Corrigé-type

Université ZIANE Achour - Djelfa
Faculté des Sciences Exactes et Informatique
Département de Physique
Niveau : 3emeannée L-Physique des Matériaux **Matière : Electronique des composants**

EMD – Date : 26/01/2019, Durée 1H30

Exercice 1 (08 points) – Questions de cours:

On appelle n_i et p_i les densités d'électrons et de trous libres dans un semi-conducteur intrinsèque.

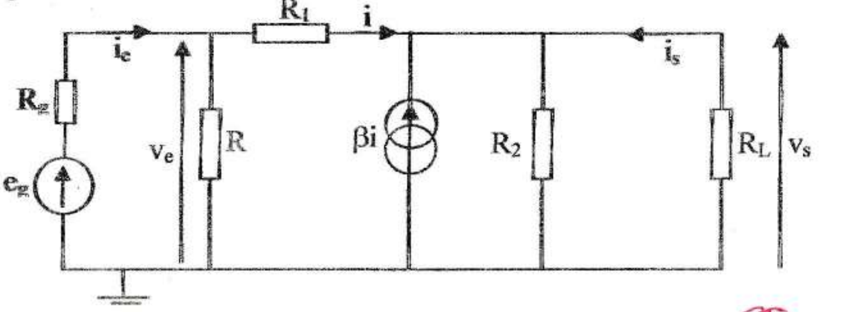
1) Classer les matériaux suivant leurs conductivités électriques. (1)
2) Citer des exemples des composants de type actif et de type passif. (1)
3) Tracer le diagramme d'énergie d'un semi-conducteur intrinsèque.
4) Expliquer pourquoi $n_i = p_i$. (1)
5) Donner les relations des concentrations : n_i, p_i. (1)
6) Montrer que la concentration n_i s'écrit : (1)

$$n_i = A \exp\left(\frac{-E_g}{2KT}\right)$$

7) Calculer les concentrations n_N et p_N pour le cas d'un semi-conducteur de **type N (non dégénéré)** à la **température ambiante.** (1)
8) Tracer qualitativement les diagrammes **I-V** des composants suivants : **Résistance, Self inductance, Condensateur, diode (sens direct), diode Zener (sens inverse).** (1)

Exercice 2 (12 points):

Soit le schéma électrique suivant :



1) Indiquer sur ce schéma les composants passifs et les composants actifs. (1)
2) Indiquer par un dessin les trois différentes parties de circuit. (2)
3) Calculer la résistance d'entrée : $R_e = V_e / i_e$. (1)
4) Calculer la résistance de sortie R_s. (2)
5) Calculer le gain à vide : $A_{v0} = V_{s0}/V_e$. (1)
6) Dessiner le schéma équivalent. (1)
7) Déduire le **générateur Thevenin** (e_{th}, R_{th}) en sortie. (1)
8) On suppose maintenant que la charge R_L est une résistance variable. (3 pts)
   - *a)* Calculer la puissance moyenne P_{moy} dissipée dans R_L. (0,5)
   - *b)* Montrer que la fonction $P_{moy} = f(R_L)$ admet un maximum. (0,5)
   - *c)* Quelle est la condition sur R_L pour que puissance P_{moy} soit maximale. (0,5)
   - d) Dans ce cas calculer cette puissance maximale ($P_{moy} = P_{max}$). (0,5)
   - e) Quelle est la condition d'adaptation en puissance de ce circuit. (0,5)
   - f) Conclure. (0,5)

Données : $R = R_g = 2K\Omega$, $R_L = 0.2K\Omega$, $R_1 = 1K\Omega$, $R_2 = 4\ K\Omega$, $\beta = 25$, $e_g = E_0 \cos(\omega t)$.

Bon courage

Corrigé type - Electronique des composants

L3 - physique des matériaux 2018/2019

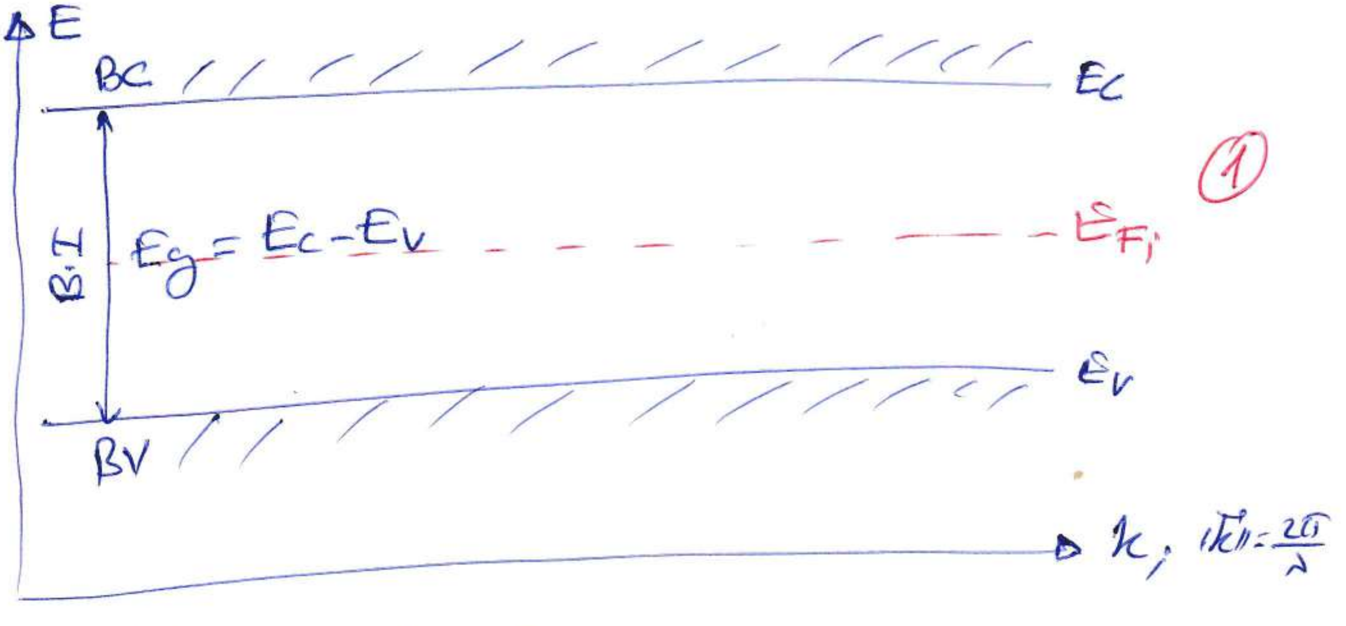
Exo N°1 (08 points) :

① classement des matériaux suivant leurs conductivités

G1 : ⓐ diélectriques (isolants) (0,25), ⓑ semi-conducteurs (0,25), ⓒ conducteurs (0,25) ;
ⓓ conducteurs (type supra-conducteurs). (0,25)

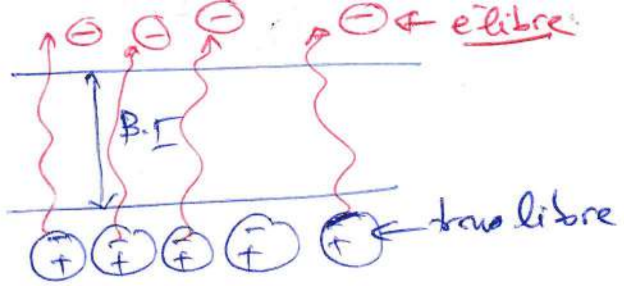
② Exemple des composants ⓐ actifs : diode, diode Zener, transistor PNP, transistor JFET, MOSFET, ... (0,5)
ⓑ passifs : Resistance R, Condensateur C, bobine (L, r) ; .. (0,5)

③ diagramme d'energie d'un semi-conducteur intrinsèque :



④ Explication pourquoi $n_i = p_i$:

à $T = 0K$ tous les electrons sont dans la bande de valence, lorsqu'on chauffe ($T \neq 0K$) certains électrons qui ont une energie (thermique-cinétique) supérieure à B.I passent de la B.V à la B.C, ces electrons dans B.C sont appelés electrons libre et trous laissé dans B.V sont appelés trous libres ceci implique que $n_i = p_i$ (Voir Schéma). 1



5) Les expressions des concentrations de n_i et p_i :

$$\boxed{n_i = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{Fi}}{k_B T}\right)} \; 0{,}5 \quad ; \quad \boxed{p_i = N_v \exp\left(-\frac{E_{Fi} - E_v}{k_B T}\right)} \; 0{,}5$$

6) Montrons que $n_i = A \exp\left(\frac{-E_g}{2KT}\right)$:

calculons $n_i \cdot p_i = N_c \cdot N_v \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_c + E_v - E_{Fi}}{k_B T}\right)$.

$$n_i \cdot p_i = N_c \cdot N_v \exp\left(-\frac{E_c - E_v}{k_B T}\right) \; 0{,}25 \; ; \quad E_g = E_c - E_v \; 0{,}25$$

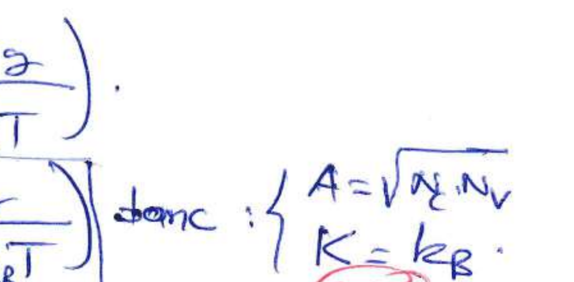
on sait que $n_i = p_i$ donc :

$$n_i^2 = N_c \cdot N_v \exp\left(-\frac{E_g}{k_B T}\right).$$

$$\boxed{n_i = \sqrt{N_c \cdot N_v} \exp\left(-\frac{E_g}{2 k_B T}\right)} \; 0{,}25 \quad \text{donc : } \begin{cases} A = \sqrt{N_c \cdot N_v} \\ K = k_B \; 0{,}25 \end{cases}$$

7) n_N, p_N pour un semi-conducteur de type N (non dégénéré) :

on sait que pour le cas d'un S.C (non dégénéré) que :



1) $E_{F_N} \in [E_v, E_c] \Rightarrow E_v \leq E_{F_N} \leq E_c$

2) $N_d \simeq N_d^+$ à $T = T_{amb}$

(N_d : concentration des atomes donneur)

(N_d^+ : concentration des atomes donneurs ionisés : $A_d \rightarrow A_d^+ + e^-$)

3) $n_N = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{FN}}{k_B T}\right)$ et $p_N = N_v \exp\left(-\frac{E_{FN} - E_{vN}}{k_B T}\right)$

4) Loi d'action de masse (à l'équilibre thermodynamique):

$$\boxed{n_N \cdot P_N = n_i^2}$$

5) Loi de neutralité (à l'équilibre thermodynamique); à Tamb.

0,25

$$N_d^+ + P_N = n_N \Rightarrow \boxed{N_d + P_N = n_N}.$$

donc on a un système d'équation à résoudre :

0,25

$$\begin{cases} n_N \cdot P_N = n_i^2 \quad \cdots ① & P_N = \dfrac{n_i^2}{n_N} \\ N_d + P_N = n_N \quad \cdots ② & \Rightarrow P_N = \dfrac{n_i^2}{n_N} = n_N - N_d \end{cases}$$

$$N_d + \frac{n_i^2}{n_N} = n_N \Rightarrow N_d \cdot n_N + n_i^2 = n_N^2 \Rightarrow$$

$$\boxed{n_N^2 - N_d \cdot n_N - n_i^2 = 0} \quad ; \Delta = N_d^2 + 4n_i^2$$

0,25

$$n_N = \begin{cases} \dfrac{N_d + \sqrt{N_d^2 + 4n_i^2}}{2} = \dfrac{N_d}{2} + \sqrt{\left(\dfrac{N_d}{2}\right)^2 + n_i^2} \\ \text{ou} \\ \dfrac{N_d - \sqrt{N_d^2 + 4n_i^2}}{2} = \dfrac{N_d}{2} - \sqrt{\left(\dfrac{N_d}{2}\right)^2 + n_i^2} \leq 0 \end{cases}$$

(solution rejetée).

donc : 0,25

$$\boxed{n_N = \frac{N_d}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_d}{2}\right)^2 + n_i^2}}$$

En pratique en général on choisi que $N_d \gg n_i$

$$n_N = \frac{N_d}{2} + \sqrt{N_d^2\left(\frac{1}{4} + \left(\frac{n_i}{N_d}\right)^2\right)}, \quad \frac{n_i}{N_d} \to 0$$

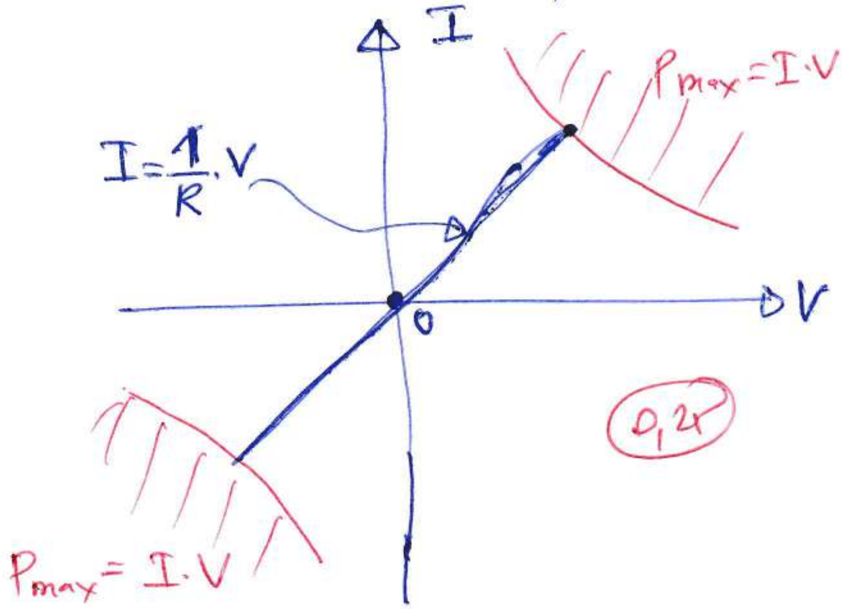
$$n_N \simeq \frac{N_d}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_d}{2}\right)^2 + 0} = \frac{N_d}{2} + \frac{N_d}{2} = N_d$$

$$\boxed{n_N = N_d}$$

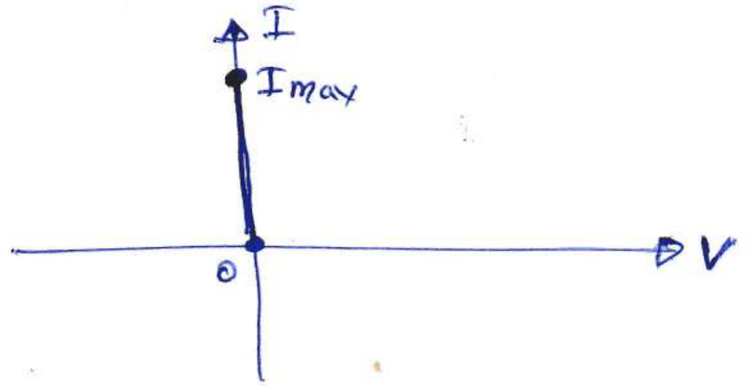
ou

8) Caracteristique I-V de Composants (I-V sont continus)

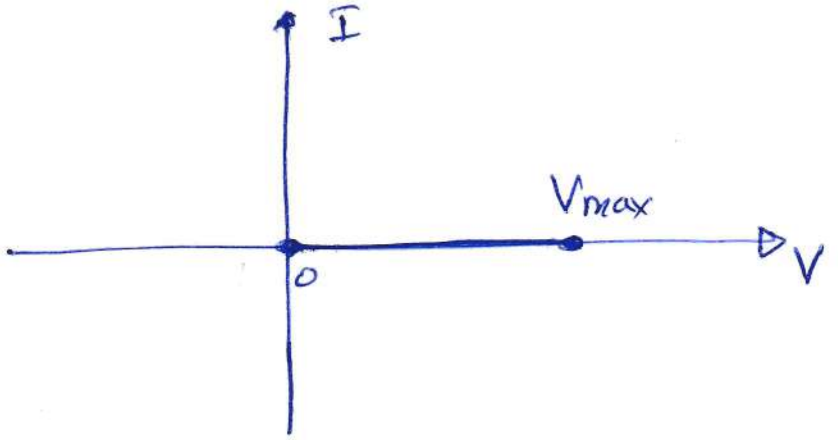
ⓐ Resistance (passif)



ⓑ Self inductance (Ideal) L, r≈0.

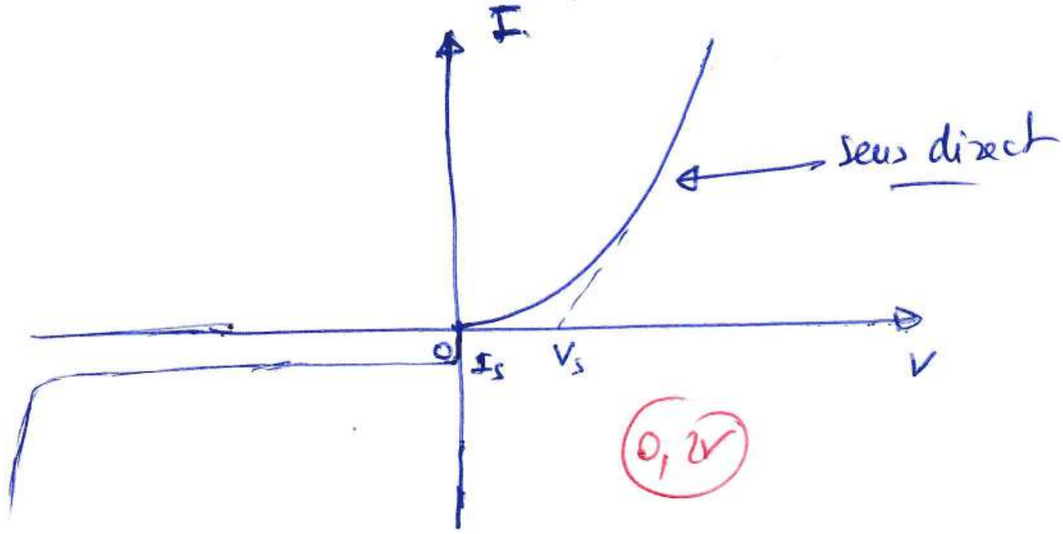


ⓒ Condensateur C :

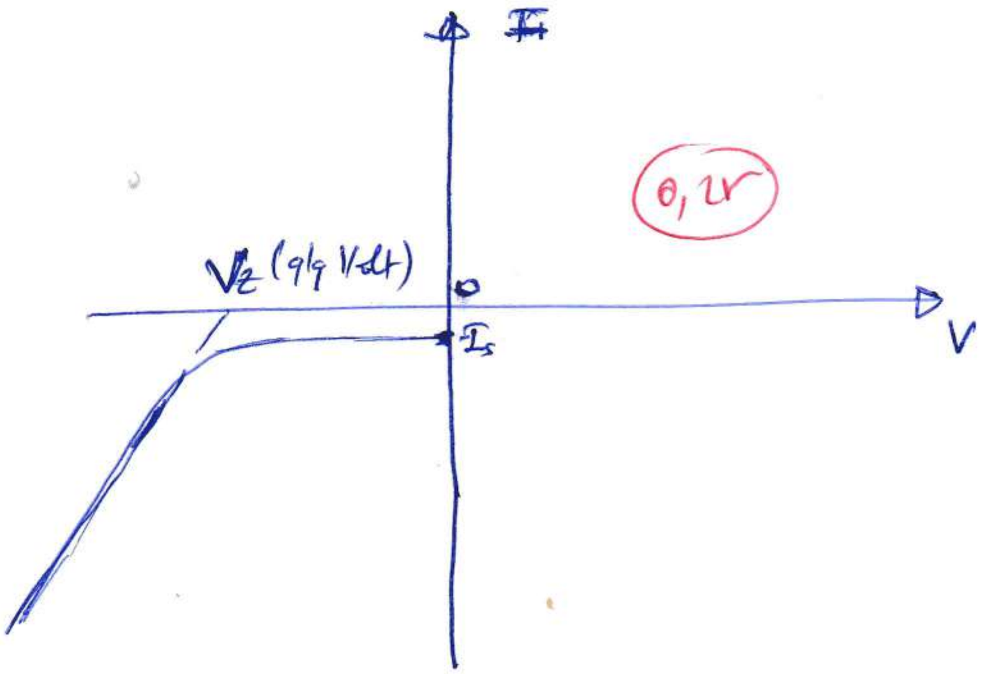


0,25

① Diode (sens direct)



② Diode Zener (sens inverse)

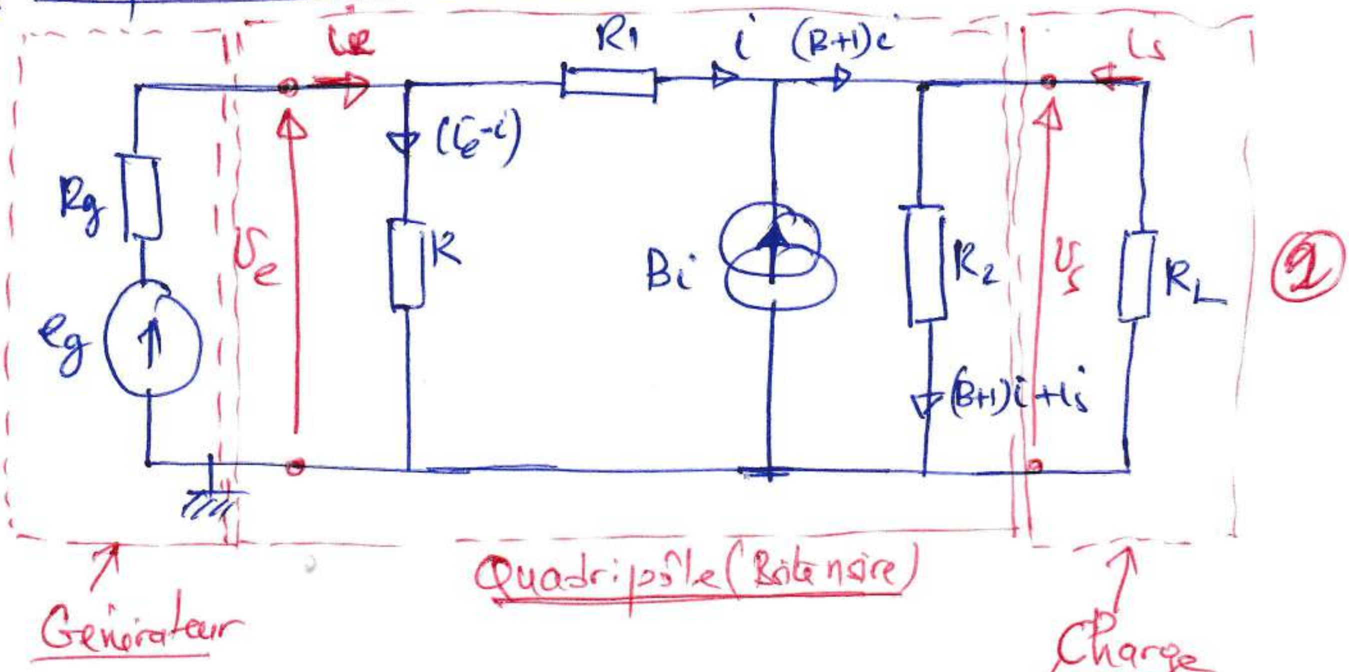


EXO N° 2 (12 points) :

1) a) Composants actifs sur le schéma : générateur e_g, générateur contrôlé (Bi). 0,5

b) Composant passifs sur le schéma : Resistances : R_g, R_1, R, R_2, R_L. 0,5

2) Les parties du circuit :



3) Resistance d'entrée $R_e = \frac{v_e}{i_e}$.

$$\begin{cases} -v_e + R(i_e - i) = 0 & \cdots (1) \\ -R(i_e - i) + R_1 i + (R_2 // R_L)(B+1)i = 0 & \cdots (2) \end{cases}$$

de (1) $v_e = R(i_e - i)$

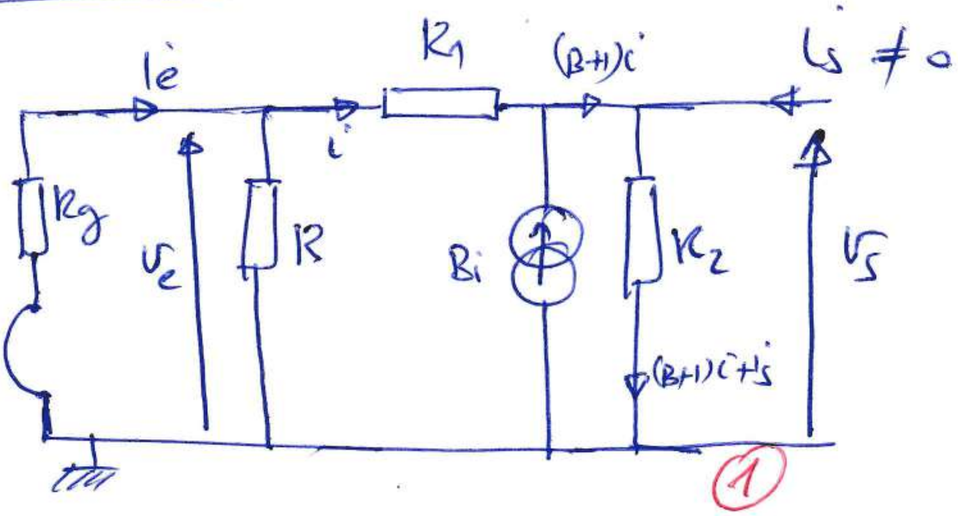
de (2) $i = \dfrac{R}{R_1 + R + (R_2 // R_L)(B+1)}\, i_e$

donc $v_e = R\left[1 - \dfrac{R}{R_1 + R + (R_2//R_L)(B+1)}\right] i_e$

$$\Rightarrow \boxed{R_e = \frac{v_e}{i_e} = R\left[1 - \underbrace{\frac{R}{R_1 + R + (R_2//R_L)(B+1)}}_{>0}\right]} \quad ; \quad AN : \boxed{R_e = 1{,}5\,K\Omega}$$

0,5 0,5

④ Resistance de sortie :



(1)

$$R_s = \left.\frac{v_s}{i_s}\right)_{i_s \neq 0 \text{ et } e_g = 0 \text{ (neutralisé)}}$$

$$\begin{cases} -v_s - R_1 i - (R_g // R) i = 0 & \cdots ① \\ (R_g // R) i + R_1 i + R_2[(\beta+1)i + i_s] = 0 & \cdots ② \end{cases}$$

de ① : $v_s = -[R_1 + (R_g // R)]\, i$

de ② : $i = \dfrac{-R_2}{(R_g // R) + R_1 + R_2(\beta+1)}\, i_s$

donc $v_s = -[R_1 + (R_g // R)] \times \dfrac{-R_2}{(R_g // R) + R_1 + R_2(\beta+1)}$

$$\boxed{R_s = \frac{R_2 [R_1 + (R_g // R)]}{(R_g // R) + R_1 + R_2(\beta+1)}}, \quad \text{A.N : } \boxed{R_s = 75\,\Omega}$$

(0,5) (0,5)

⑤ Gain à vide A_{v0} : $A_{v0} = \dfrac{v_{s0}}{v_e} = \left.\dfrac{v_s}{v_e}\right)_{i_s = 0}$ (sans charge R_L)

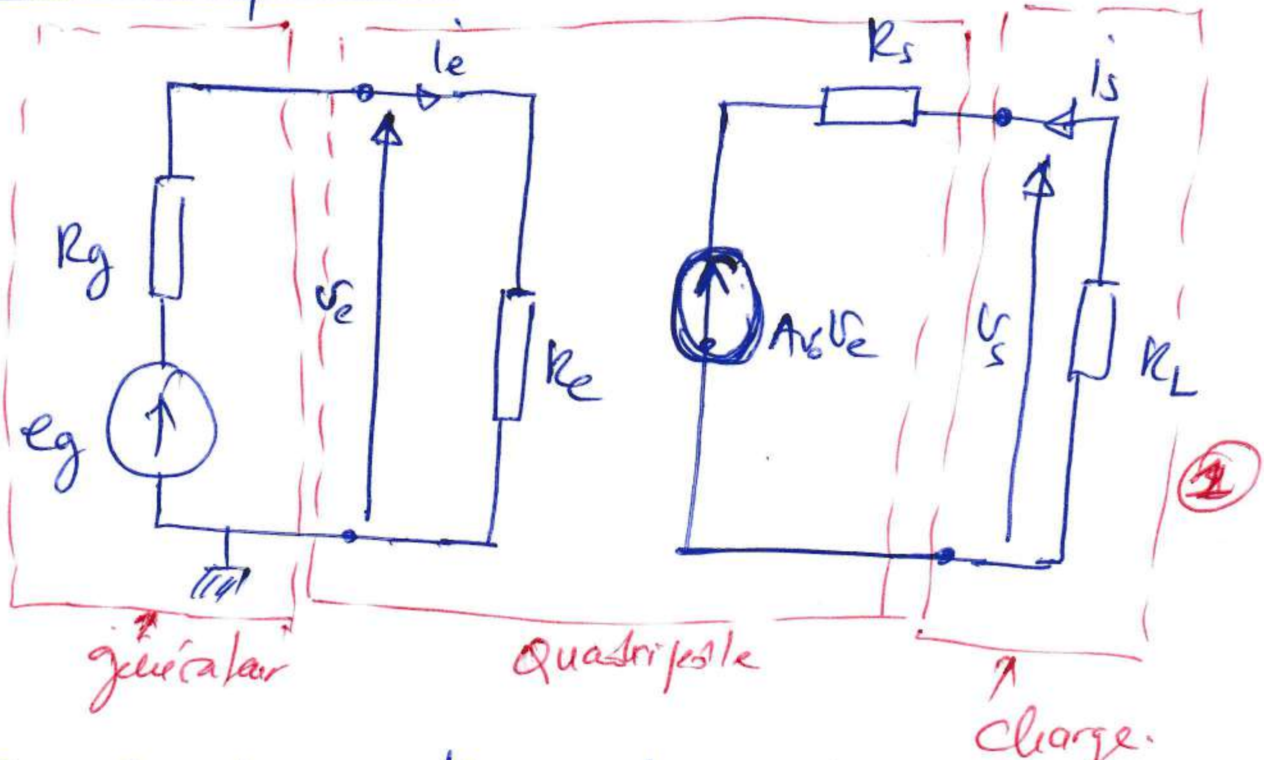
$$\begin{cases} -v_e + R_1 i + R_2(\beta+1) i = 0 \\ -v_{s0} + R_2(\beta+1) i \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_e = [R_1 + R_2(\beta+1)]\, i \\ v_{s0} = R_2(\beta+1)\, i \end{cases}$$

$$\boxed{A_{v0} = \frac{v_{s0}}{v_e} = \frac{R_2(\beta+1)}{R_1 + R_2(\beta+1)}} \quad \cdot \text{ AN } \boxed{A_{v0} \simeq 1}$$

(0,5) (0,5)

⑦

⑥ Schéma équivalent :



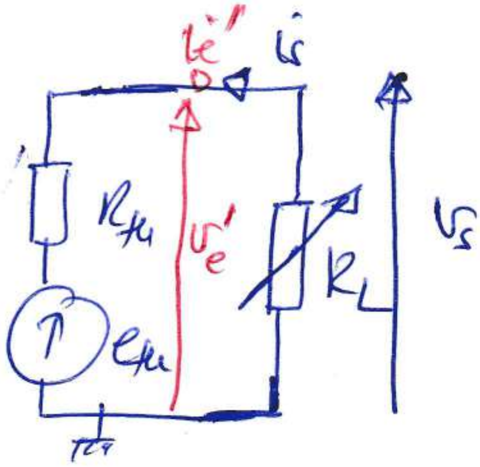
⑦ Générateur de Thevenin (e_{th}, R_{th}) en sortie

a) $e_{th} = v_{s_0} = A_{v_0} \cdot v_e$, comme $A_{v_0} \simeq 1$.

$$e_{th} = 1 \cdot v_e \doteq v_e = \frac{R_e}{R_g + R_e} \cdot e_g \; ; \; e_g = E_g \cos(\omega t)$$

$$\boxed{e_{th}(t) = \frac{R_e}{R_g + R_e} E_g \cos(\omega t)}$$ en volt. 0,5

b) $\boxed{R_{th} = R_s}$ 0,25 , $\boxed{R_{th} = 75\,\Omega}$ 0,25

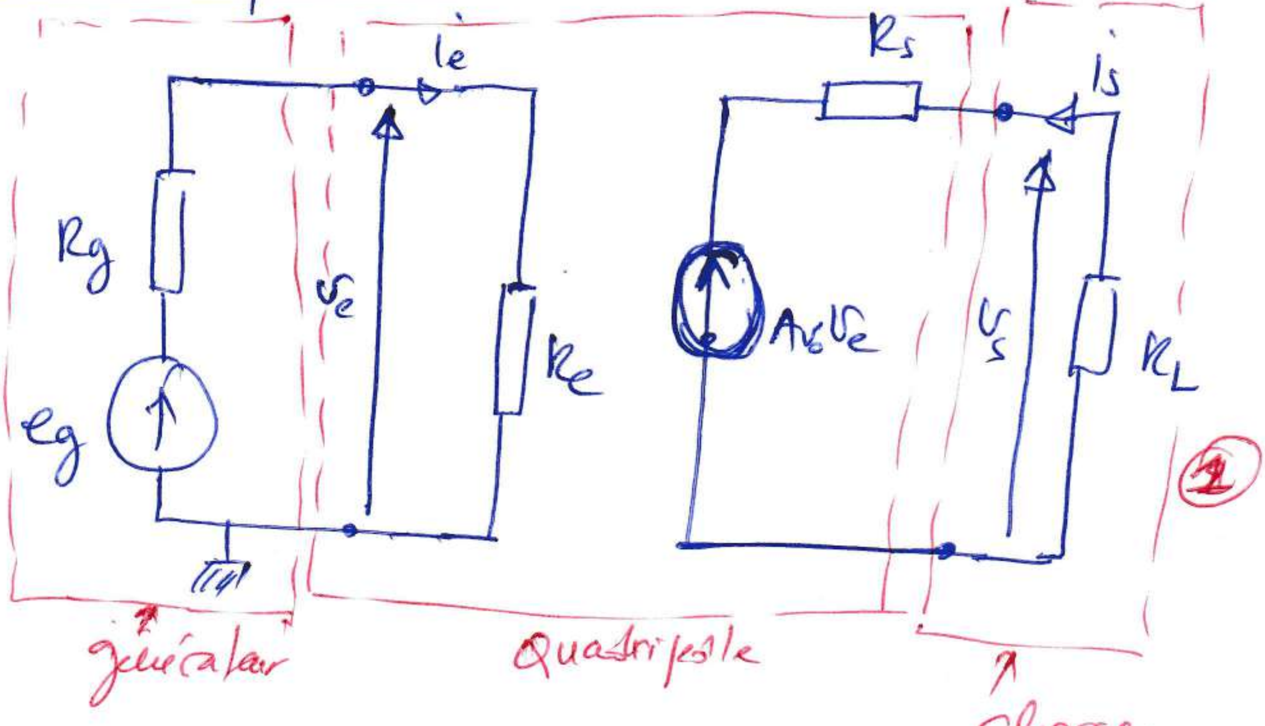


8)

a) puissance moyenne dissipée dans R_L :

$P(t) = v_e' \cdot i_e'$ 0,25 ; $-v_e' + R_L i_e' = 0 \Rightarrow v_e' = R_L i_e'$

⑥ Schéma équivalent :



(1)

⑦ Générateur de thevenin (e_{th}, R_{th}) en sortie

a) $e_{th} = v_{s_0} = A_{v_0} \cdot v_e$, comme $A_{v_0} \simeq 1$.

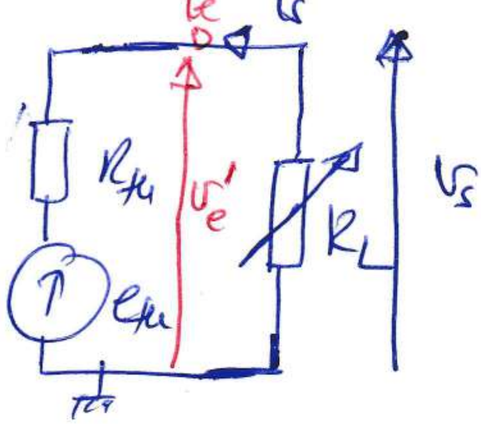
$$e_{th} = 1 \cdot v_e \doteq v_e = \frac{R_e}{R_g + R_e} \cdot e_g \; ; \; e_g = E_g \cos(\omega t)$$

$$\boxed{e_{th}(t) = \frac{R_e}{R_g + R_e} E_g \cos(\omega t)}$$ en volt.

(0,5)

b) $\boxed{R_{th} = R_s}$, $\boxed{R_{th} = 75\,\Omega}$

(0,25) (0,25)



8)

a) puissance moyenne dissipée dans R_L :

$$P(t) = v_e' \cdot i_e' \quad ; \quad -v_e' + R_L i_e' = 0 \Rightarrow v_e' = R_L i_e'$$

(0,25)

$$P(t) = v_e'\left(\frac{v_e'}{R_L}\right) = \frac{(v_e')^2}{R_L} \quad ; \quad v_e' = \frac{R_L}{R_L + R_{th}} e_{th}$$

$$P(t) = \frac{1}{R_L}\left(\frac{R_L}{R_L+R_{th}} e_{th}\right)^2 = \frac{R_L}{(R_L+R_{th})^2} \cdot e_{th}^2$$

$$\boxed{P(t) = \frac{R_L}{(R_L+R_{th})^2} \cdot \left(\frac{R_e}{R_g+R_e}\right)^2 E_g^2 \cos^2(\omega t) \ (\text{watt})}$$

0,25

Puissance moyenne :

$$\overline{P} = P_{moy} = \frac{1}{T}\int_0^T P(t) = \frac{1}{T} \cdot \underbrace{\frac{R_L}{(R_L+R_{th})^2} \cdot \left(\frac{R_e}{R_g+R_e}\right)^2 E_g^2}_{A} \int_0^T \cos^2(\omega t)$$

0,25

on sait que $\cos^2\alpha = \frac{\cos(2\alpha)+1}{2}$.

$$\overline{P} = P_{moy} = \frac{A}{T}\int_0^T \frac{\cos(2\omega t)+1}{2} dt = \frac{A}{2T}\int_0^T \cos(2\omega t)\, dt + \frac{A}{2T}\int_0^T dt$$

$$= \frac{A}{2T}\left[\frac{\sin(2\omega t)}{2\omega}\right]_0^T + \frac{A}{2T}\left[t\right]_0^T = \frac{A}{2T}\left[\cancel{\frac{\sin(\frac{4\pi}{T}t)}{2\omega}}\right]_0^T + \frac{A}{2}$$

$$\overline{P} = P_{moy} = \frac{A}{2} \Rightarrow \boxed{P_{moy} = \frac{R_L}{2(R_L+R_{th})^2}\left[\frac{R_e}{R_g+R_e}\right]^2 E_g^2 \ (\text{watt})}$$

0,25

③ posons $R_L = x$ (Resistance variable).

$$\overline{P} = P_{moy} = \underbrace{\frac{1}{2}\left[\frac{R_e}{R_g+R_e}\right]^2 E_g^2}_{\alpha} \frac{x}{(x+R_{th})^2} = \frac{\alpha \cdot x}{(x+R_{th})^2}$$

$$\boxed{\overline{P}(x) = \frac{\alpha x}{(x+R_{th})^2}} \quad \text{avec } \alpha = \frac{1}{2}\left[\frac{R_e}{R_g+R_e}\right]^2 E_g^2.$$

$$\overline{P}'(x) = \frac{\alpha(x+R_{th})^2 - 2(x+R_{th}) \cdot 1 \cdot \alpha \cdot x}{(x+R_{th})^4}$$

$$\overline{P}'(x) = \frac{(x+R_{th})\left[\alpha(x+R_{th}) - 2\alpha x\right]}{(x+R_{th})^4} = \frac{\alpha x + \alpha R_{th} - 2\alpha x}{(x+R_{th})^3}$$

$$\overline{P}'(x) = \frac{-\alpha x + \alpha R_{th}}{(x+R_{th})^3} = \frac{\alpha(-x+R_{th})}{(x+R_{th})^3}.$$

$$\left\{\begin{array}{l} \overline{P}'(x) = 0 \Rightarrow x = R_{th}. \\ \overline{P}'(x) > 0 \Rightarrow -x + R_{th} > 0 \Rightarrow x < R_{th} \\ P'(x) < 0 \Rightarrow x > R_{th} \end{array}\right. \Rightarrow \quad 0,25$$

$(x = R_{th})$ est un extrimum de fonction $\overline{P}(x)$.

donc c'est la condition $(x = R_{th} = R_s)$ pour que la puissance $\overline{P} = P_{my}$ soit maximale. 0,25

d) Calcul $\overline{P}_{max}$: 0,25

$$\overline{P}_{max} = \overline{P}(x = R_{th}) = \frac{R_{th}}{2(R_{th}+R_{th})^2} \cdot \left(\frac{R_e}{R_g+R_e}\right)^2 E_g^2$$

$$\boxed{\overline{P}_{max} = \frac{E_g^2}{4R_{th}}\left[\frac{R_e}{R_g+R_e}\right] \text{ (watt)}} \quad 0,25$$

e) Condition d'adaptation : $\overline{P}_{max} \Leftrightarrow R_L = R_{th}$.

Donc il faut que $R_L = (R_{th} = R_s)$. 0,5

f) dans le cas de ce circuit on $R_{th} = R_s = 75\,\Omega$

et $R_L = 0,2\,K\Omega \Rightarrow R_L \neq R_{th} \Rightarrow$ la condition d'adaptation 0,5 n'est satisfait.