

## ΠΕΙΡΑΜΑ 4

# ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΩΝ

### Στόχος

Σε αυτό το πείραμα θα δουλέψετε με ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα [OK] τελεστικού ενισχυτή. Συγκεκριμένα, θα μελετήσετε τις σημαντικότερες ιδιότητες αυτού του ολοκληρωμένου. (Η χρήση τελεστικού ενισχυτή μαζί με αντίσταση ανάδρασης θα μελετηθεί στο Πείραμα 5.) Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσετε τον τελεστικό ενισχυτή σε ένα απλό κύκλωμα συγκριτή (comparator). Οι τελεστικοί ενισχυτές χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα των ηλεκτρονικών. Η κατανόηση της λειτουργίας τους θα σας παρέχει επαρκείς γνώσεις ώστε να είστε σε θέση να σχεδιάζετε και να κατασκευάζετε χρήσιμα και ενδιαφέροντα κυκλώματα, συμπεριλαμβανομένων αρκετών από αυτά που θα παρουσιάσουμε σε αυτό το βιβλίο.

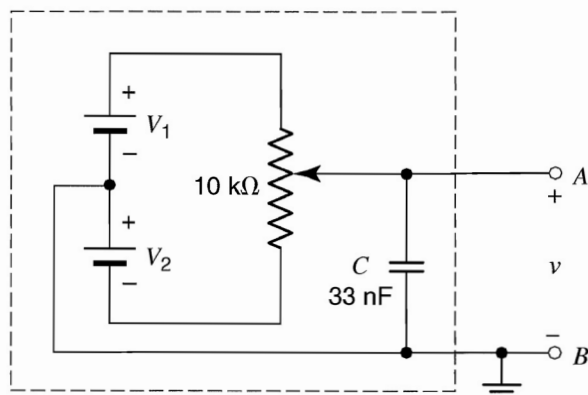
### Προετοιμασία

Είναι σίγουρο ότι οι τελεστικοί ενισχυτές εξετάζονται στο σύγγραμμα του αντίστοιχου μαθήματος θεωρίας. Για να προετοιμαστείτε για αυτό το πείραμα, το μόνο που χρειάζεται είναι να μελετήσετε το εισαγωγικό κείμενο του συγγράμματός σας, το οποίο περιγράφει τη χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου του τελεστικού ενισχυτή ως αυτόνομου στοιχείου (δηλ., χωρίς να είναι συνδεδεμένος σε άλλα κυκλωματικά στοιχεία). Εάν το σύγγραμμά σας δεν καλύπτει τους τελεστικούς ενισχυτές, μην προβληματιστείτε: τα μόνα που χρειάζεται να γνωρίζετε γι' αυτούς προκειμένου να κάνετε το πείραμα θα εξηγηθούν κατά την πορεία.

## ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΠΟΛΙΚΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ

1. Σε αυτό το πείραμα θα χρειαστείτε έναν τρόπο για την παραγωγή μιας τάσης η οποία θα μπορεί να μεταβάλλεται διαρκώς γύρω από το μηδέν. Τα περισσότερα τροφοδοτικά δεν μπορούν να το κάνουν αυτό. Το Σχ. 1 απεικονίζει έναν τρόπο με τον οποίο μπορούμε να λάβουμε τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές για ένα σήμα τάσης  $v$ , ανάλογα με τη ρύθμιση του ποτενσιόμετρου. Οι τάσεις  $V_1$  και  $V_2$  μπορούν, βολικά, να λαμβάνονται από τις δύο εξόδους ενός διπλού τροφοδοτικού. Το στοιχείο  $C$  είναι ένας πυκνωτής με τιμή χωρητικότητας 33 nF, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μείωση της πιθανότητας παρασιτικών παρεμβολών. (Τα καλώδια που χρησιμοποιείτε για να συνδέσετε τα κυκλώματά σας μπορούν, σε ορισμένες περιπτώσεις, να συμπεριφέρονται ως κεραίες οι οποίες προκαλούν παρεμβολές στο κύκλωμά σας – παραδείγματος χάριν, από κάποιον ραδιοσταθμό ή από τα διάφορα όργανα που υπάρχουν στον χώρο σας. Ο πυκνωτής βοηθά στη σταθεροποίηση της τάσης  $v$  – δηλαδή, στο να γίνει λιγότερο ευαίσθητη σε τέτοιες παρεμβολές. Υπάρχουν αρκετοί πυκνωτές μέσα στο τροφοδοτικό σας, επίσης. Θα δουλέψετε με πυκνωτές στο Πείραμα 6. Με DC τάσεις, οι πυκνωτές συμπεριφέρονται ως ανοιχτά κυκλώματα, οπότε μπορείτε να αγνοείτε την παρουσία τους παρά το γεγονός ότι θα πρέπει να τους συνδέσετε όπως υποδεικνύει το σχήμα.)

Σχ. 1



Στο Σχ. 1, η τάση  $v$  μπορεί να λαμβάνει οποιαδήποτε τιμή ανάμεσα στις  $V_1$  και  $-V_2$  ανάλογα με τη ρύθμιση του ποτενσιόμετρου. Εξηγήστε αυτό το γεγονός και επαληθεύστε το πειραματικά.

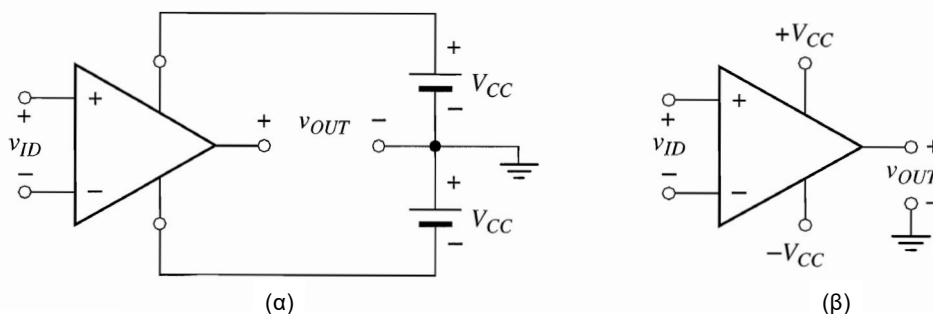
Σημειώστε ότι εάν ρυθμίσετε τις δύο τροφοδοσίες σε πολύ μικρές τιμές τάσης, το ποτενσιόμετρο σας παρέχει επιπλέον ανάλυση, η οποία δεν θα ήταν άμεσα επιτεύξιμη από τις γραμμές τροφοδοσίας και μόνο. Για να το επαληθεύσετε, ρυθμίστε τις  $V_1$  και  $V_2$  με τρόπο ώστε η τάση  $v$  να μπορεί να μεταβάλλεται από περίπου  $-20$  mV σε περίπου  $+20$  mV καθώς το ποτενσιόμετρο μεταβάλλεται μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης τιμής του.

Μην αποσυναρμολογήσετε αυτό το κύκλωμα· θα το χρειαστείτε σύντομα.

## ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

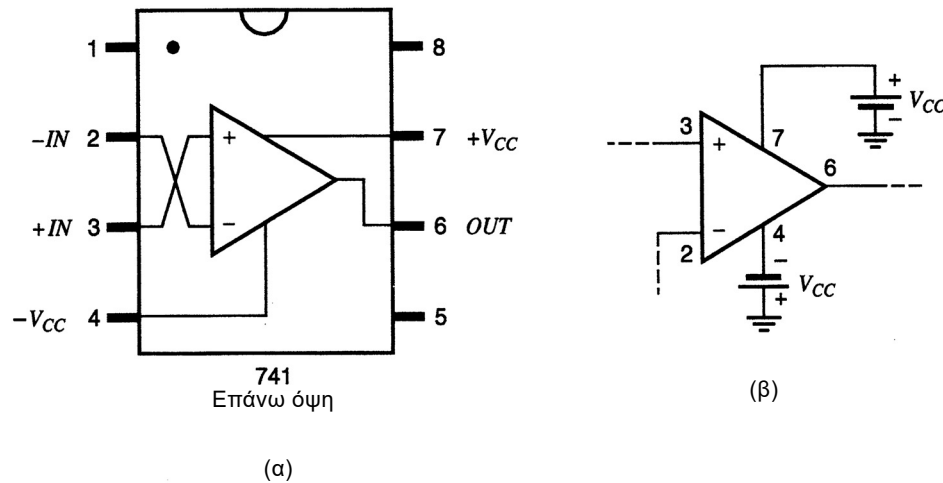
Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα "ενεργό" στοιχείο, το οποίο χρειάζεται ηλεκτρική τροφοδοσία για να λειτουργήσει. Ένας συνήθης τρόπος τροφοδοσίας απεικονίζεται στο Σχ. 2(α). Χρησιμοποιούνται δύο τάσεις τροφοδοσίας, με ίσες τιμές οι οποίες συμβολίζονται ως  $V_{CC}$  (συνήθως στο εύρος τιμών 5 V έως 15 V). Παρατηρήστε την πολικότητα κάθε τάσης τροφοδοσίας. Ο κοινός κόμβος ανάμεσα στα τροφοδοτικά είναι η γείωση. Η τάση εξόδου του τελεστικού ενισχυτή λαμβάνεται ανάμεσα στον ακροδέκτη εξόδου και στον κόμβο γείωσης. Οι δύο υπόλοιποι ακροδέκτες είναι οι ακροδέκτες εισόδου του τελεστικού ενισχυτή.

Θα ακολουθήσουμε την καθιερωμένη πρακτική και θα σχεδιάσουμε το κύκλωμα του Σχ. 2(α) όπως απεικονίζεται στο Σχ. 2(β). Εδώ, οι τάσεις τροφοδοσίας υποτίθεται ότι είναι συνδεδεμένες στους κατάλληλους ακροδέκτες, παρά το γεγονός ότι οι πηγές τάσης τροφοδοσίας δεν παρουσιάζονται ρητά. Σε ορισμένες περιπτώσεις παραλείπονται από τα κυκλωματικά διαγράμματα ακόμα και οι συνδέσεις των γραμμών τροφοδοσίας (απεικονίζονται στο Σχ. 2(β)), αλλά πάντοτε υποθέτουμε ότι υπάρχουν. Να θυμάστε το εξής: Ανεξάρτητα από το εάν οι συνδέσεις τροφοδοσίας παρουσιάζονται ρητά ή όχι, ένας τελεστικός ενισχυτής πρέπει να είναι σωστά συνδεδεμένος στην τροφοδοσία για να μπορέσει να λειτουργήσει.



Σχ. 2

Σχ. 3



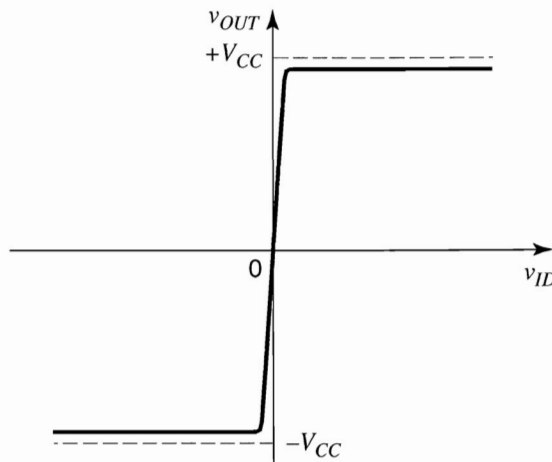
Σε αυτό το πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε έναν δημοφιλή τελεστικό ενισχυτή, το OK 741. Το OK 741 διατίθεται σε συσκευασία με μεταλλικούς ακροδέκτες (ποδαράκια), τους οποίους μπορείτε να εισάγετε στις οπές της βάσης πειραμάτων που χρησιμοποιείτε σε αυτό το πείραμα (για πιο μόνιμη σύνδεση, οι ακροδέκτες μπορούν να συγκολληθούν σε μία πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος). Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη συσκευασία αυτού του τελεστικού ενισχυτή, όπως φαίνεται όταν την κοιτάζουμε από πάνω, απεικονίζεται στο Σχ. 3(α). Με αυτή την τοποθέτηση της συσκευασίας (με το όνομα κατασκευαστή στην πάνω πλευρά), η αρίθμηση των ακροδεκτών είναι αυτή που υποδεικνύεται στο σχήμα (υποδεικνύονται επίσης οι ακροδέκτες που αντιστοιχούν στην είσοδο, στην έξοδο και στις συνδέσεις τροφοδοσίας). Συχνά είναι βολικό να μεταφέρουμε τους αριθμούς των ακροδεκτών πάνω στα κυκλωματικά διαγράμματα – για παράδειγμα, δείτε το Σχ. 3(β). Αυτό μπορείτε να το κάνετε στα διαγράμματα που θα δημιουργήσετε στη συνέχεια, εάν θεωρείτε βολική αυτή την πρακτική. Θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τους υποδεικνυόμενους ακροδέκτες· οι υπόλοιποι θα πρέπει να αφεθούν ασύνδετοι για το τρέχον πείραμα (ορισμένοι από αυτούς έχουν κάποια λειτουργία, αλλά όχι σημαντική για τους σκοπούς του πειράματος). Εάν, για το OK 741 που πρόκειται να χρησιμοποιήσετε, η συσκευασία (και, κατ' επέκταση, η αρίθμηση των ακροδεκτών) διαφέρουν από αυτές που απεικονίζονται στο Σχ. 3(α), ο υπεύθυνος εργαστηρίου θα πρέπει να σας δώσει τις απαιτούμενες πληροφορίες.

Όταν ο τελεστικός ενισχυτής συνδέεται σε άλλα κυκλωματικά στοιχεία, υπάρχει ροή εξαιρετικά μικρών ρευμάτων στους ακροδέκτες εισόδου του. Για τους σκοπούς μας εδώ, *αυτά τα ρεύματα μπορούν να αντιμετωπίζονται ως μηδενικά*. Η πλέον βασική λειτουργία του τελεστικού ενισχυτή είναι η εξής: Εάν η τάση στην είσοδό του ( $v_{in}$  στο Σχ. 2) είναι πολύ μικρή, η τάση εξόδου ( $v_{out}$  στο Σχ. 2) θα είναι ένα μεγάλο πολλαπλάσιο της τάσης εισόδου. Ωστόσο, η τιμή της τάσης εξόδου δεν μπορεί να είναι εκτός του εύρους τάσεων που παρέχει το τροφοδοτικό· με άλλα λόγια, το μεγάλο κέρδος τάσης που μόλις αναφέραμε είναι εφικτό μόνο εάν η είσοδος δεν προϋποθέτει ότι η έξοδος θα βρίσκεται εκτός του εύρους τάσεων τροφοδοσίας· διαφορετικά, η έξοδος φτάνει σε κορεσμό σε μία τιμή κοντά σε αυτή των τάσεων τροφοδοσίας. Η συμπεριφορά που μόλις περιγράψαμε απεικονίζεται με την καμπύλη του Σχ. 4. Στην επόμενη ενότητα θα καθορίσετε αυτή την καμπύλη για ένα OK τελεστικού ενισχυτή το οποίο θα σας δοθεί από τον υπεύθυνο εργαστηρίου.

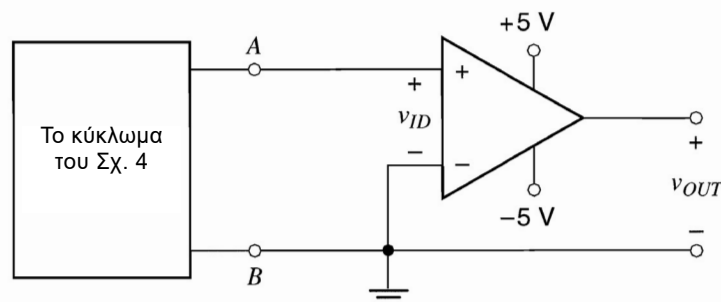
## DC ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

2. Προετοιμάστε το κύκλωμα που απεικονίζεται στο Σχ. 5. Οι δύο τάσεις τροφοδοσίας για τον τελεστικό ενισχυτή μπορούν να ληφθούν από τις δύο εξόδους ενός διπλού τροφοδοτικού. (Έχετε ήδη χρησιμοποιήσει ένα διπλό τροφοδοτικό στο κύκλωμα του Σχ. 1· χρησιμοποιήστε ένα *δεύτερο* διπλό τροφοδοτικό για τον τελεστικό ενισχυτή.) Η τάση εισόδου  $v_{in}$  του τελεστικού ενισχυτή παρέχεται από το κύκλωμα του Σχ. 1, όπως μπορείτε να δείτε. Οι διάφορες συνδέσεις γείωσης πιθανόν να

Σχ. 4



Σχ. 5

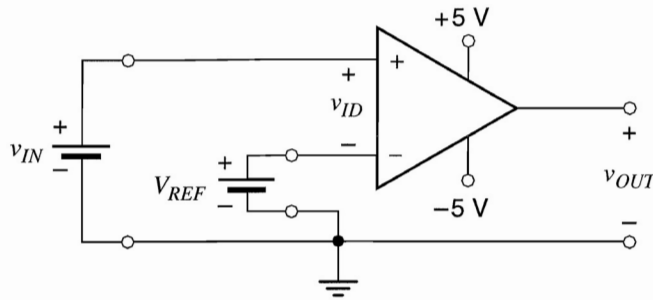


σας μπερδέψουν στην αρχή: εάν συμβεί αυτό, ανατρέξτε στο κεφάλαιο που ασχολείται με τις συνδέσεις γείωσης. Θυμηθείτε ότι, όλα τα σημεία που υποδεικνύονται με το σύμβολο γείωσης θα πρέπει να συνδέονται μαζί.

3. Προκειμένου να λάβετε τη DC χαρακτηριστική εισόδου–εξόδου του τελεστικού ενισχυτή, θα χρειαστεί να τροφοδοτήσετε διάφορες τιμές τάσης στην είσοδό του ( $v_{ID}$ ) και να μετρήσετε την αντίστοιχη τάση στην έξοδό του ( $v_{OUT}$ ). Καταρχάς θα δημιουργήσετε μία αδρομερή χαρακτηριστική, μετρώντας και απεικονίζοντας γραφικά την  $v_{OUT}$  ως συνάρτηση της  $v_{ID}$ , για τιμές  $v_{ID}$ , στο εύρος  $-2\text{ V}$  έως  $+2\text{ V}$ . Είναι το παραγόμενο γράφημα σύμφωνο με το θεωρητικά αναμενόμενο;
4. Στο σημείο αυτό θα δημιουργήσετε μία πιο λεπτομερή χαρακτηριστική καμπύλη, η οποία θα υποδεικνύει λεπτομερώς πώς μεταβάλλεται η  $v_{ID}$  σε εύρος τιμών (κατά προσέγγιση)  $1\text{ mV}$  γύρω από το σημείο στο οποίο η έξοδος διέρχεται από το μηδέν. Για να επιτύχετε μέτρηση της  $v_{ID}$  με υψηλή ανάλυση, θα χρειαστεί να ρυθμίσετε τις  $V_1$  και  $V_2$  (δείτε το Σχ. 1) σε πολύ μικρές τιμές (π.χ.,  $10\text{ mV}$  ή λιγότερο). Αυτό μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί, αλλά προσπαθήστε το.
5. Ποια είναι, κατά προσέγγιση, η τιμή της  $v_{ID}$  στην οποία η έξοδος διέρχεται από το 0; Αυτή η τιμή αποκαλείται *ισοδύναμη DC τάση εκτροπής εισόδου* (ή απλώς *εκτροπή εισόδου*) του τελεστικού ενισχυτή και, ιδανικά, θα πρέπει να ισούται με μηδέν<sup>1</sup> στην πράξη, μπορεί να είναι αρκετά mV και μπορεί επίσης να μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, καθώς επίσης και από OK σε OK.<sup>1</sup>
6. Προσπαθήστε να υπολογίσετε μία προσεγγιστική τιμή για την κλίση της λεπτομερούς γραφικής παράστασης, στην περιοχή όπου αυτή η κλίση είναι υψηλή. Θα διαπιστώσετε, με το απλό κύκλωμά

<sup>1</sup> Για το OK τελεστικού ενισχυτή 741, η εκτροπή εισόδου μπορεί να εξουδετερωθεί εξωτερικά, εάν είναι επιθυμητό. Αυτό μπορεί να γίνει συνδέοντας τον κορμό ενός ποτενσιόμετρου  $10\text{ k}\Omega$  στους ακροδέκτες 1 και 5 του 741. Ο μηχανισμός του ποτενσιόμετρου συνδέεται στην αρνητική τάση τροφοδοσίας. Στη συνέχεια, το ποτενσιόμετρο μπορεί να ρυθμιστεί με τρόπο ώστε η εκτροπή εισόδου να φτάσει σχεδόν σε μηδενική τιμή. Ωστόσο, δεν θα ασχοληθούμε με αυτό εδώ.

Σχ. 6



μας, ότι ο προσδιορισμός αυτής της κλίσης είναι πολύ δύσκολος αν όχι αδύνατος (παρά ταύτα, η διαδικασία είναι διαφωτιστική). Απλά κάντε το καλύτερο που μπορείτε προκειμένου να λάβετε μία "χονδρική" εκτίμηση. Η τιμή αυτής της κλίσης αντιπροσωπεύει το *DC κέρδος* του τελεστικού ενισχυτή.

Αφού ολοκληρώσετε αυτό το μέρος του πειράματος, σβήστε τον εξοπλισμό σας και αποσυναρμολογήστε το κύκλωμα του Σχ. 1.

## Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΩΣ ΣΥΓΚΡΙΤΗΣ

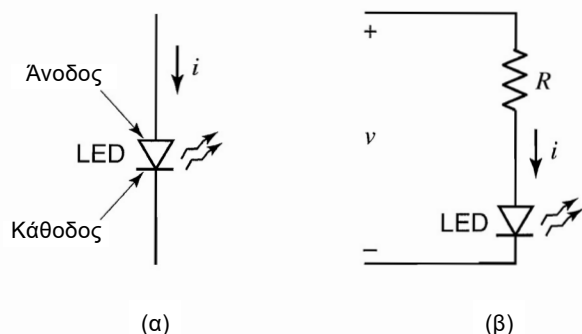
Με βάση το σχήμα της "χονδρικής" χαρακτηριστικής μεταφοράς που λάβατε στο βήμα 3, ο τελεστικός ενισχυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συγκριτής. Για θετικές τιμές  $v_{ID}$  μεγαλύτερες από αρκετά mV, η έξοδος είναι σε υψηλή στάθμη (κοντά στην  $+V_{CC}$ ). Για αρνητικές τιμές  $v_{ID}$ , με μέτρο μεγαλύτερο από αρκετά mV, η έξοδος είναι σε χαμηλή στάθμη (κοντά στη  $-V_{CC}$ ). Με άλλα λόγια, το κύκλωμα του συγκριτή συγκρίνει την τάση εισόδου του με (προσεγγιστικά) την τιμή 0 V και δίνει μία αντίστοιχη ένδειξη στην έξοδο ("υψηλή στάθμη" ή "χαμηλή στάθμη"). Το κύκλωμα στα δεξιά των ακροδεκτών A και B στο Σχ. 5 είναι ένας τέτοιος συγκριτής.

7. Θεωρήστε τώρα το κύκλωμα του Σχ. 6 (αλλά *μην* το κατασκευάσετε ακόμη). Ορίστε ξανά την  $v_{ID}$  ως τάση στον ακροδέκτη εισόδου + του τελεστικού σε αναφορά με τον ακροδέκτη εισόδου -. (Σημείωση: αυτός ο ακροδέκτης δεν είναι γειωμένος εδώ.) Ποια είναι η έκφραση υπολογισμού της  $v_{ID}$  συναρτήσει των  $v_{IN}$  και  $V_{REF}$ ; Χρησιμοποιώντας αυτό το αποτέλεσμα και τη δική σας (προσεγγιστική) γραφική παράσταση από το βήμα 3, προσπαθήστε να προβλέψετε ποια θα είναι η τιμή της  $v_{OUT}$  εάν (α)  $v_{IN} > V_{REF}$  και (β)  $v_{IN} < V_{REF}$ .
8. Τώρα, κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχ. 6. Θέστε την τάση αναφοράς  $V_{REF}$  σε μία σταθερή τιμή όχι μεγαλύτερη από 2 ή 3 volt και κατόπιν αυξήστε την  $v_{IN}$  βαθμιαία, ξεκινώντας από το 0 και ξεπερνώντας την τιμή της  $V_{REF}$ . Σε κάθε βήμα, παρατηρήστε την τιμή της  $v_{OUT}$ . Είναι οι παρατηρήσεις σας σε συμφωνία με τα αναμενόμενα από το βήμα 7; Τώρα, ρυθμίστε την  $V_{REF}$  σε κάποια διαφορετική τιμή και επαναλάβετε τη διαδικασία. Αυτό το κύκλωμα είναι πράγματι ένας συγκριτής· περιγράψτε με σαφήνεια τι συγκρίνει με τι.

## ΛΗΨΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΕΝΔΕΙΞΗΣ

Σημειώστε ότι για σκοπούς σύγκρισης, η επακριβής γνώση της τιμής της  $v_{OUT}$  δεν είναι σημαντική· το μόνο που έχει σημασία είναι εάν βρίσκεται σε "υψηλή" ή "χαμηλή" στάθμη. Μπορείτε να υποδεικνύετε αυτές τις δύο καταστάσεις της εξόδου με διάφορους τρόπους – παραδείγματος χάριν, βάζοντας το κύκλωμα να ανάβει ένα φως όταν η έξοδος είναι υψηλή και σβήνοντας το φως όταν η έξοδος μεταβαίνει χαμηλά. Αυτό ακριβώς θα κάνετε τώρα, χρησιμοποιώντας μία *δίοδο εκπομπής φωτός*, ή επί το γνωστότερον LED.

Σχ. 7



Το σύμβολο του LED απεικονίζεται στο Σχ. 7(α). Όταν εφαρμόζεται επαρκής ποσότητα θετικής τάσης στην ορθή διεύθυνση (δηλαδή, από την *άνοδο* στην *κάθοδο*), το LED εκπέμπει φως. Ωστόσο, δεν είναι συνετό να συνδέσετε ένα LED απευθείας σε μία πηγή τάσης, επειδή εάν η τάση λάβει τιμή ακόμα και ελάχιστα μεγαλύτερη από κάποια μέγιστη επιτρεπτή τιμή, το ρεύμα στο LED μπορεί να αυξηθεί υπερβολικά, με αποτέλεσμα το στοιχείο να καταστραφεί. Για να αποφύγετε αυτό το ενδεχόμενο, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το LED εν σειρά με μία αντίσταση, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 7(β). Εάν η συνολική τάση στα άκρα του συνδυασμού LED-αντίστασης ισούται με  $v$ , μέρος αυτής της τάσης θα εμφανιστεί στα άκρα της αντίστασης, οπότε το ρεύμα στην αντίσταση θα είναι λιγότερο από  $v/R$ . Αυτό το ρεύμα είναι ίδιο με το ρεύμα στο LED και είναι εύκολο να περιορίσετε την τιμή του επιλέγοντας κατάλληλη τιμή για την  $R$ . Μία βολική τιμή για τους σκοπούς μας εδώ είναι  $1\text{ k}\Omega$  (εσείς μπορεί να χρειαστείτε διαφορετική τιμή, ανάλογα με τον τύπο του LED και τη συνολική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του συνδυασμού αντίστασης-LED). Εάν η τάση  $v$  στο Σχ. 7(β) είναι θετική, θα υπάρχει ροή ρεύματος διαμέσου του LED κατά την ορθή φορά και το LED θα ανάψει· εάν  $v$  είναι αρνητική, το LED θα σβήσει.<sup>2</sup>

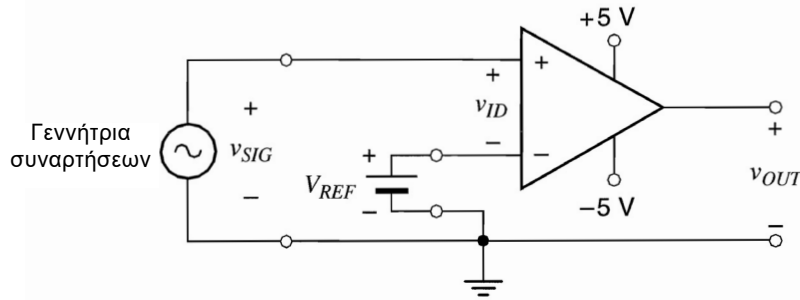
Οποιοδήποτε LED μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτό το πείραμα, υπό τον όρο ότι παρέχει επαρκή φωτεινότητα. Για τη διάκριση των δύο ακροδεκτών του LED, ορισμένοι κατασκευαστές κάνουν πιο "επίπεδο" το πλαστικό περίβλημα στην πλευρά της καθόδου, ή κάνουν μεγαλύτερο τον ακροδέκτη της ανόδου (χρησιμοποιούνται επίσης και άλλοι τρόποι). Εάν δεν είστε βέβαιοι για το ποιος ακροδέκτης είναι ποιος και, επιπλέον, το LED δεν φωτίζει, εναλλάξτε τους ακροδέκτες του και προσπαθήστε ξανά.

9. Συνδέστε το κύκλωμα του Σχ. 7(β) στο κύκλωμα του Σχ. 6 με τρόπο ώστε όταν  $v_{IN} > V_{REF}$ , το LED να φωτίζει, ενώ όταν  $v_{IN} < V_{REF}$ , το LED θα πρέπει να σβήνει. Επαληθεύστε αυτή τη συμπεριφορά του κυκλώματος.
10. Τροποποιήστε το κύκλωμα από το προηγούμενο βήμα έτσι ώστε όταν  $v_{IN} > V_{REF}$ , το LED να σβήνει· όταν  $v_{IN} < V_{REF}$  το LED θα πρέπει να φωτίζει. Επαληθεύστε αυτή τη συμπεριφορά του κυκλώματος.

Αφού ολοκληρώσετε αυτό το βήμα, αποσυνδέστε τη  $v_{IN}$  και τον συνδυασμό αντίστασης-LED από το υπόλοιπο κύκλωμα.

<sup>2</sup> Όταν ένα LED είναι αναμμένο, μία τυπική τιμή για την ορθή τάση του (δηλ., την τάση της ανόδου σε αναφορά με την κάθοδο) είναι  $1.7\text{ V}$ . Εάν η τάση εφαρμόζεται κατά την αναστροφή φορά (δηλ., από την κάθοδο σε αναφορά με την άνοδο), η τιμή της δεν θα πρέπει να υπερβαίνει μία συγκεκριμένη τιμή "διάσπασης" η οποία προσδιορίζεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή (τυπικά, γύρω στα  $5\text{ V}$ ).

Σχ. 8



## Ο ΣΥΓΚΡΙΤΗΣ ΜΕ AC ΕΙΣΟΔΟ

11. Στο σημείο αυτό θα υποθέσουμε ότι η DC πηγή  $v_{IN}$  αντικαθίσταται από μία γεννήτρια συναρτήσεων, όπως απεικονίζεται στο Σχ. 8 (μην κατασκευάσετε αυτό το κύκλωμα ακόμη). Μπορείτε να εικάσετε τι σχήμα θα έχει η κυματομορφή εξόδου, εάν το σήμα  $v_{SIG}$  από τη γεννήτρια είναι ένα ημιτονοειδές σήμα τάσης με μέγιστο (peak) πλάτος 1 V και η τάση αναφοράς  $V_{REF} = 0.5$  V;
12. Τώρα, συνδέστε το κύκλωμα του Σχ. 8. Χρησιμοποιήστε ημιτονοειδή τάση  $v_{SIG}$  με συχνότητα 100 Hz και πλάτος 1 V. Διασφαλίστε ότι η DC εκτροπή στη γεννήτρια συναρτήσεων είναι μηδενική (αυτό το μέγεθος δεν έχει καμία σχέση με την DC εκτροπή εισόδου του τελεστικού ενισχυτή που προαναφέραμε). Θέστε τη  $V_{REF}$  στα 0.5 V. Παρατηρήστε την είσοδο στο κανάλι 1 του παλμογράφου και την έξοδο στο κανάλι 2.<sup>3</sup> Η ζεύξη εισόδου για αμφότερα τα κανάλια θα πρέπει να τεθεί σε DC. Ο σκανδαλισμός (trigger) θα πρέπει να ρυθμιστεί για το κανάλι 1. Βεβαιωθείτε ότι ρυθμίζετε σωστά το σήμα σκανδαλισμού, έτσι ώστε να μπορείτε να λάβετε σταθερή απεικόνιση. Αυτό που βλέπετε συμφωνεί με τα αναμενόμενα από το βήμα 11;
13. Δοκιμάστε διαφορετικές τιμές για το πλάτος του ημιτονοειδούς σήματος, καθώς επίσης και για τη DC τάση  $V_{REF}$  (μην αυξήσετε αυτά τα μεγέθη σε τιμές πάνω από 2 ή 3 volt). Είστε σε θέση να εξηγήσετε ό,τι βλέπετε; Δοκιμάστε άλλες κυματομορφές, εκτός του ημιτονοειδούς σήματος, και επιβεβαιώστε ξανά ότι κατανοείτε αυτό που βλέπετε.

## ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

14. Θέστε τη  $V_{REF}$  σε 0 V. Για τη  $v_{SIG}$  χρησιμοποιήστε ημιτονοειδή κυματομορφή με πλάτος 1 V. Αυξήστε τη συχνότητα του σήματος πάνω από τα 100 Hz· καθώς το κάνετε, θα πρέπει να προσαρμόσετε την συχνότητα σάρωσης στον παλμογράφο έτσι ώστε η οθόνη να προβάλλει περισσότερους από έναν κύκλους του σήματος. Το κύκλωμα λειτουργεί σωστά ως συγκριτής σε πολύ υψηλές συχνότητες; Εάν θεωρείτε ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα ως προς τη λειτουργία του, περιγράψτε το. (Το πρόβλημα που ενδεχομένως να δείτε προκαλείται από τα εσωτερικά κυκλώματα του τελεστικού ενισχυτή· η εξήγησή του υπερβαίνει τα όρια αυτού του εργαστηρίου. Αν και είναι βολικό το να χρησιμοποιούμε έναν τελεστικό ενισχυτή ως συγκριτή, αυτή δεν είναι η κύρια λειτουργία για την οποία σχεδιάζονται οι τελεστικοί ενισχυτές, οπότε δεν θα πρέπει να σας εκπλήσσει αυτό που θα δείτε. Άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα, ειδικά σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν ως συγκριτές, τα καταφέρνουν καλύτερα με τις συγκρίσεις σημάτων υψηλών συχνοτήτων.)

<sup>3</sup> Οι ρυθμίσεις που θα χρειαστεί να κάνετε στον παλμογράφο προκειμένου να βλέπετε και τα δύο κανάλια εξαρτώνται από το συγκεκριμένο όργανο που χρησιμοποιείτε. Σε ορισμένους παλμογράφους, πιθανόν να υπάρχει ειδική ρύθμιση για τέτοιες λειτουργίες "διπλού ίχνους". Στους αναλογικούς παλμογράφους εν γένει, το "vertical mode" θα πρέπει να ρυθμιστεί σε CHOP (η ρύθμιση ALT είναι καταλληλότερη σε μεγαλύτερες ταχύτητες σάρωσης).