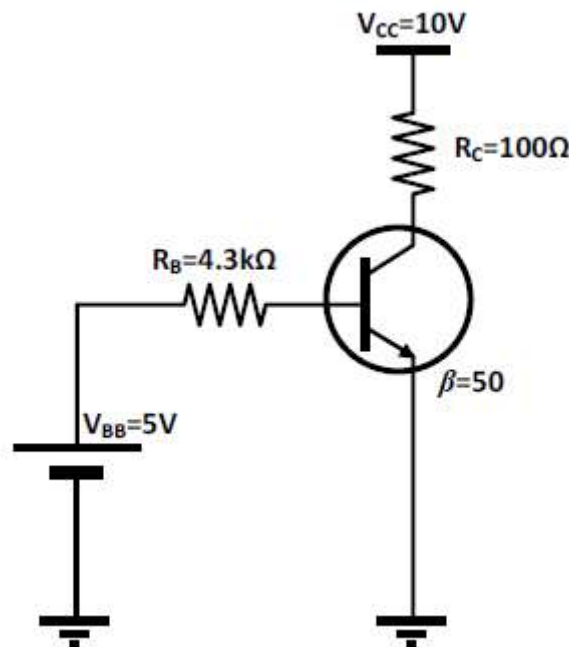




7^ο Φυλλάδιο Ασκήσεων (Διπολικό Τρανζίστορ – Περιοχές Λειτουργίας)

Άσκηση 1

Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Να βρεθεί το δυναμικό στον συλλέκτη του τρανζίστορ. Σε ποια περιοχή λειτουργεί το τρανζίστορ;



Λύση

Όπως επιτάσσει η μεθοδολογία που έχουμε διδαχθεί θα θεωρήσουμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή και στην συνέχεια θα επιλύσουμε κανονικά το κύκλωμα (θα κάνουμε δηλαδή την DC ανάλυση του κυκλώματος). Σε περίπτωση που το τρανζίστορ δεν λειτουργεί στην ενεργό περιοχή θα διαπιστωθούν «απρόσμενες» τιμές μεγεθών, όπως για παράδειγμα η τάση V_{BC} το ρεύμα I_B η τάση V_{CE} κ.ο.κ.

Εφόσον έχουμε θεωρήσει ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή, η πρώτη συνέπεια που μας βοηθά είναι το γεγονός ότι θεωρούμε την τάση μεταξύ V_{BE} ίση με 0.7V. Συγκεκριμένα μάλιστα το δυναμικό της βάσης είναι $V_B = 0.7$ ενώ το δυναμικό του εκπομπού είναι ίσο με μηδέν $V_E = 0$ αφού ο εκπομπός συνδέεται απευθείας στην γείωση. Άρα $V_{BE} = V_B - V_E = 0.7 - 0 = 0.7$.

Εφαρμόζοντας 2^ο κΚ στον βρόχο εισόδου του κυκλώματος (κύκλωμα εισόδου) έχουμε:

2^{ος} κΚ σε $V_{BB} \rightarrow R_B \rightarrow Tr \rightarrow GND$

$$V_{BB} - R_B \cdot I_B - V_{BE} = 0 \Rightarrow 5V - 4.3K\Omega \cdot I_B - 0.7V = 0$$

$$\Rightarrow 4.3V = 4.3K\Omega \cdot I_B \Rightarrow I_B = \frac{4.3V}{4.3K\Omega} = 1mA$$

Παρατηρώ ότι το I_B είναι μεγαλύτερο του μηδενός όπως ακριβώς αναμένω ώστε η διόδος βάσης εκπομπού να είναι ορθά πολωμένη. Αυτό συμφωνεί με την υπόθεση ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή.

Η δεύτερη θεώρηση που μπορούμε να κάνουμε από το γεγονός ότι τα τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή είναι η ορθότητα της τιμής του β . Άρα στην προκειμένη περίπτωση μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα του συλλέκτη από το ρεύμα της βάσης και το β .

ΠΡΟΣΟΧΗ! ΟΤΑΝ ΜΑΣ ΔΙΝΕΤΑΙ ΣΕ ΜΙΑ ΑΣΚΗΣΗ Η ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ β ΤΟΤΕ ΑΥΤΗ ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΠΕΡΙΟΧΗ. ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΡΟΥ ΤΟ β ΜΕΙΩΝΕΤΑΙ ΔΡΑΜΑΤΙΚΑ. ΜΑΛΙΣΤΑ ΣΕ ΚΑΠΟΙΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΑΡΚΕΙ ΝΑ ΔΕΙΞΟΥΜΕ ΟΤΙ ΤΟ β ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΙΣΟ ΜΕ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΜΑΣ ΕΧΕΙ ΔΩΣΕΙ Η ΑΣΚΗΣΗ ΩΣΤΕ ΝΑ ΑΠΟΦΑΝΘΟΥΜΕ ΟΤΙ ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΔΕΝ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΕ ΕΝΕΡΓΟ ΠΕΡΙΟΧΗ. ΤΟ β ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΟΥΜΕ ΔΙΑΙΡΟΝΤΑΣ ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΜΕ ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ.

$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \cdot 1mA = 50mA$$

Γνωρίζοντας το ρεύμα του συλλέκτη μπορούμε να βρούμε το δυναμικό το συλλέκτη. Αυτό θα είναι ίσο με την τάση της V_{CC} μείον την πτώση τάσης στην αντίσταση R_C .

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 10V - 50mA \cdot 100\Omega = 10V - 5V = 5V$$

Η τάση μεταξύ βάσης συλλέκτη είναι ίση με:

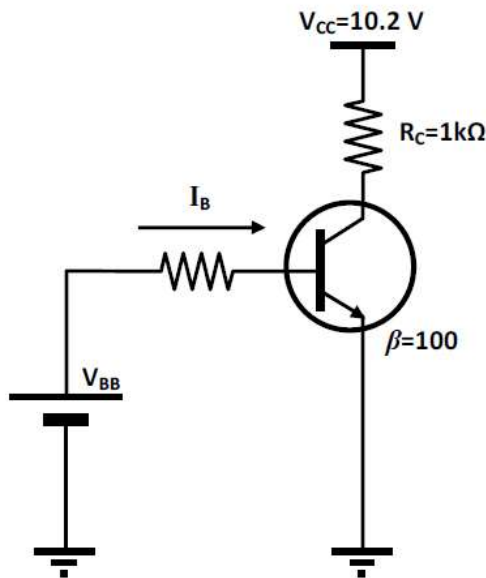
$$V_{BC} = V_B - V_C = 0.7V - 5V = -4.3V$$

Άρα πράγματι η διόδος βάσης συλλέκτη είναι ανάστροφα πολωμένη (αρνητική τιμή) και επίσης αυτό συμφωνεί με την υπόθεση που κάναμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή.

Επομένως το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή αφού η διόδος βάσης-εκπομπού είναι ορθά πολωμένη ενώ η διόδος βάσης συλλέκτη ανάστροφα.

Άσκηση 2

Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Να βρεθεί η ελάχιστη τιμή του ρεύματος βάσης (I_B) για την οποία το τρανζίστορ θα τεθεί στην περιοχή κόρου. (θεωρείστε ότι για το τρανζίστορ πυριτίου η τιμή της τάσης συλλέκτη-εκπομπού στο όριο της ενεργού περιοχής και της περιοχής κόρου [V_{CEsat}] είναι περίπου ίση με 0.2V).



Λύση

Η άσκηση ζητάει την τιμή του ρεύματος βάσης στην οριακή κατάσταση όπου το τρανζίστορ μεταπίπτει στην περιοχή κόρου. Σε αυτή την οριακή κατάσταση μας υποδεικνύει να θεωρήσουμε την τιμή της τάσης μεταξύ συλλέκτη-εκπομπού ίση με 0.2V. Από το δεδομένο αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε το δυναμικό στον συλλέκτη. Θα είναι 0.2V εφόσον το δυναμικό στον εκπομπού είναι ίσο με μηδέν (συνδέεται με την γείωση).

$$V_{CE} = V_C - V_E = 0.2V \Rightarrow V_C = V_{CE} - V_E = 0.2V - 0V = 0.2V$$

Γνωρίζοντας το δυναμικό στον συλλέκτη μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα συλλέκτη I_C καθώς το δυναμικό του συλλέκτη ισούται με την τάση της πηγής V_{CC} μείον την πτώση τάσης στην R_C .

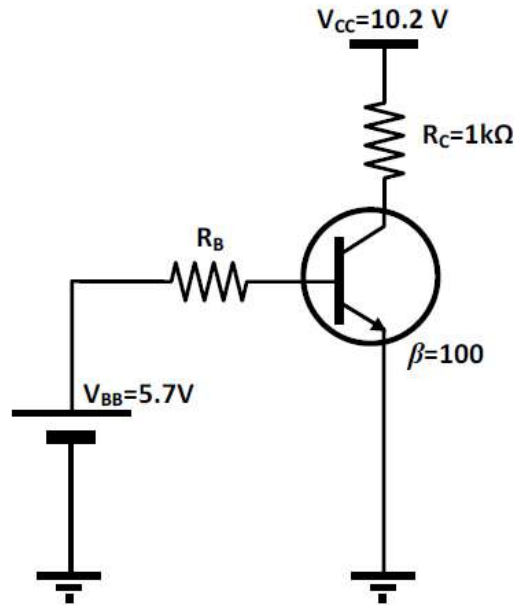
$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{10.2V - 0.2V}{1K\Omega} = \frac{10V}{1K\Omega} = 10mA$$

Στην οριακή κατάσταση περιοχής κόρου-ενεργούς περιοχής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το κέρδος ρεύματος (παράμετρος β) για να υπολογίσουμε από το ρεύμα του συλλέκτη το ρεύμα της βάσης

$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10mA}{100} = 0.1mA$$

Άσκηση 3

Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Να βρεθεί η ελάχιστη τιμή της αντίστασης R_B για την οποία το τρανζίστορ θα τεθεί στην περιοχή κόρου. (θεωρείστε ότι για το τρανζίστορ πυριτίου η τιμή της τάσης συλλέκτη-εκπομπού στο όριο της ενεργού περιοχής και της περιοχής κόρου [V_{CEsat}] είναι περίπου ίση με 0.2V).



Λύση

Η άσκηση ζητάει τώρα την ελάχιστη τιμή αντίστασης R_B στην οριακή κατάσταση όπου το τρανζίστορ μεταπίπτει στην περιοχή κόρου. Είναι αρκετά παρόμοια με την προηγούμενη άσκηση ωστόσο τώρα προχωράει και ένα βήμα παραπάνω. Στην την οριακή κατάσταση μας υποδεικνύει να θεωρήσουμε την τιμή της τάσης μεταξύ συλλέκτη-εκπομπού ίση με $0.2V$. Από το δεδομένο αυτό μπορούμε να υπολογίσουμε το δυναμικό στον συλλέκτη. Θα είναι $0.2V$ εφόσον το δυναμικό στον εκπομπού είναι ίσο με μηδέν (συνδέεται με την γείωση).

$$V_{CE} = V_C - V_E = 0.2V \Rightarrow V_C = V_{CE} - V_E = 0.2V - 0V = 0.2V$$

Γνωρίζοντας το δυναμικό στον συλλέκτη μπορούμε να υπολογίσουμε το ρεύμα συλλέκτη I_C καθώς το δυναμικό του συλλέκτη ισούται με την τάση της πηγής V_{CC} μείον την πτώση τάσης στην R_C .

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C} = \frac{10.2V - 0.2V}{1K\Omega} = \frac{10V}{1K\Omega} = 10mA$$

Στην οριακή κατάσταση περιοχής κόρου-ενεργούς περιοχής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το κέρδος ρεύματος (παράμετρος β) για να υπολογίσουμε από το ρεύμα του συλλέκτη το ρεύμα της βάσης

$$I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10mA}{100} = 0.1mA$$

Εφαρμόζοντας τώρα 2^ο κΚ στον βρόχο εισόδου θα έχω μοναδικό άγνωστο την αντίσταση R_B .

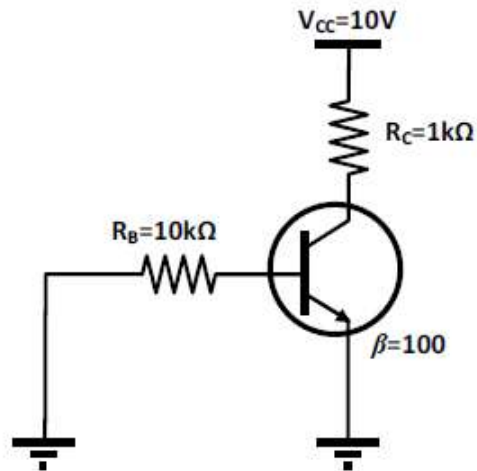
2^{ος} κΚ σε $V_{BB} \rightarrow R_B \rightarrow Tr \rightarrow GND$

$$V_{BB} - R_B \cdot I_B - V_{BE} = 0 \Rightarrow 5.7V - R_B \cdot 0.1mA - 0.7V = 0$$

$$\Rightarrow 5V = 0.1mA \cdot R_B \Rightarrow R_B = \frac{5V}{0.1mA} = 50K\Omega$$

Άσκηση 4

Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Ζητείται το δυναμικό στον συλλέκτη του τρανζίστορ. Σε ποια περιοχή λειτουργεί το τρανζίστορ;

**Λύση**

Υποθέτουμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή. Άρα η V_{BE} θα είναι ίση με 0.7V και το κέρδος ρεύματος β ίσο με 100 όπως ακριβώς δίνεται από τα δεδομένα της άσκησης. Θα υπολογίσουμε το ρεύμα I_B από το κύκλωμα εισόδου:

$$-I_B \cdot R_B - V_{BE} = 0 \Rightarrow -10K\Omega \cdot I_B = 0.7V$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{0.7V}{-10K\Omega} = -0.07mA$$

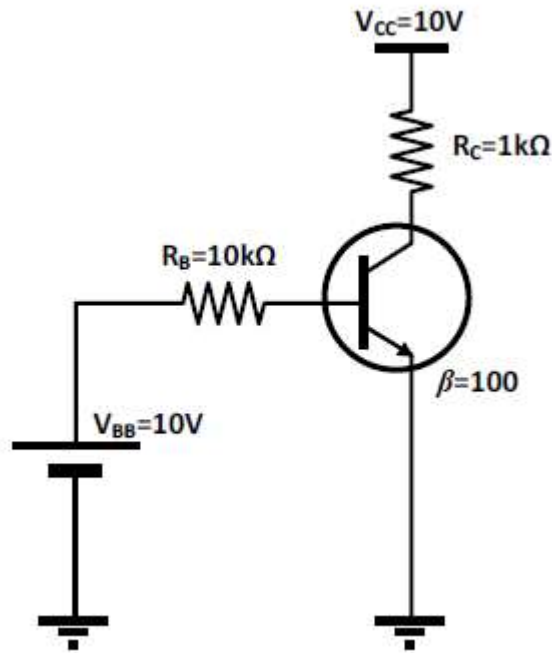
Παρατηρούμε ότι το I_B υπολογίζεται μικρότερο του μηδενός. Επομένως πρέπει αυτομάτως να αποφανθούμε ότι το τρανζίστορ δεν λειτουργεί στην ενεργό περιοχή όπως υποθέσαμε στην αρχή της άσκησης αλλά βρίσκεται σε αποκοπή. Το συμπέρασμα αυτό θα μπορούσα να το εξάγω από την πρώτη ματιά στο κύκλωμα εφόσον παρατηρώ ότι δεν υπάρχει πηγή στο κύκλωμα εισόδου για να πολώσει την διόδο βάσης εκπομπού.

Εφόσον το τρανζίστορ βρίσκεται σε αποκοπή δεν υπάρχει και ρεύμα συλλέκτη. Άρα το δυναμικό του συλλέκτη είναι ίσο με την τάση της πηγής V_{CC} (δεν υπάρχει ρεύμα άρα δεν υπάρχει πτώση τάσης στα άκρα της R_C).

Άρα $V_C = 10V$

Άσκηση 5

Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος, όπου το τρανζίστορ είναι κατασκευασμένο σε πυρίτιο. Ζητείται το δυναμικό στον συλλέκτη του τρανζίστορ. Σε ποια περιοχή λειτουργεί το τρανζίστορ;

**Λύση**

Ακολουθώντας τα ίδια βήματα με πριν. Υποθέτουμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή. Άρα η V_{BE} θα είναι ίση με $0.7V$ και το κέρδος ρεύματος β ίσο με 100 όπως ακριβώς δίνεται από τα δεδομένα της άσκησης. Θα υπολογίσουμε το ρεύμα I_B από το κύκλωμα εισόδου:

$$V_{BB} - I_B \cdot R_B - V_{BE} = 0 \Rightarrow 10V - 10K\Omega \cdot I_B - 0.7V = 0$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{9.3V}{10K\Omega} = 0.93mA$$

Παρατηρώ ότι το I_B είναι μεγαλύτερο του μηδενός όπως ακριβώς αναμένω ώστε η διόδος βάσης εκπομπού να είναι ορθά πολωμένη. Αυτό συμφωνεί με την υπόθεση ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή.

Όμως από το κέρδος ρεύματος και το I_B

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 0.93mA = 93mA$$

Το δυναμικό του συλλέκτη ισούται με την τάση της πηγής V_{CC} μείον την πτώση τάσης στην R_C .

$$V_C = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 10V - 93mA \cdot 1K\Omega = 10V - 93V = -83V$$

Το δυναμικό της βάσης είναι ίσο με $0.7V$ ενώ το δυναμικό του συλλέκτη είναι $3V$. Άρα

$$V_{BC} = V_B - V_C = 0.7V - (-83V) = 83.7V$$

Από την θετική τιμή καταλαβαίνουμε ότι η διόδος βάσης συλλέκτη είναι ορθά και όχι ανάστροφα πολωμένη και επομένως το τρανζίστορ δεν λειτουργεί στην ενεργό περιοχή όπως εξ αρχής θεωρήσαμε αλλά στην περιοχή κόρου.

Παράρτημα Α

Μεθοδολογία Επίλυσης Ασκήσεων

- Θεωρούμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί στην ενεργό περιοχή (θεωρούμε την $V_{BE} = 0.7V$)
- Βρίσκουμε το ρεύμα I_B και την V_{BC}
 - Αν $I_B > 0$ και $V_{BC} < 0$ τότε όντως λειτουργεί στην ενεργό περιοχή
 - Αν $I_B > 0$ και $V_{BC} > 0$ τότε λειτουργεί στον κόρο
 - Αν $I_B < 0$ λειτουργεί στην αποκοπή