

Προβλήματα 2.α Δίοδοι Λύσεις

Ομάδα Α

Πρόβλημα 2α.1

Απαντήστε στις ερωτήσεις

		Σωστό	Λάθος
1.	Οι ημιαγωγοί δεν είναι καλοί αγωγοί ούτε καλοί μονωτές.	✓	
2.	Το ιόν είναι ένα άτομο που έχει χάσει ή έχει προσλάβει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια.	✓	
3.	Το καθαρό γερμάνιο και το καθαρό πυρίτιο είναι εξωγενείς (extrinsic) ημιαγωγοί.		✗
4.	Σε έναν ενδογενή (intrinsic) ημιαγωγό, σε θερμοκρασία δωματίου σχηματίζονται συνεχώς ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων.	✓	
5.	Σε έναν ενδογενή ημιαγωγό, σε θερμοκρασία δωματίου οι οπές και τα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται.	✓	
6.	Ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων σε έναν καθαρό ημιαγωγόν αυξάνεται με τη θερμοκρασία.	✓	
7.	Στο απόλυτο μηδέν οι ενδογενείς ημιαγωγοί συμπεριφέρονται σαν αγωγοί.		✗
8.	Μικρές ποσότητες προσμίξεων έχουν σαν αποτέλεσμα μεγάλες μεταβολές στην ειδική αγωγιμότητα σ των ημιαγωγών.	✓	
9.	Η οπή μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα θετικό φορτίο το οποίο διαχέεται ή σκεδάζεται μέσα σε έναν κρύσταλλο.	✓	
10.	Η κίνηση των οπών μέσα σε ένα ημιαγωγό συνιστά ηλεκτρικό ρεύμα.		✗
11.	Εάν ένα κομμάτι ημιαγωγού τύπου $-n$ και ένα κομμάτι ημιαγωγών τύπου $-p$ μπορούσαν να ενωθούν χωρίς την επίδραση των καταστάσεων στην διεπιφάνεια, τότε κάποιες από τις οπές του ημιαγωγού $-p$ και κάποια από τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού $-n$ θα διαχέονταν στον άλλο ημιαγωγό.	✓	
12.	Εάν ένα κομμάτι ημιαγωγού τύπου $-n$ και ένα κομμάτι ημιαγωγών τύπου $-p$ ενωθούν με πίεση τότε οι φορείς πλειονότητας του ενός ημιαγωγού θα διαχυθούν στον άλλο ημιαγωγό.		✗
13.	Η διάχυση των ευκίνητων φορτίων σε μία δίοδο έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία περιοχών με ηλεκτρικό φορτίο γύρω από την κοινή επιφάνεια των περιοχών $-n$ και $-p$.	✓	
14.	Τα ιόντα των αποδεκτών είναι αρνητικά και τα ιόντα των δοτών είναι θετικά.	✓	

15.	Στην διαχωριστική επιφάνεια μιας διόδου Si δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο οφείλεται στα ιονισμένα άτομα πυριτίου.		✗
16.	Στην διαχωριστική επιφάνεια μιας διόδου δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο εμποδίζει την διάχυση των προσμείξεων από τον ένα ημιαγωγό στον άλλο.		✗
17.	Στην αναστροφή πόλωση ο θετικός πόλος της μπαταρίας συνδέεται με την περιοχή τύπου -p του ημιαγωγού.		✗
18.	Στην αναστροφή πόλωση το ρεύμα είναι μικρό και οφείλεται στην κίνηση των φορέων μειοψηφίας.	✓	
19.	Σε ένα ημιαγωγό τύπου -p οι φορείς πλειονότητας είναι τα ηλεκτρόνια.		✗
20.	Η εφαρμογή αναστροφής πόλωσης σε μία δίοδο μειώνει το φράγμα δυναμικού.		✗
21.	Το πλάτος του φράγματος δυναμικού σε μία δίοδο είναι η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην περιοχή τύπου -p και στην περιοχή τύπου -n.		✗

Πρόβλημα 2α.2

Υπολογίστε την θερμική τάση στους 30, 60 και 300°C.

$$k_B = 8,617 \times 10^{-5} \frac{eV}{Kelvin}, (k_B T)_{T=300^{\circ}K} = 26meV, \text{ στους } 300^{\circ}K \text{ η θερμική τάση είναι:}$$

$$V_{\ominus} = 26mV. \text{ Στους } 30^{\circ}K \text{ θα είναι το } \frac{1}{10} \text{ αυτής της τιμής δηλ. } V_{\ominus} = 2,6mV \text{ και στους}$$

$$60^{\circ}K \text{ θα είναι } V_{\ominus} = 5,2mV$$

Πρόβλημα 2α.3

Βρείτε το ρεύμα που διαρρέει μία δίοδο Ge σε θερμοκρασία δωματίου όταν εφαρμόζεται τάση ορθής πόλωσης ίση με 0,2Volt στα άκρα της. Κάνετε τον ίδιο υπολογισμό για αναστροφή τάση 0,2Volt. Υποθέστε ότι το ρεύμα κορεσμού αναστροφής πόλωσης είναι 5μΑ και n=1. [11,4mA, 5μΑ]

$$V = 0,2 \text{ Volt}$$

ορθή πόλωση

$$300K \rightarrow V_{Th} = \frac{k_B \cdot T}{q} = 0,025 \text{ Volt}$$

$$\frac{V}{V_{Th}} = \frac{0,200}{0,025} = 8 \text{ οπότε 6ων εξ. των ρεύματος}$$

αγνώστ το 1 $I = I_S \cdot e^{\frac{V}{V_{Th}}}$

$$I = 5 \mu A \cdot (e^8) = 11,4 \mu A$$

αφού $\left| \frac{V}{V_{Th}} \right| = 8$ ^{ανά στροφή πάλωση} ~~μπορώ~~ ^{εάν δ} ~~είωσω~~

του ρεύματος να αμυνώ το εμπόδιο.

$$I = I_s \left[e^{\frac{V}{V_{Th}}} - 1 \right] = -I_s = -5 \mu A$$

Πρόβλημα 2α.4

Βρείτε τις τιμές της στατικής και της δυναμικής αντίστασης ορθής πόλωσης, μιας διόδου που διαρρέεται από ρεύμα 2mA. Το ρεύμα κορεσμού αναστροφής πόλωσης είναι 2μΑ. [88,5Ω, 12,5Ω]

Για την στατική αντίσταση πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η τάση

$$I = I_s \left(e^{\frac{V}{V_{Th}}} - 1 \right) \Rightarrow \frac{I}{I_s} = e^{\frac{V}{V_{Th}}} - 1 \Rightarrow$$

$$\frac{V}{V_{Th}} = \ln \left(1 + \underbrace{\frac{I}{I_s}}_{1000} \right) \quad \rightarrow \frac{2mA}{2\mu A} = 1000$$

$$\frac{V}{V_{Th}} = \ln 1000 \Rightarrow V = 0,025 \times 6,9 \approx 0,173 V$$

$$r_{dc} = \frac{V}{I} = \frac{173mV}{2mA} = 86 \Omega$$

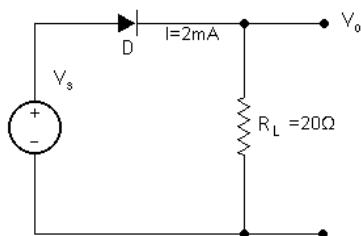
$$r_{ac} = \frac{25mV}{2mA} \approx 13 \Omega$$

Πρόβλημα 2α.5

Μία διόδος και μία αντίσταση R συνδέονται στη σειρά. Στα άκρα τους εφαρμόζεται τάση 0,2Volt. Εάν το ρεύμα κορεσμού αναστροφής πόλωσης είναι 3μΑ, υπολογίστε την τιμή της αντίστασης R έτσι ώστε να δημιουργείται μία πτώση τάσης 0,1Volt στα άκρα της.

$V_D = 0,1 \text{ Volt}$
 $V_{Th} = 0,025 \text{ Volt}$
 $I = I_S e^{V_D/V_{Th}} \left[\frac{T_0}{T} \approx 1 \right]$
 $I = 3 \times 10^{-6} \times e^{0,1/0,025}$
 $I = 3 \times 10^{-6} \times 53,6 = 160,8 \mu\text{A} = 0,16 \text{ mA}$
 $R = \frac{0,1 \text{ V}}{0,16 \text{ mA}} = 625 \Omega$

Πρόβλημα 2α.6



Στο διπλανό κύκλωμα προσδιορίστε την τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης εάν είναι γνωστό ότι το ρεύμα κορεσμού αναστροφής πόλωσης της διόδου είναι 2mA. Υπολογίστε την εφαρμοζόμενη τάση εάν το ρεύμα γίνει 4mA και συνδεθεί μία αντίσταση 300Ω σε σειρά. [213mVolt, 1,47Volt]

Η πτώση τάσης στην αντίσταση είναι
 $20 \times 2 = 40 \text{ mV} \approx 0,04 \text{ Volt}$
 Επομένως η τάση επάνω στη Δίοδο θα είναι $(V_s - 0,04) \text{ Volt}$
 $I = I_S e^{V_D/V_{Th}} - 1 = 0 \Rightarrow e^{V_D/V_{Th}} = \frac{I}{I_S} + 1$
 $V_D = V_{Th} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_S} + 1\right) \Rightarrow V_D = 0,025 \cdot \ln\left(\frac{2 \text{ mA}}{2 \mu\text{A}} + 1\right)$
 $V_D = 0,173 \text{ V}$
 αλλά $V_D = V_s - 0,04 \Rightarrow V_s = 0,173 + 0,040$
 $V_s = 0,213 \text{ Volt}$

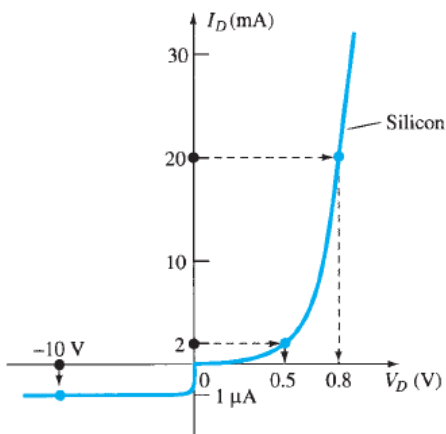
Πτώση τάσης στις αντιστάσεις
 $320 \times 4 \text{ mA} = 1,280 \text{ Volt}$
 οπότε $V_s = V_D + 1,28 \text{ Volt}$
 $I = I_S \cdot e^{V_D/V_{Th}} \Rightarrow$

$$\frac{V_D}{V_{TH}} = \mu \frac{I}{I_D} \rightarrow \frac{4\mu A}{2\mu A} = 2,0000 \rightarrow V_D = V_{TH} \cdot \mu \cdot 2000$$

$$V_D = 0,025 \times 7,6 = 0,19 \text{ Volt}$$

$$V_S = 0,19 + 1,28 = 1,47 \text{ Volt}$$

Πρόβλημα 2α.7



Από την χαρακτηριστική του διπλανού σχήματος, υπολογίστε την στατική (d.c) αντίσταση όταν:

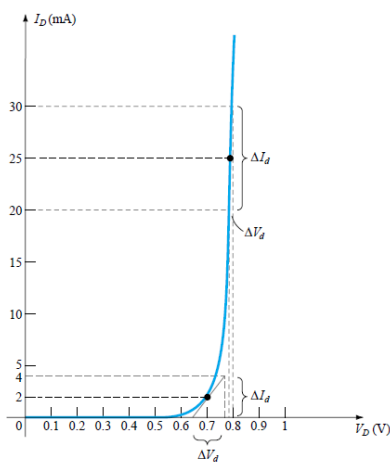
- α) $I_D = 2mA$, β) $I_D = 20mA$, γ) $V_D = -10Volt$

Λύση: $I_D = 2mA$, $V = 0,5Volt$, $R_{DC} = \frac{0,5}{0,002} = 250\Omega$

$I_D = 20mA$, $V = 0,8Volt$, $R_{DC} = \frac{0,8}{0,02} = 40\Omega$

$V = -10Volt$, $I_D = -1\mu A$, $R_{DC} = \frac{-10}{-1\mu A} = 10M\Omega$

Πρόβλημα 2α.8



Από την χαρακτηριστική του διπλανού σχήματος, υπολογίστε την δυναμική (a.c) αντίσταση όταν:

- α) $I_D = 2mA$, β) $I_D = 25mA$, γ) Συγκρίνετε τις τιμές των αντιστάσεων

α) $I_D = 2 \text{ mA}$

Φέρνουμε την εφαπτόμενη στην χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης στο σημείο $I_D = 2 \text{ mA}$. Από το τρίγωνο που σχηματίζεται είναι:

$$I_D = 4 \text{ mA} \rightarrow V_D = 0,76 \text{ V}$$

$$I_D = 0 \rightarrow V_D = 0,65 \text{ V}$$

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0,11 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 27,5 \Omega$$

β) $I_D = 25 \text{ mA}$. Από το τρίγωνο που σχηματίζεται:

$$I_D = 30 \text{ mA} \rightarrow V_D = 0,8 \text{ V}$$

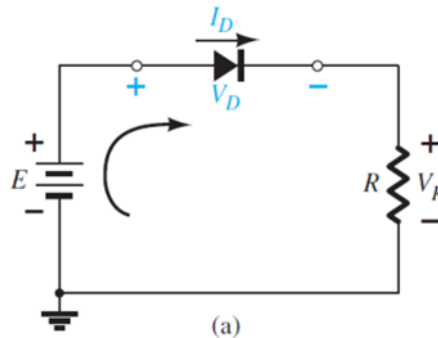
$$I_D = 20 \text{ mA} \rightarrow V_D = 0,78 \text{ V}$$

$$r_d = \frac{0,02 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 2 \Omega$$

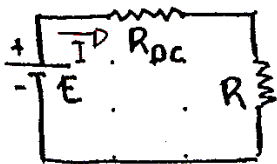
Καθώς το ρεύμα αυξάνεται η δυναμική αντίσταση μειώνεται.

Άσκηση 2α.9

Στο διπλανό κύκλωμα η στατική αντίσταση της διόδου είναι $R_{DC} = 60 \Omega$. Βρείτε την τάση στα άκρα της αντίστασης $R = 750 \Omega$, εάν $E = 9 \text{ V}$.



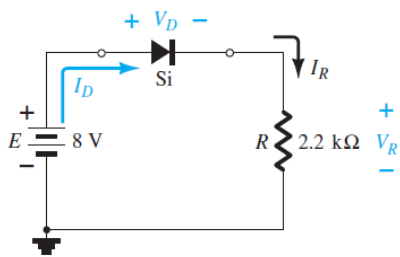
Η διόδος αντικαθίσταται από την στατική της αντίσταση.



$$I = \frac{E}{R + R_{DC}}$$

$$V_R = 9 \frac{750}{750 + 60} = 9 \frac{75}{81} = 8,33 \text{ V}$$

Πρόβλημα 2α.10



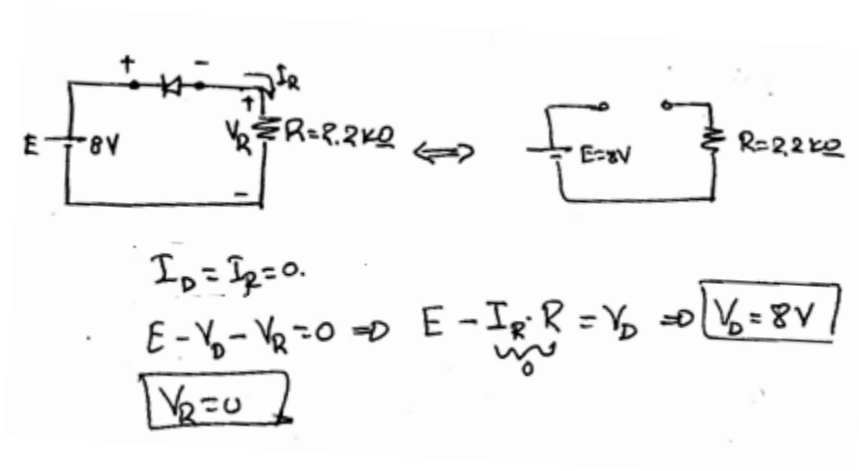
Στο διπλανό σχήμα το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο και την τάση στα άκρα της αντίστασης. Εάν η δίοδος πολωθεί ανάστροφα πόση θα γίνει η τάση στα άκρα της αντίστασης;

Solution: Diode is forward biased

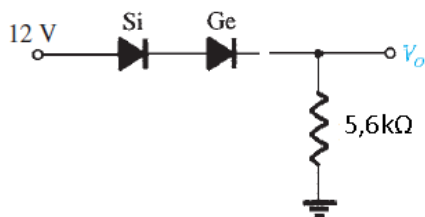
$$I = \frac{E - V_D}{R} = \frac{8 - 0.7 \text{ V}}{2.2 \text{ k}\Omega} = 3.32 \mu\text{A}$$

$$V_R = I_D \cdot R = 7.3 \text{ V}$$

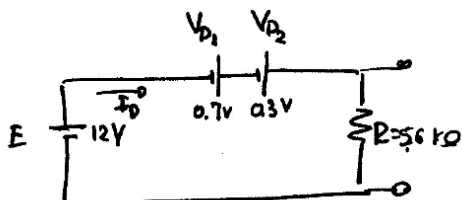
Ανάστροφη πόλωση



Πρόβλημα 2α.11



Υπολογίστε την τάση V_0 και το ρεύμα που διαρρέει τις διόδους

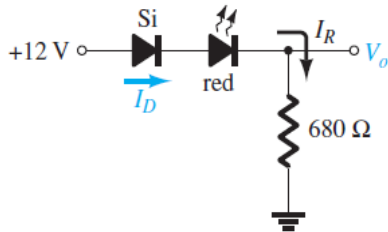


$$I_D = I_R = \frac{E - V_{D1} - V_{D2}}{R}$$

$$I_D = \frac{12 - 0.7 - 0.3 \text{ V}}{5.6 \text{ k}\Omega} = 1.96 \mu\text{A}$$

$$V_{out} = V_R = I_D \cdot R = 11 \text{ V.}$$

Πρόβλημα 2α.12



Εάν η τάση στα άκρα του κόκκινου LED είναι 1,8Volt, υπολογίστε την τάση στην έξοδο και το ρεύμα

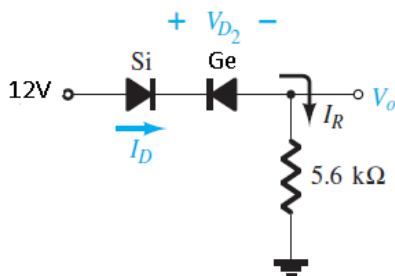
Οι δύο διόδους αγωγ, οπότε αντικαθίστανται με δύο πηγές τάσης

$$I = \frac{12 - 0,7 - 1,8}{680} = \frac{9,5}{680} = 13,97 \text{ mA}$$

$$V_o = 12 - 0,7 - 1,8 = 9,5 \text{ Volt}$$

$$V - V_D - V_{LED} = I_R \cdot R \Rightarrow I_R = \frac{12 - 0,7 - 1,8}{680} = 13,97 \text{ mA}$$

Πρόβλημα 2α.13



Υπολογίστε το ρεύμα I_D , τις τάσεις V_{D2} και V_o στο διπλανό κύκλωμα.

Si diode is ON
Ge diode is OFF

Αφού η διάδος Ge είναι ανάστροφα πολωμένη το ρεύμα είναι μηδέν. Το ερώτημα είναι: με τι θα αντικαταστήσουμε την διάοδο πυριτίου;

Από την χαρακτηριστική της διόδου βλέπουμε ότι: όταν $I=0$ τότε $V=0$. Κατά συνέπεια θα αντικαταστήσουμε την διάοδο πυριτίου με $V_{Si}=0$.

$$I_D = I_R = 0 \text{ A}$$

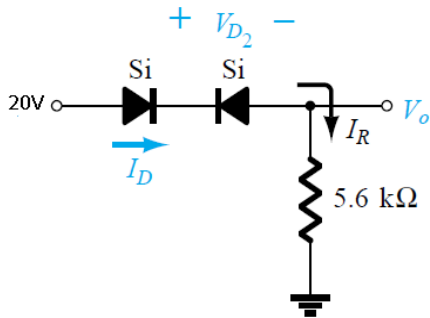
$$V_R = I \cdot R = 0 \text{ V}$$

$$E - V_{D1} - V_R - V_{D2} = 0 \Rightarrow 0$$

$$E - 0 - 0 - V_{D2} = 0$$

$V_{D2} = 12 \text{ V}$

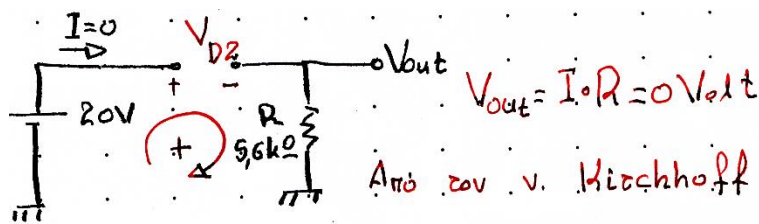
Πρόβλημα 2α.14



Υπολογίστε το ρεύμα I_D , τις τάσεις V_{D2} και V_o στο διπλανό κύκλωμα.

Η δεύτερη δίοδος πυριτίου είναι ανάστροφα πολωμένη οπότε θα αντικαταστασθεί με ανοιχτό-κύκλωμα. Το ρεύμα $I=0$. Για τον λόγο αυτό η τάση στα άκρα της πρώτης δίοδου, που είναι ορθά πολωμένη, θα είναι 0Volt. Αφού $I=0$.

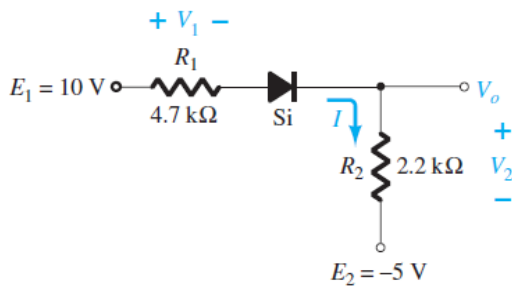
$I_D=0$, $V_{D2}=20\text{V}$ και $V_o=0\text{V}$



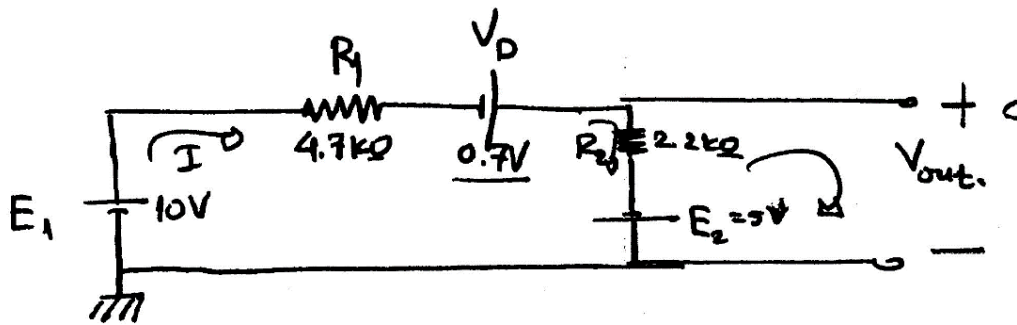
προκύπτει ότι: $20 - V_{D2} = 0 \Rightarrow V_{D2} = 20 \text{ V}$

Όλη η τάση της πηγής έχει πέσει στην ανάστροφα πολωμένη δίοδο.

Πρόβλημα 2α.15



Υπολογίστε το ρεύμα I , τις τάσεις V_1 , V_2 και V_o στο διπλανό κύκλωμα.



$$E_1 + E_2 - V_D = I \cdot R_1 + I R_2 \rightarrow$$

$$10 + 5 - 0.7V = I (6.9k\Omega) \Rightarrow I = \frac{14.3V}{6.9k\Omega}$$

$$I = 2.07mA$$

$$V_1 = I \cdot R_1 = 9.73V$$

$$V_2 = I R_2 = 4.55V$$

Από τον κανόνα του Kirchhoff στο δεύτερο βρόγχο είναι:

$$-E_2 - V_{out} = -I_2 R_2 \Rightarrow -E_2 + I_2 R_2 = V_{out} \rightarrow$$

$$V_{out} = -5 + 4.55 = -0.45V.$$

κατά συνέπεια η πολικότητα είναι αντίθετη από αυτή που υποθέσαμε αρχικά.

Πρόβλημα 2α.16

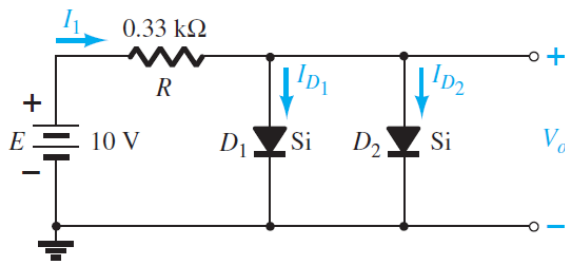
Μία αντίσταση Si συνδέεται σε σειρά με αντίσταση 480Ω. Στο δικτύωμα εφαρμόζεται τάση 5,5V. Υπολογίστε το ρεύμα I. Στη συνέχεια συνδέουμε μία όμοια δίοδο σε σειρά με την πρώτη. Υπολογίστε το ρεύμα I'.

$$\text{Μία δίοδος: } V - V_D = I \cdot R \Rightarrow I = \frac{5.5 - 0.7}{480} = 10mA$$

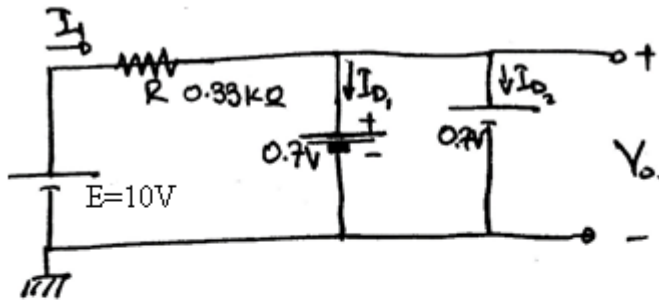
Δύο δίοδοι: Είναι όμοιες και πολωμένες ορθά.

$$V - V_D - V'_D = I' \cdot R \Rightarrow I' = \frac{5.5 - 0.7 - 0.7}{480} = 8.54mA$$

Πρόβλημα 2α.17



Υπολογίστε τα ρεύματα I_1 , I_{D1} και I_{D2} καθώς και την τάση V_0 στο διπλανό κύκλωμα.



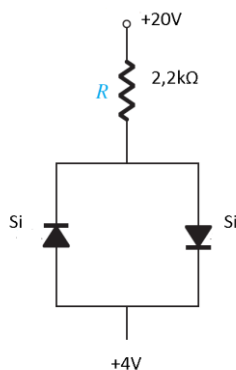
KVL for the left loop $\rightarrow E - V_{D1} = I_1 \cdot R \rightarrow$

$$I_1 = \frac{E - V_{D1}}{R} \Rightarrow I_1 = \frac{10 - 0.7 \text{ V}}{0.33 \text{ k}\Omega} = \underline{\underline{28.18 \mu\text{A}}}$$

Since the two diodes are identical

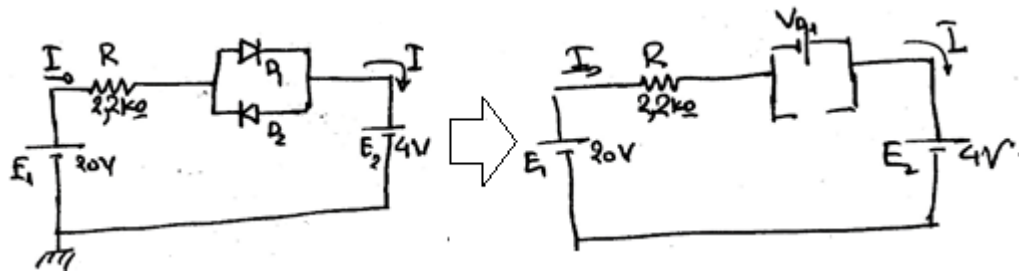
$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_1}{2} = 14.09 \mu\text{A}$$

Πρόβλημα 2α.18



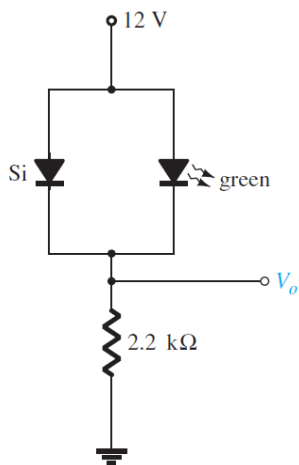
Υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση

Η δίοδος στα δεξιά είναι ON και στα αριστερά OFF



$$I = \frac{E_1 - E_2 - V_{D1}}{R} \Rightarrow I = \frac{20 - 4 - 0.7 \text{ V}}{2.2 \text{ k}\Omega} = 6.95 \mu\text{A}$$

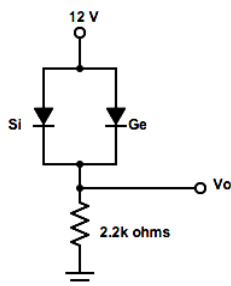
Πρόβλημα 2α.19



Υπολογίστε την τάση V_o . Η τάση ορθής πόλωσης του πράσινου LED είναι 2,2Volt.

Η τάση δεν γίνεται 12V ακαριαία. Για τάση ίση με μερικά δέκατα του Volt οι δύο δίοδοι είναι ορθά πολωμένες αλλά OFF. Μόλις η τάση στα άκρα των διόδων γίνει 0,7V η δίοδος πυριτίου θα πολωθεί ορθά. Η ορθά πολωμένη δίοδος πυριτίου θα διατηρήσει την τάση των 0,7V ανεξάρτητα από την τάση της πηγής. Το πράσινο LED δεν θα ανάψει και $V_o = 12 - 0,7 = 11,3\text{V}$.

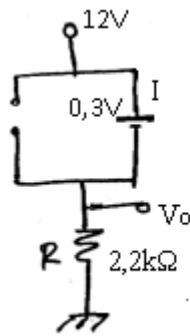
Πρόβλημα 2α.20



Υπολογίστε το ρεύμα μέσα από την αντίσταση.

Καθώς η τάση στα άκρα των διόδων αυξάνεται, σε χρόνο μερικών nsec, η δίοδος Ge έρχεται σε κατάσταση αγωγής πρώτη και συγκεκριμένα μόλις η τάση γίνει 0,3Volt. Η

τάση στα άκρα των διόδων κλειδώνει στα 0,3V. Η διάδος πυριτίου παραμένει σε τάση 0,3V οπότε αν και ορθά πολωμένη δεν φτάνει σε κατάσταση ON.



$$V_o = E - V_{D_{ae}} = 12 - 0,3 = 11,7V$$

$$I = \frac{E - V_{D_{ae}}}{R} = \frac{11,7V}{2,2k\Omega} = 5,6\mu A$$