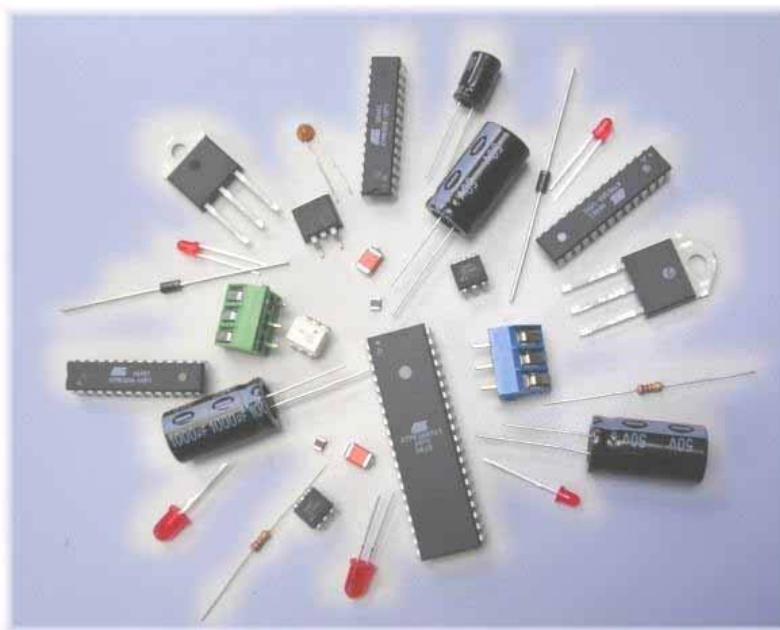


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ &
ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ
(ΘΕΩΡΙΑ)



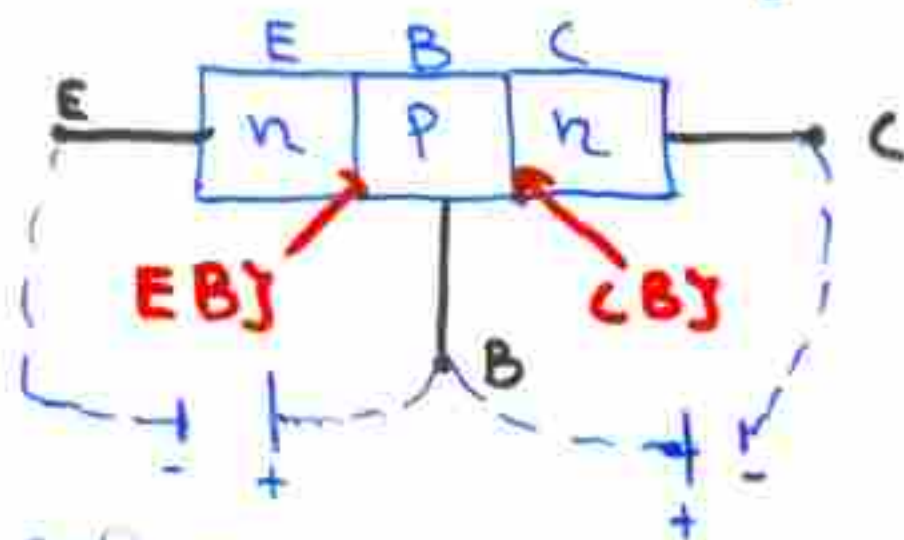
Α. ΒΛΗΣΙΔΗΣ
Γ. ΒΑΣΙΛΑΚΗΣ
Μ. ΔΡΑΜΟΥΝΤΑΝΗΣ

ΜΑΙΟΣ 2010

BJT FET : Field-Effect - Transistor

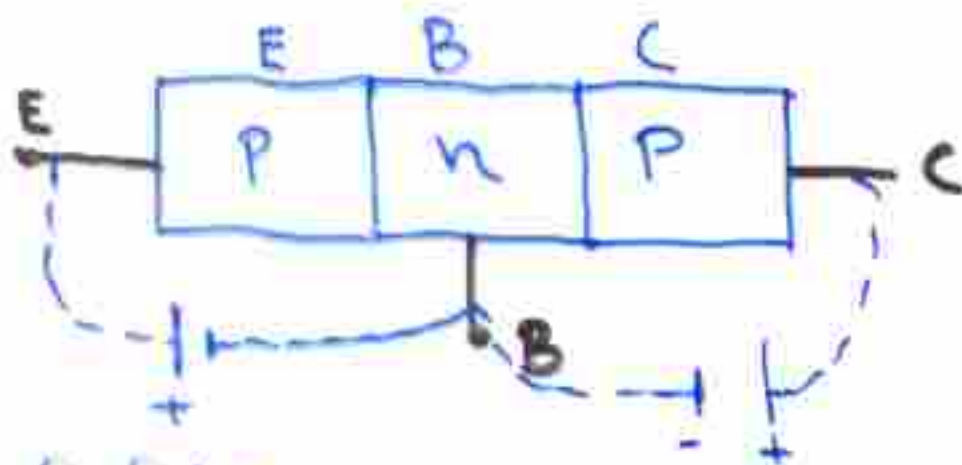
BJT : Bipolar - Junction - Transistor

- Δύο διαδοχικές PN ηχοάνη γε ηχοάνη



Ορμή ποζωοη

Ανίστροφη ποζωοη



Ορμή ποζωοη

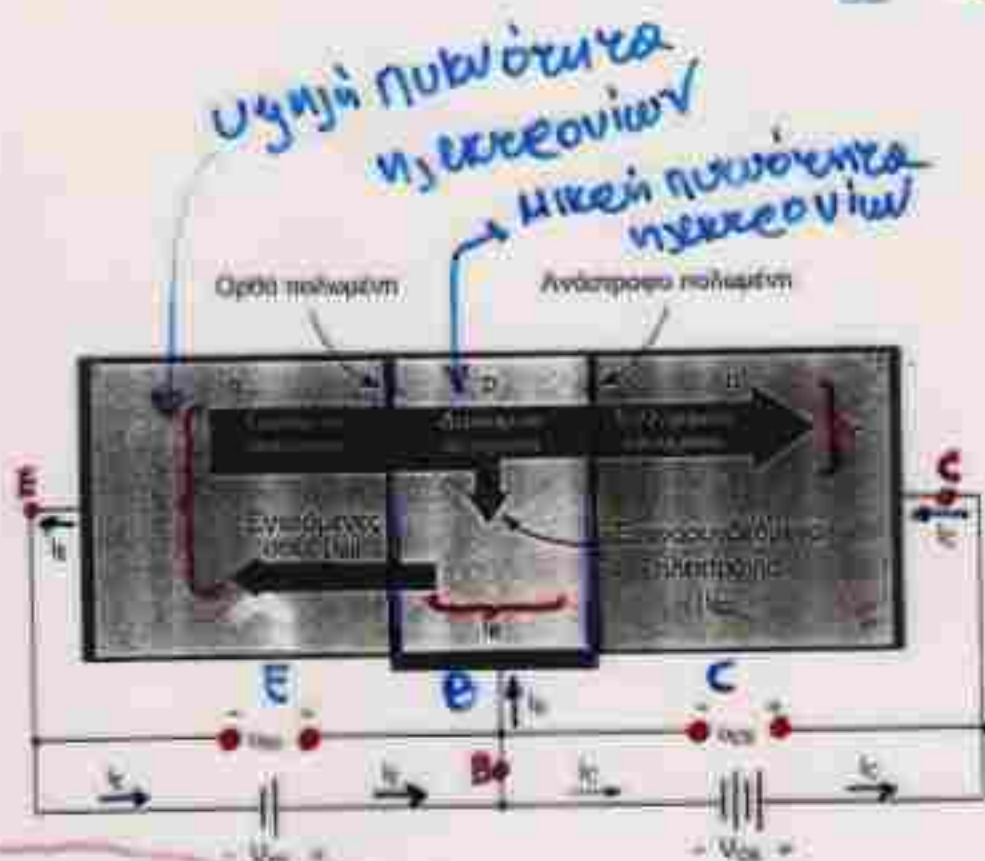
Ανίστροφη ποζωοη

ηχοάνη	EBJ	CBJ
Αποκοπή	Ανίστροφη	Ανίστροφη
Ενέρχο	Ορμή	Ανίστροφη
Κορρογού	Ορμή	Ορμή

2

ΕΝΕΡΓΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

- * Οδηγώση Ε-Β
- * Αναστροφ. πόση C-B



$$I_C = I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

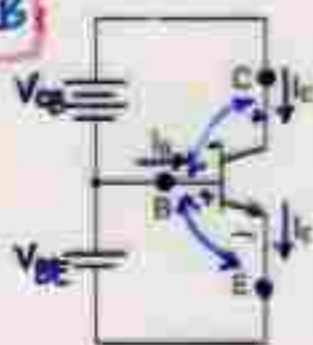
όπου I_S : ρεύμα κορεσμού: $I_S: 10^{-12} \sim 10^{-15}$
 V_T : θερμοκρασιακή τάση

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

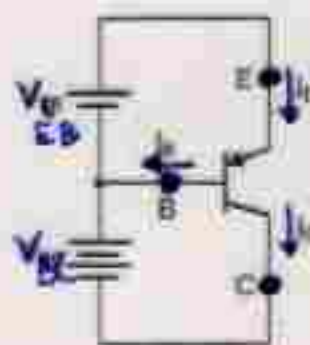
$\beta: 100 \sim 200$, $I_C = \alpha I_E$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \approx 0.99$$

$$I_E = I_C + I_B$$



(α)



(β)

Πολικότητα πόσης
και ροή ρεύματος σε
τρανζίστορες
πολικωμένα στην
ενεργό περιοχή

Το βέλος
δείχνει την
φύση ρεύματος
από Ε

I_{CBO} : αναστροφο ρεύμα συλλεκτ. - βάσης με εκπομπή
αποκλειστικά

$I_{CBO} \sim nA$, εξαρτάται από την θερμοκρασία
 διπλασιάζεται για αύξηση κατά $10^\circ C$

• Εννεργή περιοχή

↓
Ενισχυτής + Διακόπτες

• Πρεοχή κορεσμού

↓
Διακόπτες

2

$$i_c = I_s e^{V_{BE}/V_T}$$

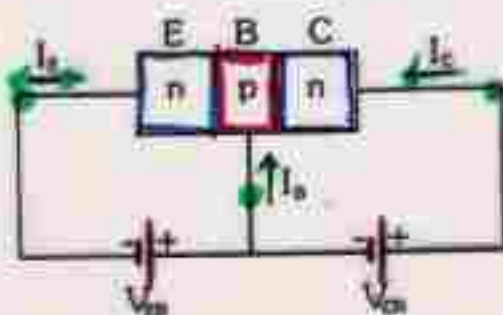
I_s : ρεύμα παραγωγής

V_T : θερμοκίνηση

α : κέρδος ρεύματος Ε.Β

β : ———— //

$$I_E = I_C + I_B$$

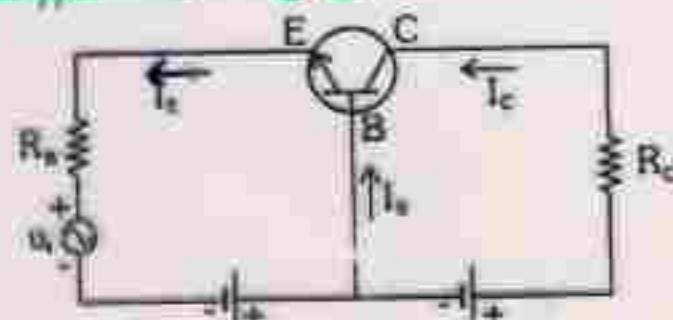


$$\beta = \frac{i_c}{i_b}$$

$$\beta = \frac{I_s}{I_B} e^{V_{BE}/V_T}$$

$$I_C = \alpha I_E, \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

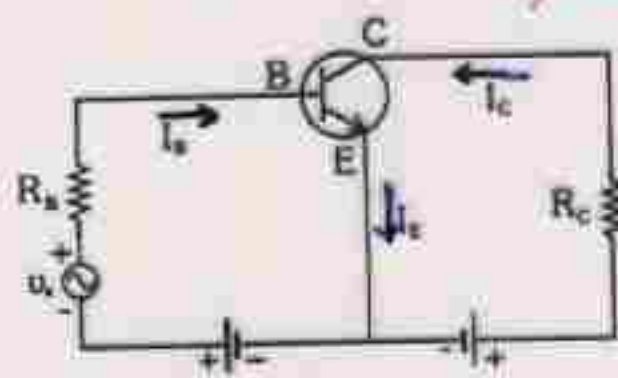
$$I_E = (I_s/\alpha) e^{V_{BE}/V_T}$$



ή η { κοινή βάση

ή η { + | - + | -

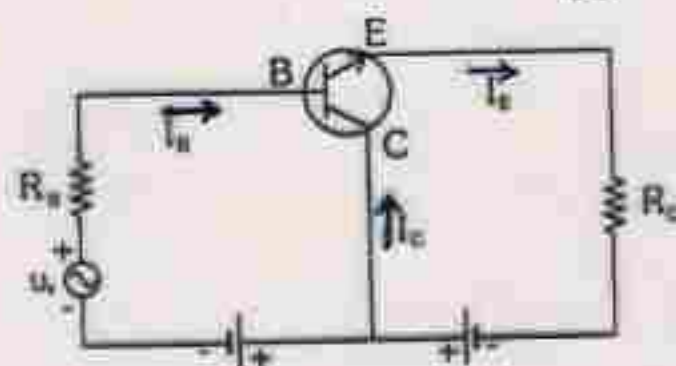
(a)



ή η { κοινός εκπομπός

ή η { + | - + | -

(b)



ή η { κοινός συλλέκτης

ή η { + | - + | -

(c)

Σχήμα 4.3

α) Συνδεσμολογία Κοινής Βάσης

Ενεργός περιοχή:	επαφή ΕΒ πολωμένη ορθά επαφή ΒΒ πολωμένη ανάστροφα
Περιοχή Κόρου:	επαφή ΕΒ πολωμένη ορθά επαφή ΒΒ πολωμένη ορθά
Περιοχή Αποκοπής:	επαφή ΕΒ πολωμένη ανάστροφα επαφή ΒΒ πολωμένη ανάστροφα

Το βέλος δείχνει

α) φορά I_E

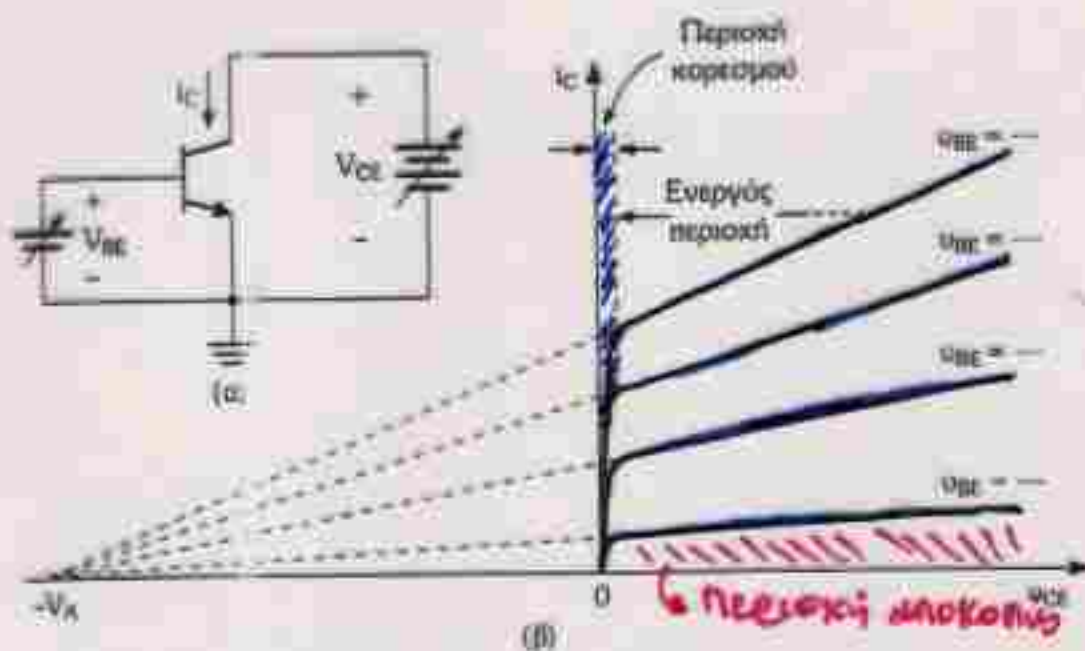
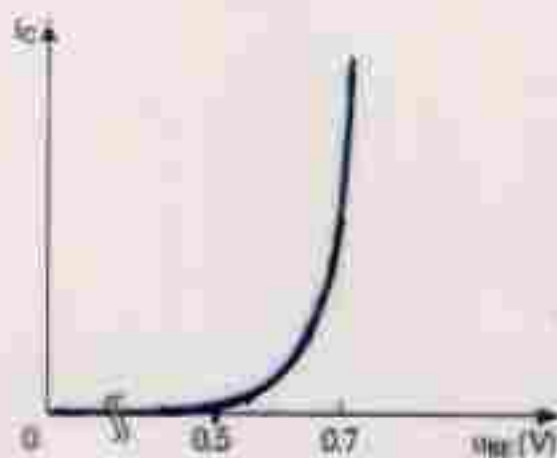
β) φορά τάσης (δυναμικό)

+ → -

3

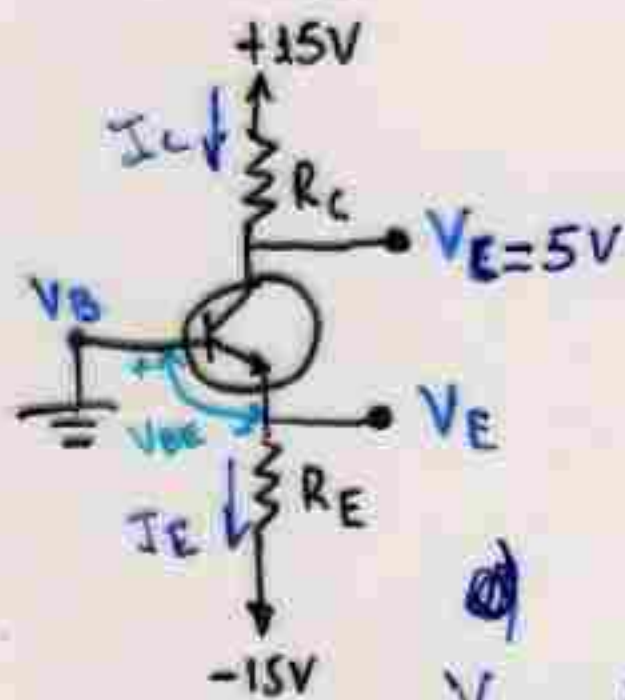
Σχ. 4.12
Η $i_C - u_{BE}$ χαρακτηριστική ενός ηρη-
τρανζίστορ.

$$i_C = I_S e^{u_{BE}/V_T}$$



Σχ. 4.15 (α) Ιδεατό κύκλωμα για τη μέτρηση της $i_C - u_{CE}$ χαρακτηριστικής ενός διπολικού τρανζίστορ. (β) Οι $i_C - u_{CE}$ χαρακτηριστικές ενός τρανζίστορ στην πράξη.

Παράδειγμα 4.1



Χαρακτηριστικά T_r :

$$\beta = 100, V_{BE} = 0.7V, \text{ για } I_{C1} = 1mA$$

Να επανασχεδιασθεί το κύκλωμα
ώστε: ρεύμα συστολής $I_{C2} = 2mA$
και $V_C = +5V$

α) Έλεγχος R_C

$$V_C = 15V - 5V = 10V$$

$$R_C = \frac{10V}{2mA} = 5k\Omega$$

β) Έλεγχος I_E, R_E

$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}$$

$$\Rightarrow \frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{I_S e^{V_{BE1}/V_T}}{I_S e^{V_{BE2}/V_T}} \Rightarrow$$

$$V_{BE2} = V_{BE1} + V_T \ln\left(\frac{I_{C2}}{I_{C1}}\right) = 0.717V$$

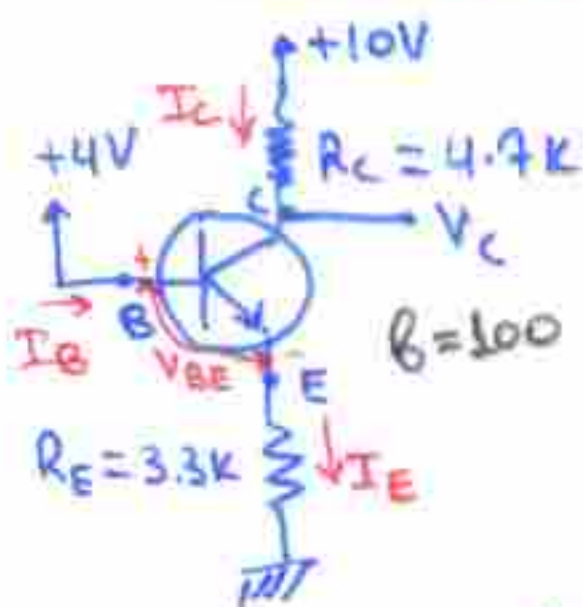
Επειδή η "B" είναι χλωμένη $\Rightarrow V_B = 0$ και $V_{BE} = -0.717V$

$$I_E = \frac{I_{C2}}{\alpha} = \frac{2}{0.99} = 2.02mA$$

$$\text{Απαιτούμενο } R_E = \frac{V_E - (-15)}{I_E} = \frac{-0.717 + 15}{2.02} = 7.07k\Omega$$

ΠΑΡΑΔ 4.5

Π2 (1)

Τότες νόμος - Ρεύματα I_B & I_E

$$+4 - V_{BE} - V_E = 0 \Rightarrow V_E = 4 - V_{BE} = 3.3V$$

$$V_E - 0 = I_E \cdot R_E \Rightarrow \underline{I_E} = \frac{V_E - 0}{R_E} = 1 \mu A$$

$$\underline{I_C} = \alpha I_E = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E = \frac{100}{101} \approx 0.99$$

$$10 - V_C = I_C R_C \Rightarrow V_C = 10 - I_C R_C =$$

$$\Rightarrow 10 - 0.99 \cdot 4.7 \Rightarrow \underline{V_C} = +5.3V$$

$$V_C > V_B \text{ κατά } 1.3V$$

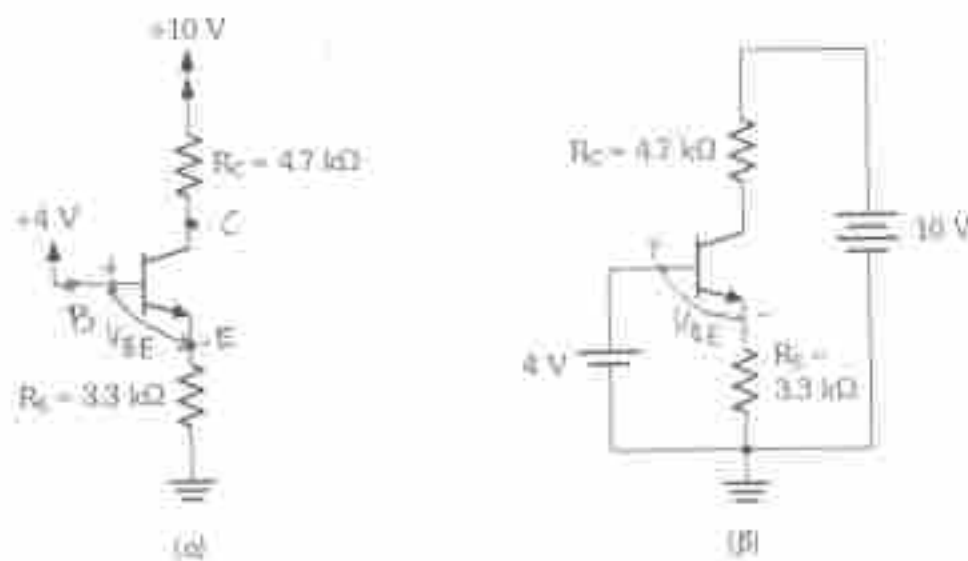
$$V_B > V_E \text{ κατά } 0.7V$$

$$\left. \begin{array}{l} V_C > V_B \text{ κατά } 1.3V \\ V_B > V_E \text{ κατά } 0.7V \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Το σκιν ενεργό περιοχή'}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{1}{101} \approx 0.01 \mu A$$

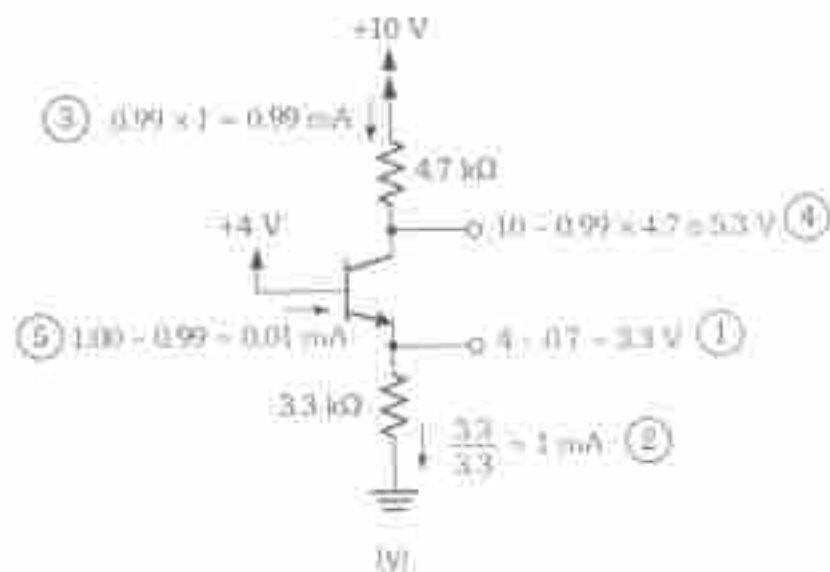
Αν $V_B = +6V$, Το Tr είναι σω ενεργό περιοχή?

ASK 15.11
4.2



$$V_{BE} = 0.7V$$

$$\beta = 300$$



Σχ. 4.16: Ανάλυση του κυκλώματος του Παραδείγματος 4.2: (α) κύκλωμα (β) επανασχεδίαση κυκλώματος για υπενθύμιση του συμβολισμού σύνδεσης των τροφοδοτικών (γ) ανάλυση κατά βήματα με βάση την αρίθμηση.

Εφόσον ο συλλέκτης συνδέεται μέσω της R_C με τροφοδοτικό $+10V$, φαίνεται πιθανό το δυναμικό του συλλέκτη να είναι υψηλότερο αυτού της βάσης, πράγμα το οποίο είναι απαραίτητο για λειτουργία στην ενεργό περιοχή. Θεωρώντας ότι αυτή είναι η περίπτωση εδώ μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα συλλέκτη από τη σχέση

$$I_C = \alpha I_E$$

Η τιμή του α βρίσκεται από

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = \frac{300}{301} \approx 0.99$$

Είσι το I_E δίνεται από

$$I_E = 0.99 \times 1 = 0.99 \text{ mA}$$

Μπορούμε πλέον να χρησιμοποιήσουμε το νόμο του Ohm για να βρούμε την τάση συλλέκτη V_C

$$V_C = 10 - I_E R_C = 10 - 0.99 \times 4.7 \approx +5.3 \text{ V}$$

Εφόσον η βάση βρίσκεται στα +4 V, η ένωση συλλέκτη-βάσης είναι ανάστροφα πολωμένη κατά 1.3 V και έτσι το τρανζίστορ βρίσκεται πράγματι στην ενεργό περιοχή όπως αρχικά είχαμε υποθέσει.

Μένει πλέον μόνο να βρούμε το ρεύμα βάσης I_B :

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{1}{101} \approx 0.01 \text{ mA}$$

Πριν ορίσουμε το παράδειγμα αυτό, πρέπει να τονίσουμε ιδιαίτερα την όξια της ανάλυσης απευθείας από το κυκλωματικό διάγραμμα. Μόνο με τον τρόπο αυτό θα είμαστε σε θέση να αναλύσουμε πολύπλοκα κυκλώματα μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα. Στο Σκ. 4.16(γ) φαίνεται η παραπάνω ανάλυση πάνω στο κυκλωματικό διάγραμμα. Τα βήματα της ανάλυσης σημειώνονται με τους αριθμούς μέσα σε κύκλους.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.3

Θέλουμε να αναλύσουμε το κύκλωμα του Σκ. 4.17(α) για να βρούμε τις τάσεις σε όλους τους κόμβους και τα ρεύματα σε όλους τους κλάδους. Παρατηρήστε ότι αυτό το κύκλωμα είναι ταυτόσημο αυτού του Σκ. 4.16 εκτός από το ότι η τάση στη βάση είναι τώρα +6 V.

Λύση

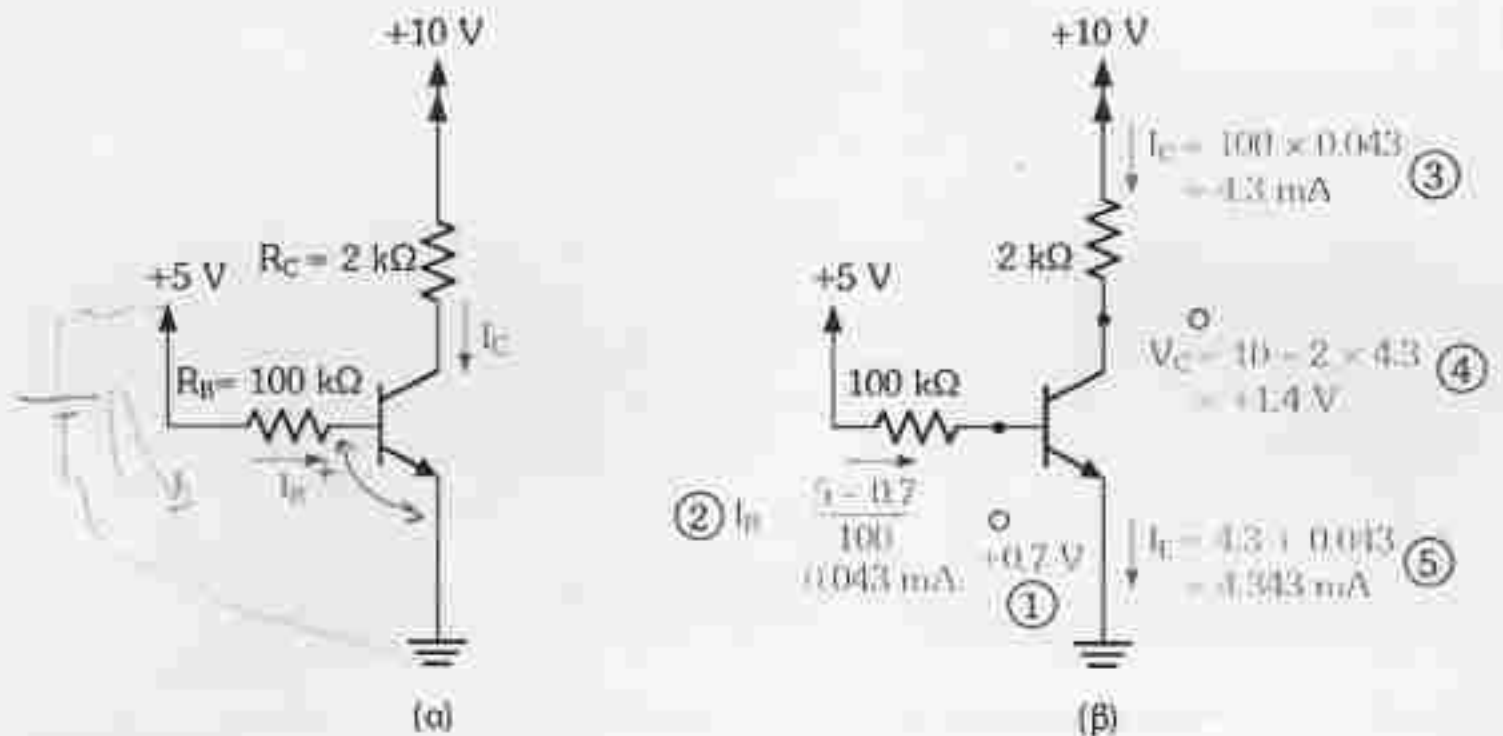
Θεωρώντας λειτουργία στην ενεργό περιοχή, έχουμε

$$V_E = +6 - V_{BE} \approx 6 - 0.7 = 5.3 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{5.3}{33} = 1.6 \text{ mA}$$

$$V_C = +10 - 4.7 \times I_E \approx 10 - 7.52 = 2.48 \text{ V}$$

Εφόσον η τάση συλλέκτη που υπολογίστηκε φαίνεται ότι είναι μικρότερη της τάσης βάσης κατά 3.52 V, η αρχική υπόθεση ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή, φαίνεται λανθασμένη. Μάλιστα το τρανζί-



Σχ. 4.20 Παράδειγμα 4.5: (α) Κύκλωμα. (β) Οι αριθμοί στους κύκλους καθορίζουν τη σειρά των βημάτων κατά την ανάλυση.

$$V_C = +10 - I_C R_C = 10 - 4.3 \times 2 = +1.4$$

Εφόσον η τάση βάσης V_B είναι

$$V_B = V_{BE} \cong +0.7 \text{ V}$$

προκύπτει ότι η ένωση συλλέκτη-βάσης είναι ανάστροφα πολωμένη κατά 0.7 V και το τρανζίστορ είναι πράγματι στην ενεργό περιοχή. Το ρεύμα εκπομπού δίνεται από τη σχέση

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 101 \times 0.043 \cong 4.3 \text{ mA}$$

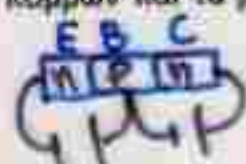
Παρατηρούμε από το παράδειγμα αυτό ότι τα ρεύματα συλλέκτη και εκπομπού εξαρτώνται σημαντικά από την τιμή του β . Πράγματι, αν το β ήταν κατά 10% μεγαλύτερο το τρανζίστορ θα άφηνε την ενεργό περιοχή και θα έμπαινε στον κόρα. Προφανώς, το παραπάνω είναι παράδειγμα κακής σχεδίασης. Οι λεπτομέρειες της ανάλυσης φαίνονται στο Σχήμα 4.20(β).

Ασκηση

Σ4.17 Το κύκλωμα του Σχ. 4.20(α) πρόκειται να κατασκευαστεί με τη χρήση τρανζίστορ των οποίων το β βρίσκεται μεταξύ 50 και 150. (Αυτό σημαίνει ότι τρανζίστορ του ίδιου τύπου περιμένουμε να έχουν τιμές για το β οπουδήποτε μέσα στην παραπάνω περιοχή). Ξανασχεδιάστε το κύκλωμα διαλέγοντας νέα τιμή για τη R_C έτσι ώστε όλα τα κυκλώματα που θα κατασκευαστούν να βρίσκονται σίγουρα στην ενεργό περιοχή. Ποιά

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.7

Θέλουμε να αναλύσουμε το κύκλωμα του Σχήματος 4.21(α) για να βρούμε τις τάσεις όλων των κόμβων και τα ρεύματα όλων των κλάδων. Υποθέτουμε ότι $\beta = 100$.



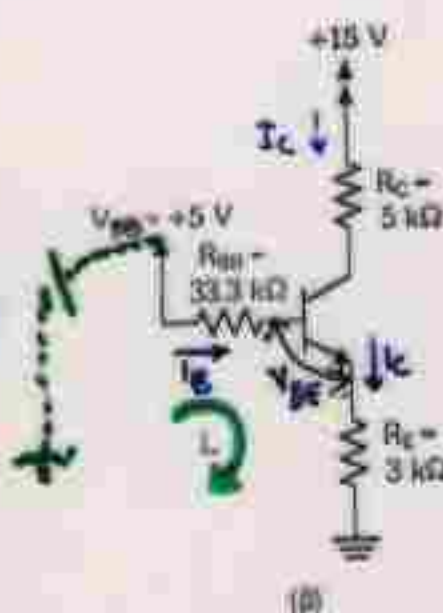
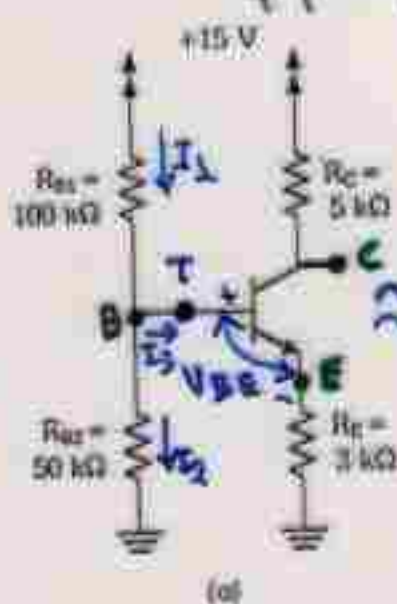
$$V_{BE} = 0.7V$$

$$\beta = 100$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$I_C = \alpha I_E$$

$$\alpha = 0.99$$



Ισοδυναµία
Thevenin

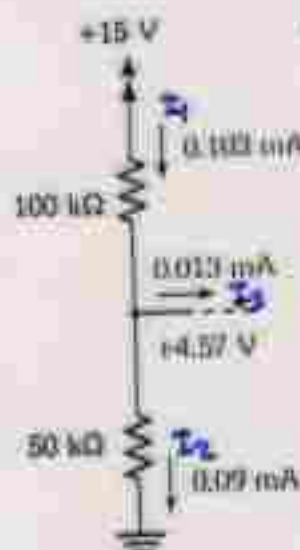
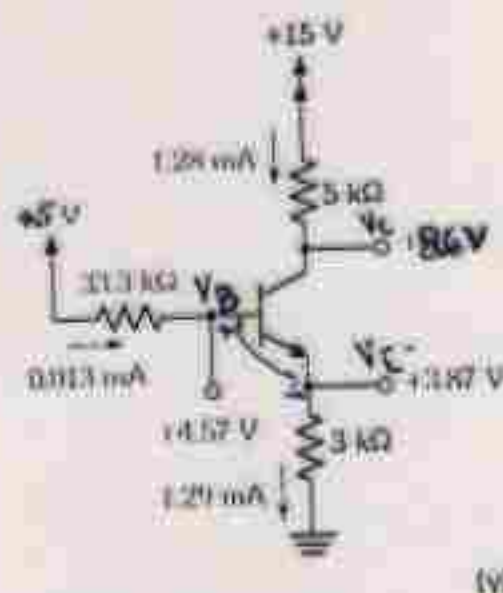
$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot 15V$$

$$R_{BB} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$\Sigma E = \Sigma IR \Rightarrow$$

$$V_{BB} - V_{BE} = I_B R_{BB} + I_E R_E$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + [R_{BB}/(\beta + 1)]} = 1.29 \text{ mA}$$



Σχ. 4.21. Κυκλώματα Παραδείγματος 4.7.

Από (α): $V_B = V_{BE} + I_E R_E = 0.7 + 1.29 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = 4.57V$

$$I_C = \alpha I_E = 1.28 \text{ mA}$$

$$15 - V_C = I_C R_C \Rightarrow V_C = 15 - I_C R_C = 8.6V$$

$$V_C - V_B = 4.03V \Rightarrow \text{Τεκνίστατε ενεργό περιοχή}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{1.29 \text{ mA}}{101} = 0.012 \text{ mA} = 12 \mu A = 12 \cdot 10^{-6} A$$

$$V_E = I_E R_E = 3.87V$$

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΝΕΡΓΟ ΠΕΡΙΟΧΗ

$$V_C > V_B, V_B > V_E$$

Λύση

Το πρώτο βήμα στην ανάλυση είναι να απλοποιήσουμε το κύκλωμα της βάσης με τη χρήση του θεωρήματος Thevenin. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχ. 4.21(β) όπου

$$V_{BB} = +15 \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 15 \frac{50}{100 + 50} = +5 \text{ V}$$

$$R_{BB} = (R_{B1} // R_{B2}) = (100 // 50) = 33.3 \text{ k}\Omega$$

Για να υπολογίσουμε το ρεύμα βάσης ή το ρεύμα εκπομπού πρέπει να γράψουμε την εξίσωση βρόχου για το βρόχο που σημειώνεται με το γράμμα L στο Σχ. 4.21(β). Παρατηρήστε ωστόσο ότι το ρεύμα διαμέσου της R_{BB} είναι διαφορετικό από το ρεύμα διαμέσου της R_E . Η εξίσωση βρόχου θα είναι

$$V_{BB} - V_{BE} = I_{BB} R_{BB} - I_E R_E \rightarrow V_{BB} = I_B R_{BB} + V_{BE} + I_E R_E$$

Αντικαθιστώντας το I_B με

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

και ξαναγράφοντας την εξίσωση θα έχουμε

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + [R_{BB}/(\beta + 1)]}$$

Για τις αριθμητικές τιμές που δίνονται θα έχουμε

$$I_E = \frac{5 - 0.7}{3 + (33.3/101)} = 1.29 \text{ mA}$$

Το ρεύμα βάσης θα είναι

$$I_B = \frac{1.29}{101} = 0.0128 \text{ mA}$$

Υποθέστε λειτουργία στην ενεργό περιοχή. Μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα συλλέκτη ως εξής:

$$V_B = V_{BE} + I_E R_E$$

$$= 0.7 + 1.29 \times 3 = 4.57 \text{ V}$$

Η τάση συλλέκτη λοιπόν είναι

$$I_C = \alpha I_E = 0.99 \times 1.29 = 1.28 \text{ mA}$$

Η τάση του συλλέκτη μπορεί τώρα να υπολογιστεί ως εξής

$$V_C = +15 - I_C R_C = 15 - 1.28 \times 5 = 8.6 \text{ V}$$

Προκύπτει ότι ο συλλέκτης βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από τη βάση

κατά 4.03 V, πράγμα που σημαίνει ότι το τρανζίστορ βρίσκεται στην ενεργό περιοχή, όπως αρχικά είχε υποθεθεί. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δίνονται στο Σχ. 4.21(γ).

Άσκηση

4.18 Αν το τρανζίστορ στο κύκλωμα του Σχ. 4.21(α) αντικατασταθεί από ένα άλλο το οποίο να έχει τη μισή τιμή για το β ($\beta = 50$) από ότι το προηγούμενο, βρείτε τη νέα τιμή του I_C και δώστε την % μεταβολή στο ρεύμα.

Απ. $I_C = 1.15 \text{ mA}$, -10%

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4.8

Θέλουμε να αναλύσουμε το κύκλωμα του Σχήματος 4.22(α) για να βρούμε τις τάσεις όλων των κόμβων και τα ρεύματα όλων των κλάδων.

Λύση

Πρώτα απ' όλα, αναγνωρίζουμε ότι μέρος του κυκλώματος αυτού είναι ίδιο με το κύκλωμα που αναλύσαμε στο Παράδειγμα 4.7, δηλαδή το κύκλωμα του Σχ. 4.21(α). Η διαφορά φυσικά είναι ότι στο νέο κύκλωμα έχουμε ένα επιπλέον τρανζίστορ Q_2 μαζί με τις αντιστάσεις του R_{E2} και R_{C2} . Υποθέστε ότι το Q_1 βρίσκεται ακόμη στην ενεργό περιοχή. Οι παρακάτω τιμές είναι ταυτόσημες με αυτές που πήραμε από το προηγούμενο παράδειγμα:

$$V_{B1} = +4.57 \text{ V} \quad I_{E1} = 1.29 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = 0.0128 \text{ mA} \quad I_{C1} = 1.28 \text{ mA}$$

Ωστόσο, η τάση συλλέκτη θα είναι διαφορετική από αυτή που υπολογίσαμε προηγουμένως, εφόσον μέρος του ρεύματος συλλέκτη I_{C1} ρέει προς τον ακροδέκτη της βάσης του Q_2 (I_{B2}). Σε πρώτη προσέγγιση μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το I_{B2} είναι πολύ μικρότερο του I_{C1} . Δηλαδή μπορούμε να υποθέσουμε ότι το ρεύμα διαμέσου της R_{C1} είναι περίπου ίσο με το I_{C1} . Αυτό θα μας επιτρέψει να υπολογίσουμε την V_{C1} :

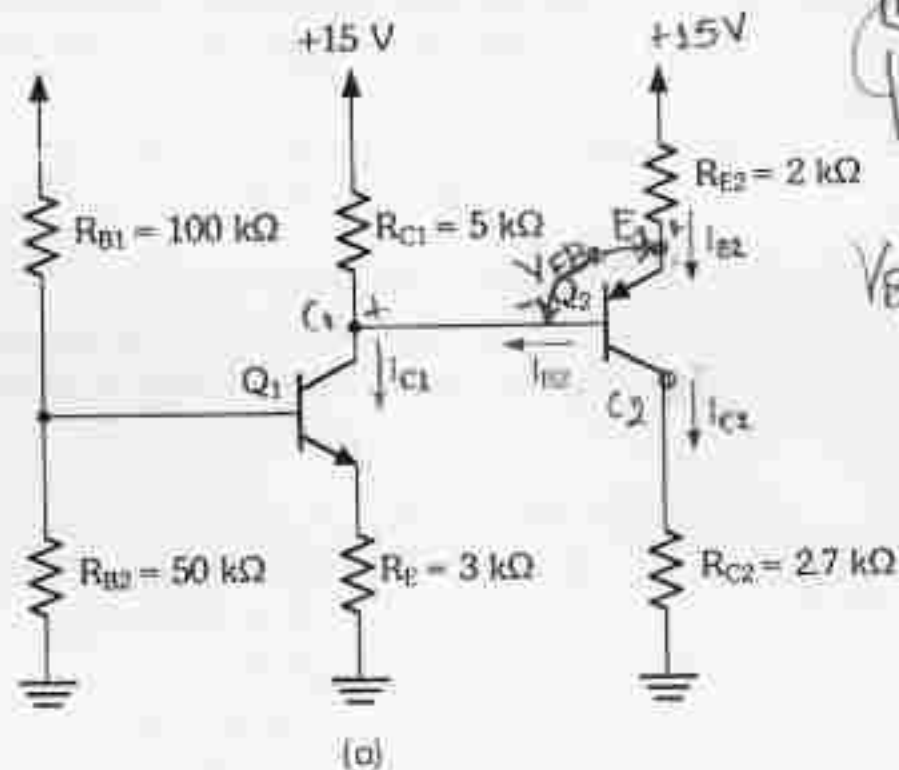
$$\begin{aligned} V_{C1} &\approx +15 - I_{C1}R_{C1} \\ &= 15 - 1.28 \times 5 = +8.6 \text{ V} \end{aligned}$$

Ετσι, το Q_1 είναι στην ενεργό περιοχή όπως είχαμε υποθέσει.

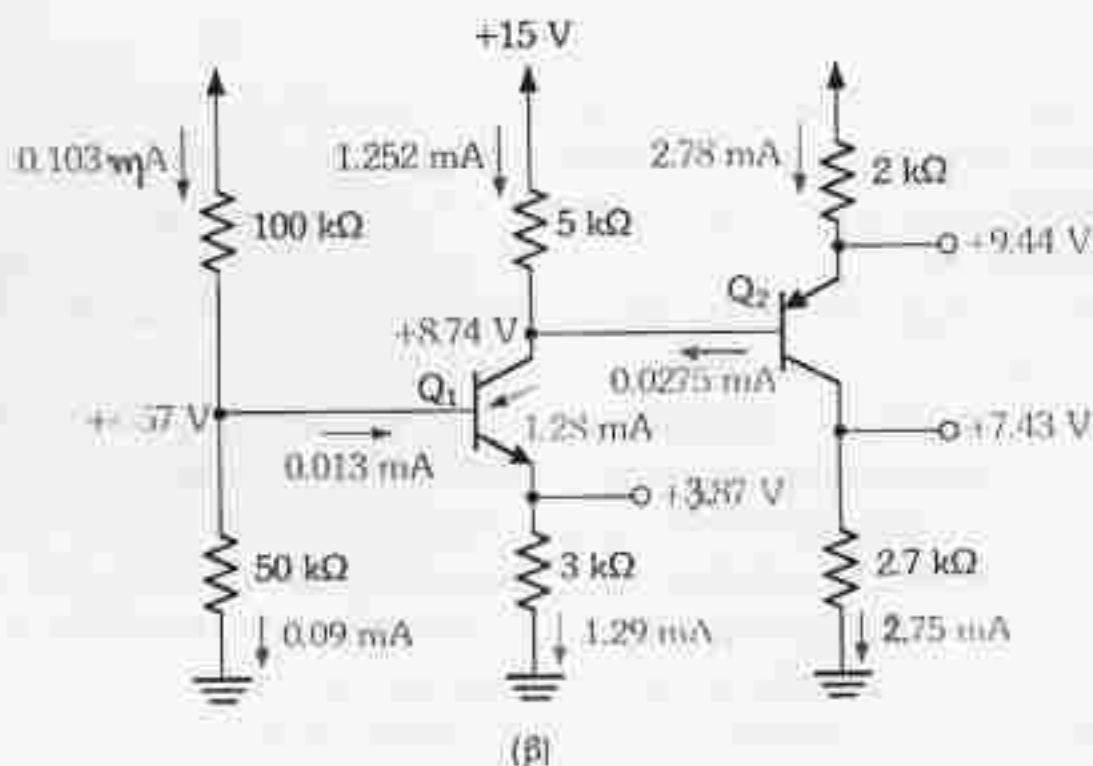
Όσον αφορά το Q_2 παρατηρούμε ότι ο εκπομπός του συνδέεται στα

Εξωτερικά

100



$$V_{E2} = V_{C1} + V_{EBQ2} \\ = 8.6 + 0.7 = 9.3$$



Σχ. 4.22 Κυκλώματα Παραδείγματος 4.8.

+15 V διαμέσου της R_{E2} . Είναι λοιπόν ασφαλές να υποθέσουμε ότι η ένωση εκπομπού-βάσης του Q_2 θα είναι ορθά πολωμένη. Έτσι ο εκπομπός του Q_2 θα έχει τάση V_{E2} , η οποία δίνεται από τη σχέση

$$V_{E2} = V_{C1} + V_{EBQ2} \approx 8.6 + 0.7 = +9.3 \text{ V}$$

Το ρεύμα εκπομπού του Q_2 μπορεί τώρα να υπολογιστεί ως εξής:

$$I_{E2} = \frac{+15 - V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{15 - 9.3}{2} = 2.85 \text{ mA}$$

Εφόσον ο συλλέκτης του Q_2 συνδέεται στη γη μέσω της R_{C2} , είναι πιθανό

το Q_2 να λειτουργεί στην ενεργό περιοχή. Ας υποθέσουμε ότι αυτή είναι η περίπτωση εδώ. Βρίσκουμε λοιπόν το I_{C2} ως

$$\begin{aligned} I_{C2} &= \alpha_F I_{E2} \\ &= 0.99 \times 2.85 = 2.82 \text{ mA} \quad (\text{υποθέτοντας ότι } \beta_2 = 100) \end{aligned}$$

Η τάση συλλέκτη του Q_2 θα είναι

$$V_{C2} = I_{C2} R_{C2} = 2.82 \times 2.7 = +7.62 \text{ V}$$

που είναι χαμηλότερη από τη V_{B2} κατά 0.98 V. Έτσι το Q_2 βρίσκεται στην ενεργό περιοχή όπως είχε αρχικά υποτεθεί.

Είναι σημαντικό στο σημείο αυτό να υπολογίσουμε το σφάλμα στους υπολογισμούς μας που προέρχεται από το γεγονός ότι υποθέσαμε το I_{B2} αμελητέο. Η τιμή του I_{B2} δίνεται από τη σχέση

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta_2 + 1} = \frac{2.85}{101} = 0.028 \text{ mA}$$

Η τιμή αυτή είναι πράγματι πολύ μικρότερη από την τιμή του I_{C1} (1.28 mA). Αν επιθυμούμε, μπορούμε να πάρουμε ακόμα πιο ακριβή αποτελέσματα επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για μια ακόμη φορά και υποθέτοντας I_{B2} ίσο με 0.028 mA. Οι νέες τιμές θα είναι:

$$\begin{aligned} \text{Ρεύμα στην } R_{C1} &= I_{C1} - I_{B2} = 1.28 - 0.028 = 1.252 \text{ mA} \\ V_{C1} &= 15 - 5 \times 1.252 = 8.74 \text{ V} \\ V_{E2} &= 8.74 + 0.7 = 9.44 \text{ V} \\ I_{E2} &= (15 - 9.44) / 2 = 2.78 \text{ mA} \\ I_{C2} &= 0.99 \times 2.78 = 2.75 \text{ mA} \\ V_{C2} &= 2.75 \times 2.7 = 7.43 \text{ V} \\ I_{B2} &= 2.78 / 101 = 0.0275 \text{ mA} \end{aligned}$$

Παρατηρήστε ότι η νέα τιμή του I_{B2} είναι πολύ κοντά στην τιμή που χρησιμοποιήσαμε κατά τη διαδικασία επανυπολογισμού και έτσι δεν χρειάζεται νέος κύκλος επαναλήψεων. Τα τελικά αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 4.22(β).

Ο αναγνώστης εύλογα θα αναρωτηθεί για τη σκοπιμότητα της επαναληπτικής διαδικασίας κατά τη λύση ενός γραμμικού (ή γραμμικοποιημένου) προβλήματος. Πράγματι, μπορούμε να βρούμε την ακριβή λύση (αν μπορούμε να θεωρήσουμε τους υπολογισμούς που κάνουμε με τα μοντέλα πρώτης τάξης ακριβείς!), γράφοντας τις κατάλληλες εξισώσεις. Ο αναγνώστης ενθαρρύνεται να ακολουθήσει τη μέθοδο επίλυσης των εξισώσεων και να συγκρίνει τα αποτελέσματα με τα αποτελέσματα που βρήκαμε εδώ. Είναι σημαντικό ωστόσο να σημειώσουμε ότι στα περισσότερα προβλήματα της παραπάνω μορφής, είναι επαρκής η προσεγγιστική επίλυση, αν αυτή μπορεί να επιτευχθεί γρήγορα και φυσικά σωστά.

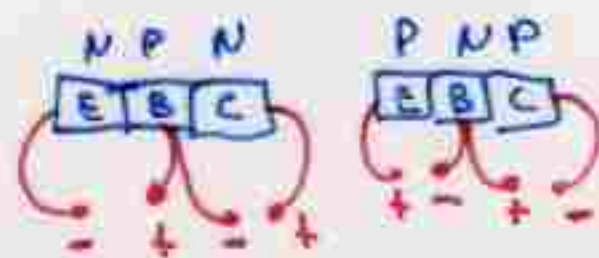
Fixo B_2

$$V_{B1} = 4.57V$$

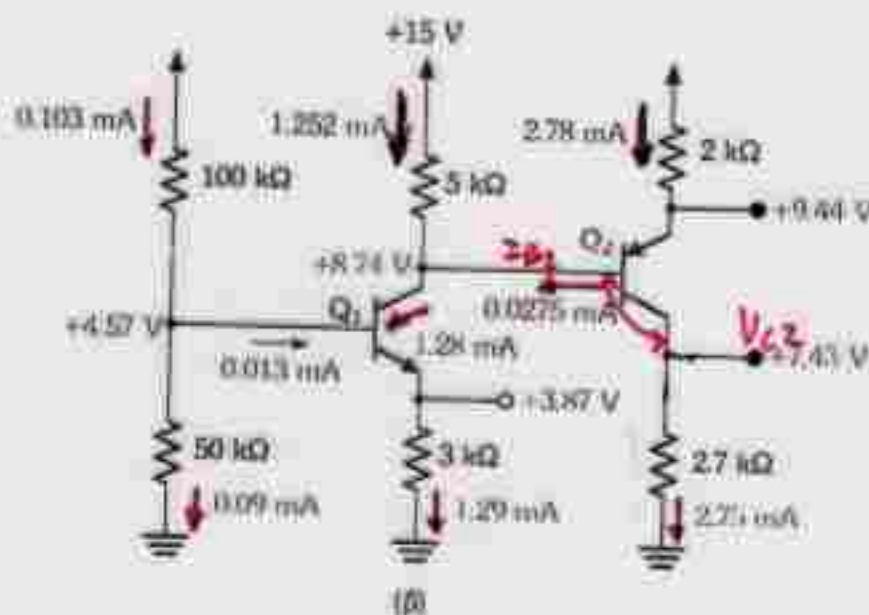
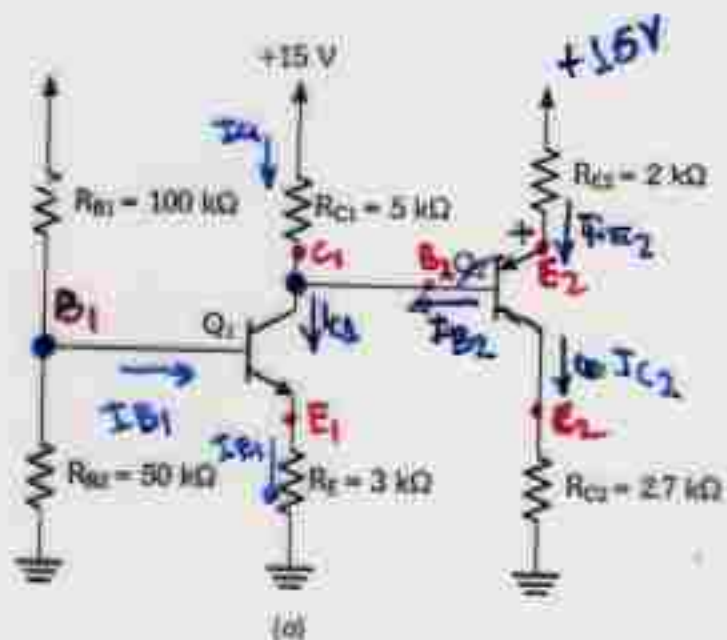
$$I_{E1} = 1.29mA$$

$$I_{B1} = 0.0128mA$$

$$I_{C1} = 1.28mA$$



$\beta = 100$



Οι τιμές αυτές
παίρνουν το $I_{B2} = 0.028mA$

$$I_{B2} = \frac{2.78}{101} = 0.0275mA$$

Σχ. 4.22 Κυκλώματα Παραδείγματος 4.8.

$$V_{C1} = 15 - I_{C1} R_{C1} = +8.6V$$

$$V_{E2} = V_{C1} + V_{BE2} \approx 8.6 + 0.7 = +9.3V$$

$$I_{E2} = \frac{15 - V_{E2}}{R_{E2}} = \frac{15 - 9.3}{2} = 2.85mA, I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta + 1} = \frac{2.85}{101} = 0.028mA$$

Λαμβάνοντας υπόψη $I_{B2} = 0.028mA$

$$I_{C1} = I_{C1} - I_{B2} = 1.28 - 0.028 = 1.252mA / V_{C1} = 15 - 5 + 1.252 = 8.74V$$

$$V_{E2} = 8.74 + 0.7 = 9.44V, I_{E2} = \frac{15 - 9.44}{2} = 2.78mA / V_{C2} = 2.75 + 2.7 = 7.43V$$

$V_{C1} > V_{B1} \Rightarrow$
Tr. Ένεργοποίηση

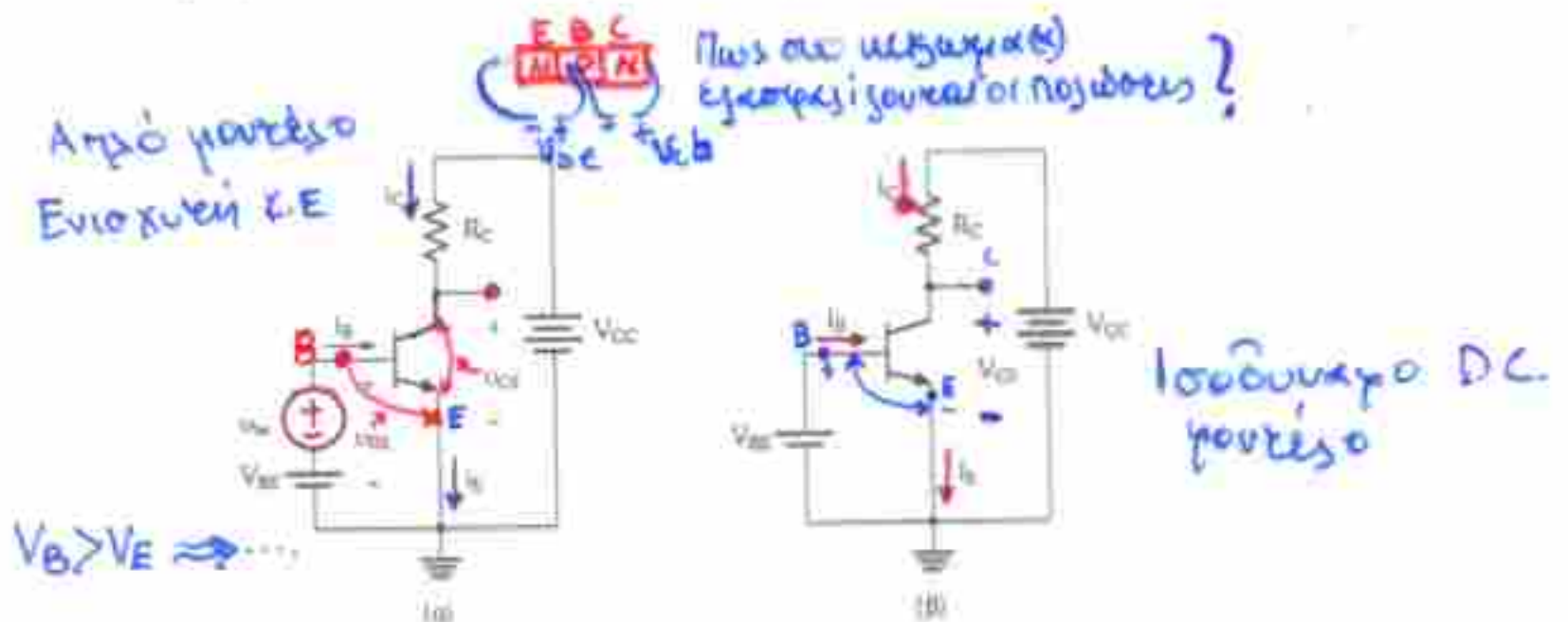
4

ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

Πρέπει να είναι πολωμένο στην ενεργό περιοχή

A. Λειτουργία στο dc

Αναφορά στο κύκλωμα 4.23(β)



Εχ. 4.23 (α) Ισοδύναμο κύκλωμα που δείχνει τη λειτουργία του τρανζίστορ σαν ενισχυτή. (β) Το κύκλωμα του (α) χωρίς την πηγή σήματος v_{be} για ανάλυση dc.

DC Λειτουργία α) $V_{BE} = 0$

$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T} \quad I_E = I_C / \alpha \quad I_B = I_C / \beta$$

$$V_C = V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

Για λειτουργία στην ενεργό περιοχή θα πρέπει $V_C > V_B$

B. Λειτουργία με την πηγή v_{be} - Ρεύμα συλλέκτη και διαγωγιμότητα.

Αναφορά στο κύκλωμα 4.23(α)

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be}(t) \quad i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \Rightarrow i_C = I_S e^{(V_{BE} + v_{be})/V_T}$$

λειτουργία
σταγδιαία
έκρηξη

5

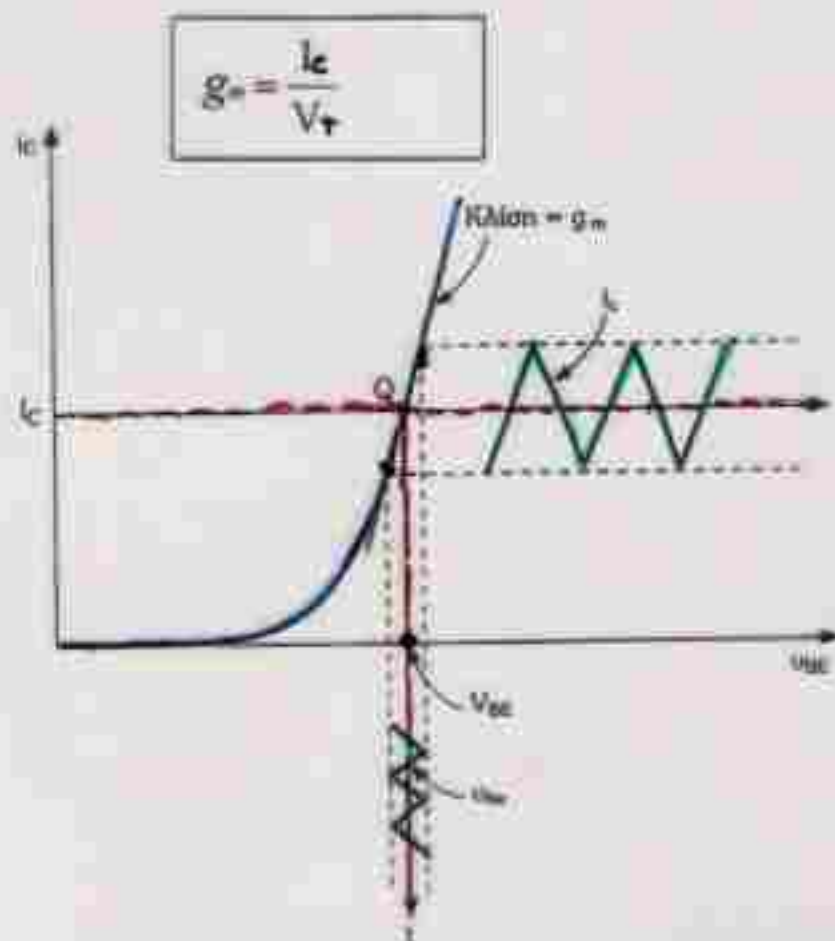
$$V_{BE} < 10\text{mV}$$

με την προσέγγιση ασθενούς μικρού σήματος (10 mV), η παραπάνω σχέση γράφεται:

$$i_C = I_C + I_C / V_T * v_{be}$$

όπου I_C τιμή πόλωσης και $I_C / V_T * v_{be}$ η τιμή συνιστώσας i_c .

Το μέγεθος $\frac{I_C}{V_T}$ ονομάζεται διαγωγιμότητα g_m



$$g_m = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{BE}} \right|_{i_C = I_C}$$

Σχ. 4.24 Γραμμική λειτουργία του τρανζίστορ σε συνθήκες ασθενούς σήματος: Ένα μικρό σήμα v_{be} τριγωνικής κυματομορφής υπερτίθεται στην σε τάση V_{BE} . Το

Στο σχήμα φαίνεται ο τι η διαγωγιμότητα g_m ισούται με την κλίση της χαρακτηριστικής $I_C - v_{BE}$ στο σημείο λειτουργίας Q.

Προσέγγιση ασθενούς σήματος : προϋποθέτει το V_{BE} να κρατείται αρκετά χαμηλό, ώστε η μεταβολή του $T_C(Q)$ να περιορίζεται στο χαμηλό τμήμα της χαρακτηριστικής $I_C - V_{BE}$

(6)

Πείρα Βασιλ - Αντίσταση εισόδου στη Βίση

Αντίσταση που βλέπει η U_{be}

$$i_b = \frac{i_c}{\beta} = \frac{I_c}{\beta} + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{I_c}{V_T} U_{be} \approx$$

$$i_b = I_B + i_b$$

Οπου $I_B = \frac{I_c}{\beta}$ και $i_b = \frac{1}{\beta} \underbrace{\frac{I_c}{V_T}}_{g_m} U_{be} \Rightarrow$

$$i_b = \frac{g_m}{\beta} U_{be}$$

Αντίσταση εισόδου ασθενώς σήματος B-E

$$r_{\pi} = \frac{U_{be}}{i_b}$$

\Rightarrow

$$r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m}$$

$$r_{\pi} \sim \beta$$

$$r_{\pi} \sim \frac{1}{I_c}$$

$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B}$$

Πείρα Εκπομπής - Αντίσταση εισόδου

που Εκπομπή

$$i_e = \frac{I_c U_{be}}{V_T} \quad i_e = \frac{i_c}{\alpha} = \frac{I_c}{\alpha} + \frac{i_c}{\alpha} \approx i_e = I_E + i_e$$

Οπου $I_E = \frac{I_c}{\alpha}$ και $i_e = \frac{i_c}{\alpha} = \frac{I_c}{\alpha V_T} U_{be} = \frac{I_E}{V_T} U_{be}$

Αντίσταση
Εκπομπής
και

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m}$$

$$r_{\pi} = (\beta + 1) r_e$$



ΑΠΟΛΑΒΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ - ΚΕΡΔΟΣ ΤΑΣΗΣ

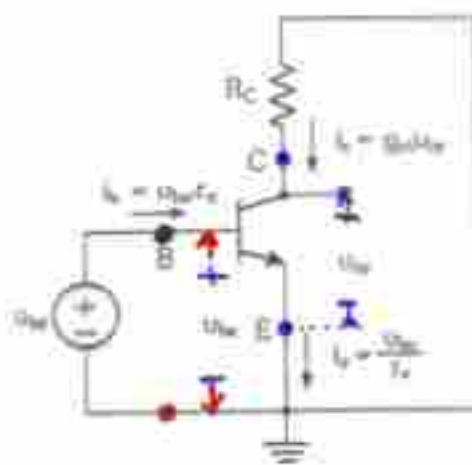
$$\alpha = \frac{V_c}{V_{be}} = \frac{-I_c R_c}{V_{be}} = \frac{-g_m V_{be} R_c}{V_{be}} = -g_m R_c$$

Όπως έχουμε δείξει, κάθε τάση και κάθε ρεύμα στο κύκλωμα του ενισχυτή, αναλύεται από δύο ομοιομορφίες: για DC και για σιωπώσα σήματα.

$$V_{BE} = V_{BEF} + v_{be}, \quad i_c = I_C + i_c$$

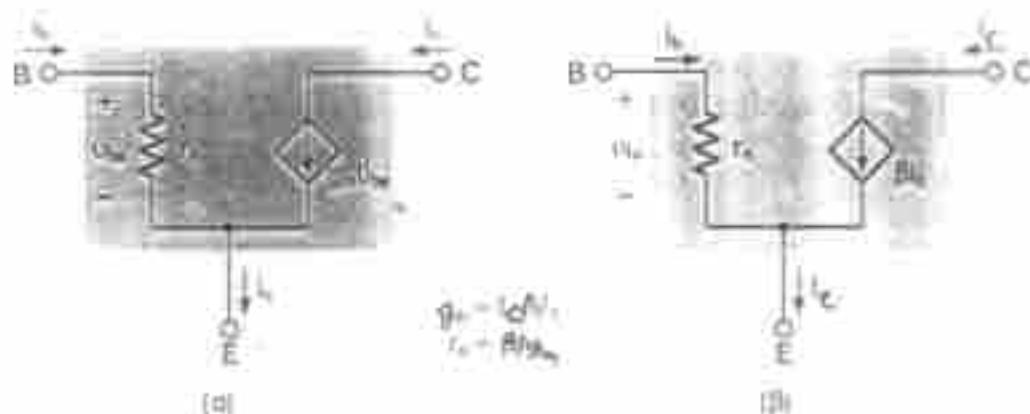
Στο παρακάτω σχήμα έχουν απομονωθεί οι DC πηγές, και φαίνονται μόνο οι σιωπώσες σήματα.

Σχ. 4.25
Το κύκλωμα ενισχυτή του Σχ. 4.23(α) χωρίς τις DC πηγές V_{BE} και V_{CC} . Είναι παρουσιάζονται στο κύκλωμα μόνο οι σιωπώσες σήματα. Το κύκλωμα αυτό δεν είναι πραγματικό, ωστόσο ενισχυτή, απλά παρουσιάζει την άπειρη πηγή σήματος του τρανζίστορ.



Ισοδύναμο
δοθέντος
σήματος

Π - Ισοδύναμο διατεταγμένου σήματος v_{be}



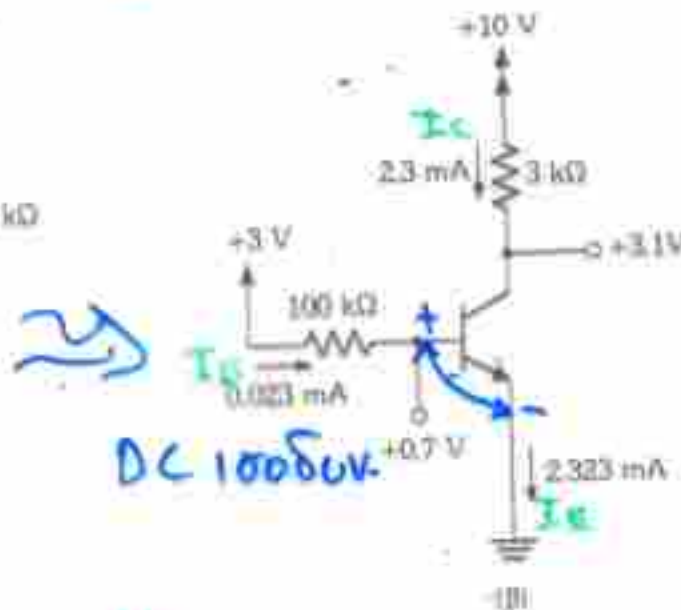
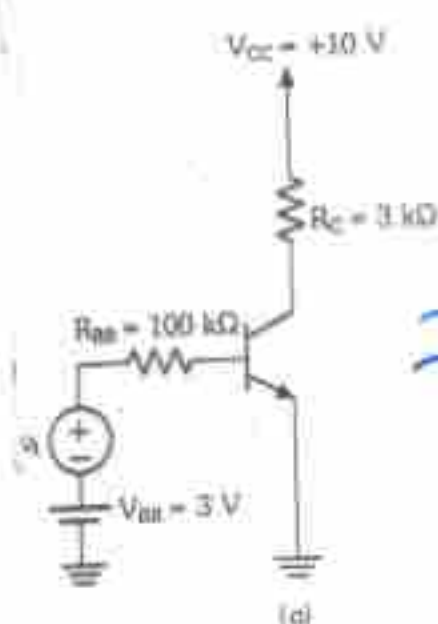
Σχ. 4.26 Δύο διαφορετικές εκδοχές του απλοποιημένου υβριδικού-π μοντέλου για τη λειτουργία αθροιστικού σήματος του διπολικού τρανζίστορ. Το ισοδύναμο κύκλωμα στο (α) παρουσιάζει το τρανζίστορ σαν εξαρτημένη πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τάση (ενισχυτής διαγωγιμότητας) και στο (β) το τρανζίστορ παρουσιάζεται σαν εξαρτημένη πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από ρεύμα (ενισχυτής ρεύματος).

Παράδειγμα 4.9

Ex

Εύρεση : α) $Q(I_C, V_C)$, β) Παράμετροι αοθενούς μοντέλου

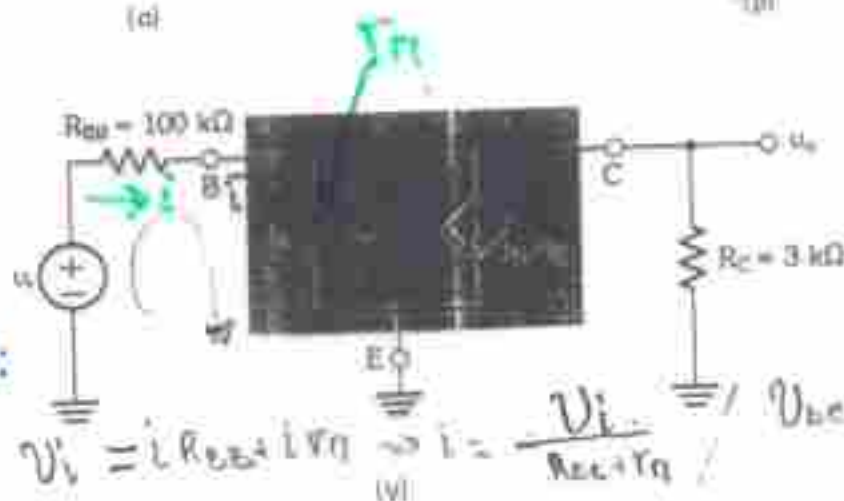
α) $V_i = 0$ (Βραχυκυκλώνω V_i)



$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}} = 0.023 \text{ mA}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} \quad \text{ή} \quad V_C = I_C R_C = \beta \cdot I_B \cdot R_C = 3.1 \text{ V}$$

$Q(2.3 \text{ mA}, 3.1 \text{ V})$



AC ανάλυση:

Βραχυκυκλώνω V_{BB}, V_{BE}

V_{BB}, V_{BE}

4.28 Παράδειγμα 4.9: (α) κυκλώμα (β) ανάλυση dc (γ) μοντέλο αοθενούς σήματος.

άση dc στο συλλέκτη θα είναι

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = +10 - 2.3 \times 3 = +3.1 \text{ V}$$

ισον $V_{BE} = +0.7 \text{ V}$, προκύπτει ότι σε συνθήκες ηρεμίας το τρανζίστορ θα αοργεί στην ενεργό περιοχή. Η ανάλυση dc φαίνεται στο Σκ. 4.28(β). Ίχοντας βρεί το σημείο λειτουργίας μπορούμε να προχωρήσουμε στην ίση των παραμέτρων του μοντέλου αοθενούς σήματος:

Κερδος τάσης:

$$V_o = -g_m V_{be} R_C = -3.04 V_i$$

$$\alpha = \frac{V_o}{V_i} = -3.04$$

$Q(I_C, V_C)$

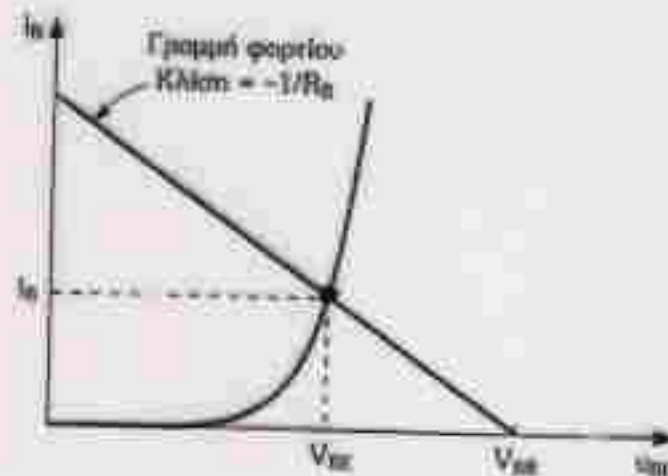
$$b) \quad r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25 \text{ mV}}{2.3/0.99 \text{ mA}} = 10.8 \Omega$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.3 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 92 \text{ mA/V}$$

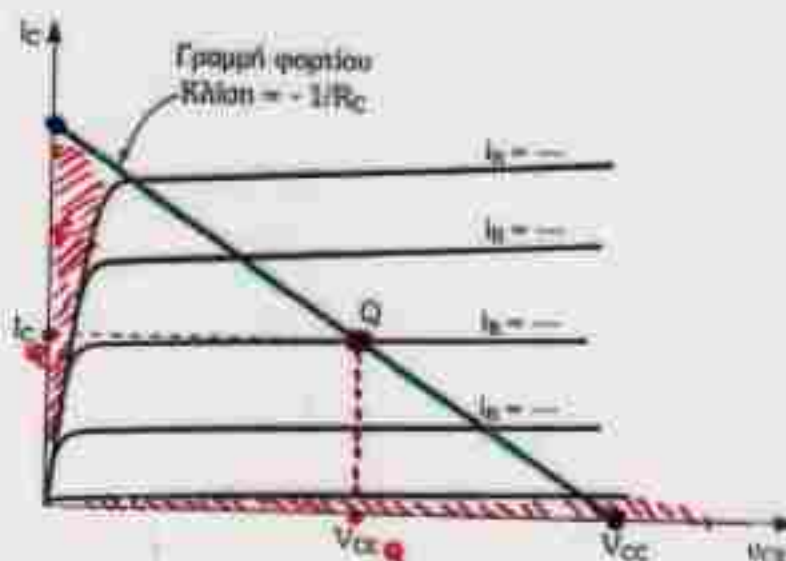
$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 1.09 \text{ k}\Omega$$

8

ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

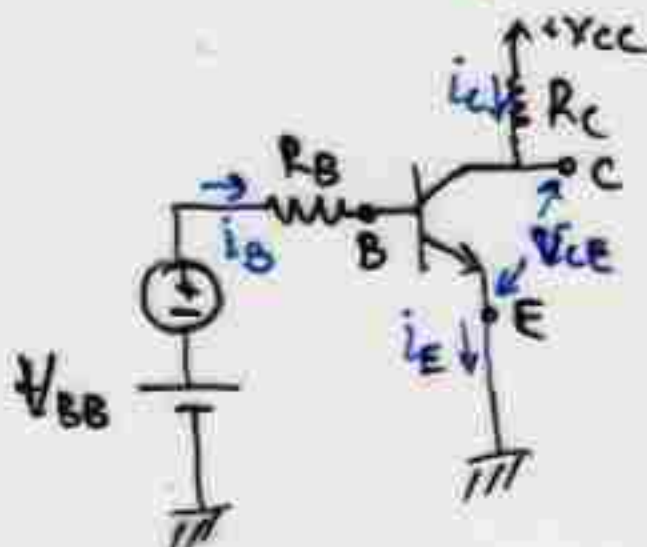


Σχ. 4.35
Γραφική διερεύνηση του dc ρεύματος βάσης του κυκλώματος του Σχ. 4.34.



Σχ. 4.36
Γραφική διερεύνηση του dc ρεύματος συλλέκτη I_C και της τάσης V_{CE} του κυκλώματος του Σχ. 4.34.

$Q(V_{CE}, I_C)$



$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \Rightarrow$$

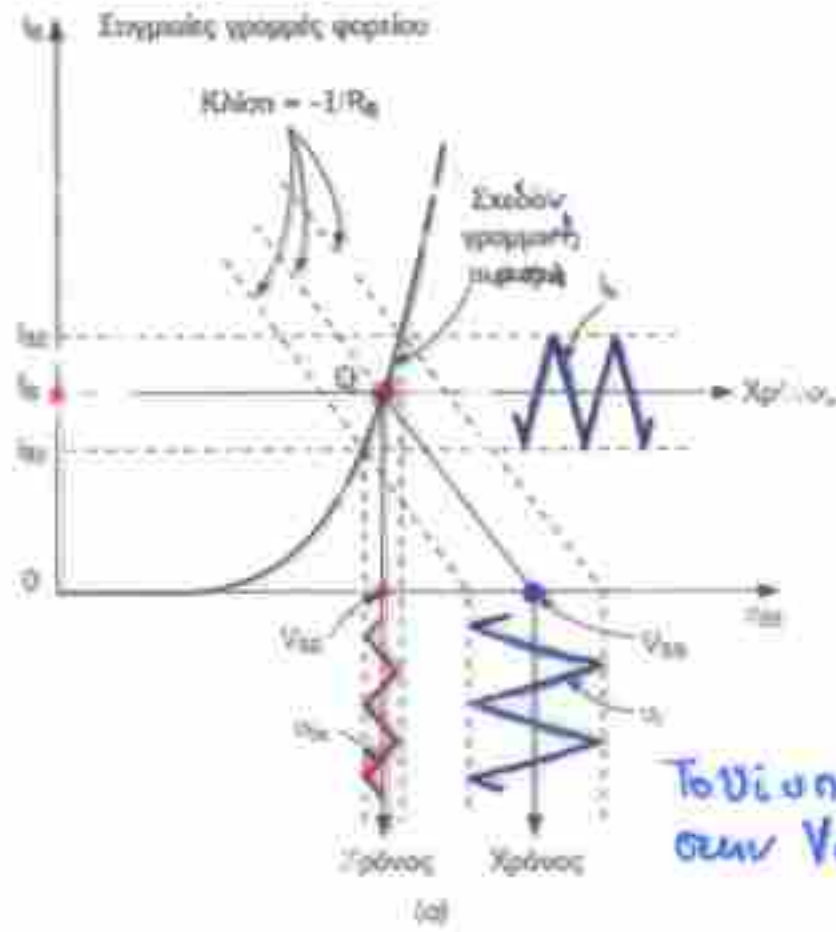
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} - \frac{1}{R_C} V_{CE}$$

Παριστάμεν την

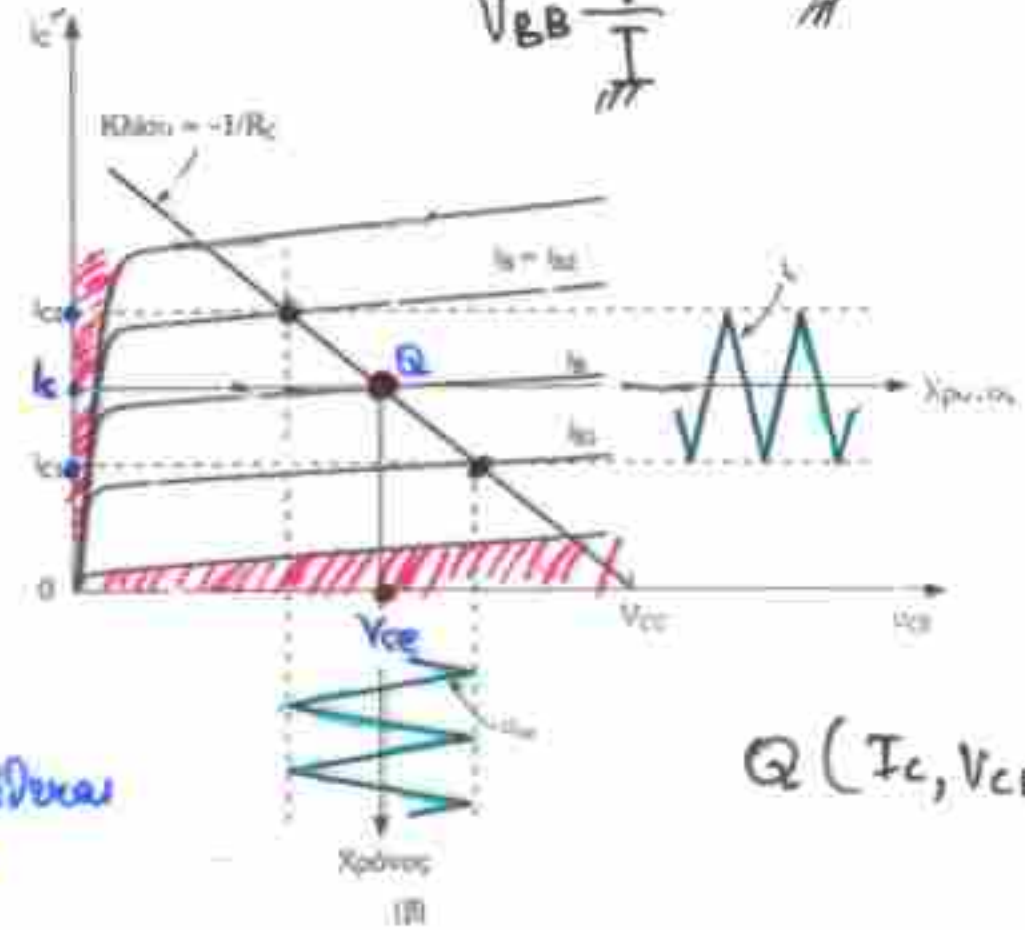
ευθεία φόρτου

α) $I_C = 0 \Rightarrow V_{CC} = V_{CE}$

β) $V_{CE} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$



To Vi o neeridena
om Vaa


$$Q(I_C, V_{CE})$$

Σχ. 4.37 Γραφική διαχείριση των u_{sup} , l_{sup} , l_{c} και u_{ss} όταν διεισδύει σήματος u_i υπέρβλητο στην δοτόση v_{ss} (βλ. Σχ. 4.34).

Πόλωση του διπολικού Τρανζίστορ

- Πόλωση νοούμε την σταθερή τάση dc που πρέπει να εφαρμοσθεί, ώστε να εξασφαλισθεί ένα σταθερό ρεύμα I_E στον εκπομπό του τρανζίστορ.
- Το ρεύμα αυτό πρέπει να είναι ανεξάρτητο σε μεταβολές της θερμοκρασίας και του β .
- Τα μεγέθη που εξαρτώνται από την θερμοκρασία είναι: $I_C(I_E)$, V_{BE} , I_{CBO}

Τεχνικές πόλωσης

Πόλωση με χρήση ενός τροφοδοτικού V_{CC}

- Η πόλωση της βάσης εξασφαλίζεται με διαιρέτη τάσης δυο αντιστάσεων R_1 , R_2
- Για να είναι το I_C ανεξάρτητο της θερμοκρασίας θα πρέπει

$$V_{BB} \gg V_{BE}$$

$$R_E = \frac{R_2}{\beta + 1}$$

8β ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΩΣΗΣ ΔΙΠΟΛ. ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

IE ανεξάρτητο
θερμικά

- α) $V_{BB} \gg V_{BE}$ (1)
β) $R_E \gg \frac{R_B}{\beta+1}$ (2)

Σχεδίαση (1)

$$V_{BB} \approx \frac{1}{3} V_{CC}, I_C R_E \approx \frac{1}{3} V_{CC}, V_{CE} \approx \frac{1}{3} V_{CC}$$

Σχ. 4.38 Πόλωση των διπολικών τρανζίστορ με απλό τροφοδοτικό. (α) Κυκλώμα. (β) Κυκλώμα με διακριτή τάση που τροφοδοτεί τη βάση που έχει αντικατασταθεί από το ισοδύναμο της Thevenin.

(2): IE ανεξάρτητο θ, όταν R_B γιθεί (R_1, R_2 γιθεί)

α) Χέση ενός Τροφοδοτικού

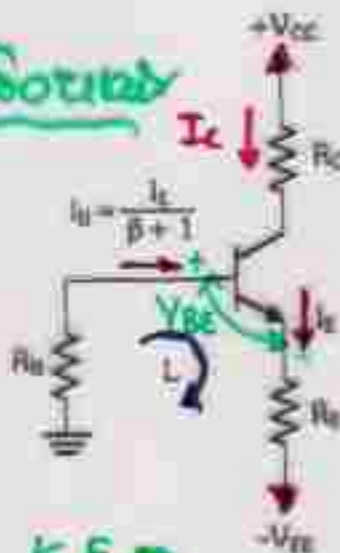
$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}, R_{BB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BB} - V_{BE} = I_B R_B + I_E R_E \Rightarrow$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

β) Χέση 2-τροφοδοτικών

Σχ. 4.39 Πόλωση του διπολικού τρανζίστορ με χρήση δύο τροφοδοτικών. Η αντίσταση R_B χρειάζεται μόνο εάν το σημείο πρόκειται να συνδεθεί στη βάση. Αλλιώς η βάση μπορεί να συνδεθεί απευθείας στη γη.



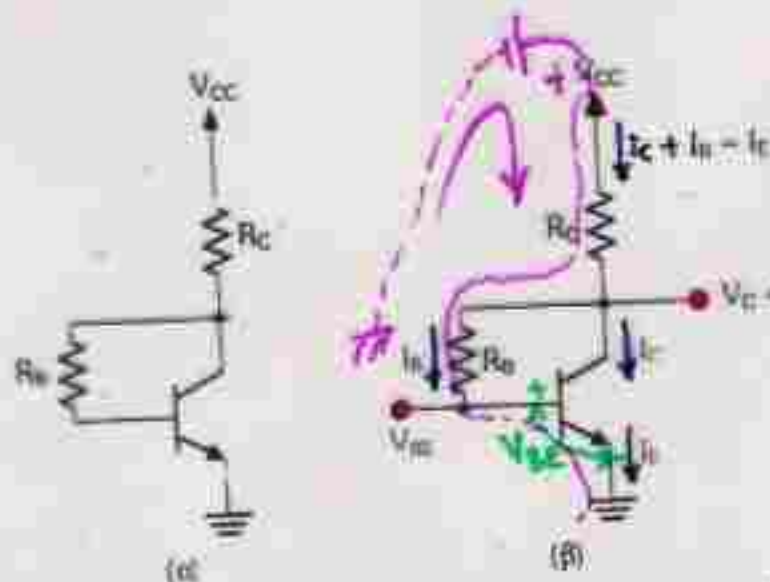
$$V_{EE} - V_{BE} = I_B R_B + I_E R_E$$

Ισχύουν και εδώ οι προεριστοί γι το IE

$$V_{BB} \gg V_{BE}$$

$$R_E \gg \frac{R_B}{\beta + 1}$$

γ) Χέση σε Έναρ. Κ.Ε. (ανάδεση)



$$V_{CC} - V_{BE} = I_C R_C + I_B R_B \Rightarrow$$

$$V_{CC} = V_{BE} + I_E R_C + \frac{I_E R_B}{\beta + 1}$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + R_B / (\beta + 1)}$$

Σχ. 4.40 (α) Απλή εναλλακτική συνδεσμολογία κυκλώματος πόλωσης κατάλληλη για ενισχυτές κοινού εκπομπού. (β) Ανάλυση του κυκλώματος του (α).

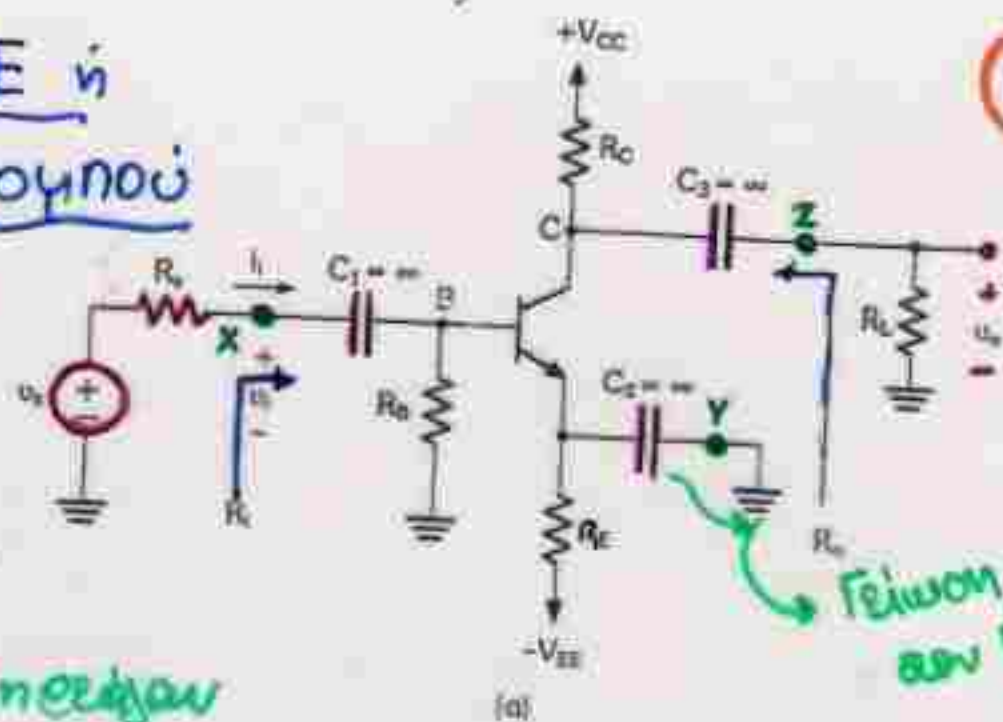
IE ανεξάρτητο στη γενεαλογία του θ; $R_C \gg \frac{R_B}{\beta + 1}$

R_B δίνει αρχική ανάδεση

Ενισχυτής Κ.Ε ή Χειωμένου Εκπομπού

C_1, C_2 : Πυκνωτές
αίεσης

C_3 : Πυκνωτής Παρά-
καμψης



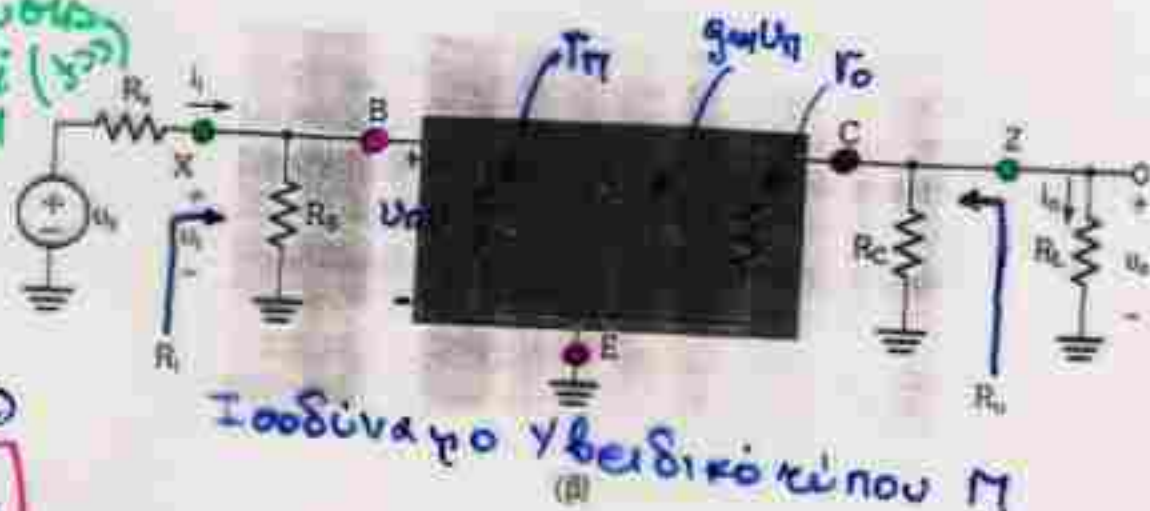
Γείωση σήματος
απ' Ε >> Κ-Ε

- α) Οι πυκνωτές δεν επηρεάζουν
τις αλληλές ποσότητες
β) Σαν συνόλεμα U_i (Y)
είναι βραχυκυκλωμένοι

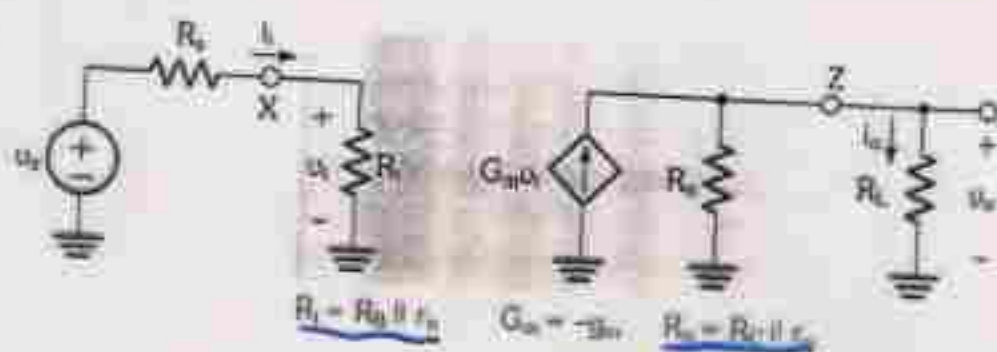
$X_C = \frac{1}{j\omega C}$
 $R_i = R_B // r_{\pi}$

για $R_B \gg r_{\pi} \Rightarrow$

$R_i \approx r_{\pi}$



Ισοδύναμο Υβριδικό κέλυφος M



Αντικατάσταση με
μοντέλο διαγωγιμότητας

Σχ. 4.43 Ο ενισχυτής κοινού εκπομπού: (α) κύκλωμα που προκύπτει από αυτό του Σχ. 4.42 (β) ισοδύναμο κύκλωμα που προκύπτει από την αντικατάσταση του τρανζίστορ με το υβριδικό-π μοντέλο του (γ) ισοδύναμο κύκλωμα σαν ενισχυτή διαγωγιμότητας.

$R_o = R_C // r_o \rightarrow R_o \approx R_C$

$A_{v3} = -\beta \frac{1}{1 + r_{\pi}/R_B}$

Κέρδος τάσης ανοικτού κυκλώματος:
 $= -g_m (R_C // r_o)$

$A_{vo} = \frac{U_o}{U_i} \Big|_{R_L = \infty} =$

Ολικό κέρδος: $A_v = \frac{U_o}{U_s} = -\frac{\beta (R_C // R_L // r_o)}{r_{\pi} + R_s}$

ΤΕΛΙΚΑ

$R_i \approx r_{\pi}$ (μικρό), $R_o = R_C // r_o$ (υψηλό), Μεγιστο κέρδος A_{v3}

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ Κ.Ε ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ R_E

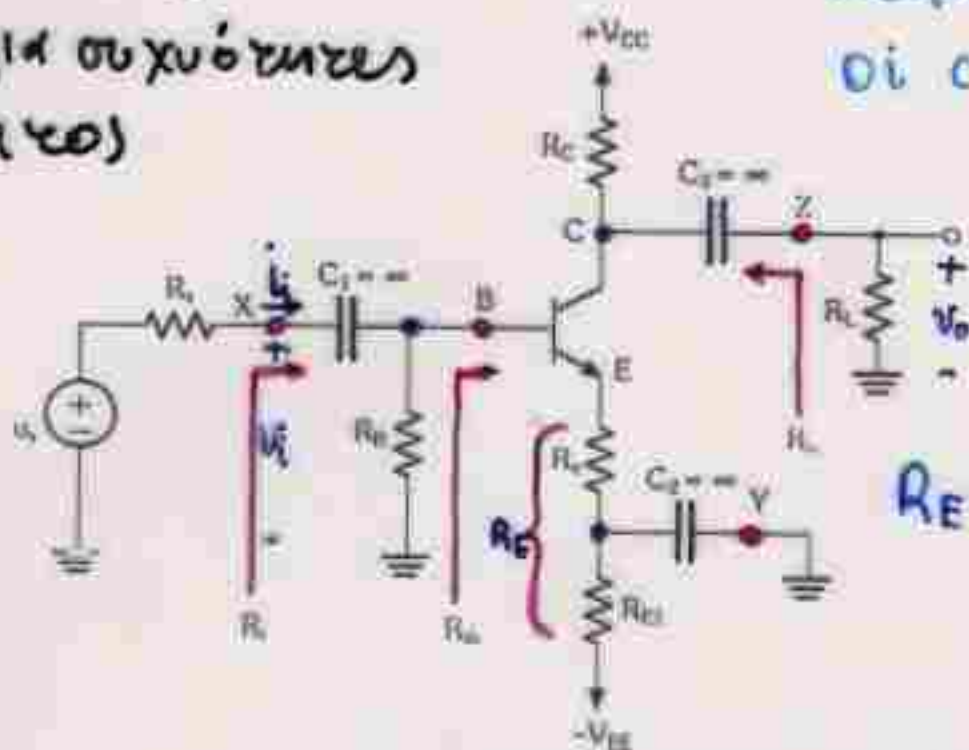
(10)

C_1, C_3 : πυκνωτές σύζευξης

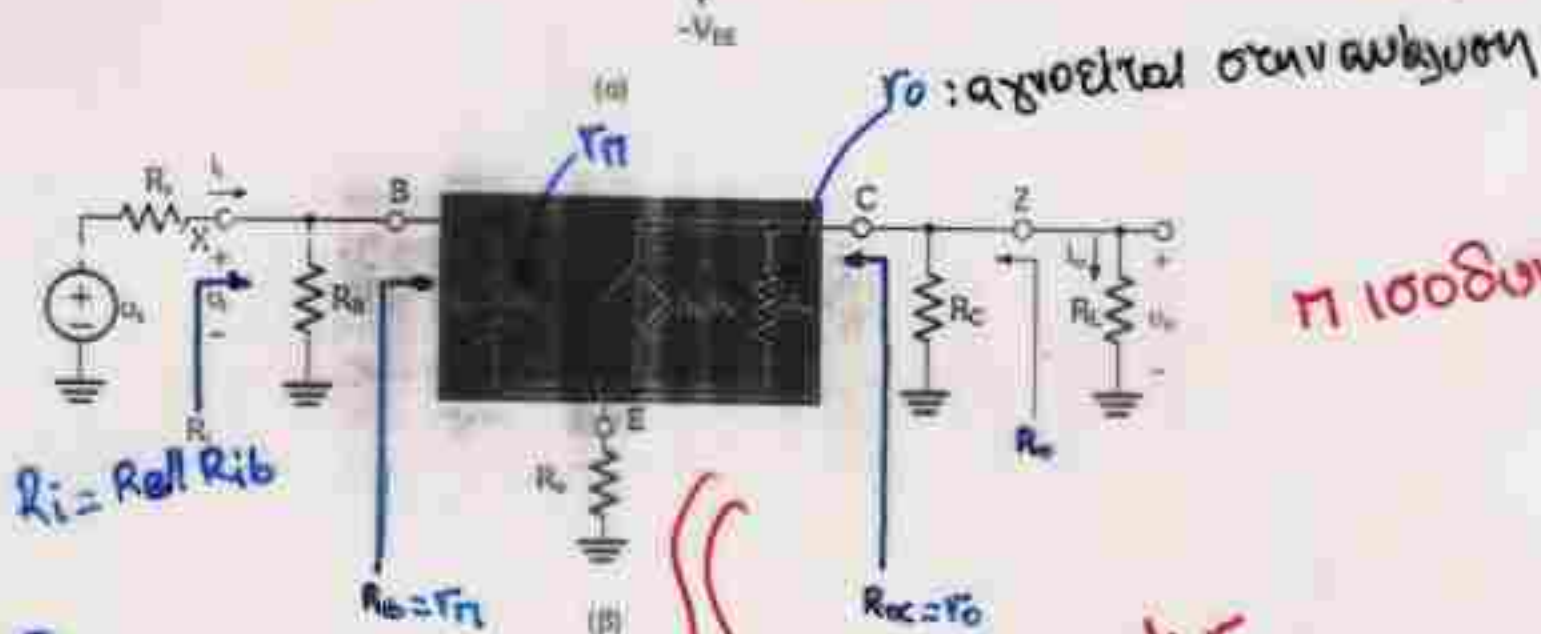
C_2 : βαρυμεγάνευση του Ε

συνήθ. για συχνότητες
σήματος

Στη συχνότητα λειτουργίας
οι C_1, C_2, C_3 είναι βαρυμεγάνευτοι

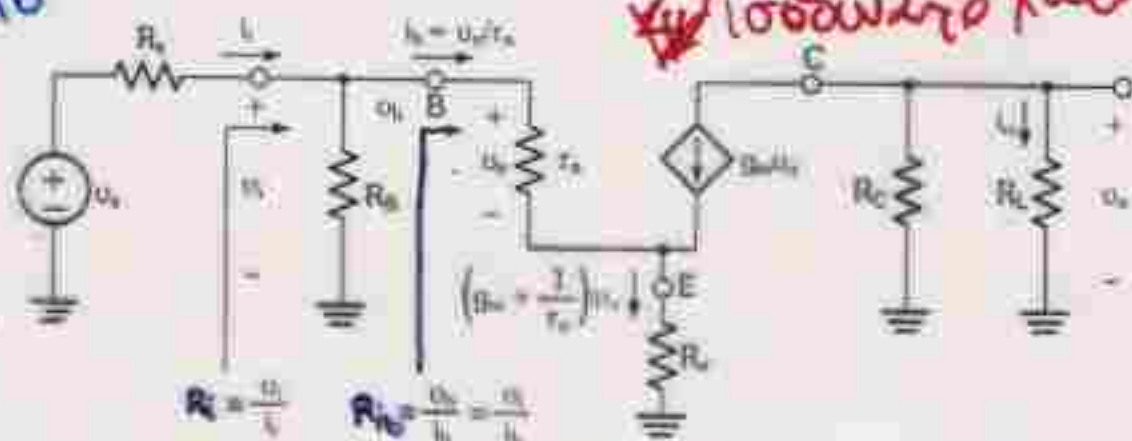


$$R_E = R_{E1} + R_{E2}$$



η ισόδυναση r_o

χωρίς r_o



ισόδυναση r_o (με)

$$R_i = R_B // r_{\pi} (1 + g_m R_E) = \frac{(b+1)(r_e + R_E)}{r_{\pi}}$$

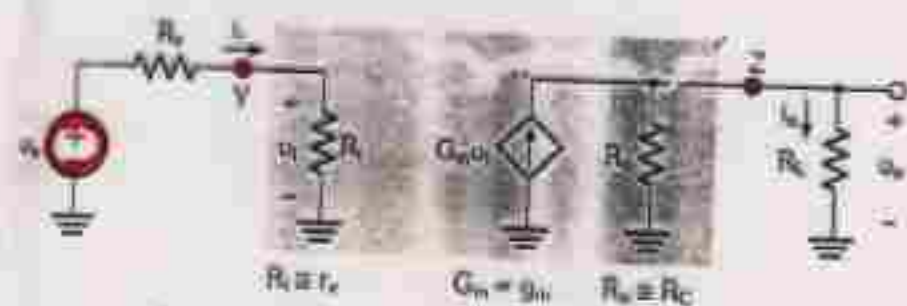
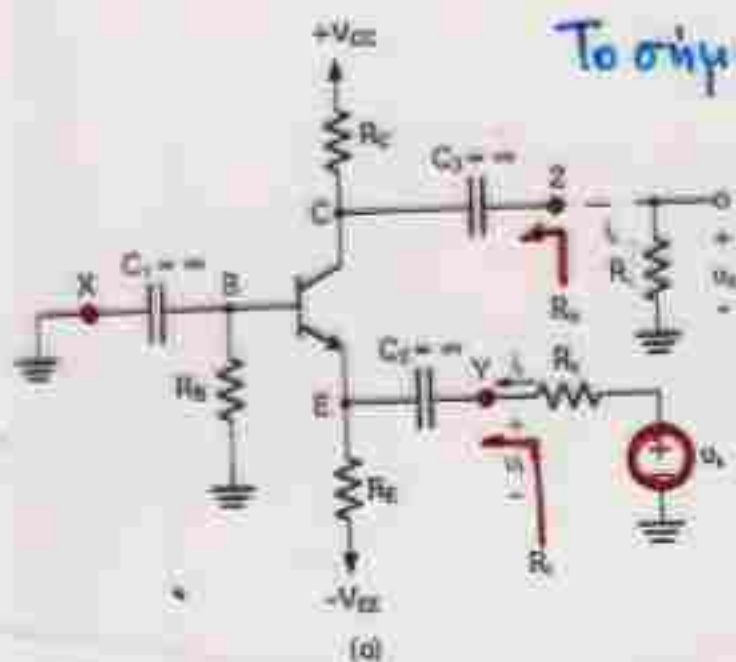
$$R_o = R_C // R_{oc} \rightarrow R_o \approx R_C$$

Συνολικό κέρδος τάσης:

$$A_v = - \frac{R_C // R_L}{r_e + R_E}$$

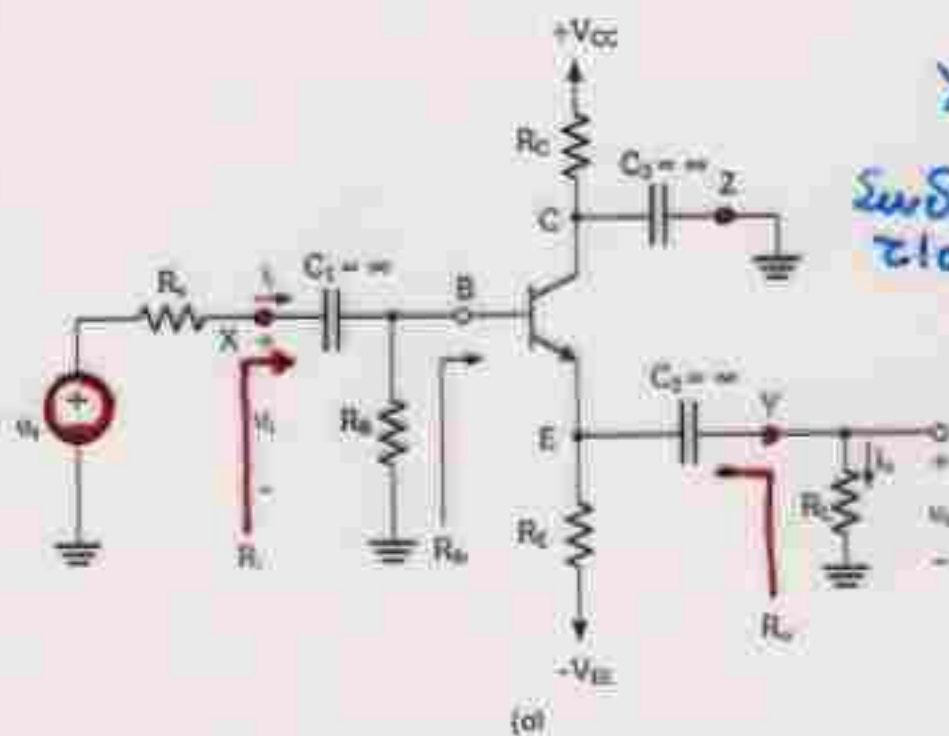
Κ. Β

Το σήμα εφευρεθεί για Ε-Β

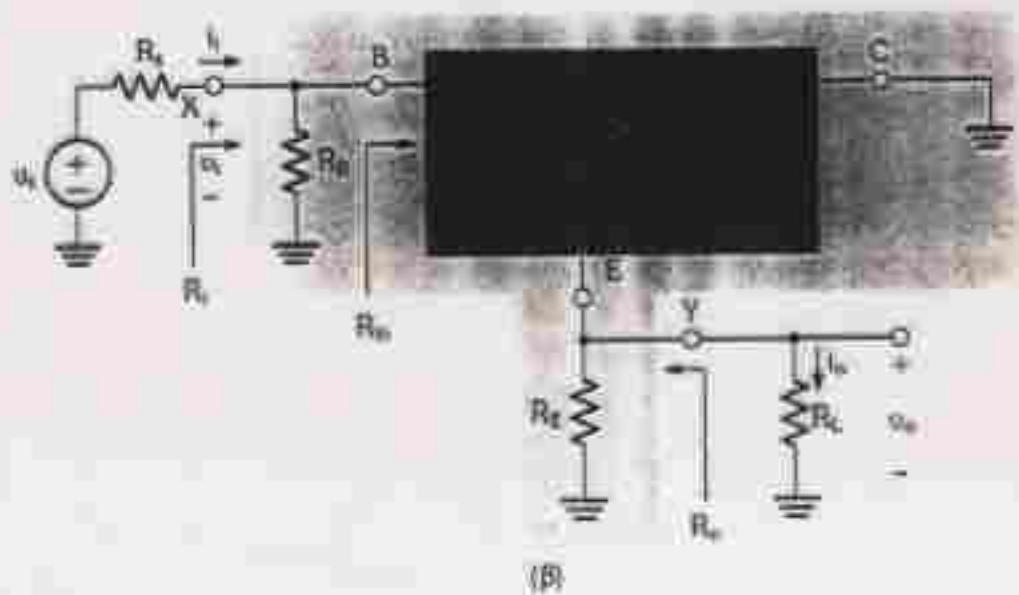


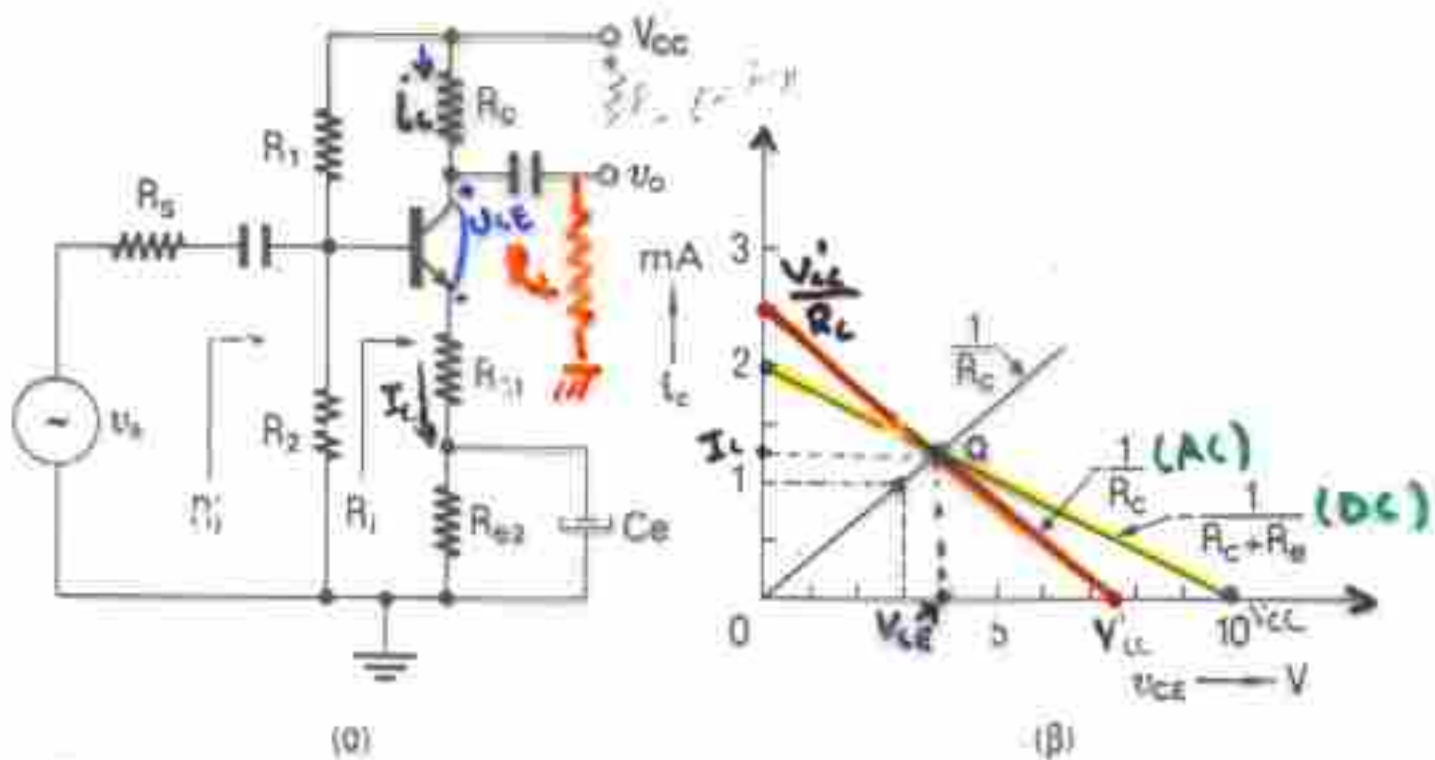
Χρήση: ως απογυωτής σήματος
 έχει μεγάλους ΒΜ και Κ.Ε

Κ. Σ



Χρήση: Buffer
 Σωδός για Υ. Απώ. σε φορτίο
 Υ. Απώ. σε φορτίο
 Κέρδος < 1





$$R_C = 3K \quad R_{E1} = 50\Omega \quad V_{CC} = 10V \quad A_{us} = -30 \quad R_1 = \quad V_o(P-P)$$

$$R_s = 1K \quad R_{E2} = 2K \quad \beta = 100 \quad R_2 =$$

i_c, V_{CE} : συνολικό πείρα - τάση

$$R_E = R_{E1} + R_{E2} \approx R_{E2}$$

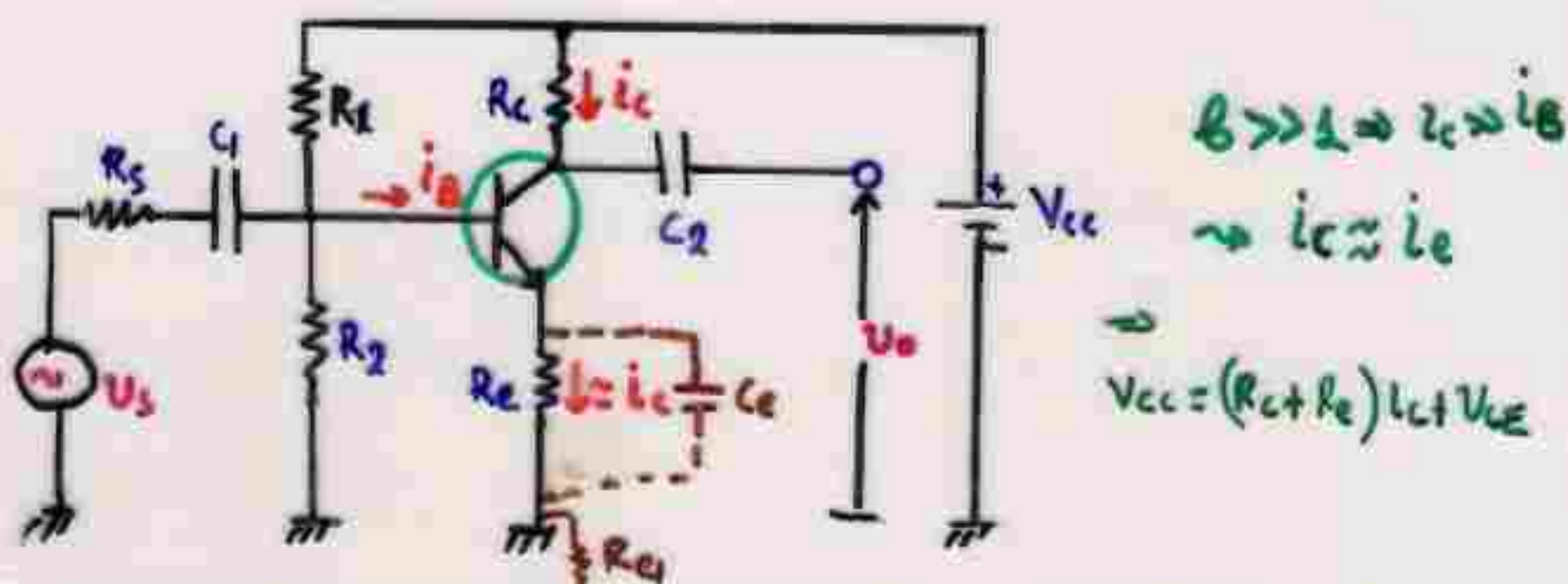
Q: γύρω από εἰς αὐτὴν ὑποθέτουμε : $I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{R_C + R_E} \quad V_{CEQ} = \frac{V_{CC}}{2}$

$$R'_C = R_C // R_L$$

$$A_u = - \frac{R'_C}{R_i} \cdot \beta$$

$$A_{us} = \frac{R'_i}{R'_i + R_s} \cdot A_u$$

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΝΙΣΧΥΤΗ



$$\beta \gg 1 \Rightarrow i_c \approx i_b$$

$$\Rightarrow i_c \approx i_e$$

$$\Rightarrow V_{cc} = (R_c + R_e) I_c + V_{CE}$$

R_e : σταθεροποιεί το σημείο Q, σε μεταβολές β

β) αυξάνει την αντιστάση εισόδου

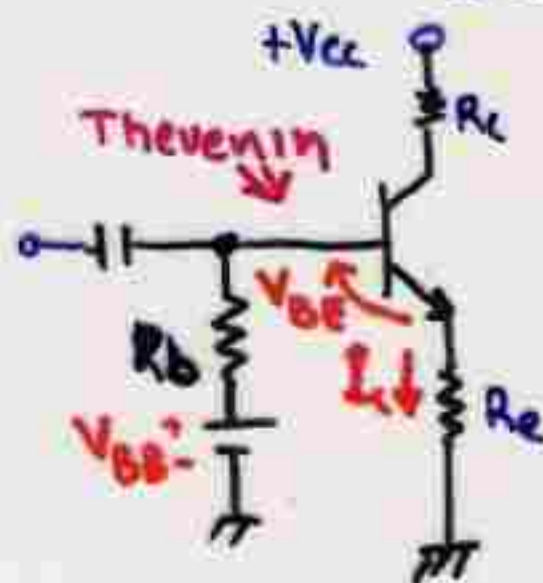
γ) Ενίσχυση σταθερή και ανεξάρτητη στοιχείων T_r

Ποζωση του ενισχυτή (καθορίζεται από R_1, R_2)

Επίλογη του Q στην ευθεία φορτίου, στο μέσον

$$I = \frac{V'_{cc}}{2(R_c + R_e)}$$

$$V_{CE} = \frac{V'_{cc}}{2} \quad \text{όπου } V'_{cc} = V_{cc} - R_e I_c$$



R_B : η ισοδύναμη αντιστάση κείνη της βάσης

$$R_B = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_1, R_2$$

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{cc}$$

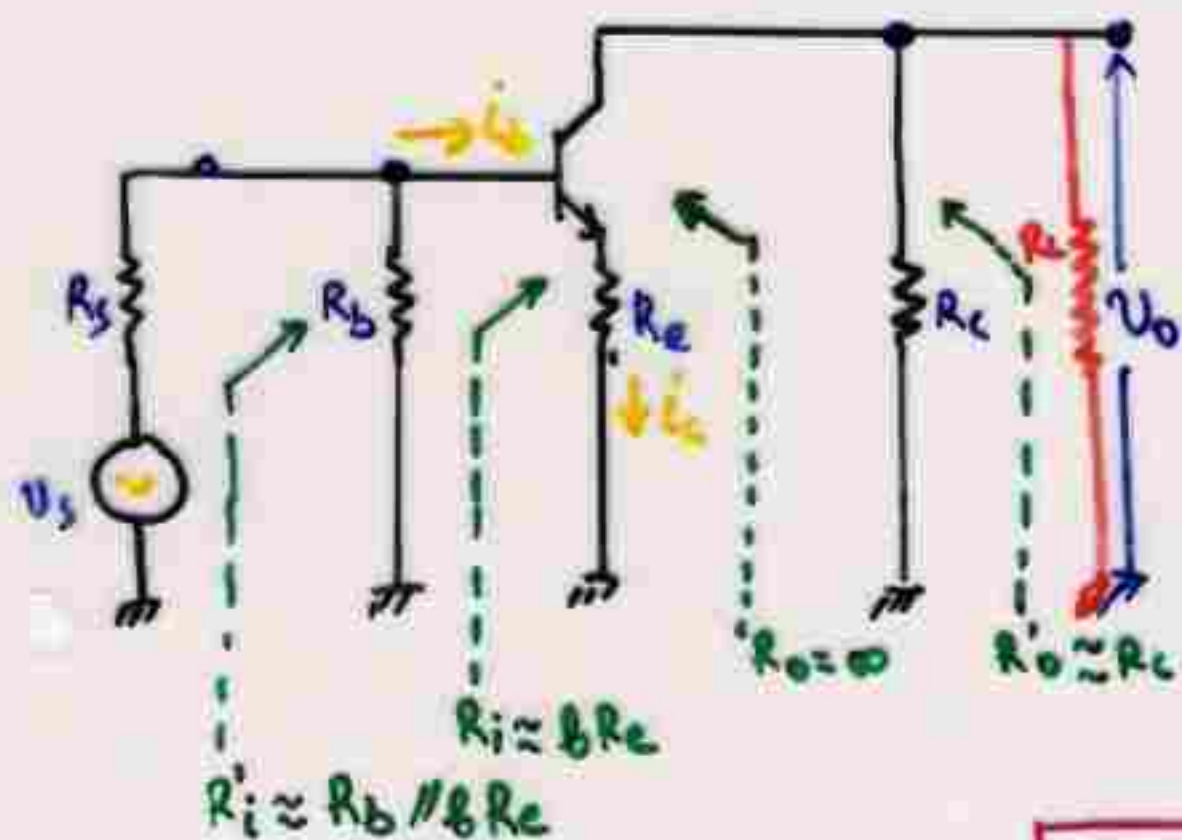
$$\text{ακόμη } V_{BB} = \left(\frac{R_B}{\beta} + R_e \right) I_c + V_{BE}$$

$$\text{ΠΡΑΞΗ: } R_B \approx \frac{1}{10} R_1$$

R_B πικνύει την σταθερά β
 Περνώντας $R_B > R_1$, σω γίνεται υποβιβασμός ενίσχυσης

AC - Ισοδυναμιο

2



$$R_i = (b+1)(r_{be} + R_e) \approx b R_e$$

$$R_o \approx \infty$$

$$R'_o \equiv R_c$$

$$A_i = \frac{-I_c}{I_b} = -b$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_c I_c}{R_i I_b} \Rightarrow$$

$$A_v = -b \frac{R_c}{R_i} \approx -\frac{R_c}{R_e}$$

$A_v \sim \left| \frac{R_c}{R_e} \right|$ και αυξάνεται παρέρχεται T_r

Για έκφραση σε παρέρχεται h βάλω: $b = h_{fe}$
 $b R_e = h_{ie}$

Πυκνωτής C_e : είναι $A_v \sim \frac{1}{R_e}$, $\rho_{\omega} \sim R_e$

$X_c < R_e$ στο AC, οπότε το DC πέρα από R_e και AC από $X_c(C_e)$

Επειδή η $R_e \rightarrow 0$ για AC πέρα $\Rightarrow R_i \rightarrow 0$. Όταν είναι απαραίτητη $R_i \gg$, βάζουμε αντιστάση R_{e1} σε σειρά με την R_e

$X_c = \frac{1}{2\pi f C_e}$, $\lambda_{\omega} \rho_{\omega}$ πέρα: $X_c = \frac{1}{10} R_{\omega}$, R_{ω} η αντιστάση

που βγαίνει ο πυκνωτής στη σειρά

Κρίσιμη συχνότητα: λ_{ω} όταν $X_c \approx R_{\omega} \Rightarrow f = \dots$

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 διαφέτη 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	$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_c i_c}{R_i i_b}$	
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 ενισχυτή 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 $X_c = \frac{1}{10} R_{\alpha}$