



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences Dhar El Mehraz  
Fes

## TD N°. 1 Electronique de Base

### Exercice 1

- Soit le montage de la figure 1, calculer par le théorème de Thevenin les courants  $I_1$  et  $I$ . Refaire la même étude en appliquant le théorème de Norton.
- En appliquant le théorème de Thevenin, calculer le courant  $I$  passant dans l'ampèremètre A de résistance interne  $4\Omega$  du montage de la figure 2.  $I = 1/8 A$
- Mettre sous forme de générateur de Thevenin les circuits 4, 5, 6 et 7.

### Exercice 2

On considère le montage de la figure 1

- Retrouver l'expression du courant  $I$  en appliquant le théorème de superposition.
- Calculer la tension  $V_A - V_B$  du montage de la figure 8 en appliquant le théorème de superposition.

### Exercice 3

On considère le montage de la figure 3. On donne:  $R = 4K\Omega$ ,  $R_1 = 2K\Omega$ ,  $I = 4mA$  et  $E = 8V$

- Calculer la résistance de thevenin entre les points A et B.
- Appliquer le théorème de superposition pour déterminer la tension de thevenin.
- Donner le schéma équivalent de thevenin vu entre les points A et B.

### Exercice 4

On considère le montage de la figure 1

- Recalculer le courant  $I$  de la figure 1 par application du théorème de Milleman
- Calculer  $V_A - V_B$  du montage de la figure 9 ainsi que les courants dans chacune des branches.
- Donner l'expression de la tension aux bornes de l'impédance de charge  $Z_{ch}$  du quadripôle T ponté de la figure 10 par application du théorème de Milleman.



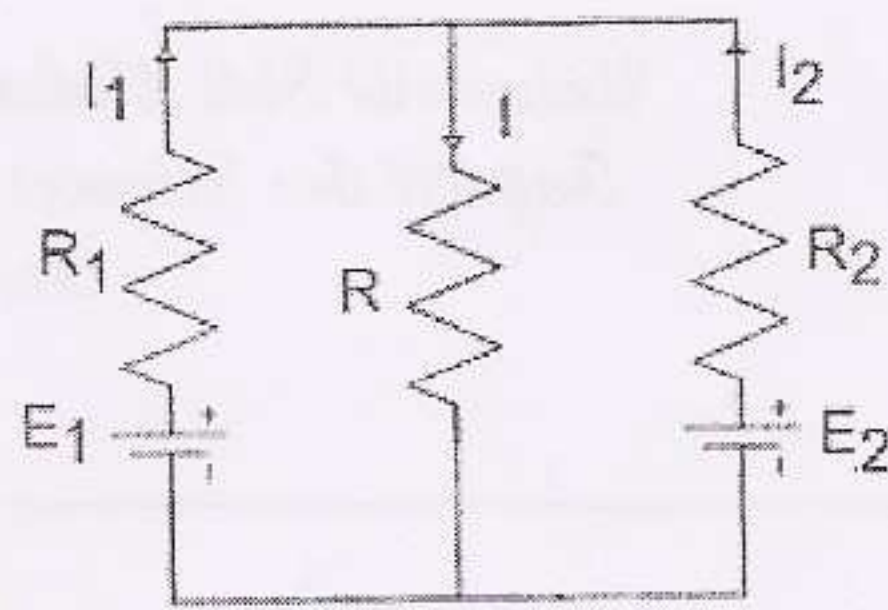


Figure 1

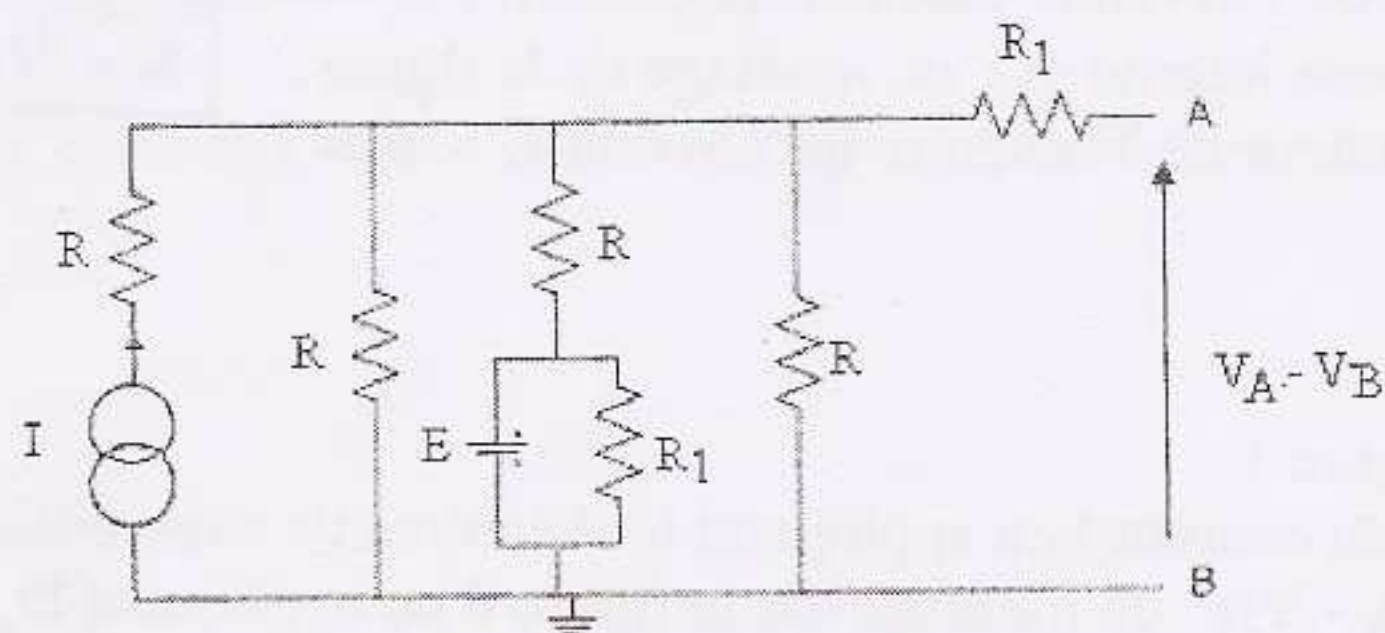


Figure 3

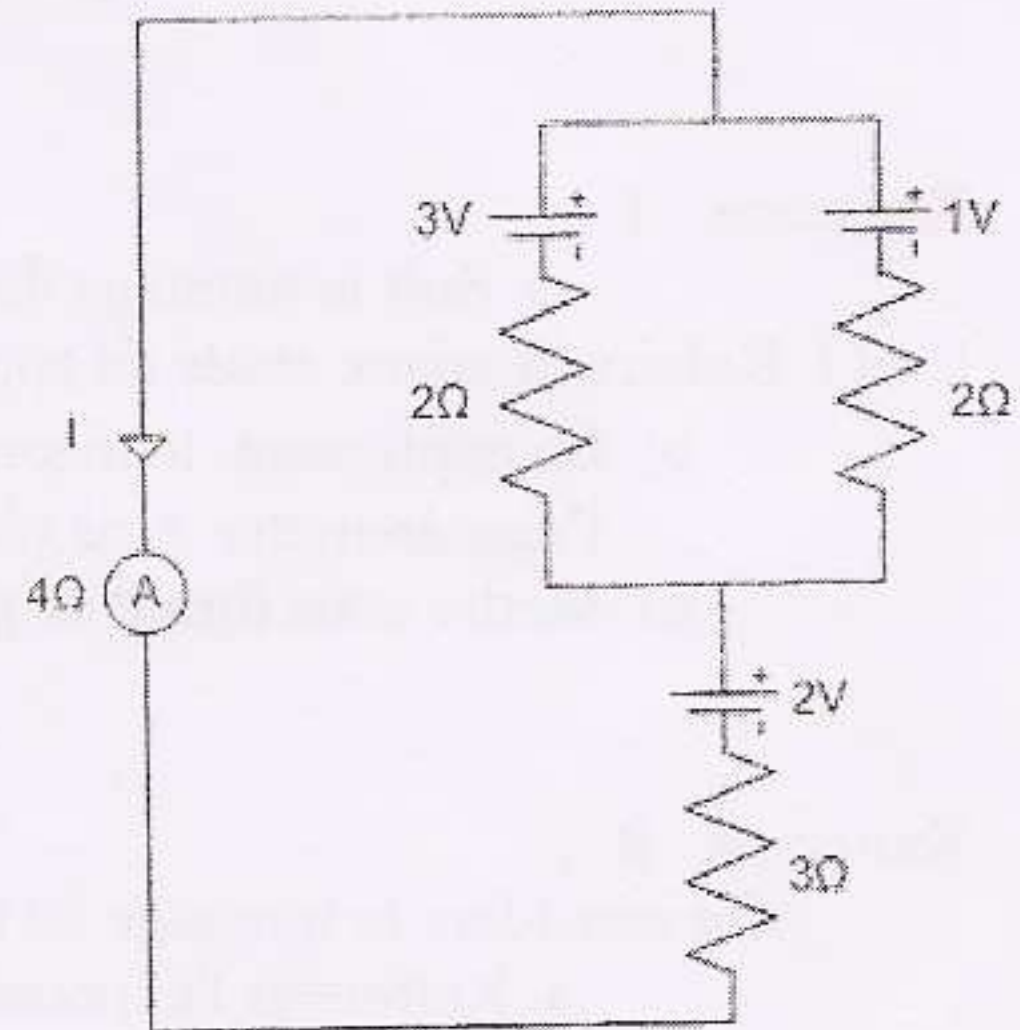


Figure 2

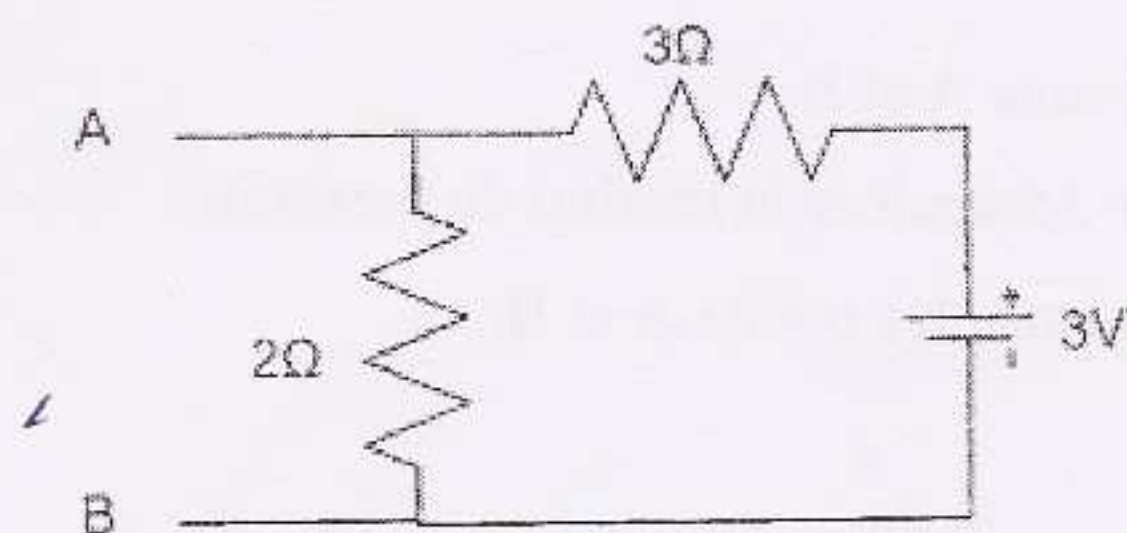


Figure 4 ( $R_{th} = \frac{6}{5} \Omega$ ;  $E_{th} = \frac{6}{5} V$ )

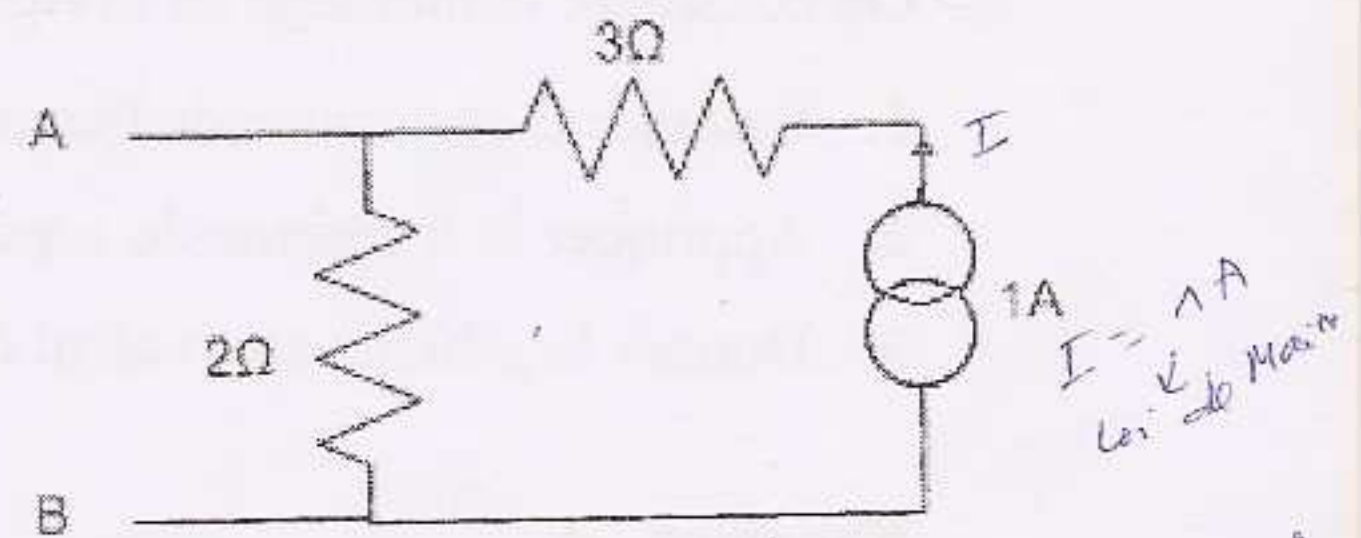


Figure 5 ( $R_{th} = 2 \Omega$ ,  $E_{th} = \frac{2}{5} V$ )

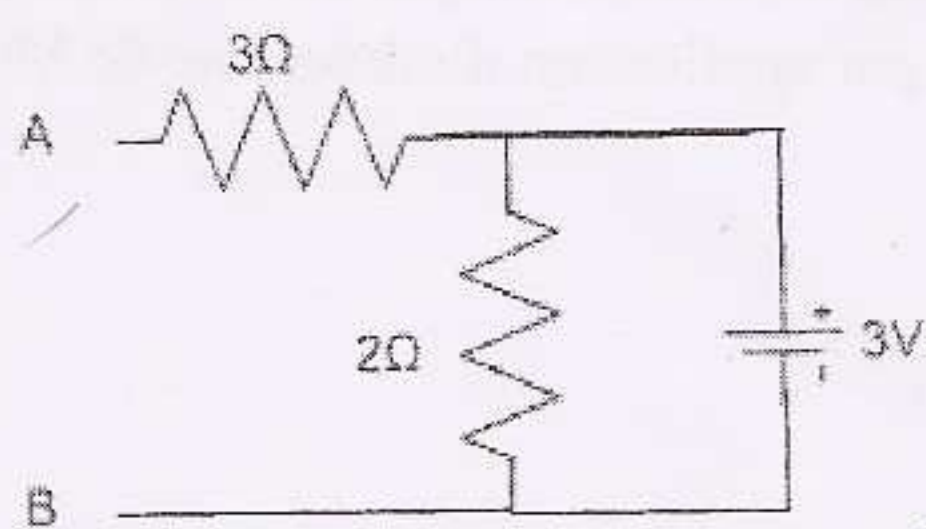


Figure 6 ( $R_{th} = 5 \Omega$ ,  $E_{th} = \frac{15}{2} V$ )

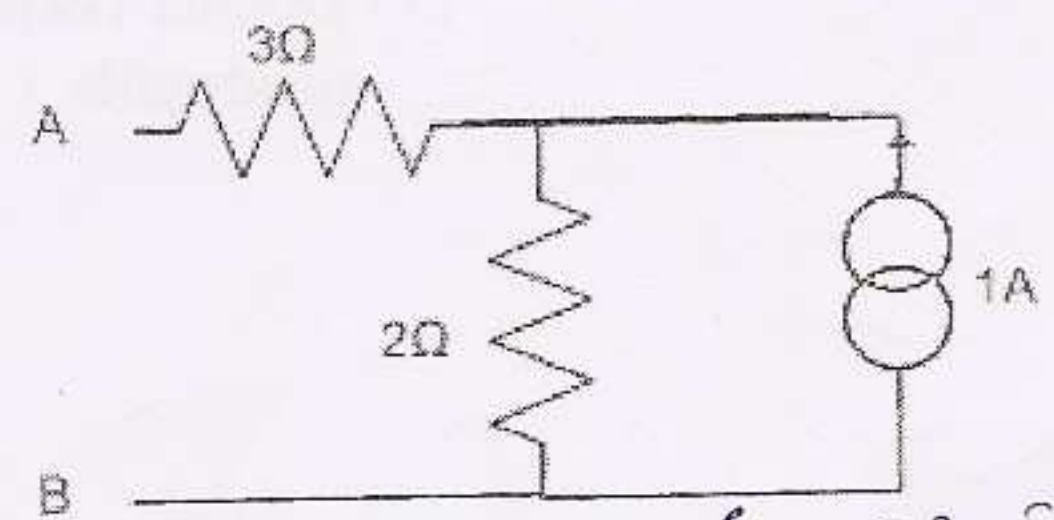


Figure 7 ( $R_{th} = 5 \Omega$ ,  $E_{th} = \frac{5\sqrt{2}}{2} V$ )



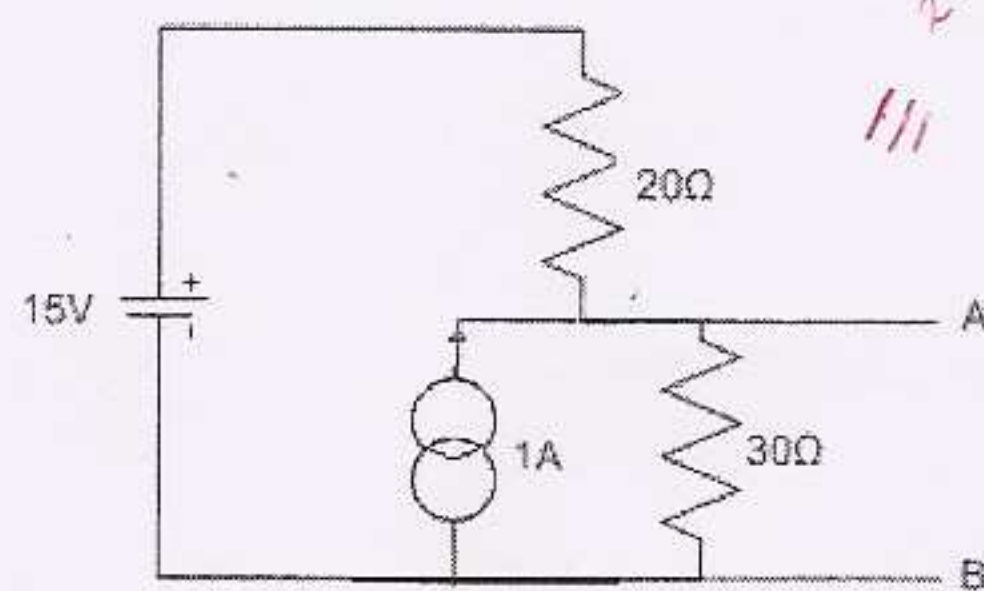


Figure. 8

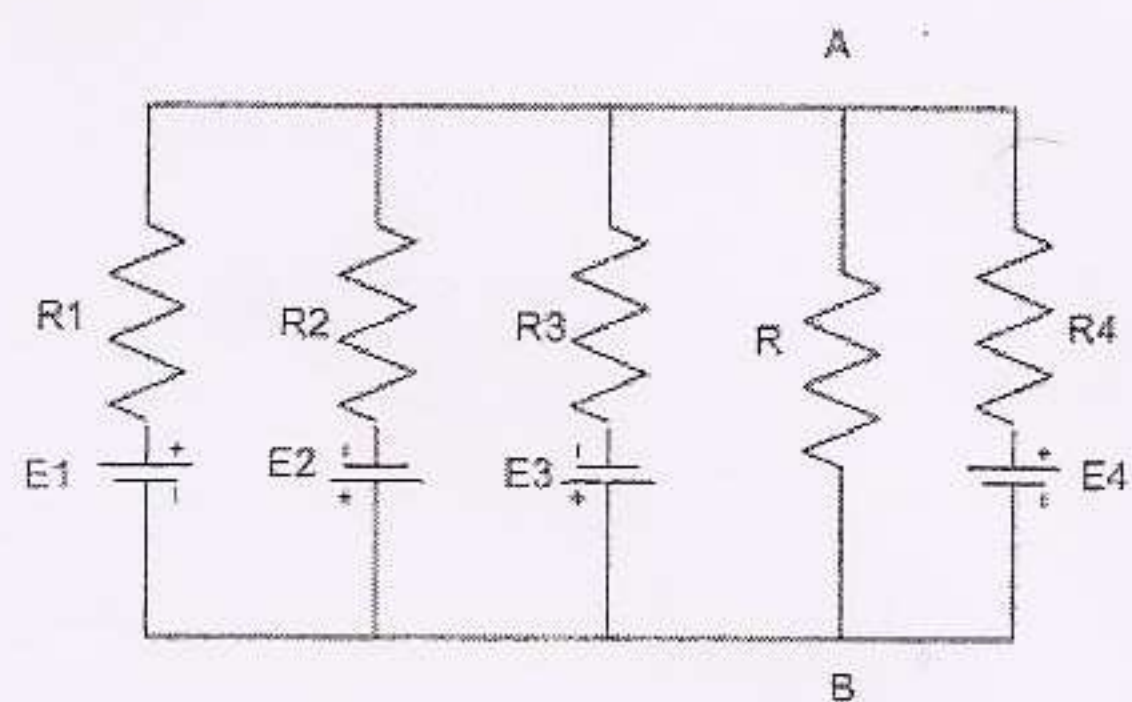
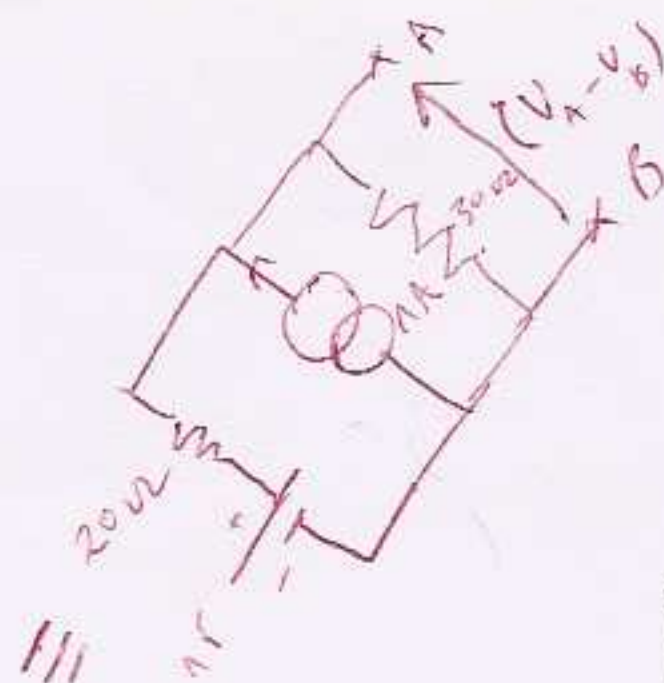


Figure. 9

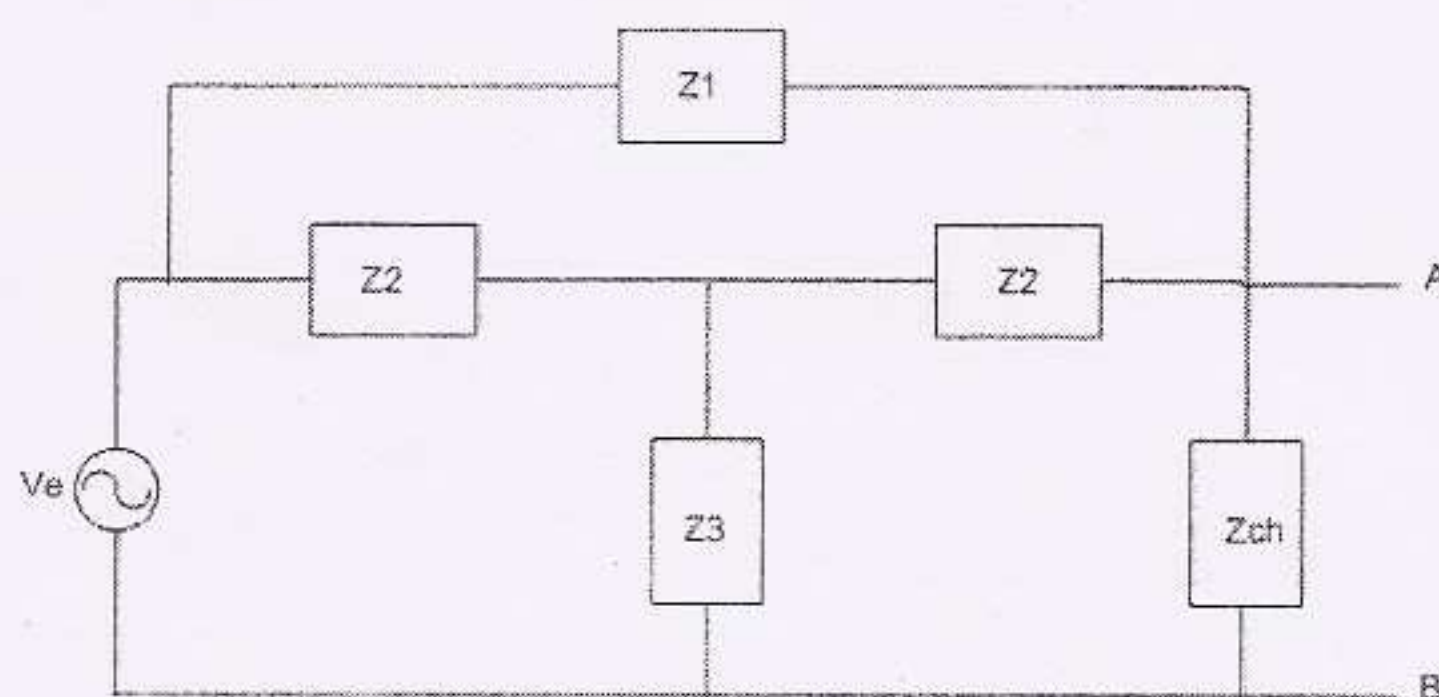


Figure. 10





Université Sidi Mohamed Ben Abdellah  
Faculté des Sciences Dhar El Mehraz  
Fès

TD N°. 2 Electronique

Exercice 1

On considère le circuit donné par la figure 1.

1. Déterminer la matrice impédance ainsi que le modèle électrique correspondant.
2. Déterminer la matrice admittance ainsi que le modèle électrique correspondant.
3. Déterminer la matrice hybride ainsi que le modèle électrique correspondant.
4. Déterminer les paramètres impédances du quadripôle de la figure 2.

Exercice 2

1. Calculer la fonction de transfert  $T(j\omega) = v_s / v_e$  du quadripôle de la figure 3.
2. Tracer dans le plan de Bode :  $20 \log |T(j\omega)|$  et  $\text{Arg}(T(j\omega))$ .
3. En déduire la pulsation de coupure du filtre, sa bande passante et le gain dans la bande passante.
4. Refaire la même étude pour le montage de la figure 4.

Exercice 3

Soit le montage de la figure 5.

1. Calculer la fonction de transfert  $T(j\omega) = v_s / v_e$ .
2. Tracer dans le plan de Bode  $20 \log |T(j\omega)|$  en fonction de  $\log \omega$ .
3. Déduire la fréquence de coupure et la bande passante du filtre.

Exercice 4

Soit le circuit de la figure 6. On suppose qu'à l'instant initial  $i(0) = 0$

1. Etablir l'équation du courant dans la bobine.
2. Etablir l'équation de décharge de la bobine.

Exercice 5

Soit le montage de la figure 7, sachant qu'à l'instant initial ( $t=0$ ), le condensateur est chargé à la valeur  $V_0$  et aucun courant ne circule dans la maille  $i(0) = 0$ .

1. A  $t = 0^+$ , le condensateur se décharge dans la bobine de résistance interne  $R$ , établir l'équation de la tension  $V$ .
2. Déterminer l'expression de  $V(t)$ . La condition  $\frac{R^2}{L} > \frac{4}{C}$  est vérifiée.



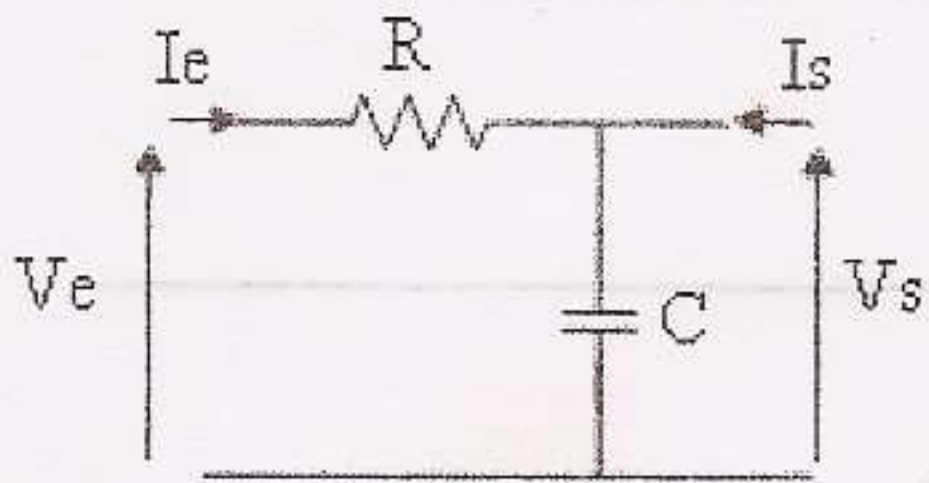


Figure 1

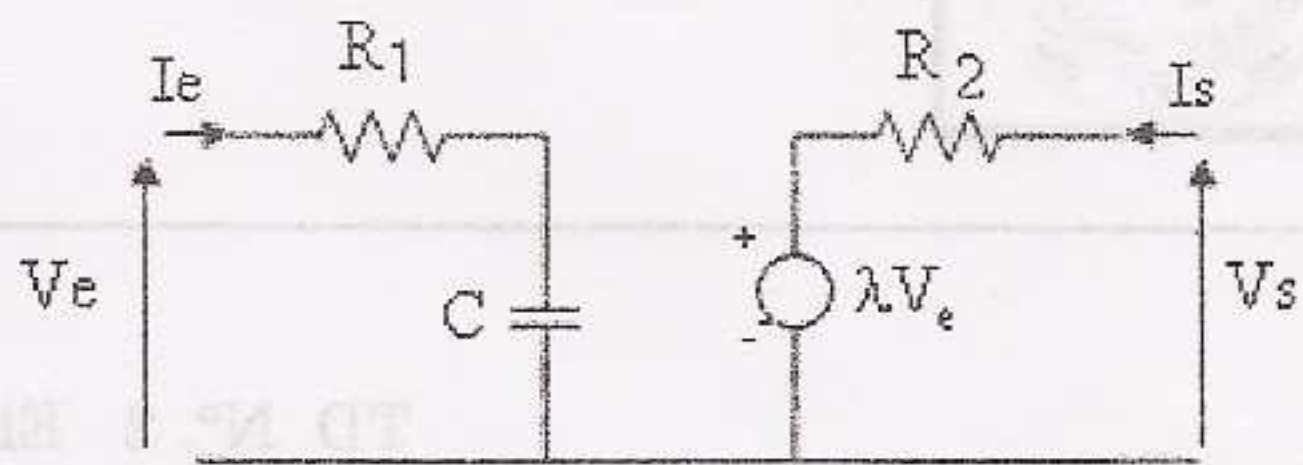


Figure 2

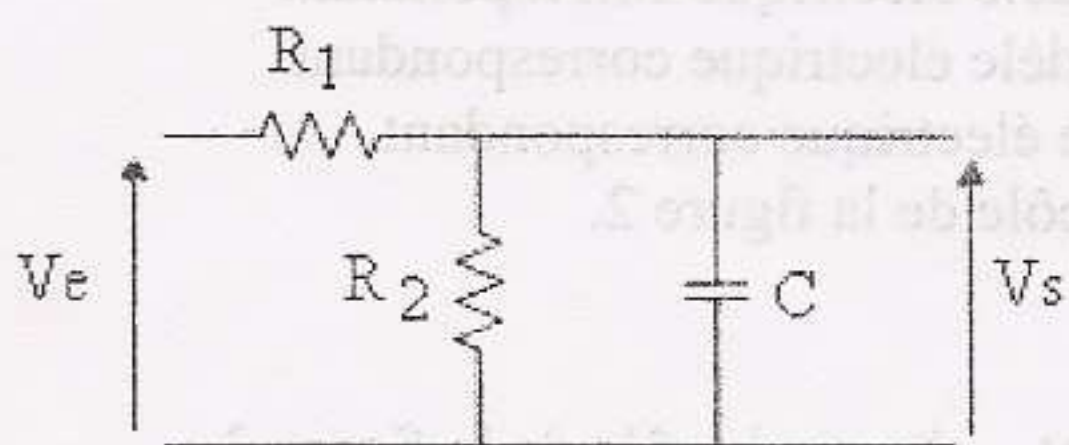


Figure 3

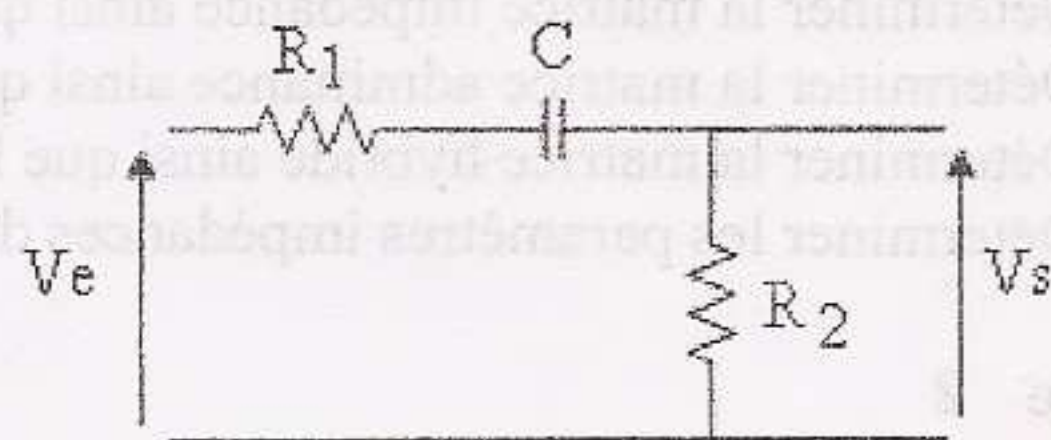


Figure 4

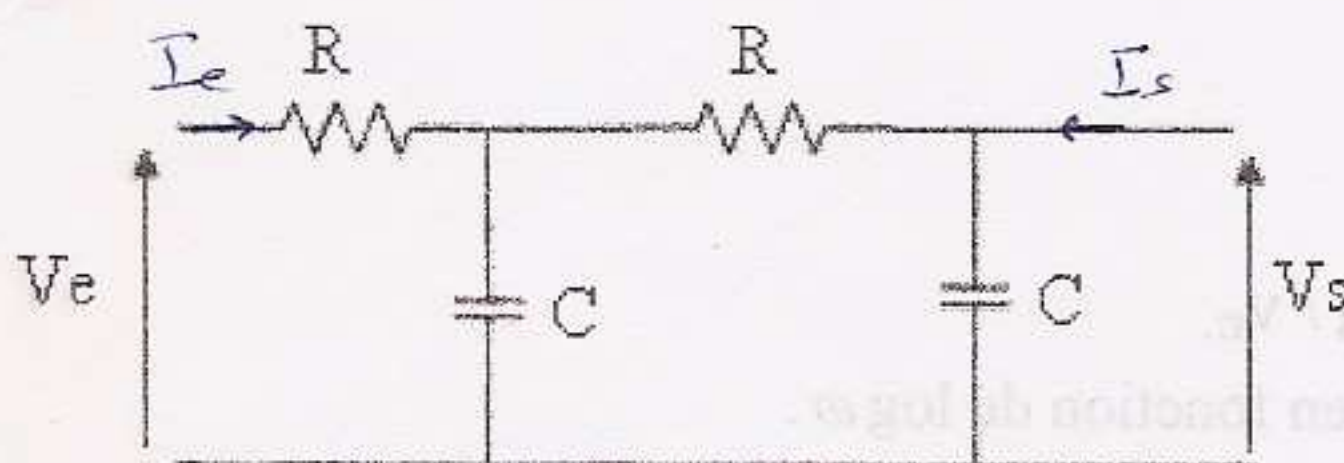


Figure 5

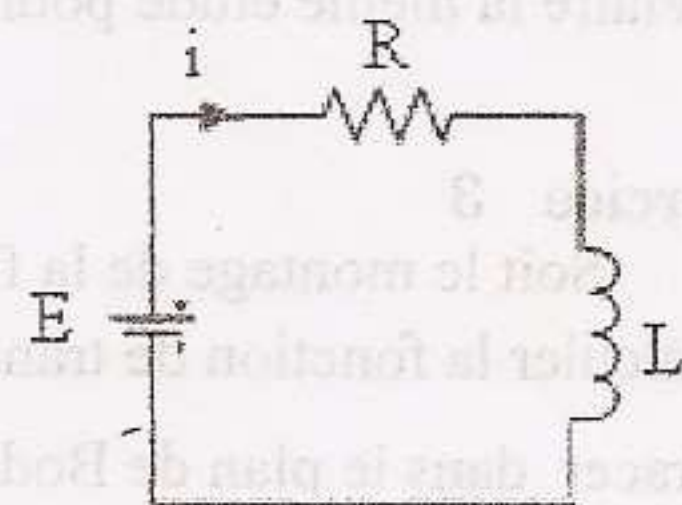


Figure 6

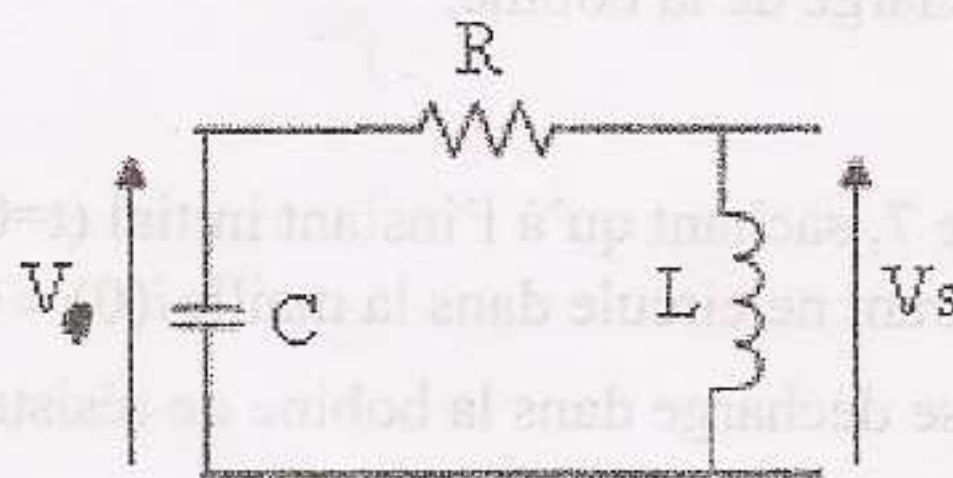


Figure 7





*Université Sidi Mohamed Ben Abdellah*  
*Faculté des Sciences Dhar El Mehraz*  
*Fès*

**TD N° 3 Electronique**

**Exercice 1**

Etant donné un fil d'aluminium de masse atomique 27g, de densité  $2,7 \text{ g/cm}^3$  et de résistivité  $3,44 \mu\Omega\cdot\text{cm}$

1. Calculer la concentration en électrons libres sachant que l'aluminium est trivalent.
2. Calculer la mobilité des électrons libres.

On donne : le nombre d'Avogadro  $N = 6.10^{23}$ , la charge élémentaire  $q = 1,6.10^{-19} \text{ C}$

**Exercice 2**

1. Calculer la concentration en trous, la concentration en électrons et la résistivité du germanium

Intrinsèque à  $300^\circ\text{K}$ . On donne :

La constante A de la densité des porteurs intrinsèques :  $A = 10^{22} \text{ u S.I}$

La largeur de la bande interdite (le Gap) du germanium :  $E_g = 0,75 \text{ eV}$

La constante de Boltzmann :  $K = 1,38.10^{-23} \text{ J / }^\circ\text{K}$

Les mobilités des porteurs :  $\mu_n = 0,36 \text{ m}^2/\text{V.s}$  ;  $\mu_p = 0,17 \text{ m}^2/\text{V.s}$

2. On dope le germanium intrinsèque par un élément accepteur (le Bore) avec une concentration

$N_A$  (atomes par  $\text{m}^3$ ), on obtient alors un semi conducteur extrinsèque de type p.

Calculer la concentration en trous et en électrons sachant que la résistivité à  $300^\circ\text{K}$  est  $0,01 \Omega\cdot\text{cm}$ .

**Exercice 3**

1. Calculer la résistivité  $\rho$  à  $273^\circ\text{K}$  du silicium intrinsèque. On donne :

La densité des porteurs intrinsèques à  $273^\circ\text{K}$  :  $n_i = 1,5.10^{19} \text{ m}^{-3}$

La mobilité des porteurs :  $\mu_n = 0,13 \text{ m}^2/\text{V.s}$  ;  $\mu_p = 0,48 \text{ m}^2/\text{V.s}$

2. On admet que , pour le silicium , la densité des porteurs intrinsèques double lorsque la température s'élève de  $6^\circ\text{K}$ . Calculer la valeur de sa résistivité à  $291^\circ\text{K}$  , on négligera les variations de mobilité.

**Exercice 4**

Une diode au silicium présente un courant de saturation  $I_s = 10 \text{ nA}$  et un coefficient d'idéalité  $\eta = 1,5$ .

Calculer à  $\theta = 27^\circ\text{C}$ , le courant totale I et la résistance dynamique pour une polarisation :

1.  $V = 0,65\text{V}$
2.  $V = -0,65\text{V}$



### Exercice 5

A partir d'une tension sinusoïdale de valeur moyenne nulle on veut générer un signal de signe constant. On propose d'étudier la réponse du montage de la figure 1. La diode est supposée idéale.

1. Donner le schéma équivalent du montage pour chaque état de fonctionnement, exprimer  $u$  en fonction de  $v$ .
2. Représenter  $u(t)$ , calculer sa valeur moyenne et sa valeur efficace
3. Calculer la puissance moyenne dissipée dans la charge  $R$

### Exercice 6

#### 1. Montage à deux diodes figure 2

Un générateur de tension sinusoïdale  $e$  est branché sur le primaire d'un transformateur à point milieu

Sur le secondaire on obtient deux tensions  $v$  de même fréquence que  $e$ , identiques et orientées comme l'indique la figure 2.

Les deux diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont idéales, la tension redressée  $u$  est relevée aux bornes de la charge  $R$ .

1. Donner le schéma équivalent du montage pour chaque état de fonctionnement, exprimer  $u$  en fonction de  $v$ .
2. Représenter  $u(t)$ , calculer sa valeur moyenne et sa valeur efficace.

#### 2. Montage pont redresseur figure 3

Un générateur de tension  $v = V_{\max} \sin \omega t$  débite sur 4 diodes  $D_1, D_2, D_3, D_4$  supposées idéales montées en pont, la tension redressée double alternance  $u$  est prélevée aux bornes de la charge  $R$ .

1. Donner le schéma équivalent du montage pour chaque état de fonctionnement, exprimer  $u$  en fonction de  $v$ .
2. Représenter  $u(t)$ , calculer sa valeur moyenne et sa valeur efficace

### Exercice 7

Le montage de la figure 4 est attaqué par un signal sinusoïdal de valeur moyenne nulle  $v(t) = V_{\max} \sin \omega t$ , la diode est idéale.

1. Chercher  $e$  et  $u$  en fonction de  $v$
2. Représenter  $e, u$  et  $v$ , calculer la valeur moyenne de  $u(t)$  qu'elle est la fonction réalisée par ce montage.

### Exercice 8

Le montage de la figure 5 est attaqué par une source sinusoïdale

$$v(t) = V_{\max} \sin \omega t \quad V_{\max} = 100V \quad E = 90V$$

1. Tracer la caractéristique de transfert  $u = f(v)$
2. Tracer l'évolution temporelle de  $u$
3. Quelle est le signe de la valeur moyenne du signal  $u(t)$
4. Refaire la même étude pour le montage de la figure 6 dans le quel  $V_{\max} > E_1 > E_2$



### Exercice 9

Une source de tension  $E$  redressée et filtrée est susceptible de varier autour de sa valeur moyenne. On veut réguler cette source à l'aide d'une diode Zener.

1 - La caractéristique de la diode Zener est donnée sur la figure 7

a. Donner le schéma électrique équivalent de la diode Zener

b. Sachant que la puissance maximale dissipable dans la diode Zener est  $P_{\max} = 1,4 \text{ W}$ .

Calculer le courant maximal  $I_{z\max}$  et la tension maximale  $V_{\max}$  qu'il ne faut pas dépasser

2 - Cette diode est utilisée dans le circuit de la figure 8

On donne :  $R_C = 130 \Omega$

a. Pour  $E = 43 \text{ volts}$  on désire  $I_Z = 50 \text{ mA}$ , calculer la valeur de la résistance de protection  $R_P$

b. Calculer ( $E_{\max}$ ) la valeur maximale de  $E$  qu'il ne faut pas dépasser

c. Calculer ( $F$ ) le facteur de stabilisation amont du montage

d. Calculer ( $G$ ) le facteur de stabilisation aval du montage

e. Conclure.

### EXERCICE 10

Le montage de la figure 9 est attaqué par un signal sinusoïdal de valeur moyenne nulle  $e(t) = E_{\max} \sin \omega t$ , la diode est idéale.

1. Sachant qu'à l'instant initial  $t=0$  le condensateur  $C$  est déchargé c.a.d.  $v(t=0) = 0$ .

Déterminer l'expression du signal  $v(t)$  et les coordonnées des points de changement de courbure. Représenter soigneusement sur le même graphe  $e(t)$  et  $v(t)$ .

2. Etudier les cas limites  $C \rightarrow 0$  et  $C \rightarrow \infty$ , conclure.

3. Soit  $\Delta V$  l'ondulation : Dans l'hypothèse  $RC \gg T$ , montrer que  $\Delta V / E = T / RC$ , conclure.

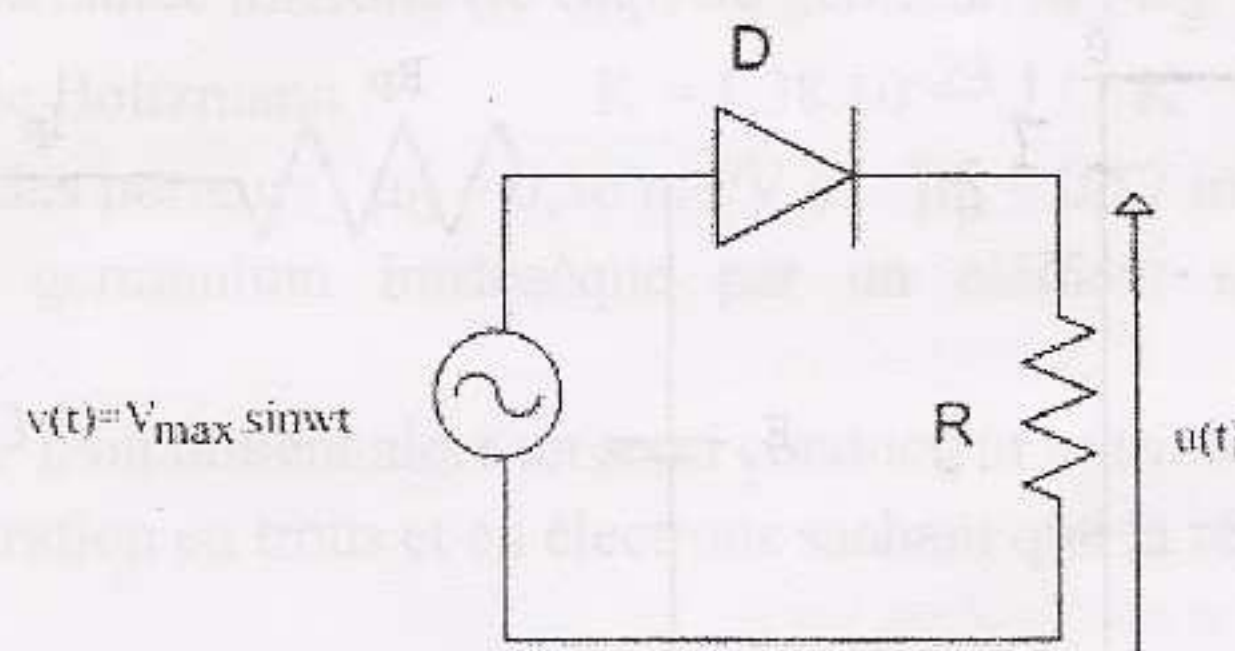


Figure.1

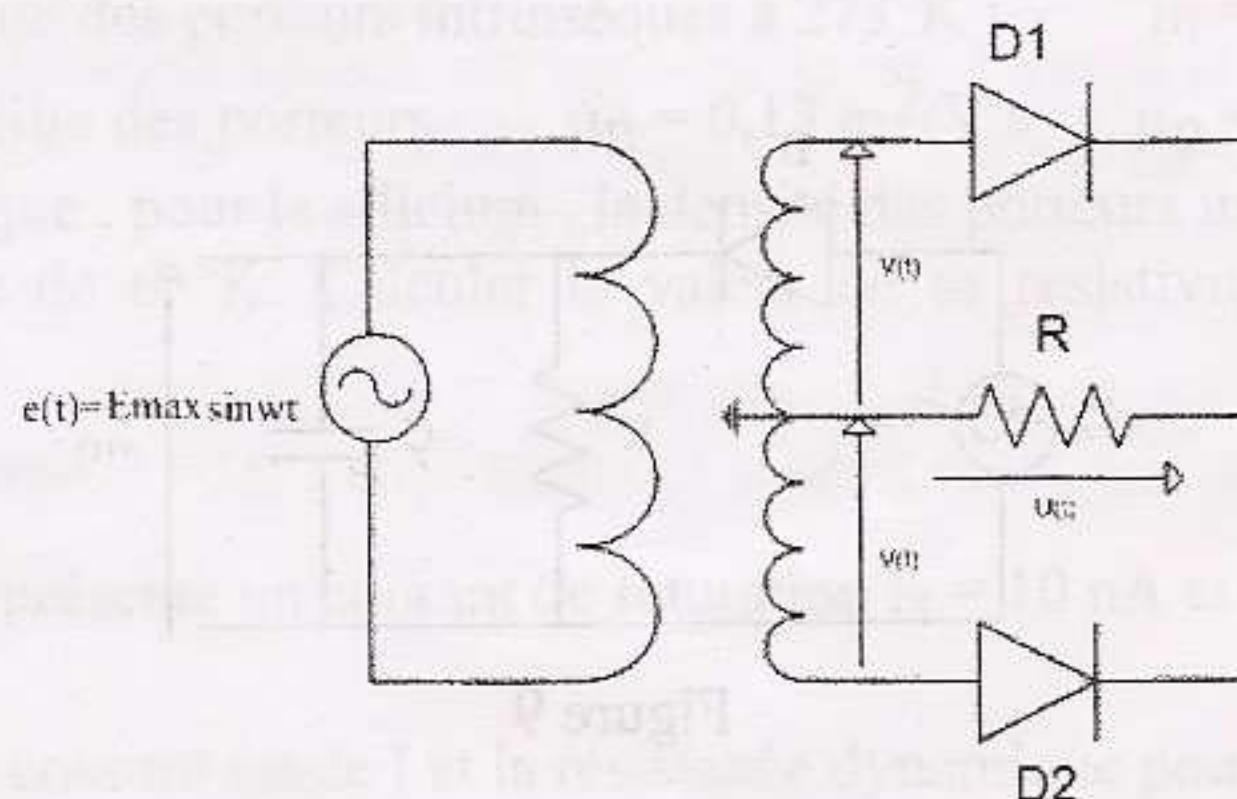


Figure. 2



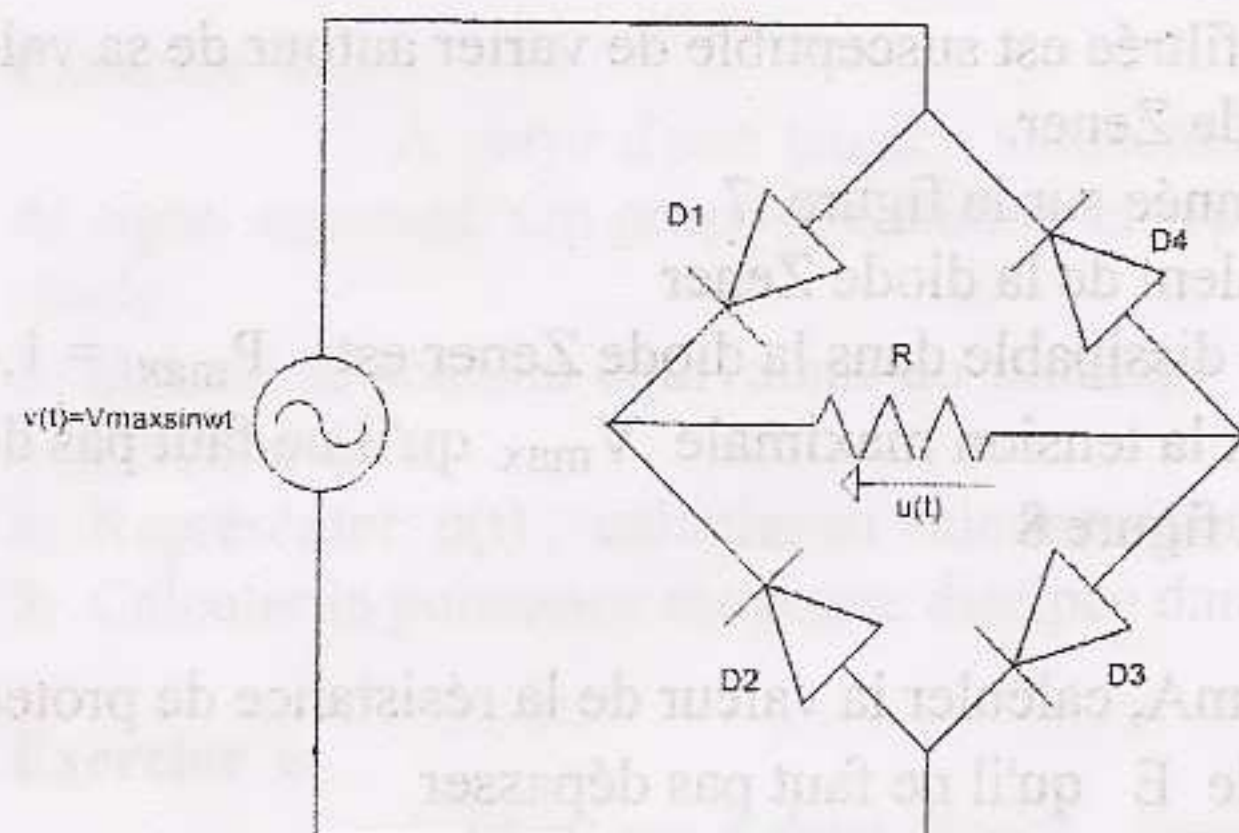


Figure 3

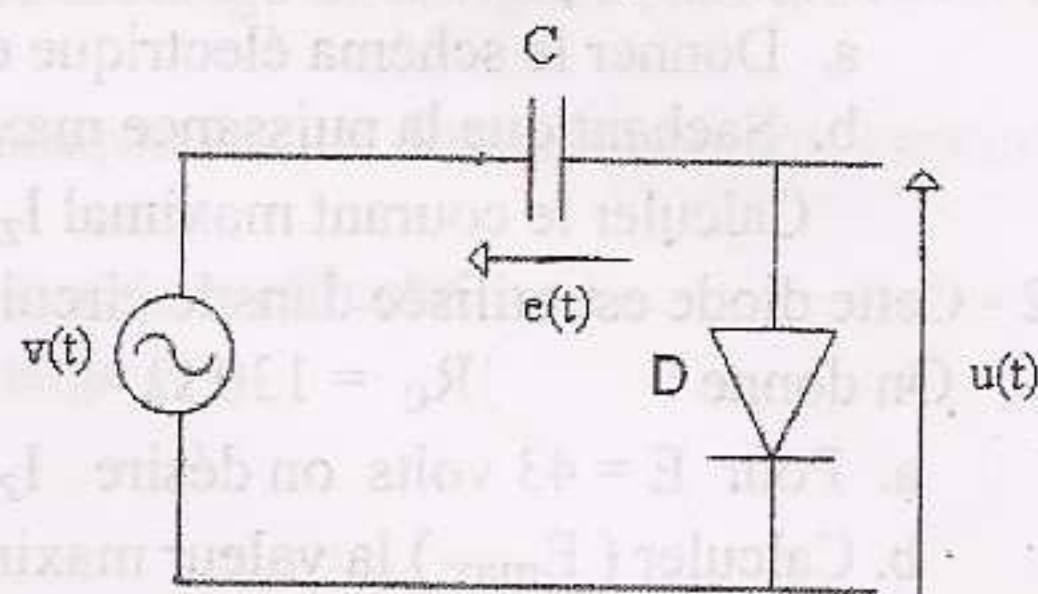


Figure 4

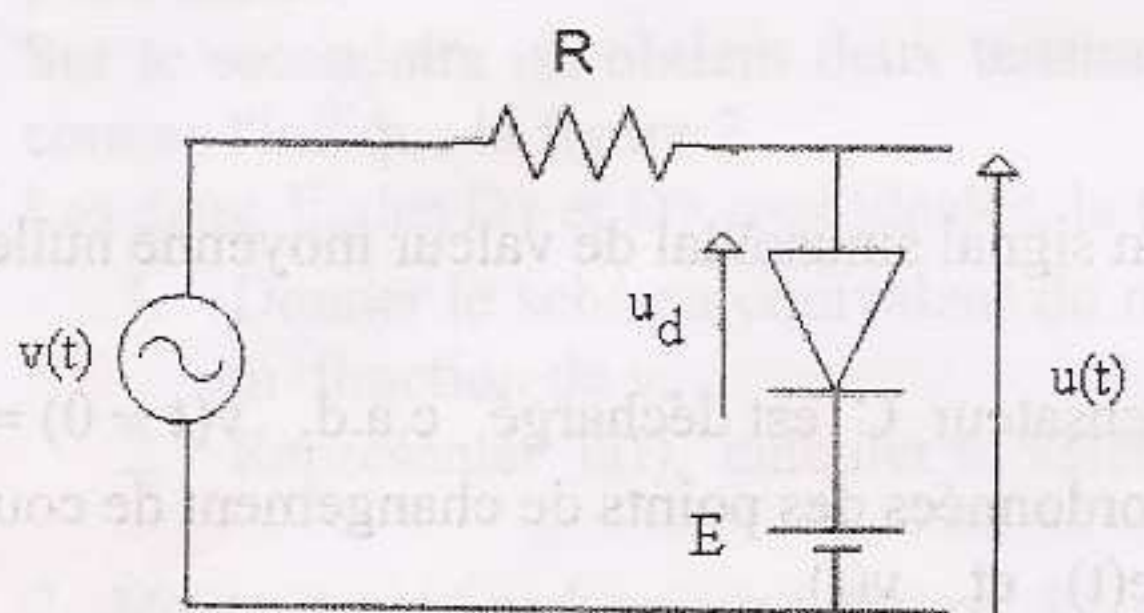


Figure 5

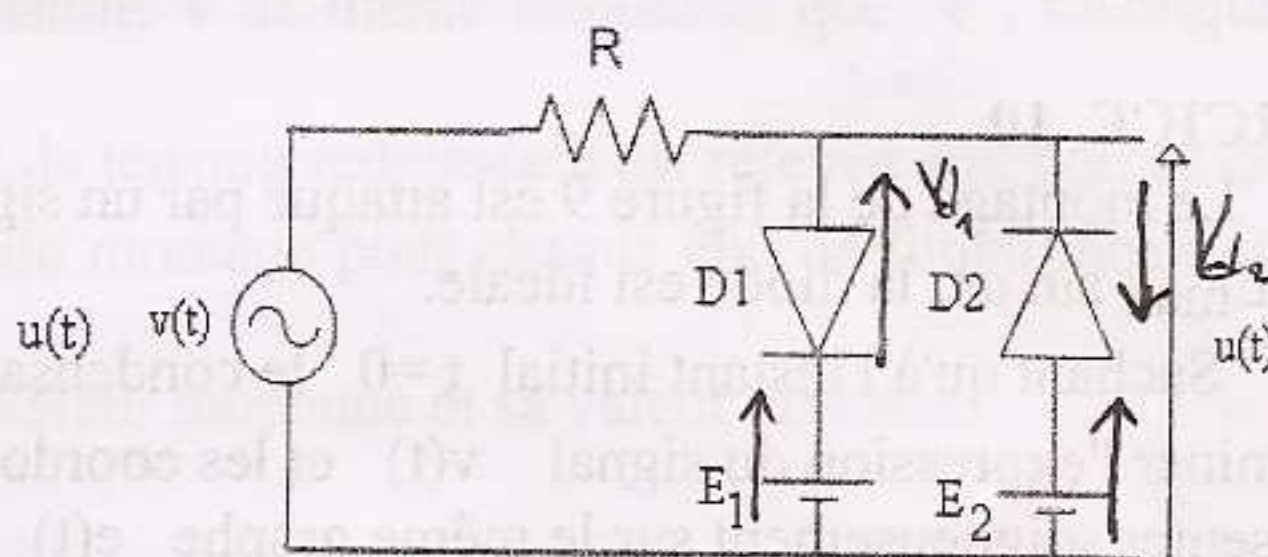


Figure 6

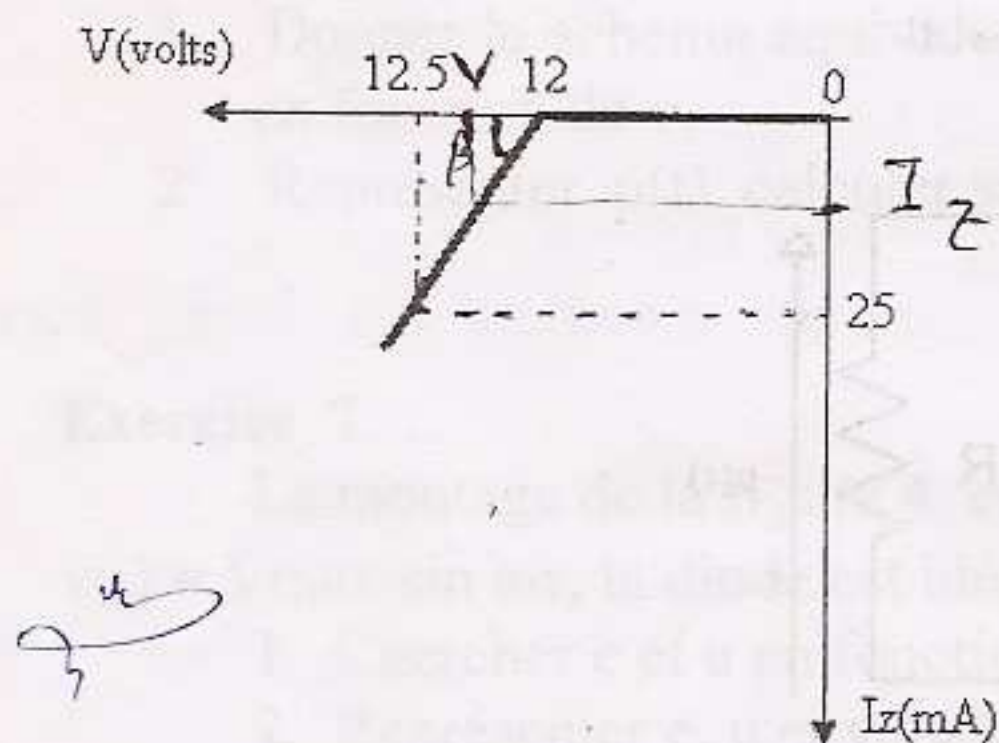


Figure 7

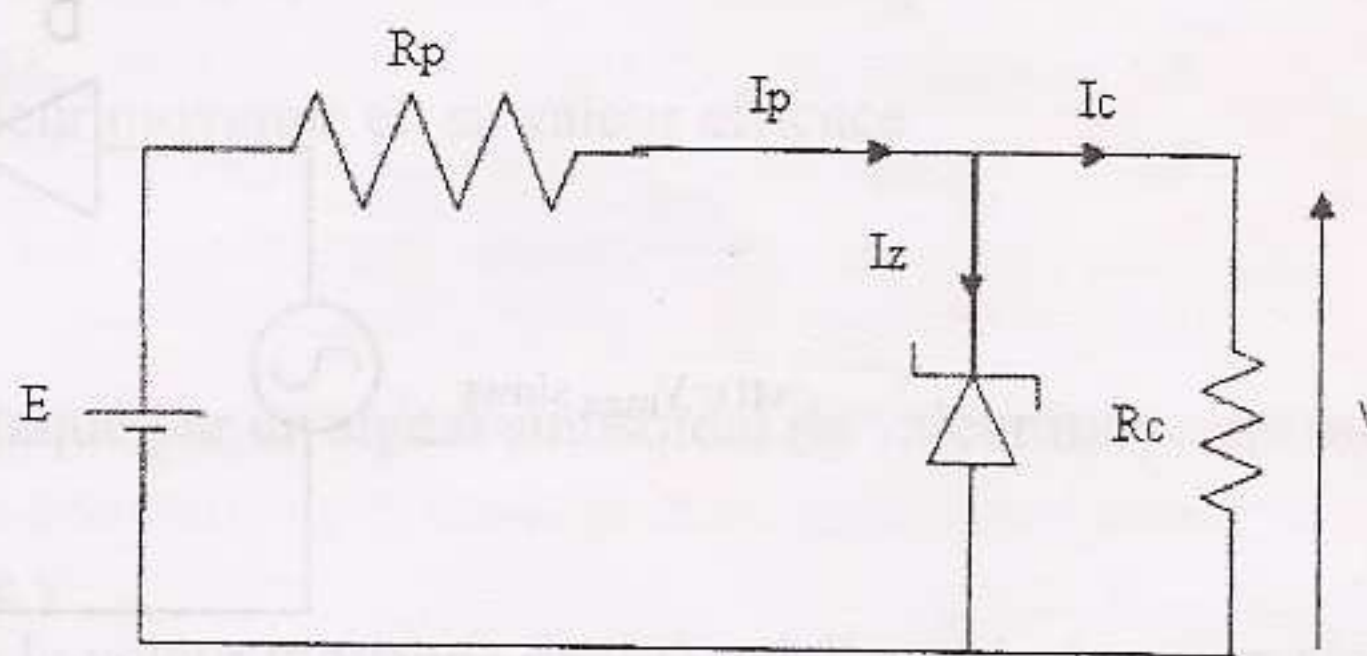


Figure 8

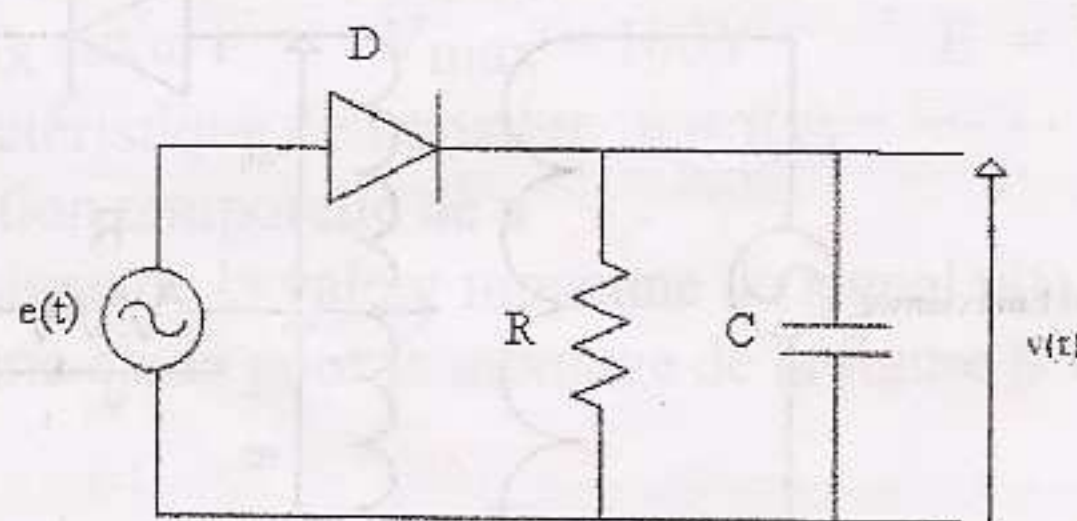


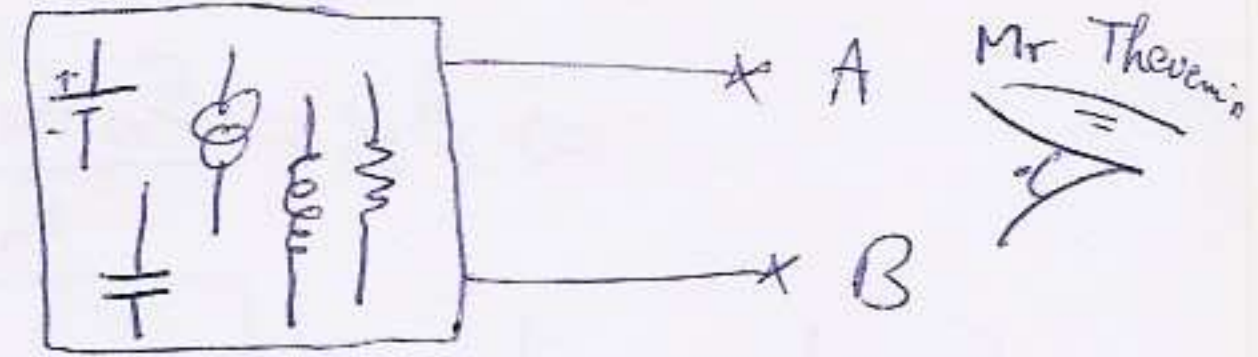
Figure 9



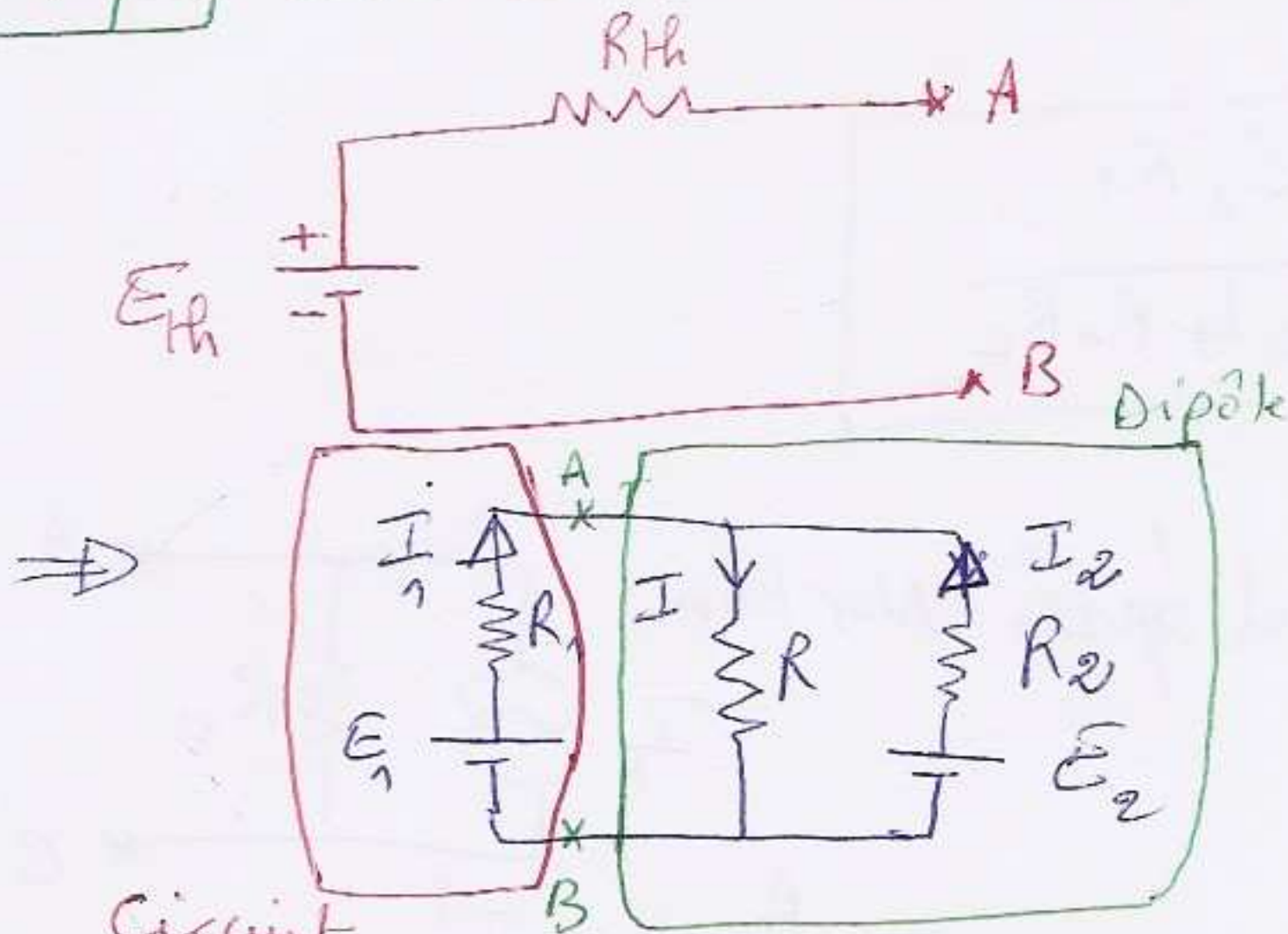
Pr AZOUGAR H  
ABedelhafid

# Série 1

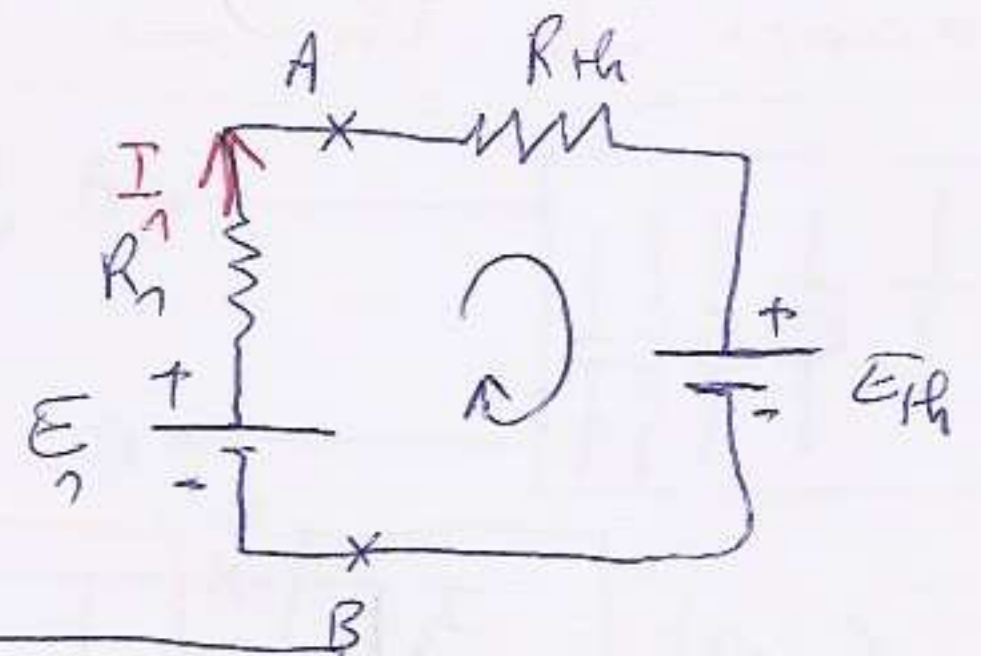
Ex 1 Énoncé du th. de Thévenin :



+ Réseau électrique dipôle actif et linéaire



1°  $I_1$  !  
2° après Th.



$$I_1 = \frac{E_1 - E_{Th}}{R_1 + R_{Th}}$$

Circuit extérieur  
2°  $\Rightarrow R_{Th}, E_{Th}$  ?

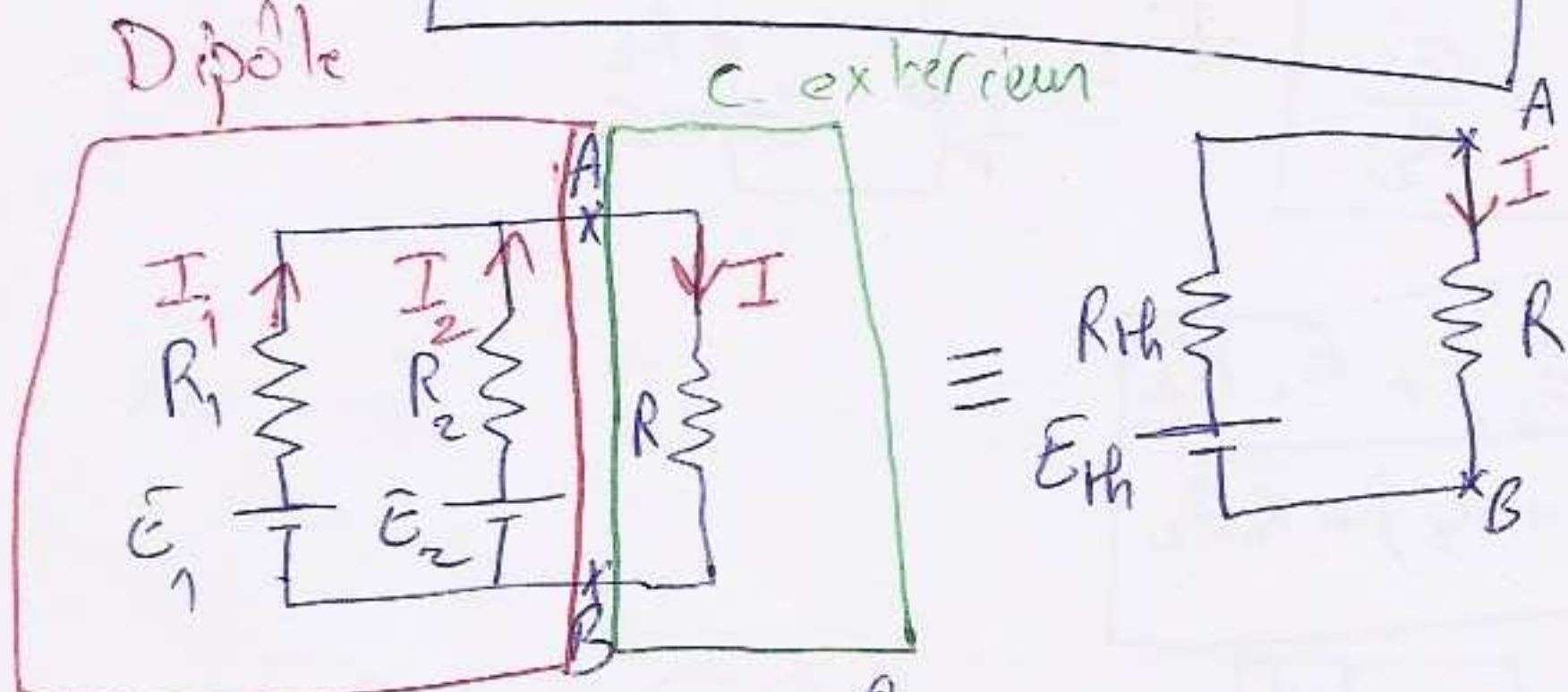
\*  $R_{Th}$  ?

$$R_{Th} = R // R_2 = \frac{R R_2}{R + R_2}$$

\*  $E_{Th}$  :

$$E_{Th} = \frac{R}{R + R_2} E_2$$

$$I_1 = \frac{(E_1 - E_2) R + E_1 R_2}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$



$$I = \frac{E_{Th}}{R + R_{Th}}$$

\*  $R_{Th}$  :

$$R_{Th} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

\*  $E_{Th}$  :

$$(V_A - V_B) = E_{Th}$$



$$E_H = (V_A - V_B) = E_1 - R_1 I' = E_1 - R_1 \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

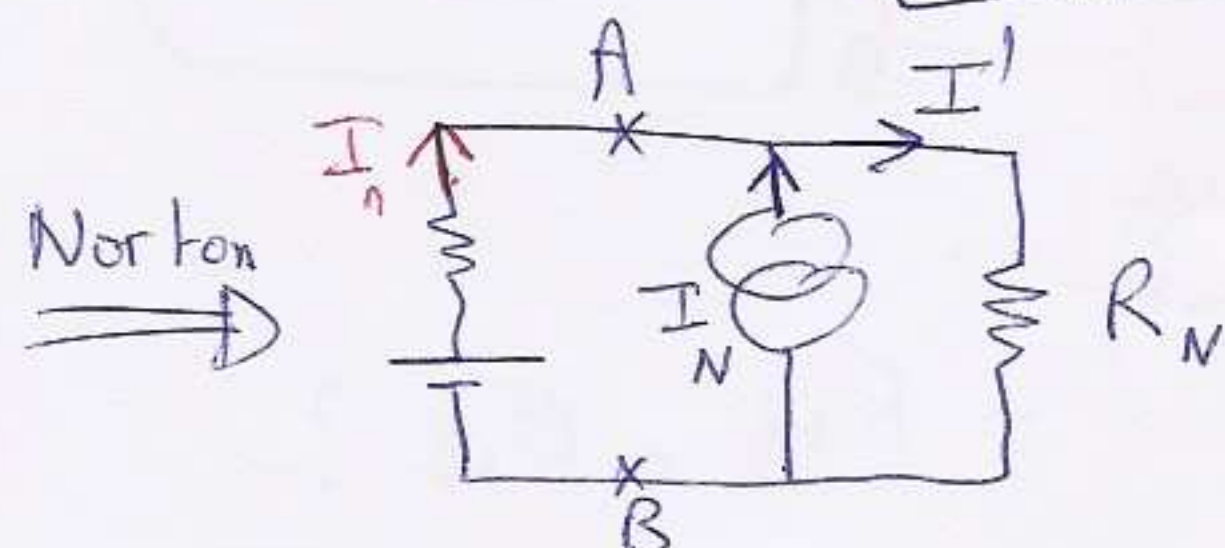
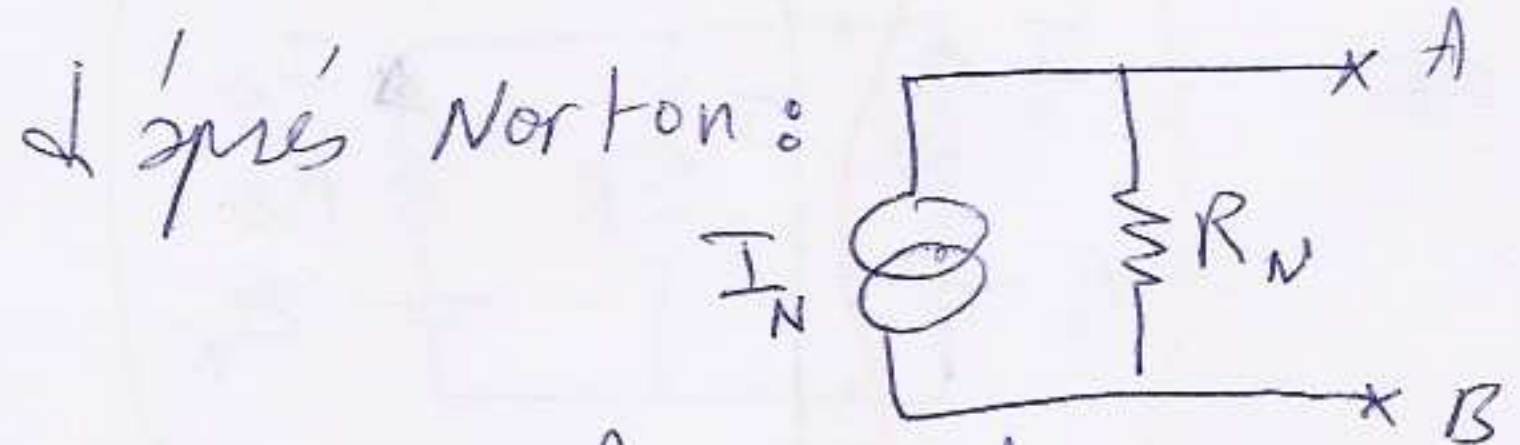
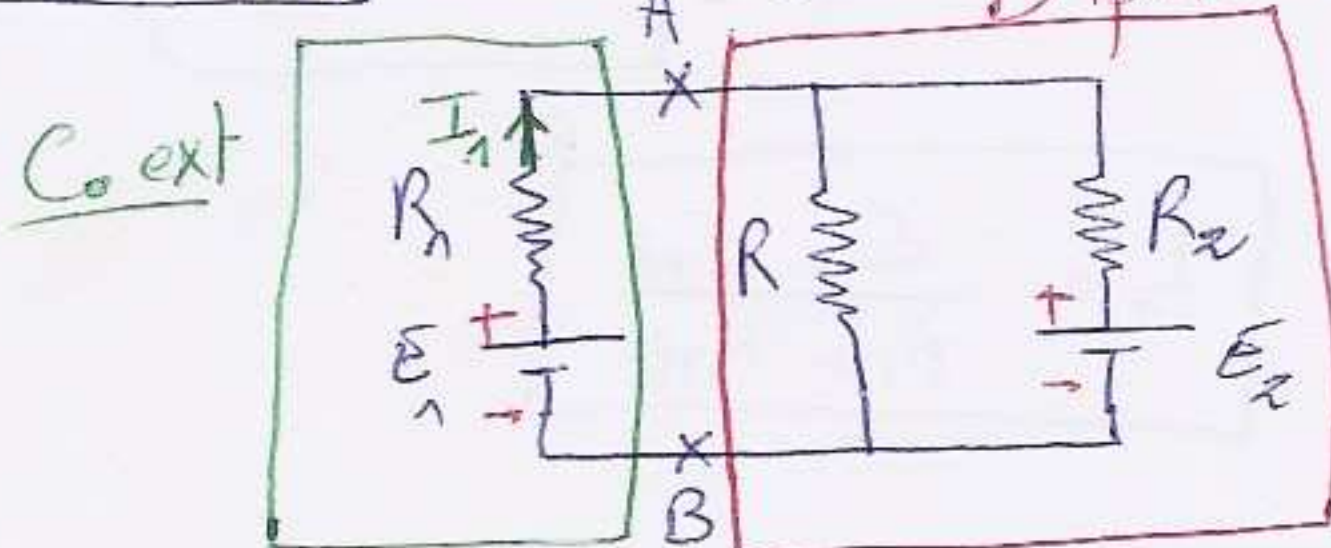
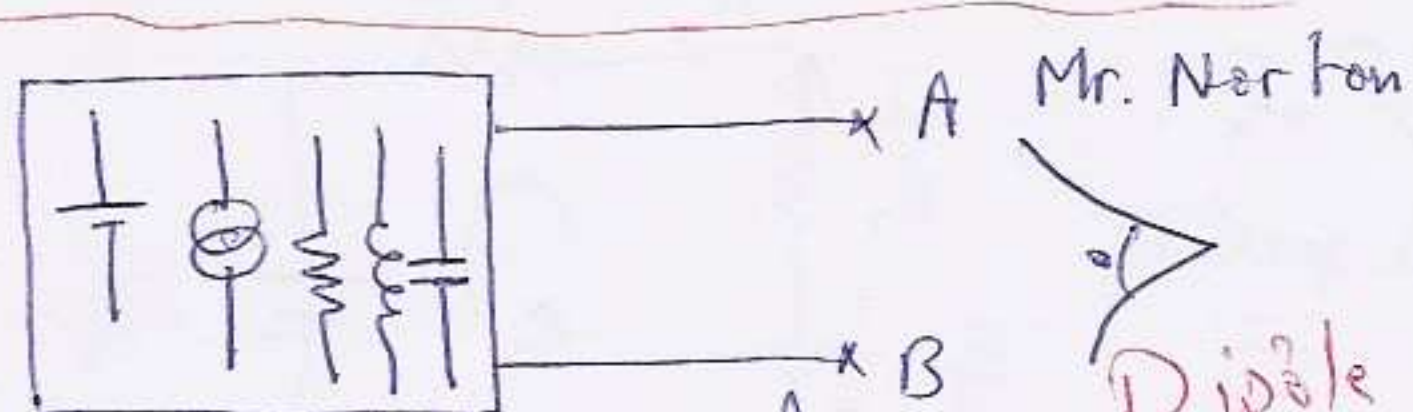
$$E_2 - E_1 + (R_1 + R_2) I' = 0 \quad \text{et} \quad I' = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow E_H = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 + R_2}$$

\* Finalemment :

$$I = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$

Enoncé du Th. de Norton



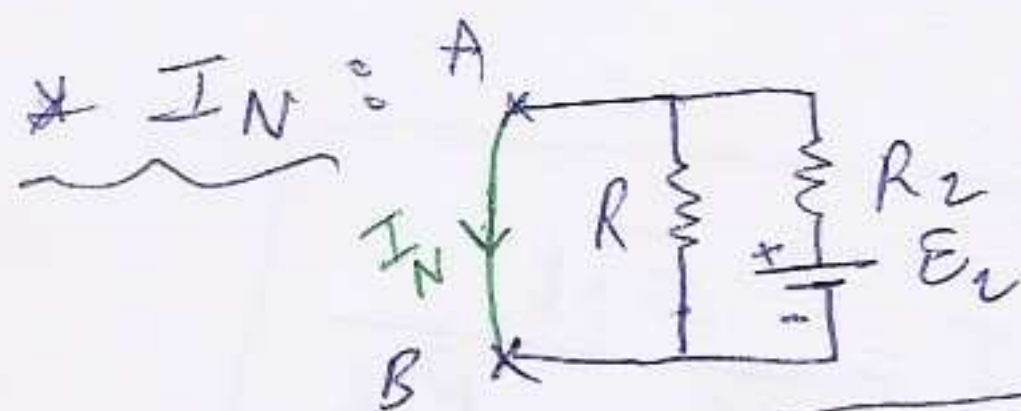
$$I_1 + I_N = I' = \frac{V_{AB}}{R_N} = \frac{E_1 - R_1 I_1}{R_N}$$

$$I_1 + I_N = \frac{E_1 - R_1 I_1}{R_N}$$

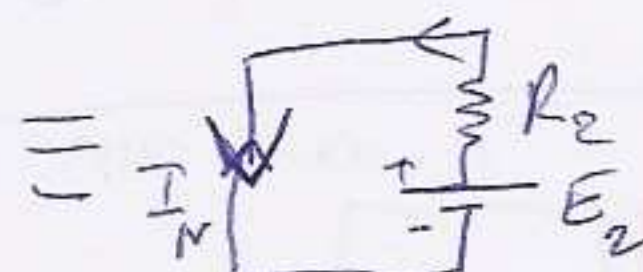
$$I_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_N}\right) = \frac{E_1}{R_N} - I_N \Rightarrow I_1 = \frac{E_1 - R_N I_N}{R_1 + R_N}$$

\*  $R_N \equiv R_H$  :

$$R_N = \frac{R R_2}{R + R_2}$$

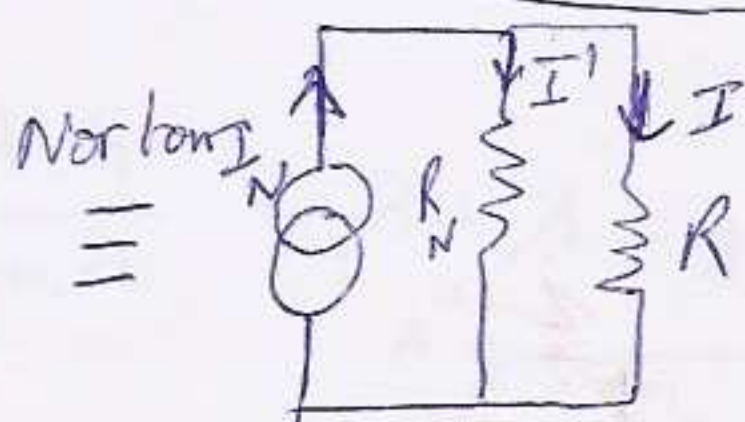
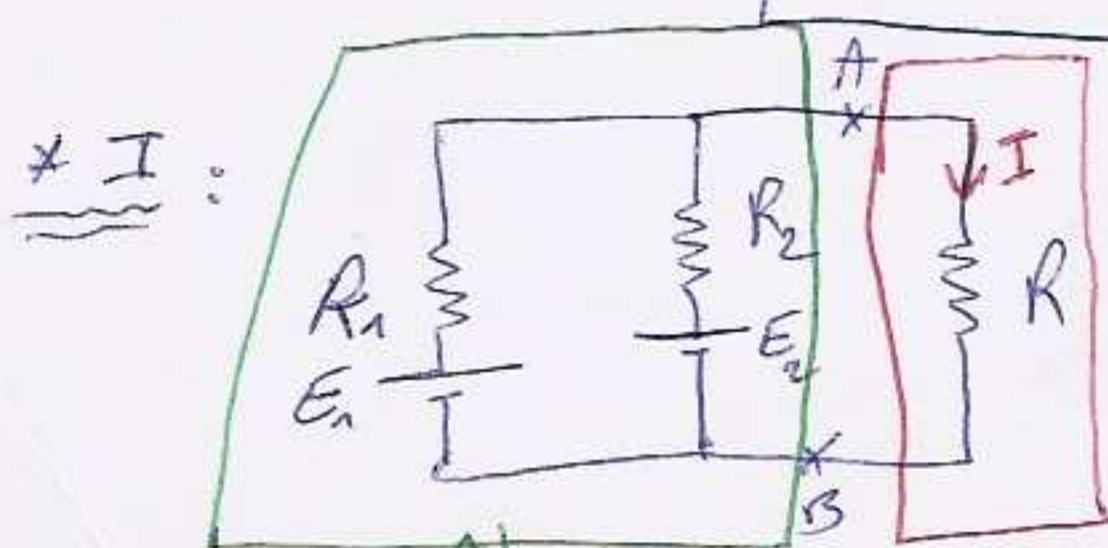


$$I_N = \frac{E_2}{R_2}$$



\* Finalemment :

$$I_1 = \frac{R(E_1 - E_2) + E_1 R_2}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$



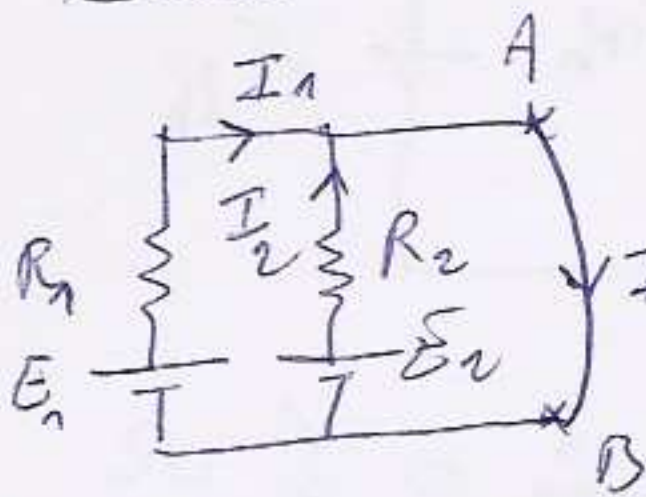
Donc  $I = \frac{R_N}{R + R_N} \cdot I_N$



\*  $I_N$ :

$$R_N = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

T.D.E.R.C.



$$I_N = I_1 + I_2$$

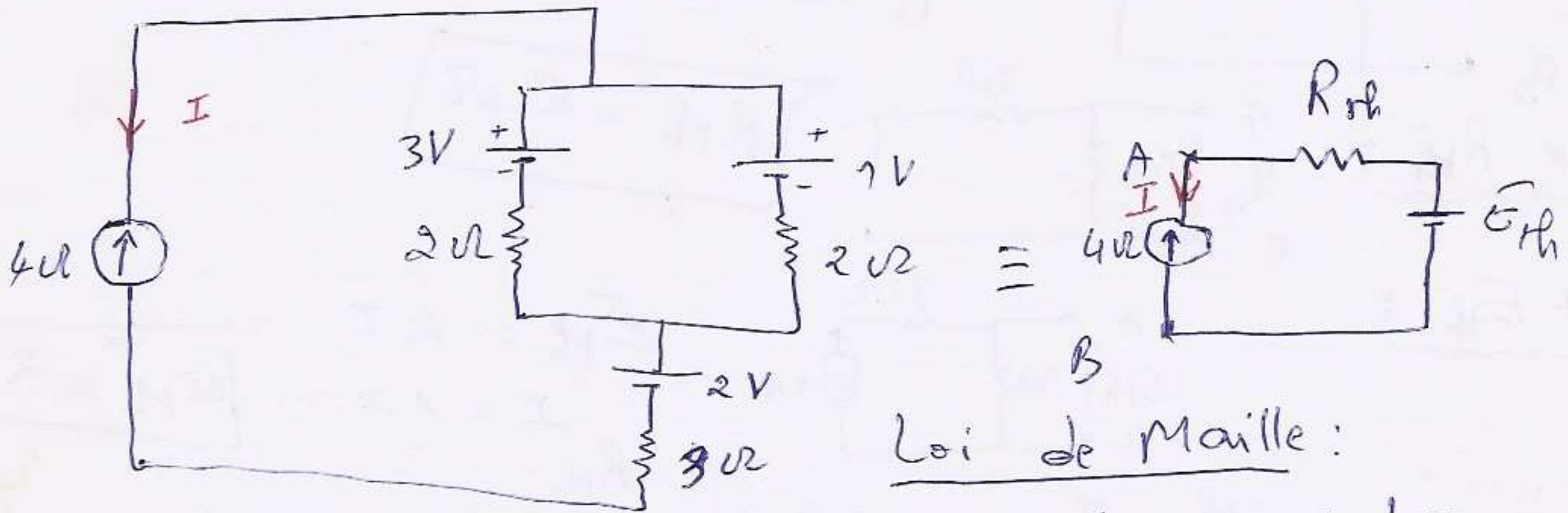
$$\text{at } V_{AB} = 0: V_{AB} = 0 = E_1 - R_1 I_1 = E_2 - R_2 I_2$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{1} = \frac{E_1}{R_1} \text{ et } I_2 = \frac{E_2}{R_2}$$

$$\Rightarrow I_N = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 R_2}$$

$$I_{\text{th}} = \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 R_2}}{R + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$

b°/

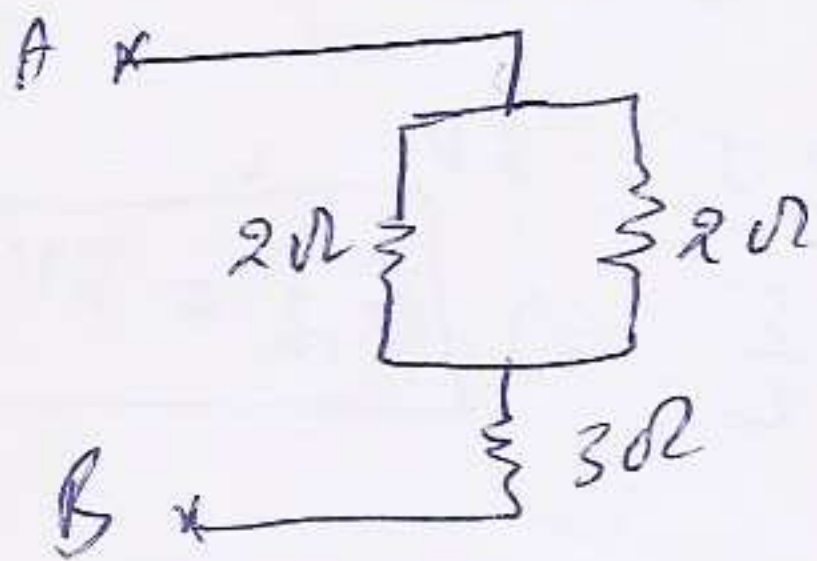


Loi de Maille:

$$E_{th} = (R_{th} + 4) I$$

$$\Rightarrow I = \frac{E_{th}}{4 + R_{th}}$$

\* Calcul de  $R_{th}$ :



$$R_{th} = \frac{2 \times 2}{2 + 2} + 3 = 4 \Omega \Rightarrow R_{th} = 4 \Omega$$

$E_{th}$ ?

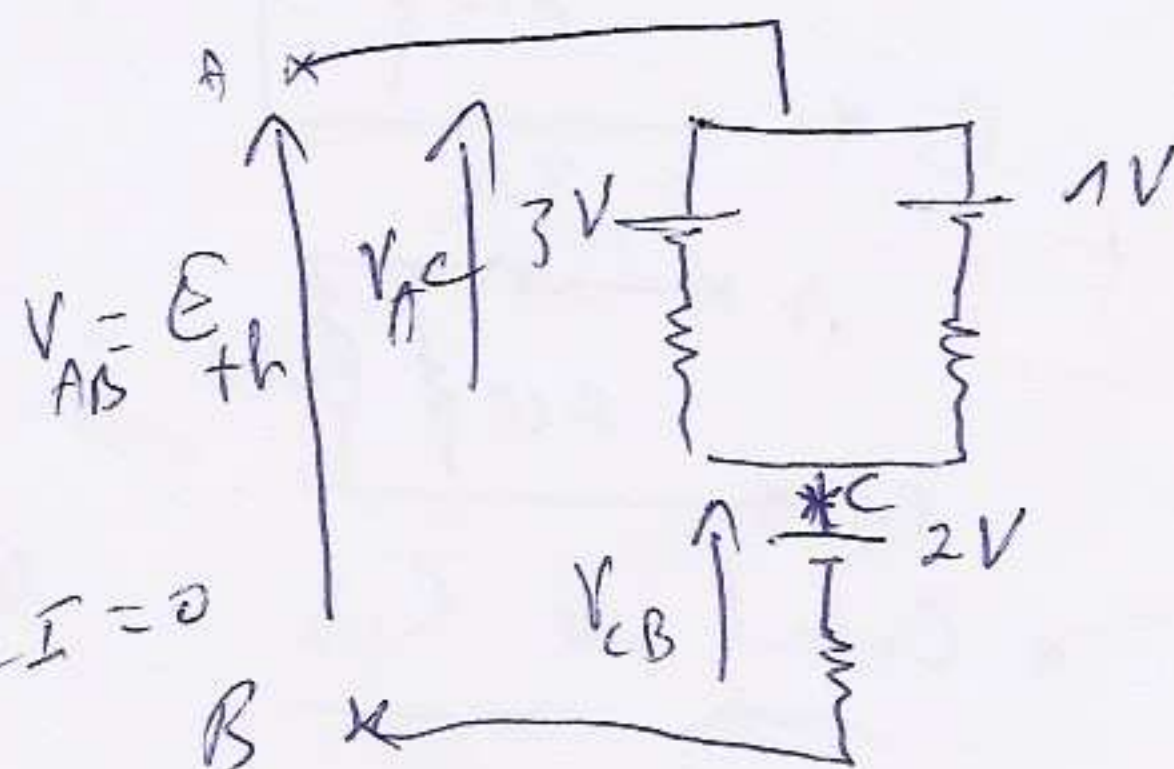
$$E_{th} = V_{AC} + V_{CB}$$

$$V_{AC} = 3 - 2 = 1 \text{ V}$$

$$\text{Loi de Maille: } 3 - 1 - 2I - 2I = 0$$

$$\Rightarrow I = \frac{1}{2} \text{ A}$$

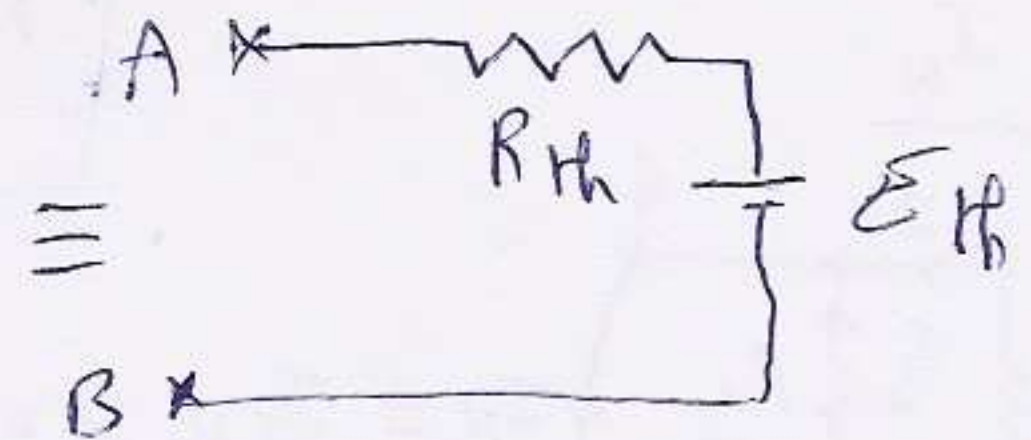
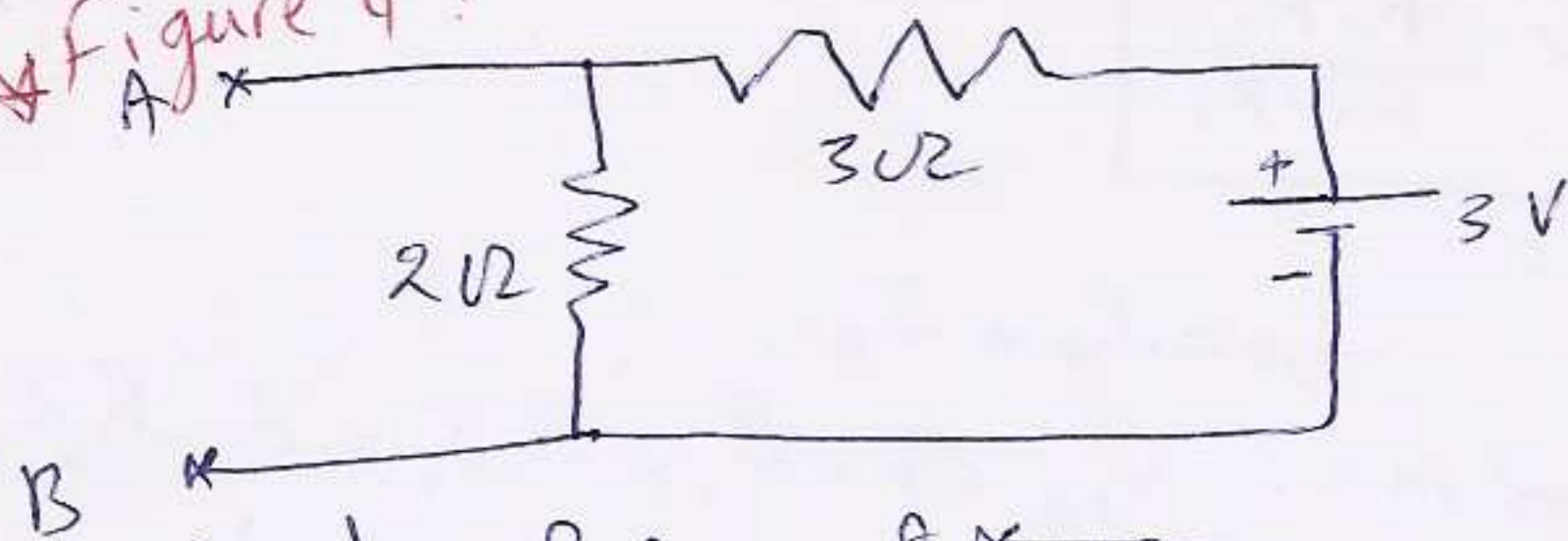
$$V_{AC} = 3 - 2I = 2 \text{ V}$$



$$\Rightarrow I = \frac{4}{4 + 4} = 0,5 \text{ A}$$



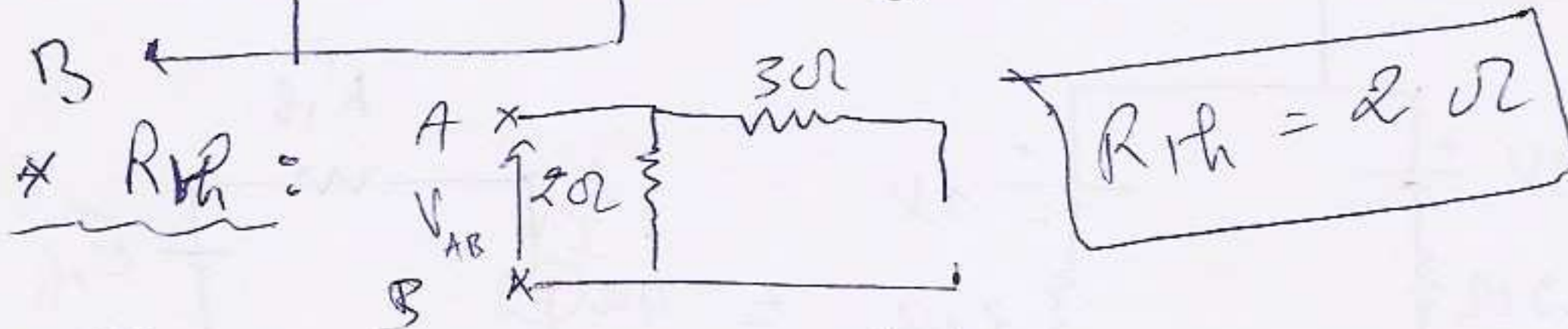
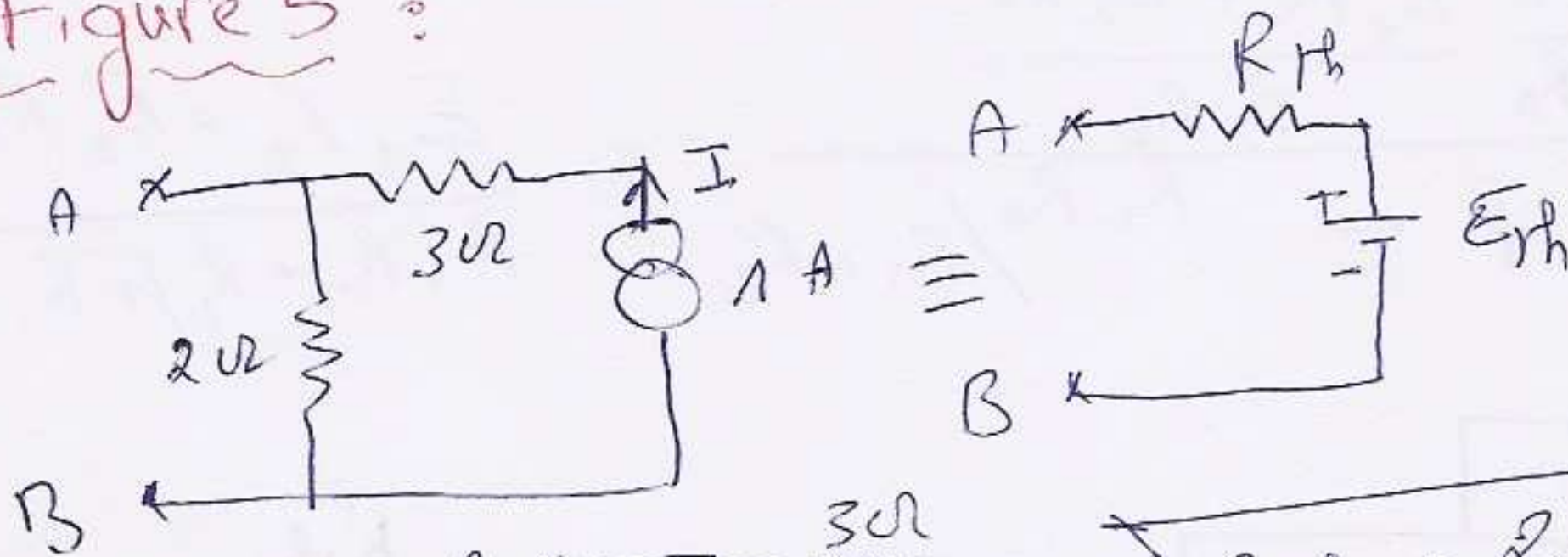
\* Figure 4 :



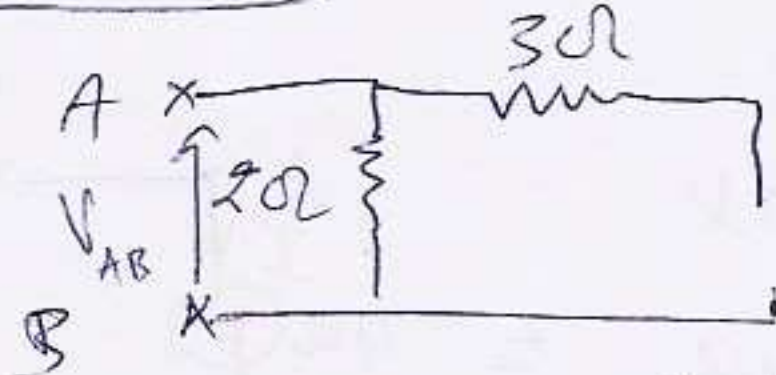
\* Calcul  $R_{th}$  :  $R_{th} = \frac{2 \cdot 3}{2 + 3} = \frac{6}{5} \Omega$

\* Calcul  $E_{th}$  :  $E_{th} = V_A - V_B = 2I$   
avec  $I = 3/11$   $\left\{ E_{th} = \frac{6}{11} V \right.$

\* Figure 5 :

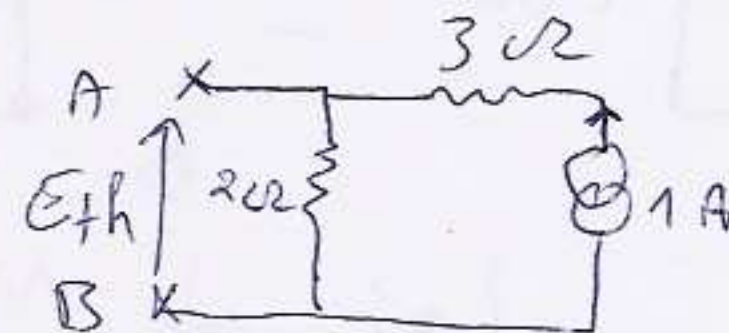


\*  $R_{th}$  :



$R_{th} = 2 \Omega$

\*  $E_{th}$  :

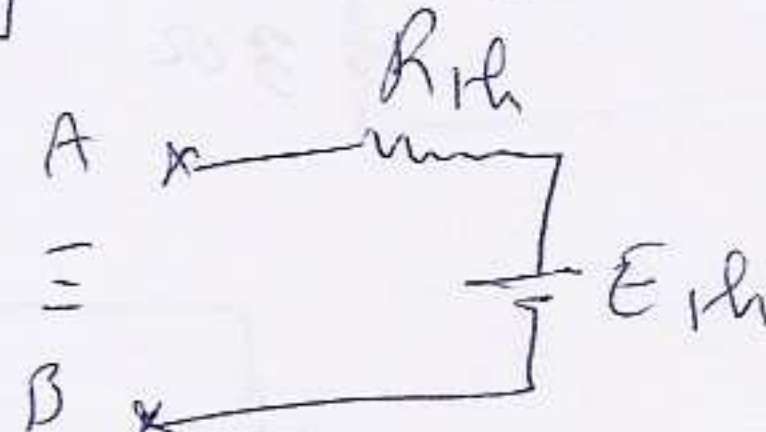
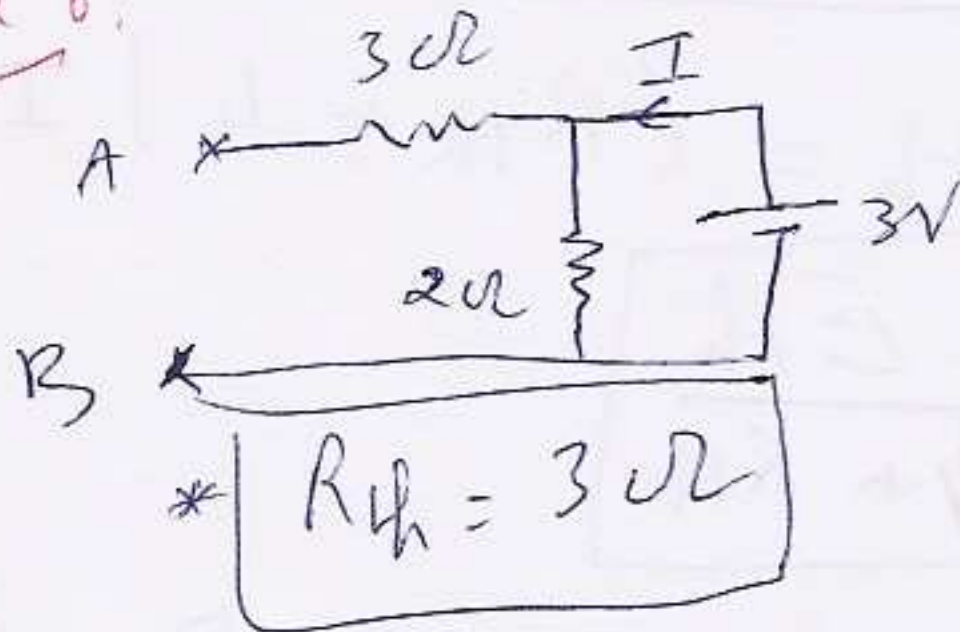


$E_{th} = 2I$

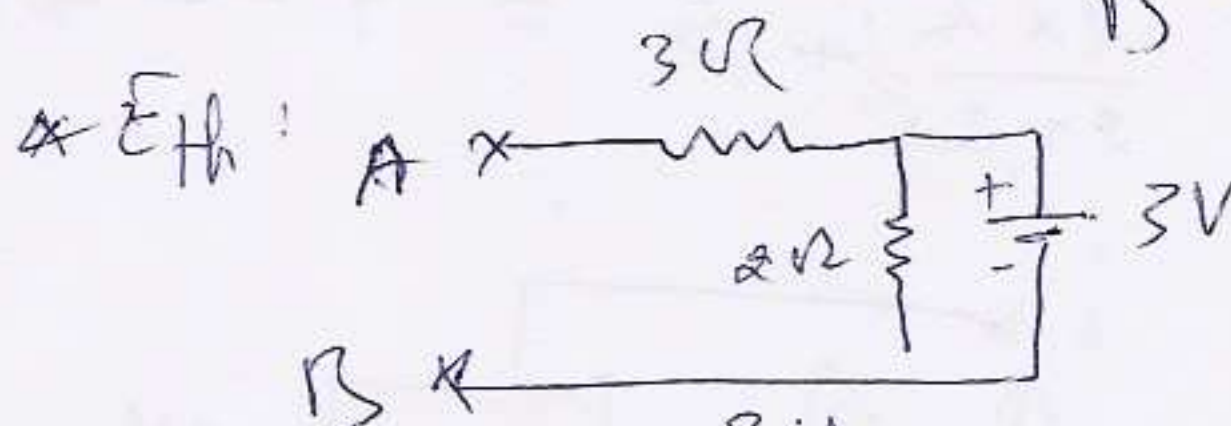
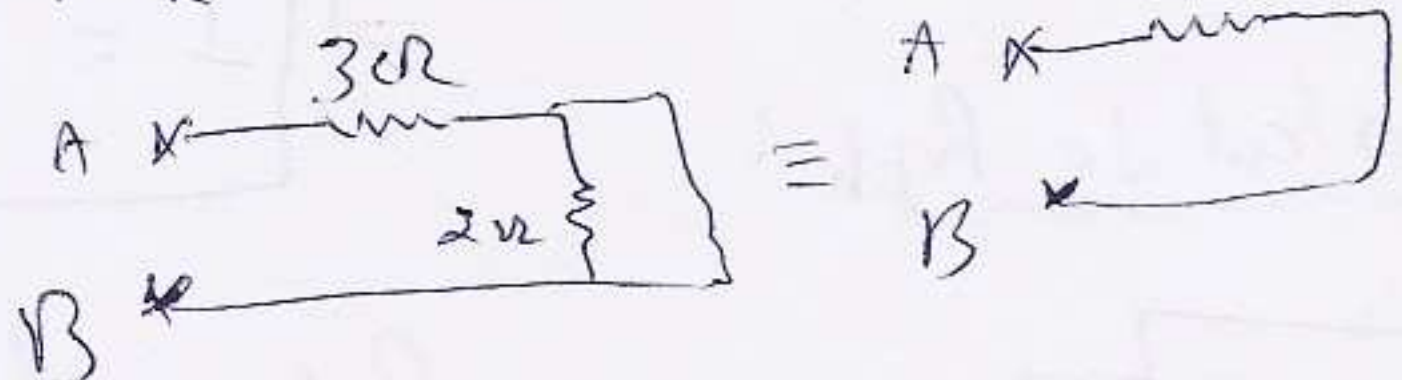
$I = 1A \Rightarrow$

$E_{th} = 2V$

\* Figure 6 :



\*  $R_{th} = 3 \Omega$

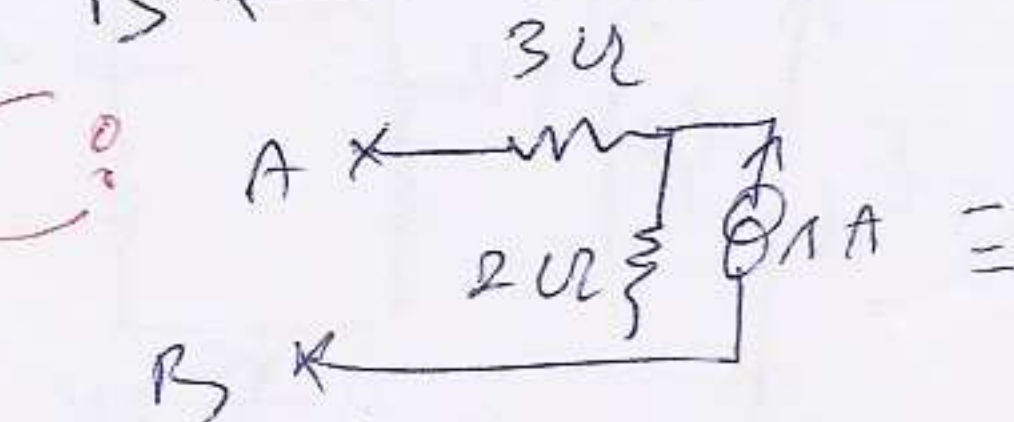


$E_{th} = 2I = 3V$

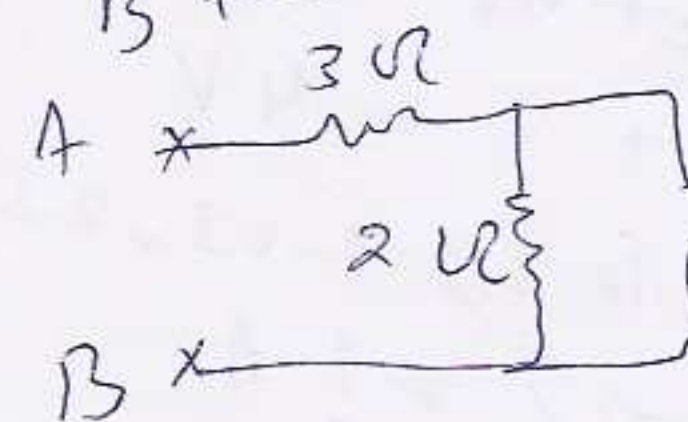
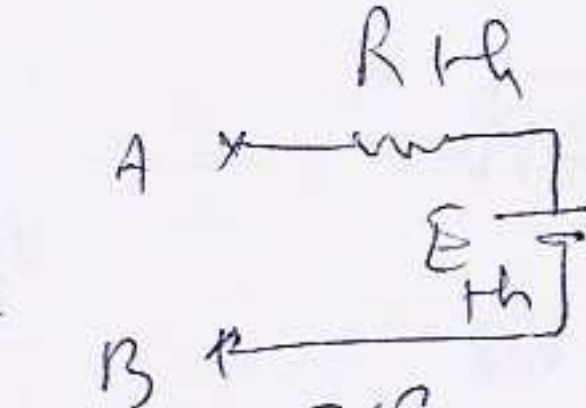
$I = \frac{3}{2} \Rightarrow$

$E_{th} = 3V$

\* Figure 7 :



\* Calcul de  $R_{th}$  :

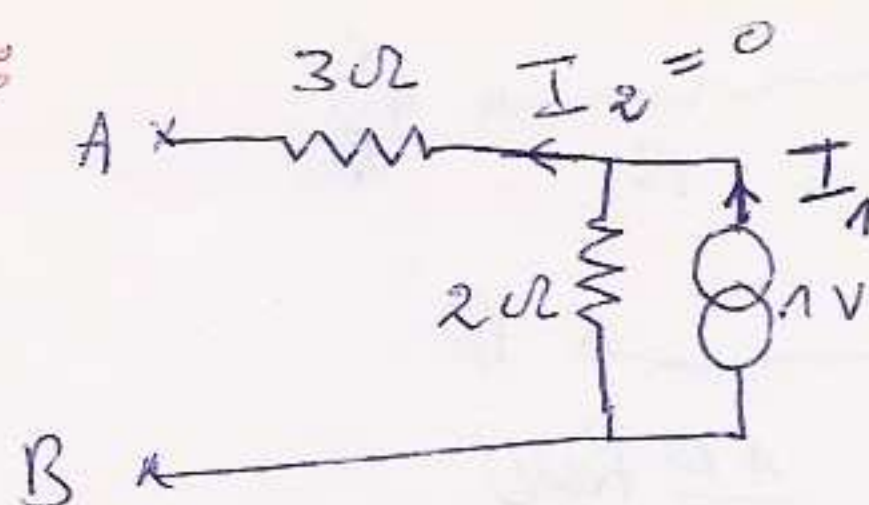


$R_{th} = 3 + 2 = 5 \Omega$

\* Calcul de  $E_{th}$  :



\* Calcul de  $E_{th}$ :

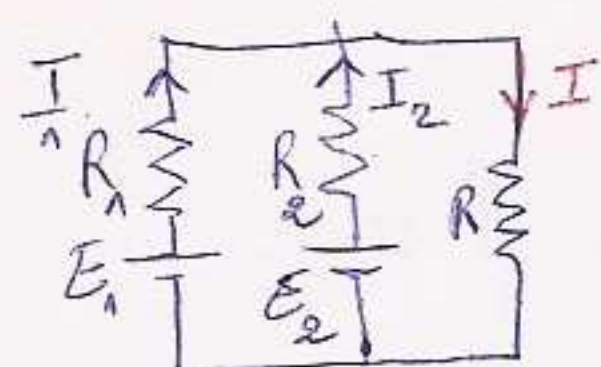


$$E_{th} = 2I_1 = 2 \times 1$$

$$E_{th} = 2V$$

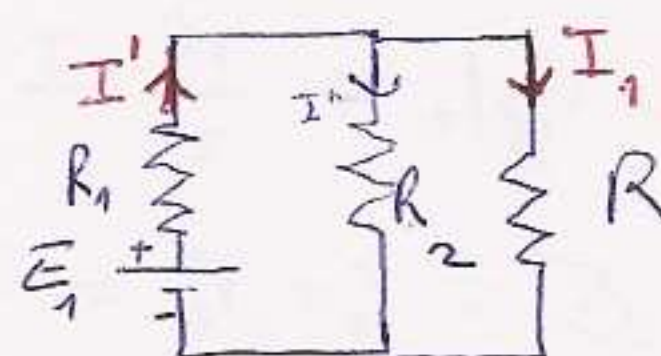
**EX 2**

**Enoncé du th. de superposition:** La réponse d'un circuit électrique à plusieurs excitations appliquées simultanément (au même temps) est égale à la somme des réponses de chaque excitation appliquée toute seule.



$$I = I_1 \Big|_{\substack{E_1 \neq 0 \\ E_2 = 0}} + I_2 \Big|_{\substack{E_1 = 0 \\ E_2 \neq 0}}$$

\* Calcul de  $I_1$ :



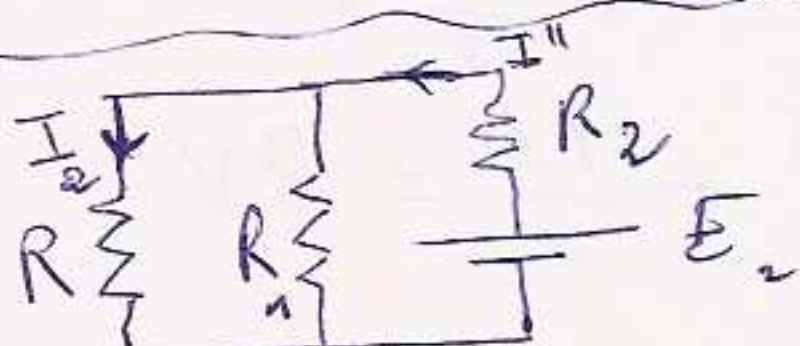
$$I_1 = \frac{R_2}{R + R_2} I'$$

$$I' ? \quad R_{eq} = \frac{R R_2}{R + R_2}$$

$$I' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R R_2}{R + R_2}}$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{R_2 E_1}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$

\* Calcul de  $I_2$ :



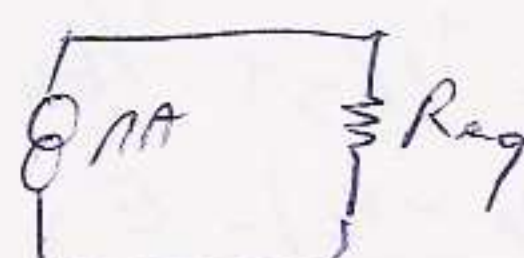
De m on calcule  $I_2$  ou bien en remarque que ce montage est symétrique au précédent et bien on remplace seulement  $E_1$  par  $E_2$  et  $R_1$  par  $R_2$

$$\text{Donc } I_2 = \frac{R_1 E_2}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$

$$\Rightarrow I = I_1 + I_2 = \frac{R_1 E_2 + R_2 E_1}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$

$$b) (V_A - V_B) = (V_A - V_B)_1 \Big|_{\substack{E_1 = 0 \\ I \neq 0}} + (V_A - V_B)_2 \Big|_{\substack{E_1 \neq 0 \\ I = 0}}$$

$$(V_A - V_B)_1 ?$$



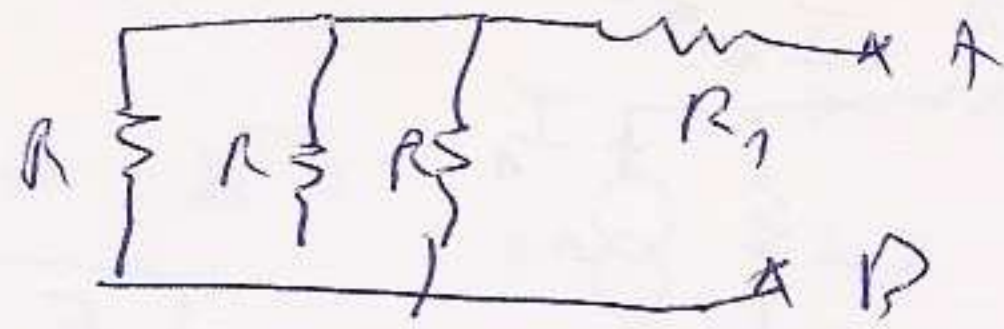
$$(V_A - V_B)_1 = 12V$$

$$(V_A - V_B)_2 = 30I \quad \text{avec} \quad I = \frac{15}{30} A \Rightarrow (V_A - V_B)_2 = \frac{30 \times 15}{30}$$

$$(V_A - V_B) = 9V \Rightarrow (V_A - V_B) = 21V$$

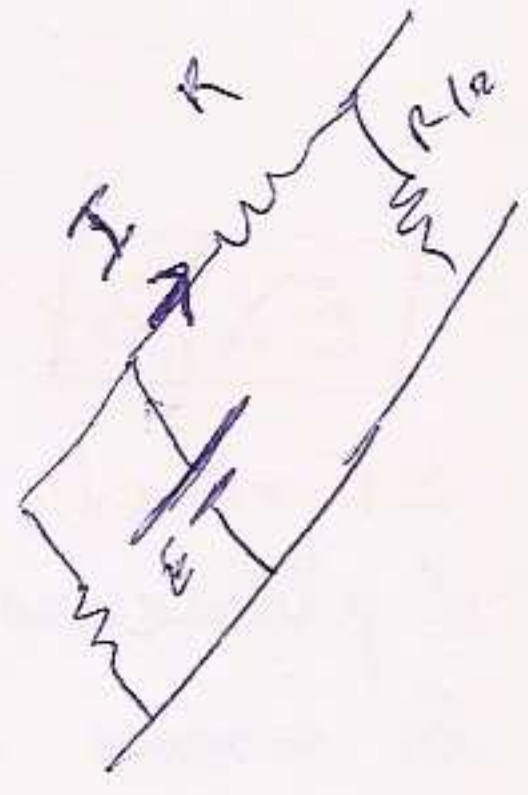
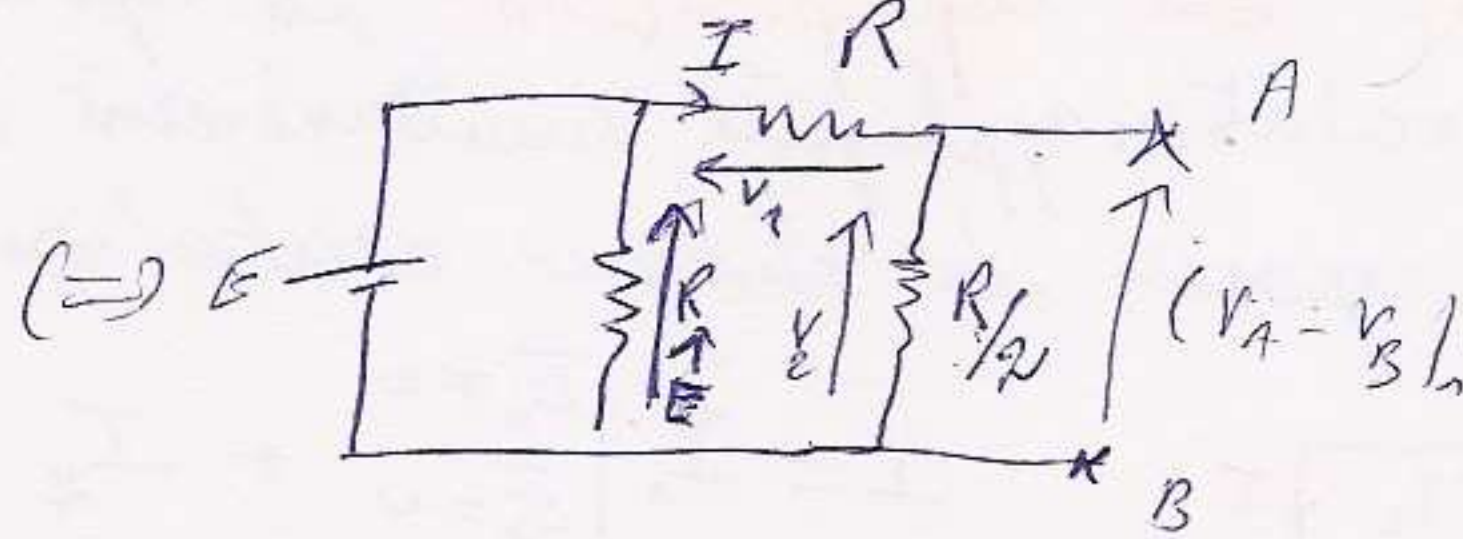
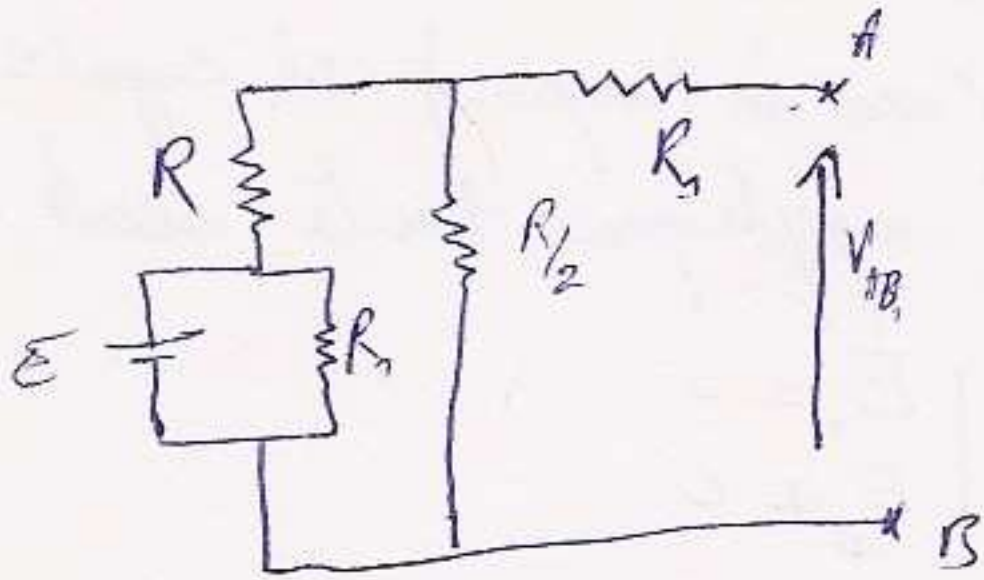


EX/3 10/ Rth ?



$$R_{th} = \frac{R}{3} + R_1 = \frac{10}{3} \text{ K}\Omega$$

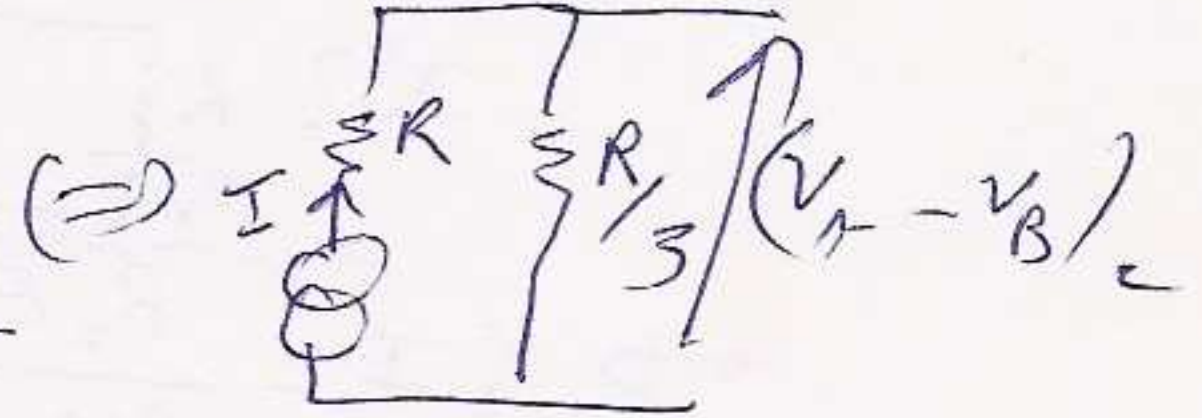
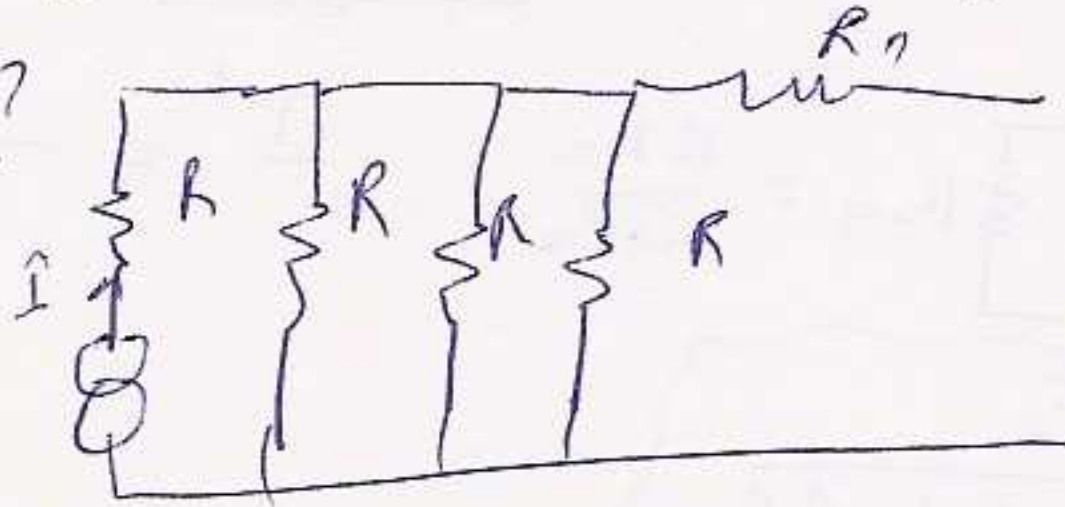
27  $(V_A - V_B) = E_{th} = (V_A - V_B)_1 \Big|_{I=0} \quad E=8V + (V_A - V_B)_2 \Big|_{I=4mA} \quad E=0V$



$$(V_A - V_B)_1 = \frac{R}{2} I = \frac{2ER}{3R \times 2} = \frac{E}{3} = \frac{8}{3} \text{ V}$$

$$E = V_1 + V_2 = I(R + \frac{R}{2}) = \frac{3R}{2} I \Rightarrow I = \frac{2E}{3R}$$

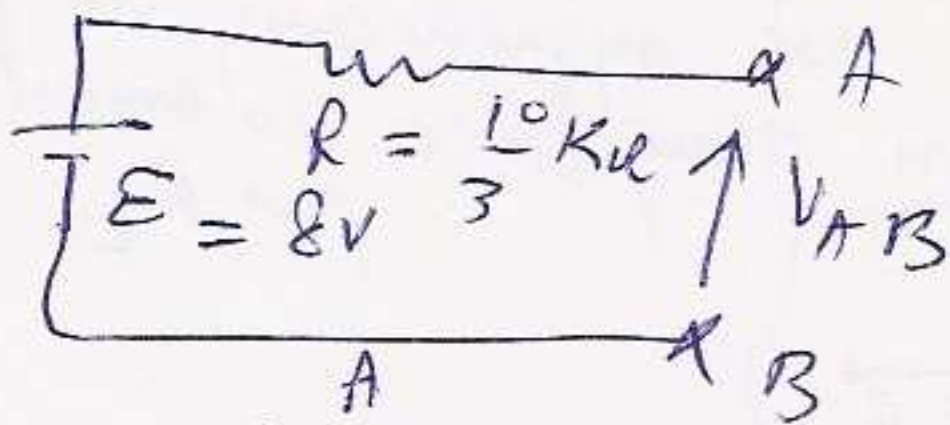
$(V_A - V_B)_2$  ?



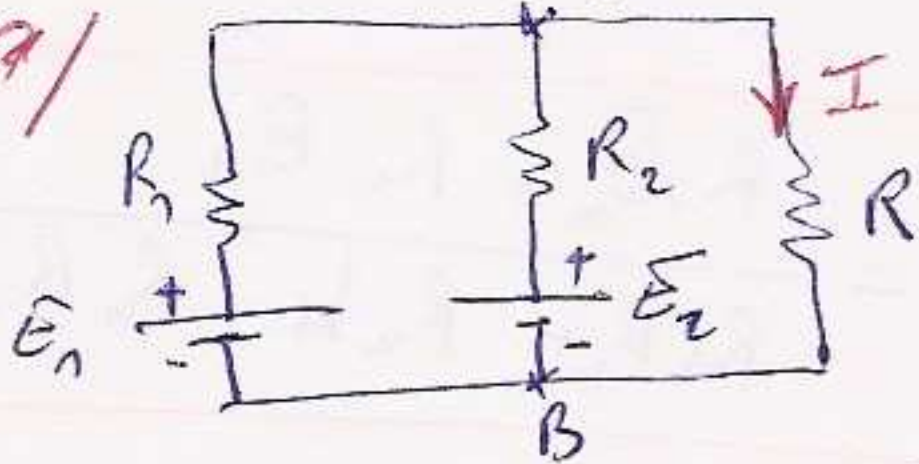
$$(V_A - V_B)_2 = \frac{R}{3} I = \frac{16}{3} \text{ V}$$

$$V_{AB} = \frac{8}{3} + \frac{16}{3} = 8 \text{ V}$$

37



EX/4



$$V_{AB} = R \cdot I \Rightarrow I = \frac{V_{AB}}{R}$$

$$V_{AB} = \frac{E_1/R_1 + E_2/R_2}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R}$$

$$\Rightarrow I = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R(R_1 + R_2) + R_1 R_2}$$

b/ figure 9 :  $(V_A - V_B) = \frac{E_1/R_1 - E_2/R_2 - E_3/R_3 + E_4/R_4}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4}$

$$(V_A - V_B) = R I_1 + E_1 \Rightarrow I_1 = \frac{(V_A - V_B) - E_1}{R}$$

$$(V_A - V_B) = -E_2 + R_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{(V_A - V_B) + E_2}{R_2}$$



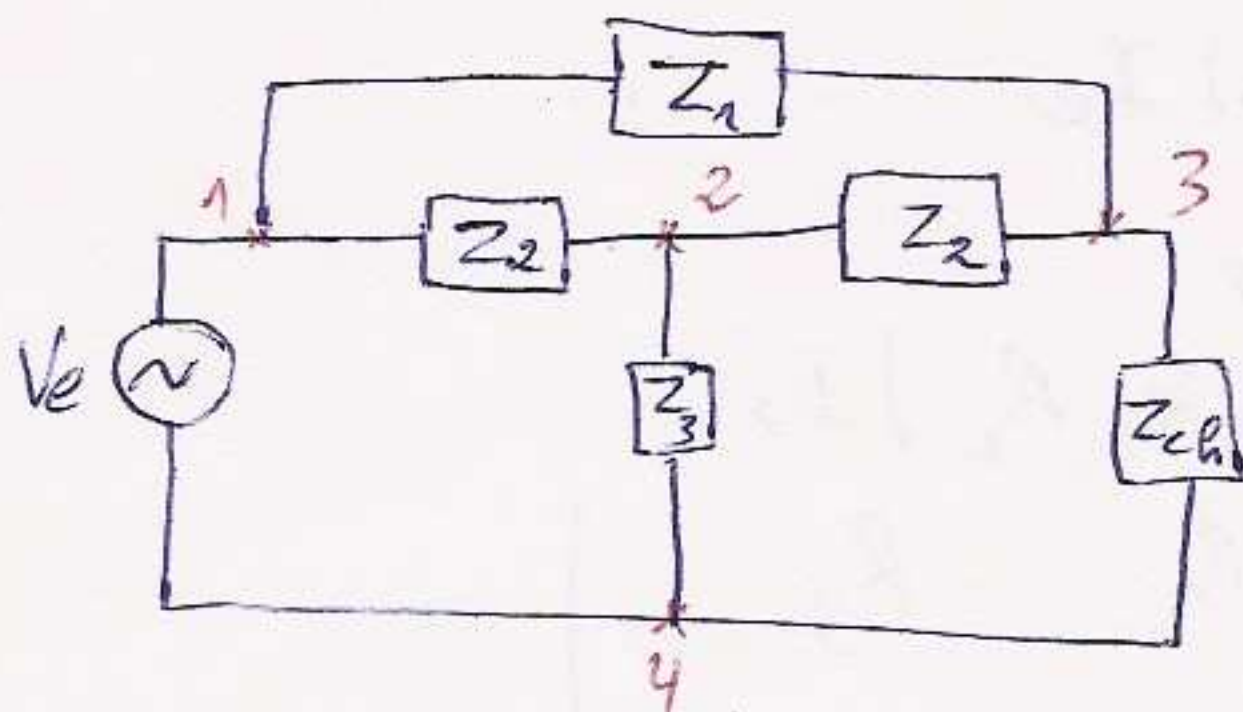
$$(V_A - V_B) = -R_3 I_3 - E_3$$

$$\Rightarrow I_3 = -\frac{V_A - V_B + E_3}{R_3}$$

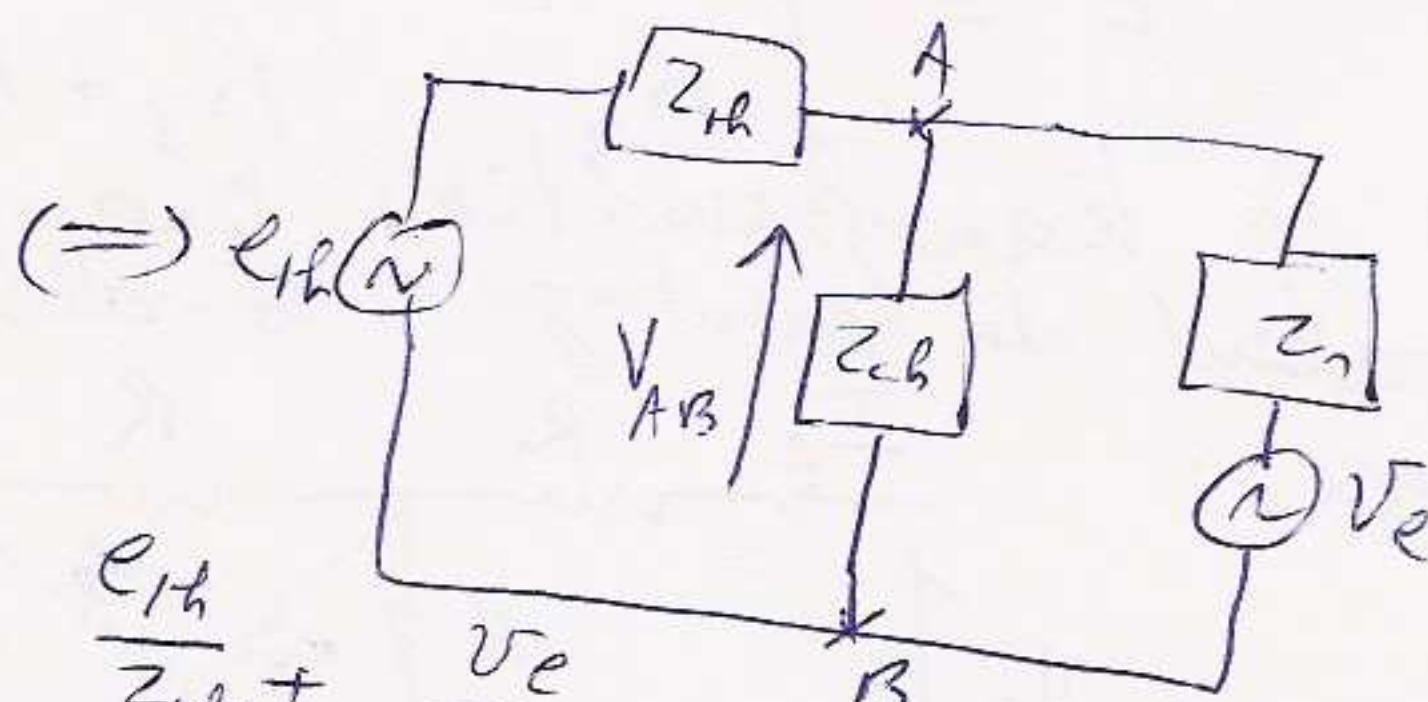
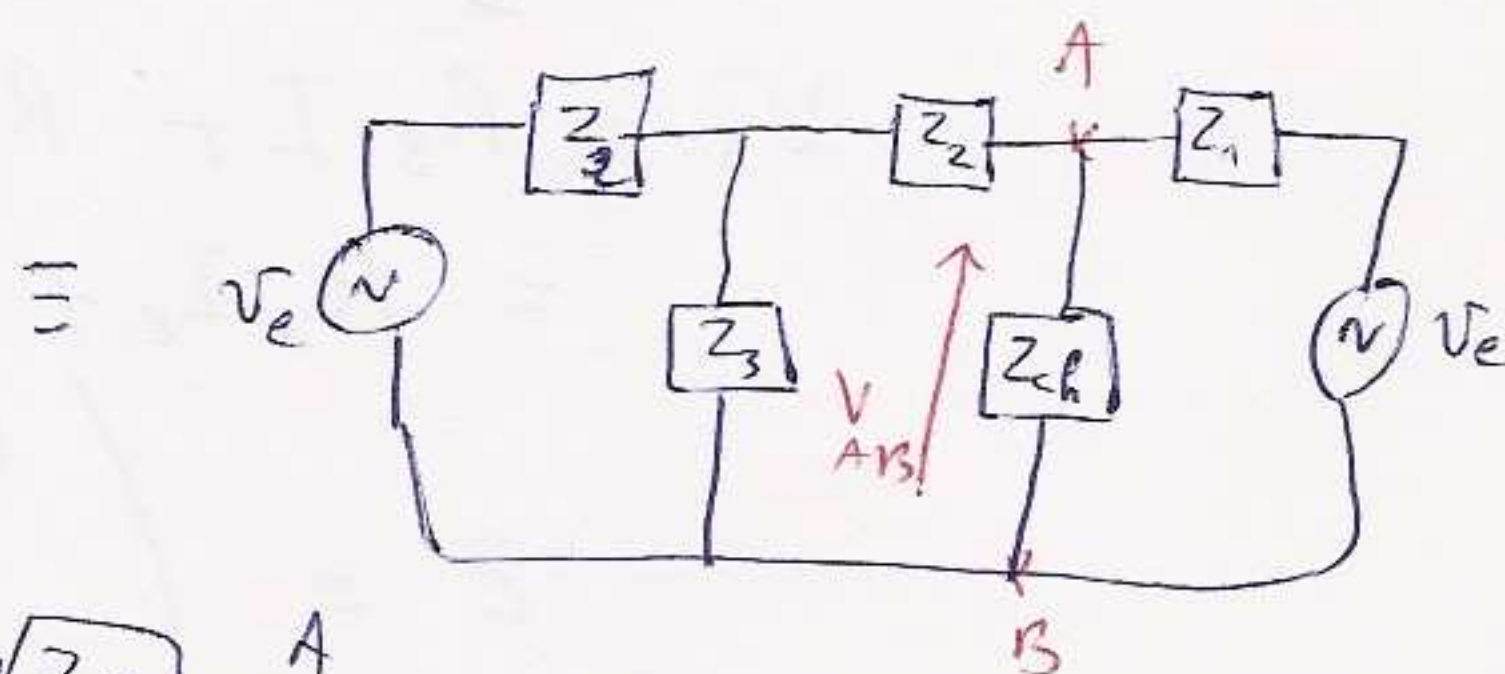
$$(V_A - V_B) = E_4 + R_4 I_4 \Rightarrow I_4 = \frac{V_A - V_B - E_4}{R_4}$$

$$I = -\frac{V_A - V_B}{R}$$

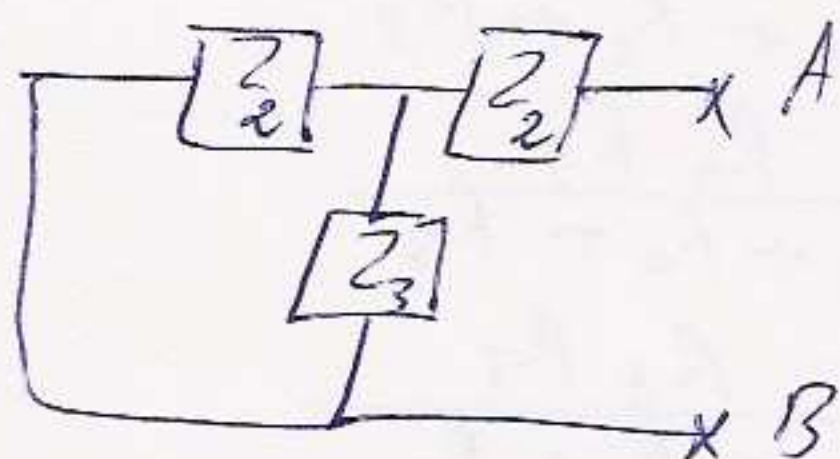
3%



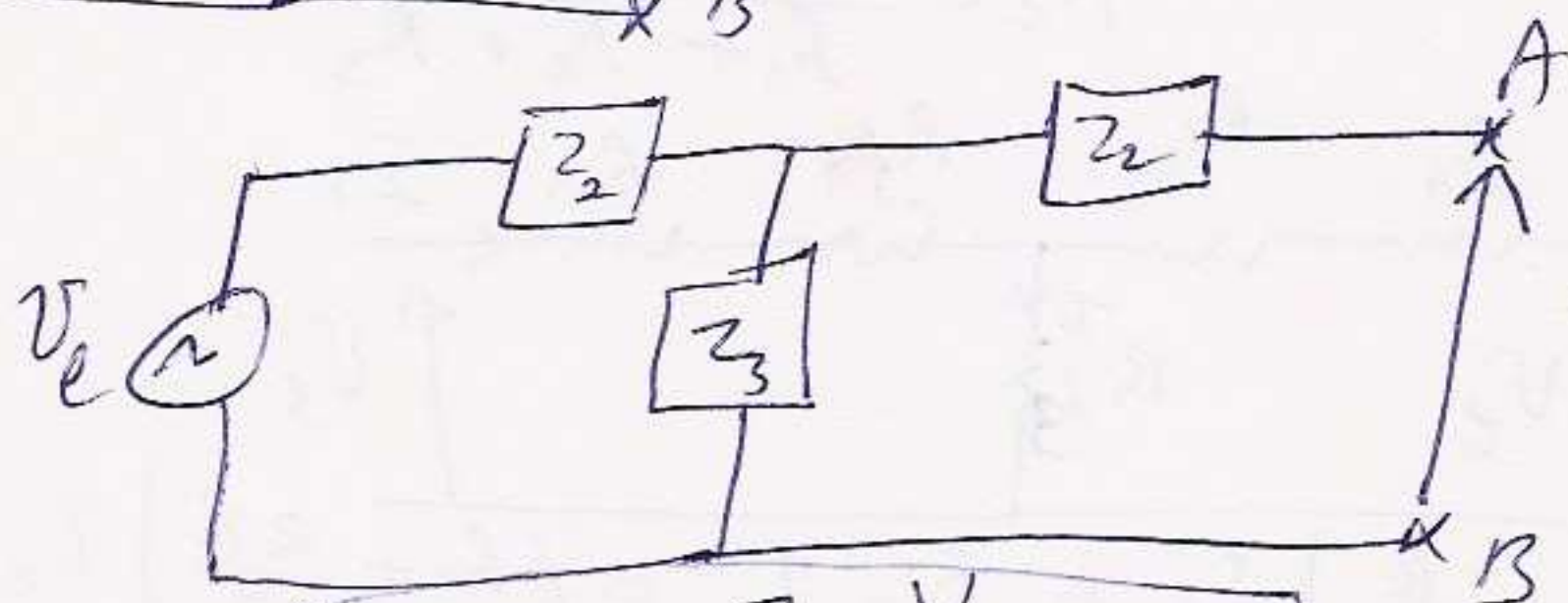
4 methods



$$V_{AB} = \frac{\frac{E_{th}}{Z_{th}} + \frac{V_e}{Z_n}}{\frac{1}{Z_{th}} + \frac{1}{Z_n} + \frac{1}{Z_{ch}}}$$



$$Z_{th} = (Z_2 \parallel Z_3) + Z_1$$



$$E_{th} = (V_A - V_B)$$

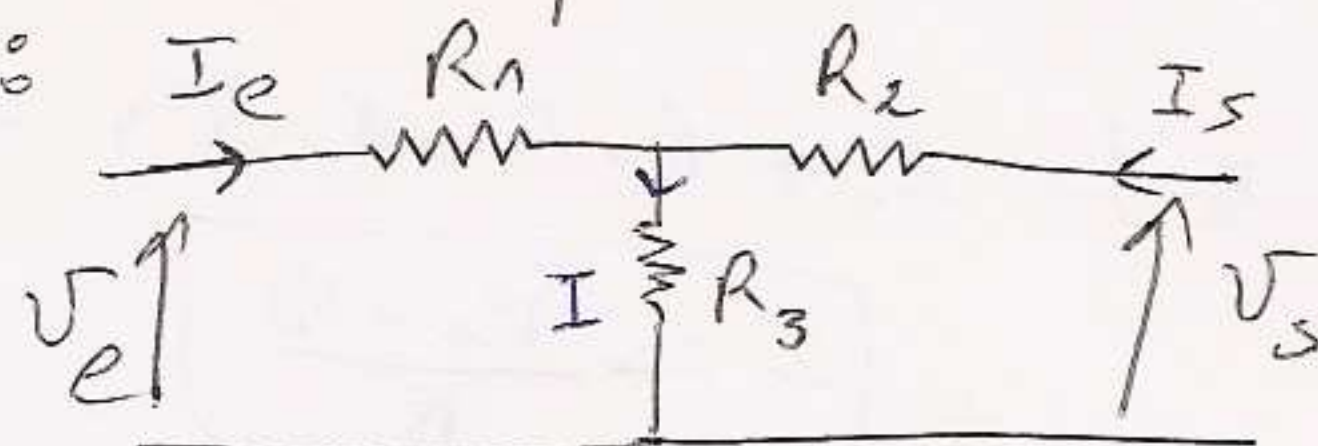
$$E_{th} = \frac{Z_3 V_e}{Z_2 + Z_3}$$



## Série 2

**EX 11**

a - Déterminer la matrice impédance du quadripôle du circuit ci-dessous :



$$V_e = R_3 I + R_1 I_e$$

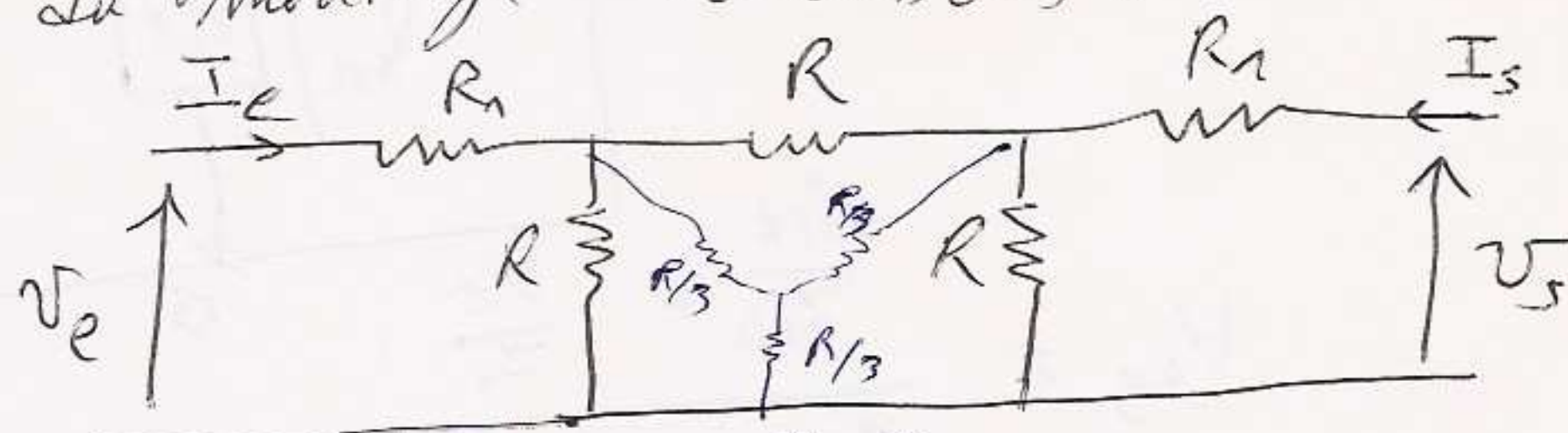
$$= R_3 I_s + (R_3 + R_1) I_e$$

$$V_s = R_3 I + R_2 I_s$$

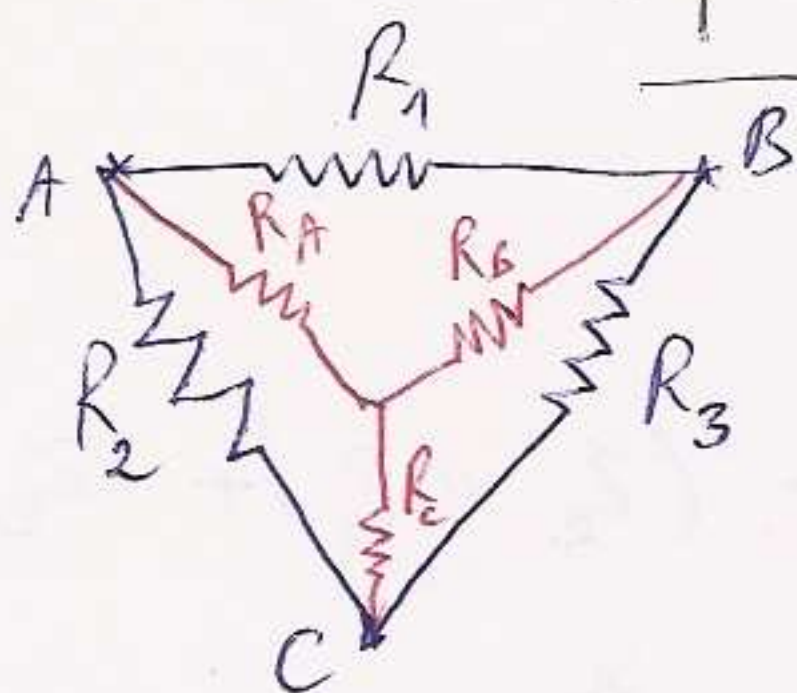
$$= R_3 I_e + (R_3 + R_2) I_s$$

$$Z' = \begin{pmatrix} R_3 + R_1 & R_3 \\ R_3 & R_3 + R_2 \end{pmatrix}$$

b - Effectuer la transformation triangle étoile et donner le schéma équivalent du montage ci-dessous. En déduire la matrice impédance :



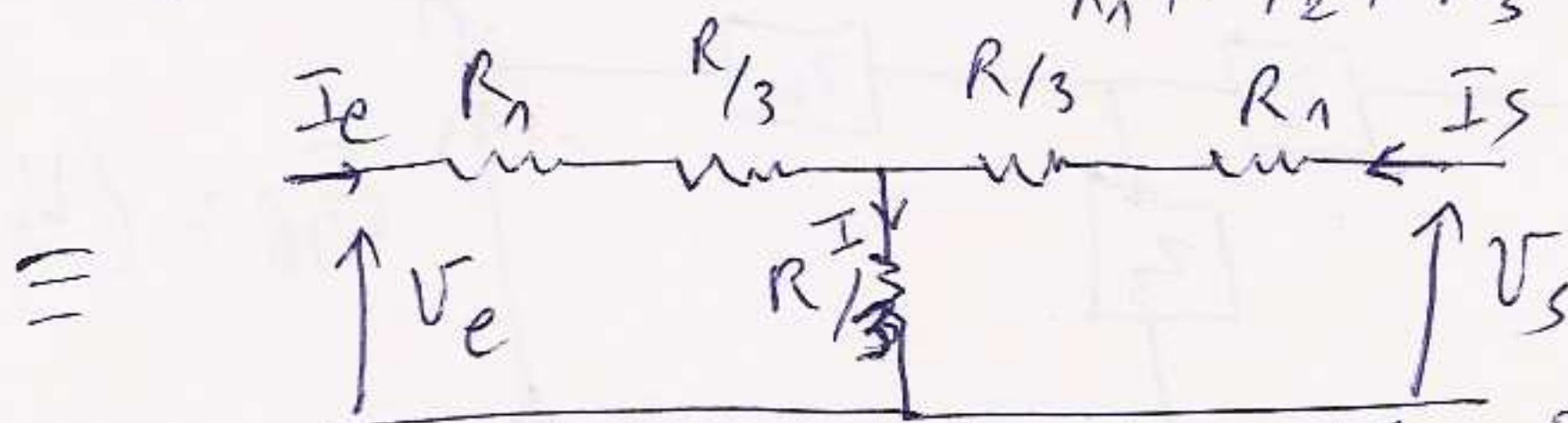
**RAPPEL :**



$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_B = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_C = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$



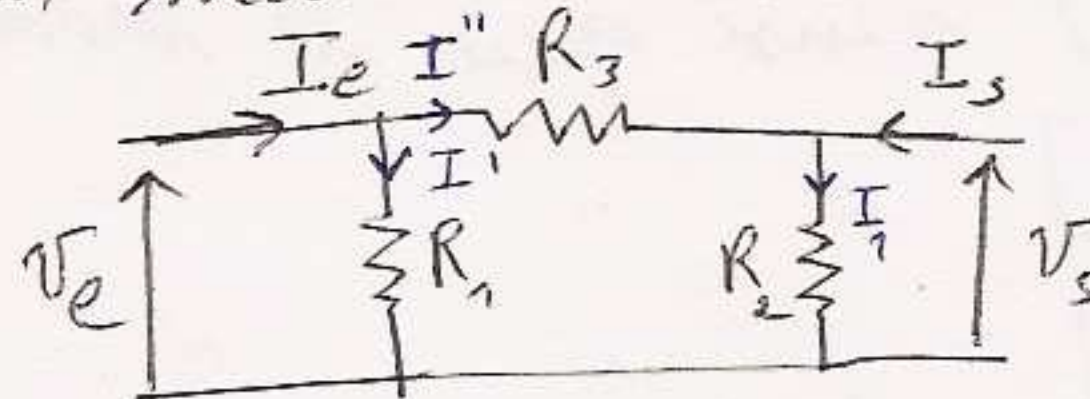
$$V_e = \left(R_1 + \frac{R}{3}\right) I_e + \frac{R}{3} I_s = \left(R_1 + \frac{2R}{3}\right) I_e + \frac{R}{3} I_s$$

$$V_s = \left(R_1 + \frac{R}{3}\right) I_s + \frac{R}{3} I_e = \left(R_1 + \frac{2R}{3}\right) I_s + \frac{R}{3} I_e$$

$$Z' = \begin{pmatrix} R_1 + \frac{2R}{3} & \frac{R}{3} \\ \frac{R}{3} & R_1 + \frac{2R}{3} \end{pmatrix}$$



**EX/2** 17 Déterminer la matrice admettance de la T.D.E.B.F figure ci-dessous :



$$I_e = I' + I''$$

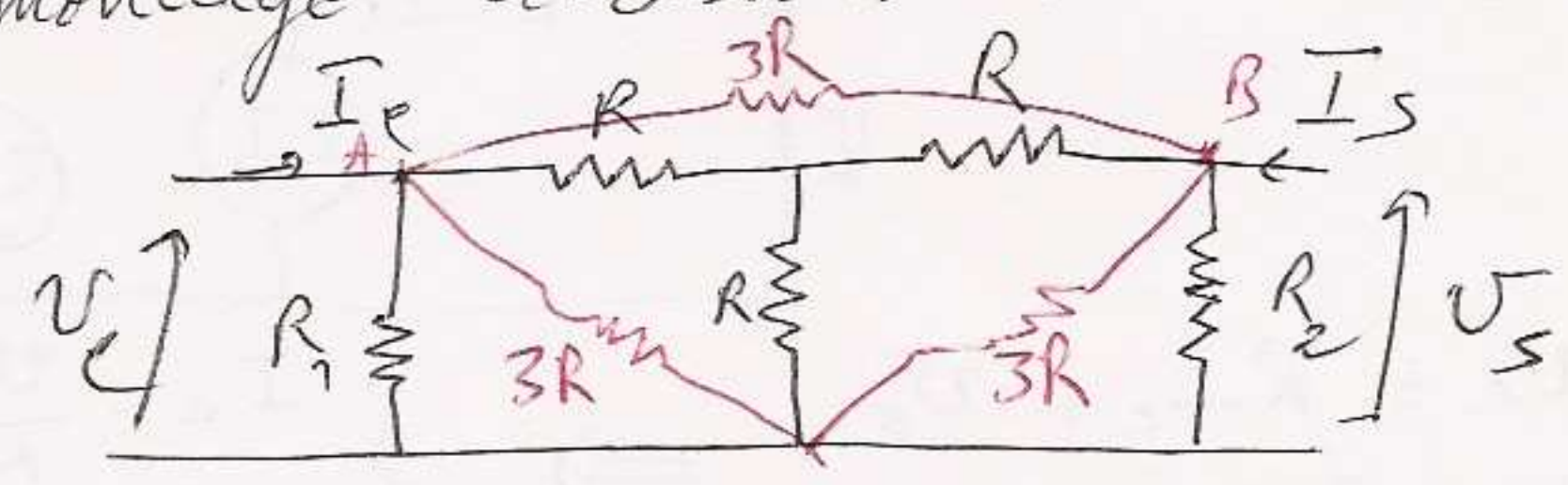
$$I' = V_e / R_1$$

$$I'' = (V_e - V_s) / R_3 \Rightarrow I_e = \frac{V_e}{R_1} + \frac{V_e - V_s}{R_3} = V_e \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) - \frac{1}{R_3} V_s$$

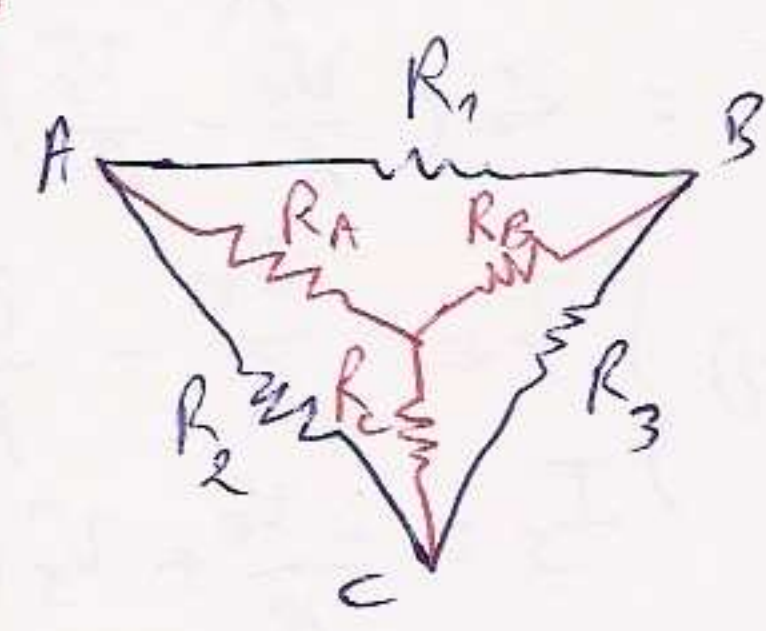
$$I_s = I_1 - I'' = \frac{V_s}{R_2} - \frac{V_e - V_s}{R_3} = -\frac{1}{R_3} V_e + V_s \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$Y = \begin{pmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_3} \\ -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \end{pmatrix}$$

27 Transformer le montage ci-dessous et déduire sa matrice admettance ?



RAPPEL :



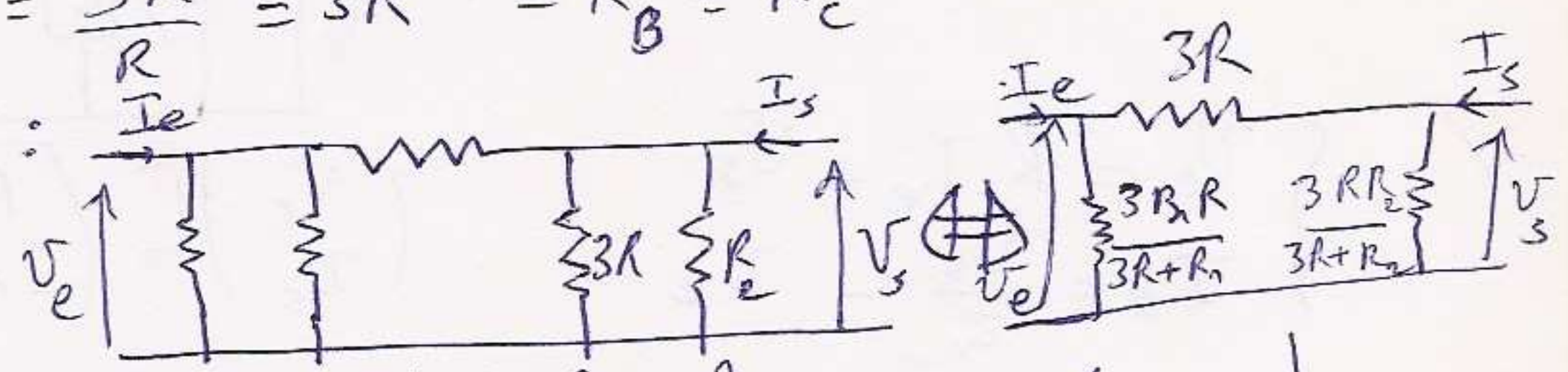
$$R_1 = \frac{R_A R_B + R_A R_C + R_B R_C}{R_C}$$

$$R_2 = \frac{R_A R_B + R_A R_C + R_B R_C}{R_B}$$

$$R_3 = \frac{R_A R_B + R_A R_C + R_B R_C}{R_A}$$

on a :  $R_A = \frac{3R}{R} = 3R = R_B = R_C$

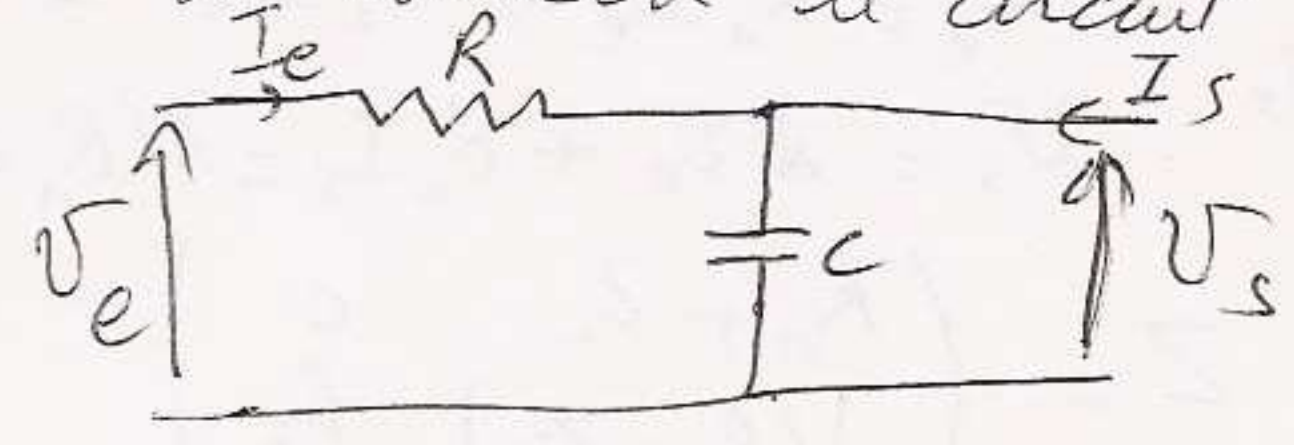
Le schéma équivalent :



$$Y = \begin{pmatrix} \frac{3R + R_1}{3R R_1} + \frac{1}{3R} & -\frac{1}{3R} \\ -\frac{1}{3R} & \frac{3R + R_2}{3R R_2} + \frac{1}{3R} \end{pmatrix}$$

**EX/3**

\* on considère le circuit ci-dessous :





- 1° Déterminer  $[Z]$  ainsi que le modèle électrique correspondant  
 2° Déterminer  $[Y]$  " " " " "  
 3° "  $[H]$  " " " " "

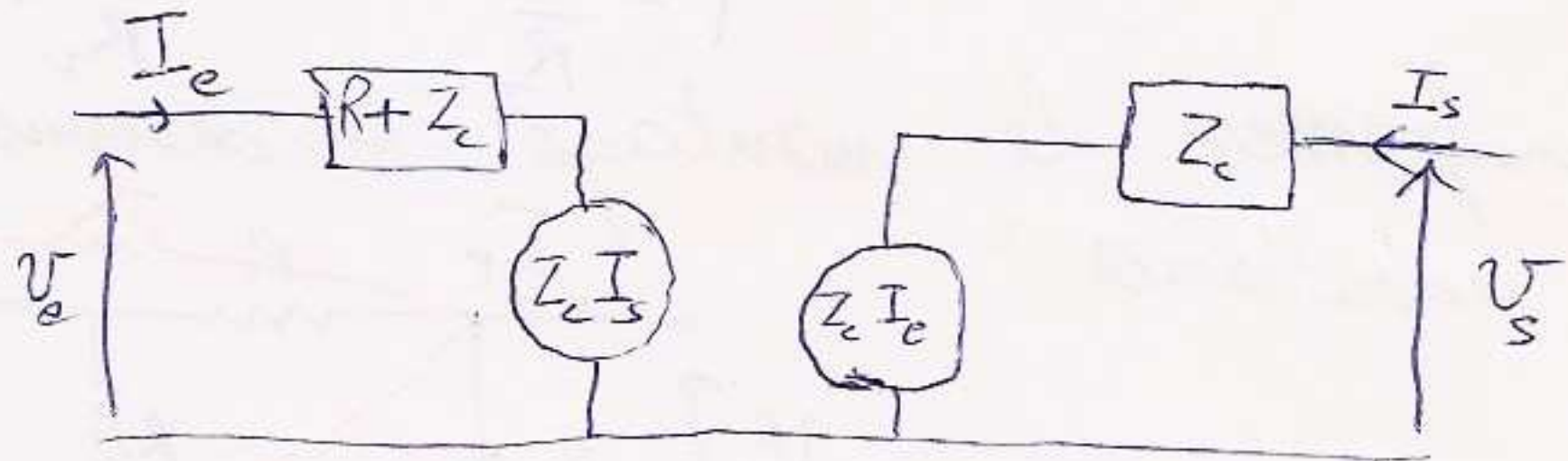
Solution : **EX 1**

1° 
$$\begin{cases} V_e = R I_e + Z_c (I_e + I_s) \\ V_s = Z_c (I_e + I_s) \end{cases}$$
  

$$\Rightarrow \begin{cases} V_e = (R + Z_c) I_e + Z_c I_s \\ V_s = Z_c I_e + Z_c I_s \end{cases}$$

$$Z = \begin{pmatrix} R + Z_c & Z_c \\ Z_c & Z_c \end{pmatrix}$$

Modèle électrique :

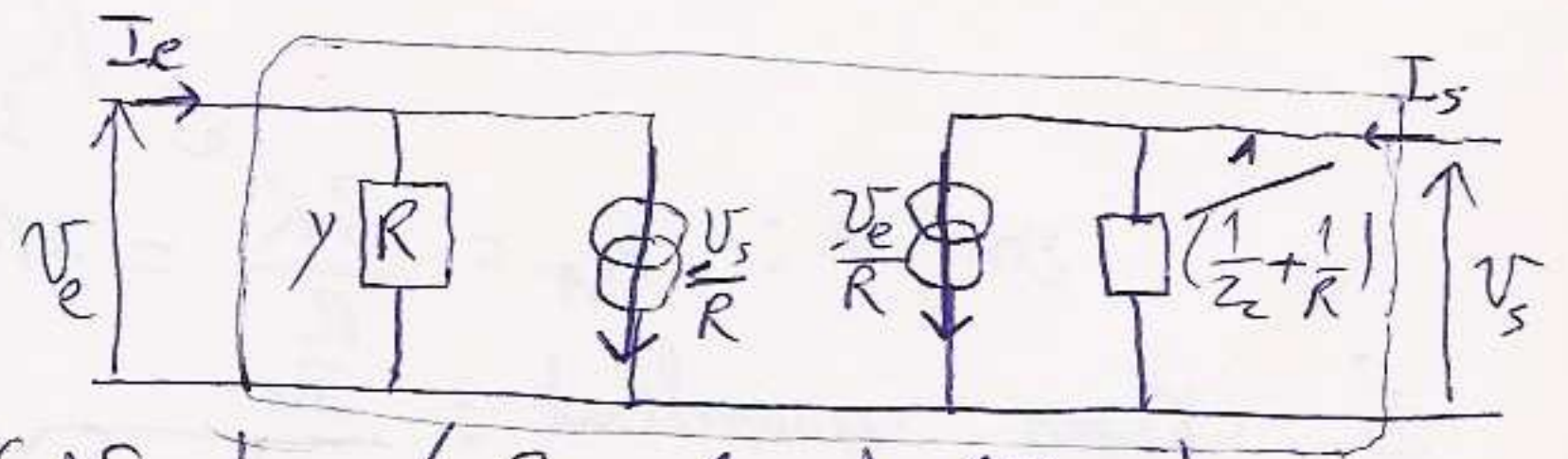


2°

$$\begin{cases} V_e = R I_e + V_s \\ V_s = Z_c I_e + Z_c I_s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_e = \frac{V_e - V_s}{R} \\ V_s = Z_c \left( \frac{V_e - V_s}{R} \right) + Z_c I_s \end{cases}$$
  

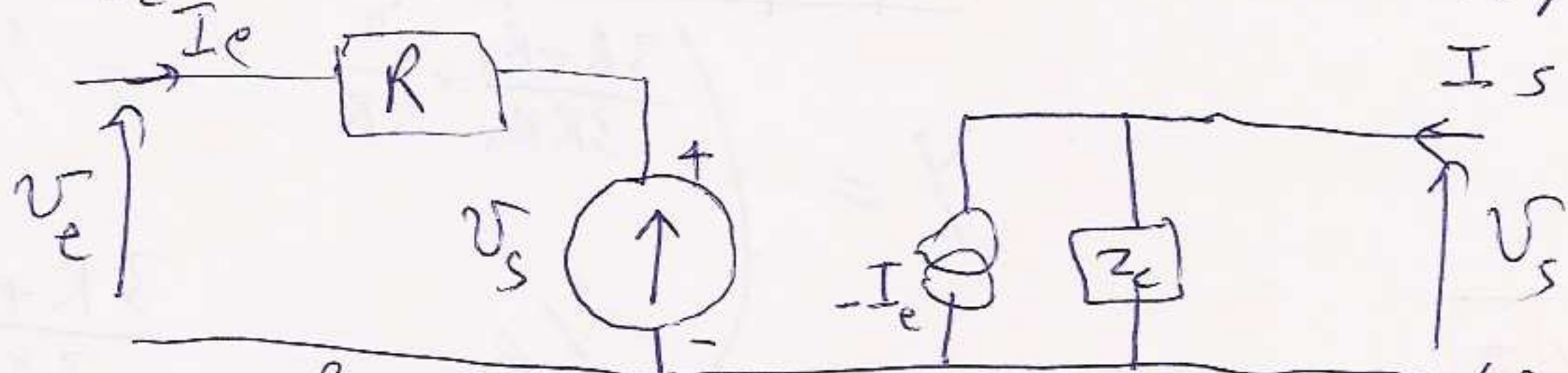
$$\Rightarrow \begin{cases} I_e = \frac{V_e}{R} - \frac{V_s}{R} \\ I_s = \frac{V_s}{Z_c} - \left( \frac{V_e}{R} - \frac{V_s}{R} \right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_e = \frac{V_e}{R} - \frac{V_s}{R} \\ I_s = -\frac{V_e}{R} + V_s \left( \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{R} \right) \end{cases}$$

$$Y = \begin{pmatrix} 1/R & -1/R \\ -1/R & 1/Z_c + 1/R \end{pmatrix}$$

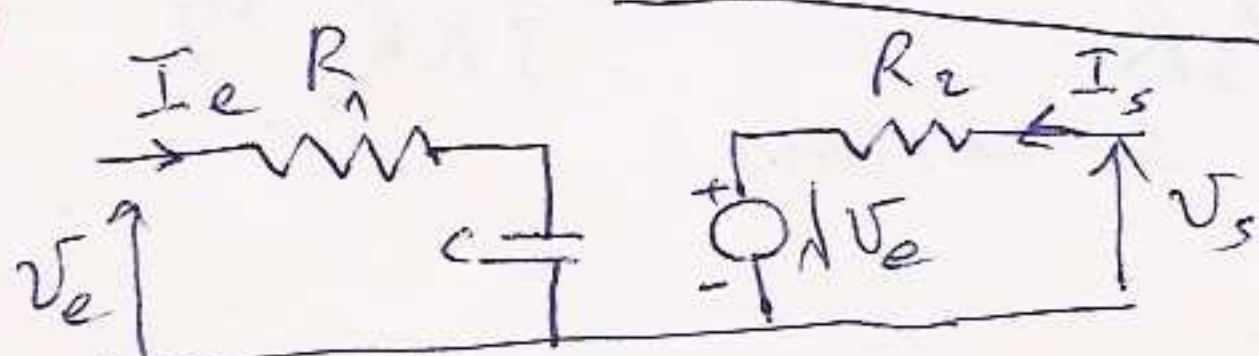


3°

$$\begin{cases} V_e = R I_e + V_s \\ I_s = \frac{V_s}{Z_c} - I_e \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} V_e \\ I_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R & 1 \\ -1 & 1/Z_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_e \\ V_s \end{pmatrix}$$



4°



$$V_e = R_1 I_e + Z_c I_e = (R_1 + Z_c) I_e$$
  

$$V_s = \lambda V_e + R_2 I_s = \lambda (R_1 + Z_c) I_e + R_2 I_s$$
  

$$Z = \begin{pmatrix} R_1 + Z_c & 0 \\ \lambda (R_1 + Z_c) & R_2 \end{pmatrix}$$



1°  $T(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{R_2 \parallel Z_c}{R_1 + R_2 \parallel Z_c} = \dots = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$   
 (on pose:  $\omega_0 = \frac{R_1 + R_2}{(R_1 R_2)C}$ )

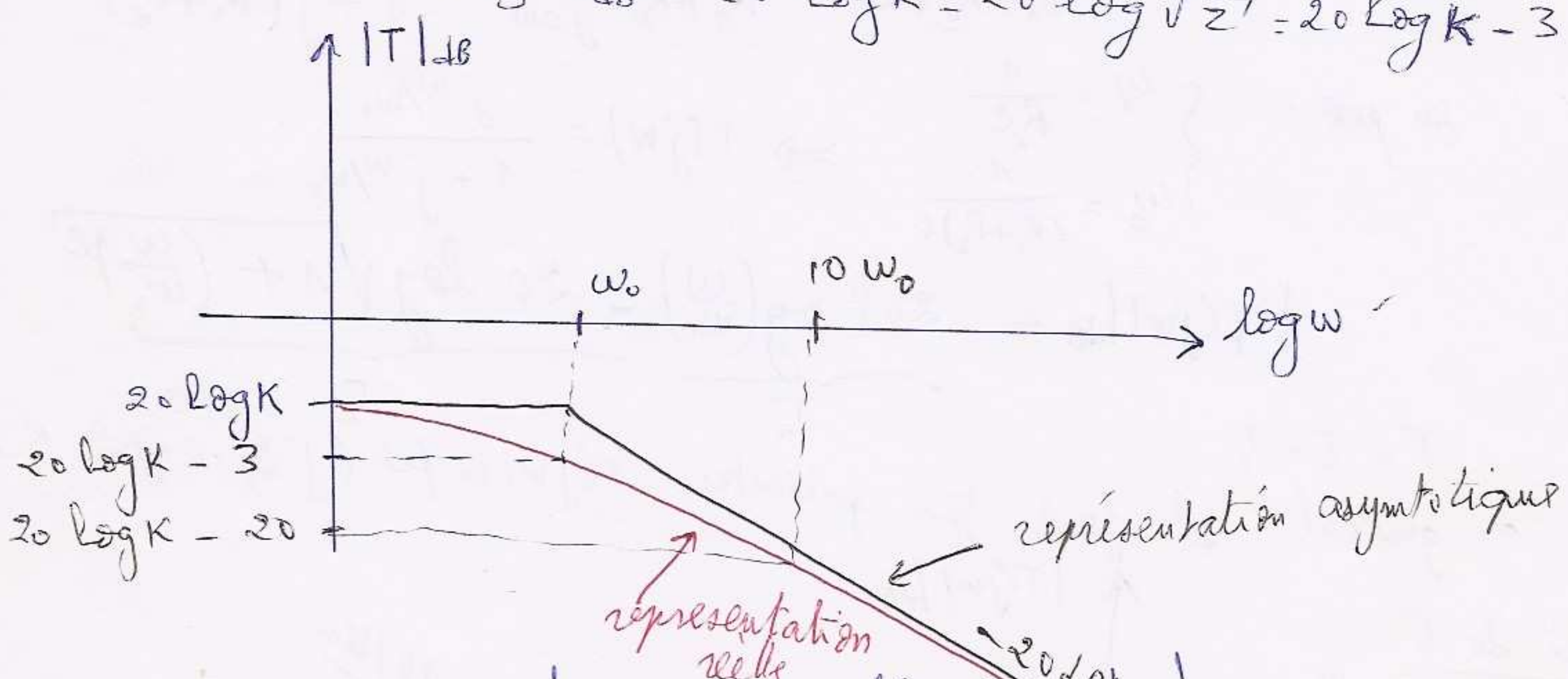
2°  $|T(j\omega)|_{dB} = 20 \log |T(j\omega)| = 20 \log \frac{K}{\sqrt{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}}$

\* en B.F. :  $\omega \ll \omega_0 \Rightarrow |T|_{dB} \approx 20 \log K$  : asymptote horizontale

\* en H.F. :  $\frac{\omega}{\omega_0} \gg 1 \Rightarrow |T(j\omega)|_{dB} = 20 \log \frac{K}{\frac{\omega}{\omega_0}} = 20 \log K - 20 \log \frac{\omega}{\omega_0}$

asymptote oblique.

\* pour:  $\omega = \omega_0 \Rightarrow |T(j\omega)|_{dB} = 20 \log K - 20 \log \sqrt{2} = 20 \log K - 3$



\*  $\varphi = \arg(T(j\omega)) = \arctg \left( \frac{\text{Im}(T(j\omega))}{\text{Re}(T(j\omega))} \right)$

$\varphi = \arctg \left( -\frac{\omega}{\omega_0} \right)$

\* si  $\omega \ll \omega_0$  ( $\omega \rightarrow 0$ )  $\Rightarrow \varphi = 0$  : asymptote horizontale

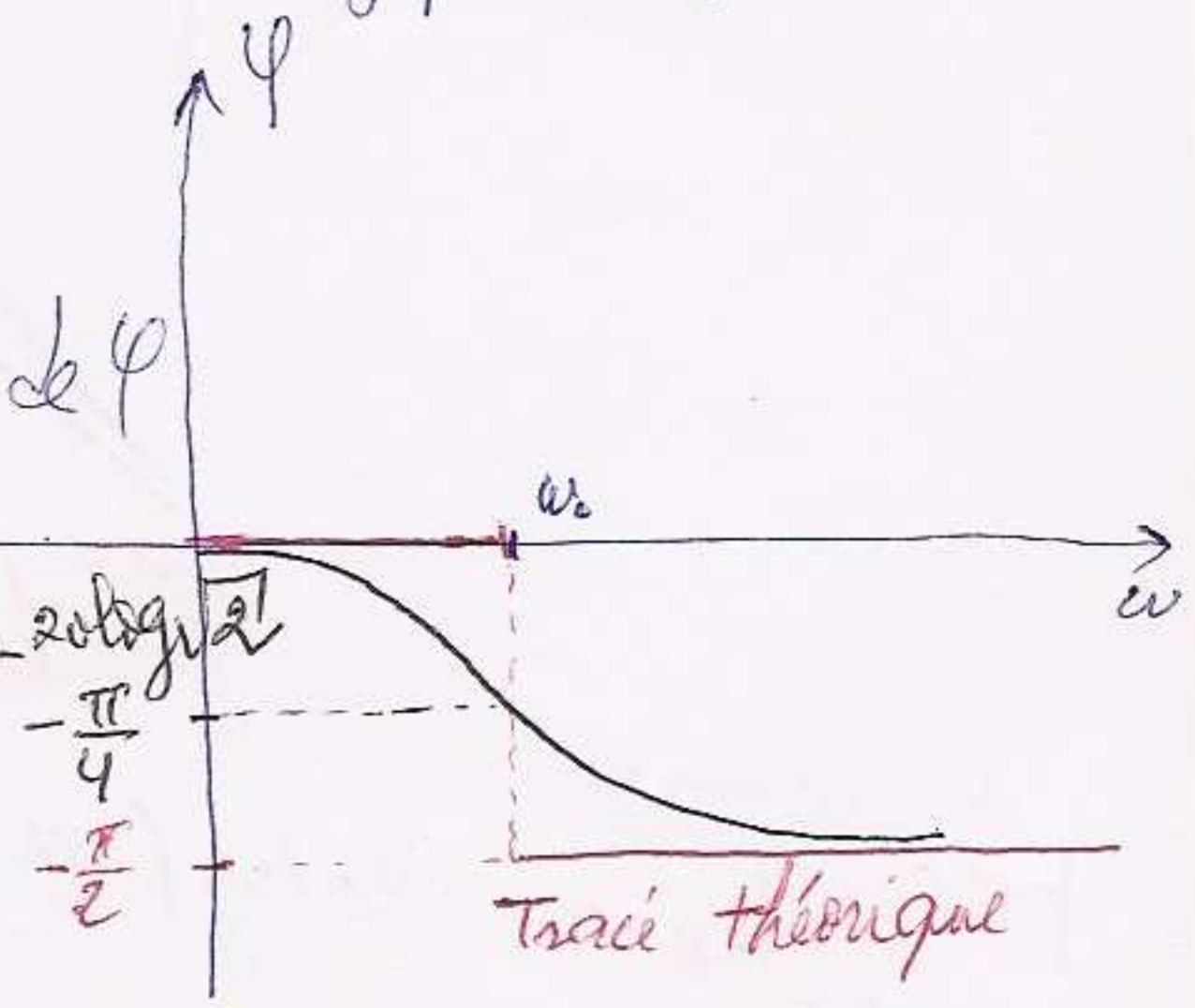
\* si  $\omega = \omega_0 \rightarrow \varphi = -\frac{\pi}{4}$

\*  $\omega \gg \omega_0$  ( $\omega \rightarrow \infty$ )  $\Rightarrow \varphi = -\frac{\pi}{2}$

Remarque:  $\varphi < 0 \Rightarrow V_s$  est en déphasage de  $\varphi$  par rapport à  $V_e$ .

3°  $|T(j\omega)|_{dB} = |T(j\omega)|_{max} - 3 \text{ dB} = 20 \log |G_{max}| - 20 \log \sqrt{2}$

où:  $|T(j\omega)|_{\omega=\omega_0} = \frac{|G_{max}|}{\sqrt{2}}$





$$|T(j\omega)|_{dB} = 20 \log K - 3 \text{ dB}$$

$$\Leftrightarrow 20 \log K - 20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = 20 \log K - 3 \text{ dB} - 20 \log \sqrt{2}$$

$$\Leftrightarrow 1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 = 2 \Leftrightarrow \frac{\omega_c}{\omega_0} = 1 \Rightarrow \boxed{\omega_c = \omega_0} \neq \omega_0 \neq 2\omega_0$$

La bande passante :  $[0, \omega_c]$

Gain maximal sur la bande passante :  $20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log K$

$$\boxed{G = \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = K < 1} \text{ atténué}$$

49 figure 4:

$$T(j\omega) = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + Z_c} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{jR_2 C \omega}{1 + j(R_1 + R_2)C\omega}$$

on pose :  $\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{R_2 C} \\ \omega_0 = \frac{1}{(R_1 + R_2)C} \end{cases} \Rightarrow T(j\omega) = \frac{j\omega/\omega_1}{1 + j\omega/\omega_0}$

$$|T(j\omega)|_{dB} = \underbrace{20 \log \left( \frac{\omega}{\omega_1} \right)}_{T_1} - \underbrace{20 \log \sqrt{1 + \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}}_{T_2}$$

$$T = T_1 + T_2$$

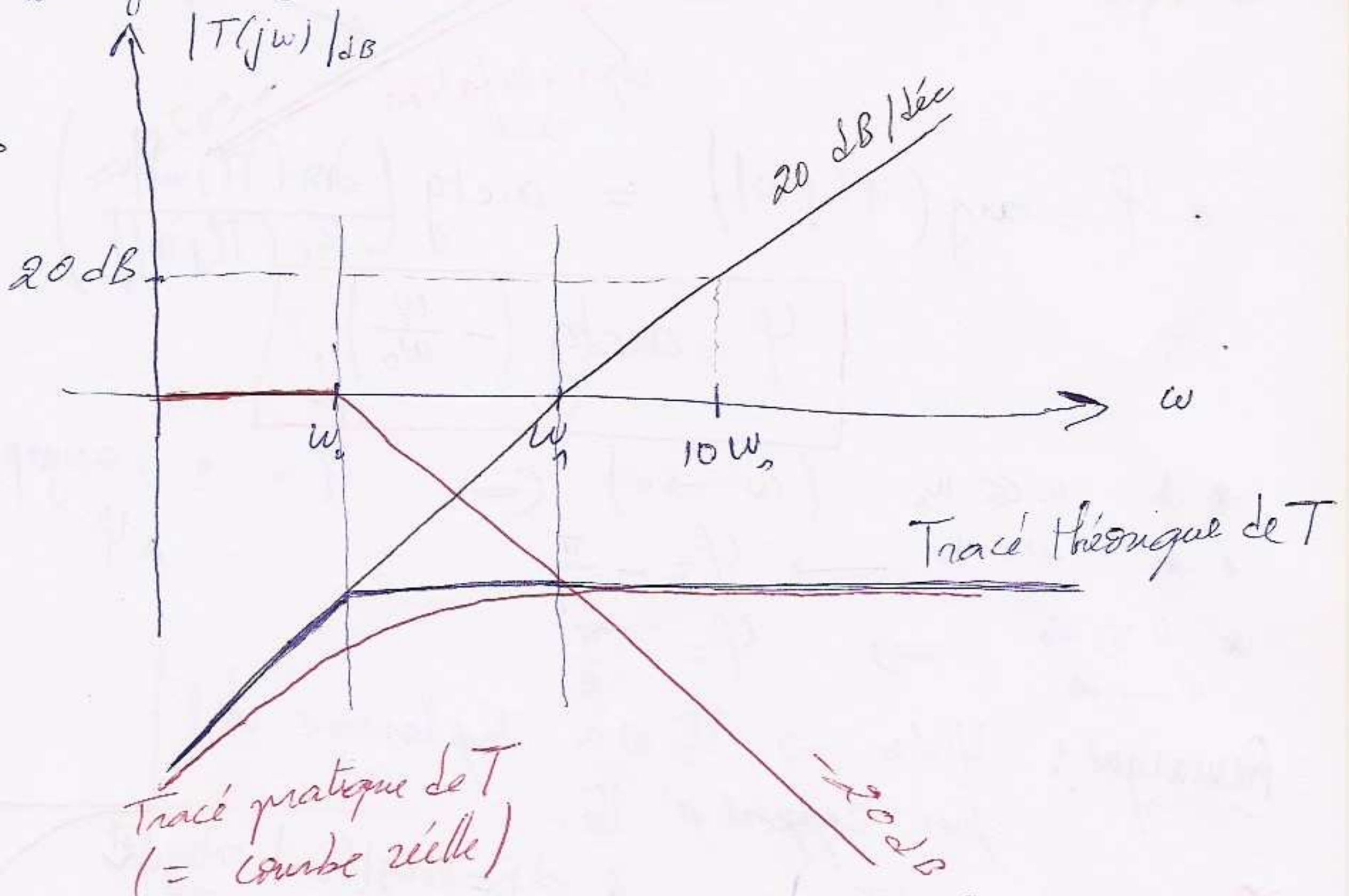
En général il faut très présenter  $T(j\omega)$  en fct.  $\left( j\frac{\omega}{\omega_0}, 1 + j\frac{\omega}{\omega_1}, K \right)$

Tracé de  $T_1$ :

$$\omega_1 \rightarrow T_1 = 20 \log \frac{\omega}{\omega_1} = 0$$

$$\omega = 10\omega_1 \rightarrow T_1 = 20 \log 10 = 20 \text{ dB/dec}$$

Tracé de  $T_2$ :



Tracé pratique de  $T$   
(= courbe réelle)

Si  $\omega \rightarrow \infty$

$$|T(j\omega)|_{dB} = 20 \log \left( \frac{\omega}{\omega_1} \right) - 20 \log \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right) = 20 \log \left( \frac{\omega}{\omega_1} \frac{\omega_0}{\omega} \right) = 20 \log \left( \frac{\omega_0}{\omega_1} \right)$$



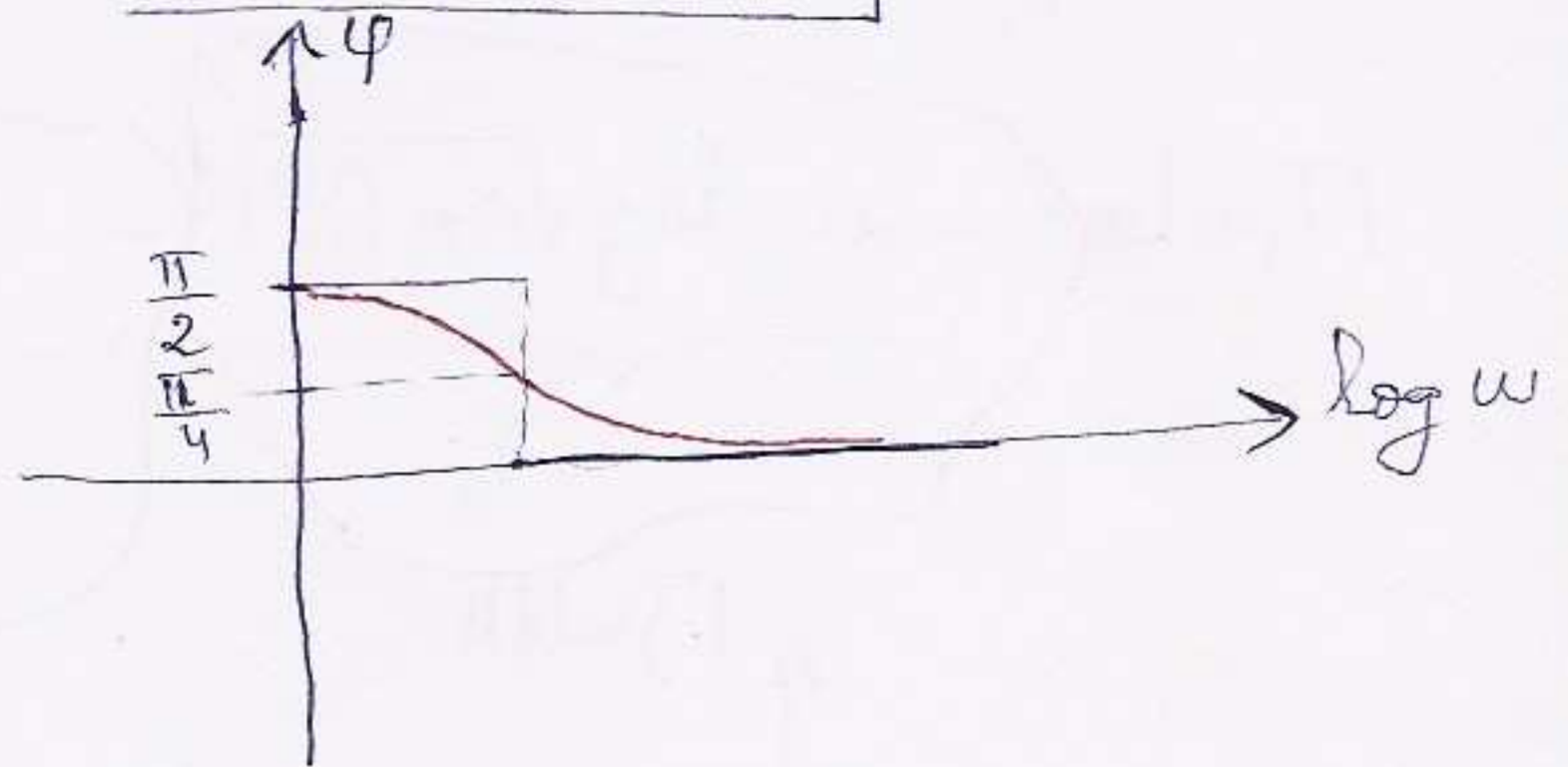
$$\frac{\omega_0}{\omega_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \longrightarrow |T(j\omega)|_{\text{Max}} = 20 \log \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$* \left[ \varphi = \text{Arctg} \left( \frac{\text{Im}(T(j\omega))}{\text{Re}(T(j\omega))} \right) = \text{arctg} \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\pi}{2} - \text{arctg} \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right) \right]$$

$$\text{si } \omega \ll \omega_0 \longrightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{si } \omega = \omega_0 \longrightarrow \varphi = \frac{\pi}{4}$$

$$\text{si } \omega \gg \omega_0 \longrightarrow \varphi = 0$$



$$* A_{BP} = |T(j\omega)|_{\text{Max}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\omega_0}{\omega_1}$$

\* Pulsation de coupure :

$$|T(j\omega_c)| = \frac{A_{BP}}{\sqrt{2}} \text{ où } 20 \log |T(j\omega_c)| = 20 \log A_{BP} - 3 \text{ dB}$$

$$\frac{\frac{\omega_c}{\omega_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{A_{BP}}{\sqrt{2}} \quad (\Rightarrow) \quad 2 \left(\frac{\omega_c}{\omega_1}\right)^2 = A_{BP}^2 \left(1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_0}\right)^2\right)$$

$$\Rightarrow \omega_c^2 = \frac{A_{BP}^2}{\frac{2}{\omega_1^2} - \frac{A_{BP}^2}{\omega_0^2}} = \omega_0^2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\omega_c = \omega_0 = \frac{1}{(R_1 + R_2)C}}$$

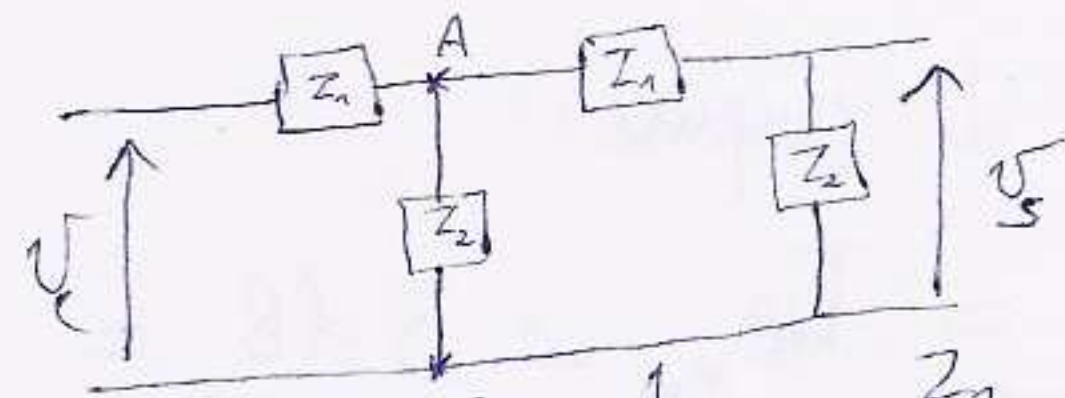
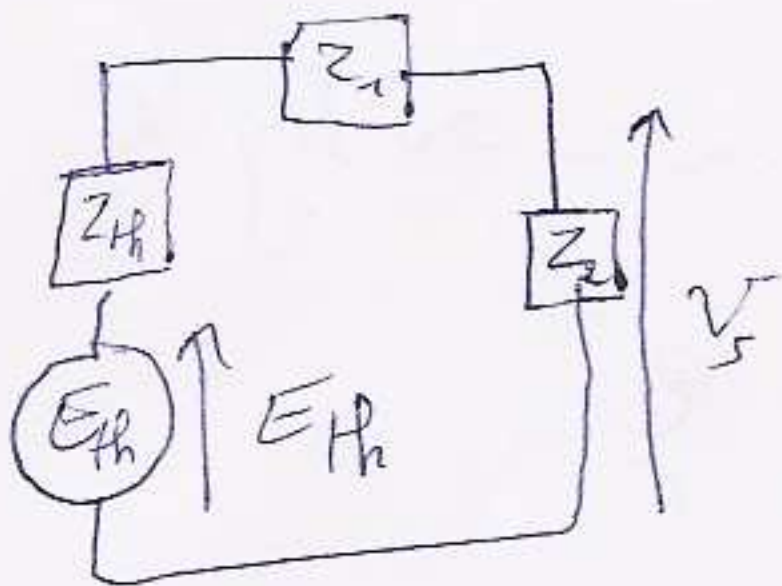
Bande passante : B.P. =  $[\omega_0, \infty[$

Le gain maximal sur la B.P. :  $20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 20 \log \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$

$$\boxed{\left| \frac{V_s}{V_e} \right| = \frac{R_2}{R_1 + R_2}}$$

**EX III**

17  $T(j\omega)$  ? de la figure 5 :



$$Z_1 = R, \quad Z_2 = \frac{1}{j\omega C} \Rightarrow \frac{Z_1}{Z_2} = jRC\omega$$

$$\boxed{V_s = \frac{Z_2 E_{th}}{Z_1 + Z_2 + Z_{th}}}$$

$$\begin{cases} Z_{th} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = Z_1 \parallel Z_2 \\ E_{th} = \frac{Z_2 V_e}{Z_1 + Z_2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_s = \frac{Z_2 \cdot \frac{Z_2 V_e}{Z_1 + Z_2}}{Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}} = \frac{Z_2^2 V_e}{(Z_1 + Z_2)^2 + Z_1 Z_2}$$

$$\Rightarrow V_s = \frac{V_e}{\left(\frac{Z_1}{Z_2} + 1\right)^2 + \frac{Z_1}{Z_2}} \quad (\Rightarrow) \quad V_s = \frac{V_e}{(jRC\omega + 1)^2 + jRC\omega}$$

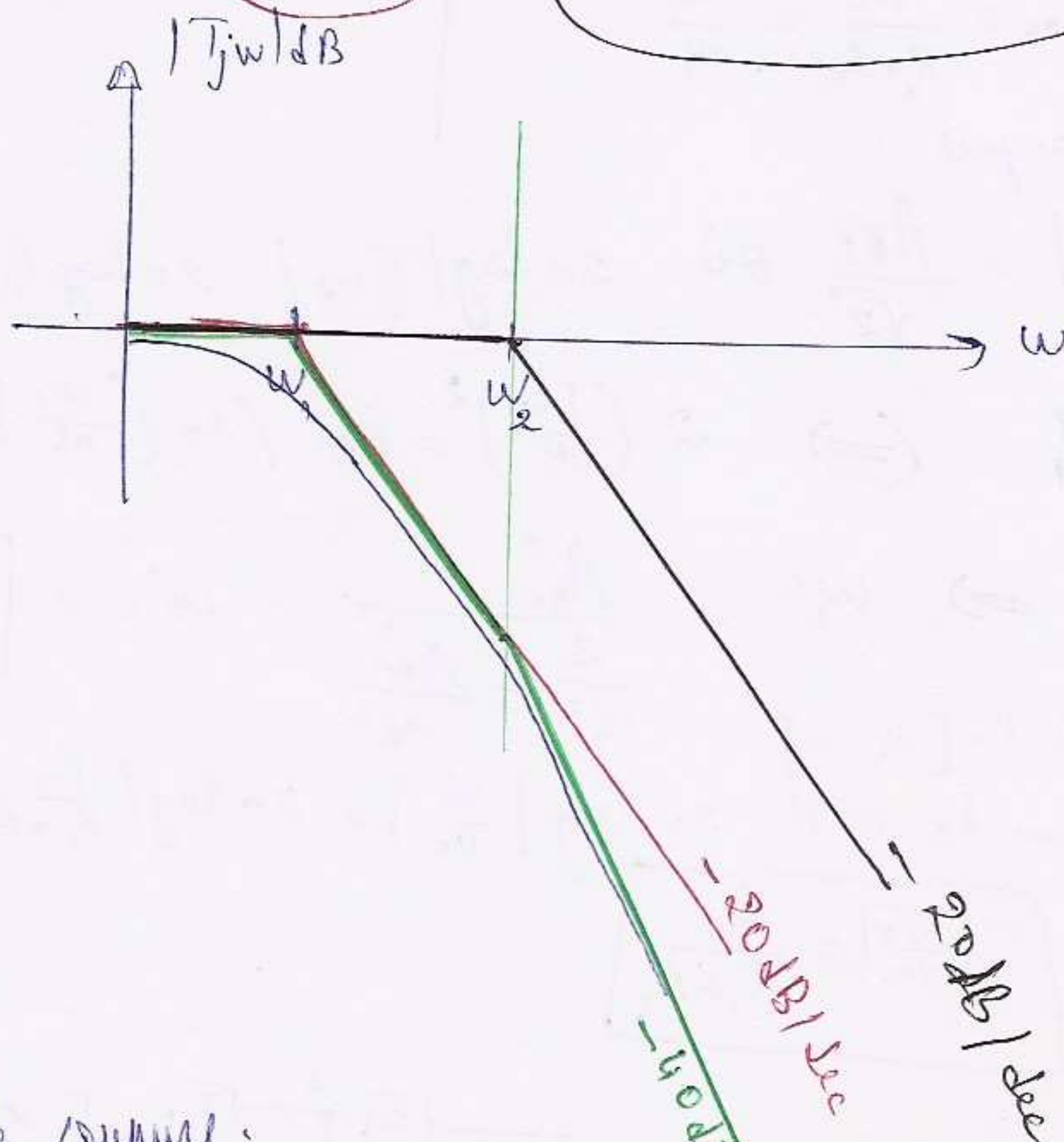
$$V_s = \frac{V_e}{1 - (RC\omega)^2 + 3jRC\omega}$$



$$T(j\omega) = \frac{1}{1 + 3jRc\omega - R^2C^2\omega^2} = \frac{1}{(1+j\frac{\omega}{\omega_1})(1+j\frac{\omega}{\omega_2})}$$

$$\begin{cases} \frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2} = 3RC \\ \frac{1}{\omega_1} \cdot \frac{1}{\omega_2} = R^2C^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_1 = \frac{3-\sqrt{5}}{2} \cdot \frac{1}{RC} = 0,38\omega_0 \\ \omega_2 = \frac{3+\sqrt{5}}{2} \cdot \frac{1}{RC} = 2,61\omega_0 \end{cases} \quad \omega_1 < \omega_2$$

$$|T(j\omega)|_{dB} = \underbrace{-20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^2}}_{T_1} - \underbrace{20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_2}\right)^2}}_{T_2}$$



\* Pulsation de coupure:

$$T_{dB}|_{\omega=\omega_c} = T_{dB_{Max}} - 3 \text{ dB} = T_{dB_{Max}} - 20 \log \sqrt{2}$$

$$\Leftrightarrow -20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_1}\right)^2} - 20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_2}\right)^2} = -20 \log \sqrt{2}$$

$$\Leftrightarrow \left(1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_1}\right)^2\right) \left(1 + \left(\frac{\omega_c}{\omega_2}\right)^2\right) = 2$$

$$\frac{\omega_c^4}{\omega_0^4} + \omega_c^2 \left( \frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_2^2} \right) - 1 = 0$$

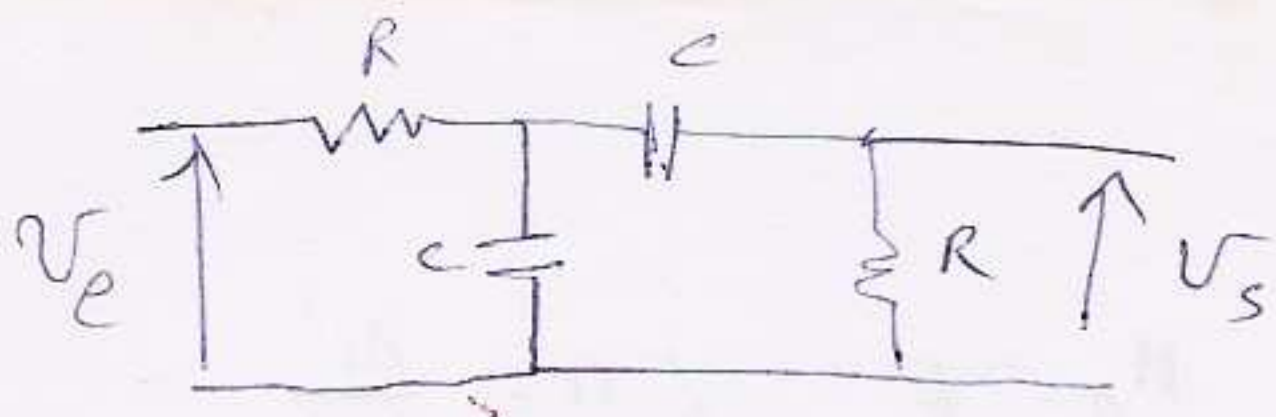
$$\text{on trouve: } \omega_c = \sqrt{\frac{7+\sqrt{5}}{2}} \cdot \omega_0 = 0,375 \omega_0$$

→ Bande passante  $\boxed{\omega_c \neq \omega_1}$  B.P. =  $[0, \omega_1]$

→ gain sur la B.P:  $|T(j\omega)|_{dB} = 20 \log \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 0 = 20 \log 1$   
 $\left| \frac{V_s}{V_e} \right| = 1$



Rmq:



$$\Rightarrow T_{jw} = \frac{jRc\omega}{1 - (Rc\omega)^2 + jRc\omega}$$

TDEB(8)

### Série N(3)

EX 1

fil d'Al (conducteur)

1<sup>re</sup> n = Concentration en électrons libres = Nb d'e<sup>-</sup> / Volume

$$n = \frac{3N}{V} \quad ; \quad V = \frac{27g}{2,7g/cm^3} = 10cm^3 = 10^{-5}m^3$$

$$n = 3 \cdot \frac{6 \cdot 10^{23}}{10^{-5}} = 18 \cdot 10^{28} \text{ électrons/m}^3$$

(6 · 10<sup>23</sup> atome / m<sup>3</sup>)

2<sup>de</sup> μ = mobilité ; σ = Conductivité ; ρ = résistivité (noté aussi R)

$$\sigma = \mu n q = \frac{1}{\rho} \Rightarrow \mu = \frac{1}{\rho n q} = \frac{1}{3,44 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-2} \cdot 18 \cdot 10^{28} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$\mu = 10^{-3} m^2/V.s$$

EX 2

1<sup>re</sup> pour un matériaux intrinsèque on a : n = p = n<sub>i</sub>

$$\text{avec : } n_i = A T^{3/2} \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

$$E_g = 0,71 eV = 0,71 \times 1,6 \cdot 10^{-19} J = 1,2 \cdot 10^{-19} J$$

$$n_i = 10^{22} \cdot 300^{3/2} \exp\left(-\frac{1,2 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-22} \cdot 300}\right)$$

$$\Rightarrow n_i = 2,6 \cdot 10^{19} \text{ porteurs/m}^3$$

$$n = 2,6 \cdot 10^{19} \text{ électrons/m}^3$$

$$p = 2,6 \cdot 10^{19} \text{ trous/m}^3$$

Résistivité :  $\rho_i = \frac{1}{\sigma_i}$   
i : intrinsèque

$$\begin{aligned} \sigma_i &= n\mu_n q + p\mu_p q \\ &= nq(\mu_n + \mu_p) \\ &= 2,6 \cdot 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (0,36 + 0,17) \end{aligned}$$

$$\rho_i = 0,45 \Omega.m$$

$$\Leftarrow \sigma_i = 2,2 \Omega^{-1}m^{-1}$$



2° Sc de type p

$$\frac{1}{\rho} = \sigma = N_A \mu_p q \quad \text{avec: } n_A = p \quad ; \quad n = \frac{n_i^2}{N_A}$$

$$p = N_A = \frac{1}{\rho \mu_p q} = \frac{1}{10^{-4} \cdot 0,17 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$\Rightarrow N_A = p = 3,68 \cdot 10^{23} / m^3$$

$$n = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(2,6 \cdot 10^{19})^2}{3,68 \cdot 10^{23}} \Rightarrow n = 1,8 \cdot 10^{17} \text{ elec}/m^3$$

Rmq: Sc(p) :  $p > n$ .

EX 3

1/ résistivité intrinsèque à 273°K

$$\rho_{273} = \frac{1}{q n_i(273) (\mu_n + \mu_p)} = 2,27 \cdot 10^3 \Omega \cdot m$$

$$2/ \rho_{291} = \frac{1}{q n_i(291) (\mu_n + \mu_p)} \Rightarrow \frac{\rho_{291}}{\rho_{273}} = \frac{n_i(273)}{n_i(291)}$$

$$n_i(291) = 2^3 n_i(273)$$

$$273 \xrightarrow{+6^\circ} 279 \xrightarrow{+6^\circ} 285 \xrightarrow{+6^\circ} 291K$$

$\times 2^3$

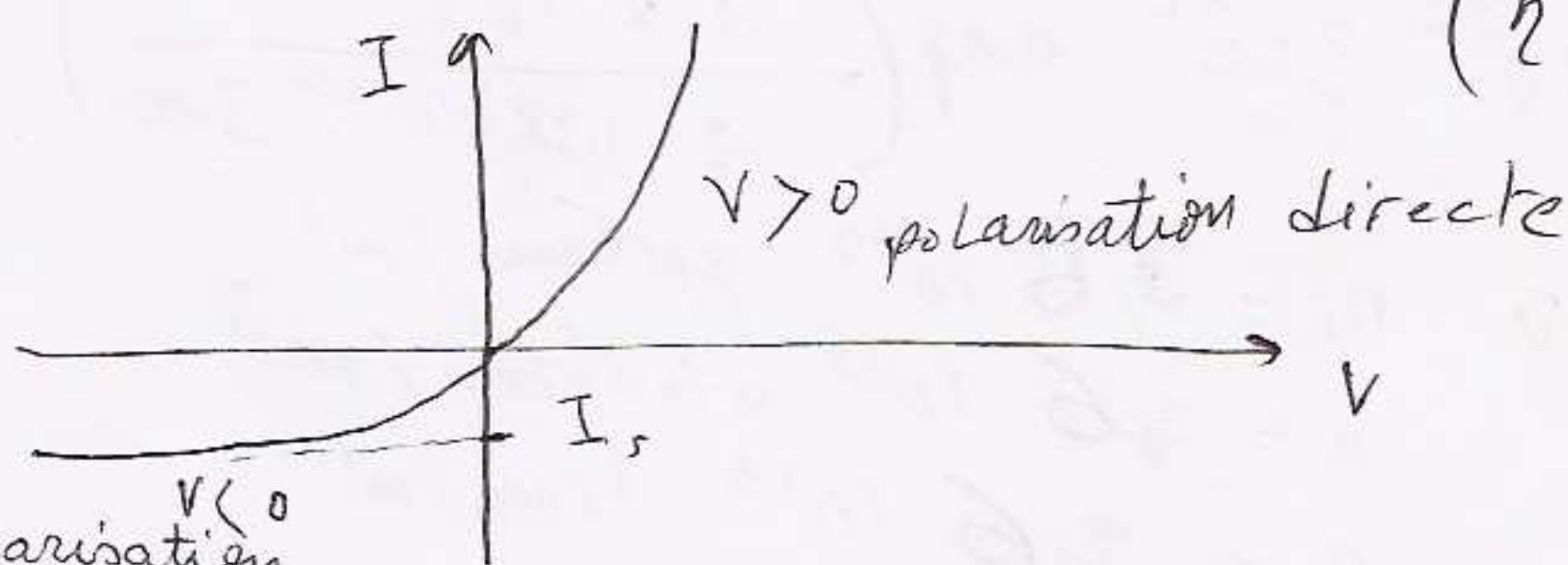
$$\Rightarrow \rho_{291} = \frac{\rho_{273}}{8} \Rightarrow \rho_{291} = 0,28 \cdot 10^3 \Omega \cdot m$$

EX 4

L'equ. caractéristique d'une diode:

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{V}{\eta V_T}\right) - 1 \right] \quad \text{avec: } V_T = \frac{KT}{q} = 25 \text{ mV}$$

$(\eta V_T = 37,5 \text{ mV})$



10/ polarisation directe: inverse

$$\frac{V = 0,65 \text{ V}}{\exp\left(\frac{V}{\eta V_T}\right) \gg 1} \Rightarrow I = I_d \approx I_s \exp\left(\frac{V}{\eta V_T}\right)$$

$$\frac{1}{r_d} = \frac{dI}{dV} = \frac{I_s}{\eta V_T} \exp\left(\frac{V}{\eta V_T}\right) \Rightarrow r_d = \frac{\eta V_T}{I_d}$$

A.N:  $\begin{cases} I_d = 337 \text{ mA} \\ r_d = 0,1 \Omega \end{cases}$



2/ \* polarisation inverse:  $V = -0,6V$

T.D. E.B. (3)

$$\exp\left(\frac{V}{nV_T}\right) \approx 0 \ll 1$$

ce qui donne:  $I = -I_c = -I_s = -10^{-8}A$

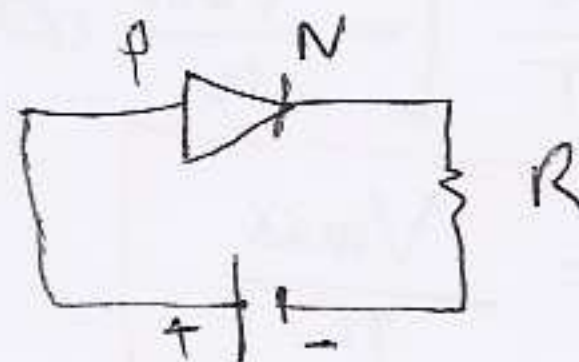
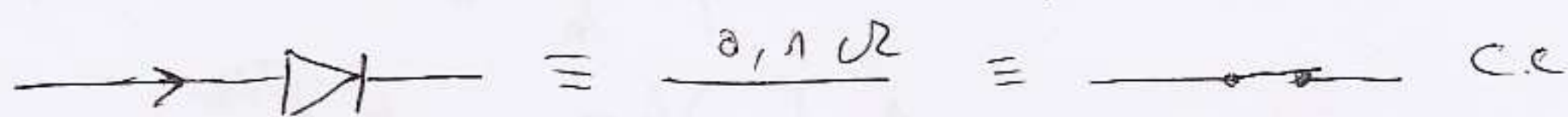
$$\frac{1}{R_i} = \frac{dI}{dV} \Rightarrow R_i = \frac{nV_T}{I_s} \cdot \exp\left(\frac{-V}{nV_T}\right)$$

$$R_i = 1,2 \cdot 10^{14} \Omega$$

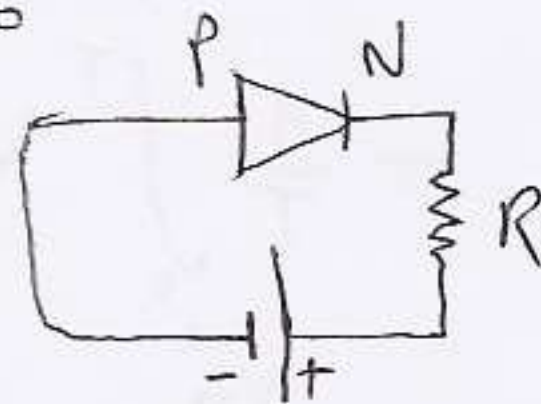
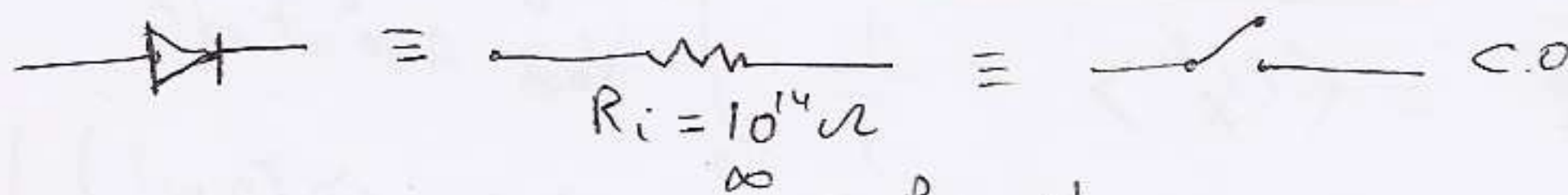
Rmq:



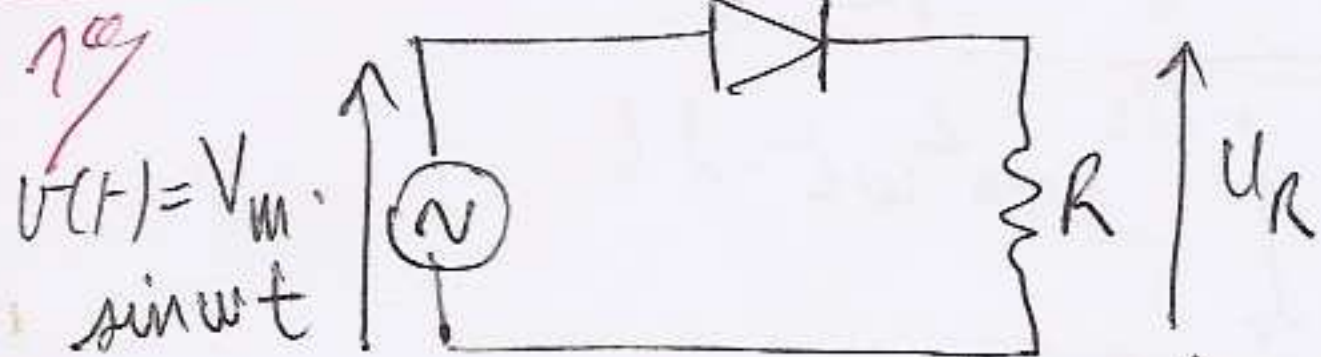
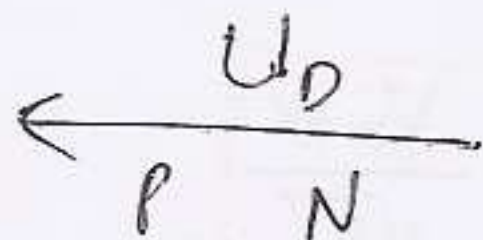
\* polarisation en direct



\* Polarisation en inverse:



**EX 5**

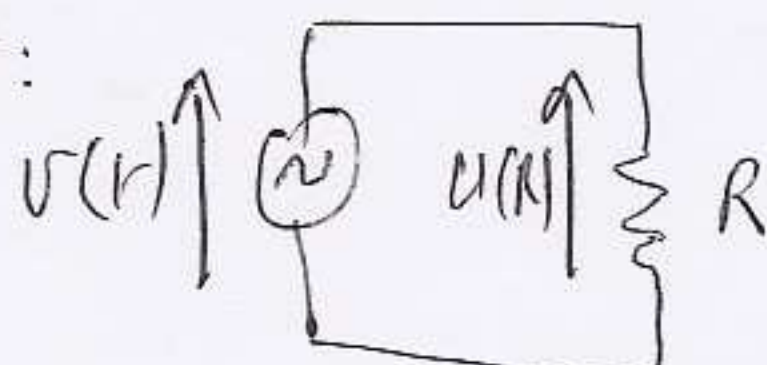


La diode représente deux états soit (P) soit (B)  
 → Si  $U > 0 \Rightarrow D$  st (P).

Etude de D (P):

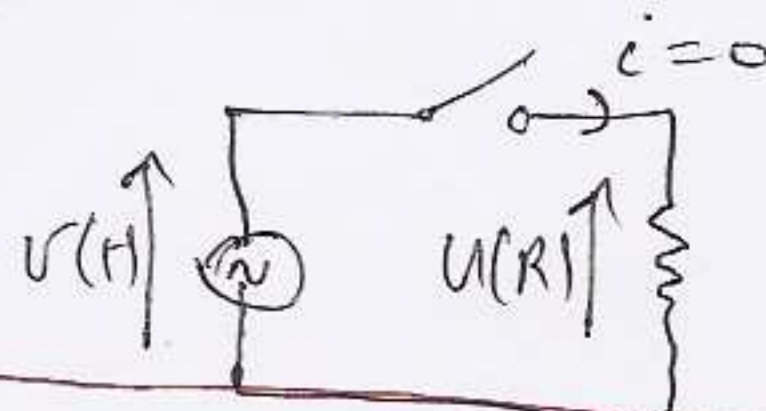


montage équivalent:



$$U_R = v(t) = V_{max} \sin \omega t$$

Etude de D (B):

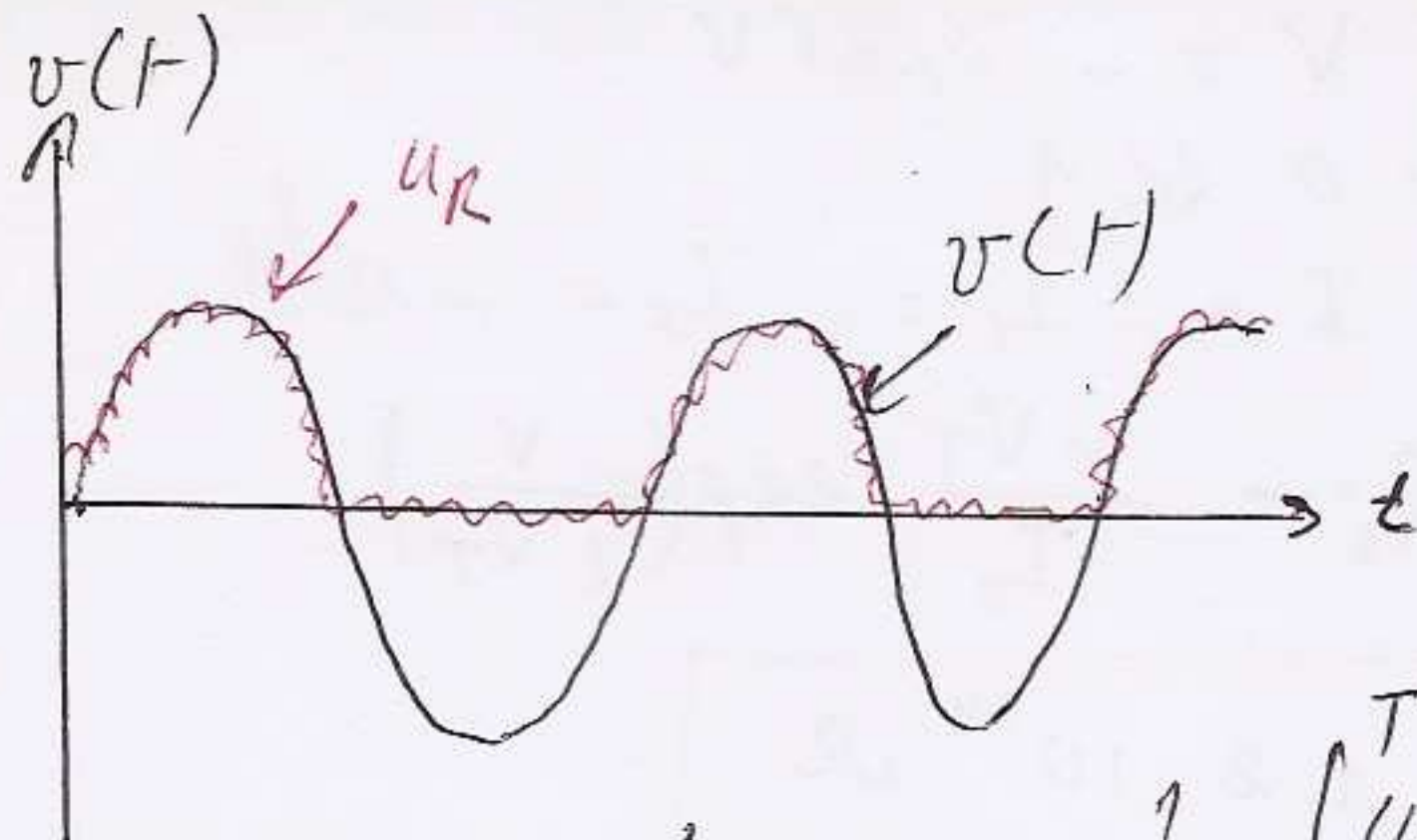


$$\Rightarrow U_R = 0$$

Si  $\begin{cases} v(t) > 0 \rightarrow D \text{ st (P)} \rightarrow U_R = v(t) \\ v(t) < 0 \rightarrow D \text{ st (B)} \rightarrow U_R = 0 \end{cases}$



2/



\* Valeur moyenne :  $\langle u_R \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u_R(t) dt$

$$= \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt + \frac{1}{T} \int_{T/2}^T 0 dt$$

$$= \frac{1}{T} \left[ -\frac{V_{\max}}{\omega} \cos \omega t \right]_0^{T/2} \quad \omega T = 2\pi$$

$$\langle u_R \rangle = \frac{V_{\max}}{\pi}$$

$$u_{R\text{eff}}^2 = \langle u_R^2 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_{\max}^2 \sin^2 \omega t dt$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T V_{\max}^2 \left( \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} \right) dt$$

$$= \frac{V_m^2}{2} \Rightarrow u_{R\text{eff}} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$$

3/

$$\langle P \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u_R iR dt = \frac{V_{\max}}{RT} \int_0^{T/2} \sin^2 \omega t dt$$

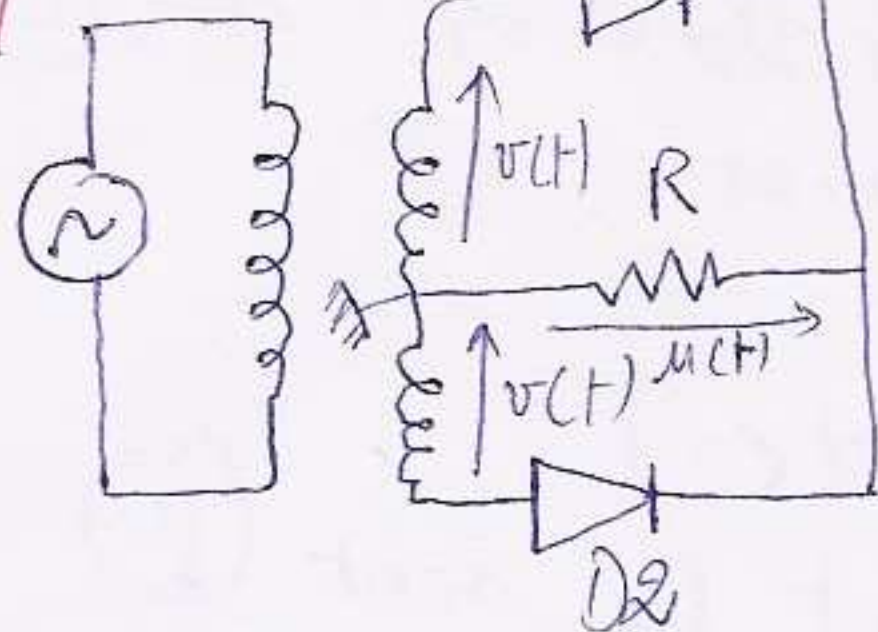
$$\langle P \rangle = \frac{V_{\max}^2}{4R} = \frac{u_{R\text{eff}}^2}{R}$$



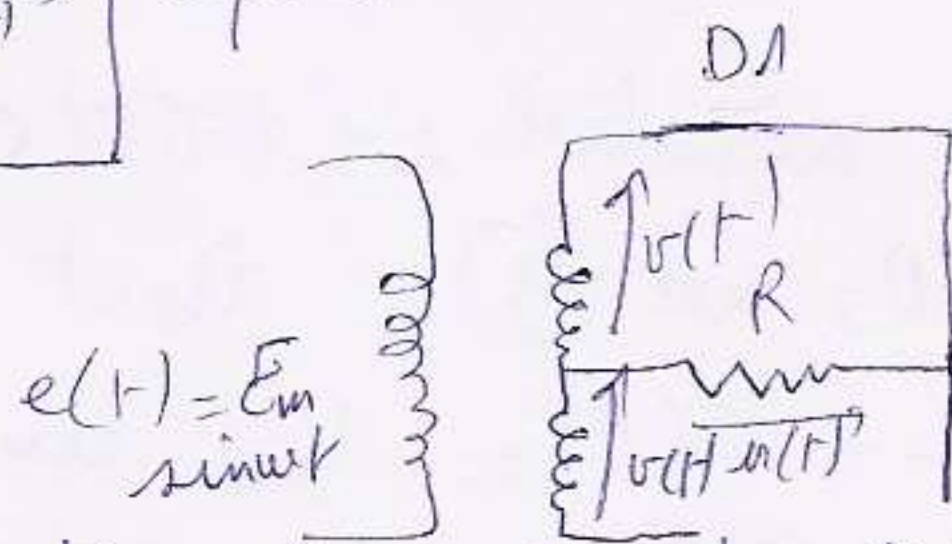
# EX 6

1)

$$e(t) = E_m \sin \omega t$$

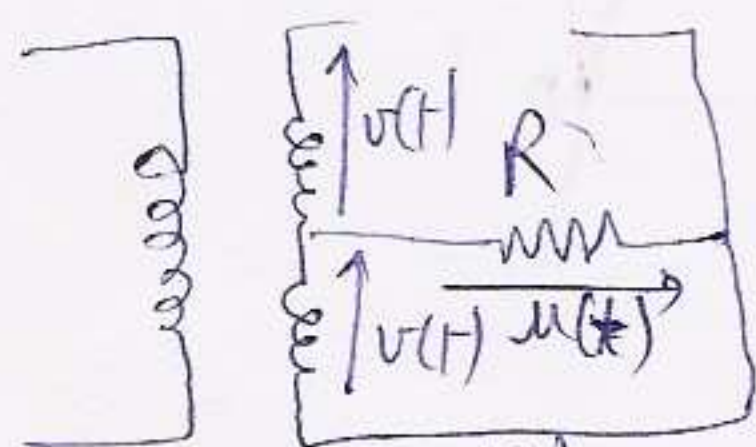


\* Pendant l'alternance positive ( $v(t) > 0$ ) <sup>TD-E.BUD</sup>  
 $D1$  est (P) et  $D2$  est (B), le schéma équivalent :



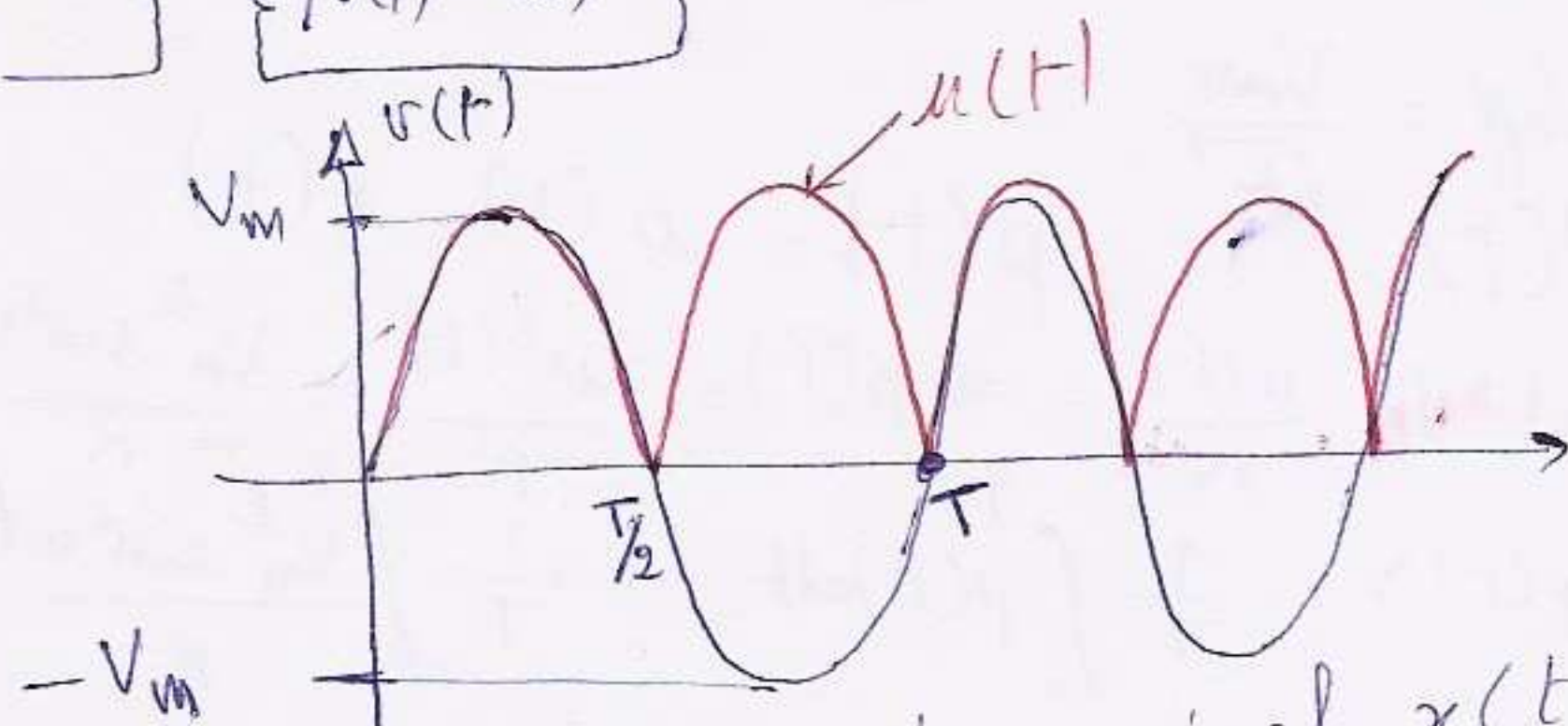
$$\Rightarrow u(t) = v(t) = V_m \sin \omega t$$

\* Pendant l'alternance négative ( $v(t) < 0$ ).  $D1$  est (B) et  $D2$  est (P)  
 Le schéma équivalent :



$$\Rightarrow u(t) = -v(t) = -V_m \sin \omega t$$

2/



\* La valeur moyenne d'un signal  $x(t)$  périodique de période  $T$  :

$$x = \langle x(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

\* La valeur efficace :  $x_{eff} = \sqrt{\langle x^2(t) \rangle}$

$$\begin{aligned} * U = \langle u(t) \rangle &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin(\omega t) dt = \frac{2 V_m}{T} \int_0^{T/2} \sin \omega t dt \\ &= \frac{2 V_m}{T} \left[ -\frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{T/2} = \frac{2 V_m}{2\pi} [\cos \omega t]_{T/2}^0 = \frac{2 V_m}{\pi} \left( T = \frac{2\pi}{\omega} \right) \end{aligned}$$

$$* U_{eff}^2 = \langle u^2(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{1}{T} V_m^2 \int_0^T \sin^2 \omega t dt$$

$$= \frac{V_m^2}{2T} \int_0^T (1 - \cos(2\omega t)) dt = \frac{V_m^2}{2T} \left[ t - \frac{\sin(2\omega t)}{2\omega} \right]_0^T$$

$$= \frac{V_m^2}{2T} \cdot T = \frac{V_m^2}{2}$$

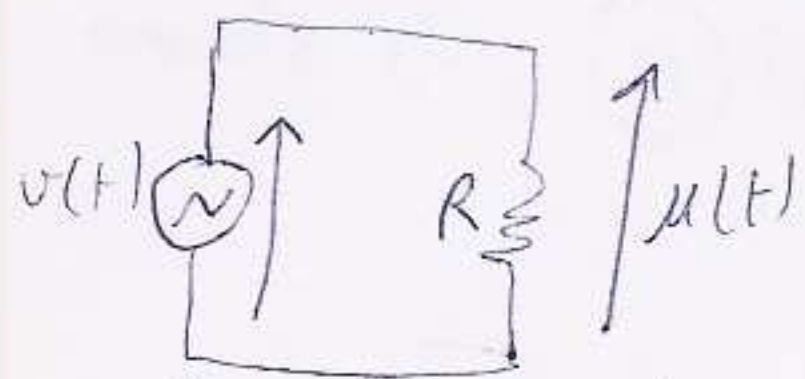
$$\Rightarrow U_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Figure 3 :



\* Pendant l'alternance positive de  $v(t)$ :

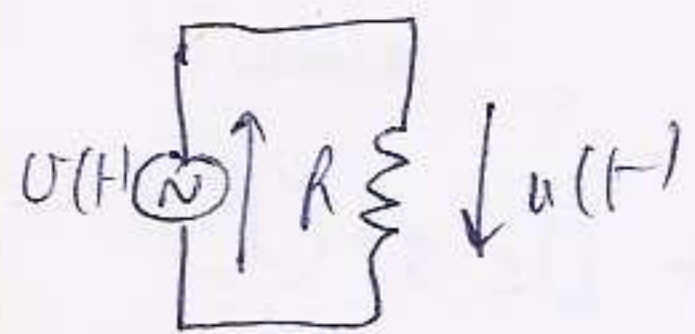
$D_1$  et  $D_3$  sont (P),  $D_2$  et  $D_4$  sont (B)



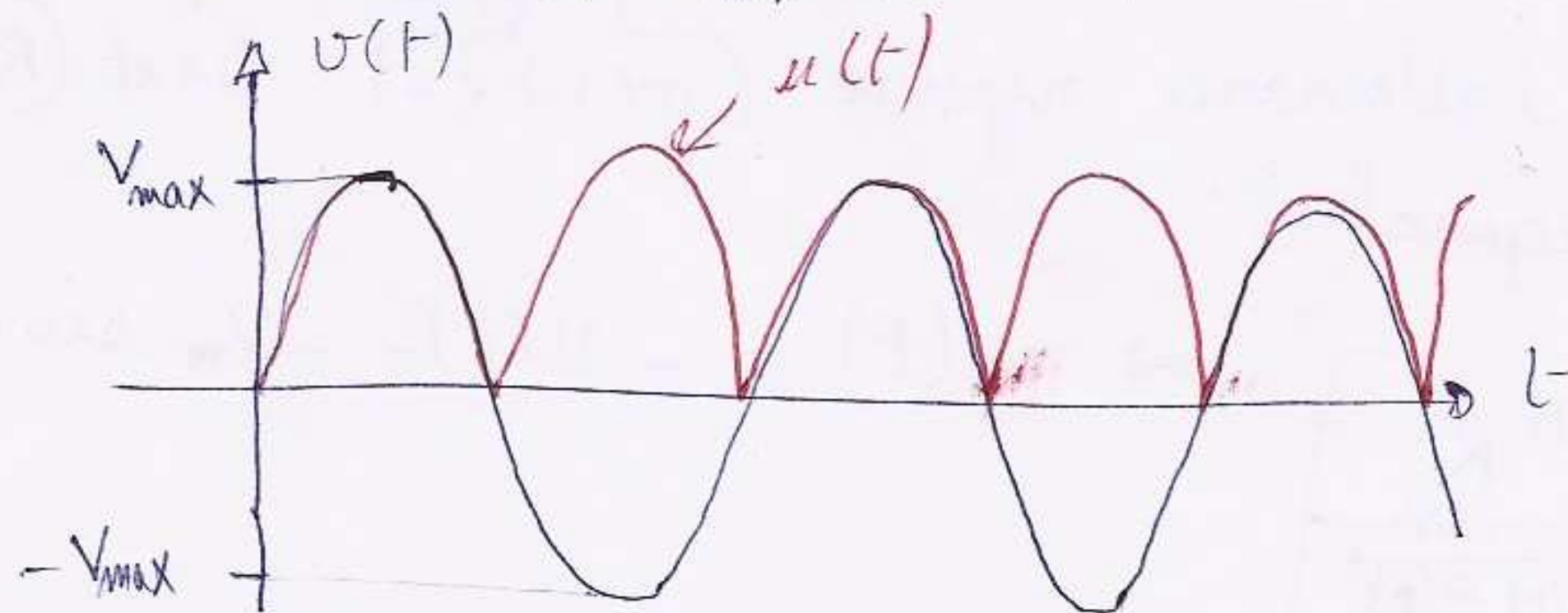
$$u(t) = v(t) = V_{\max} \sin \omega t.$$

\* Pendant l'alternance négative: ( $v(t) < 0$ ):

$D_1$  et  $D_3$  sont (B);  $D_2$  et  $D_4$  sont (P)



$$* u(t) = -v(t) = -V_{\max} \sin(\omega t).$$



$$U = \langle u(t) \rangle = \frac{2 V_{\max}}{\pi}; \quad U_{\text{eff}} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$$

La puissance instantanée:  $P(t)$ :

et comme:  $u(t) = R \cdot i(t) \rightarrow i(t) = \frac{u(t)}{R}$

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

$$\Rightarrow p(t) = \frac{u^2(t)}{R} = \frac{V_m^2 \sin^2 \omega t}{R}$$

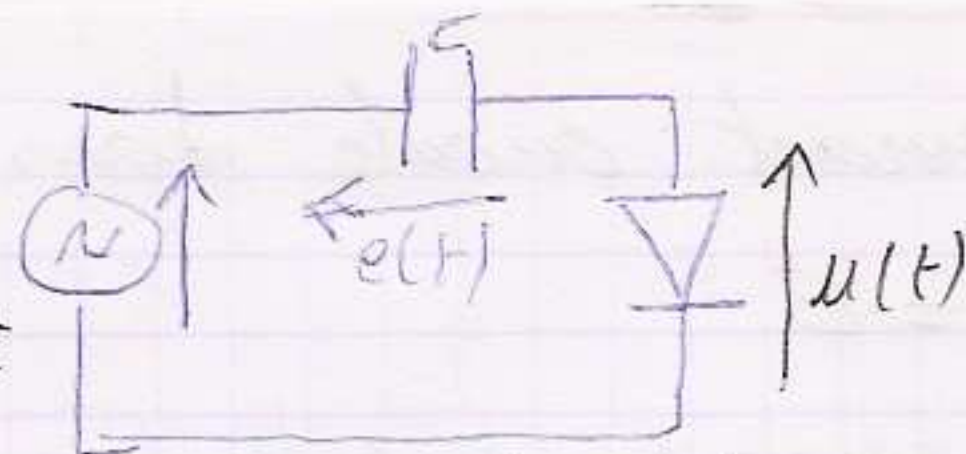
La puissance moyenne:  $P = \langle p(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{V_m^2 \sin^2 \omega t}{R} dt$



# Exercice 7

TD E.B.11

$$v(t) = V_m \sin \omega t$$



A l'instant  $t=0$ , le condensateur est déchargé.

On applique  $v(t)$ ,  $\forall t \Rightarrow v(t) = e(t) + u(t)$

si  $0 < t < \frac{T}{4}$ , le courant circule dans le sens passant de D  
 $\Rightarrow D \equiv C.C \Rightarrow u(t) = 0 \Rightarrow v(t) = e(t) = V_m \sin \omega t$

L'équ. de conservation de charge par C :  $e(\frac{T}{4}) = e'(\frac{T}{4}^+)$

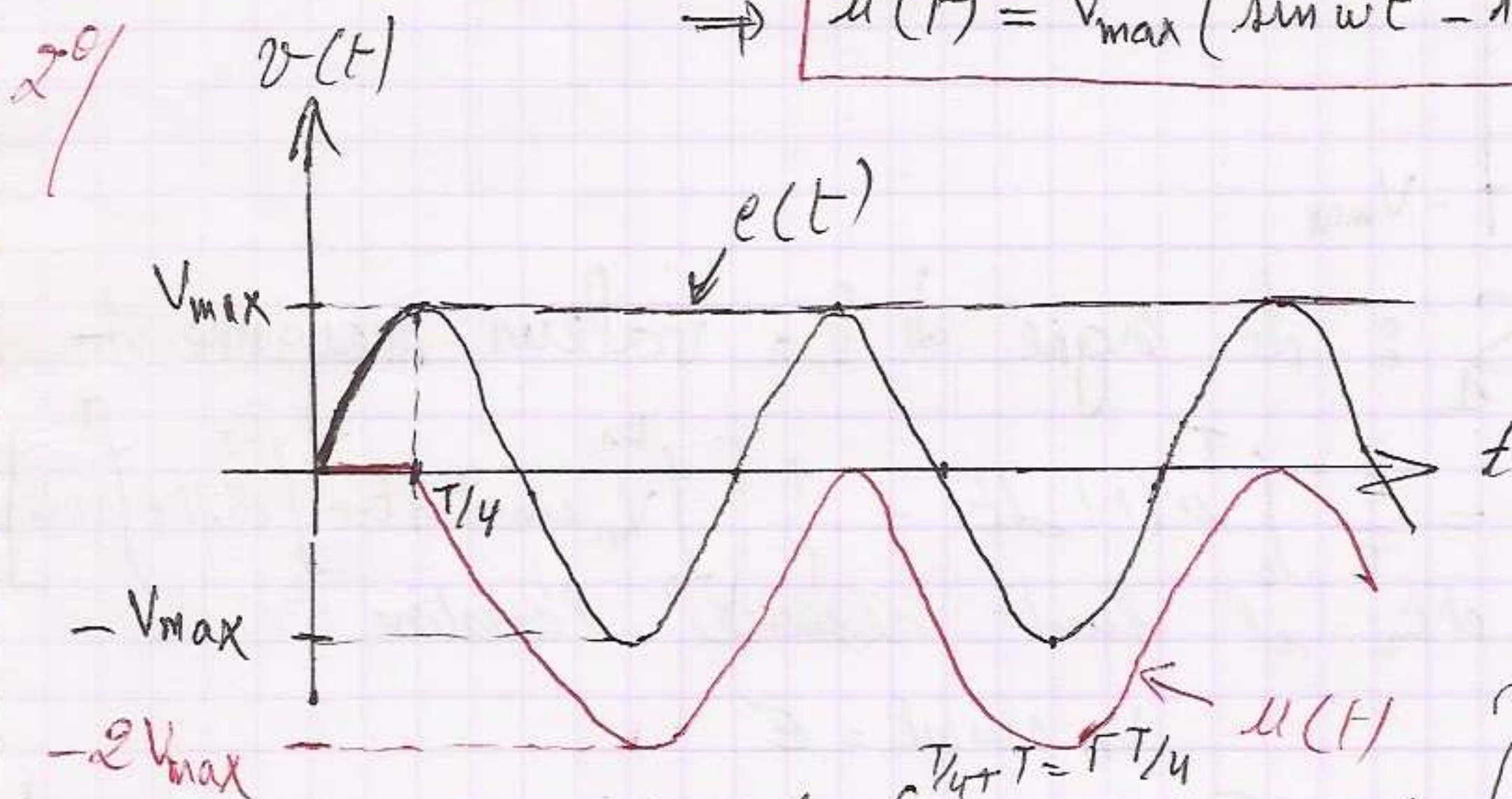
$$v(\frac{T}{4}) - u(\frac{T}{4}) = v(\frac{T}{4}^+) - u(\frac{T}{4}^+)$$

$$\Rightarrow u(\frac{T}{4}^+) = V_p - V_N = v(\frac{T}{4}^+) + u(\frac{T}{4}) - v(\frac{T}{4})$$

$$= V_m + 0 - V_m = -V_m < 0 \Rightarrow D \text{ est } (B)$$

A l'instant  $\frac{T}{4}$ , la diode se bloque, le condensateur chargé à  $V_{max}$  maintient et ne peut se décharger ;  $e(t) = V_{max}$  ;  $u(t) = v(t) - V_{max}$

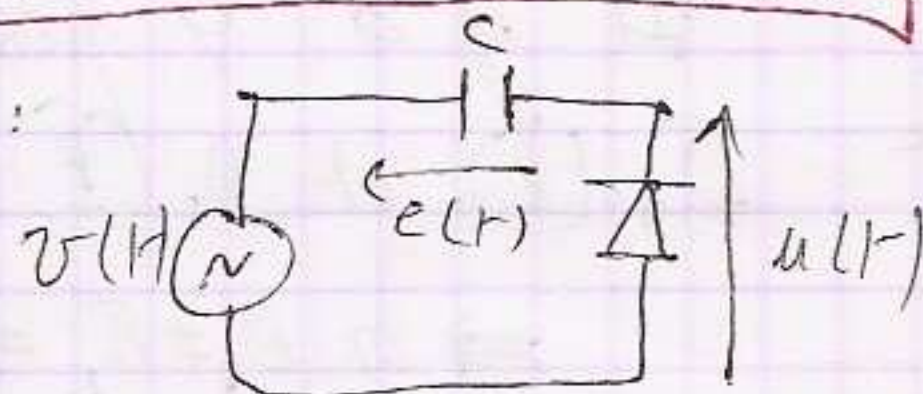
$$\Rightarrow u(t) = V_{max} (\sin \omega t - 1)$$



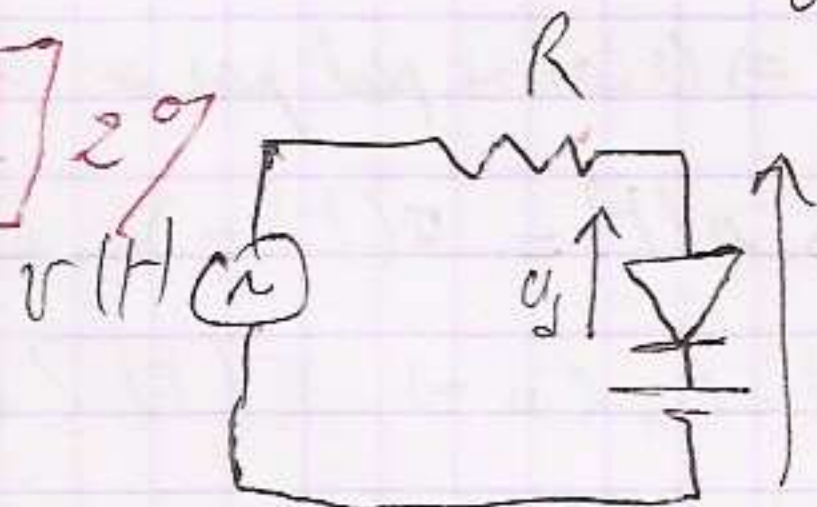
$$\langle u(t) \rangle = U = \frac{1}{T} \int_{T/4}^{T/4+T} u(t) dt = \frac{1}{T} \int_{T/4}^{T/4} (V_m \sin \omega t - V_m) dt$$

$$U = \dots = -V_{max}$$

Refaire les questions :



## Ex 8



Dans la maille, le courant est imposé par le générateur de plus grande ddp.

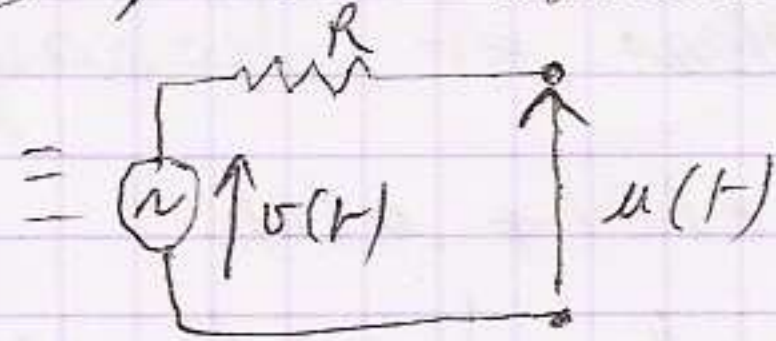


\* si  $v(t) > E$ , le courant circule dans le sens passant

$$D \Rightarrow D \equiv C.C \Rightarrow u(t) = E$$

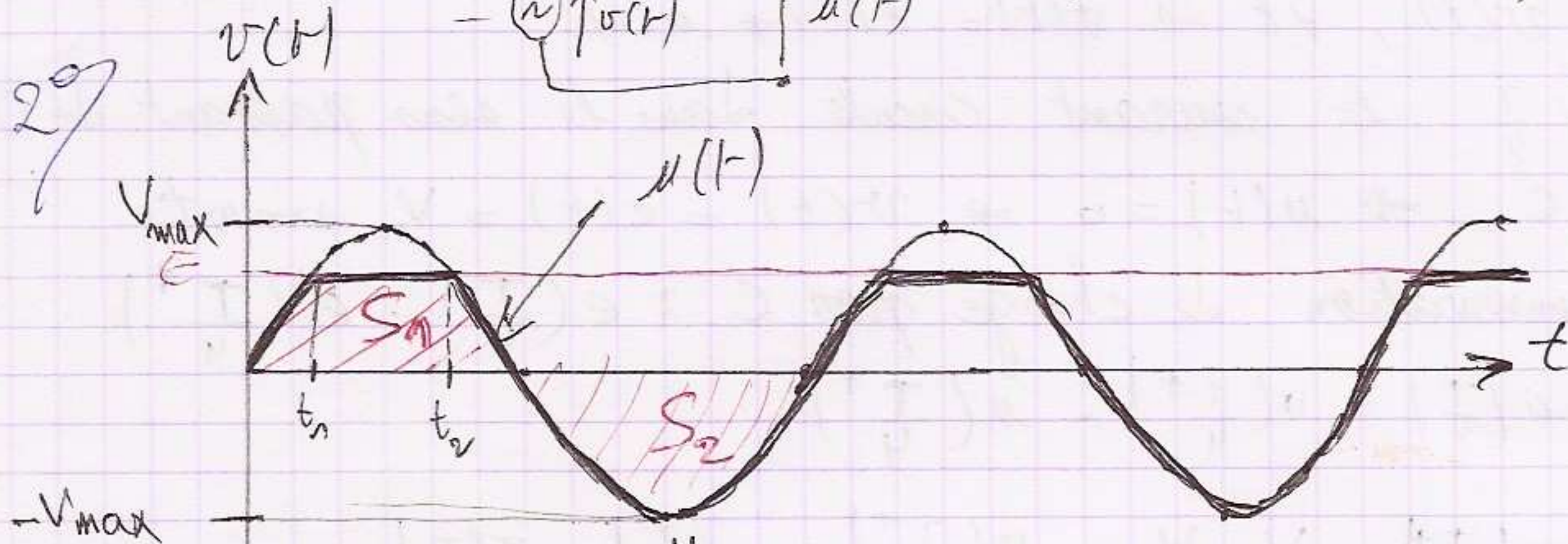
\* si  $v(t) < E$ , le courant circule dans le sens bloqué de  $D$

$$\Rightarrow D \equiv C.O$$



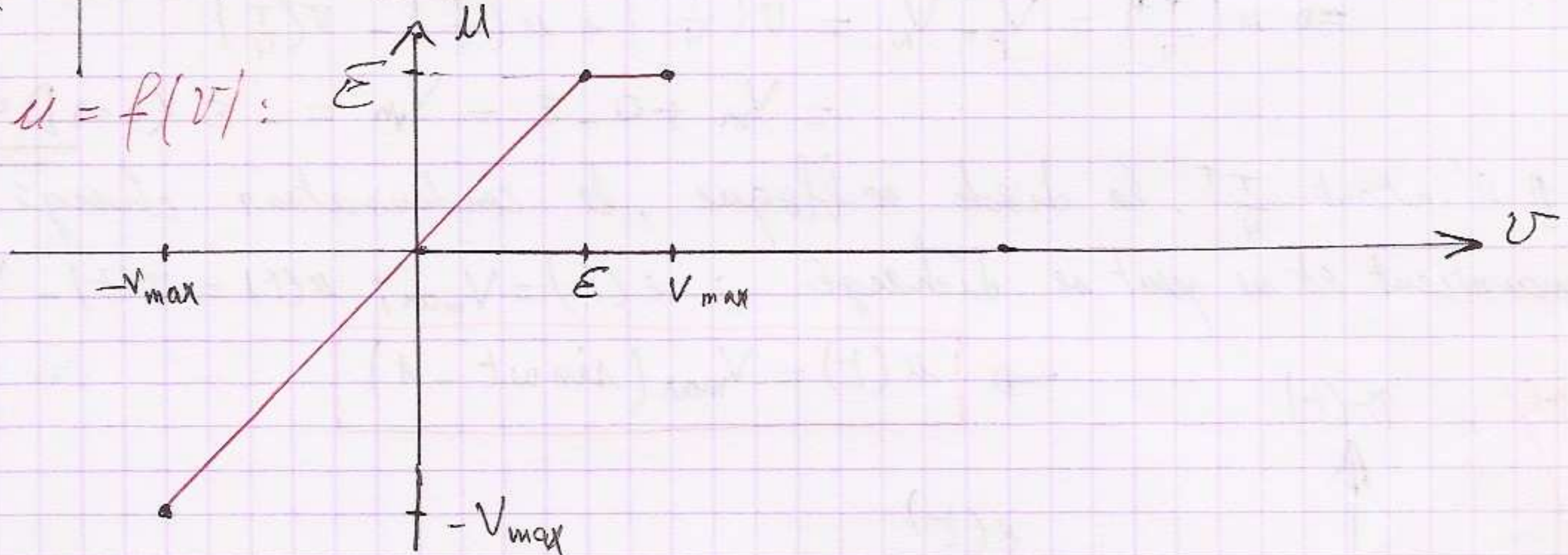
$$\Rightarrow u(t) = v(t)$$

2°



1°

$$u = f(v)$$



3° Comme  $S_2 > S_1$  : Le signe de la valeur moyenne est négative.

$$\langle u(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{t_1} V_m \sin \omega t dt + \int_{t_1}^{t_2} E dt + \int_{t_2}^T v(t) dt \right]$$

pour calculer  $t_1$  et  $t_2$  il faut résoudre l'équation :

$$V_m \sin \omega t = E$$

4° Figure 6 :

$$V_m > E_1 > E_2$$

$$\begin{cases} u = E_1 + V_{d1} \\ = E_2 - V_{d2} \end{cases}$$

$D_1$  est (P) si  $v(t) > E_1$

$D_2$  est (P) si  $v(t) < E_2$

Il y a 4 possibilités :

$$D_1 (P) \text{ et } D_2 (P) \Rightarrow D_1 \equiv D_2 \equiv C.C \Rightarrow u(t) = E_1 = E_2$$

$\Rightarrow$  or  $E_1 \neq E_2 \Rightarrow$  ce cas ne peut pas se réaliser.

$$* D_1 (B) \text{ et } D_2 (B) \Rightarrow D_1 \equiv D_2 \equiv C.O \Rightarrow u(t) = v(t) = V_m \sin \omega t$$

$$D_1 \text{ est (B)} \rightarrow V_{d1} < 0 \Rightarrow u - E_1 < 0 \Rightarrow v(t) - E_1 < 0 \Rightarrow v(t) < E_1$$

$$\Rightarrow \underline{D_1 \text{ est (B) si } v(t) < E_1}$$

suite



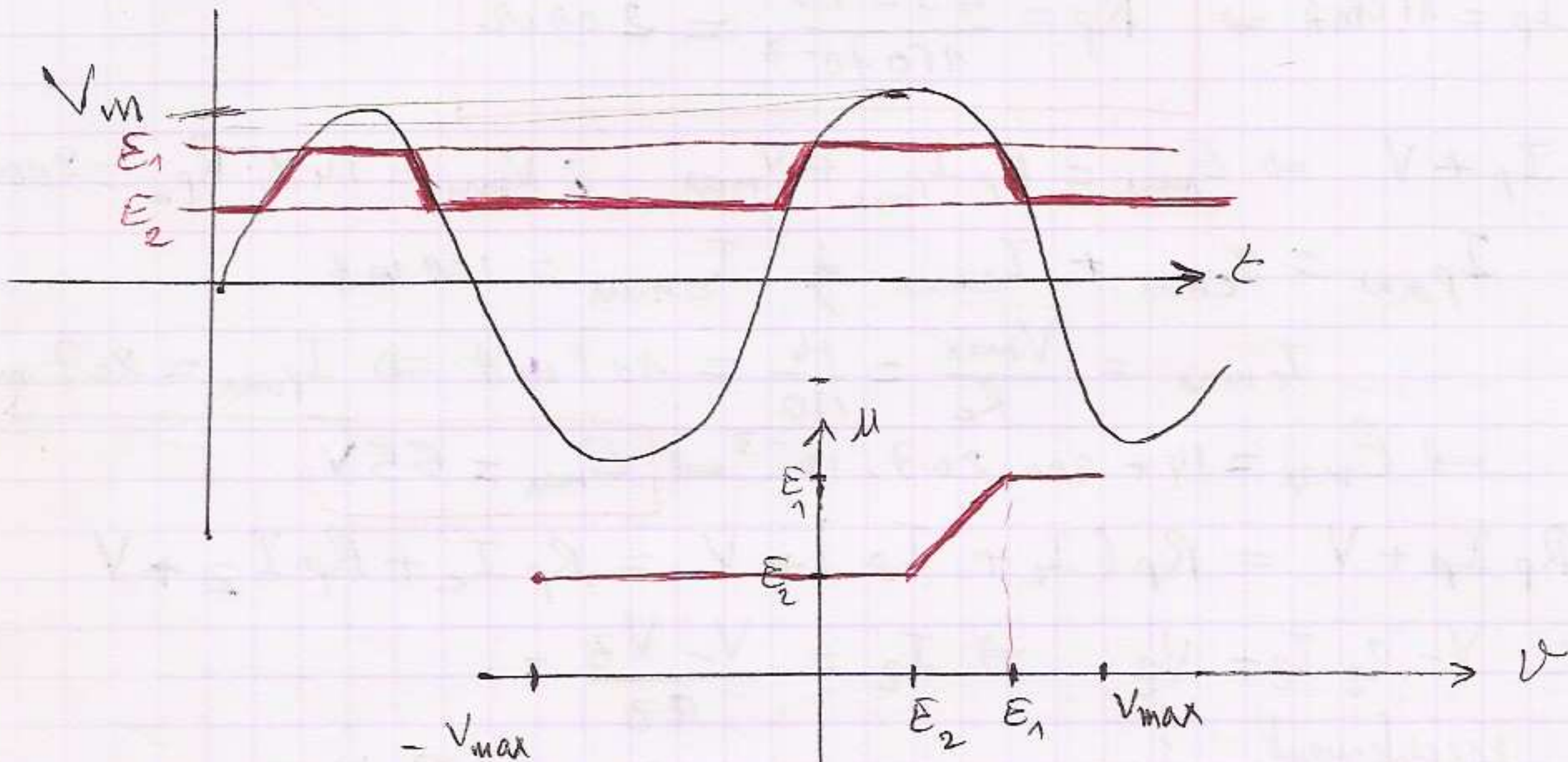
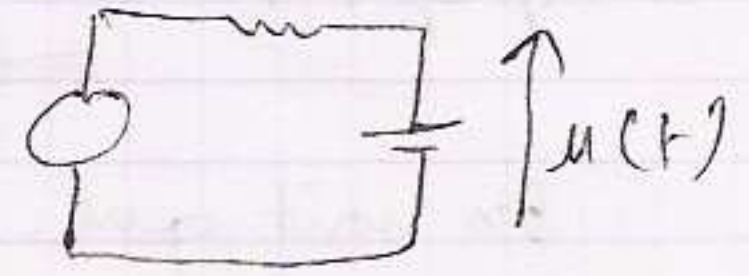
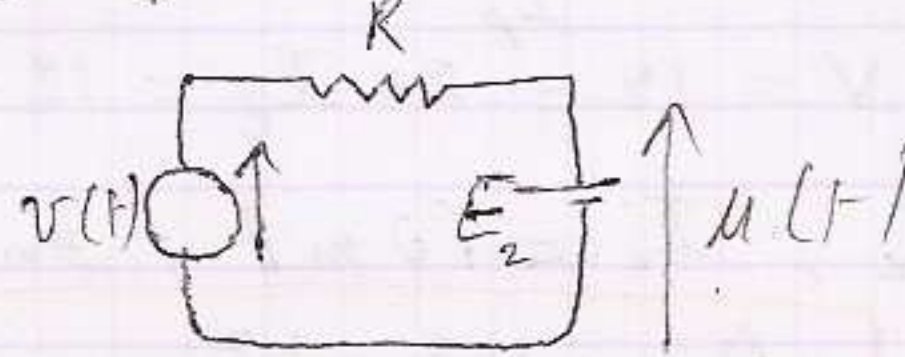
$\rightarrow D_2 \text{ est } (B) \rightarrow V_{d2} < 0 \Rightarrow E_2 - u(t) < 0 \Rightarrow E_2 - v(t) < 0 \Rightarrow v(t) > E_2$   
 $\Rightarrow D_2 \text{ est bloqué si } v(t) > E_2$

En résumé :  $D_1$  et  $D_2$  sont (B) si :  $E_2 < v(t) < E_1$

(\*)  $D_1 \text{ est } (P)$  si  $v(t) > E_1 \Rightarrow u(t) = E_1$

(\*)  $D_1 \text{ est } (B)$  et  $D_2 \text{ est } (P)$  :

$u(t) = E_2$  ;  $v(t) < E_2$



Le signe de la valeur moyenne est positive.

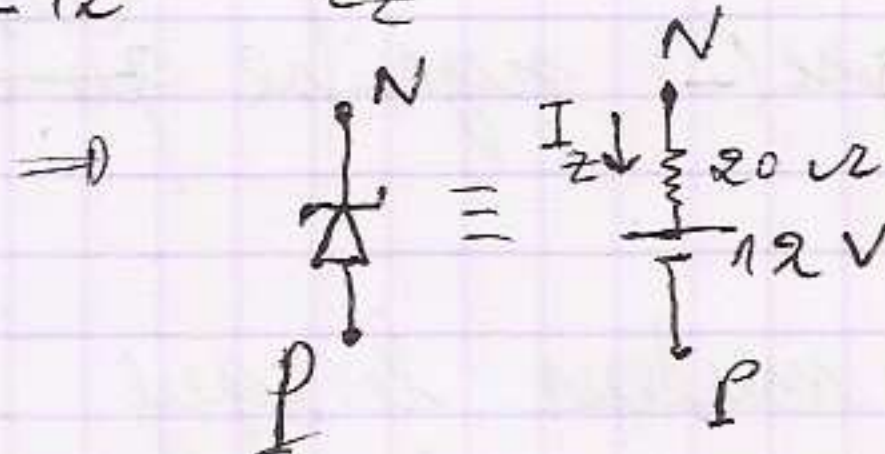
**EX 9** 1° figure 7 :

a-  $r_z = \frac{1}{\tan \beta}$  ;  $\tan \beta = \frac{25 \cdot 10^{-3}}{12,5 - 12} = 50 \cdot 10^{-3}$

$r_z = \frac{1}{50} \cdot 10^3 = 20 \Rightarrow \boxed{r_z = 20 \Omega}$

recalcule :

$\tan \beta = \frac{I_z - 0}{V - 12} = \frac{1}{r_z} \Rightarrow V = V_z + r_z I_z = 12 + 20 I_z$



b-  $P_{\max} = V_{\max} \cdot I_{z\max} = (12 + 20 I_{z\max}) I_{z\max} = 1,4$

$\Rightarrow 20 I_{zm}^2 + 12 I_{zm} - 1,4 = 0$

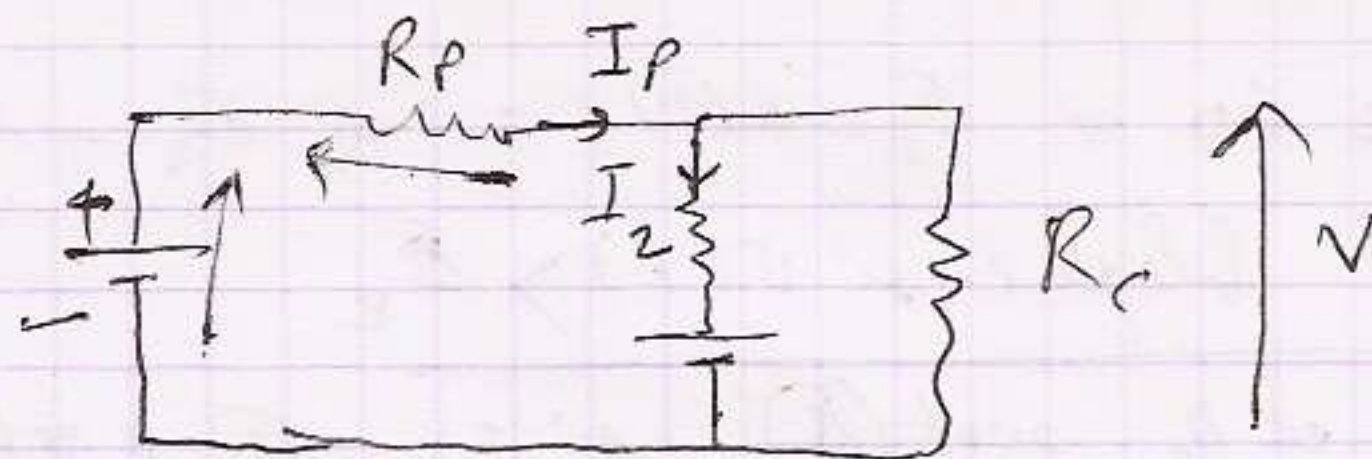
$I_{z\max} = 100 \text{ mA}$  ( $I_{z\max} < 0$  on le rejette).

$\Rightarrow V_{\max} = 12 + 20 \cdot 100 \cdot 10^{-3} = 14 \text{ V}$

2° Cette diode est utilisée - figure 8 :



Le montage ma:



a/  $E = R_p I_p + V$

$$\Rightarrow R_p = \frac{E - V}{I_p}$$

On sait que:  $V = 12 + 20 I_z = 12 + 20 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 13V$

$I_p = I_z + I_c$ ;  $I_c = 10 \text{ mA}$ ; on a:  $V = R_c I_c \Rightarrow I_c = \frac{V}{R_c} = \frac{13}{130} = 100 \text{ mA}$

$\Rightarrow I_p = 150 \text{ mA} \Rightarrow R_p = \frac{43 - 13}{150 \cdot 10^{-3}} = 200 \Omega$

b/  $E = R_p I_p + V \Rightarrow E_{\max} = R_p I_{p\max} + V_{\max}$ ;  $V_{\max} = 14V$ ;  $R_{p\max} = 200 \Omega$

$I_{p\max} = I_{c\max} + I_{z\max}$ ;  $I_{z\max} = 100 \text{ mA}$

$I_{c\max} = \frac{V_{\max}}{R_c} = \frac{14}{130} = 107 \text{ mA} \Rightarrow I_{p\max} = 207 \text{ mA}$

$\Rightarrow E_{\max} = 14 + 200 \cdot 207 \cdot 10^{-3} \Rightarrow E_{\max} = 55V$

c/  $E = R_p I_p + V = R_p (I_c + I_z) + V = R_p I_c + R_p I_z + V$

D'autre part:  $V = r_z I_z + V_z \Rightarrow I_z = \frac{V - V_z}{r_z}$

remplaçant précédemment:

$$E = R_p I_c + \frac{R_p}{r_z} V - \frac{R_p V_z}{r_z} + V$$

$$= R_p I_c + V \left( \frac{R_p}{r_z} + 1 \right) - \frac{R_p V_z}{r_z}$$

$\Rightarrow V = \frac{r_z}{R_p + r_z} \left[ E - R_p I_c + \frac{R_p}{r_z} V_z \right]$

$\Rightarrow F = \left. \frac{\Delta V}{\Delta E} \right|_{I_c = \text{cte}} = \frac{r_z}{R_p + r_z} = \frac{20}{220} = 0,09 \Rightarrow F = 0,09$

d/  $G = \left. \frac{\Delta V}{\Delta I_c} \right|_{E = \text{cte}} = - \frac{R_p r_z}{R_p + r_z} = -18 \Omega \Rightarrow G = -18 \Omega$

e/ Conclusion: \* Le signe (-) signifie que si  $E = \text{cte}$  s'illimine:  $V \uparrow \Rightarrow I_c \downarrow$

\* La régulation est meilleur lorsque les facteurs de stabilisation  $F$  et  $G$  sont beaucoup plus faible.

\* Le Cas idéal  $r_z = 0$  n'existe pas



Examen d'Electronique de base  
Session de Rattrapage

$S_4$  : Filière SMP  
Durée 1H30mn

**Exercice 1 (8 pts)**

Soit le montage de la figure 1, on veut appliquer les théorèmes de Thevenin et de Norton entre les points A et B.

1. Calculer la résistance Thevenin :  $R_{Th}$ .
2. Appliquer le théorème de superposition pour calculer la tension de Thevenin :  $E_{Th}$ .
3. En déduire la résistance de Norton :  $R_N$ .
4. Appliquer le théorème de superposition pour calculer le courant de Norton :  $I_N$ .

**Exercice 2 (4 pts)**

Considérons le circuit de la figure 2, sachant que le condensateur est déchargé à l'instant initial.

1. Donner l'équation en tension du circuit.
2. Résoudre cette équation puis donner l'expression de  $v(t)$
3. Tracer  $v(t)$ .

**Exercice 3 (8 pts)**

Soit le circuit de la figure 3.

1. Déterminer l'expression de la fonction de transfert :  $T(j\omega) = \frac{v_s(t)}{v_e(t)}$ .
2. Montrer que  $T(j\omega)$  peut se mettre sous la forme :  $T(j\omega) = \frac{k}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$ . Préciser les valeurs de  $k$  et  $\omega_0$ .
3. Etudier  $|T(j\omega)|_{dB}$  en basses et en hautes fréquences, déduire les asymptotes si elles existent.
4. Tracer dans le plan de Bode  $|T(j\omega)|_{dB}$  en fonction de  $\log(\omega)$ .
5. Déterminer par calcul l'expression de la fréquence de coupure.
6. Donner l'expression de  $\varphi = \text{Arg}(T(j\omega))$ .
7. Etudier  $\varphi$  en basses et en hautes fréquences, déduire les asymptotes si elles existent.
8. Tracer dans le plan de Bode  $\varphi$  en fonction de  $\log(\omega)$ .



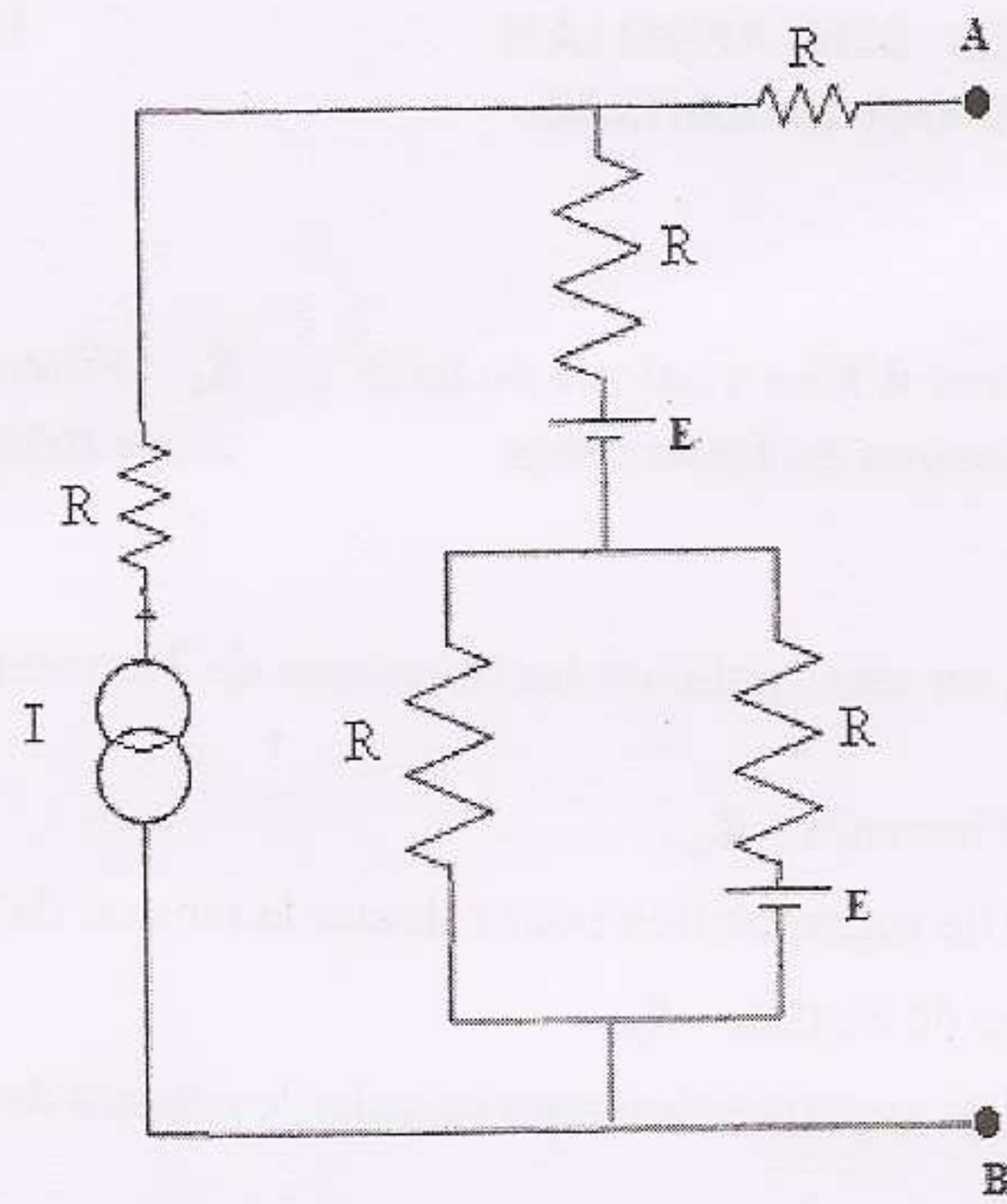


Figure 1

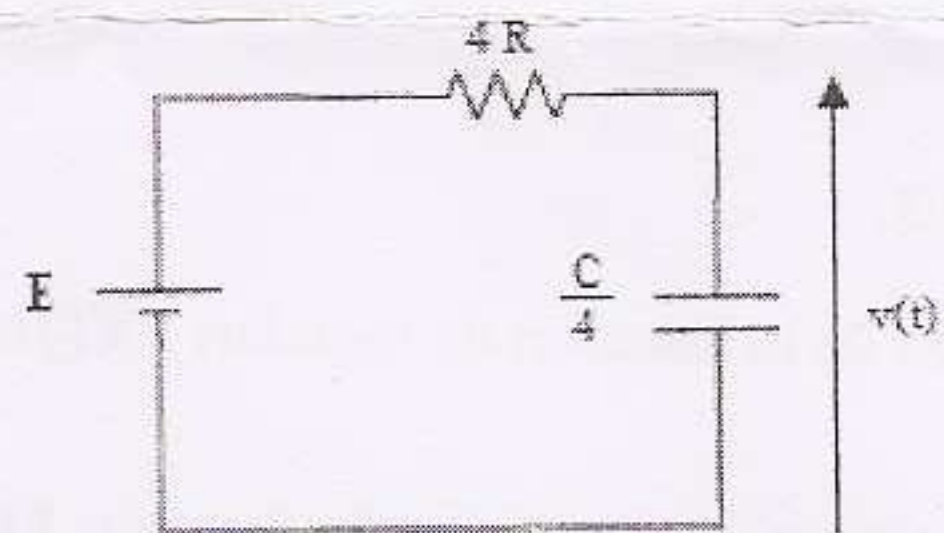


Figure 2

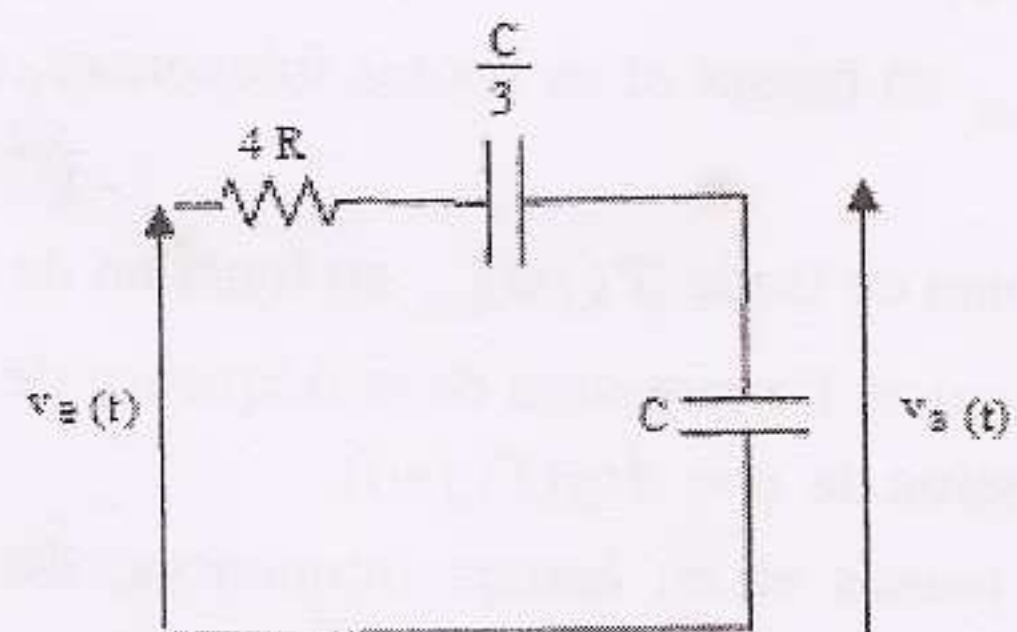


Figure 3



Examen d'Electronique de base  
Session de Printemps

$S_4$  : Filière SMP  
Durée 1H30mn

Question de cours

Expliquer le mouvement des porteurs de charges dans le cas d'une polarisation en inverse d'une diode à jonction PN.

Exercice

Soit le montage de la figure 1, on veut appliquer les théorèmes de Thevenin et de Norton entre les points A et B.

1. Calculer la résistance Thevenin :  $R_{Th}$ .
2. Appliquer le théorème de superposition pour calculer la tension de Thevenin :  $E_{Th}$ .
3. En déduire la résistance de Norton :  $R_N$ .
4. Appliquer le théorème de superposition pour calculer le courant de Norton :  $I_N$ .
5. Le circuit de la figure 1 est remplacé par son équivalent de Thevenin puis branché à celui de la figure 2 par les points A et B. On suppose que  $R_{Th}$  et  $E_{Th}$  sont connues et qu'à l'instant initial aucun courant ne circule dans la maille. Donner l'équation d'établissement du courant dans la maille.
6. Résoudre cette équation puis donner l'expression de  $i(t)$ .
7. Tracer  $i(t)$ . En déduire le temps de montée de  $i(t)$ .
8. Le circuit de Thevenin relatif à la figure 1 est branché cette fois ci au circuit de la figure 3. Déterminer l'expression de la fonction de transfert :  $T(j\omega) = \frac{v(t)}{E_{Th}}$ .
9. Mettre  $T(j\omega)$  sous une forme canonique puis calculer  $|T(j\omega)|_{dB} = 20 \log |T(j\omega)|$  en fonction de  $\log(\omega)$ .
10. Etudier  $|T(j\omega)|_{dB}$  en basses et en hautes fréquences, déduire les asymptotes si elles existent.
11. Tracer dans le plan de Bode  $|T(j\omega)|_{dB}$  en fonction de  $\log(\omega)$ .
12. Déterminer par calcul l'expression de la fréquence de coupure.
13. Donner l'expression de  $\varphi = \text{Arg}(T(j\omega))$ .
14. Etudier  $\varphi$  en basses et en hautes fréquences, déduire les asymptotes si elles existent.
15. Tracer dans le plan de Bode  $\varphi$  en fonction de  $\log(\omega)$ .



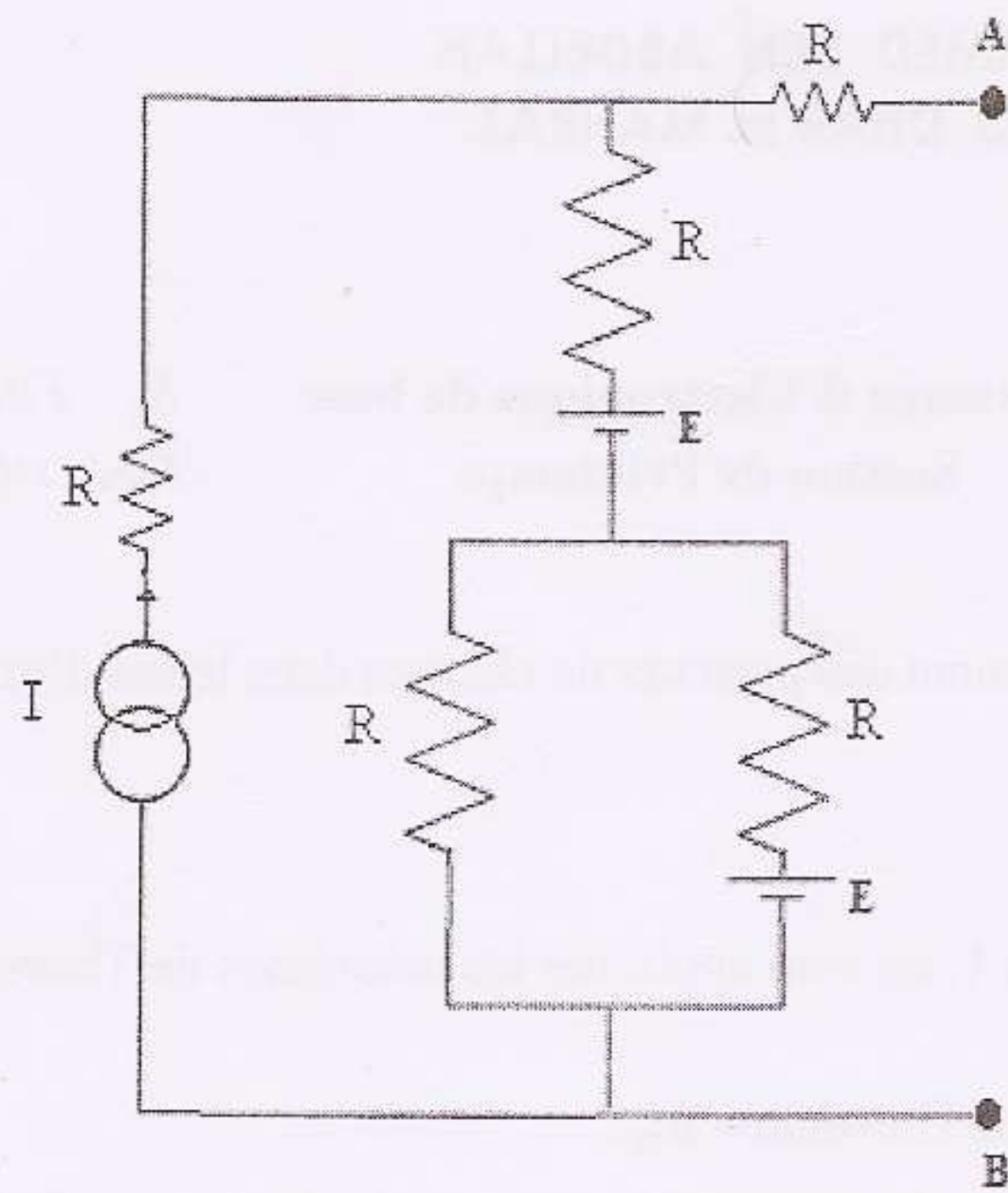


Figure 1

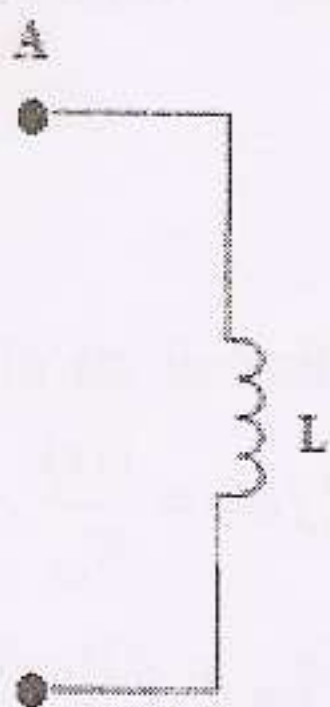


Figure 2

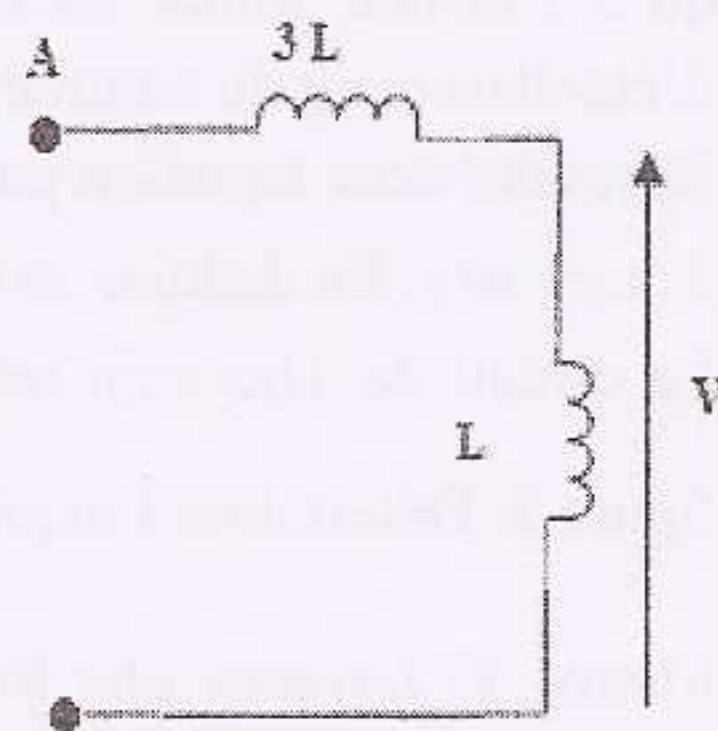


Figure 3



Diodes à jonction PN.

**EXERCICE 1**

Une diode au silicium présente un courant de saturation  $I_S = 10 \text{ nA}$  et un coefficient d'idéalisation  $\eta = 1,5$

Calculer à  $\theta = 27^\circ\text{C}$ , le courant total  $I$  et la résistance dynamique pour une polarisation :

- 1)  $V = 0,65\text{V}$
- 2)  $V = -0,65\text{V}$

**EXERCICE 2**

Un générateur de tension sinusoïdale est branché sur le primaire d'un transformateur à point milieu. Sur le secondaire on obtient deux tensions de même amplitudes, même fréquences, identiques et orientées comme l'indique la figure 1.  $v_1(t) = V_{\max} \sin \omega t$ ,  $v_2(t) = -V_{\max} \sin \omega t$

Les deux diodes  $D_1$  et  $D_2$  sont idéales, la tension redressée  $u$  est relevée aux bornes de la charge  $R$ . Donner le schéma équivalent du montage pour chaque état de fonctionnement et exprimer  $u(t)$  en fonction de  $v$ . Représenter  $u(t)$ , calculer sa valeur moyenne et sa valeur efficace.

**EXERCICE 3**

Un générateur de tension sinusoïdale est branché sur le primaire d'un transformateur. Sur le secondaire on obtient une tension  $v(t) = V_{\max} \sin \omega t$  qui débite sur quatre diodes  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  et  $D_4$  supposées idéales montées en pont comme l'indique la figure 2, la tension redressée  $u$  est prélevée aux bornes de la charge  $R$ .

Donner le schéma équivalent du montage pour chaque état de fonctionnement et exprimer  $u(t)$  en fonction de  $v$ . Représenter  $u(t)$ , calculer sa valeur moyenne et sa valeur efficace.

**EXERCICE 4**

Le montage de la figure 3 est attaqué par un signal sinusoïdal de valeur moyenne nulle  $e(t) = E_{\max} \sin \omega t$ , la diode est idéale.

- 1) Sachant qu'à l'instant initial  $t=0$  le condensateur  $C$  est déchargé c.a.d.  $v(t=0) = 0$ . Déterminer l'expression du signal  $v(t)$  et les coordonnées des points de changement de courbure, représenter soigneusement sur le même graphe  $e(t)$  et  $v(t)$ .
- 2) Etudier les cas limites  $C \rightarrow 0$  et  $C \rightarrow \infty$ , conclure.
- 3) Soit  $\Delta V$  l'ondulation : Dans l'hypothèse  $RC \gg T$ , montrer que  $\Delta V / E = T / RC$ , conclure.



### EXERCICE 5

Dans le montage de la figure 4 les deux diodes D1 et D2 sont idéales, la tension  $v_e(t)$  est sinusoïdale. On donne :  $v_e(t) = 16 \sin 314t$ ,  $E_1 = 9V$ ,  $E_2 = 3V$ .

On considère les trois cas suivants :

- a. D1 bloquée D2 passante      b. D1 bloquée D2 Bloquée      c. D1 passante D2 Bloquée

Pour chaque état, calculer  $v_s$  et donner la condition que doit vérifier  $v_e$ .

2. Tracer le graphe  $v_s = f(v_e)$ .

3. Tracer sur le même graphe  $v_s(t)$  et  $v_e(t)$ . Calculer les coordonnées des points de changement d'état.

### EXERCICE 6

On considère le montage de la figure 5, dans lequel D est une diode idéale et L est une inductance pure

A l'instant initial  $t = 0$ , le condensateur est déchargé  $v(t=0) = 0$  et aucun courant ne circule dans le circuit  $i(t=0) = 0$ , on ferme alors l'interrupteur K.

1. Calculer l'expression de la tension  $v$  et du courant  $i$  en fonction de  $t$ ,  $E$ ,  $C$ ,  $L$ .

2. Calculer l'instant  $t_1$  où le courant est maximal et déduire  $v(t_1)$ . Calculer l'instant  $t_2$  où le courant s'annule et déduire  $v(t_2)$ .

Tracer les courbes  $i(t)$  et  $v(t)$ , conclure.

### EXERCICE 7

Une source de tension  $E$  redressée et filtrée est susceptible de varier autour de sa valeur moyenne.

On veut réguler cette source à l'aide d'une diode Zener. ( $V_Z = 12V$ ,  $r_Z = 20\Omega$ ,  $I_{Z_{max}} = 100mA$ ). On donne

$R_c = 130\Omega$ . Voir figure 6

1. Pour  $E = 43$  volts on désire  $I_Z = 50$  mA, calculer la valeur de la résistance de protection  $R_p$

2. Calculer ( $E_{max}$ ) la valeur maximale de  $E$  qu'il ne faut pas dépasser

3. Calculer  $F$  et  $G$  les facteurs de stabilisation amont et aval du montage, Conclure.



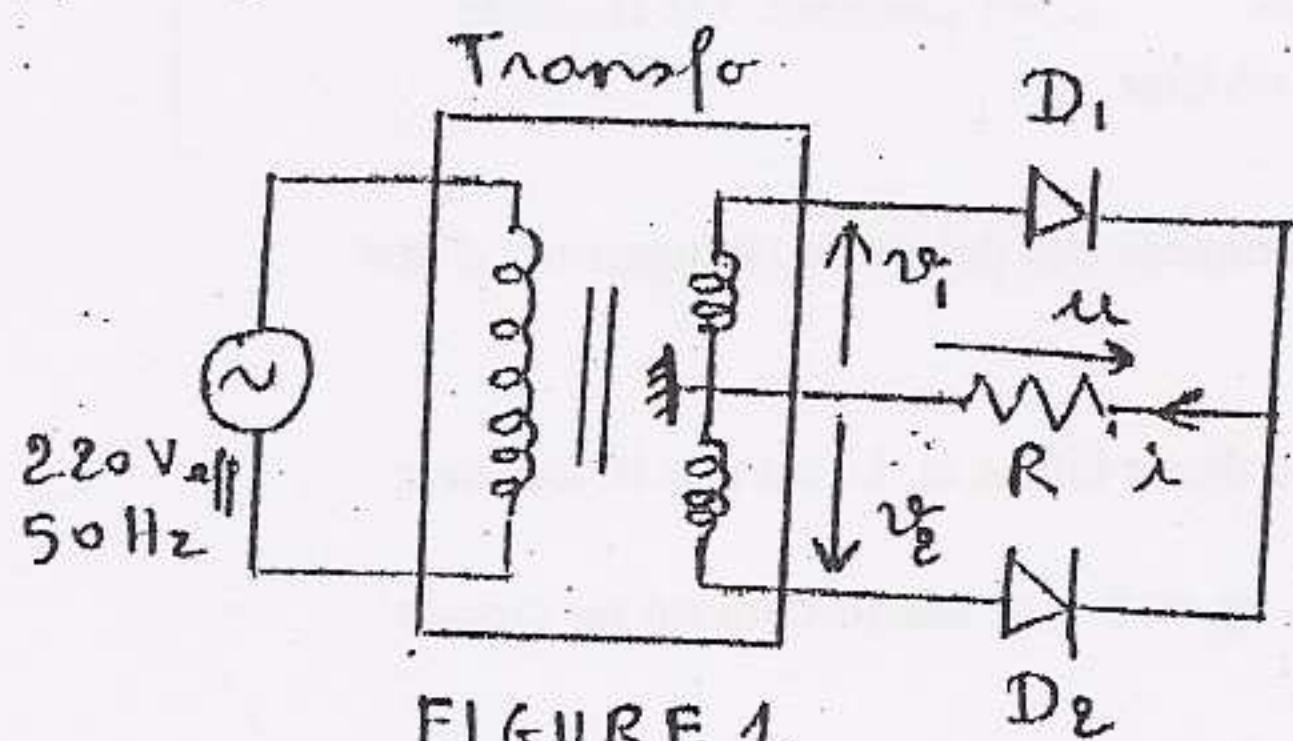


FIGURE 1

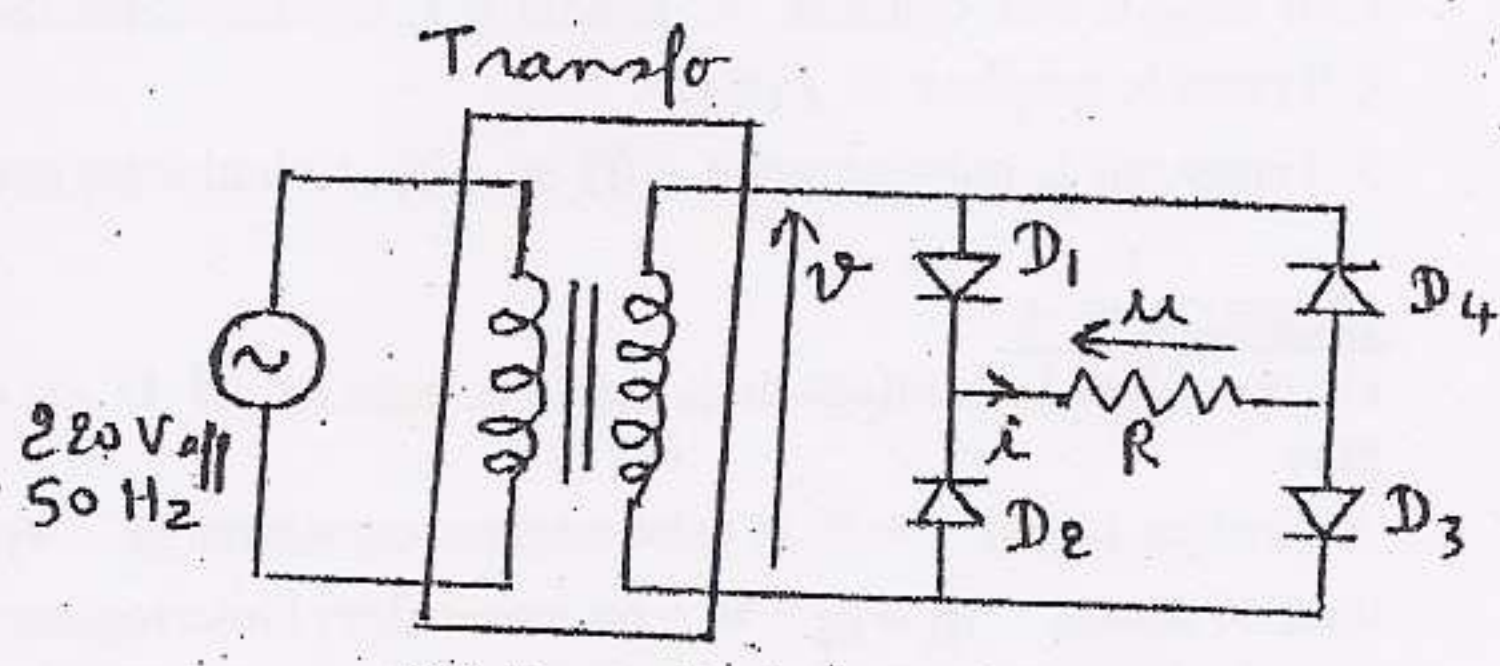


FIGURE 2

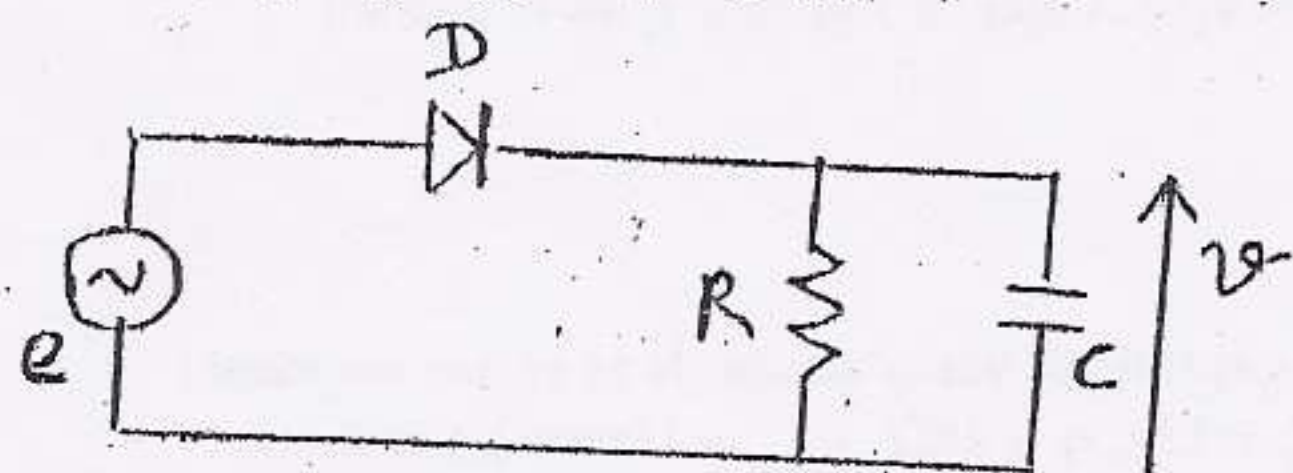


FIGURE 3

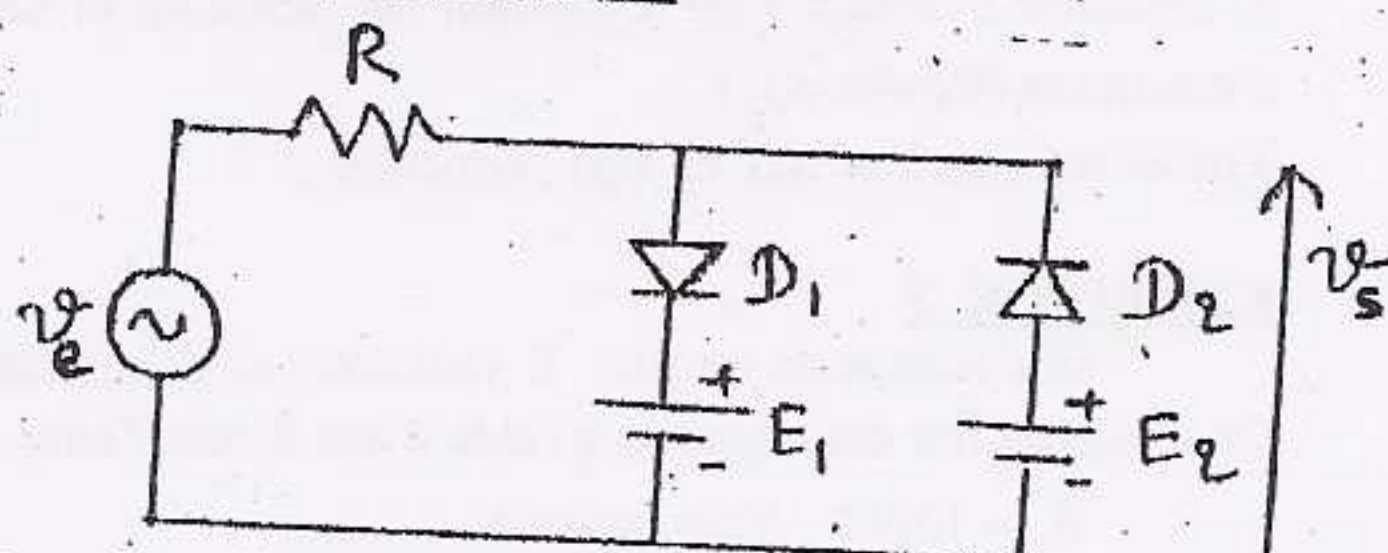


FIGURE 4

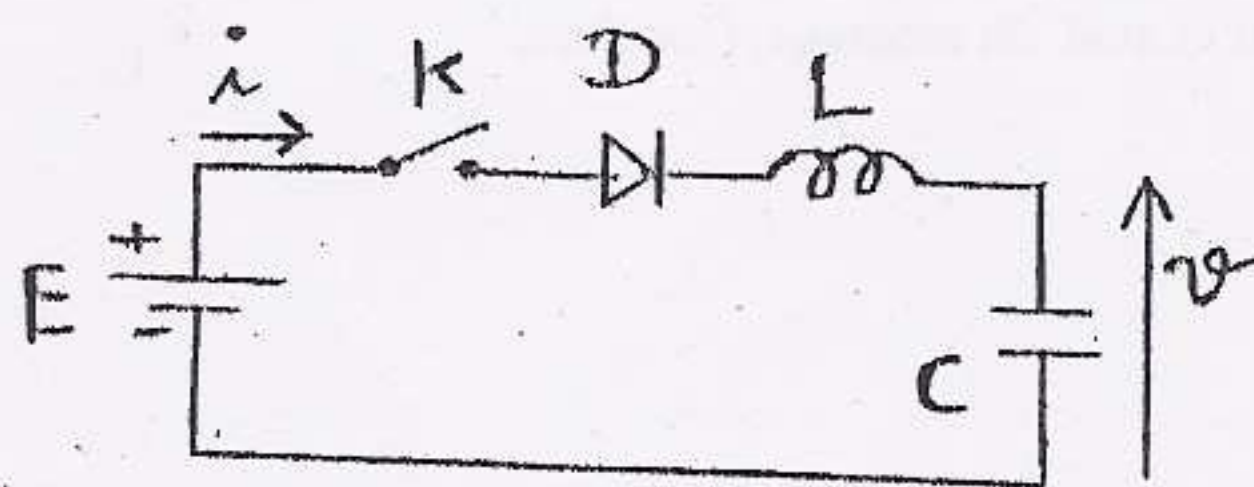


FIGURE 5

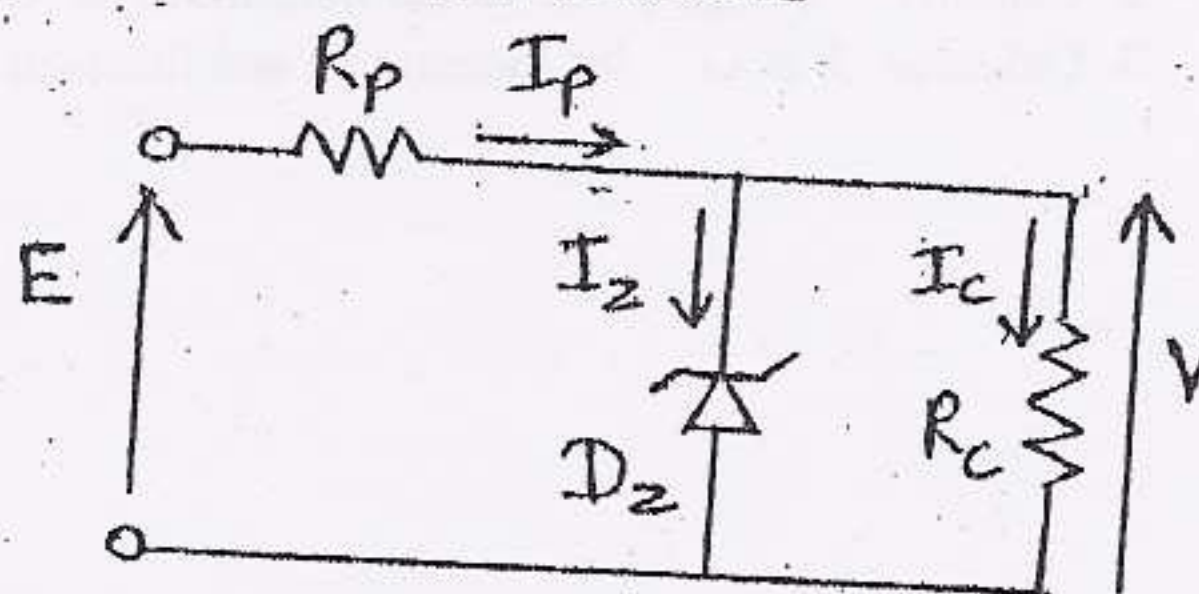


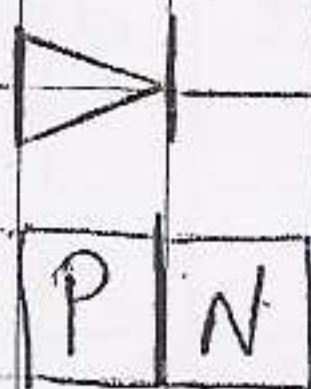
FIGURE 6



Diodes à jonction PN

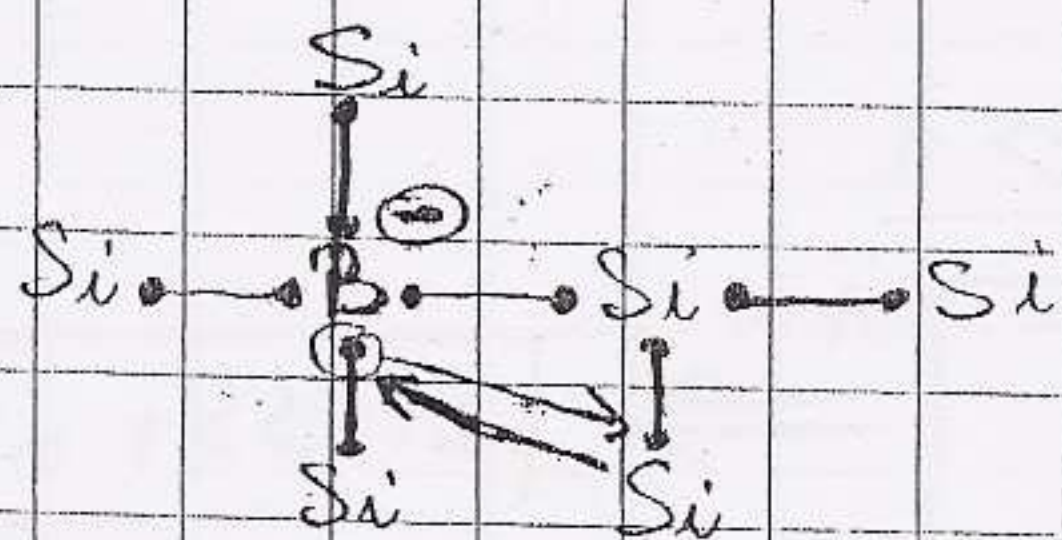
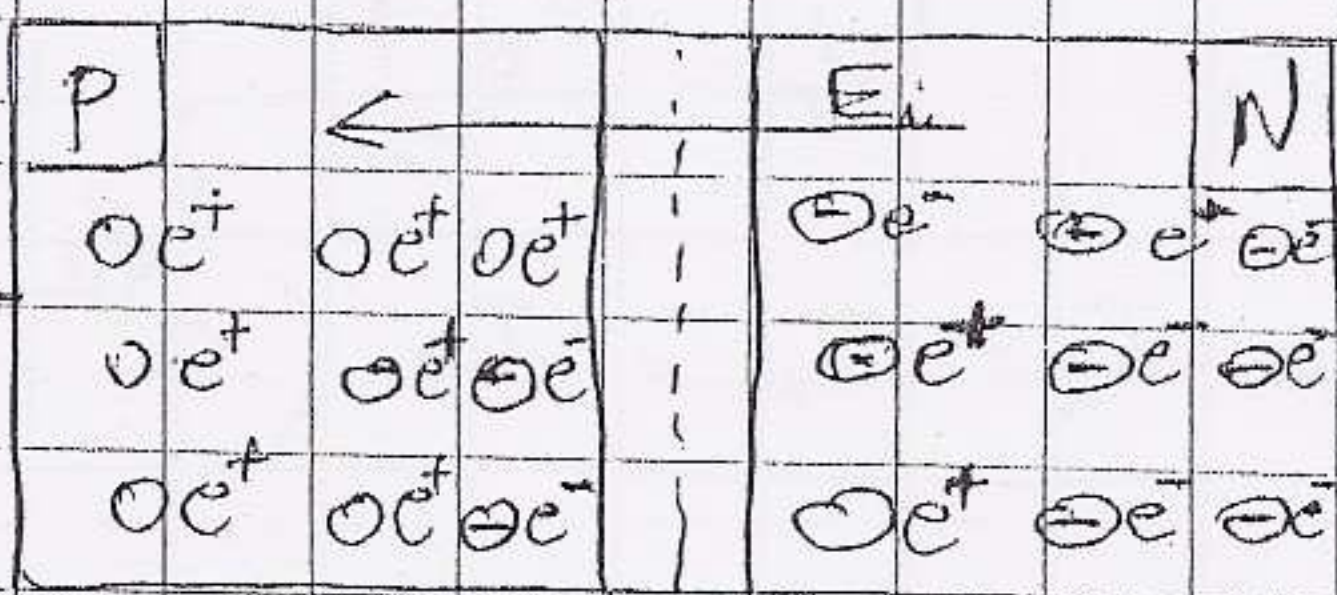
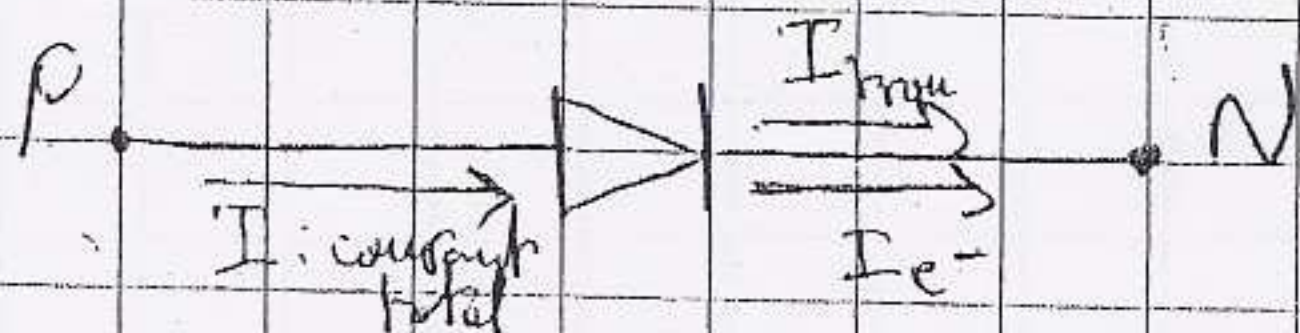
Exercice (1) :

Rappel :



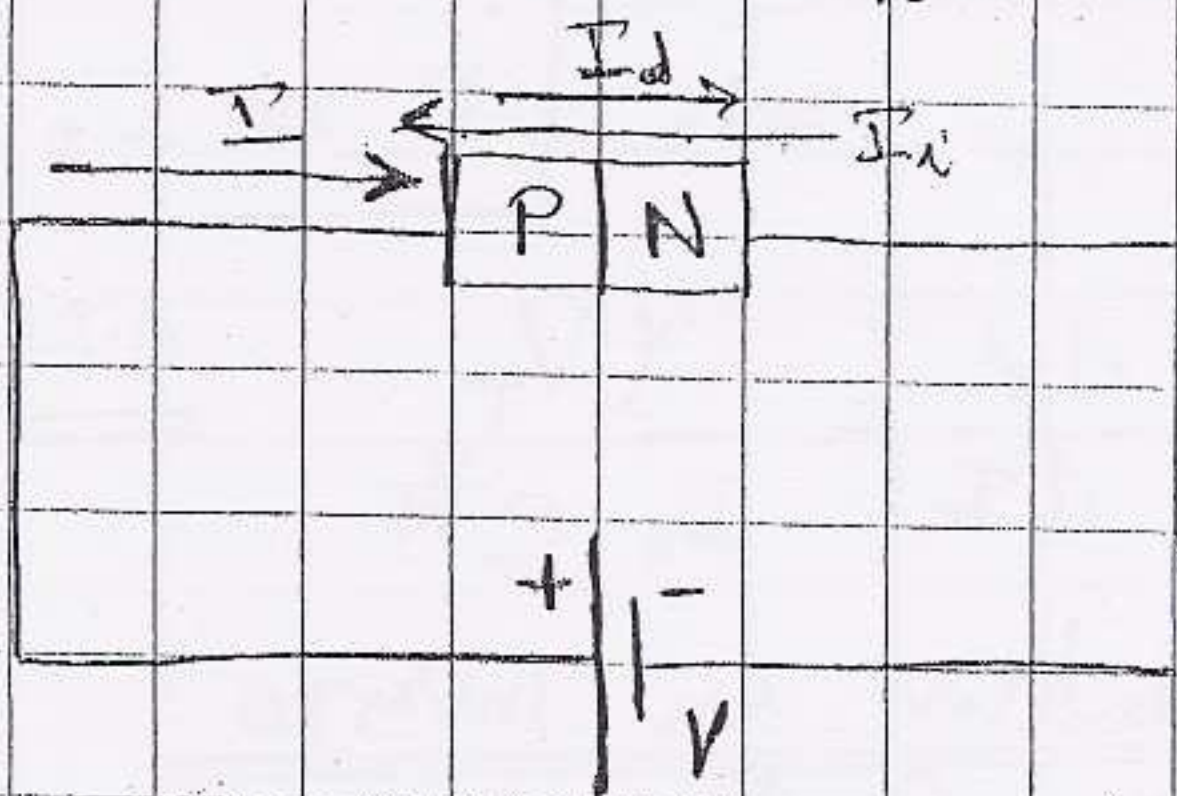
Diode à jonction PN.

On prend  $I$  dans le sens direct 'sens du courant'



$$I = I_d + I_i$$

avec  $I_d = I_{\text{trou}} + I_{e^-}$



$$I = I_d - I_i$$

$$I_d = I_s e^{\left(\frac{eV}{\eta kT}\right)}$$

$$I_i = I_s \text{ "courant de saturation"}$$

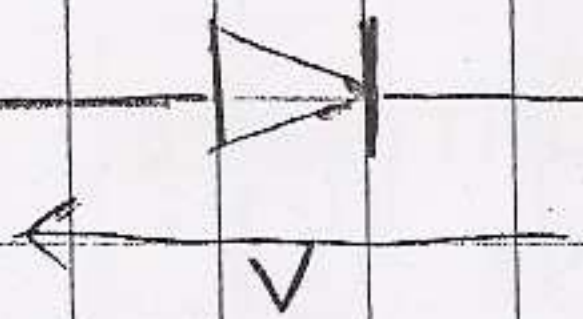
soit  $V_{\text{théor}} = \frac{kT}{e}$

$\eta$ : coefficient d'idealisation

$$\Rightarrow I = I_s \left( e^{\left(\frac{eV}{\eta kT}\right)} - 1 \right)$$



Soit on a :



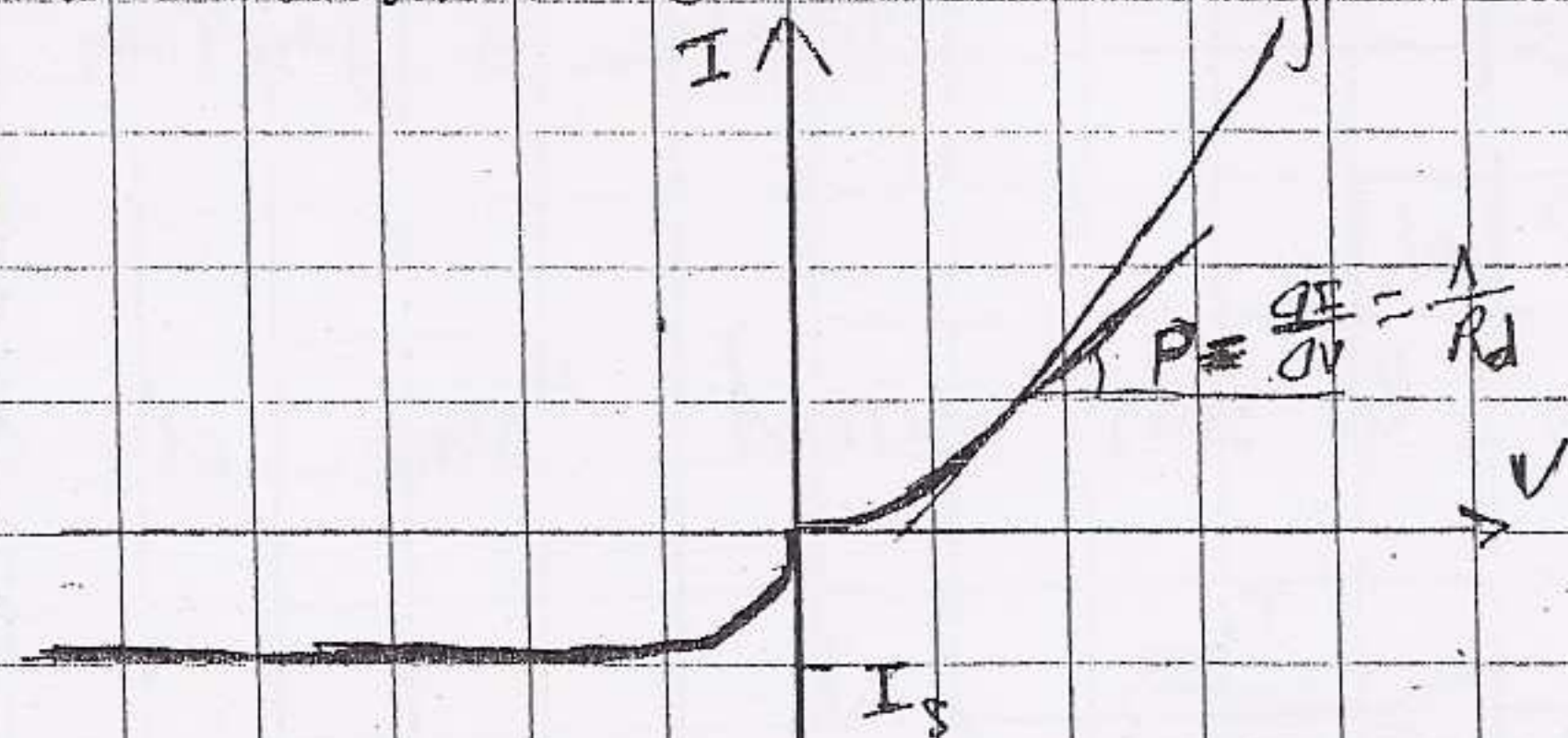
$$I_s = 10 \text{ nA}$$

$$\eta = 1.5$$

$$T = 27^\circ \text{C}$$

1) Cas de la polarisation directe  $V = 0.65 \text{ Volts}$ .

On peut dessiner la caractéristique de cette diode comme suite :



$$\frac{dI}{dV} = \frac{I_s}{\eta V_T} e^{\frac{V}{\eta V_T}}$$

$$I_d = I_s e^{\frac{V}{\eta V_T}}$$

$$V_T = \frac{k_B \cdot T}{e}$$

$$\Rightarrow I = I_d - I_i = I_s (e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1)$$

$$\eta V_T = 37.3 \text{ mV}$$

$$V_T = 25 \text{ mV}$$

$$\text{et } e^{\frac{V}{\eta V_T}} \gg 1$$

$$\Rightarrow I \approx I_s e^{\frac{V}{\eta V_T}} \xrightarrow{\text{A.N.}} I = 337 \text{ mA}$$

$$R_d = \frac{dV}{dI} = \frac{\eta V_T}{I_s e^{\frac{V}{\eta V_T}}} \xrightarrow{\text{A.N.}} R_d = 0.1 \Omega$$

2) Polarisation en inverse :

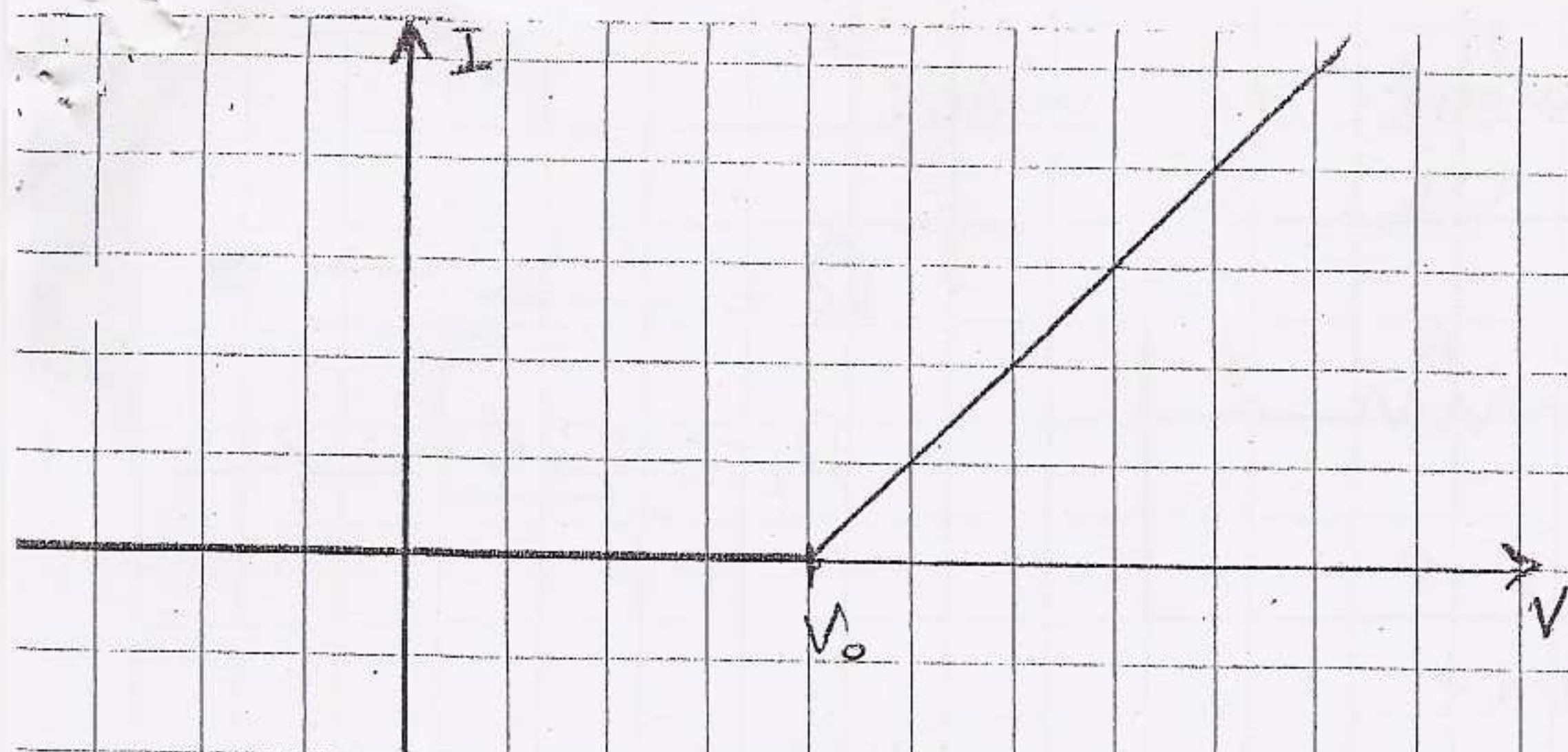
$$I = I_s (e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1)$$

$$e^{\frac{V}{\eta V_T}} \ll 1$$

$$\Rightarrow I \approx -I_s = -10 \text{ nA}$$

$$R_d = \frac{dV}{dI} = \frac{\eta V_T}{I_s e^{\frac{V}{\eta V_T}}} \xrightarrow{\text{A.N.}} R_d = 1.2 \cdot 10^{14} \Omega$$





## Exercice (2):

Un générateur de tension sinusoïdale est branché sur le primaire d'un transformateur à point milieu. Sur le secondaire, on obtient deux tensions de même amplitudes, même fréquences, identiques et orientées comme l'indique la figure ci-dessous.

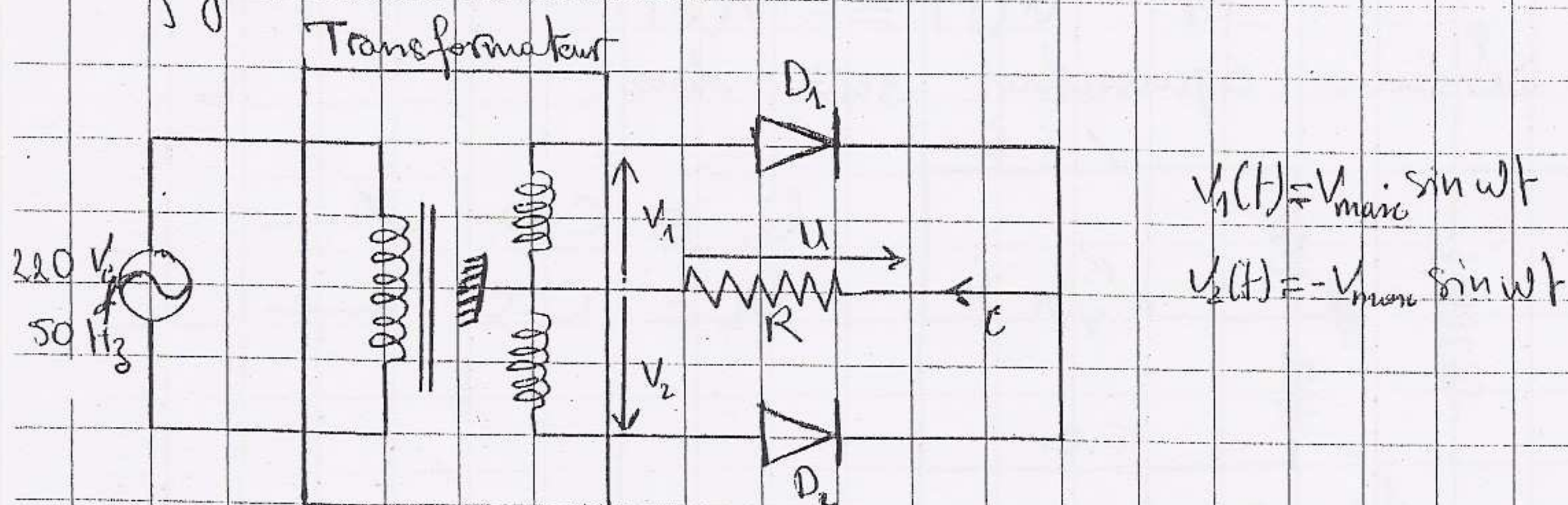


Figure-1-

$D_1$  et  $D_2$  sont idéales, la tension redressée  $u$  est relevée au borne de  $R$ .

Pendant l'alternance positive:  $v(t) \geq 0$ .

$\xRightarrow{\text{Maille (1)}} v(t) = V_{p1} - 0 \geq 0 \Rightarrow V_{p1} \geq 0 \Rightarrow D_1 \text{ est } \textcircled{P}$   
passante

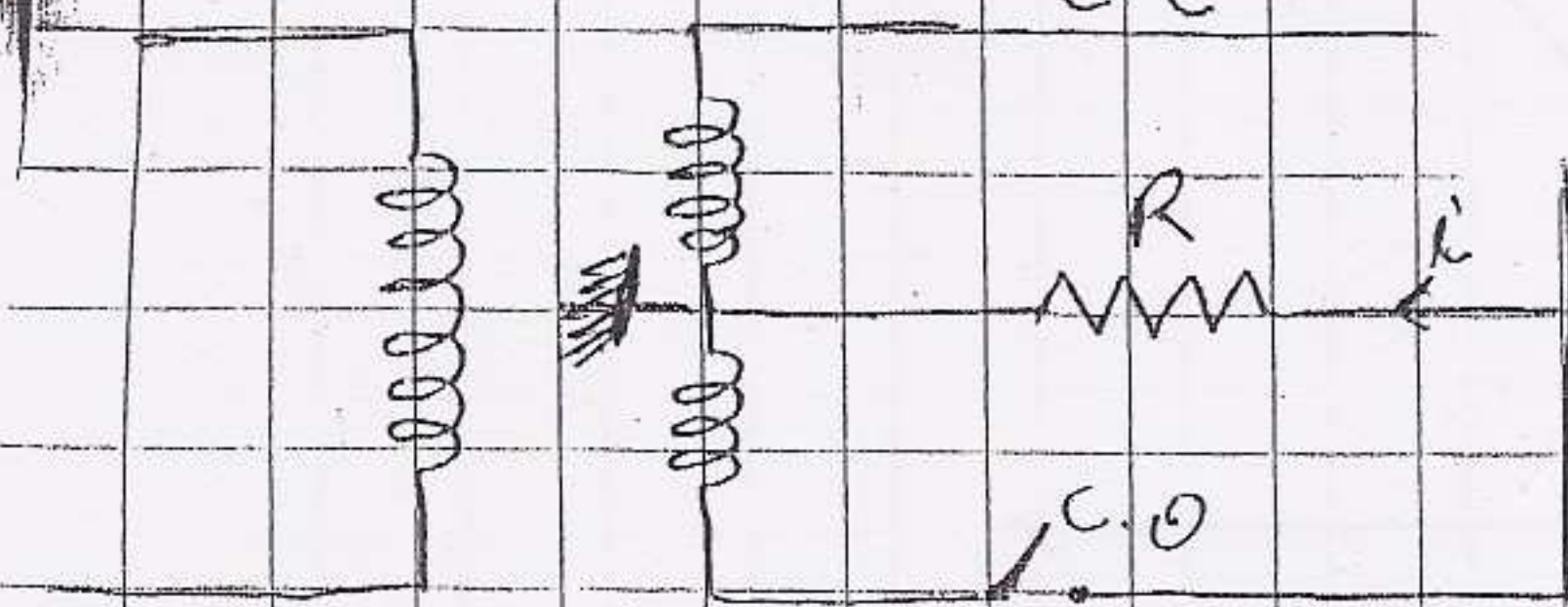
$\xRightarrow{\text{Maille (2)}} v(t) = 0 - V_{p2} \geq 0 \Rightarrow V_{p2} \leq 0 \Rightarrow D_2 \text{ est } \textcircled{B}$   
bloquée

et  $u(t) = v(t) = V_{max} \sin \omega t$ .



Le schéma équivalent se donne :

C.C



$$D_1 \equiv \underline{C.C.} : \text{---} \bullet$$

$$D_2 \equiv \underline{C.O.} : \text{---} \text{---}$$

figure - 1-1 -

Pendant l'alternance négative :  $V(t) < 0$ .

Maille (1) :  $V(t) = V_{p1} - 0 < 0 \Rightarrow V_{p1} < 0$ .

$\Rightarrow D_1$  bloquée (B).

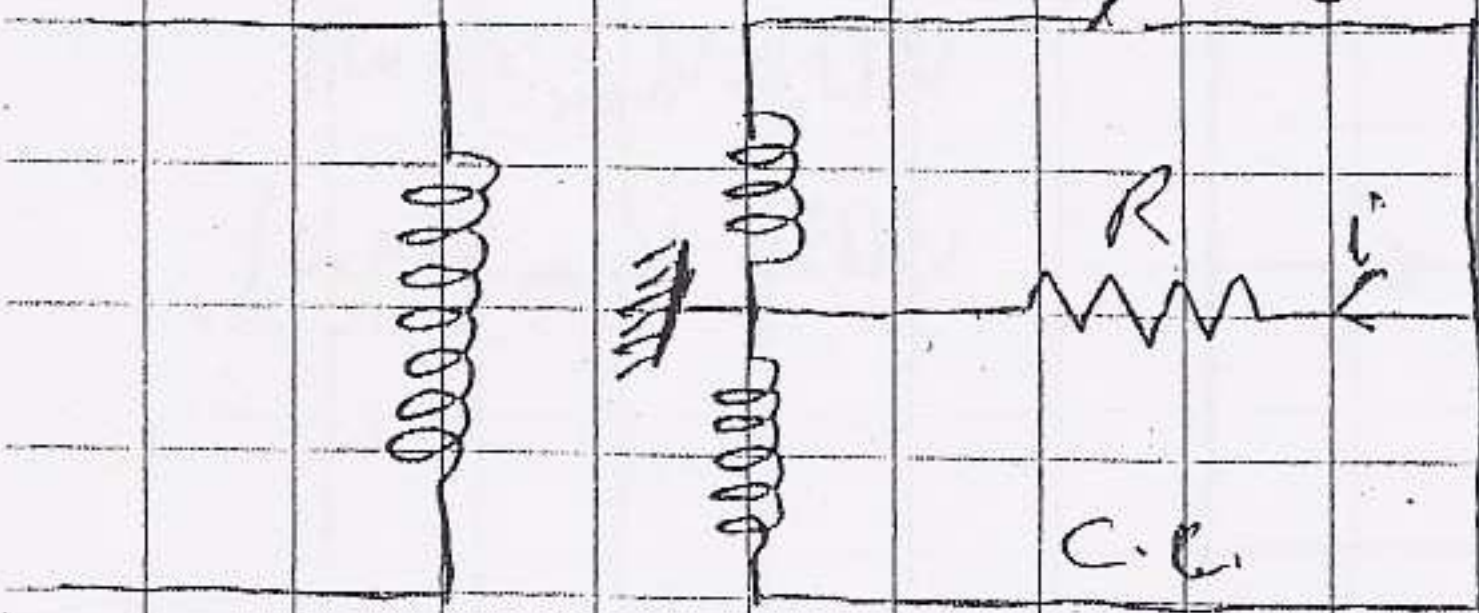
Maille (2) :  $V(t) = 0 - V_{p2} < 0 \Rightarrow V_{p2} > 0$ .

$\Rightarrow D_2$  est passante (P).

et  $U(t) = -V(t)$ .

Le schéma équivalent sera donc :

C.O



$$D_1 \equiv C.O. : \text{---} \checkmark$$

$$D_2 \equiv C.C. : \text{---} \text{---}$$

figure - 1-2 -

$u(t)$

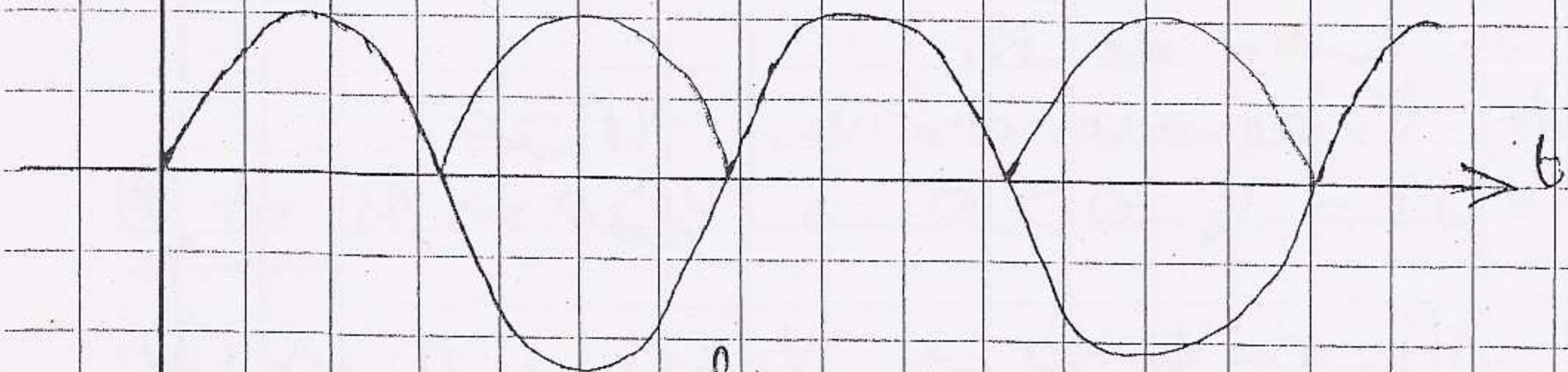


figure - 1-a -



La valeur moyenne de  $u(t)$ :

$$\text{On a: } \langle u(t) \rangle = U = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) dt$$

$$\Rightarrow \langle u(t) \rangle = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_{\text{max}} \sin \omega t \cdot dt$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow \langle u(t) \rangle = \frac{2 V_{\text{max}}}{T} \left[ -\frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{T/2}$$

$$= \frac{2 V_{\text{max}}}{T \omega} (1 + 1)$$

$$\Rightarrow \langle u(t) \rangle = \frac{4 \cdot V_{\text{max}}}{2\pi} \Rightarrow \boxed{\langle u(t) \rangle = \frac{2 V_{\text{max}}}{\pi}}$$

La valeur efficace de  $u(t)$ :

$U_{\text{eff}} = \sqrt{\langle u^2(t) \rangle}$  par définition.

$$\text{On a: } \langle u^2(t) \rangle = U_{\text{eff}}^2 \Rightarrow \frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}}^2 = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_{\text{max}}^2 \sin^2 \omega t \cdot dt = \frac{2 V_{\text{max}}^2}{T} \int_0^{T/2} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}}^2 = \frac{V_{\text{max}}^2}{T} \int_0^{T/2} (1 - \cos 2\omega t) dt$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}}^2 = \frac{V_{\text{max}}^2}{T} \left[ t - \frac{\sin 2\omega t}{2\omega} \right]_0^{T/2} = \frac{V_{\text{max}}^2}{T} \left[ \frac{T}{2} - 0 \right]$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}}^2 = \frac{V_{\text{max}}^2}{2} \Rightarrow \boxed{U_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}}}$$

Exercice (3):

Un générateur de tension sinusoïdale est branché sur le primaire d'un transformateur. Sur le secondaire



on obtient une tension  $v = V_{\max} \sin \omega t$  qui débite sur quatre diodes  $D_1, D_2$ , et  $D_3, D_4$  supposées idéales montées en pont comme l'indique la figure - 2 - ci dessous

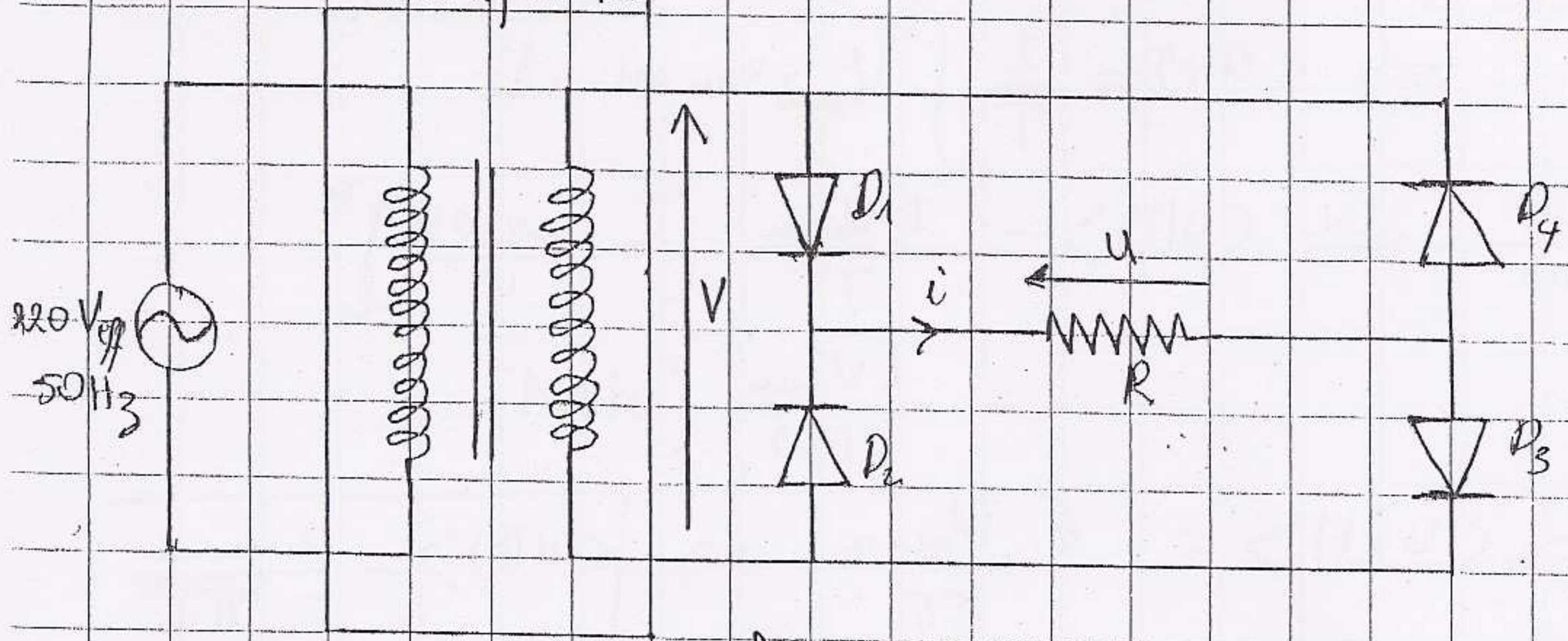
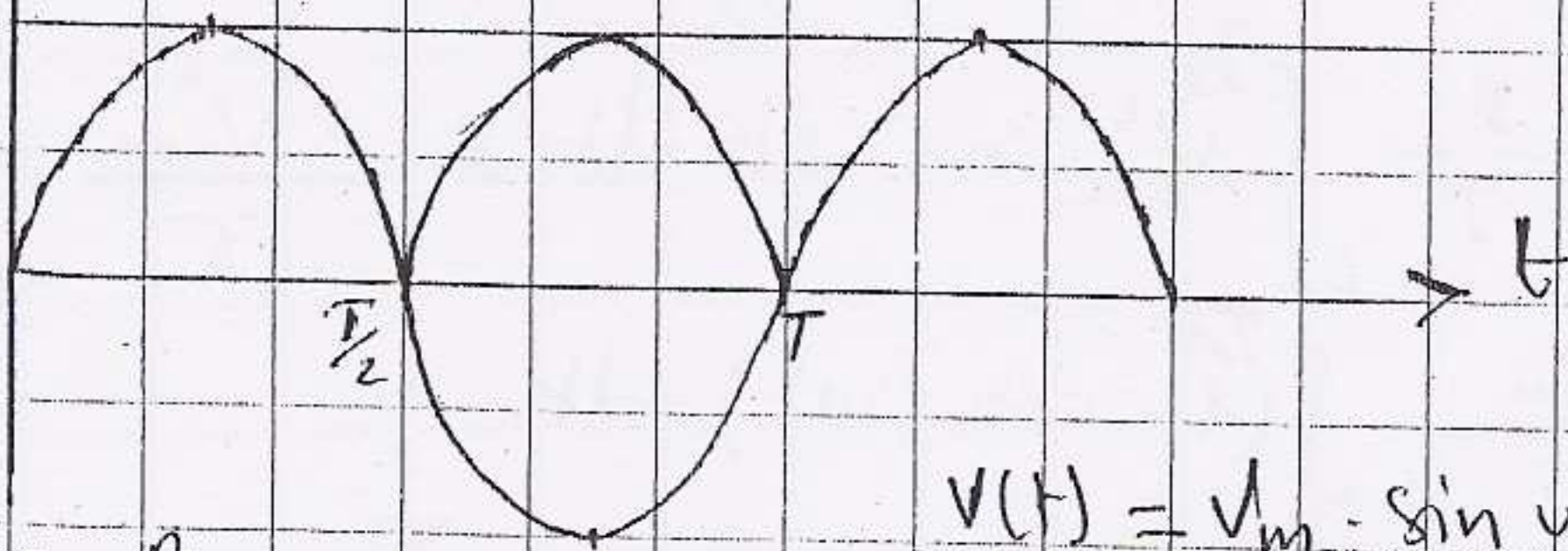


figure - 2 -

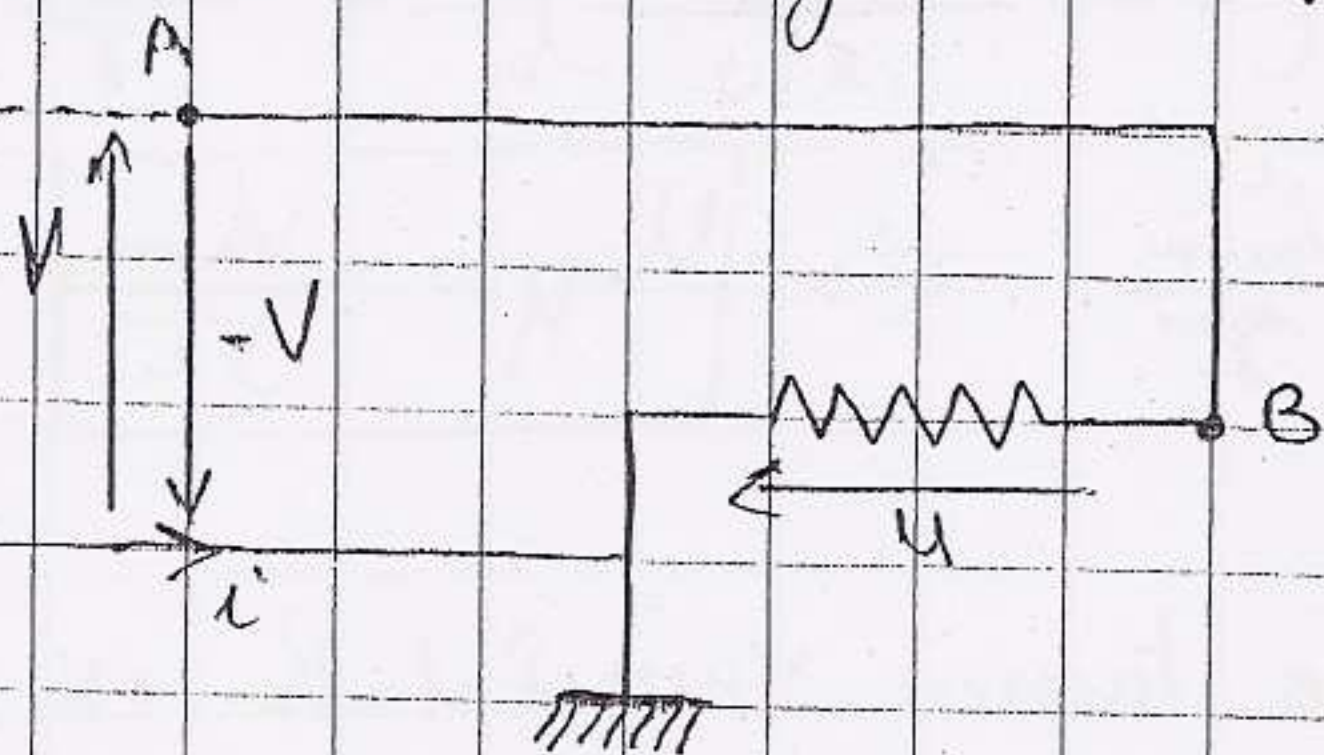
La tension  $u$  redressée est prélevée aux bornes de la charge de  $R$ .

① Pendant l'alternance positive de  $v(t)$  A on a :



$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t.$$

② Pendant l'alternance négative de  $v(t)$  U

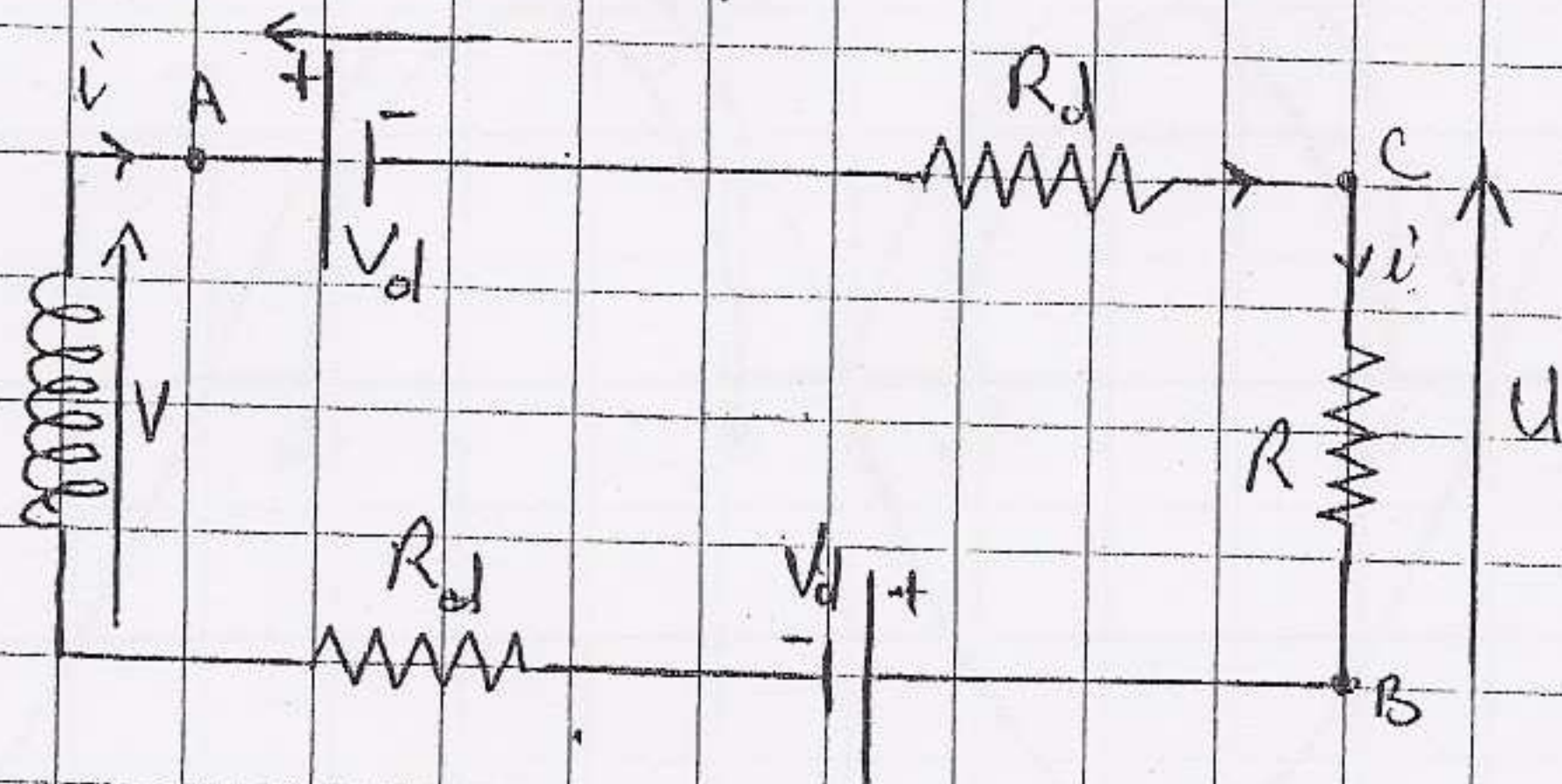


$$\langle u \rangle = \frac{2 V_{\max}}{\pi}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$



⑥ ⊕ : Le schéma équivalent deviendra :

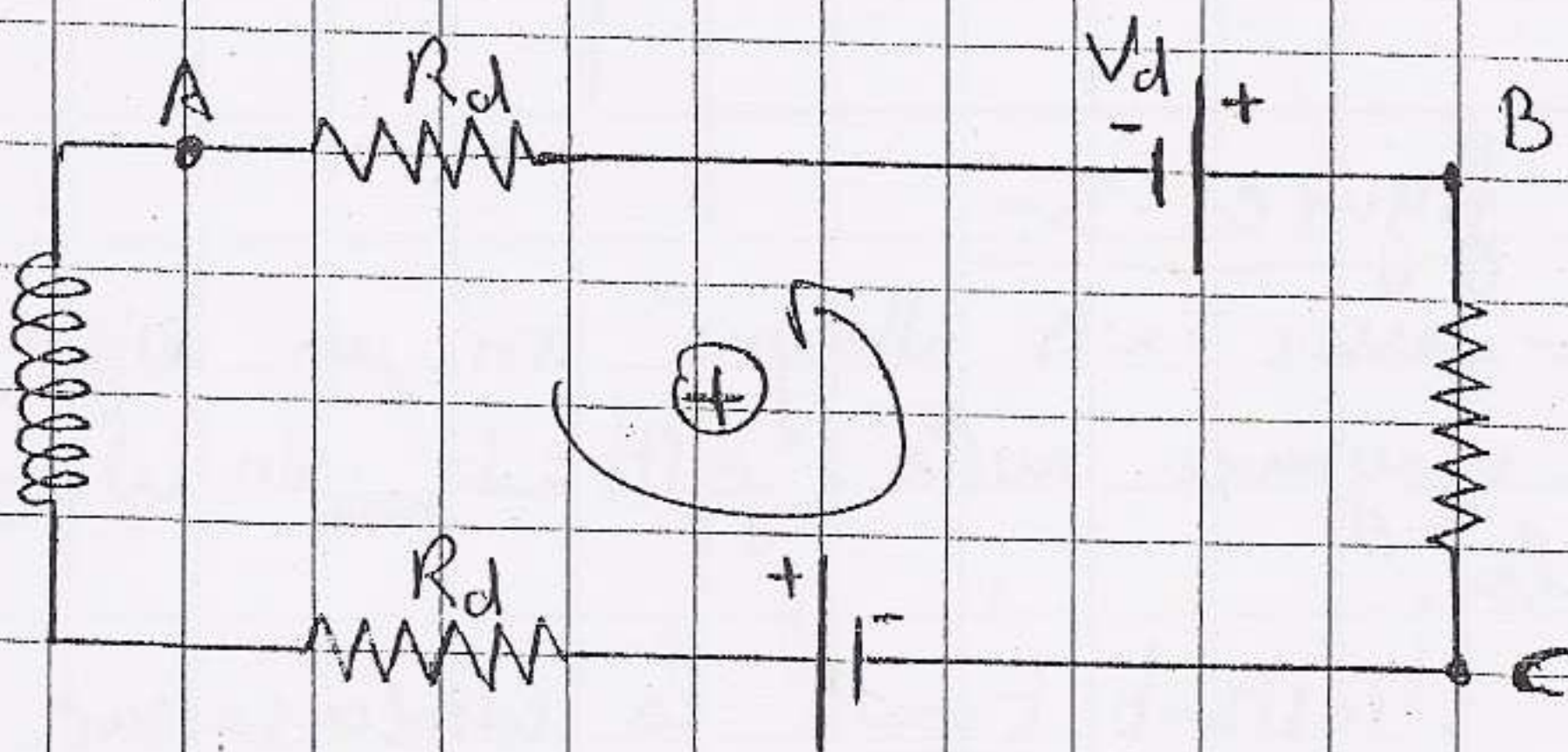


$$U = Ri = R \left[ \frac{V - 2V_d}{2R_d + R} \right] ; \text{ car: } R_d \ll R.$$

$$\Rightarrow \boxed{U = V - 2V_d}$$

$$i \approx \frac{V - 2V_d}{R + 2R_d} ; i' > 0 \Rightarrow V > 2V_d.$$

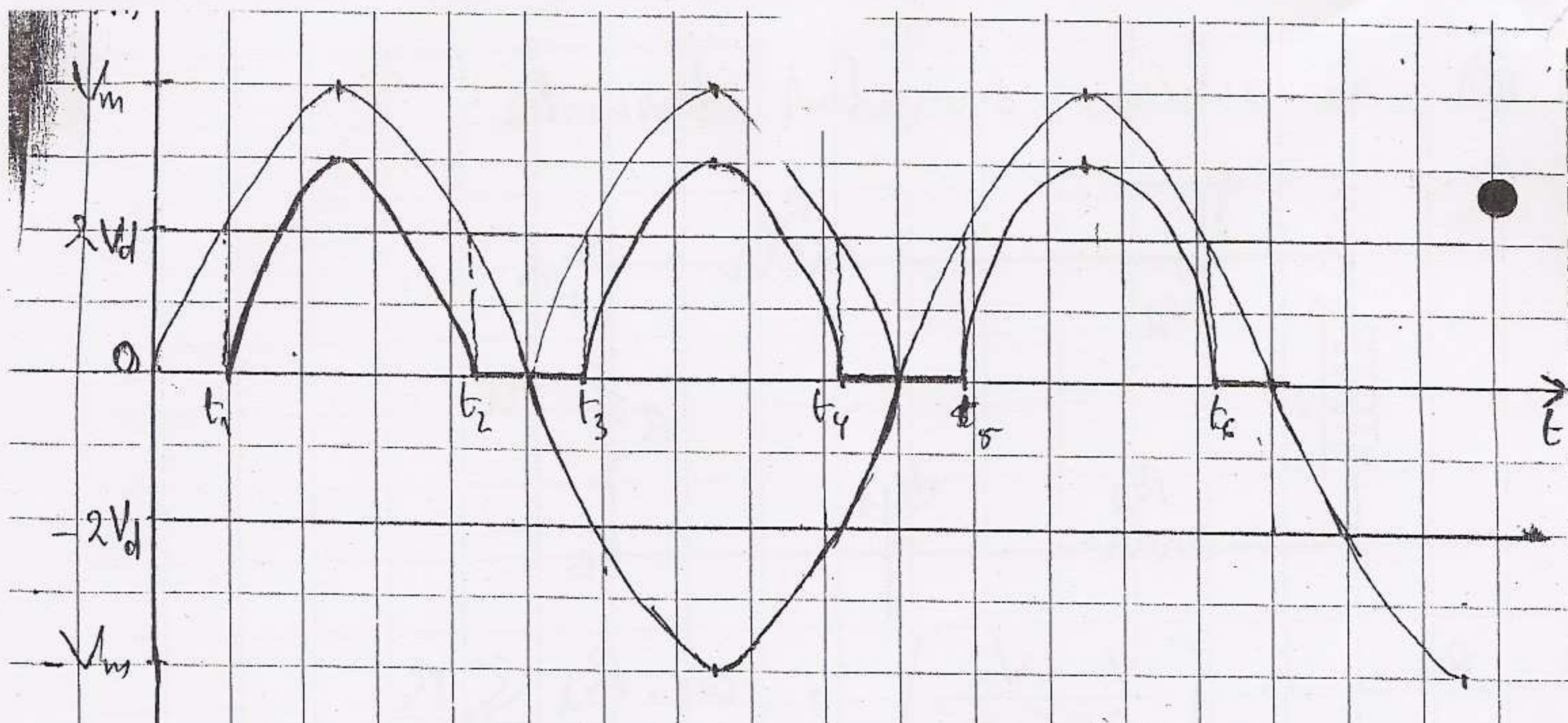
⑥ ⊖  $\Rightarrow D_1$  et  $D_3$  conduisent le courant.  
Le schéma équivalent sera :



$$U = Ri \Rightarrow i = \frac{-U - 2V_d}{2R_d + R} \quad R_d \ll R.$$

$$\Rightarrow \boxed{U = -V - 2V_d} ; U > 0 \Rightarrow V < -2V_d$$





Exercice 4

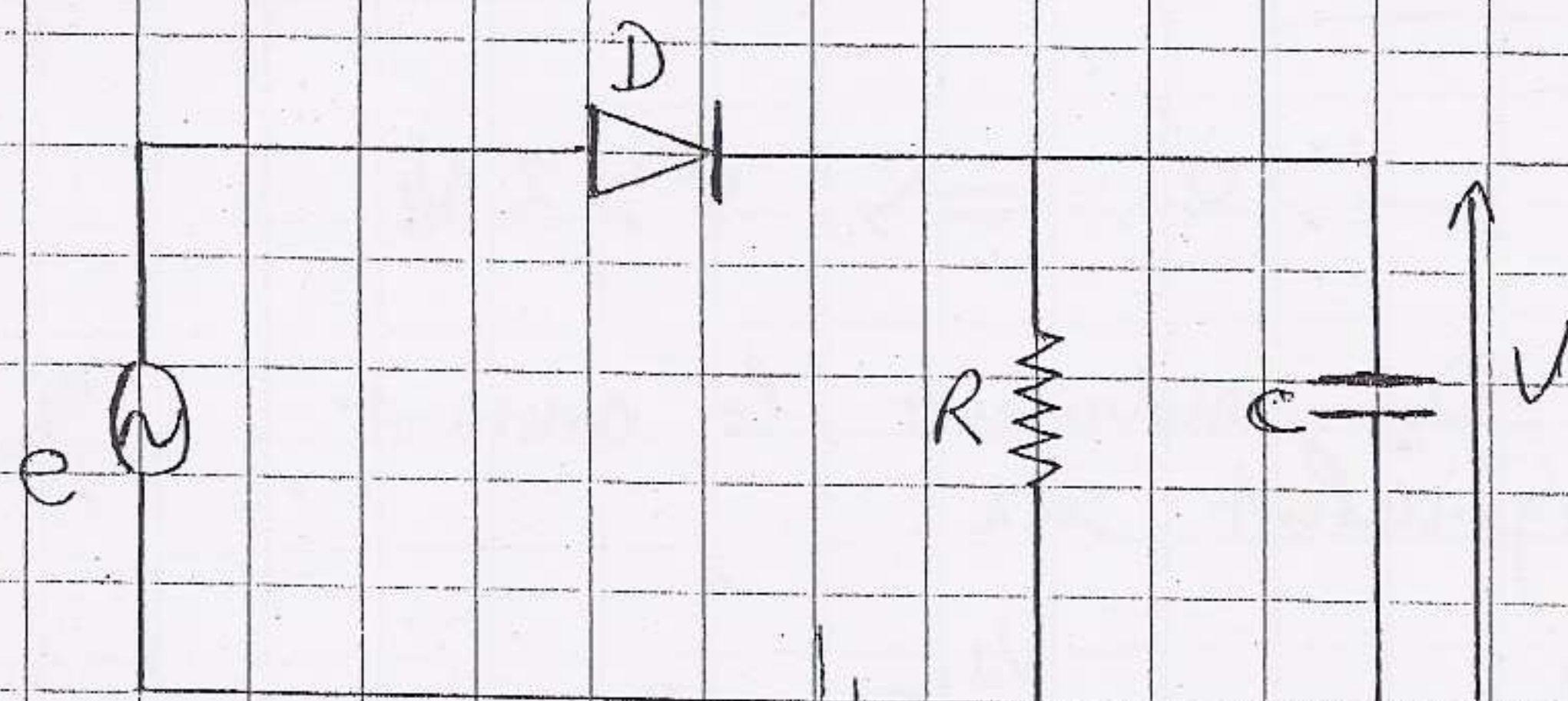


figure - 3 -

Le montage ci-dessus est alimenté par un signal sinusoïdal de valeur moyenne nulle ;  $e(t) = E_m \sin \omega t$  ; la diode  $D$  est idéale.

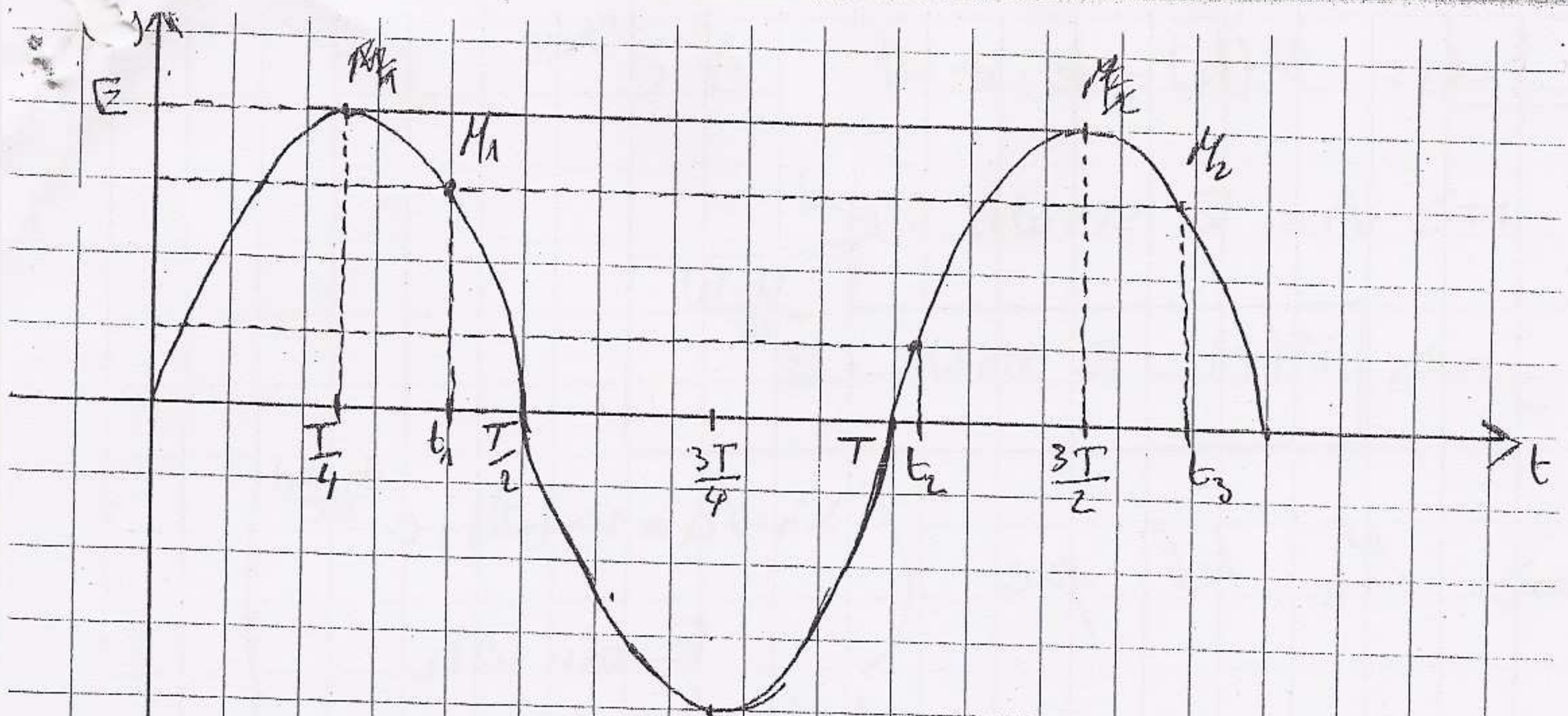
1) Sachant qu'à l'instant  $t=0$  : le condensateur  $C$  est déchargé ; c.à.d.  $V(t=0) = 0$ .

Quel que soit l'état rectiligne de  $D$ .

on a :  $e = V_0 + V$ .

Voir le schéma "page suivante".





$\rightarrow 0 \leq t \leq t_1$ : D est passant  $\Rightarrow$  le condensateur se charge

on a :  $e = v(t) = E \sin \omega t$ .

$$i_1(t_1) = \left( \begin{array}{l} \frac{1}{\omega} \operatorname{Arctan}(-RC\omega) \\ E \cdot \sin(\omega t_1) \end{array} \right)$$

$i = i_R + i_C$  ; à  $t = t_1$  D est bloquant.

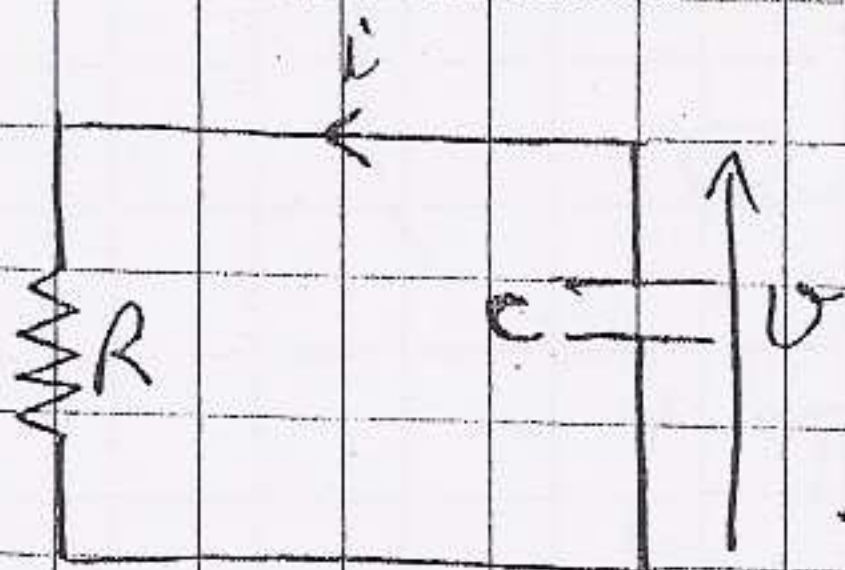
$$i = 0 = i_R + i_C = \frac{v}{R} + C \frac{dv}{dt} = \frac{E}{R} \sin \omega t_1 + C E \omega \cos \omega t_1$$

$$\Rightarrow \sin \omega t_1 = -RC\omega \cos(\omega t_1)$$

$$\Rightarrow \tan \omega t_1 = -RC\omega$$

$$\Rightarrow \boxed{t_1 = \frac{1}{\omega} \operatorname{Arctan}(-RC\omega)}$$

$t_1 \leq t \leq t_2$ :



$$v(t) = R i = -RC \frac{dv}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{dv}{v} = -\frac{dt}{RC}$$

$$\Rightarrow v(t) = A \cdot e^{-t/RC}$$



a)  $t = t_1$ :  $v(t_1) = E \cdot \sin \omega t_1 \cdot A e^{-\frac{t_1}{RC}}$

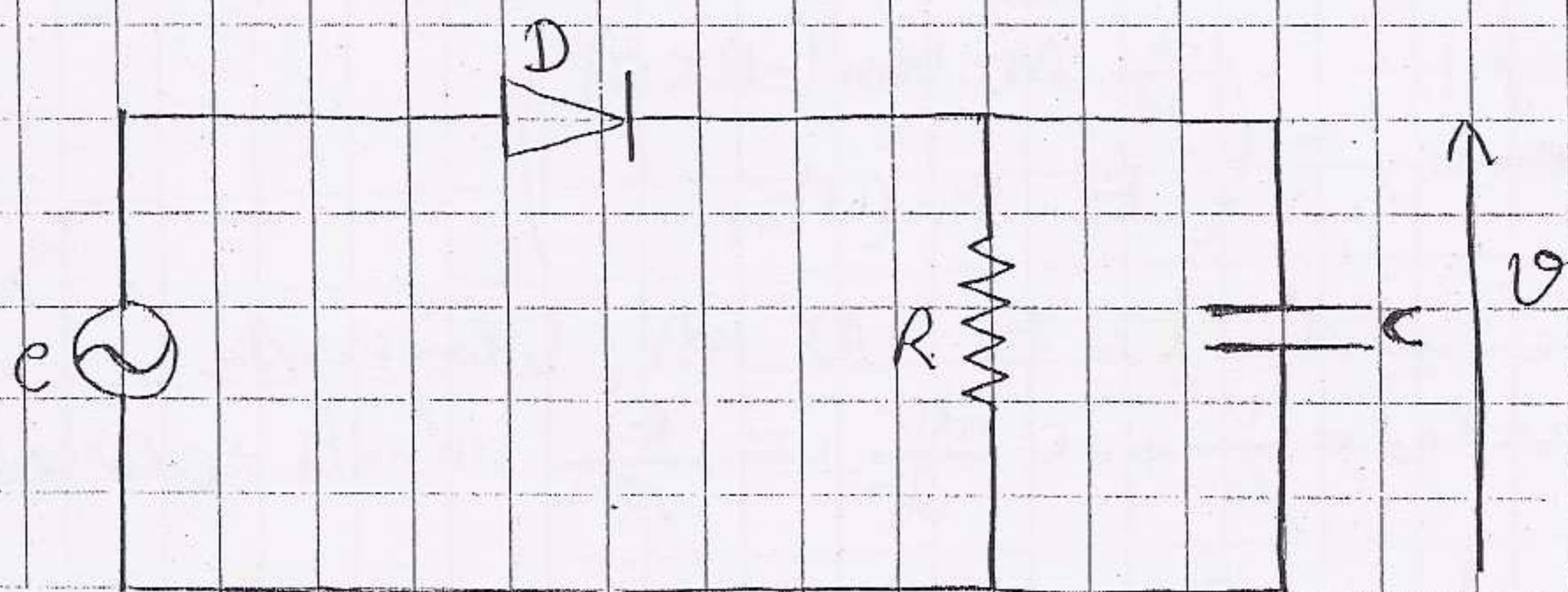
$\Rightarrow A = E \cdot \sin \omega t_1 \cdot e^{\frac{t_1}{RC}}$

$\Rightarrow v(t) = E \sin \omega t_1 \cdot e^{\frac{(t-t_1)}{RC}}$

$\Rightarrow M_2$  tel que  $\left( \begin{array}{l} \sin \omega t_1 = \sin(\omega t_1) e^{-\frac{(t_2-t_1)}{RC}} \\ E \sin \omega t_2 \end{array} \right)$

et  $M_3 \left( \begin{array}{l} T + t_1 \\ v_1 \end{array} \right)$ ;  $M_4 \left( \begin{array}{l} T + t_2 \\ v_2 \end{array} \right)$

2)



lorsque  $C \rightarrow 0$

$M_1 = \left( \begin{array}{l} t_1 \rightarrow \frac{\pi}{\omega} = \frac{T \cdot \pi}{2\pi} = \frac{T}{2} \\ v_1 \rightarrow 0 \end{array} \right)$

$M_2 = \left( \begin{array}{l} t_2 \rightarrow T \\ v_2 \rightarrow 0 \end{array} \right)$



Lorsque  $C \rightarrow \infty$  :

$$M_1 = \begin{pmatrix} b_1 \rightarrow \frac{T}{4} \\ v_1 \rightarrow E \end{pmatrix}$$

$$M_2 = \begin{pmatrix} b_2 \rightarrow \frac{5T}{4} \\ v_2 \rightarrow E \end{pmatrix}$$

3)  $RC \gg T$ .

$$\tau = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta V}{E}$$

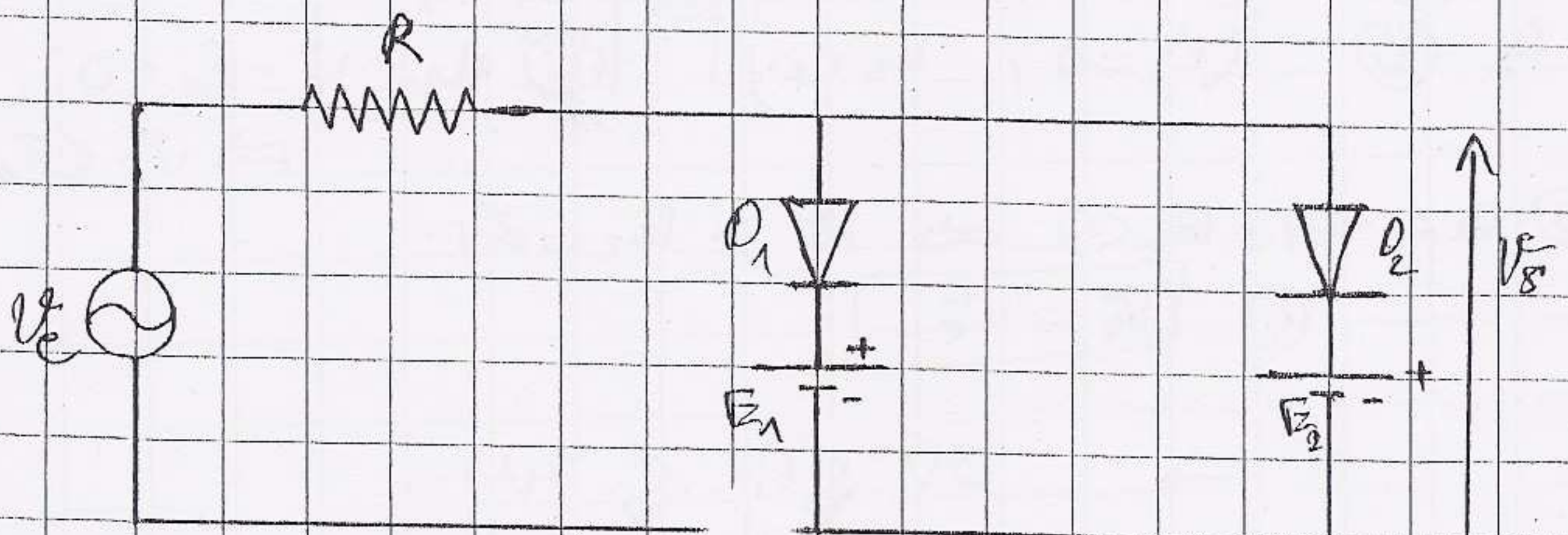
$$\Delta V = \frac{v_1 - v_2}{2} = \frac{E - E \left(1 - \frac{T}{RC} (b_2 - b_1)\right)}{2}$$

$$\Rightarrow \Delta V = \frac{E}{2RC} \Delta b = \frac{E}{2RC} T$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{E \cdot T}{E \cdot 2RC} = \frac{T}{2RC}$$

$$\Rightarrow \boxed{\tau = \frac{1}{2RC f}}$$

Exercice (5):



figu -4-



Dans ce montage :  $D_1$   $D_2$  sont des diodes idéales  $v_e(t)$  est sinusoïdale, on admet :  
 $v_e(t) = 16 \sin(314t)$  ;  $\begin{cases} E_1 = 9V \\ E_2 = 3V \end{cases}$

1) a)  $D_1$  bloquée,  $D_2$  passante.

$$D_1 \text{ (B)} \Rightarrow (i_1 = 0 ; u_1 < 0)$$

$$D_2 \text{ (P)} \Rightarrow (i_2 > 0, u_2 = 0)$$

$$i = i_1 - i_2 \quad (1)$$

$$V_s = E_1 + u_1 \quad (2)$$

$$V_s = E_2 - u_2 \quad (3)$$

$$V_e = Ri + V_s \quad (4)$$

$$\Rightarrow \boxed{V_s = E_2 = 3V}$$

$$(1) \Rightarrow i = -i_2 = \frac{V_e - V_s}{R_s} = \frac{V_e - E_2}{R}$$

$$i_2 = \frac{E_2 - V_e}{R} = \frac{3 - V_e}{R}$$

$$i_2 > 0 \Rightarrow 3 - V_e > 0 \Rightarrow \boxed{V_e < 3V}$$

b)  $D_1$  bloquée,  $D_2$  bloquée.

$$D_1 \text{ (B)} \quad (i_1 = 0 ; u_1 < 0)$$

$$D_2 \text{ (B)} \quad (i_2 = 0 ; u_2 < 0)$$

$$(1) \quad i_1 = 0$$

$$(2) \quad u_1 = V_s - E_1 < 0$$

$$\Rightarrow V_s < E_1 = 9V$$

$$(3) \quad u_2 = -V_s + E_2 < 0 \Rightarrow V_s > E_2 = 3V$$

$$(4) \quad \boxed{V_s = V_e}$$

$$\Rightarrow 3V < V_e < 9V$$



c)  $D_1$  passante,  $D_2$  bloquée:

$$D_1 \text{ (P)} \Rightarrow (i_1 > 0, u_1 = 0).$$

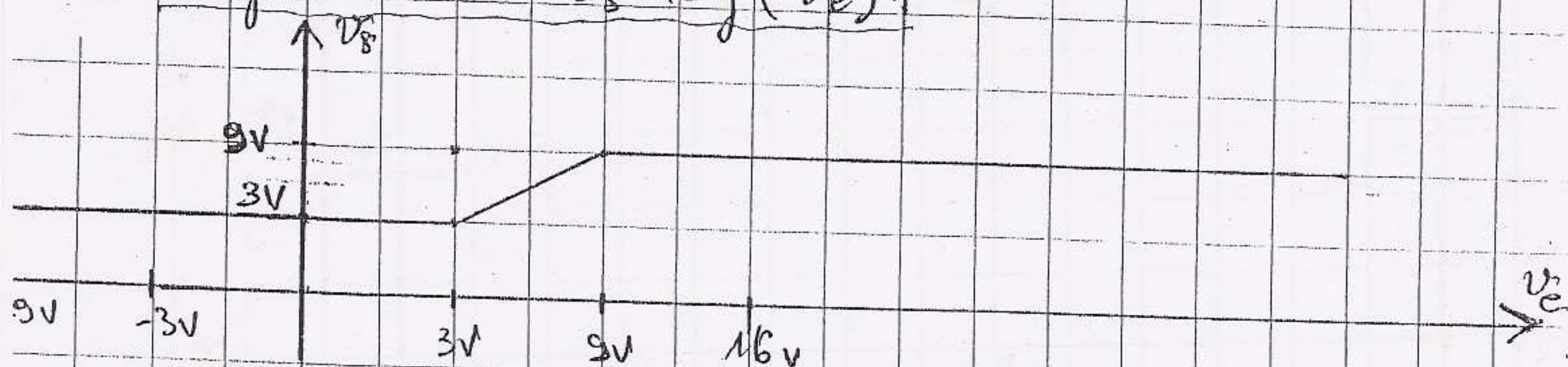
$$D_2 \text{ (B)} \Rightarrow (i_2 = 0, u_2 < 0).$$

$$\textcircled{1} i = i_1 \quad \textcircled{2} \Rightarrow v_s = E_1 = 9V$$

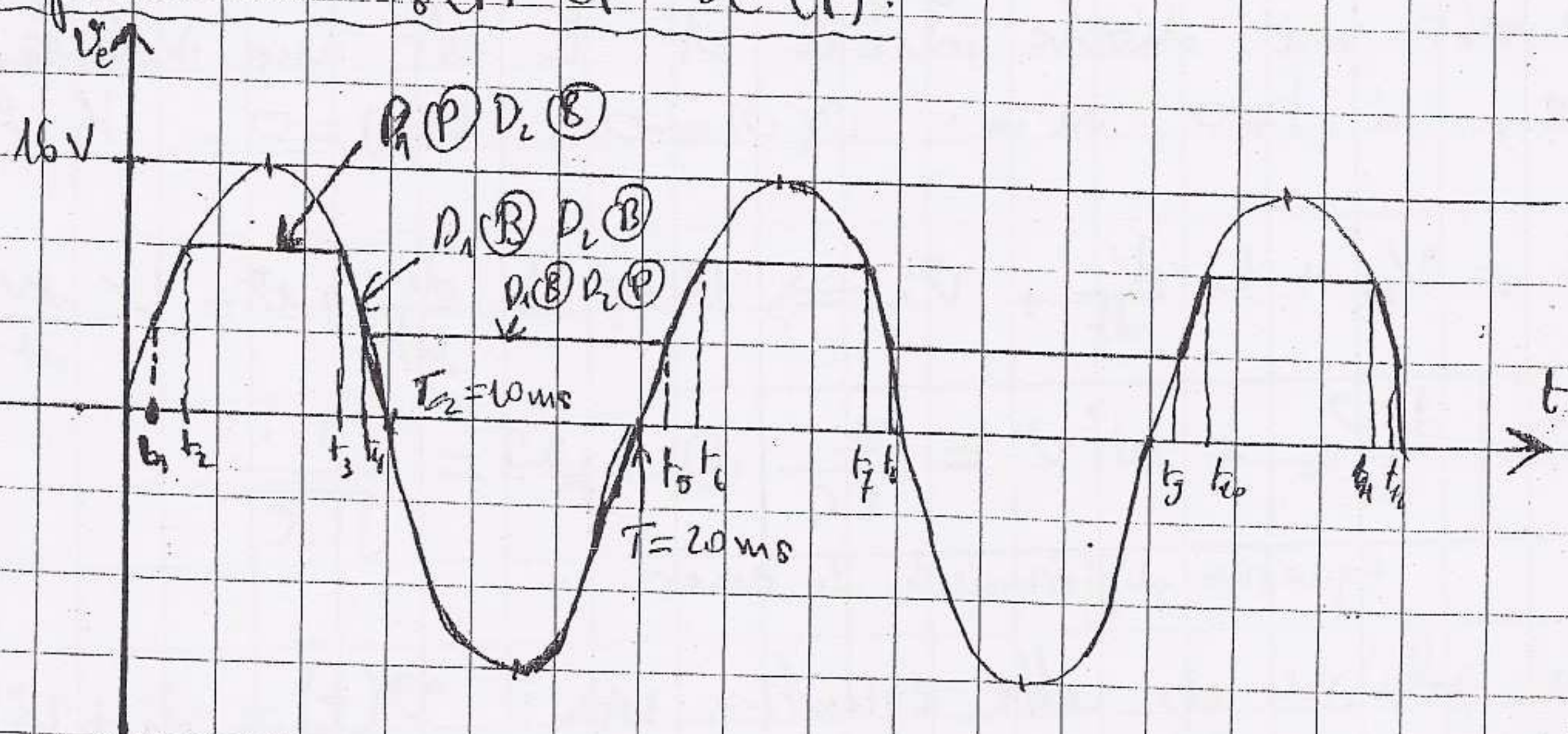
$$\Rightarrow i = i_1 = \frac{V_e - v_s}{R} = \frac{V_e - 9}{R} > 0$$

$$\Rightarrow \boxed{V_e > 9V}$$

2) Graphique de  $v_s = f(v_e)$ .



3) Graphique de  $v_s(t)$  et  $v_e(t)$ .



$$a' \quad T = t_1 \Rightarrow 3 = 16 \cdot \sin(314 t_1).$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{1}{314} \text{Arcsin}\left(\frac{3}{16}\right) = 3,44 \cdot 10^{-2} \text{ms}$$

$$\Rightarrow t_2 = \frac{1}{314} \text{Arcsin}\left(\frac{9}{16}\right) = 10,9 \cdot 10^{-2} \text{ms}$$



$$t_3 = \frac{T}{2} - t_2 \quad \text{et} \quad t_4 = \frac{T}{2} - t_3.$$

$$\Rightarrow \omega T = 314 T = 2\pi.$$

$$\Rightarrow T = \frac{2\pi}{314} = 20 \text{ ms.}$$

Exercice (B):

On considère le montage ci-dessous:

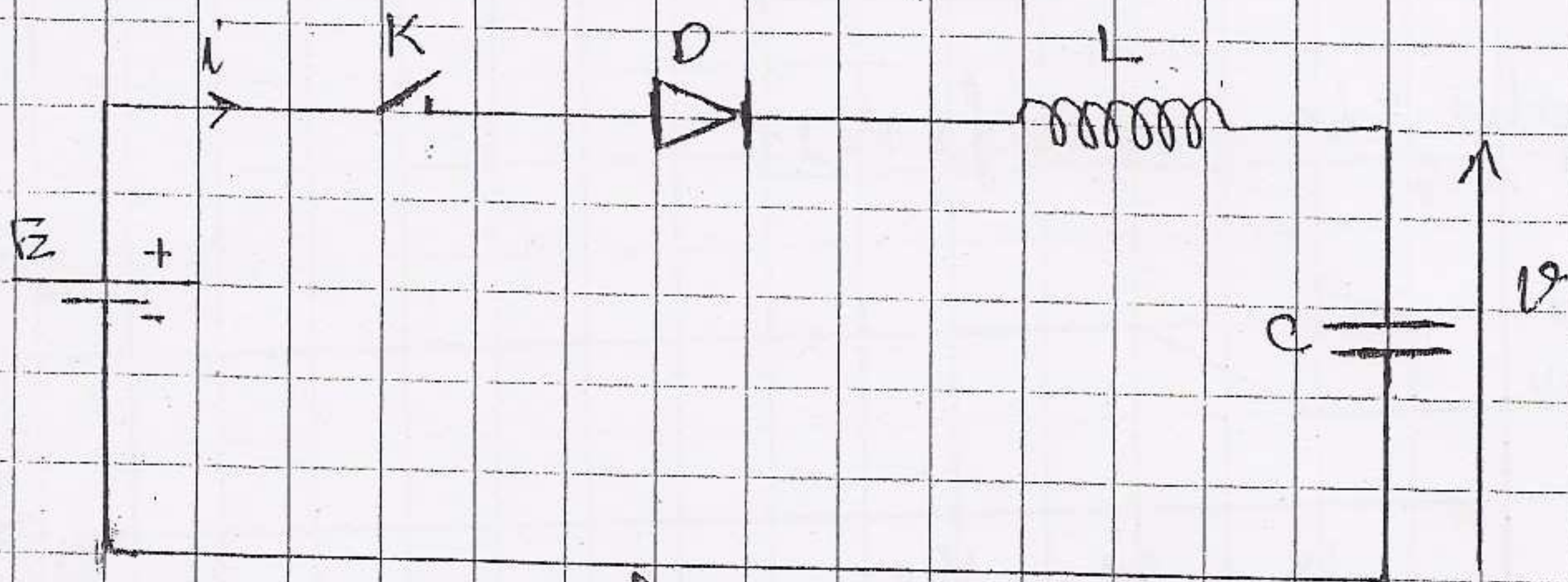


figure - 5 -

$D$  est une diode idéale et  $L$  est une inductance pure; à  $t=0$  on a:  $v(0)=0$ ;  $i(0)=0$ .  $K$  fermé.

$$E = V_D + L \frac{di}{dt} + v. \Rightarrow E \approx L \frac{di}{dt} + v = LC \frac{dv}{dt} + v$$

$$\Rightarrow \left[ \frac{dv}{dt} + \omega^2 v = \frac{E}{LC} \right] \quad \text{①} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Equation différentielle de Euler

La solution de cette équation sera:  $v(t) = v_1 + v_2$ .  
avec  $v_1$ : solution de l'E.S.S.M.  
 $v_2$ : solution particulière.

$$\Rightarrow v(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi) + E.$$



$$i(t) = C \omega A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Conditions initiales:

$$i'(0) = C A \omega \cdot \cos \varphi = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{\varphi = \frac{\pi}{2}}$$

$$v(0) = 0 = A \cdot \sin \varphi + E = A + \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) + E = 0$$

$$\Rightarrow A + E = 0 \Rightarrow \boxed{A = -E}$$

$$\Rightarrow v(t) = E \left( 1 - \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \right)$$

$$\text{N.B.} / \sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) = \cos \theta / ; \cos\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin \theta$$

$$\Rightarrow \boxed{v(t) = E (1 - \cos \omega t)}$$

puisque :  $i(t) = C E \omega \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$

$$\Rightarrow \boxed{i(t) = C E \omega \cdot \sin(\omega t)}$$

$$2) i_{\max}(t) = C E \omega \sin(\omega t_1) = \underline{C E \omega}$$

On a :  $\omega t_1 = \frac{\pi}{2} \Rightarrow t_1 = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{\pi}{2}$

$$\Rightarrow \boxed{t_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{LC}}$$

$$v(t_1) = v\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{LC}\right) = E \left( 1 - \cos \frac{\pi}{2} \sqrt{LC} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \right)$$

$$\Rightarrow \boxed{v(t_1) = E}$$

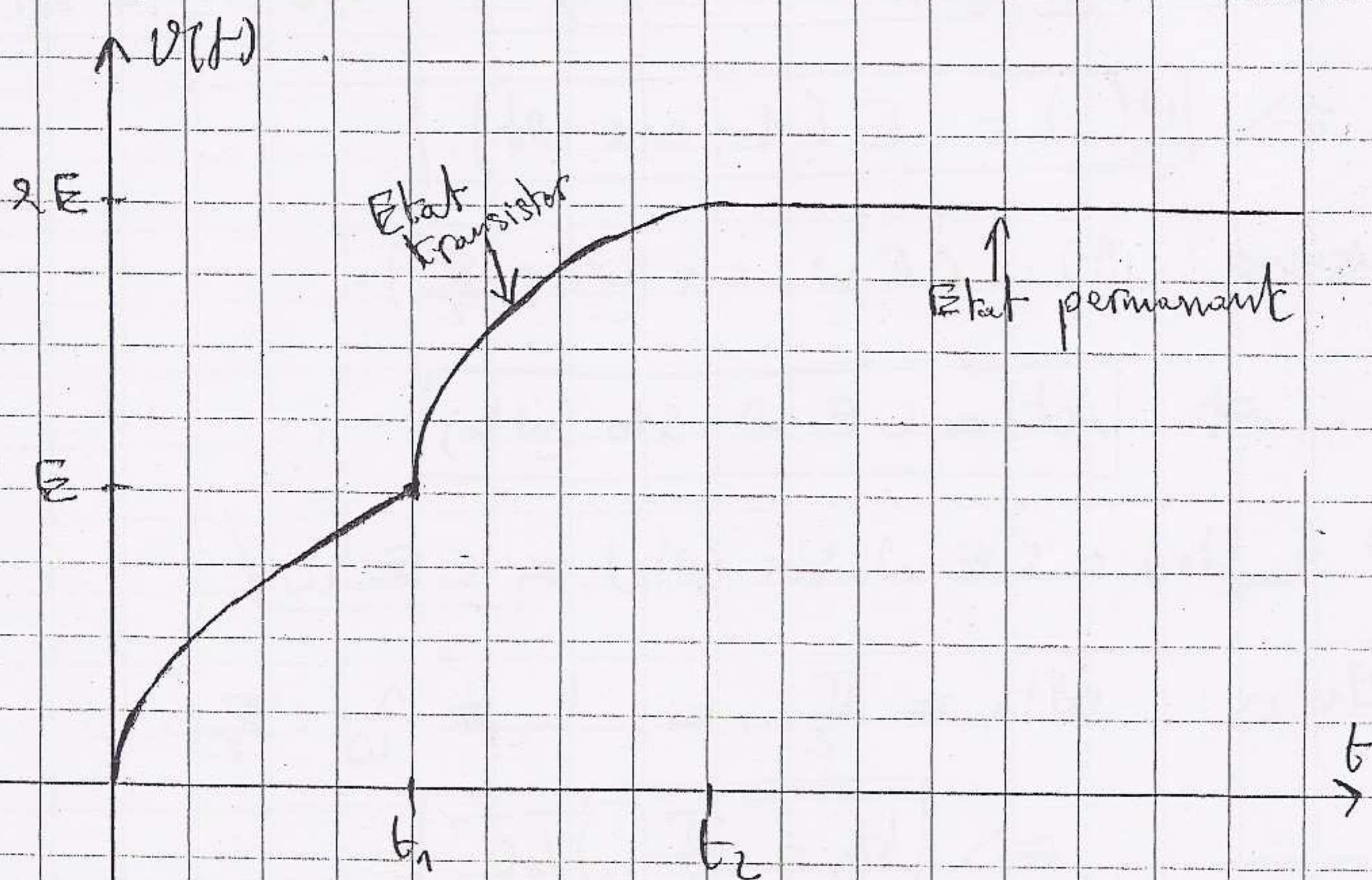
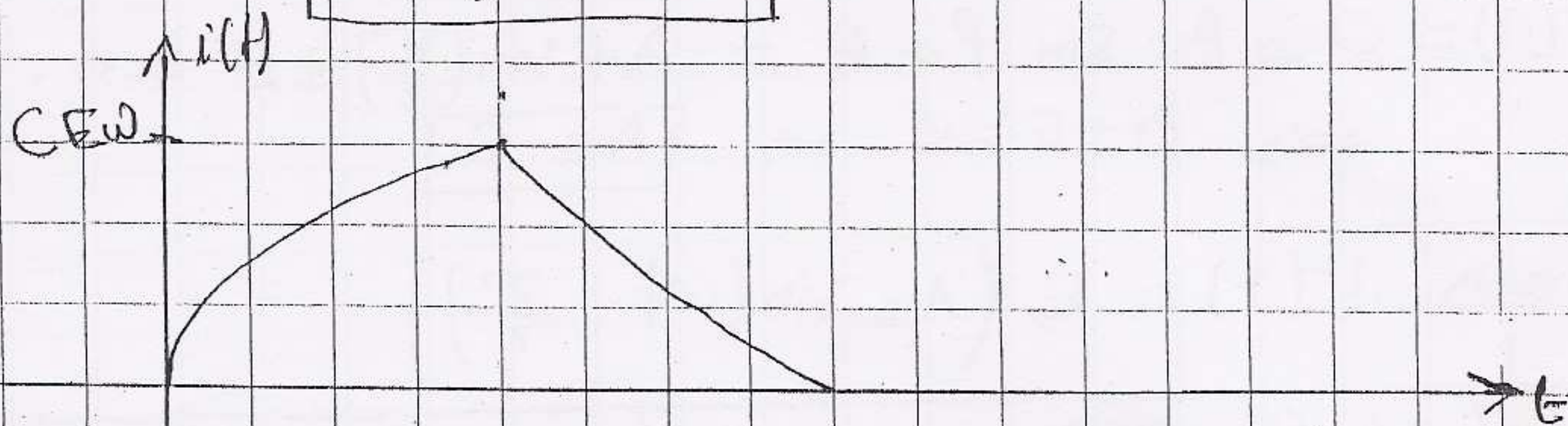


Or:  $i(t_2) = 0 = CE\omega \cdot \omega t_2$

quand  $\omega t_2 = \pi \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{t_2} = \pi \sqrt{LC}$

$\Rightarrow V(t_2) = E(1 - \cos \frac{\pi}{\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{LC})$

$\Rightarrow \boxed{V(t_2) = 2E}$





## Exercice (f):

Une source de tension  $E$  redressée et filtrée est susceptible de varier autour de sa valeur moyenne. On veut régler cette source à l'aide d'une diode Zener, comme le représente la figure -6- ci-dessous:

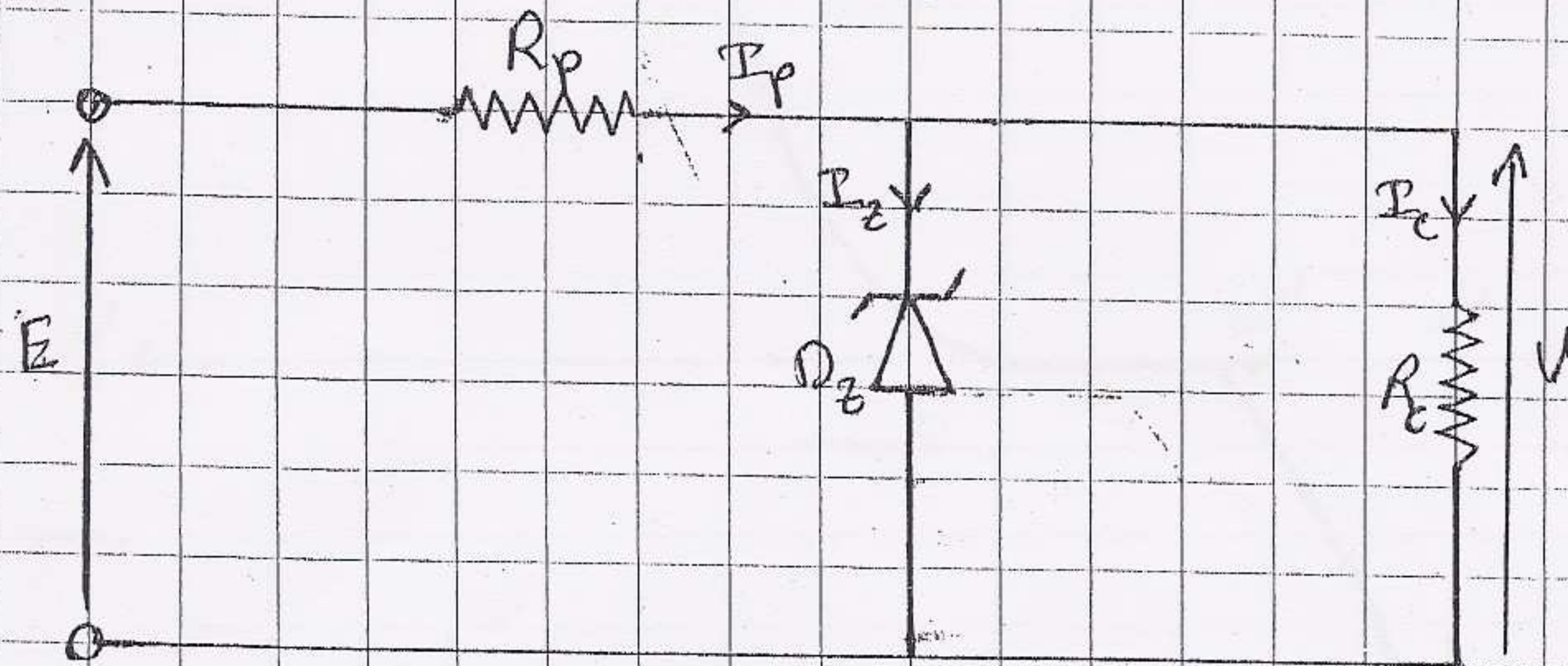
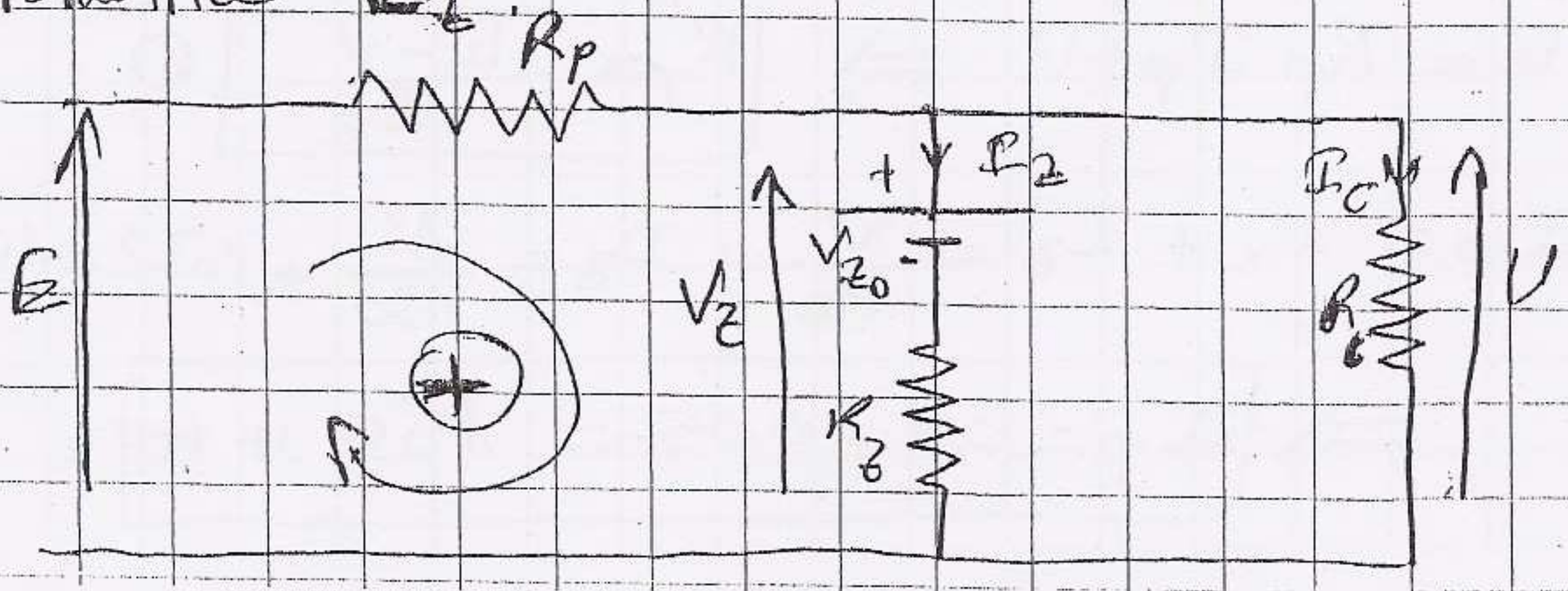


figure -6-.

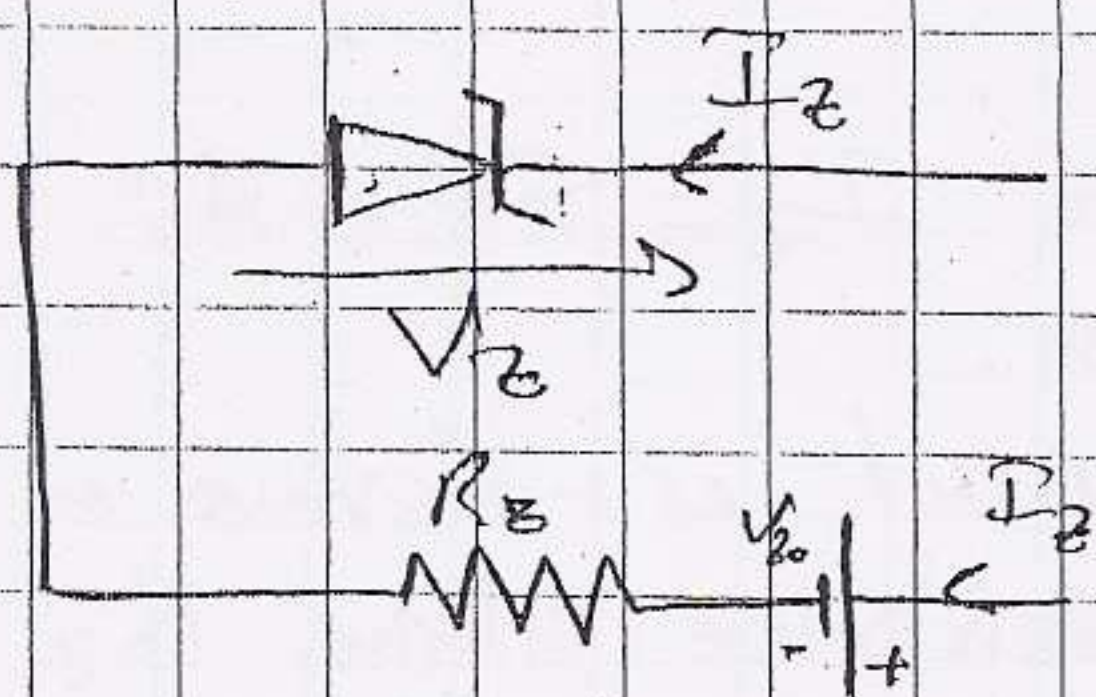
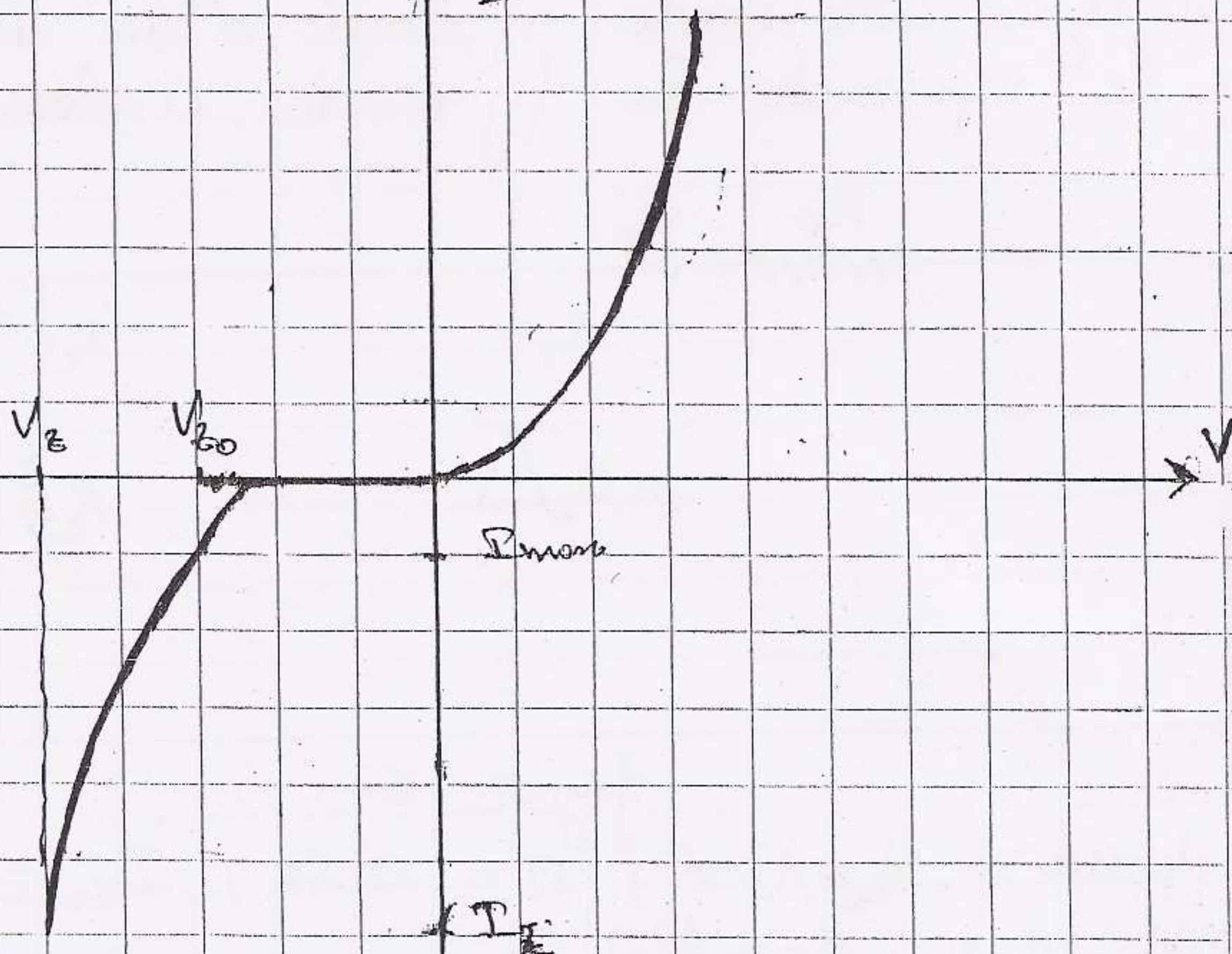
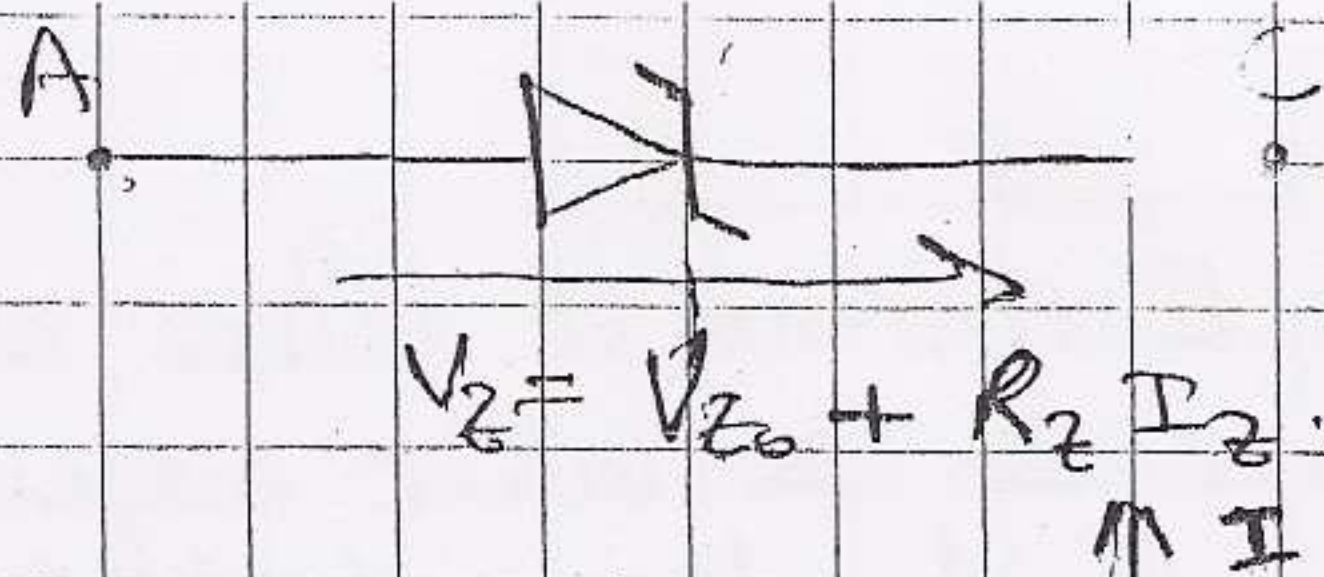
On donne :  $V_{z0} = 12\text{ V}$ ,  $R_z = 20\ \Omega$ ,  $I_{z\text{min}} = 100\text{ mA}$ .  
Ainsi on a :  $R_c = 130\ \Omega$ .

1) Pour  $E = 43\text{ volts}$  on désire  $I_z = 50\text{ mA}$ ; calculer la résistance de protection.

D'abord on peut simplifier le circuit ci-dessus en remplaçant la diode Zener par résistance interne  $R_z$  et son générateur de tension de potentiel  $V_z$  et de force électromotrice  $E_z$ .







$$E = 43 \text{ V}$$

$$R_C = 130 \text{ } \Omega$$

$$V_{Z0} = 12 \text{ V}$$

$$R_Z = 20 \text{ } \Omega ; I_{Znom} = 100 \text{ mA}$$

tenons compte de  $I_Z = 50 \text{ mA}$ .

$$E = R_P I_P + V \Rightarrow \boxed{R_P = \frac{E - V}{I_P}} \quad (1)$$

$$I_P = I_C + I_Z = \frac{V}{R_C} + I_Z = \frac{13}{130} + 50 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_P = 0,1 + 0,05 = 150 \text{ mA}}$$



$$\Rightarrow R_p = \frac{43 - 13}{150 \cdot 10^{-3}} = 200 \, \Omega$$

$$2) E_{man} = R_p I_{man} + V_{man}$$

$$\Rightarrow V_{man} = V_{Z0} + R_z I_{Zman} = 12 + 2 \Rightarrow V_{man} = 14 \, V$$

$$I_{pman} = I_{Zman} + I_{Cman} = 100 \cdot 10^{-3} + \frac{14}{130} = 207 \, mA$$

$$I_{pman} = 207 \, mA$$

$$\Rightarrow E_{man} = 55 \, volts$$

$$2) F = \frac{\partial V}{\partial E} \Big|_{I_c = cte} ; \quad G = \frac{\partial V}{\partial I_c} \Big|_{E = cte}$$

facteur de stabilisation avant du montage      facteur de stabilisation avant du montage

$$V = f(E, I_c)$$

$$E = R_p I_p + V = R_p (I_c + I_z) + V$$

$$\Rightarrow E = R_p \left( I_c + \frac{V - V_{Z0}}{R_z} \right) + V$$

$$V \left( 1 + \frac{R_p}{R_z} \right) = E - R_p I_c + \frac{R_p}{R_z} V_{Z0}$$

$$\Rightarrow V_z = \frac{R_z}{R_z + R_p} E - \frac{R_p \cdot R_z}{R_p + R_z} I_c + \frac{R_p V_{Z0}}{R_p + R_z}$$

$$F = \frac{\partial V}{\partial E} = \frac{R_z}{R_z + R_p} = 0,09 / \quad [F = 0,09]$$

$$G = \frac{\partial V}{\partial I_c} = - \frac{R_p R_z}{R_p + R_z} \quad [G = -18 \, \Omega]$$