

ΠΕΙΡΑΜΑ 5

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥ: ΕΝΑ ΑΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΧΟΥ

Στόχος

Σε αυτό το πείραμα θα σχεδιάσετε έναν προενισχυτή για το μικρόφωνό σας, χρησιμοποιώντας ένα ΟΚ τελεστικού ενισχυτή. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσετε αυτό τον προενισχυτή για την κατασκευή ενός απλού συστήματος ήχου.

Προετοιμασία

Διαβάστε τη θεωρία για τους τελεστικούς ενισχυτές και τις αντιστάσεις που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενισχυτών, στο σύγγραμμα του αντίστοιχου μαθήματος. Μία απλή εισαγωγή σε αυτό το θέμα δίνεται στην ενότητα που ακολουθεί.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

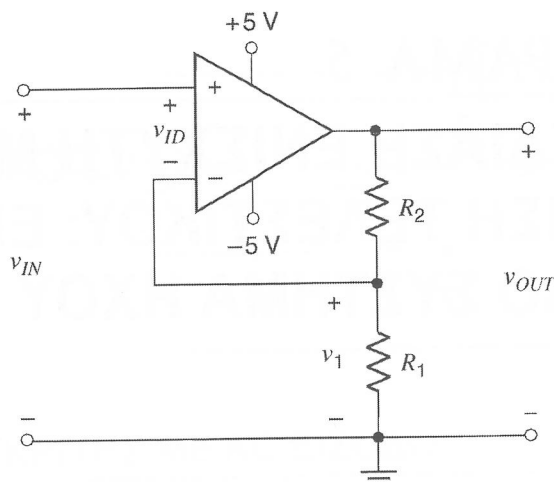
Εν αντιθέσει με τους συγκριτές που μελετήσαμε στο Πείραμα 4, οι οποίοι παρείχαν έξοδο ίση με μία από τις δύο τιμές κορεσμού (αντιστοιχούν στα επίπεδα τμήματα του Σχ. 4 εκείνου του πειράματος), τα κυκλώματα ενισχυτών δουλεύουν σωστά *μόνο* εάν η τάση εξόδου του τελεστικού ενισχυτή *δεν είναι* επαρκώς υψηλή ώστε να φτάσει σε κορεσμό· με άλλα λόγια, *ο τελεστικός ενισχυτής πρέπει να λειτουργεί στην περιοχή υψηλού κέρδους* (η περιοχή με τη μεγάλη κλίση στο Σχ. 4 του Πειράματος 4). Στην ακόλουθη ανάλυση θα υποθέσουμε ότι ισχύει αυτός ο τρόπος λειτουργίας, παρεκτός εάν αναφέρεται κάτι διαφορετικό.

Θεωρήστε το κύκλωμα του Σχ. 1. Οι αντιστάσεις R_1 και R_2 σχηματίζουν έναν διαιρέτη τάσης που τροφοδοτείται από την τάση εξόδου V_{OUT} , με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται ένα μικρό ποσοστό αυτής της τάσης ως v_1 . Βάσει του κανόνα για τους διαιρέτες τάσης, αυτή η τάση δίνεται από τη σχέση:

$$v_1 = v_{OUT} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Εάν, όταν ανάβετε τα τροφοδοτικά, η v_1 τυχαίνει να είναι μικρότερη από την v_{IN} , η διαφορά $v_{ID} = v_{IN} - v_1$ θα είναι θετική και άρα θα προκαλέσει αύξηση της V_{OUT} (δείτε το Σχ. 4 στο Πείραμα 4). Αυτό, με τη σειρά του και λόγω του διαιρέτη τάσης, θα αυξήσει τη v_1 προς την τιμή της v_{IN} . Εάν, αντιθέτως, η v_1 ξεκινήσει με τιμή μεγαλύτερη από την v_{IN} , η διαφορά $v_{ID} = v_{IN} - v_1$ θα είναι αρνητική και θα προκαλέσει μείωση της V_{OUT} (ανατρέξτε και πάλι στο Σχ. 4 του Πειράματος 4). Αυτό, με τη σειρά του, θα μειώσει τη v_1 προς την τιμή της v_{IN} . Κατά συνέπεια, σε κάθε περίπτωση, αυτή η συμπεριφορά *ανάδρασης* θα συνεχίσει να μεταβάλλει την v_1 μέχρι να βρεθεί σε τιμή πολύ κοντά στη v_{IN} . Για τελεστικούς ενισχυτές με μεγάλο κέρδος τάσης, ακόμα και μία ελάχιστη διαφορά $v_{IN} - v_1$ ενεργοποιεί αυτή τη συμπεριφο-

Σχ. 1



ρά ανάδρασης και η v_1 γίνεται σχεδόν ίση με τη v_{IN} . Συνεπώς, εάν εξισώσουμε τη v_1 από την Εξ. 1 με τη v_{IN} , παίρνουμε

$$v_{OUT} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} = v_{IN} \quad (2)$$

και λύνοντας ως προς τον λόγο v_{OUT} / v_{IN} βρίσκουμε

$$\frac{v_{OUT}}{v_{IN}} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3)$$

Με άλλα λόγια, το κύκλωμα του Σχ. 1 συμπεριφέρεται ως ενισχυτής με κέρδος τάσης v_{OUT} / v_{IN} , όπως υπολογίσαμε παραπάνω. Αυτό το κέρδος μπορεί να ρυθμιστεί επιλέγοντας κατάλληλες τιμές για τις R_1 και R_2 . Επειδή το αλγεβρικό πρόσημο του κέρδους τάσης είναι θετικό, ο ενισχυτής λέγεται ότι είναι μη-αναστρέφων (non-inverting).¹

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ ΤΑΣΗΣ

1. Όπως ίσως θυμάστε από το Πείραμα 3, το σήμα που παράγεται από το μικρόφωνο δεν επαρκεί για την οδήγηση του ενισχυτή ισχύος σε ικανοποιητική στάθμη. Εκεί, διαπιστώσατε ότι το σήμα του μικροφώνου θα έπρεπε να ενισχυθεί κατά αρκετά μεγάλο συντελεστή προκειμένου να ακουστεί. Σχεδιάστε το κύκλωμα του Σχ. 1 γι' αυτό τον σκοπό, έτσι ώστε να δίνει συντελεστή ενίσχυσης (κέρδος τάσης) περίπου ίσο με 100. Χρησιμοποιήστε $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$. Επιλέξτε την τιμή της R_2 έτσι ώστε το μέτρο του κέρδους να βρεθεί κοντά στην επιθυμητή τιμή. Χρησιμοποιήστε ένα ΟΚ τελεστικού ενισχυτή 741. Ο χαρακτηρισμός των ακροδεκτών του 741 δίνεται στο Σχ. 3(α) του Πειράματος 4. Λαμβάνοντας υπόψη την ανοχή των αντιστάσεων που χρησιμοποιείτε (III.1), πόσο είναι το ελάχιστο και το μέγιστο κέρδος τάσης που μπορείτε να αναμένετε από αυτό το κύκλωμα;

¹ Σε ορισμένες περιπτώσεις, το κύκλωμα του Σχ. 1 σχεδιάζεται με έναν διαφορετικό, αλλά ισοδύναμο τρόπο. Εάν ισχύει αυτό για το κύκλωμα που βλέπετε στο θεωρητικό σύγγραμμά σας, βεβαιωθείτε ότι κατανοείτε την ισοδυναμία του με το κύκλωμα του Σχ. 1.

Μην χρησιμοποιήσετε ακόμη αυτό το κύκλωμα για να ενισχύσετε το σήμα μικροφώνου. Αρχικά, διερευνήστε το κύκλωμα όπως περιγράφεται στο επόμενο βήμα.

2. Μετρήστε και απεικονίστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς DC (τη v_{OUT} ως συνάρτηση της v_{IN}) για το κύκλωμα του Σχ. 1. Διασφαλίστε ότι έχετε επαρκή σημεία δεδομένων για την περιοχή υψηλής κλίσης, έτσι ώστε να μπορέσετε να σχεδιάσετε τη γραφική παράσταση με ικανοποιητική ακρίβεια. Εάν η χαρακτηριστική δεν διέρχεται επακριβώς από το σημείο αρχής των αξόνων, μην προβληματιστείτε (αυτό οφείλεται σε μία "ατέλεια" του τελεστικού ενισχυτή, γνωστή ως DC τάση εκτροπής [αναφερθήκαμε σε αυτή εν συντομία στο Πείραμα 4]· αν και αυτή η ατέλεια μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, εφόσον δεν συνυπολογιστεί σωστά, δεν προκαλεί προβλήματα στα κυκλώματα με τα οποία ασχολούμαστε εδώ). Προσδιορίστε την κλίση της χαρακτηριστικής, ειδικά στην "απότομη" περιοχή της, και επαληθεύστε ότι ισούται με το επιθυμητό κέρδος τάσης.

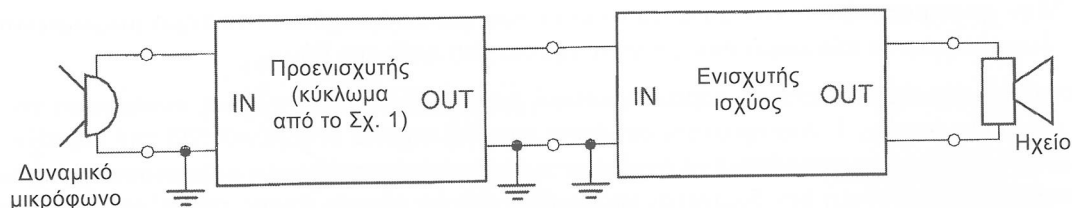
Αφού ολοκληρώσετε αυτό το βήμα, σβήστε τα τροφοδοτικά και αποσυνδέστε την πηγή εισόδου v_{IN} από το κύκλωμα.

3. Με οπτική και μόνο εξέταση του γραφήματος που λάβατε στο προηγούμενο βήμα, απαντήστε στα ακόλουθα ερωτήματα:
 - (α) Πόσο είναι το εύρος τάσεων εισόδου για το οποίο το κύκλωμα συμπεριφέρεται γραμμικά;
 - (β) Ποια είναι η μέγιστη και η ελάχιστη επιτεύξιμη τάση εξόδου;
 - (γ) Εάν η τάση εισόδου ήταν ημιτονοειδές σήμα, πόσο θα ήταν το μέγιστο πλάτος του πριν οδηγήσει το κύκλωμα στη μη-γραμμική περιοχή λειτουργίας του;
 - (δ) Ποιο θα ήταν το σχήμα της κυματομορφής της τάσης εξόδου εάν δεν ξεπερνούσε αυτό το πλάτος;
 - (ε) Ποιο θα ήταν το σχήμα της κυματομορφής της τάσης εξόδου εάν ξεπερνούσε αυτό το πλάτος;
4. Για να ελέγξετε τον προενισχυτή σας, οδηγήστε την είσοδό του με ένα ημιτονοειδές σήμα 1 kHz παραγόμενο από τη γεννήτρια κυματομορφών. Παρατηρήστε ταυτόχρονα τις v_{IN} και v_{OUT} χρησιμοποιώντας τα δύο κανάλια του παλμογράφου.² Δοκιμάστε διαφορετικά πλάτη σήματος και επαληθεύστε τις προβλέψεις σας από το βήμα 3. Η είσοδος ενισχύεται κατά τον αναμενόμενο συντελεστή; Εάν όχι, εντοπίστε το πρόβλημα και διορθώστε το κύκλωμα. Εάν χρειαστεί, ζητήστε βοήθεια από τον υπεύθυνο εργαστηρίου.
5. Αντικαταστήστε τη γεννήτρια κυματομορφών με το δυναμικό μικρόφωνο. Χρησιμοποιώντας τα δύο κανάλια του παλμογράφου, επαληθεύστε ότι το σήμα μικροφώνου ενισχύεται (προσεγγιστικά) κατά την επιθυμητή ποσότητα.

ΕΝΑ ΑΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΧΟΥ

6. Στο σημείο αυτό, είστε έτοιμοι να χρησιμοποιήσετε τον προενισχυτή που μόλις σχεδιάσατε σε ένα απλό μεν αλλά πλήρες σύστημα ήχου. Το σήμα μικροφώνου έχει ήδη τροφοδοτηθεί στην είσοδο του προενισχυτή προς ενίσχυση, οπότε θα πρέπει να λάβουμε μία πολλαπλάσια τιμή του στην έξοδο. Αυτή η ενισχυμένη έξοδος θα πρέπει τώρα να τροφοδοτηθεί στον ενισχυτή ισχύος, ο οποίος, με τη σειρά του, θα πρέπει να οδηγήσει το ηχείο. Όλες αυτές οι εργασίες μπορούν να γίνουν με το κύκλωμα του Σχ. 2. Οι συνδέσεις των τροφοδοτικών δεν παρουσιάζονται, αλλά υποτίθεται ότι υπάρχουν, τόσο για τον προενισχυτή όσο και για τον ενισχυτή. Προετοιμάστε αυτό το

² Εάν χρησιμοποιείτε ψηφιακό παλμογράφο, ανατρέξτε στο εγχειρίδιό του για οδηγίες σχετικά με τη λειτουργία διπλού καναλιού. Σε αναλογικούς παλμογράφους, θα πρέπει να ρυθμίσετε το "vertical mode" σε CHOP και να διασφαλίσετε ότι έχετε ρυθμίσει τον σκανδαλισμό (trigger) καταλλήλως, έτσι ώστε οι κυματομορφές να προβάλλονται σταθερά.

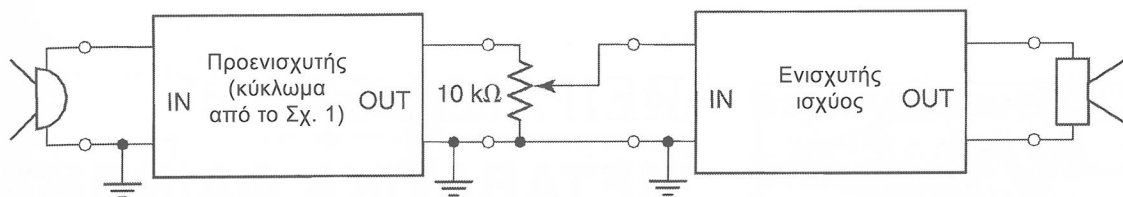


Σχ. 2

κύκλωμα, με όλα τα τροφοδοτικά σβηστά. Αυτό είναι το μεγαλύτερο κύκλωμα που έχετε κατασκευάσει έως τώρα, οπότε η διαδικασία πιθανόν να σας μπερδέψει στην αρχή. Αποφύγετε να χρησιμοποιήσετε καλώδια αχρείαστα μεγάλου μήκους και κρατήστε τα πάντα όσο το δυνατόν πιο "νοικοκυρεμένα", μιας και ένα κύκλωμα αυτού του μεγέθους μπορεί να γίνει αρκούντως δύσκολο. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στις συνδέσεις τροφοδοσίας και γείωσης. Εάν έχετε απορίες, ανατρέξτε στο κεφάλαιο "Συνδέσεις γείωσης". Επιθεωρήστε προσεκτικά το κύκλωμα και διασφαλίστε ότι τα πάντα είναι συνδεδεμένα σωστά.

7. **ΠΡΟΣΟΧΗ: Κρατήστε το ηχείο μακριά από αφτιά (δικά σας και άλλων).** Κρατήστε επίσης το μικρόφωνο μακριά από το ηχείο. Ανάψτε τους δύο ενισχυτές. Δοκιμάστε αυτό το απλό σύστημα ήχου. Εάν ακούτε κάποια σφυρίγματα, μετακινήστε το μικρόφωνο πιο μακριά από το ηχείο. Μιλήστε δυνατά στο μικρόφωνο, αλλά όχι τόσο δυνατά ώστε να παραμορφωθεί ο ήχος που παράγει το ηχείο. Εάν διαπιστώσετε ότι το κέρδος (ενίσχυση) δεν είναι επαρκές, μπορείτε να το αυξήσετε αυξάνοντας την R_2 στο κύκλωμα του Σχ. 1 (θα πρέπει να σβήσετε όλες τις τροφοδοσίες πριν το κάνετε).
8. Χρησιμοποιήστε τον παλμογράφο για να παρατηρήσετε το σήμα στην είσοδο του προενισχυτή, στην έξοδο του προενισχυτή, καθώς και στο ηχείο. Βεβαιωθείτε ότι έχετε συνδέσει τον ακροδέκτη γείωσης του σηματολήπτη του παλμογράφου στη γείωση του κυκλώματος. Μπορείτε να συγκρίνετε οποιαδήποτε δύο από αυτά τα σήματα εμφανίζοντάς τα ταυτόχρονα στα δύο κανάλια του παλμογράφου. Μιλήστε δυνατά και πάλι, μέχρι να ακούσετε παραμόρφωση στον ήχο, ενώ ταυτόχρονα παρακολουθείτε το σήμα που παράγει το ηχείο. Τι παρατηρείτε στις κυματομορφές των σημάτων όταν ακούτε παραμόρφωση;

Παρατηρήστε ότι είναι ο προενισχυτής, και όχι ο ενισχυτής ισχύος, η βαθμίδα που ενισχύει πραγματικά το σήμα τάσης. Ωστόσο, ο ενισχυτής ισχύος εξυπηρετεί μία πολύ σημαντική λειτουργία: Παρέχει το μεγάλο ρεύμα που απαιτεί το ηχείο. Ο προενισχυτής σας δεν θα μπορούσε να το κάνει αυτό. Εάν το ηχείο τροφοδοτούνταν απευθείας από την έξοδο του προενισχυτή, το όλο σύστημα δεν θα λειτουργούσε σωστά. Για να κατανοήσετε αυτό το σημείο, σκεφτείτε ότι το σύστημα του Σχ. 2 λειτουργεί ως εξής: Ο προενισχυτής ενισχύει το σήμα τάσης του μικροφώνου και οδηγεί το ενισχυμένο σήμα τάσης στην είσοδο του ενισχυτή ισχύος. Αυτή η είσοδος συμπεριφέρεται ως μία μεγάλη αντίσταση, οπότε το σήμα ρεύματος που "τραβάει" από τον προενισχυτή είναι μικρό. Η έξοδος του προενισχυτή μπορεί να παρέχει αυτό το ρεύμα. Στη συνέχεια, ο ενισχυτής ισχύος περνάει το σήμα στο ηχείο διαμέσου ενός σταδίου ισχύος, το οποίο μπορεί να παρέχει το μεγάλο σήμα ρεύματος και τη μεγάλη ισχύ που χρειάζεται το ηχείο για να λειτουργήσει. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό από τα εσωτερικά κυκλώματα του ενισχυτή ισχύος μελετάται σε μαθήματα θεωρίας ηλεκτρονικών.



Σχ. 3

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

9. Στο σημείο αυτό θα προσθέσετε έναν *μηχανισμό ελέγχου έντασης* στο σύστημα ήχου. Για τον σκοπό αυτό, θα πρέπει να λάβετε την έξοδο του προενισχυτή και να απομειώσετε αυτή την τάση κατά έναν ρυθμιζόμενο παράγοντα. Η προκύπτουσα τάση θα πρέπει κατόπιν να τροφοδοτηθεί στην είσοδο του ενισχυτή ισχύος. Αυτό μπορείτε να το κάνετε χρησιμοποιώντας ένα ποτενσιόμετρο 10 kΩ ως προσαρμόσιμο διαιρέτης τάσης, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 3. (Θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί ένα ποτενσιόμετρο 100 kΩ· γιατί δεν είναι "κρίσιμη" η ακριβής τιμή αντίστασης του ποτενσιόμετρου;) Δοκιμάστε το νέο σύστημα μιλώντας και πάλι στο μικρόφωνο και ρυθμίζοντας το ποτενσιόμετρο. Λειτουργεί σωστά αυτός ο απλός μηχανισμός ελέγχου έντασης;
10. Αυξήστε την ένταση στο μέγιστο (φροντίζοντας να έχετε τα αφτιά σας μακριά από το ηχείο) και μετακινήστε το μικρόφωνο κοντά στο ηχείο. Τι παρατηρείτε; Μπορείτε να το εξηγήσετε;

ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ

11. Το ηχείο μετατρέπει ηλεκτρισμό σε ήχο. Θα μπορούσε άραγε να χρησιμοποιηθεί για αντίστροφη μετατροπή, ήχου σε ηλεκτρισμό; Δηλαδή, θα μπορούσε να συμπεριφερθεί περίπου ως ένα μικρόφωνο; Δανειστείτε ένα ηχείο από μία ομάδα συφοιτητών σας και προσπαθήστε να το εξακριβώσετε. Αφήστε το ηχείο στον πάγκο σας και συνδέστε το στο ηχοσύστημά σας με καλώδια μεγάλου μήκους. Βεβαιωθείτε ότι τα δύο ηχεία είναι αρκετά μακριά το ένα από το άλλο, προκειμένου να αποφύγετε το φαινόμενο που παρατηρήσαμε στο βήμα 10.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Σε αυτό το βήμα αντιμετωπίζουμε το *ηχείο* ως εάν να ήταν μικρόφωνο. Μην δοκιμάσετε να χρησιμοποιήσετε το μικρόφωνο ως εάν να ήταν *ηχείο*, επειδή η ισχύς που παραδίδεται σε αυτό μπορεί να του προκαλέσει μόνιμη βλάβη.