Corrigé-type

Université ZIANE Achour - Djelfa
Faculté des Sciences Exactes et Informatique
Département de Physique
Niveau : 3eme année 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.

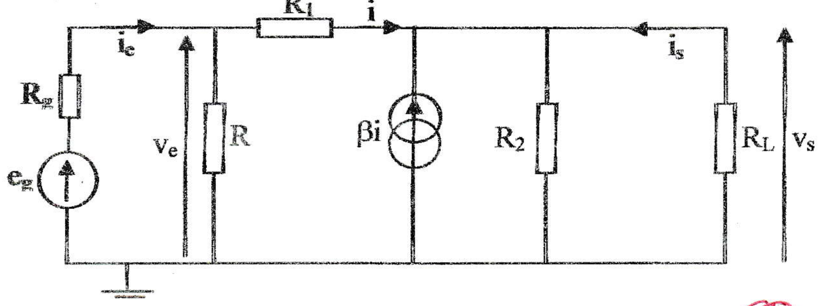
1) Classer les matériaux suivant leurs conductivités électriques. 1
2) Citer des exemples des composants de type actif et de type passif. 1
3) Tracer le diagramme d'énergie d'un semi-conducteur intrinsèque.
4) Expliquer pourquoi $n_i = p_i$. 1
5) Donner les relations des concentrations : n_i, p_i. 1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

$$n_i = A \exp\left(\frac{-E_g}{2KT}\right)$$ 1

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. 3pts
   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

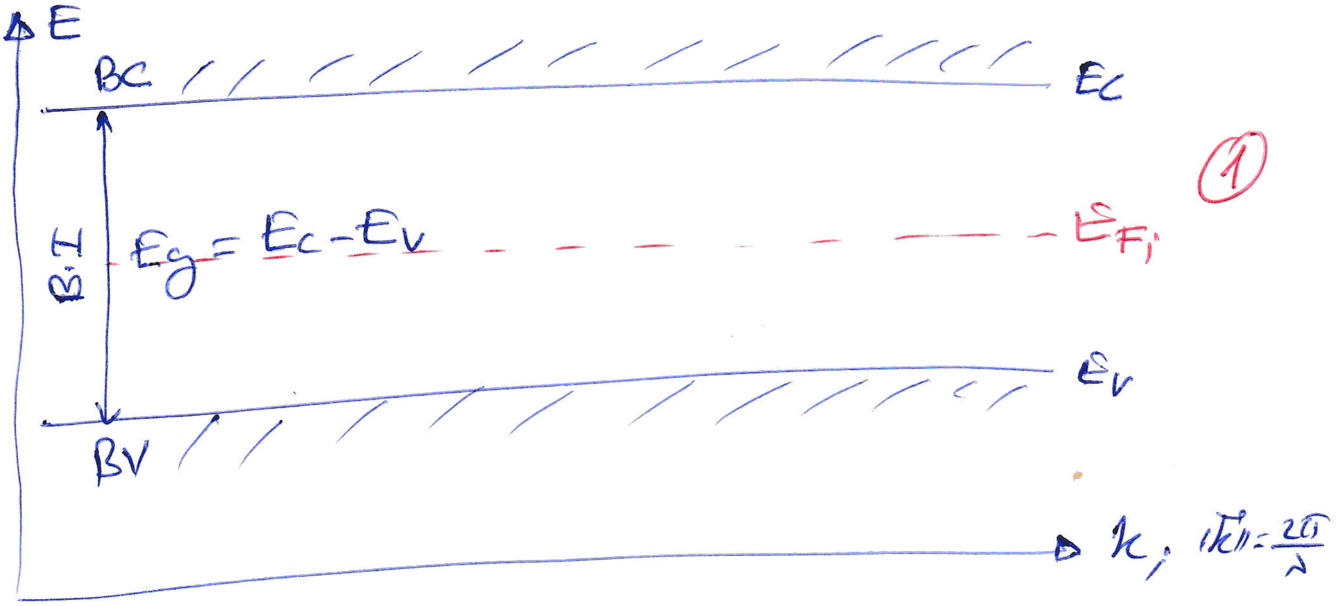
Exo N° 1 (08 points) :

① classement des matériaux suivant leurs conductivités

$\sigma \uparrow$: ⓐ 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, 0,5 transistor JFET, MOSFET, ...
ⓑ passifs : Resistance R, Condensateur C, 0,5 bobine (L,r), ...

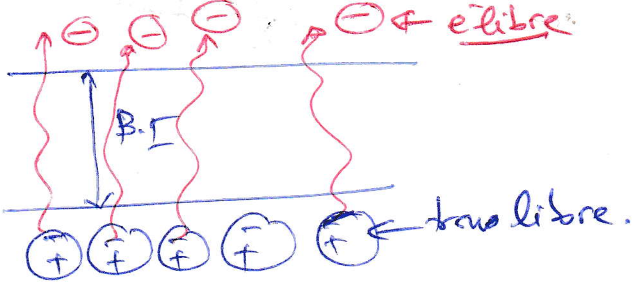
③ diagramme d'energie d'un semi-conducteur intrinsèque :



④ Explication pourquoi $n_i = p_i$:

à T=0K tous les electrons sont dans la bande de valence, lorsqu'on chauffe (T≠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 :

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

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

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

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

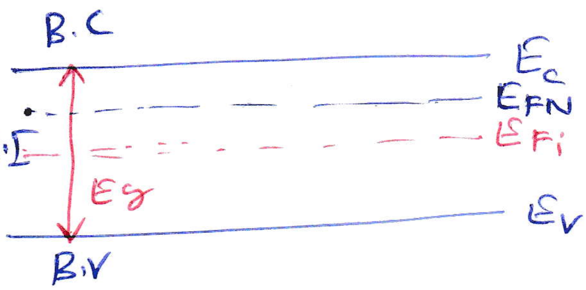
on sait que $n_i = p_i$ donc :

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

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

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 $T = T_{amb}$

(Nd : concentration des atomes donneur)

(Nd+ : 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'equilibre 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'equation à résoudre :

0,25

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

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

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

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

0,25

ou

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

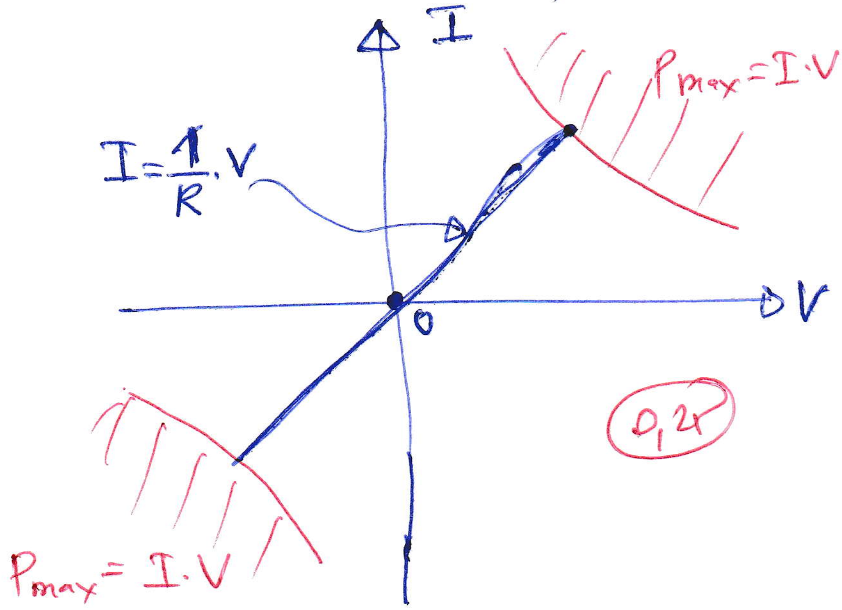
$$n_N = \frac{N_d}{2} + \sqrt{N_d^2\left(\frac{1}{4} + \left(\frac{n_i}{N_d}\right)^2\right)} \quad ; \quad \frac{n_i}{N_d} \to 0$$

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

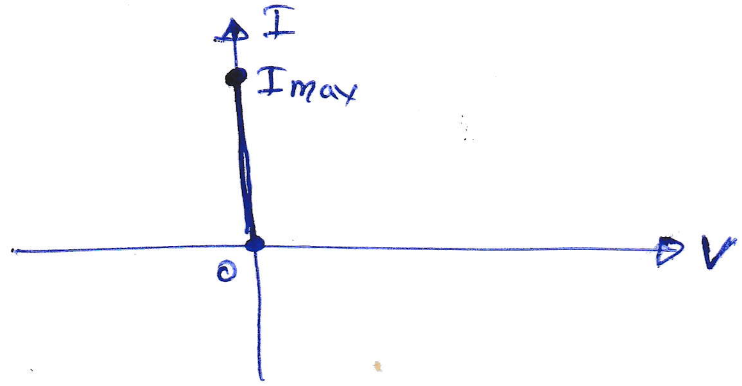
$$\boxed{n_N = N_d}$$

8) Caractéristique I-V de composants (I-V sont continus)

ⓐ Résistance (passif)

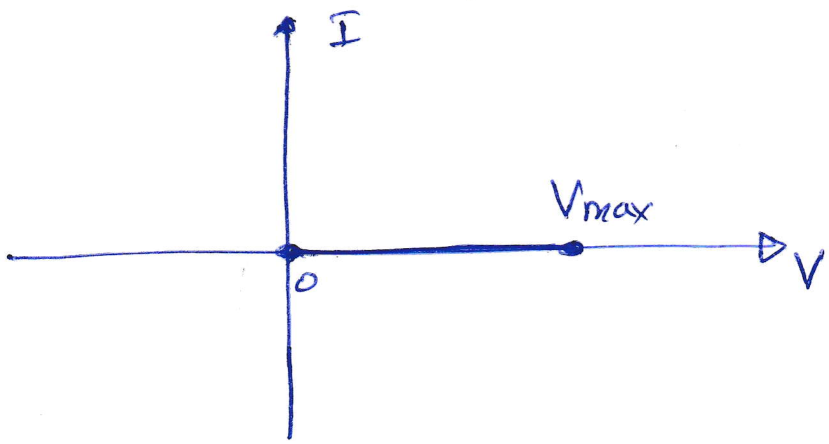


ⓑ Self ou inductance (Idéal) L, r = 0.

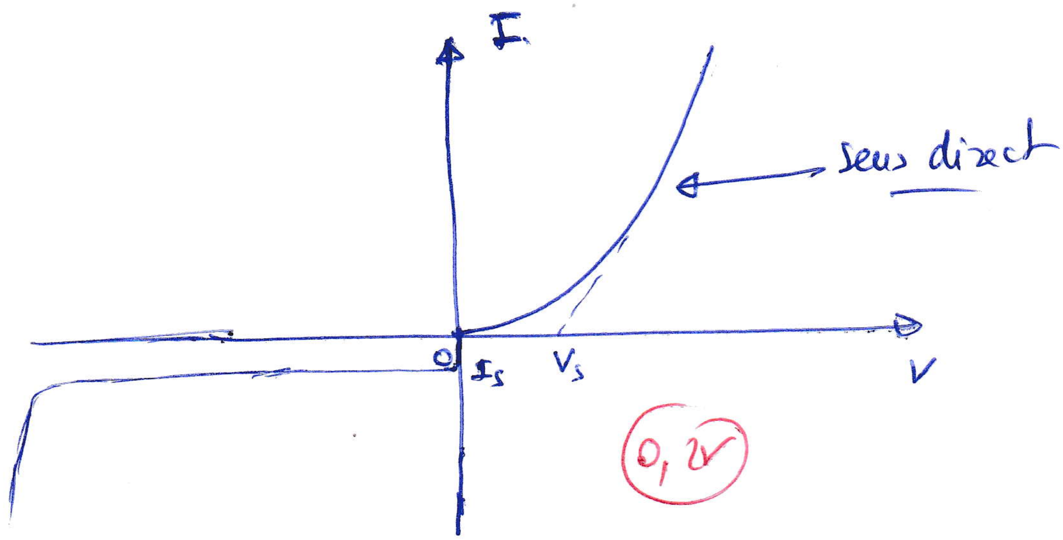


0,25

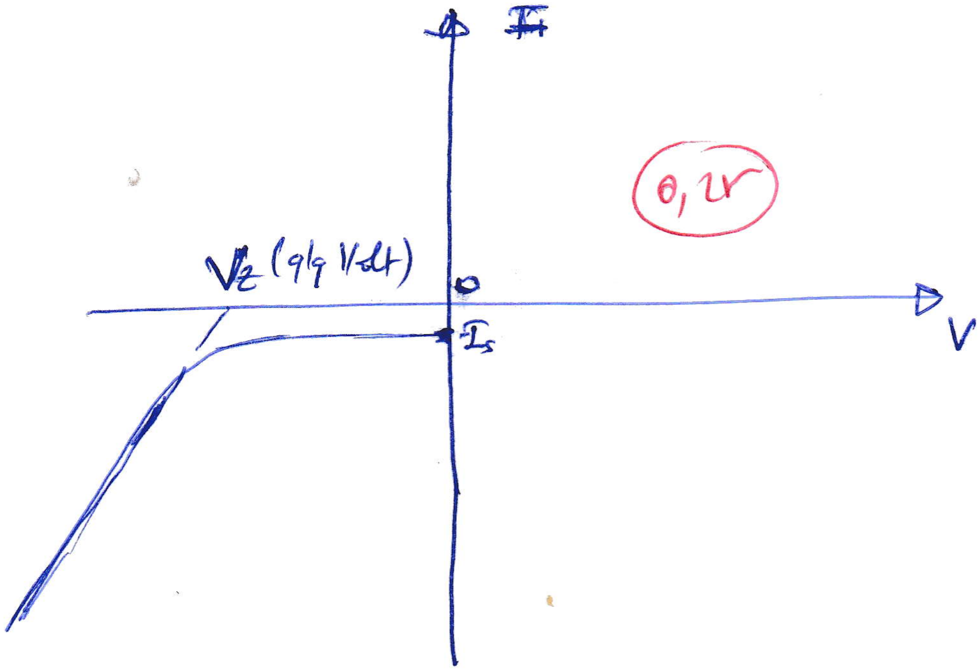
ⓒ Condensateur C :



① Diode (sens direct)



② Diode Zener (sens inverse)

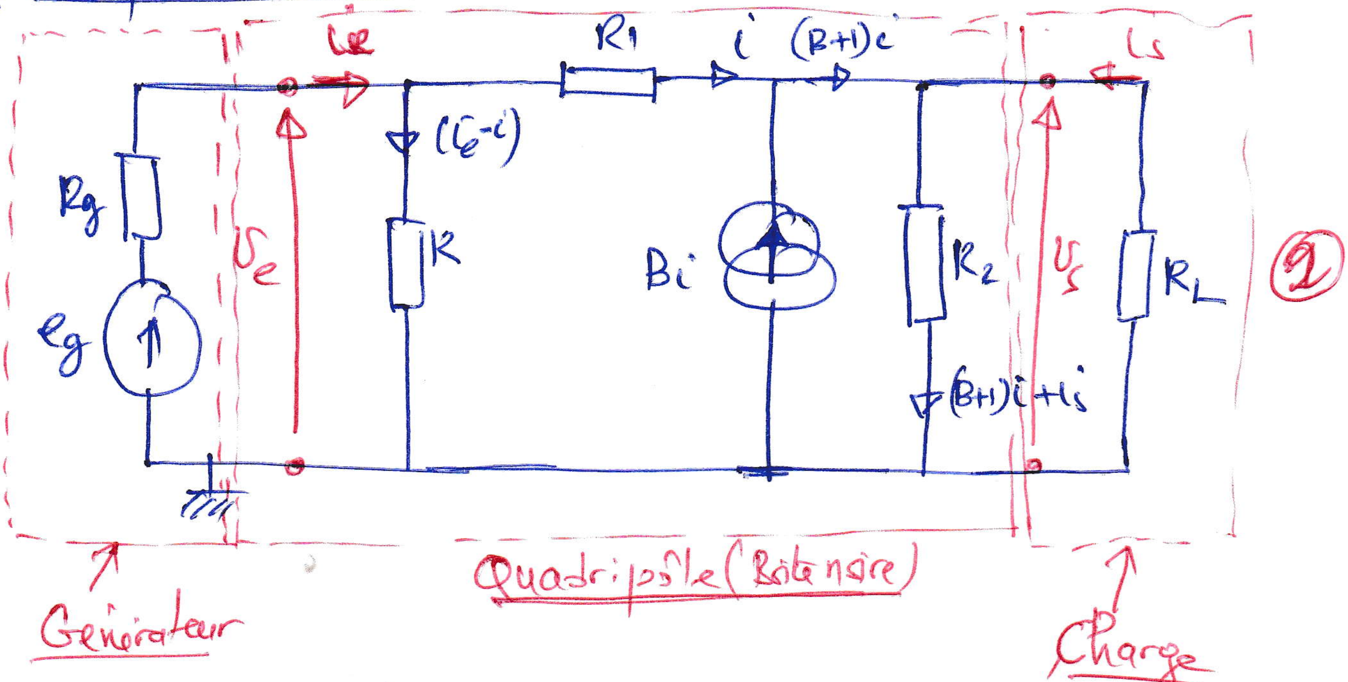


EXO N°2 (12 points) :

1) a) Composants actifs sur le schéma : générateur e_g, générateur contrôlé (βi).
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 $R_e = \frac{v_e}{i_e}$.

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

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

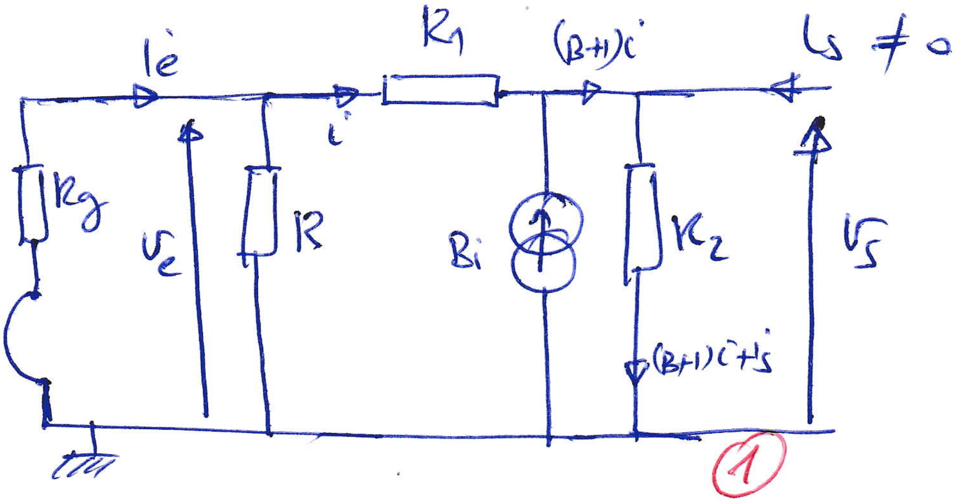
de (2) $i = \frac{R}{R_1 + R + (R_2 // R_L)(\beta+1)} i_e$

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

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

0,5 0,5

④ Resistance de sortie :



1

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

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

de ①: $v_s = -[R_1 + (R_g // R)]\, i$

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

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

$$\boxed{R_s = \frac{R_2[R_1 + (R_g // R)]}{(R_g // R) + R_1 + R_2(B+1)}}$$ 0,5 , A.N : $\boxed{R_s = 75\ \Omega}$ 0,5

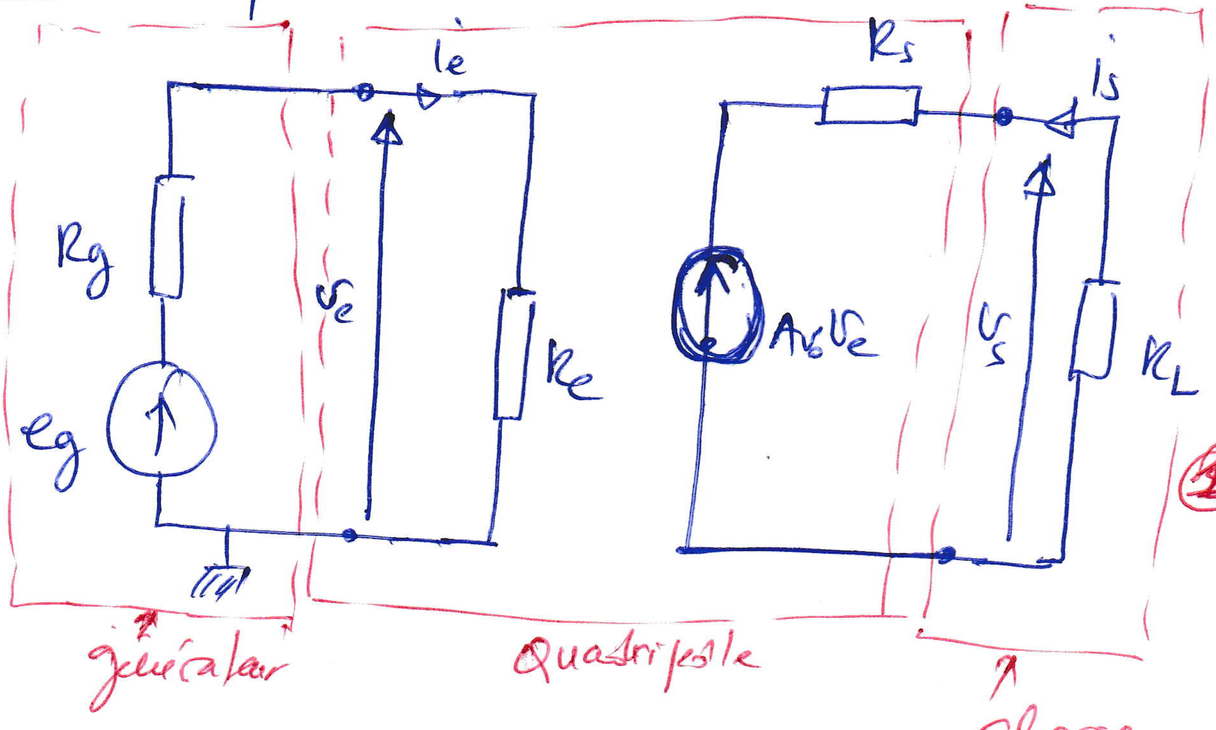
⑤ Gain à vide A_{v0} : $A_{v0} = \dfrac{v_{s0}}{v_e} = \left.\dfrac{v_s}{v_e}\right)_{i_s=0}$ (sans charge R_L)

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

$$\boxed{A_{v0} = \frac{v_{s0}}{v_e} = \frac{R_2(B+1)}{R_1 + R_2(B+1)}}$$ 0,5 . AN $\boxed{A_{v0} \simeq 1}$ 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 $A_{v_0} \simeq 1$.

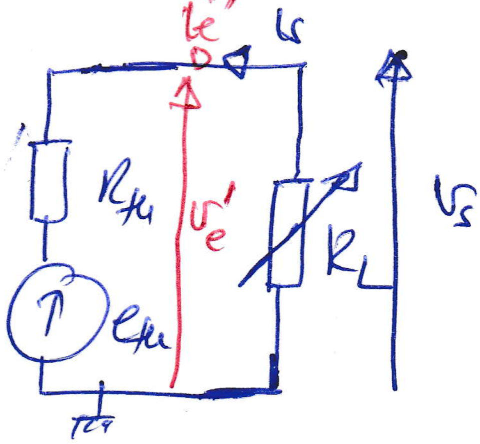
$e_{th} = 1 . v_e \simeq v_e = \dfrac{R_e}{R_g + R_e} . e_g$; $e_g = E_g \cos(\omega t)$

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

0,5

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

0,25 0,25



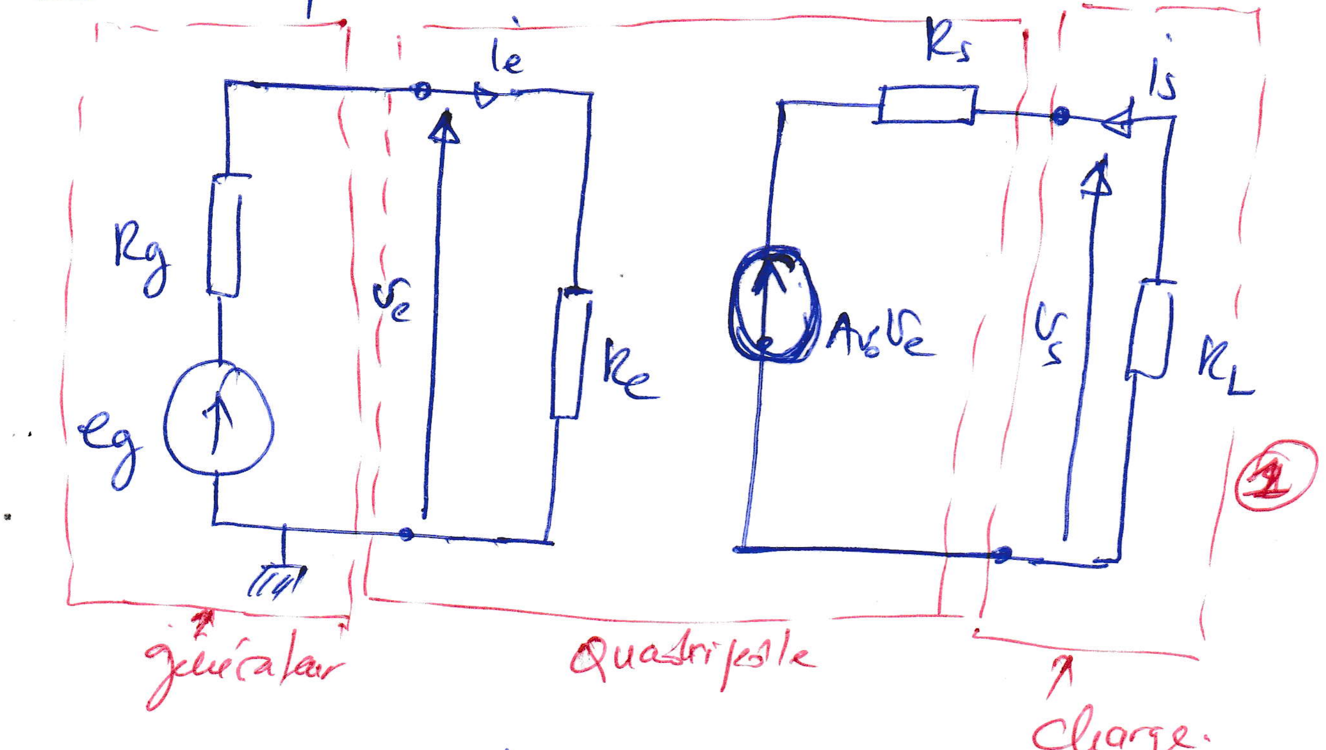
8)

a) puissance moyenne dissipée dans R_L :

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

0,25

⑥ Schéma équivalent :



(1)

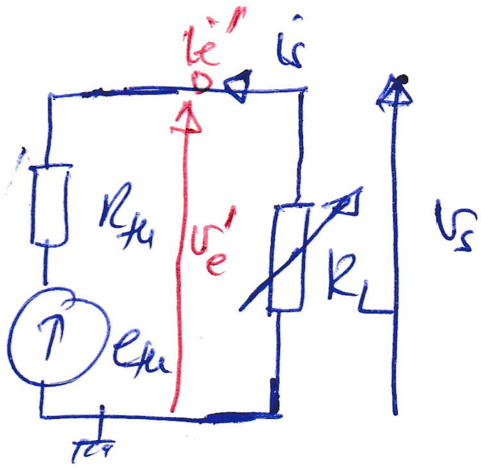
⑦ Générateur de thevenin (e_{th}, R_{th}) en sortie

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

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

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

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

(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 $\cos^2\alpha = \dfrac{\cos(2\alpha)+1}{2}$.

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

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

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

0,25

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

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

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

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

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

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

0,25

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

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

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

d) <u>Calcul $\overline{P}_{max}$:</u>

0,25

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

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

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

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 n'est satisfait. 0,5