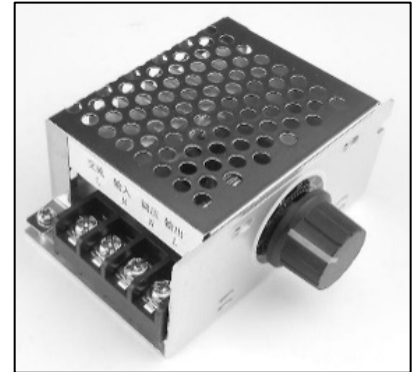


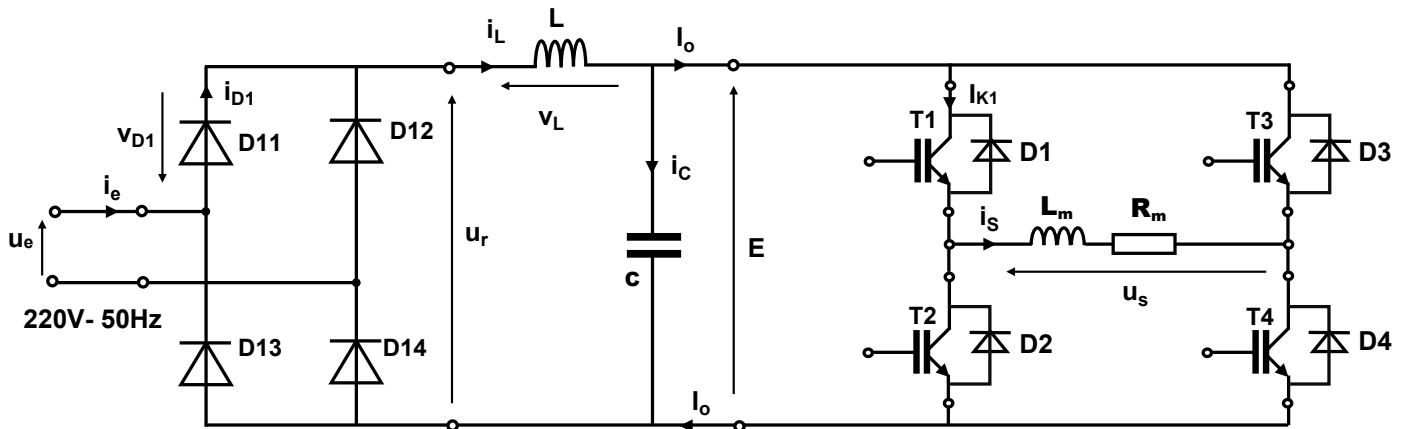
**TD : Contrôleur de vitesse des moteurs asynchrones monophasés**

**I. Présentation**

Un contrôleur de vitesse pour moteurs monophasés est un dispositif crucial pour réguler la performance des moteurs électriques dans divers domaines tels que le refroidissement, les lave-linges ...etc. Il permet de moduler la fréquence de tension alimentant le moteur, influençant ainsi sa vitesse. Cette flexibilité d'ajustement est essentielle pour optimiser l'efficacité énergétique et la fonctionnalité des appareils, offrant un contrôle précis et une adaptation aux besoins spécifiques.



La figure ci-dessous montre le schéma de puissance du contrôleur, composé d'un étage d'entrée qui redresse la tension alternative du réseau, d'un filtre LC qui élimine les ondulations de la tension de sortie du redresseur, et d'un onduleur monophasé autonome qui ajuste la fréquence de la tension alimentant le moteur monophasé installé.



Le contrôleur est connecté à un réseau alternatif sinusoïdal et présenté par une tension  $u_e(t)$  de valeur efficace  $V = 220 \text{ V}$  et de fréquence  $f = 50\text{Hz}$ .

**Hypothèses :**

- La phase du moteur monophasé est modélisée par une résistance  $R_m$  en série avec une inductance  $L_m$ .
- Le courant  $i_s(t)$  est supposé alternatif sinusoïdal et retardé par rapport à la composante fondamentale de la tension  $u_s(t)$ .
- La tension  $E$  est constante et égale à la valeur moyenne de la tension redressée  $u_r(t)$ .
- Les interrupteurs de puissance sont considérés comme idéaux.
- Le courant traversant la bobine  $L$  ne s'annule jamais et est constant, noté  $i_L(t) = i_o = Cte$ .

**II. Etude de redresseur : calcul de la tension continu E**

La tension  $u_r(t)$  est celle redressée par le redresseur monophasé (**D11, D12, D13, D14**) et elle présente des fortes oscillations. Un filtre **LC** est utilisé pour éliminer ses dernières. L'objectif de cette étape est de calculer la valeur continue de la tension **E** à l'entrée de l'onduleur.

- **Question 1** : Définir la nature des sources d'entrée et de sortie.
- **Question 2** : Représenter les allures des tension  $u_r(t)$  et  $v_{D11}(t)$  et en indiquant les diodes qui conduisent dans les deux phases.
- **Question 3** : Exprimer puis calculer la valeur moyenne de la tension redressée  $u_r(t)$ .
- **Question 4** : Déterminer la relation qui relie les tension  $u_r(t)$ ,  $v_L(t)$  et  $E$ .  
Déduire la valeur de  $E$ .
- **Question 5** : Tracer l'allure de courant  $i_{D11}(t)$  puis déduire leur valeur moyenne.

### III. Etude de l'onduleur : Commande décalée & Etude harmoniques

La capacité de varier la vitesse d'un moteur monophasé repose sur la modulation de la fréquence d'alimentation. L'utilisation d'un onduleur offre la possibilité de régler à la fois la fréquence et la tension aux bornes des enroulements du moteur.

L'onduleur utilisé est composé de quatre interrupteurs bidirectionnels en courant, réalisés par la mise en parallèle de transistors IGBT et de diodes ( $K1 = \{T1, D1\}$ ,  $K2 = \{T2, D2\}$ , .... etc.). Les transistors sont commandés à une fréquence de découpage  $f = 1/T$ . Les chronogrammes de la commande sont fournis en annexe.

Dans la configuration de la commande décalée, les deux bras opèrent avec la même période  $T$ . Cependant, les interrupteurs du bras 2 sont déphasés selon un angle  $\beta$  (dont la valeur est comprise entre  $0$  et  $\pi$ ). Ce choix d'angle vise à éliminer l'harmonique le plus gênant, tel que l'harmonique  $3$ , afin d'atténuer ses effets indésirables.

- **Question 6** : Déterminer la nature de sources d'entrée et de sortie et donner les conditions sur ( $K1$  ;  $K2$  ;  $K3$  ;  $K4$ ) pour respecter la règle d'association des sources.
- **Question 7** : Tracer la courbe représentative de  $u_s(t)$  et déduire leur valeur efficace notée  $U_s$ .
- **Question 8** : Tracer le courant  $i_{k1}(t)$  qui traverse l'interrupteur  $K1$  ( $D1$ ,  $T1$ ), Indiquer le composant qui conduit le courant pendant leur durée de fonctionnement de  $K1$  ( $D1$  ou  $T1$ ).

La tension  $u_s(t)$  est décomposée en série de Fourier tels que :

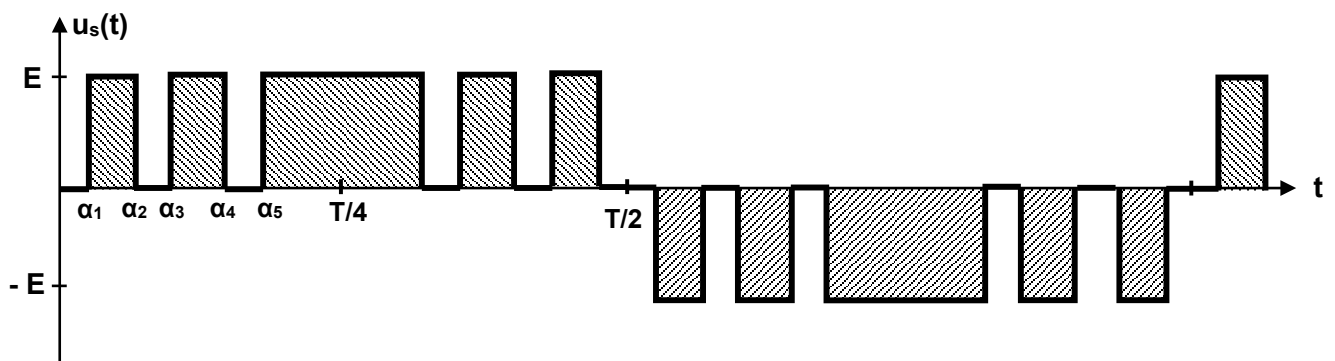
$$u_s(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cdot \cos\left((2k+1)\frac{\beta}{2}\right) \cdot \sin((2k+1)\omega t)$$

- **Question 9** : Déterminer l'expression de l'harmonique  $3$  notée  $u_{s3}(t)$  et en déduire Pour quelle valeur de l'angle  $\beta$  l'harmonique  $3$  est supprimé. On conserve par la suite de problème la valeur de  $\beta$  trouvée.
- **Question 10** : Tracer le spectre de la tension aux bornes du moteur  $U_s(f)$ .
- **Question 11** : Quelles observations peuvent être faites concernant les harmoniques multiples de trois ? En déduire le rang de l'harmonique qui peut poser le plus gênant.
- **Question 12** : Exprimer l'expression du fondamental  $u_{s1}(t)$ , de la tension  $u_s(t)$ , puis calculer sa valeur efficace, notée  $U_{s1}$ .
- **Question 13** : Calculer le taux distorsion d'harmonique **THD**, puis conclure.
- **Question 14** : Quelles solutions sont employées pour éliminer les harmoniques les plus gênants.

La commande décalée offre une efficace suppression de l'harmonique 3 et de ses multiples, ce qui réduit significativement le THD. Cependant, elle présente un inconvénient majeur : les harmoniques 5 et 7 demeurent problématiques et s'avèrent plus complexes le filtrage. Ces harmoniques indésirables peuvent entraîner des vibrations et une fatigue mécanique de la machine, ce qui réduit le rendement et peut les amener à se déclasser.

#### IV. Commande MLI précalculée : simplification de filtrage

La tension  $u_s(t)$  est obtenue par un découpage à cinq angles de commutation  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  et  $\alpha_5$  respectivement égaux à  $6,4^\circ, 16,9^\circ, 27,6^\circ, 38,9^\circ$  et  $50,8^\circ$ . Ces angles ont été déterminés par la méthode de **Selective Harmonic Elimination (SHE)** afin d'annuler les composantes harmoniques situées à proximité du fondamental. La figure ci-dessous illustre l'allure temporelle de la tension  $u_s(t)$  ainsi obtenue.



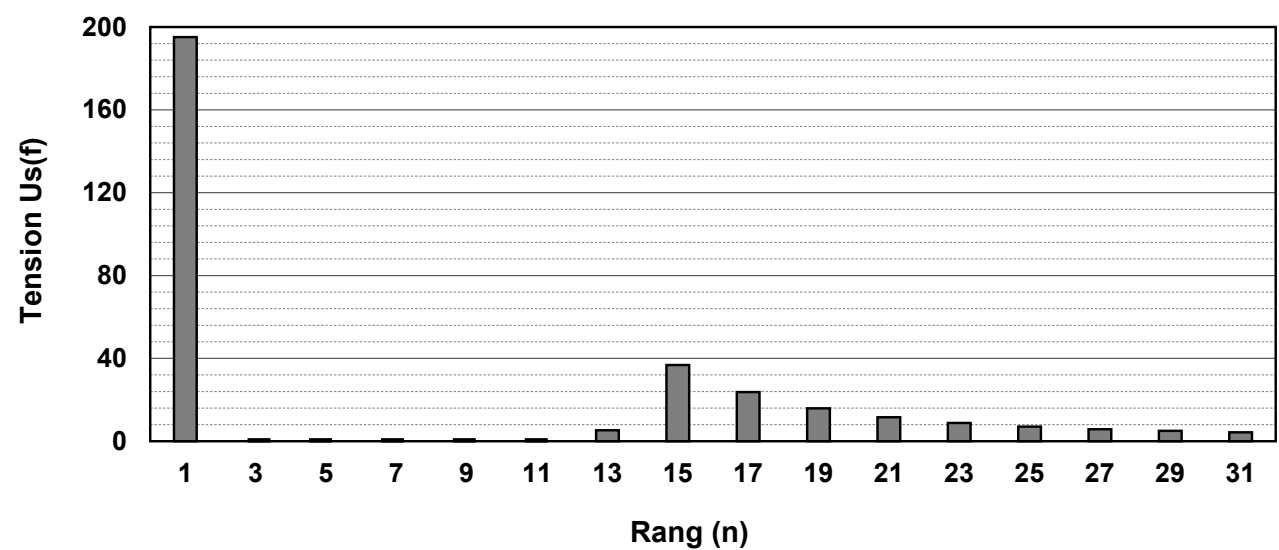
- **Question 15** : Démontrer que cette commande permet d'obtenir la même valeur efficace que celle obtenue dans la question 7.

Le développement en série de Fourier DSF montre que  $u_s(t)$  s'écrit :

$$u_s(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} |B_n| \sin(n \theta)$$

Avec :  $B_n = \frac{1}{n} ( \cos[n \alpha_1] - \cos[n \alpha_2] + \cos[n \alpha_3] - \cos[n \alpha_4] + \cos[n \alpha_5] )$  et  $n = \{1, 3, 5, 7, \dots\}$

La figure suivante illustre le spectre de la tension  $u_s(t)$  :



- **Question 16 :** Exprimer l'expression du fondamental  $u_{s1}(t)$ , de la tension  $u_s(t)$ , puis calculer sa valeur efficace  $U_{s1}$
- **Question 17 :** Conclure sur la réduction des harmoniques indésirables, et identifier les harmoniques éliminés, que peut-on dire des harmoniques multiples de trois (3)

Conclure sur l'harmonique le plus gênant.

- **Question 18 :** En considérant que les harmoniques d'ordre supérieur à 25 sont naturellement filtrées par la machine et donc négligeables, calculer le taux de distorsion harmonique (THD), puis conclure sur la qualité du signal.

### Document réponse

