

PSI 2019 - 2020*
TD N°23
Etude d'un Onduleur

On étudie un onduleur de secours permettant de reconstituer un réseau alternatif sinusoïdal 115 V / 400 Hz monophasé, à partir de batteries délivrant une tension continue U_B . L'ensemble est constitué :

- d'un onduleur en pont complet fournissant la tension $v_{MN}(t)$ (figure 1),
- et d'un filtre de sortie délivrant $v_s(t)$ du réseau reconstitué (figure 2).

Le cahier des charges de l'onduleur de secours est :

Valeur efficace du fondamental de la tension de sortie du filtre : V_{S1}	115 V
Fréquence de sortie : f	400 Hz
Puissance apparente nominale de sortie : P_S	1,0 kVA
Facteur de puissance	$0,70 < \cos\phi \leq 1$
Distorsion globale de la tension de sortie : d_g	$d_g < 5\%$

La grandeur d_g est définie à la question I-2).

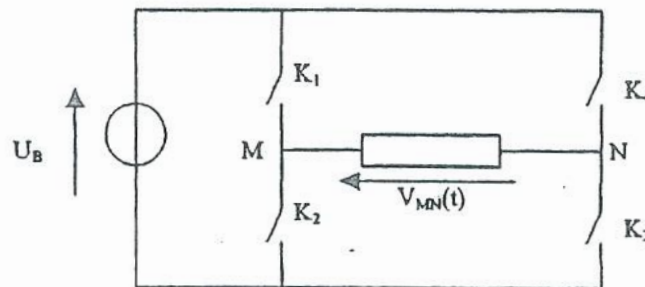


Figure 1

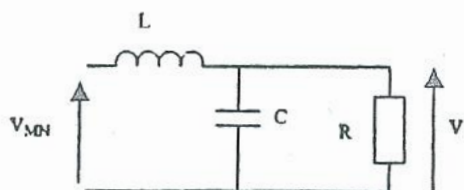


Figure 2

I- ETUDE DE L'ONDULEUR.

I-1) La commande des interrupteurs est indiquée sur le document réponse 2a, on les suppose parfaits.

- I-1-1) Tracer le graphe de la tension $v_{MN}(t)$ sur le document réponse 2a.
- I-1-2) Exprimer la valeur efficace V_{MN} de $v_{MN}(t)$ en fonction de U_B .

I-2) La décomposition en série de Fourier de $v_{MN}(t)$ est :

$$v_{MN}(t) = \frac{4U_B}{\pi} \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$

I-2-1) Justifier que les termes en cosinus sont tous nuls.

I-2-2) Quelle valeur de U_B permet d'avoir une valeur efficace V_1 du fondamental de $v_{MN}(t)$ égale à 115 V ?

I-2-3) La distorsion globale d_g de la tension $v_{MN}(t)$ dépend du taux d'harmoniques : si on note V_1 la valeur efficace du fondamental de $v_{MN}(t)$ et $V_2, V_3, V_4, \dots, V_n, \dots$ les valeurs efficaces des harmoniques de rang 2, 3, 4, ..., n, ... d_g la distorsion globale est définie par :

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

Calculer d_g pour $v_{MN}(t)$.

I-3) On considère maintenant un onduleur à modulation de largeur d'impulsions (MLI). La commande des interrupteurs est définie sur le document réponse 2b. Pour K_1 et K_2 , entre 0 et $T/2$, la figure est symétrique par rapport à $T/4$; K_1 et K_2 échangeant ensuite leur rôle entre $T/2$ et T . Les valeurs des angles α_k sont indiquées, la figure n'est pas à l'échelle.

I-3-1) Tracer la tension $v_{MN}(t)$ correspondante sur le document réponse 2b.

I-3-2) Exprimer la valeur efficace V_{MN} de $v_{MN}(t)$ en fonction de U_B et des α_k exprimés en degrés (on pourra utiliser une méthode graphique).

I-3-3) La tension $v_{MN}(t)$ ne comporte pas d'harmonique de rang pair et les angles α_k sont choisis de manière à annuler les harmoniques de rang 3, 5, 7, 9 et 11. La décomposition en série de Fourier de $v_{MN}(t)$ est alors :

$$v_{MN}(t) = \frac{4U_B}{\pi} \left[0,802 \sin(\omega t) - \frac{2,01}{13} \sin(13\omega t) - \frac{2,64}{15} \sin(15\omega t) + \dots \right]$$

Donner en quelques lignes une méthode de détermination de la valeur des coefficients de cette décomposition :

I-3-3-1) Théorique ?

I-3-3-2) Expérimentale (citer plusieurs méthodes éventuellement) ?

I-3-4) La distorsion globale qui correspond à ce deuxième cas est $d_g = 49\%$. Expliquer, de façon simple et sans calculs, pourquoi on n'obtient pas une meilleure valeur que dans le premier cas, alors que les premières harmoniques ont été coupées ?

Pour diminuer la distorsion, il faut donc avoir recours à un filtre. Quel est alors l'avantage de la commande MLI par rapport au premier cas ?

II- ETUDE DU FILTRAGE

La charge est assimilable à un circuit purement résistif R . L'ensemble filtre et charge R est représenté sur la figure 2.

II-1) On considère la tension $v_{MN}(t)$ correspondant au cas I-3). On note V_1 la valeur efficace du fondamental de $v_{MN}(t)$ et V_{S1} la valeur efficace du fondamental de $v_S(t)$. Calculer le rapport : $\frac{V_{S1}}{V_1}$. A.N. : $R = 13 \Omega$; $L = 0,47 \text{ mH}$; $C = 22 \mu\text{F}$.

II-2) Quel valeur de U_B permet d'obtenir $V_{S1} = 115 \text{ V}$?

II-3) On note V_n la valeur efficace de l'harmonique de rang n de $v_{MN}(t)$ et V_{Sn} la valeur efficace de l'harmonique de rang n de $v_S(t)$. Montrer que $\frac{V_{Sn}}{V_n} < \frac{1}{10}$ pour $n \geq 13$.

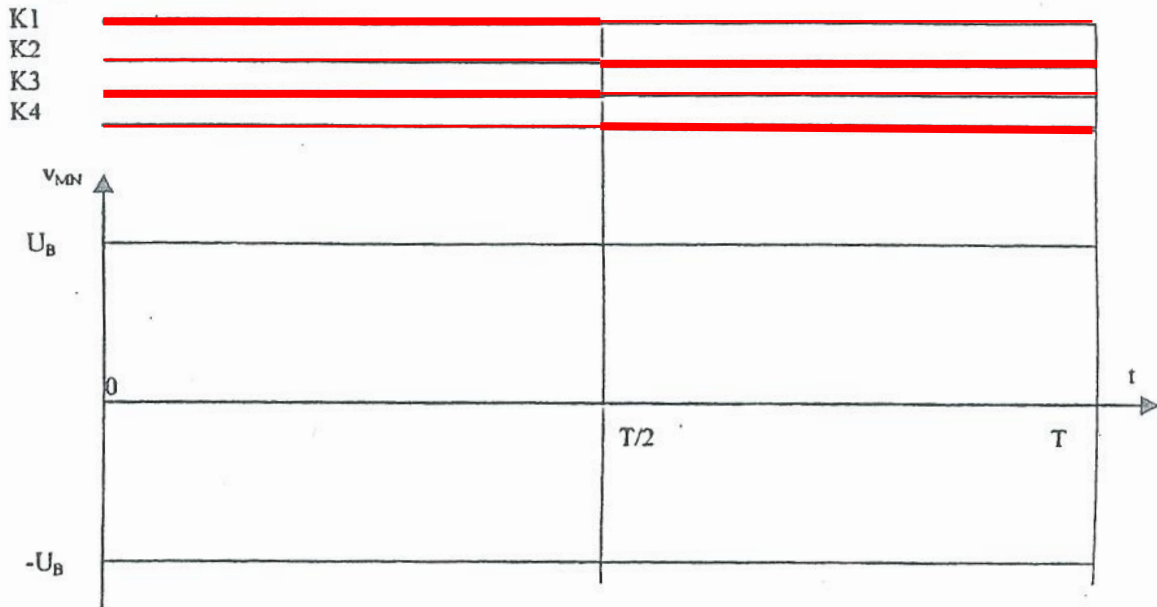
II-4) Montrer que la distorsion globale de $v_S(t)$, d_{gV_S} , est inférieure alors à 5%.

II-5) Quelle est la puissance moyenne fournie au circuit de charge ? Quel est le facteur de puissance ? Sont-ils conformes au cahier des charges ?

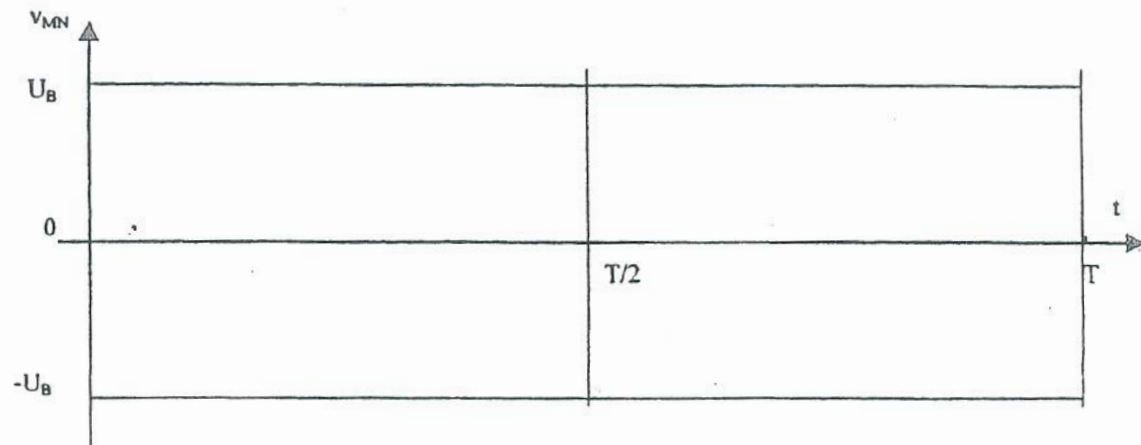
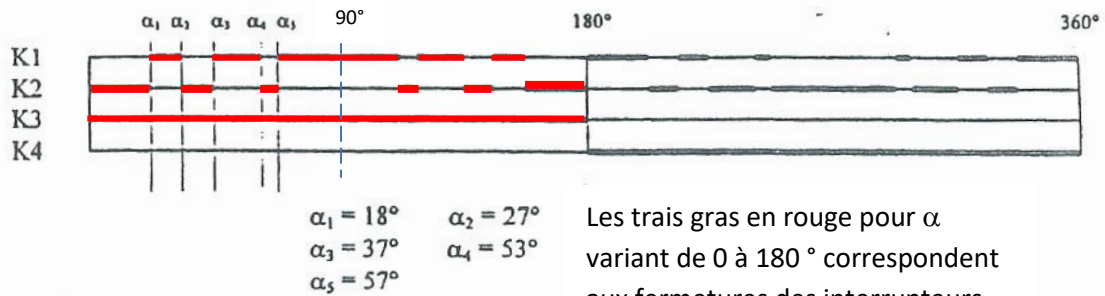
II-6) En négligeant toutes les pertes, quelle serait la durée de fonctionnement de l'onduleur pour une batterie de capacité 40 Ah ?

DOCUMENT REPOSE N°2a

Les parties en traits épais correspondent à l'état fermé des interrupteurs.
 Les parties en traits fins correspondent à l'état ouvert des interrupteurs.



DOCUMENT REPOSE N°2b



AIDE A LA RESOLUTION

I.1.1. Voir cours

I.1.2. Revenir à la définition

I.2.1. et 2. Voir le poly sur les séries de Fourier

I.2.3. Faire apparaître une série de somme connue ; on trouve 48 %

I.3.1. Adapter le I.1.1.

I.3.2. Etudier les différents intervalles entre 0 et 90° ; On trouve 104 V.

I.3.3. Repenser aux manips réalisées en TP

I.3.4. C'est une série...

Comparer qualitativement l'action du filtrage sur les deux séries d'harmoniques

II.1. Il faut calculer la fonction de transfert et voir son effet sur le fondamental

II.2. Il y a juste une AN à faire

II.3. Faire le calcul pour $n = 13$

II.4. Majorer la somme des $V_{s,n}^2$ en se servant du résultat de la question précédente et de la donnée du I.3.4.

II.5. Prendre la valeur moyenne de $p(t) = v_s(t) \cdot i_R(t)$; 1020 W environ ; $\cos\phi = 1$

II.6. 4,6 h