

Δρ. Φασουλός Γιάννης

jfasoulas@staff.teicrete.gr

Μηχατρονικά Συστήματα II

« Βασικά κυκλώματα Τελεστικών ενισχυτών »



Εργαστήριο Συστημάτων Ελέγχου & Ρομποτικής
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Ηράκλειο Κρήτης, Ελλάς

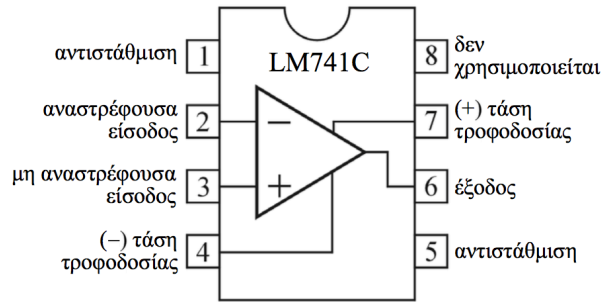
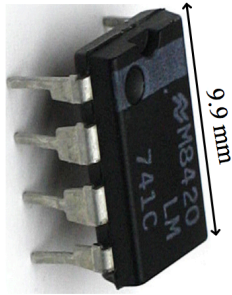


Εισαγωγή

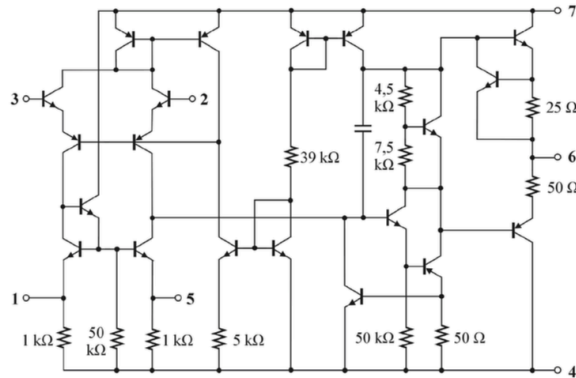
Ο **ενισχυτής** (amplifier) είναι μια από τις σημαντικότερες βαθμίδες ή δομικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα αναλογικά ηλεκτρονικά. Στην απλούστερη μορφή έχει στην είσοδο δύο ακροδέκτες, στα άκρα των οποίων εφαρμόζεται η τάση (σήμα) εισόδου. Έχει, επίσης, στην έξοδο δύο ακροδέκτες, στα άκρα των οποίων λαμβάνεται η τάση (σήμα) εξόδου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο ενισχυτής αντιμετωπίζεται σαν ένα **μαύρο κουτί** (black box), το οποίο περιγράφεται από ένα περιορισμένο σύνολο παραμέτρων. Μια από αυτές είναι η εξάρτηση του σήματος εξόδου από το σήμα εισόδου. Στην απλούστερη περίπτωση θεωρούμε ότι η σχέση μεταξύ τους είναι γραμμική, δηλαδή ότι το σήμα εξόδου είναι ανάλογο του σήματος εισόδου.

Τελεστικός Ενισχυτής (Τ.Ε.) ή Operational AMPLifier (OPAMP)



.3 – Συσκευασία ολοκληρωμένου κυκλώματος τυπικού τελεστικού ενισχυτή (LM741C)

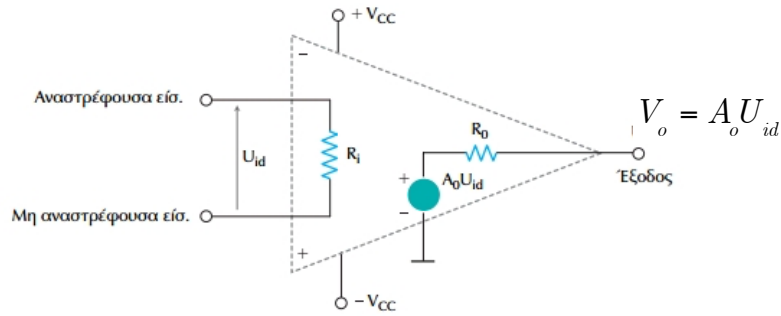


Σχήμα 7.4 – Κυκλωματικό διάγραμμα τυπικού τελεστικού ενισχυτή (LM741C)

Γενική εισαγωγή στα κυκλώματα που μπορούν να υλοποιηθούν με Τ.Ε.

Μερικά από τα βασικά κυκλώματα που μπορούν να υλοποιηθούν με τελεστικούς ενισχυτές είναι τα παρακάτω

- Σύγκρισης επιπέδων τάσεων
- Ακολουθητής τάσης ή βαθμίδα απομόνωσης
- Ενίσχυσης ασθενών σημάτων
- Άθροισης ή διαφοράς σημάτων
- Ολοκλήρωσης σημάτων
- Διαφόρισης σημάτων
- Ενεργά φίλτρα
- Ενισχυτές ισχύος



Σχήμα 4.4. Ισοδύναμο κύκλωμα ΤΕ

Χαρακτηριστική παράμετρος	Σύμβολο	Μέγεθος
Αντίσταση εισόδου	R_i	∞
Αντίσταση εξόδου	R_o	0
Απολαβή τάσης	A_o	∞

Η **απολαβή** ή **κέρδος τάσης** (voltage gain) ορίζεται ως το πηλίκο της τάσης εξόδου u_o προς την τάση εισόδου u_i , ήτοι

$$A_v = \frac{u_o}{u_i} \quad 8.1.1$$

Η **σύνθετη αντίσταση εισόδου** (input impedance), ή απλώς αντίσταση εισόδου, είναι η αντίσταση την οποία παρουσιάζει στην είσοδό του ο ενισχυτής. Η σύνθετη αντίσταση εισόδου συμπεριφέρεται ως αντίσταση φόρτου σε οποιαδήποτε πηγή σήματος συνδεθεί στην είσοδο του ενισχυτή και επηρεάζει τη μεταφορά σήματος από την πηγή αυτή στον ενισχυτή.

Η **σύνθετη αντίσταση εξόδου** (output impedance), ή απλώς αντίσταση εξόδου, είναι η αντίσταση την οποία εκδηλώνει στην έξοδό του ο ενισχυτής όταν συνδέεται με μια αντίσταση φόρτου ή επόμενη βαθμίδα. Η σύνθετη αντίσταση εξόδου επηρεάζει τη δυνατότητα διοχέτευσης ρεύματος στο κύκλωμα εξόδου.

Η **απόκριση συχνότητας** (frequency response) περιγράφει την απολαβή τάσης του ενισχυτή συναρτήσει της συχνότητας του σήματος εισόδου.

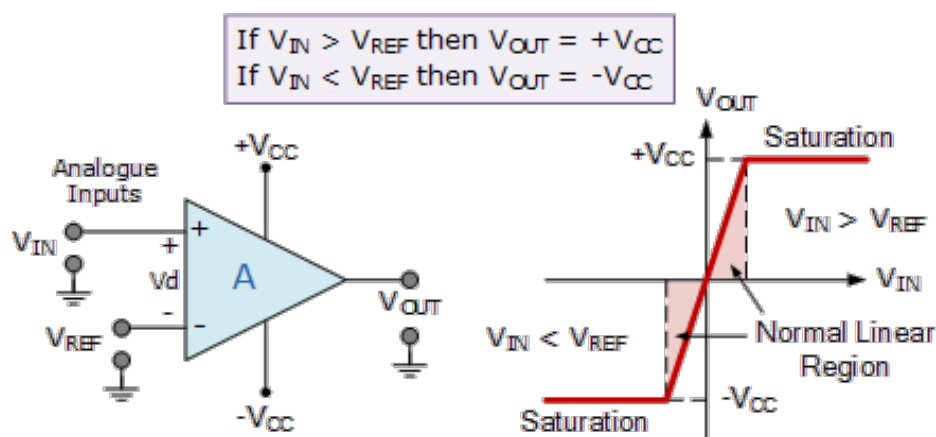
Ιδανικός Τελεστικός Ενισχυτής

Η χρησιμοποίηση ενός τελεστικού ενισχυτή, ακόμα και αν αυτός αντιμετωπίζεται ως μαύρο κουτί, απαιτεί κατ' ελάχιστον τη γνώση λίγων βασικών παραμέτρων του. Για να διευκολυνθεί ακόμα περισσότερο στους υπολογισμούς του ο σχεδιαστής ή ο συντηρητής των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, καταφεύγει συχνά στη χρήση του απλούστερου δυνατού μοντέλου του, που είναι ο **ιδανικός τελεστικός ενισχυτής**.

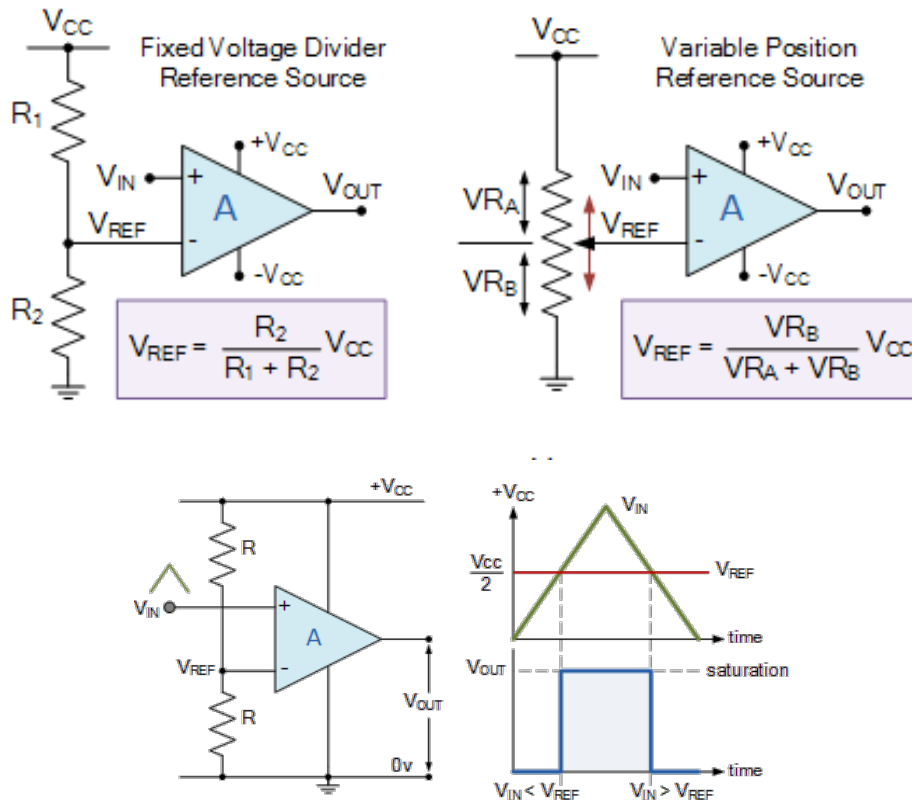
Χαρακτηριστική παράμετρος	Ιδανικός	Πραγματικός	Μονάδες
Αντίσταση εισόδου	∞	2	M Ω
Αντίσταση εξόδου	0	75	Ω
Απολαβή τάσης	∞	200.000	-
Απόκριση συχνότητας (εύρος ζώνης)	∞	1,5	MHz
Ρεύμα πόλωσης εισόδου	0	80	nA
Ρεύμα αποστάθμισης εισόδου	0	20	nA
Τάση αποστάθμισης εισόδου	0	2	mV
Λόγος απόρριψης κοινού τρόπου	∞	90	dB
Ρυθμός μεταβολής τάσης εξόδου	∞	0,5	V/ μ s

Πίνακας 8.1.4. Σύγκριση των χαρακτηριστικών παραμέτρων ιδανικού και πραγματικού τελεστικού ενισχυτή (π.χ. του 741)

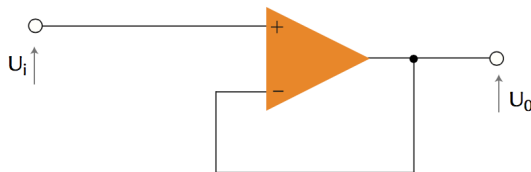
Ο Τ.Ε. ως συγκριτής τάσεων



Παραδείγματα Τ.Ε. ως συγκριτής



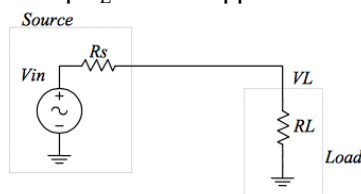
Ο ΤΕ ως ακολουθητής τάσης



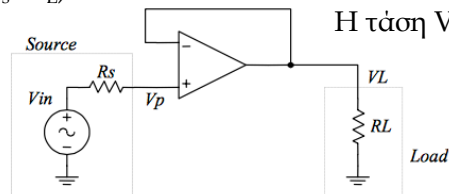
Η τάση V_o είναι ίση με V_{in}

Σχήμα 4.8. Ο ΤΕ συνδεσμοποιημένος ως ακόλουθος τάσης

Η τάση V_L είναι ίση με $V_{in} = R_s / (R_s + R_L)$



(a)

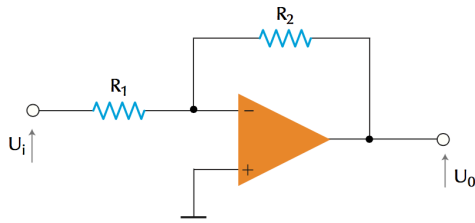


(b)

Figure 16. (a) Source and load connected directly. (b) Source and load connected via a voltage follower.

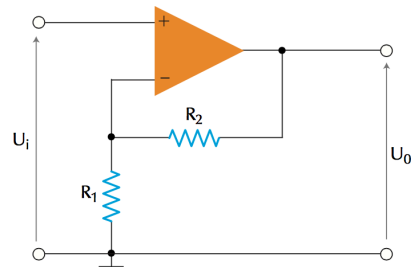
Αναστρέφουσα και μή-αναστρέφουσα συνδεσμολογία Τ.Ε. (OPAMP)

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$



Σχήμα 4.7. ΤΕ συνδεσμολογίας ως αναστρέφων ενισχυτής

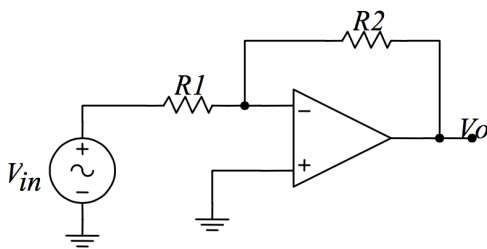
$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}$$



Σχήμα 4.5. Μη αναστρέφων ενισχυτής με ΤΕ

$$\text{Voltage Gain, (A)} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad 20 \log(A) \text{ or } 20 \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \text{ in dB}$$

Αναστρέφουσα συνδεσμολογία Τ.Ε. (OPAMP)



$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$$

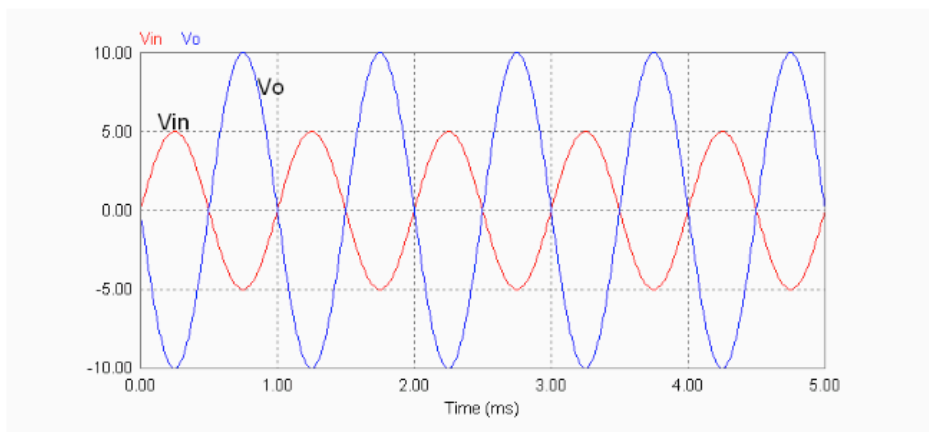
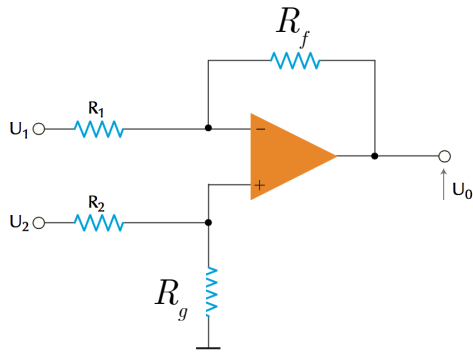


Figure 11. Input and output signals of an inverting amplifier with gain of 2.

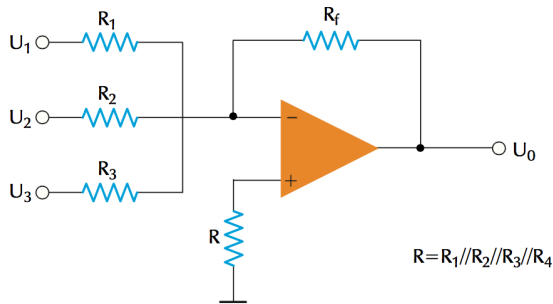
Ο Τ.Ε. ως διαφορικός ενισχυτής και αθροιστής με αναστροφή



$$V_{out} = \frac{R_f}{R_1}(u_2 - u_1)$$

$$A_v \frac{R_f}{R_1} = \frac{R_g}{R_2}$$

Σχήμα 4.10. Κύκλωμα αφαιρέτη

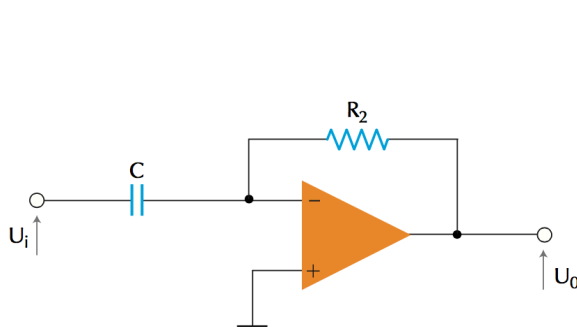


$$U_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot u_1 + \frac{R_f}{R_2} \cdot u_2 + \frac{R_f}{R_3} \cdot u_3\right)$$

$$R = R_1 // R_2 // R_3 // R_4$$

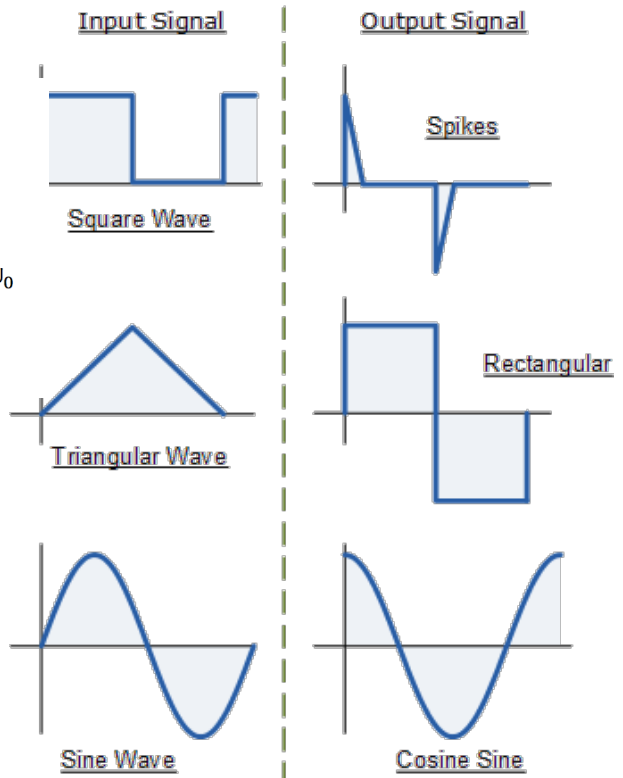
Σχήμα 4.9. Αθροιστής με αναστροφή

Ο Τ.Ε. ως διαφοριστής σήματος



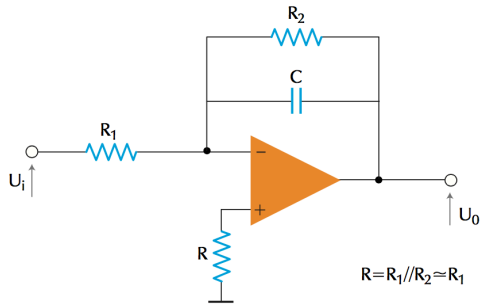
Σχήμα 4.14. Κύκλωμα διαφοριστή με ΤΕ

$$V_{out} = -R_2 C \frac{dV_{in}}{dt}$$



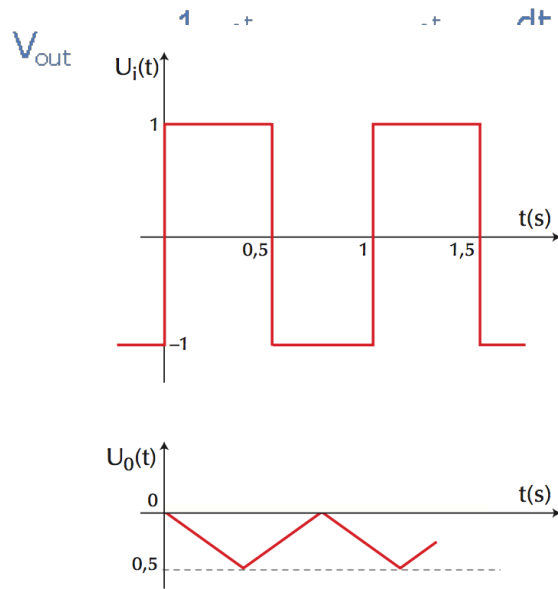
• http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_7.html

Ο Τ.Ε.ως ολοκληρωτής σήματος



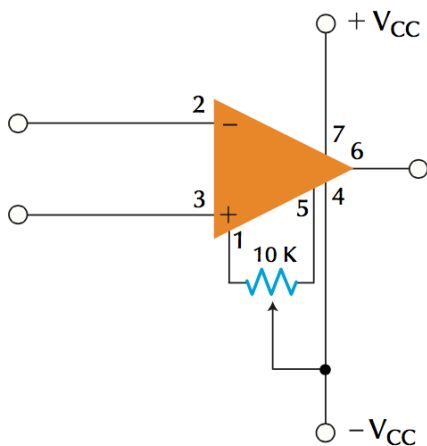
Σχήμα 4.12. Πρακτικό κύκλωμα ολοκληρωτή με ΤΕ

$$V_{out} = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t V_{in}(\tau) d\tau$$

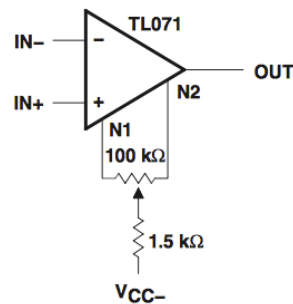


• http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_6.html

Αντιστάθμιση τάσης Τ.Ε.



Σχήμα 4.23. Αντιστάθμιση τάσης του ΤΕ 741



re 3. Input Offset-Voltage Null Circuit