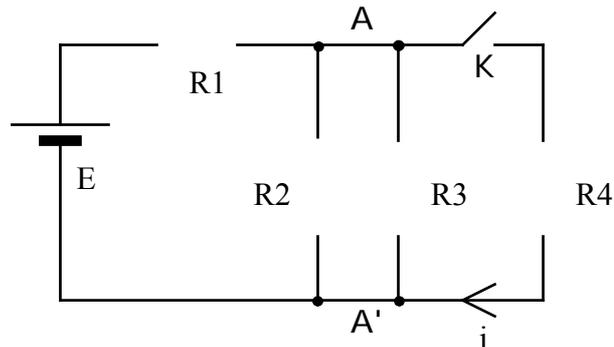


**Avertissement concernant l'ensemble de l'épreuve :**

Lorsqu'une question comporte un résultat numérique à vérifier, ce résultat doit être considéré comme « vrai » si l'égalité est vérifiée à  $\pm 2\%$ .

**ELECTRICITE GENERALE – SYSTEMES LINEAIRES****Question 1**

On considère le circuit de la figure ci-après :



On donne :

$$E = 100 \text{ V} ; R_1 = 50 \quad ; R_2 = 100 \quad ; R_3 = 50 \quad ; R_4 = 20$$

(A) Lorsque K est ouvert, la tension  $U_{AA'}$  = 40 V.

Pour les items suivants, on suppose que K est fermé:

(B) Le courant  $i$  dans  $R_4$  est de 2 A.

(C) La puissance dissipée dans  $R_4$  est de 40 W.

(D) Si  $R_4 = 0$  le courant  $i$  tend vers l'infini.

(E) Si  $R_4$  varie de 0 à l'infini la puissance dissipée dans  $R_4$  est maximum pour  $R_4 = 20$

**Question 2**

Le montage reste celui de la figure de l'exercice précédent et les valeurs numériques de  $E$ , de  $R_2$  et de  $R_3$  sont également les mêmes que celles de l'exercice précédent; par contre la valeur de  $R_1$  est liée à celle de  $R_4$  par la relation :  $R_1 = \frac{5}{2} R_4$ .

(A) Lorsque K est ouvert, la tension  $U_{AA'}$  passe par un maximum si  $R_4 = 20$  .

(B) Cette tension maximum est de 40 V si K est ouvert.

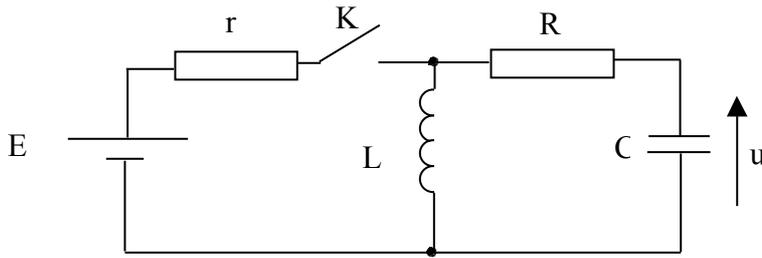
(C) La puissance dans  $R_4$  est de 20 W lorsque K est fermé et que  $R_4 = 20$  .

(D) La puissance est maximum pour  $R_4 = 20$  lorsque K est fermé.

(E) Si  $R_4$  tend vers zéro le courant  $i$  tend vers l'infini lorsque K est fermé.

**Question 3**

On étudie le schéma suivant :



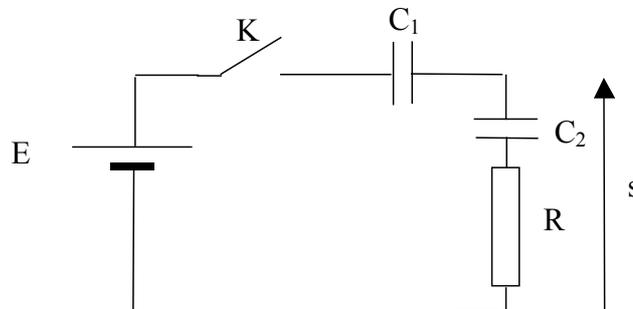
pour lequel  $E = 10 \text{ V}$ ,  $L = 0,1 \text{ H}$ ,  $C = 10^{-1} \mu\text{F}$ ,  $R = 10 \text{ } \Omega$ ,  $r = 5 \text{ } \Omega$ .

L'interrupteur K est fermé et le régime permanent est établi.

- (A) L'énergie stockée dans la bobine vaut  $0,2 \text{ J}$ .
- (B) L'énergie stockée dans le condensateur vaut également  $0,2 \text{ J}$ .
- (C) A l'instant  $t = 0$  on ouvre l'interrupteur K. La tension aux bornes du condensateur vaut :  $u(t) = U_M e^{-t/\tau} \sin(\omega t + \phi)$  avec  $\tau = 50 \text{ s}^{-1}$ ,  $\omega = 10^4 \text{ rd/s}$ ,  $\phi = 0$  et  $U_M$  positif.
- (D) La tenue en tension du condensateur doit être au minimum de  $2 \text{ kV}$ .
- (E) L'amplitude de l'oscillation du courant  $i(t)$  est telle que la valeur du courant devient définitivement inférieure à  $2 \text{ mA}$  au bout de 222 oscillations.

#### Question 4

On étudie le schéma électrique suivant :



Pour lequel  $E = 10 \text{ V}$ ,  $C_1 = 1 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2 \mu\text{F}$ ,  $R = 1 \text{ k } \Omega$ .

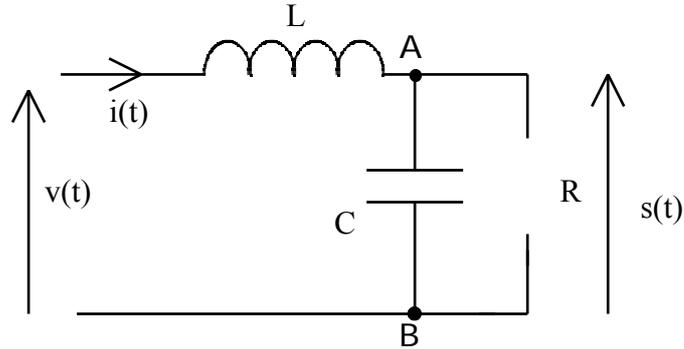
Les condensateurs sont initialement déchargés. A  $t = 0$  on ferme l'interrupteur K.

- (A) Immédiatement après la fermeture de K, le courant dans la résistance s'établit à la valeur de  $1 \text{ mA}$ .
- (B) A la fin du régime transitoire les deux condensateurs portent la même charge qui vaut  $Q = 6,66 \mu\text{C}$
- (C) La tension de sortie  $s$  a pour valeur finale  $3,3 \text{ V}$ .
- (D) Pendant le régime transitoire l'évolution de  $s(t)$  est exponentielle avec une constante de temps de  $0,66 \text{ ms}$ .
- (E) On remplace la source continue  $E$  par une source sinusoïdale  $e(t) = E_M \sin(\omega t)$ . A la

fréquence  $137,83 \text{ Hz}$  le gain  $\left| \frac{S(j\omega)}{E(j\omega)} \right|$  vaut  $\_$ .

### Question 5

On étudie le circuit de la figure ci-dessous en régime sinusoïdal:



La tension d'entrée est donnée par :

$$v(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

On fixe pour tout l'exercice:  $L = 100 \mu\text{H}$  et  $C = 100 \text{ nF}$ .  $R$  est une résistance pure variable de 0 à l'infini. Pour la suite on posera:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad ; \quad \frac{L}{2R} = \frac{\sigma}{\omega_0}$$

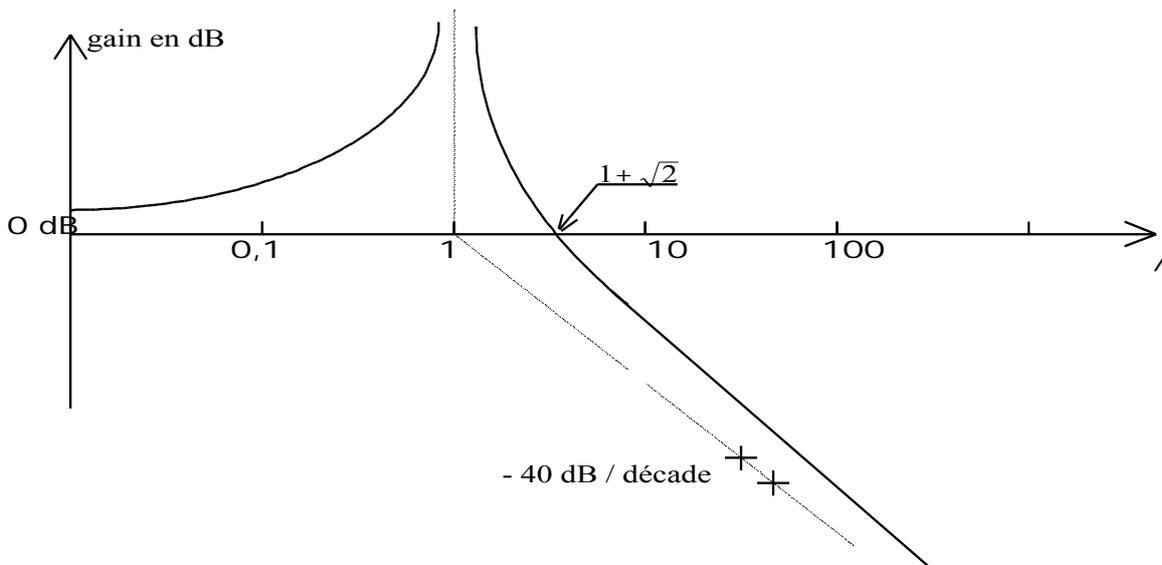
La sortie est, en régime établi, de la forme:

$$s(t) = S\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi)$$

(A) La fonction de transfert  $\underline{T}(j\omega)$  s'écrit:

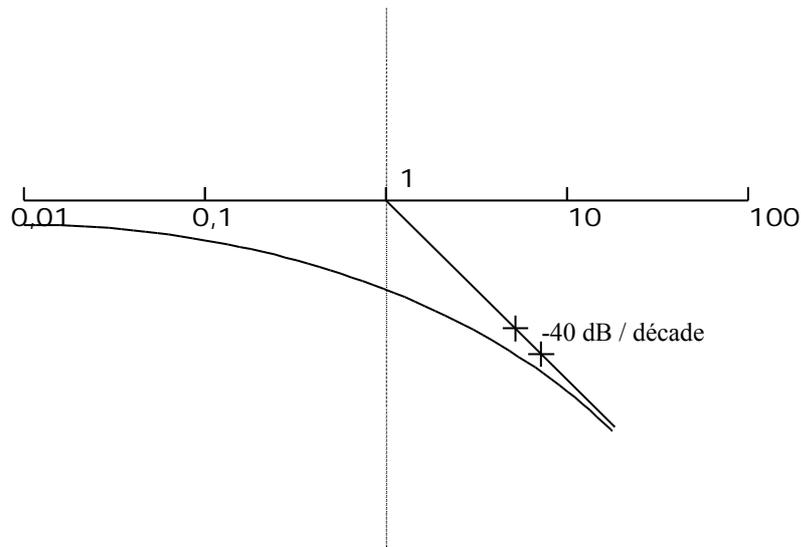
$$\underline{T}(j\omega) = \frac{S}{V} = \frac{1}{1 + 2j\sigma \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$$

(B) Pour  $R$  infini, le diagramme de Bode du gain est :



On suppose que  $R = 31,6$  pour les deux items suivants:

(C) Le diagramme de Bode devient:



**(D)** Pour  $f = 50,3$  kHz le gain vaut  $-6$  dB.

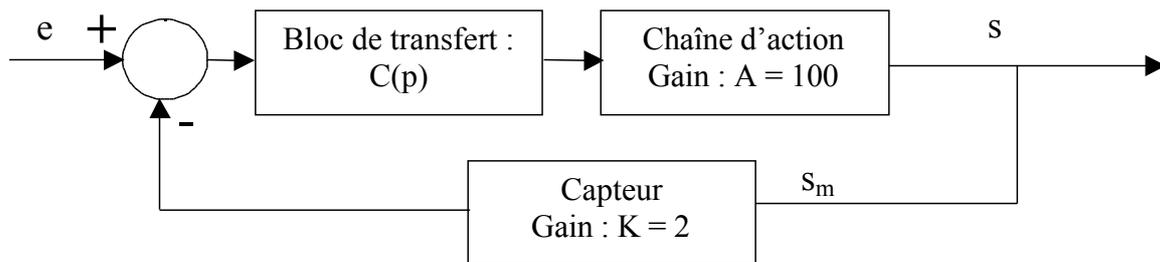
On suppose à présent que  $R$  est variable avec la fréquence de sorte que:

$$R = \frac{L\omega_0}{(f/f_0)}$$

**(E)** Dans ces conditions le gain en dB est nul pour  $f = f_0$ .

### Question 6

On considère le système bouclé représenté sur la figure suivante :



Pour les items **(A)** **(B)** et **(C)** on considère que  $C(p) = 1$ .

**(A)** Une fluctuation de 10% du gain  $A$  conduit à une fluctuation de 0,05% de  $s$  quand  $e$  et  $K$  sont constants.

**(B)** Une fluctuation de 10% du gain  $K$  du capteur entraîne une fluctuation de 5% de la sortie  $s$  quand  $e$  et  $A$  sont constants.

**(C)** On suppose pour cet item que l'entrée  $e$  est nulle. Si la mesure effectuée par le capteur est perturbée par un signal  $d_0$  constant ( $s_m = s + d_0$ ) alors la sortie  $s$  vaut  $-d_0$ .

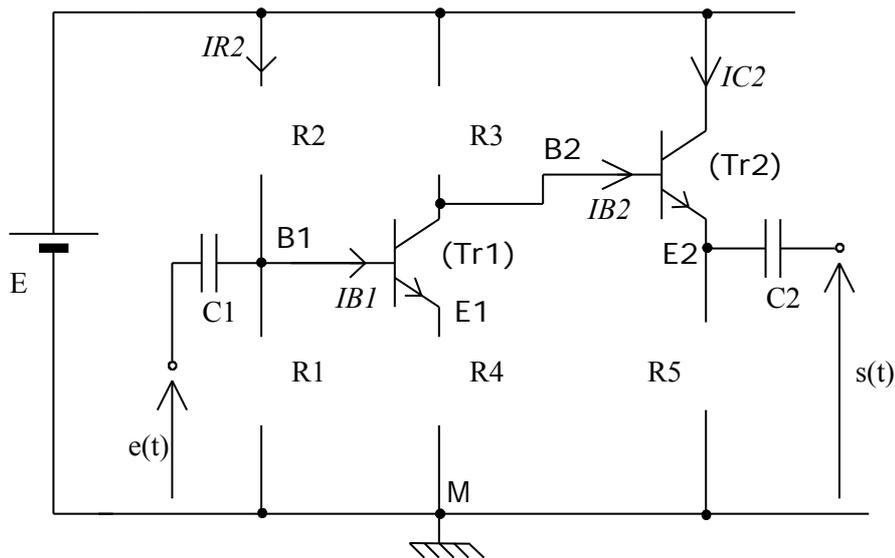
**(D)** On considère que  $C(p)$  passe à la valeur 1000. Le comportement en boucle fermée devient tel que la sortie  $s$  est proportionnelle à l'entrée  $e$  avec un coefficient de proportionnalité de 0,5.

(E) On suppose maintenant que  $C(p)$  est un intégrateur pur :  $C(p) = 1/p$ . L'entrée est supposée nulle et la mesure de la sortie est perturbée par un signal constant  $d_0$ . Au bout d'un temps suffisamment long, la sortie vaudra  $s = 0$ .

## ELECTRONIQUE ANALOGIQUE

### Question 7

Soit le circuit de la figure ci-après :



Les transistors (Tr1) et (Tr2) sont des transistors NPN caractérisés par :

- une tension base-émetteur  $V_{BE} = 0,6 \text{ V}$ ,
- un gain en courant  $\beta_1$  pour (Tr1) de 150 et  $\beta_2$  pour (Tr2) de 100,
- $V_T = \frac{kT}{q} = 25 \text{ mV}$ ,
- les capacités de liaison C1 et C2 sont d'impédance négligeable à la fréquence d'utilisation,
- la source de tension E de polarisation est de 14 Volts,
- les résistances sont:

$$R_1 = 4,7 \text{ k} \quad ; \quad R_2 = 20 \text{ k} \quad ; \quad R_3 = 5 \text{ k} \quad ; \quad R_4 = 2 \text{ k} \quad ; \quad R_5 = 8,2 \text{ k}$$

(A) Le courant de polarisation de base  $I_{B1}$  pour (Tr1) est de  $6,7 \mu\text{A}$  et la tension aux bornes de  $R_1$ ,  $V_{B1M}$  est de 1 V.

(B) La tension collecteur émetteur de Tr1 est  $V_{CE1} = 3,5 \text{ V}$ .

(C) La tension aux bornes de  $R_5$  est  $V_{E2M} = 13,6 \text{ V}$ .

(D) Le courant de base de Tr2 noté  $I_{B2}$  vaut  $10 \mu\text{A}$ , il est négligeable (inférieur au 1/10) devant le courant  $I_{C1}$ .

(E) La tension collecteur émetteur  $V_{CE2} = 5,6 \text{ V}$  à 5% près.

### Question 8

Le circuit intégré AD 734 dit circuit multiplicateur peut être considéré comme un circuit comportant des entrées X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2 et une sortie W. L'expression de la sortie de ce circuit intégré en boucle ouverte est donnée par :

$$W = A_o \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{U} - (Z_1 - Z_2)$$

où  $U = 10 \text{ V}$  et  $20 \log_{10} |A_o| = 72 \text{ dB}$ .

On utilise le circuit conformément au montage de la figure suivante où les tensions sont données par:

$$e_1(t) = 0,5\sqrt{2} \cdot \sin(1000 \cdot \pi \cdot t + \frac{\pi}{6})$$

$$e_2(t) = 0,24\sqrt{2} \cdot \sin(1000 \cdot \pi \cdot t + \frac{\pi}{3})$$

$$E = 200 \text{ mV}$$

dans ces expressions les tensions  $e_1$  et  $e_2$  sont en volts et  $t$  en secondes.

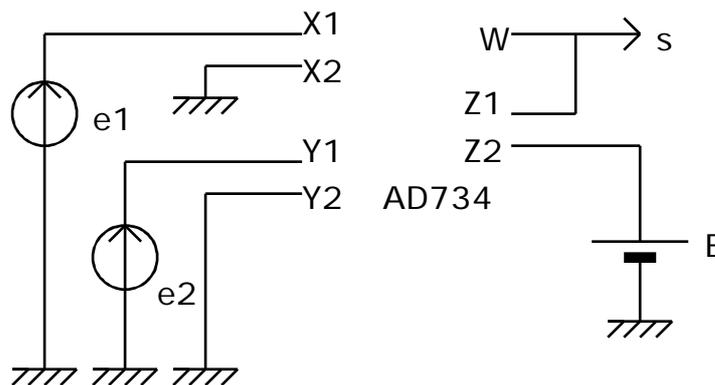
On rappelle les relations usuelles de trigonométrie :

$$\cos(a + b) = \cos a \cdot \cos b - \sin a \cdot \sin b$$

$$\cos(a - b) = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b$$

$$\sin(a + b) = \sin a \cdot \cos b + \sin b \cdot \cos a$$

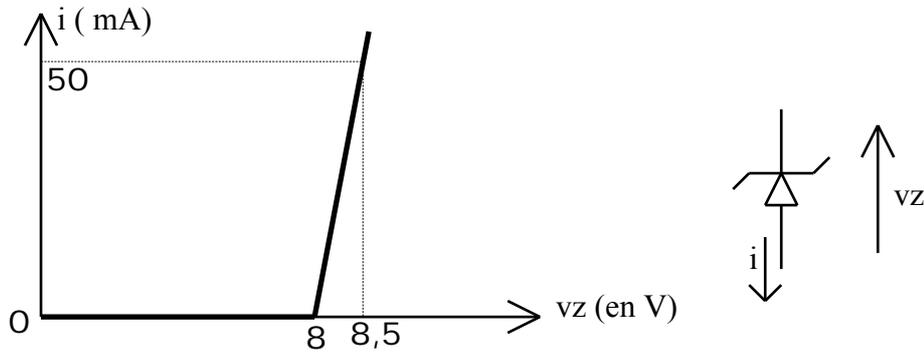
$$\sin(a - b) = \sin a \cdot \cos b - \sin b \cdot \cos a$$



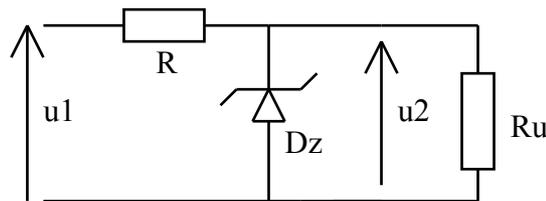
- (A) La valeur moyenne de  $W = Z_1$  est de 30 mV.
- (B) La fréquence du signal de sortie est 1 kHz.
- (C) La valeur maximum de  $W$  est 222 mV.
- (D) Si la fréquence de  $e_1$  et  $e_2$  est multipliée par deux la sortie n'est pas modifiée.
- (E) Si  $E = 0$  la valeur moyenne de  $W$  passe à 100 mV.

### Question 9

On utilise une diode zéner dont la caractéristique est donnée par :



Cette diode est utilisée dans le circuit suivant:



La résistance  $R$  est de 190 ohms et la résistance  $R_u$  est variable de l'infini à une valeur minimum  $R_{u\min}$ .

(A) La résistance  $R_u$  n'est pas connectée ( $R_u$  infini): quand  $u_1$  varie de 10 à 16 Volts la tension  $u_2$  varie de 7,6 à 8,1 V.

(B) Pour une résistance  $R_u$  de 400 la sortie est de 8,3 Volts si  $u_1 = 18$  V.

(C) La tension  $u_1 = 17$  V et le courant est nul dans la diode zéner alors dans ce cas :  $R_u = 169$ .

(D) Dans le cadre de l'item (C), si  $R$  augmente de 10 % alors  $R_u$  doit augmenter de 15 % si on veut maintenir  $u_2$ .

(E) Pour  $u_1 = 18$  V et  $R_u = 200$  la puissance dissipée dans la diode zéner est de 8 mW.

## ELECTRONIQUE NUMERIQUE

### Question 10

Un circuit logique est tel que sa sortie  $S$ , fonction de 6 entrées  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$ , et  $A_5$ , s'exprime par la fonction logique suivante :

$$S = A_0 \cdot \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4 \cdot \bar{A}_5 \vee \bar{A}_0 \cdot A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot \bar{A}_4 \cdot A_5 \vee \bar{A}_0 \cdot \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot \bar{A}_3 \cdot A_4 \cdot \bar{A}_5 \vee \bar{A}_0 \cdot \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5$$

Dans cette expression, «  $\vee$  » représente la fonction « OU », le point «  $\cdot$  » la fonction « ET » et la barre «  $\bar{\quad}$  » la fonction « NON ».

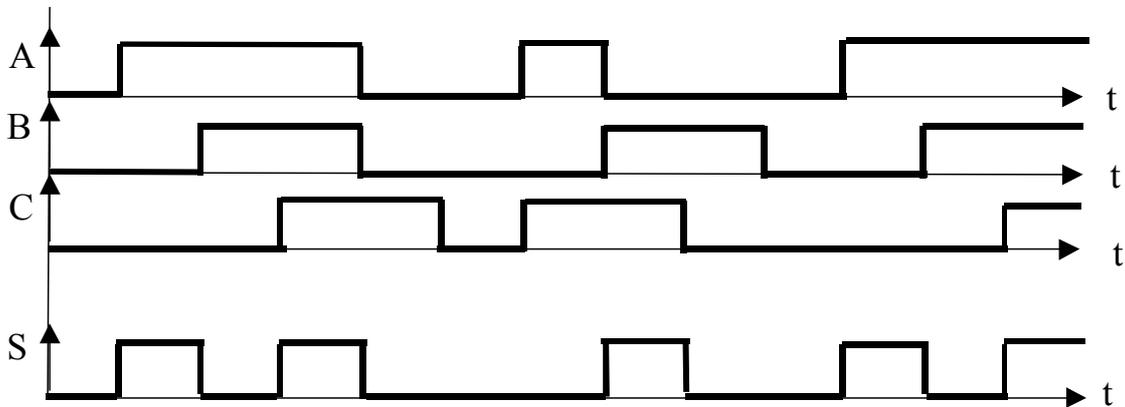
(A) Son comportement peut être décrit ainsi : La sortie  $S$  reproduit l'état logique de l'entrée  $A_n$  telle que la valeur décimale  $n$  se retrouve codée en binaire naturel par le nombre binaire  $A_4 A_5$ .

(B) Le circuit décrit par le fonctionnement de l'item (A) peut s'exprimer par la fonction simplifiée suivante :

$$S = A_5 \cdot (\bar{A}_4 \cdot A_1 \vee A_3 \cdot A_4) \vee \bar{A}_5 (A_4 \cdot A_2 \vee A_0 \cdot \bar{A}_4)$$

(C) Le circuit logique de sortie S et d'entrées A, B et C dont le comportement est décrit par le chronogramme suivant peut être réalisé par la fonction logique suivante :

$$S = B.C \vee \bar{B}.\bar{C}.A$$



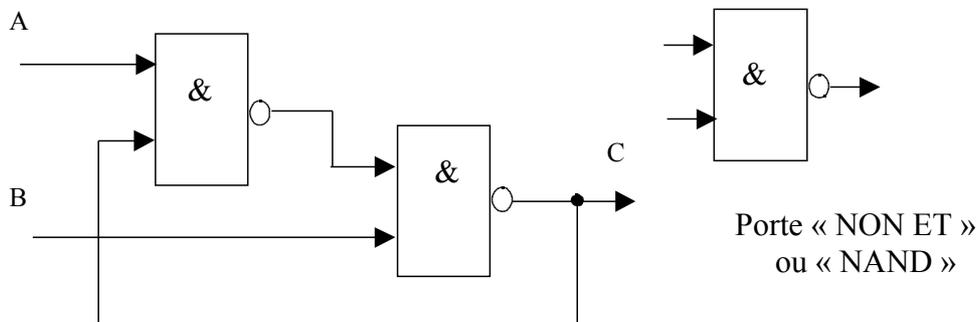
(D) Le circuit de l'item (C) peut également s'exprimer par la fonction logique suivante :

$$S = (B \vee \bar{C}).(C \vee \bar{B}).(\bar{A} \vee B)$$

(E) Un circuit de logique séquentielle comporte nécessairement un signal d'horloge qui rythme les évolutions des signaux.

### Question 11

Le montage suivant comporte des portes logiques « NON ET » (ou « NAND »). Les variables logiques sont A, B et C.

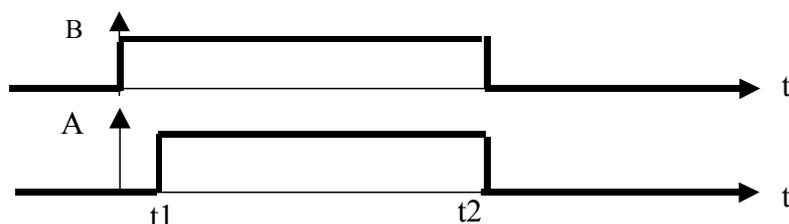


(A) Le montage de la figure précédente est un circuit de logique combinatoire.

(B) La combinaison  $A = B = 1$  conduit à une instabilité de la sortie C.

Les portes ont un temps de propagation de 4ns.

Le chronogramme suivant concerne les items (C) et (D).



(C) A l'instant  $t_0 = 0$ , B passe de 0 à 1, A étant à 0. A l'instant  $t_1 = 5$  ns, A passe à 1. A cet instant  $t_1 = 5$  ns, la sortie C est au niveau logique 0.

(D) A l'instant  $t_2 = 20$  ns A et B passent simultanément à 0. A l'instant  $t_3 = 22$  ns la sortie C est obligatoirement au niveau logique 1.

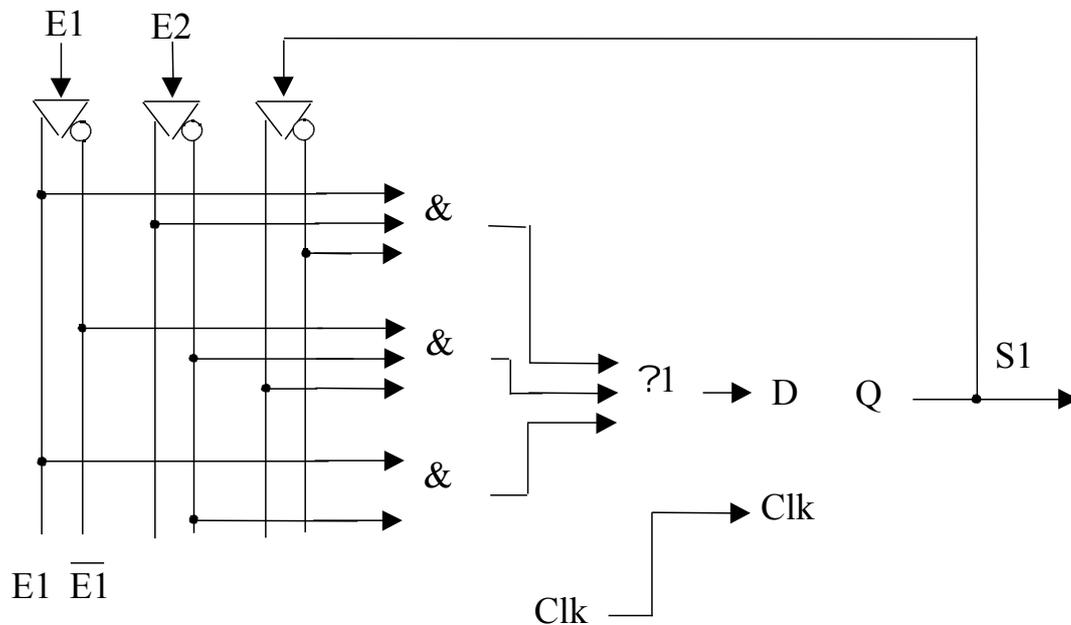
(E) Sur le circuit précédant on remplace les portes « NON ET » par des portes «NON OU » (ou « NOR »). Ce nouveau circuit a le même fonctionnement logique que le précédant sur lequel on aurait interposé des portes « NON » sur les deux entrées et si l'on considérait comme sortie, sa sortie complémentée.

### Question 12

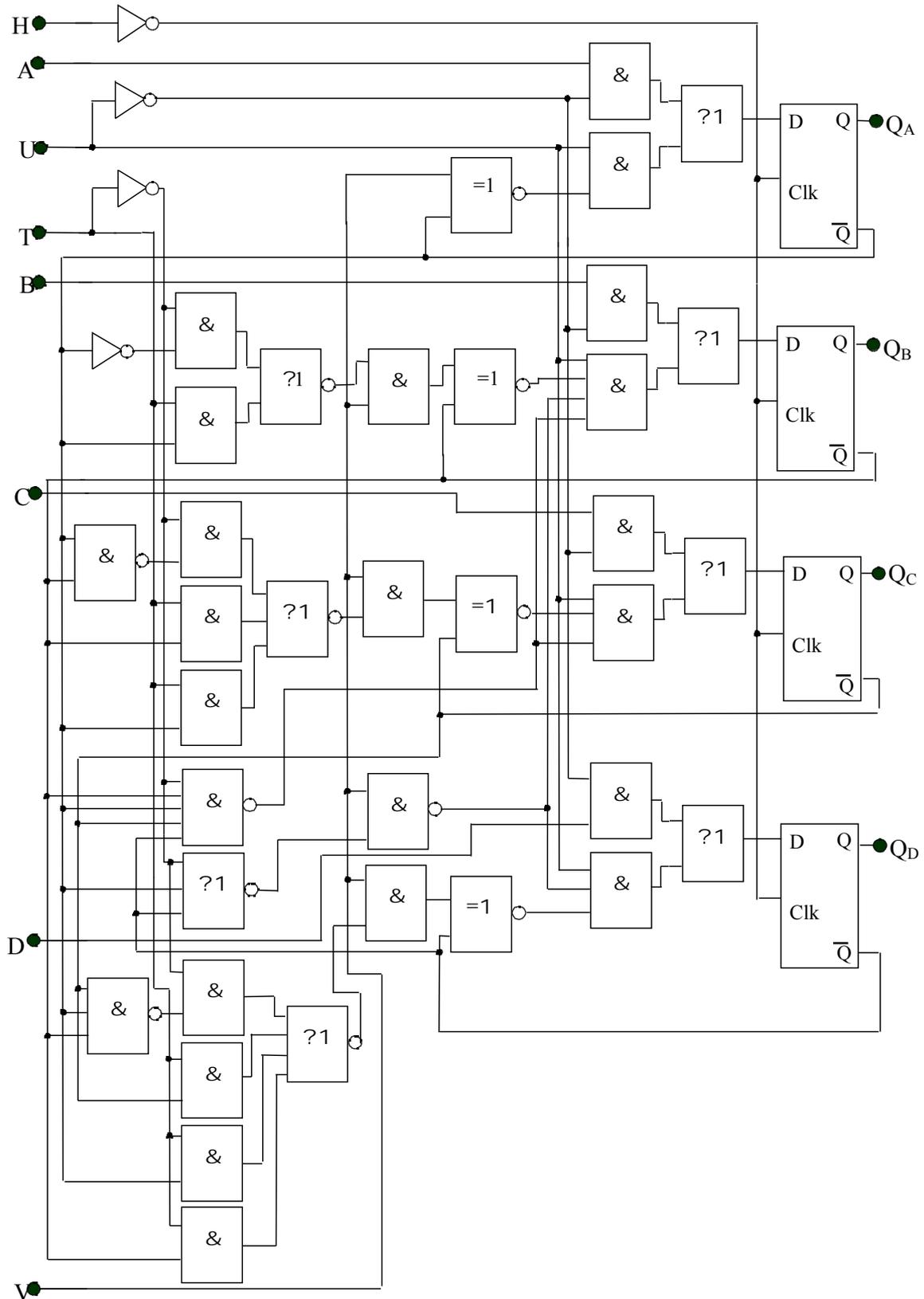
(A) Une mémoire ROM, considérée comme un circuit dont les entrées sont les bits d'adresse  $Ad_i$  et les sorties sont les bits de données  $D_i$ , est un circuit de logique combinatoire.

(B) Une RAM de 256 K mots de 16 bits permet, par programmation, de réaliser, en parallèle 16 fonctions différentes de 18 variables. Chacune de ces fonctions peut être n'importe laquelle des fonctions logiques de 18 variables.

(C) Le circuit programmable de type PAL symbolisé sur la figure suivante réalise la fonction « Bascule JK ».

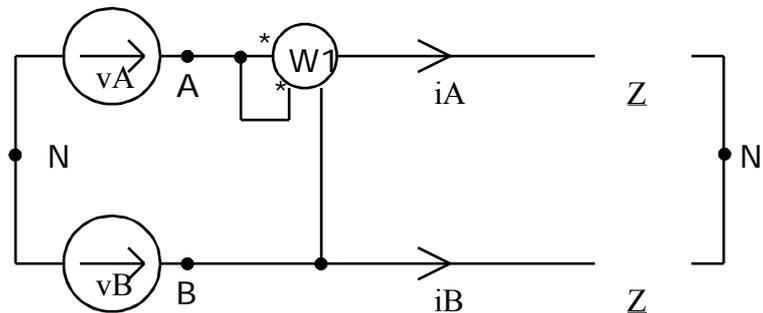


On étudie le circuit de la figure suivante :



**(D)** L'entrée U permet, quand elle est positionnée à 0, le chargement synchrone parallèle des entrées ABCD dans les 4 bascules D.

**(E)** Le circuit réalise la fonction registre à décalage Droite ou Gauche suivant la valeur de la variable logique T.

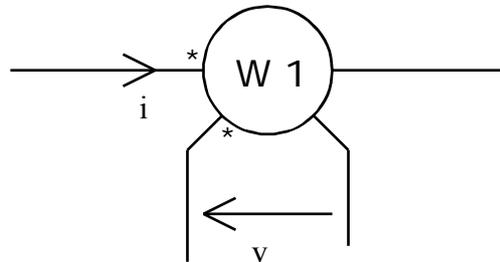
**ELECTRONIQUE DE PUISSANCE****Question 13**

Dans le montage de la figure ci-dessus les générateurs de tension sont tels que :

$$v_A = V\sqrt{2} \sin \omega t$$

$$v_B = V\sqrt{2} \sin \omega t - \frac{\pi}{2}$$

où  $V = 220$  volts et la fréquence  $50$  Hz. Les impédances notées  $\underline{Z} = R + jX$  sont telles que :  $R = 10$  et  $X = 10$ . L'appareil noté W1 de la figure est un wattmètre dont on rappelle le fonctionnement. Cet appareil comporte deux circuits indépendants un circuit dit courant (ou circuit gros fil) et un circuit dit tension (circuit dit fil fin). L'appareil réalise la valeur moyenne du produit du courant qui traverse son circuit courant par la tension qui est aux bornes du circuit tension. Les étoiles indiquent les bornes d'entrées du wattmètre (circuit courant et circuit tension) considérées comme homologues. Ainsi pour la figure suivante, l'appareil mesure la valeur moyenne  $\langle v \cdot i \rangle$  du produit  $v \cdot i$  et donne une lecture :  $W1 = \langle v \cdot i \rangle$ .



- (A) Les valeurs efficaces des courants  $i_A$  et  $i_B$  sont égales et valent  $11$  A et les courants sont en quadrature.
- (B) Les impédances étant égales la tension entre N et N' est nulle.
- (C) La puissance indiquée par le wattmètre est  $2420$  W.

L'impédance connectée entre B et N' est divisée par deux ( $\underline{Z}$  devient  $\underline{Z}/2$ ) :

- (D) La d.d.p. efficace entre N et N' vaut  $164$  V.
- (E) Le courant  $i_B$  a une valeur efficace double de la valeur efficace de  $i_A$ .

**Question 14**

On reprend le montage de la question précédente avec des impédances égales à  $\underline{Z}$  (même valeur numérique) et on suppose que l'on a relié les points N et N' par un conducteur d'impédance négligeable:

- (A) L'intensité  $i_A$  a une valeur efficace de  $11$  A.

- (B) Un courant d'intensité efficace 22 A circule dans le conducteur NN'.
- (C) L'indication du wattmètre n'est pas modifiée à condition de connecter l'extrémité du circuit tension sur N au lieu de B.
- (D) Chaque impédance est divisée par deux : l'indication du wattmètre est multipliée par deux.
- (E) Chaque impédance est multipliée par 1,5 : le courant  $i_A$  est multiplié par 0,67.

### Question 15

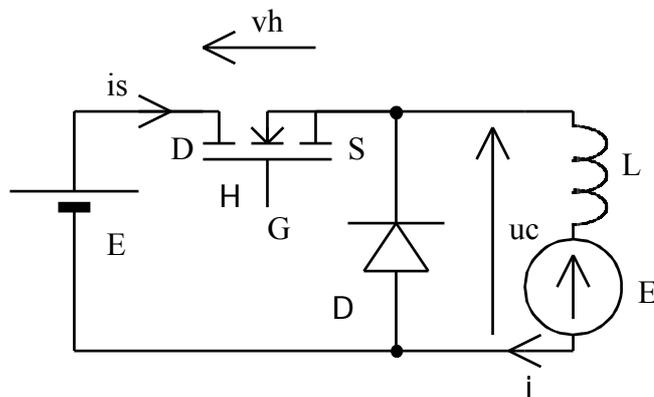
On considère le montage de la figure ci-après où H désigne un interrupteur parfait commandable à l'ouverture et à la fermeture par action sur une seule électrode de commande. Sur la figure on a représenté un transistor MOS de puissance mais on aurait aussi bien pu placer un transistor IGBT ou même un transistor bipolaire avec certains circuits d'accompagnement ne faisant pas l'objet de questions dans cet exercice. La commande est effectuée de façon périodique à une fréquence:

$$f = T^{-1} = 6,25 \text{ kHz}$$

de la façon suivante:

- H est commandé à la fermeture à  $t = 0$ ,
- H est commandé à l'ouverture à  $t = T$  ( nombre compris entre 0 et 1),
- H est à nouveau commandé à la fermeture à  $t = T$  etc..

Dans toute la suite on se place en régime permanent. D est une diode parfaite et E (=120 V) est une source de tension constante dépourvue de résistance interne. En parallèle sur la diode D on a placé un dipôle constitué par l'induit d'une machine à courant continu à aimants permanents modélisé par une inductance en série avec une fém E'. La résistance du dipôle ainsi modélisé est négligée dans toute la suite de l'exercice et l'inductance L est de 3 mH. La machine à courant continu est telle que pour une fém de 120 V sa fréquence de rotation est  $N = 1800 \text{ t.mn}^{-1}$ ; on sait d'autre part qu'elle est parfaitement compensée.



Dans la suite  $\langle x \rangle$  représente la valeur moyenne de la grandeur périodique  $x(t)$ . D'autre part  $x$  est l'ondulation crête à crête de la même grandeur  $x(t)$  et  $x_{ond}$  représente l'ondulation instantanée définie par :

$$x(t) = \langle x \rangle + x_{ond}$$

$$\text{et } x = x_{ond,max} - x_{ond,min}$$

Pour les items (A), (B), (C) on suppose que  $\langle i \rangle = 10 \text{ A}$  et que  $\langle i \rangle = 10 \text{ A}$ .

- (A) La fém E' est égale à 90 V.
- (B) L'ondulation du courant i est  $i = 0,6 \text{ A}$ .

(C) Le couple moyen développé par l'induit est  $6,37 \text{ m}\cdot\text{N}$ .

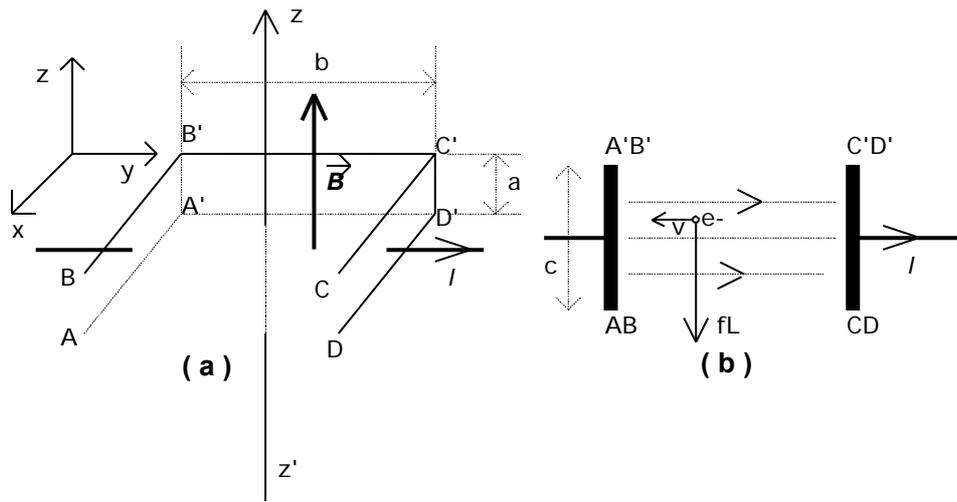
On change de régime de fonctionnement:  $\omega = 0,5$  et  $\langle i \rangle = 0,5 \text{ A}$  pour les items (D) et (E).

(D) La fém  $E'$  vaut  $60 \text{ V}$ .

(E) La fréquence de rotation est  $1108 \text{ t}\cdot\text{mn}^{-1}$ .

## ELECTROMAGNETISME

### Question 16.



On considère un échantillon de semiconducteur dopé N, parallélépipédique et parcouru par un courant d'intensité  $I$ . L'alimentation de cet échantillon est telle que par l'intermédiaire d'une métallisation partielle des faces  $ABA'B'$  et  $CD C'D'$  les lignes de courant sont rectilignes et parallèles au sein du semi-conducteur (cf. figure ci-dessus). Les dimensions seront notées :  $AA' = c$  ;  $AB = a$  ;  $AD = b$ . Les porteurs étant des électrons, la vitesse moyenne de ces électrons est  $v$  en sens contraire du sens conventionnel du courant. Sous l'action d'un champ d'induction magnétique externe  $B$  ces charges se trouvent soumises à des forces  $f_L$ .

(A) Les forces  $f_L$  sont orientées comme l'indique la partie b) de la figure.

L'accumulation de charges sur les faces en regard  $ABCD$  et  $A'B'C' D'$  crée un champ électrique transversal dit champ de Hall. Lorsque le régime permanent est instauré en présence du champ d'induction magnétique  $B$  il y a équilibre entre la force électromagnétique  $f_L$  et la force électrique  $f_H = -e \cdot E_H$  du champ de Hall.

(B) La relation entre les grandeurs concernées par ce phénomène peut être traduite par :

- $E_H = B \cdot v$ ,
- Le trièdre  $(B, v, E_H)$  est direct.

(C) La différence de potentiel que l'on peut recueillir entre les faces  $ABCD$  et  $A'B'C'D'$  est donnée par la relation:

$$|U_H| = \frac{n \cdot |q| \cdot I \cdot a}{B}$$

dans cette expression :

$n$  = nombre de porteurs libres par unité de volume;

$a$  = épaisseur de l'échantillon;

$B$  : valeur du champ d'induction magnétique;

$q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$I$  : intensité du courant longitudinal.

L'échantillon est placé au sein d'un circuit magnétique d'un matériau de très grande perméabilité conformément au schéma de la figure ci-après. La tension de Hall  $U_H$  des questions précédentes est celle qui est présente à l'entrée de l'amplificateur A lequel a une amplification en tension très grande que l'on peut considérer comme infinie. Cet amplificateur est susceptible de fournir un courant en sortie qui traverse la résistance R. On donne :  $N_1 = 2$  ;  $N_2 = 30$  ;  $I_1 = 3 \text{ A}$  ;  $R = 1 \text{ ohm}$  ;  $I = 10 \text{ mA}$  :

**(D)** Dans ce montage la tension  $u_R$  aux bornes de R est alors de 200 mV.

**(E)** Si le courant  $I$  fluctue de quelques % , la tension aux bornes de R ne change pas.

