

BACCALAUREAT TECHNOLOGIQUE

SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

"Génie électronique"

Session 2003

Épreuve : PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée de l'épreuve : 4 heures - Coefficient : 5

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

CONTROLE DE POSITION D'UNE BUTEE POUR PALIERS MAGNETIQUES

Dans le domaine de la productique, de l'usinage en particulier, la vitesse de rotation des broches d'usinage est limitée par les problèmes mécaniques et par l'échauffement des roulements à billes. L'utilisation de paliers magnétiques en lieu et place des roulements à billes autorise des vitesses de rotation pouvant atteindre 150 000 tr/min.

Les paliers sont des pièces à l'intérieur desquelles tourne un rotor.

Les paliers magnétiques permettent à un rotor de tourner sans frottement ni contact. Leur domaine d'usage concerne les applications à très hautes vitesses de rotation, celles pour lesquelles il faut minimiser les pertes, éviter l'usure ou limiter la maintenance.

La butée magnétique :

Une butée est une pièce limitant le mouvement d'un organe mécanique.

L'étude porte sur une butée magnétique qui est une partie du palier magnétique.

Cette butée agit sur la position d'un rotor placé entre 2 électroaimants. (voir **figure 1** et **figure 2**).

L'entrefer x_1 est l'espace séparant l'électroaimant 1 du rotor et l'entrefer x_2 celui séparant l'électroaimant 2 du rotor.

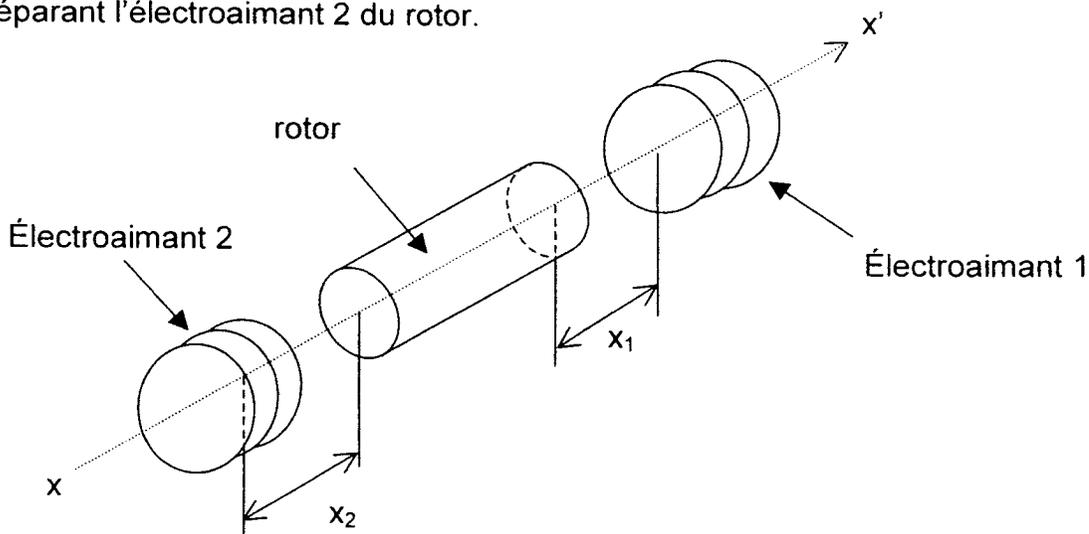


Figure 1 : vue en perspective de la butée magnétique

Cette butée centre le rotor selon l'axe xx' entre les 2 électroaimants. En position d'équilibre, les épaisseurs des deux entrefers x_1 et x_2 sont parfaitement égales.

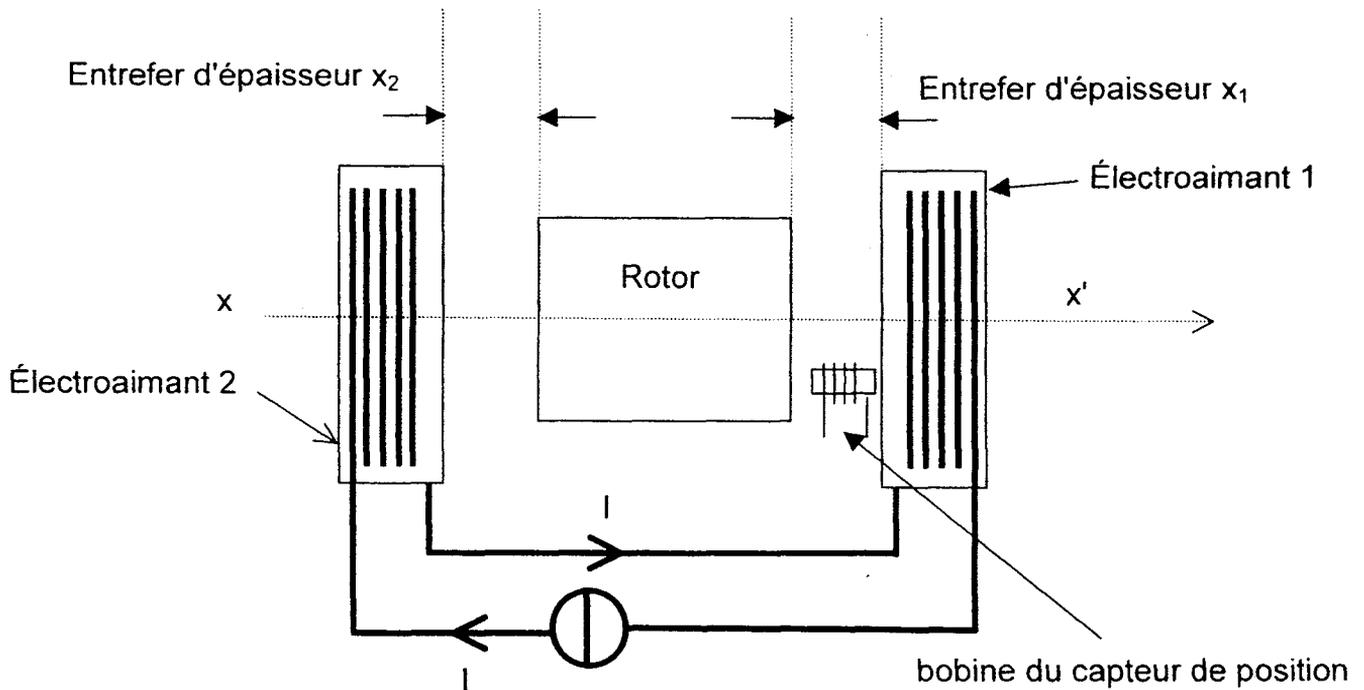


Figure 2 : vue de face de la butée magnétique

Des aimants permanents (non représentés sur **la figure 2**) sont placés au centre des électroaimants; ils permettent de maintenir le rotor dans sa position d'équilibre. Si le rotor s'écarte de sa position d'équilibre, un courant I circulant dans les bobines produit une force rappelant le rotor dans sa position d'équilibre.

Grâce au capteur de position situé près de l'électroaimant 1, l'épaisseur de l'entrefer x_1 est connue. L'asservissement de position permet le centrage du rotor en assurant l'égalité des épaisseurs des entrefers x_1 et x_2 .

Ce problème propose une étude simplifiée d'une partie des fonctions du système électronique permettant l'asservissement de position.

Les amplificateurs opérationnels (notés AO dans la suite du problème) sont alimentés sous les tensions symétriques $+V_{dd} = +15\text{ V}$ et $-V_{dd} = -15\text{ V}$ et sont supposés parfaits :

- l'impédance d'entrée est infinie.
- l'impédance de sortie est nulle.
- les tensions de saturation sont confondues avec les tensions d'alimentation.

Avertissement:

Les parties 1,2,3,4,5,6,7 peuvent être traitées de façon indépendante.

Étude du capteur de position (voir figure 3)

Le capteur de position délivre une tension u_{position} image de la position du rotor.

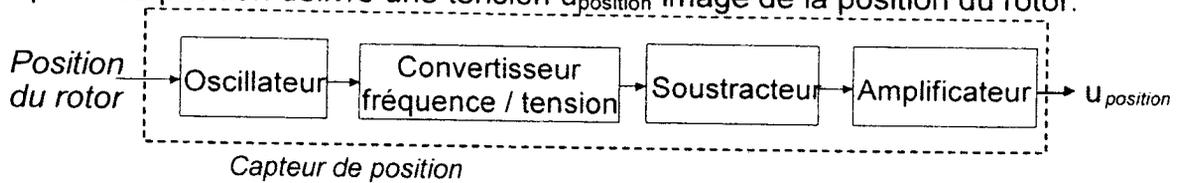


Figure 3 : synoptique du capteur de position

La mesure de l'épaisseur de l'entrefer x_1 est réalisée par une bobine dont l'inductance L dépend de x_1 selon la **figure 4**.

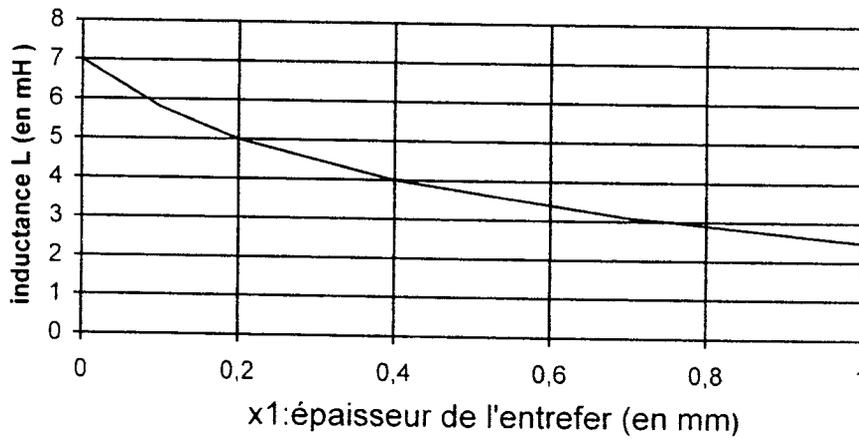


Figure 4 : inductance=f(épaisseur de l'entrefer)

1. Étude de l'oscillateur à fréquence variable

On réalise un oscillateur sinusoïdal (voir **figure 5**) dont la fréquence varie en fonction de l'épaisseur de l'entrefer. La bobine du circuit résonnant est constituée par la bobine dont l'inductance dépend de l'épaisseur de l'entrefer x_1 .

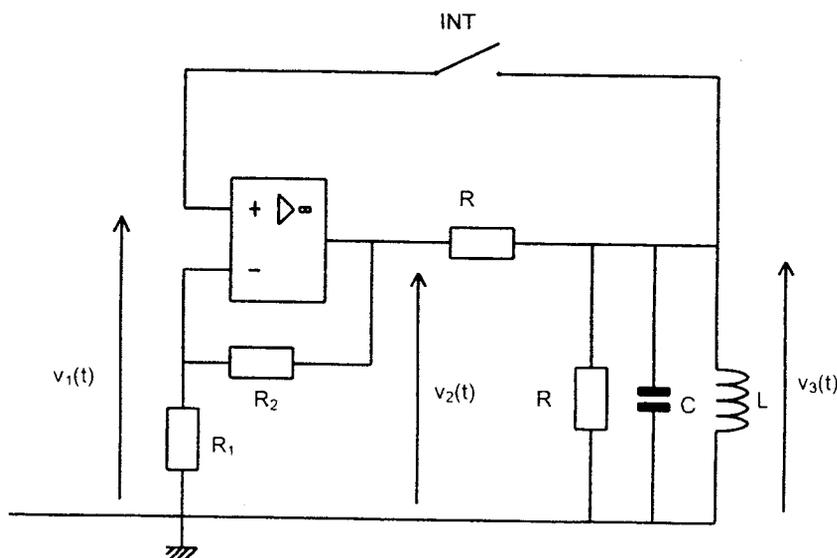


Figure 5 : oscillateur à fréquence variable

1.1. Étude en boucle ouverte

L'interrupteur INT est ouvert. Le montage est alimenté par une tension sinusoïdale $v_1(t)$ de pulsation ω . On associe à $v_1(t)$ la grandeur complexe \underline{V}_1 . De même, \underline{V}_2 et \underline{V}_3 sont les grandeurs complexes associées à $v_2(t)$ et $v_3(t)$.

1.1.1. Étude de la chaîne directe

Donner la fonction de transfert $\underline{H} = \frac{\underline{V}_2}{\underline{V}_1}$ en fonction de R_1 et de R_2 (la démonstration n'est pas exigée).

1.1.2. Étude de la chaîne de retour

a) Soit \underline{Y} l'admittance complexe du dipôle RLC ; montrer que la fonction de transfert

$\underline{K} = \frac{\underline{V}_3}{\underline{V}_2}$ peut se mettre sous la forme suivante : $\underline{K} = \frac{1}{1 + \underline{Y} \cdot R}$.

b) Exprimer \underline{Y} en fonction de R , L , C et ω .

c) Montrer que $\underline{K} = \frac{\underline{V}_3}{\underline{V}_2}$ peut se mettre sous la forme suivante : $\underline{K} = \frac{1}{2 + jR(C\omega - \frac{1}{L\omega})}$.

d) À quelle condition \underline{K} est-il réel ? Quelle est alors l'expression de K ?

1.2. Étude du système bouclé

L'interrupteur INT est fermé. On admet que le montage est le siège d'oscillations sinusoïdales.

1.2.1. Quelle est la relation entre \underline{V}_1 et \underline{V}_3 ?

1.2.2. En déduire que $\underline{H} \cdot \underline{K} = 1$.

1.2.3. Quel est l'argument de $\underline{H} \cdot \underline{K}$?

1.2.4. Montrer que la fréquence d'oscillation f_0 est liée à L et C par la relation

suivante : $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$

1.2.5. Quel est le module de $\underline{H} \cdot \underline{K}$ à la fréquence f_0 ?

1.2.6. En déduire la relation entre R_1 et R_2 .

1.3. Applications numériques

1.3.1. En utilisant la **figure 4** donner dans le **document réponse page 14** les valeurs de l'inductance de la bobine pour les quatre épaisseurs d'entrefer proposées à la première ligne du tableau **page 14**.

1.3.2. Calculer pour les quatre épaisseurs d'entrefer la fréquence d'oscillation f_0 lorsque $C = 4$ nF. Reporter ces valeurs dans le **document réponse page 14**.

1.3.3. Tracer sur le **document réponse page 14** la fréquence f_0 en fonction de x_1 .

2. Étude du convertisseur fréquence – tension

On réalise un convertisseur fréquence – tension (voir **figure 6**) afin d'avoir une tension $v_7(t)$ image de la fréquence f_0 de l'oscillateur à fréquence variable.

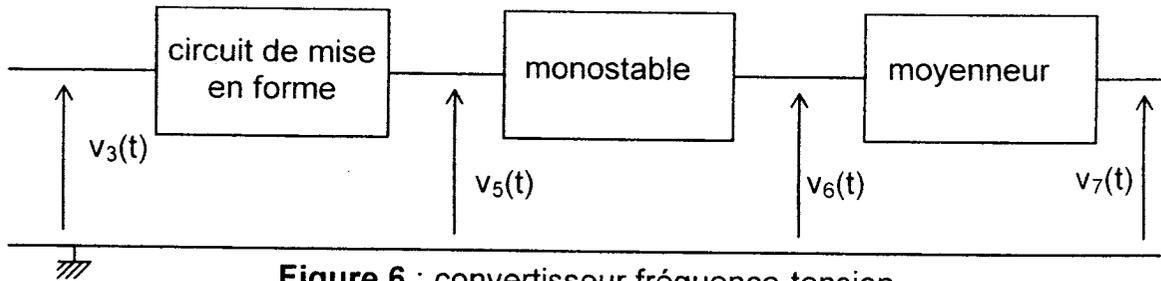


Figure 6 : convertisseur fréquence-tension

2.1. Étude du circuit de mise en forme (voir figure 7)

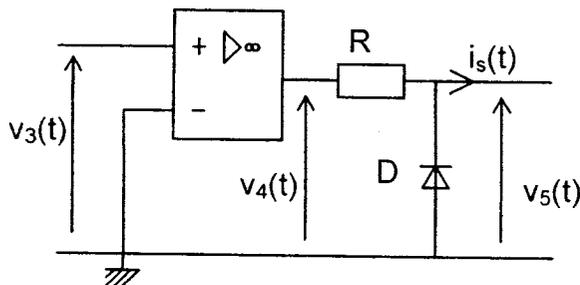


Figure 7 : circuit de mise en forme

Le circuit de mise en forme est constitué de l'AO, de la résistance R et de la diode D. La diode D est supposée idéale (tension de seuil nulle). Le montage est alimenté par une tension sinusoïdale $v_3(t)$, de fréquence $f_0 = 40000\text{Hz}$ (voir chronogramme sur le **document réponse page 15**).

On supposera le courant d'intensité $i_s(t)$ nulle.

- 2.1.1. Quelle est la fonction réalisée par l'AO ? Justifier votre réponse.
- 2.1.2. Tracer sur le **document réponse page 15**, la tension $v_4(t)$ correspondant à $v_3(t)$
- 2.1.3. Lorsque $v_4(t) > 0$, déterminer l'état de la diode. En déduire la valeur de la tension $v_5(t)$.
- 2.1.4. Lorsque $v_4(t) < 0$, déterminer l'état de la diode. En déduire la valeur de la tension $v_5(t)$.
- 2.1.5. Tracer sur le **document réponse page 15**, la tension $v_5(t)$.

2.2. Étude du monostable

La tension $v_6(t)$ est donnée sur le **document réponse page 15**.

- 2.2.1. Le monostable est-il déclenché par un front montant ou descendant de $v_5(t)$?
- 2.2.2. Quelle est la valeur de la tension v_6 pour l'état instable ? pour l'état stable ?
- 2.2.3. Donner la durée de l'état instable.

2.3. Étude du moyeneur

2.3.1. Cas particulier

On souhaite extraire la valeur moyenne de $v_6(t)$. On donne le spectre en amplitude de v_6 pour $f_0=40000\text{Hz}$ (voir spectre sur le **document réponse page 15**).

- Quelle est la valeur moyenne $V_{6\text{moy}}$ de la tension instantanée $v_6(t)$?
- Quelle est l'amplitude du fondamental de $v_6(t)$? Quelle est sa fréquence ? Quelle est son allure ?
- Quel type de filtre peut permettre d'extraire la valeur moyenne de $v_6(t)$?
- Comment choisir la (ou les) fréquence(s) de coupure du filtre ?
- Cette condition étant réalisée, $v_7(t)$ est la valeur moyenne de $v_6(t)$. Tracer $v_7(t)$ sur le **document réponse page 16**.

2.3.2. Cas général

Le chronogramme de $v_6(t)$ est donné à la **figure 8**. On rappelle que $v_7(t)$ est la valeur moyenne de $v_6(t)$.

Montrer que $v_7(t) = 3 \cdot 10^{-4} \cdot f_0$ où f_0 est la fréquence de $v_6(t)$.



Figure 8 : cas général de $v_6(t)$

2.4. Expression de $v_7(t)$ en fonction des épaisseurs des entrefers

La fréquence f_0 dépend de l'épaisseur x_1 de l'entrefer (question 1.3.3.).

On admettra la relation $f_0 = 3 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^7 x_1$ où f_0 est en Hertz et x_1 en mètre.

Les épaisseurs des entrefers vérifient $x_1 + x_2 = 10^{-3}\text{m}$. En posant $\Delta x = x_1 - x_2$, on

obtient $x_1 = \frac{\Delta x + 10^{-3}}{2}$.

Déduire de la question 2.3.2., la relation $v_7 = 12 + 3 \cdot 10^3 \cdot \Delta x$ (l'unité de v_7 étant le volt et l'unité de Δx étant le mètre)

3. Étude du soustracteur (voir figure 9)

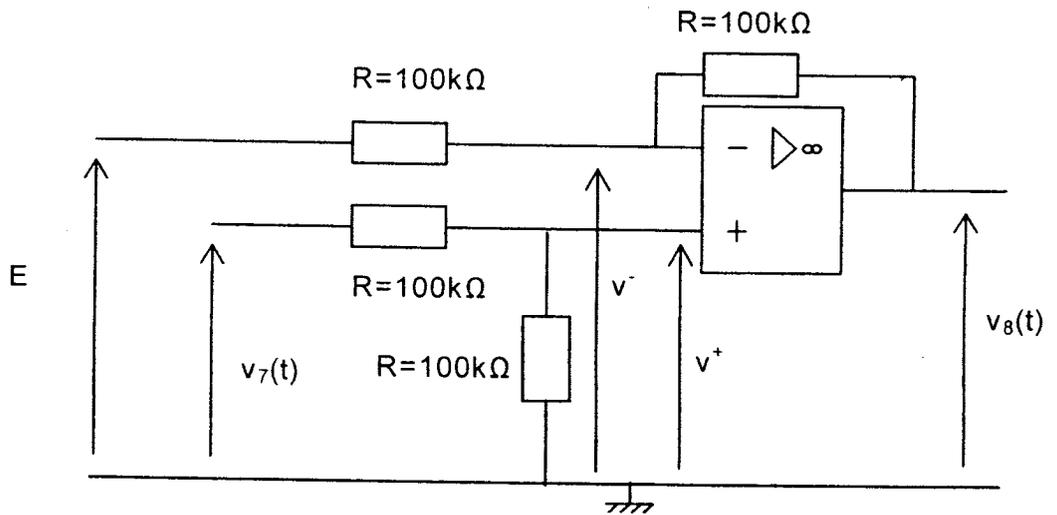


Figure 9 : montage soustracteur

- 3.1. Quel est le régime de fonctionnement de cet AO ? Justifier la réponse.
- 3.2. Donner l'expression de $v_8(t)$ en fonction de $v_7(t)$ et de E . Démontrer cette expression.
- 3.3. E est une tension continue de 12 V. En utilisant le résultat de la question 2.4, donner l'expression de v_8 en fonction de Δx .

4. Étude de l'amplificateur (voir figure 10)

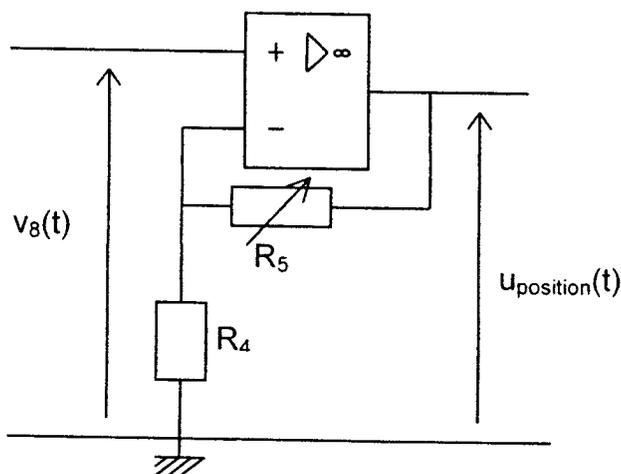


Figure 10 : montage amplificateur

4.1. Donner l'amplification A_v en fonction de R_4 et R_5 avec $A_v = \frac{u_{\text{position}}}{v_8}$

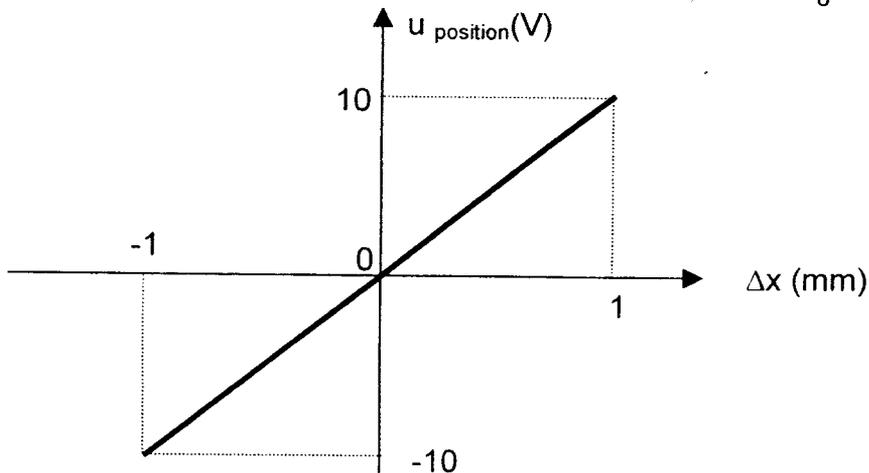


Figure 11 : caractéristique du capteur de position

4.2. On désire que u_{position} varie en fonction de Δx selon la caractéristique de la **figure 11**. On veut un facteur d'amplification $A_v = 3,33$.

R_4 est une résistance fixe de $10\text{k}\Omega$ et R_5 est une résistance ajustable. A quelle valeur doit-on régler R_5 ?

4.3. On considère que u_{position} en fonction de Δx (**figure 11**) est une droite d'équation : $u_{\text{position}} = s \cdot \Delta x$ où s est la sensibilité du capteur de position.

4.3.1. Déterminer la valeur numérique de la sensibilité s .

4.3.2. Préciser l'unité de la sensibilité s .

Étude de l'asservissement de position

Le schéma du système d'asservissement de position est donné **figure 12**. Le capteur de position délivre une information proportionnelle à Δx et la convertit en une tension u_{position} . La tension u_{position} image de la position du rotor est comparée avec la tension de consigne u_{consigne} . La différence entre ces 2 tensions u_9 est amplifiée et commande un amplificateur de puissance qui alimente les 2 électroaimants de la butée magnétique. Ces électroaimants créent une force qui permet de positionner le rotor, réglant ainsi les épaisseurs des deux entrefers.

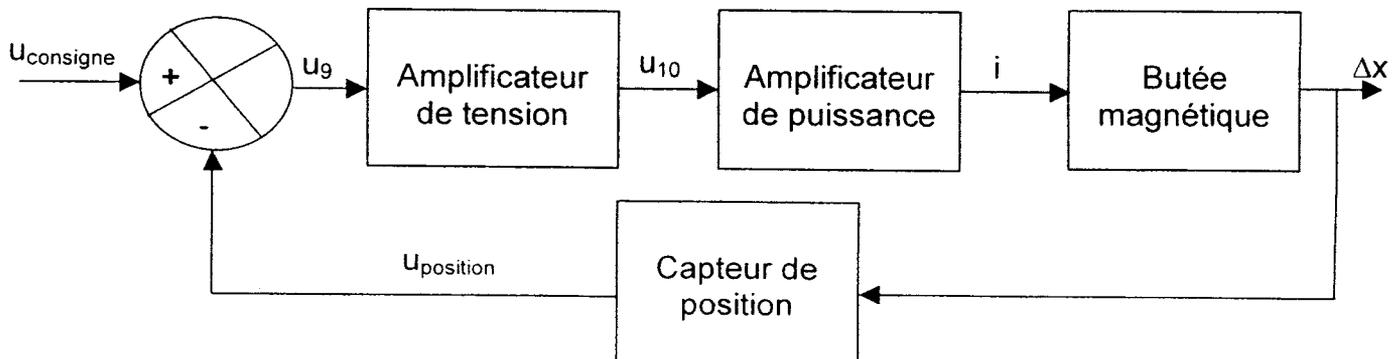


Figure 12 : asservissement de position

5. Étude de l'amplificateur de tension

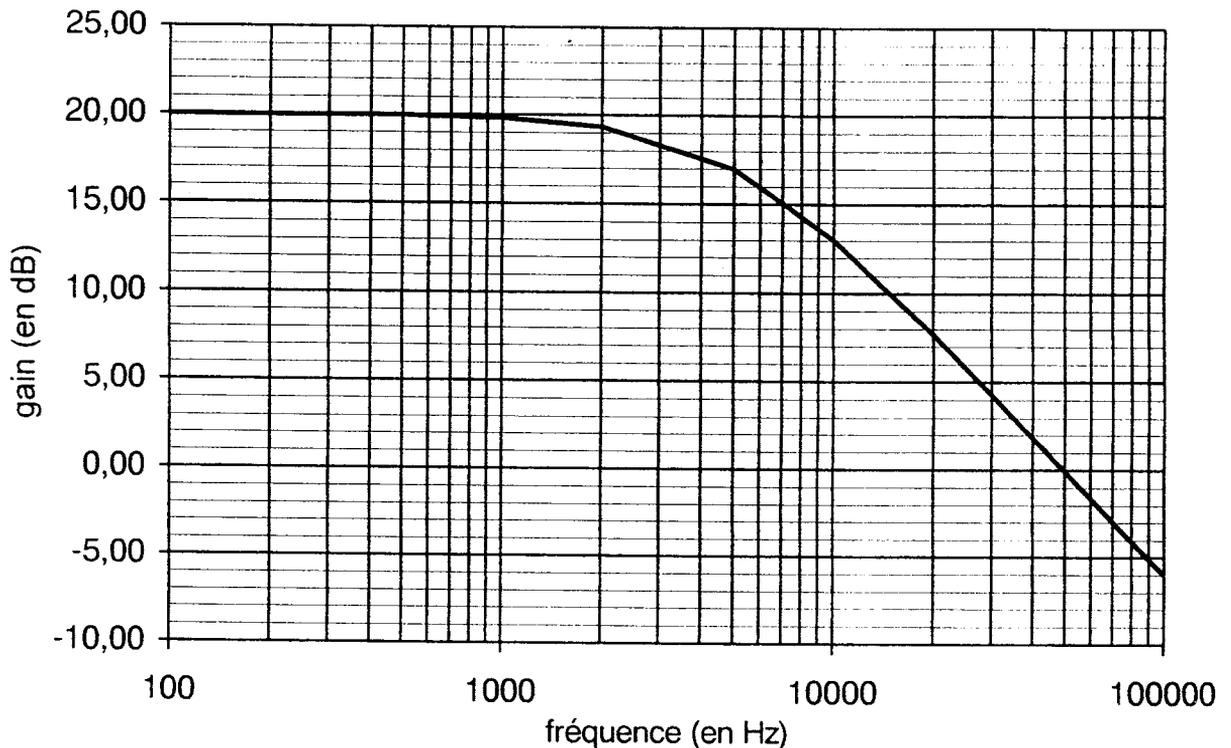


Figure 13 : réponse en fréquence de l'amplificateur

La courbe de gain de l'amplificateur non inverseur de tension est donnée **figure 13**. Le gain G est défini par la relation suivante :

$G = 20 \log A_1$ où A_1 est l'amplification en tension définie par $A_1 = \frac{U_{10}}{U_9}$, U_{10}, U_9 étant les valeurs efficaces des tensions $u_{10}(t)$ et $u_9(t)$.

Pour $f < 100$ Hz, le gain vaut 20 dB.

- 5.1. Quelle est l'allure de signal $u_9(t)$ nécessaire pour obtenir expérimentalement cette courbe de gain ?
- 5.2. Que vaut le gain lorsque la tension d'entrée $u_9(t)$ est une tension continue ?
- 5.3. Calculer le coefficient d'amplification A_1 lorsque la tension d'entrée $u_9(t)$ est une tension continue.
- 5.4. Déterminer la fréquence de coupure de cet amplificateur. En déduire la bande passante de cet amplificateur de tension.

6. Étude de l'amplificateur de puissance (voir figure 14)

Le schéma de montage est le suivant :

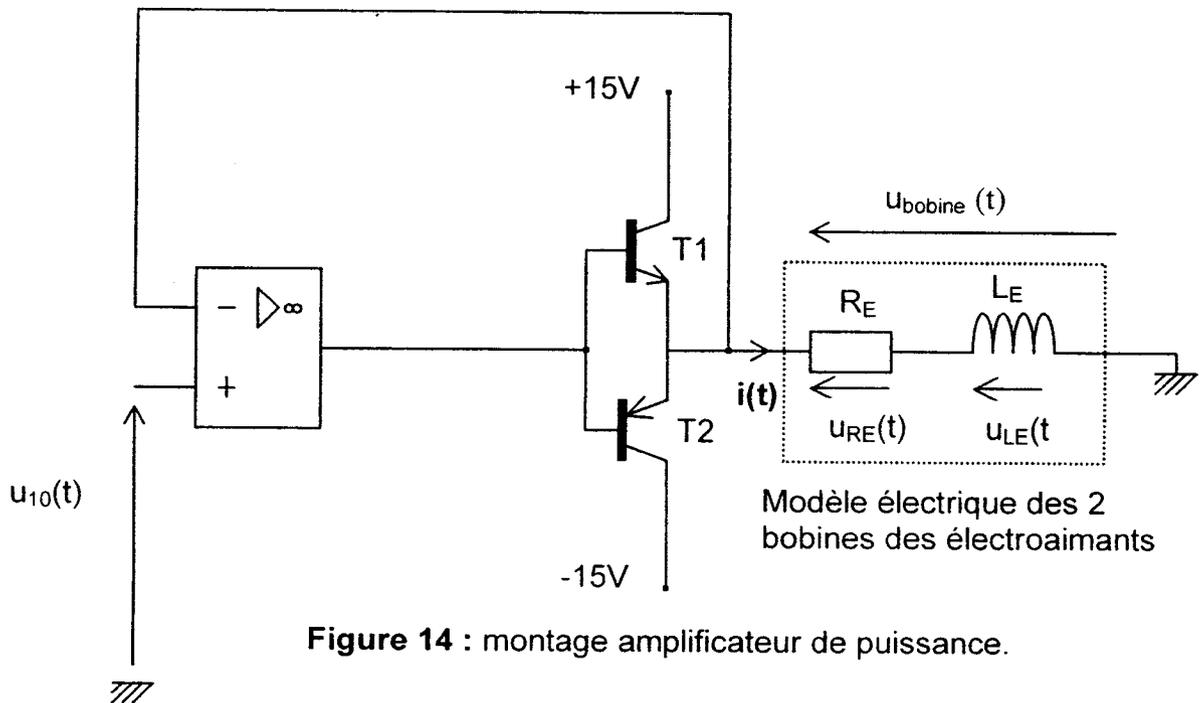


Figure 14 : montage amplificateur de puissance.

On suppose que l'AO fonctionne en régime linéaire. T1 et T2 sont 2 transistors de puissance qui, lorsqu'ils sont passants, fonctionnent en régime linéaire. Les bobines des électroaimants peuvent être modélisées par une résistance interne $R_E = 10 \Omega$ et une inductance $L_E = 0,1H$.

6.1. Déterminer la relation entre $u_{10}(t)$ et $u_{bobine}(t)$.

6.2. On a relevé le chronogramme du courant traversant la bobine $i(t)$ (voir **document réponse page 16**) lorsque la tension $u_{bobine}(t)$ passe brusquement de 0 à 5V.

6.2.1. Estimer graphiquement la valeur de la constante de temps $\tau_{graphique}$.

(faire la construction sur le **document réponse p16**)

6.2.2. Comparer la valeur $\tau_{graphique}$ à la valeur théorique $\tau_{théorie} = \frac{L_E}{R_E}$.

6.2.3. Estimer la durée du régime transitoire.

6.2.4. Déterminer la valeur du courant en régime permanent.

6.2.5. En régime permanent, déterminer la valeur de $u_{LE}(t)$. Justifier.

6.2.6. En régime permanent, déterminer la valeur de $u_{RE}(t)$. Justifier.

7. Étude du système bouclé (voir figure 15)

Dans cette partie, on travaille en régime permanent. On rappelle que $\Delta x = x_1 - x_2$.

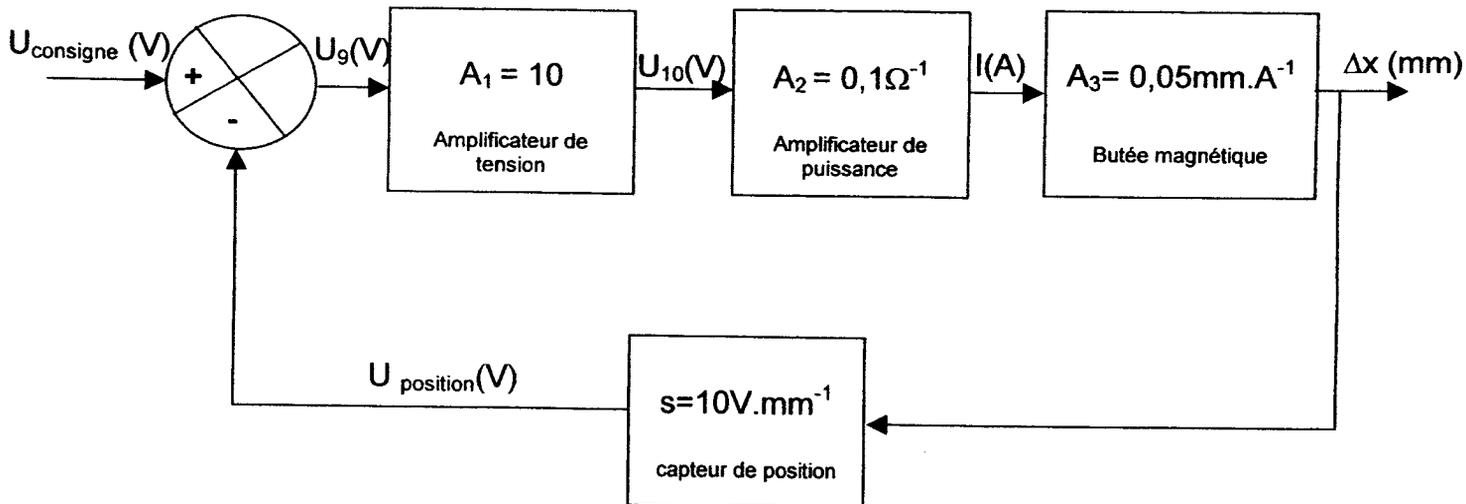


Figure 15 : système bouclé

7.1. Déterminer le ou les élément(s) composant la chaîne directe.

7.2. Déterminer le ou les élément(s) de la chaîne retour.

7.3. Montrer que la fonction de transfert du système bouclé peut se mettre sous la

forme suivante : $\Delta x = \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3}{1 + A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot s} \cdot U_{\text{consigne}}$

7.4. On souhaite assurer $x_1 = x_2$ c'est à dire $\Delta x = 0$. Que vaut la tension de consigne ?

7.5. Sous l'effet d'une perturbation, le rotor n'est plus centré et les entrefers ne sont plus égaux (voir **figure 16 page 13**) malgré une tension de consigne réglée pour l'égalité des entrefers.

7.5.1. Quel est le signe de Δx et la valeur de Δx pour la configuration de la **figure 16** ?

7.5.2. Quelle est la valeur de U_{position} ?

7.5.3. Quelles sont les valeurs U_9 , U_{10} et I ?

7.5.4. On rappelle qu'un courant d'intensité I positive circulant dans les bobines des électroaimants produit une force rappelant le rotor dans sa position d'équilibre.

D'après le signe de I obtenu en 7.5.3;

- comment réagit la butée magnétique?

- vers quelle valeur de Δx va tendre le système ?

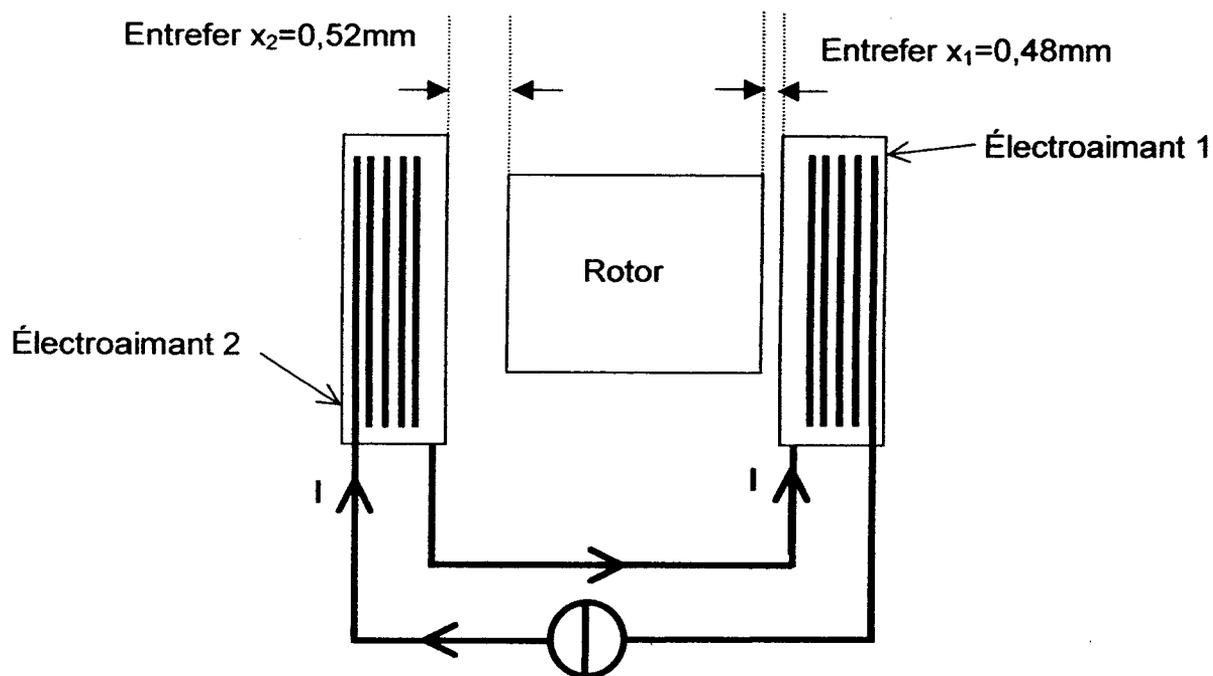


Figure 16 : butée magnétique après une perturbation

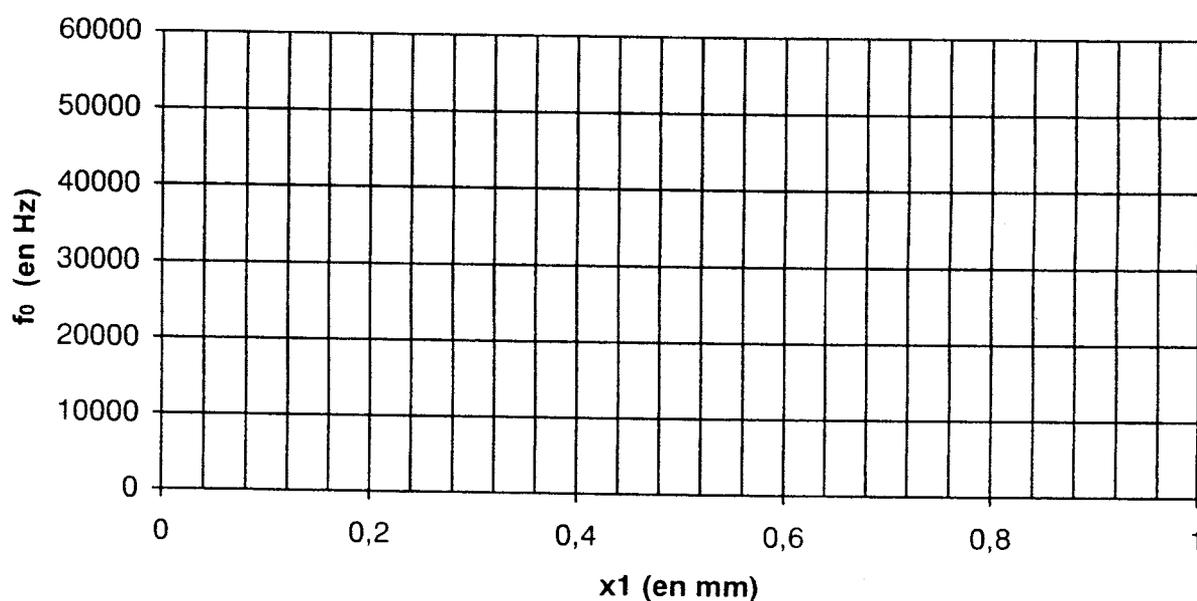
DOCUMENT RÉPONSE - À RENDRE AVEC LA COPIE

1. Étude de l'oscillateur à fréquence variable

1.3.1. et 1.3.2.

Épaisseur entrefer x_1 (en mm)	0	0.2	0.6	1
Inductance de la bobine L (en H)				
Fréquence d'oscillation f_0 (en Hz)				

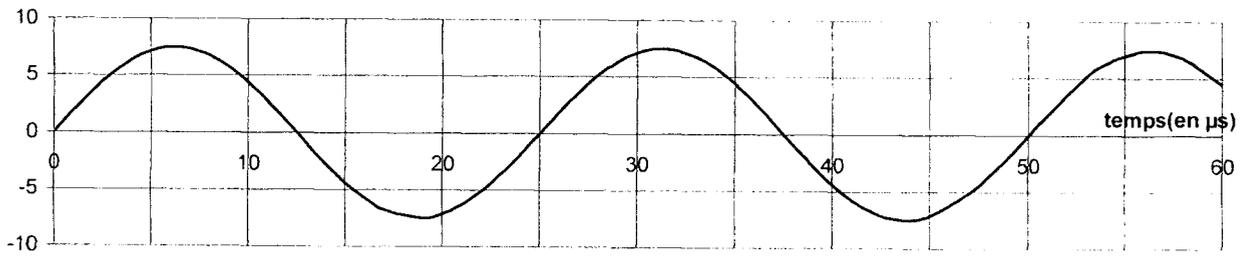
1.3.3. f_0 en fonction de x_1



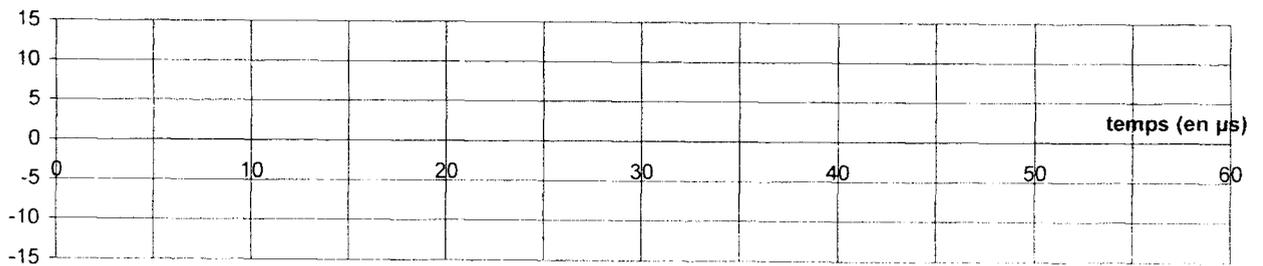
DOCUMENT RÉPONSE - À RENDRE AVEC LA COPIE

2. Convertisseur fréquence-tension

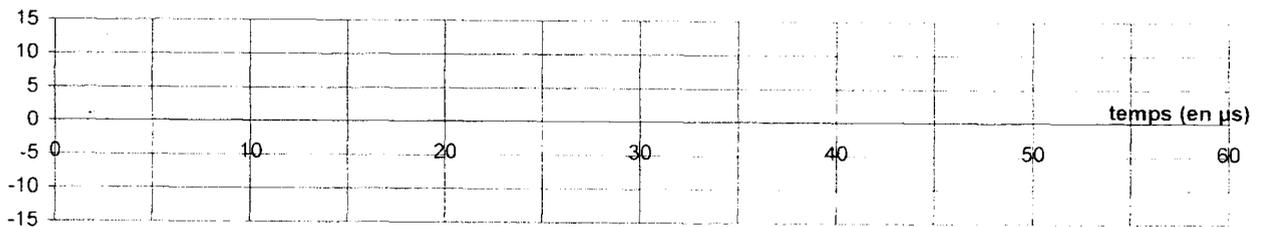
$v_3(t)$ (en V)



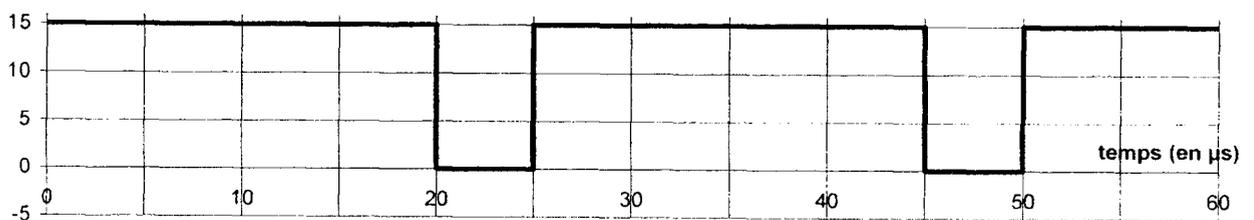
2.1.2. $v_4(t)$ (en V)



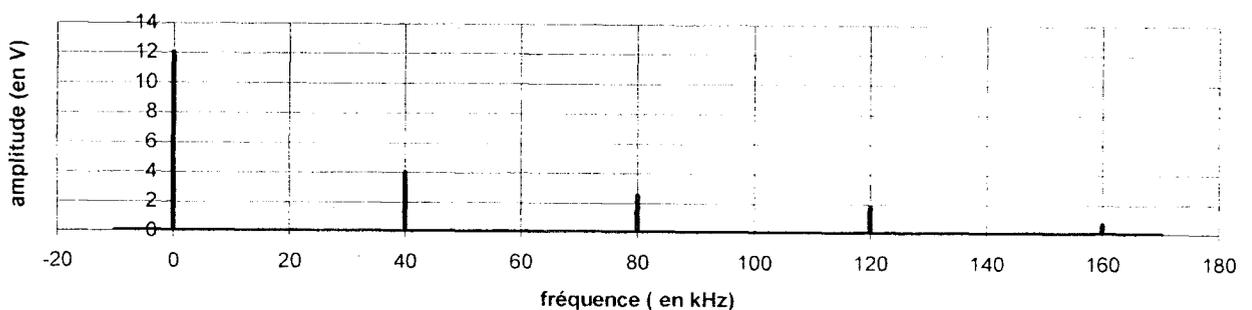
2.1.5. $v_5(t)$ (en V)



2.2. $v_6(t)$ (en V)

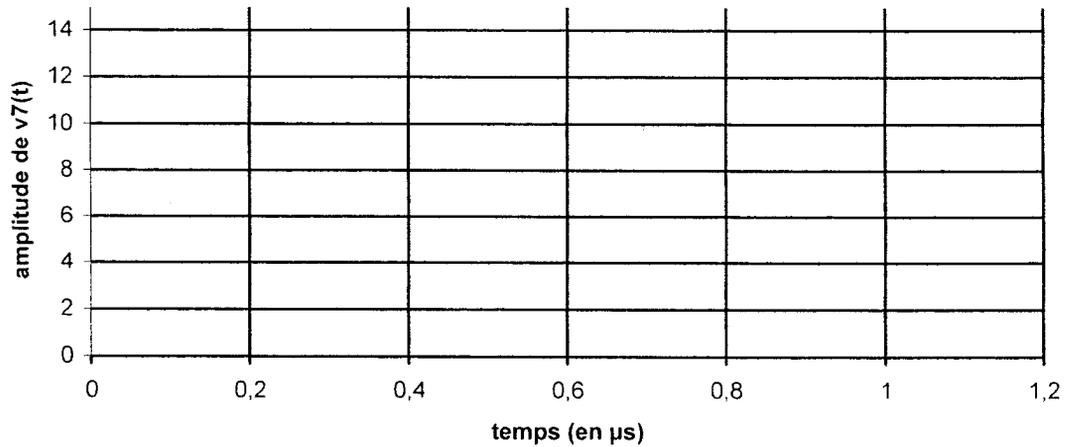


2.3.1. spectre de $v_6(t)$



DOCUMENT RÉPONSE - À RENDRE AVEC LA COPIE

3.3.3. Chronogramme de $v_7(t)$



6. Étude de l'amplificateur de puissance.

6.2. Chronogramme de l'intensité $i(t)$ du courant dans la bobine :

