Avertissement concernant l'ensemble de l'épreuve :

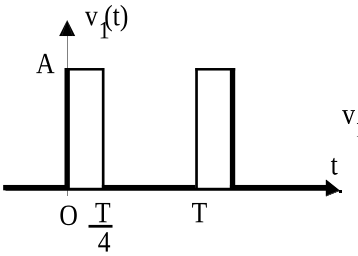
Lorsqu'une question comporte un résultat numérique à vérifier, ce résultat numérique doit être considéré comme "Vrai" si l'égalité est vérifiée à ± 2 %.

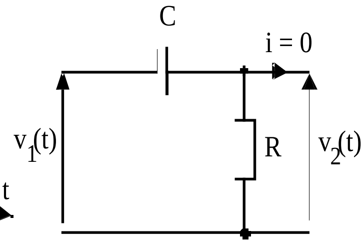
ELECTRICITE GENERALE, SYSTEMES LINEAIRES

Question 1

Dans le circuit ci-contre, la tension d'entrée $v_1(t)$ est une suite périodique d'impulsions rectangulaires.
On étudiera seulement le régime permanent atteint par la tension de sortie $v_2(t)$. On a les valeurs suivantes :

$A = 2$ V $\quad T = 1$ ms
$R = 100$ kΩ $\quad C = 1$ µF





Pour certaines questions, une réponse correcte nécessite une détermination préalable de l'allure de la tension $v_2(t)$.

(A) La valeur moyenne de la tension de sortie $v_2(t)$ est nulle.

(B) La valeur crête positive de la tension de sortie $v_2(t)$ est comprise entre 1 V et 2 V.

(C) La valeur efficace de la tension d'entrée $v_1(t)$ est égale à 1 V.

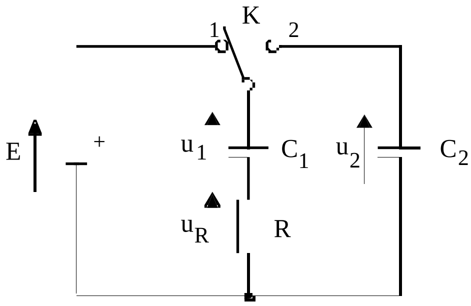
(D) La valeur efficace de la tension de sortie $v_2(t)$ ne dépasse pas 0,75 V.

(E) Si on prend C = 100 pF, sans changer les autres valeurs, la tension de sortie $v_2(t)$ reste comprise entre -2V et +2V.

Question 2

Dans le circuit ci-contre, l'interrupteur K est dans la position (1) pour $-\infty < t < 0$ puis bascule dans la position (2) pour $t \geq 0$. Le condensateur C_2 est supposé déchargé pour $t < 0$.
On a les valeurs suivantes :

$E = 12$ V $\quad C_1 = 1$ µF
$C_2 = 2$ µF $\quad R = 1$ kΩ



(A) La valeur finale (pour $t \to +\infty$) de la tension $u_2(t)$ est égale à 6 V.

(B) La tension $u_R(t)$ est positive pour $t \geq 0$.

(C) Pour $t \geq 0$, l'énergie dissipée dans la résistance R est inférieure à 50 µJ.

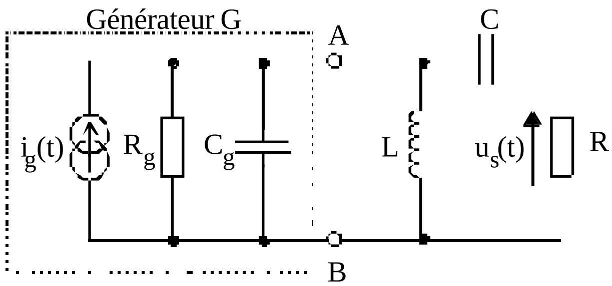
(D) Pour $t \geq 0$, l'énergie dissipée dans la résistance R ne dépend pas de la valeur de R.

(E) A l'instant t = +2 ms, la charge du condensateur C_2 a atteint environ 95% de sa valeur finale.

Question 3

Dans le circuit représenté sur la figure, la source de courant $i_g(t)$ du générateur G est sinusoïdale de la forme $i_g(t) = I_g.\sin(2\pi f_0 t)$. Les condensateurs C et C_g ainsi que l'inductance L sont supposés purement réactifs (sans pertes).

$f_0 = 10{,}6\,\text{MHz} \quad R_g = 500\,\Omega$
$C_g = 100\,\text{pF} \quad I_g = 10\,\text{mA} \quad R = 50\,\Omega$



On rappelle que la puissance active fournie par un générateur dans une charge est maximale lorsque l'impédance (ou l'admittance) de cette charge est égale à l'impédance (ou, respectivement, l'admittance) complexe conjuguée du générateur en question. Ce problème se traite sans qu'il soit besoin de calculer le transfert complexe $\underline{U}_s/\underline{I}_g$.

(A) La puissance active maximale P_{max} que peut fournir le générateur G sur une charge connectée entre ses bornes A et B est égale à 6,25 mW.

(B) Cette valeur P_{max} est obtenue lorsque l'admittance équivalente mesurée entre les bornes A et B (regroupant tous les éléments du circuit, hormis la source de courant) est purement réelle.

(C) Pour la fréquence $f = f_0$, on peut transformer le dipôle série (R,C) pris séparément, en un dipôle parallèle équivalent (R_{eq}, C_{eq}). *Effectuer le calcul de R_{eq} en fonction de C* : on constate que la valeur de R_{eq} peut être supérieure ou inférieure à R suivant les valeurs de C.

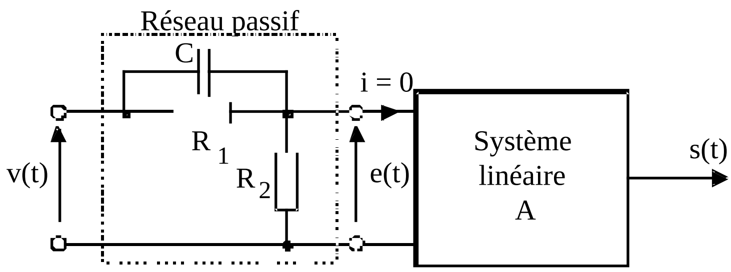
(D) La puissance active dissipée dans R est maximale pour C = 100 pF.

(E) On admet que la valeur C_{eq} = 90 pF est une condition nécessaire pour que le générateur délivre sa puissance active maximale P_{max}. La valeur de L requise vaut alors 2,5 µH.

Question 4

Le système linéaire A ci-contre est caractérisé par l'équation différentielle :

$$a_2 \frac{d^2 s}{dt^2} + a_1 \frac{ds}{dt} + a_0 s(t) = e(t)$$



La grandeur d'entrée e(t) du système A est une tension (unité : volts) et sa grandeur de sortie s(t) est un angle (unité : radians). L'unité de temps est la seconde. Avec ces unités, on a les valeurs constantes suivantes :

$a_0 = 2$

$a_1 = 4$

$a_2 = 0{,}5$

La réponse à certaines questions nécessite de déterminer au préalable la fonction de transfert H(p) = S(p)/E(p) du système linéaire A (p est la variable de Laplace)

(A) L'unité du coefficient a_2 est : $V.s^2.rd^{-1}$.

(B) On relève séparément la réponse indicielle du système linéaire A –entrée e(t), sortie s(t)– avec $e(t) = U(t)$ (échelon unitaire). Cette réponse est de nature oscillatoire amortie.

(C) La fonction de transfert du réseau passif placé devant le système A peut se mettre sous la forme: $\dfrac{E(p)}{V(p)} = \dfrac{p + \frac{1}{\tau_1}}{p + \frac{1}{\tau_2}}$.

(D) En régime sinusoïdal, le réseau passif placé devant le système A se comporte en réseau à avance de phase.

(E) Soit la fonction de transfert de l'ensemble du système : $H(p) = \dfrac{S(p)}{V(p)}$. Il existe une valeur unique de la constante τ_1 pour laquelle $H(p)$ est le transfert d'un second ordre passe-bas.

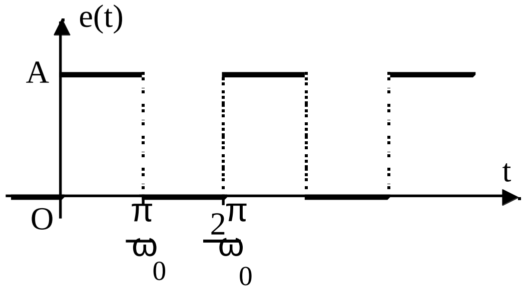
Question 5

Soit un système linéaire S d'entrée e(t) et de sortie s(t) dont la fonction de transfert est : $H(p) = \dfrac{10}{1 + 3{,}33.10^{-3}p}$.

L'entrée e(t) est constituée du signal périodique ci-contre, avec les valeurs suivantes :

$A = 2V$

$\omega_0 = 100\ rd.s^{-1}$.



On rappelle la forme du développement en série de Fourier de ce signal :

$$e(t) = a_0 + \frac{2A}{\pi}\sum_{k=0}^{+\infty}\frac{1}{2k+1}\sin\left[(2k+1)\omega_0 t\right]$$ *(le terme a_0 reste à déterminer).*

(A) La composante continue de s(t) est égale à 10V.

(B) Le signal s(t) est compris entre 0 et 20 V.

(C) L'amplitude du fondamental de s(t) est égale à 10V.

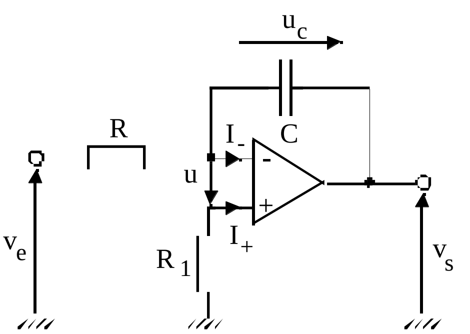
(D) Dans la décomposition en série de Fourier de s(t), la décroissance des amplitudes des harmoniques est en 1/(2k+1).

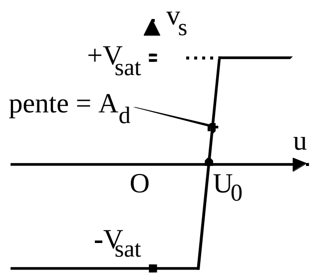
(E) En sortie du système S, l'amplitude de l'harmonique de pulsation $3\omega_0$ est égale à 3V.

<u>ELECTRONIQUE ANALOGIQUE</u>

Question 6

Dans le schéma ci-contre, la caractéristique de transfert $v_s = f(u)$ de l'amplificateur opérationnel est modélisée par :
- une zone linéaire de pente A_d;
- une tension de décalage U_0 constante mais de signe indéterminé;
- des paliers de saturation à $\pm V_{sat}$.





Les courants I_+ et I_- sont toujours entrants et égaux , avec $I_+ = I_- = +I_0$ = constante.

La tension d'entrée $v_e(t)$ est nulle pour $t \geq 0$; la tension aux bornes de C à $t = 0^-$ est une valeur quelconque non nulle telle que l'amplificateur opérationnel n'est pas saturé.

(A) L'amplificateur opérationnel est idéal, soit $U_0 = 0, I_0 = 0, A_d \to +\infty$: la tension de sortie $v_s(t)$ tend vers zéro pour $t \to +\infty$.

(B) L'amplificateur opérationnel est caractérisé par $U_0 = 0, I_0 = 0, A_d = \text{valeur finie}$: la tension de sortie est solution d'une équation différentielle de la forme :

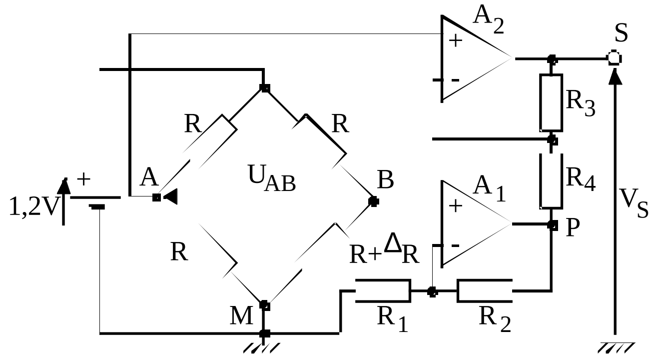
$\tau\dfrac{dv_s}{dt} + a.v_s(t) = -v_e(t)$ où la constante τ est différente du produit RC.

(C) L'amplificateur opérationnel est caractérisé comme à la question (B) : la tension de sortie $v_s(t)$ tend vers zéro pour $t \to +\infty$.

(D) L'amplificateur opérationnel est caractérisé par $U_0 \neq 0, I_0 = 0, A_d \to +\infty$: la tension de sortie $v_s(t)$ tend vers zéro pour $t \to +\infty$.

(E) L'amplificateur opérationnel est caractérisé par $U_0 \neq 0, I_0 \neq 0, A_d \to +\infty$: quelles que soient les valeurs de U_0 et de I_0, on peut toujours régler R_1 pour que $v_s(t)$ soit identique au résultat obtenu avec un amplificateur opérationnel idéal (la température du montage est supposée constante).

Question 7



Dans le circuit ci-contre, les amplificateurs opérationnels A_1 et A_2 sont supposés idéaux, hormis la présence de paliers de saturation à ±12 V sur les sorties (P et S).

(A) La différence de potentiel U_{AB} est proportionnelle au rapport ΔR/R.

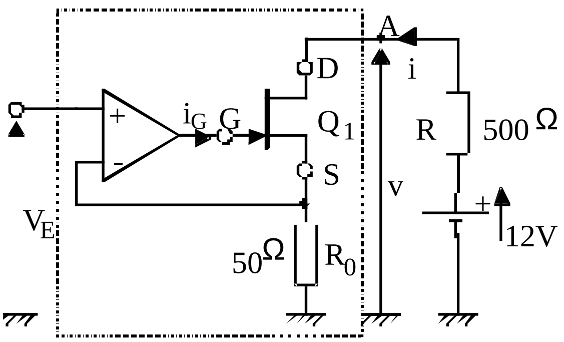
(B) Pour $|\Delta R/R| = 0{,}1\%$, on obtient : $|U_{AB}| = 0{,}3\,\text{mV}$.

(C) On suppose que $|\Delta R/R| \leq 0{,}1\%$. Pour que l'amplificateur A_1 fonctionne en régime linéaire, il faut que la condition $R_2/R_1 < 19$ soit respectée.

(D) On suppose que R_1 est différente de R_2. *Effectuer le calcul de V_S en fonction de V_{AM} et de V_{BM}* : si $R_1/R_2 = R_4/R_3$, la tension V_S est proportionnelle à U_{AB}.

(E) On suppose que $|\Delta R/R| \leq 0{,}1\%$. Par ailleurs, les valeurs des résistances R_1, R_2, R_3, R_4 sont telles que $V_S = A.U_{AB}$, où A est constante. Pour $R_1 = 100\,\text{k}\Omega$ et $R_2 = 100\,\Omega$, on a A = 1001.

Question 8



Dans ce circuit, Q_1 est un transistor à effet de champ à jonction canal N avec $10\,\text{mA} \leq I_{DSS} \leq 20\,\text{mA}$.

Rappel: $I_{DSS} = I_D|_{V_{GS}=0}$ (en zone de saturation)

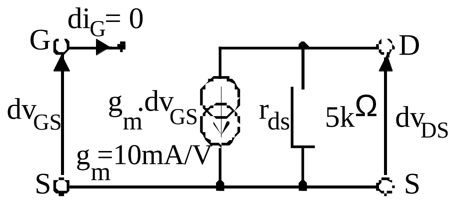
Le courant de grille i_G est négligeable.

(A) L'amplificateur opérationnel est supposé idéal. Pour V_E = 0,1V, le courant i vaut 2 mA.

(B) L'amplificateur opérationnel est supposé idéal. Le courant i ne varie pas si l'on fait varier R de 500 Ω à 1000 Ω.

(C) L'amplificateur opérationnel est supposé idéal. Le courant i varie si l'on remplace Q_1 par un autre transistor du même type mais ayant des caractéristiques différentes.

(D) L'amplificateur opérationnel possède une amplification différentielle finie $A_d = 10^4$ et aucun autre défaut par ailleurs. Au point de fonctionnement, le transistor Q_1 est caractérisé par le modèle petits signaux ci-contre dans lequel la notation "dx" signifie : "variation infiniment petite de x".



On définit la résistance dynamique de sortie du montage, vue à gauche du point A, par $R_S = dv/di$ à $V_E = C^{te}$. On considère des variations lentes autour du point de fonctionnement.

Dessiner le schéma équivalent petits signaux du montage et calculer la valeur de R_S : on trouve que celle-ci est inférieure à 20 MΩ.

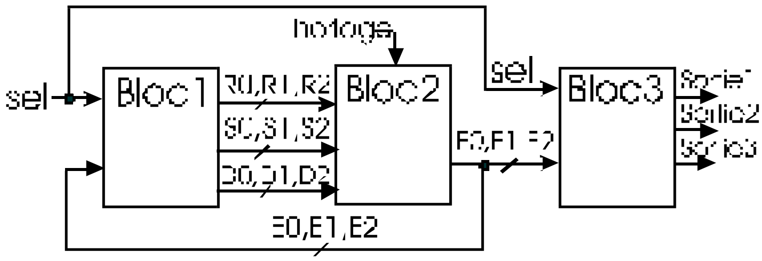
(E) La fonction de transfert de l'amplificateur opérationnel (amplification différentielle en tension) est considérée comme un premier ordre passe-bas, dans lequel le gain en tension vaut 80dB en régime continu et 77dB pour f = 16 Hz.

On suppose que les capacités parasites du transistor sont négligeables.

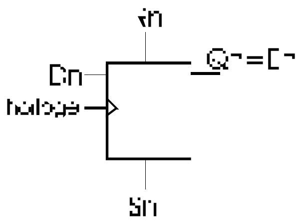
Déterminer l'impédance dynamique de sortie Z_S, définie pour de petites variations de v et de i à $V_E = C^{te}$: Z_S est équivalente à un dipôle RC parallèle dont la capacité est inférieure à 200 pF.

LOGIQUE

On utilise les symboles suivants:
∫ pour le OU logique; pour le OU EXCLUSIF; pour le ET logique;
Les trois questions de logiques peuvent être traitées indépendamment.
On considère pour les trois questions de logique le système ci-après :



Les 3 bascules (n de 0 à 2) du bloc 2 sont connectées ainsi :



Les bascules se déclenchent sur les fronts actifs de l'horloge:

si Rn=1 et Sn=0 alors Qn+1=0
si Rn=0 et Sn=1 alors Qn+1=1
si Rn=Sn alors Qn+1=Dn

Question 9

Pour cette question le bloc 1 a le comportement suivant :
Rn=Sn=0 ;
si Sel=1 alors D2=E1, D1=E0 et D0=E2
si Sel=0 alors D2=E0, D1=E1 et D0=E2

(A) Le bloc 1 définit entièrement les entrées des bascules en fonction des sorties des bascules et de l'entrée Sel ; c'est un bloc purement combinatoire.

(B) Une réalisation possible de D1 est : $D_1 = (E_0 \int \overline{Sel})?(E_1 \int Sel)$.

(C) L'expression la plus réduite de D2 est : $D_2 = E_1 ?Sel \int E_0 ?\overline{Sel} \int E_1 ?E_0$.

(D) On peut atteindre l'état (E2,E1,E0)=(0,0,1) en partant de l'état (E2,E1,E0)=(1,1,0).

(E) Il existe un seul état tel que quelle que soit la valeur d'entrée Sel, on reste bloqué sur cet état.

Question 10

Pour les items (A) (B) et (C)de cette question le bloc 1 a le comportement suivant :

$R_2 = E_2 ?\overline{E_1} ?E_0 ?\overline{Sel}$ $\quad R_1 = 1$ $\quad R_0 = E_2 ?E_1 ?E_0 ?Sel$

$S_2 = \overline{E_2} ?E_1 ?\overline{E_0} ?\overline{Sel}$ $\quad S_1 = 1$ $\quad S_0 = \overline{E_2} ?\overline{E_1} ?\overline{E_0} ?Sel$

si Sel=1 alors D2=E1, D1=E0 et D0=E2
si Sel=0 alors D2=E0, D1=E1 et D0=E2

(A) Certaines valeurs de Rn et Sn vont rendre les sorties E0, E1 et E2 asynchrones.

(B) Si l'on est dans l'état (E2,E1,E0)=(1,1,1) et que Sel=1 alors le prochain état sera: (E2,E1,E0)=(0,0,0).

(C) Si l'on est dans l'état (E2,E1,E0)=(1,0,1) et que Sel=0 alors le prochain état sera: (E2,E1,E0)=(0,0,1).

On modifie maintenant les sorties Rn et Sn du bloc 1 : on impose Rn=Sn=0. On veut cependant que notre système se comporte de manière identique à ce qui vient d'être étudié dans les 3 items (A), (B) et (C) de cette même question. Pour cela on modifie les équations D0, D1 et D2 du bloc 1.

(D) Pour D1 on peut garder la même fonction qu'auparavant: $D_1 = E_0 ?Sel \int E_1 ?\overline{Sel}$.

(E) Pour D2 il faut modifier sa table de vérité en deux valeurs par rapport au résultat précédent et on obtient: $D_2 = \overline{E_2} ?E_1 \int \overline{E_2} ?E_0 ?\overline{Sel} \int E_1 ?Sel \int E_1 ?E_0$.

Question 11

Le bloc 3 définit les sorties du système.
On veut que la sortie1 se positionne à l'état logique 1 uniquement lorsque l'on détecte l'état $(E_2, E_1, E_0) = (0,0,1)$ et que Sel=1 ou lorsque l'on détecte l'état $(E_2, E_1, E_0) = (1,0,1)$ et que Sel=0.

(A) On a $Sortie_1 = (E_2 \int E_1 \int \overline{E_0} \int \overline{Sel}) ? (\overline{E_2} \int E_1 \int \overline{E_0} \int Sel)$

Les tables de vérité des sorties 2 et 3 sont les suivantes :

Sel	E2	E1	E0	Sortie2	Sortie3
0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	1	0

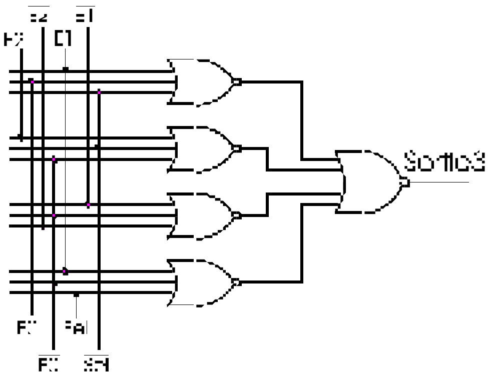


figure 11.2

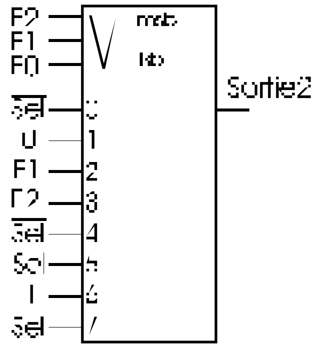
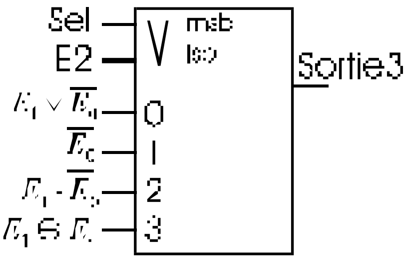


figure 11.1

figure 11.3



(B) La réalisation la plus réduite de Sortie 2 est :
$Sortie_2 = \overline{E_1} ? \overline{Sel} ? \overline{E_0} \int E_2 ? Sel ? E_0 \int E_1 ? \overline{E_0}$

(C) La Sortie2 est réalisée à l'aide d'un multiplexeur 8 voies vers une connecté comme indiqué dans la figure 11.1.

(D) Le schéma de réalisation de la Sortie3 à l'aide de portes NOR est donné figure 11.2.

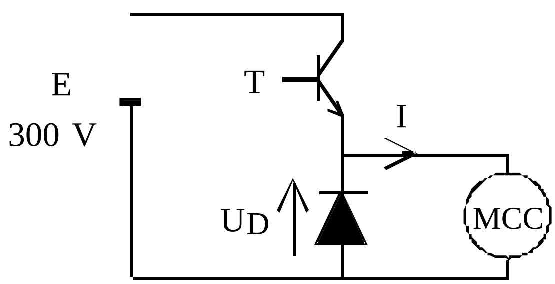
(E) Le schéma de réalisation de la Sortie3 par un multiplexeur 4 voies vers une est donné figure 11.3.

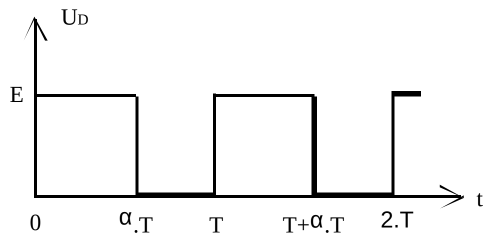
CONVERTISSEURS STATIQUES

Question 12

Le circuit ci-contre présente un hacheur servant à alimenter une Machine à Courant Continu (MCC) définie par les relations suivantes :
- Pertes ferromagnétiques et mécaniques négligeables.
- Excitation indépendante et constante.
- Force Electromotrice interne : E' = k.Ω.
- Couple électromagnétique : C = k.I

Dans ces relations, E' est en V, Ω en rad/s, I en A et k = 1,4 V/rad/s.
Par ailleurs, la résistance d'induit du MCC est R = 1 Ω.
On se place en régime de conduction continue, c'est à dire que le courant dans MCC est parfaitement lissé.
La forme d'onde ci-contre correspond à celle de la tension UD aux bornes de la diode.
On désigne par α le rapport cyclique défini par $\alpha = \frac{\text{temps de conduction de T}}{\text{période de découpage de T}}$.





(A) Ce hacheur permet à MCC de fonctionner en moteur **et** en génératrice.

(B) La valeur moyenne de $U_D(t)$ est : $<U_D> = \alpha.E$.

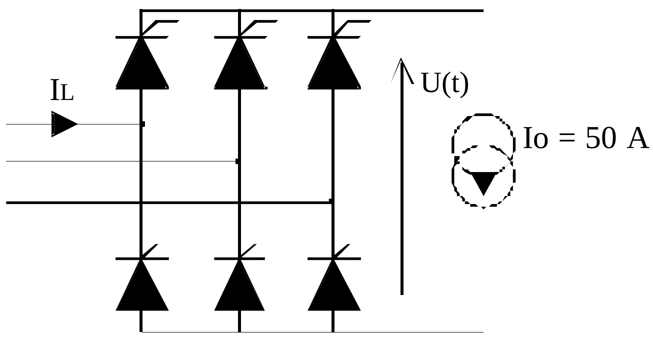
(C) Le courant moyen absorbé par le moteur étant Io, la puissance délivrée par la source E est : $P = \alpha.E.Io$.

(D) On ne s'intéresse qu'aux valeurs moyennes des grandeurs. Pour $\alpha = 0{,}5$ la vitesse de rotation du moteur est de N = 954,93 tr/mn quand le courant qu'il absorbe est de 10 A.

(E) La puissance sur l'arbre est de Pa = 1500 W.

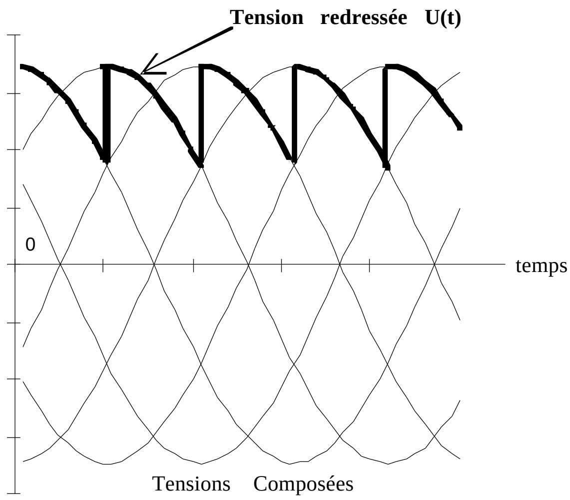
Question 13

Le circuit ci-contre représente un redresseur triphasé à six thyristors alimenté par un réseau de tensions triphasées et équilibrées. Tous les thyristors sont commandés avec un angle de retard à l'amorçage ψ identique, pouvant être réglé de 0 à 180 °.



La figure donne un exemple de la forme d'onde de U(t) pour un angle ψ de 30 °.

Remarque : On rappelle que l'angle de retard ψ est l'écart angulaire entre l'instant d'amorçage naturel (si les composants étaient des diodes) et l'instant d'amorçage effectif dû à la commande des thyristors.



(A) La valeur moyenne de U(t) peut être positive ou négative selon la valeur de ψ.

(B) La puissance ne peut transiter que du réseau vers la charge.

(C) Sur une période réseau ($2.\pi$) un thyristor conduit pendant $\frac{4.\pi}{3}$.

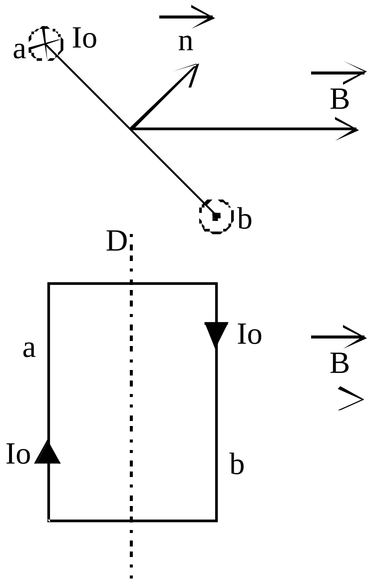
(D) La valeur moyenne du courant I_L dans une phase du réseau est $\frac{I_0}{3}$

(E) La valeur efficace du courant I_L dans une phase du réseau est $I_{Leff} = 40{,}82$ A.

ELECTROMAGNETISME

Question 14

On considère un cadre conducteur C à spire unique pouvant tourner librement autour de son axe D. Ce cadre est parcouru par un courant continu I et soumis à une induction constante B = 1 T.
On désigne par S la surface du cadre et par $\vec{n}$ un vecteur unitaire normal au plan portant le cadre. L'angle entre $\vec{B}$ et $\vec{n}$ est : $\theta = 20$ °.
S = 25 cm², a = b = 5 cm, $I_o = 10$ A



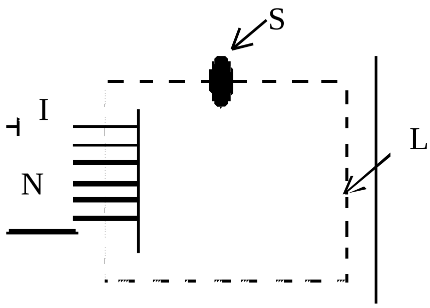
(A) Le flux de $\vec{B}$ au travers de la surface S est : $\phi = 2{,}35$ mWb.
(B) Quelque soit l'angle θ, les branches a et b du cadre sont chacune soumises à une force de module F = 0,5 N.
(C) Le cadre va tourner dans le sens horaire.

On provoque maintenant une rotation du cadre autour de son axe D avec une vitesse de rotation Ω constante.
(D) Le cadre est siège d'une force électromotrice d'auto-induction sinusoïdale.
(E) L'amplitude de cette force électromotrice est : E = (B.S.Ω)/2.

Question 15

On considère le circuit magnétique de la figure ci-contre. Ce circuit magnétique est homogène, non saturé et de perméabilité constante μ. Par ailleurs les fuites magnétiques sont nulles.
Les principales caractéristiques sont :
- perméabilité relative $\mu_r = 100$,
- section S = 1 cm²,
- longueur du contour C : L = 20 cm,
- nombre de spires : N = 500 spires.

On désigne par B l'amplitude de l'induction magnétique dans le matériau.



(A) L'application du Théorème d'Ampère sur le contour C permet d'écrire : $B = \frac{\mu . N . I}{L}$.

(B) Le flux de B est $\varphi = \frac{\mu . N . I . S}{2 . L}$.

Le flux <u>total</u> est Φ = 78,53 mWb et le courant est de 5 A.

(C) L'inductance propre de la bobine est L = 15,70 mH.
(D) L'énergie accumulée dans le circuit magnétique est de W = 196,34 mJ.
(E) L'inductance propre va augmenter si le circuit magnétique se sature.