

Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ-ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
Τμήμα Ηλεκτρονικής

ΤΛ-1001
Φεβρουάριος 2011

Ελ. Καπετανάκης
03 / 02 / 11

Α' Εξεταστική Χειμερινής Περιόδου

Πρόβλημα 1 (15 μονάδες)

Κρύσταλλος Si έχει ομοιόμορφη κατανομή αποδεκτών $N_A = 2,6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ και δοτών $N_D = 6 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Η συγκέντρωση ενδογενών φορέων στην θερμοκρασία δωματίου είναι $1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. α) Να προσδιοριστεί η ειδική αντίσταση του κρυστάλλου. β) Να προσδιοριστεί η αντίσταση δείγματος, με διαστάσεις $W = 5 \mu\text{m}$, $L = 20 \mu\text{m}$, $T = 1 \mu\text{m}$. Δίνονται $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2/\text{V sec}$, $\mu_p = 500 \text{ cm}^2/\text{V sec}$, $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Cb}$.

α) $N_A - N_D = 2,6 \cdot 10^{15} - 6 \cdot 10^{14} = (26-6) \cdot 10^{14} = 20 \cdot 10^{14} = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3} \gg n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
ο ημιαγωγός είναι p-τύπου με συγκέντρωση οπών περίπου ίση με:

$$p \approx N_A - N_D = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

Η ειδική αντίσταση του κρυστάλλου είναι:

$$\rho = 1/\sigma = 1/(q p \mu_p) = 6,25 \Omega\text{-cm}$$

$$\beta) R = \rho (L/W T) = 6,25 \Omega\text{-cm} (20 \mu\text{m}/5 \mu\text{m}^2) = 25 \Omega\text{-cm}/\mu\text{m} = 25 \cdot 10^4 \Omega = 250 \text{ k}\Omega$$

Πρόβλημα 2 (20 μονάδες)

Σε ημιαγωγό δίοδο Si οι συγκεντρώσεις προσμίξεων εκατέρωθεν της επαφής είναι, $N_A = 3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ και $N_D = 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ και η συγκέντρωση ενδογενών φορέων σε θερμοκρασία δωματίου είναι $n_i = 1,4 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Να προσδιορίσετε:

A) Τις συγκεντρώσεις φορέων πλειονότητας και μειονότητας εκατέρωθεν της επαφής.

B) Το δυναμικό της επαφής. Δίνεται η θερμική τάση $V_T = 26 \text{ mV}$ στους 300 °K.

Γ) Σε ποια πλευρά (n ή p) η περιοχή απογύμνωσης έχει μεγαλύτερη έκταση; Ποιος είναι ο λόγος έκτασης των περιοχών απογύμνωσης.

A)

$$p_p \approx N_A = 3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}, n_n \approx N_D = 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}, n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A} = 6,5 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-3},$$

$$p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D} = 1 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

B)

$$V_o = V_T \ln \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2} = 0,747 \text{ V}$$

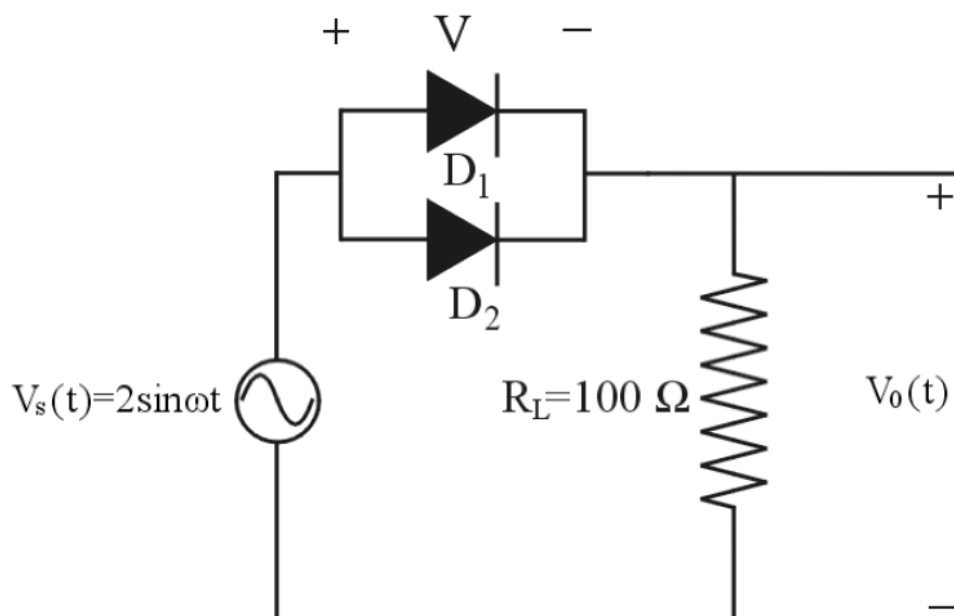
Γ) $N_D \gg N_A$ οπότε η περιοχή απογύμνωσης έχει μεγαλύτερη έκταση στην p-πλευρά

$$N_D x_{n0} = N_A x_{p0} \Rightarrow$$

$$\frac{x_{p0}}{x_{n0}} = \frac{N_D}{N_A} = \frac{2 \cdot 10^{17}}{3 \cdot 10^{15}} = 66$$

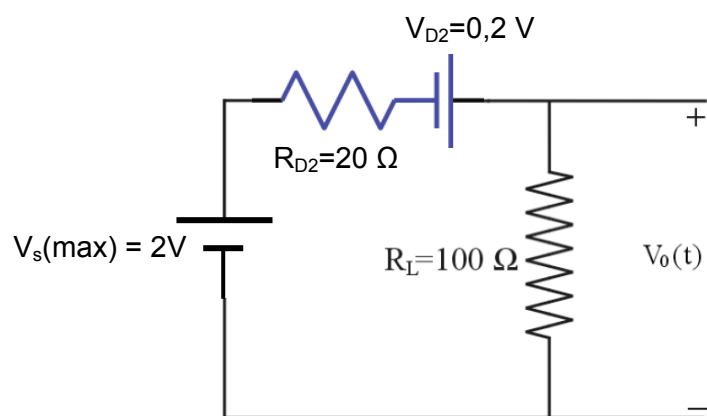
Πρόβλημα 3 (15 μονάδες)

Για τις διόδους του κυκλώματος του σχήματος κάτω $V_{D1}=0,6\text{V}$, $R_{D1}=10\ \Omega$, $V_{D2}=0,2\text{V}$, $R_{D2}=20\ \Omega$. Προσδιορίστε τη μέγιστη τιμή της τάσης V_0 .



Καθώς η τάση εισόδου αυξάνει, η διάδος D2 θα αρχίσει να άγει πρώτη. Επειδή η πτώση τάσης στα άκρα της διόδου D2 είναι λίγο μεγαλύτερη από την τάση κατωφλίου της διόδου D2, δηλ. λίγο μεγαλύτερη από $V_{D2}=0,2\text{V}$, η διάδος D1 δεν θα άγει γιατί η τάση στα άκρα της διόδου D2 είναι μικρότερη από $0,6\text{V}$.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του παραπάνω κυκλώματος, όταν η τάση εισόδου είναι μέγιστη, δηλ. $V_s(\text{max}) = 2\text{V}$, είναι:



$$I = \frac{V_{\text{max}} - V_{D2}}{R_L + R_{D2}} = \frac{2\text{V} - 0,2\text{V}}{120\Omega} = 15\text{mA}$$

$$V_{0\text{max}} = IR_L = 1,5\text{V}$$

Πρόβλημα 4 (20 μονάδες)

Ποια η τάση εξόδου v_o όταν:

α) $v_1 = v_2 = 5V$

β) $v_1 = 5V$ και $v_2 = 0V$

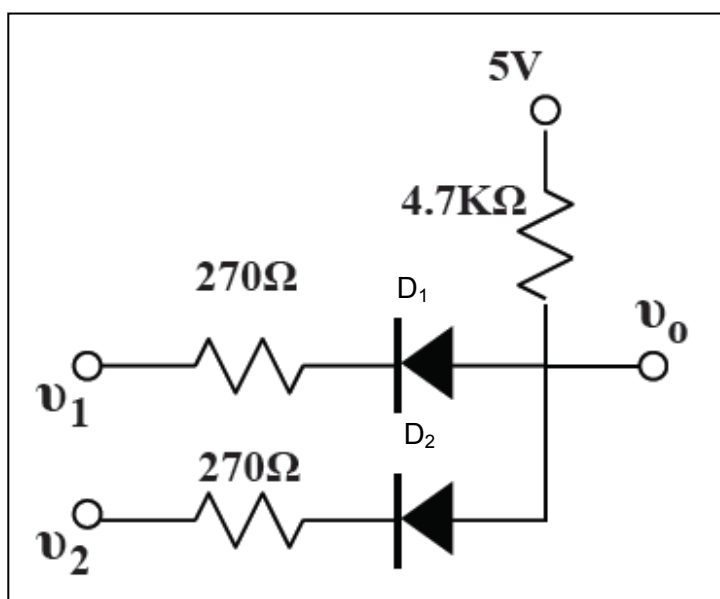
γ) $v_1 = 0V$ και $v_2 = 5V$

δ) $v_1 = v_2 = 0V$

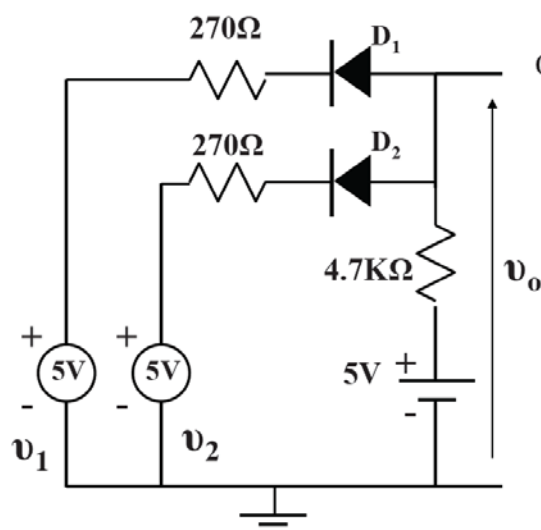
Δεδομένα:

$R_{D1} = R_{D2} = 30\Omega$

$V_{D1} = V_{D2} = 0.6V$



α) $v_1 = v_2 = 5V$



Ισοδύναμο Κύκλωμα

α) Επειδή $v_1 = v_2 = 5V$ οι κάθοδοι των δύο διόδων είναι σε δυναμικό 5V.

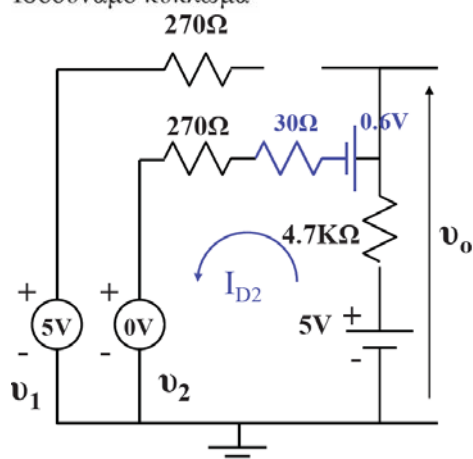
Τα 5V είναι η μέγιστη τάση τροφοδοσίας και συνεπώς οι διόδοι είναι ανάστροφα πολωμένες ($I_s = 0$).

Ως αποτέλεσμα δεν υπάρχει ρεύμα στο κύκλωμα και:

$$v_o = 5V$$

β) $v_1 = 5V$ και $v_2 = 0V$

Ισοδύναμο κύκλωμα



Από τον κανόνα του Kirchhoff για τάσεις (KVL) παίρνουμε:

$$-5 + 4700I_{D2} + 0.6 + 30I_{D2} + 270I_{D2} = 0 \Rightarrow I_{D2} = 0.88mA$$

Άρα:

$$v_o = 5 - 4700I_{D2} = 0.864V$$

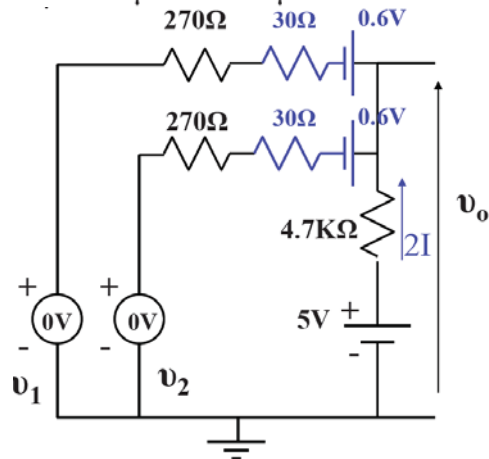
γ) $u_1 = 0V$ και $u_2 = 5V$

Παρόμοια με το ερώτημα β) η τάση εξόδου είναι

$$v_o = 5 - 4700I_{D1} = 0.864V$$

δ) $u_1 = u_2 = 0V$

Ισοδύναμο κύκλωμα



Σε αυτή την περίπτωση και οι δύο δίοδοι είναι ορθά πολωμένες.

Επιπλέον λόγω συμμετρίας των κλάδων ισχύει: $I_{D1} = I_{D2} = I$. Δουλεύοντας όπως και στην περίπτωση (β) και από τον κανόνα του Kirchhoff για τάσεις (KVL) σε ένα από τους δύο βρόγχους παίρνουμε:

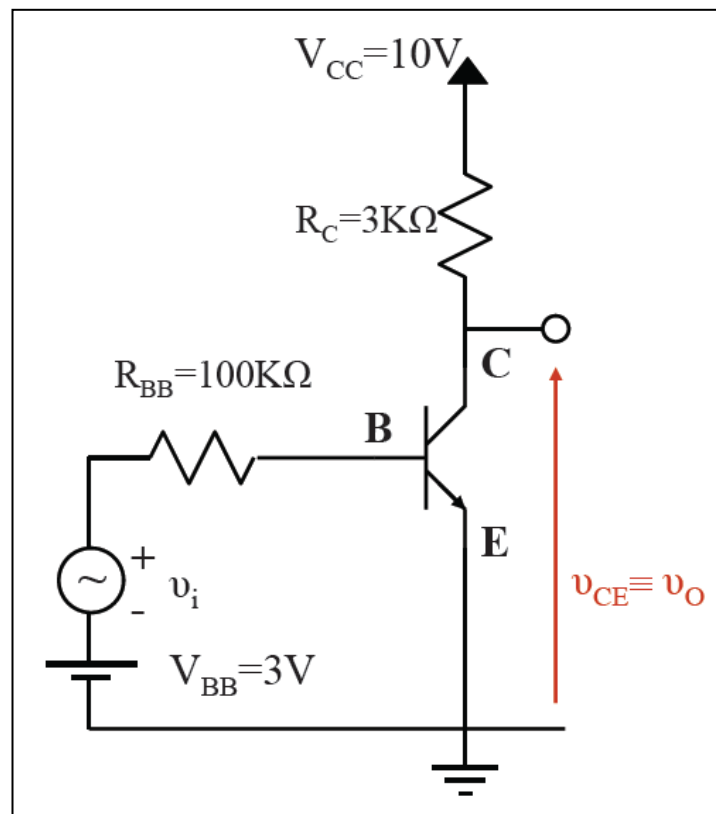
$$-5 + 4700 \times 2I + 0.6 + (30 + 270)I = 0 \Rightarrow I = 0.454mA$$

Άρα: $v_o = 5 - 4700 \times 2I = 0.736V$

Πρόβλημα 5 (30 μονάδες)

Να προσδιοριστεί το σημείο λειτουργίας (I_C , V_{CE}) και να γίνει ανάλυση του ενισχυτή ώστε να βρεθεί το κέρδος τάσης. Ισχύει $\beta = 100$ και $V_T = 25mV$.

(Υποθέστε ότι η u_i είναι μικρό σήμα και ότι η αντίσταση εξόδου r_o του τρανζίστορ είναι άπειρη).



Συνθήκες DC Λειτουργίας

KVL στο βρόχο BE:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}} = 0.023\text{mA} \quad (1)$$

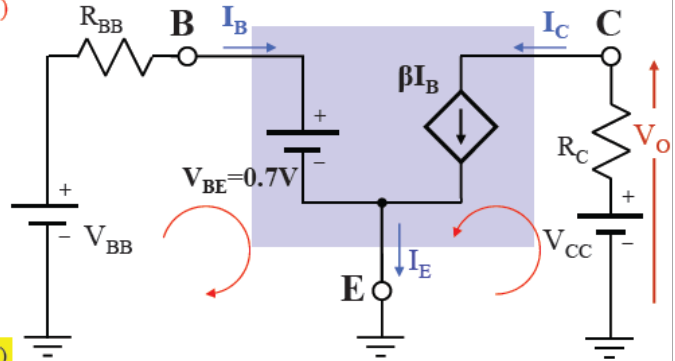
$$I_C = \beta I_B = 2.3\text{mA} \quad (2)$$

Συνεπώς, σε συνθήκες ηρεμίας (DC) το τρανζίστορ όντως λειτουργεί στην *ενεργό περιοχή* και οι λύσεις είναι αποδεκτές.

Σημείο Λειτουργίας: $(I_C, V_{CE}) = (2.3\text{mA}, 3.1\text{V})$

KVL στο βρόχο CE:

$$V_O \equiv V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 3.1\text{V} > 0.3\text{V} \quad (3)$$



Ανάλυση Μικρού Σήματος

KVL στο βρόχο BE

$$v_{be} = v_i \frac{r_\pi}{r_\pi + R_{BB}} = 0.011v_i \quad (4)$$

διαίρετης τάσης

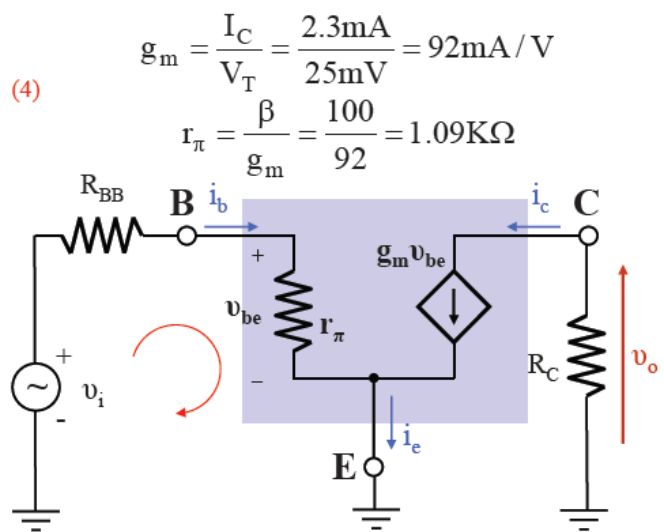
Η τάση εξόδου v_o δίδεται από τη σχέση:

$$v_o = -g_m R_C v_{be} = -3.04v_i \quad (5)$$

νόμος Ohm στην R_C

Το κέρδος τάσης θα είναι:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -3.04 \quad (6)$$



ΚΑΛΗ ΕΠΙΤΥΧΙΑ