

ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Ο Τελεστικός Ενισχυτής, (T.E., Operational Amplifier), είναι ένας ενισχυτής με πολύ μεγάλο κέρδος τάσης κατασκευασμένος σε ολοκληρωμένο κύκλωμα. Επειδή συνήθως χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με αρνητική ανάδραση, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του ενισχυτή που προκύπτει καθορίζονται από τα εξωτερικά στοιχεία. Οι γραμμικές εφαρμογές που θα μελετηθούν σε αυτή την άσκηση είναι:

- (α) ο αναστρέφων ενισχυτής,
- (β) ο μη-αναστρέφων ενισχυτής,
- (γ) ο διαφορικός ενισχυτής,
- (δ) ο ολοκληρωτής και
- (ε) το βαθυπερατό φίλτρο.

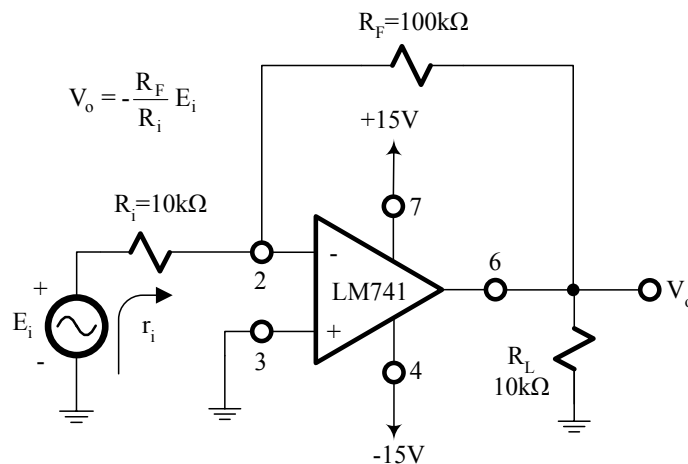
Ο T.E. χρησιμοποιείται επίσης σε πολλές άλλες γραμμικές εφαρμογές, όπως σε ενισχυτές μεγάλου εύρους ζώνης, σε ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων και σε όλων των ειδών τα φίλτρα.

Επειδή χρησιμοποιείται συνήθως σε κυκλώματα με αρνητική ανάδραση, ο T.E. πρέπει να έχει τέτοια αντιστάθμιση, ώστε να εξασφαλίζεται η ευστάθεια του. Η αντιστάθμιση είναι ενός πόλου και μετατρέπει τη συνάρτηση κέρδους-συχνότητας σε παρόμοια με αυτή ενός βαθυπερατού φίλτρου πρώτου βαθμού. Πολλοί από τους ολοκληρωμένους T.E. περιλαμβάνουν την αντιστάθμιση αυτή εσωτερικά (π.χ. LM307, LM741 κ.λ.π.), ενώ σε άλλους, παλαιότερης τεχνολογίας, πρέπει να προστεθεί εξωτερικά (π.χ. LM301 κ.λ.π.).

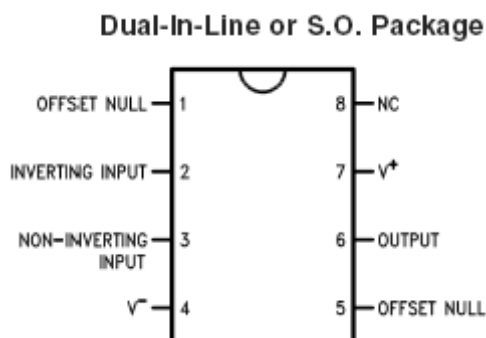
1.2 Πειραματική διαδικασία

1.2.1 Αναστρέφων ενισχυτής

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 1.1 με $R_F = 100\text{k}\Omega$ και $R_i = 10\text{k}\Omega$. Η αρίθμηση των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου κυκλώματος (IC) LM741 και η λειτουργία κάθε ακροδέκτη φαίνονται στο Σχ. 1.2.



Σχ. 1.1



Σχ. 1.2 Οι ακροδέκτες του ολοκληρωμένου κυκλώματος LM741.

(α) Να εφαρμοστεί ημιτονοειδές σήμα στην είσοδο 500 mV peak και συχνότητας 100 Hz. Να συγχρονιστεί η σάρωση για τις δύο δέσμες (chop mode) και με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC, να παρατηρηθούν και να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές εισόδου (E_i) και εξόδου (V_o). Να μετρηθεί και να καταγραφεί η διαφορά φάσης μεταξύ των κυματομορφών εισόδου και εξόδου, να συγκριθεί με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

(β) Να μετρηθεί το κέρδος τάσης $A_v = \frac{V_o(\text{peak-to-peak})}{E_i(\text{peak-to-peak})}$, να συγκριθεί με την αντίστοιχη

θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

- (γ) Να αυξηθεί το σήμα εισόδου μέχρι η κυματομορφή του σήματος εξόδου να αρχίσει να παραμορφώνεται (ψαλιδίζεται). Να μετρηθεί το μέγιστο πλάτος (peak) της κυματομορφής εξόδου κάτω από αυτές τις συνθήκες.
- (δ) Καθώς αυξάνεται η συχνότητα της τάσης εισόδου τότε το πλάτος της τάσης εξόδου σταδιακά μειώνεται στο 70.7% της τιμής που έχει στις χαμηλές συχνότητες. Η συχνότητα αυτή (f_H) ονομάζεται συχνότητα αποκοπής ή συχνότητα -3dB και καθορίζει το εύρος ζώνης του ενισχυτή. Να μειωθεί η τάση εισόδου στα 100 mV peak και να μετρηθεί το εύρος ζώνης 3dB. Στη συνέχεια να μετρηθεί η τάση εξόδου για 5 τιμές της συχνότητας του σήματος εισόδου, σε βήματα των 10kHz, πριν και μετά τη συχνότητα f_H .

Στην τελική αναφορά:

Να σχεδιαστεί η καμπύλη του κέρδους τάσεως $A_v(\text{dB})$ ως συνάρτηση της συχνότητας f και να δειχθούν πάνω σε αυτήν την καμπύλη το εύρος ζώνης και η συχνότητα αποκοπής.

- (ε) Να **μετρηθεί** η αντίσταση εισόδου, r_i , που "βλέπει" η πηγή τάσης E_i (Σχήμα 1.1). Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί είναι η εξής:

- Να ρυθμιστεί το ημιτονοειδές σήμα εισόδου $E_i = 100\text{mV peak}$, 100Hz και με το κανάλι του παλμογράφου σε σύζευξη AC να μετρηθεί το πλάτος της τάσης εξόδου, V_o , του ενισχυτή.
- Στη συνέχεια, να συνδεθεί σε σειρά με τη γεννήτρια μια αντίσταση $R = 7.5\text{k}\Omega$ και να μετρηθεί το πλάτος της τάσης εξόδου V_o' .
- Η αντίσταση εισόδου, r_i , υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση: $r_i = \frac{R \cdot V_o'}{V_o - V_o'}$.

Στην τελική αναφορά:

- Θεωρώντας ότι ο τελεστικός ενισχυτής είναι ιδανικός, να αποδειχθεί η παραπάνω σχέση για την r_i .
- Να συγκριθεί η πειραματική τιμή της r_i με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή που προκύπτει θεωρώντας τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

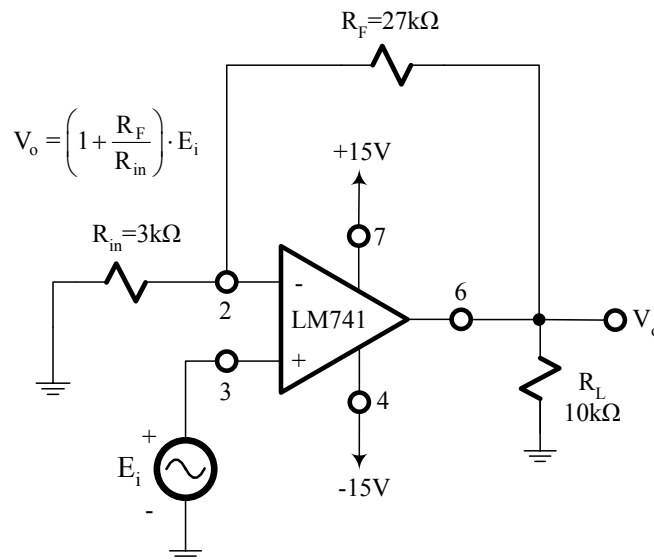
1.2.2 Μη-αναστρέφων ενισχυτής

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 1.3 με $R_F = 27\text{k}\Omega$ και $R_{in} = 3\text{k}\Omega$.

- (α) Να εφαρμοστεί ημιτονοειδές σήμα στην είσοδο 500 mV peak και συχνότητας 100 Hz. Να συγχρονιστεί η σάρωση για τις δύο δέσμες (chop mode) και με τα κανάλια του

παλμογράφου σε σύζευξη AC να παρατηρηθούν και να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές εισόδου και εξόδου. Να μετρηθεί και να καταγραφεί η διαφορά φάσης μεταξύ των κυματομορφών εισόδου και εξόδου, να συγκριθεί με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

- (β) Να μετρηθεί το κέρδος τάσης $A_v = \frac{V_o(\text{peak-to-peak})}{E_i(\text{peak-to-peak})}$, να συγκριθεί με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.



Σχ. 1.3

- (γ) Να μετρηθεί η αντίσταση εισόδου, r_i , που "βλέπει" η πηγή τάσης E_i .

Σημείωση: Να χρησιμοποιηθεί η ίδια μέθοδος όπως στο μέρος 1.2.1(ε) με τη διαφορά ότι τώρα $R = 5.1M\Omega$ και το πλάτος της τάσης εισόδου είναι 500 mV peak. Να εξηγηθεί γιατί απαιτείται μεγαλύτερη αντίσταση σε αυτή την περίπτωση.

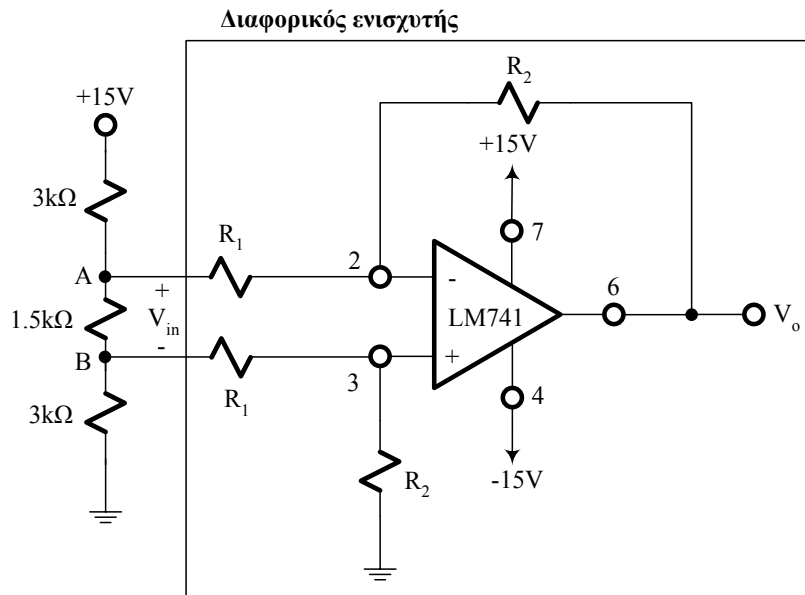
Στην τελική αναφορά:

Να συγκριθεί η πειραματική τιμή της r_i με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή που προκύπτει θεωρώντας τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

1.2.3 Διαφορικός ενισχυτής

Να συνδεθεί το κύκλωμα που φαίνεται στο Σχ. 1.4 με $R_1 = R_2 = 100\text{k}\Omega$.

- (α) Με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθεί η διαφορική τάση εισόδου V_{in} μεταξύ των σημείων A και B του κυκλώματος στην είσοδο του διαφορικού ενισχυτή.



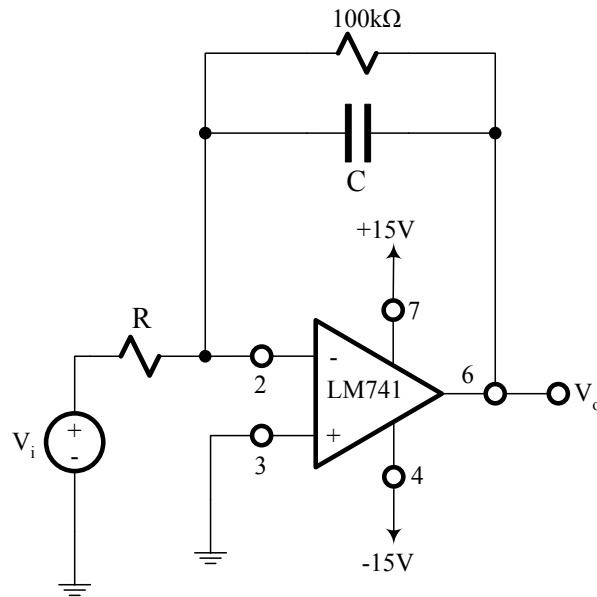
- (β) Με το πολύμετρο στη θέση DC [Volt], να μετρηθεί η τάση εξόδου, V_o , του διαφορικού ενισχυτή.
- (γ) Να υπολογιστεί το κέρδος τάσης $A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$, να συγκριθεί με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

1.2.4 Ολοκληρωτής

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 1.5 με $R = 10\text{k}\Omega$ και $C = 0.1\mu\text{F}$. Να εφαρμοστεί στην είσοδο μια συμμετρική τετραγωνική παλμοσειρά πλάτους 10V p-p και συχνότητας 1kHz. Με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC, να παρατηρηθούν και να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές των σημάτων εισόδου και εξόδου.

Στην τελική αναφορά:

Θεωρώντας τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό, να υπολογιστεί και να σχεδιαστεί η θεωρητική κυματομορφή στην έξοδο του ολοκληρωτή και να συγκριθεί με την αντίστοιχη πειραματική.



Σχ. 1.5

1.2.5 Βαθυπερατό φίλτρο

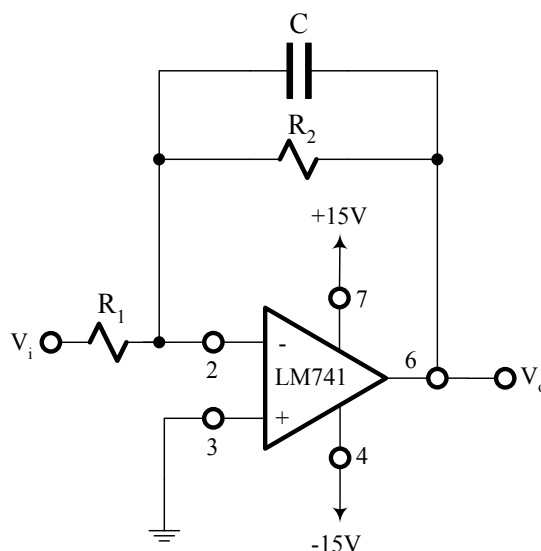
(α) Προεργασία

Στο Σχ.1.6 δίνεται ένα κύκλωμα που υλοποιεί ένα βαθυπερατό φίλτρο πρώτου βαθμού με συνάρτηση μεταφοράς που δίνεται από τη σχέση:

$$A_V(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} = \frac{-H_o\omega_o}{\omega_o + j\omega}$$

$$\text{όπου } H_o = \frac{R_2}{R_1} \text{ και } \omega_o = \frac{1}{R_2 \cdot C}.$$

Με $R_1 = R_2 = 16\text{k}\Omega$ και $C = 10\text{nF}$, να υπολογιστεί η συχνότητα αποκοπής του φίλτρου, f_L .



Σχ. 1.6

(β) Πειραματική διαδικασία

Να συνδεθεί το κύκλωμα του Σχ. 1.6. Η είσοδος V_i να τεθεί ημιτονοειδής πλάτους 1V και συχνότητας 100Hz.

- i. Με τα κανάλια του παλμογράφου σε σύζευξη AC, να καταγραφούν σε χρονική αντιστοιχία οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου, V_i , και εξόδου, V_o .
- ii. Να μετρηθεί η συχνότητα αποκοπής (ή συχνότητα 3dB), f_L , του φίλτρου.
- iii. Να μετρηθεί το πλάτος της τάσης εξόδου για τις τιμές συχνότητας της τάσης εισόδου, f , που φαίνονται στον Πίνακα 1 και να υπολογιστούν οι αντίστοιχες τιμές του κέρδους τάσης, A_v , του φίλτρου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.										
f	100Hz	250Hz	500Hz	750Hz	900Hz	1.2kHz	1.5kHz	2kHz	5kHz	10kHz
V_o (Volt)										
A_v										

Στην τελική αναφορά:

- i. Να συγκριθεί η τιμή της συχνότητας αποκοπής που μετρήθηκε με την αντίστοιχη θεωρητική και να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.
- ii. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του Πίνακα 1, να σχεδιαστεί το διάγραμμα του κέρδους τάσης $A_v(\text{dB})$ ως συνάρτηση της συχνότητας f και να δειχθεί επάνω στο διάγραμμα η συχνότητα αποκοπής, f_L , του φίλτρου.

- iii. Να σχεδιαστεί το θεωρητικό διάγραμμα του κέρδους τάσης A_v (dB) ως συνάρτηση της συχνότητας f και να συγκριθεί με το αντίστοιχο πειραματικό.
- iv. Να συγκριθούν τα πειραματικά αποτελέσματα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον προσομοιωτή QUCS (Να γίνει αντιπαράθεση στο ίδιο διάγραμμα).
- v. Στον προσομοιωτή QUCS να αντικατασταθεί η R_1 με $R_1/2$ και $R_1/4$ να επαναληφθεί το ερώτημα iii. Να συγκριθούν τα πειραματικά αποτελέσματα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον προσομοιωτή QUCS (να γίνει αντιπαράθεση στο ίδιο διάγραμμα). Να σχολιαστούν τυχόν διαφορές.

Απαιτούμενα Υλικά

ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

2 x 10kΩ, 4 x 100kΩ, 2 x 3kΩ, 1 x 27kΩ, 1 x 1.5kΩ, 2 x 16kΩ

ΠΥΚΝΩΤΕΣ

1 x 100nF, 1 x 10nF

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ

1 x LM741

Προτεινόμενες Υλοποιήσεις

1.2.3, Διαφορικός ενισχυτής:

