



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Ηλεκτρονική

Ενότητα 1: Εισαγωγή

Αγγελική Αραπογιάννη

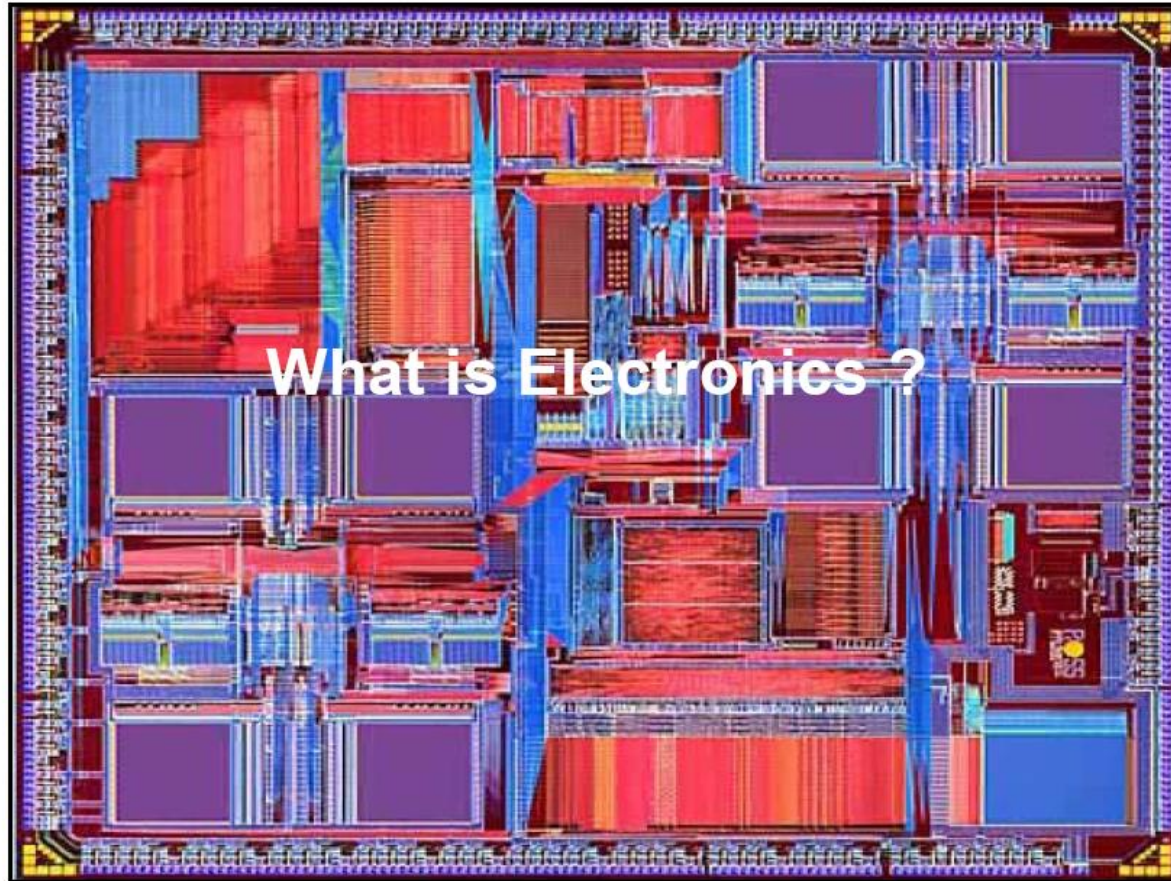
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

# Περιεχόμενα ενότητας

- Ανασκόπηση των βασικών εννοιών, κανόνων και θεωρημάτων των γραμμικών δικτυωμάτων: κανόνες Kirchhoff, θεώρημα Thevenin, θεώρημα Norton, θεώρημα επαλληλίας, θεώρημα μέγιστης μεταφοράς ισχύος, βασικά δίθυρα-τετράπολα
- Αναλογικά και ψηφιακά σήματα
- Συμβολισμοί
- Βασικά χαρακτηριστικά των ενισχυτών (απόδοση ισχύος, απολαβή-ενίσχυση, γραμμικότητα)



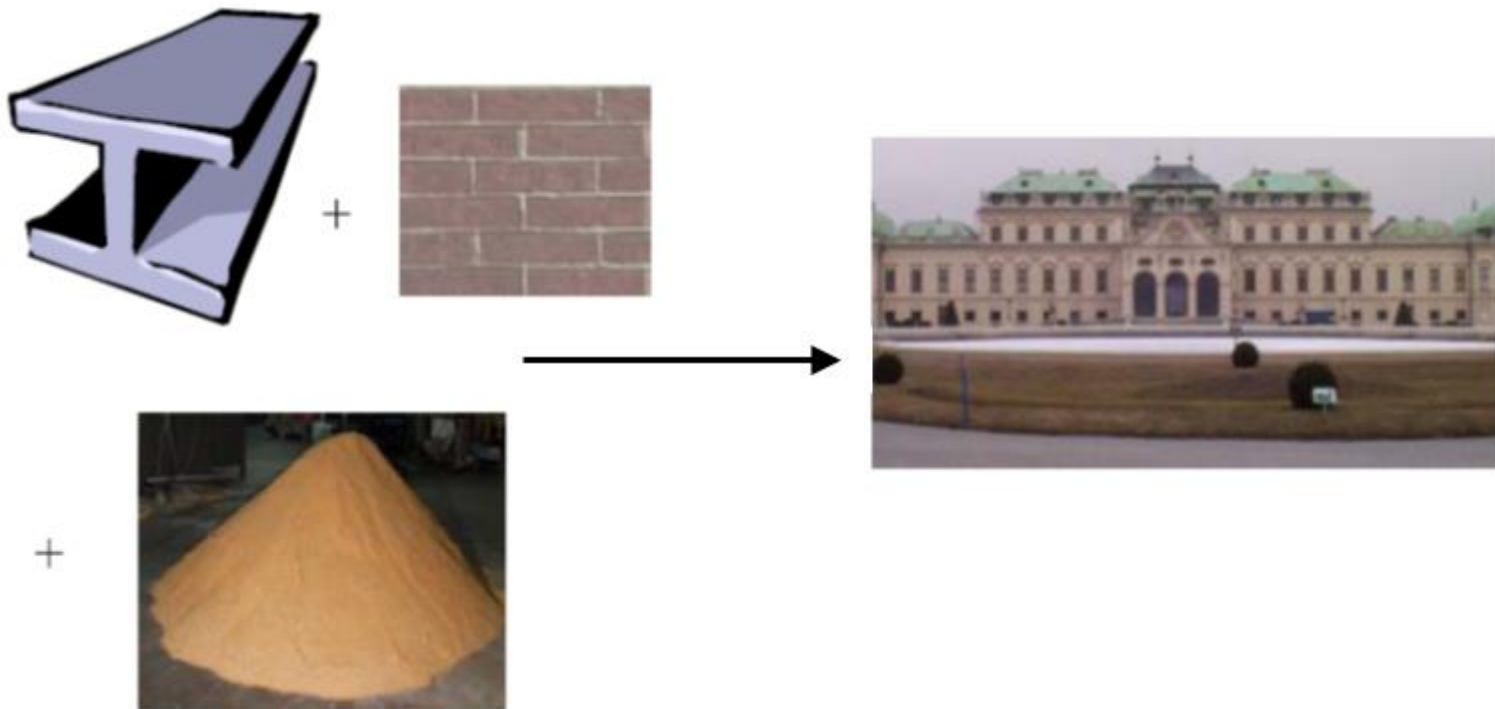
# Τι είναι η ηλεκτρονική;



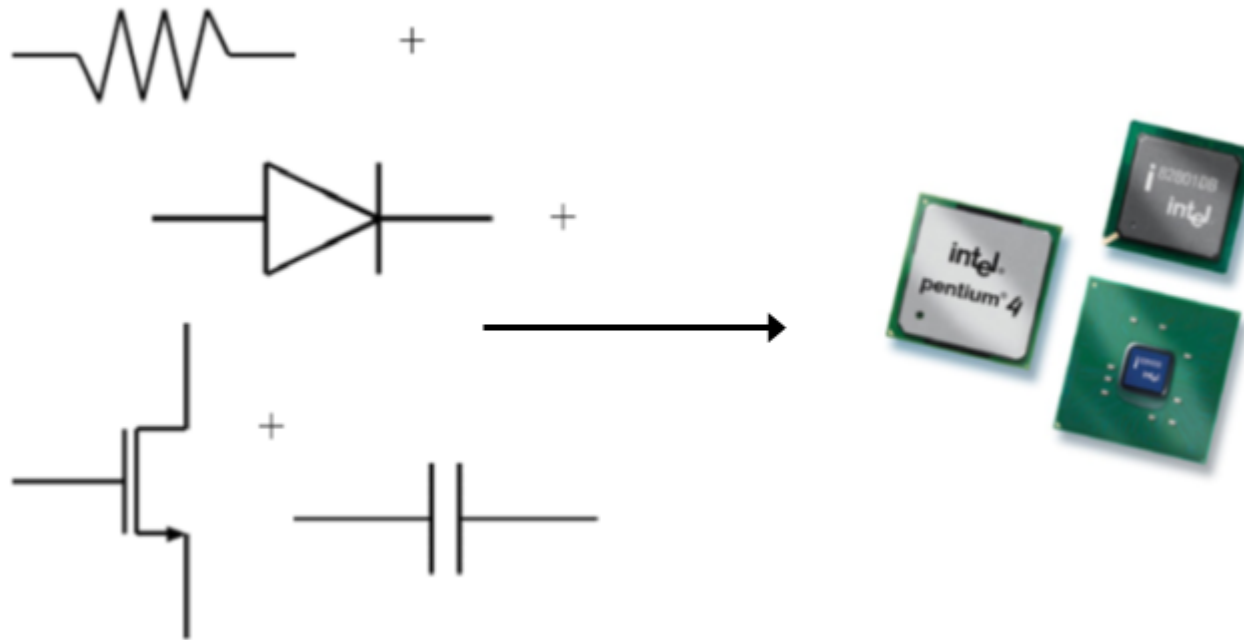
What is Electronics ?



# Αρχιτεκτονική



# Ηλεκτρονική



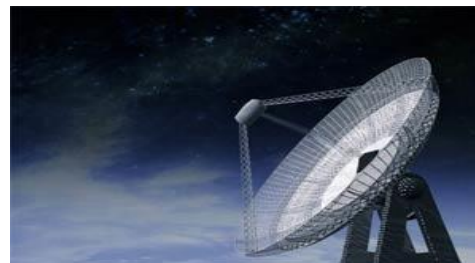
# Ο κόσμος της Ηλεκτρονικής



Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές



Κινητά τηλέφωνα



Τηλεπικοινωνίες



Δίκτυα



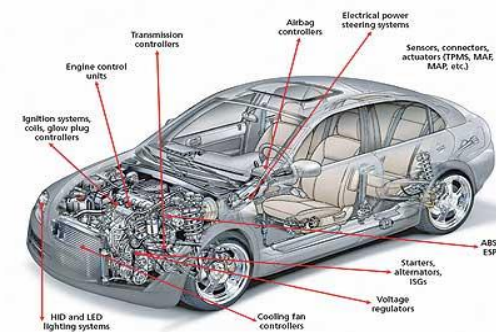
ΙΑτρική



Ενέργεια

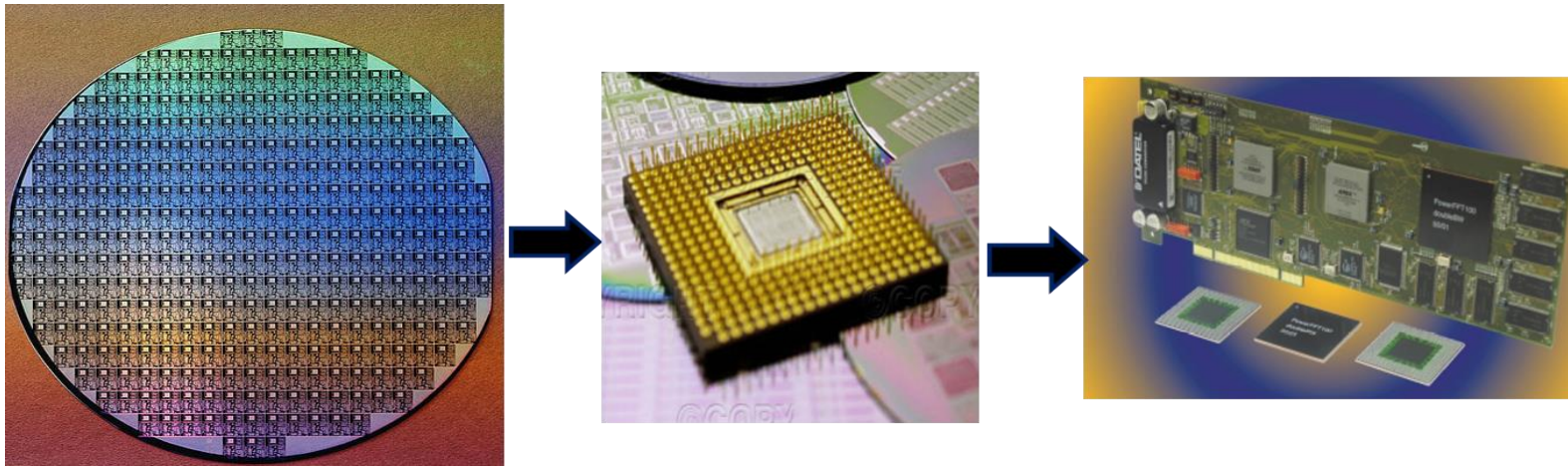


Διασκέδαση



Βιομηχανία

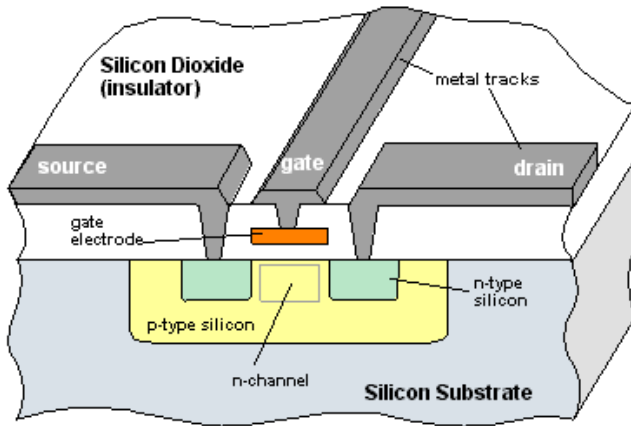
# Τι περιέχουν οι ηλεκτρονικές συσκευές;



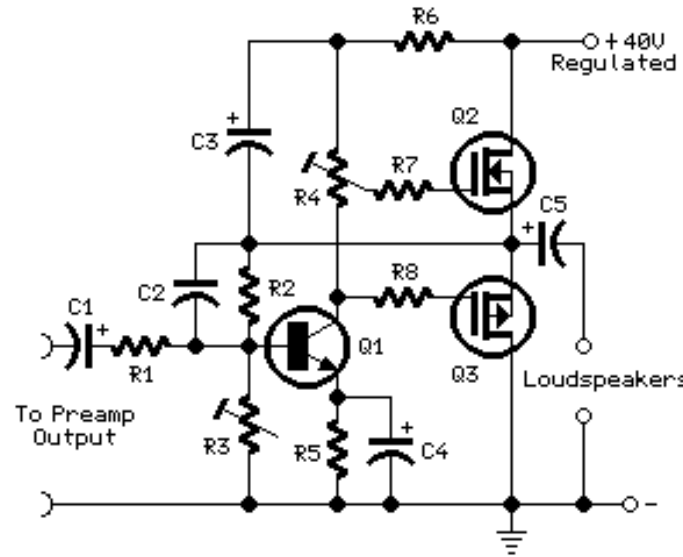
Το δισκίο πυριτίου Το ολοκληρωμένο κύκλωμα Η κάρτα της ηλεκτρονικής συσκευής

# Από τι αποτελούνται τα ολοκληρωμένα κυκλώματα;

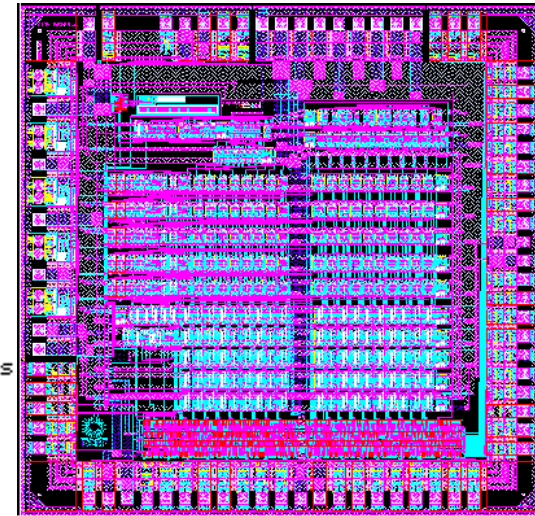
NMOS Transistor  
(n-channel MOSFET)



Το τρανζίστορ



Το ηλεκτρονικό  
κύκλωμα



Το φυσικό  
σχέδιο του ΟΚ

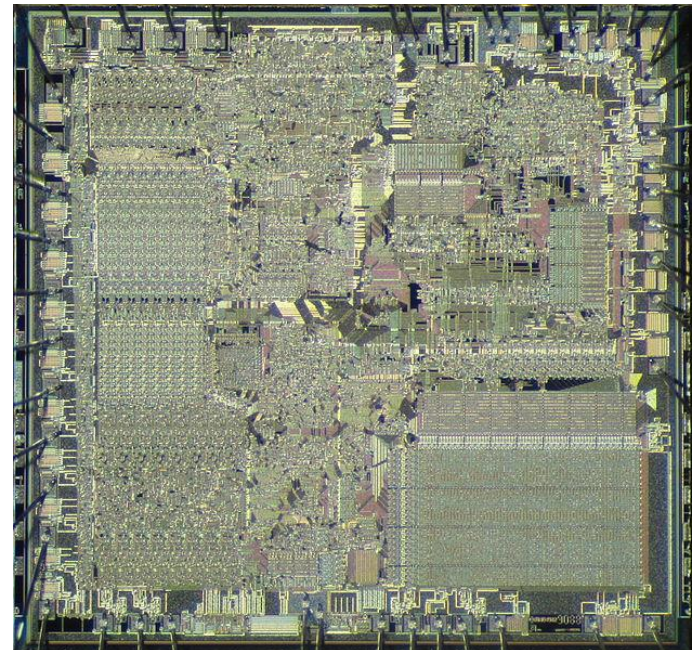


# Η πόλη και το κύκλωμα

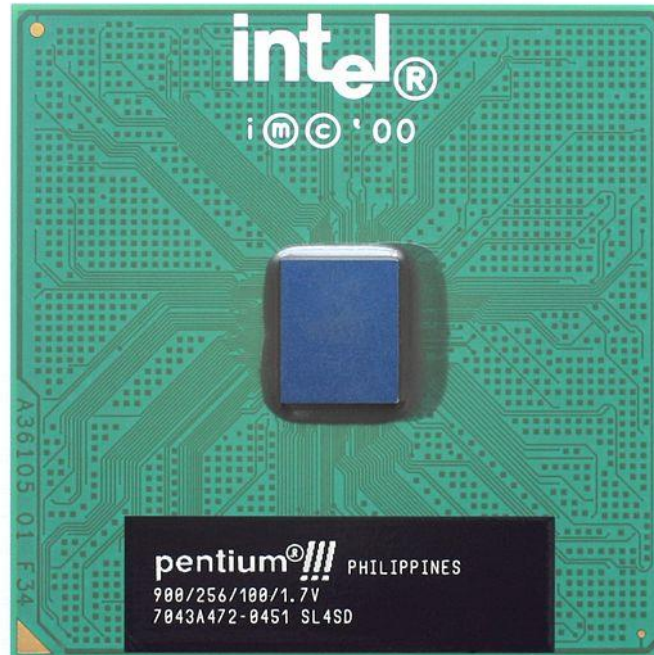
**Satelite image of Buenos Aires**



**Photograph of 8088 microprocessor**



# Pentium III



9.5 million transistors

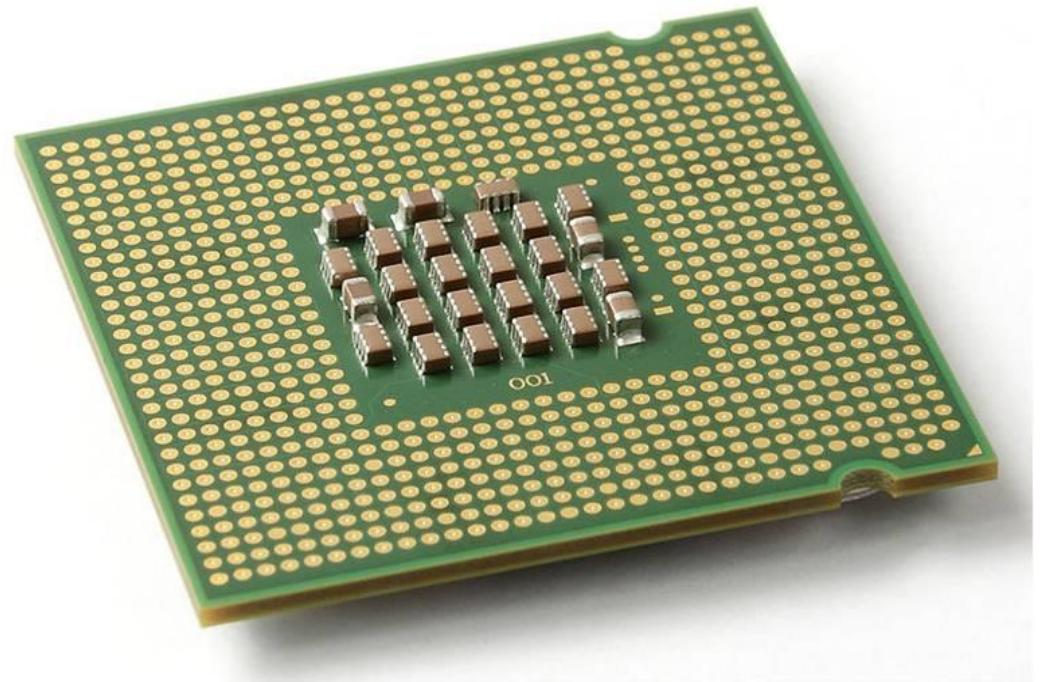
0.25 micron technology

# Pentium 4

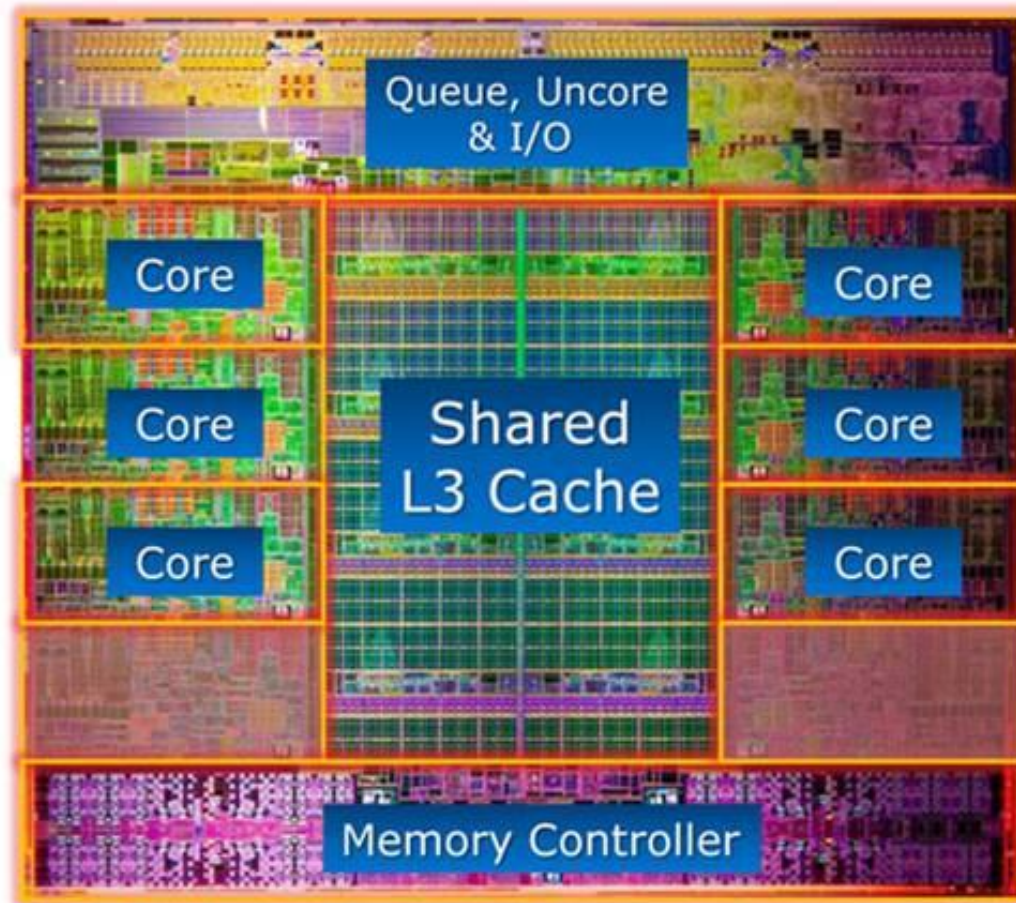
> 42 εκατομμύρια  
τρανζίστορες

0.13 micron  
technology (50 φορές  
μικρότερο από το  
κύτταρο του αίματος)

3.2 GHz ρολόι (το  
φως διανύει μόλις 10  
εκατοστά)



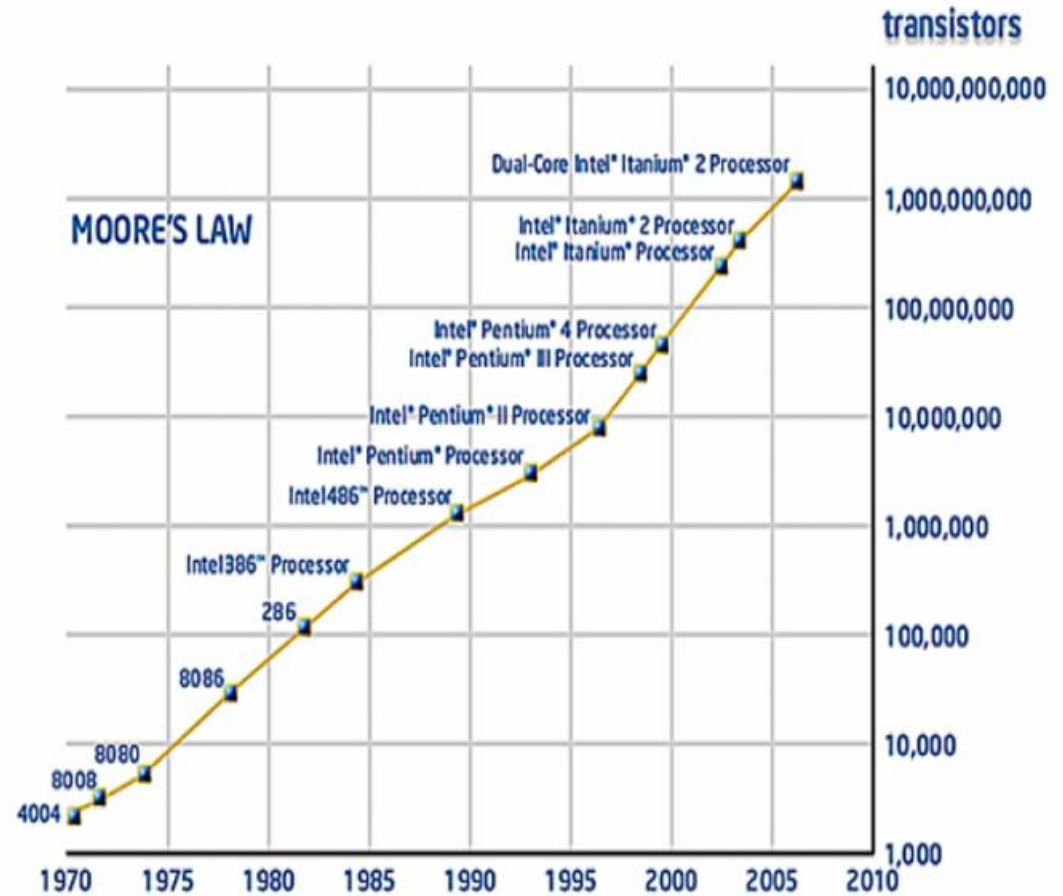
# Intel<sup>®</sup> Core™ i7-3960 Επεξεργαστής



# Ο Νόμος του Moore

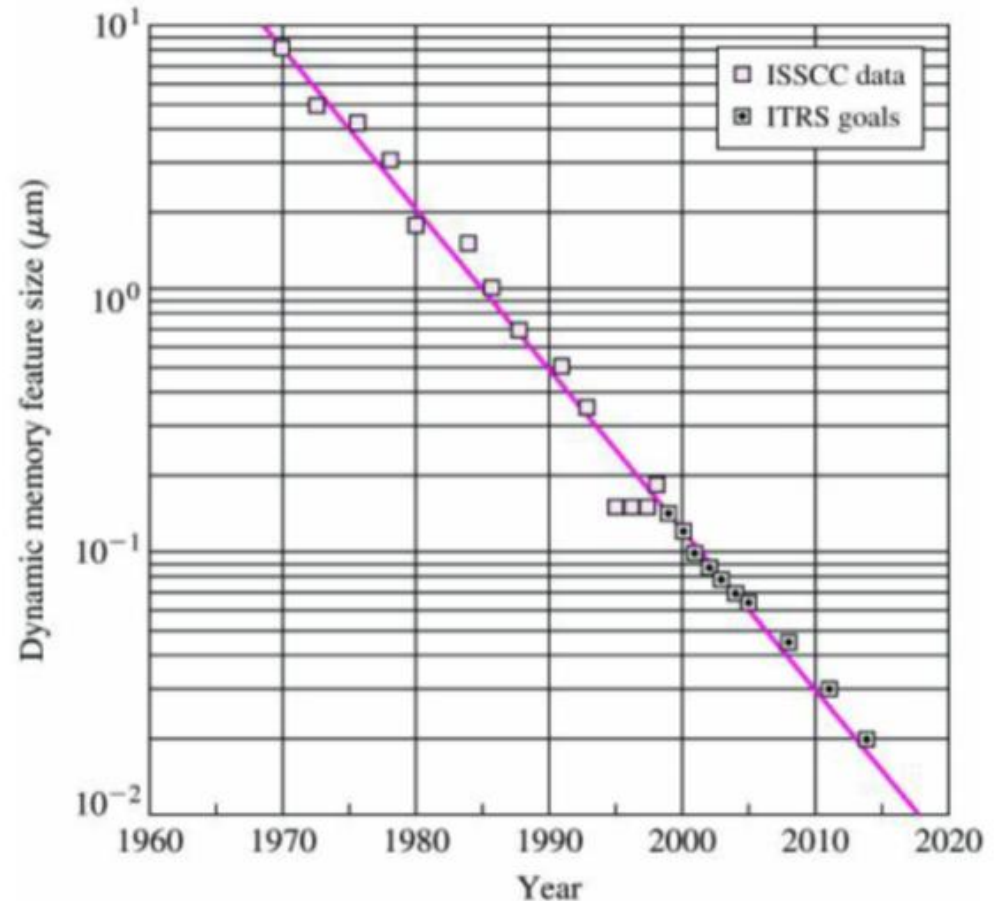
«Ο αριθμός των τρανζίστορ ανά ψηφίδα διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες».

Ίσχυσε τα τελευταία 40 χρόνια.



# Πυκνότητα Ολοκλήρωσης

Μικρότερα σχήματα οδηγούν σε μεγαλύτερο αριθμό τρανζίστορ ανά μονάδα επιφάνειας (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.

$$\sum I = 0 \quad (\text{για κάθε κόμβο})$$

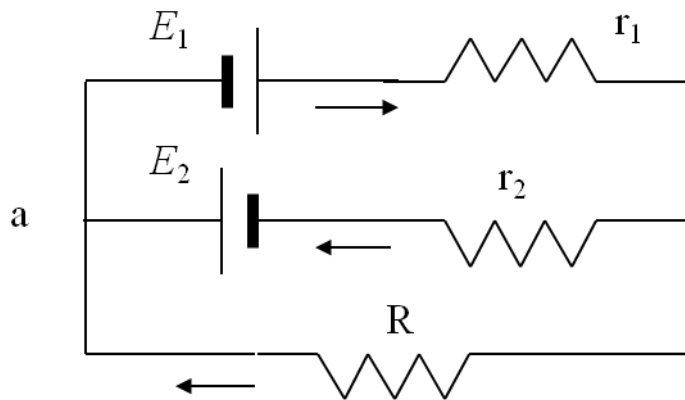
- **2ος Κανόνας (των βρόχων):** Το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων κατά μήκος οποιουδήποτε βρόχου είναι ίσο με μηδέν.

$$\sum V = 0 \quad (\text{για κάθε βρόχο})$$

[Συμβάσεις για τα πρόσημα και την εφαρμογή των κανόνων]



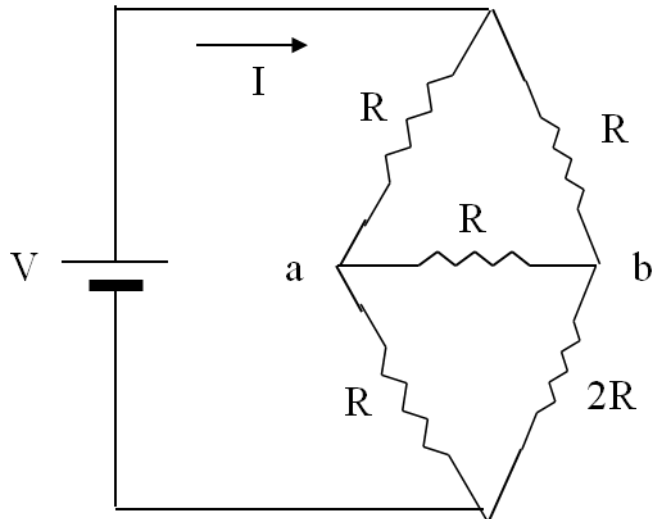
# Παράδειγμα



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 1

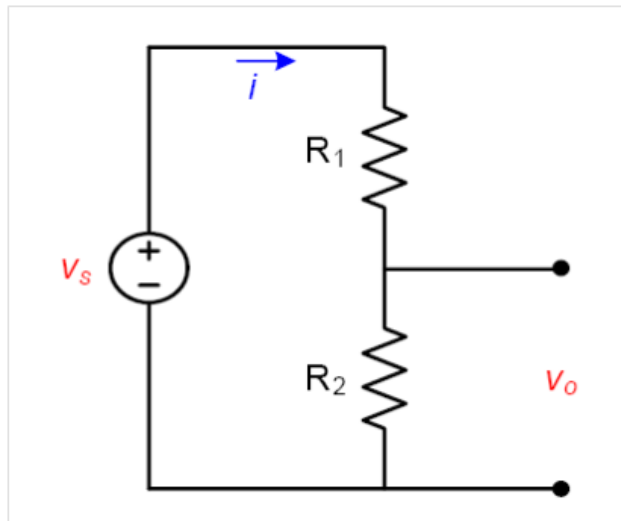


Θεωρούμε γνωστά τα  $V$  και  $R$ . Να υπολογιστούν τα  $I_i$ ,  $R_{eq}$  και  $V_{ab}$ .



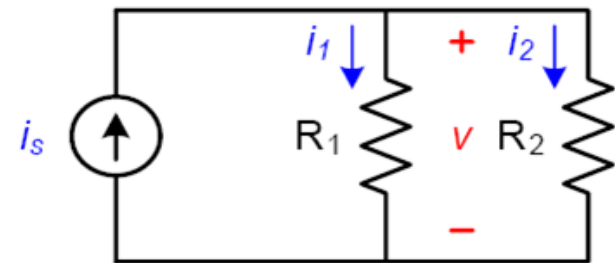
# Διαιρέτες Τάσης - Ρεύματος

## Διαιρέτης Τάσης



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

## Διαιρέτης Ρεύματος



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

# Θεώρημα της Επαλληλίας

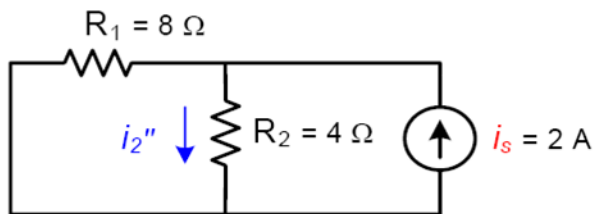
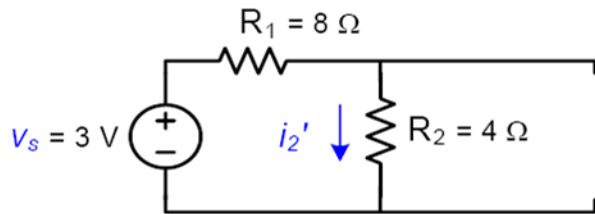
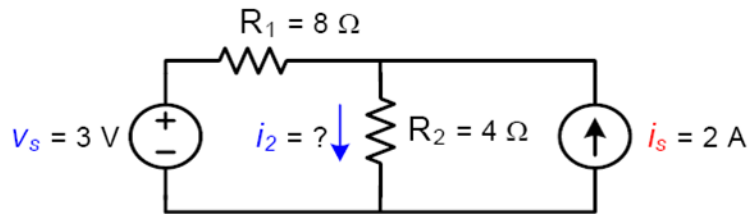
Η απόκριση ενός κυκλώματος είναι ανάλογη της διέγερσης που την προκαλεί.

Σε ένα γραμμικό δικτύωμα 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.



# Παράδειγμα

Να υπολογιστεί το  
ρεύμα  $i_2$



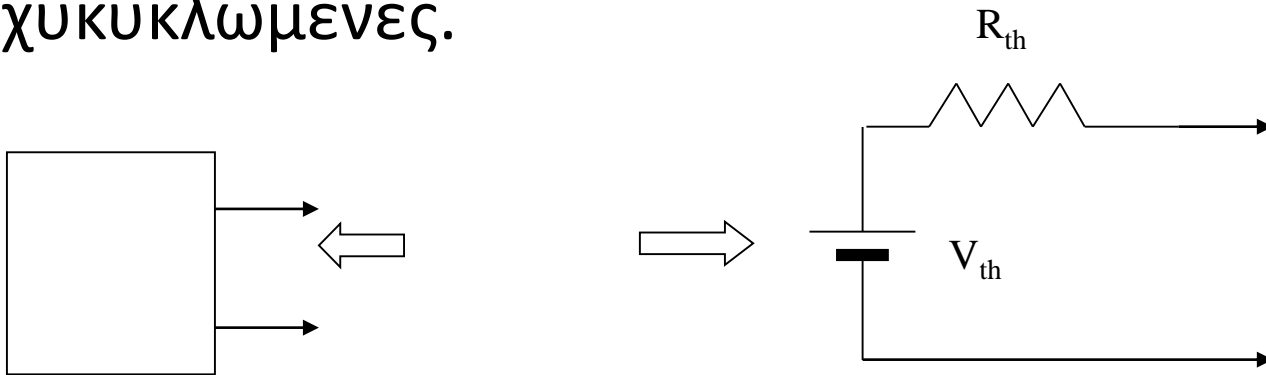
$$i_2' = \frac{V_s}{R_1 + R_2} = \frac{3}{8 + 4} \text{ A} = \frac{1}{4} \text{ A}$$

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

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

# Θεώρημα Thevenin

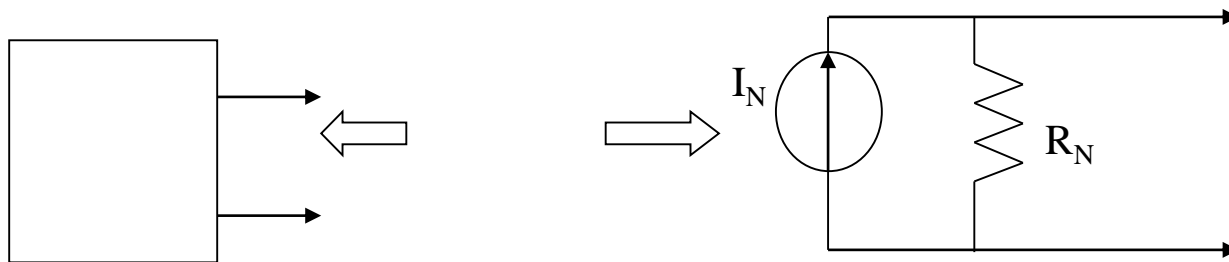
Οποιοδήποτε γραμμικό κύκλωμα μπορεί να αντικατασταθεί από μία πηγή τάσης σε σειρά με μία αντίσταση. Η τάση,  $V_{th}$ , υπολογίζεται ώστε να δημιουργεί το ίδιο ρεύμα που εμφανίζει το δικτύωμα. Η αντίσταση,  $R_{th}$ , ισούται με την αντίσταση που εμφανίζει το δικτύωμα με τις πηγές βραχυκυκλωμένες.



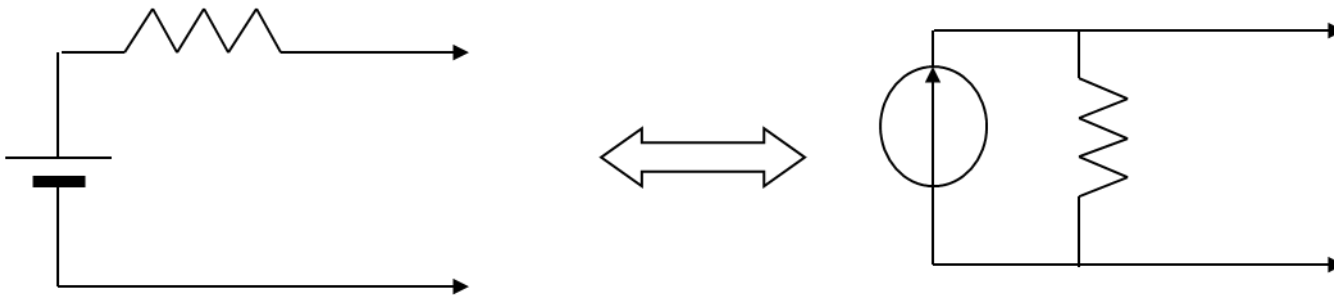


# Θεώρημα Norton

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.

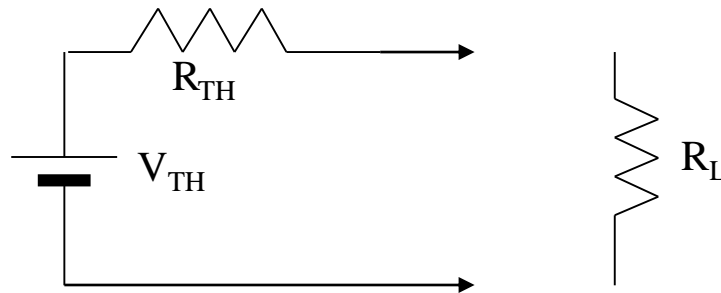


# Θεώρημα Thevenin-Norton

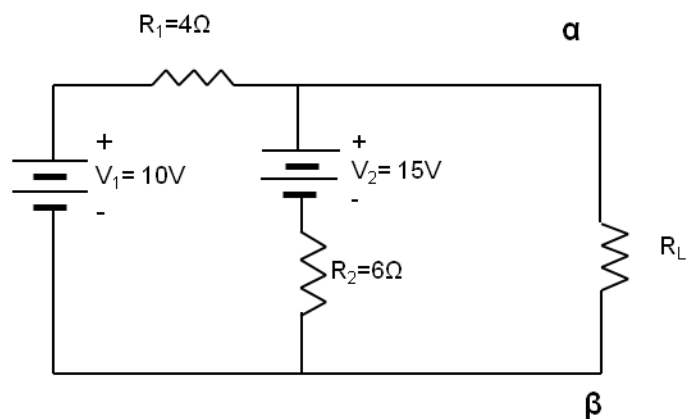


# Θεώρημα μέγιστης μεταφοράς ισχύος

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 2



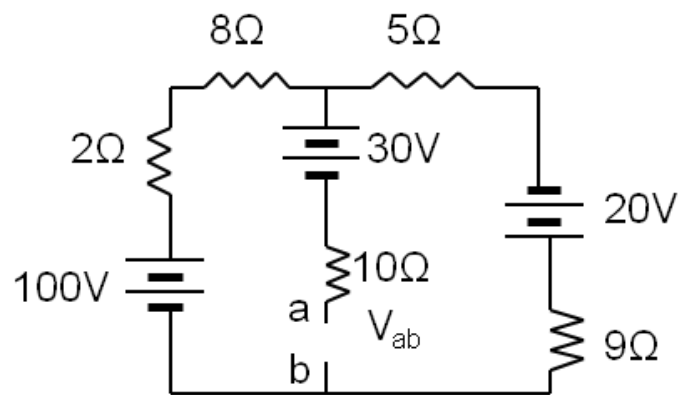
Για το κύκλωμα του σχήματος, να υπολογιστεί η αντίσταση φόρτου  $R_L$  για την οποία επιτυγχάνεται μέγιστη μεταφορά ισχύος στον φόρτο. Να υπολογιστεί επίσης η μέγιστη αυτή ισχύς,  $P_L$ .

**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  $R_{th}$ .

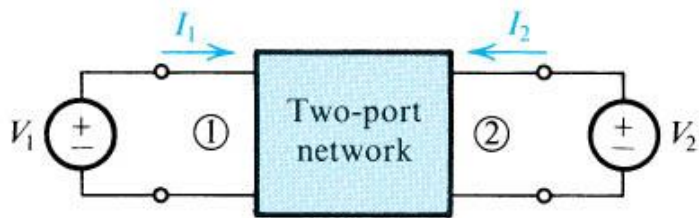
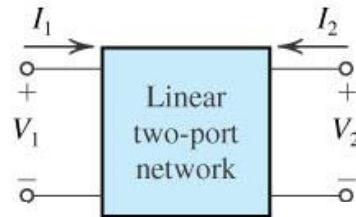


# Άσκηση 3

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



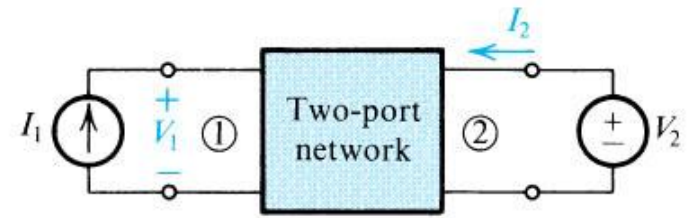
# Δίθυρα ή Τετράπολα Δικτυώματα



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

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

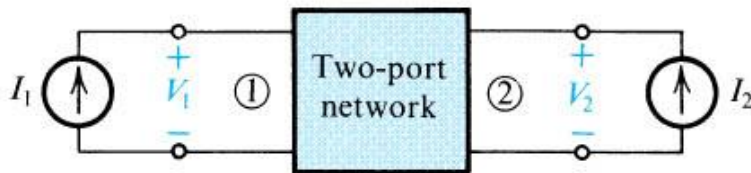
(a)



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

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

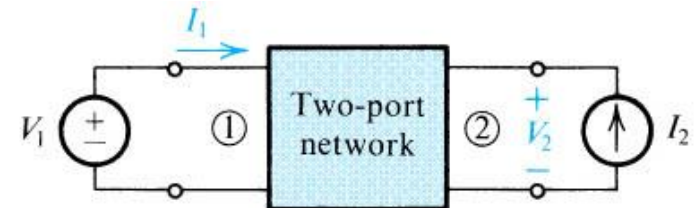
(c)



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

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

(b)



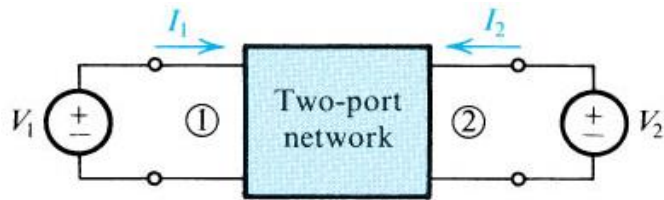
$$I_1 = g_{11}V_1 + g_{12}I_2$$

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

(d)

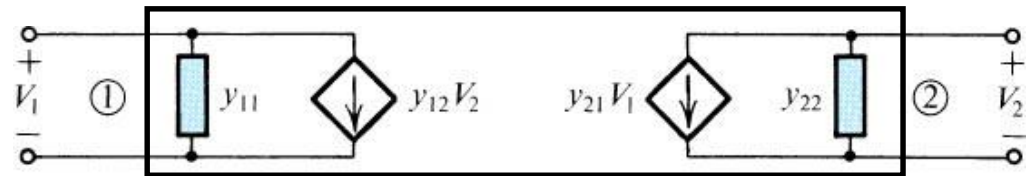


# Ισοδύναμα Κυκλώματα για τα αντίστοιχα δίθυρα (1 από 2)

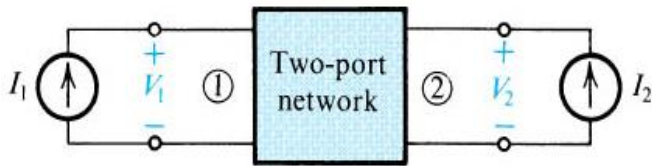


$$I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_2$$

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

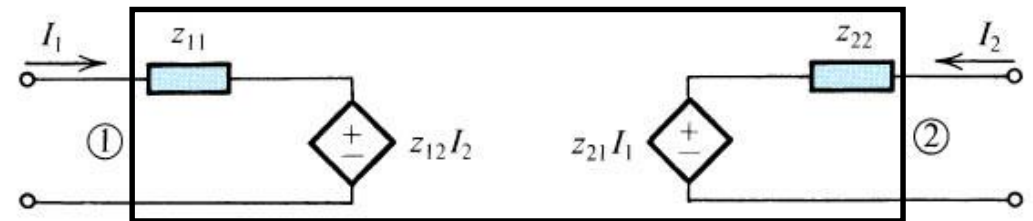


(a)



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

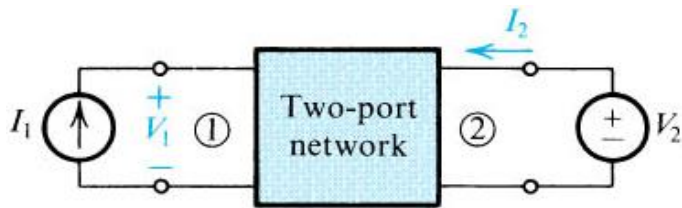
$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$



(b)

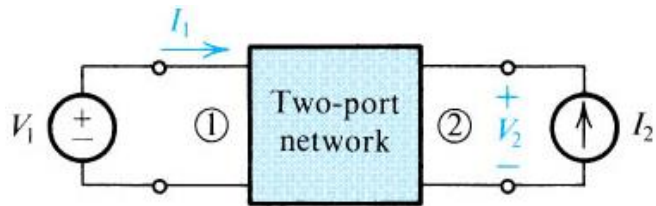
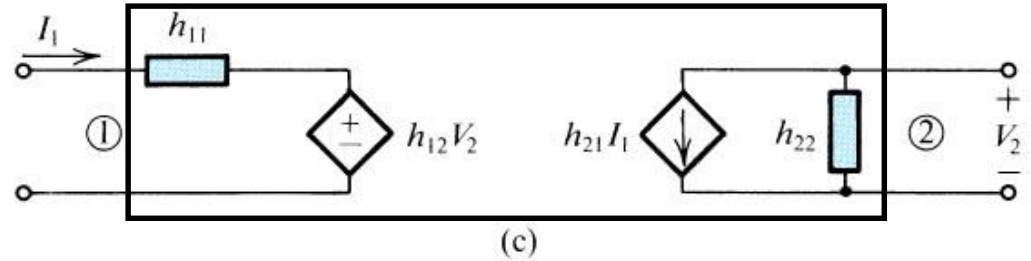


# Ισοδύναμα Κυκλώματα για τα αντίστοιχα δίθυρα (2 από 2)



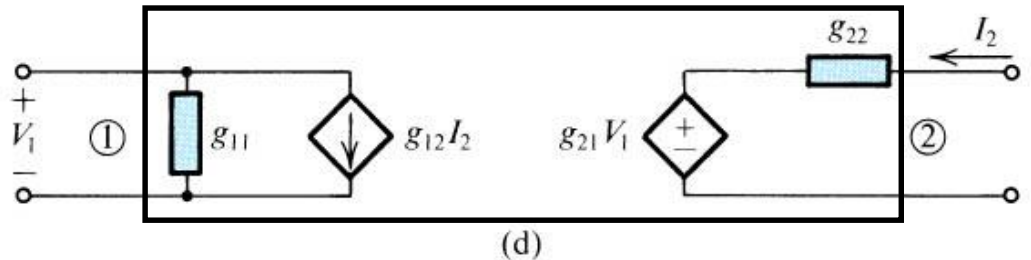
$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

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



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

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



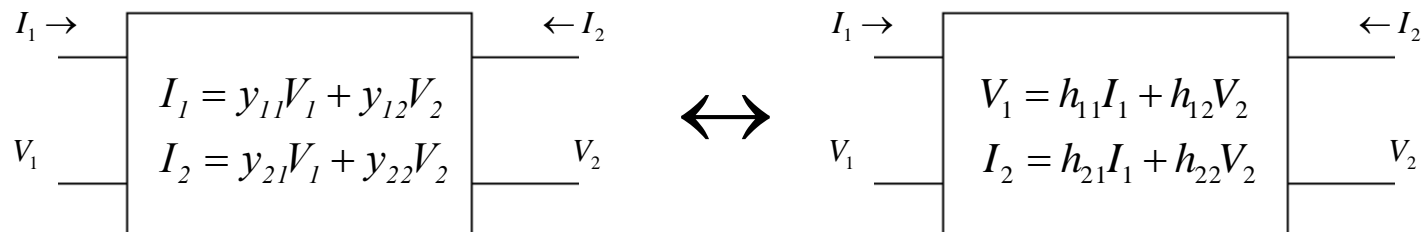


# Αντιστοιχία μεταξύ των παραμέτρων

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.



# Αντιστοιχία μεταξύ των παραμέτρων (συνέχεια απόδειξης)

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

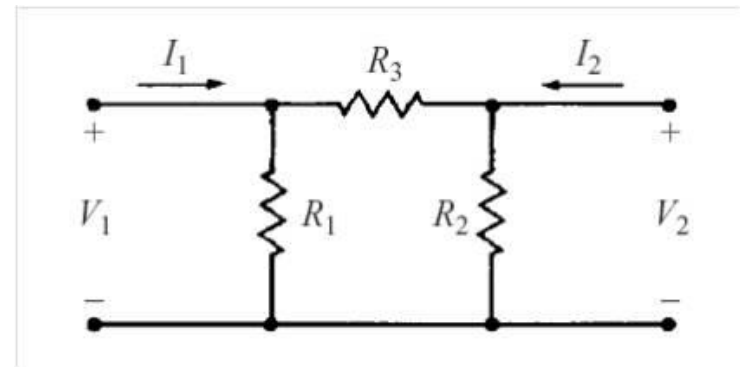
$$\left[ h_{11} = \frac{1}{y_{11}} \quad h_{12} = -\frac{y_{12}}{y_{11}} \quad h_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} \quad h_{22} = y_{22} - \frac{y_{12} \cdot y_{21}}{y_{11}} \right]$$

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



# Παράδειγμα (1 από 2)

Υπολογίστε τις τιμές των  $z$  παραμέτρων του κυκλώματος



# Παράδειγμα (2 από 2)

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

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

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

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

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

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

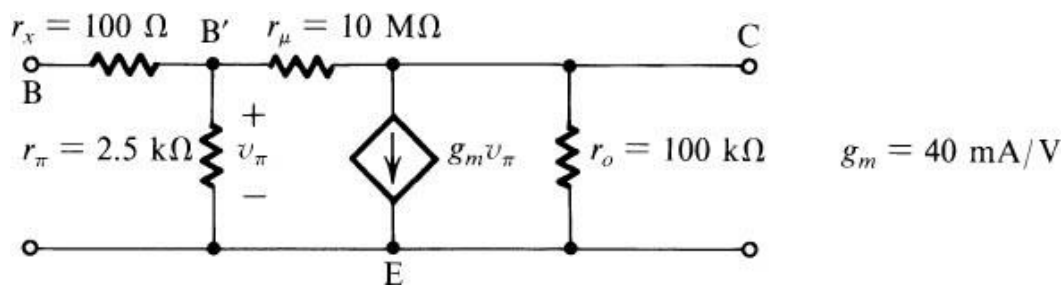
$$z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

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



# Άσκηση 4

Υπολογίστε τις τιμές των  $h$  παραμέτρων του παρακάτω κυκλώματος.



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

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

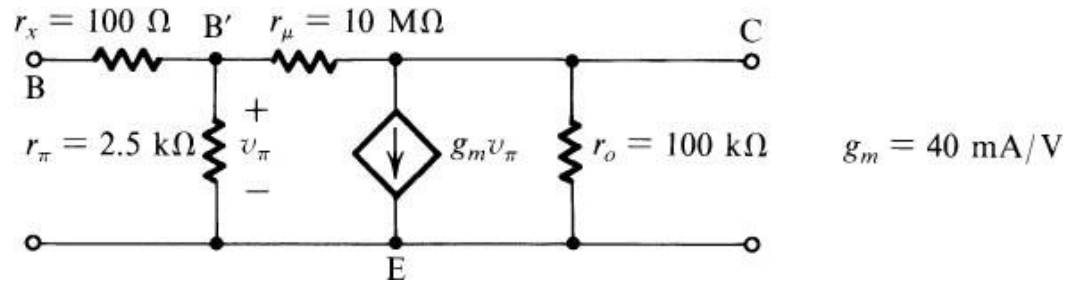
$$h_{21} = h_{fe} \approx g_m r_\pi = \beta$$

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

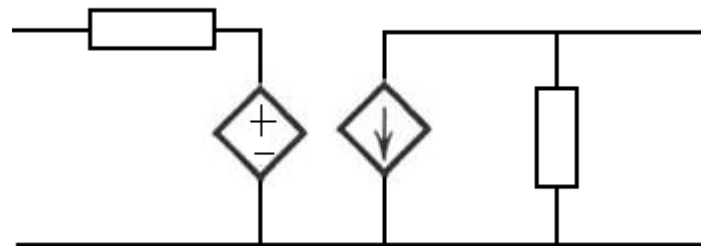
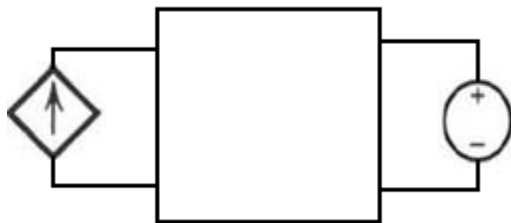
$$h_{22} = h_{oe} = \frac{1}{r_o} + \frac{g_m r_\pi + 1}{r_\mu + r_\pi} \approx \frac{1}{r_o}$$



# Λύση (1 από 6)



Το h υβριδικό ισοδύναμο ενός τετραπόλου (γενικά)

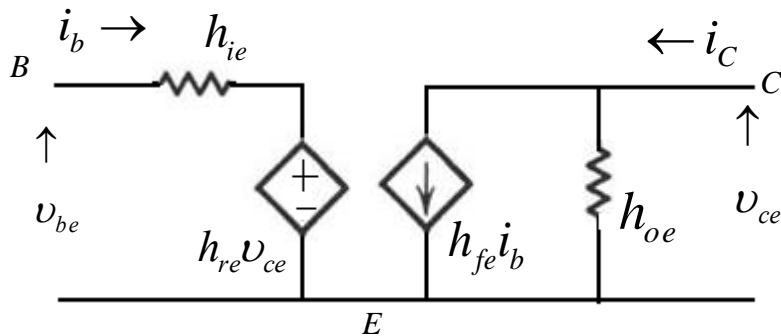


$$V_1 = h_{11}I_1 + h_{12}V_2$$

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

# Λύση (2 από 6)

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

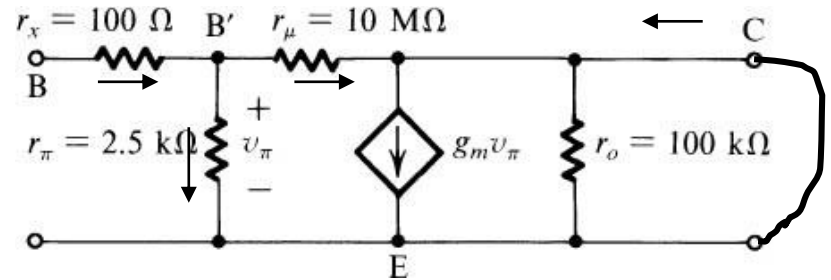
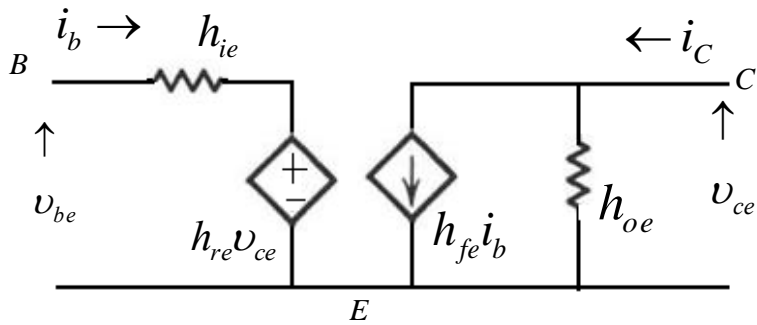


$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$$



# Λύση (3 από 6)



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

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

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





# Λύση (4 από 6)

$$i_c = i_{r_0} + g_m v_\pi - i_{r_\mu}, \quad i_{r_0} = \frac{v_{ce}}{r_0} = 0, \quad v_\pi = v_{be} \frac{r_\pi // r_\mu}{r_x + r_\pi // r_\mu}, \quad i_{r_\mu} = \frac{v_\pi}{r_\mu}$$

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

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



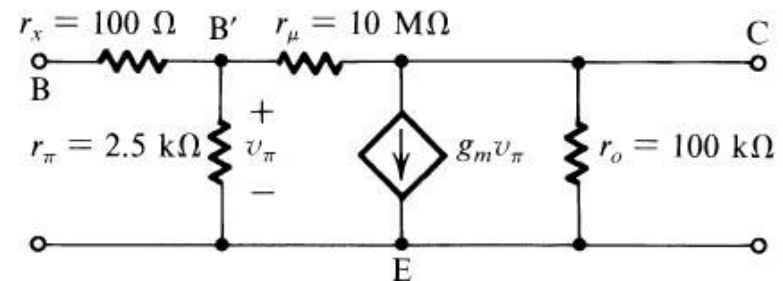
# Λύση (5 από 6)

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

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

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

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



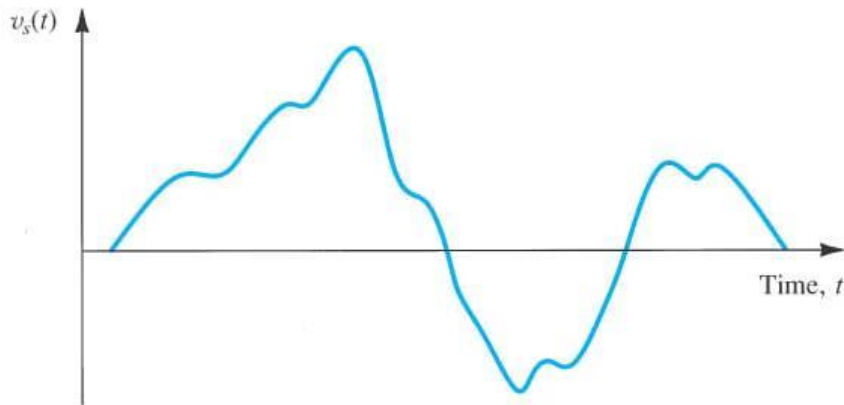
# Λύση (6 από 6)

$$i_c = \frac{v_{ce}}{r_0} + g_m v_\pi - \frac{v_\pi - v_{ce}}{r_\mu}, \quad v_\pi = v_{ce} \frac{r_\pi}{r_\pi + r_\mu}$$
$$\Rightarrow i_c = \frac{v_{ce}}{r_0} + g_m v_{ce} \frac{r_\pi}{r_\pi + r_\mu} - \frac{v_{ce}}{r_\mu} \frac{r_\pi}{r_\pi + r_\mu} + \frac{v_{ce}}{r_\mu} = v_{ce} \left[ \frac{1}{r_0} + \frac{g_m r_\pi}{r_\pi + r_\mu} - \frac{1}{r_\mu} \left( \frac{r_\pi}{r_\pi + r_\mu} - 1 \right) \right] =$$
$$= v_{ce} \left[ \frac{1}{r_0} + \frac{g_m r_\pi}{r_\pi + r_\mu} + \frac{1}{r_\mu + r_\pi} \right]$$
$$\Rightarrow h_{oe} = \frac{1}{r_0} + \frac{1}{r_\mu + r_\pi} (g_m r_\pi + 1) = \frac{1}{100k\Omega} + \frac{1}{2.5k\Omega + 10M\Omega} (40 \cdot 2.5 + 1) =$$
$$= \frac{1}{100k\Omega} + \frac{100}{10M\Omega} = \frac{2}{100} 10^{-3} \Omega^{-1} = 2 \cdot 10^{-5} \Omega^{-1}$$

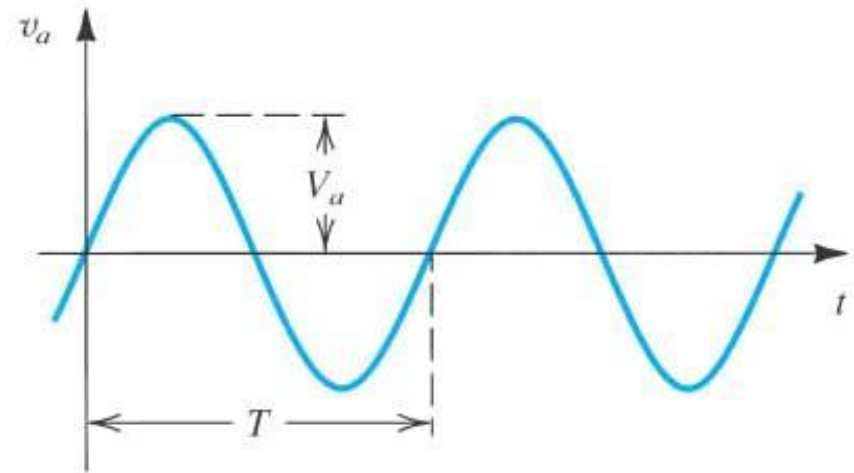


# Σήματα (1 από 4)

Τυχαίο, αναλογικό σήμα τάσης



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

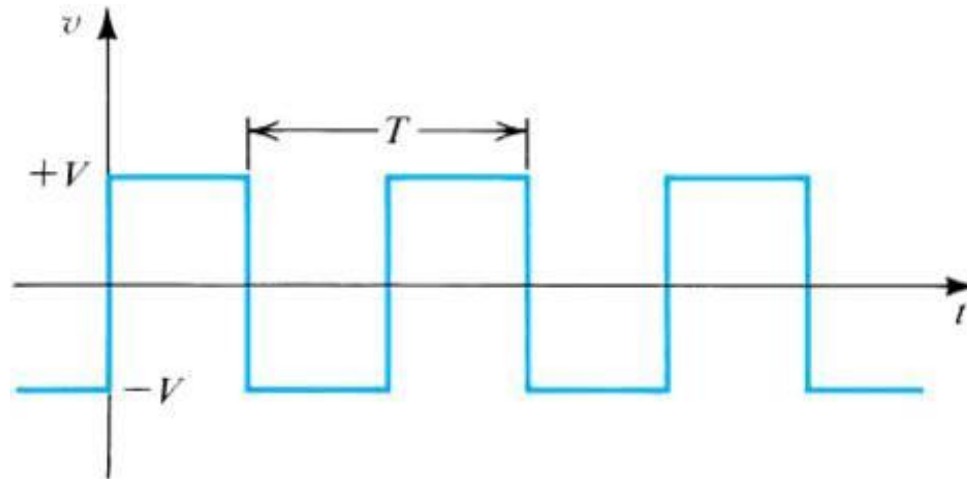


$$v_a(t) = V_a \sin \omega t$$



# Σήματα (2 από 4)

## Τετραγωνικός παλμός

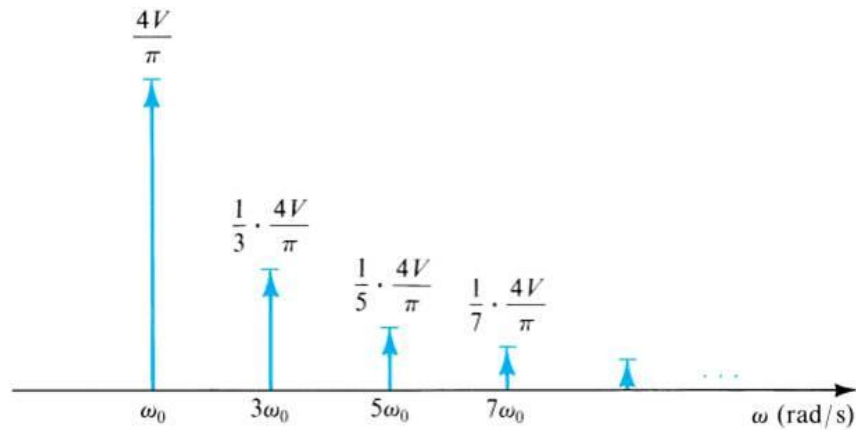


$$v(t) = \frac{4V}{\pi} \left( \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right)$$

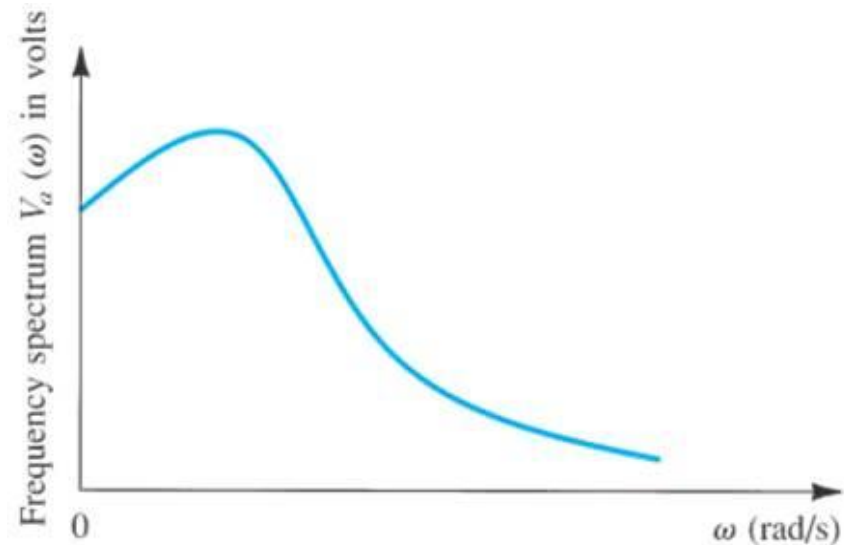


# Σήματα (3 από 4)

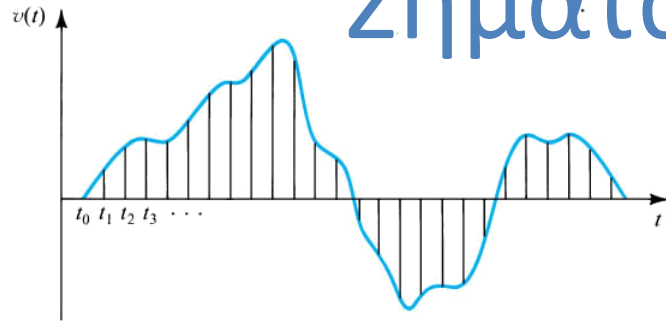
Φάσμα συχνοτήτων συμμετρικού τετραγωνικού παλμού τάσης



Φάσμα συχνοτήτων τυχαίου αναλογικού σήματος

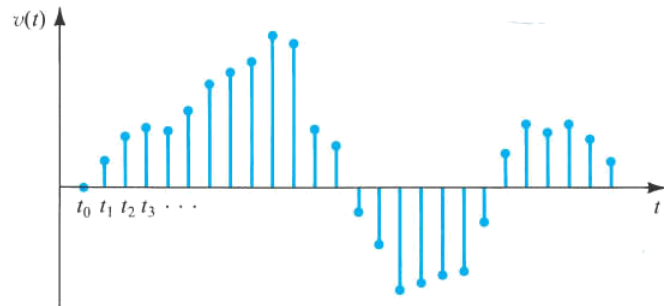


# Σήματα (4 από 4)



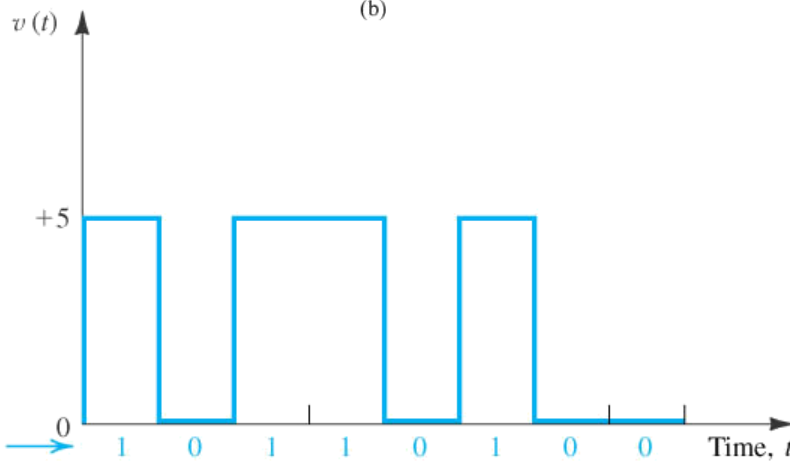
Δειγματοληψία αναλογικού σήματος συνεχούς χρόνου

(a)



Σήμα διακριτού χρόνου

(b)

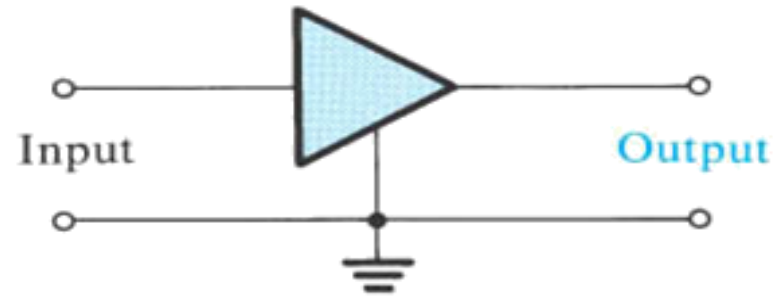
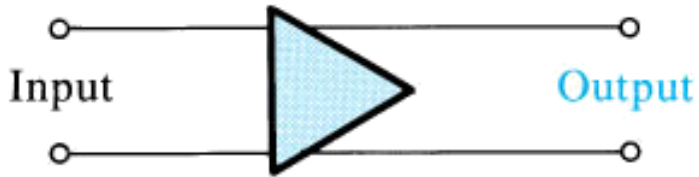


Ψηφιακός παλμός



# Ενισχυτές

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



$v_i$  : σήμα εισόδου

$v_o$  : σήμα εξόδου

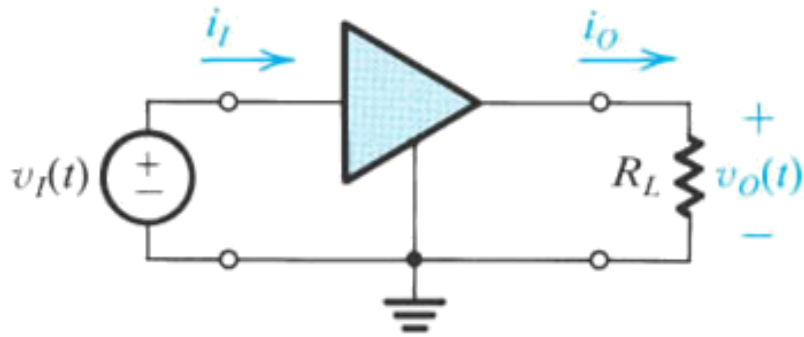
$A$  : απολαβή ή ενίσχυση τάσης

**Γραμμικός ενισχυτής τάσης**





# Ενισχυτής τάσης με φόρτο αντίσταση

 $R_L$ 

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

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

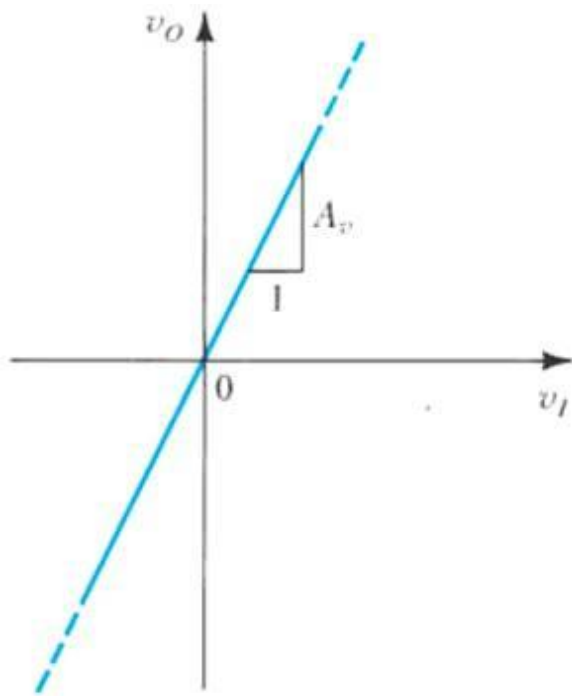
Απολαβή ρεύματος  $A_i \equiv \frac{i_O}{i_I}$

Έκφραση της απολαβής σε decibel

$$A_p = A_v A_i$$



# Γραμμικός Ενισχυτής



Χαρακτηριστική μεταφοράς γραμμικού ενισχυτή τάσης με απολαβή  $A_v$

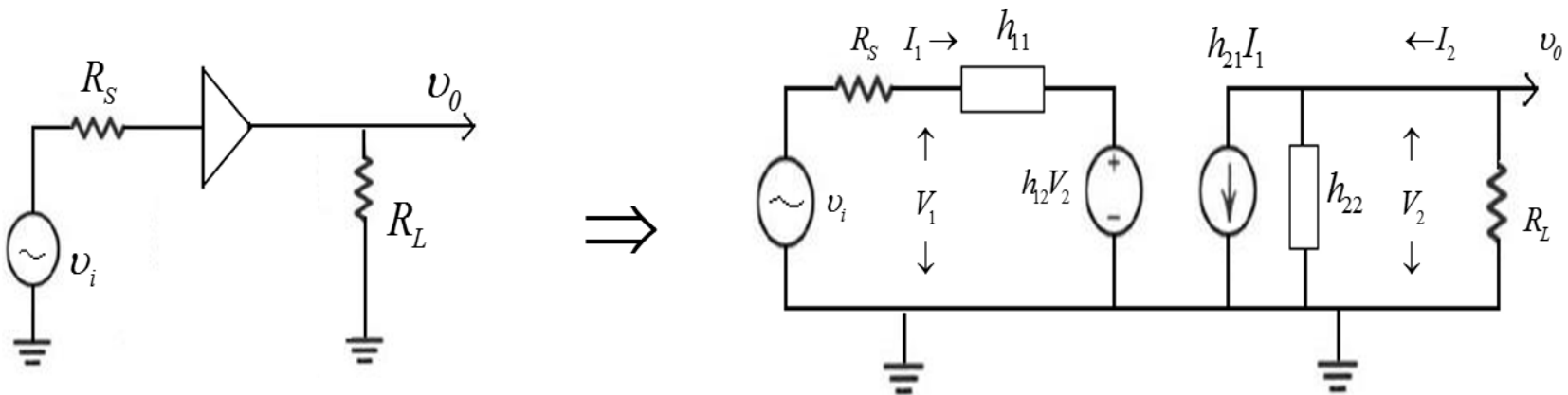
$$A_p = A_v A_i$$



# Άσκηση 5 (1 από 2)

Αν γνωρίζουμε τις h παραμέτρους του ενισχυτή του σχήματος, να υπολογιστεί η απολαβή τάσης του:

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



# Άσκηση 5 (2 από 2)

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

$$v_i = I_1R_S + I_1h_{11} + h_{12}V_2 \quad \left| \quad V_2 = v_0 \Rightarrow I_1(R_S + h_{11}) = v_i - h_{12}v_0 \quad (2)\right.$$

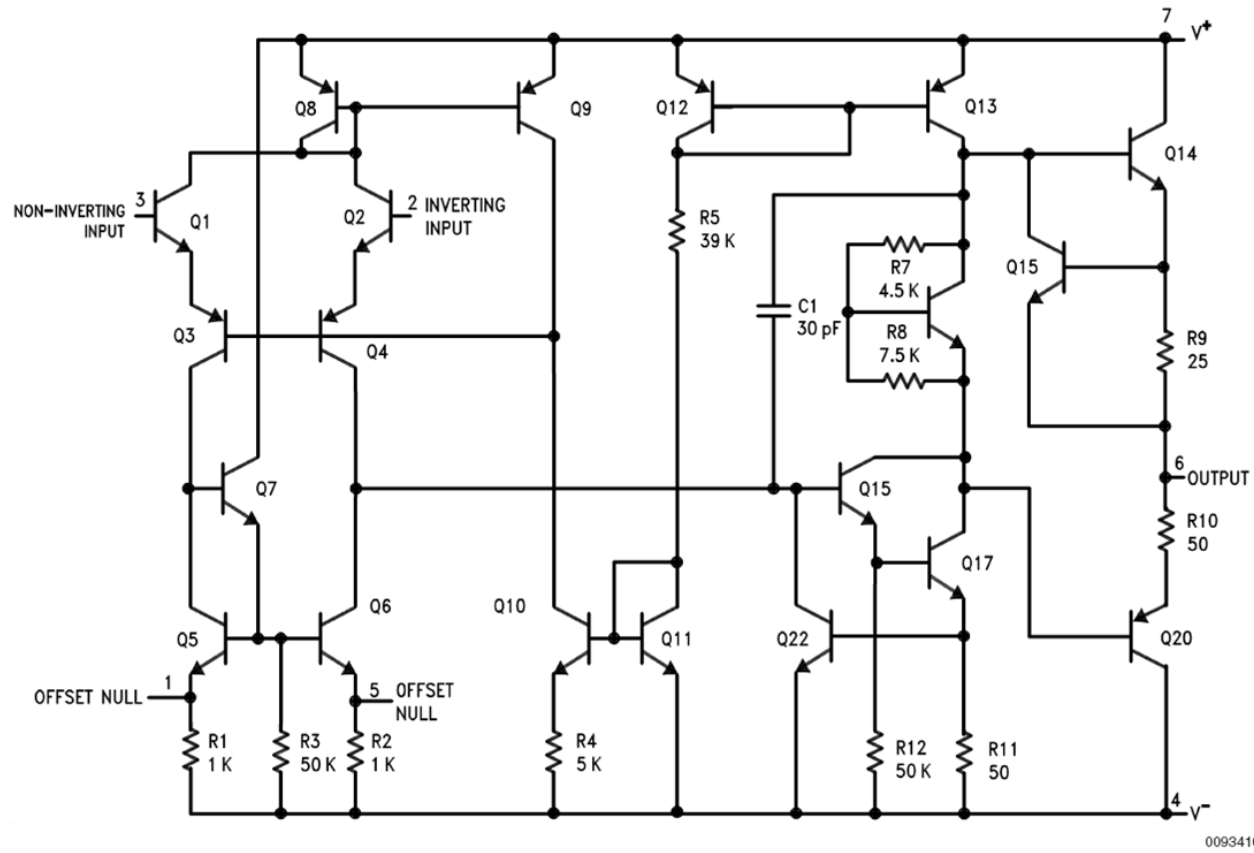
$$\frac{(2)}{(1)} \Rightarrow \frac{v_i - h_{12}v_0}{v_0} = \frac{I_1(R_S + h_{11})}{-h_{21}I_1\left(h_{22} + \frac{1}{R_L}\right)^{-1}} \Rightarrow \frac{v_i}{v_0} - h_{12} = -\frac{(R_S + h_{11})\left(h_{22} + \frac{1}{R_L}\right)}{h_{21}} \Rightarrow$$

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

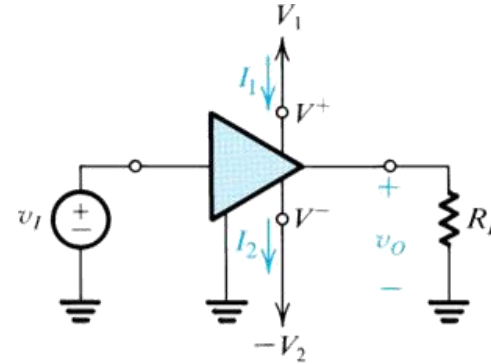
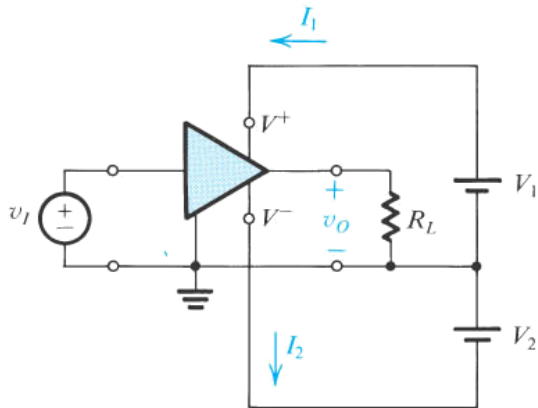


# Ο τελεστικός ενισχυτής «741»

## 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:  $P_T$
- Ισχύς που αποδίδεται στον φόρτο:  $P_L$

- Ισχύς που καταναλίσκεται στο κύκλωμα:  $P_{κατ}$

$$P_{dc} + P_I = P_L + P_{κατ}$$

- Απόδοση ισχύος του ενισχυτή:  $\eta \equiv \frac{P_L}{P_{dc}} \times 100$



# Παράδειγμα (1από2)

Ενισχυτής τροφοδοτείται με τάσεις  $\pm 10V$  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  $1k\Omega$ . Να υπολογιστούν οι απολαβές τάσης, ρεύματος και ισχύος καθώς και η απόδοση του ενισχυτή.



# Παράδειγμα (2από2)

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

$$I_{DC+,-} = 9.5mA \quad A_U = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{9V}{1V} = 9 \Rightarrow A_{U_{dB}} = 20 \log 9 = 19.08dB$$

$$V_{in} = 1V$$

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

$$I_{in} = 0.1mA$$

$$V_{out} = 9V$$

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

$$R_L = 1k\Omega$$

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

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

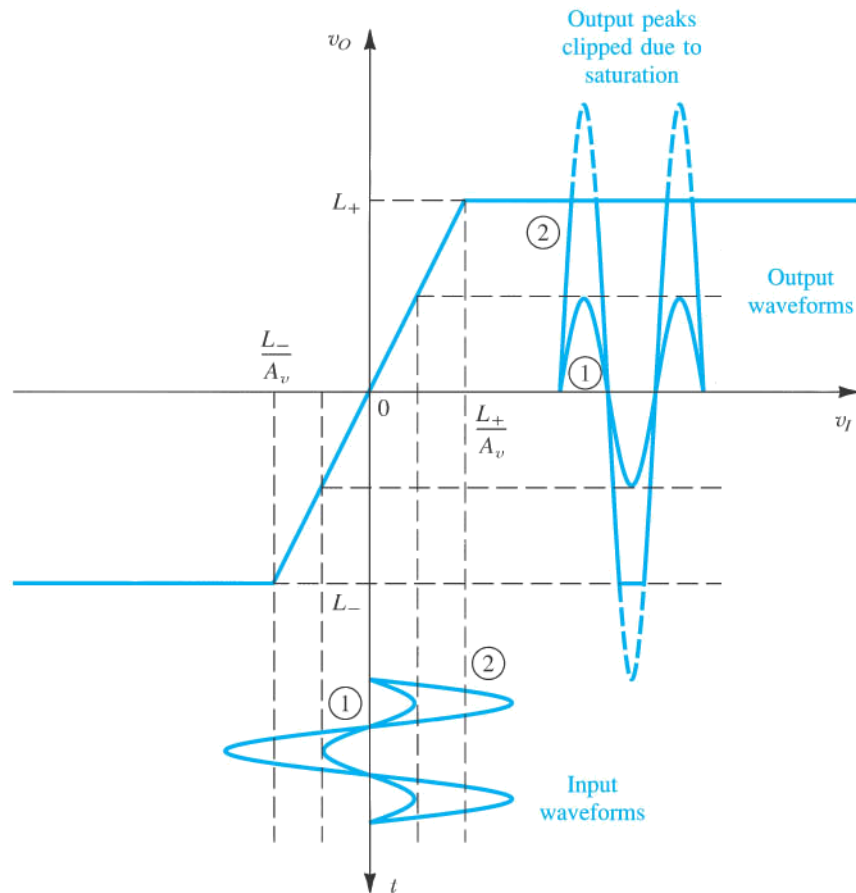
$$P_{\kappa\alpha\tau} = P_{DC} + P_{in} - P_{out} = (190 + 0.05 - 40.5)mW = 149.55mW$$

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

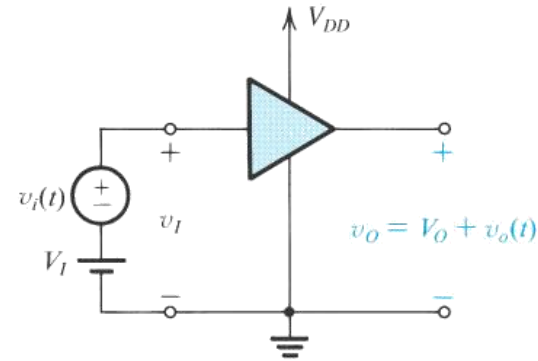
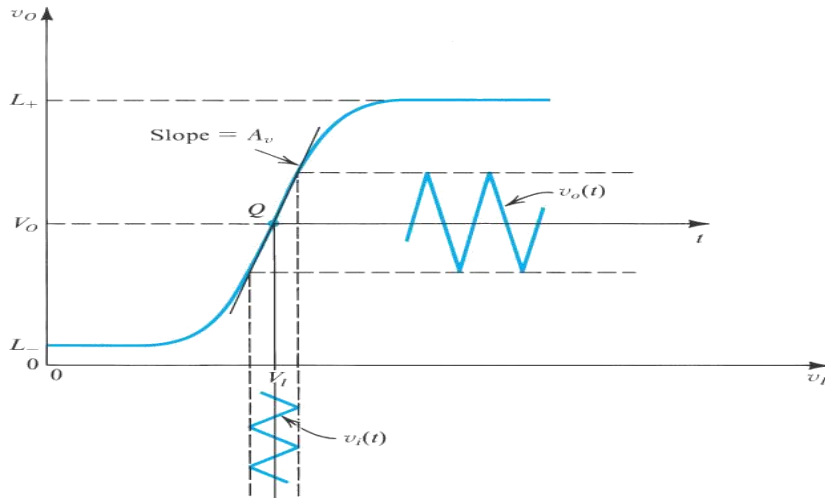




# Όρια γραμμικής λειτουργίας του ενισχυτή - Κόρος



# Μη γραμμική χαρακτηριστική μεταφοράς – Πόλωση του ενισχυτή



Στιγμαία τιμή της τάσης εισόδου:  $v_I(t) = V_I + v_i(t)$

όπου:  $v_O(t) = V_O + v_o(t)$

Στιγμαία τιμή της τάσης εξόδου:  $v_o(t) = A_v \cdot v_i(t)$

Η απολαβή τάσης είναι η κλίση της χαρακτηριστικής στο σημείο λειτουργίας:  $A_v \equiv \left. \frac{dv_O}{dv_I} \right|_Q$



# Άσκηση 6 (1από2)

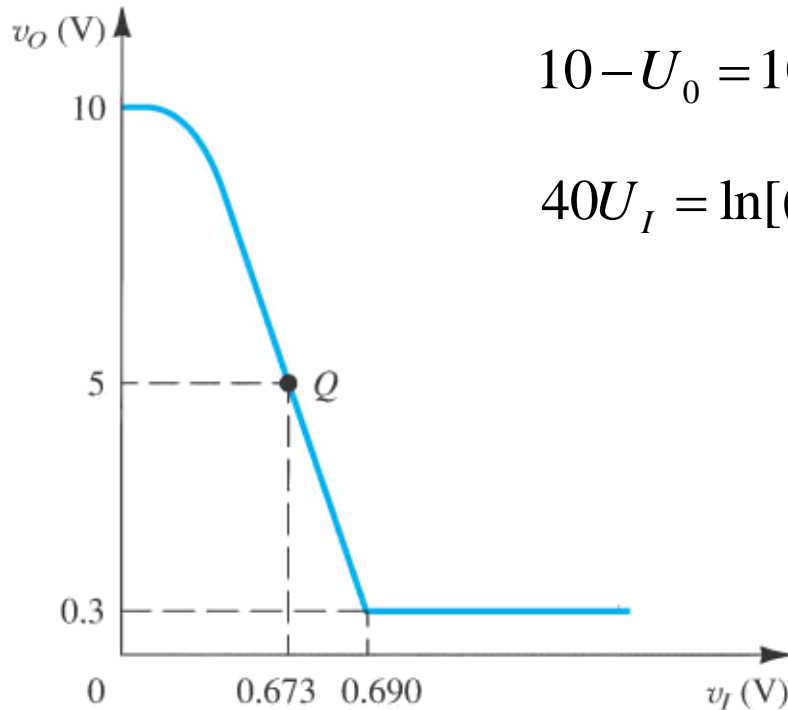
Δίνεται η χαρακτηριστική μεταφοράς ενός ενισχυτή:

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

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



# Άσκηση 6 (2από2)



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

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

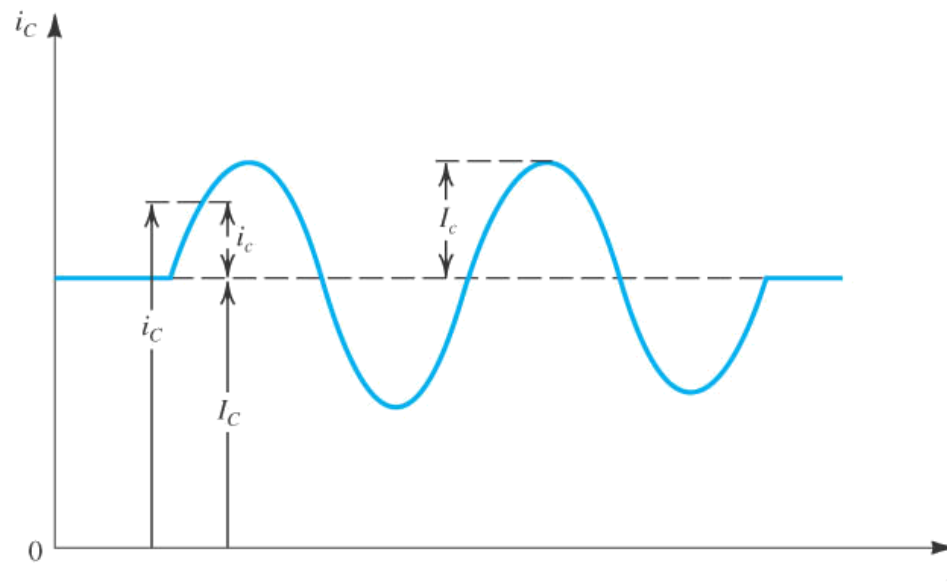
$$\text{για } U_0 = 0.3V \Rightarrow U_I = 0.690V$$

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

$$A = \left. \frac{dU_0}{dU_I} \right|_Q = -196.45$$



# Συμβολισμοί

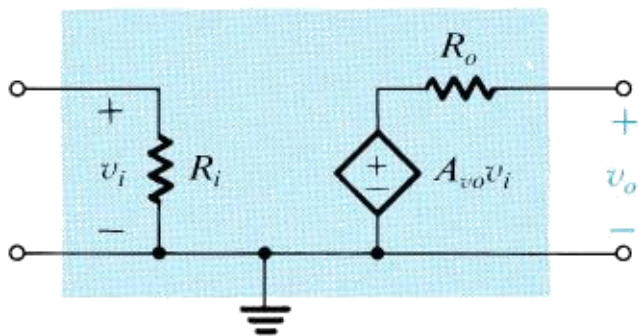


$$i_C = I_C + i_c = I_C + I_c \sin(\omega t + \varphi)$$

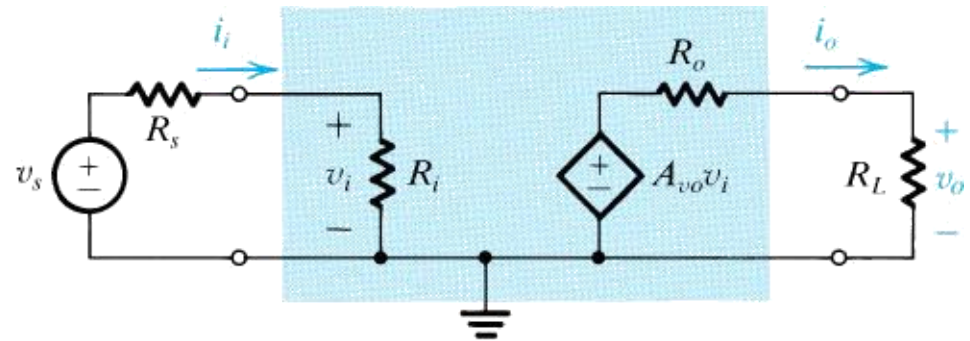


# Χρήση γραμμικών δικτυωμάτων για την ανάλυση των ενισχυτών

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)

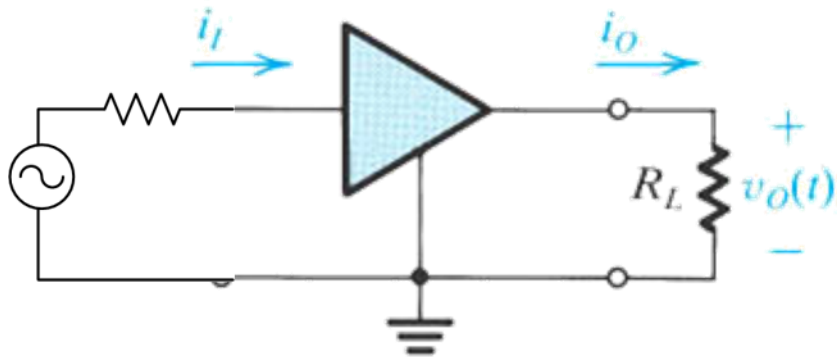


(b)

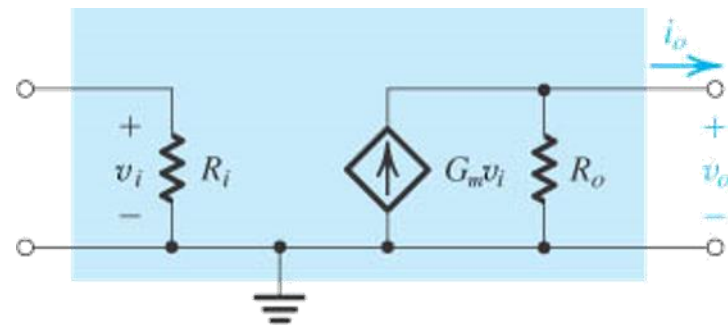


# Άσκηση 7

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)

# Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.01.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Αραπογιάννη Αγγελική 2014. «Ηλεκτρονική. Ενότητα 1: Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI4/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνα 10: <Ανακτήθηκε από commons.wikimedia.org>< Creative Commons Αναφορά προέλευσης 3.0 Μη εισαγόμενη>

<[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AMD\\_8088\\_die.JPG?uselang=el](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AMD_8088_die.JPG?uselang=el)>

Εικόνα 11: < Ανακτήθηκε από Wikipedia.gr ><Άδεια Creative Commons CC BY-SA 3.0>

<[http://en.wikipedia.org/wiki/Pentium\\_III#mediaviewer/File:KL\\_Intel\\_Pentium\\_III\\_Coppermine.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Pentium_III#mediaviewer/File:KL_Intel_Pentium_III_Coppermine.jpg)>

Εικόνα 12: <Ανακτήθηκε από Wikipedia.gr><Άδεια e Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported>

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel\\_CPU\\_Pentium\\_4\\_640\\_Prescott\\_bottom.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Intel_CPU_Pentium_4_640_Prescott_bottom.jpg)>

