

TD : Contrôleur de vitesse des moteurs asynchrone monophasés

www.autocpge.info

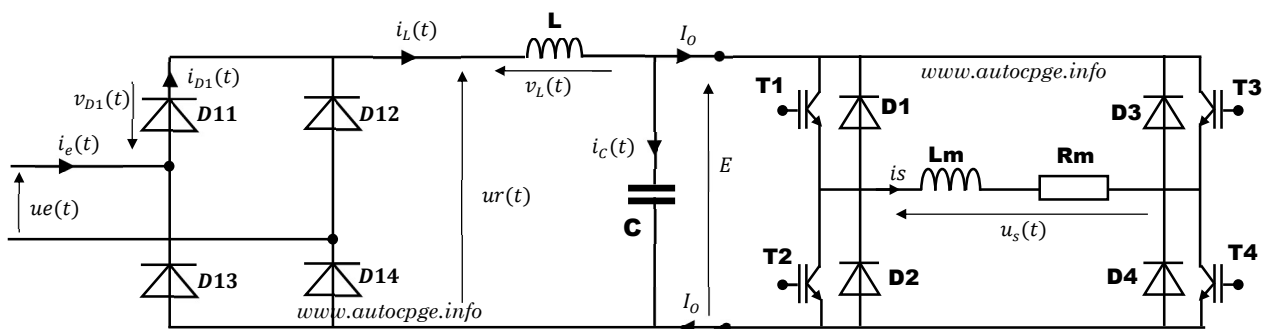
I. Présentation

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.



www.autocpge.info

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.



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 $i_L(t) = I_o = Cte$.

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

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.

- 1- Définir la nature des sources d'entrée et de sortie.
- 2- Représenter les allures des tension $u_r(t)$ et $v_{D11}(t)$ et en indiquant les diodes qui conduisent dans les deux phases.
- 3- Exprimer puis calculer la valeur moyenne de la tension redressée $u_r(t)$.
- 4- Déterminer la relation qui relie les tension $u_r(t)$, $v_L(t)$ et E .
- 5- Déduire la valeur de E .
- 6- 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 β (dont la valeur est comprise entre 0 et π). Ce choix d'angle vise à éliminer l'harmonique le plus gênant, tel que l'harmonique 3, afin d'atténuer ses effets indésirables.

- 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.
- Tracer la courbe représentative de $u_s(t)$ et déduire leur valeur efficace notée U_s . www.autocpge.info
- Tracer le courant $i_{k1}(t)$ qui traverse l'interrupteur $K1 \{D1, T1\}$, Indiquer le composant qui conduise le courant pendant leur durée de fonctionnement de $K1$ ($D1$ ou $T1$).

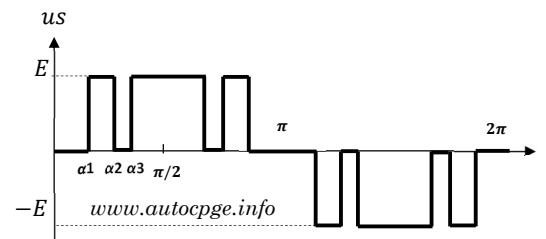
La tension $u_s(t)$ est décomposée en série de Fourier tels que : $u_s(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cdot \cos\left((2k+1)\frac{\beta}{2}\right) \cdot \sin((2k+1)\omega t)$

- Déterminer l'expression de l'harmonique 3 notée $u_{s3}(t)$ et en déduire Pour quelle valeur de l'angle β l'harmonique 3 est supprimé. On conserve par la suite de problème la valeur de β trouvée.
- Tracer le spectre de la tension aux bornes du moteur $U_s(f)$.
Quelles observations peuvent être faites concernant les harmoniques multiples de trois ? En déduire le rang de l'harmonique qui peut poser le plus gênant.
- Exprimer l'expression du fondamental $u_{s1}(t)$, de la tension $u_s(t)$, puis calculer sa valeur efficace, notée U_{s1}
- Calculer le taux distorsion d'harmonique THD, puis conclure.
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 machines tournantes, ce qui réduit le rendement et peut les amener à se déclasser.

IV. Commande MLI précalculée : simplification de filtrage

La tension $u_s(t)$ subit un découpage à trois angles particuliers, avec $\alpha_1 = 22,7^\circ$, $\alpha_2 = 37,8^\circ$ et $\alpha_3 = 46,8^\circ$. Ces angles sont choisis de manière à éliminer certains harmoniques proches du fondamental ($n < 10$). La figure ci-dessous illustre la tension $u_s(t)$.



- Démontrer que cette commande permet d'obtenir la même valeur efficace que celle obtenue en (III-2).

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

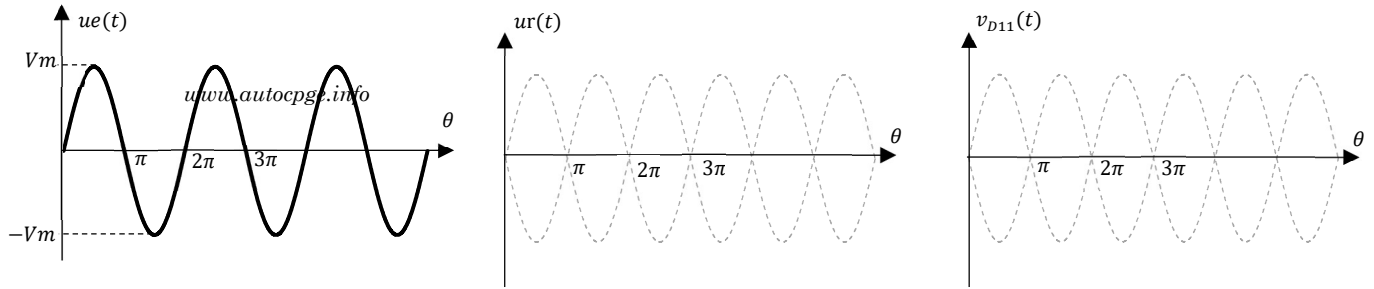
$$u_s(t) = \frac{4E}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} |Bn| \sin(n \theta) \text{ Avec } Bn = \frac{1}{n} (\cos[n \alpha_1] - \cos[n \alpha_2] + \cos[n \alpha_3]) \text{ et } n = \{1, 3, 5, 7, \dots\}$$

- Exprimer l'expression du fondamental $u_{s1}(t)$, de la tension $u_s(t)$, puis calculer sa valeur efficace, notée U_{s1}

3. Tracer le spectre de la tension $U_s(f)$ pour la commande MLI précalculée. En tirer une conclusion sur la réduction des harmoniques indésirables, et identifier les trois harmoniques éliminés.
4. Calculer le taux de distorsion d'harmonique THD, puis conclure.
5. Tirer une conclusion sur l'utilité de cette commande en mettant en avant la simplicité du filtrage.

Annexe

▪ Redresseur



▪ Onduleur

