

Examen Final : EL55 – P15.
Durée : 2 heures.
Documents : non autorisés sauf une feuille manuscrite de format A4.

EXERCICE-N°1 (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.

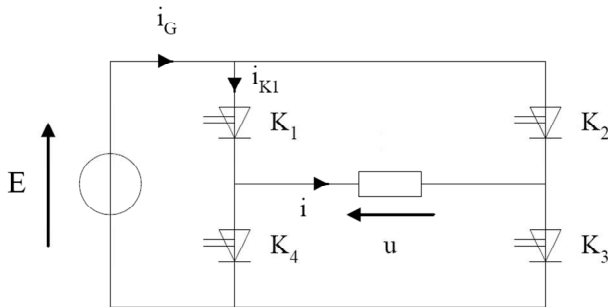


Figure 1

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 :

$$u(t) = \frac{4 \cdot E}{\pi} \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3 \cdot \omega t) + \frac{1}{5} \sin(5 \omega \cdot t) + \dots \right]$$
 - 2.1. Donner l'expression de $v_1(t)$, fondamental de u(t). En déduire l'expression de sa valeur efficace V_1 en fonction de E.
 - 2.2. Quelle devrait être la valeur de E pour obtenir $V_1 = 115 \text{ V}$?
 - 2.3. La distorsion globale de la tension de sortie u(t) dépend du taux d'harmoniques :
 Si V_1 est la valeur efficace du fondamental de u(t) et $V_2, V_3, V_4, \dots, V_n, \dots$ 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 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ et α_5 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 :

$$u(t) = \frac{4 \cdot E}{\pi} \cdot 0,802 \cdot \sin(\omega t) - \frac{4 \cdot E}{13 \cdot \pi} \cdot 2,01 \cdot \sin(13 \cdot \omega t) - \frac{4 \cdot E}{15 \cdot \pi} \cdot 2,64 \cdot \sin(15 \cdot \omega t) + \dots \quad (3)$$

- Donner l'expression de $v_1(t)$, fondamental de u(t).
- Donner l'expression de sa valeur efficace V_1 en fonction de E.

La distorsion globale qui correspond à ce deuxième cas est $d_g = 49 \%$. 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 a un circuit purement résistif R branchée en parallèle du filtre LC de l'onduleur, voir figure 3.

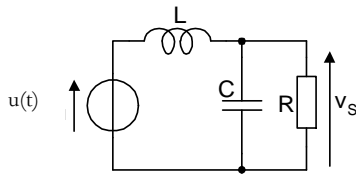


Figure 3

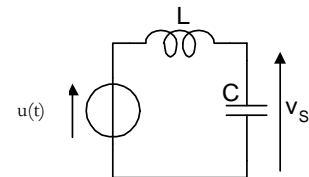


Figure 4

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 $R = 13\Omega$, $L = 0,47$ mH et $C = 22 \mu\text{F}$. Dans ces conditions, si l'on note V_1 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.

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 :

$$\frac{V_{Sn}}{V_n} = \frac{1}{1 - n^2 LC \omega^2}$$

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 $d_{gvs} < 5\%$ 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 ?

QCM (8Pts)– Répondre directement sur la copie.
Barème : réponse juste (+0.5 pts); réponse fausse (-0,25pts) ; pas de réponse (0 pts)

Nom	Prénom	Signature

PARTIE 1 : CONVERTISSEUR A RESONANCE

Soit le montage du convertisseur à résonance série schématisé par la figure 5.

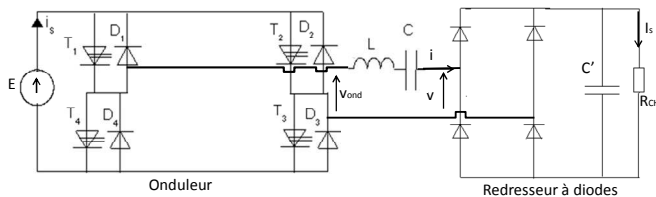
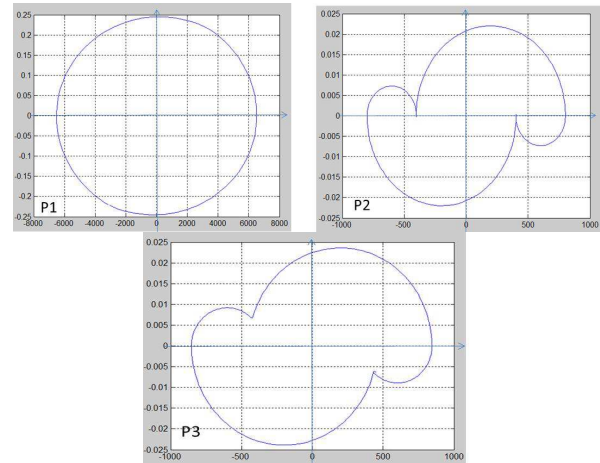


Figure 5

1. Ce montage est un convertisseur :
 - A) continu / continu.
 - B) continu / alternatif.
 - C) alternatif / continu.
 - D) alternatif / alternatif.
2. L'onduleur de ce convertisseur à résonance est commandé :
 - A) à fréquence variable et tension efficace variable.
 - B) à fréquence variable et tension efficace constante.
 - C) à fréquence constante et tension efficace variable.
 - D) à fréquence constante et tension efficace constante.
3. L'un des avantages de ce convertisseur est qu'il permet de :
 - A) s'affranchir de la commande.
 - B) fonctionner à commutation forcée.
 - C) améliorer le facteur de puissance.
 - D) récupérer l'énergie.
4. Pour $L = 20\text{mH}$ et $C = 15\mu\text{F}$, la fréquence de résonance de ce convertisseur est égale à :
 - A) 0.0034Hz
 - B) 290.5Hz
 - C) 11471Hz
 - D) 1825Hz
5. La puissance maximale de ce convertisseur est atteinte pour une valeur de fréquence égale à :
 - A) f_0 .
 - B) $f_0/2$.
 - C) $2f_0$.
 - D) $3f_0$.
6. Lequel de ces plans de phase, du convertisseur étudié, correspond à une fréquence de fonctionnement de 140Hz:
 - A) P1.
 - B) P2.
 - C) P3.



7. La figure 6 montre les formes d'onde de la tension $v(t)$ et du courant $i(t)$ pour une fréquence supérieure à la fréquence de résonance. La valeur efficace du fondamental de $v(t)$ est égale à :
 - A) 200V.
 - B) 180V.
 - C) 140V.
 - D) 100V.

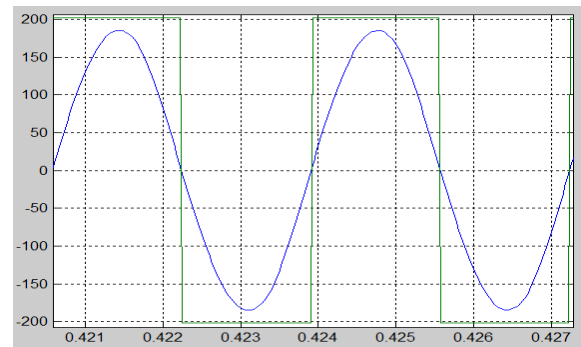


Figure 6

8. La puissance aux bornes de la charge est exprimée par $P = \frac{8}{\pi^2} R_{CH} \cdot I^2$ où I est la valeur efficace du courant $i(t)$. A quoi correspond l'ensemble : pond de diodes + condensateur + R_{CH} ?
 - A) à la chute de tension ohmique.
 - B) à la résistance harmonique.
 - C) à la résistance fondamentale.
 - D) au filtre de l'onduleur.

PARTIE 2 : CYCLOCONVERTISSEURS

Soit le cycloconvertisseur schématisé par la figure 7.

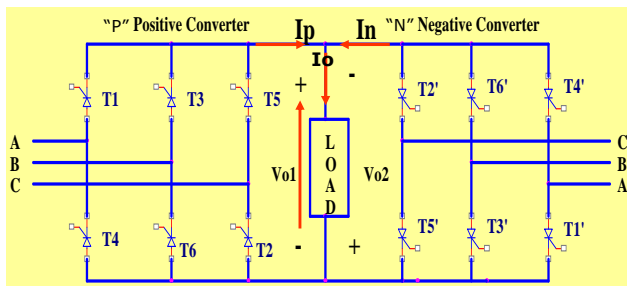


Figure 7

9. Les ponts P et N sont montés :

- A) en parallèle.
- B) en cascade.
- C) en série.
- D) en tête bêche.

10. Sur une période de fonctionnement du cycloconvertisseur, les ponts P et N sont commandés comme suite :

	Première moitié de la période	Deuxième moitié de la période
A)	P : ON, N : OFF	N : ON, P : OFF
B)	P : ON, N : ON	N : ON, P : ON
C)	P : OFF, N : OFF	N : OFF, P : OFF
D)	P : OFF, N : ON	N : OFF, P : ON

β_p et β_n sont les angles de retard à l'amorçage des ponts redresseurs P et N respectivement.

11. La relation entre β_p et β_n est la suivante :

- A) $\beta_p = \beta_n$.
- B) $\beta_n = \beta_p + \pi/2$.
- C) $\beta_n = \pi - \beta_p$.
- D) $\beta_n = \beta_p + \pi$.

12. La figure 8 montre les formes d'ondes des tensions de ligne du réseau est de charge. Les angles de retard à l'amorçage des ponts P et N sont respectivement :

- A) 60° et 60° .
- B) 60° et 130° .
- C) 60° et 120° .
- D) 60° et 240° .

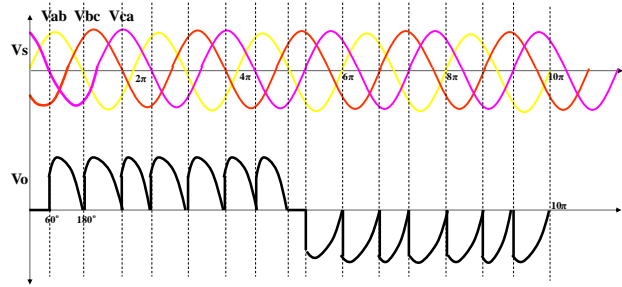


Figure 8

13. Si la fréquence du réseau est égale à 50Hz, la fréquence de la tension de charge sera égale à :

- A) 0 Hz.
- B) 7 Hz.
- C) 14 Hz.
- D) 49 Hz.

14. Afin de contrôler le fondamental de la tension de charge on fait varier les angles de retard à l'amorçage des ponts P et N selon des fonctions :

- A) linéaires.
- B) sinusoïdales.
- C) exponentielles.
- D) quadratiques.

15. La figure 9 montre sur une période de fonctionnement la forme d'onde de :

- A) la tension de phase côté-réseau.
- B) la tension composée du réseau.
- C) la tension de phase côté-charge.
- D) la tension de sortie du pont P.

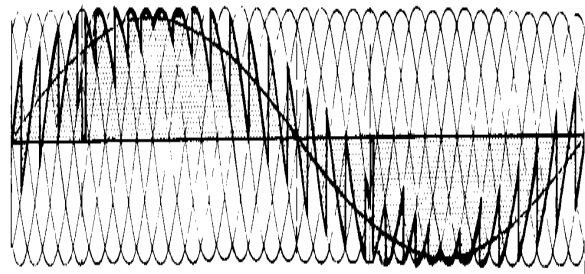


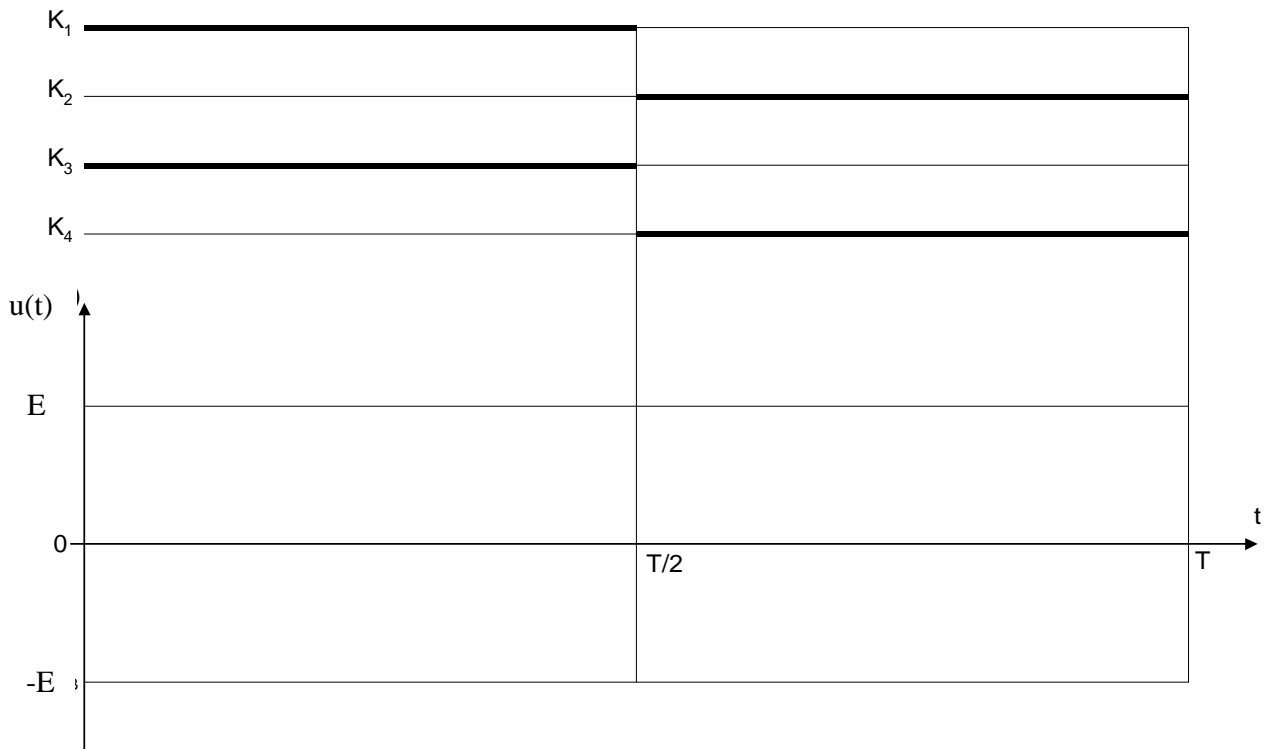
Figure 9

16. Dans le cas idéal le facteur de puissance de la charge F_{10} est égal au rapport des puissances :

- A) apparente de la charge et apparente du réseau.
- B) moyenne du pont P et apparente de la charge.
- C) moyenne du pont N et apparente de la charge.
- D) moyenne de la charge et apparente du réseau.

DOCUMENT REPONSE n°1a

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



DOCUMENT REPONSE n°1b

