

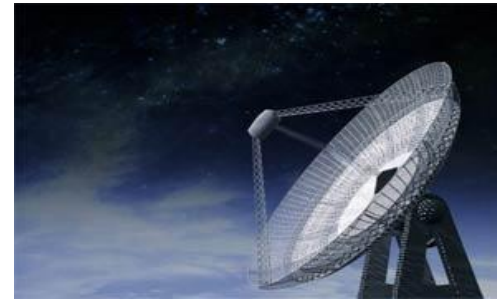
ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ;



Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές



Κινητά τηλέφωνα



Τηλεπικοινωνίες



Δίκτυα

# Ο κόσμος της Ηλεκτρονικής



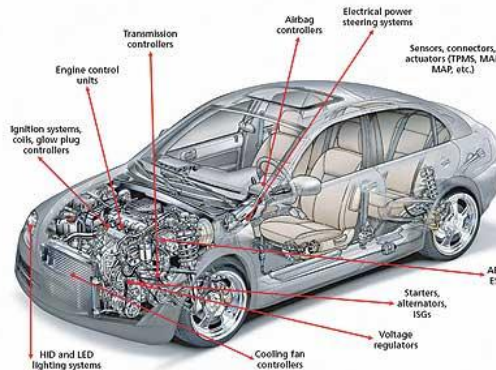
Ιατρική



Διασκέδαση

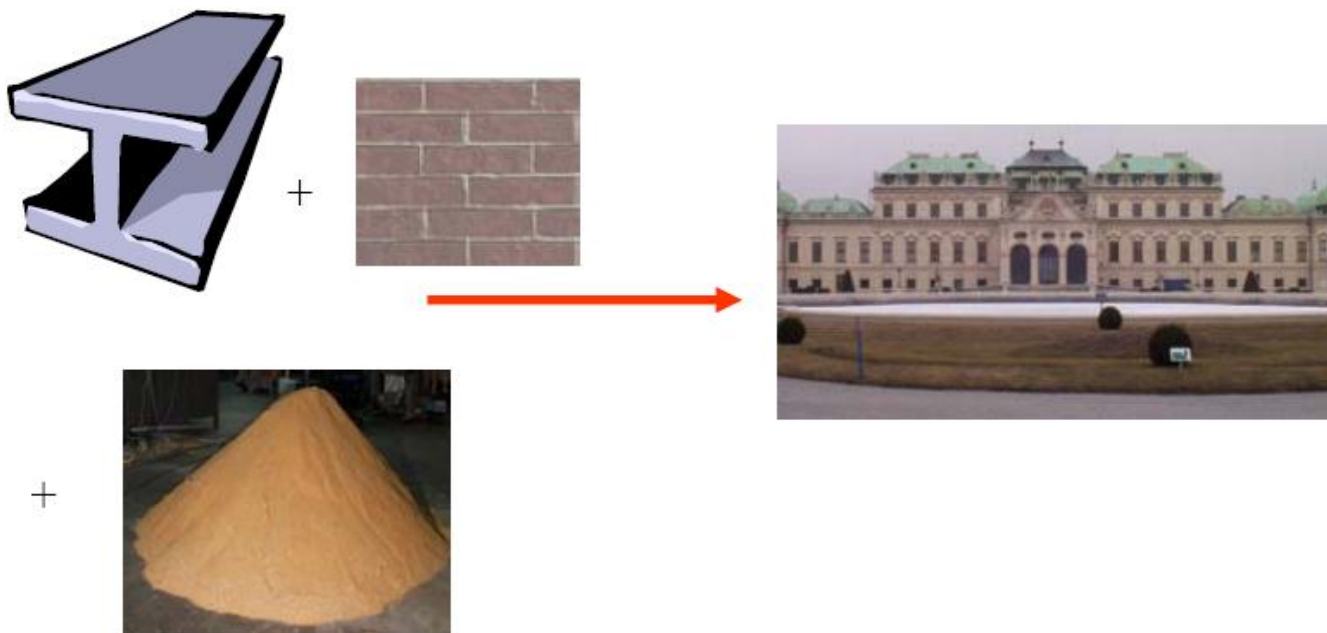


Ενέργεια

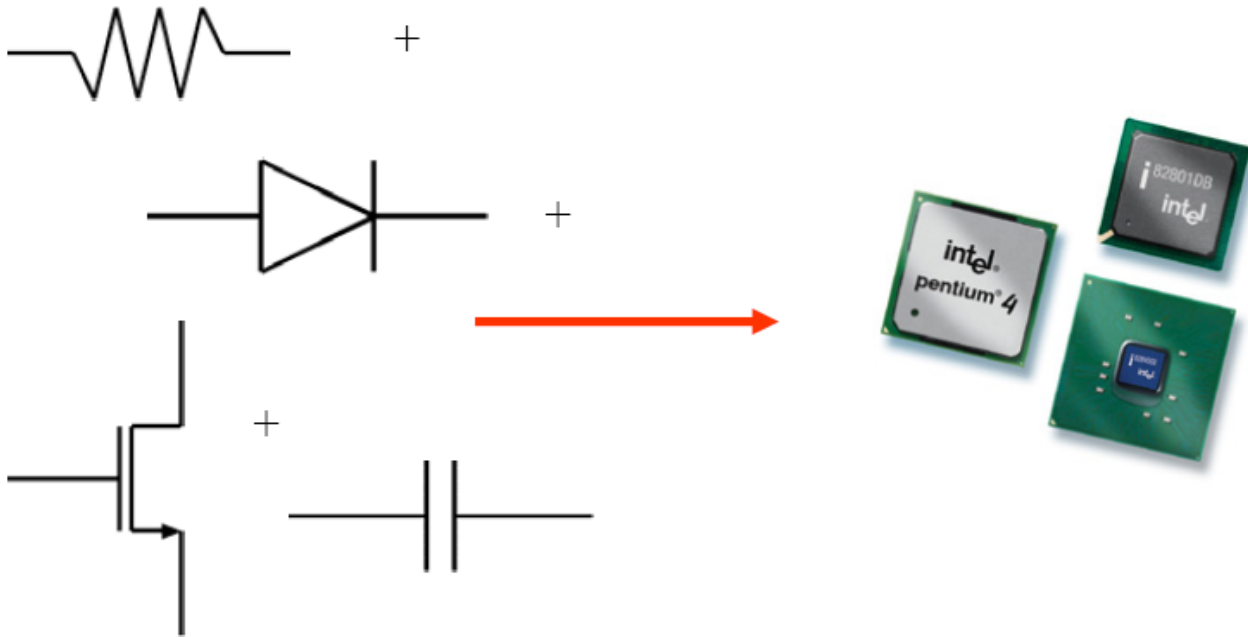


Βιομηχανία

# АРХИТЕКТОНІКН

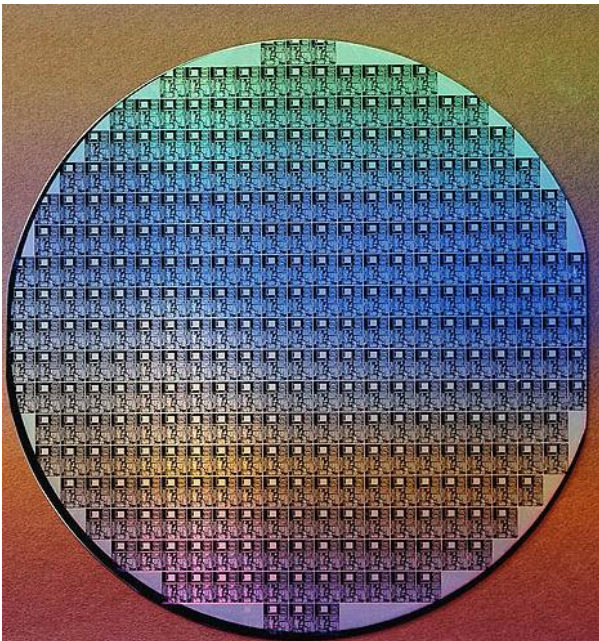


# НАЕКТРОНИК

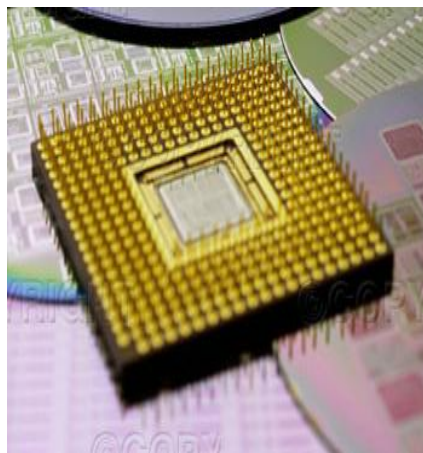




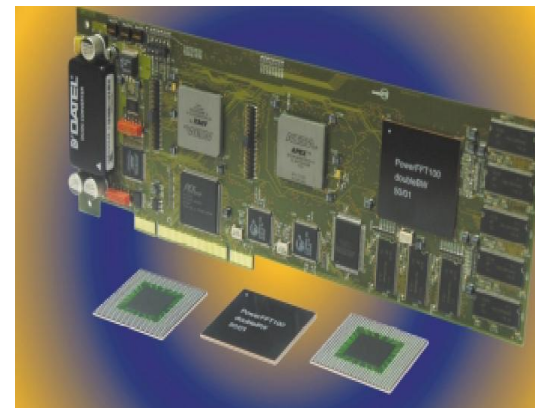
# Τι περιέχουν οι ηλεκτρονικές συσκευές;



Το δισκίο πυριτίου



Το ολοκληρωμένο κύκλωμα

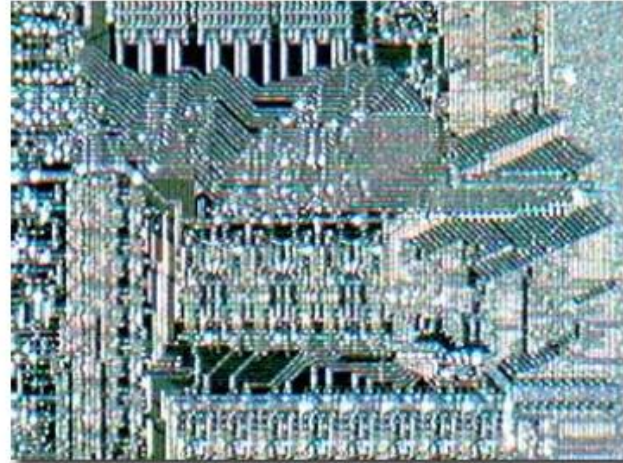


Η κάρτα της ηλεκτρονικής συσκευής

# Η ΠΟΛΗ ΚΑΙ ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



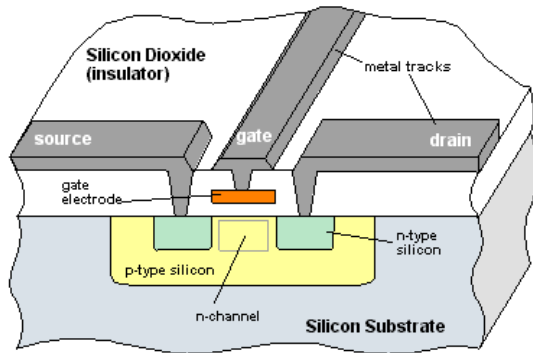
Satellite image of Buenos Aires



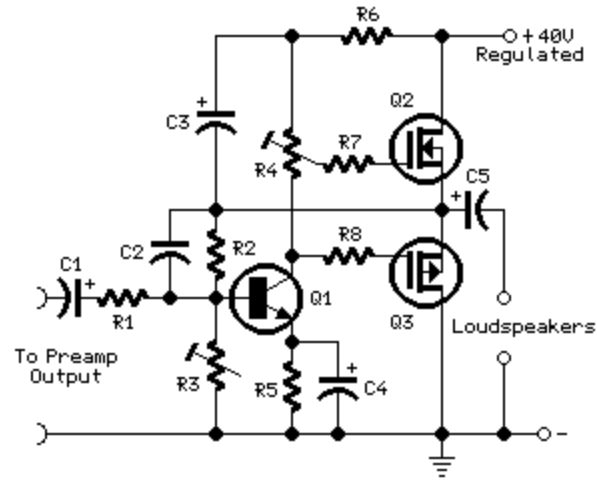
Photograph of 8088 microprocessor

# Από τι αποτελούνται τα ολοκληρωμένα κυκλώματα;

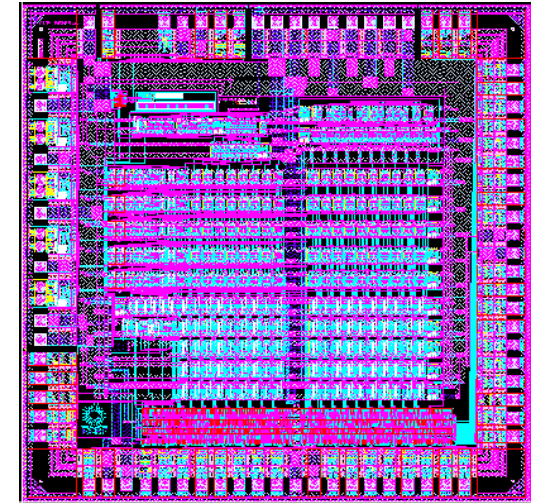
NMOS Transistor  
(n-channel MOSFET)



Το τρανζίστορ



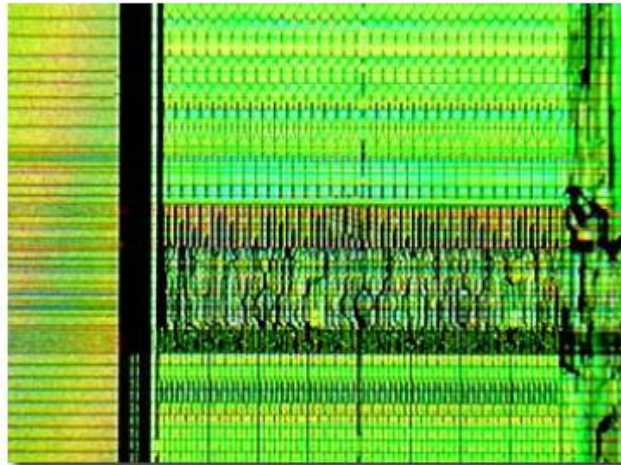
Το ηλεκτρονικό κύκλωμα



Το φυσικό σχέδιο του ΟΚ

# Pentium III

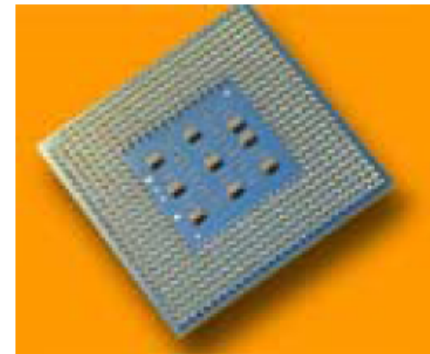
- 9.5 million transistors
- 0.25 micron technology



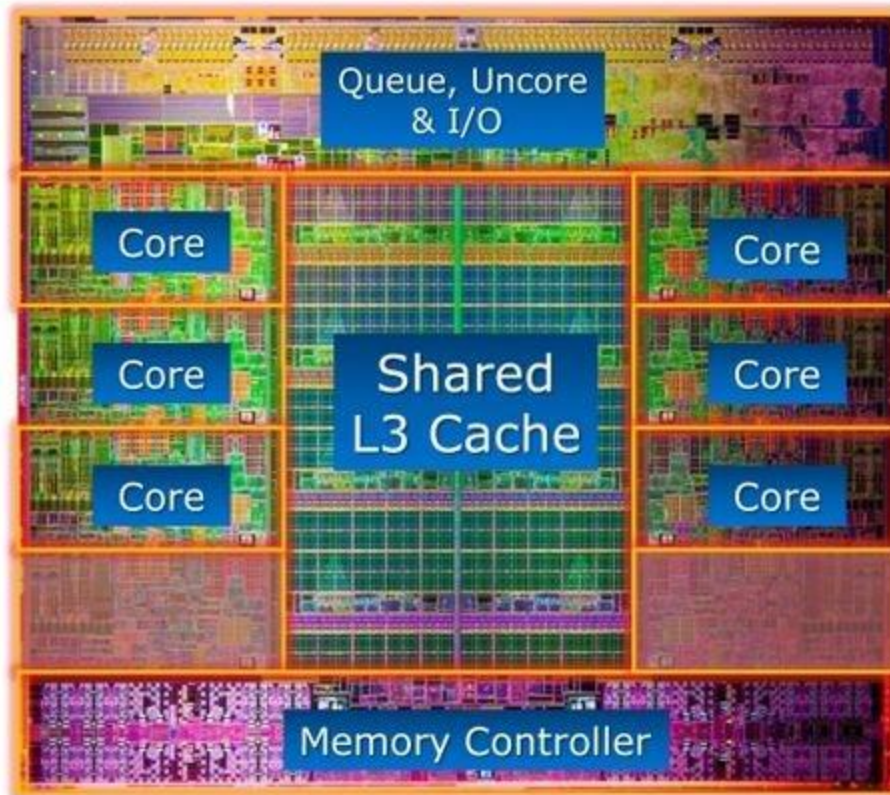


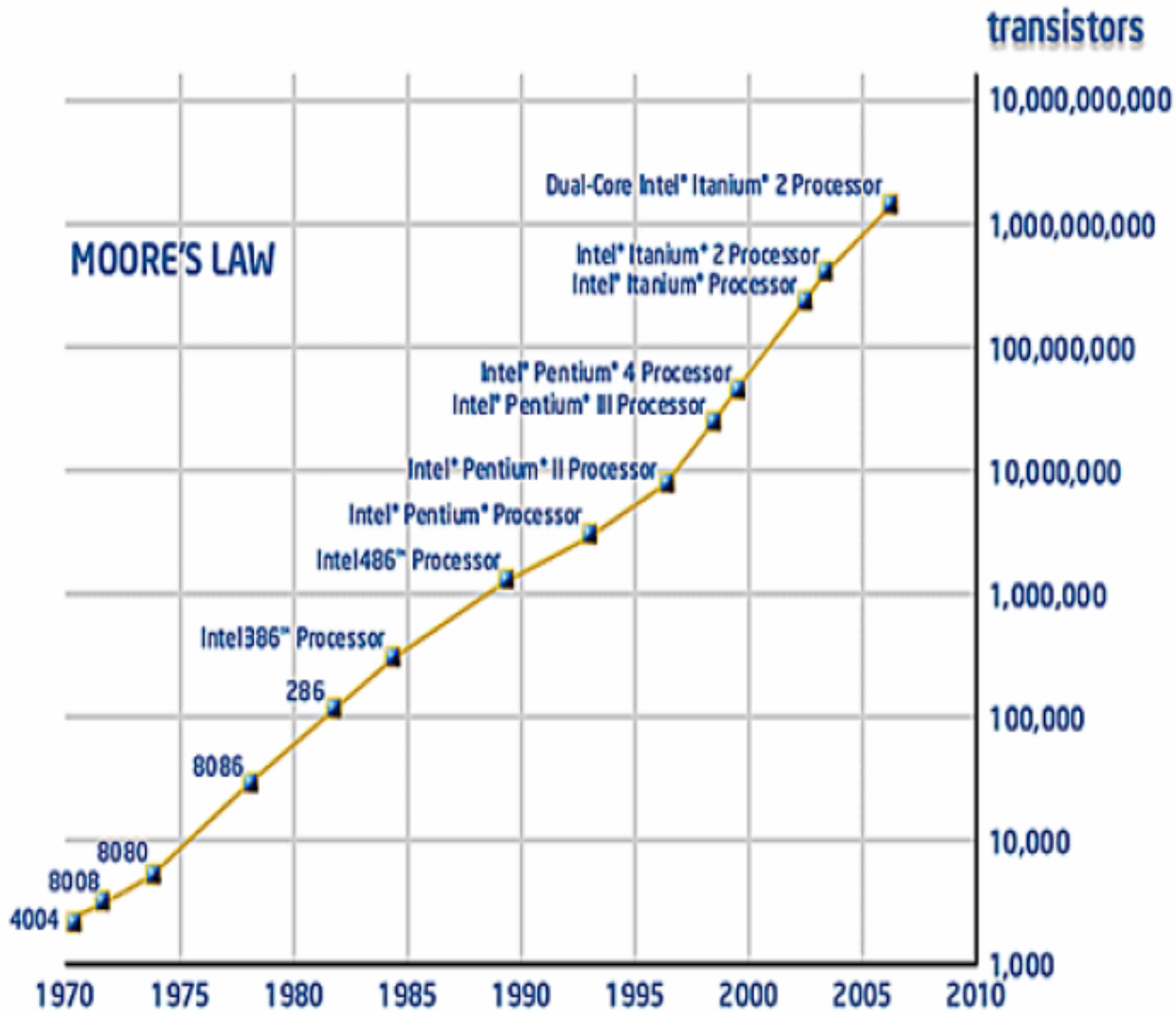
## Pentium 4

- > 42 million transistors  
(more than the population of Spain)
- 0.13 micron technology  
(50 times smaller than a red blood cell)
- 3.2 GHz clock  
(light has time to travel only 10 cm between two clock signals)



# Intel® Core™ i7-3960X Processor Die Detail

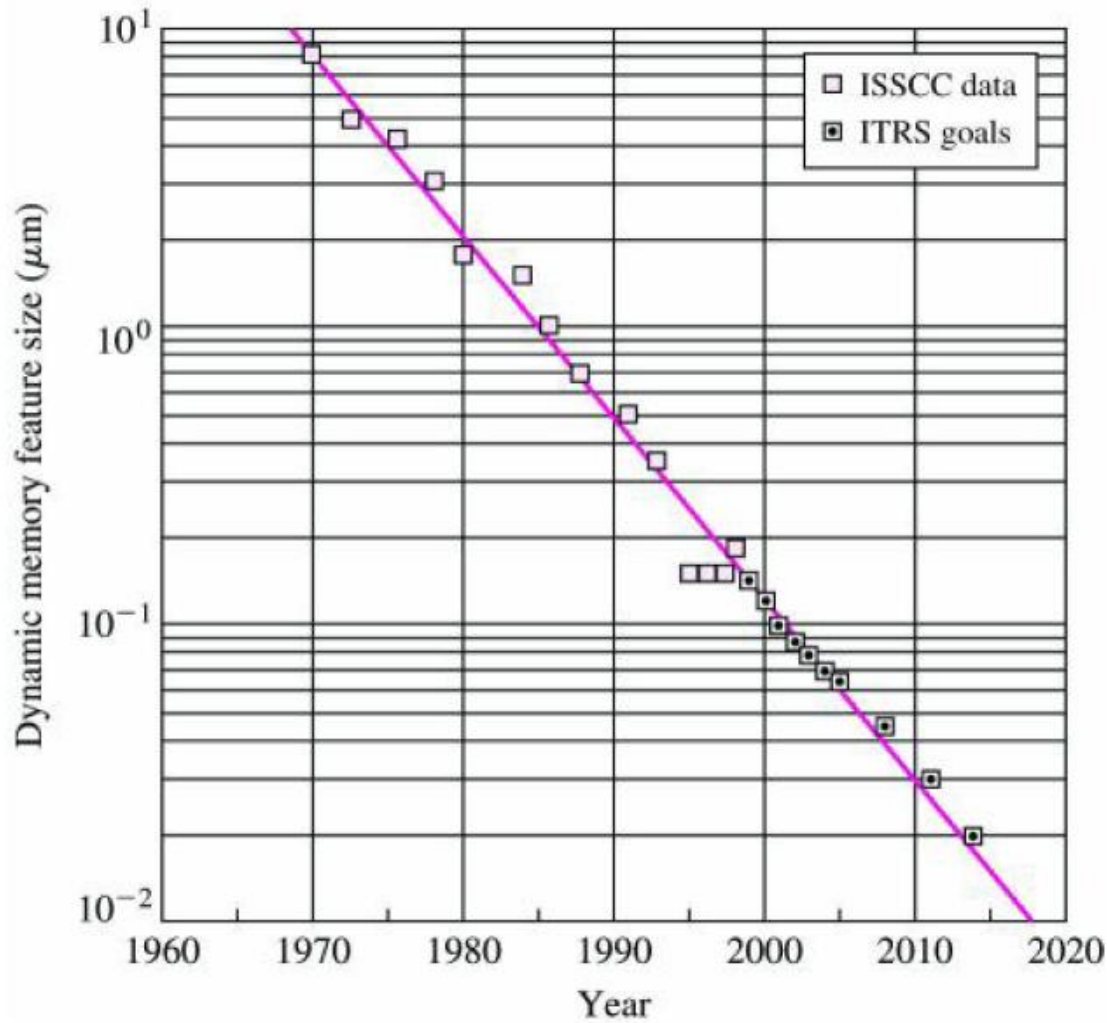




## Ο Νόμος του Moore:

«Ο αριθμός των τρανζίστορ ανά ψηφίδα διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες».

Ίσχυσε τα τελευταία 40 χρόνια.



Μικρότερα σχήματα οδηγούν σε μεγαλύτερο αριθμό τρανζίστορ ανά μονάδα επιφανείας (υψηλότερη πυκνότητα) και υψηλότερη ταχύτητα.



# Μέχρι τώρα είδαμε...

- Η Ηλεκτρονική είναι παντού
- Αποτελεί ένα εξαιρετικά ανταγωνιστικό πεδίο με ταχύτατο ρυθμό προόδου
- Στην αιχμή της τεχνολογίας
- Πιέζει στα άκρα τα όρια της ταχύτητας, του βαθμού ολοκλήρωσης, των αυτοματισμών

# Μεθοδολογία αντιμετώπισης του αντικειμένου της Ηλεκτρονικής

- Υλικά → Διατάξεις → Κυκλώματα
- Γνωστές Διατάξεις: Αντιστάσεις, Πυκνωτές, Πηνία
- Διατάξεις που θα μελετηθούν: Δίοδοι, Διπολικά Τρανζίστορ (BJT), Τρανζίστορ Πεδίου (FET)
- Χρήση των Διατάξεων για τη σχεδίαση και την ανάπτυξη Κυκλωμάτων

# Γενικές Γνώσεις

# Βασικοί Νόμοι και Θεωρήματα

## ΝΟΜΟΙ (ΚΑΝΟΝΕΣ) ΤΟΥ KIRCHHOFF

**Κόμβος** σε ένα κύκλωμα είναι ένα σημείο στο οποίο συναντώνται τρεις ή περισσότεροι αγωγοί.

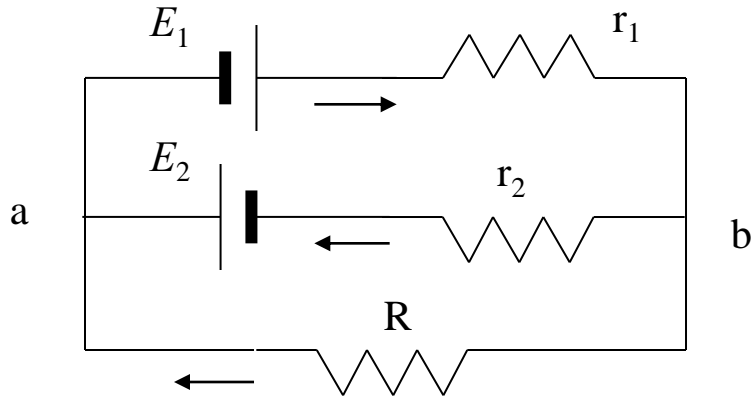
**Βρόχος** είναι οποιοσδήποτε κλειστός αγωγίμος δρόμος.

- **1ος Κανόνας (των κόμβων):** Το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων σε ένα κόμβο είναι ίσο με μηδέν.  
$$\sum I = 0 \quad (\text{για κάθε κόμβο})$$
- **2ος Κανόνας (των βρόχων):** Το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων κατά μήκος οποιουδήποτε βρόχου είναι ίσο με μηδέν.  
$$\sum V = 0 \quad (\text{για κάθε βρόχο})$$

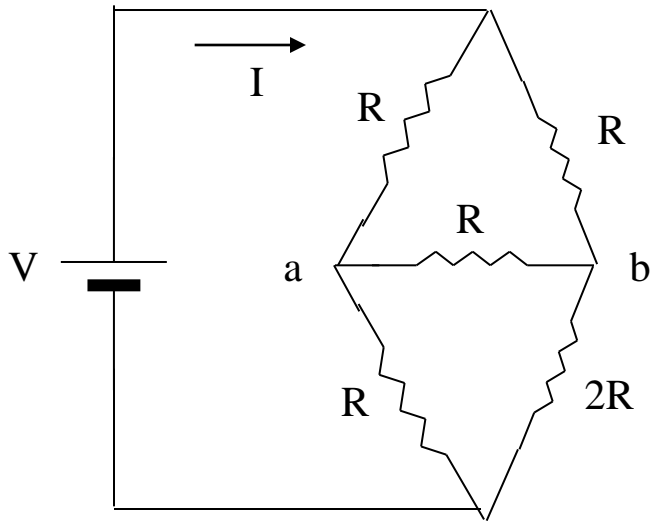
[Συμβάσεις για τα πρόσημα και την εφαρμογή των κανόνων]



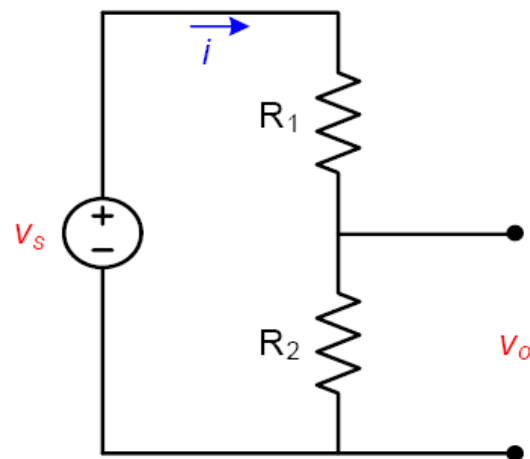
**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Θεωρούμε γνωστά τα  $E_1$ ,  $r_2$ ,  $R$ ,  $I_{r_2}$  και  $I_R$ . Να υπολογιστούν τα  $I_{r_1}$ ,  $r_1$  και  $E_2$ .



**Άσκηση:** Θεωρούμε γνωστά τα  $V$  και  $R$ . Να υπολογιστούν τα  $I_i$ ,  $R_{eq}$  και  $V_{ab}$ .

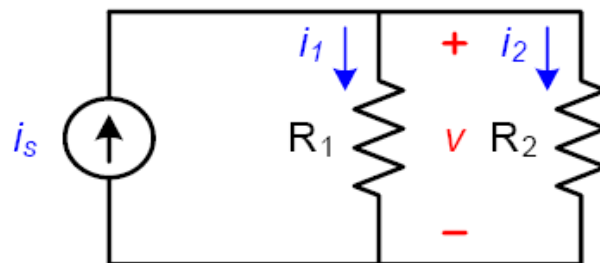


## ΔΙΑΙΡΕΤΗΣ ΤΑΣΗΣ



$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_s$$

## ΔΙΑΙΡΕΤΗΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ



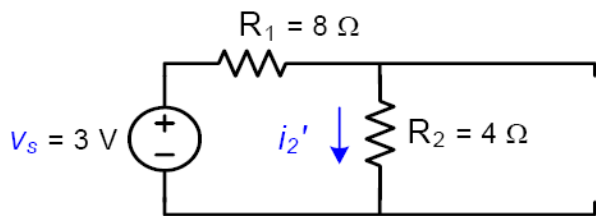
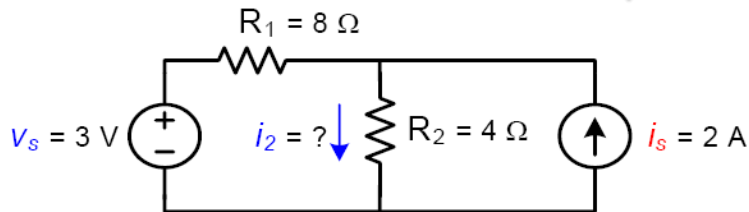
$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_s$$

# ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ

Η απόκριση ενός κυκλώματος είναι ανάλογη της διέγερσης που την προκαλεί.

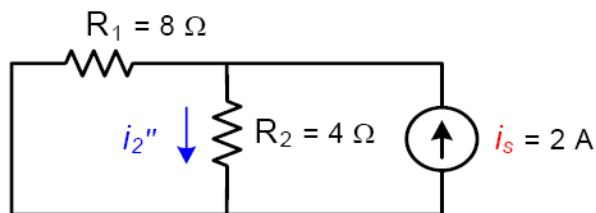
Σε ένα γραμμικό δίκτυο με δύο ή περισσότερες πηγές, το ρεύμα που διαρρέει οποιοδήποτε παθητικό στοιχείο ή η τάση στα άκρα του μπορεί να υπολογιστεί σαν το αλγεβρικό άθροισμα των επί μέρους ρευμάτων ή τάσεων που οφείλονται σε καθεμιά από τις ανεξάρτητες πηγές όταν αυτή δρα χωριστά, με όλες τις άλλες ανεξάρτητες πηγές απενεργοποιημένες.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Να υπολογιστεί το ρεύμα  $i_2$



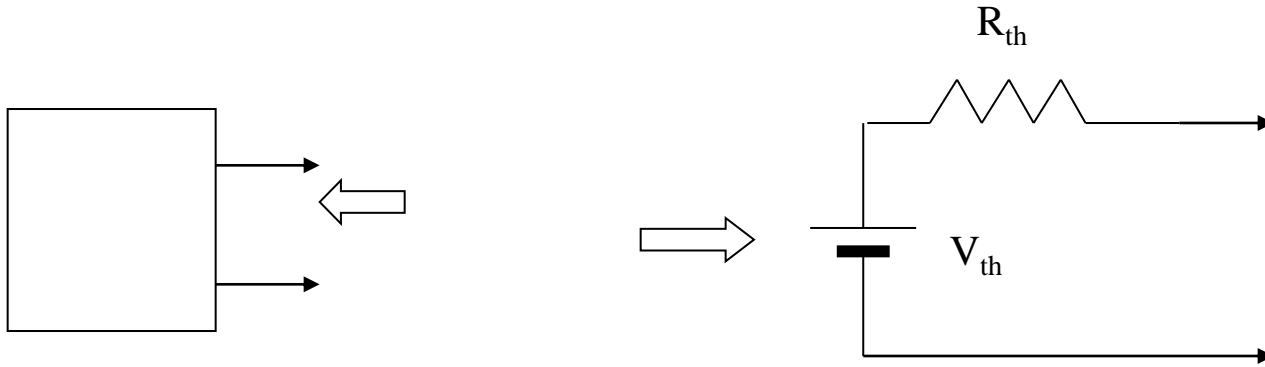
$$i_2' = \frac{V_s}{R_1 + R_2} = \frac{3}{8 + 4} A = \frac{1}{4} A$$

$$i_2'' = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_s = \frac{8}{8 + 4} 2A = \frac{4}{3} A$$

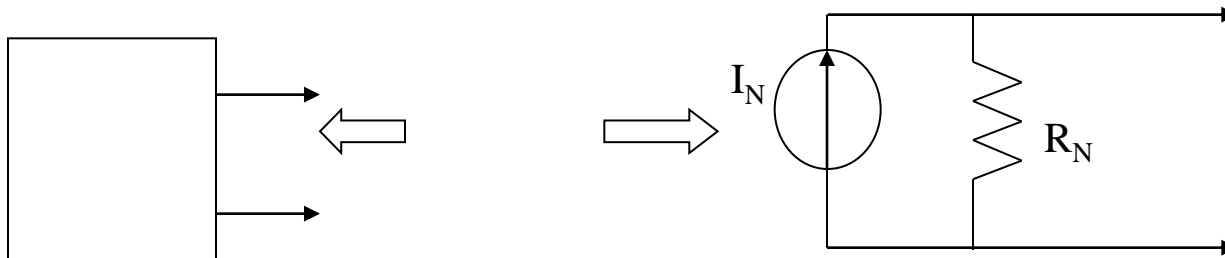


$$i_2 = i_2' + i_2''$$

**Θεώρημα Thevenin:** Οποιοδήποτε γραμμικό κύκλωμα μπορεί να αντικατασταθεί από μία πηγή τάσης σε σειρά με μία αντίσταση. Η τάση,  $V_{th}$ , υπολογίζεται ώστε να δημιουργεί το ίδιο ρεύμα που εμφανίζει το δίκτυωμα. Η αντίσταση,  $R_{th}$ , ισούται με την αντίσταση που εμφανίζει το δίκτυωμα με τις πηγές βραχυκυκλωμένες.

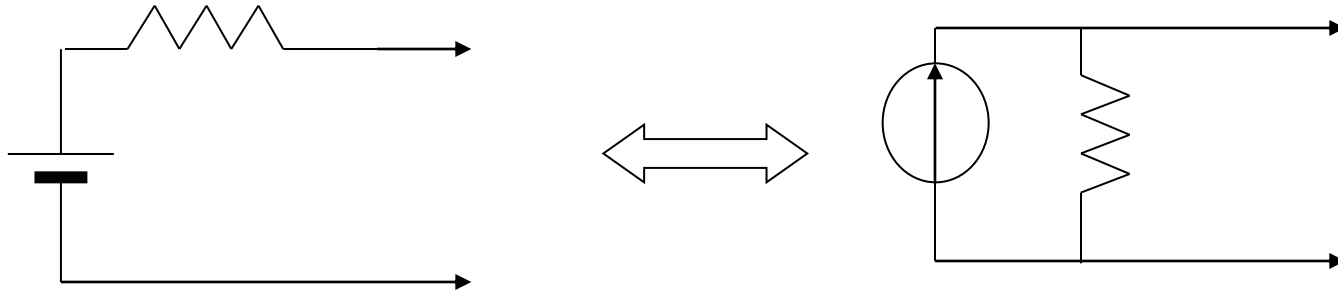


**Θεώρημα Norton:** Οποιοδήποτε γραμμικό κύκλωμα μπορεί να αντικατασταθεί από μία πηγή ρεύματος παράλληλα με μία αντίσταση. Το ρεύμα,  $I_N$ , ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης των ακροδεκτών και η αντίσταση,  $R_N$ , όπως και στο θεώρημα Thevenin.

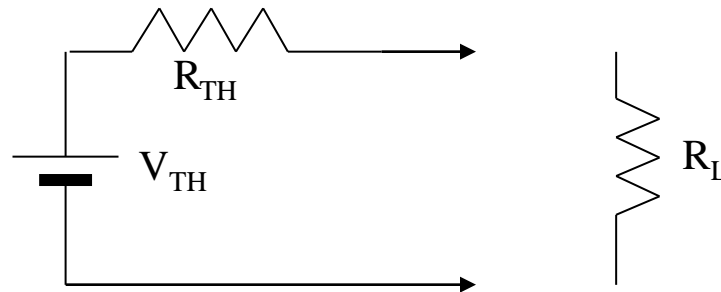




## Θεώρημα Thevenin-Norton:

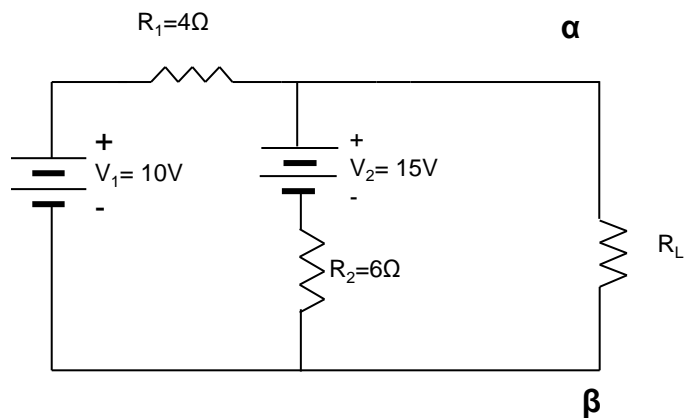


**Θεώρημα μέγιστης μεταφοράς ισχύος:** Μια αντίσταση φόρτου δέχεται τη μέγιστη ισχύ από ένα γραμμικό κύκλωμα αν ισούται με την αντίσταση Thevenin του κυκλώματος αυτού. Στην περίπτωση αυτή  $R_L = R_{TH}$ ,  $V_{out} = V_{TH}/2$  και  $P_{out} = V_{TH}^2/4R_{TH}$ .

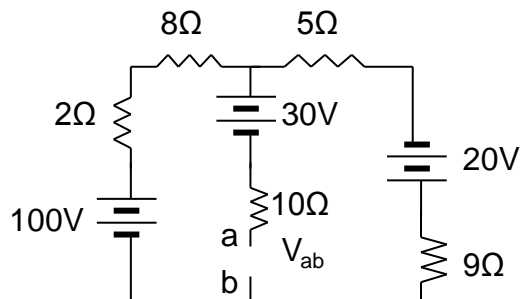


**Άσκηση 1:** Για το κύκλωμα του σχήματος, να υπολογιστεί η αντίσταση φόρτου  $R_L$  για την οποία επιτυγχάνεται μέγιστη μεταφορά ισχύος στον φόρτο. Να υπολογιστεί επίσης η μέγιστη αυτή ισχύς,  $P_L$ .

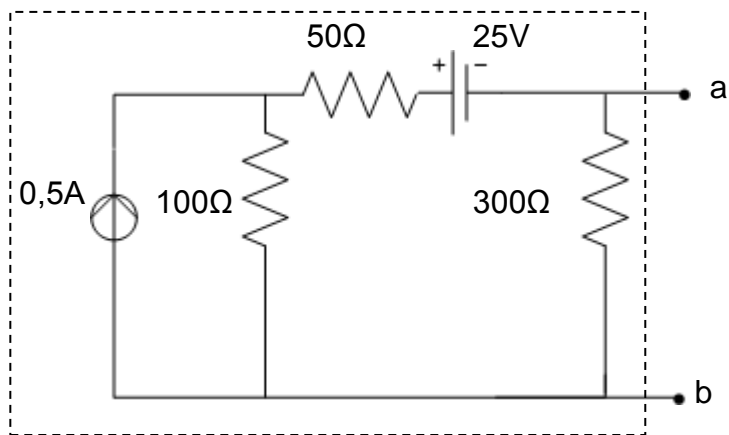
Υπόδειξη: Να αντικατασταθεί το κύκλωμα μεταξύ των ακροδεκτών  $\alpha$  και  $\beta$  (χωρίς την  $R_L$ ) από το ισοδύναμό του κατά Thevenin και να υπολογιστούν η τάση Thevenin  $V_{th}$  και η αντίσταση Thevenin  $R_{th}$ .



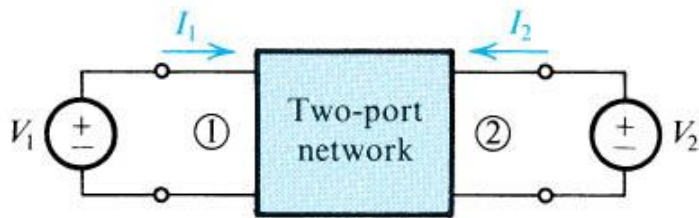
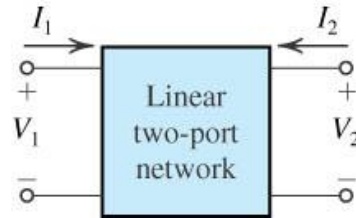
**Άσκηση 2:** α) Υπολογίστε την τάση  $V_{ab}$ . β) Αν βραχυκυκλωθούν μεταξύ τους τα σημεία  $a$  και  $b$ , υπολογίστε τα ρεύματα που διαρρέουν τους τρεις κλάδους του κυκλώματος χρησιμοποιώντας την αρχή της επαλληλίας.



**Άσκηση 3:** Να υπολογιστούν και να σχεδιαστούν τα ισοδύναμα κατά Thevenin και κατά Norton του παρακάτω κυκλώματος, με χρήση της αρχής της επαλληλίας.



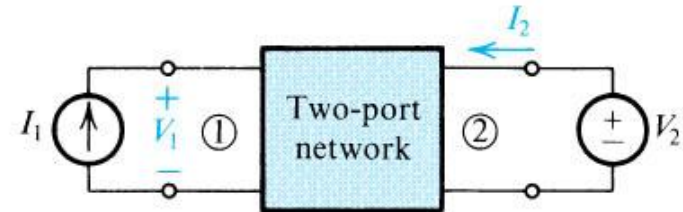
# Δίθυρα ή Τετράπολα Δικτυώματα



$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

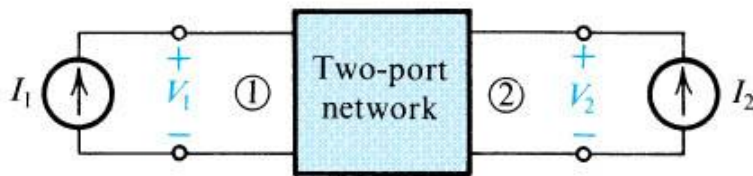
(a)



$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

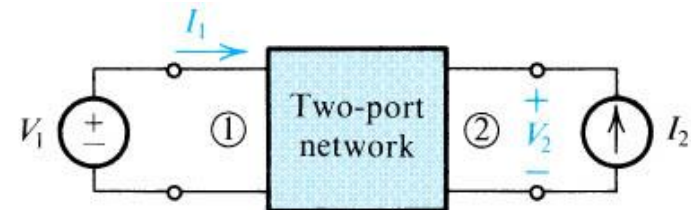
(c)



$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

(b)



$$I_1 = g_{11}V_1 + g_{12}I_2$$

$$V_2 = g_{21}V_1 + g_{22}I_2$$

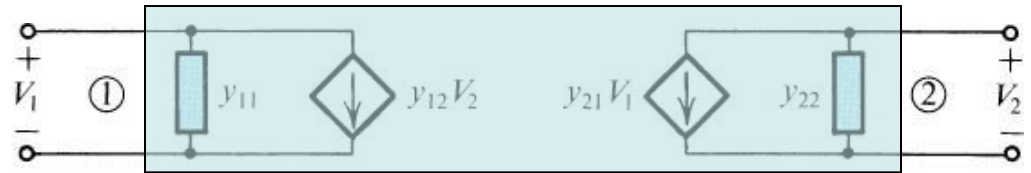
(d)

# Ισοδύναμα Κυκλώματα για τα αντίστοιχα δίθυρα



$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

$$I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2$$

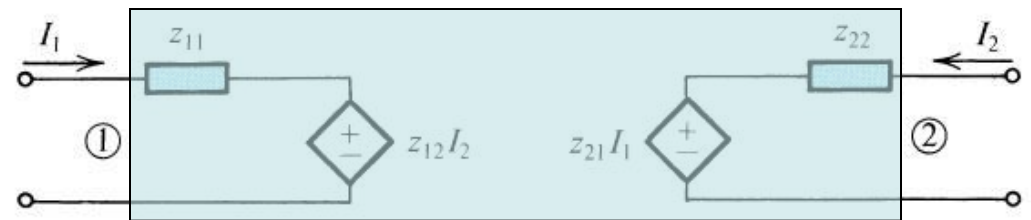


(a)

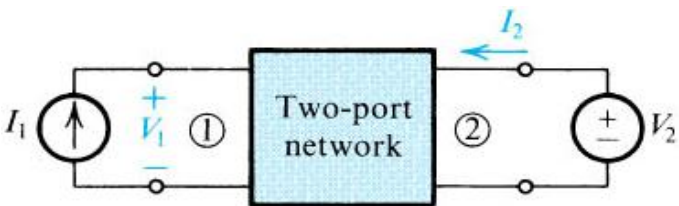


$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

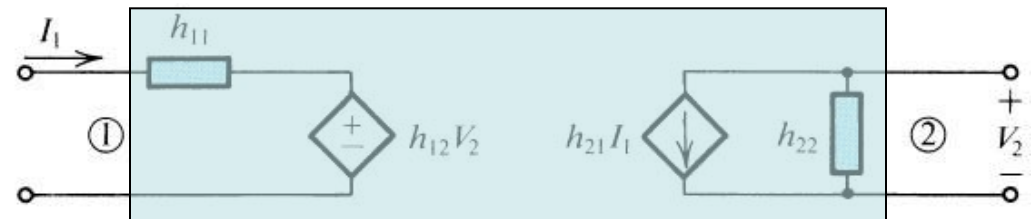


(b)

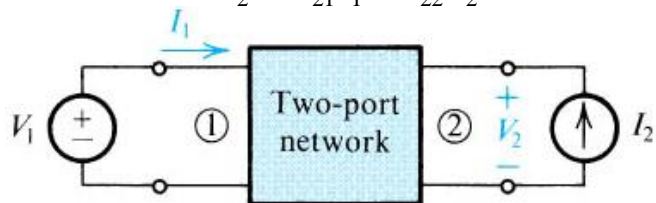


$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}V_2$$

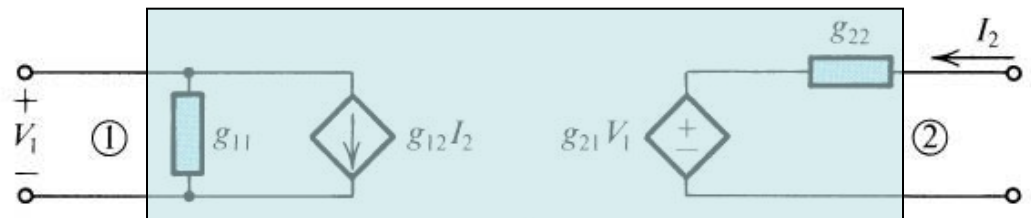


(c)



$$I_1 = g_{11}V_1 + g_{12}I_2$$

$$V_2 = g_{21}V_1 + g_{22}I_2$$

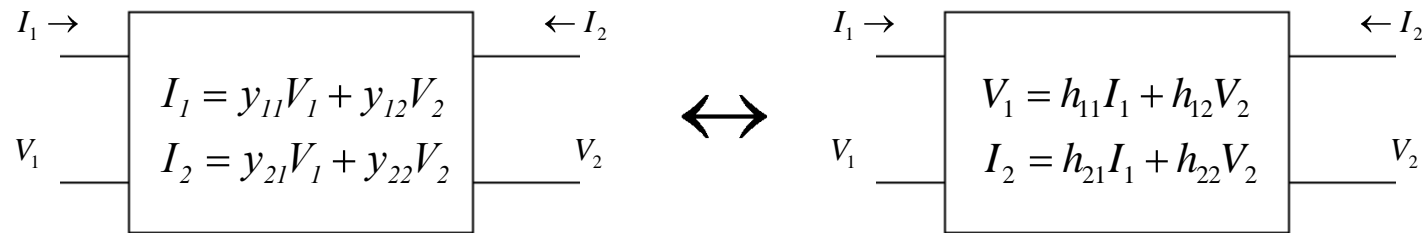


(d)

**Αντιστοιχία μεταξύ των παραμέτρων:** Αν γνωρίζουμε τις  $y$  παραμέτρους ενός τετραπόλου μπορούμε να υπολογίσουμε τις  $h$  παραμέτρους.

## Απόδειξη

Εφ' όσον οι παράμετροι  $y$  και  $h$  αφορούν το ίδιο τετράπολο θα πρέπει τα αντίστοιχα δικτυώματα να είναι ισοδύναμα μεταξύ τους.



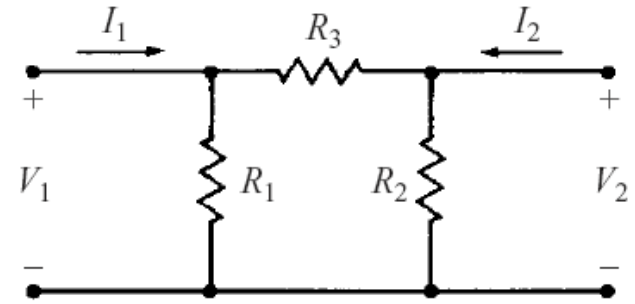
$$\left. \begin{array}{l} I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2 \\ I_2 = y_{21}V_1 + y_{22}V_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_1 = \frac{I_1}{y_{11}} - \frac{y_{12}}{y_{11}}V_2 \\ I_2 = y_{21}\left(\frac{I_1}{y_{11}} - \frac{y_{12}}{y_{11}}V_2\right) + y_{22}V_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_1 = \frac{I_1}{y_{11}} - \frac{y_{12}}{y_{11}}V_2 \\ I_2 = \frac{y_{21}}{y_{11}}I_1 + \left(y_{22} - \frac{y_{12} \cdot y_{21}}{y_{11}}\right)V_2 \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left[ h_{11} = \frac{1}{y_{11}} \quad h_{12} = -\frac{y_{12}}{y_{11}} \quad h_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} \quad h_{22} = y_{22} - \frac{y_{12} \cdot y_{21}}{y_{11}} \right]$$

**Γενικά:** Αν γνωρίζουμε ένα είδος παραμέτρων μπορούμε με τον τρόπο αυτό να υπολογίσουμε οποιοδήποτε άλλο.



**Παράδειγμα:** Υπολογίστε τις τιμές των  $z$  παραμέτρων του κυκλώματος.



$$z_{11} = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2=0} = R_1 \parallel (R_2 + R_3) = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$I_{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} I_1$$

$$V_2 = I_{R_2} R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} I_1$$

$$z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

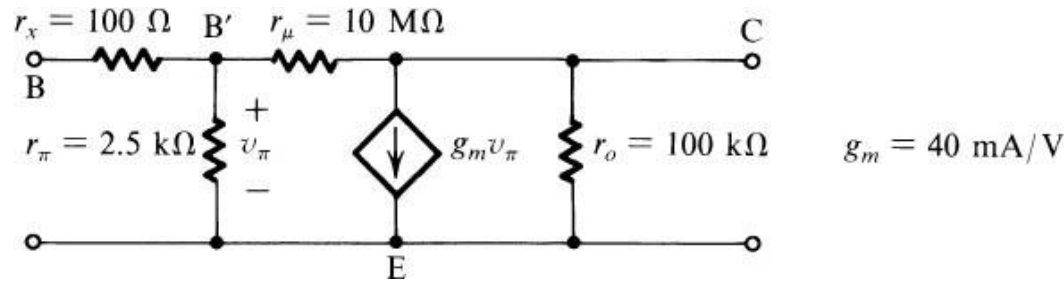
$$z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \Big|_{I_1=0} = R_2 \parallel (R_1 + R_3) = \frac{R_2(R_1 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$I_{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} I_2$$

$$V_1 = I_{R_1} R_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} I_2$$

$$z_{12} = \frac{V_1}{I_2} \Big|_{I_1=0} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

**Άσκηση:** Υπολογίστε τις τιμές των h παραμέτρων του παρακάτω κυκλώματος.



Απάντηση:  $h_{11} \cong 2.6 \text{ k}\Omega$     $h_{12} \cong 2.5 \cdot 10^{-4}$     $h_{21} \cong 100$     $h_{22} \cong 2 \cdot 10^{-5} \Omega^{-1}$

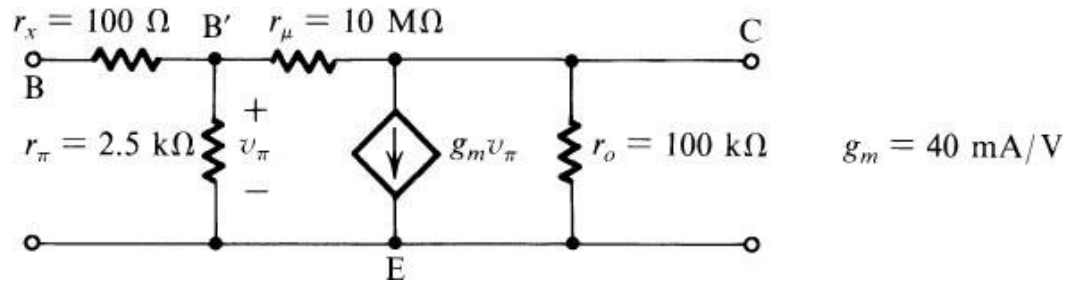
$$h_{11} = h_{ie} = r_x + r_\pi // r_\mu$$

$$h_{21} = h_{fe} \approx g_m r_\pi = \beta$$

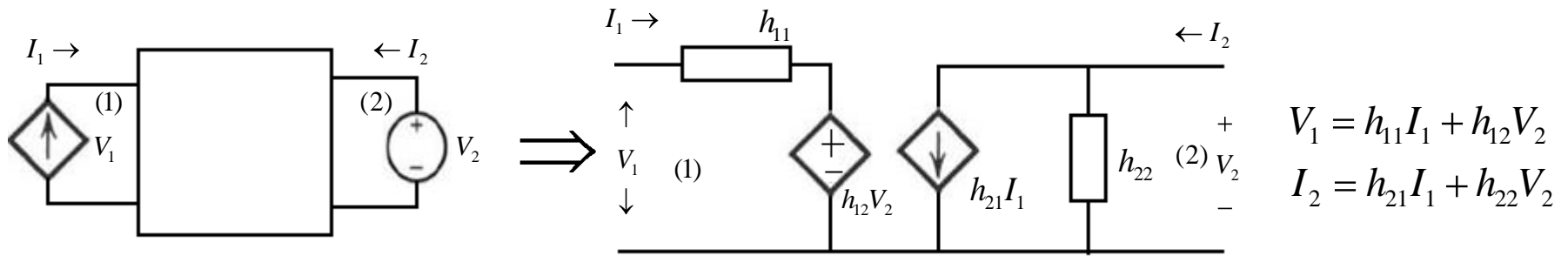
$$h_{12} = h_{re} = \frac{r_\pi}{r_\pi + r_\mu} \rightarrow 0$$

$$h_{22} = h_{oe} = \frac{1}{r_o} + \frac{g_m r_\pi + 1}{r_\mu + r_\pi} \approx \frac{1}{r_o}$$

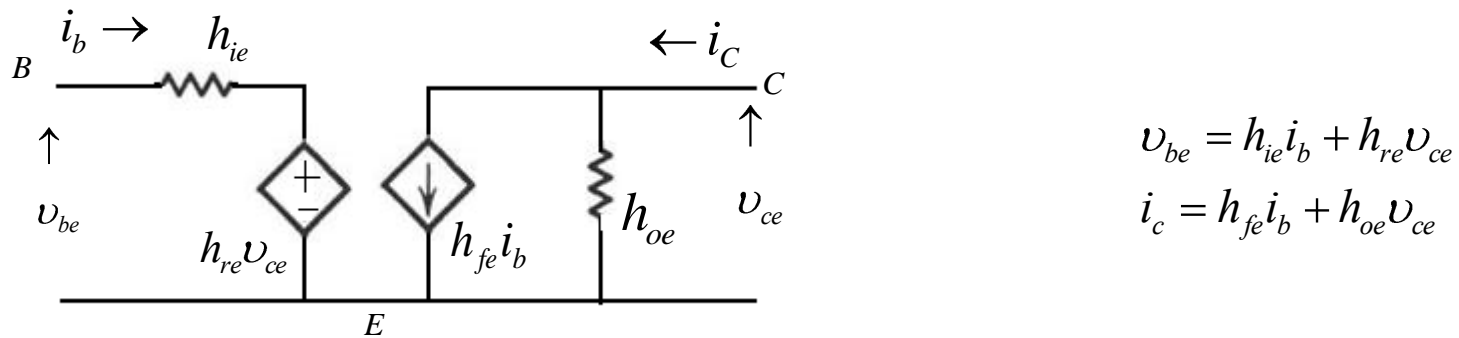
# Λύση



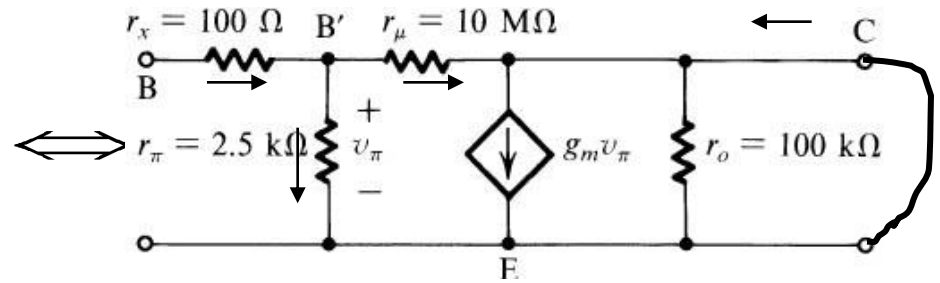
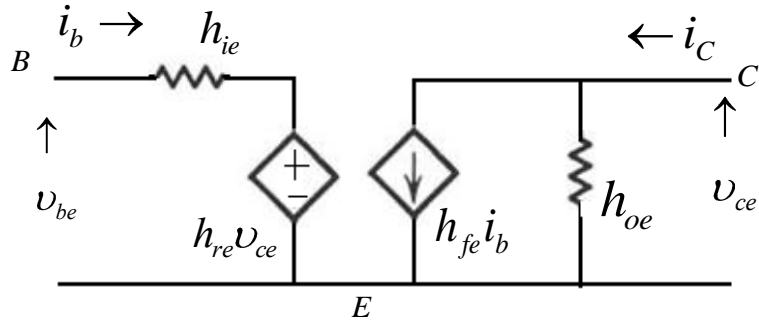
Το h υβριδικό ισοδύναμο ενός τετραπόλου (γενικά)



Το h υβριδικό για το διπολικό τρανζίστορ κοινού εκπομπού (ειδικά)



## Λύση (συνέχεια)



$$h_{11} = h_{ie} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{V_2=0} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{v_{ce}=0}$$

$$v_{be} = i_b (r_x + r_\pi // r_\mu) \Rightarrow h_{ie} = r_x + r_\pi // r_\mu = 2.6 \text{ k}\Omega$$

$$h_{21} = h_{fe} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{V_2=0} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{v_{ce}=0}$$

$$i_c = i_{r_o} + g_m v_\pi - i_{r_\mu}, \quad i_{r_o} = \frac{v_{ce}}{r_o} = 0, \quad v_\pi = v_{be} \frac{r_\pi // r_\mu}{r_x + r_\pi // r_\mu}, \quad i_{r_\mu} = \frac{v_\pi}{r_\mu}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} i_c = g_m v_\pi - \frac{v_\pi}{r_\mu} = v_\pi \left( g_m - \frac{1}{r_\mu} \right) = v_{be} \frac{r_\pi // r_\mu}{r_x + r_\pi // r_\mu} \left( g_m - \frac{1}{r_\mu} \right) \\ i_b = \frac{v_{be}}{r_x + r_\pi // r_\mu} \end{cases}$$

$$\Rightarrow h_{fe} = \left. \frac{i_c}{i_b} \right|_{v_{ce}=0} = \frac{v_{be} \frac{r_\pi // r_\mu}{r_x + r_\pi // r_\mu} \left( g_m - \frac{1}{r_\mu} \right)}{\frac{v_{be}}{r_x + r_\pi // r_\mu}} = (r_\pi // r_\mu) \left( g_m - \frac{1}{r_\mu} \right) \approx g_m r_\pi \approx 100$$

## Λύση (συνέχεια)

$$h_{12} = h_{re} = \left. \frac{V_1}{V_2} \right|_{I_1=0} = \left. \frac{v_{be}}{v_{ce}} \right|_{i_b=0}$$

$$v_{be} = v_{\pi} = v_{ce} \frac{r_{\pi}}{r_{\mu} + r_{\pi}} \Rightarrow$$

$$h_{re} = \frac{r_{\pi}}{r_{\mu} + r_{\pi}} = \frac{2.5k\Omega}{10M\Omega + 2.5k\Omega} = 2.5 \cdot 10^{-4}$$

$$h_{21} = h_{oe} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{I_1=0} = \left. \frac{i_c}{v_{ce}} \right|_{i_b=0}$$

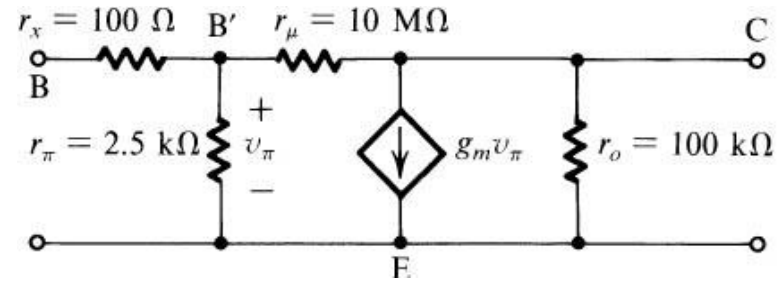
$$i_c = \frac{v_{ce}}{r_0} + g_m v_{\pi} - \frac{v_{\pi} - v_{ce}}{r_{\mu}}, \quad v_{\pi} = v_{ce} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + r_{\mu}}$$

$$\Rightarrow i_c = \frac{v_{ce}}{r_0} + g_m v_{ce} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + r_{\mu}} - \frac{v_{ce}}{r_{\mu}} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + r_{\mu}} + \frac{v_{ce}}{r_{\mu}} = v_{ce} \left[ \frac{1}{r_0} + \frac{g_m r_{\pi}}{r_{\pi} + r_{\mu}} - \frac{1}{r_{\mu}} \left( \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + r_{\mu}} - 1 \right) \right] =$$

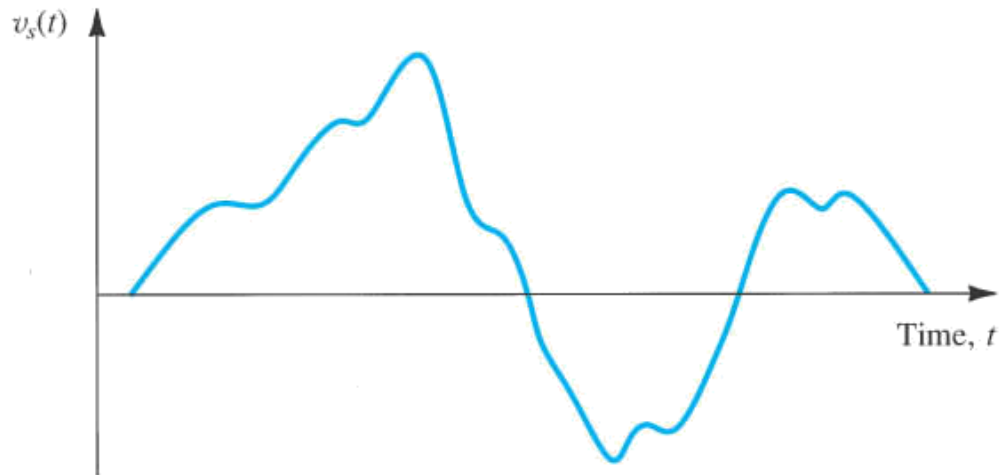
$$= v_{ce} \left[ \frac{1}{r_0} + \frac{g_m r_{\pi}}{r_{\pi} + r_{\mu}} + \frac{1}{r_{\mu} + r_{\pi}} \right]$$

$$\Rightarrow h_{oe} = \frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_{\mu} + r_{\pi}} (g_m r_{\pi} + 1) = \frac{1}{100k\Omega} + \frac{1}{2.5k\Omega + 10M\Omega} (40 \cdot 2.5 + 1) =$$

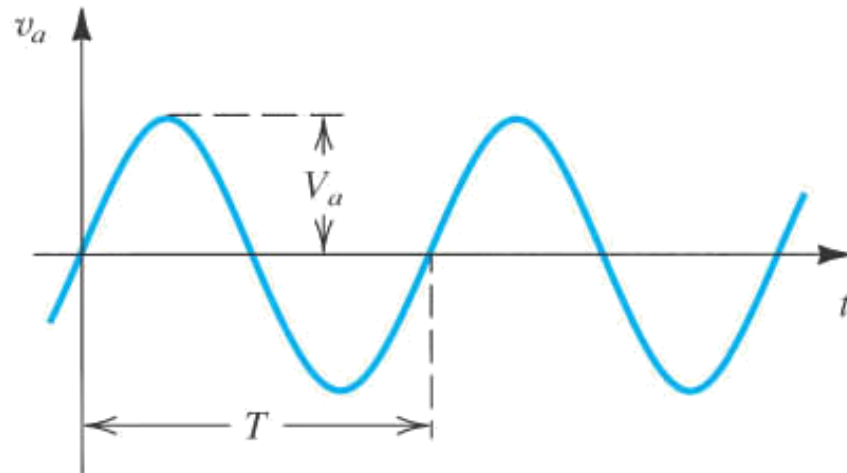
$$= \frac{1}{100k\Omega} + \frac{100}{10M\Omega} = \frac{2}{100} 10^{-3} \Omega^{-1} = 2 \cdot 10^{-5} \Omega^{-1}$$



# Σήματα



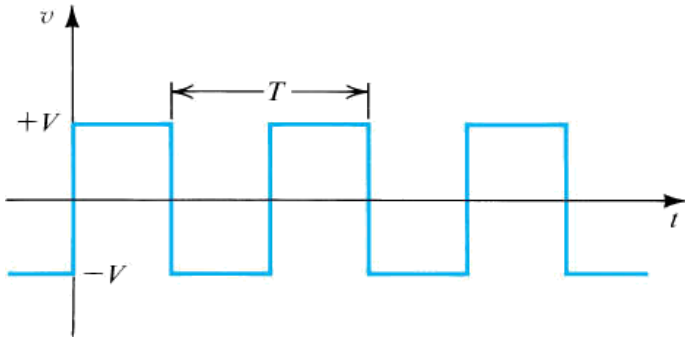
Τυχαίο, αναλογικό σήμα τάσης



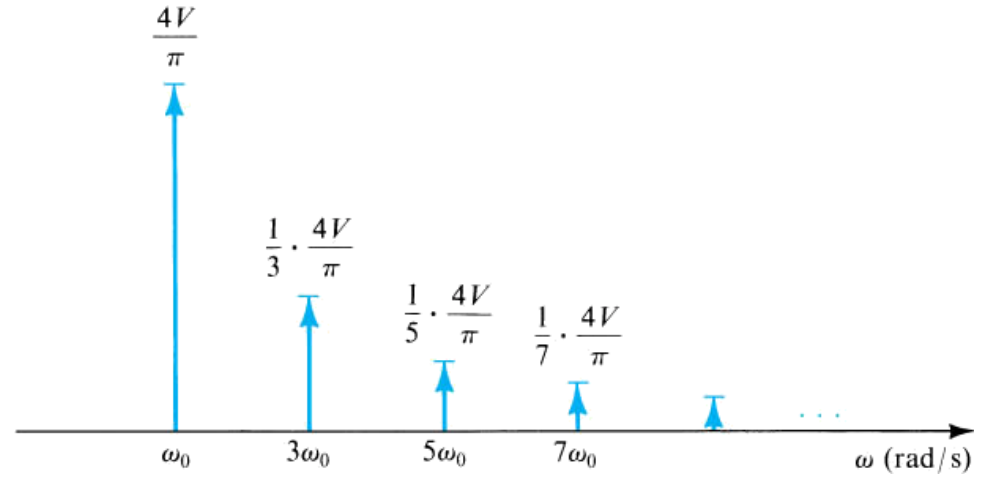
Ημιτονικό σήμα τάσης,  
πλάτους  $V_a$ ,  
συχνότητας  $f=1/T$  και  
γωνιακής συχνότητας  $\omega=2\pi f$ .

$$v_a(t) = V_a \sin \omega t$$



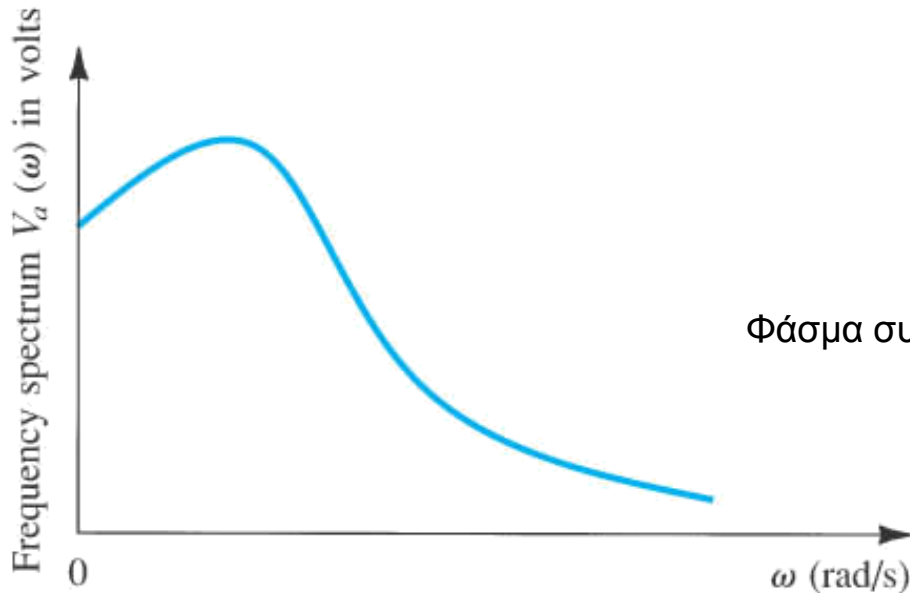


Τετραγωνικός παλμός τάσης

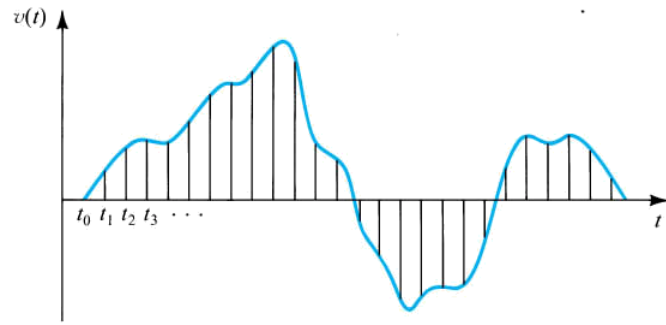


$$v(t) = \frac{4V}{\pi} \left( \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right)$$

Φάσμα συχνοτήτων του συμμετρικού τετραγωνικού παλμού τάσης

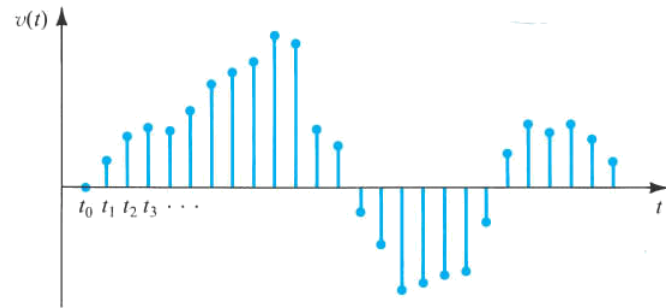


Φάσμα συχνοτήτων τυχαίου αναλογικού σήματος



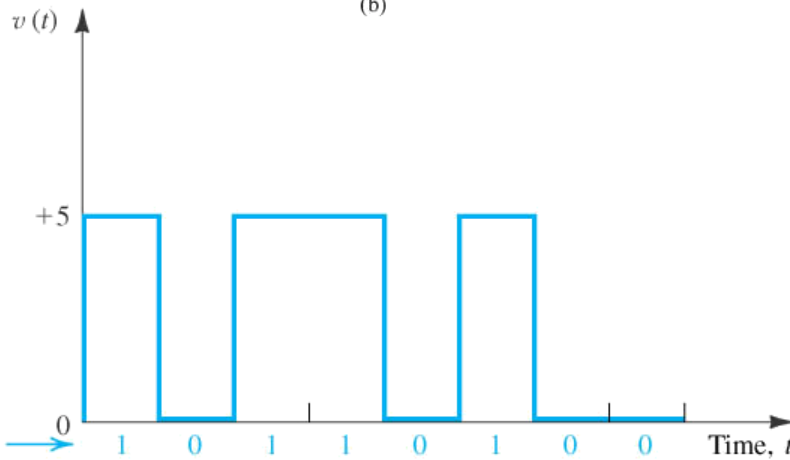
Δειγματοληψία αναλογικού σήματος συνεχούς χρόνου

(a)



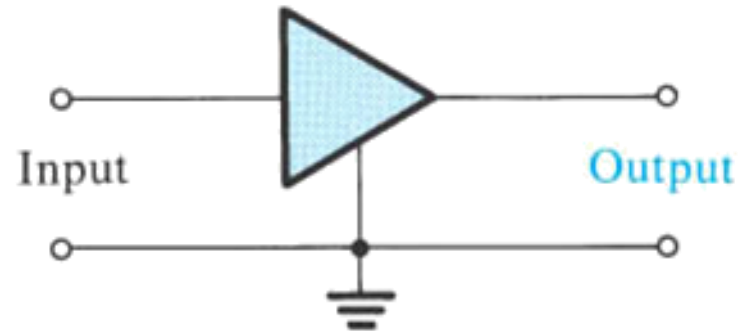
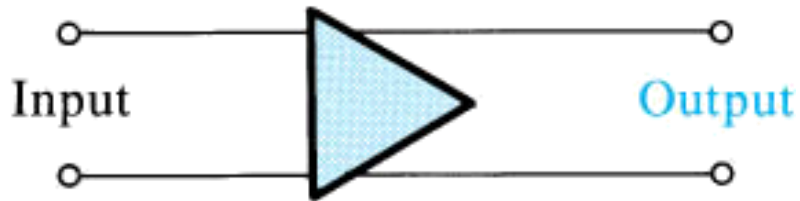
Σήμα διακριτού χρόνου

(b)



Ψηφιακός παλμός

# ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ



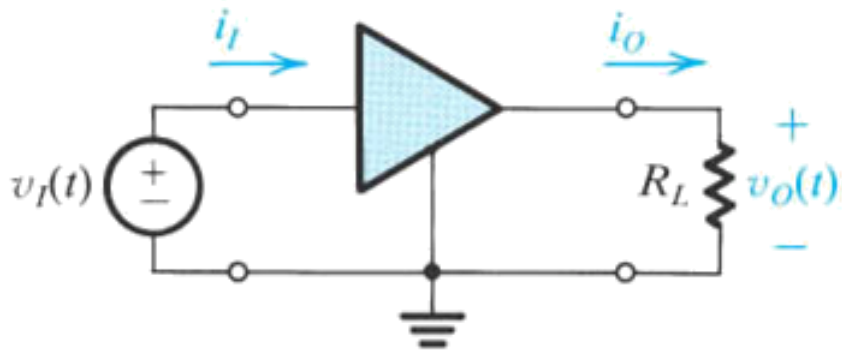
Γραμμικός ενισχυτής τάσης

$$v_o(t) = A \cdot v_i(t)$$

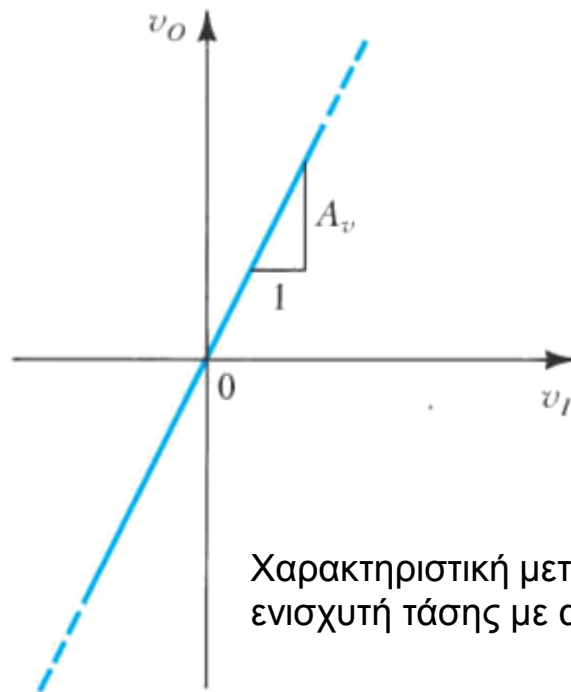
$v_i$  : σήμα εισόδου

$v_o$  : σήμα εξόδου

$A$  : απολαβή ή ενίσχυση τάσης



Ενισχυτής τάσης με φόρτο αντίσταση  $R_L$



Χαρακτηριστική μεταφοράς γραμμικού ενισχυτή τάσης με απολαβή  $A_v$

Απολαβή τάσης

$$A_v \equiv \frac{v_O}{v_I}$$

Απολαβή ισχύος

$$A_p \equiv \frac{\text{ισχύς στον φόρτο } P_L}{\text{ισχύς εισόδου } P_I} = \frac{v_O i_O}{v_I i_I}$$

$$A_p = A_v A_i$$

Απολαβή ρεύματος

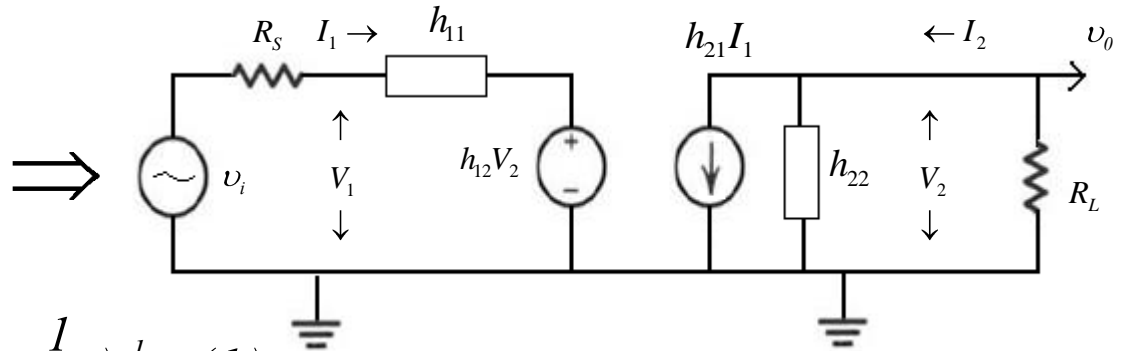
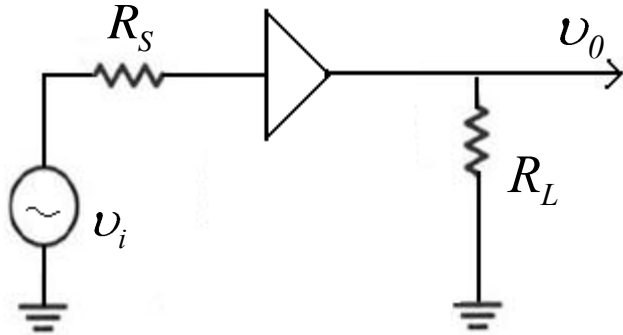
$$A_i \equiv \frac{i_O}{i_I}$$

Έκφραση της απολαβής σε decibel

**Άσκηση:** Αν γνωρίζουμε τις h παραμέτρους του ενισχυτή του σχήματος, να

υπολογιστεί η απολαβή τάσης του:

$$A = \frac{v_0}{v_i}$$



$$v_0 = -h_{21}I_1(R_L // h_{22}) = -h_{21}I_1\left(h_{22} + \frac{1}{R_L}\right)^{-1} \quad (1)$$

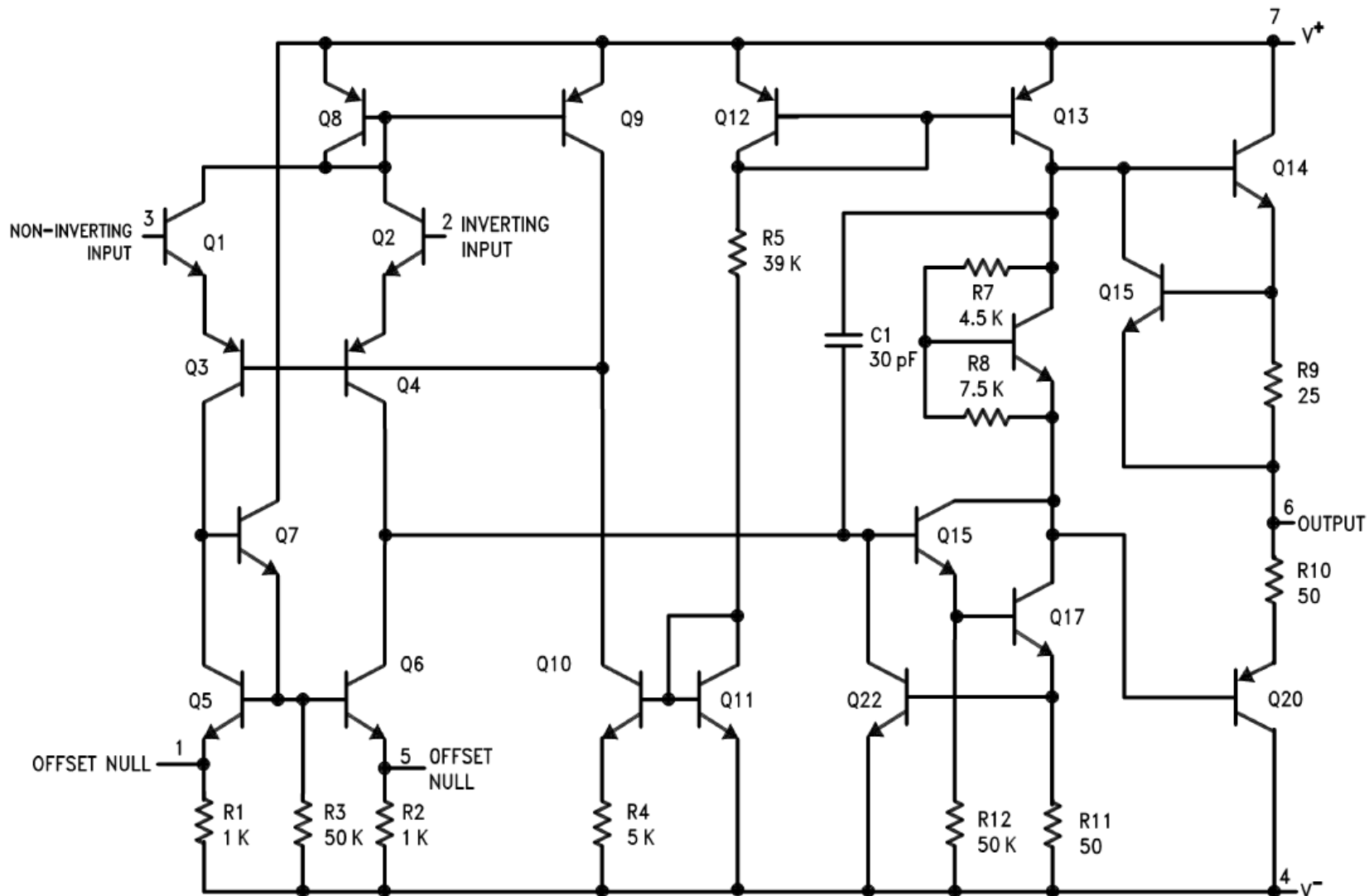
$$v_i = I_1 R_S + I_1 h_{11} + h_{12} V_2 \quad \Bigg| \quad V_2 = v_0 \Rightarrow I_1(R_S + h_{11}) = v_i - h_{12} v_0 \quad (2)$$

$$\frac{(2)}{(1)} \Rightarrow \frac{v_i - h_{12} v_0}{v_0} = \frac{I_1(R_S + h_{11})}{-h_{21}I_1\left(h_{22} + \frac{1}{R_L}\right)^{-1}} \Rightarrow \frac{v_i}{v_0} - h_{12} = -\frac{(R_S + h_{11})\left(h_{22} + \frac{1}{R_L}\right)}{h_{21}} \Rightarrow$$

$$\frac{v_i}{v_0} = \frac{(R_S + h_{11})\left(h_{22} + \frac{1}{R_L}\right) - h_{12} \cdot h_{21}}{h_{21}} \Rightarrow A = \frac{v_0}{v_i} = \frac{h_{21}}{(R_S + h_{11})\left(h_{22} + \frac{1}{R_L}\right) - h_{12} \cdot h_{21}}$$

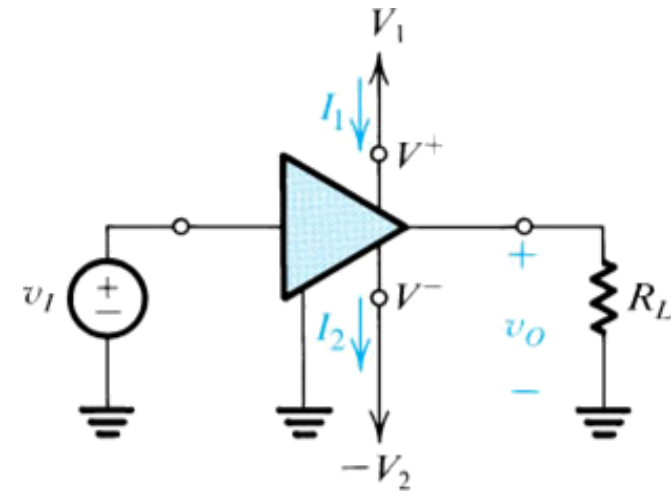
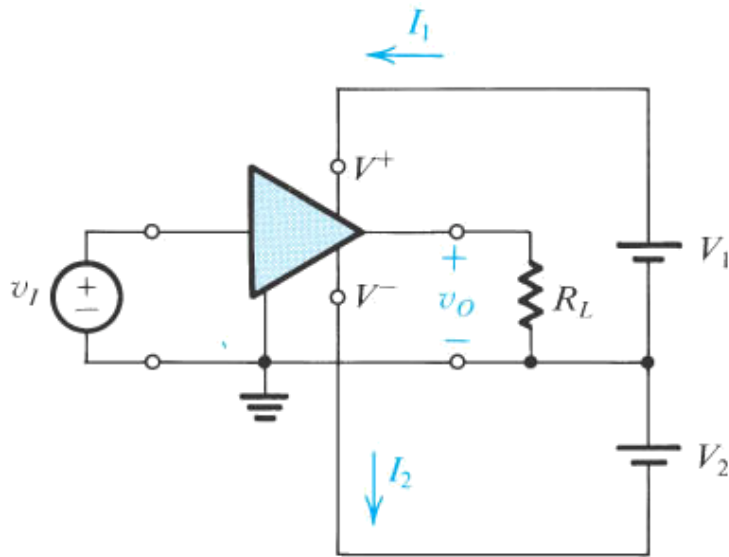
# Ο τελεστικός ενισχυτής «741»

## Schematic Diagram





## Η τροφοδοσία του ενισχυτή – Απόδοση ισχύος



Ισχύς που προσφέρεται από την τροφοδοσία:

$$P_{dc} = V_1 I_1 + V_2 I_2$$

Ισχύς που προσφέρεται από την πηγή σήματος εισόδου:  $P_I$

Ισχύς που αποδίδεται στον φόρτο:  $P_L$

Ισχύς που καταναλίσκεται στο κύκλωμα:  $P_{\kappa\alpha\tau}$

$$P_{dc} + P_I = P_L + P_{\kappa\alpha\tau}$$

Απόδοση ισχύος του ενισχυτή:

$$\eta \equiv \frac{P_L}{P_{dc}} \times 100$$

**Παράδειγμα:** Ενισχυτής τροφοδοτείται με τάσεις 10V και τραβάει ρεύμα 9.5mA από κάθε τροφοδοτικό. Στην είσοδό του συνδέεται ημιτονικό σήμα που δίνει τάση πλάτους 1V και ρεύμα πλάτους 0.1mA. Στην έξοδό του ο ενισχυτής δίνει ημιτονική τάση πλάτους 9V σε φόρτο 1kΩ. Να υπολογιστούν οι απολαβές τάσης, ρεύματος και ισχύος καθώς και η απόδοση του ενισχυτή.

$$V_{DC+,-} = \pm 10V$$

$$I_{DC+,-} = 9.5mA$$

$$V_{in} = 1V$$

$$I_{in} = 0.1mA$$

$$V_{out} = 9V$$

$$R_L = 1k\Omega$$

$$A_U = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{9V}{1V} = 9 \Rightarrow A_{U_{dB}} = 20 \log 9 = 19.08dB$$

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R_L} = \frac{9V}{1k\Omega} = 9mA$$

$$A_i = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{9mA}{0.1mA} = 90 \Rightarrow A_{i_{dB}} = 20 \log 90 = 38.08dB$$

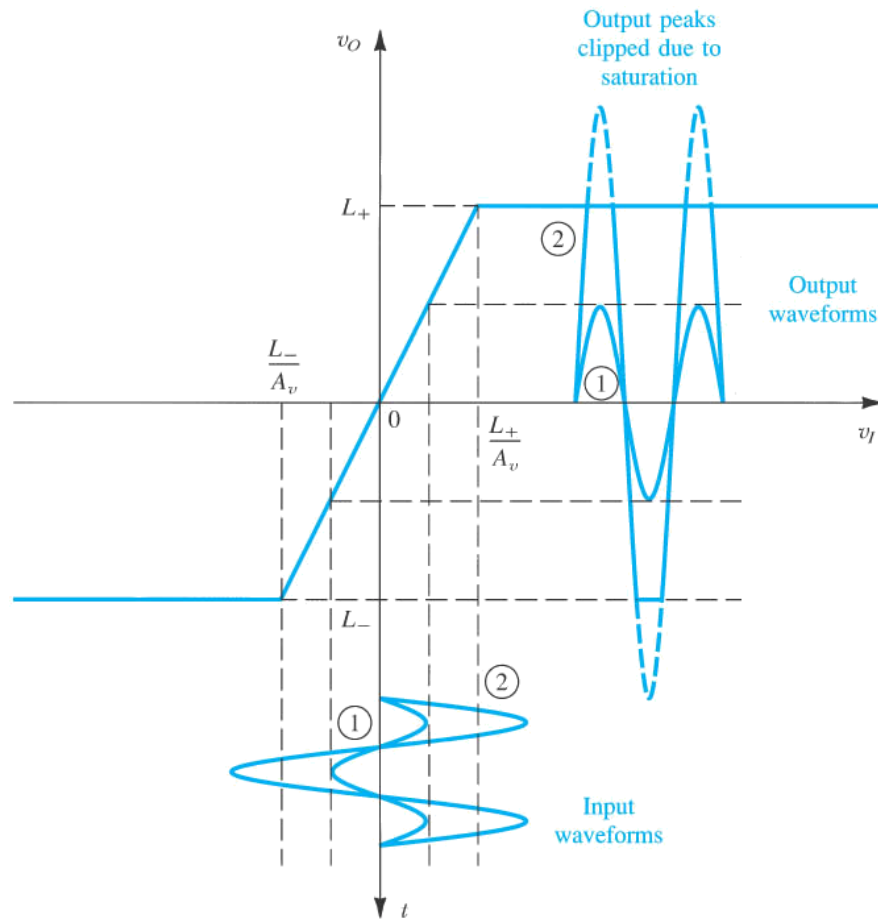
$$\left. \begin{aligned} P_{in} &= \frac{1}{2} I_{in} V_{in} = \frac{1}{2} 0.1mA \cdot 1V = 0.05mW \\ P_{out} &= \frac{1}{2} I_{out} V_{out} = \frac{1}{2} 9mA \cdot 9V = 40.5mW \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_P = \frac{40.5}{0.05} = 810 \Rightarrow A_{P_{dB}} = 10 \log 810 = 29,08$$

$$P_{DC} = 2V_{DC} \cdot I_{DC} = 2 \cdot 10 \cdot 9.5mW = 190mW$$

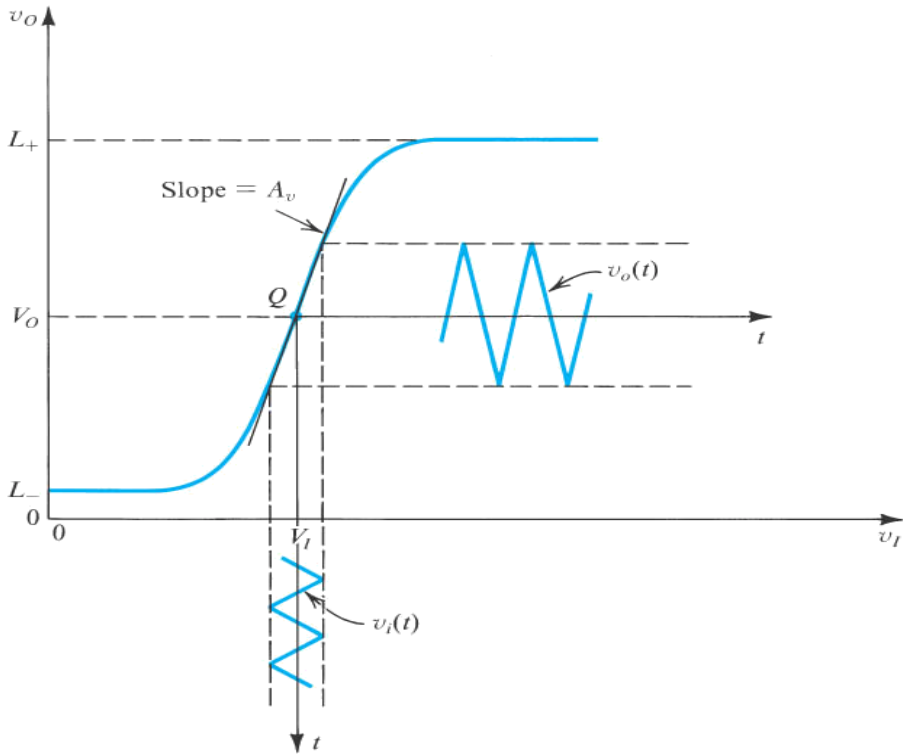
$$P_{\kappa\alpha\tau} = P_{DC} + P_{in} - P_{out} = (190 + 0.05 - 40.5)mW = 149.55mW$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{DC}} \cdot 100 = \frac{40.5}{190} \cdot 100 = 0.21 \cdot 100 = 21\%$$

# Όρια γραμμικής λειτουργίας του ενισχυτή - Κόρος



# Μη γραμμική χαρακτηριστική μεταφοράς – Πόλωση του ενισχυτή



(a)

Στιγμιαία τιμή της τάσης εισόδου:

$$v_I(t) = V_I + v_i(t)$$

Στιγμιαία τιμή της τάσης εξόδου:

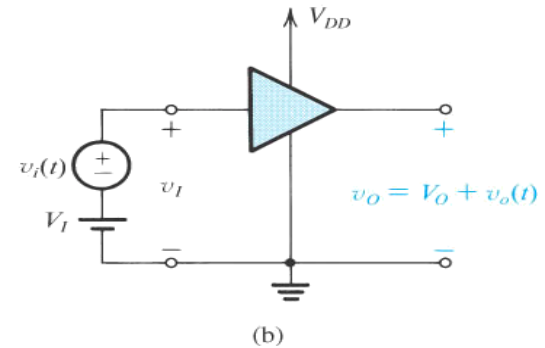
$$v_O(t) = V_O + v_o(t)$$

Όπου :

$$v_o(t) = A_v \cdot v_i(t)$$

Η απολαβή τάσης είναι η κλίση της χαρακτηριστικής στο σημείο λειτουργίας:

$$A_v \equiv \left. \frac{dv_o}{dv_I} \right|_Q$$

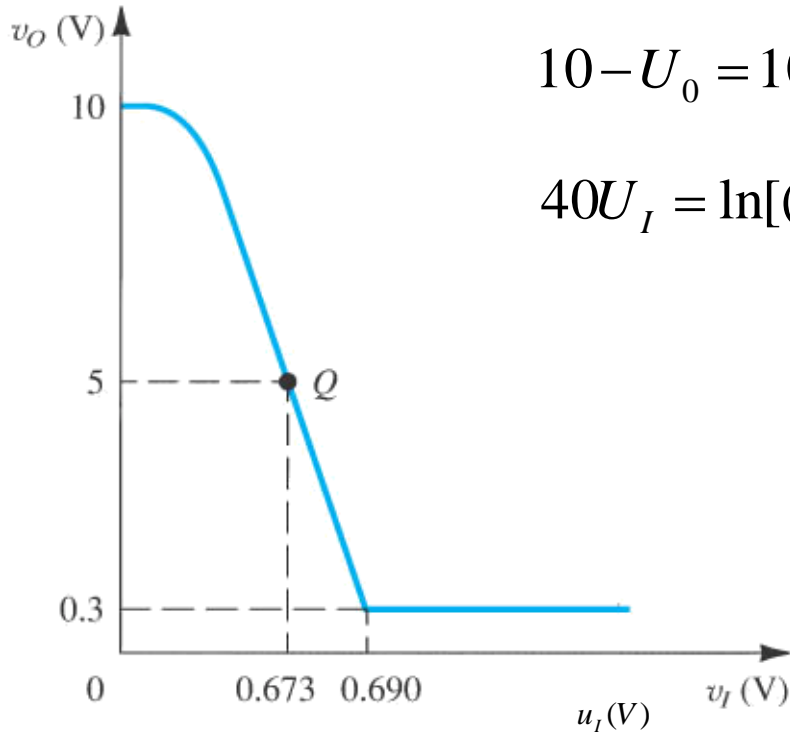


(b)

**Άσκηση:** Δίνεται η χαρακτηριστική μεταφοράς ενός ενισχυτή:

$$v_o = 10 - 10^{-11} e^{40v_i} \quad \text{για } v_i \geq 0 \text{ και } v_o \geq 0.3$$

Να ευρεθούν τα όρια γραμμικής λειτουργίας του ενισχυτή και η τάση πόλωσης εισόδου ώστε η τάση εξόδου να είναι ίση με 5V.



$$10 - U_0 = 10^{-11} e^{40U_i} \quad \Rightarrow e^{40U_i} = (10 - U_0)10^{11}$$

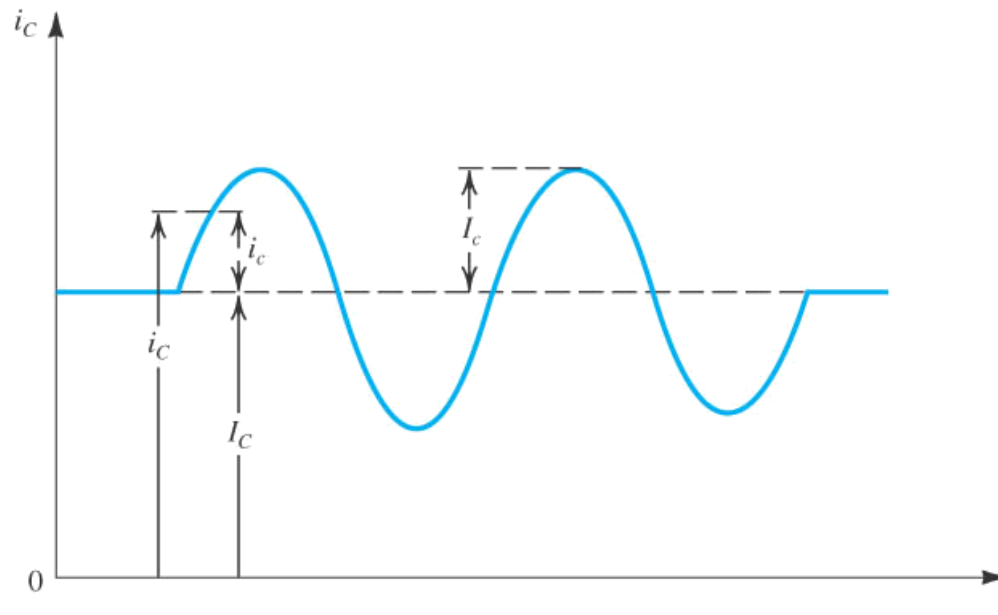
$$40U_i = \ln[(10 - U_0)10^{11}] \Rightarrow U_i = \frac{\ln[(10 - U_0)10^{11}]}{40}$$

$$\text{για } U_0 = 0.3V \Rightarrow U_i = 0.690V$$

$$\text{για } U_0 = 5V \Rightarrow U_i = 0.673V$$

$$A = \left. \frac{dU_o}{dU_i} \right|_Q = -196.45$$

## Συμβολισμοί

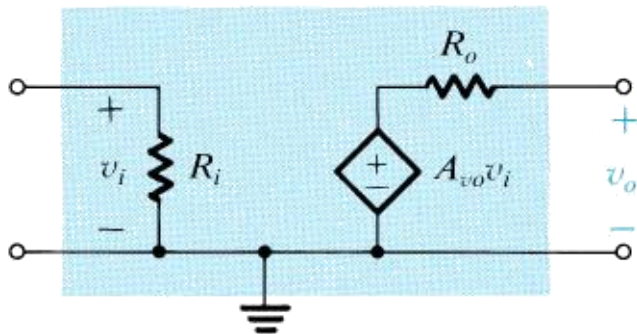


$$i_c = I_C + i_c = I_C + I_c \sin(\omega t + \varphi)$$

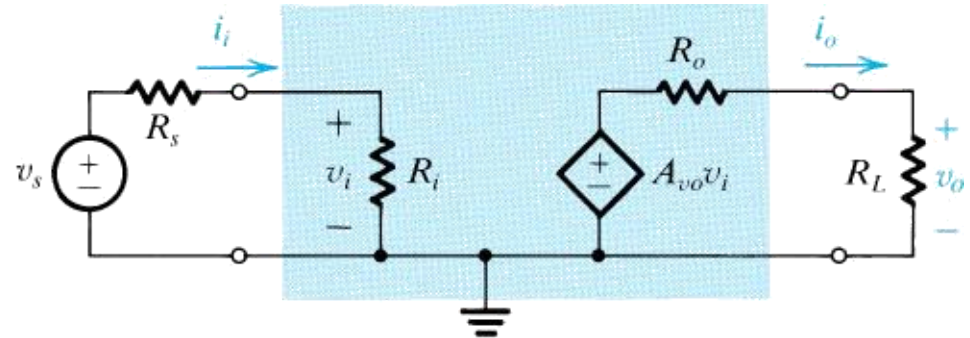


## Χρήση γραμμικών δικτυωμάτων για την ανάλυση των ενισχυτών

Όταν ένας ενισχυτής έχει πολωθεί σωστά και το σήμα στην είσοδο του κρατείται αρκούντως μικρό, τότε υποθέτουμε ότι λειτουργεί στη γραμμική περιοχή και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές ανάλυσης γραμμικών κυκλωμάτων για να μελετήσουμε τη λειτουργία του.

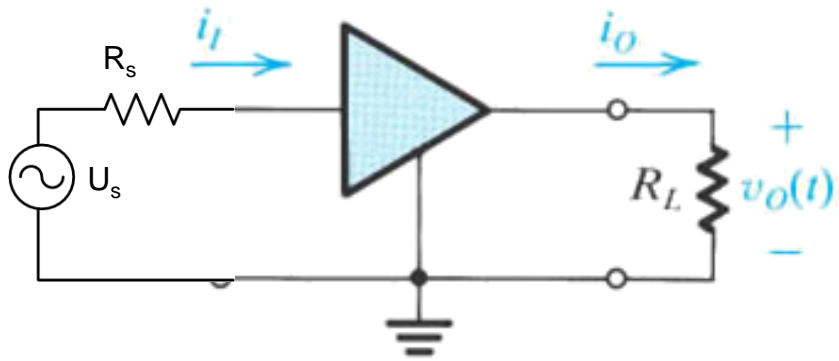


(a)

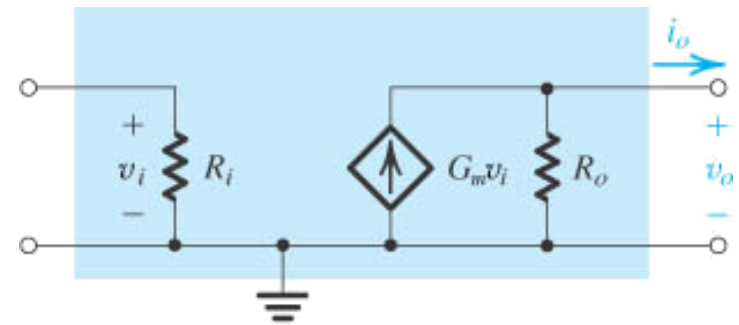


(b)

**Άσκηση:** Υπολογίστε την απολαβή τάσης  $A_v$  του ενισχυτή του σχήματος (a), αν το ισοδύναμο μικρού σήματος του τελεστικού ενισχυτή δίνεται στο σχήμα (b).



(a)



(b)