

Διπολικά Transistor

Μέρος Β'

14/12/2020

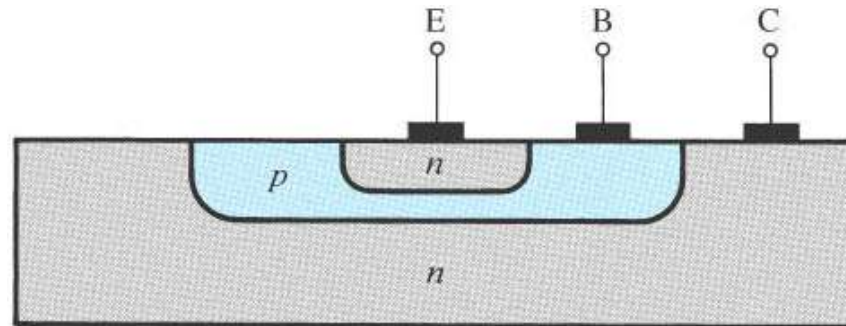
Μάθημα 90

Επανάληψη

Το τρανζίστορ npn

Περιοχές λειτουργίας διπολικού τρανζίστορ

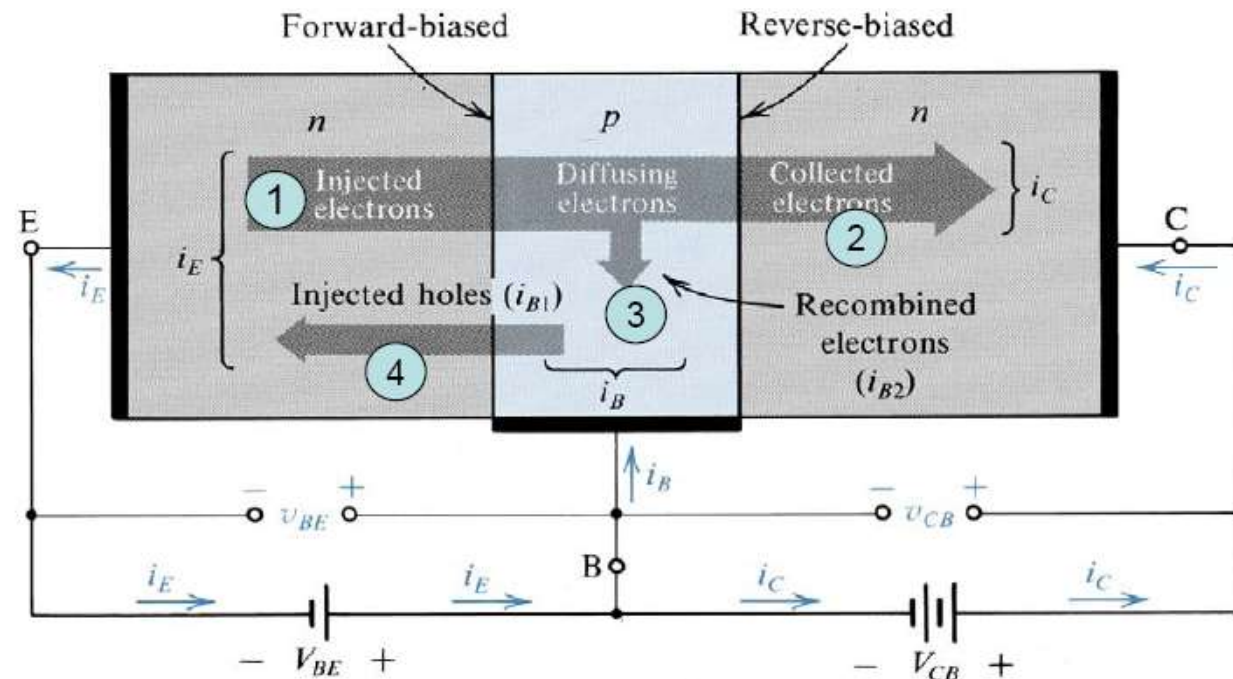
Περιοχή	EBJ	CBJ
Αποκοπή	Ανάστροφα	Ανάστροφα
Ενεργός	Ορθά	Ανάστροφα
Κόρος	Ορθά	Ορθά



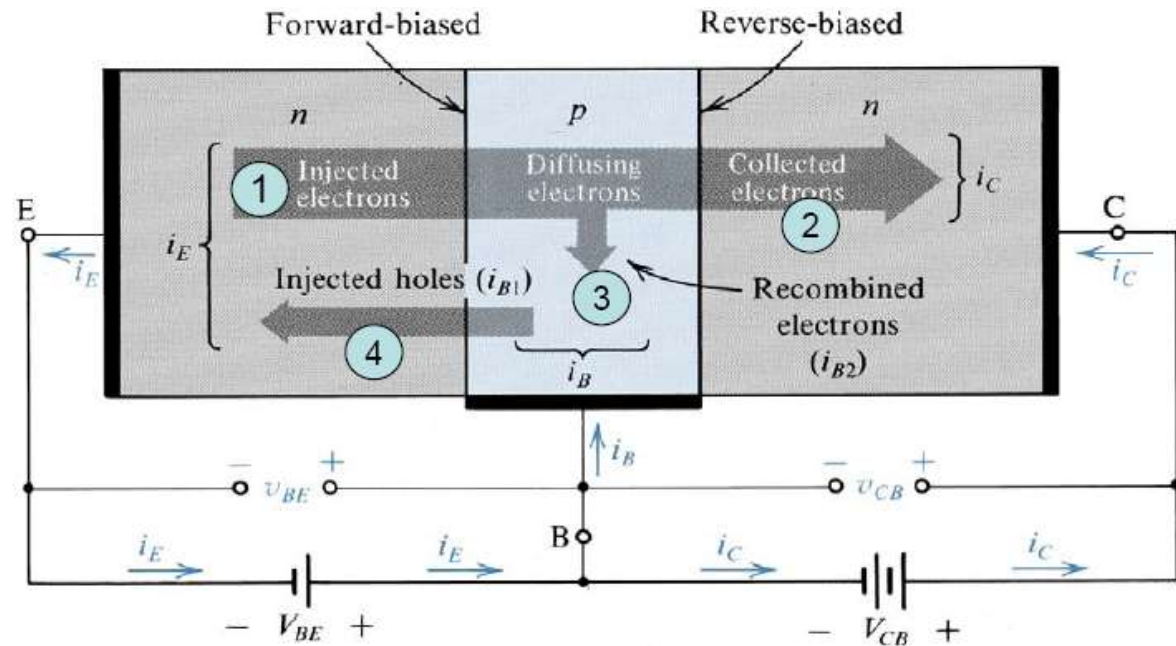
Εγκάρσια τομή τρανζίστορ npn

Το τρανζίστορ ηρη στην ενεργό περιοχή (1/2)

- Η ορθή πόλωση της επαφής EB εγχέει ηλεκτρόνια από τον εκπομπό στη βάση.
- Επειδή η περιοχή της βάσης είναι πολύ λεπτή, η πλειονότητα αυτών των ηλεκτρονίων διαχέεται προς την περιοχή απογύμνωσης της επαφής BC και κατόπιν σαρώνονται προς τον συλλέκτη από το ηλεκτρικό πεδίο της ανάστροφα πολωμένης επαφής BC.

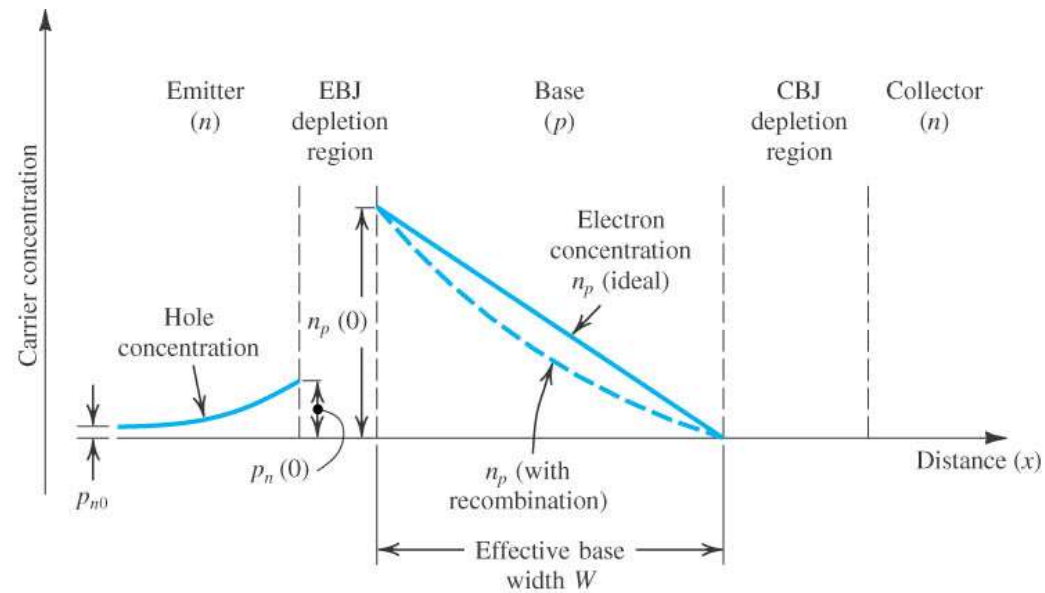


Το τρανζίστορ στην ενεργό περιοχή (2/2)



- Ένα μικρό ποσοστό από αυτά τα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται με τις οπές στην περιοχή της βάσης.
- Οπές εγχέονται από τη βάση στην περιοχή του εκπομπού, $(4) \ll (1)$.

Κατανομή των φορέων μειονότητας



- Ρεύμα στο οποίο επικρατούν τα ηλεκτρόνια από τον εκπομπό στη βάση λόγω της ορθής πόλωσης και βαθμίδα συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας μέσα στη βάση.
 - Η μερική επανασύνδεση προκαλεί καμπύλωση της συγκέντρωσης στην περιοχή της βάσης.

Το ρεύμα Συλλέκτη

- Το ρεύμα συλλέκτη είναι:

$$i_C = I_S e^{u_{BE}/V_T} \text{ όπου } I_S = \frac{qA_E D_n n_{p0}}{W} = \frac{qA_E D_n n_i^2}{N_A W}$$

- Το i_C είναι ανεξάρτητο από το u_{CE} .
- Το ρεύμα συλλέκτη ελέγχεται από την τάση των δύο άλλων ακροδεκτών: **πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τάση.**
- Το ρεύμα κόρου I_S είναι
 - Αντιστρόφως ανάλογο προς το W και ανάλογο προς το A_E .
 - Εξαρτάται από τη θερμοκρασία, λόγω του παράγοντα n_i^2 .

Το βήτα (β)

- Μπορούμε να συνδέσουμε το i_C με το i_B με την παρακάτω σχέση:

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{i_S}{\beta} e^{u_{BE}/V_T}$$

- $\beta = i_C/i_B$
 - Το β είναι σταθερό για κάθε τρανζίστορ
 - Παίρνει τιμές μεταξύ 100 και 200 και ακόμη μεγαλύτερες
 - Ονομάζεται ενίσχυση ρεύματος κοινού εκπομπού
 - Συμβολίζεται επίσης με β_F και h_{FE} .

Το ρεύμα Εκπομπού

Θεωρώντας το τρανζίστορ σαν ένα κόμβο, μπορούμε να γράψουμε:

$$i_E = i_B + i_C = \frac{1}{\beta} i_C + i_C = \frac{1+\beta}{\beta} i_C \quad \text{ή} \quad i_C = \frac{\beta}{1+\beta} i_E$$

$$i_C = \alpha i_E$$

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

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

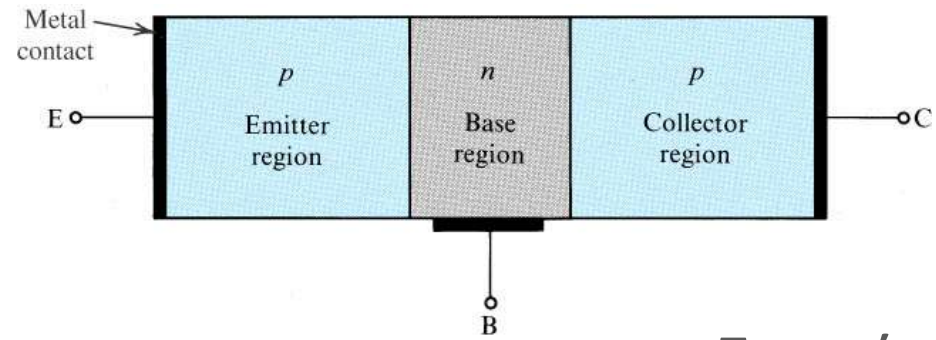
Ορισμός των $\alpha, \eta, \gamma, \delta$

- Το α ονομάζεται **ενίσχυση ρεύματος κοινής βάσης** και είναι $\alpha < 1$ αλλά κοντά στο 1.

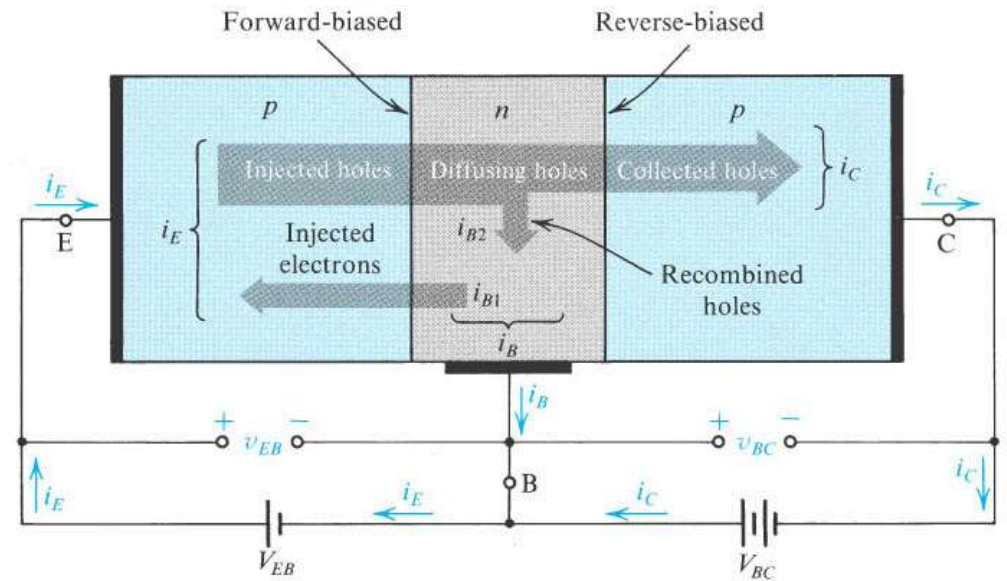
$$\alpha = \eta * \gamma * \delta$$

- η (**Απόδοση του εκπομπού**) $I_e / (I_e + I_h)$
- γ (**Παράγοντας μεταφοράς**) Το ποσοστό των ενιέμενων ηλεκτρονίων από τον Ε στην Β τα οποία διαχεόμενα φθάνουν στην επαφή ΣΒ
- δ (**Απόδοση συλλέκτη**) Όταν η ανάστροφος τάση ΒΣ γίνει αρκετά υψηλή έχουμε το φαινόμενο του καταιγισμού το οποίο οδηγεί την αύξηση του I_c :

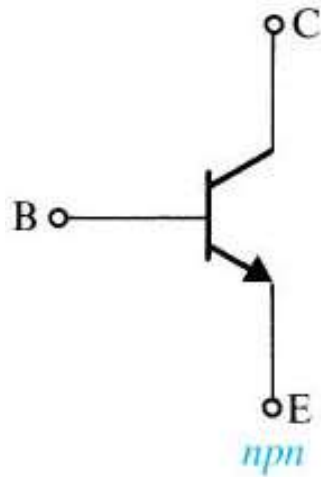
Το τρανζίστορ ρη



Τα ρεύματα του τρανζίστορ
ρη στην ενεργό περιοχή.



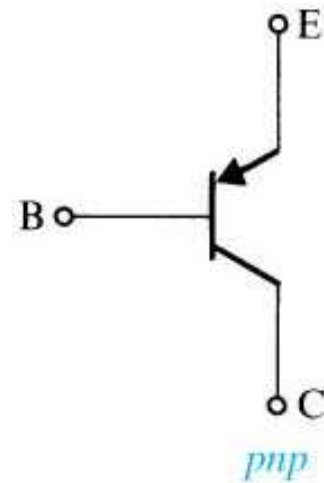
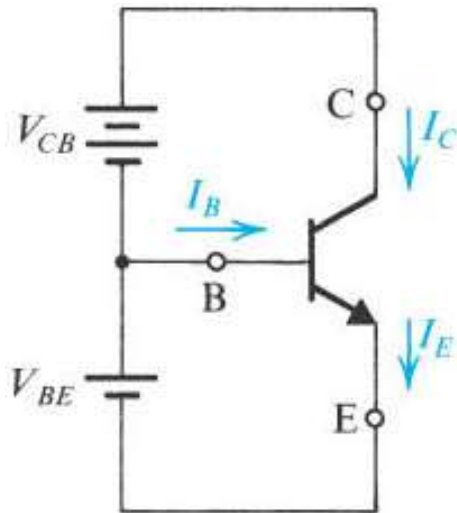
Συμβολισμός και πόλωση των διπολικών τρανζίστορ



(a)

$$I_E = I_C + I_B$$

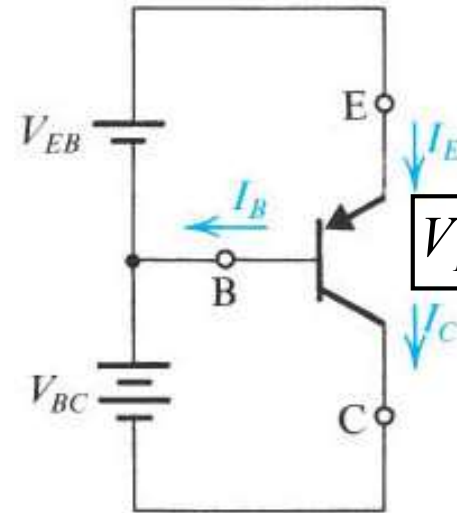
$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$



(b)

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{EC} = V_{BC} + V_{EB}$$

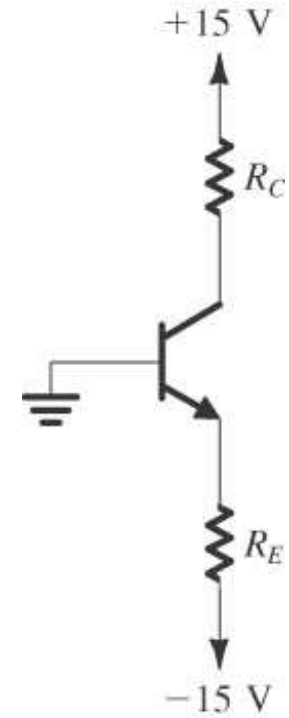


Παράδειγμα 1 (1/2)

Δίνονται: $\beta=100$ και $v_{BE}=0,7V$ όταν $i_C=1mA$

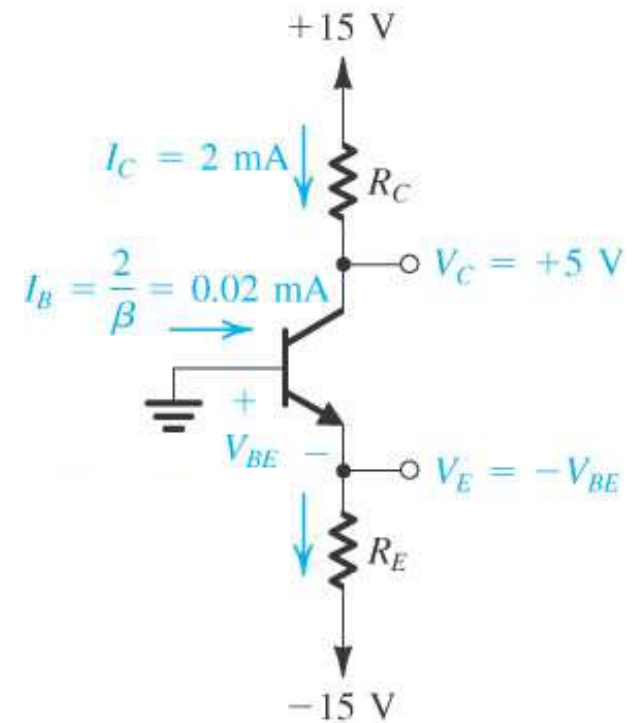
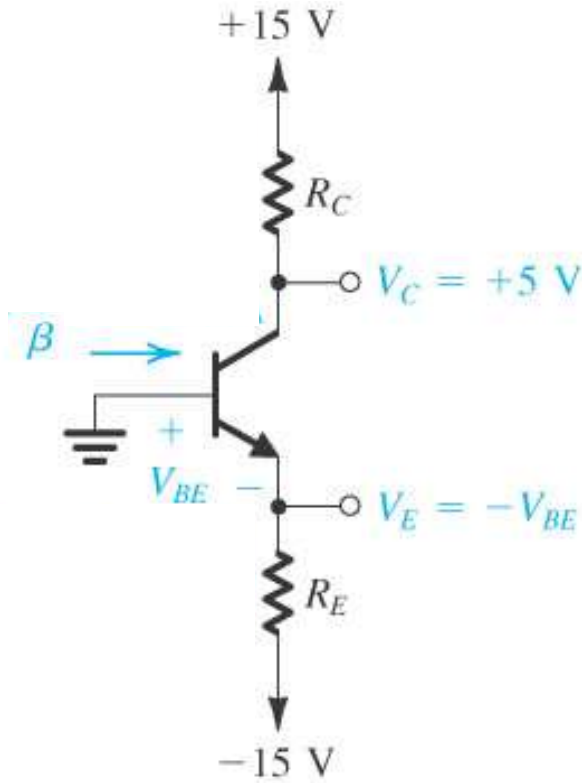
Να υπολογίσετε τις αντιστάσεις και τα
ρεύματα στο κύκλωμα όταν

$I_C=2mA$ και $V_C=5V$.



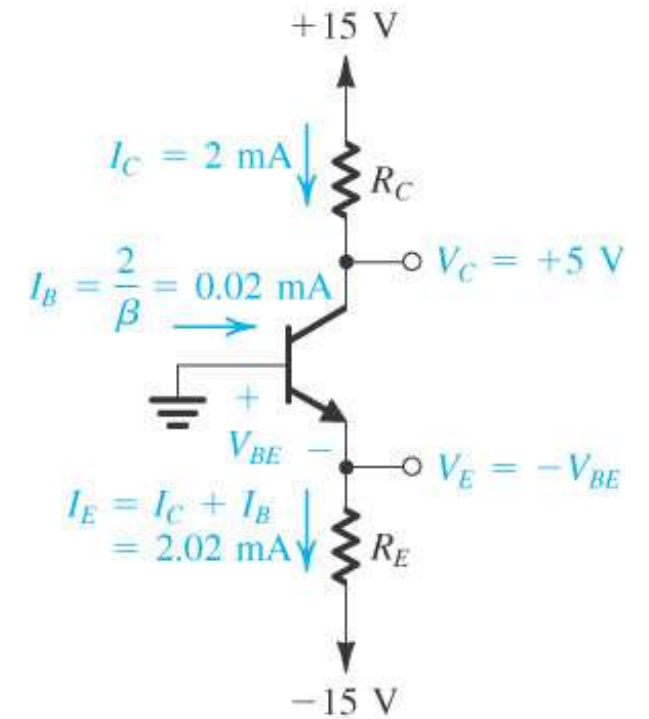
Βήματα 1 και 2

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = 5k\Omega$$

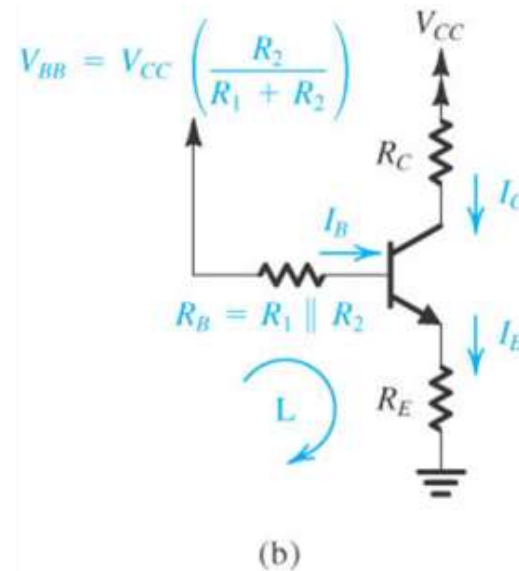
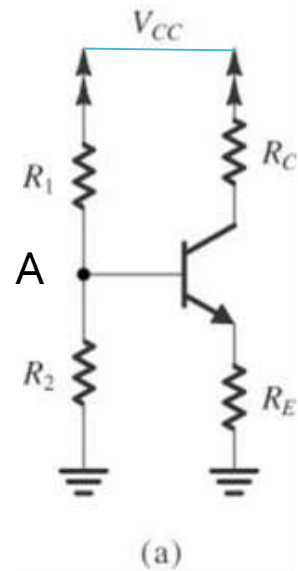


Παράδειγμα 1 (2/2)

$$R_E = \frac{V_E - V_{EE}}{I_E} = \frac{-0.7 + 15}{2.02 \text{ mA}} = 7.08 \text{ K}\Omega$$



Κύκλωμα πόλωσης με τέσσερις αντιστάσεις (1/2)



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

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

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

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

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

Υπολογισμός ρευμάτων και τάσεων

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

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} e^{v_{BE}/V_T}$$

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

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

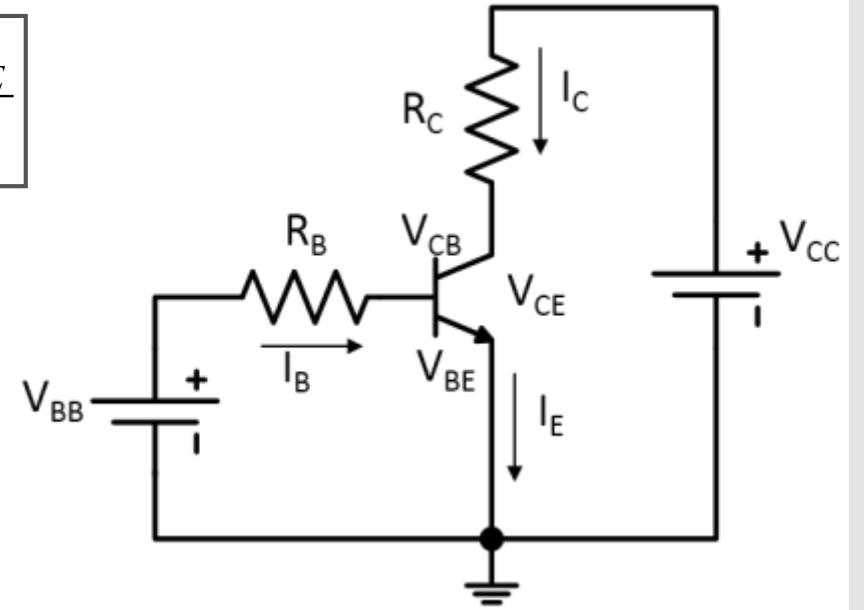
$$V_{BE} \approx 0,7V$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

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

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

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$



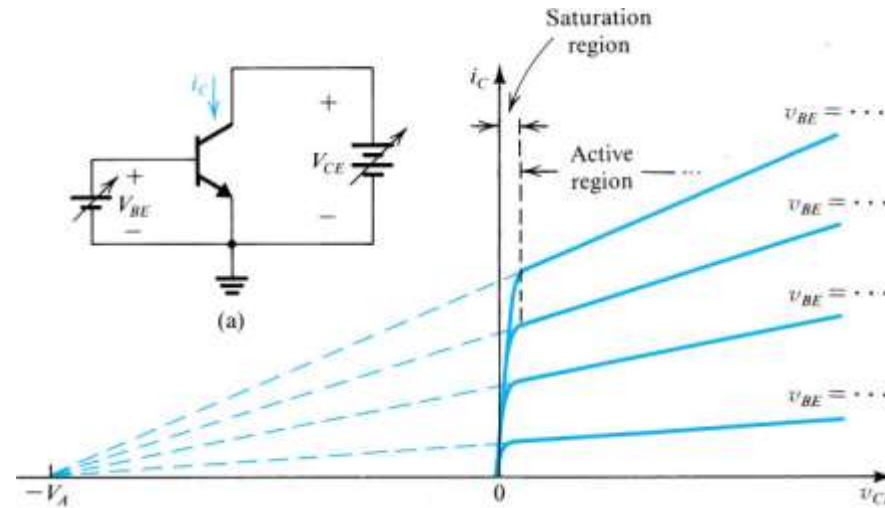
$$i_E = i_B + i_C = \frac{1}{\beta} i_C + i_C = \frac{1 + \beta}{\beta} i_C \text{ ή}$$

Φαινόμενο Early Early

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \left(1 + \frac{v_{CE}}{V_A}\right)$$

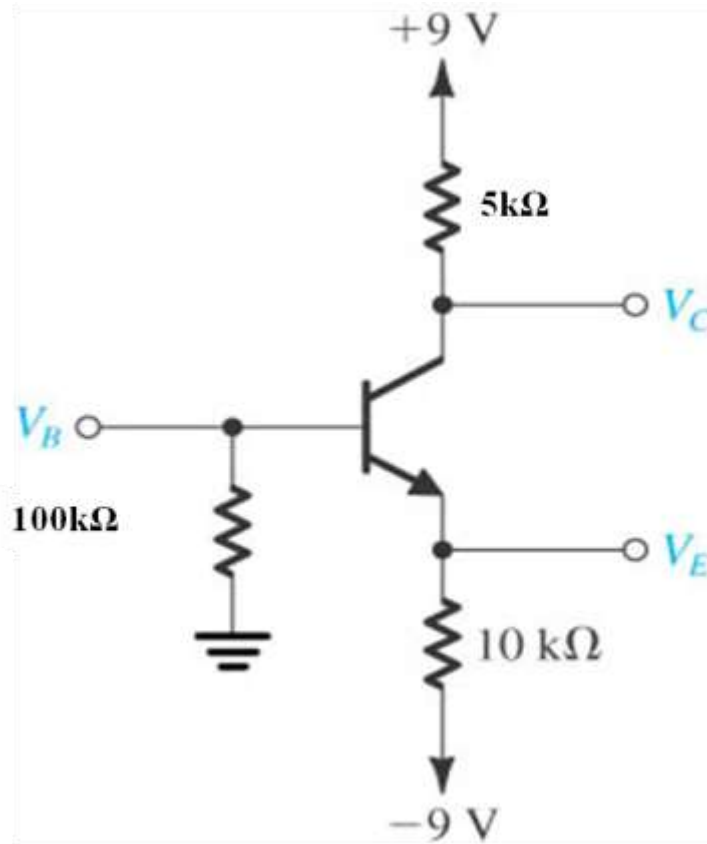
$$r_o \equiv \left[\frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \Big|_{V_{BE} = \text{σταθ}} \right]^{-1}$$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I_C}$$



- Φαινόμενο Early:
 - Το ρεύμα συλλέκτη στην πράξη εξαρτάται ελαφρά από την V_{CE} στην ενεργό περιοχή.
 - Η τάση Early, V_A , είναι χαρακτηριστικό του τρανζίστορ (50 ως 100).
 - Μη μηδενική κλίση σημαίνει πεπερασμένη αντίσταση εξόδου, r_o .
- Για μικρές τιμές της V_{CE} η επαφή συλλέκτη-βάσης πολώνεται ορθά και το τρανζίστορ μπαίνει στον κόρο.

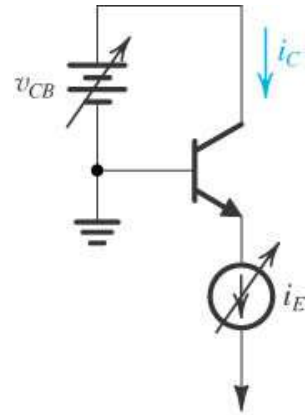
Άσκηση 1



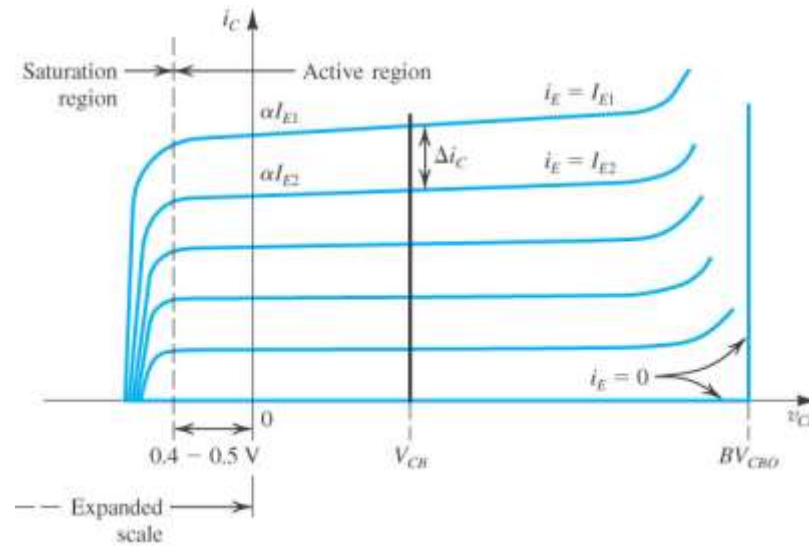
Αν $V_B = -1V$ και $V_E = -1,7V$ να υπολογίσετε τα: I_B , I_E , β , α , I_C και V_C .

Είναι το τρανζίστορ πολωμένο στην ενεργό περιοχή;

Χαρακτηριστικές κοινής βάσης



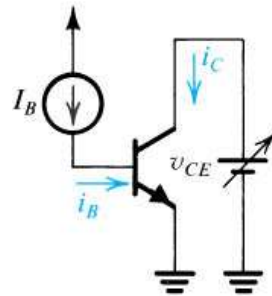
(a)



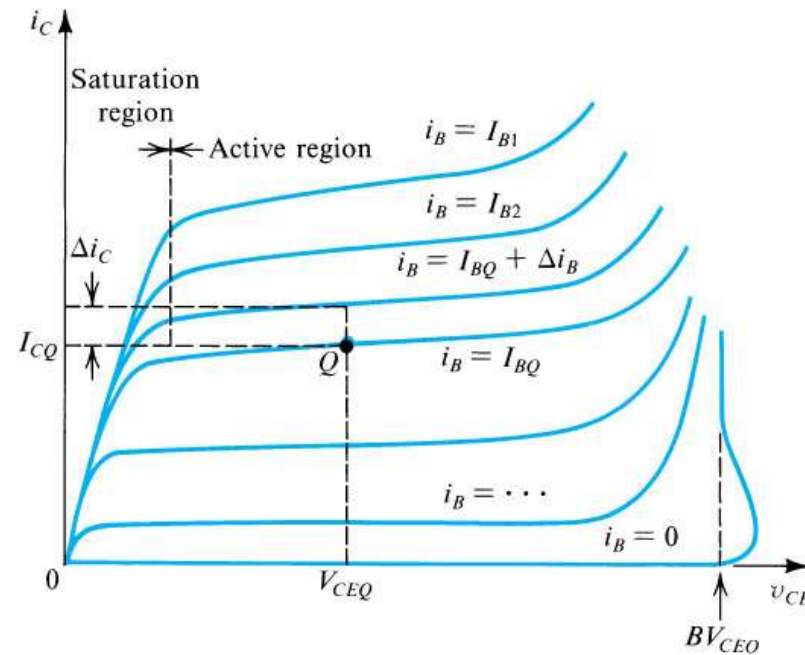
(b)

- Καθώς η v_{CB} γίνεται αρνητική, η επαφή συλλέκτη-βάσης πολώνεται ορθά και το τρανζίστορ εισέρχεται στον κόρο.
- Η BV_{CBO} είναι η τάση κατάρρευσης της επαφής συλλέκτη-βάσης και έχει μεγάλη τιμή.
- Η κλίση των χαρακτηριστικών στην ενεργό περιοχή είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των χαρακτηριστικών κοινού εκπομπού. Επομένως, η αντίσταση εξόδου κοινής βάσης είναι μεγαλύτερη.

Χαρακτηριστικές κοινού εκπομπού με παράμετρο το I_B



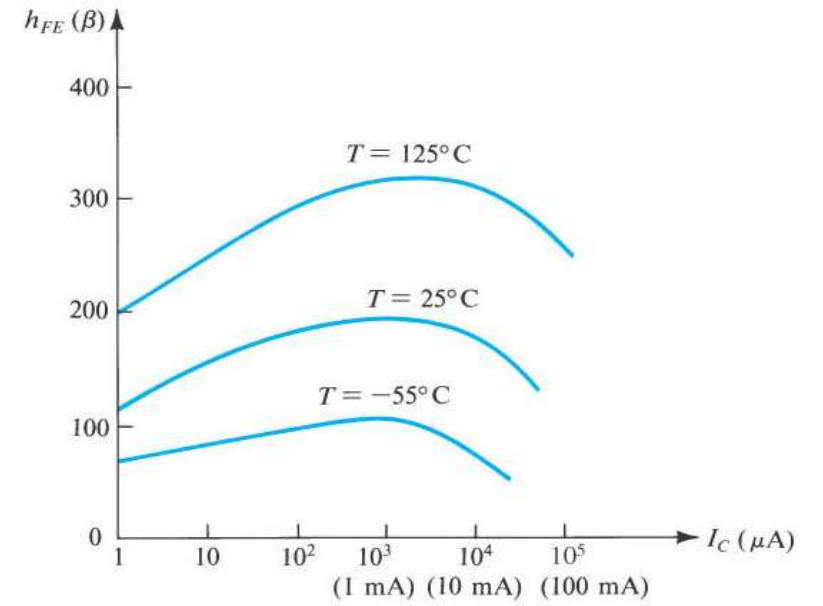
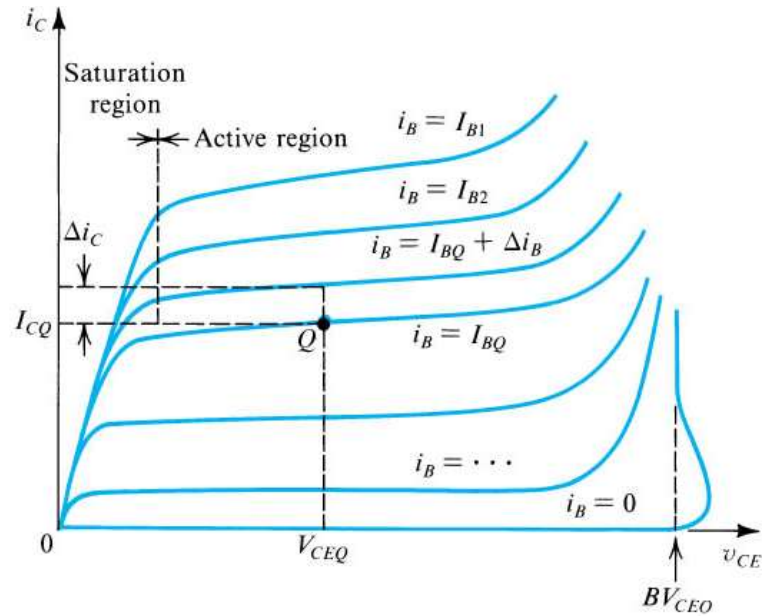
(a)



(b)

- Η τάση κατάρρευσης της επαφής συλλέκτη-εκπομπού BV_{CEO} έχει πολύ μικρότερη τιμή από την V_{CBO} .
- Στον κόρο η αντίσταση εξόδου έχει πολύ μικρή τιμή και το τρανζίστορ δρα ως «κλειστός διακόπτης».

Η ενίσχυση ρεύματος β του τρανζίστορ



$$\beta_{dc} \equiv h_{FE} \equiv \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}}$$

$$\beta_{ac} \equiv h_{fe} \equiv \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{V_{CE}} = \text{σταθ}$$

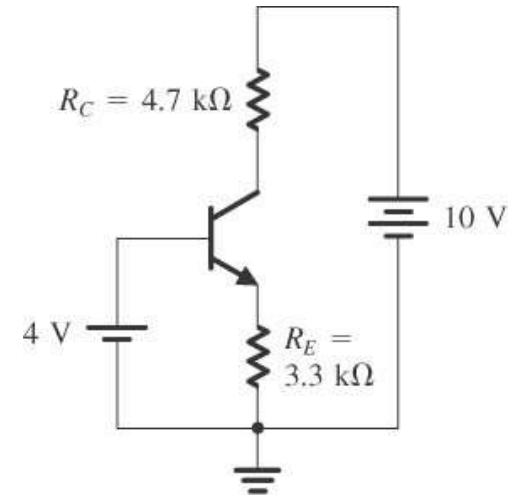
- Το β εξαρτάται από το ρεύμα συλλέκτη και τη θερμοκρασία.
- Η τιμή του β διαφέρει έντονα μεταξύ τρανζίστορ του ίδιου τύπου.

Παράδειγμα 1 DC ανάλυσης (1/2)

Να ευρεθεί το σημείο λειτουργίας Q.

Δίνονται: $\beta=100$ και $V_{BE}=0.7V$.

(Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή και θα το αποδείξουμε).



$$V_E = 4 - V_{BE} \cong 4 - 0,7 = 3,3V$$

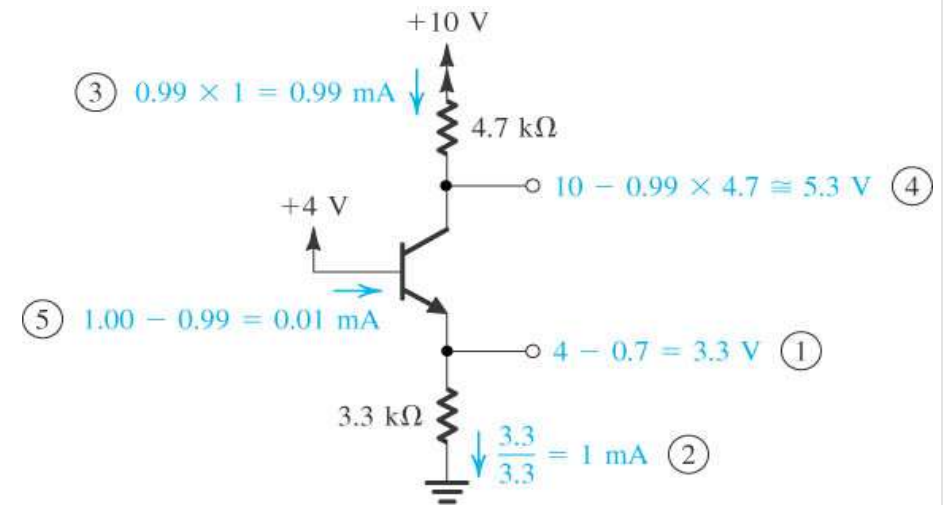
$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{3,3}{3,3} = 1mA$$

$$I_C = aI_E$$

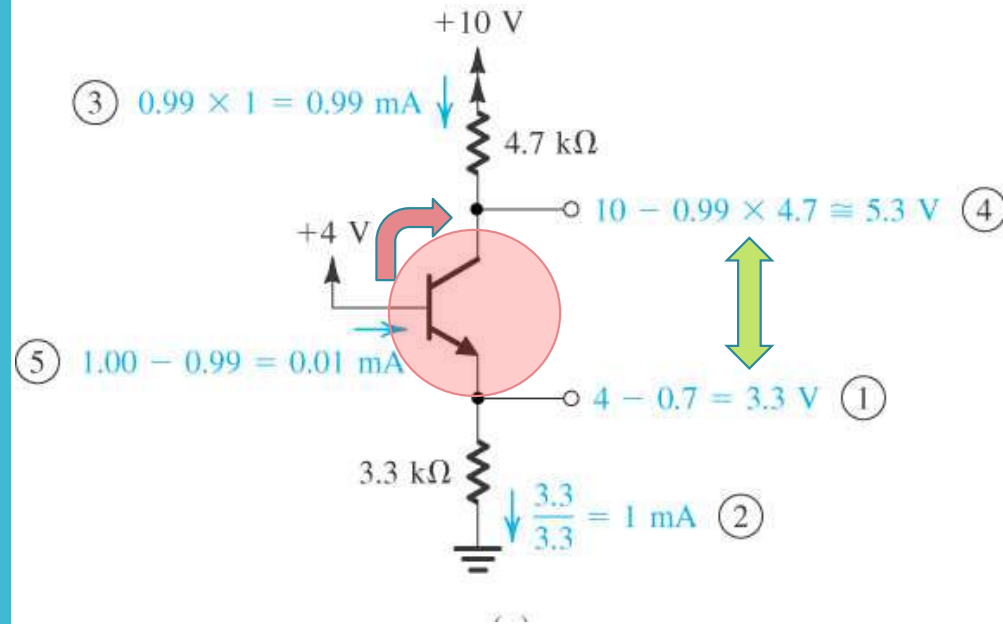
$$a = \frac{\beta}{\beta+1} = \frac{100}{101} \cong 0.99$$

$$I_C = 0,99 \times 1 = 0,99mA$$

$$V_C = 10 - I_C R_C = 10 - 0,99 \times 4,7 \cong +5,3V$$



Παράδειγμα 1 DC ανάλυσης (2/2)

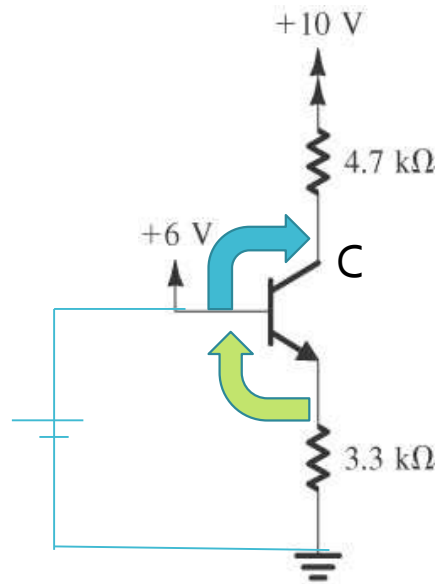


Η επαφή βάσης-συλλέκτη είναι ανάστροφα πολωμένη, (4 V στη βάση και 5,3 V στο συλλέκτη) επομένως το τρανζίστορ λειτουργεί πράγματι στην ενεργό περιοχή

$$V_{BC} = -1.3V$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{1}{101} \cong 0,01 \text{ mA}$$

Παράδειγμα 2 DC ανάλυσης (1/2)



(a)

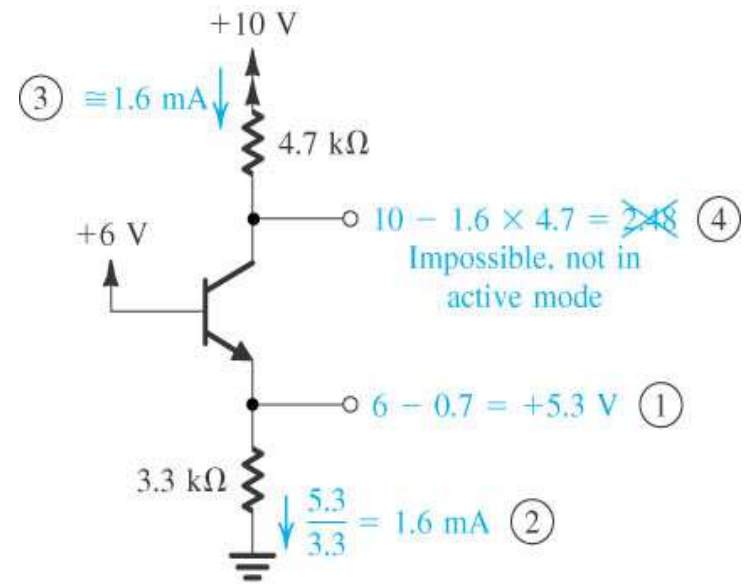
$$V_E = 6 - V_{BE} \cong 6 - 0,7 = 5,3V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{5,3}{3,3} = 1,6mA$$

$$I_C = \alpha I_E = 0,99 \times 1,6 \cong 1,6mA$$

$$V_C = 10 - I_C R_C = 10 - 1,6 \times 4,7 \cong +2,48V$$

$$V_{BC} = 6V - 2,48V = 3,52V$$

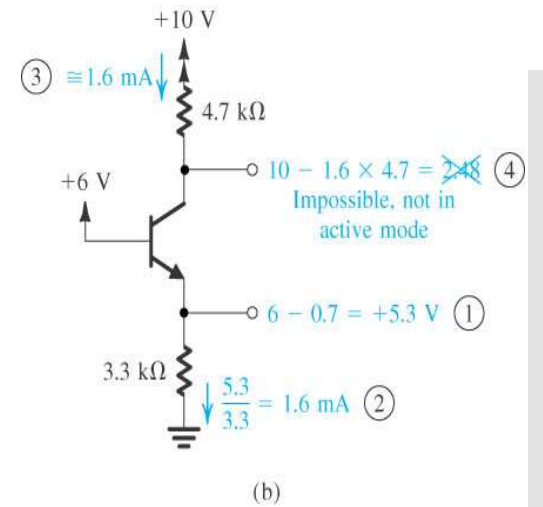
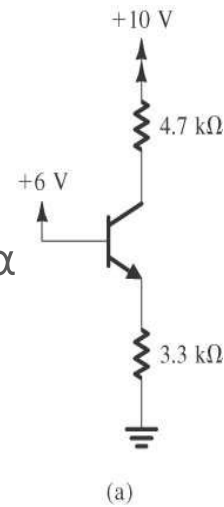


(b)

- Να βρεθεί το σημείο λειτουργίας Q για $V_B=6V$.
- Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή ($\beta=100$ και $V_{BE}=0.7V$).

Παράδειγμα 2 DC ανάλυσης (1/2)

- Να βρεθεί το σημείο λειτουργίας Q για $V_B=6V$.
- Υποθέτουμε λειτουργία στην ενεργό περιοχή ($\beta=100$ και $V_{BE}=0.7V$).



$$V_E = 6 - V_{BE} \cong 6 - 0,7 = 5,3V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{5,3}{3,3} = 1,6mA$$

$$I_C = \alpha I_E = 0,99 \times 1,6 \cong 1,6mA$$

$$V_C = 10 - I_C R_C = 10 - 1,6 \times 4,7 \cong +2,48V$$

$$V_{BC} = 6V - 2,48V = 3,52V$$

Η επαφή βάσης-συλλέκτη είναι ορθά πολωμένη, επομένως η υπόθεση ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή είναι ΛΑΘΟΣ.

Παράδειγμα 2 DC ανάλυσης (2/2)

Να ευρεθεί το σημείο λειτουργίας Q για $V_B=6V$. Υποθέτουμε λειτουργία στον κόρο.

Δίνεται $V_{CEsat} = 0.2V$

$$V_E = 6 - V_{BE} \cong 6 - 0,7 = 5,3V$$

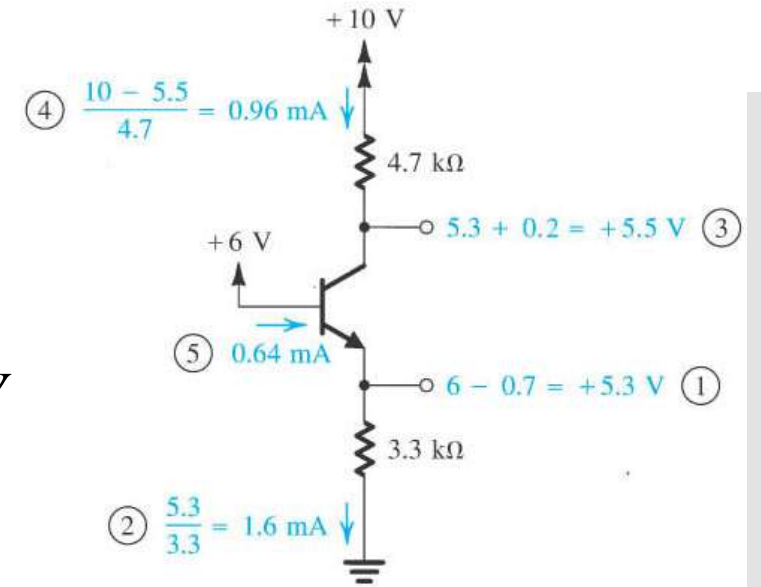
$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{5,3}{3,3} = 1,6mA$$

$$V_C = V_E + V_{CEsat} \cong +5,3 + 0,2 = 5,5V$$

$$I_C = \frac{10 - 5,5}{4,7} = 0,96mA$$

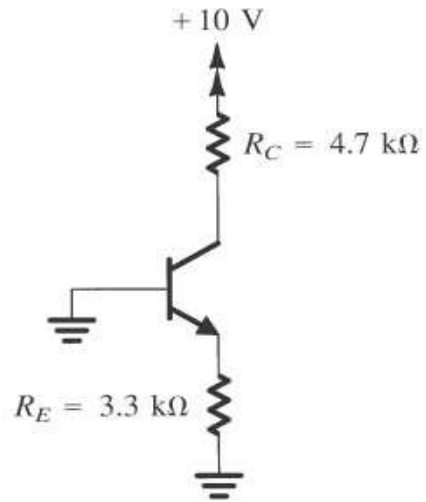
$$I_B = I_E - I_C = 1,6 - 0,96 = 0,64mA$$

$$\beta_{forced} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{0,96}{0,64} = 1,5$$



$\beta \ll 100 \Rightarrow$ Το τρανζίστορ λειτουργεί πράγματι στον κόρο.

Παράδειγμα 3 DC ανάλυσης

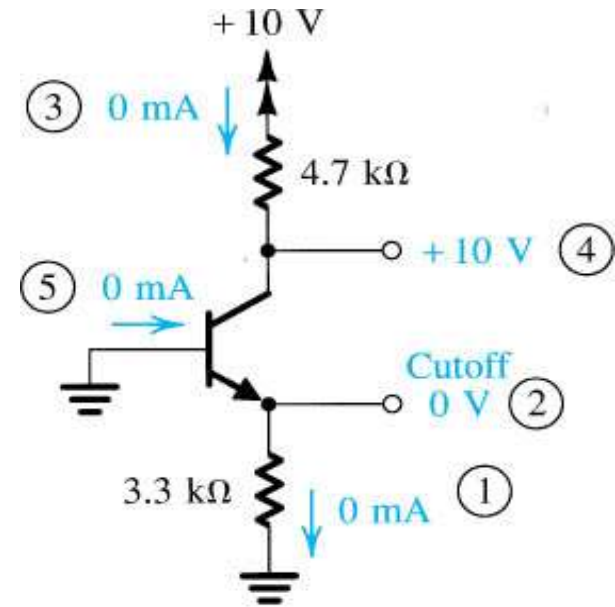


Να ευρεθεί το σημείο λειτουργίας Q για $V_B=0V$.
Υποθέτουμε λειτουργία στην αποκοπή.

$$i_B = 0, i_E = 0, i_C = 0$$

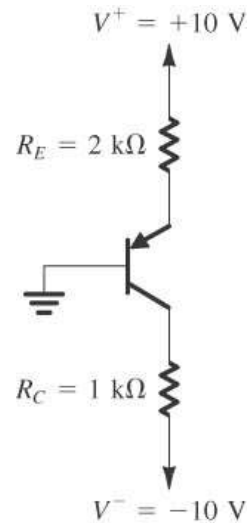
$$V_C = V_{CC}$$

$$\begin{matrix} V_{BE} = 0V \\ V_{BC} = -10V \end{matrix}$$



Η επαφή βάσης-εκπομπού είναι ανάστροφα πολωμένη και η επαφή βάσης-συλλέκτη είναι ανάστροφα πολωμένη. Επομένως το τρανζίστορ είναι σε αποκοπή.

Παράδειγμα 4 DC ανάλυσης PNP

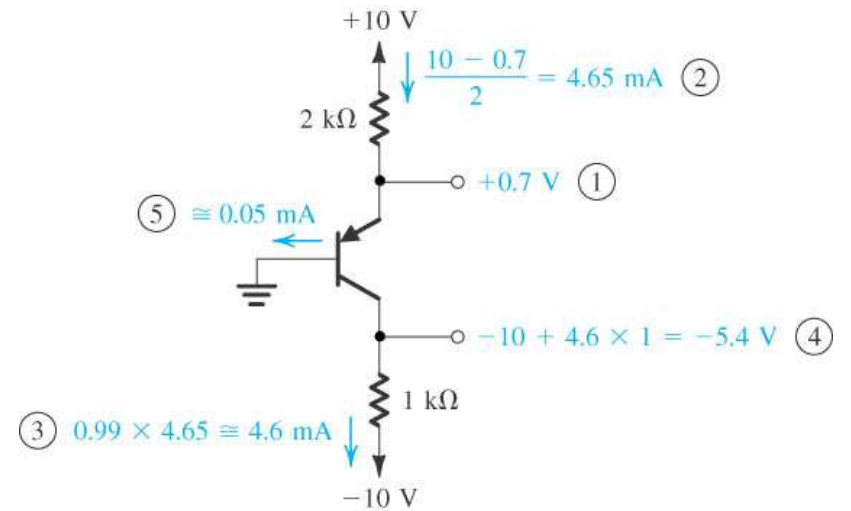


$$I_C = \alpha I_E \text{ και } \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} = 0,99$$

$$I_C = 0,99 \times 4,65 = 4,6 \text{ mA}$$

$$V_C = V^- + I_C R_C = -10 + 4,6 \times 1 = -5,4 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{4,65}{101} \cong 0,05 \text{ mA}$$



$$V_E = V_{EB} \cong 0,7 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V^+ - V_E}{R_E} = \frac{10 - 0,7}{2} = 4,65 \text{ mA}$$

$$V_{BC} = 5.4 \text{ V}$$

Σύνοψη της μεθοδολογίας της DC ανάλυσης

1. Υποθέτουμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή όπου $V_{BE}=V_{BE}(on)$, $\beta \gg 1$, $I_B > 0$ και $I_C = \beta I_B$.
2. Αναλύουμε το κύκλωμα με βάση αυτή την υπόθεση.
3. Εκτιμούμε τα αποτελέσματα: Αν η επαφή βάσης-εκπομπού είναι ορθά πολωμένη και η επαφή βάσης-συλλέκτη ανάστροφα τότε η αρχική υπόθεση είναι αληθής.
 - Αν όμως
 - $I_B < 0$, τότε το τρανζίστορ είναι μάλλον στην αποκοπή ή αν
 - $V_{CE} < V_{CE}(sat)$, τότε είναι μάλλον στον κόρο.
4. Αν η αρχική υπόθεση αποδειχθεί λάθος, πρέπει να αναλύσουμε το κύκλωμα κάνοντας νέα υπόθεση και να επαναλάβουμε το βήμα 3.

Το διπολικό τρανζίστορ ως ενισχυτής (2/2)

Για $v_i > 0.7V$ το τρανζίστορ μπαίνει στην ενεργό περιοχή οπότε:

$$i_B = \frac{v_i - V_{BE}}{R_B}$$

$$v_o = V^+ - i_C R_C = V^+ - \beta i_B R_C$$

$$v_o = V^+ - \beta \frac{v_i - V_{BE}}{R_B} R_C$$

$$v_o = 5 - (100) \left[\frac{v_i - 0.7}{100k\Omega} \right] 4k\Omega$$

Αυτή η εξίσωση ισχύει για $v_i > 0.7V$ και $v_o \geq V_{CE}(sat) = 0.2V$

Η τάση εισόδου για $v_o = 0.2V$ υπολογίζεται $v_i = 1.9V$.

Για $v_i > 1.9V$, το τρανζίστορ μπαίνει στον κόρο.

Κυκλώματα πόλωσης του διπολικού τρανζίστορ(1/3)

- Το κύκλωμα πόλωσης παρέχει το DC ρεύμα εκπομπού που αντιστοιχεί στο επιθυμητό σημείο ηρεμίας Q. Το ρεύμα αυτό πρέπει να είναι: καθορισμένο, προβλέψιμο και αναίσθητο στις μεταβολές της θερμοκρασίας και στις μεταβολές του β .

Κυκλώματα πόλωσης του διπολικού τρανζίστορ(2/3)

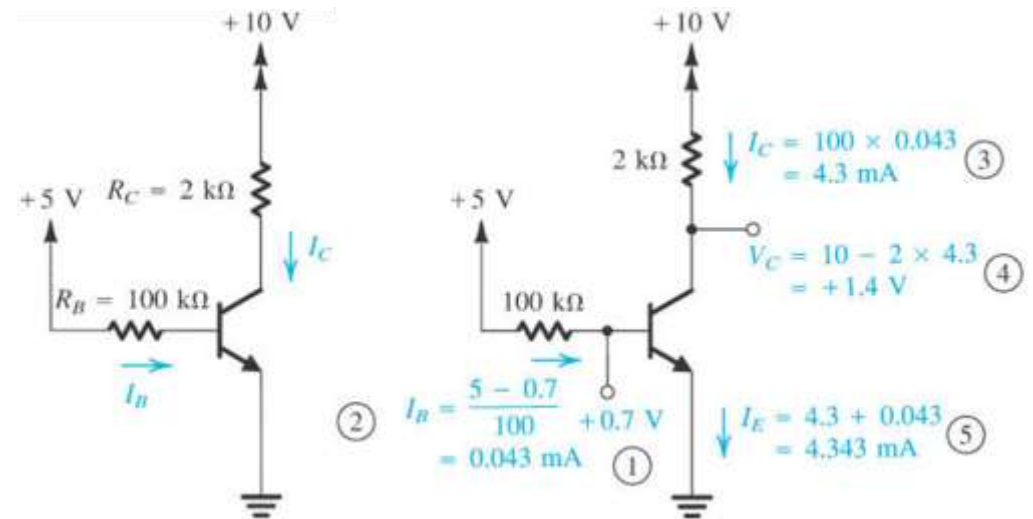
Παραδείγματα κακής σχεδίασης κυκλώματος πόλωσης.

- Παράδειγμα 1: Με ρύθμιση του I_B

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \beta I_B$$

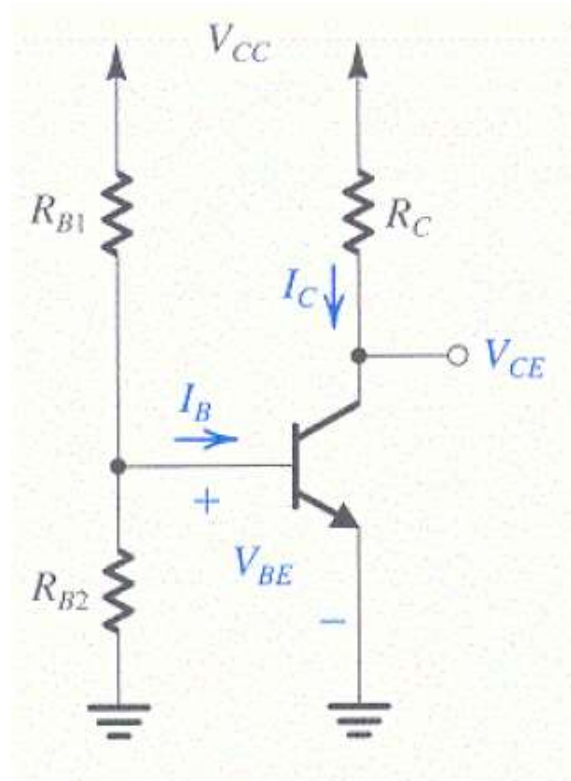
$$I_E = (\beta + 1)I_B$$



Τα ρεύματα συλλέκτη και εκπομπού εξαρτώνται άμεσα από το β η τιμή του οποίου δεν ελέγχεται εύκολα.

Αν το β γίνει κατά 10% μεγαλύτερο, το τρανζίστορ μπαίνει στον κόρο.

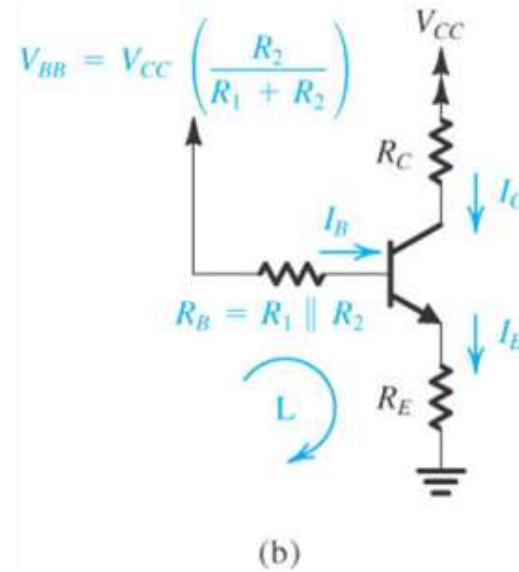
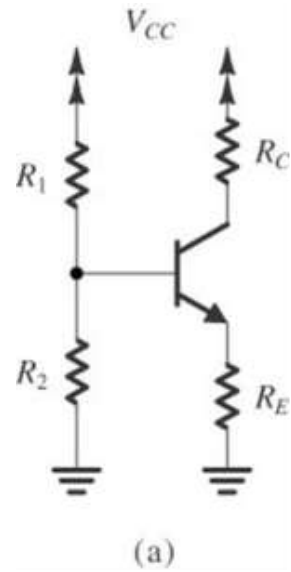
Κυκλώματα πόλωσης του διπολικού τρανζίστορ(3/3)



Παράδειγμα 2: Με ρύθμιση του V_{BE} .

Το ρεύμα συλλέκτη είναι εκθετική συνάρτηση του V_{BE} και επομένως του V_{CC} .

1. Το κλασικό κύκλωμα πόλωσης με τέσσερις αντιστάσεις. (1/2)



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

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

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

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$$

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

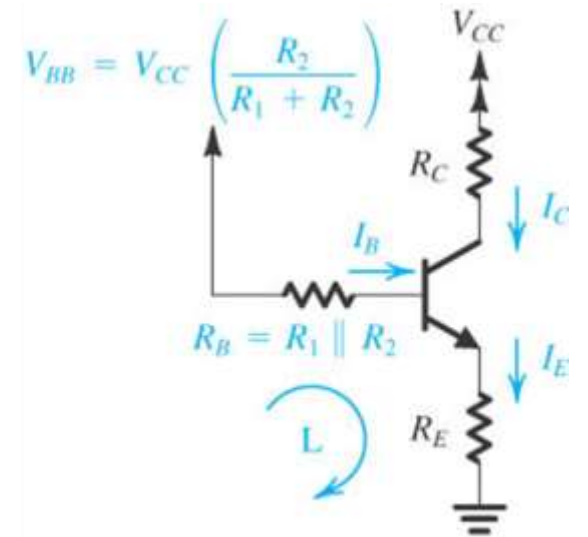
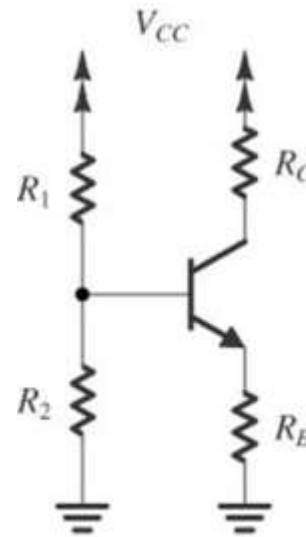
1. Το κλασσικό κύκλωμα πόλωσης με τέσσερις αντιστάσεις. (2/2)

- Για να κάνουμε το ρεύμα εκπομπού σταθερό, ανεξάρτητο από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και από το β , επιλέγουμε:

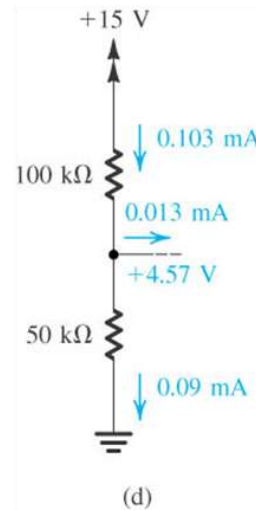
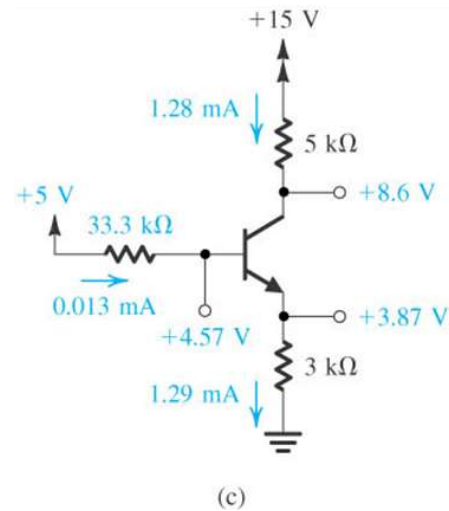
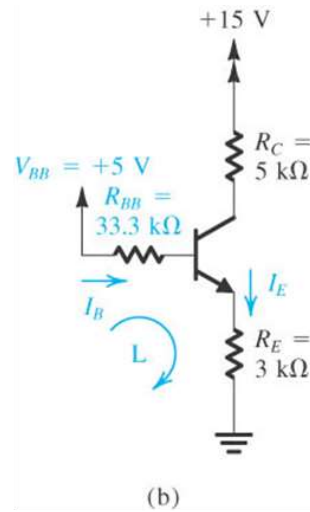
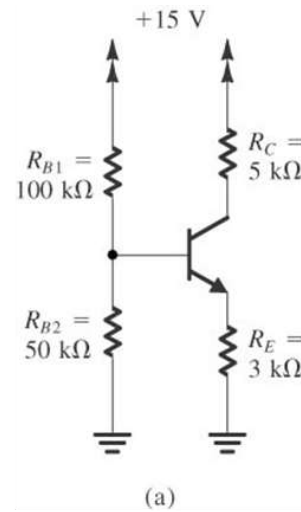
$$V_{BB} \gg V_{BE}$$

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

Η σταθεροποίηση του ρεύματος πόλωσης οφείλεται στην R_E , η οποία δημιουργεί αρνητική ανάδραση.



Παράδειγμα 1 (1/2)



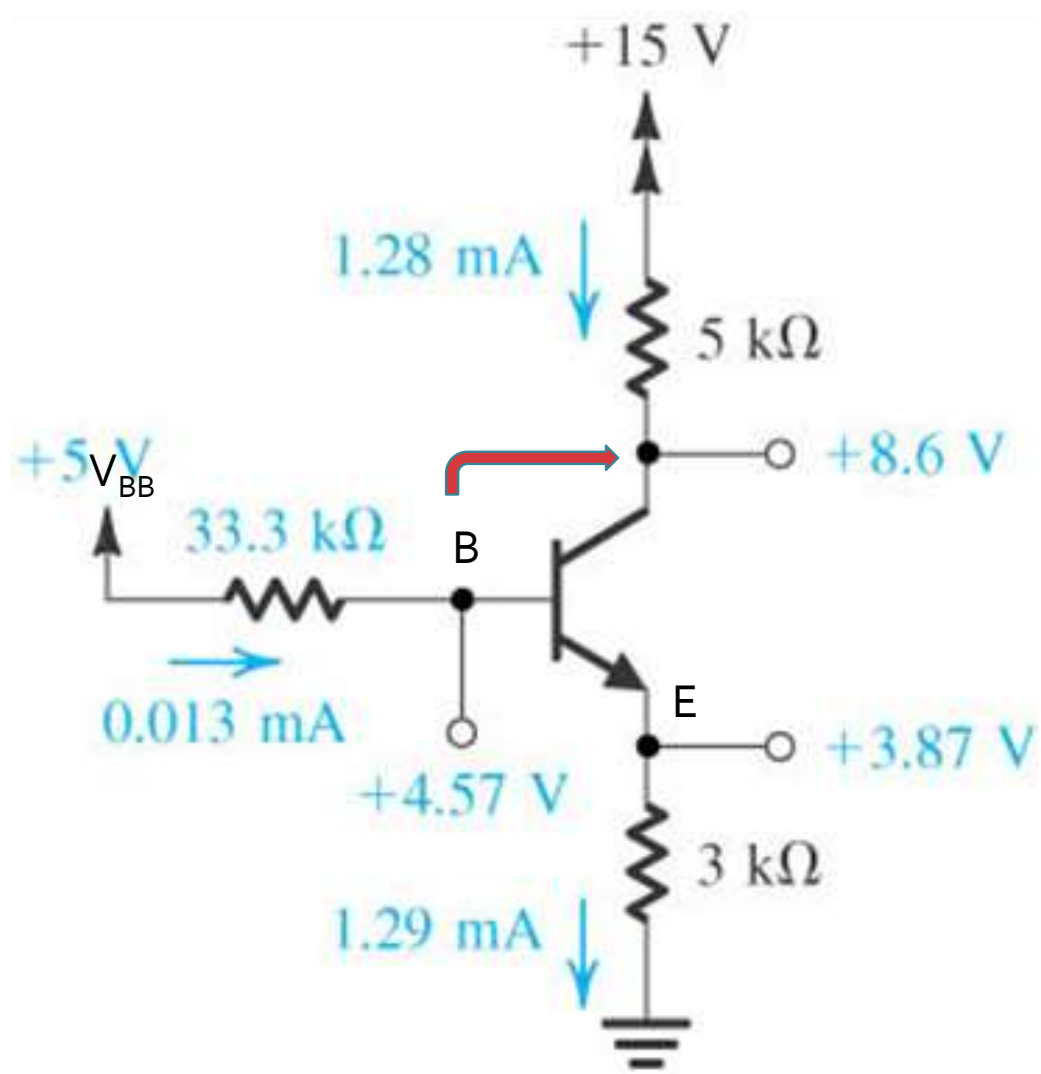
Να αναλυθεί το κύκλωμα αν $\beta=100$
και $V_{BE}=0.7V$.

Υποθέτουμε ότι λειτουργεί στην
ενεργό περιοχή.

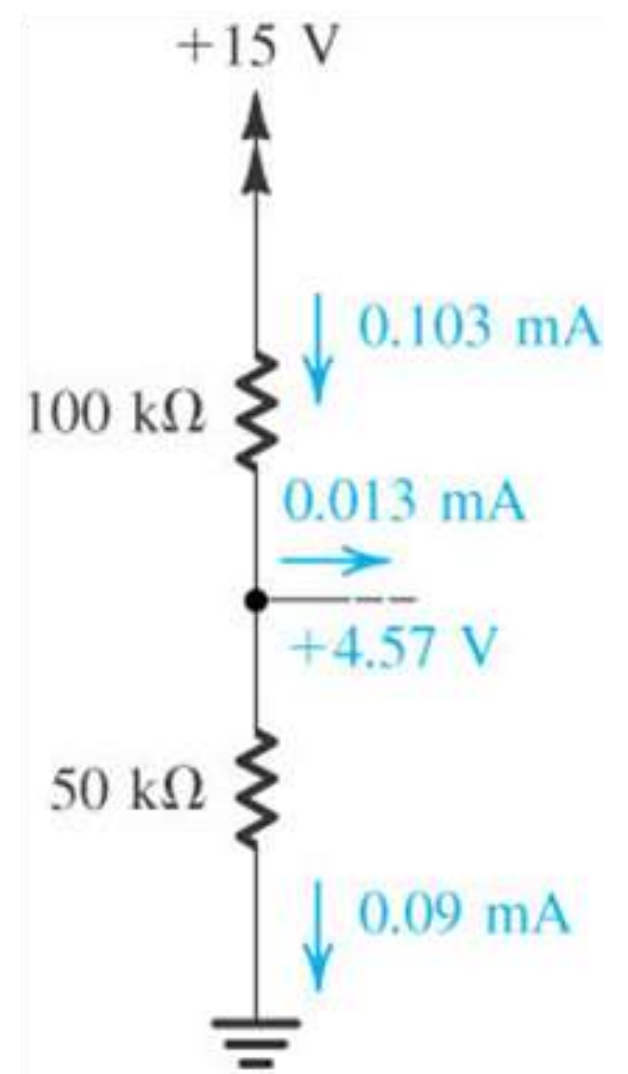
$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{50}{100 + 50} 15V = 5V$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \cdot 50}{100 + 50} k\Omega = 33.3 k\Omega$$

Loop = Βρόχος

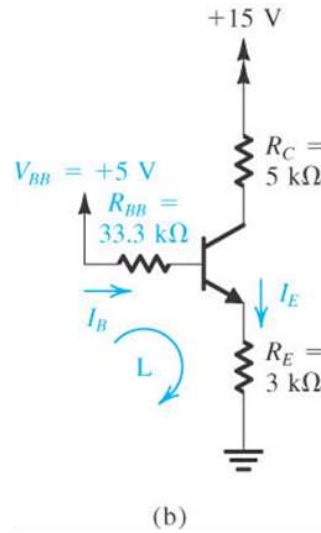
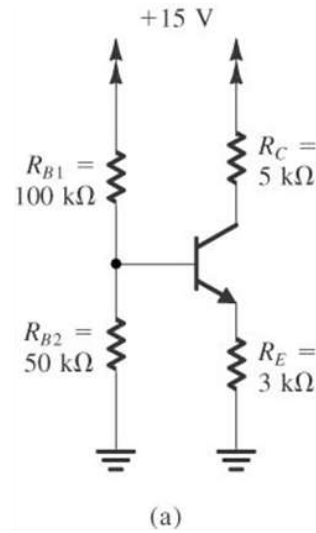


(c)



(d)

Παράδειγμα 1 (2/2)



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

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{(\beta + 1)}} = \frac{5 - 0.7}{3 + \frac{33.3}{101}} \text{ mA} = 1.29 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)} = \frac{1.29}{101} \text{ mA} = 0.0128 \text{ mA}$$

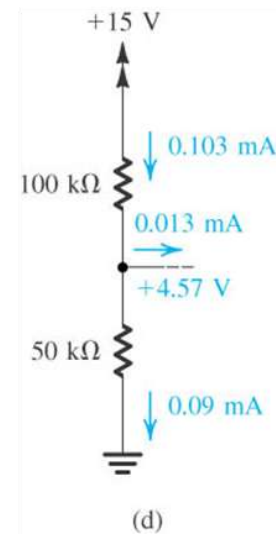
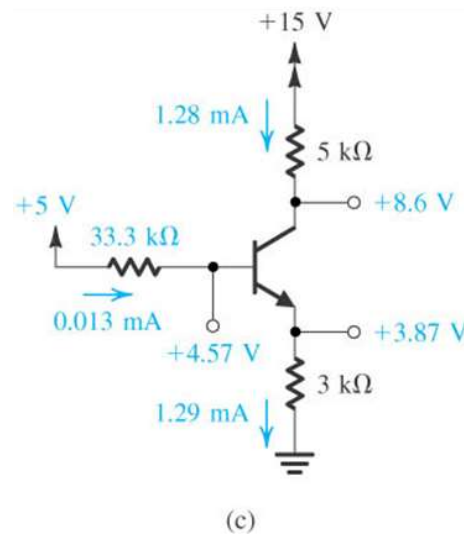
$$V_B = V_{BE} + I_E R_E = 0.7 + 1.29 \cdot 3 = 4.57 \text{ V}$$

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

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 15 - 1.28 \cdot 5 = 8.6 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_B}{R_1} = \frac{15 - 4.57}{100} \text{ mA} = 0.1043 \text{ mA}$$

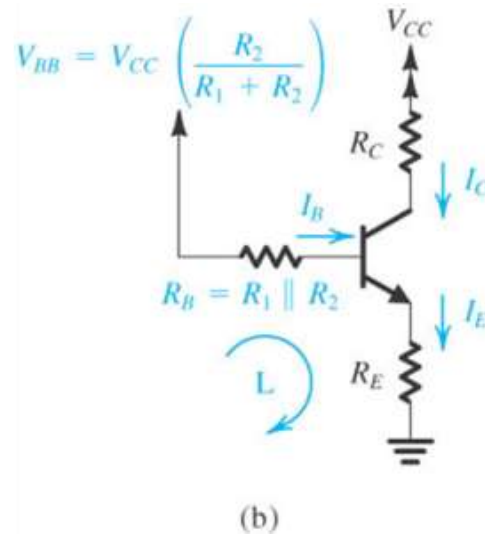
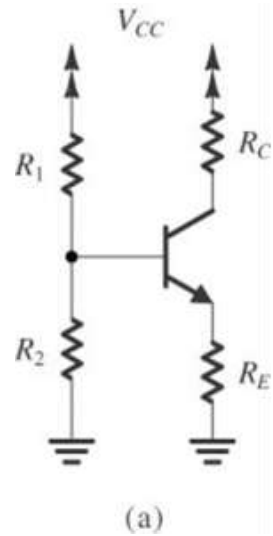
$$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{4.57}{50} \text{ mA} = 0.0914 \text{ mA}$$



Πρόσθετοι
στόχοι της
σχεδίασης
δικτυώματος
πόλωσης (1/2)

Χαμηλή κατανάλωση ισχύος και μεγάλο περιθώριο μεταβολής της τάσης εξόδου.

Πρόσθετοι στόχοι της σχεδίασης δικτυώματος πόλωσης (2/2)



Παράδειγμα συμβιβασμών που ικανοποιούν αυτούς τους στόχους

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

$$V_{BB} \approx V_B \approx \frac{1}{3} V_{CC}$$

$$V_{CB} \approx \frac{1}{3} V_{CC}$$

Για μεγάλο περιθώριο πριν την είσοδο στον κόρο.

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

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

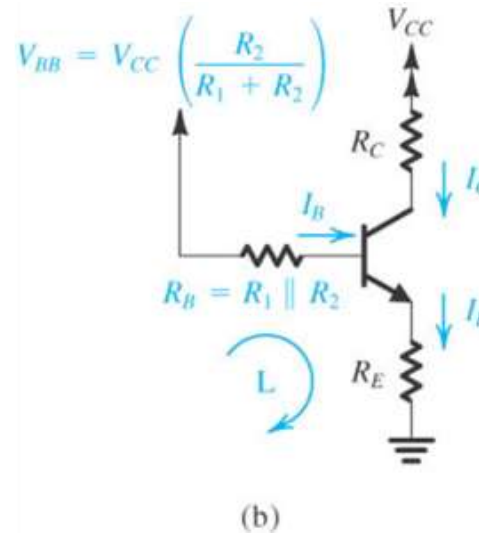
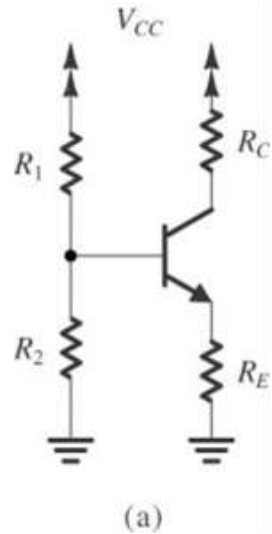
$$I_C R_C \approx \frac{1}{3} V_{CC}$$

Για μεγάλο περιθώριο μεταβολής σήματος.

$$I_1 \approx I_2 \approx 0.1 I_E$$

Για μέτρια κατανάλωση.

Παράδειγμα 2 (1/2)



Να σχεδιαστεί το δικτύωμα πόλωσης έτσι ώστε να πάρουμε $I_E=1\text{mA}$ με τάση τροφοδοσίας $V_{CC}=12\text{V}$.

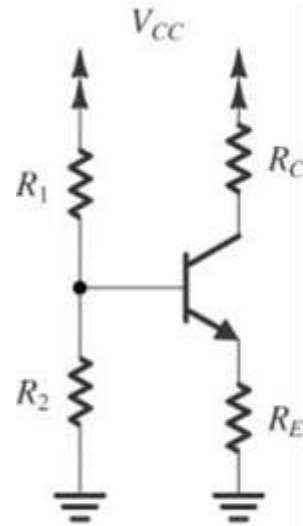
Υποθέτουμε $\beta=100$, $V_{BE}=0.7\text{V}$ και λειτουργία στην ενεργό περιοχή.

$$V_{BB} \approx V_B \approx \frac{1}{3} V_{CC} = 4\text{V}$$

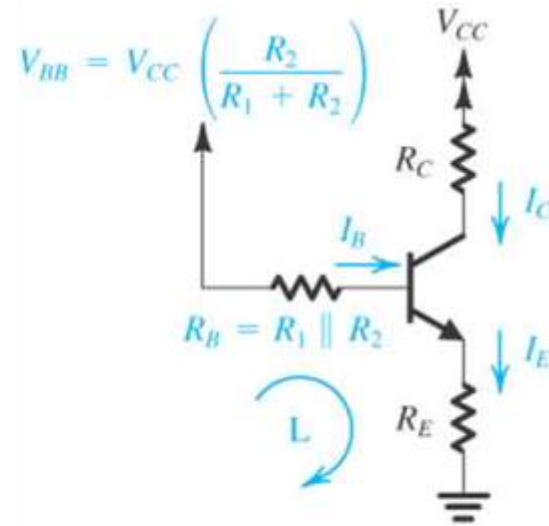
$$V_E = V_B - V_{BE} = 3.3\text{V}$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = 3.3\text{k}\Omega$$

Παράδειγμα 2 (2/2)



(a)



(b)

$$I_1 = I_2 = 0.1I_E \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{V_{CC}}{0.1I_E} = 120k\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{1}{3}V_{CC} \Rightarrow V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{CC} \approx 4V$$

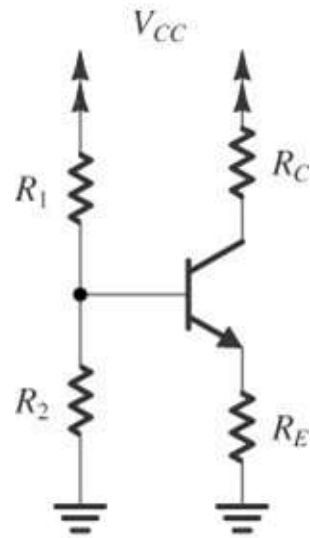
$$\left. \begin{array}{l} R_1 + R_2 = 120k\Omega \\ V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{CC} \approx 4V \end{array} \right\} \Rightarrow R_1 = 80k\Omega, R_2 = 40k\Omega$$

$$I_C R_C = \frac{1}{3}V_{CC} \Rightarrow R_C = \frac{V_{CC}/3}{I_C} = \frac{V_{CC}/3}{\alpha I_E} = \frac{4}{0.99 \cdot 1} = 4.04k\Omega \approx 4k\Omega$$

Ακριβέστερος υπολογισμός του I_E :
για μη μηδενικό I_B

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{(\beta + 1)}} = \frac{3.3}{3.3 + \frac{26.66}{101}} = 0.93mA$$

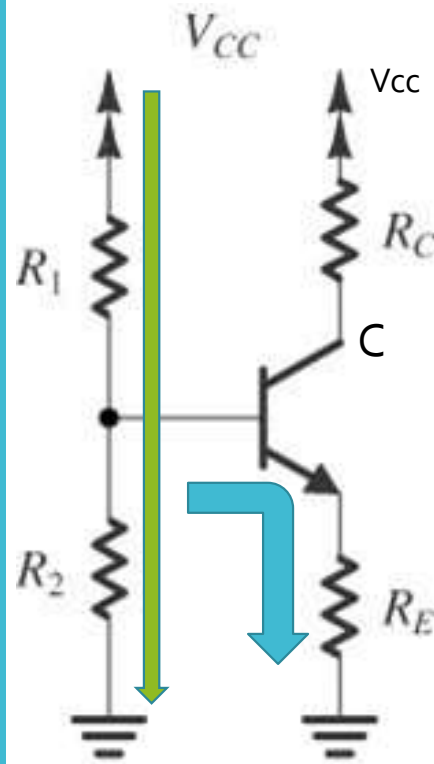
Άσκηση 1 (1/2)



(a)

Να σχεδιαστεί το κύκλωμα του σχήματος για $V_{CC}=9V$ ώστε να έχουμε πτώση τάσης πάνω στις R_E και R_C ίση με το $1/3$ της V_{CC} , $I_E=0.5mA$, ρεύμα που διαρρέει τον διαιρέτη τάσης $(R_1, R_2) = 0.2I_E$ και $\beta=100$.

Άσκηση 1 (2/2)



$$V_E = \frac{1}{3}V_{CC} = I_E R_E \Rightarrow R_E = \frac{V_{CC}}{3I_E} = \frac{9}{3 \cdot 0.5\text{mA}} = 6\text{k}\Omega$$

$$I_C = \alpha I_E = \frac{\beta}{1+\beta} I_E = 0.99 \cdot 0.5\text{mA} = 0.495\text{mA}, \quad I_B = 0.005\text{mA}$$

$$V_{CC} - V_C = \frac{1}{3}V_{CC} = I_C R_C \Rightarrow R_C = \frac{V_{CC}}{3I_C} = \frac{9}{3 \cdot 0.495\text{mA}} = 6,06\text{k}\Omega$$

$$V_B = V_{BE} + V_E = 0.7 + \frac{1}{3}V_{CC} = 3.7\text{V}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \frac{1}{3}V_{CC} = 6\text{V}$$

$$\Rightarrow V_{CB} = (6 - 3.7)\text{V} \Rightarrow$$

Πολωμένο στην ενεργό περιοχή

$$\underline{V_{CC} = I_1(R_1 + R_2)} \Rightarrow R_1 + R_2 = \frac{V_{CC}}{0.2I_E} = 90\text{k}\Omega$$

$$V_{BB} \approx V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \frac{R_1 + R_2}{R_2} = \frac{V_{CC}}{V_B} = \frac{9}{3.7} = 2.43$$

$$R_2 = \frac{R_1 + R_2}{2.43} = \frac{90\text{k}\Omega}{2.43} = 37\text{k}\Omega \Rightarrow$$

$$R_1 = 90\text{k}\Omega - R_2 = 90\text{k}\Omega - 37\text{k}\Omega = 53\text{k}\Omega$$

2. Πόλωση με Χρήση Δύο Τροφοδοτικών

Για να κάνουμε το ρεύμα εκπομπού ανεξάρτητο από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και το β , επιλέγουμε:

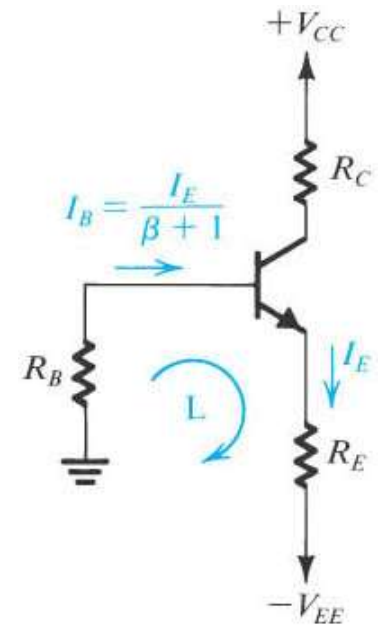
$$V_{EE} \gg V_{BE}$$

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

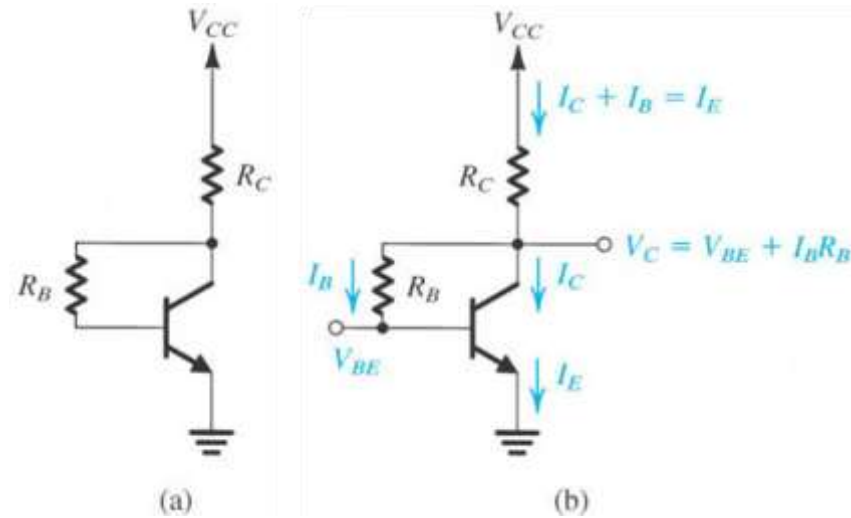
$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{(\beta + 1)}}$$

Η R_B μπορεί να παραλειφθεί αν το σήμα δεν εφαρμόζεται στη βάση.

$$-V_{EE} + I_E R_E + V_{BE} + I_B R_B = 0 \Rightarrow$$



3. Πόλωση από τον Συλλέκτη



Χρήσιμο για κυκλώματα κοινού εκπομπού.

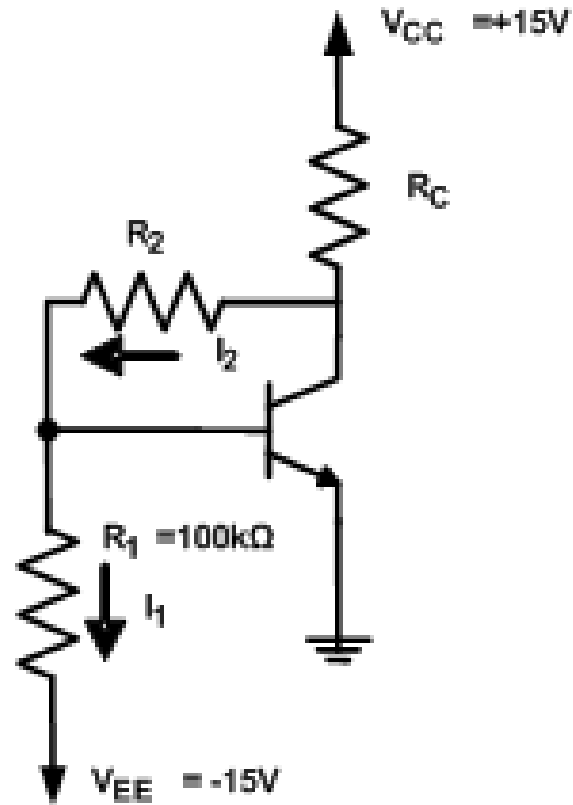
Η σταθερότητα πόλωσης επιτυγχάνεται με την αρνητική ανάδραση που δίνει η αντίσταση R_B .

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

$$V_{CB} = I_B R_B = I_E \frac{R_B}{\beta + 1}$$

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

Άσκηση 2



Για το κύκλωμα του σχήματος, να υπολογιστούν οι τιμές των αντιστάσεων R_2 και R_C , αν απαιτείται να έχουμε $V_{CE}=5V$ και $I_C=2mA$ στο σημείο λειτουργίας Q .

Δίνονται: $V_{BE}=0,7V$ και $\beta=100$.

Τέλος Μέρους
B'