

✓ Βασικές Λειτουργίες των TR

Το TR για να λειτουργήσει απαιτεί να εφαρμοστούν σε αυτό τάσεις –δυναμικά για να κινηθούν μέσα σε αυτά τα αντίστοιχα ρεύματα. Τα δυναμικά που μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό είναι:

- Συνεχή = DC = στατική λειτουργία-πόλωση του TR = λειτουργία του TR πριν την εφαρμογή της πληροφορίας-σήμα $x(t)$ Σελίδα 87 του Β.Θ.Μ
- Δυναμική λειτουργία = AC λειτουργία = λειτουργία η οποία υπερτίθεται στην στατική λειτουργία του TR. = λειτουργία του TR μετά την εφαρμογή της πληροφορίας-σήμα $x(t)$ Σελίδα 87 του Β.Θ.Μ

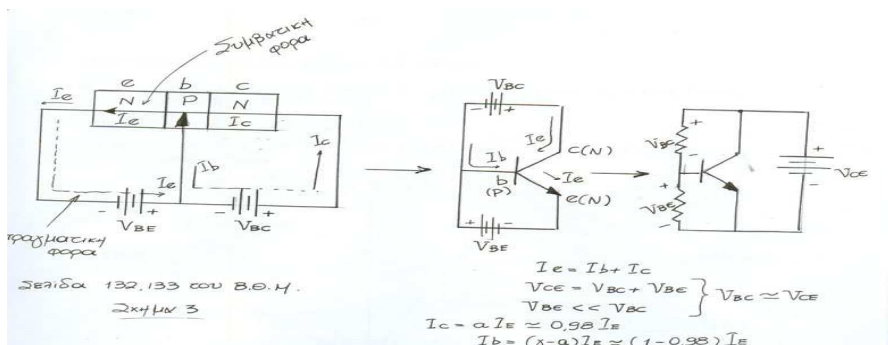
1. Στατική λειτουργία του TR

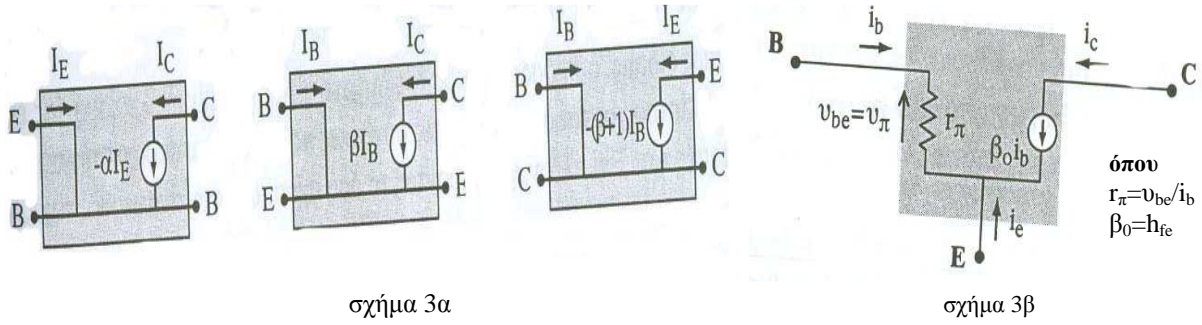
Με τα DC δυναμικά όταν πρόκειται να του οδηγήσουμε στη συνέχεια AC σήμα προς επεξεργασία έχουμε την στατική λειτουργία του TR ή αλλιώς την πόλωση του TR. Τα μεγέθη αυτά παίζουν καθοριστικό ρόλο για το τι επεξεργασία θα κάνει το TR στο σήμα άρα τι σύστημα θα φτιαχτεί αφού το σήμα (AC) υπερτίθεται πάνω στη πόλωση (=DC τάση) του TR Σελ.87 του Β.Θ.Μ. Τα DC δυναμικά (τάσεις) καθώς και τα DC ρεύματα που εμφανίζονται αντίστοιχα στο TR είναι:

- Η τάση V_{BE} πολώνει την **επαφή Βάση-Εκπομπού ορθά** (σχήμα 3) σελ 132 του Β.Θ.Μ
- Η τάση V_{BC} πολώνει την **επαφή Βάση-Συλλέκτη ανάστροφα** (σχήμα 3) και στη σελ 132 του Β.Θ.Μ
- Η $V_{CE} = V_{BE} + V_{BC}$
- $V_{BE} \ll V_{BC}$ γιατί η V_{BE} απαιτείται να κινήσει το ρεύμα I_E στην ορθά πολωμένη επαφή BE, άρα μικρή, ενώ η V_{BC} απαιτείται για να κινήσει το ρεύμα I_C . Η επαφή BC είναι ανάστροφα πολωμένη $\rightarrow V_{BC}$ μεγάλη (σχήμα 3α) και σελ 132 του Β.Θ.Μ $\rightarrow V_{BC} \gg V_T = LT/\gamma \rightarrow V_{BC} > 26mV$ για $T=25^\circ C$
- $V_{BC} \cong V_{CE}$ διότι $V_{CE} = V_{BE} + V_{BC}$ και $V_{BE} \ll V_{BC}$ όπως προαναφέρθηκε
- Το $|I_E| = |I_B| + |I_C|$ όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3, αλλά και στη σελ 133 του Β.Θ.Μ
- Το $I_E = \gamma I_E + (1-\gamma)I_E$ όπου γI_E =ρεύμα φορέων πλειονότητας, $(1-\gamma)I_E$ =ρεύμα φορέων πλειονότητας της βάσης (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)
- Το $I_C = -\alpha I_E + I_{CBO}$ όπου αI_E = το ρεύμα π.χ. των ηλεκτρονίων(=πλειονότητας) για NPN TR που φτάνει στον συλλέκτη με $\alpha=0,9-0,998$ και $I_{CBO} = I_{CO} = I_{S(BO)}$ = το ρεύμα που κινείται από τον συλλέκτη προς τη βάση με θετική φορά για NPN TR =το ανάστροφο ρεύμα κόρου της επαφής BC. Το 0 στο I_{CO} συμβολίζει ότι ο εκπομπός θεωρείται ανοικτός, δηλαδή χωρίς να εφαρμόζεται τάση σ’ αυτόν. βάσης (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)
- Το $I_B = -(\gamma-\alpha)I_E - I_{CBO}$. Βάσει αυτής και των προηγούμενων και θεωρώντας το $\gamma=1 \rightarrow I_E + I_B + I_C = 0$ (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)
- Το α = συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος για μεγάλα σήματα (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)
- Το $\beta =$ συντελεστής ενίσχυσης ρεύματος για μικρά σήματα \rightarrow

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \Rightarrow I_C = \beta I_B + (\beta+1)I_{CBO} \Rightarrow I_C \approx \beta I_B \text{ (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)}$$

- Σε ότι αφορά το ρεύμα I_C , η λειτουργία ενός διπολικού τρανζίστορ, στη γραμμική(ενεργό) περιοχή λειτουργίας του, ισοδυναμεί με την λειτουργία μιας εξαρτημένης πηγής ρεύματος (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)
- Η βασική μορφή του ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΤΕΤΡΑΠΟΛΟΥ της κανονικής λειτουργίας διπολικού TR, για τη συνδεσμολογία Κοινής Βάσης, Κοινού Εκπομπού, Κοινού συλλέκτη, φαίνεται στο σχήμα 3α (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)





σχήμα 3α

σχήμα 3β

2. Στατική, Δυναμική λειτουργία και δυνατές συνδεσμολογίες του TR

- Στατική λειτουργία = Τα dc ρεύματα και οι τάσεις που αναπτύσσονται στο TR = Λειτουργία του TR πριν την εφαρμογή της πληροφορίας-σήμα x(t) Σελίδα 87 του Β.Θ.Μ
- Δυναμική λειτουργία = AC λειτουργία = λειτουργία η οποία υπερτίθεται στην στατική λειτουργία του TR. = λειτουργία του TR μετά την εφαρμογή της πληροφορίας-σήμα x(t) Σελίδα 87 του Β.Θ.Μ

Το TR λόγω της διάταξής του μπορεί να μελετηθεί και με τη βοήθεια ισοδύναμων κυκλωμάτων Thevenim και Norton. (σελ 136 Β.Θ.Μ) Όπως είδαμε και πριν έχετε τρεις δυνατές συνδεσμολογίες των TR:

- α) Τη συνδεσμολογία Κοινού Εκπομπού β) Τη συνδεσμολογία Κοινού Συλλέκτη
- γ) Τη συνδεσμολογία Κοινής Βάσης με τα ανάλογα καθένα χαρακτηριστικά.

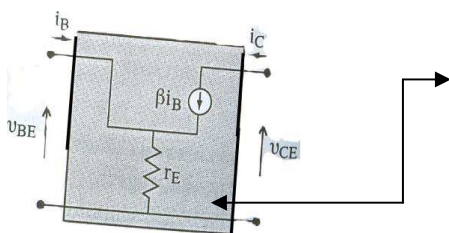
3. Συνδεσμολογία Κοινού Εκπομπού

Η συνδεσμολογία Κοινού Εκπομπού μπορεί να μελετηθεί :

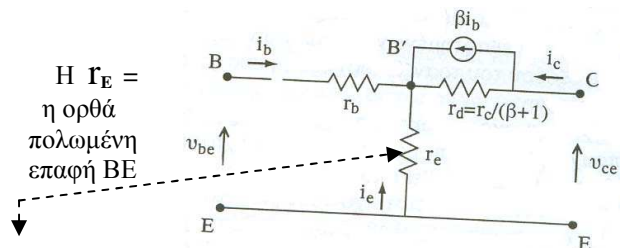
- α) με τη βοήθεια της βασικής μορφής του ισοδύναμου πρότυπου τετραπόλου της κανονικής λειτουργία διπολικού TR (σχήμα 4α) (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα, Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών)
- β) με τη βοήθεια του προσεγγιστικού ισοδύναμου T-ισοδύναμο διπολικού TR σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού(σχήμα 4β) (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών). Το ισοδύναμο αυτό ισχύει στην γραμμική λειτουργία του TR και για σήματα χαμηλόσυγνα
- γ) με τη βοήθεια της βασικής μορφής του ισοδύναμου π του TR (σχήμα 3β) του υβριδικού π-ισοδύναμου του διπολικού TR (σχήμα 4γ) και στη συνέχεια του πλήρες υβριδικού π-ισοδύναμου του διπολικού TR σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού (σχήμα 10-σελίδα 84α) (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών). Το ισοδύναμο αυτό ισχύει στην γραμμική λειτουργία του TR και για σήματα χαμηλόσυγνα
- δ) με τη βοήθεια του υβριδικού h-ισοδύναμου διπολικού TR σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού (σχήμα 4δ) (“Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική” του Γιώργου Τόμπρα. Επίκουρος Καθηγητής Παν/μίου Αθηνών). Το ισοδύναμο αυτό ισχύει στην γραμμική λειτουργία του TR και για σήματα χαμηλόσυγνα
- ε) με τη βοήθεια των χαρακτηριστικών του (βλέπετε σχήμα 5), πάνω στις οποίες μελετάται γραφικά

- ♣ η στατική (το σημείο πόλωσης Q) (σχήμα 8-σελίδα 83) και
- ♣ η δυναμική λειτουργία του(σχήμα 8-σελίδα 83)

Το κύκλωμα με τη βοήθεια του οποίου, στο εργαστήριο, θα χαράξετε τις χαρακτηριστικές του τρανζίστορ σε συνδεσμολογία Κοινού Εκπομπού, είναι στο σχήμα 4ε



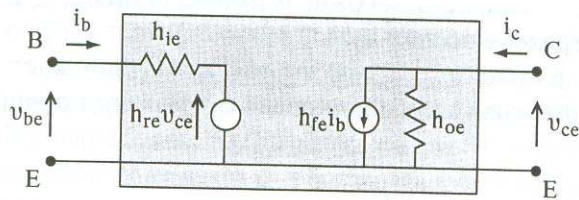
σχήμα 4α



σχήμα 4β

Η $r_E =$
η ορθά
πολωμένη
επαφή BE

Η $r_e =$
 $= 25mV / I_E$



σχήμα 4δ

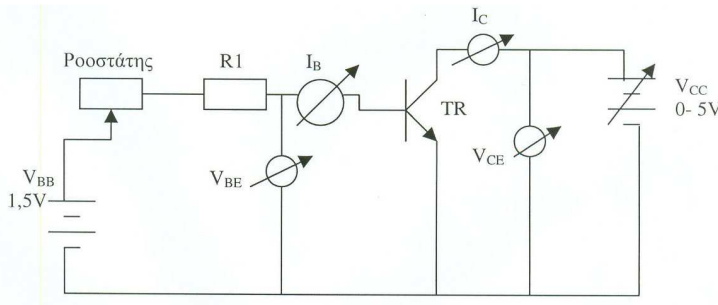
$$v_{be} = h_{ie}i_b + h_{re}v_{ce}$$

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

Η σημασία-ερμηνεία των παραμέτρων h_{re} , h_{fe} , h_{oe} είναι γραμμένη μετά το σχήμα 4δ

Σημείωση:

α) Το υβριδικό η-ισοδύναμο ισχύει και για την DC λειτουργία του, με την προϋπόθεση ότι το TR βρίσκεται στην ενεργό-γραμμική περιοχή. Οι δείκτες όμως των μεγεθών και συμβόλων θα πρέπει είναι με κεφαλαία γράμματα
 β) Το υβριδικό η-ισοδύναμο του σχήματος 4γ, είναι ίδιο με το η-ισοδύναμο του σχήματος 7β-σελίδα 81



Σχήμα 4ε

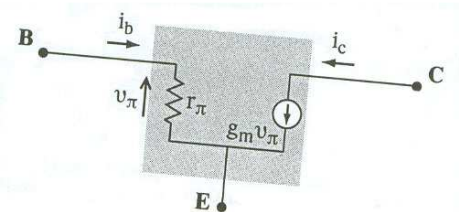
4. Περιοχές λειτουργίας των επαφών του TR BE-ΒΣ σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού.

Πόλωση αυτών

Αυτές φαίνονται στο σχήμα 5 και στον πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Περιοχή Λειτουργίας	Επαφή BE	Επαφή BC
Ενεργός περιοχή	ορθά	ανάστροφα
Περιοχή αποκοπής	ανάστροφα	ανάστροφα
Περιοχή κόρου	ορθά	ορθα



σχήμα 4γ

όπου : g_m = η διαγωγιμότητα και η οποία είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του TR και που στους 25°C εξαρτάται μόνο από τη τιμή του DC I_C

5. Σημασία-ερμηνεία των παραμέτρων h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} εξετάζοντας το TR σαν ένα δίθυρο κύκλωμα (σελ. 204-207 του Β.Θ.Μ.)

- $h_{11} = r_{in}$ με βραχυκυκλωμένη την έξοδο $= \frac{v_{be}}{i_b} \Big|_{v_{ce} = 0}$
- $h_{12} = \frac{v_{in}}{v_{out}}$ με ανοικτή την έξοδο $= \frac{v_{be}}{v_{ce}} \Big|_{i_b = 0}$
- $h_{21} = \frac{i_c}{i_b} \Big|_{v_{ce} = 0}$ και
- $h_{22} = \frac{1}{r_{out}} = \frac{i_c}{v_{ce}} \Big|_{i_b = 0} = \eta \text{ διαγωγιμότητα εξόδου}$
- $g_m = 1/r_e = qI_C/kT = \beta_0/r_\pi = i_c/v_\pi = \beta_0 i_b / v_{be}$ και για 25°C $g_m = 1/r_e = I_C/26 \text{ (mA/mV)} \cong 40 \cdot I_C \text{ (mS ή m}\Omega^{-1}\text{)}$

Αυτές υπολογίζονται:

- ✓ ή πειραματικά
- ✓ ή γραφικά, αν μας έχουν δοθεί ή γνωρίζουμε τις χαρακτηριστικές εξόδου, εισόδου, μεταφοράς του TR

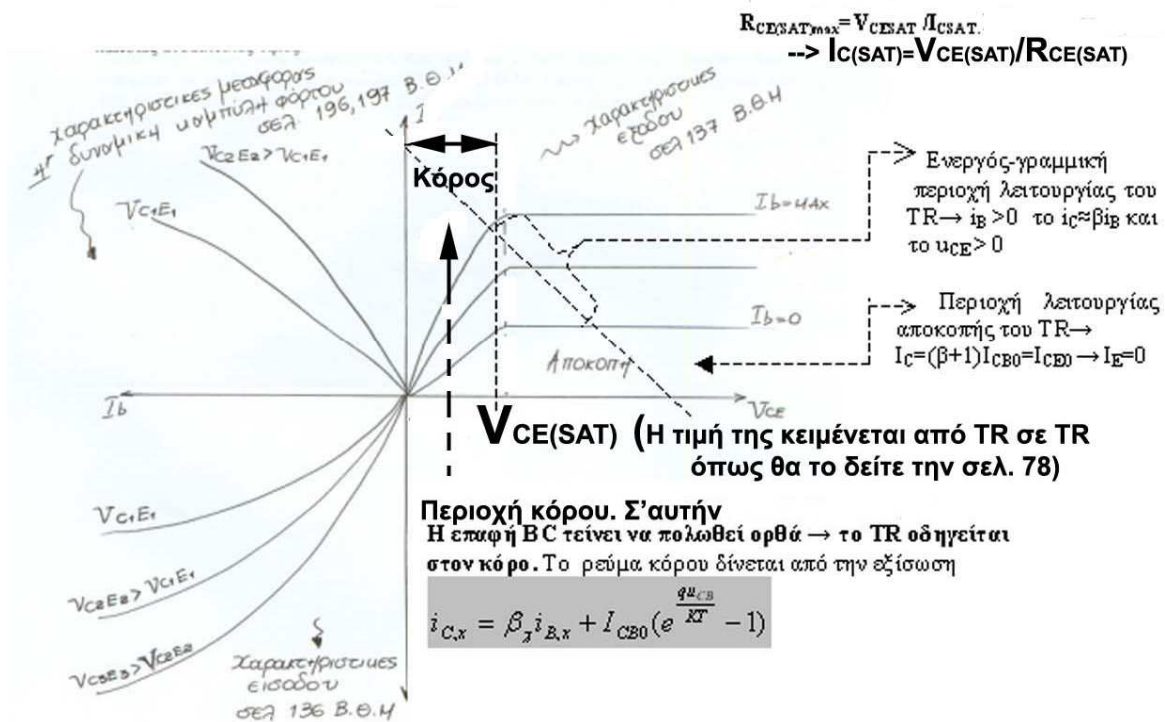
Από τα σχήματα 4α, 4β, 4γ, 4δ μπορούμε να πούμε ότι

✓ Ένα τρανζίστορ βρίσκεται σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού (CE) όταν ο εκπομπός είναι κοινός για το κύκλωμα εισόδου και για το κύκλωμα εξόδου του τρανζίστορ.

- ✓ η είσοδος είναι μεταξύ εκπομπού – βάσης
- ✓ η δε έξοδος μεταξύ εκπομπού – συλλέκτη.
- ✓ το ρεύμα εισόδου είναι το I_b (ρεύμα βάσης)
- ✓ το ρεύμα εξόδου το I_c (ρεύμα συλλέκτη).
- ✓ Οι τάσεις εισόδου – εξόδου αναφέρονται ως προς τον εκπομπό που είναι κοινό στοιχείο στην είσοδο – έξοδο

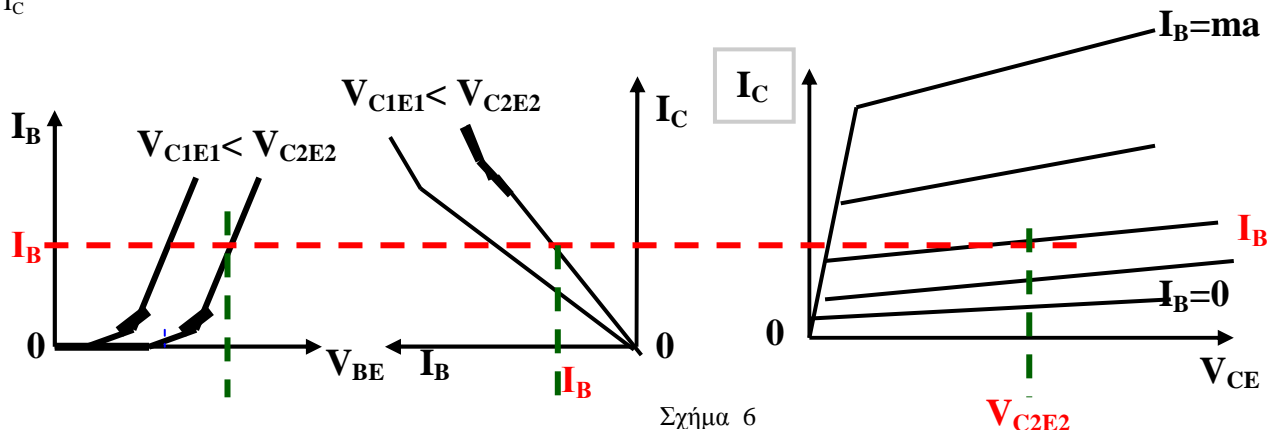
✓ $H_B = I_c / I_b = H_{FE} = h_{FE}$ (Στατική λειτουργίας) και $\beta = j_c / j_b = h_{fe}$ (Δυναμικής λειτουργίας)

Σημείωση : Στη σελίδα 223 του Β.Θ.Μ στον πίνακα 13 για κάποιο από τα ανωτέρω αναφέρονται κάποιες ενδεικτικές τιμές.



Σχήμα 5

Στ σχήμα 6 είναι μια άλλη διάταξη , στην οποία πάλι φαίνεται η αλληλοεπίδραση-αλληλοεξάρτηση των V_{BE} , I_B , V_{CE} , I_C



Σχήμα 6

Προφανώς το 'β' εξαρτάται από την τάση V_{BE} αλλά και απο την κλιση της χαρακτηριστικής μεταφοράς για τη συγκεκριμένη V_{CE} . Η κλίση αυτής, όπως και η κλίση των χαρακτηριστικών εισόδου-εξόδου, για συγκεκριμένη V_{CE} , εξαρτάται από το πλήθος κατανομής των προσμίξεων που έκανε ο κατασκευαστής στο κάθε είδος TR που φτιάχνει κάθε φορά.

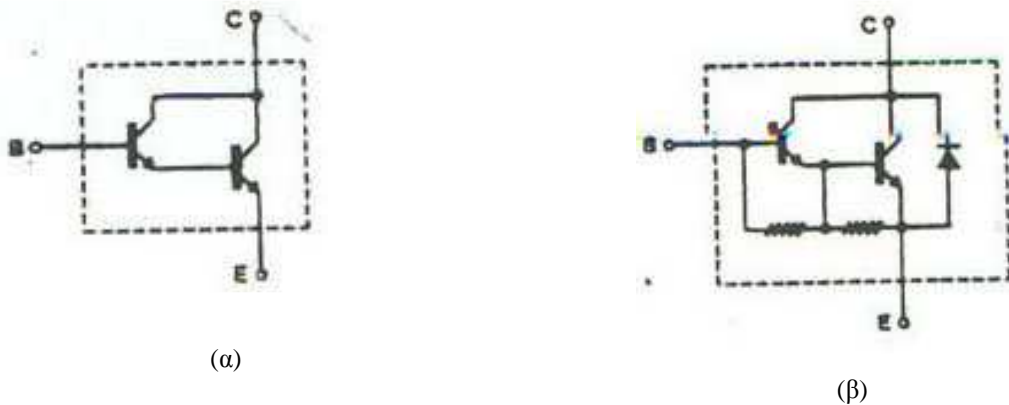
Αυτό μπορείτε να το διαπιστώσετε από τη σελ.80 του βιβλίου Επίσης σ' αυτή μπορείτε να διαπιστώσετε ότι το hfe των TR έχει μεγάλη διασπορά ακόμη και στον ίδιο τύπο TR όπως στο 2N2219 που έχει η πινακίδα της άσκησης.(σελ. 52 του πειραματικού βιβλίου του εργαστηρίου) Η μεγάλη διασπορά του hfe αναφέρεται και στο Β.Θ.Μ στη σελίδα 230

Πόλωση του TR: Είναι προφανές από το σχήμα 5 ότι το TR στη στατική του λειτουργία θα λειτουργεί σε ένα σημείο της χαρακτηριστικής εισόδου, το οποίο θα προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες $I_b = f(V_{BE}) / V_{CE} = \text{κάποια τιμή} = \text{σταθερό}$ και από τις συντεταγμένες $I_c = f(V_{CE}) / I_b = \text{σταθερό}$. Προφανώς το σημείο(=συντεταγμένες) της στατικής λειτουργίας(=πόλωσης= ηρεμίας) του TR θα υπολογισθεί γραφικά, αφού βεβαίως έχετε από τον κατασκευαστή τις χαρακτηριστικές εισόδου, μεταφοράς, εξόδου. αυτού(σχ. 5)

Ο προσδιορισμός του σημείου Q στατικής λειτουργίας (=πόλωσης) του TR είναι σημαντικός όπως ήδη αναφέρθηκε. Αυτό μπορείτε να το δείτε και στη σελίδα 239 του Β.Θ.Μ. Επίσης θα το συναντήσετε και στη μελέτη του ενισχυτού ΧΣ με TR, σε συνδεσμολογία Κοινού Εκπομπού.

Στα σχήματα που ακολουθούν θα δείτε:

- * τον συμβολισμό TR σε συνδεσμολογία darlikton (σχήμα 5α,β)
- * τι δίνουν κατά κανόνα, στα data sheet οι κατασκευαστές αυτών (σελίδα 78) και
- * ένα swicting τροφοδοτικό(σελίδα 79) το οποίο έχει, μεταξύ των άλλων κύκλωμα απλής ανόρθωσης, κύκλωμα διπλής ανόρθωσης και τρανζίστορ



Σχήμα 5: Συνδεσμολογία TR σε Darlington