

Examen Final : EL55 – P13.
Durée : 2 heures.
Documents : non autorisés sauf une feuille manuscrite de format A4.

EXERCICE-N°1 (8 POINTS):
Alimentation à découpage « FLY-BACK »

On propose l'étude de l'alimentation de type « fly-back » dont le schéma est présenté dans la Figure 1, à partir du cahier de charges suivant :

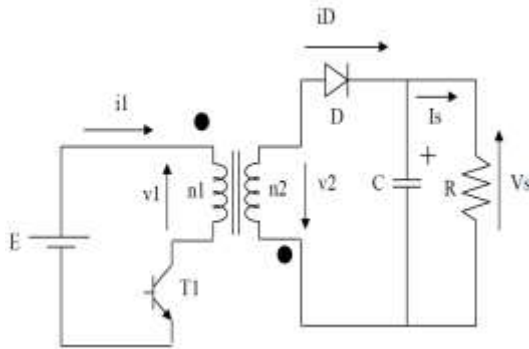


Figure 1

- Tension d'entrée $E=48$ (V)
- Tension de sortie nominale $V_s=12$ (V)
- Fréquence de fonctionnement $f= 10$ (kHz)
- Le transistor T1 est commandé avec un rapport cyclique α .
- Soit n_1 le nombre de spires au primaire du transformateur et n_2 le nombre de spires au secondaire.
- Pour simplifier l'étude on néglige l'ondulation de tension dans la capacité de sortie.
- On néglige les chutes de tension des interrupteurs
- On considère que le flux magnétique ne s'annule pas dans le circuit magnétique.

On considère le schéma équivalent du transformateur donné dans la figure 2, ainsi que les considérations suivantes :

- On néglige les fuites magnétiques, ainsi que la saturation du circuit magnétique.
- On néglige les résistances du bobinage.
- L'inductance de magnétisation L_m modélise la réalisation du champ magnétique utile.
- En considérant les polarisations des deux bobinages, les équations des tensions et des courants à chaque instant sont :

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$i_1(t) = i_m(t) + \frac{n_1}{n_2} i_2(t)$$

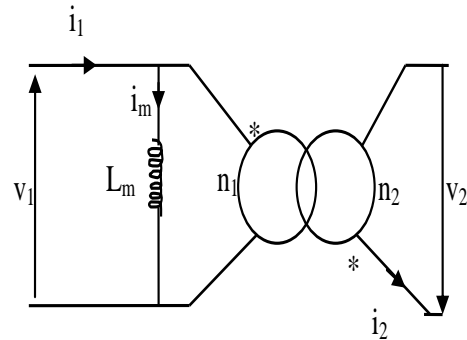


Figure 1

1. faire l'analyse du fonctionnement du convertisseur ; en déduire pour chaque intervalle de conduction :
 - 1.1. le schéma équivalent (utiliser le schéma équivalent du transformateur),
 - 1.2. les tensions v_1 et v_2 ,
 - 1.3. l'équation qui décrit l'évolution du courant i_m ,
 - 1.4. les expressions de $i_m(t)$, $i_1(t)$, $i_2(t)$ et $i_D(t)$, pour chaque intervalle de conduction en fonction de E , V_s , n_1 , n_2 et α .
 - 1.5. Etablir l'expression des tensions aux bornes des interrupteurs pour chaque intervalle de conduction en fonction de E , V_s , n_1 , n_2 et α .

Dans les expressions précédentes on peut considérer les paramètres I_{m_min} et I_{m_max} les valeurs extrêmes atteintes par le courant de magnétisation, ainsi que l'inductance de magnétisation L_m .

2. représenter l'allure de $i_m(t)$, $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_D(t)$, $v_1(t)$ et $v_2(t)$, $v_T(t)$, $v_D(t)$; on considère pour la simplicité de la trace du dessin que $n_1=n_2$
3. Etablir l'expression V_s en fonction de E , n_1 , n_2 et α .
4. On décide de limiter le rapport cyclique à $\alpha_{max}=0.5$ et d'imposer une valeur maximale de l'ondulation du courant $\Delta I_{1_max} = I_{1_max} - I_{1_min} = 0.1(A)$; en déduire la valeur minimale de L_m .

**EXERCICE-N°2 (12 POINTS):
ONDULEUR MONOPHASE**

On veut étudier l'onduleur de secours représenté sur la figure 2. Celui ci permet de reconstituer un réseau alternatif 115 V/400Hz monophasé à partir d'une batterie délivrant une tension continue E.

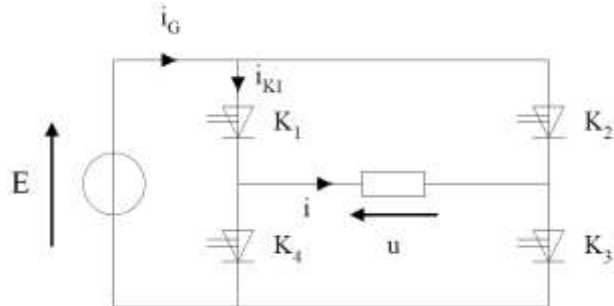


Figure 1

Partie A : Etude des tensions de sortie

1. On envisage le cas d'une commande "pleine onde".
 - 1.1. Tracer, sur le document réponse 1a, le graphe de la tension u(t) pour la commande citée précédemment.
 - 1.2. Exprimer la valeur efficace U de u(t) en fonction de E.
2. La décomposition en série de Fourier de u(t) est la suivante :
 - 2.1. Donner l'expression de v₁(t), fondamental de u(t). En déduire l'expression de sa valeur efficace V₁ en fonction de E.
 - 2.2. Quelle devrait être la valeur de E pour obtenir V₁ = 115 V ?
 - 2.3. La distorsion globale de la tension de sortie u(t) dépend du taux d'harmoniques :

$$u(t) = \frac{4 \cdot E}{\pi} \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3 \cdot \omega t) + \frac{1}{5} \sin(5 \omega \cdot t) + \dots \right]$$

- Donner l'expression de v₁(t), fondamental de u(t).
- Donner l'expression de sa valeur efficace V₁ en fonction de E.

La distorsion globale qui correspond à ce deuxième cas est dg = 49 %. Elle n'est pas meilleure que la précédente. Elle rend donc nécessaire la présence d'un filtre.

Partie B : Filtre de sortie de l'onduleur

La charge est assimilable à un circuit purement résistif R branchée en parallèle du filtre LC de l'onduleur, voir figure 3.

Si V₁ est la valeur efficace du fondamental de u(t) et V₂, V₃, V₄,... V_n,... les valeurs efficaces des autres harmoniques de cette tension (certaines de ces valeurs pouvant être nulles), la distorsion globale dg est définie comme suit :

$$d_g = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2 + \dots}}{V_1} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (1)$$

Comme,

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2 + \dots} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2}$$

on peut également écrire :

$$d_g = \frac{\sqrt{V^2 - V_1^2}}{V_1} \quad (2)$$

Calculer dg dans le cas précédent.

3. Le montage effectivement réalisé est un onduleur à modulation de largeur d'impulsions (MLI). La commande des interrupteurs est définie sur le document réponse 1b.
 - 3.1. Tracer la tension u(t) correspondant à ce cas sur le document réponse 1b.
 - 3.2. Exprimer la valeur efficace V de u(t) en fonction de E (on pourra pour cela effectuer un calcul d'aire).
 - 3.3. La tension u(t) ne comporte pas d'harmonique de rang pair. Par ailleurs les angles α₁, α₂, α₃, α₄ et α₅ sont choisis de manière à annuler les harmoniques de rang 3, 5, 7, 9 et 11. Il en résulte la décomposition en série de Fourier de u(t) suivante :

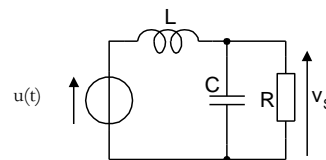


Figure 3

4. Etude de l'action du filtre sur le fondamental de u(t) :

- 4.1. Calculer la valeur de R lorsque le filtre fournit 1,0 kW à la charge sous 115 V (400Hz).

Pour la suite du problème on prend R = 13Ω, L = 0,47 mH et C = 22 μF. Dans ces conditions, si l'on note V₁ le

fondamental de $u(t)$ et V_{S1} le fondamental de $v_S(t)$, le filtre de la figure 3 impose la relation :

$$\frac{V_{S1}}{V_1} = 1,06$$

- 4.2. En utilisant l'expression (3) donnant la tension $u(t)$ fournie par l'onduleur MLI, alimenté sous la tension E , déterminer la valeur de E qui permet d'obtenir $V_{S1} = 115$ V.

Pour la suite du problème, on prendra $E = 150$ V.

5. Etude de l'action du filtre sur les harmoniques de $u(t)$:

- 5.1. Donner les expressions de Z_{L13} et Z_{C13} , impédances complexes de la bobine et du condensateur vis à vis de l'harmonique de rang 13. Calculer les modules Z_{L13} et Z_{C13} .

On admet que pour l'harmonique 13, et, plus généralement, pour tous les harmoniques non nuls de $u(t)$, le filtre de la figure 3 se ramène au filtre simplifié de la figure 4.

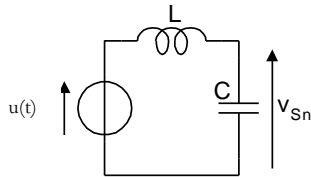


Figure 4

- 5.2. On note \underline{V}_n le nombre complexe associé à l'harmonique de rang n de $u(t)$ et V_n sa valeur efficace ; de même \underline{V}_{sn} est le nombre complexe associé à l'harmonique de rang n de v_S et V_{sn} sa valeur efficace.

Démontrer que :

$$\frac{\underline{V}_{sn}}{\underline{V}_n} = \frac{1}{1 - n^2 LC \omega^2}$$

- 5.3. En déduire l'égalité approchée $\frac{V_{S13}}{V_{13}} \approx \frac{1}{10}$, et,

pour $n > 13$, les inégalités $\frac{V_{Sn}}{V_n} < \frac{1}{10}$.

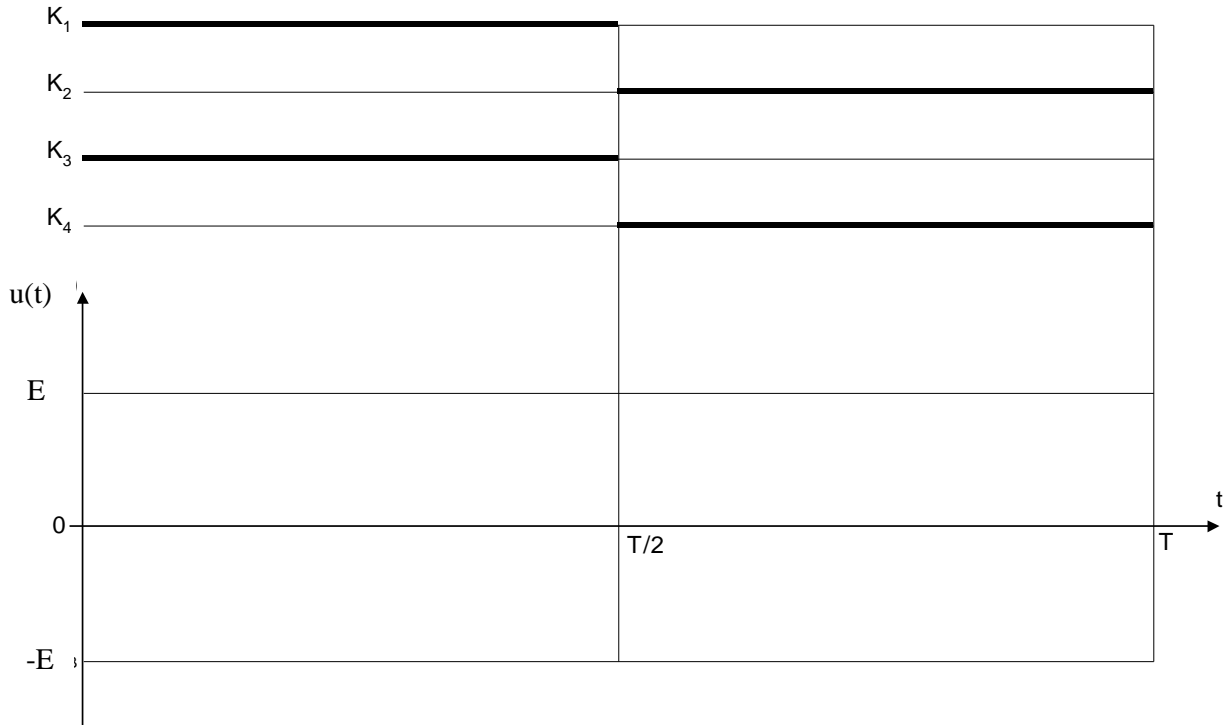
- 5.4. On revient à la solution "pleine onde" de la question 1 pour laquelle on utilise un filtre de même nature que celui de la figure 3.

Dans ce cas, pour obtenir une distorsion globale $dg_{v_S} < 5\%$ de la tension $v_S(t)$, on trouve qu'il faut une valeur du produit LC environ 10 fois plus grande que celle qui est utilisée dans le filtre associé à l'onduleur MLI.

Quel est, de ce point de vue, l'intérêt de la commande MLI ?

DOCUMENT REPONSE n°1a

Nom :	Prénom :	Signature :
-------	----------	-------------



DOCUMENT REPONSE n°1b

