right] + I_{B-} \cdot R_f = U_{io} \cdot 101 + I_{B-} \cdot 10^3$$

για I_{B-} μικρές εκατομμυρίδες nA έχουμε ότι $I_{B-} \cdot 10^3 \approx 10^{-3} A$ ταξίς του

άρα αμελητέο

$$\text{Άρα } U_o \approx 101 U_{io}$$

Μετράμε την έξοδο και $U_{io} = U_o / 101$