



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ

Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής

Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

Ηλεκτρονική Ι

4^ο Εξάμηνο, Ακαδημαϊκό Έτος 2021-2022

3^η Σειρά Ασκήσεων

Καθ. Παύλος-Πέτρος Σωτηριάδης

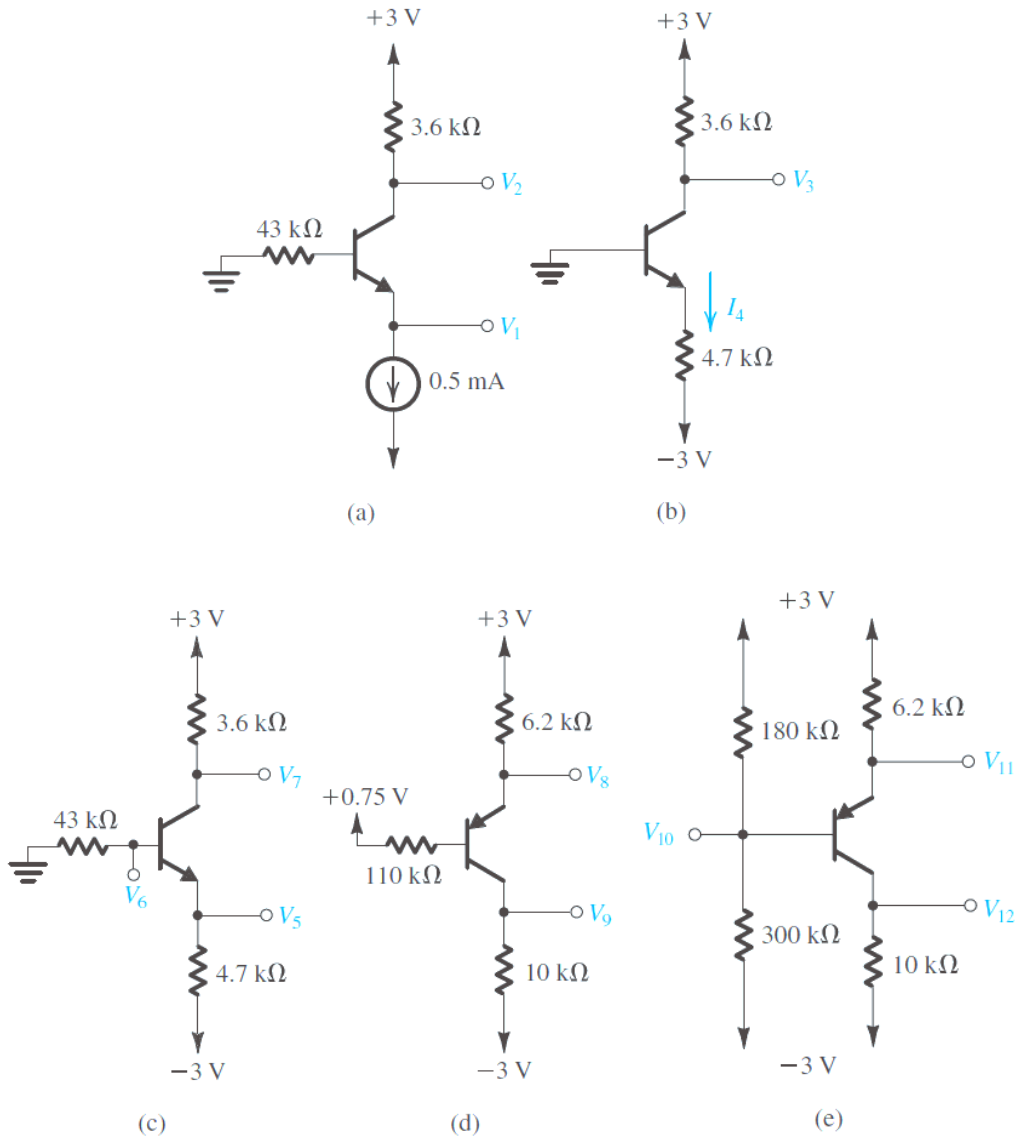
6 Μαΐου 2022

Μελέτη: Από το βιβλίο Μικροηλεκτρονικά Κυκλώματα του Sedra Smith, 7^η έκδοση το 6^ο κεφάλαιο (Τρανζίστορ BJT) τις υποενότητες 6.1, 6.2 και 6.3.

Διευκρινίσεις:

- Οι ασκήσεις είναι ατομικές και παραδίδονται **ηλεκτρονικά** στη σελίδα του μαθήματος στο helios, έως και την Κυριακή, **22 Μαΐου 2022**. Η μορφή του αρχείου να είναι μόνο **PDF**. Προτείνεται η συμπίεσή του.
- Κάθε επιστημονικά τεκμηριωμένη λύση θα θεωρηθεί ορθή.
- Σε όσες ασκήσεις ζητείται χρήση **LT SPICE**, να παρουσιάσετε και σχολιάσετε συνοπτικά τις κατάλληλες γραφικές παραστάσεις για τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.
- Σε όσες ασκήσεις δεν δίνονται τιμές στοιχείων βρείτε την απάντηση σε μορφή γενικού τύπου.
- Ορθή επίλυση **όλων των σειρών** ασκήσεων που θα δοθούν μέσα στο εξάμηνο προσδίδει βαθμολογική ενίσχυση ως και **1 μονάδα** στον τελικό βαθμό. Η παράδοσή τους **δεν** είναι υποχρεωτική, αλλά συνίσταται για την κατάλληλη προετοιμασία.

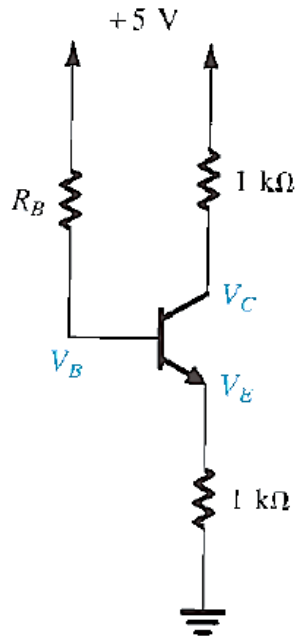
Άσκηση 1^η LT SPICE



Σχήμα 1

Για τα κυκλώματα του παραπάνω σχήματος (a)-(e), υπολογίστε τις DC τιμές των τάσεων V_1 - V_9 , θεωρώντας $|V_{BE}|=0.7V$ και $\beta=100$. Στη συνέχεια, εκτελέστε DC operating point προσομοίωση στο LT SPICE, με βάση το μοντέλο 2N2222 για τα NPN BJT transistors και 2N2907 για τα PNP BJT transistors.

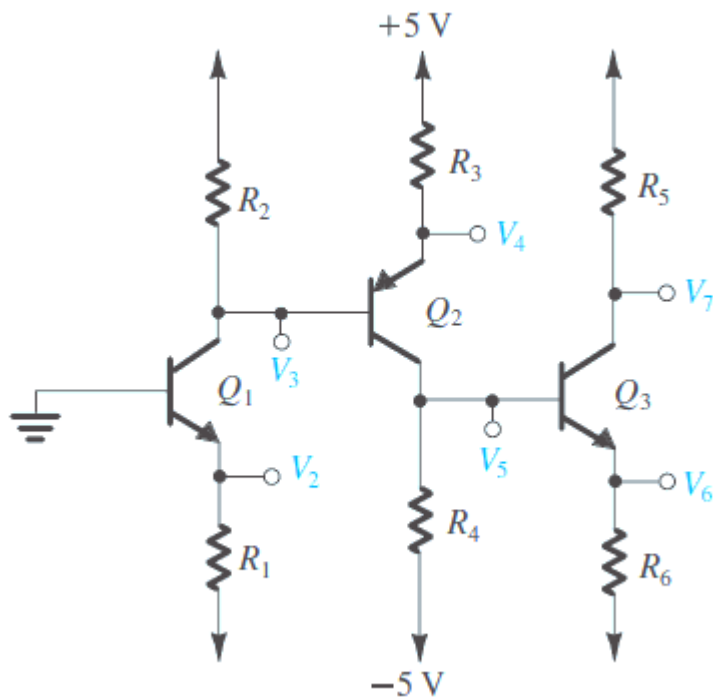
Άσκηση 2^η LT SPICE



Σχήμα 2

Για το κύκλωμα του σχήματος 2, θεωρώντας $|V_{BE}|=0.7\text{V}$, ότι το τρανζίστορ βρίσκεται στην ορθή ενεργό περιοχή και λαμβάνοντας υπόψη το ρεύμα βάσης, να υπολογίσετε τις τάσεις στους ακροδέκτες του BJT transistor, σαν συνάρτηση της αντίστασης R_B . Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας το LT SPICE και παραμετρική προσομοίωση, να εξάγετε τις γραφικές παραστάσεις των τάσεων αυτών, σαν συνάρτηση της R_B . (Χρησιμοποιήστε τιμές $1\text{ k}\Omega$, $2\text{ k}\Omega$, $5\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $20\text{ k}\Omega$, $50\text{ k}\Omega$ και $100\text{ k}\Omega$).

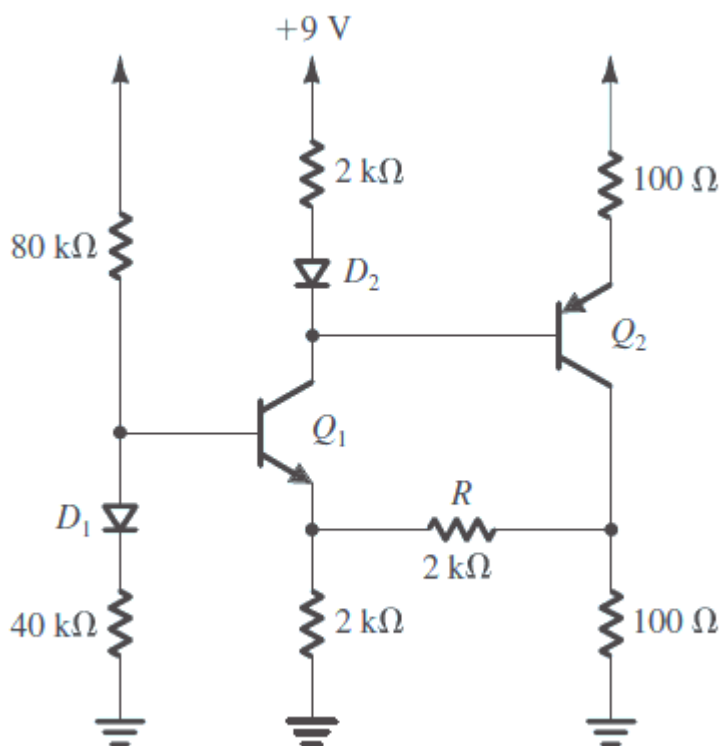
Άσκηση 3^η



Σχήμα 3

Για το κύκλωμα του παραπάνω σχήματος, θεωρήστε $R_1=2\text{k}\Omega$, $R_2=1\text{k}\Omega$, $R_3=2\text{k}\Omega$, $R_4=8\text{k}\Omega$, $R_5=500\Omega$ και $R_6=2\text{k}\Omega$. Υπολογίστε τις αναγραφόμενες DC τάσεις θεωρώντας ότι όλα τα τρανζίστορ βρίσκονται στην ορθή ενεργό περιοχή, $|V_{BE}|=0.7\text{V}$ και Α) β άπειρο, Β) $\beta=100$.

Άσκηση 4^η

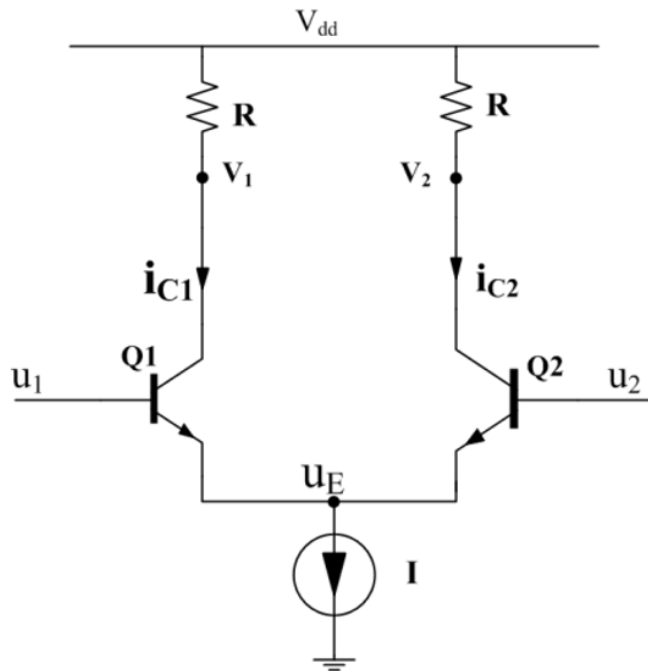


Σχήμα 4

Για το κύκλωμα του παραπάνω σχήματος, υπολογίστε τις DC τάσεις σε όλους τους κόμβους θεωρώντας $|V_{BE}|=0.7V$, $V_D=0.7V$ και Α) β άπειρο, Β) $\beta=100$.

Υπόδειξη: Αφού βρείτε τις V_{B1} , V_{E1} , εκφράστε την τάση V_{C1} του συλλέκτη του Q_1 , μέσω του ρεύματος I_{C1} , ως $V_{C1}=A_1+B_1V_{C2}$ και την τάση V_{C2} , του συλλέκτη του Q_2 , μέσω του ρεύματος I_{C2} , ως $V_{C2}=A_2+B_2V_{C1}$.

Άσκηση 5^η LT SPICE



Σχήμα 5

Στο παραπάνω κύκλωμα τα τρανζίστορς βρίσκονται στην ενεργό περιοχή. Θεωρούμε το μοντέλο μεγάλου σήματος με την δίοδο ΧΩΡΙΣ το φαινόμενο Early. Χρησιμοποιώντας την εκθετική σχέση του ρεύματος συλλέκτη, I_C , του κάθε τρανσίστορ ως προς την τάση Βάσης-Εκπομπού του, V_{BE} και αγνοώντας το ρεύμα βάσης I_B , να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα.

A) Εκφράζοντας τα ρεύματα συλλέκτη των $Q_{1,2}$ συναρτήσει των u_1, u_2 και u_E υπολογίστε το λόγο $\frac{i_{C2}}{i_{C1}}$

B) Με χρήση του λόγου i_{C2}/i_{C1} από το παραπάνω ερώτημα και με εξίσωση ρευμάτων Kirchhoff στον κοινό κόμβο των εκπομπών u_E να υπολογίσετε το ρεύμα i_{C2} (αγνοώντας το ρεύμα βάσης I_B).

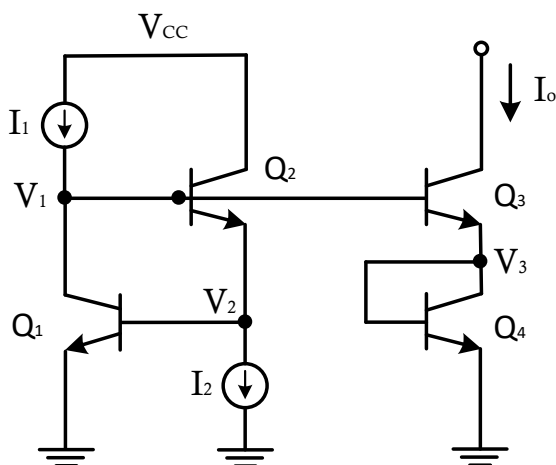
Γ) Χρησιμοποιώντας το i_{C2} και υπολογίζοντας το i_{C1} βρείτε την v_2-v_1 συναρτήσει του u_1-u_2 . Η συνάρτηση υπερβολικής εφαπτομένης εκφράζεται ως

$$\tanh(x) = (e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x}).$$

Δ) Υλοποιείτε το διαφορικό ενισχυτή στο LT SPICE, θεωρώντας $u_2=0$ και χρησιμοποιώντας το transistor 2N2222. Θεωρείστε ότι η u_1 μεταβάλλεται από -0.25 μέχρι $0.25V$. Θεωρήστε επίσης ότι $V_{dd}=10V$ και $I=2mA$. Χαράξτε τη χαρακτηριστική μεταφοράς της διαφορικής εξόδου v_2-v_1 ως προς την είσοδο σε κοινούς άξονες για τις ακόλουθες τιμές της αντίστασης R : 100Ω , 500Ω , $1k\Omega$, $2k\Omega$, $5k\Omega$, $10k\Omega$. Τι παρατηρείτε; Είναι αναμενόμενο από τη θεωρητική σας ανάλυση;

Άσκηση 6^η

Για το παρακάτω κύκλωμα θεωρείστε ότι όλα τα τρανζίστορ είναι ίδια και βρίσκονται στην ορθή ενεργό περιοχή λειτουργίας. Θεωρείστε δεδομένα τα I_S και V_T καθώς και ότι $\beta = \infty$ και $V_A = \infty$.



Σχήμα 6

Με χρήση αποκλειστικά της (προσεγγιστικής) εκθετικής σχέσης ανάμεσα στο ρεύμα συλλέκτη και την τάση βάσης-εκπομπού, απαντήστε τα παρακάτω ερωτήματα.

A) Να υπολογιστεί η τάση V_{BE1} συναρτήσει των V_T , I_S , I_1 και I_2 .

B) Να υπολογιστεί η τάση V_{BE2} συναρτήσει των V_T , I_S , I_1 και I_2 .

Γ) Να υπολογιστεί η τάση V_1 συναρτήσει των V_T , I_S , I_1 και I_2 .

Δ) Να υπολογιστεί η τάση V_{BE4} συναρτήσει των V_T , I_S , I_1 και I_2 .

Ε) Να εκφραστεί (απλή σχέση) το ρεύμα I_0 συναρτήσει των I_1 και I_2 .