



## TD N°3 : Les Diodes à semi-conducteur

Eléments Électronique-AP2

2019-2020

### Exercice 1:

On considère un barreau de silicium intrinsèque. On donne: la charge d'électron  $e=1,6.10^{-19}$  C, la constante de Boltzmann  $k=1,38.10^{-23}$  J/K, le nombre d'Avogadro  $N_A = 6,0210^{23}$  mol<sup>-1</sup>, la constante de Planck  $h=6,6.10^{-34}$  J.s, la masse atomique  $=28.08$  g. Masse volumique  $= 2,33.10^3$  kg.m<sup>-3</sup>. La largeur de la bande interdite  $E_g = 1,1$  eV (supposée indépendante de la température). Les concentrations effectives des porteurs dans la bande de conduction et la bande de valence est:

$$N_C = 3.10^{19} \left( \frac{T}{300} \right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3} \quad N_V = 10^{19} \left( \frac{T}{300} \right)^{\frac{3}{2}} \text{ atomes/cm}^{-3}$$

1. Calculer la concentration  $n_i$  des des porteurs à 300 K.
2. Le barreau est maintenant dopé à raison d'un atome d'antimoine (Sb) pour  $5.10^{12}$  atomes . Déterminer la concentration des impureté introduites. Quel type de semi-conducteur obtient-on ? (dans quelle colonne de la classification périodique se situe cet atome?).
3. Après avoir rappelé comment on établit les expressions générales donnant les concentrations des porteurs  $n$  et  $p$  en fonction de  $n_i$  et des concentrations des impuretés acceptrices et donatrices, déterminer ces concentrations à 300 K.
4. On admet que le barreau de silicium redevient pratiquement intrinsèque lorsque  $n_i$  dépasse de 10 fois la valeur de la concentration des impuretés introduites. A quelle température minimum doit-on chauffer le barreau pour se trouver dans un tel cas ?

### Exercice 2:

Le Germanium (Masse volumique( $\rho$ )  $=5,323$  g.cm<sup>-3</sup>,  $n_i = 2,5 10^{13}$  cm<sup>-3</sup>) est dopé à raison d'un atome d'Arsenic (V colonne) pour  $10^6$  atomes de Germanium.

1. Quel semi-conducteur obtient-on ? Calculer  $n_0$  et  $p_0$ .
2. Sachant que  $\mu_n = 3500$  cm<sup>2</sup>V.s et  $\mu_p = 1500$  cm<sup>2</sup>V.s, calculer la conductivité du cristal dopé ainsi que sa résistivité. Comparer cette valeur du matériau intrinsèque ( $\mu_n = 3900$  cm<sup>2</sup>V.s et  $\mu_p = 1900$  cm<sup>2</sup>V.s)
3. On considère un barreau de Germanium dopé comme précédemment de section  $1.2$  mm<sup>2</sup> et de longueur  $1.3$  cm soumis à une d.d.p de  $0,5$  V. Calculer la densité du courant,  $J$ , et le courant  $I$ .

### Exercice 3:

Soit le circuit de la figure 1; la tension d'entrée est supposé sinusoïdale :

$$V_e = E_M \sin(\omega t)$$

On suppose au départ que la diode est idéale (1<sup>ère</sup> approximation):

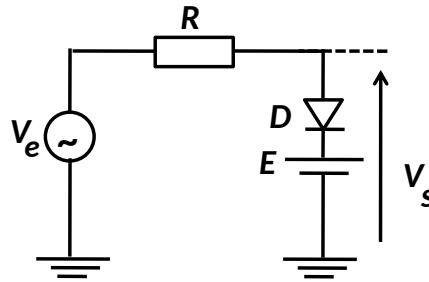


Figure 1: Écrêteur unilatéral

1. Déterminer la tension de sortie,  $V_s$ , et tracer la caractéristique de transfert  $V_s = f(V_e)$
2. Refaire la même question on tenant compte de la tension seuil de la diode  $V_{\text{seuil}}$  (2<sup>ème</sup> approximation).
3. Refaire la même question on tenant compte de la tension seuil et la résistance dynamique de la diode ( $V_{\text{seuil}}, R_d$ ) (3<sup>ème</sup> approximation).

#### Exercice 4:

Soit D une diode à jonction PN au Silicium. Sa caractéristique peut être approchée par la courbe de la figure 2 a).

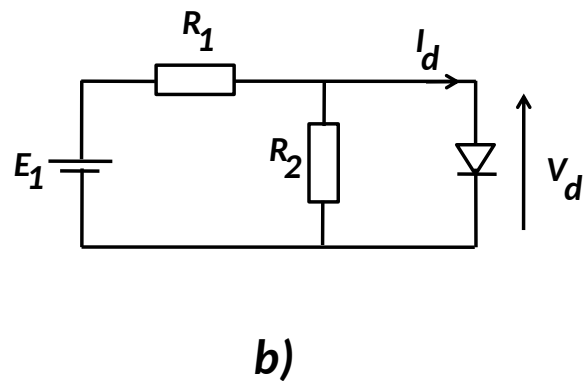
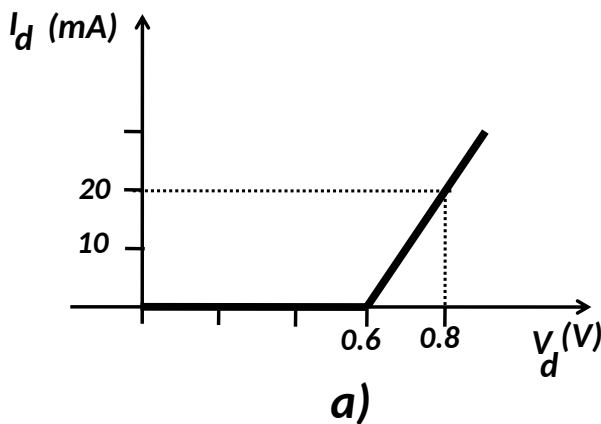


Figure 2: caractéristique a) et montage de polarisation de la diode b)

1. La diode D est insérée dans le circuit de figure 2 b).
  - (a) Écrire l'équation de la droite de charge la diode. Tracer cette droite dans le plan ( $V_d, I_d$ ). Déterminer graphiquement et avec calcul les coordonnées du point de fonctionnement  $P(V_{d0}, I_{d0})$  de la diode.  
On donne  $E_1 = 12 \text{ V}$ ,  $R_1 = 400 \Omega$  et  $R_2 = 100 \Omega$ .  
On suppose que  $E_1$  n'a plus une valeur fixe, régime dynamique, mais évolue selon la loi :

$$e_1 = E_1 + E_{1m} \sin(2\pi f t)$$

Avec  $f=50 \text{ Hz}$ ,  $E_1 = 12 \text{ V}$  et  $E_{1m} = 2 \text{ V}$

- (b) Donner l'équation de variation de la droite de charge.

- (c) Comment se déplace la droite de charge au cours du temps ?
  - (d) Donner les deux positions extrême de la droite de charge.
  - (e) Tracer les variations de la droite de charge, celle du courant  $i_d$  et de la tension  $v_d$
2. La diode D est insérée dans le circuit de la figure 3 a).  
On donne  $E=8V$ ,  $R_3 = 820\Omega$ ,  $R_4 = 82\Omega$ ,  $R_5 = 25,45\Omega$  et  $R_u = 100\Omega$ .

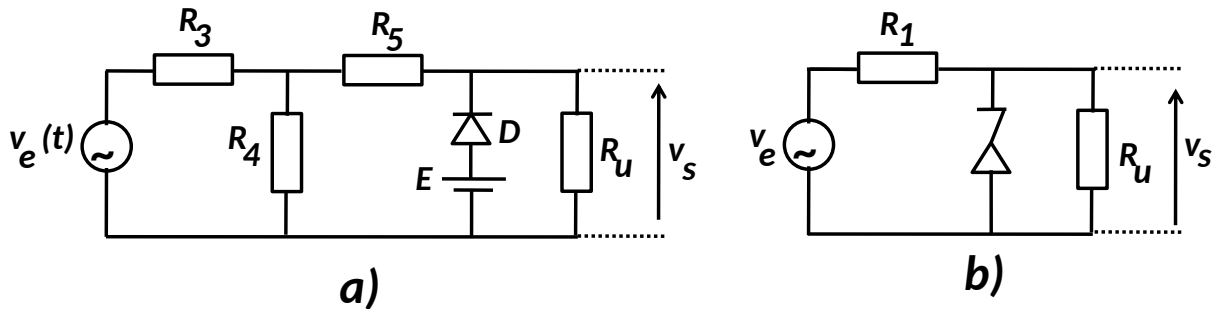


Figure 3: montage de polarisation d'une diode du signal a) et celui d'une diode Zener b)

- (a) Donner le schéma équivalent de la diode.
- (b) Calculer  $e_{th}$  et  $R_{th}$  du générateur de Thévenin alimentant la diode et la résistance d'utilisation  $R_u$ . On donne:

$$v_e = 150 \sin(\omega t)$$

- (c) Lorsque la diode est passante, représenter le schéma équivalent du circuit.
- (d) Exprimer  $i_d$  et  $v_d$  en fonction  $v_e$ .
- (e) A quelle condition  $i_d$  s'annule-t-il? donner la nouvelle expression de  $v_s$  en fonction de  $v_e$

#### Exercice 5:

Une diode Zener de tension  $V_z = 45V$  est utilisée pour réguler une tension sinusoïdale redressée et filtrée, susceptible de varier entre  $40V \leq V_e \leq 60V$  -voir figure 3 b).

On considère que la résistance dynamique de la diode  $R_z$  est nulle. On donne  $R_u = 1.8k\Omega$

1. Lorsque  $V_e = 40V$ , on mesure  $i_l = 20mA$ , déduire  $R_1$ .
2. A partir de quelle valeur de  $V_e$ , la tension de sortie est-elle régulée?
3. Donner  $V_s$  en fonction de  $V_e$ .
4. Calculer l'intensité du courant dans la diode quand  $V_e = 60V$