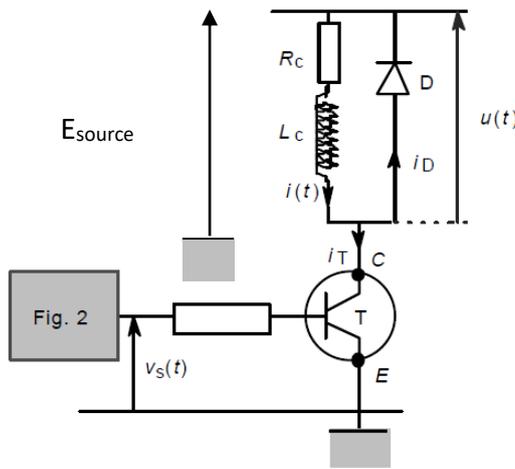


TD N°19 – Électronique de puissance

EXERCICE 1 : Etude d'un hacheur (Mines-Ponts PSI)



$E_{source} = 15 \text{ V} ; R_c = 10 \Omega ; L_c = 1 \text{ H}.$

Le transistor de la figure 3 se comporte comme un interrupteur K :

si $v_s = +V_{sat}$, $V_C - V_E = 0$ K fermé

si $v_s = -V_{sat}$, $i_T = 0$ K ouvert

Le signal v_s est fourni par la tension de sortie du montage étudié à la première partie. Le système hacheur, constitué par le transistor, la diode D et l'alimentation continue E_{source}

alimente une charge équivalente à une résistance R_c en série avec une inductance L_c .

□ 6 – Représenter $u(t)$ et exprimer sa valeur moyenne $\langle u(t) \rangle$ en fonction de α .

□ 7 – À partir de l'équation différentielle reliant $u(t)$ à $i(t)$, exprimer $i(t)$, en supposant que le régime permanent a été établi.

□ 8 – Admettant que, après un bref régime transitoire, un régime périodique s'établit, déterminer les valeurs extrémales, I_{min} et I_{max} entre lesquelles le courant $i(t)$ varie.

□ 9 – Établir l'expression simplifiée de respectivement I_{min} et I_{max} lorsque la constante de temps du circuit de charge est très supérieur à la période T . En déduire l'expression de l'ondulation $\Delta I = I_{max} - I_{min}$.

□ 10 – Représenter l'allure des grandeurs $i(t)$, $i_D(t)$, $i_T(t)$. Calculer numériquement $\langle i(t) \rangle$, I_{min} et I_{max} pour $\alpha = 0,5$.

Le hacheur alimente un moteur à courant continu, convenablement représenté par le circuit de charge ci-dessus. Ce moteur fonctionne d'autant mieux, pour l'application considérée, que l'ondulation est petite. La tension $u(t)$ est représentée, pour $\alpha = 0,5$ par son développement de Fourier :

$$u(t) = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt + \frac{2E}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \sin[(2n+1)\omega t]$$

□ 11 – Commenter la forme de ce développement.

□ 12 – Établir, pour $\alpha = 0,5$, l'expression générale des composantes de Fourier du courant qui alimente le moteur. Commenter le résultat (on pourra poser $\omega_0 = R_c/L_c$).

□ 13 – Calculer, pour $f = 1 \text{ kHz}$, l'amplitude de la composante continue du courant, ainsi que celle des deux composantes suivantes du développement de Fourier.

□ 14 – Établir que l'ondulation du courant est essentiellement proportionnelle à la période du signal de commande. Vérifier éventuellement le résultat donné à la question 9.

□ 15 – On néglige l'ondulation ; exprimer alors la puissance moyenne reçue par le moteur et la puissance moyenne délivrée par l'alimentation.

EXERCICE 2 : 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	$0,70 < \cos\varphi \leq 1$
Distorsion globale de la tension de sortie : d_g	$d_g < 5 \%$

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

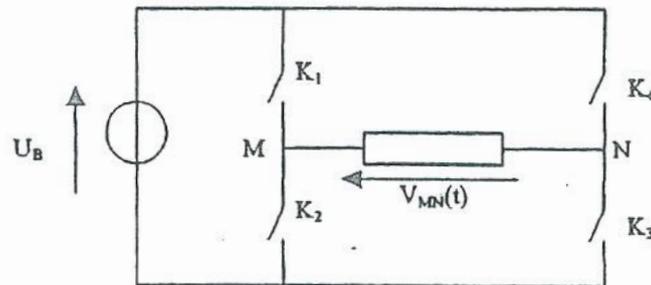


Figure 1

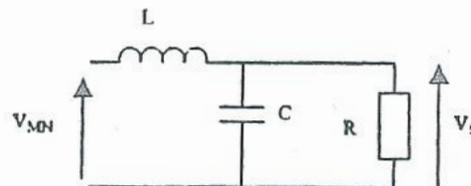


Figure 2

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 $d_{gr} = 49\%$. 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 $n \geq 13$.

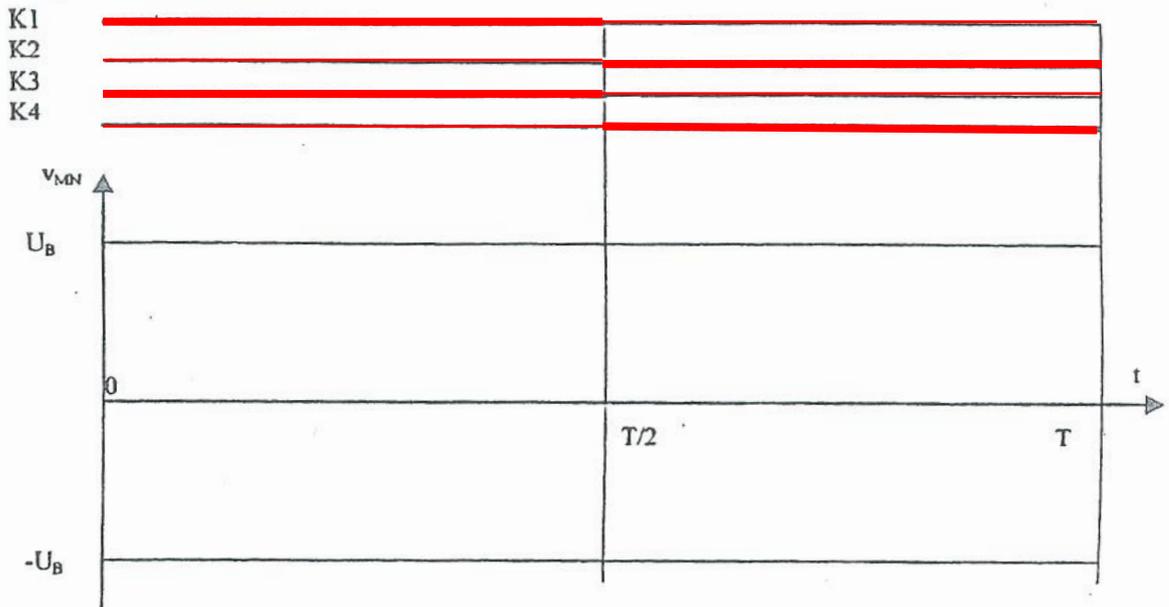
II-4) Montrer que la distorsion globale de $v_S(t)$, d_{gV_S} , est inférieure alors à 5%.

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 ?

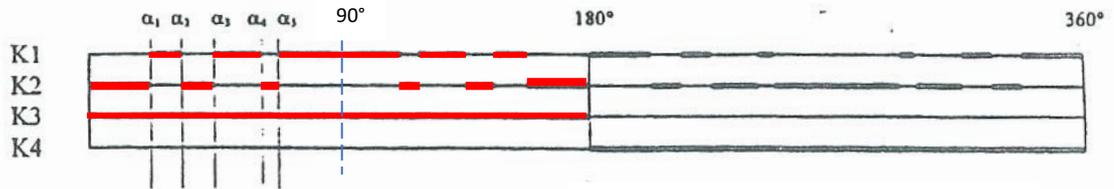
II-6) En négligeant toutes les pertes, quelle serait la durée de fonctionnement de l'onduleur pour une batterie de capacité 40 Ah ?

DOCUMENT REponse 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 REponse N°2b



$\alpha_1 = 18^\circ$ $\alpha_2 = 27^\circ$
 $\alpha_3 = 37^\circ$ $\alpha_4 = 53^\circ$
 $\alpha_5 = 57^\circ$

Les traits gras en rouge pour α variant de 0 à 180° correspondent aux fermetures des interrupteurs

