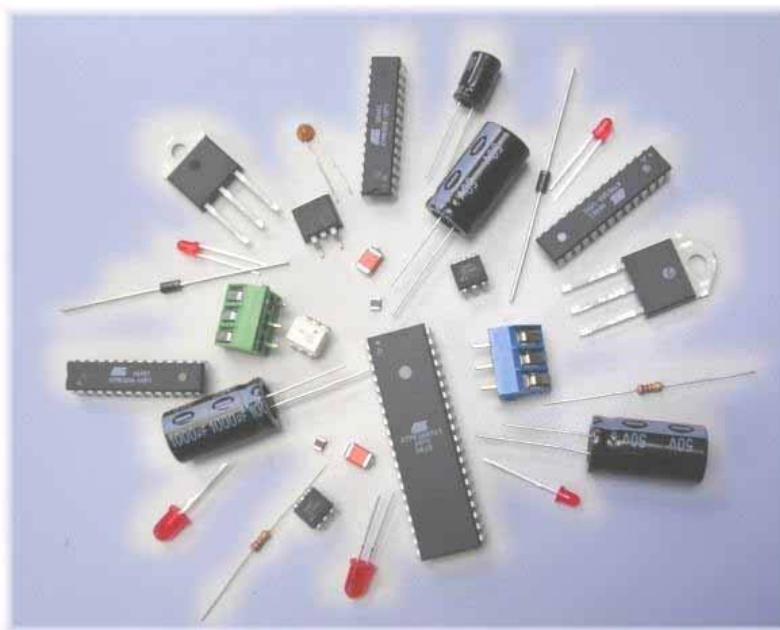


**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ &**  
**ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ**

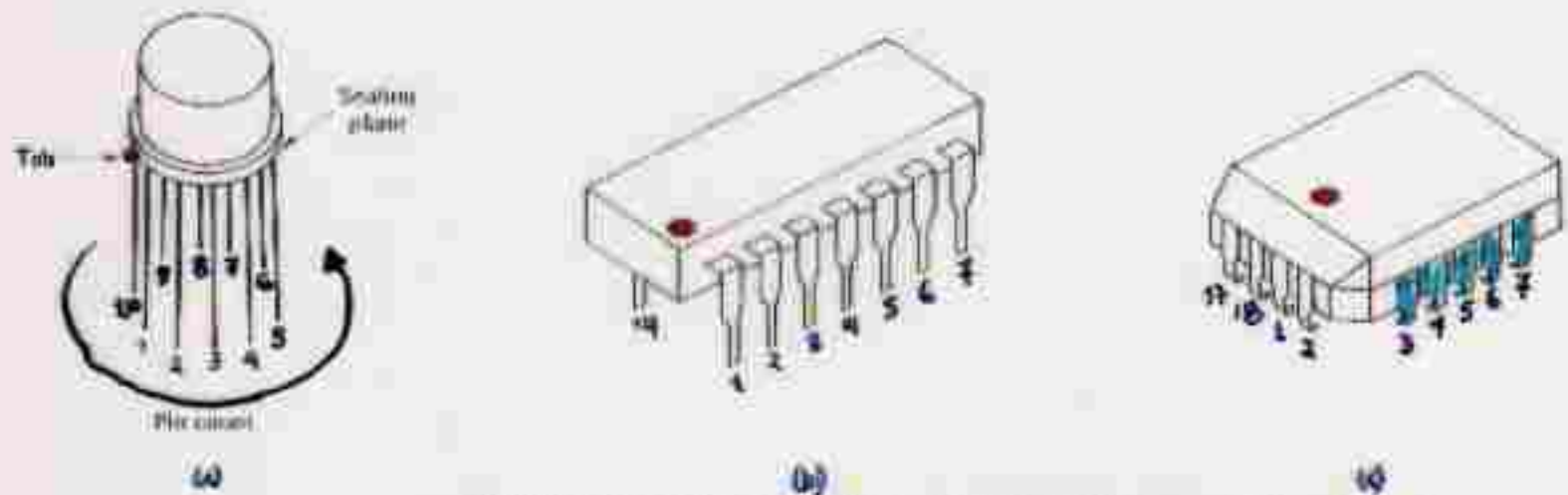
**ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ**  
**ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ**  
**(ΘΕΩΡΙΑ)**



**Α. ΒΛΗΣΙΔΗΣ**  
**Γ. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ**  
**Μ. ΔΡΑΜΟΥΝΤΑΝΗΣ**

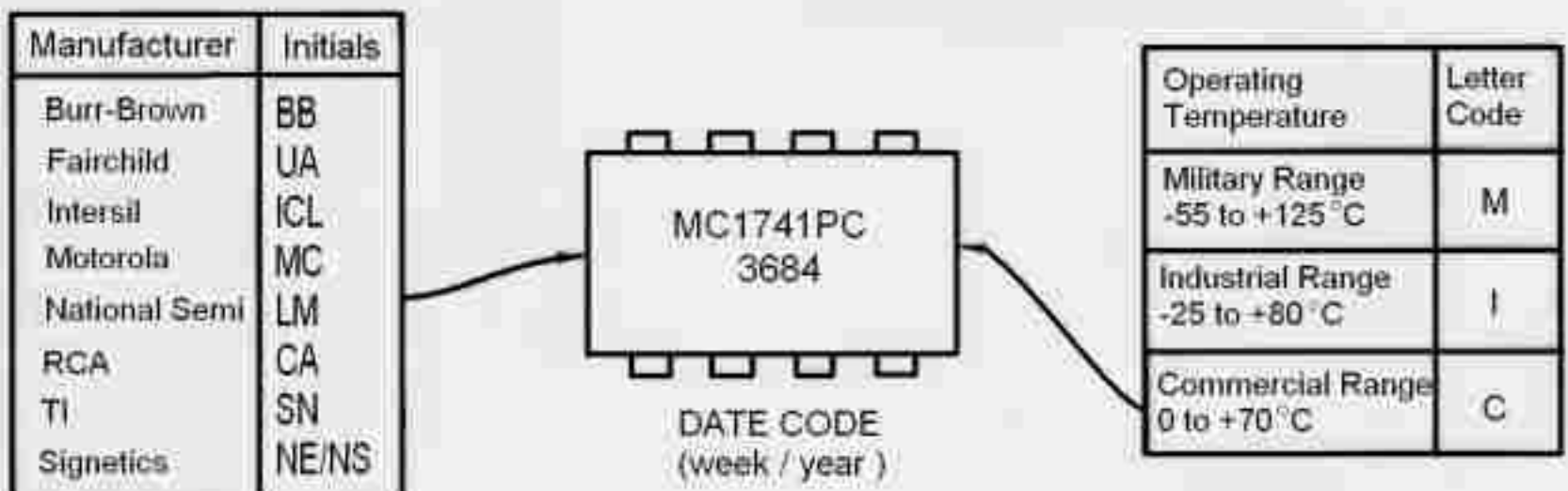
**ΜΑΙΟΣ 2010**

## Συσκευασία των Τ.Ε.



**Figure 1-3** Three popular packages used to house integrated circuits: (a) 10-pin TO-5 style metal can type of IC package; (b) 14-pin dual-in-line plastic package (DIP); (c) 18-pin rectangular plastic lead chip carrier (PLCC).

## Πληροφορίες που αναφέρονται στην συσκευασία του Τ.Ε.



**P**: 8-pin mini-DIP package

**C**: Εμπορική χρήση με θερμοκρασία 0-70 °Celsius

**3684**: κατασκευάστηκε τη 36 εβδομάδα του 1984



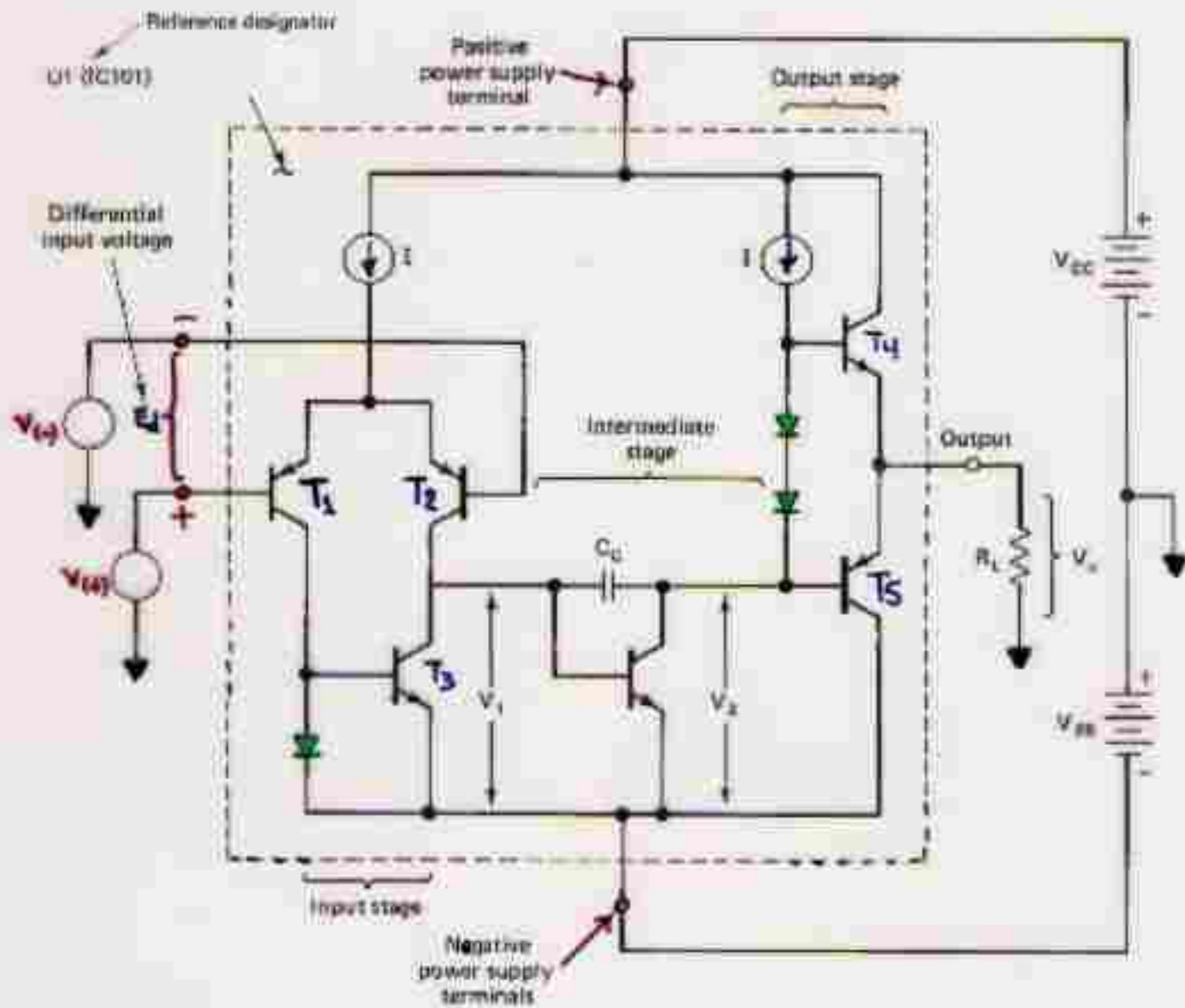
Figure 2. Texas Instruments Standard Symbols

- Symbol (a) is a buffer op amp.
- Symbol (b) is a differential input, single ended output op amp. This symbol represents the most common types of op amps, including voltage feedback, and current feedback. It is often times pictured with the non-inverting input at the top and the inverting input at the bottom.
- Symbol (c) is a differential input, differential output op amp. The outputs can be thought of as "inverting" and "non-inverting", and are shown across from the opposite polarity input for easy completion of feedback loops on schematics.

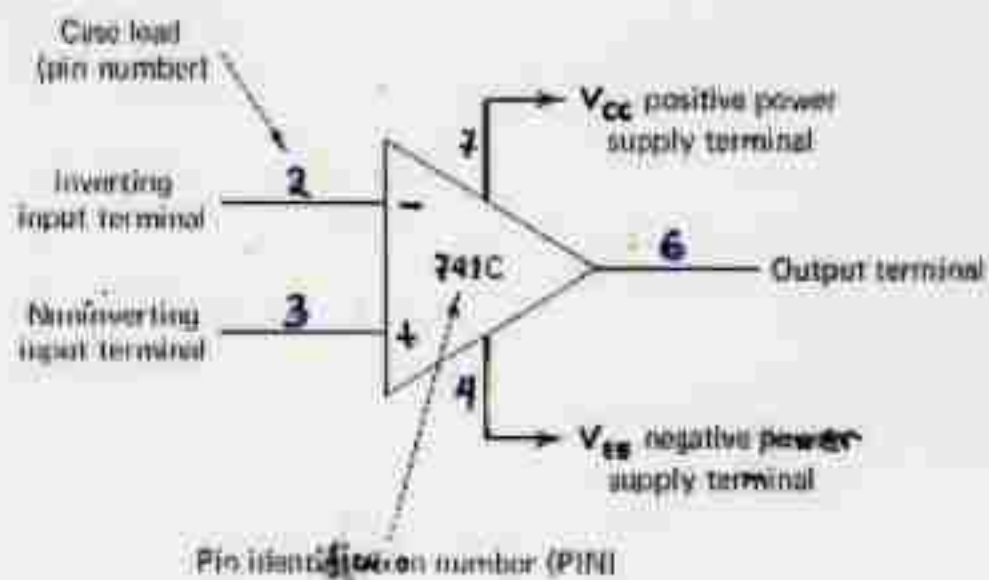


Op Amp Package Options

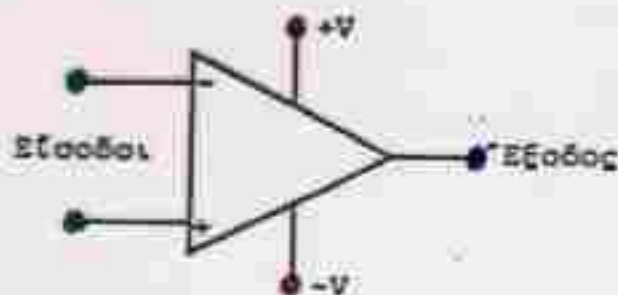
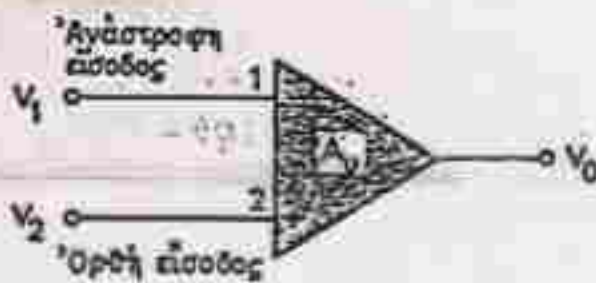
## ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ



Βασικό λειτουργικό διάγραμμα ενός γενικού σκοπού διαφορικού ενισχυτή

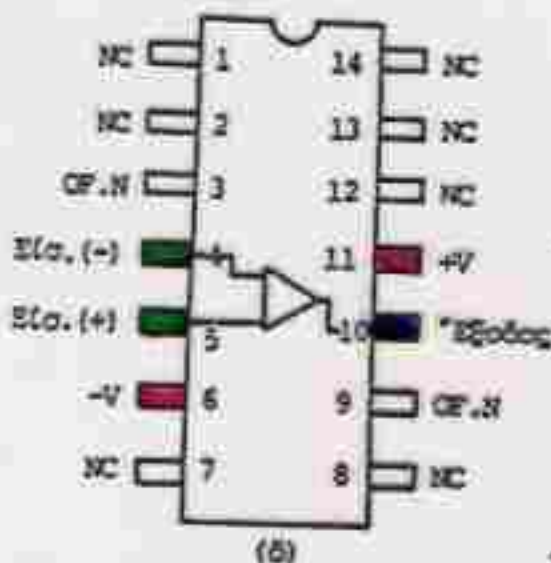
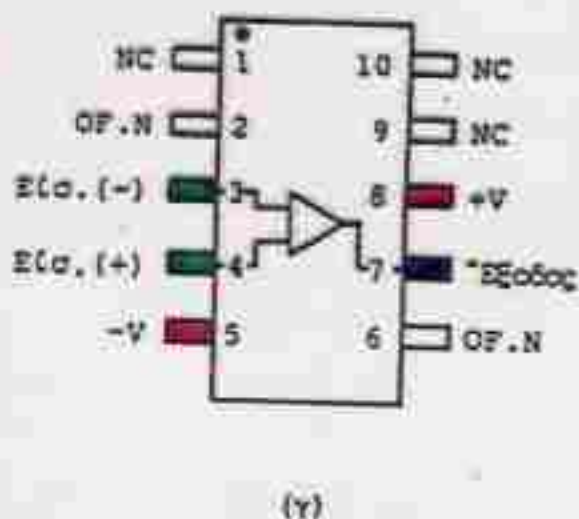
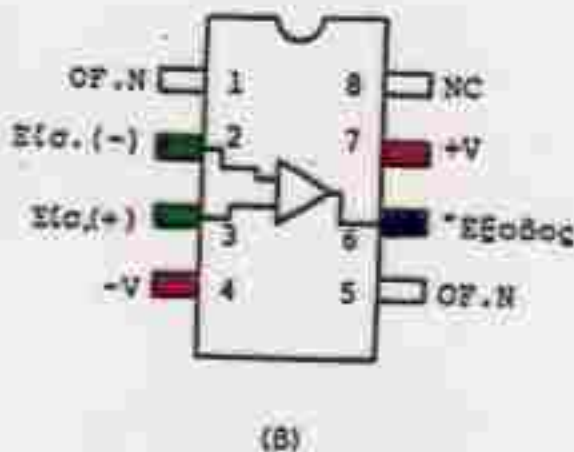
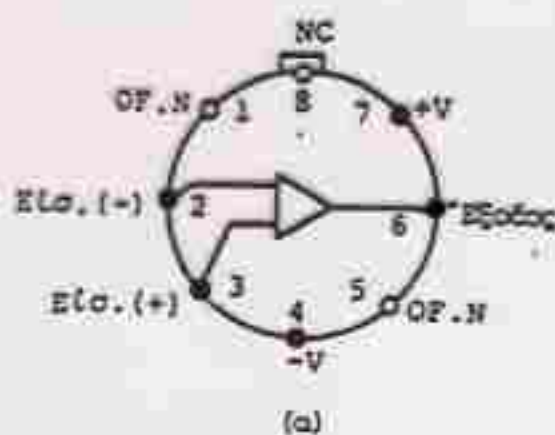






Τασις τροφοδοσίας:  
 $+V, -V$  : συμμετρικές

Σχ.1 Σύμβολο του τελεστικού ενισχυτή



Σχ.2 Θέσεις των άκρων του τελεστικού ενισχυτή (8πιν και 14πιν) σε διάφορους τύπους ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Τα άκρα με τη διάκριση NC (no connection) δε συνδέονται και τα άκρα με τη διάκριση OP. N (offset null) χρησιμοποιούν για την αντιστάθμιση της εξόδου.

Το δυναμικό εξόδου  $V_0$  μεταβάλλεται ως προς  $V_{in}$ .  $V_0 > 0$  όταν

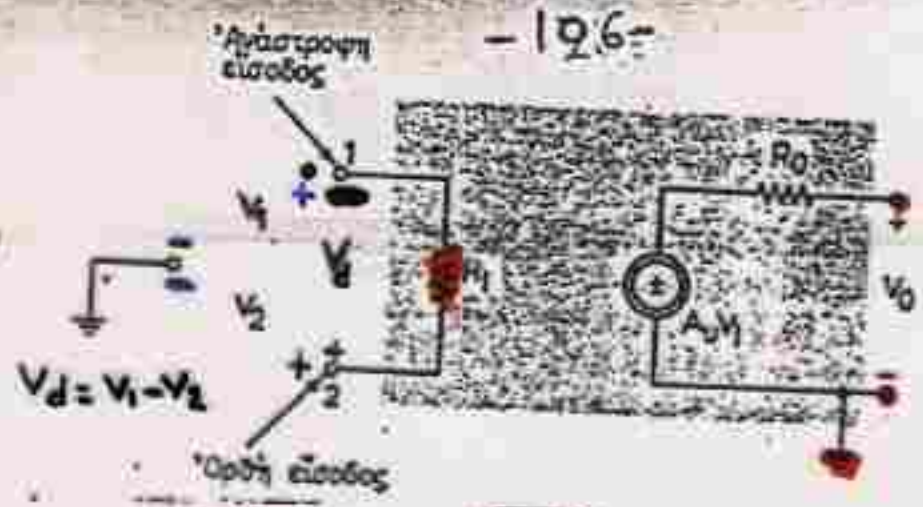
$$V_{+in} > V_{-in}$$

$$V_{omax} = +V_{sat} : 1 \div 2 V < +V$$

$$-V_{sat} : 1 \div 2 V < -V$$

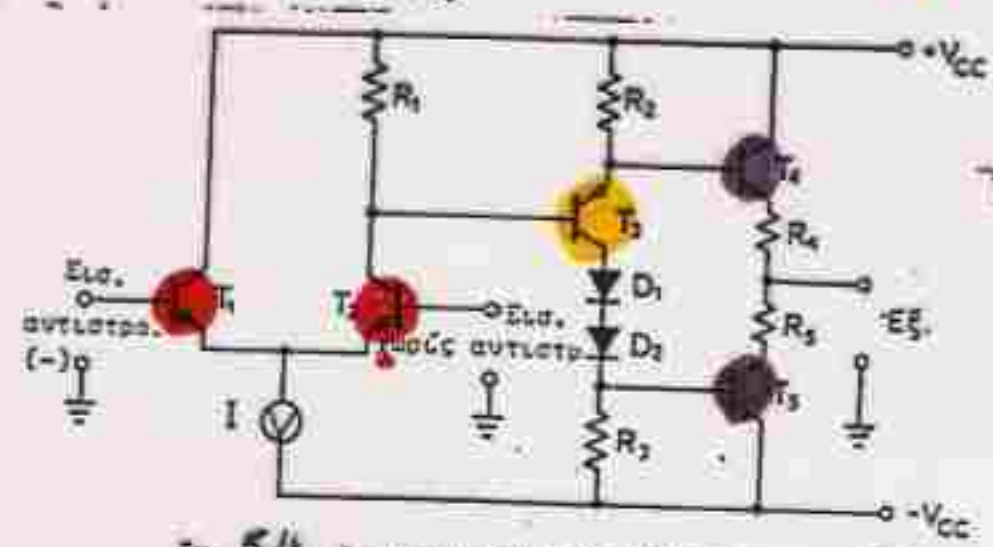
$$I_{omax} : 5 \div 10 mA$$

! Η  $R_i$  ορίζεται  
μεταξύ εισόδων  
 $V_o$ : ορίζεται ως  
προς  $\gamma_i$



Σχ. 53 Προσυνήτο  
το  $T-E$

$$V_o = A(V_1 - V_2) = A V_d$$



Σχ. 54 Αντιπροσωπευτικό κύκλωμα ενισχυτή IC.

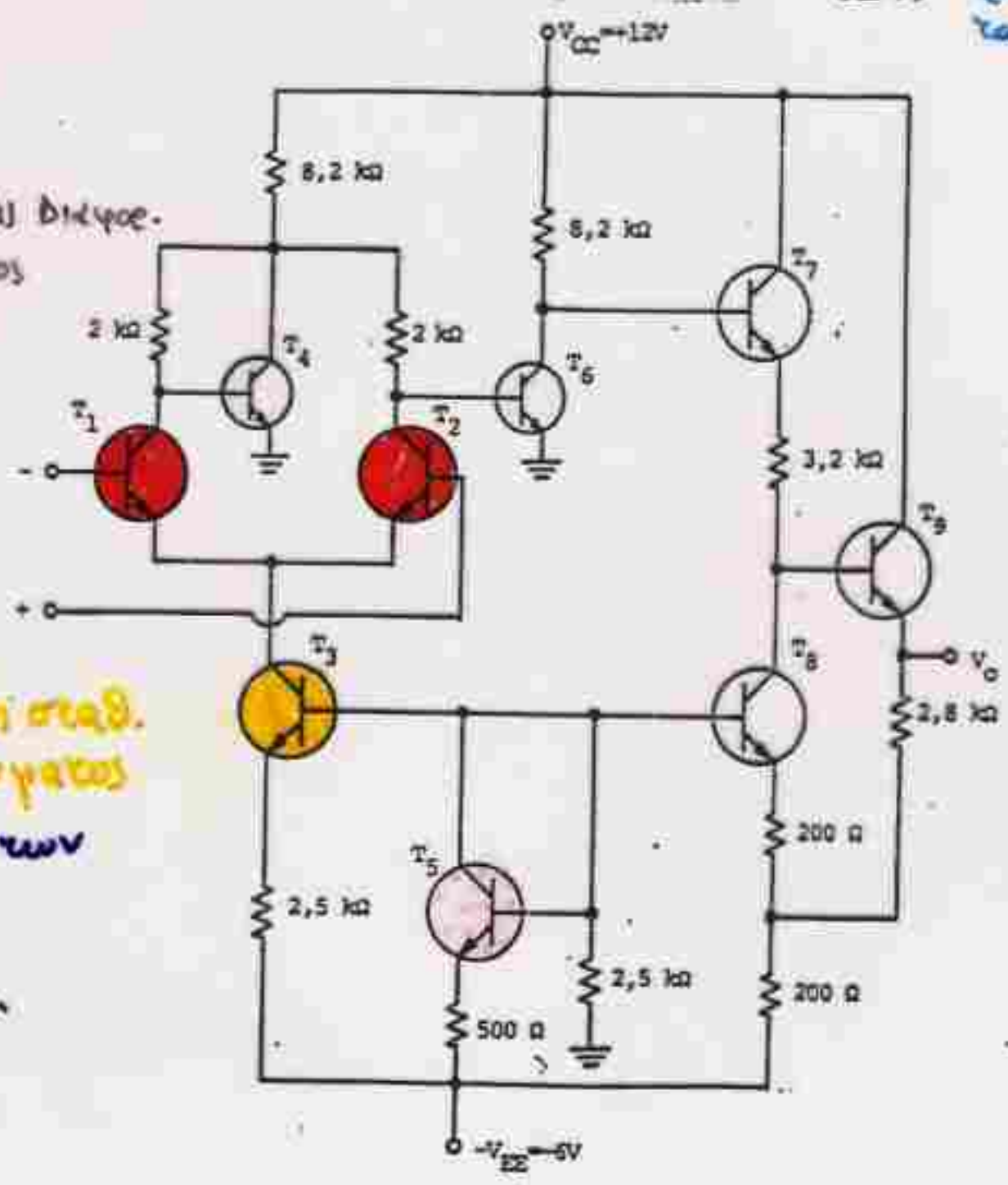
$T_4, T_5$ : συμπαι-  
κός ενισχυτής  
TA  $\approx$  H AB

$D_1, D_2$ :  
α) Θερμικά σταθε-  
β) Παράμορφ. δια-  
τάξεως

$T_4$ : Ενισχυτής διέφορ.  
 $T_6$ : Συγκροτός

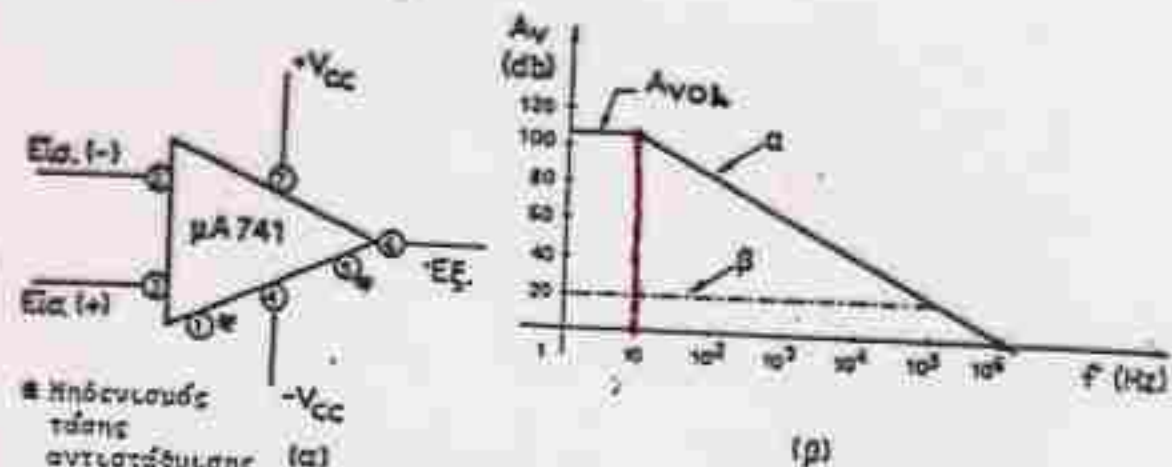
$T_3$ : Πηγή σταθ.  
βωγματος

$T_5$ : πομπή των  
 $T_3, T_8$



Σχ. 55 Τοπικό κύκλωμα ολοκληρωτικού ενισχυτή (μΑ 702)





Σχ. 5.6. Σάρβλο ενισχυτή IC (α) και καύση απόκρισης του IC μΑ 741.

Ο ενισχυτής IC μΑ 741 έχει τα εξής χαρακτηριστικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή:

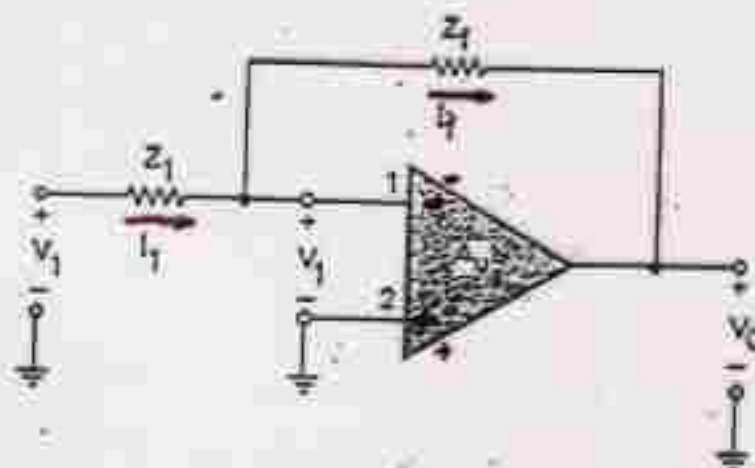
Ενίσχυση ανοιχτού βρόχου:	$A_{VO} = 106 \text{ dB} (200.000)$
Αντίσταση εισόδου:	$R_i = 2 \text{ M}\Omega$
Αντίσταση εξόδου:	$R_o = 75 \Omega$
Λόγος κοινής απόρριψης:	$CMRR = 90 \text{ dB} (= 31623)$

Αποτελείται :

20.000 Τr, 30 Αττιστ. 1 πυκνωτή 30 pF

Ενείδη  $R_i = \infty \Rightarrow$

$$\Rightarrow I_f = I_i$$



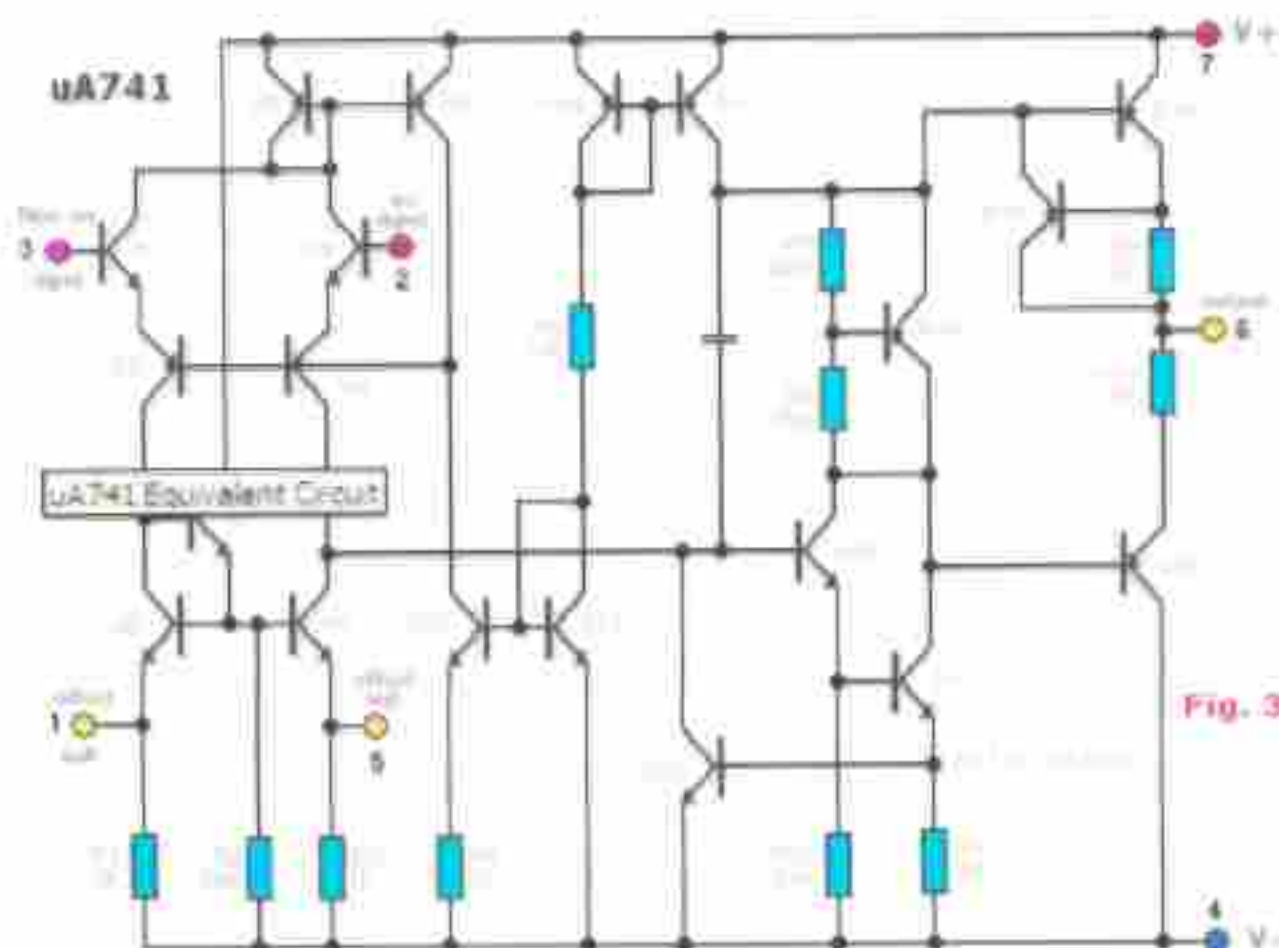
Σχ. 5.7 Σχηματικό κύκλωμα τελειοποιημένου ενισχυτή με διακλάδωση ανατροφοδότησης.

Ενίσχυση τάσης  $V_o$ :

Μεγάλη για διαφορικά σήματα  
Μικρή για ομοια σήματα

$V_o$ : σύμφαστο  $V_{in}$   
αντισφαστο  $180^\circ$   
 $V_{in}$

## OP-741



## OP-741

## Two Most Common 741 Types

offset null 1  
inv. input 2  
non-inv. input 3  
V- 4



8-Pin

n/a 1  
n/a 2  
offset null 3  
inv. input 4  
non-inv. input 5  
V- 6  
n/a 7

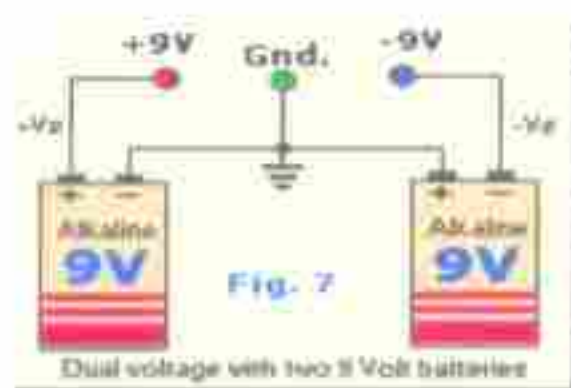
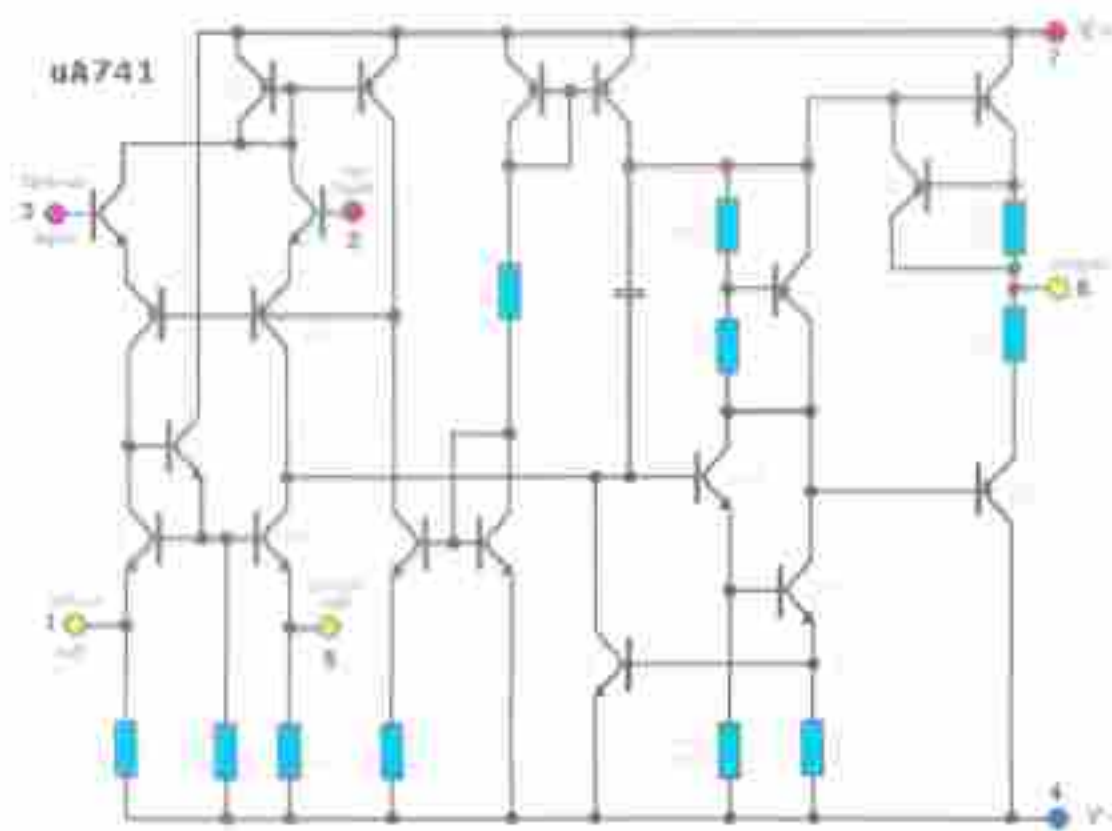


14-Pin

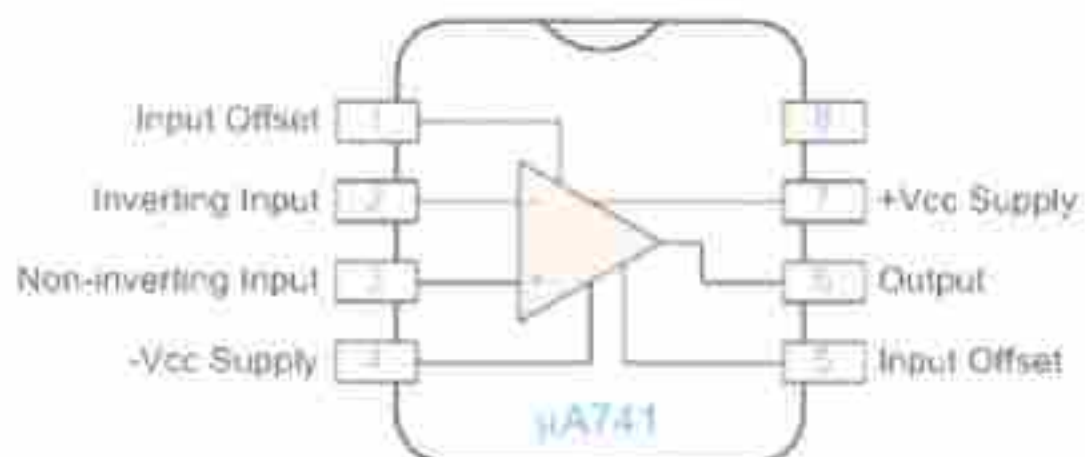
Fig. 6



7

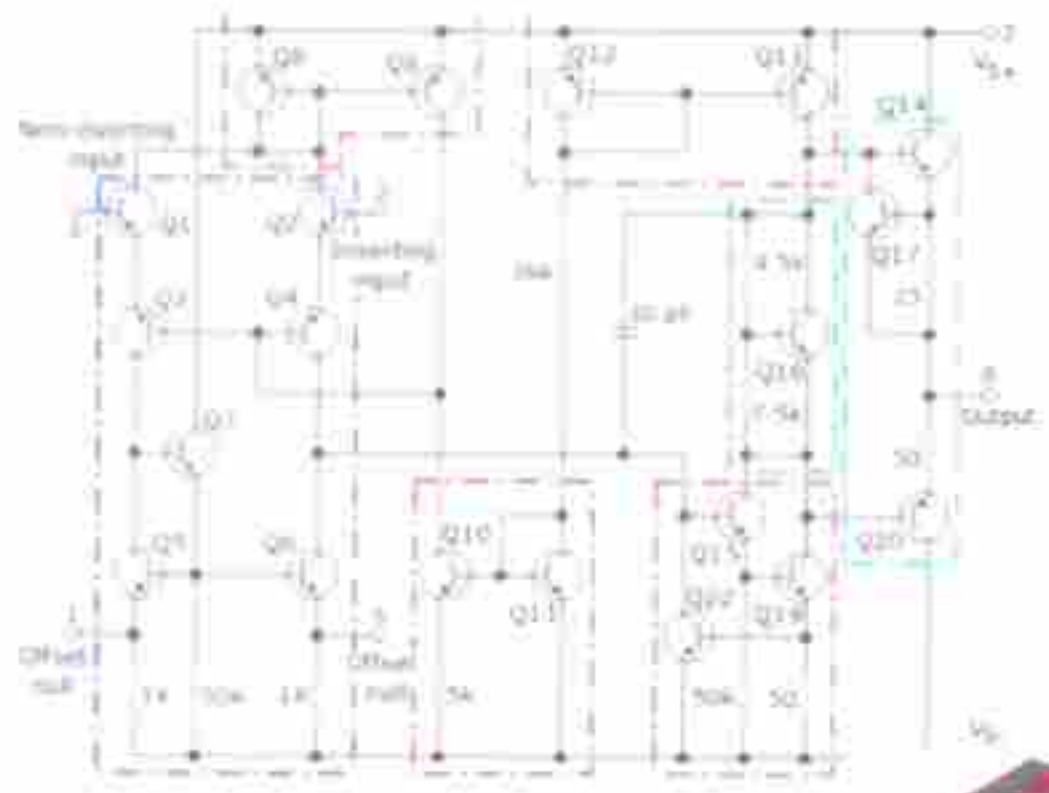


The most common, available and used of all operational amplifiers is the industry standard  $\mu A-741$ .



Ya

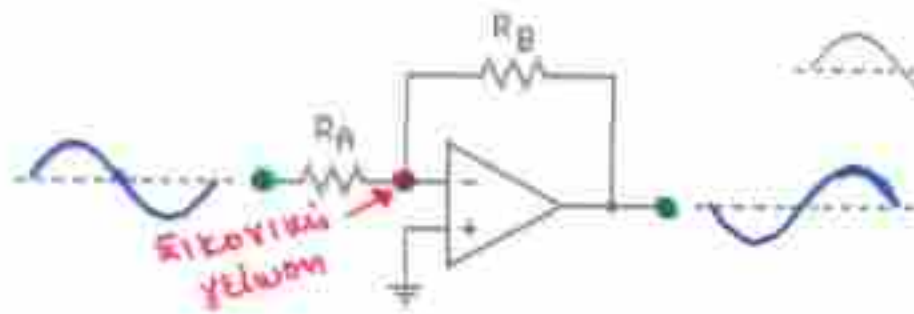
# TTL LOGIC



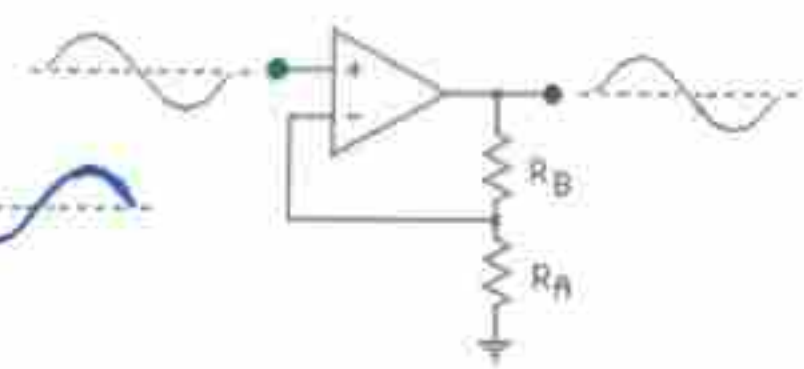
741



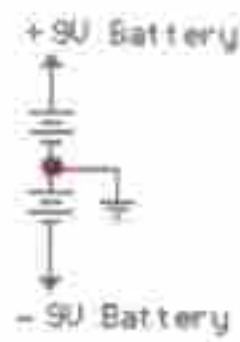
## Inverting Amplifier



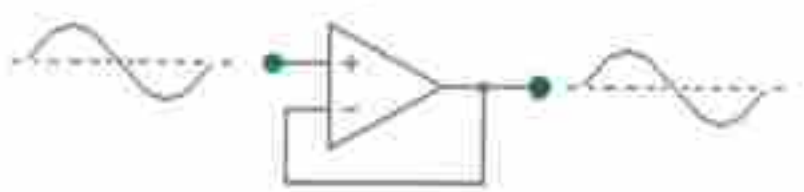
## Noninverting Amplifier



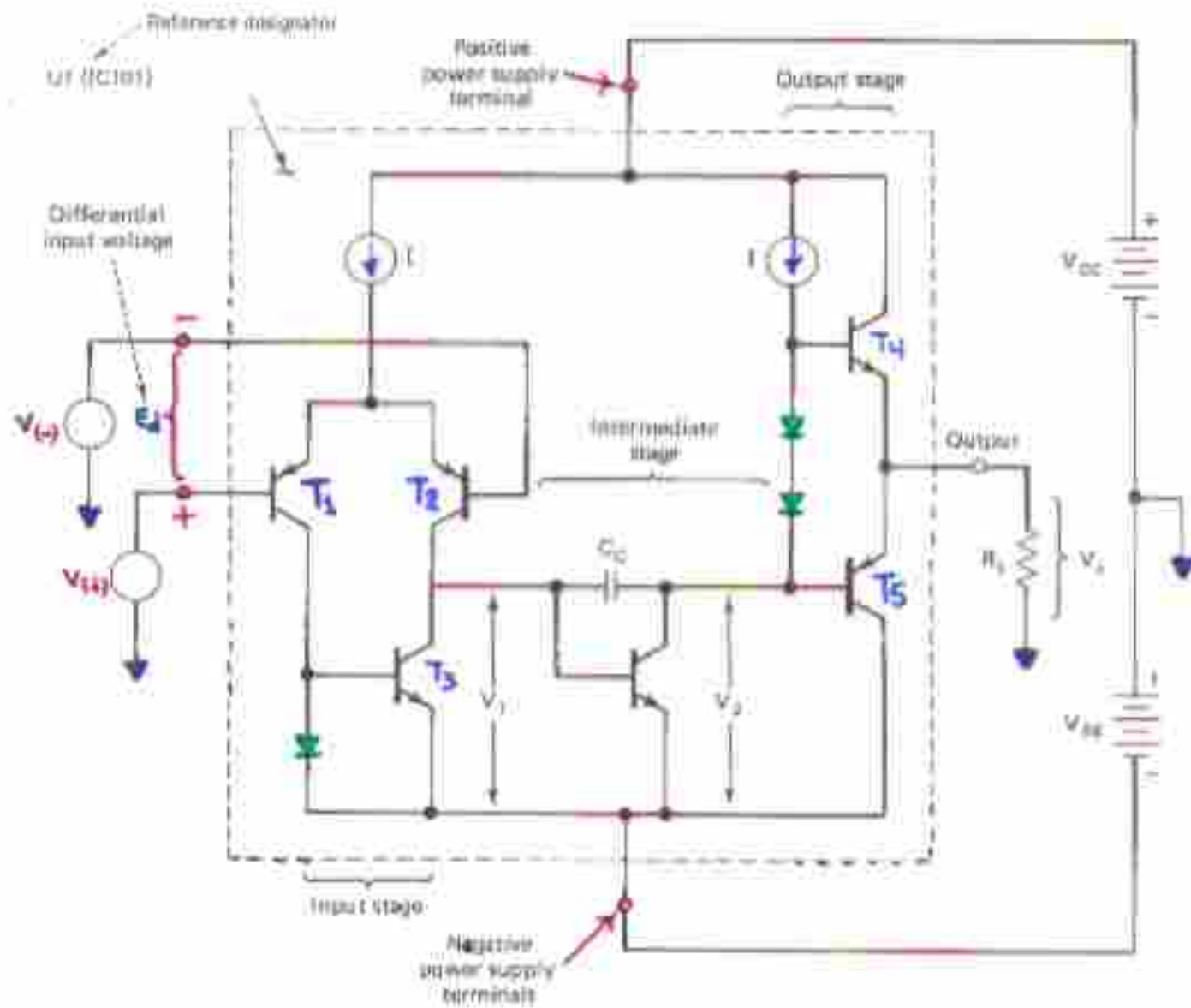
## Simple bipolar power supply



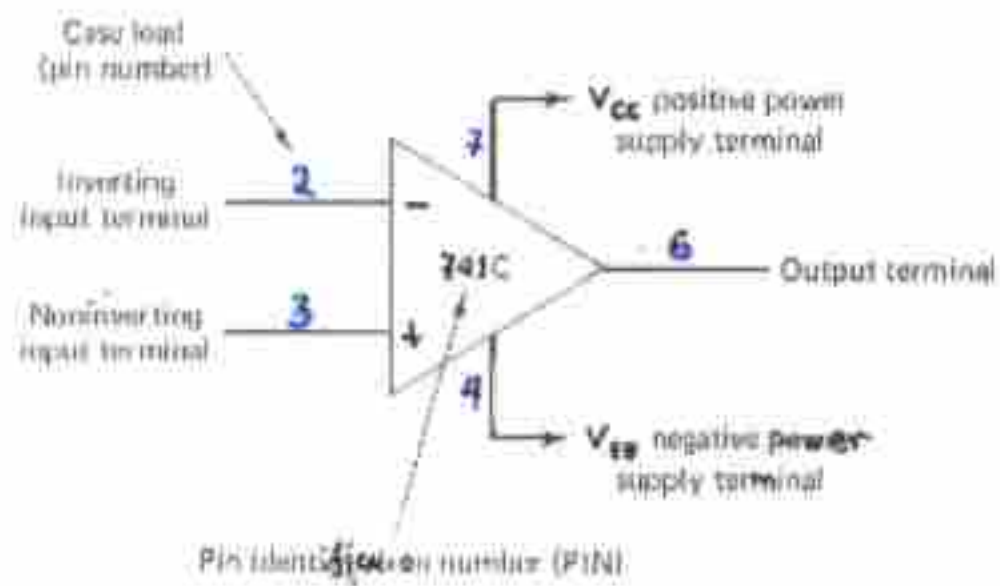
## Voltage Follower



## ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ



Βασικό λειτουργικό διάγραμμα ενός γενικού σκοπών διαφορικού ενισχυτή



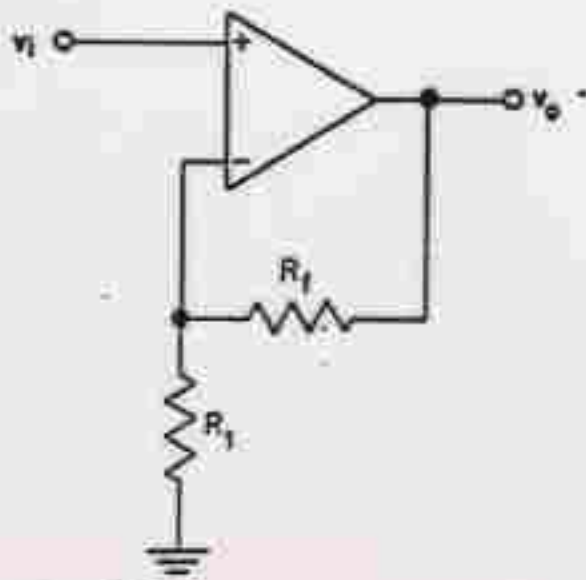


Fig. 5.8 Noninverting amplifier.

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_i$$

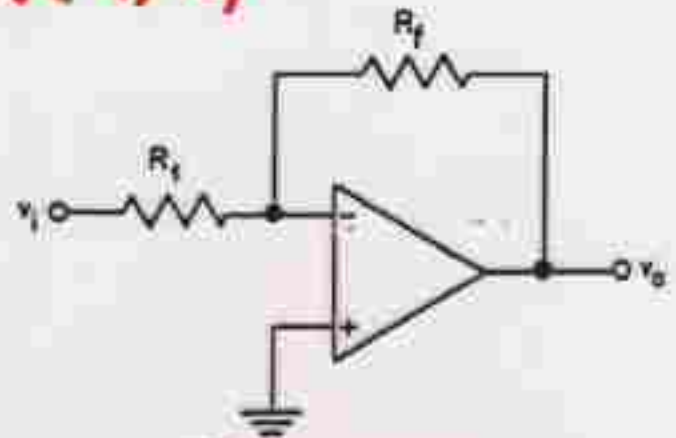


Fig. 5.9 Inverting amplifier.

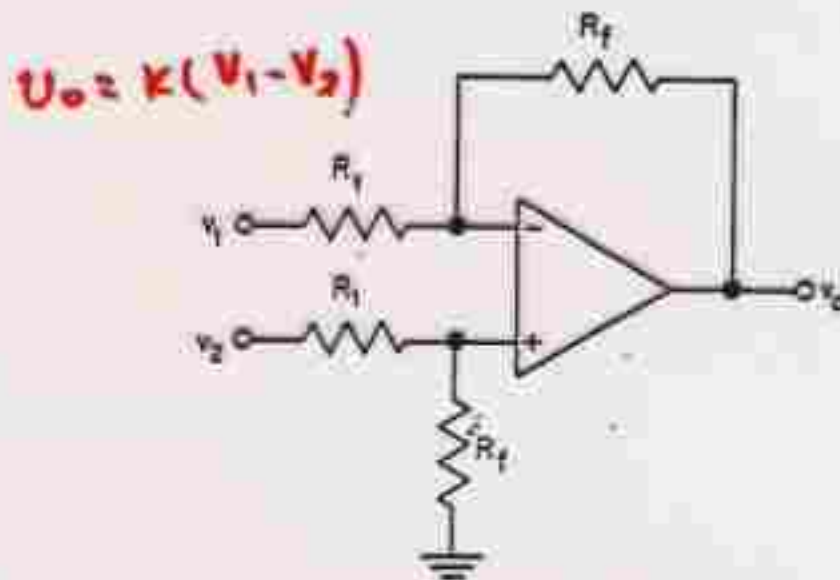
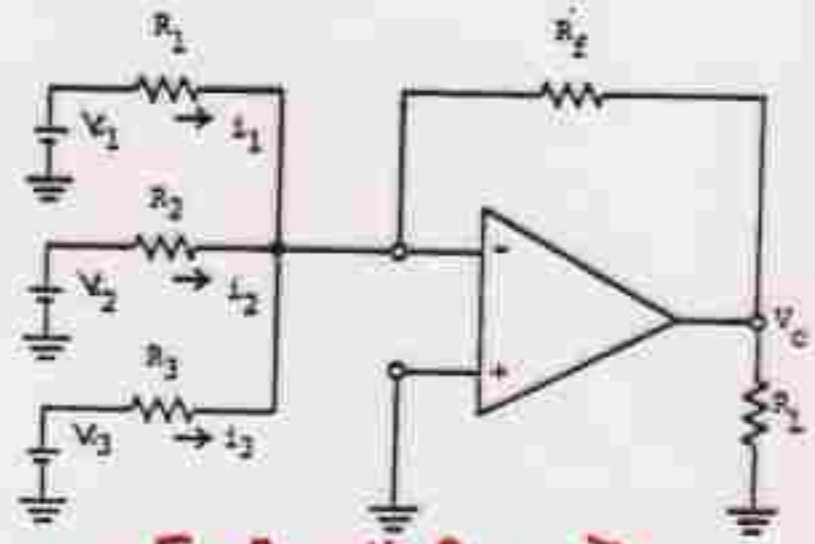


Fig. 5.10 Differential amplifier.

$$V_o = K(V_1 - V_2)$$



$$V_o = -\left[V_1 \frac{R_f}{R_1} + V_2 \frac{R_f}{R_2} + \dots\right]$$

Σ25/1 Αθροιστικός ενισχυτής εισερχομένων : Summing Amplifier

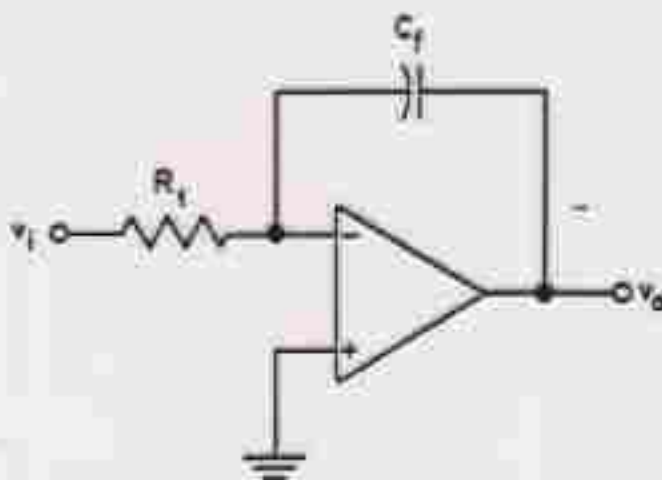


Fig. 5.11 Integrator.

$$V_o = -\frac{1}{R_1 C_f} \int_0^T v_i dt$$

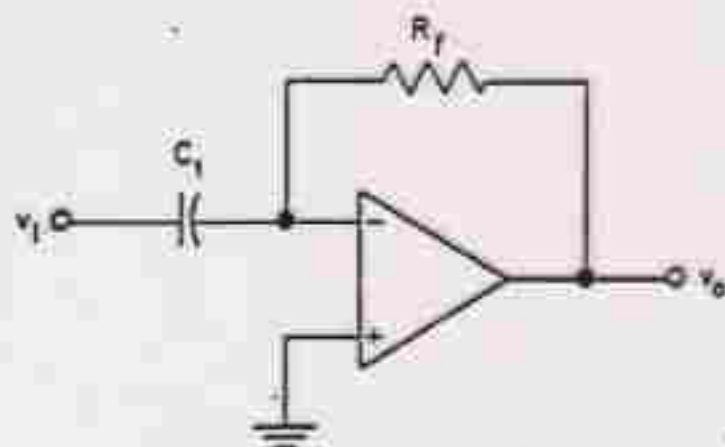


Fig. 5.12 Differentiator.

$$V_o = -R_f C_1 \frac{dv_i}{dt}$$



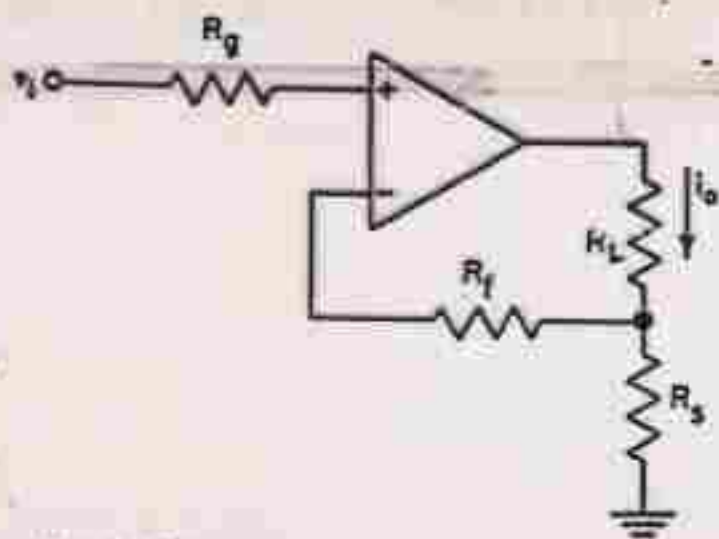


Fig. 5.14 Voltage-to-current converter.

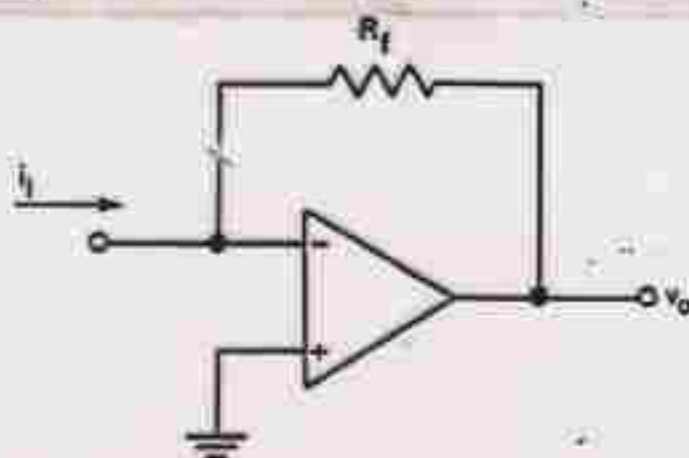


Fig. 5.15 Current-to-voltage converter.

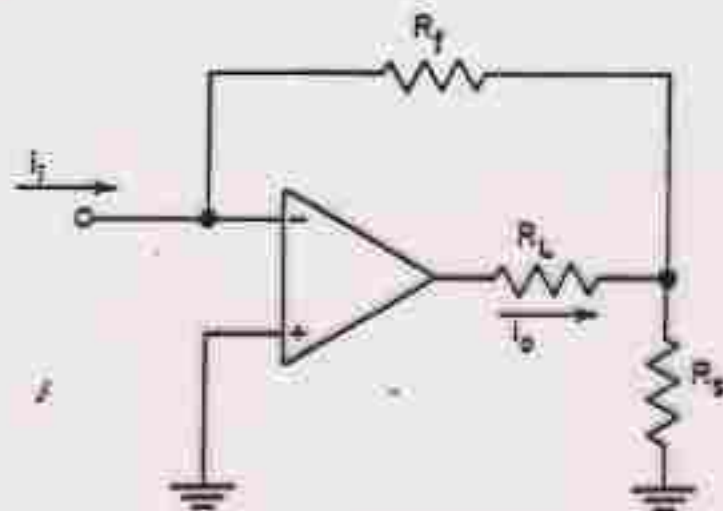


Fig. 5.16 Current-to-current converter.

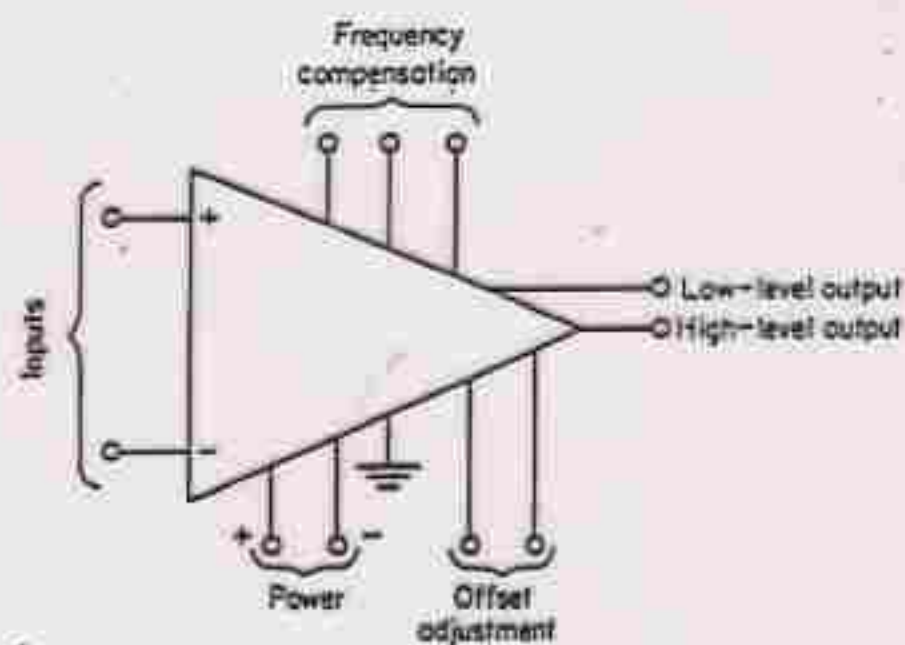


Fig. 5.17 Symbol showing some of the possible terminals found on different types of op amps.

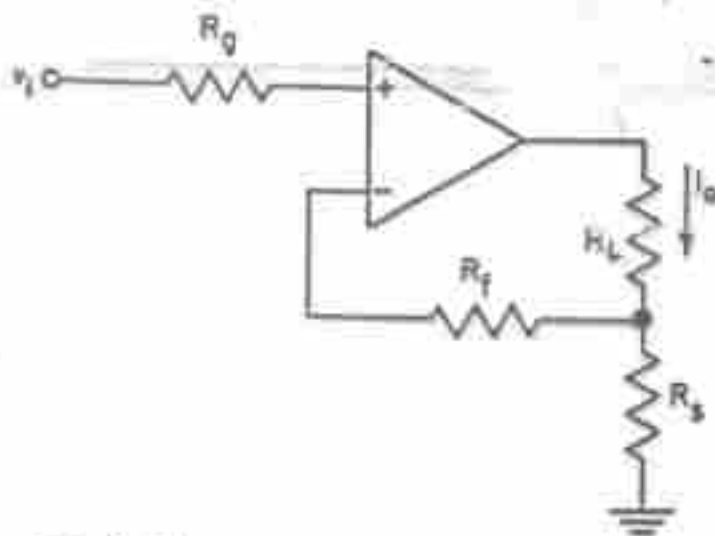


Fig. 5.14 Voltage-to-current converter.

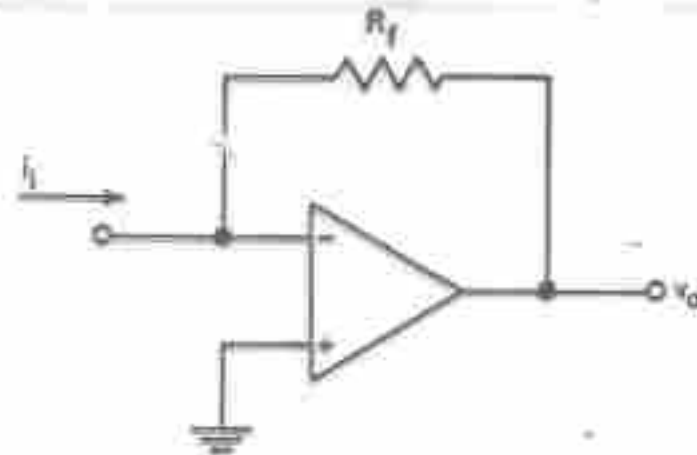


Fig. 5.15 Current-to-voltage converter.

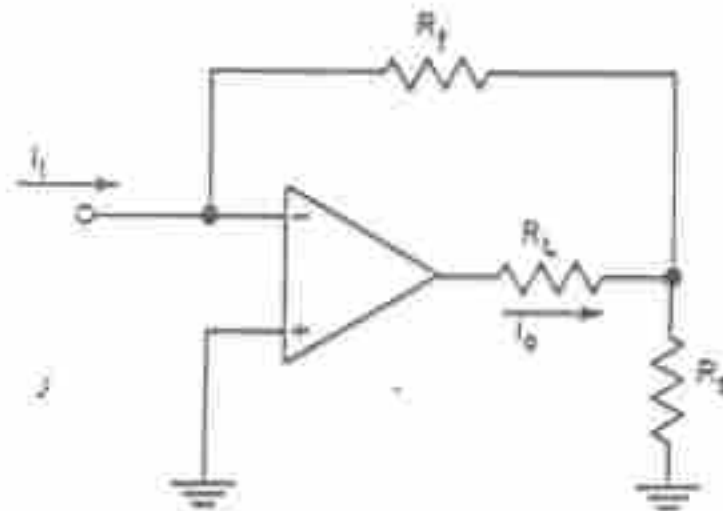


Fig. 5.16 Current-to-current converter.

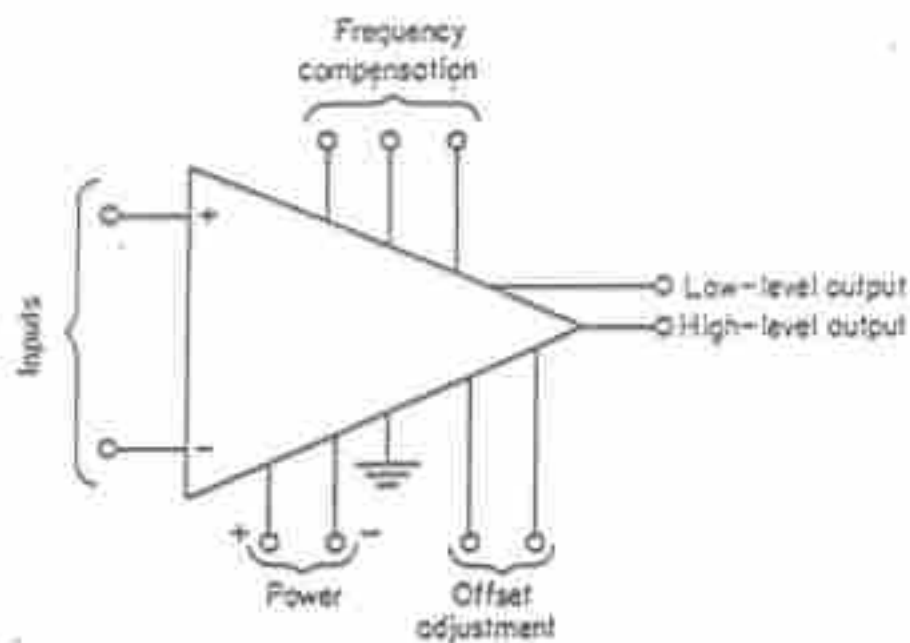
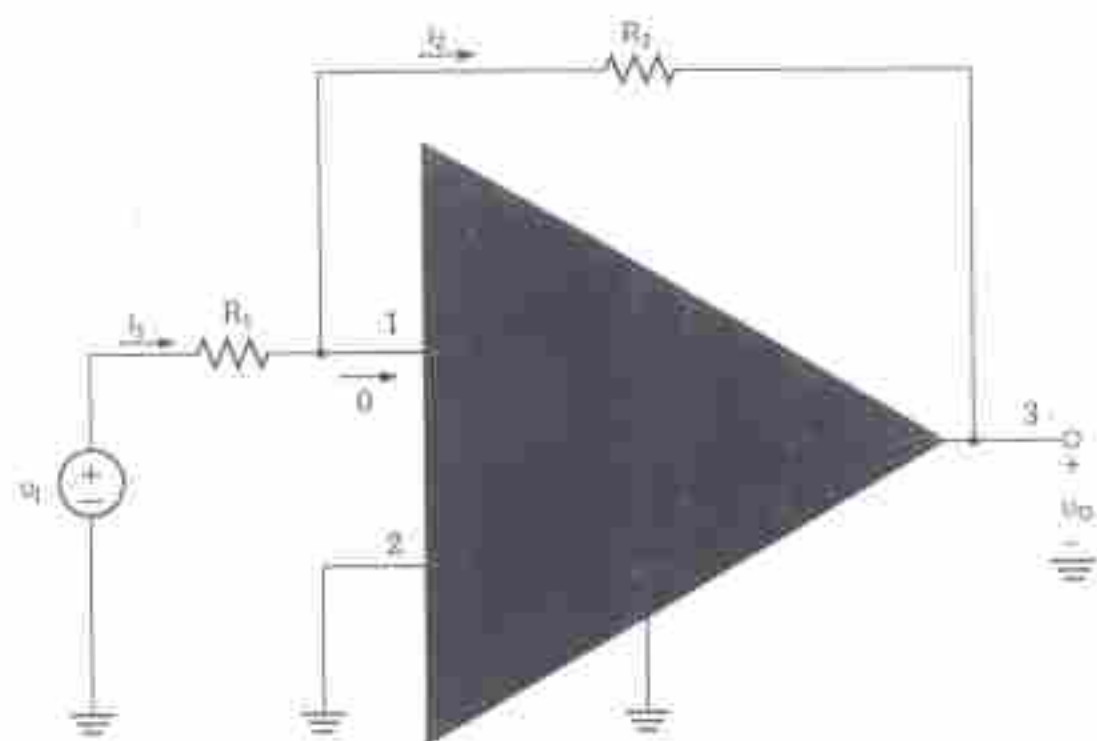
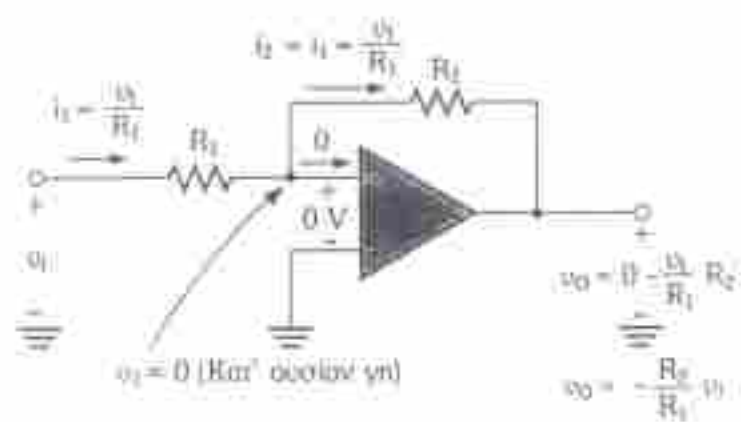


Fig. 5.17 Symbol showing some of the possible terminals found on different types of op amps.



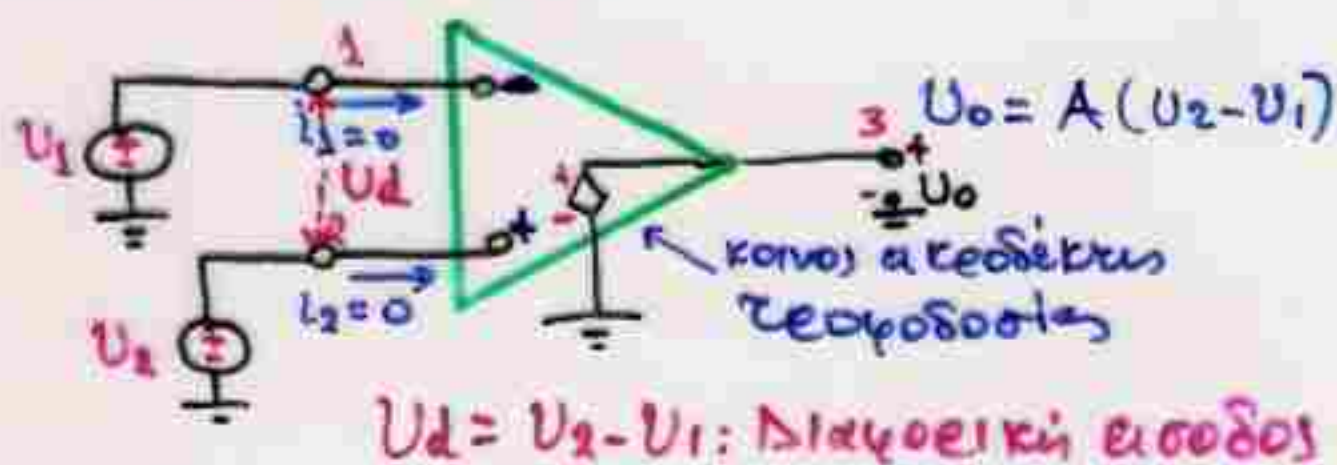
(a)



(b)

## ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

- Αισθάνεται την διαφορά τάσης στους ακροδότες εισόδου ( $U_2 - U_1$ )
- Δεν επιτρέπει να τραβήξει ρεύμα από την είσοδό του  $\Rightarrow R_{in} = \infty$



- Η τάση εξόδου  $U_o$  είναι ανεξάρτητη από το ρεύμα που θα μπορούσε να τραβήξει ένα φορτίο με κάποια συνδεδεμένη αντίσταση  $\Rightarrow R_{out} = 0$
- Οι Τ.Ε είναι στοιχεία αγωγής *signals* (dc: direct-coupled)
- Έχουν απείρο BW
- Έχουν ανοξία  $A$ , ιδανικά απείρη
- $CMRR \approx \infty$







# 11) ΙΔΑΝΙΚΟΣ Τ.Ε - ΚΕΡΔΟΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

- Κέρδος με  $A = \infty$  (για Ανοιχτό βρόχο)

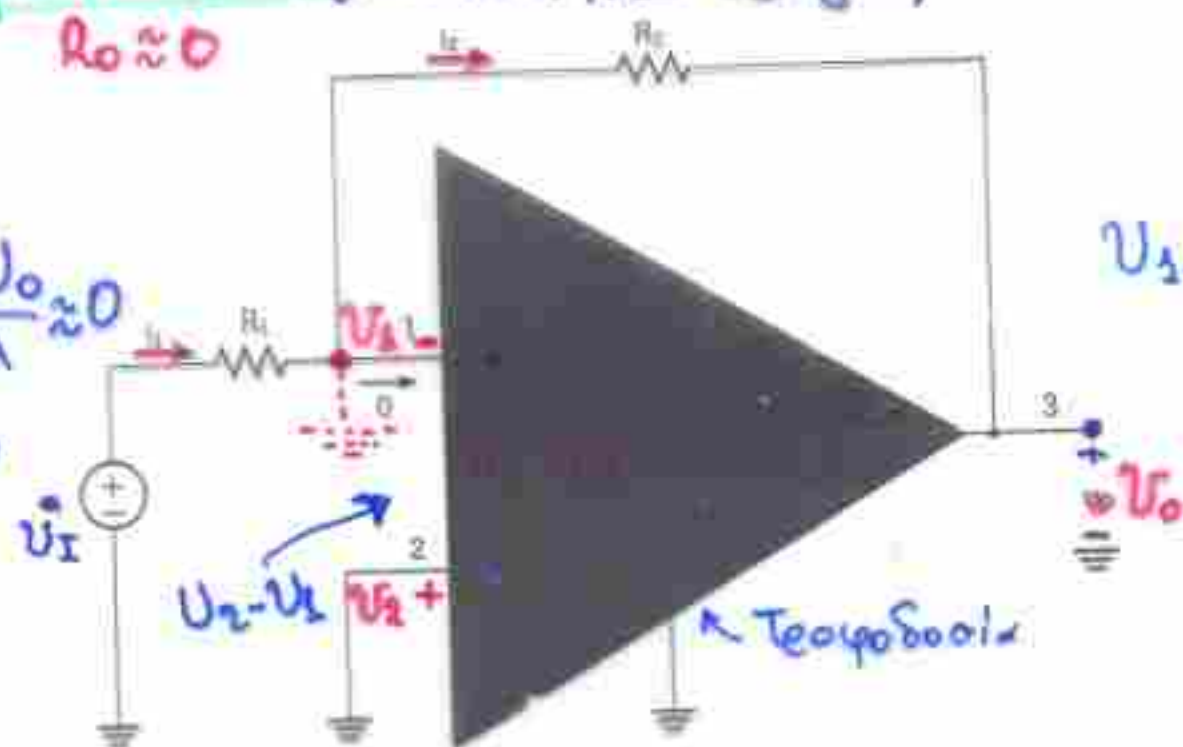
$$A \approx \infty \quad R_o \approx 0$$

$$R_{in} \approx \infty$$

$$V_2 - V_1 = \frac{V_o}{A} \approx 0$$

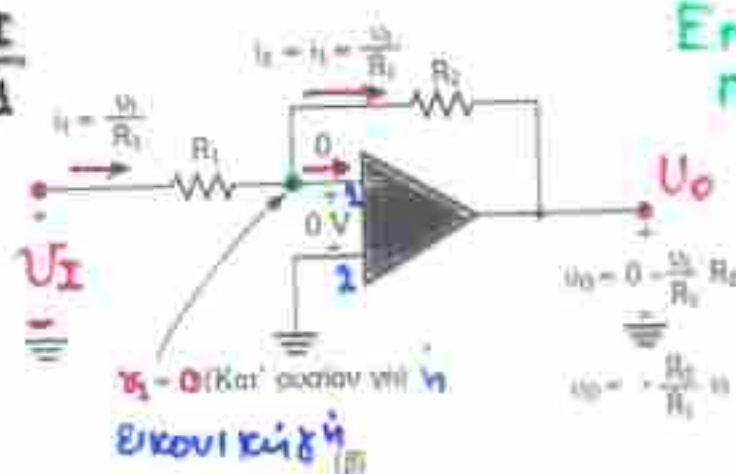
$V_1 = 0 \Rightarrow$  Εικονικό γείωμα

$$\approx V_1 \approx V_2 \approx 0$$



$$I_3 = \frac{V_1 - V_1}{R_2} \approx \frac{V_I}{R_1}$$

Επειδή  $R_{in} = \infty \Rightarrow \text{no } I_1$   
πέρα από την  $R_2$



$$V_o = V_1 - I_1 R_2 = 0 - \frac{V_I}{R_1} R_2$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_I} = - \frac{R_2}{R_1} = A_{cl}$$

- Εικονικό γήιν ή κατανοϊκό βραχυκύκλωμα: σημαίνει ότι οποια τάση υπάρχει στο ②, εμφανίζεται και στο ①. Επειδή αν  $A = \infty$  ή αν  $A \rightarrow \infty$  τότε η  $V_1$  πλησιάζει την  $V_2$ .

- Κέρδος με  $A$  πεπερασμένο

Η τάση μεγάλων αμεροδεκτών θα είναι:  $\frac{V_o}{A}$

$$\text{Επειδή } V_2 = 0 \Rightarrow V_2 - V_1 = \frac{V_o}{A} \Rightarrow V_1 = - \frac{V_o}{A}$$

$$G \equiv \frac{V_o}{V_I} = \frac{-R_2/R_1}{1 + (1 + R_2/R_1)/A}$$

$A \rightarrow \infty \Rightarrow V_1 \rightarrow 0$   
(κατανοϊκό βραχυκύκλωμα)

Παραμένει υδραυλικά μείον χάνονται στο Πίνακα

## ΚΕΡΔΟΣ Τ.Ε με ανάδραση

α) Με εισοδο  $U_d \approx 0 \Rightarrow U_2 - U_1 = \frac{U_0}{A}$

Επειδή  $A \approx \infty$  και  $U_0$  έχει κάποια τιμή  $\Rightarrow$

$$U_2 - U_1 \approx 0, \text{ Έτσι } U_2 = 0 \Rightarrow \boxed{U_1 \approx U_2 \approx 0}$$

Επειδή  $R_{11} \approx \infty$ , το  $L_1$  οδηγείται προς  $\infty$

$$\hookrightarrow R_2 \Rightarrow \boxed{\dot{L}_1 = \dot{L}_2}$$

$$U_0 = U_1 - L_1 R_2 = 0 - \frac{U_F}{R_1} \cdot R_2 \quad A \dot{L}_1 = - \frac{R_2}{R_1}, \quad U_0 = A \dot{L}_1 \left( - \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$\Rightarrow \frac{U_0}{U_F} = \frac{R_2}{R_1}$

β) Με <sup>ανάδραση</sup> εισοδό πεπερασμένη  $U_d \neq 0$

$$\hookrightarrow U_d = \frac{U_0}{A} \Rightarrow U_2 - U_1 = \frac{U_0}{A} \Rightarrow U_1 = - \frac{U_0}{A}$$

$$L_1 = U_1 - U_2 \Rightarrow L_1 = \frac{U_1 - (-U_0/A)}{R_1} = \frac{U_1 + U_0/A}{R_1}$$

$$\dot{L}_2 = \frac{U_0 - U_1}{R_2} = \frac{U_0 - (-U_0/A)}{R_2} = \frac{U_0 + \frac{U_0}{A}}{R_2}$$

$$U_0 = U_1 - L_2 R_2 = U_1 - L_1 R_2 = - \frac{U_0}{A} - \left( \frac{U_1 + U_0/A}{R_1} \right) R_2$$

Κέρδος κλάσας βρόχου

$$\boxed{G = \frac{U_0}{U_F} = \frac{-R_2/R_1}{1 + (1 + R_2/R_1)/A}}$$

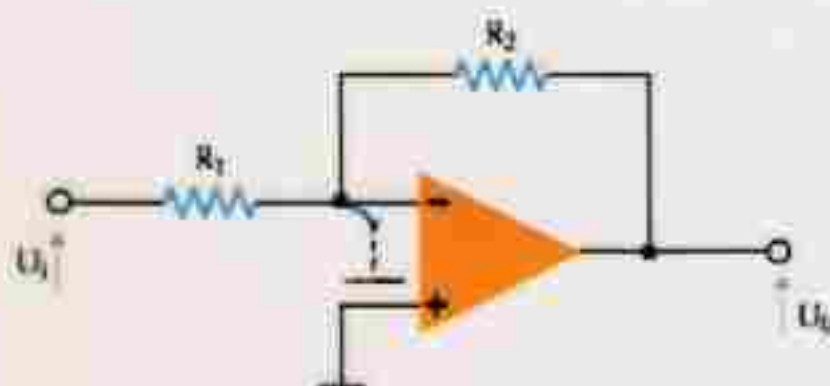


$$* \text{Καθίς το } A \rightarrow \infty, G \sim \frac{R_2}{R_1}$$

Επίσης καθίς το  $A \rightarrow \infty$ , ταχύ στον ανεξάρ-  
 τητα ανεξάρτητη  $\rightarrow 0 \Rightarrow \text{Ιδ. γύ}$



## ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ



*Η συνδεσμολογία ως αναστρέφον ενισχυτή*

Απολαβή ενισχυτή  
 $A_{cl}$  ή  $A_v$

$$A_v = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Αντίσταση  
εισόδου

$$R_{if} = R_1 + \frac{R_2}{1 + A_o} \quad // \quad R_i \approx R_1$$

$A_{cl} \quad R_{if} \approx R_1 \approx \infty$

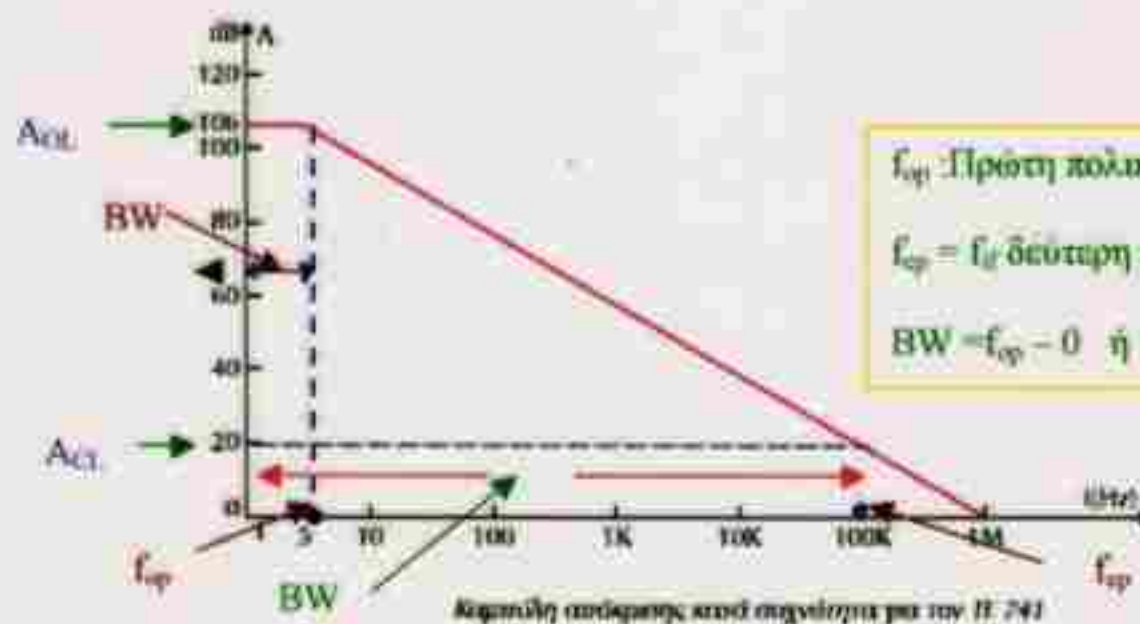
Αντίσταση  
εξόδου

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \beta A_o}$$

$$f_u = (1 + \beta A_v) f_c$$

Συντελεστής  
ανάστροφης

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



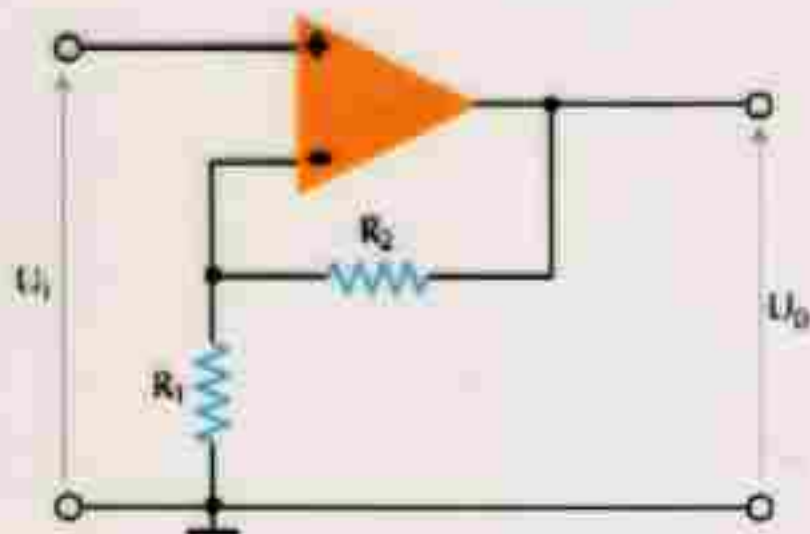
$f_{cp}$ : Πρώτη πολική συχνότητα

$f_{cp} = f_c$  δεύτερη πολική συχνότητα

$BW = f_{cp} - 0$  ή  $BW = f_{cp} - 0$

*Καμπύλη απόκρισης κατά συχνότητα για τον LM 741*

## ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΜΗ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ



Μη αναστρέφων ενισχυτής με ΤΕ

$$A = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_i = R(1 + \beta A)$$

$$R_o = \frac{R_o}{1 - \beta A}$$

όπου  $A_v$  = η ενίσχυση τάσης κλειστού βρόχου

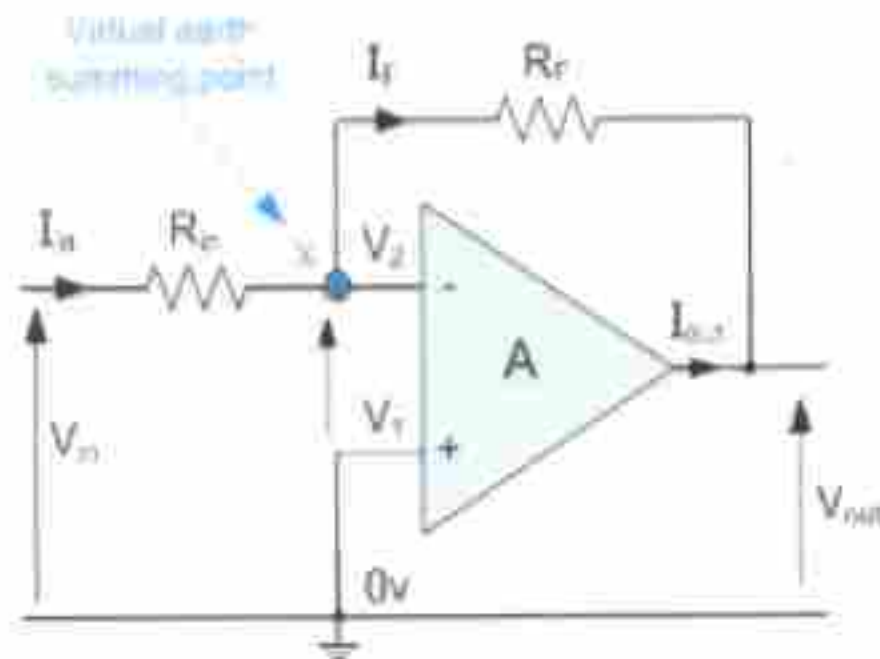
$R_{oi}$  = η ολική αντίσταση εισόδου του ενισχυτή με ανασύζευξη

$R_{oy}$  = η ολική αντίσταση εξόδου του ενισχυτή με ανασύζευξη

και  $\beta$  = το ποσοστό ή συντελεστής ανασύζευξης, που είναι ίσο με

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

### Inverting Amplifier Circuit

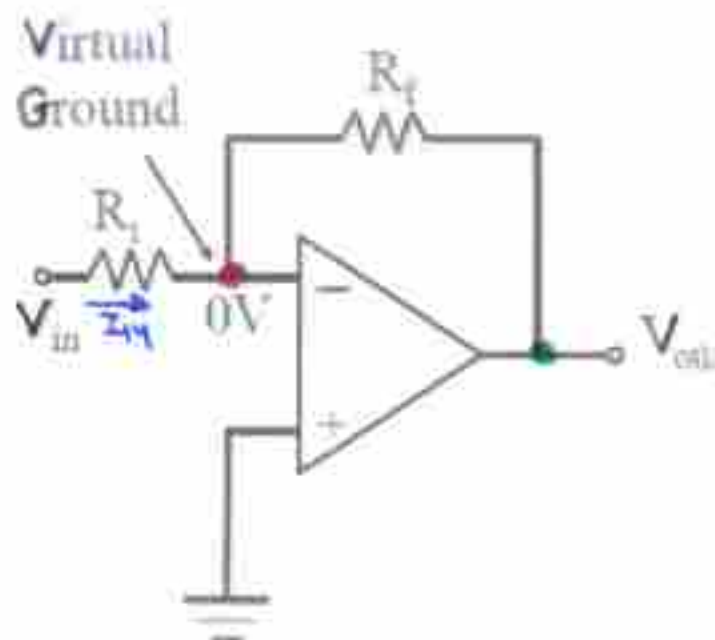


In this Inverting Amplifier circuit the operational amplifier is connected with feedback to produce a closed loop operation. There are two very important rules to remember about inverting amplifiers is that "no current flows into the input terminals" and that " $V_1$  equals  $V_2$ ". This is because the junction of the input and feedback signal ( $V_1$ ) is at the same potential as the positive (+) input which is at zero volts or ground then, the junction is a "Virtual Earth". Because of this virtual earth node the input resistance of the amplifier is equal to the value of the input resistor  $R_{in}$  and the closed loop gain of the inverting amplifier can be set by the ratio of the two external resistors.

We said above that there are two very important rules to remember about Inverting Amplifiers or any operational amplifier for that matter and they are:

1. No Current Flows into the Input Terminals
2. The Differential Input Voltage is Zero as  $V_1 = V_2 = 0$  (Virtual Earth)

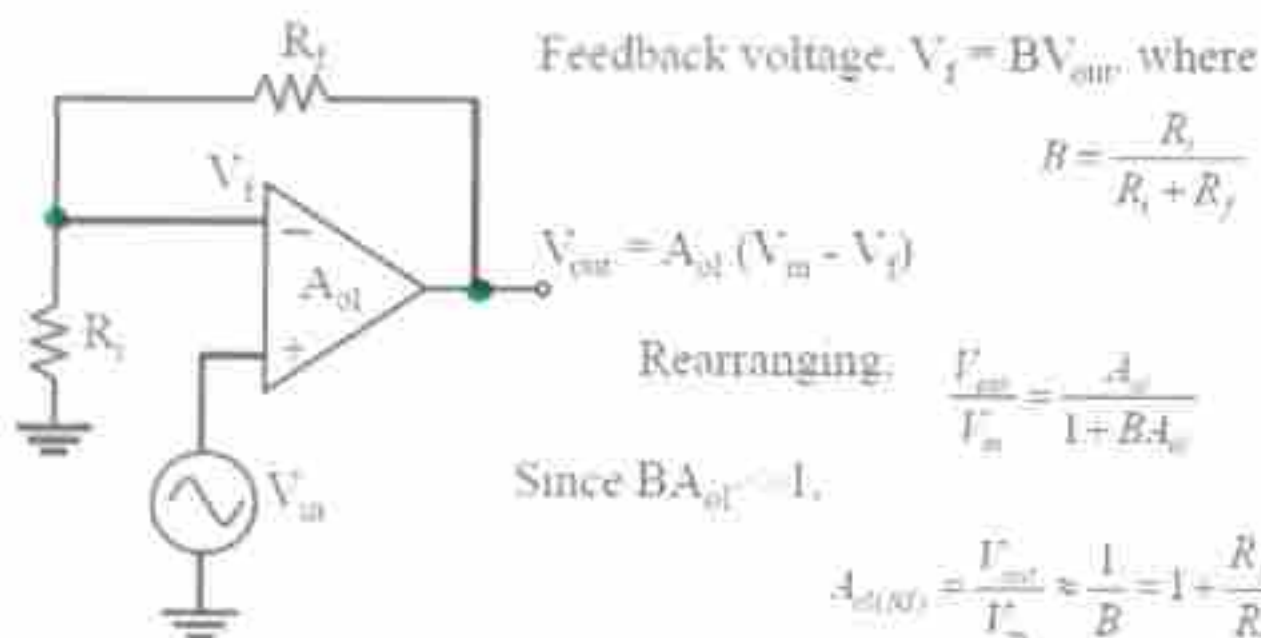
## Inverting Amplifier



- Assuming  $Z_{in}$  between -ve and +ve terminals is infinite, current into -ve terminal is zero.
- Therefore,  $I_{in} = V_{in}/R_i$  is equal to  $I_f = -V_{out}/R_f$
- Rearranging,

$$A_{cl} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i}$$

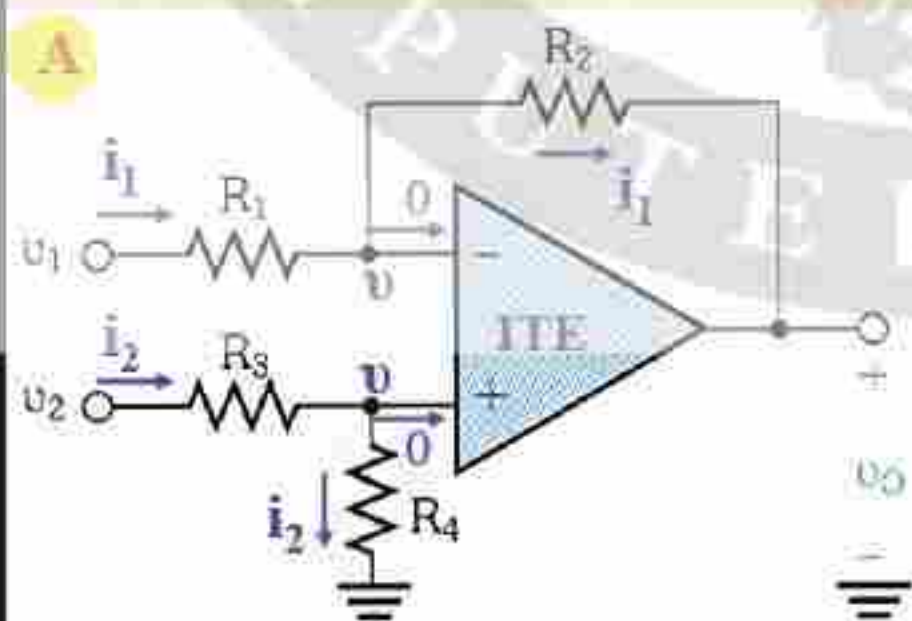
## Noninverting Amplifier





## Παράδειγμα 2 (Γ)

Ενισχυτής Διαφορών



Ιδανικός Τελεστικός και συνεπώς ισχύει

$$v_+ - v_- \equiv \frac{v_o}{A} = \frac{v_o}{\infty} = 0 \Rightarrow v_+ = v_- \equiv v$$

Στο βρόχο της εισόδου 1 από **KVL** ισχύει:

$$v_1 - R_1 i_1 - v = 0 \Rightarrow i_1 = \frac{v_1 - v}{R_1} \quad (1)$$

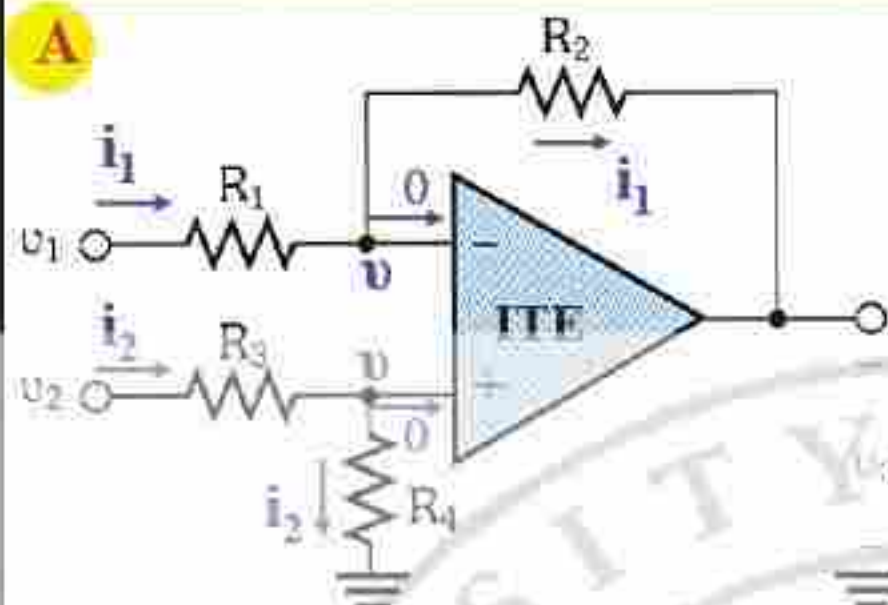
Στο βρόχο ανάδρασης από **KVL** ισχύει:

$$v_o + R_2 i_1 - v = 0 \xRightarrow{(1)} v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)v - \frac{R_2}{R_1}v_1 \quad (2)$$

## Παράδειγμα 2 (II)

Ενισχυτής Διαφορών

A



Στο διαιρέτη τάσης της εισόδου 2 ισχύει:

$$\left. \begin{array}{l} \text{KVL} \\ u_2 = R_3 i_2 + R_4 i_2 \\ \text{Ohm} \\ u = R_4 i_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} u = \frac{R_4}{R_4 + R_3} u_2 \\ i_2 = \frac{u}{R_4} \end{array} \quad (3)$$

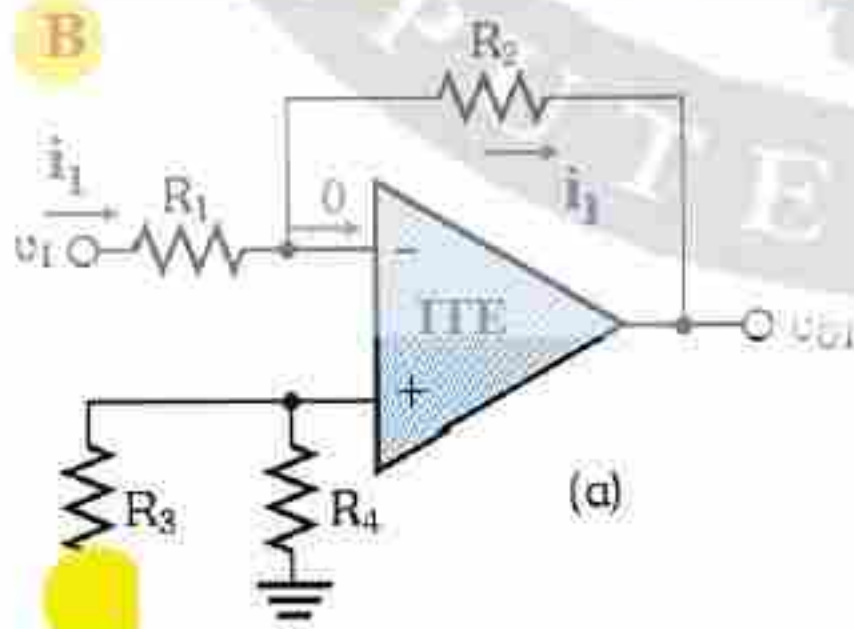
Χρησιμοποιώντας τη σχέση (3) η σχέση (2) γράφεται ως ακολούθως:

$$u_O = \left( \frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_4} \right) u_2 - \frac{R_2}{R_1} u_1 \quad (4)$$

## Παράδειγμα 2 (III)

Ενισχυτής Διαφορών

B



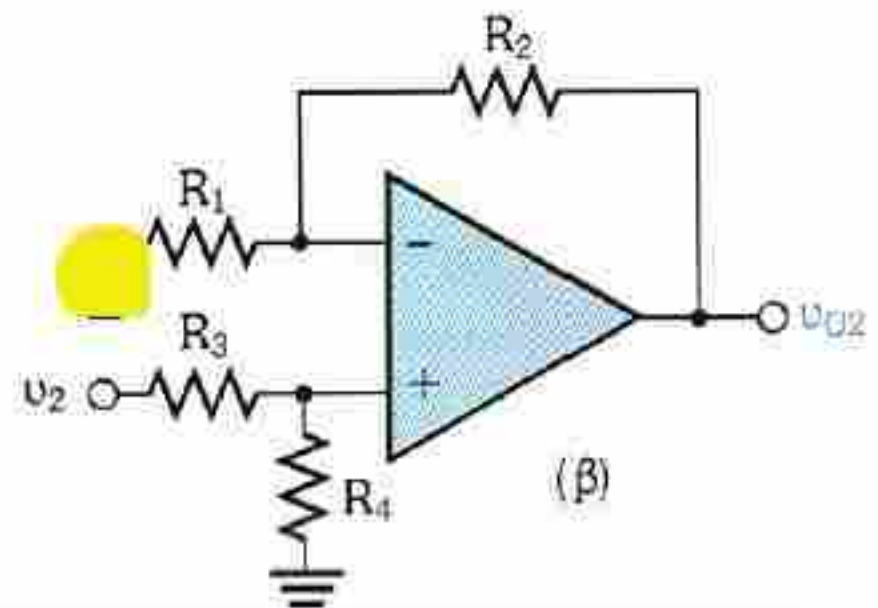
(α)

Ο Ιδανικός Τελεστικός Ενισχυτής είναι ένα γραμμικό κύκλωμα και μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτή η αρχή της *υπέρθεσης*.

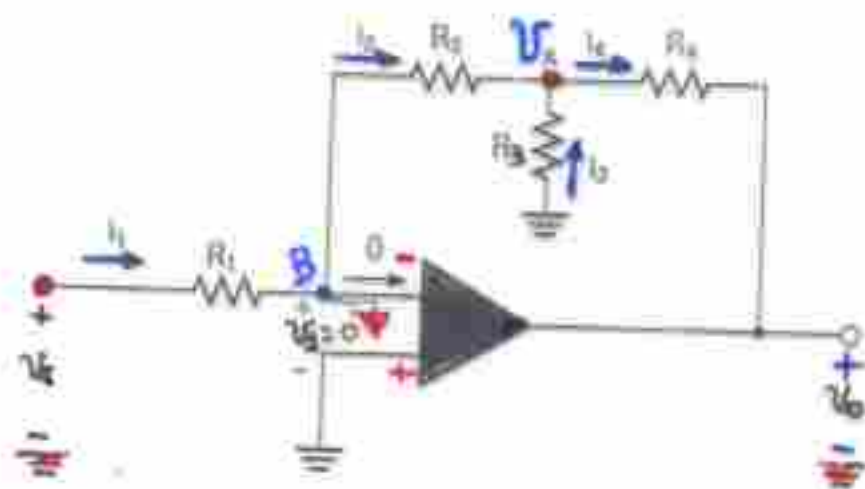
Γειώνοντας τη  $v_2$  ισχύει:  $v_{O1} = -\frac{R_2}{R_1} v_1$  (1)

Γειώνοντας τη  $v_1$  ισχύει:

$$v_{O2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} v_2 \quad (2)$$



(β)



Αποσβεση/κέρδος  
 $A = -\frac{u_0}{u_1}$

Σχ. 2.8  
Κύκλωμα του  
παραδείγματος 2.2

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2.2 (υ <math>u\_0/u\_1</math>)

Θεωρώντας τον τελεστικό ενισχυτή ιδανικό, βρείτε μια έκφραση για το κέρδος κλειστού βρόχου  $u_0/u_1$  του κυκλώματος που εικονίζεται στο Σχήμα 2.8. Χρησιμοποιήστε αυτό το κύκλωμα για να σχεδιάσετε έναν αναστρέφοντα ενισχυτή, με κέρδος 100, και αντίσταση εισόδου 1 MΩ. Υποθέστε, για πρακτικούς λόγους, ότι απαγορεύεται να χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις μεγαλύτερες από 1 MΩ. Συγκρίνετε το κύκλωμά σας με την αναστρέφουσα συνδεσμολογία που βασίζεται στο Σχήμα 2.4.

Λύση

Η ανάλυση αρχίζει στον αναστρέφοντα ακροδέκτη του τελεστικού ενισχυτή, όπου η τάση δίνεται από τη σχέση

$$-\frac{u_0}{u_1} = A \Rightarrow u_1 = \frac{-u_0}{A} = \frac{-u_0}{\infty} = 0$$

Επεδν B ακονική χή  $\Rightarrow u_1 = u_2 = 0 \Rightarrow$

Εδώ έχουμε υποθέσει ότι το κύκλωμά μας "δουλεύει" και παράγει μια πεπερασμένη τάση εξόδου  $u_0$ . Γνωρίζοντας τη  $u_1$  μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα  $i_1$  ως εξής:

$$i_1 = \frac{u_1 - u_2}{R_1} = \frac{u_1 - 0}{R_1} = \frac{u_1}{R_1}$$

Εφόσον δεν περνάει ρεύμα από τον αναστρέφοντα ακροδέκτη εισόδου, όλο το  $i_1$  θα περάσει από την  $R_2$ , οπότε θα ισχύει

$$i_2 = i_1 = \frac{u_1}{R_1}$$

Τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε την τάση στον κόμβο x:



$$U_3 - U_X = I_2 R_2 \Rightarrow U_X = U_1 - I_2 R_2 = 0 - \frac{U_1}{R_1} R_2 = -\frac{R_2}{R_1} U_1$$

Αυτό μας επιτρέπει να βρούμε πόσο είναι το ρεύμα  $I_3$

$$I_3 = \frac{0 - U_X}{R_3} = \frac{R_2}{R_1 R_3} U_1$$

Κατόπιν, μια εξίσωση κόμβων στο  $x$  δίνει  $I_4$

$$\sum I_i = 0 \Rightarrow I_2 + I_3 - I_4 = 0 \Rightarrow I_4 = I_2 + I_3 = \frac{U_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 R_3} U_1$$

Τελικά, μπορούμε να υπολογίσουμε τη  $U_O$  από τη σχέση

$$\begin{aligned} U_X - U_O &= I_4 R_4 \Rightarrow U_O = U_X - I_4 R_4 \\ &= -\frac{R_2}{R_1} U_1 - \left( \frac{U_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1 R_3} U_1 \right) R_4 \end{aligned}$$

Ετσι το κέρδος τάσης δίνεται από τη σχέση

$$A_{cl} = \frac{U_O}{U_1} = - \left[ \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_4}{R_1} \left( 1 + \frac{R_2}{R_3} \right) \right]$$

η οποία μπορεί να γραφτεί και στη μορφή

$$\frac{U_O}{U_1} = - \left( \frac{R_2}{R_1} \right) \left( 1 + \frac{R_4}{R_2} + \frac{R_4}{R_3} \right)$$

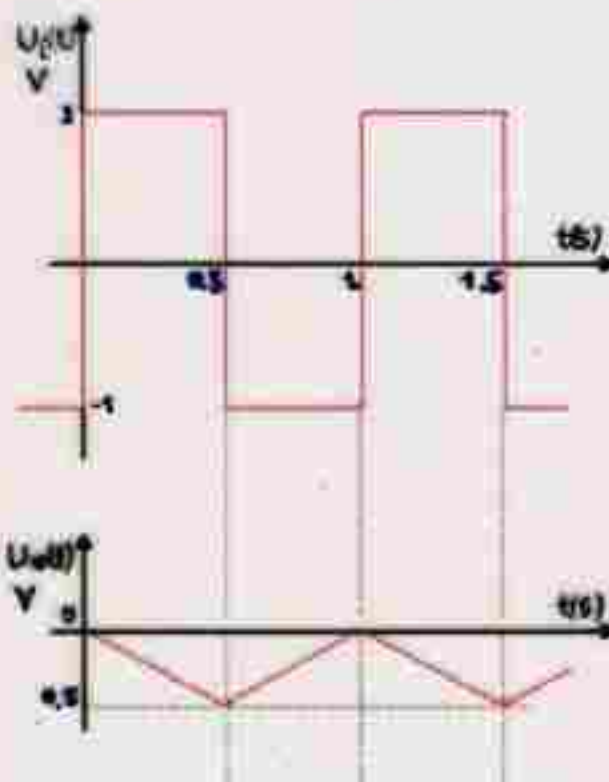
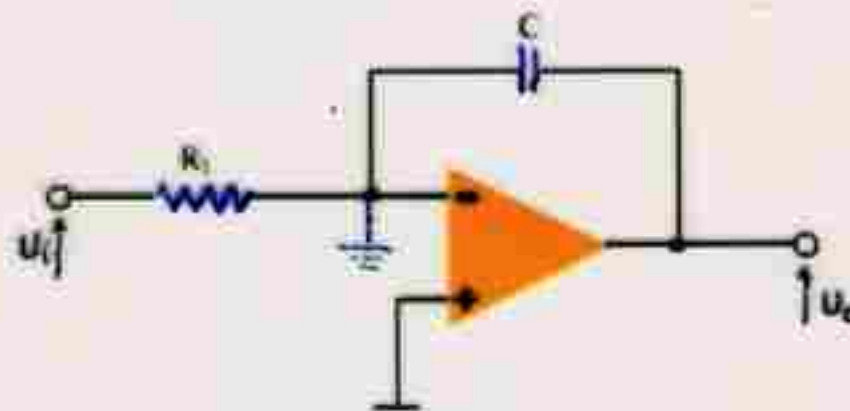
για  $R_4 = 140 \Omega$   
δίνεται  $R_3 = 10.2 k\Omega$

Τώρα, επειδή απαιτείται αντίσταση εισόδου  $1 M\Omega$ , διαλέγουμε  $R_1 = 1 M\Omega$ . Τότε, με τον περιορισμό να χρησιμοποιήσουμε αντιστάσεις μικρότερες από  $1 M\Omega$ , η μέγιστη δυνατή τιμή για τον πρώτο παράγοντα στη σχέση για το κέρδος είναι 1 και πετυχαίνεται με το να διαλέξουμε  $R_2 = 1 M\Omega$ . Για να πάρουμε κέρδος -100, οι  $R_3$  και  $R_4$  πρέπει να επιλεγούν έτσι, ώστε ο δεύτερος παράγοντας στη σχέση που δίνει το κέρδος να είναι 100. Αν διαλέξουμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή  $1 M\Omega$  για την αντιστάση  $R_4$ , τότε η απαιτούμενη τιμή για την  $R_3$  υπολογίζεται  $10.2 k\Omega$ . Δηλαδή, το κύκλωμα χρησιμοποιεί τρεις αντιστάσεις του  $1 M\Omega$  και μία αντίσταση των  $10.2 k\Omega$ . Συγκρίνοντας με την αναστρέφουσα συνδεσμολογία, αν εκεί είχαμε χρησιμοποιήσει  $R_1 = 1 M\Omega$ , τότε θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε αντίσταση  $100 M\Omega$  στην ανάδραση, τιμή τεράστια, άρα πρακτικά μη πραγματοποιήσιμη.

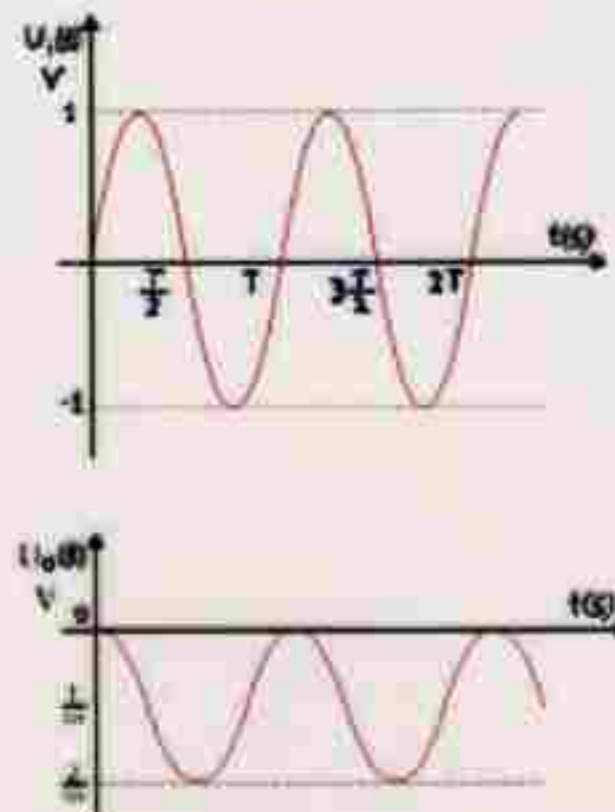
### Παρατήρηση

Είναι ένα πρακτικό εύρημα για κέρδος -100 με χρήση πορτί μικρών αντιστάσεων.

## ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ



Ολοκλήρωση τετραγωνικών παλμών



Ολοκλήρωση ημιτονικού σήματος

$$u_o = -\frac{1}{\tau} \int_0^t u_i dt + c$$

$$\tau = R_i C$$

$$t_p = -\frac{\tau}{10}$$

### 5.5 Ολοκληρωτής

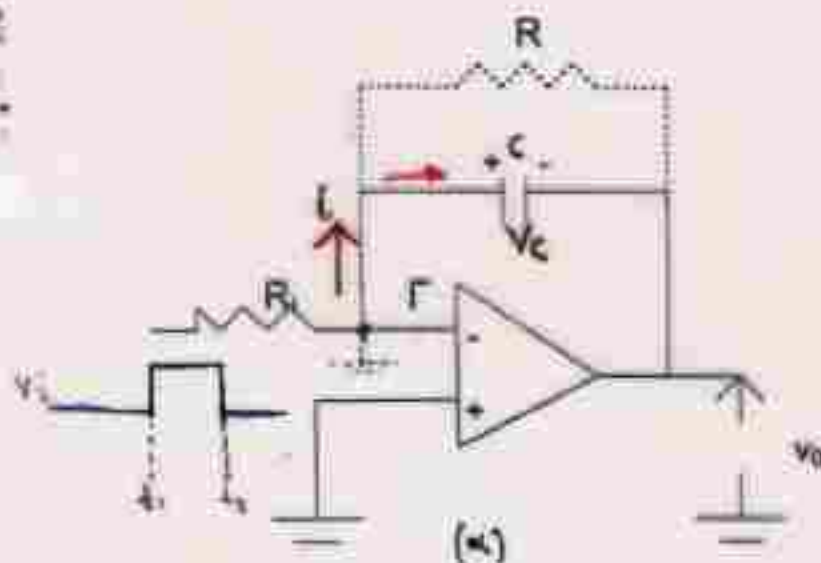
Ο ολοκληρωτής είναι ένα κύκλωμα, βασισμένο σε ένα Τ.Ε και εκτελεί την πράξη της ολοκλήρωσης. Τα αποτελέσματα είναι πολύ καλά συγκριτικά με τους ολοκληρωτές που βασίζονται σε δικτυώματα RC.

Το Σχήμα 5 παριστά ένα ολοκληρωτή με Τ.Ε. Λέγεται ακόμη και Ολοκληρωτικός ενισχυτής, Αναλογικός ολοκληρωτής ή και φίλτρο χαμηλής διέλευσης (Low filter).

Στον ολοκληρωτή η τάση εξόδου είναι ανάλογη του ολοκληρώματος της τάσης εισόδου. Όπως φαίνεται το κύκλωμα ανάδρασης έχει ένα πυκνωτή. Με την προϋπόθεση ότι ο Τ.Ε λειτουργεί στην γραμμική περιοχή, το σημείο Γ είναι εικονική γη και είναι  $v_i = 0$ . Συνήθως η είσοδος είναι ένας τετραγωνικός παλμός, όπως και στο Σχήμα 5. Όταν ο παλμός είναι low, θα είναι  $v_i = 0$ , ενώ όταν ο παλμός είναι high θα είναι  $v_i = V_{max}$ . Θα είναι:

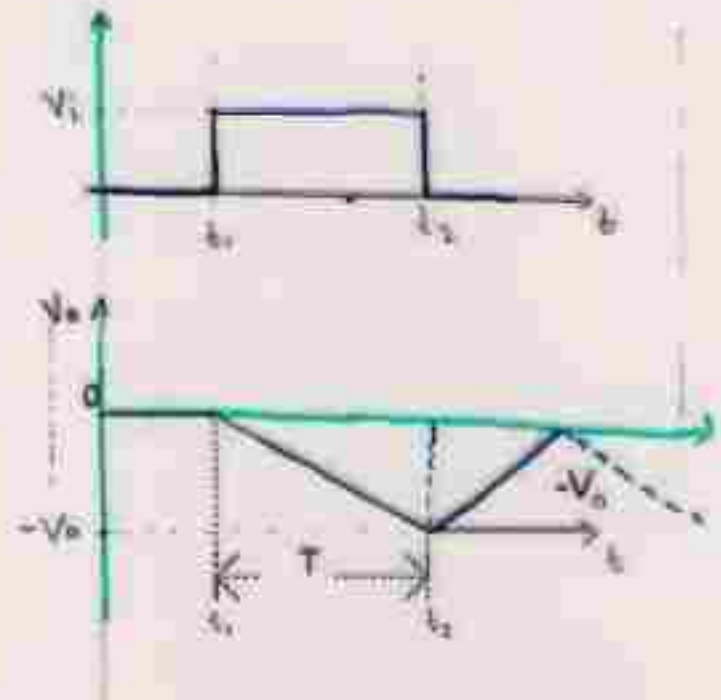
$$i = \frac{V_{max}}{R_i}$$

Αυτό το ρεύμα φορτίζει τον πυκνωτή με την πολικότητα που δείχνει το σχήμα. Λόγω της εικονικής τάση εξόδου ισούται με την τάση στα άκρα του πυκνωτή (για μια θετική τάση εισόδου η τάση στον πυκνωτή θα είναι αρνητική και αύξουσα). Κατά την φόρτιση του πυκνωτή, το φορτίο Q αυξάνει γραμμικά ως προς τον χρόνο, που ισοδυναμεί με αρνητική κλίση της τάσης εξόδου, Σχήμα 5, β.



Σχήμα 5

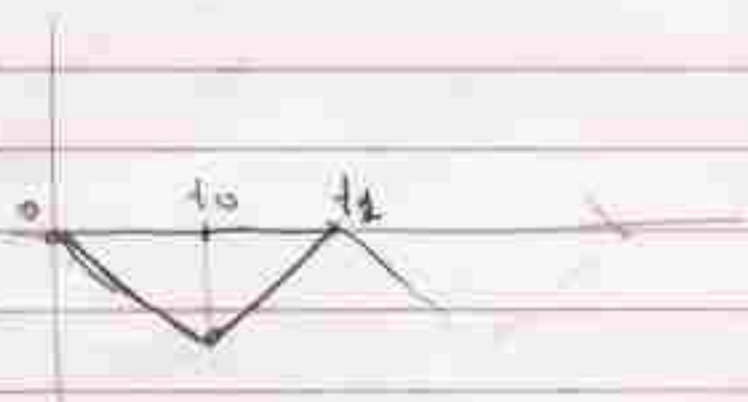
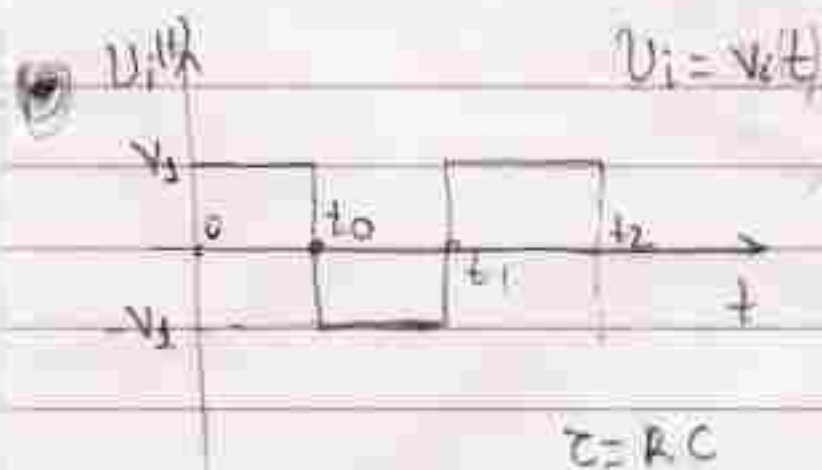
Θα είναι:



Σχήμα 5, β Τυπική κλίση εξόδου

$$v_o(t) = v_c = - \frac{1}{C} \int_0^t i dt = - \frac{1}{RC} \int_0^t v_i dt$$





$$0 \leq t \leq t_0 \Rightarrow U_{01}(t) = -\frac{1}{\tau} \int_0^t V_1 dt = -\frac{V_1}{\tau} \int_0^t dt = -\frac{V_1}{\tau} t \Big|_0^{t_0} = -\frac{V_1 t_0}{\tau}$$

$$t_0 \leq t \leq t_1 \Rightarrow U_{02}(t) = -\frac{V_1 t_0}{\tau} + \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^t V_1 dt = -\frac{V_1 t_0}{\tau} + \frac{V_1}{\tau} (t - t_0) = -\frac{V_1 t_0}{\tau} + \frac{V_1}{\tau} (t - t_0)$$

\* Εξω

$$\tau = RC$$

Εάν πρέπει να είναι τ  $\leq 10 t_{max}$  να ορίσει το  $t_{max}$  να είναι ο χρόνος (time =  $\frac{T}{2}$ )

$$\tau = RC = 10 t_{max}$$

το χρονικό εύρος  
ωδω/μωδωδω

πρωτό (to  $\frac{T}{2}$ )

π.χ

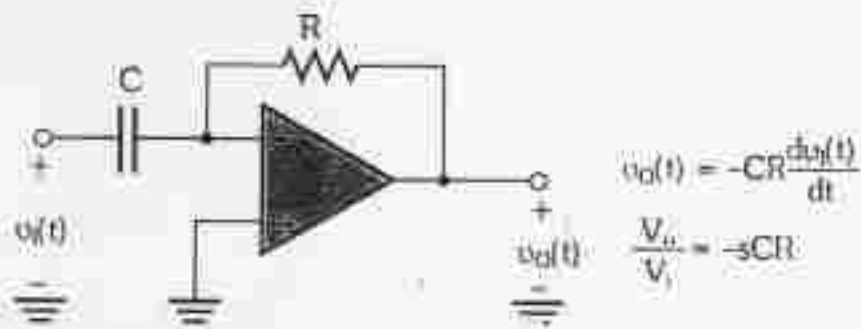
$R_f = 10k$ , και  $f_{max} = 1kHz$ , πόση C?

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^3 \text{ sec}} = 1 \text{ msec}$$

$$t_p = \frac{T}{2} = \frac{1}{2} \text{ msec}$$

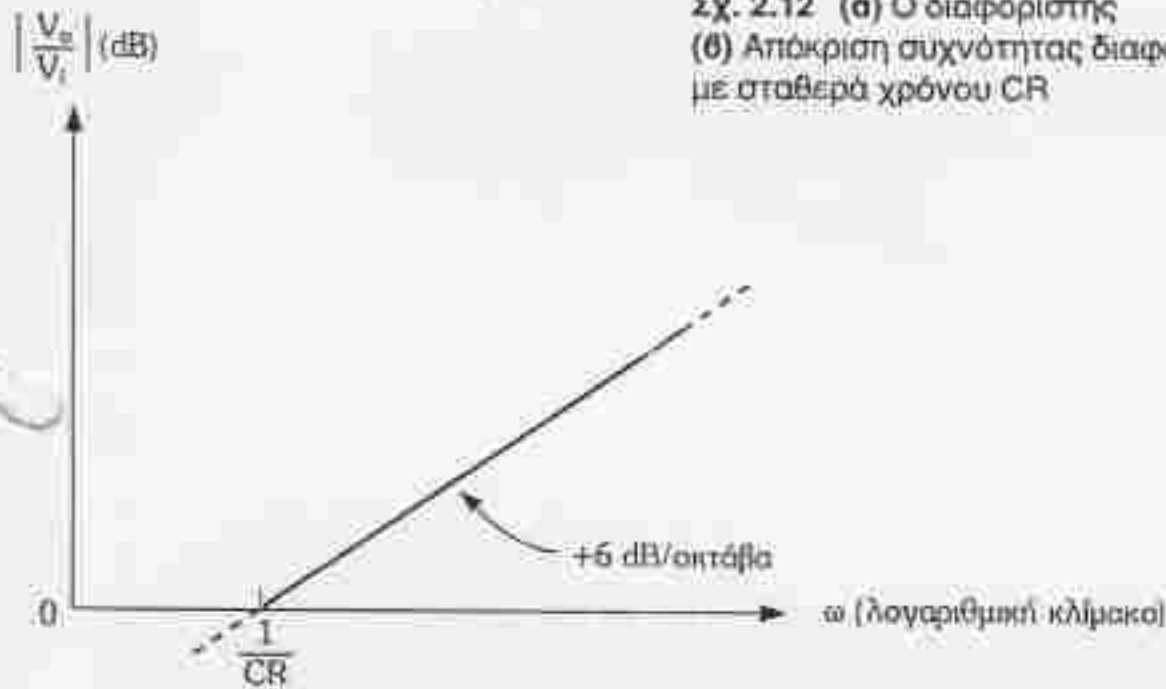
$$\tau = RC = 10 t_p \Rightarrow RC = 10 t_p \Rightarrow C = \frac{10 t_p}{R_f} = \frac{10 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3}}{10^4} = 0.47 \mu F$$





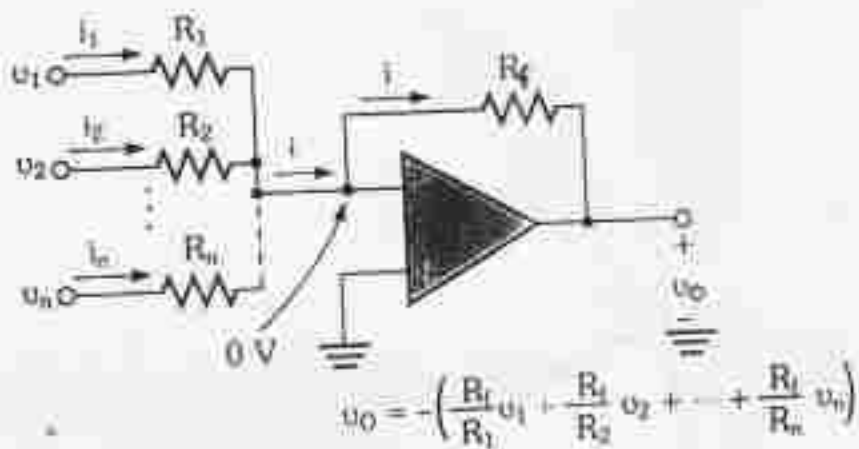
(α)

Σχ. 2.12 (α) Ο διαφοριστής  
(β) Απόκριση συχνότητας διαφοριστή, με σταθερά χρόνου CR



(β)

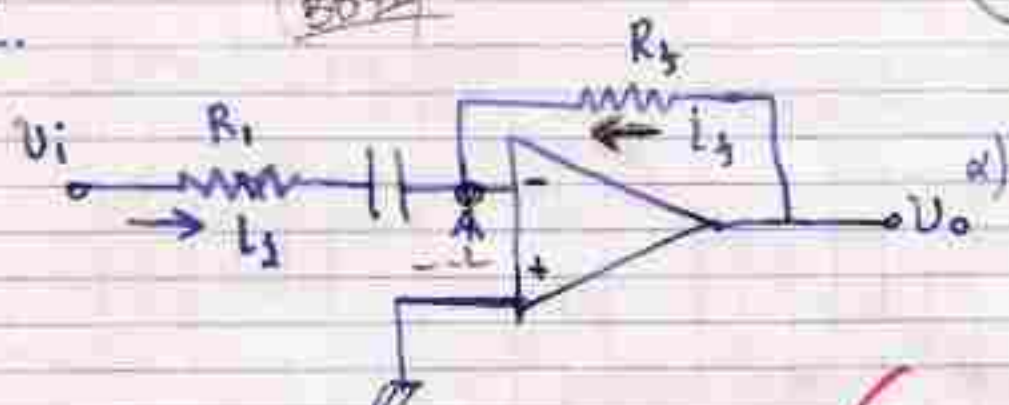
$$i_1 = \frac{v_1}{R_1}, \quad i_2 = \frac{v_2}{R_2}, \quad \dots, \quad i_n = \frac{v_n}{R_n}$$



1.

(BOYA)

2



α) Να βρεθεί η συνάρτηση μεταφοράς του κυκλώματος διαφύρασης



β) Ποιά ποσότητα παίρνει η συνάρτηση μεταφοράς αν  $R_1 \ll R_f$

α) Α ενοική γη. Νόμος Kirchhoff για ρεύματα:

$$I_1 = -I_f \Rightarrow \frac{V_i - 0}{R_1 + \frac{1}{Cs}} = -\frac{0 - V_o}{R_f} \Rightarrow$$

Μεταβλητά γινόμενα συνδυάζονται

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1 + \frac{1}{Cs}} \Rightarrow H(s) = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f Cs}{R_1 Cs + 1}$$

$$s = j\omega$$

Συνδυάζονται \$R\_1\$ και \$Cs\$

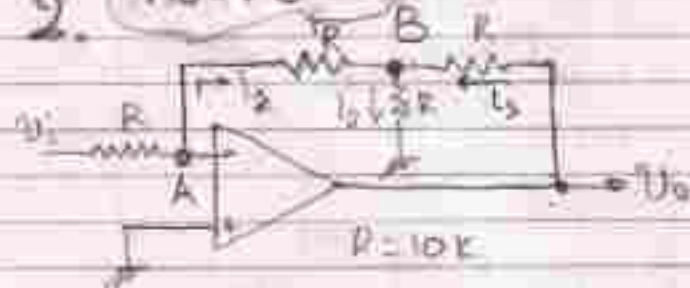
β)

$$H(s) = -\frac{1}{\frac{R_1}{R_f} + \frac{1}{R_f Cs}}$$

για  $R_1 \ll R_f \Rightarrow H(s) = -R_f Cs$

2.

(BOYA)

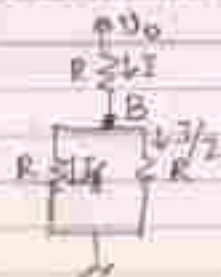


Να βρεθεί τάση εξόδου \$V\_o\$ σαν αλγεβρικός συνδυασμός εισόδου \$V\_i\$

Συνδυάζονται \$R\$;

$$I_1 + I_3 = I_2 \Rightarrow \frac{V_i - V_B}{2R} + \frac{V_o - V_B}{R} = \frac{V_B}{R} \quad (1)$$

Θεωρούμε ότι η ενοική γη είναι εξομοιωμένη:



$$V_B = \frac{I}{2} R \Rightarrow V_B = \frac{I}{2} \cdot \frac{R}{2} = \frac{V_o - V_B}{2} \cdot \frac{R}{2} \Rightarrow V_o - V_B = 2V_B \Rightarrow$$

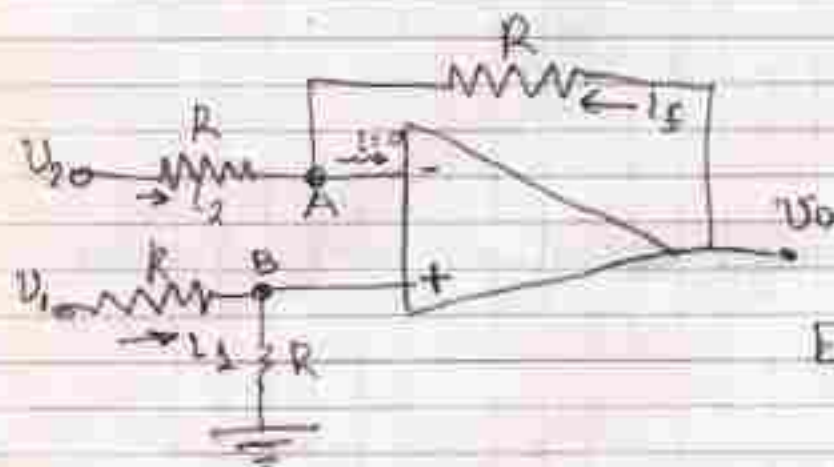
$$V_B = \frac{V_o}{3} \quad / \quad \text{Αντικαθιστώντας στο (1) παίρνουμε:}$$

$$V_o = -3V_i$$





4. Να βρεθεί η εξόδος του παρακάτω αφαίρεσης



$$I_2 + I_f = 0 \Rightarrow \frac{V_2 - V_A}{R} + \frac{V_0 - V_A}{R} = 0, V_A \neq 0$$

$$\Rightarrow V_A = \frac{1}{2} (V_2 + V_0) \quad (1)$$

$$\text{Είναι } V_A = V_B$$

$$V_B = I_1 \cdot R = \frac{V_1}{R+R} \cdot R = \frac{V_1}{2} \cdot R \Rightarrow$$

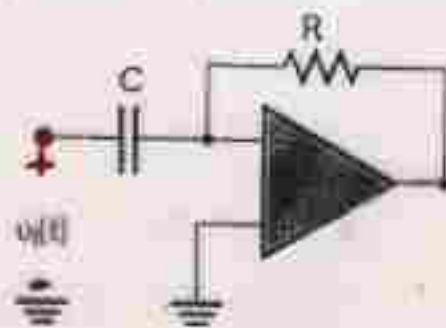
$$V_B = \frac{V_1}{2}$$

$$\text{Αντικαθιστώντας στην (1): } V_A = V_B \Rightarrow \frac{1}{2} (V_2 + V_0) = \frac{V_1}{2}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_0 = V_1 - V_2}$$



## ΔΙΑΦΟΡΙΣΤΗΣ



$$u_o(t) = -CR \frac{du_i(t)}{dt}$$

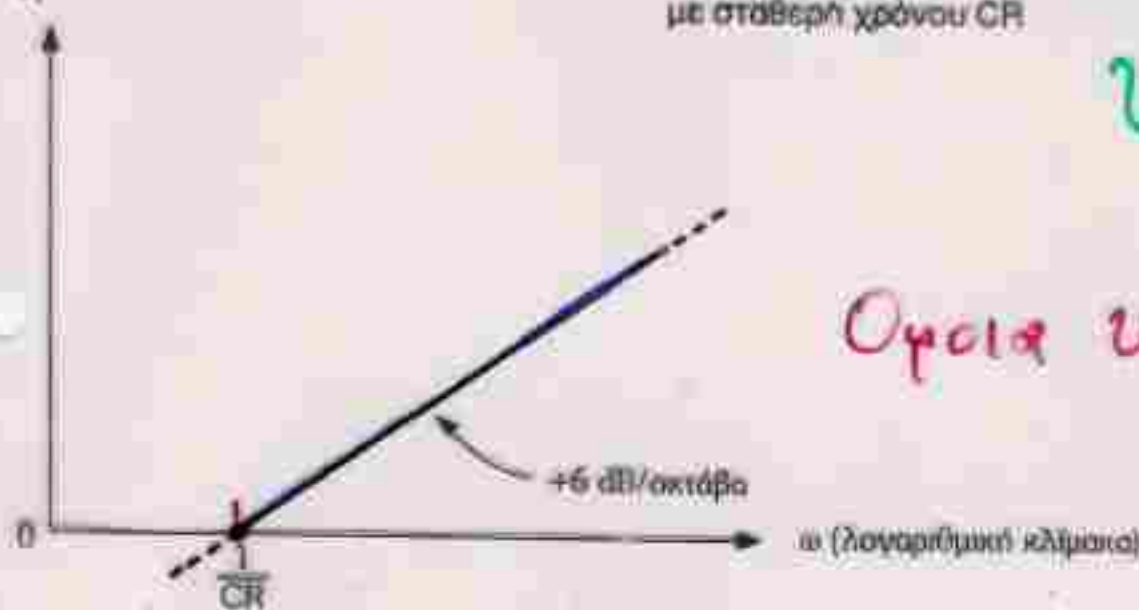
$$\frac{V_o}{V_i} = -sCR$$

$$Z_2 = R, Z_1 = \frac{1}{sC} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -sCR \Rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = -j\omega CR}$$

(α)

Σχ. 2.12 (α) Ο διαφοριστής  
(β) Απόκριση συχνότητας διαφοριστή, με σταθερή χρόνο CR

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \text{ (dB)}$$



(β)

$$u_o(t) = -CR \frac{du_i(t)}{dt}$$

Οφεία υγιεινής  
δικτύου με απευ-  
ρη συχνότητα  
χρόνου

## Αθροιστής με βάση

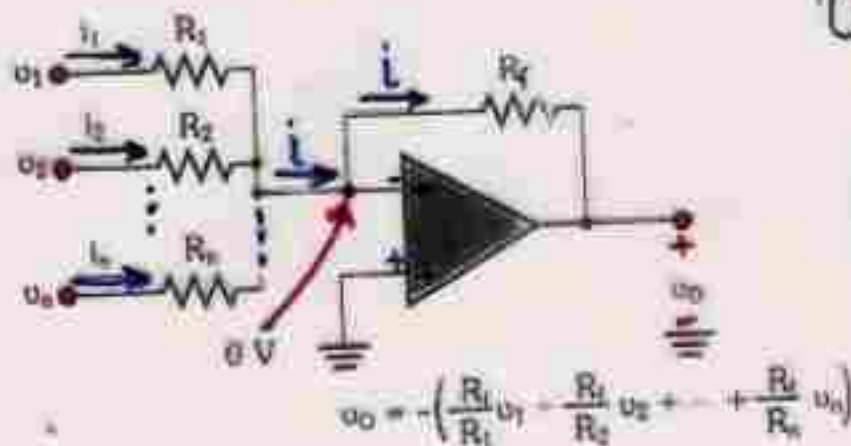
$$i_1 = \frac{u_1}{R_1}, i_2 = \frac{u_2}{R_2}, \dots, i_n = \frac{u_n}{R_n}, \quad i = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

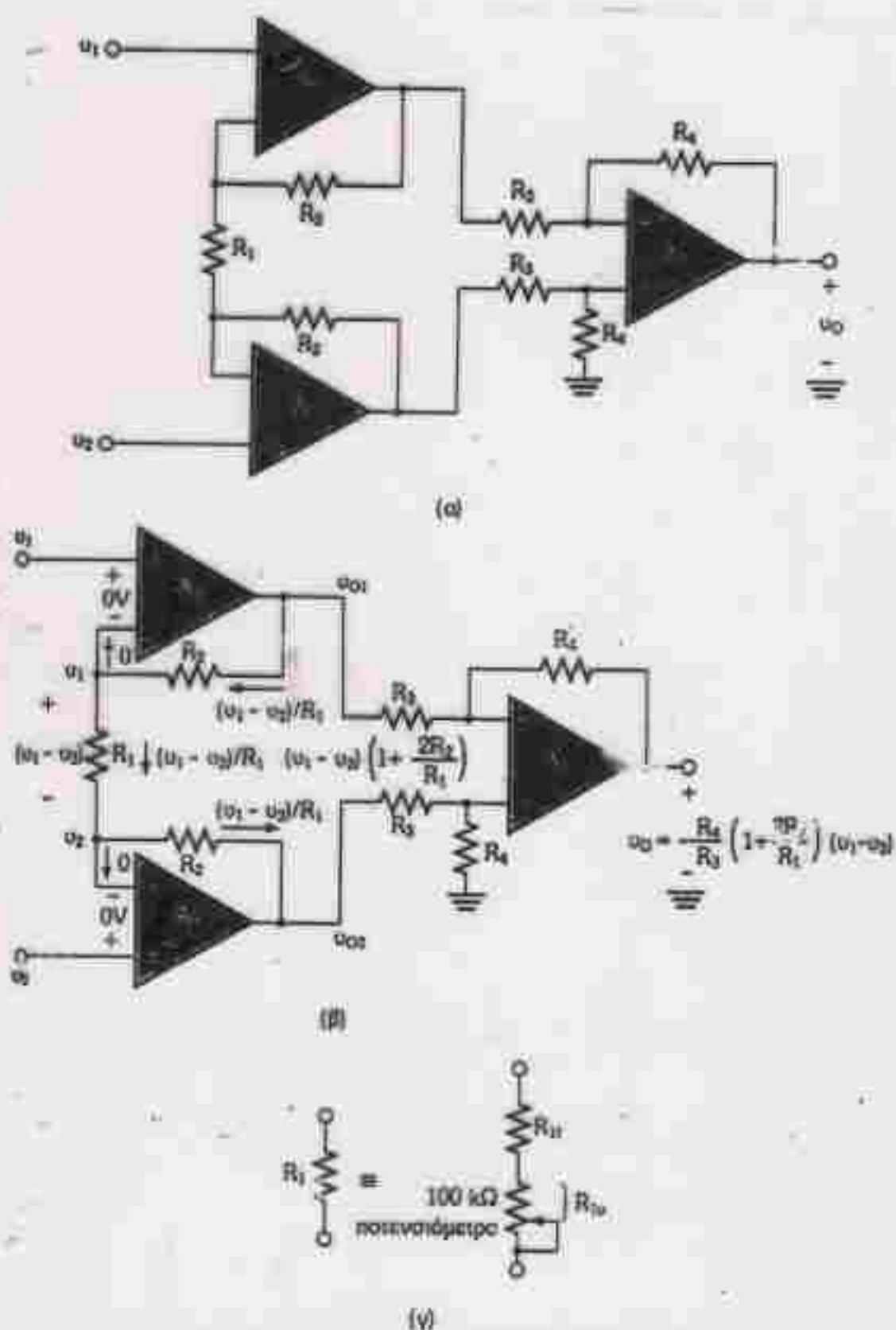
$$u_o = 0 - iR_f = -iR_f \Rightarrow$$

$$u_o = - \left[ \frac{R_f}{R_1} u_1 + \frac{R_f}{R_2} u_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} u_n \right]$$

$$\text{για } R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_f \Rightarrow$$

$$u_o = -(u_1 + u_2 + \dots + u_n)$$





Σχ. 2.23 (α) Δημοφιλές κύκλωμα για ενισχυτή οργάνων μετρήσεων. (β) Ανάλυση του κυκλώματος με ιδανικούς τελεστικούς. (γ) Για να γίνει μεταβλητό ο κέρδος, η  $R_1$  υλοποιείται σαν συνδυασμός σε σειρά μιας σταθερής αντίστασης  $R_{11}$  και μιας μεταβλητής αντίστασης  $R_{1v}$ . Η  $R_{11}$  εξασφαλίζει ότι το μέγιστο διαθέσιμο κέρδος είναι περιορισμένο

# ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Αντίσταση εισόδου του Τρανζίστορ	$R_i = (\beta + 1)(r_e + R_E)$	Στην πράξη είναι $R_i = \beta R_E$
Αντίσταση εισόδου του ενισχυτή	$R_i' = R_{TH} // R_i$	$R_{TH} = R_B = R_1 // R_2$ , από τον διαιρέτη τάσης στην είσοδο
Αντίσταση εξόδου	$R_o = \infty$	Χωρίς $R_C$ και φορτίο $R_L$
Αντίσταση εξόδου Αντίσταση εξόδου	$R_o' = R_C$ $R_o' = R_C // R_L$	Με αντίσταση $R_C$ Με αντιστάσεις $R_C // R_L$
Απολαβή τάσης ενισχυτή	$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C i_c}{R_{Ls}}$	
Απολαβή τάσης ενισχυτή	$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\beta \frac{R_C}{R_i} = -\frac{R_C}{R_E}$	Προήλθε από αντικατάσταση $I_C = \beta i_b$
Απολαβή τάσης με φορτίο $R_L$	$A_v = -\frac{R_C // R_L}{R_E}$	Το φορτίο στο AC παραλληλίζει την $R_C$
Απολαβή ρεύματος	$A_i = \frac{-i_c}{i_b} = -\beta$	
Χωρητικότητα πυκνωτή σύζευξης	$X_C = \frac{1}{2\pi f_c}$	Στην πράξη είναι $X_C = \frac{1}{10} R_{Ls}$