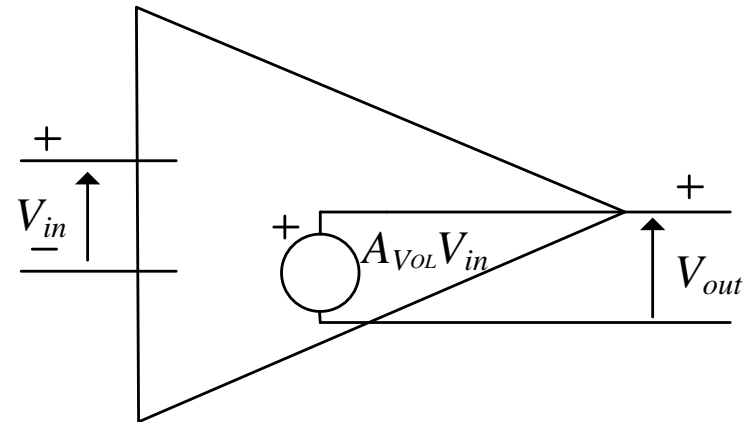
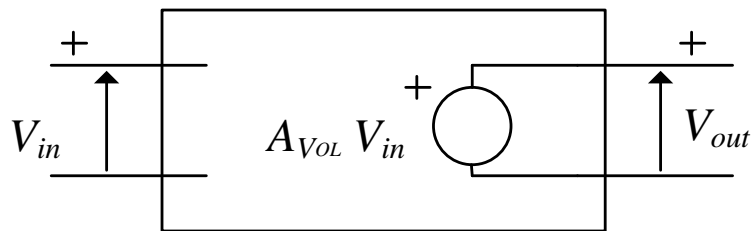


Τελεστικοί Ενισχυτές

- Ιδανικός Τελεστικός Ενισχυτής (ΤΕ, OpAmp)
 - ένας ενισχυτής με **διαφορική είσοδο** $V_{in} = V_+ - V_-$ που έχει :
 - άπειρη αντίσταση εισόδου $R_{in} \rightarrow \infty$,
 - άπειρη ενίσχυση ανεξάρτητη από τη συχνότητα (ενίσχυση ανοικτού βρόγχου) $A_{VOL} \rightarrow \infty$ και
 - μηδενική αντίσταση εξόδου $R_{out} \rightarrow 0$.

Ιδανικός Τελεστικός Ενισχυτής

- Το ισοδύναμο κύκλωμα του ιδανικού τελεστικού ενισχυτή είναι μια ιδανική πηγή τάσης ελεγχόμενη από τάση



Ιδανικός Τελεστικός Ενισχυτής

- Άμεση συνέπεια των πιο πάνω:
 - το ρεύμα εισόδου είναι μηδέν:

$$i_+ = i_- \rightarrow 0$$

- η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο εισόδων είναι μηδέν:

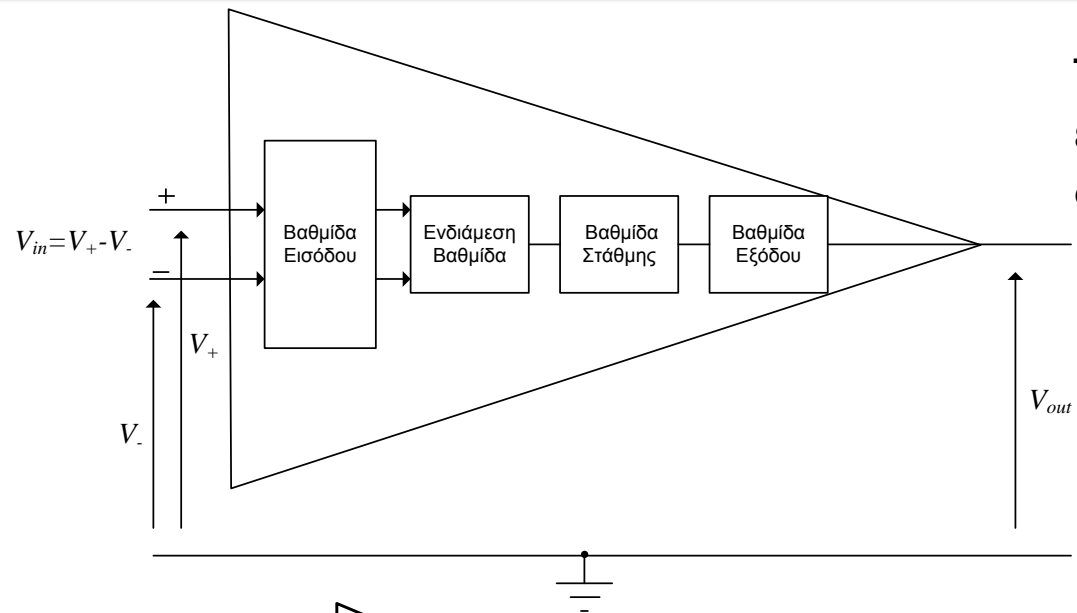
$$(V_+ - V_-) \xrightarrow[A_{VOL} \rightarrow \infty]{V_{out} = A_{VOL}(V_+ - V_-) \Rightarrow (V_+ - V_-) = V_{out} / A_{VOL}} 0$$

- η ενίσχυση του κυκλώματος, στο οποίο υπάρχει ο τελεστικός ενισχυτής, καθορίζεται μόνο από τα εξωτερικά στοιχεία.

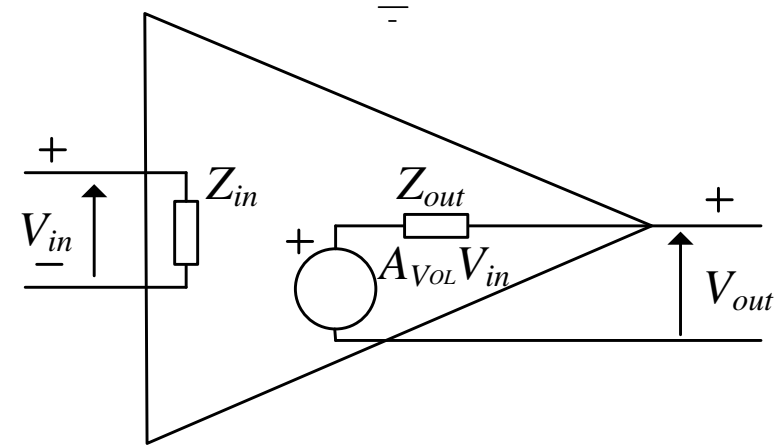
Πραγματικός Τελεστικός Ενισχυτής

- Τα κύρια χαρακτηριστικά του πραγματικού ΤΕ τα οποία τον διαφοροποιούν από τον ιδανικό είναι:
 - **Αντίσταση εισόδου:** Τυπικές τιμές $10^{12} \Omega$ για ενισχυτές με FET και $100 \text{ K}\Omega - 10 \text{ M}\Omega$ για ενισχυτές με BJT στο στάδιο εισόδου, αντίστοιχα.
 - **Ρεύμα εισόδου:** Τυπικές τιμές $100 \text{ pA} - 100 \text{ nA}$ για ενισχυτές με FET και $0.1 \mu\text{A} - 1 \mu\text{A}$ για ενισχυτές με BJT στο στάδιο εισόδου, αντίστοιχα.
 - **Αντίσταση εξόδου:** Τυπική τιμή 100Ω
 - **Ενίσχυση ανοικτού βρόγχου :** $60 - 120 \text{ dB}$ για συχνότητα 0 Hz (DC σήμα).
 - Αλλά χαρακτηριστικά στοιχεία του πραγματικού ΤΕ είναι η **τάση μετατόπισης (offset) εισόδου**, το **ρεύμα πόλωσης εισόδου**, ο **θόρυβος** κλπ. Τιμές για τα μεγέθη αυτά δίνονται από τους κατασκευαστές για κάθε τύπο τελεστικού ενισχυτή.

Πραγματικός Τελεστικός Ενισχυτής

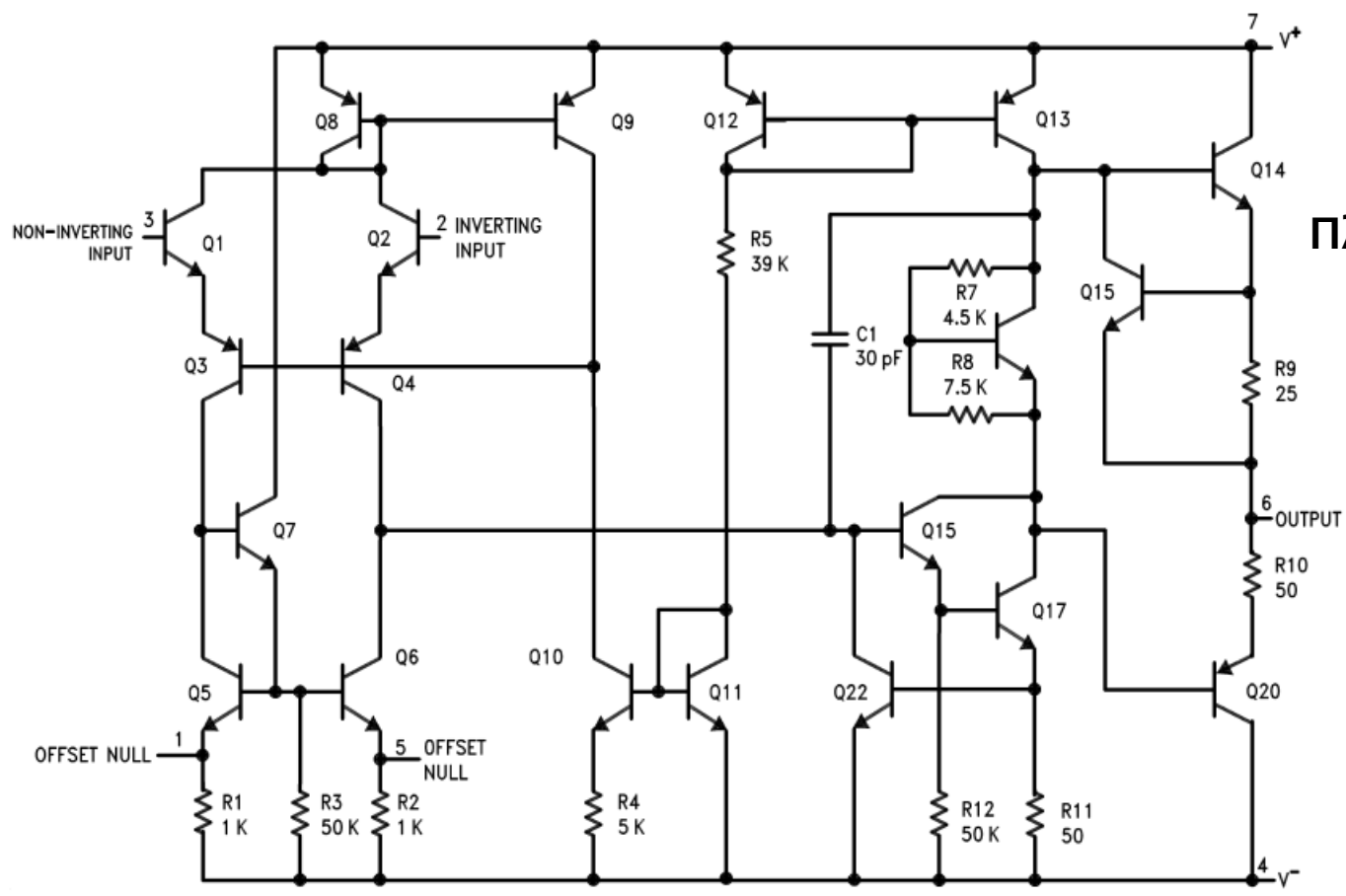


Τυπική δομή τελεστικού ενισχυτή με τη μορφή διαγράμματος 4 βαθμίδων



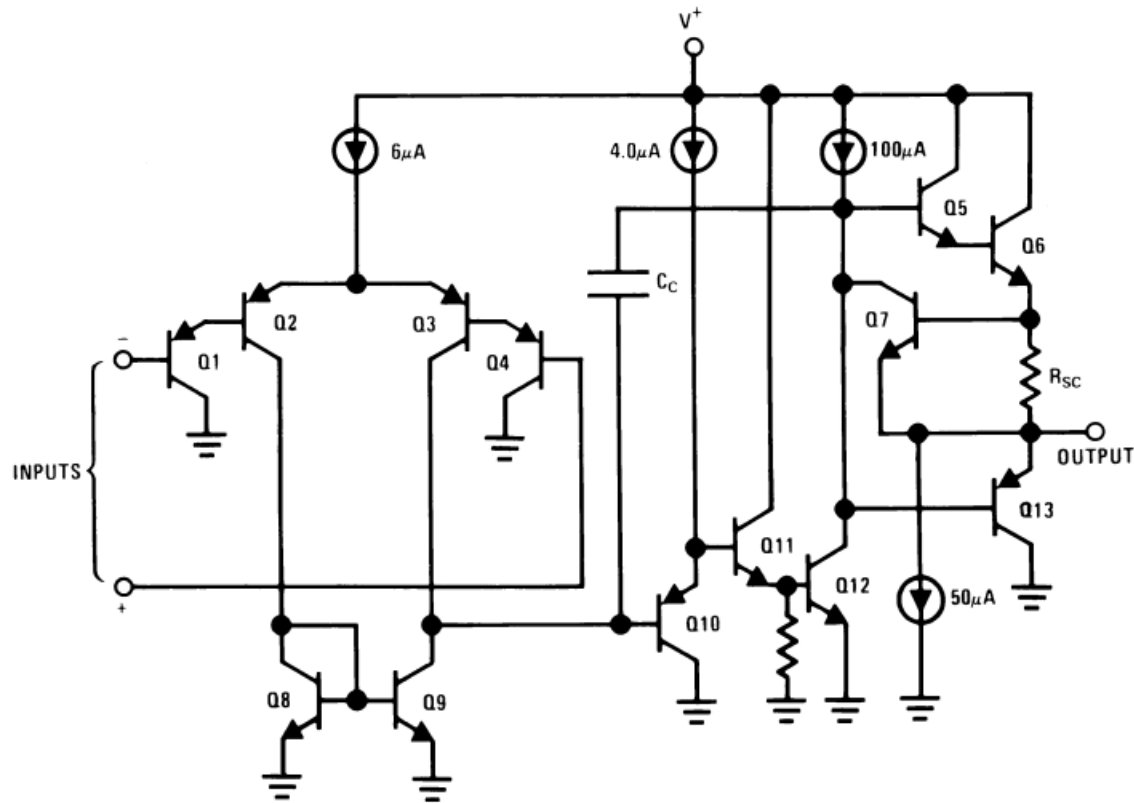
Μοντέλο πραγματικού τελεστικού ενισχυτή

Πραγματικός Τελεστικός Ενισχυτής



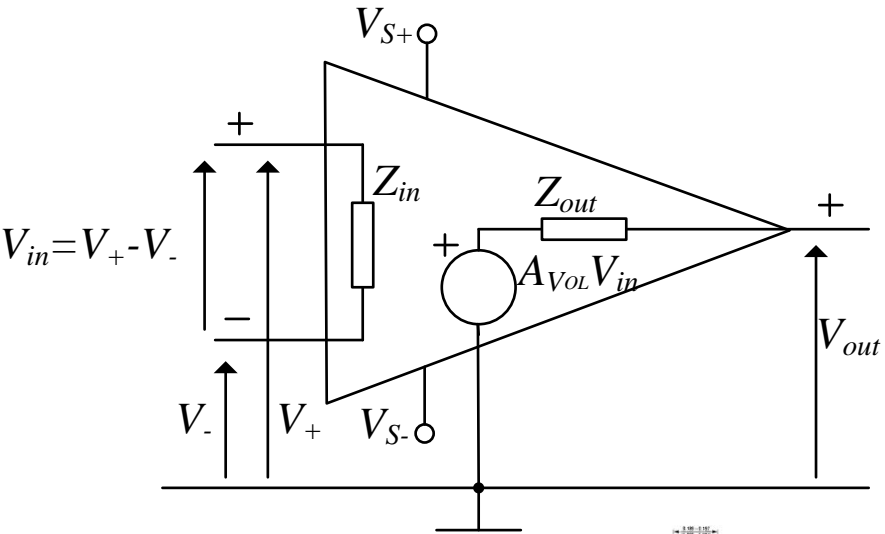
Πλήρες κύκλωμα 741

Πραγματικός Τελεστικός Ενισχυτής



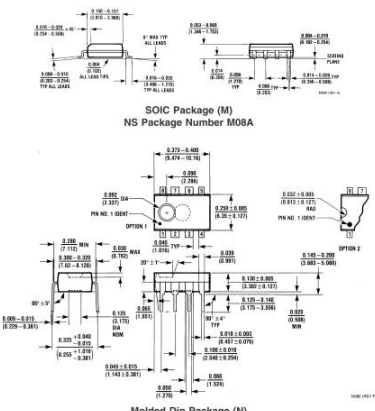
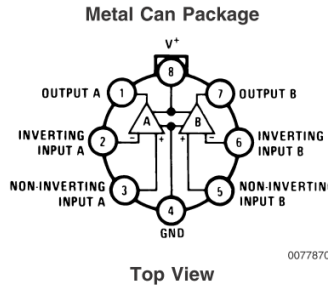
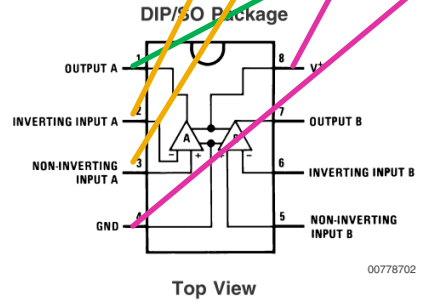
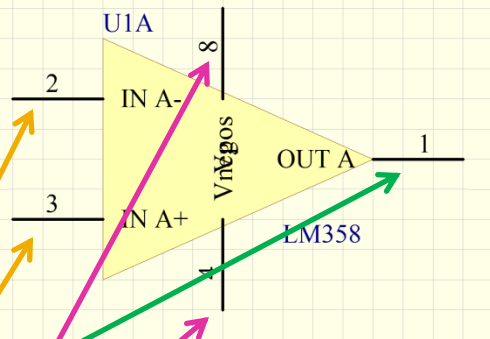
Πλήρες κύκλωμα 358

Σύμβολο, ακροδέκτες, πακετάρισμα (packaging) ΤΕ



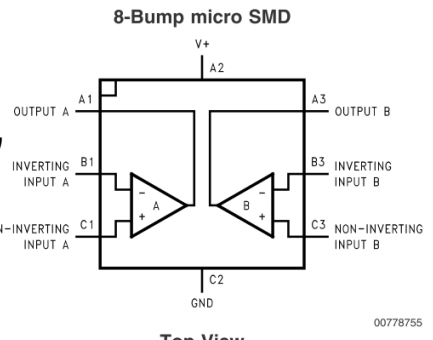
Μοντέλο ανάλυσης

Κυκλωματικό Σύμβολο



Μηχανολογικές διαστάσεις διαφορετικών πακεταρισμάτων

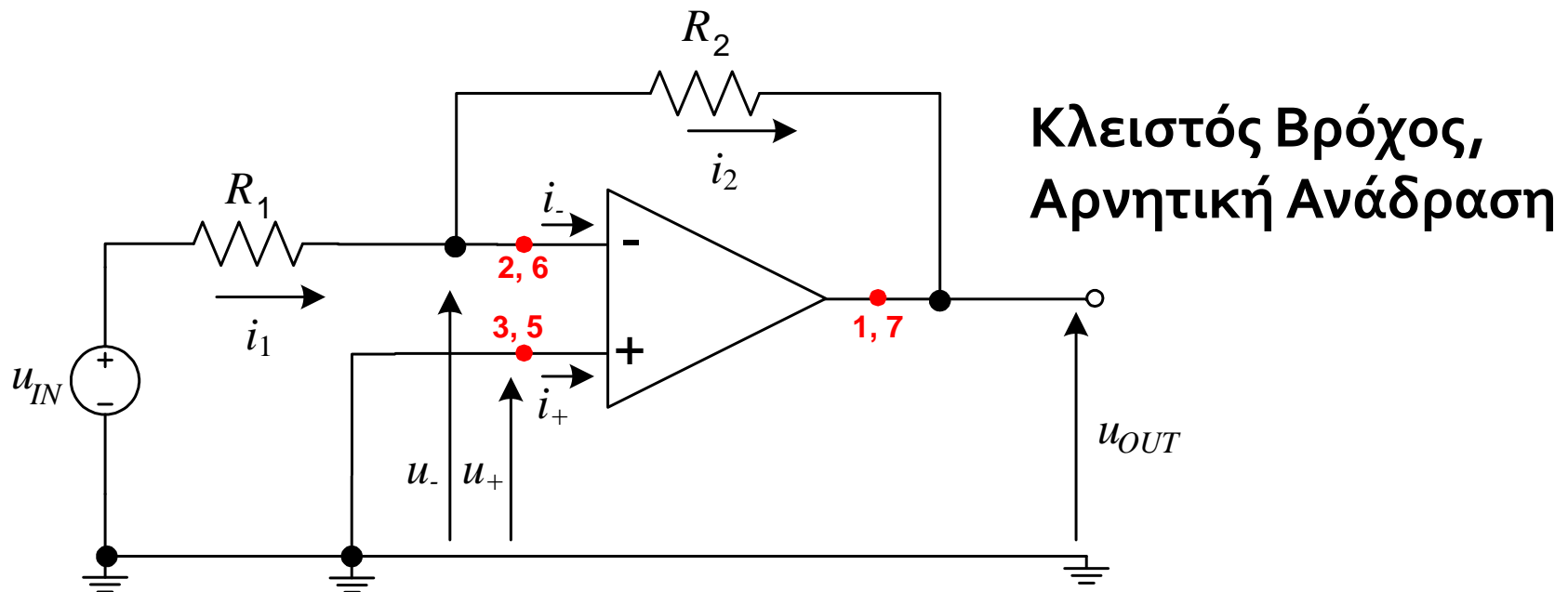
Τοπογραφικά διαφορετικών πακεταρισμάτων



Αναστρέφουσα Συνδεσμολογία

Αναστρέφουσα συνδεσμολογία ενισχυτή με ΤΕ, DC σύζευξη .

Διακρίνονται με κόκκινο χρώμα οι αριθμοί των ακροδεκτών για τυπική περίπτωση πραγματικού ΤΕ



Υποτίθεται συμμετρική τροφοδοσία για τον τελεστικό ενισχυτή η οποία για ευκολία δε φαίνεται στο σχήμα.

Αριθμοί των ακροδεκτών των δυο τελεστικών ενισχυτών που υπάρχουν σε ένα τυπικό πακετάρισμα 8 ακροδεκτών ζεύγους τελεστικών ενισχυτών όπως εκείνο του LM358. Οι αριστεροί αριθμοί αντιστοιχούν στους αριθμούς των ακροδεκτών του τελεστικού «Α», ενώ οι δεξιοί σ' αυτούς του τελεστικού «Β»

Αναστρέφουσα Συνδεσμολογία

Αναστρέφουσα συνδεσμολογία ενισχυτή με ΤΕ, DC σύζευξη .

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι ιδιότητες που αποδίδονται σε έναν ιδανικό ΤΕ οδηγούν στο αποτέλεσμα ότι το ρεύμα εισόδου είναι μηδέν και ότι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο εισόδων είναι μηδέν

$$u_+ - u_- \rightarrow 0 \Rightarrow u_+ \cong u_-$$

$$u_+ = 0V \Rightarrow u_- \approx 0V$$

N. Ohm

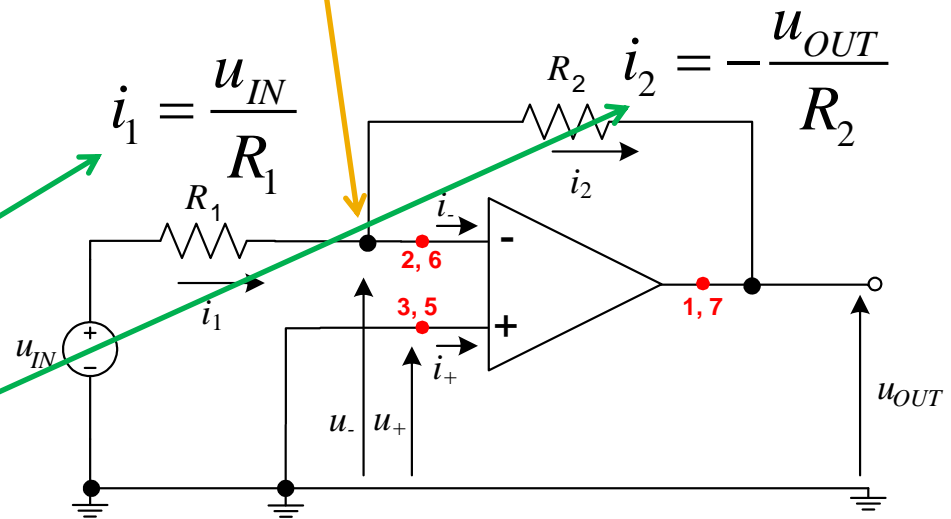
$$u_{IN} - u_- = i_1 R_1$$

$$u_- - u_{OUT} = i_2 R_2$$

$$u_- = 0$$

$$i_2 = i_1 - i_- \xrightarrow{i_- = 0} i_2 = i_1$$

KCL



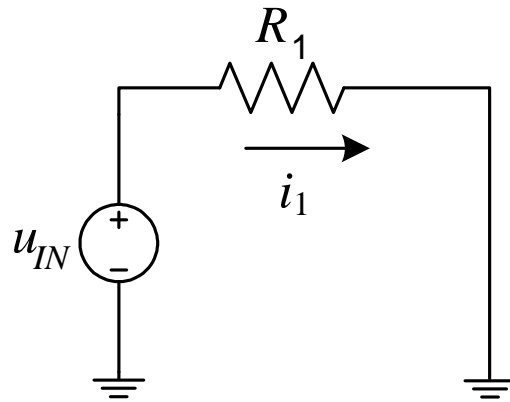
$$-\frac{u_{OUT}}{R_2} = \frac{u_{IN}}{R_1} \Rightarrow A_{CL} = \frac{u_{OUT}}{u_{IN}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Αναστρέφουσα Συνδεσμολογία

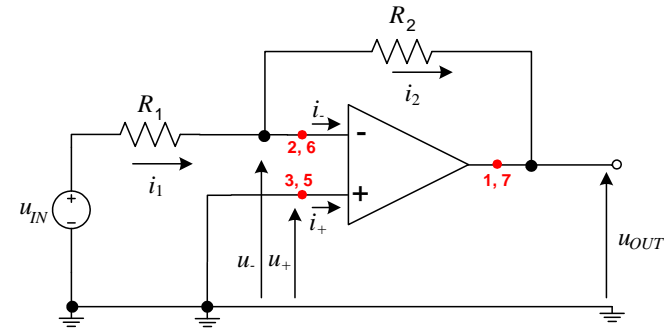
■ Αντίσταση Εισόδου

Τι κύκλωμα «βλέπει»
η πηγή στην είσοδο?

$$u_+ = 0V \Rightarrow u_- \approx 0V$$



$$R_{in} = \frac{u_i}{i_i} = \frac{u_{IN}}{i_1} \Rightarrow \boxed{R_{in} \cong R_1}$$



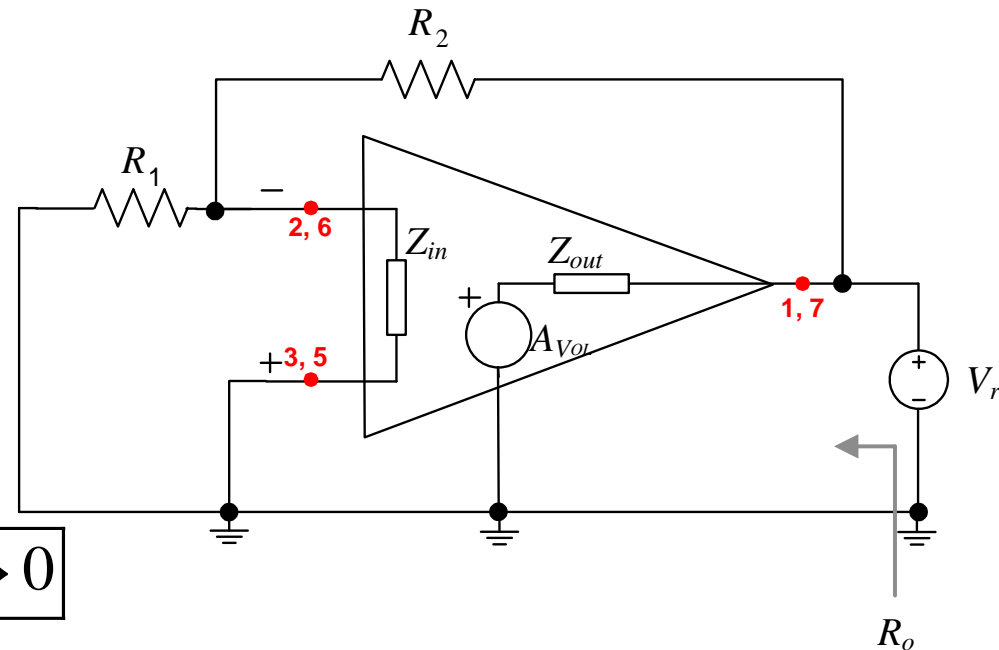
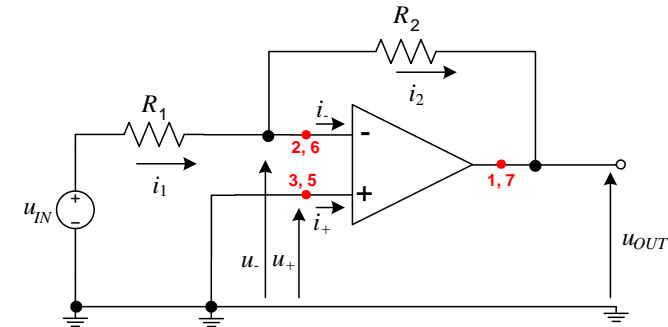
Αναστρέφουσα Συνδεσμολογία

■ Αντίσταση Εξόδου

Τι κύκλωμα θα «έβλεπε»
μια πηγή από την έξοδο?
(αν δεν υπήρχε πηγή στην είσοδο)

Όπως θα μάθουμε αργότερα,
στην ανάλυση κυκλωμάτων με
ανάδραση....

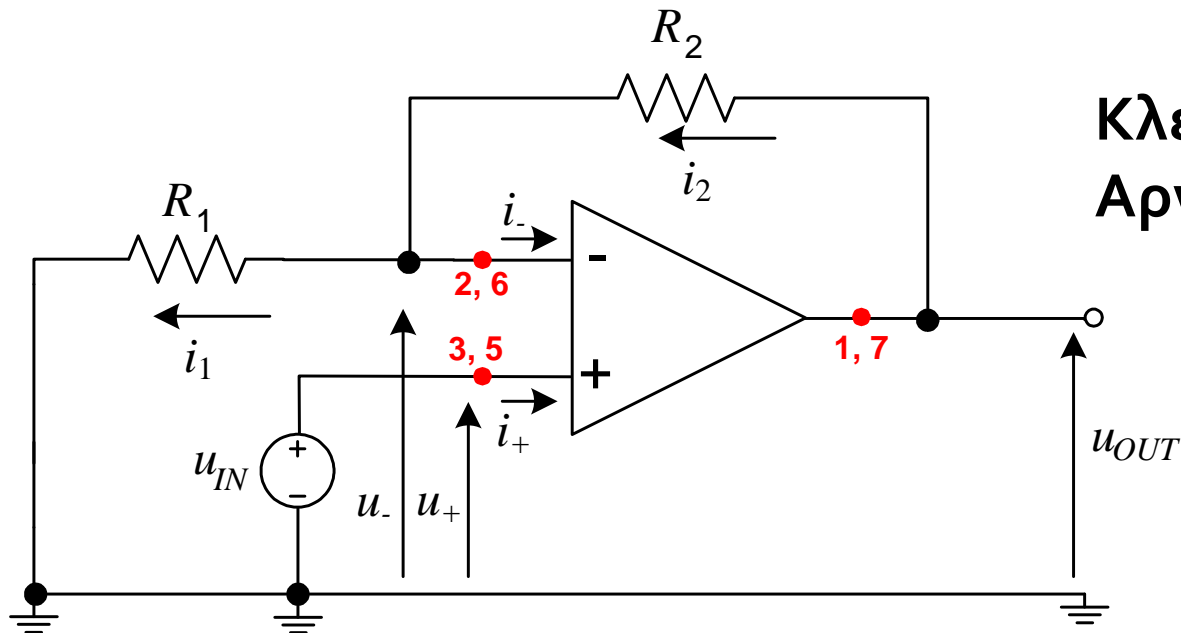
$$R_o \cong \frac{Z_{out}}{1 + \frac{A_{VOL}}{1 + R_2/R_1}} \xrightarrow{A_{VOL} \rightarrow \infty} \boxed{R_o \rightarrow 0}$$



Μη-Αναστρέφουσα Συνδεσμολογία

Μη-Αναστρέφουσα συνδεσμολογία ενισχυτή με ΤΕ, DC σύζευξη

- Διακρίνονται με κόκκινο χρώμα οι αριθμοί των ακροδεκτών για τυπική περίπτωση πραγματικού ΤΕ



**Κλειστός Βρόχος,
Αρνητική Ανάδραση**

Υποτίθεται συμμετρική τροφοδοσία για τον τελεστικό ενισχυτή η οποία για ευκολία δε φαίνεται στο σχήμα. Αριθμοί των ακροδεκτών των δυο τελεστικών ενισχυτών που υπάρχουν σε ένα τυπικό πακετάρισμα 8 ακροδεκτών ζεύγους τελεστικών ενισχυτών όπως εκείνο του LM358. Οι αριστεροί αριθμοί αντιστοιχούν στους αριθμούς των ακροδεκτών του τελεστικού «Α», ενώ οι δεξιοί σ' αυτούς του τελεστικού «Β»

Μη-Αναστρέφουσα Συνδεσμολογία

Μη-Αναστρέφουσα συνδεσμολογία ενισχυτή με ΤΕ, DC σύζευξη

Ομοίως, σε έναν ιδανικό ΤΕ, το ρεύμα εισόδου είναι μηδέν και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο εισόδων είναι μηδέν

$$u_+ - u_- \rightarrow 0 \Rightarrow u_+ \cong u_-$$

$$u_+ = u_{IN} \Rightarrow u_- \approx u_{IN}$$

N. Ohm

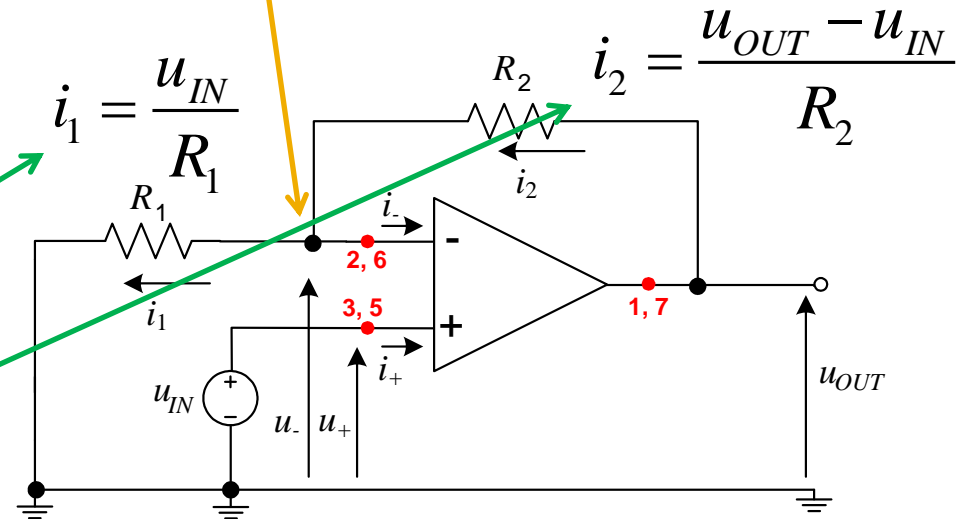
$$u_- - 0 = i_1 R_1$$

$$u_{OUT} - u_{IN} = i_2 R_2$$

$$u_- = u_{IN}$$

$$i_2 = i_1 + i_- \xrightarrow{i_- = 0} i_2 = i_1$$

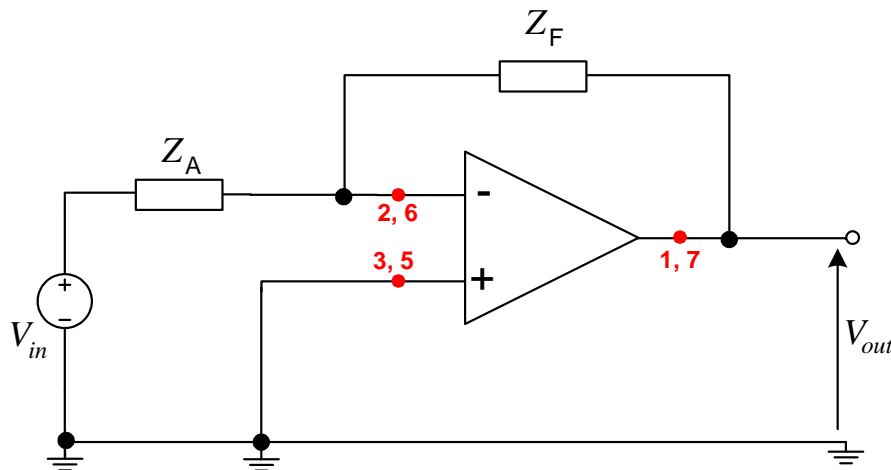
KCL



$$\frac{u_{OUT} - u_{IN}}{R_2} = \frac{u_{IN}}{R_1} \Rightarrow A_{CL} = \frac{u_{OUT}}{u_{IN}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Ενισχυτές με ΤΕ και εμπεδήσεις

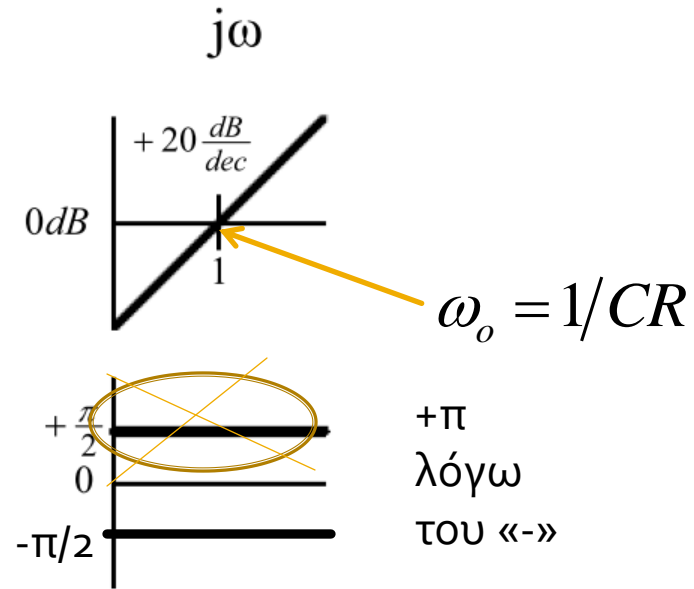
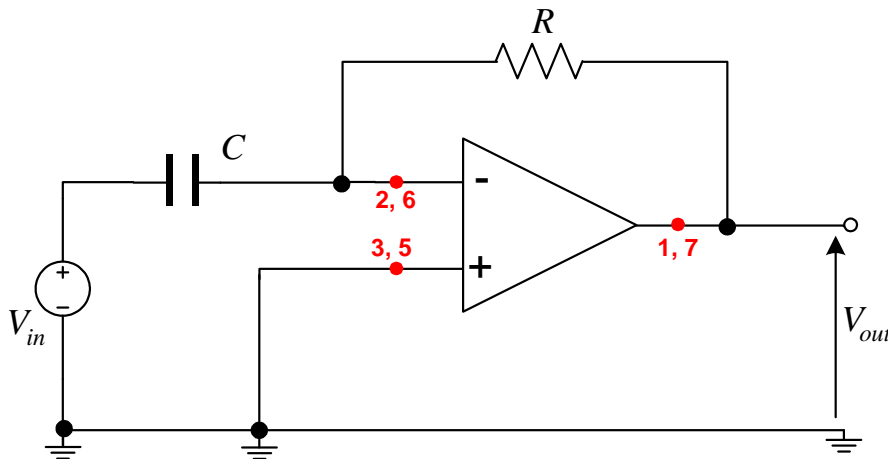
- Τόσο η αναστρέφουσα όσο και η μη-αναστρέφουσα συνδεσμολογία μπορεί κάλλιστα να μελετηθεί στο **πεδίο της συχνότητας**, γενικεύοντας μάλιστα τις σχέσεις που ισχύουν **αντικαθιστώντας τις αντιστάσεις με εμπεδήσεις**.
- Συγκεκριμένα η αναστρέφουσα συνδεσμολογία μπορεί να αντιμετωπιστεί ως εξής:



$$A_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{Z_F}{Z_A}$$

Ιδανικός Διαφοριστής

- Αν η εμπέδηση Z_A είναι χωρητική $Z_A = 1/sC$ και η εμπέδηση ανάδρασης είναι πλήρως ωμική $Z_F = R$



$$A_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{Z_F}{Z_A} = -\frac{R}{1/sC} \Rightarrow A_{CL} = -sCR \xrightarrow{MHK} A_{CL} = -j\omega CR$$

Ιδανικός Διαφοριστής

- Στο πεδίο του χρόνου το κύκλωμα εκτελεί την πράξη της παραγωγίσισης ως προς το χρόνο.

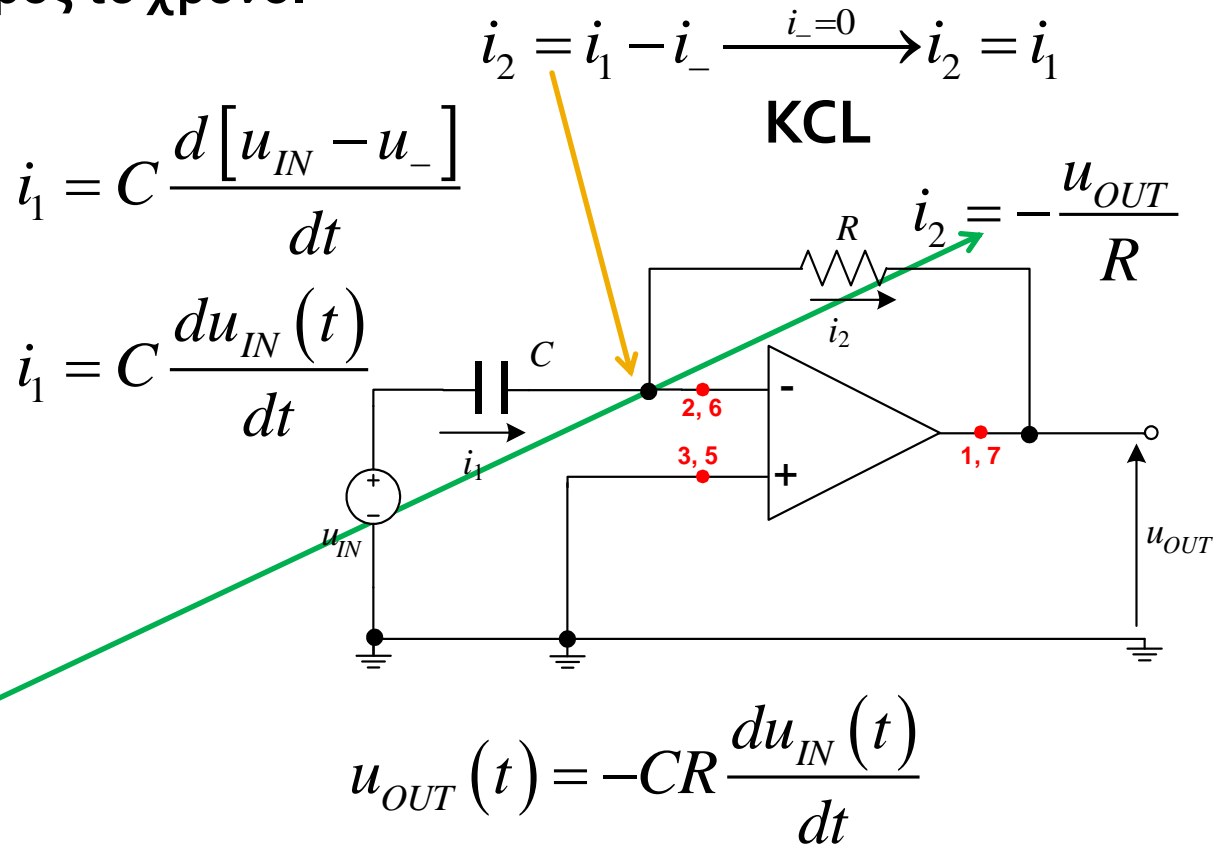
Όπως είναι γνωστό, σε έναν ιδανικό ΤΕ, το ρεύμα εισόδου είναι μηδέν και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο εισόδων είναι μηδέν

$$u_+ - u_- \rightarrow 0 \Rightarrow u_+ \cong u_-$$

$$u_+ = 0V \Rightarrow u_- \approx 0V$$

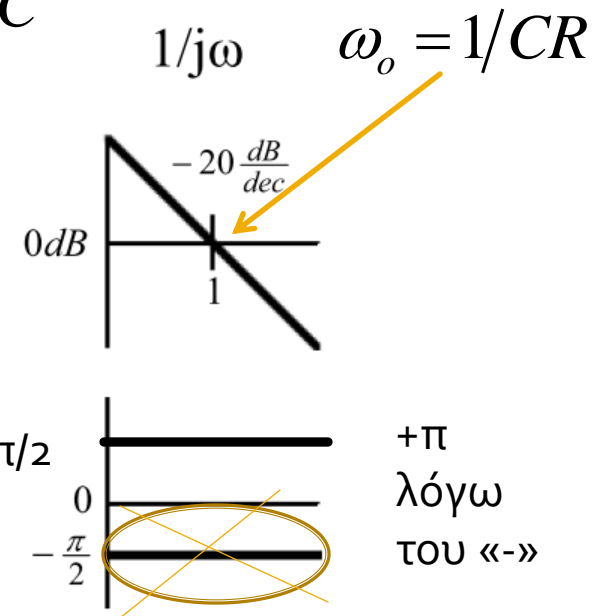
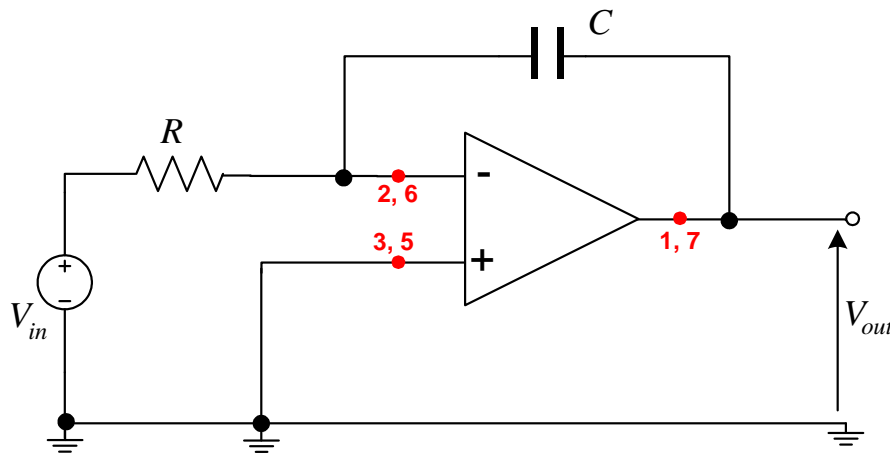
N. Ohm

$$\left. \begin{aligned} u_- - u_{OUT} &= i_2 R \\ u_- &= 0 \end{aligned} \right\}$$



Ιδανικός Ολοκληρωτής

- Αν η εμπέδηση Z_A είναι ωμική $Z_A = R$ και η εμπέδηση ανάδρασης είναι πλήρως χωρητική $Z_F = 1/sC$



$$A_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{Z_F}{Z_A} = -\frac{1/sC}{R} \Rightarrow A_{CL} = -1/sCR \xrightarrow{MHK} A_{CL} = -1/j\omega CR$$

Ιδανικός Ολοκληρωτής

- Στο πεδίο του χρόνου το κύκλωμα εκτελεί την πράξη της ολοκλήρωσης ως προς το χρόνο.

Όπως είναι γνωστό, σε έναν ιδανικό ΤΕ, το ρεύμα εισόδου είναι μηδέν και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο εισόδων είναι μηδέν

$$u_+ - u_- \rightarrow 0 \Rightarrow u_+ \cong u_-$$

$$u_+ = 0V \Rightarrow u_- \approx 0V$$

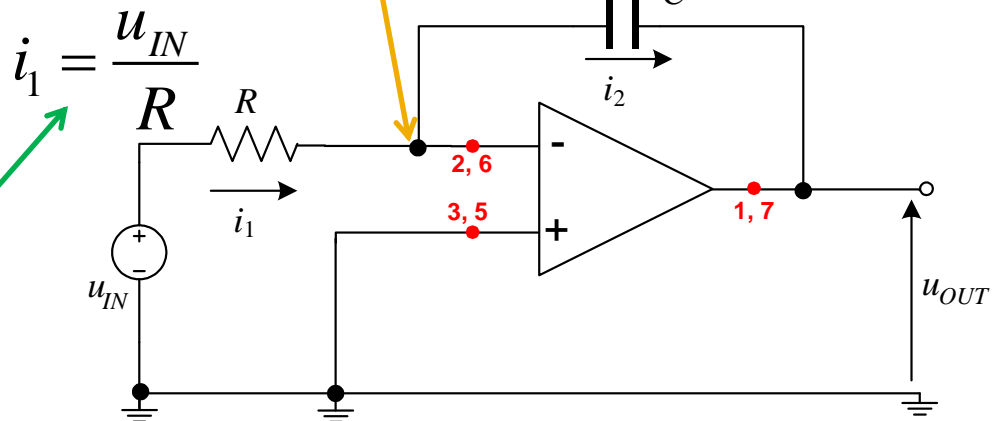
N. Ohm

$$\left. \begin{aligned} u_{IN} - u_- &= i_1 R \\ u_- &= 0 \end{aligned} \right\}$$

$$i_2 = i_1 - i_- \xrightarrow{i_- = 0} i_2 = i_1$$

KCL

$$u_C = V_C + \frac{1}{C} \int_0^t i_2(t) dt$$



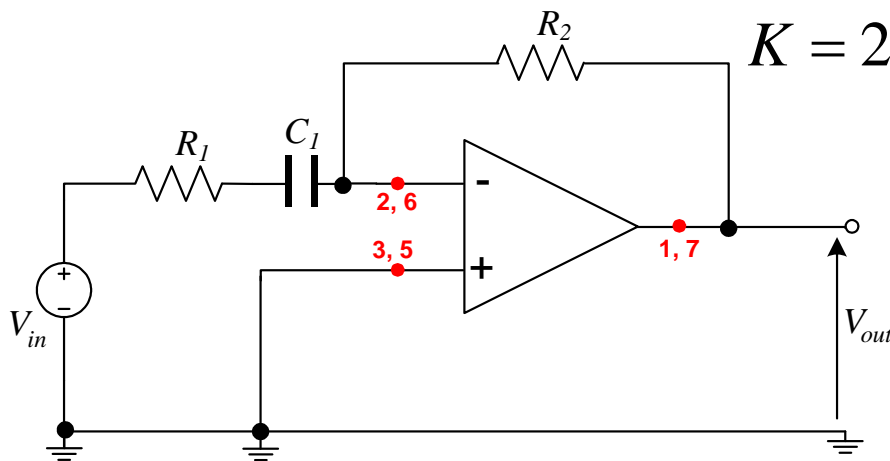
$$u_- - u_{OUT} = u_C \Rightarrow u_{out}(t) = -\frac{1}{CR} \int_0^t u_{in}(t) dt - V_C$$

Ενεργό Υψιπερατό Φίλτρο 1^{ης} Τάξης

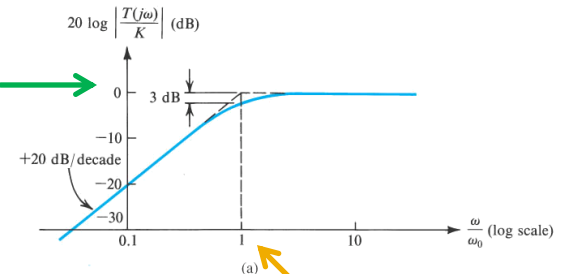
$$A_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{Z_F}{Z_A}$$

$$Z_A = R_1 + Z_{C1} = R_1 + (sC_1)^{-1}$$

$$Z_F = R_2$$

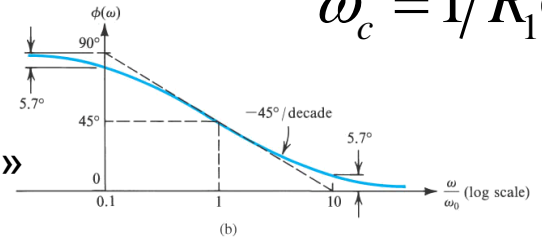


$$K = 20 \log \frac{R_2}{R_1}$$



$$\omega_c = 1/R_1 C_1$$

+π
λόγω
του «-»

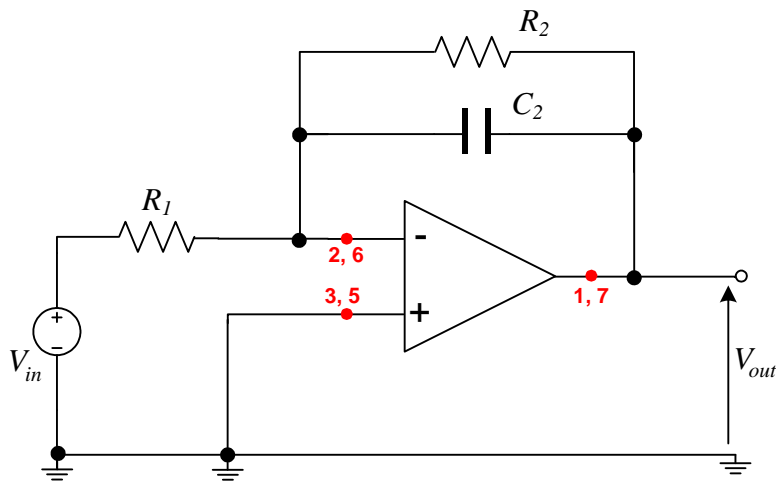


$$G_{HPF1}(s) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{sR_1 C_1}} \Rightarrow G_{HPF1}(s) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{sR_1 C_1}{1 + sR_1 C_1}$$

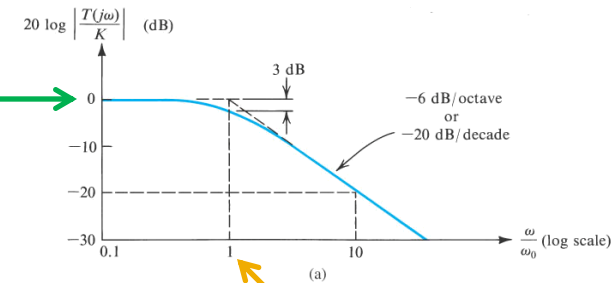
Ενεργό Χαμηλοπερατό Φίλτρο 1^{ης} Τάξης

$$A_{CL} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{Z_F}{Z_A}$$

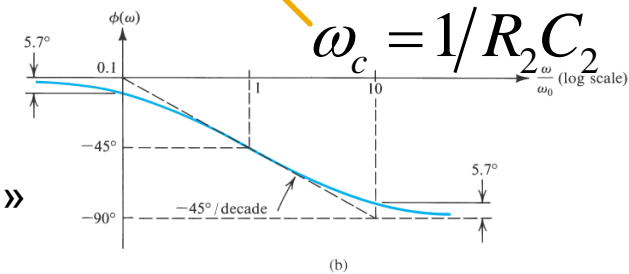
$$Z_A = R_1 \quad Z_F = R_2 // Z_{C2} = \left(R_2^{-1} + sC_2 \right)^{-1}$$



$$K = 20 \log \frac{R_2}{R_1}$$



+π
λόγω
ΤΟΥ «-»

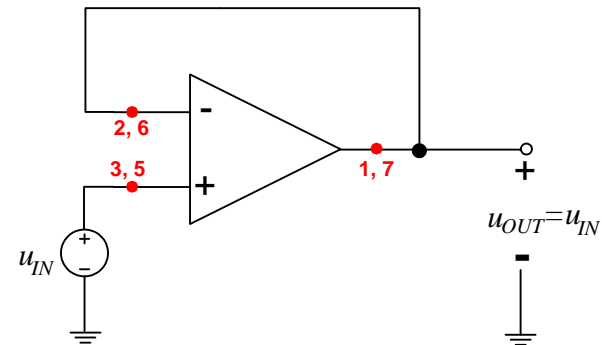


$$G_{LPF1}(s) = -\frac{\left(R_2^{-1} + sC_2 \right)^{-1}}{R_1} \Rightarrow G_{LPF1}(s) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + sR_2C_2}$$

Απομονωτής (Buffer)

- Η Μη-Αναστρέφουσα συνδεσμολογία ενισχυτή με ΤΕ, λόγω των **εξαιρετικών χαρακτηριστικών** που εμφανίζει σε σχέση με τις **αντιστάσεις εισόδου & εξόδου**, χρησιμοποιείται συχνά για την «απομόνωση» σε σειρά διασυνδεδεμένων βαθμίδων →
- η προηγούμενη δε «βλέπει» σα φορτίο την επόμενη, ώστε να επηρεάζονται τα χαρακτηριστικά της μιας από την άλλη
- Πολλές φορές δε χρειάζεται να έχει κέρδος (ενίσχυση), αλλά σαν τότε χρησιμοποιείται κυρίως σαν μετασχηματιστής σύνθετης αντίστασης ή σαν ενισχυτής ισχύος, οπότε τότε ονομάζεται:
 - Απομονωτής μοναδιαίου κέρδους (unity gain buffer) ή
 - Ακόλουθος Τάσης (Voltage Follower) απ' το γεγονός ότι η τάση εξόδου «ακολουθεί» την τάση εισόδου.

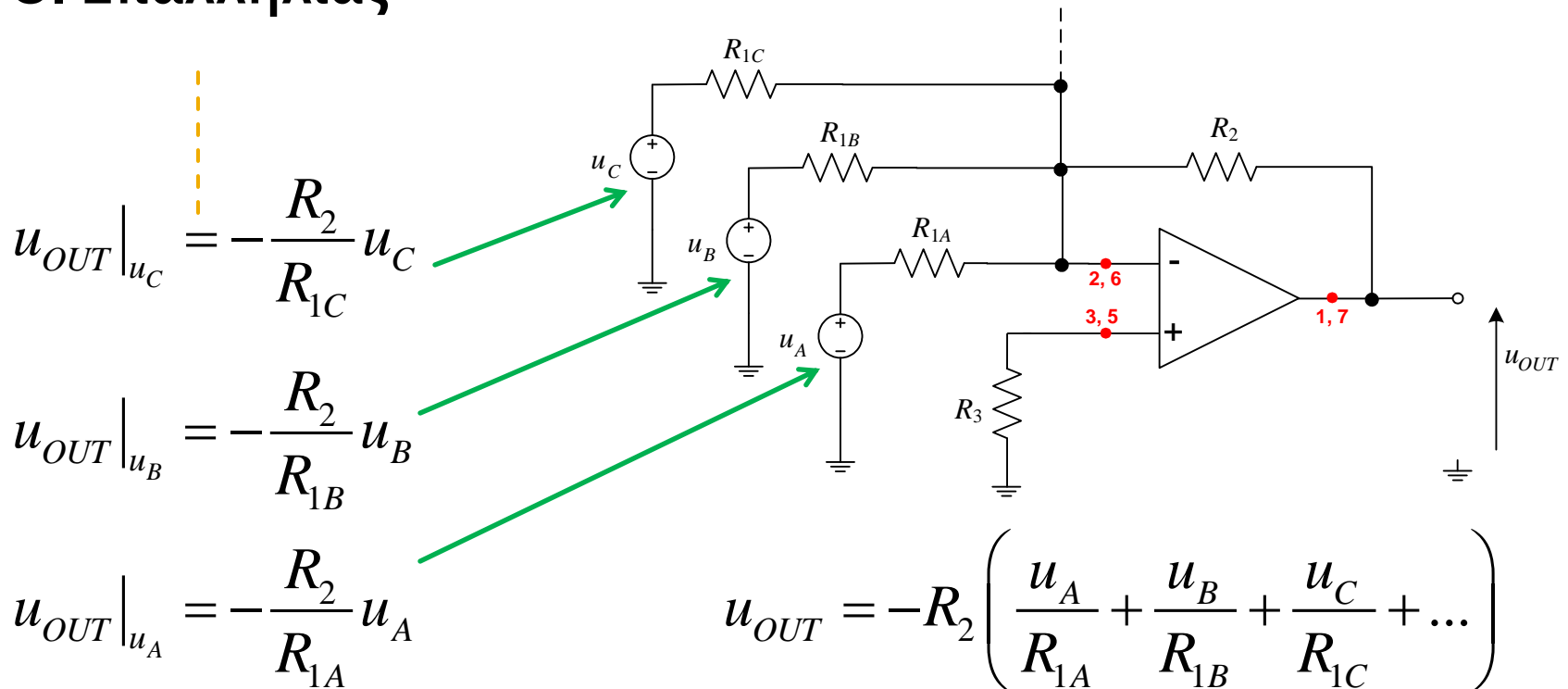
$$A_{CL} = 1 \Leftrightarrow A_{CL \text{ (dB)}} = 0\text{dB}$$



Αναστρέφων Αθροιστής

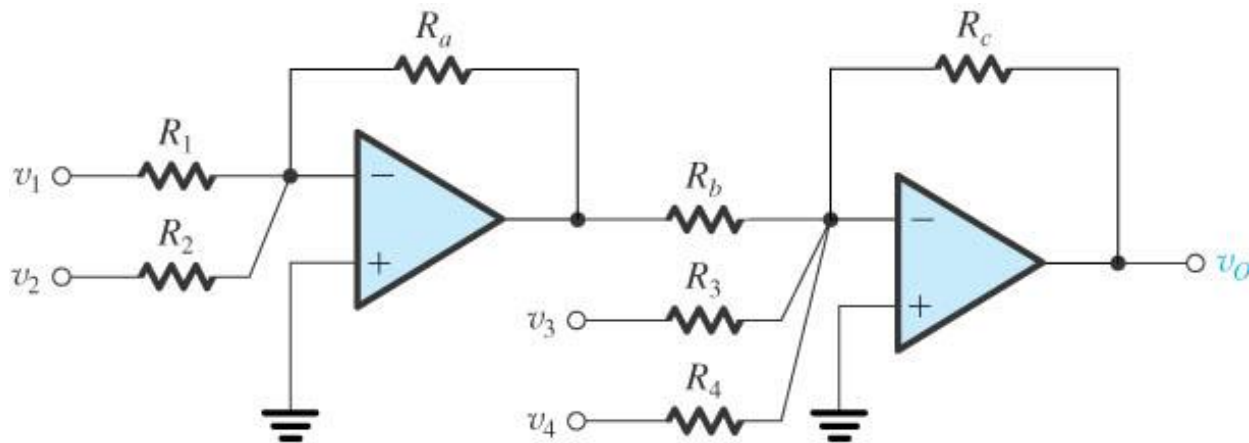
Αναστρέφουσα συνδεσμολογία ενισχυτή με ΤΕ, DC σύζευξη .

Θ. Επαλληλίας



Αναστρέφων Αθροιστής

- Η σύνδεση 2 αναστρεφόντων αθροιστών σε σειρά δίνει ένα αθροιστή με 2 πολικότητες



Διαφορικός Ενισχυτής με ΤΕ

- Ο διαφορικός ενισχυτής (ΔΕ) ή ενισχυτής διαφοράς (difference amplifier),
- είναι ένας ενισχυτής βασισμένος στη χρήση ενός τελεστικού ενισχυτή, ο οποίος ενισχύει τη διαφορά δυο σημάτων που τροφοδοτούν τις δυο εισόδους του.
- Ο ΔΕ εκτελεί τη λειτουργία την οποία εκτελεί και ο ίδιος ΤΕ.
- Η διαφορά έγκειται στο ότι ο ΤΕ ενισχυτής βρίσκεται υπό καθεστώς αρνητικής ανάδρασης και η ενίσχυση ελέγχεται από εξωτερικά παθητικά στοιχεία (αντιστάτες). Αυτά είτε προστίθεται από το σχεδιαστή / χρήστη του ΤΕ είτε είναι ήδη υλοποιημένα εντός του ίδιου ολοκληρωμένου

Διαφορικός Ενισχυτής με ΤΕ

Όπως είναι γνωστό, σε έναν ιδανικό ΤΕ, το ρεύμα εισόδου είναι μηδέν και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο εισόδων είναι μηδέν

$$u_+ - u_- \rightarrow 0 \Rightarrow u_+ \cong u_-$$

N. Ohm

$$u_1 - u_- = i_1 R_1$$

$$u_- - u_{OUT} = i_2 R_2$$

$$u_- = u_+$$

$$\frac{u_1 - u_+}{R_1} = \frac{u_+ - u_{OUT}}{R_2} \Rightarrow$$

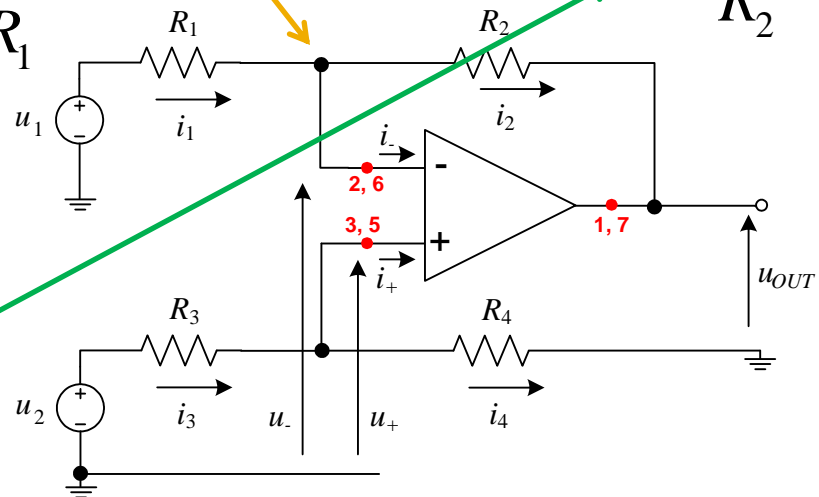
$$u_{OUT} = u_+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \frac{R_2}{R_1} u_1$$

$$i_2 = i_1 - i_- \xrightarrow{i_- = 0} i_2 = i_1$$

KCL

$$i_1 = \frac{u_1 - u_+}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{u_+ - u_{OUT}}{R_2}$$



Διαφορικός Ενισχυτής με ΤΕ

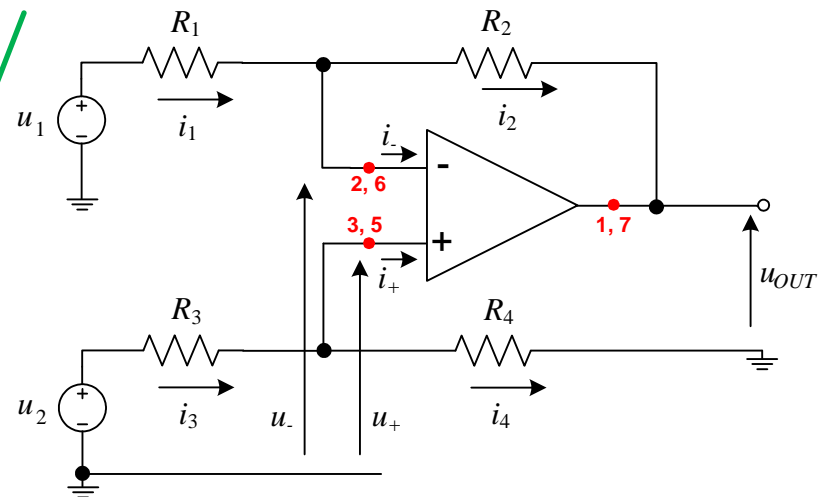
Όπως είναι γνωστό, σε έναν ιδανικό ΤΕ, το ρεύμα εισόδου είναι μηδέν και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο εισόδων είναι μηδέν

$$i_+ = 0$$

Οι αντιστάσεις R_3 & R_4 δημιουργούν διαιρέτη τάσης

$$u_+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} u_2$$

$$u_{OUT} = u_+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \frac{R_2}{R_1} u_1$$



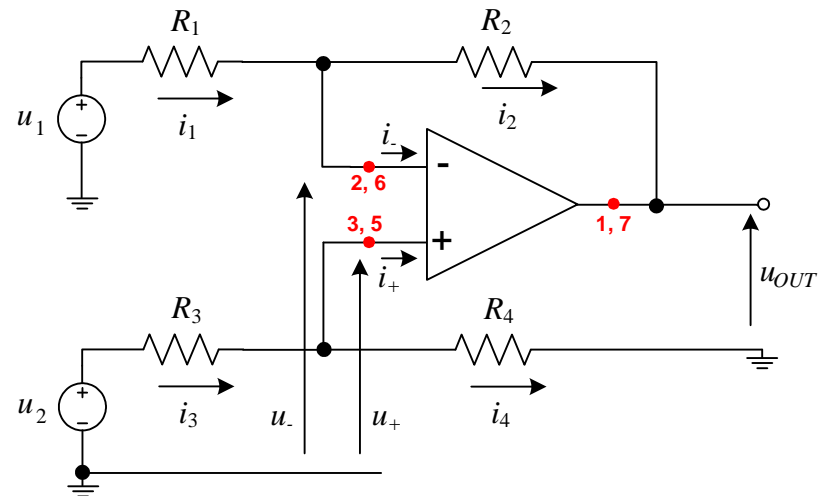
$$u_{OUT} = \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) u_2 - \frac{R_2}{R_1} u_1 \Rightarrow u_{OUT} = \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) u_2 - \frac{R_2}{R_1} u_1$$

Διαφορικός Ενισχυτής με ΤΕ

Στην περίπτωση που $R_1 = R_3$ & $R_2 = R_4$, η προηγούμενη εξίσωση απλοποιείται σημαντικά

Η έξοδος δεν εξαρτάται από τις τιμές ή την πολικότητα καμιάς από τις δυο πηγές εισόδου παρά **μόνο από τη διαφορά τους**

Οι είσοδοι **δεν είναι ανάγκη να αναφέρονται στη γείωση** αλλά σε οποιοδήποτε άλλο κοινό σημείο αναφοράς τάσεων



Ενίσχυση (τάσης) διαφοράς, κλειστού βρόχου

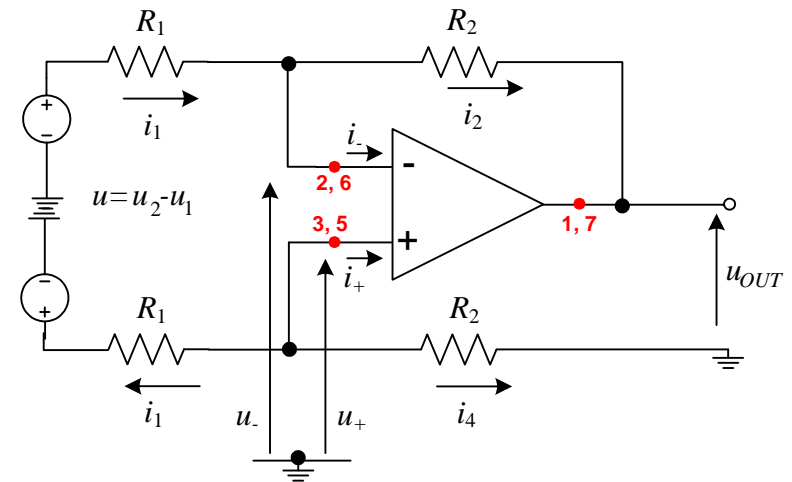
$$u_{OUT} = \frac{R_2}{R_1} (u_2 - u_1) \xrightarrow{u_{IN} = u_2 - u_1} A_{CL,diff} = \frac{u_{OUT}}{u_{in}} = \frac{R_2}{R_1}$$

Διαφορικός Ενισχυτής με ΤΕ

Στην περίπτωση που $R_1 = R_3$ & $R_2 = R_4$, η προηγούμενη εξίσωση απλοποιείται σημαντικά

Η έξοδος δεν εξαρτάται από τις τιμές ή την πολικότητα καμιάς από τις δυο πηγές εισόδου παρά **μόνο από τη διαφορά τους**

Οι είσοδοι **δεν είναι ανάγκη να αναφέρονται στη γείωση** αλλά σε οποιοδήποτε άλλο κοινό σημείο αναφοράς τάσεων

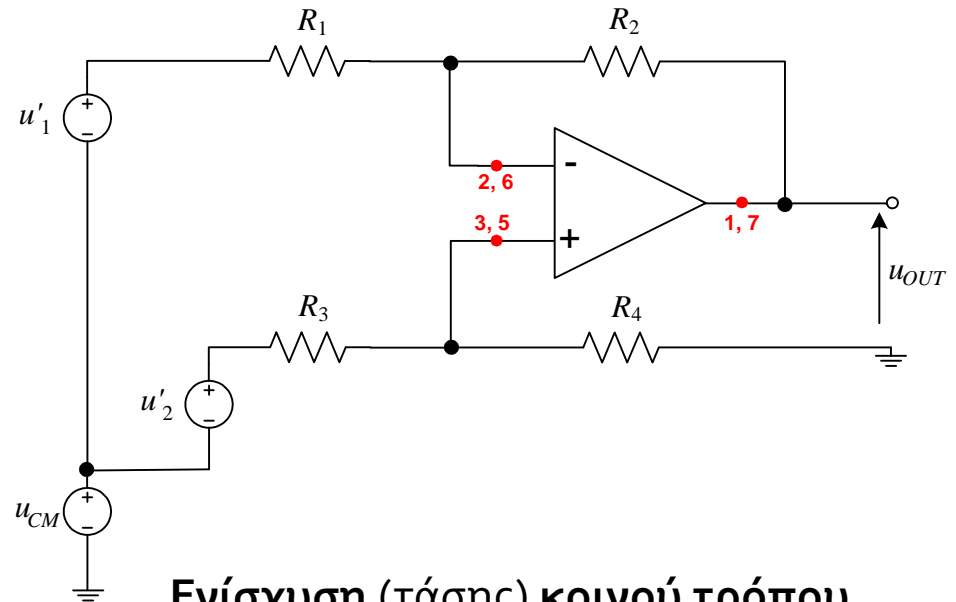


Ενίσχυση (τάσης) διαφοράς, κλειστού βρόχου

$$u_{OUT} = \frac{R_2}{R_1} (u_2 - u_1) \xrightarrow{u_{IN} = u_2 - u_1} \boxed{A_{CL,diff} = \frac{u_{OUT}}{u_{in}} = \frac{R_2}{R_1}}$$

Απόρριψη Κοινού Τρόπου

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο ένας ΔΕ ενισχυτής με ένα ΤΕ προσεγγίζει τον ιδανικό διαφορικό ενισχυτή ορίζουμε το μέγεθος του **ρυθμού απόρριψης κοινού τρόπου** (common mode rejection ratio) και της **απόρριψης κοινού τρόπου** (σε dB) (common mode rejection)



Ενίσχυση (τάσης) κοινού τρόπου, κλειστού βρόχου

$$u_{OUT,cm} = A_{CL,cm} u_{CM} \Rightarrow \boxed{A_{CL,cm} = \frac{u_{OUT,cm}}{u_{CM}}}$$

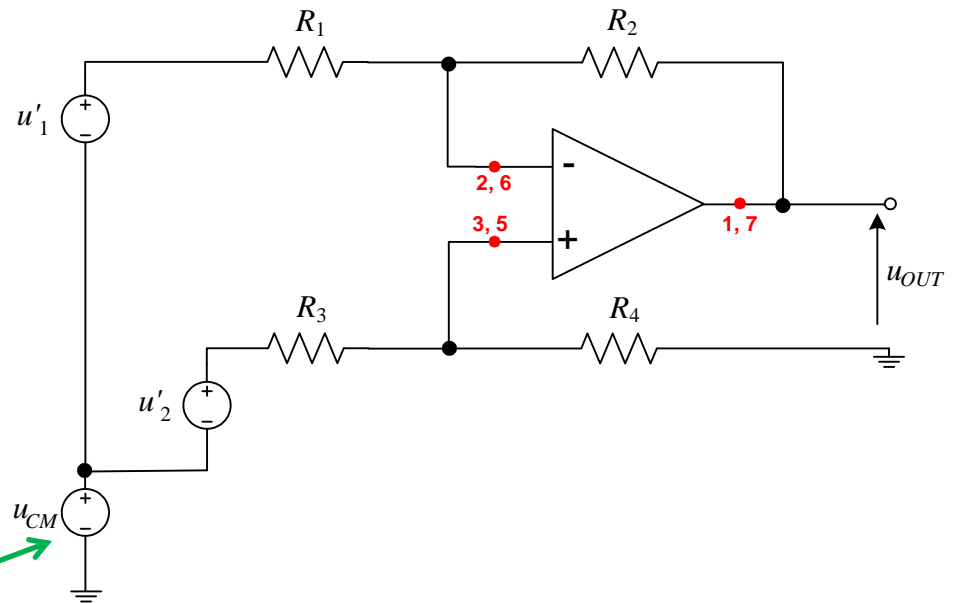
Απόρριψη Κοινού Τρόπου

Εάν η θεωρηθεί ότι τα δύο σήματα εισόδου έχουν ένα κοινό μέρος, εάν δηλαδή υποτεθεί ότι είναι

$$u_1 = u'_1 + u_{CM} \quad \& \quad u_2 = u'_2 + u_{CM}$$

$$u_{CM} \neq 0$$

τότε είναι σα να εφαρμόζεται μια τάση κοινή στις δυο εισόδους του ΔΕ γνωστή ως τάση κοινού τρόπου (common mode voltage).



$$u_{OUT} = u_{OUT,diff} + u_{OUT,cm}$$

$$u_{OUT,diff} = A_{CL,diff} (u_2 - u_1) = A_{CL,diff} (u'_2 - u'_1)$$

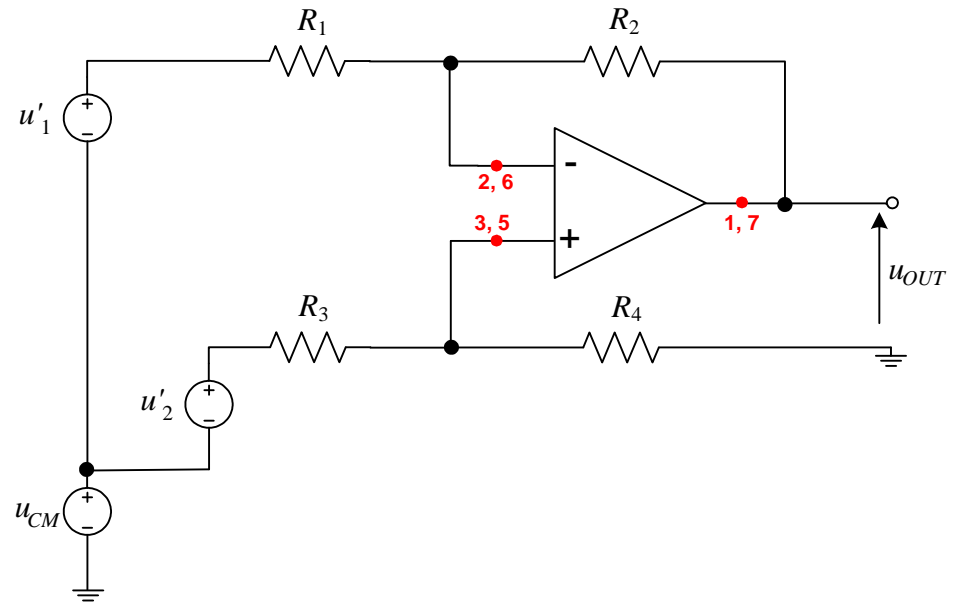
$$u_{OUT,cm} = A_{CL,cm} u_{CM}$$

Απόρριψη Κοινού Τρόπου

Ορίζονται ρυθμός απόρριψης κοινού τρόπου, και απόρριψη κοινού τρόπου (σε dB), ως:

$$CMRR = \frac{A_{CL,diff}}{A_{CL,cm}}$$

$$CMR(dB) = 20 \log \left(\frac{A_{CL,diff}}{A_{CL,cm}} \right)$$



$$\text{Οπότε: } u_{OUT} = A_{CL,diff} \left[(u_2 - u_1) + \frac{u_{CM}}{CMRR} \right]$$

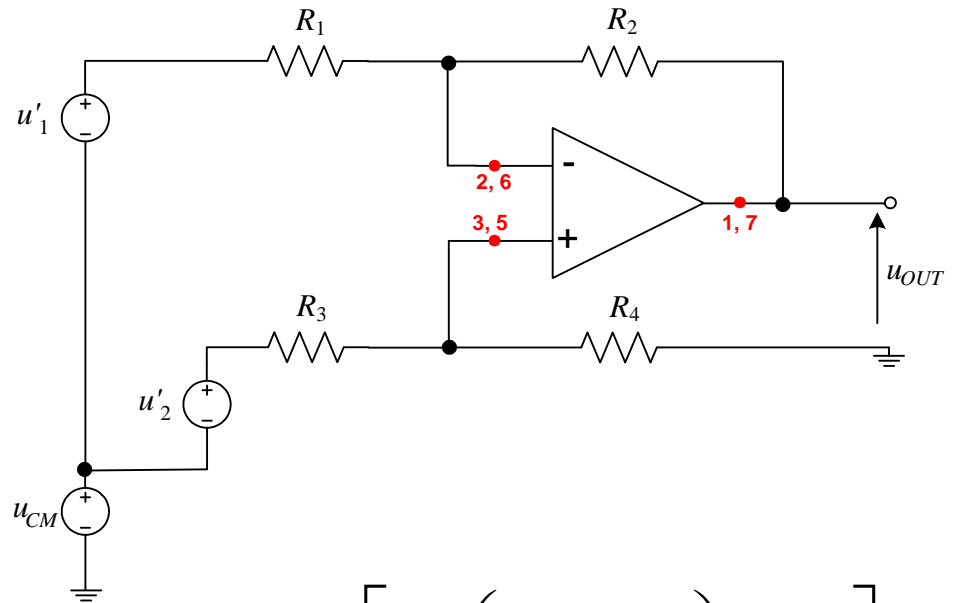
Απόρριψη Κοινού Τρόπου

Αν δεν είναι $R_1 = R_3$ & $R_2 = R_4$,

$$u_{OUT} = \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) u_2 - \frac{R_2}{R_1} u_1$$

Οπότε για εφαρμογή και στις δυο εισόδους της:

$$u_{CM} \neq 0$$



Έχουμε:
$$u_{OUT,cm} = \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) u_{CM} - \frac{R_2}{R_1} u_{CM} = \left[\frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) - \frac{R_2}{R_1} \right] u_{CM}$$

$$\Rightarrow A_{CL,cm} = \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \right) - \frac{R_2}{R_1}$$

Απόρριψη Κοινού Τρόπου

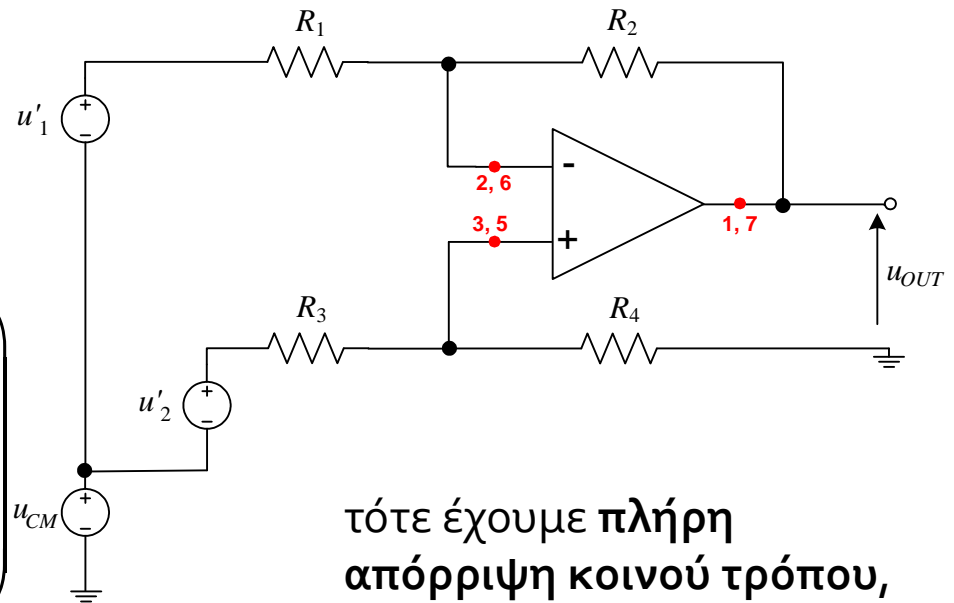
Αν οι λόγοι των αντιστάσεων ορίζονται ως:

$$K = R_2/R_1 \text{ \& } \Lambda = R_4/R_3$$

Τότε:

$$CMR(\text{dB}) = 20 \log \left(\frac{1}{\frac{1+K^{-1}}{1+\Lambda^{-1}} - 1} \right)$$

Είναι φανερό ότι **εάν υπάρχει απόλυτο κλασματικό «ταίριασμα»** μεταξύ των 2 ζευγών αντιστάσεων δηλαδή εάν , $K = \Lambda$



τότε έχουμε πλήρη απόρριψη κοινού τρόπου, δηλ. :

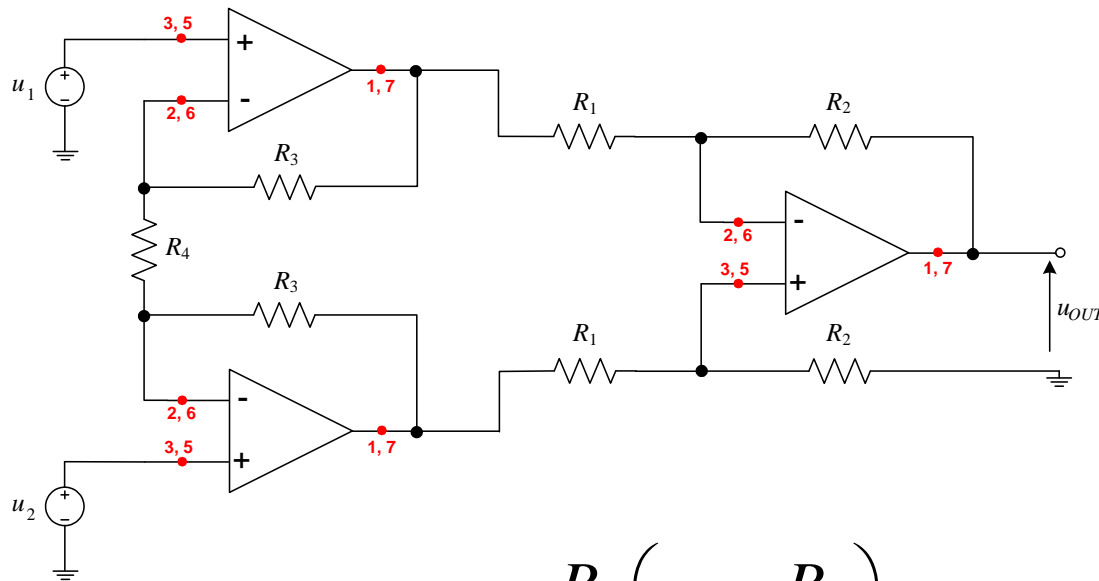
$$CMR(\text{dB}) \rightarrow \infty$$

Ενισχυτής Οργανολογίας

- Πέραν από τους εξειδικευμένους **ενισχυτές οργανολογίας (instrumentation amplifiers)** που υπάρχουν έτοιμοι, είναι δυνατό να υλοποιήσουμε ενισχυτή οργανολογίας, δηλ. πρακτικά **έναν πολύ καλό διαφορικό ενισχυτή**, χρησιμοποιώντας **3 τελεστικούς ενισχυτές** με επιλεγμένα χαρακτηριστικά.
- Πρακτικά, τα βασικότερα χαρακτηριστικά του ενισχυτή οργανολογίας είναι ότι:
 - Η **ενίσχυση του μεταβάλλεται μεταβάλλοντας την τιμή μιας και μόνο αντίστασης**. Έτσι είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας και μέγιστης απόρριψης κοινού τρόπου (π.χ. θορύβου κοινού τρόπου).
 - Ως **είσοδοι** του χρησιμοποιούνται **δυο ενισχυτές σε μη-αναστρέφουσα συνδεσμολογία**, που όπως είναι γνωστό έχουν πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου και λειτουργούν ως **απομονωτές (buffers)**. Έτσι είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για εφαρμογές μετρητικών διατάξεων, διατάξεων ελέγχου κ.λπ.,

Ενισχυτής Οργανολογίας

Επίσης, ανάλογα με τους ΤΕ που θα επιλεγούν για την υλοποίησή του ο ενισχυτής οργανολογίας μπορεί (και συνήθως εμφανίζει) πολύ καλές επιδόσεις, όπως χαμηλός θόρυβος, χαμηλή διολίσθηση (drift), DC μετατόπιση (DC offset), ευστάθειας χαρακτηριστικών στη διάρκεια του χρόνου.



$$A_{CL, instr. amp.} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + 2 \frac{R_3}{R_4} \right)$$