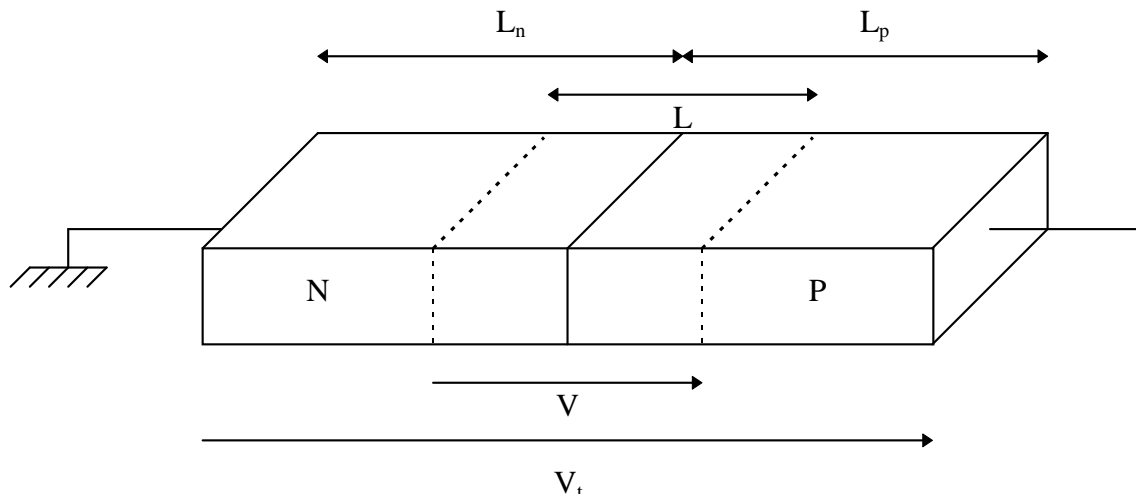


TD 5

La jonction polarisée. Les contacts ohmiques, barrières de potentiel. $V_j = V_d - V$. Les concentrations et les courants. La caractéristique de la jonction. Résistance statique et dynamique. Construction graphique de $i(t)$. La diode linéarisée par morceaux : schéma équivalent B.F. Les utilisations des diodes.

exercice 5.1

Dans le cours relatif à la jonction PN, on a supposé que les semi-conducteurs P et N étaient équipotentiels en dehors de la zone de charge d'espace (de largeur L sur la figure). Dans cette hypothèse, la d.d.p appliquée aux bornes de la diode se retrouve intégralement aux limites de la zone de charge d'espace. En réalité, l'expression que l'on a démontrée, $I = I_s.(e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$ est correcte lorsque V exprime la d.d.p aux limites de la zone de charge d'espace. Le but de ce problème est d'évaluer dans quelles conditions cette valeur V peut être confondue avec la d.d.p totale V_t appliquée aux bornes de la diode.



A la température de fonctionnement, on a :

$$N_d = 4.10^{22} \text{ m}^{-3}, N_a = 1,2.10^{23} \text{ m}^{-3}, L_n = L_p = 100 \text{ } \mu\text{m}, \text{ section } S = 1 \text{ mm}^2.$$

$$n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}, \mu_n = 0,12 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}, \mu_p = 0,05 \text{ m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}, k.T/q = 25 \text{ mV}, I_s = 1 \text{ pA}.$$

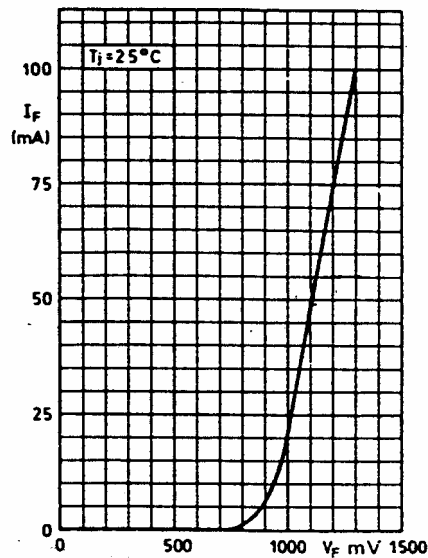
$$Q = 1,6.10^{-19} \text{ C}, \epsilon_r = 12, \epsilon_0 = \frac{1}{36.\pi.10^9} \text{ F.m}^{-1}.$$

On néglige l'épaisseur L de la zone de charge d'espace devant les longueurs L_n et L_p des zones N et P.

1. Déterminer les résistances R_n et R_p des zones N et P de la diode.
2. On fait passer un courant direct $I = 10 \mu\text{A}$ dans cette diode. Calculer la d.d.p V aux limites de la zone de charge d'espace ainsi que la chute de potentiel dans les résistances R_n et R_p .
3. Quelle erreur relative $(V_t - V/V_t)$ commet-on en confondant V_t avec V ?
4. Même questions pour $I = 10 \text{ mA}$, 100 mA et 1 A . Quels commentaires vous suggèrent ces résultats ?
5. Calculer le potentiel de diffusion de la jonction (on rappelle que $V_d = \frac{k.T}{q} \text{Log} \left(\frac{N_a.N_d}{n_i^2} \right)$).
6. Représenter l'allure du potentiel à l'intérieur de la jonction.
7. Même question lorsqu'un courant de 1 A circule dans la jonction.

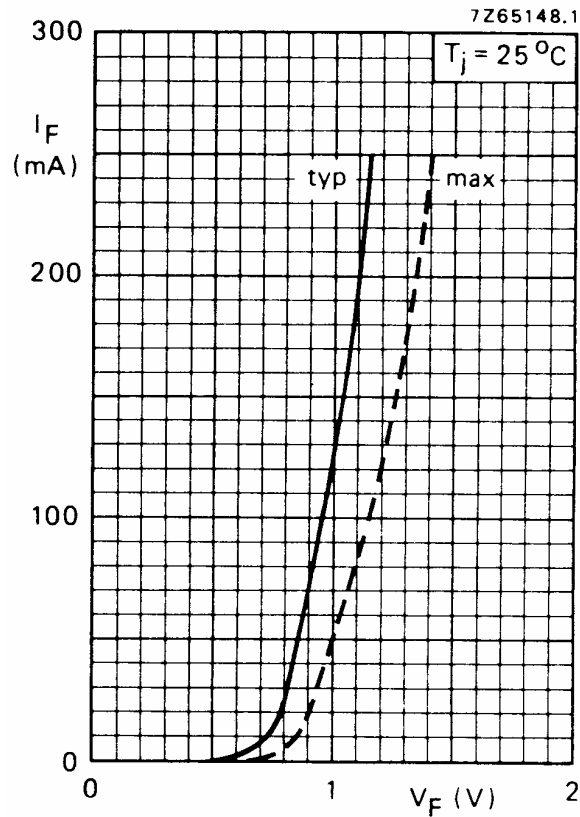
exercice 5.2

On désire linéariser une diode pour aboutir au schéma comportant un générateur de tension en série avec une résistance, le générateur représentant la tension de seuil de la diode. Donner les valeurs de la tension de seuil et de la résistance dans le cas de la diode suivante :



**exercice 5.3

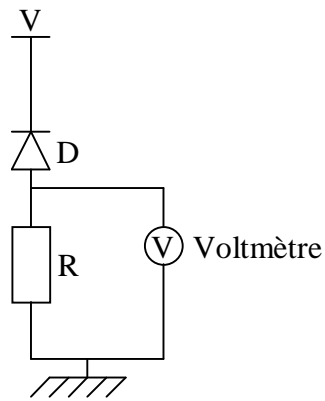
On considère la diode ayant la caractéristique suivante :



1. Donner pour $V = 0,9$ V en direct le courant traversant la diode.
2. Calculer sa résistance statique R_s .
3. Calculer sa résistance dynamique R_d . Comparer avec R_s .
4. Comparer cette valeur à la définition de la résistance dynamique en supposant que la diode vérifie $I = I_s \left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right)$ avec $\eta = 2$.
5. Donner le schéma équivalent de la diode linéarisée par morceaux.

exercice 5.4

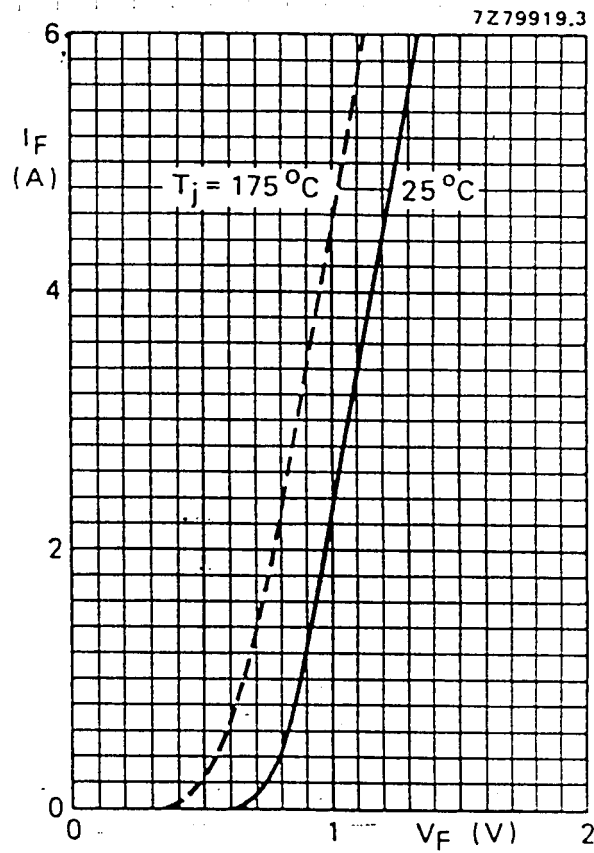
On se propose de réaliser un thermomètre dont le schéma de principe serait conforme à la figure ci-dessous, la diode D servant de capteur de température.



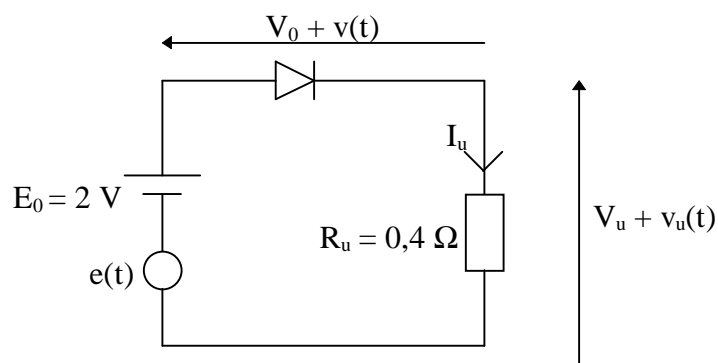
1. Expliquer brièvement le principe de la mesure.
2. Etablir l'expression de la loi de variation relative de I_s (courant de saturation) avec la température : $f(T) = \frac{(\Delta I_s / I_s)}{\Delta T}$.
3. Montrer que, dans le cas d'une diode polarisée en direct, si I_1 représente le courant dans la diode pour une tension V_0 à ses bornes et I_2 celui correspondant à une tension $2.V_0$, le courant de saturation I_s est donné par la relation : $I_s = \frac{I_1^2}{I_2}$.
4. Faire l'application numérique dans le cas de la diode Ge, $I_1 = 0,5 \text{ mA}$ et $I_2 = 25 \text{ mA}$, et de la diode Si, $I_1 = 0,2 \text{ mA}$ et $I_2 = 40 \text{ mA}$ (valeurs relevés à 300 K).
5. Pour chacune des diodes précédentes, calculer, à 300 K, la variation $\frac{\Delta I_s}{\Delta T}$. En déduire laquelle est la mieux adaptée à la réalisation d'un capteur de température.

**exercice 5.5

On considère la diode ayant la caractéristique suivante :



Cette diode est utilisée dans le montage suivant :

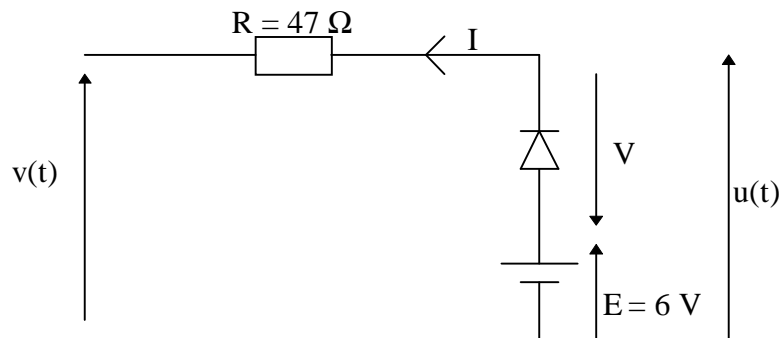


1. $e(t) = 0$. Donner l'expression de la droite de charge et la tracer sur le réseau $I = f(V)$. En déduire le point de fonctionnement.
2. Donner un schéma équivalent de la diode utilisant une linéarisation par morceaux. Reprendre le calcul du point de fonctionnement à partir du schéma équivalent.

3. $e(t) = 0,2.\sin(\omega t)$. Exprimer les variations de $v_u(t)$ aux bornes de R_u . Comment se déplace la droite de charge ?

**exercice 5.6

Soit le montage suivant :

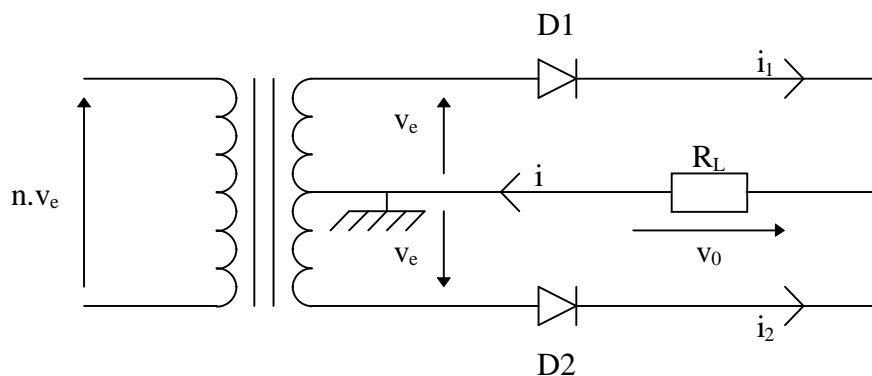


On prendra pour la diode le modèle le plus simple, c'est-à-dire $I = 0$ pour tout $V < 0$ et $V = 0$ pour tout $I > 0$, ainsi qu'un courant maximum de 1 A.

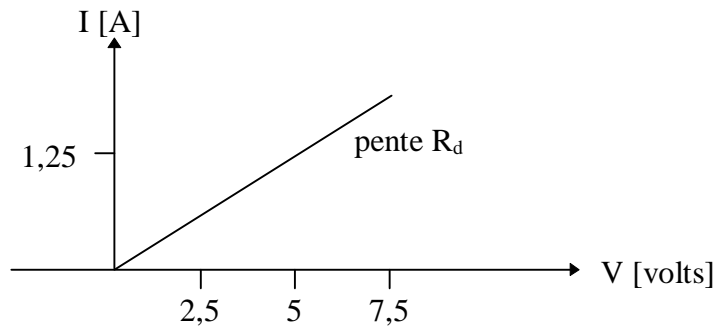
1. Définir les valeurs de v pour lesquelles la diode est bloquée ou passante.
2. Donner l'expression de la fonction de transfert $u = f(v)$ dans le cas où la diode est passante ou bloquée. Tracer le graphe $u = f(v)$.
3. La tension d'entrée est $v = 10.\sin(\omega t)$. Donner la forme de la tension de sortie u en fonction du temps en utilisant les résultats de la question précédente. En déduire la variation de la tension V .
4. Calculer la valeur du courant maximum dans la diode.
5. Si on fait varier la valeur et le signe de E , qu'observe-t-on pour le courant I dans la diode ? Existe-t-il une valeur limite pour E ?

exercice 5.7

Soit le montage redresseur double alternance suivant :



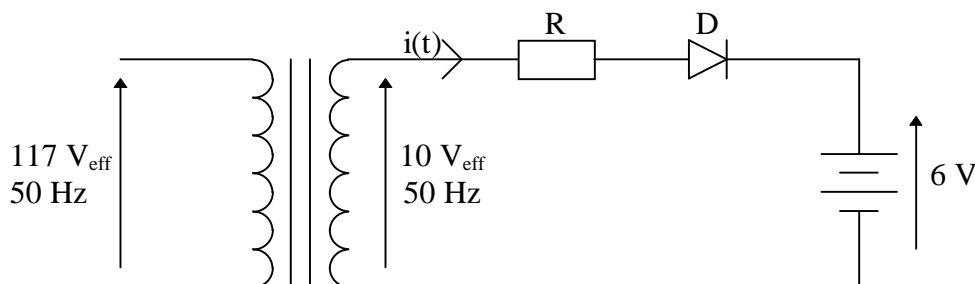
Les deux diodes sont identiques, leur caractéristique est la suivante :



1. Donner les schémas électriques équivalents des diodes.
2. L'entrée étant donnée par $n.v_e = n.V_M.\sin(\omega.t)$, donner les graphes de $i_1(t)$ et $i_2(t)$. En déduire le graphe de $i(t)$.
3. Calculer la valeur maximale I_M , La valeur moyenne \bar{I} et la valeur efficace I_{eff} du courant total $i(t)$. On rappelle que $\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t).dt$ et $I_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t).dt$.
4. Calculer la valeur moyenne de la tension en sortie en fonction de \bar{I} et de R_L . Exprimer cette valeur en fonction de V_M , \bar{I} et R_d .
5. Donner la valeur de la tension maximale inverse supportée par chaque diode.
6. Application numérique : $v_e = 30.\sin(100.\pi.t)$, $R_L = 20 \Omega$.

exercice 5.8

Un chargeur de batterie est représenté par le schéma suivant :



La diode est supposée idéale, la résistance interne de la batterie est supposée négligeable.

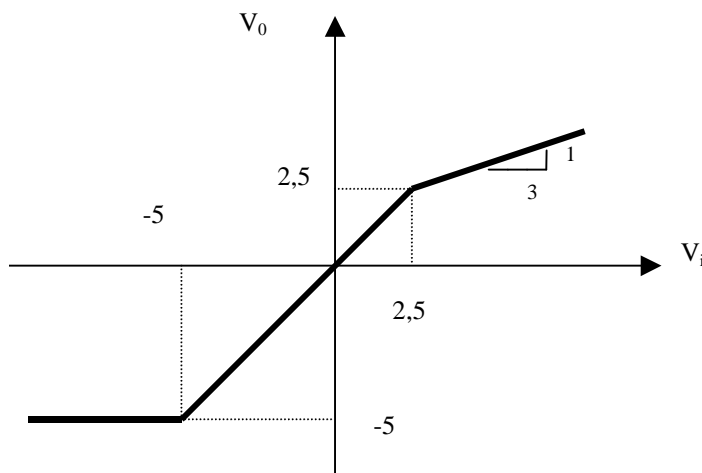
1. Tracer le graphe de $i(t)$. La valeur maximale admissible de courant est égale à 5 A. Calculer la valeur minimale de la résistance R à brancher. Pour la suite, on prendra $R = 2 \Omega$.
2. Calculer le courant moyen fourni à la batterie ainsi que θ_0 , le $\frac{1}{2}$ angle de conduction.
3. Déterminer la puissance fournie à la batterie (puissance redressée) puis calculer le rendement $\eta = (P_{\text{redressée}} / P_{\text{fournie par le transformateur}})$.
4. Quelle serait la valeur de la tension au secondaire qui donnerait $\theta_0 = 45^\circ$. Montrer qu'alors $\eta = 0,75$.

exercice 5.9: circuit écrêteur.

On désire réaliser un circuit dont on donne la caractéristique de transfert tension de sortie V_0 sur la tension d'entrée V_i au moyen de diodes, de résistances et de générateurs de tension continue (piles).

Dans ce problème les diodes seront supposées idéales (court-circuit à l'état passant et circuit ouvert à l'état bloqué).

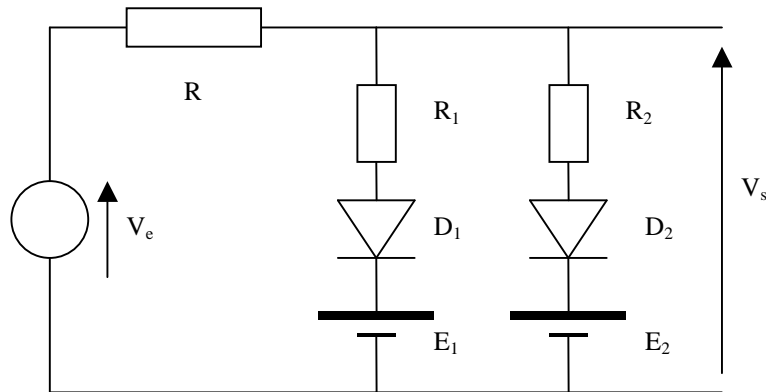
Dessiner le circuit électronique réalisant cette fonction de transfert :



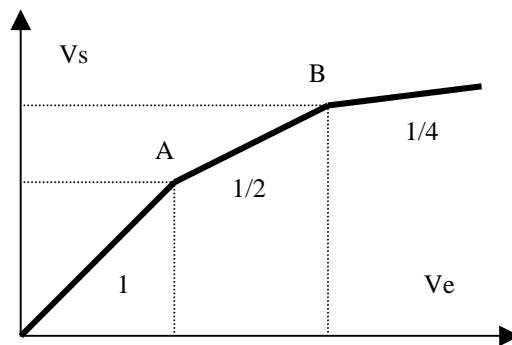
exercice 5.10:

On étudie le schéma de la figure suivante :

On supposera dans cet exercice que les diodes sont équivalentes à un circuit ouvert en polarisation inverse et assimilables à un court-circuit en polarisation directe. On néglige la tension de seuil de ces diodes.



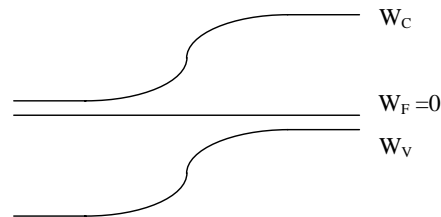
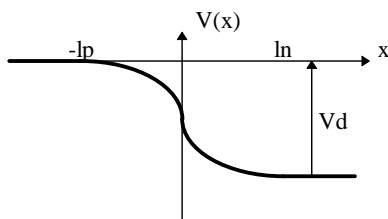
- 1) La tension d'entrée est positive et on supposera que la tension E_2 est supérieure à la tension E_1 . Faire l'analyse de ce schéma et en déduire la caractéristique de transfert sortie-entrée. On pourra distinguer trois régions et on établira dans chaque région l'expression littérale de la pente de la caractéristique tension de sortie en fonction de la tension d'entrée en fonction des résistances R , R_1 et R_2 . (Pour établir l'expression littérale on pourra utiliser le théorème de superposition).
- 2) En déduire les rapports des résistances R_1/R et R_2/R pour obtenir les pentes successives de 1, 1/2 et 1/4 pour cette caractéristique sortie-entrée.



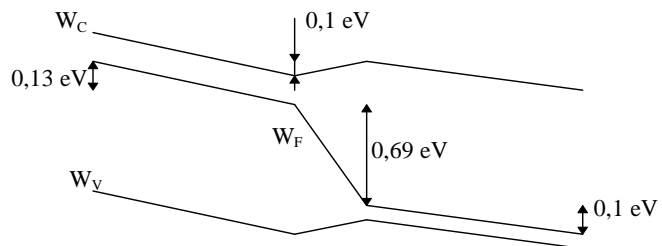
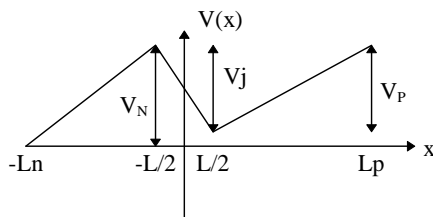
- 3) La tension d'entrée V_e est comprise entre 0 et 40V. $E_2 = 20V$ et $E_1 = 10V$. Tracer cette caractéristique sortie-entrée en précisant les valeurs numériques des points remarquables.
- 4) Quelle est la tension de sortie maximale ?
- 5) On prend $R = 1k\Omega$; quelle est l'intensité maximale traversant chaque diode ?
- 6) On travaille maintenant avec une tension d'entrée comprise entre - 40V et + 40V. On désire une caractéristique sortie-entrée symétrique par rapport au point 0. Donner le nouveau schéma électronique.

Réponses 5.1

1. $R_N = 0,13 \, \Omega$, $R_P = 0,104 \, \Omega$.
2. $V = 0,403 \, \text{V}$, $V_N = 1,3 \, \mu\text{V}$, $V_P = 1,04 \, \mu\text{V}$.
3. erreur = $5,75 \cdot 10^{-6}$.
4. $I = 10 \, \text{mA}$, $V = 0,576 \, \text{V}$, $V_N = 1,3 \, \text{mV}$, $V_P = 1,04 \, \text{mV}$. $I = 100 \, \text{mA}$, $V = 0,633 \, \text{V}$, $V_N = 13 \, \text{mV}$, $V_P = 10,4 \, \text{mV}$. $I = 1 \, \text{A}$, $V = 0,69 \, \text{V}$, $V_N = 130 \, \text{mV}$, $V_P = 104 \, \text{mV}$. On peut confondre V_t avec V pour $I < 100 \, \text{mA}$.
5. $V_d = 0,787 \, \text{V}$.
- 6.



7.

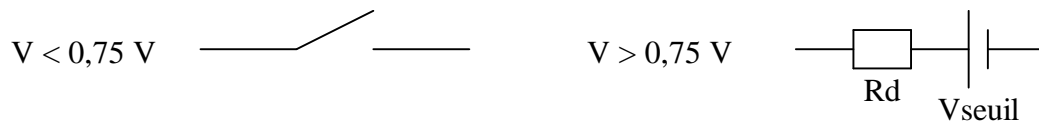


Réponses 5.2

$V_{\text{seuil}} = 0,9 \, \text{V}$, $r_d = 3,75 \, \Omega$.

Réponses 5.3

1. $I = 70 \, \text{mA}$.
2. $R_s = 12,8 \, \Omega$.
3. $r_d = 1,85 \, \Omega$.
4. $r_{d\text{théorique}} = 0,7 \, \Omega$.
- 5.

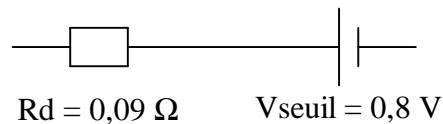


Réponses 5.4

1. Le courant inverse de la diode est une fonction croissante de T . Aux bornes de R , on a donc une tension qui est une fonction croissante de T . Autour de T_0 , on pourra linéariser l'évolution de V en fonction de T .
2.
$$\frac{\Delta I_s / I_s}{\Delta T} = \frac{I_s}{T} \cdot \left(3 + \frac{E_g}{k \cdot T} \right).$$
3. $I_1 = I_s \cdot e^{\frac{V_0}{\eta \cdot V_T}}, I_2 = I_s \cdot e^{\frac{2 \cdot V_0}{\eta \cdot V_T}} \Rightarrow I_s = \frac{I_1^2}{I_2}.$
4. Ge : $I_s = 10 \mu\text{A}$, Si : $I_s = 1 \mu\text{A}$.
5. Si : $\frac{\Delta I_s}{T} = 0,15 \mu\text{A} / \text{K}$, Ge : $\frac{\Delta I_s}{T} = 1 \mu\text{A} / \text{K}$. Matériau le plus adapté : Ge.

Réponses 5.5

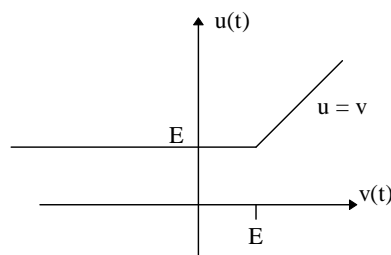
1. Droite de charge : $I_u = \frac{E_0 - V_0}{R_u}$. Point de fonctionnement = (2,4 A, 1 V).
2. Point de fonctionnement = (2,5 A, 1 V).



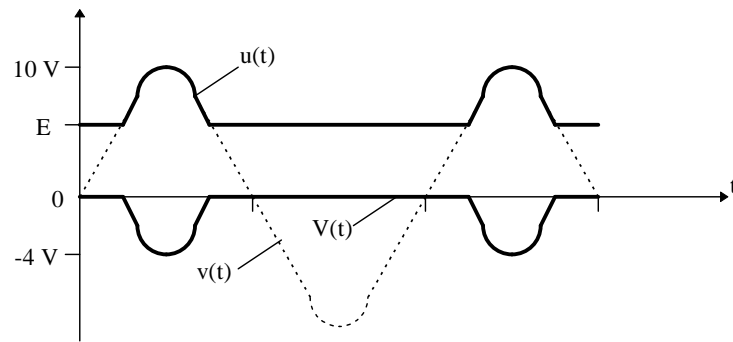
3. $V_u(t) = 0,163 \cdot \sin \omega t$. La droite de charge se déplace parallèlement à elle-même.

Réponses 5.6

1. Diode bloquée : $v < E$, diode passante : $v > E$.
2. Diode bloquée : $u = v$, diode passante : $u = E$.



3.



4. $I_{\max} = 0,34 \text{ A}$.

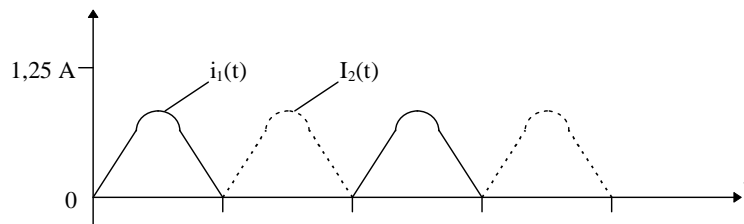
5. $E < -10 \text{ V}$, la diode est toujours bloquée. $E > 37 \text{ V}$, dépassement du courant maximum de la diode.

Réponses 5.7

1.



2. $i(t) = i_1(t) + i_2(t)$.



$$3. I_M = \frac{V_M}{R_D + R_L}, \bar{I} = \frac{2 \cdot I_M}{\pi}, I_{\text{eff}} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}.$$

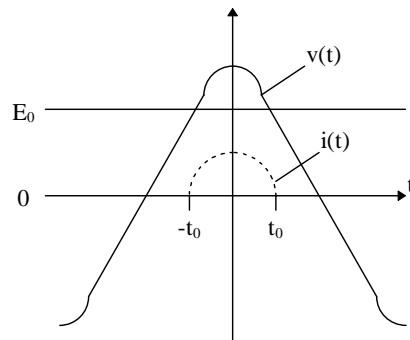
$$4. \bar{v}_0 = R_L \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_M}{R_D + R_L}.$$

$$5. V_{\text{inv}_{\max}} = V_M + V_M \frac{R_L}{R_D + R_L}.$$

$$6. I_M = 1,25 \text{ A}, \bar{I} = 0,8 \text{ A}, I_{\text{eff}} = 0,88 \text{ A}, \bar{v}_0 = 15,9 \text{ V}, V_{\text{inv}_{\max}} = 55 \text{ V}.$$

Réponses 5.8

1. $R > 1,63 \Omega$

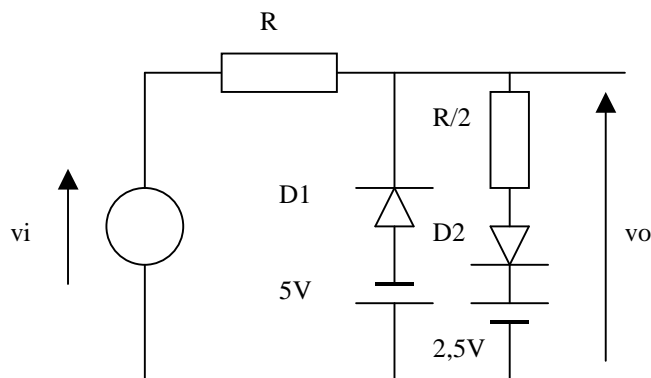


2. $\theta_0 = 64,9^\circ$, courant moyen = 0,96 A.

3. P fournie = 5,8 W, $\eta = 49\%$.

4. $V_{sec} = 6 V_{eff}$.

Réponse 5.9



Réponses 5.10

1) a) si $V_e < E_1$ D1 et D2 bloquées et $V_s = V_e$.

b) si $2 E_2 - E_1 > V_e > E_1$ D1 conduit et D2 bloquée

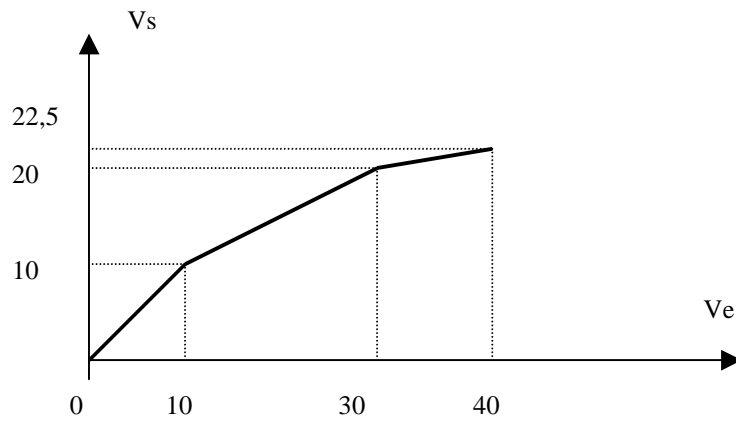
la pente est $R_1/(R+R_1)$ on obtient une pente de 1/2 pour $R = R_1$.

c) si $V_e > 2 E_2 - E_1$ D1 et D2 sont conductrices. On trouve

$$V_s = V_e \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R} + E_1 \frac{R_2 // R}{R_2 // R + R_1} + E_2 \frac{R_1 // R}{R_1 // R + R_2}$$

2) pour une pente de 1/4 il faut prendre $R_2 = R/2$.

3) La caractéristique à l'allure suivante:



les pentes sont successivement de 1, 05 et 0,25.

4) $V_s \text{ max} = 22,5\text{V}$

5) $I_l \text{ max} = 12,5 \text{ mA}$ avec $R = 1\text{k}\Omega$.

6) il faut construire un circuit utilisant 4 diodes en parallèles de manière symétrique .