

# ΑΣΚΗΣΗ 8

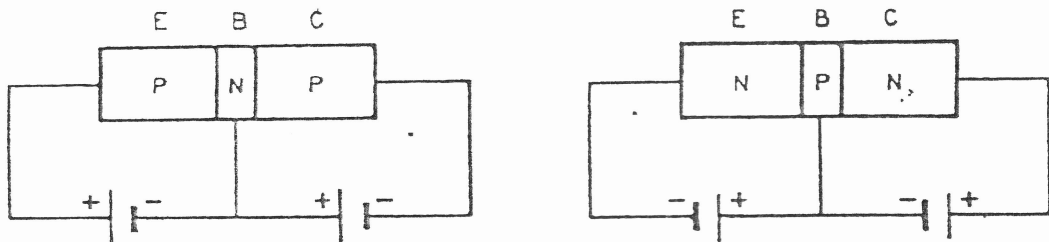
## ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Γενικά :

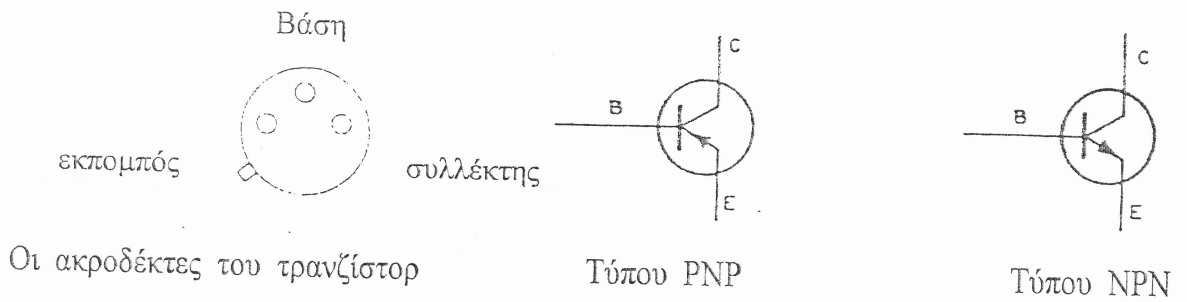
Το τρανζίστορ αποτελείται από δύο ημιαγωγούς τύπου P ή N που ανάμεσα τους έχει τοποθετηθεί ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού τύπου N ή P και τότε έχουμε αντίστοιχα το τρανζίστορ PNP και NPN. Οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται είναι βασικά πυριτίου ή γερμανίου. Το μεσαίο λεπτό στρώμα λέγεται βάση (BASE) και συμβολίζεται με το γράμμα (B) ο ημιαγωγός αριστερά από την βάση λέγεται εκπομπός (EMITTER) και συμβολίζεται με το γράμμα (E) και ο ημιαγωγός δεξιά λέγεται συλλέκτης (COLLECTOR) και συμβολίζεται με το γράμμα (C).

Στο σχ. 1 φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση του τρανζίστορ PNP και NPN στην ενεργό περιοχή λειτουργίας με τις αντίστοιχες πολώσεις.



Σχ. 1.

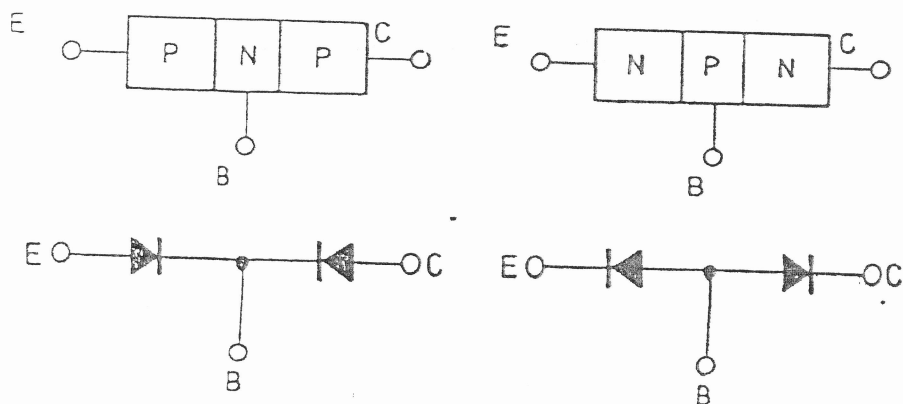
Στο σχ. 2 φαίνονται τα ηλεκτρικά σύμβολα των τρανζίστορ τύπου PNP και NPN και οι ακροδέκτες.



Σχ. 2.

Οι διαφορετικοί συμβολισμοί δείχνουν την διαφορετική φορά ρεύματος για κάθε τύπο τρανζίστορ, έτσι το βέλος στον εκπομπό δείχνει την φορά του ρεύματος από την βάση στον εκπομπό κατά την ορθή πόλωση.

Προσεγγιστικά το τρανζίστορ μπορεί να περιγραφεί σαν δύο δίοδοι όπως φαίνεται στο παρακάτω σχ. 3.



Σχ. 3.

Βέβαια οι δύο αυτές διόδοι δεν μπορούν να αντικαταστήσουν το τρανζίστορ από λειτουργική άποψη. Ακόμη όπως είναι συνδεδεσολογημένες δεν υπάρχει ρεύμα βάσης και χωρίς ρεύμα βάσης δεν υπάρχει ροή ρεύματος από τον εκπομπό στον συλλέκτη, δηλαδή το ρεύμα βάσης παρόλο που είναι μικρό είναι απαραίτητο για την λειτουργία του τρανζίστορ. Τα χαρακτηριστικά της επαφής PN όπως στις διόδους έτσι και στο τρανζίστορ καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του. Επομένως το τρανζίστορ πυριτίου έχει τάση φραγμού ή καταωφλίου όταν είναι ορθά πολωμένο  $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$  και του γερμανίου  $U_{BE} = 0,2 \text{ V}$ .

Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τρανζίστορ είναι κωδικοποιημένα και γραμμένα επάνω στο μικρό τους μέγεθος που συνήθως κυμαίνεται σε μερικά τετραγωνικά χιλιοστά.

Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνει γράμματα και αριθμούς.

Το πρώτο γράμμα αναφέρεται στο υλικό κατασκευής, όπως :

- A = Τρανζίστορ γερμανίου
- B = Τρανζίστορ πυριτίου
- C = Τρανζίστορ από αρσενικούχο γάλλιο
- D = Τρανζίστορ από αντιμονιούχο ίνδιο

Το δεύτερο γράμμα αναφέρει το είδος του τρανζίστορ όπως :

- C = Τρανζίστορ ισχύος ακουστικής συχνότητας
- F = Τρανζίστορ για υψηλές συχνότητες
- L = Τρανζίστορ ισχύος υψηλής συχνότητας
- S = Τρανζίστορ διακόπτης
- U = Τρανζίστορ διακόπτης σε κυκλώματα ισχύος.

Το τρίτο γράμμα δηλώνει την κατασκευή ποιότητας (το τρίτο γράμμα δεν υπάρχει πάντα) και ο αριθμός που ακολουθεί τα γράμματα αναφέρει τη σειρά παραγωγής.

**Πως βρίσκουμε με ωμόμετρο τον τύπο του Τρανζίστορ και αν είναι καλό ή κατεστραμμένο.**

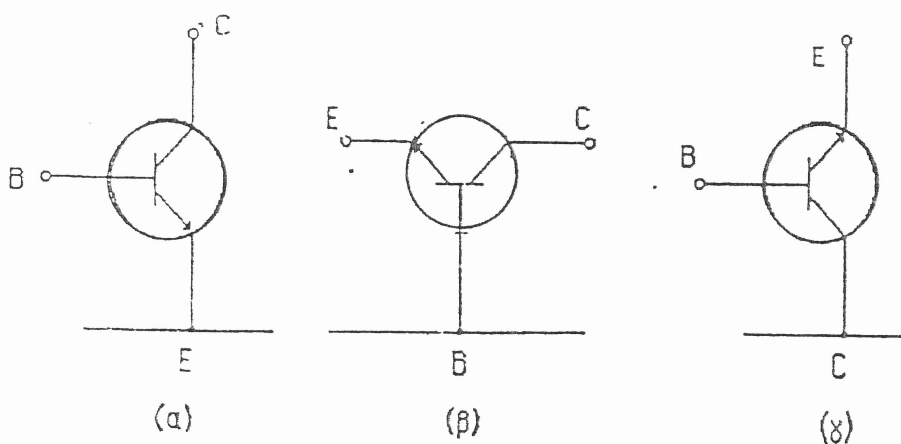
Τοποθετούμε το θετικό ακροδέκτη του ωμόμετρου στην βάση του τρανζίστορ και το αρνητικό στον εκπομπο και στον συλλέκτη εναλλακτικά.

Αν η κλίμακα του ωμομέτρου είναι  $\times 10$  και μας δείξει πάνω από  $200\text{ K}\Omega$  τότε το τρανζίστορ είναι PNP και δεν είναι κατεστραμμένο.

Αν μας δείξει πλήρη απόκλιση της βελόνας τότε το τρανζίστορ είναι NPN και δεν είναι κατεστραμμένο.

**Συνδεσμολογίες του Τρανζίστορ.**

Το τρανζίστορ έχει τρεις τρόπους συνδεσμολογίας σε ένα κύκλωμα όπως φαίνεται στο σχ. 4 α, β, γ.



Σχ. 4.

Η κάθε συνδεσμολογία φέρει την ονομασία του ακροδέκτη του τρανζίστορ που είναι κοινός μεταξύ της εισόδου και της εξόδου και ονομάζεται :

Κοινού εκπομπού (COMMON EMITTER) - (CE).

Κοινής βάσης (COMMON BASE) - (CB).

Κοινού συλλέκτη (COMMON COLLECTION) - (CC).

### **Πόλωση του Τρανζίστορ.**

Γενικά πόλωση λέμε οποιαδήποτε κατάσταση που δεν απομακρύνεται από ορισμένα χαρακτηριστικά της. Στο τρανζίστορ με τον όρο “πόλωση” εννοούμε την κατάλληλη συνεχή τάση που πρέπει να εφαρμόσουμε στο κύκλωμα ώστε να εξασφαλίσουμε την σωστή λειτουργία του στο συνεχές, αλλά και στην περίπτωση που θα εφαρμόζαμε και εναλλασσόμενο σήμα στην είσοδο του κυκλώματος.

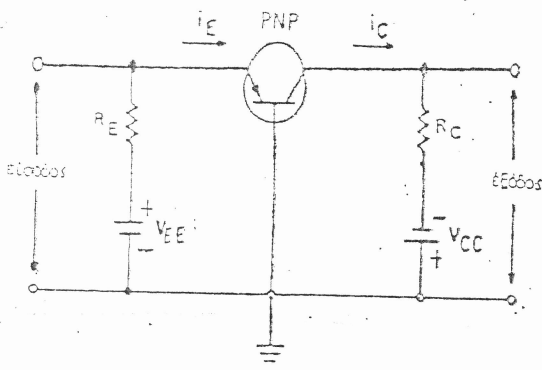
### **Συνδεσμολογία κοινής βάσης.**

Θα γίνει μια συνοπτική ανάλυση για κάθε συνδεσμολογία τρανζίστορ PNP αλλά η ίδια ανάλυση ισχύει και για τα τρανζίστορ τύπου NPN αρκεί να αντιστρέψουμε τις πολικότητες από τις πηγές και τις φορές των ρευμάτων.

Στο παρακάτω σχ. 5 έχουμε τη συνδεσμολογία τρανζίστορ με κοινή βάση.

Ο κοινός ακροδέκτης είναι η βάση. Η είσοδος είναι μεταξύ εκπομπού και του κοινού ακροδέκτη και η έξοδος μεταξύ του συλλέκτη και του κοινού ακροδέκτη. Την ενίσχυση ή απολαβή ρεύματος που δημιουργεί το τρανζίστορ τη σημειώνουμε με το γράμμα ( $\alpha$ ) και δίνεται από τη σχέση :

$$\alpha = \frac{I_C - I_{CO}}{I_E}$$



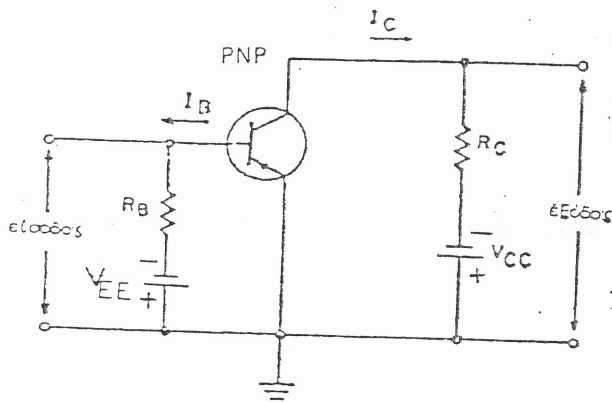
Σχ. 5.

$I_C$  = ρεύμα συλλέκτη  
 $I_{CO}$  = ρεύμα διαρροής στην επο  
 συλλέκτη - βάση  
 $I_E$  = ρεύμα εκπομπού  
 Επειδή το ρεύμα διαρροής ( $I_{CO}$ )  
 είναι πολύ μικρότερο από το  
 ρεύμα συλλέκτη  $I_C$  η παραπάνω  
 σχέση μπορεί να γίνει :

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

**Συνδεσμολογία κοινού εκπομπού.**

Στο σχ. 6 έχουμε την συνδεσμολογία με κοινό εκπομπο. Ο κοινός ακροδέκτης είναι ο εκπομπός.



Σχ. 6.

Η είσοδος είναι μεταξύ βάσης και κοινού ακροδέκτη και η έξοδος μεταξύ συλλέκτη και κοινού ακροδέκτη. Την ενίσχυση ή απολαβή του ρεύματος που δημιουργεί το τρανζίστορ την σημειώνουμε με το γράμμα B και δίδεται από την σχέση :

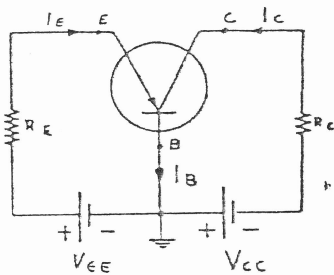
$$B = \frac{I_C - I_{CO}}{I_B - (-I_{CO})} = \frac{I_C - I_{CO}}{I_B + I_{CO}}$$

Επειδή το ρεύμα διαρροής ( $I_{CO}$ ) είναι πολύ μικρό η παραπάνω σχέση μπορεί να γίνει:

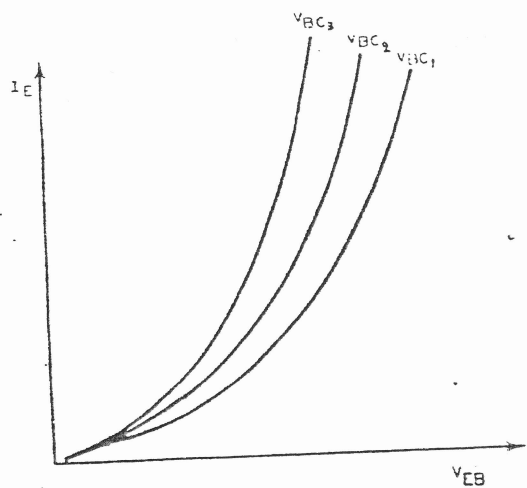
$$B \approx \frac{I_C}{I_B}$$

### Χαρακτηριστικές καμπύλες του Τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινής βάσης. Χαρακτηριστικές εισόδου.

Θα αναλύσουμε με λεπτομέρεια τις χαρακτηριστικές καμπύλες εισόδου και εξόδου τρανζίστορ PNP σε συνδεσμολογία κοινής βάσης, γιατί στην πειραματική εργασία που θα ακολουθήσει το τρανζίστορ που χρησιμοποιούμε είναι PNP και σε συνδεσμολογία κοινής βάσης. Το κύκλωμα τρανζίστορ PNP κοινής βάσης φαίνεται στο κύκλωμα του σχ. 7 και δίπλα στο σχ. 8 οι χαρακτηριστικές εισόδου.



Σχ. 7.



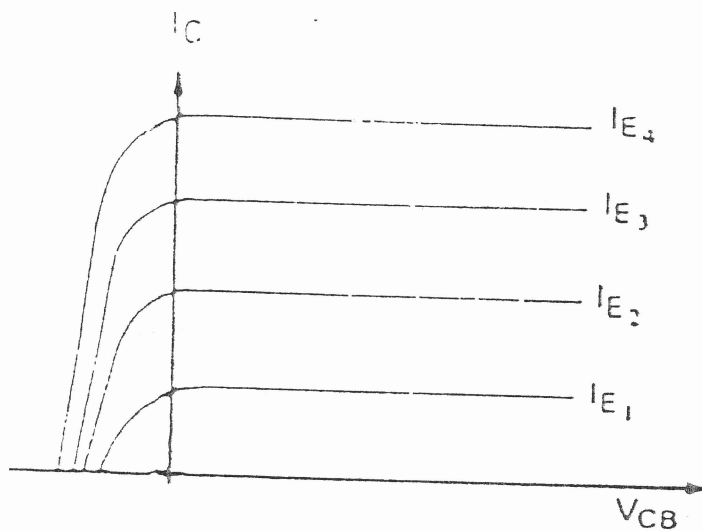
Σχ. 8.

Που δείχνουν τις μεταβολές του ρεύματος εκπομπού σε σχέση με τις μεταβολές της τάσης εκπομπού - βάσης  $I_E = F(V_{EB})$ .  
Με παράμετρο τη τάση B - C ( $V_{BC}$ ).

### Χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου.

Για να λειτουργήσει στην γραμμική περιοχή το κύκλωμα βάσης - συλλέκτη πρέπει να πολωθεί κατά την ανάστροφη φορά όπως φαίνεται στο σχ. 7. Όποτε μπορούμε να πάρουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου όπως φαίνονται στο σχ. 9.

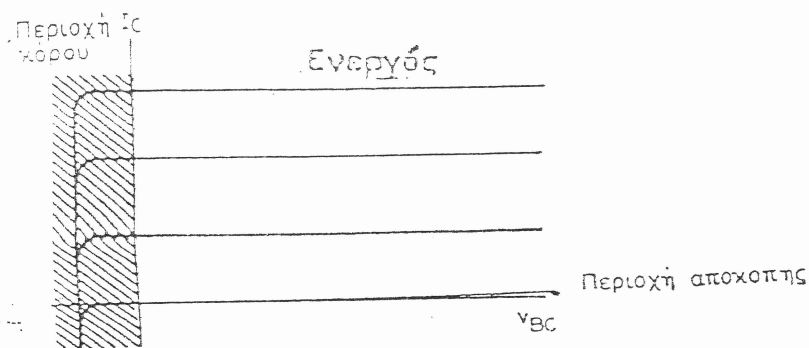
Οι χαρακτηριστικές εξόδου δείχνουν τις μεταβολές του ρεύματος συλλέκτη σε συνάρτηση της τάσης συλλέκτη - βάσης  $I_C = F(V_{CB})$  με παράμετρο το ρεύμα εκπομπού.



Σχ. 9.

Οι χαρακτηριστικές αυτές καμπύλες χωρίζονται σε τρεις περιοχές, την περιοχή κόρου, στην ενεργό ή γραμμική περιοχή και στην περιοχή αποκοπής όπως φαίνεται το σχ. 10.





Σχ. 10.

### Περιοχή κόρου :

Είναι η περιοχή που και οι δύο επαφές του εκπομπού βάσης και του συλλέκτη βάσης είναι πολωμένες ορθά δηλαδή η τάση στον συλλέκτη είναι μηδέν, ή αρνητική σε σχέση με τη βάση ενώ στην ενεργό ή γραμμική περιοχή είναι θετική.

Με το τρανζίστορ σε κόρο μια μικρή αλλαγή στην τάση συλλέκτη επιδρά με μία μεγάλη αλλαγή στο ρεύμα συλλέκτη.

Η εξίσωση της γραμμής φορτίου του τρανζίστορ είναι :

$$V_{CC} = V_{CB} + I_C \cdot R_C$$

Στην παραπάνω σχέση η  $V_{CB}$  έχει πολύ μικρή τιμή συγκριτικά με τους άλλους όρους της εξίσωσης άρα το ρεύμα στον συλλέκτη θα είναι :

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

### Γραμμική ή ενεργός περιοχή :

Στην ενεργό περιοχή η επαφή εκπομπού – βάσης είναι ορθά πολωμένη και η επαφή συλλέκτη – βάσης ανάστροφα. Χωρίς ρεύμα εκπομπού, μόνο το ρεύμα διαρροής  $I_{CO}$  θα περνά στο κύκλωμα συλλέκτη.

Με μία ορθή πόλωση και ένα ρεύμα που περνά στο κύκλωμα εκπομπού, ένα ρεύμα  $\alpha \cdot I_E$  θα προστεθεί στο κύκλωμα του συλλέκτη και το συνολικό ρεύμα που θα περνά από τον συλλέκτη θα είναι:  $I_C = I_{CO} + \alpha \cdot I_E$  όπου  $\alpha$  είναι ο συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος ή το κέρδος ρεύματος στο τρανζίστορ και ο λόγος της μεταβολής του ρεύματος του συλλέκτη προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος εκπομπού.

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \quad V_{CB} = \text{σταθερό}$$

Στη γραμμική ή ενεργό περιοχή το ρεύμα του συλλέκτη εξαρτάται μόνο από το ρεύμα εκπομπού και δεν επηρεάζεται σημαντικά από την τάση του συλλέκτη. Η τιμή του συντελεστή ενίσχυσης ρεύματος  $\alpha \sim 0,9$  και η τιμή αυτή αλλάζει για κάθε τύπο τρανζίστορ.

#### Περιοχή αποκοπής :

Από τις χαρακτηριστικές εξόδου του τρανζίστορ μπορούμε να δούμε ότι στην περιοχή αποκοπής το  $I_C$  είναι σχεδόν μηδέν για οποιαδήποτε τιμή της τάσης  $V_{CB}$  όταν το  $I_E = 0$  και η περιοχή κάτω από αυτή τη γραμμή λέγεται περιοχή αποκοπής.

Στην αποκοπή το ρεύμα συλλέκτη είναι ίσο με το ρεύμα διαρροής  $I_C = I_{CO}$ .

#### Αντίσταση εισόδου $R_{εισ}$ :

Η αντίσταση  $R_{εισ}$  είναι ο λόγος της μεταβολής της τάσης εισόδου προς τη μεταβολή του ρεύματος εισόδου ενώ η τάση εξόδου είναι σταθερή.

$$R_{\text{εισ}} = \frac{\Delta U_{\text{εισ}}}{\Delta I_{\text{εισ}}} \quad \text{για } U_{\text{εξ}} = \text{σταθερή}$$

ή

$$R_{\text{εισ}} = \frac{\Delta U_{\text{BE}}}{\Delta I_{\text{E}}} \quad \text{για } V_{\text{BC}} = \text{σταθερή}$$

Η τιμή αυτής της αντίστασης μπορεί να υπολογιστεί από τις χαρακτηριστικές εισόδου για την συνδεσμολογία κοινής βάσης, η αντίσταση εισόδου είναι πολύ μικρή.

### Αντίσταση εξόδου $R_{\text{εξ}}$ :

Η αντίσταση εξόδου ( $R_{\text{εξ}}$ ) είναι ο λόγος της μεταβολής της τάσης εξόδου προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος εξόδου, ενώ το ρεύμα εισόδου είναι σταθερό.

$$R_{\text{εξ}} = \frac{\Delta U_{\text{εξ}}}{\Delta I_{\text{εξ}}} \quad \text{για } I_{\text{εισ}} = \text{σταθερό}$$

ή

$$R_{\text{εξ}} = \frac{\Delta U_{\text{BC}}}{\Delta I_{\text{C}}} \quad \text{για } I_{\text{E}} = \text{σταθερό}$$

Η τιμή αυτής της αντίστασης μπορεί να υπολογιστεί από τις χαρακτηριστικές καμπύλες εξόδου και είναι αρκετά μεγάλη, δεκάδων ή εκατοντάδων ΚΩ.