

Master Professionnel AEII
Electronique de puissance
Terminal, durée 2h00

*Document autorisé : une feuille A4 recto-verso manuscrite ou dactylographiée
Calculatrice autorisée*

Chaque candidat doit, en début d'épreuve, porter son nom dans le coin de la copie qu'il cachera par collage après avoir été pointé. Il devra, en outre, porter son numéro de place sur chacune des copies, intercalaires ou pièces annexées.

Ce sujet contient deux exercices indépendants

1 Commande par onduleur d'un moteur asynchrone triphasé

Dans ce problème, on s'intéresse à la commande d'un moteur asynchrone par un onduleur à transformateur possédant un point milieu.

1.1 Etablissement des caractéristiques mécaniques du moteur

La machine asynchrone ne possède qu'une paire de pôle et le rotor est constitué d'une cage d'écuriel. Pour simplification, on suppose que le rapport de transformation stator rotor est égal à 1. Dans ces conditions, l'expression du couple électromagnétique est donnée par :

$$C_{EM} = \frac{3 \cdot V^2}{\omega} \cdot \frac{R_2/g}{(R_2/g)^2 + (X_2)^2} \quad (1)$$

avec $\omega = 2\pi \cdot f$ la pulsation de la tension appliquée sur un bobinage du stator, V la valeur crête de la tension appliquée sur le stator (on supposera que toutes les phases sont équilibrées). R_2 et X_2 sont respectivement l'impédance et la réactance équivalentes de la machine. g est le glissement. On donne : $R_2 = 28 \text{ m}\Omega$ et $X_2 = 184 \text{ m}\Omega$ (pour $f=50 \text{ Hz}$) ; $V=450 \text{ V}$.

- 1. Rappeler l'expression du glissement en fonction de la vitesse de rotation du champ tournant et de la vitesse de rotation du moteur ; puis en fonction de la pulsation de la tension appliquée au stator et de la pulsation de rotation du rotor.
- 2 Donner la relation existante entre la vitesse de synchronisme et la fréquence de la tension appliquée au stator.

On suppose que l'on dispose d'un onduleur permettant de modifier la fréquence de la tension appliquée au stator. La première figure de la fiche réponse donnée en annexe indique l'évolution de C_{EM} en fonction de la vitesse de rotation pour différentes valeurs de la fréquence f .

Le moteur asynchrone entraîne un groupe ventilateur dont la caractéristique mécanique est donnée par $C = 6 \cdot 10^{-4} \cdot N^2$ avec C , le couple de freinage du ventilateur et N la vitesse de rotation (en $\text{tr} \cdot \text{mn}$).

- 3. Représenter graphiquement cette caractéristique sur le même graphique. En déduire graphiquement les valeurs du couple C_{EM} et de la vitesse de rotation du rotor lorsque le moteur est accouplé au groupe ventilateur pour les différentes fréquences de la figure. Représenter graphiquement l'évolution de ces deux grandeurs en fonction de la fréquence de la tension appliquée au stator sur les graphiques également donnés en annexe.
- 4. En déduire la valeur numérique du glissement pour chacune des fréquences.

1.2 Onduleur à transformateur à point milieu

Pour contrôler la fréquence des tensions appliquées au stator, on utilise pour chaque enroulement un onduleur à transformateur à point milieu similaire à celui représenté sur la figure (1).

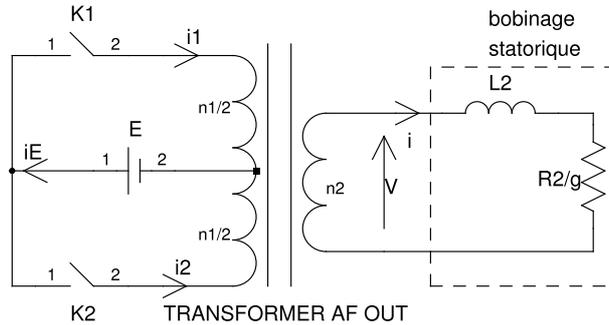


FIG. 1 – Onduleur à transformateur à point milieu. NB ne pas tenir compte de “TRANSFORMER AF OUT”

Les interrupteurs sont réversibles en courant et fonctionnent en opposition : K1 est fermé pendant une durée $T/2$ et K2 est ensuite fermé pendant une durée $T/2$. Le transformateur possède $n1$ spires au primaire et $n2$ spires au secondaire. On donne $n2=100$, $n1=200$, $E=500$ V

1.2.1 Etude simplifiée

Dans un premier, on suppose :

- que l'impédance du stator est telle que le courant i peut être supposé sinusoïdal ; dans ces conditions, il existe un déphasage de 45° entre le courant circulant dans le stator et la composante fréquentielle fondamentale de la tension appliquée au stator.
 - que le transformateur est idéal : on néglige les pertes magnétiques ainsi que la résistance et la réactance des enroulements.
- 1. Dans ces conditions, quelle est la valeur crête-crête de la tension appliquée au stator.
 - 2. Représenter l'allure de la tension appliquée au stator sur le graphique donné en annexe sur la fiche réponse.
 - 3. Rappeler la relation entre le courant au primaire et au secondaire d'un transformateur.
 - 4. En déduire l'allure du courant $i1$ et du courant iE débité par la source de tension continue.

1.2.2 Filtrage du courant circulant dans le stator

On souhaite dans cette partie vérifier si le courant circulant dans le stator est sinusoïdal. Pour cela, le taux de distorsion du courant est calculé pour $f = 50$ Hz. On rappelle que le taux de distorsion est par définition :

$$d(\%) = 100 \cdot \frac{\text{valeur efficace de la partie variable du signal sans fondamental}}{\text{valeur efficace de la partie variable du signal}} \quad (2)$$

Dans le cas où la décomposition en série de fourier d'un signal $u(t)$ est connue sous la forme $u(t) = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t)$, alors l'expression du taux de distorsion est :

$$d(\%) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} C_i^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} C_i^2}} \quad (3)$$

- 1. Donner l'expression de la fonction de transfert i/v entre le courant circulant dans le stator et la tension d'alimentation du stator.

- 2. Pour $f = 50 \text{ Hz}$, déterminer les valeurs numériques du module du transfert pour les fréquences f , $3 \cdot f$ et $5 \cdot f$. Pour cette question, on supposera que la valeur du glissement est déterminée par la fréquence du fondamental de la tension appliquée au stator.

On rappelle que la décomposition en série de fourier d'un signal carré symétrique de valeur crête A est donnée par $C_i = \frac{A}{\pi \cdot i}$ pour i impair et $C_i = 0$ pour i pair.

- 3. En déduire le taux de distorsion obtenu pour le courant i . On se limitera aux harmoniques de rang inférieurs ou égaux à 5 pour effectuer le calcul du taux de distorsion.
- 4. Peut on considérer que le courant circulant dans le bobinage statorique est sinusoïdal? Le critère qui sera utilisé dans cette question est que le courant peut être supposé sinusoïdal si *son taux de distorsion est inférieur à 10%*. Faut il augmenter ou diminuer la fréquence du signal pour diminuer le taux de distorsion? Justifier votre réponse.

2 Freinage rhéostatique d'un moteur à courant continu

On se propose d'étudier quelques aspects du freinage rhéostatique d'un moteur à courant continu dans le cas où la résistance équivalente de freinage est commandée par hacheur. Le schéma équivalent est donné figure 2. L'induit muni de sa bobine de lissage est modélisé par une source de tension continue E supposée constante, en série avec une bobine de résistance r et d'inductance propre L . La résistance de freinage R est périodiquement court-circuitée par le hacheur H .

On note T la période de découpage du hacheur, α le rapport cyclique.

On se place en régime périodique établi et on prend comme origine de la période l'instant de fermeture de H .

1. Ecrire les équations différentielles vérifiées par le courant $i(t)$ débité par l'induit pendant la phase de fermeture du hacheur ($0 < t < \alpha T$) et pendant la phase d'ouverture ($\alpha T < t < T$).
2. En déduire, sans faire de calcul, l'allure de $i(t)$ sur une période. Montrer en particulier que $i(t)$ reste compris entre une valeur minimale i_1 et une valeur maximale i_2 , que l'on ne cherchera pas à calculer. On pose $\delta i = i_2 - i_1$.

3. On suppose $\frac{L}{r+R} \gg T$, de manière à pouvoir linéariser i pendant les périodes de conduction et de blocage. On note par ailleurs $\left[\frac{di}{dt}\right]_f$ la valeur moyenne de $\frac{di}{dt}$ pendant la phase de fermeture du hacheur, $\left[\frac{di}{dt}\right]_o$ la valeur moyenne de $\frac{di}{dt}$ pendant la phase d'ouverture du hacheur et I la valeur moyenne de i .

Exprimer $\left[\frac{di}{dt}\right]_f$ et $\left[\frac{di}{dt}\right]_o$ en fonction de δi , α et T , puis en fonction de E , r , R , L et I (en utilisant les équations trouvées en 1) et en déduire le système de deux équations liant I et δi .

4. En déduire les expressions de I et $\frac{\delta i}{I}$. Quelle est la valeur maximale de $\frac{\delta i}{I}$?
5. Calculer la puissance fournie par la source E .
6. Le courant i étant très peu ondulé autour de sa valeur moyenne, on admet qu'on peut confondre sa valeur moyenne et sa valeur efficace. Calculer, dans ces conditions, la puissance dissipée dans r . En déduire la puissance P fournie à R .
7. On pose $\beta = \frac{r}{R}$ et on note P_0 la puissance qui serait fournie par E à R s'il n'y avait ni r , ni L et ni hacheur dans l'échange. Exprimer P en fonction de P_0 , α et β . Quelle est la valeur de α rendant P maximal ? Calculer la valeur maximale de P .
8. Déterminer le rendement du montage (rapport entre la puissance reçue par R et la puissance fournie par E) en fonction de α et β .

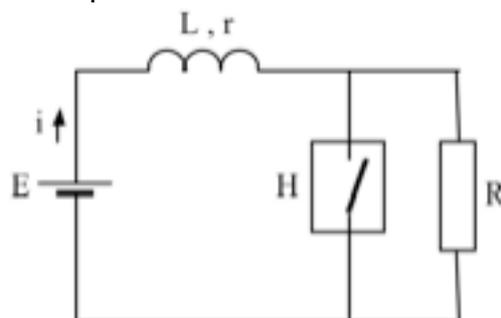
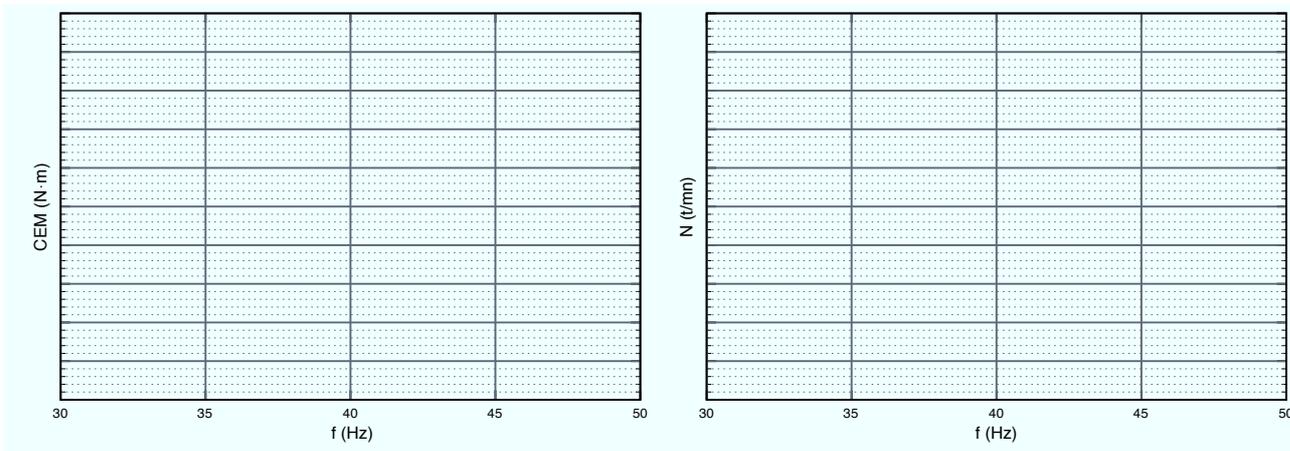
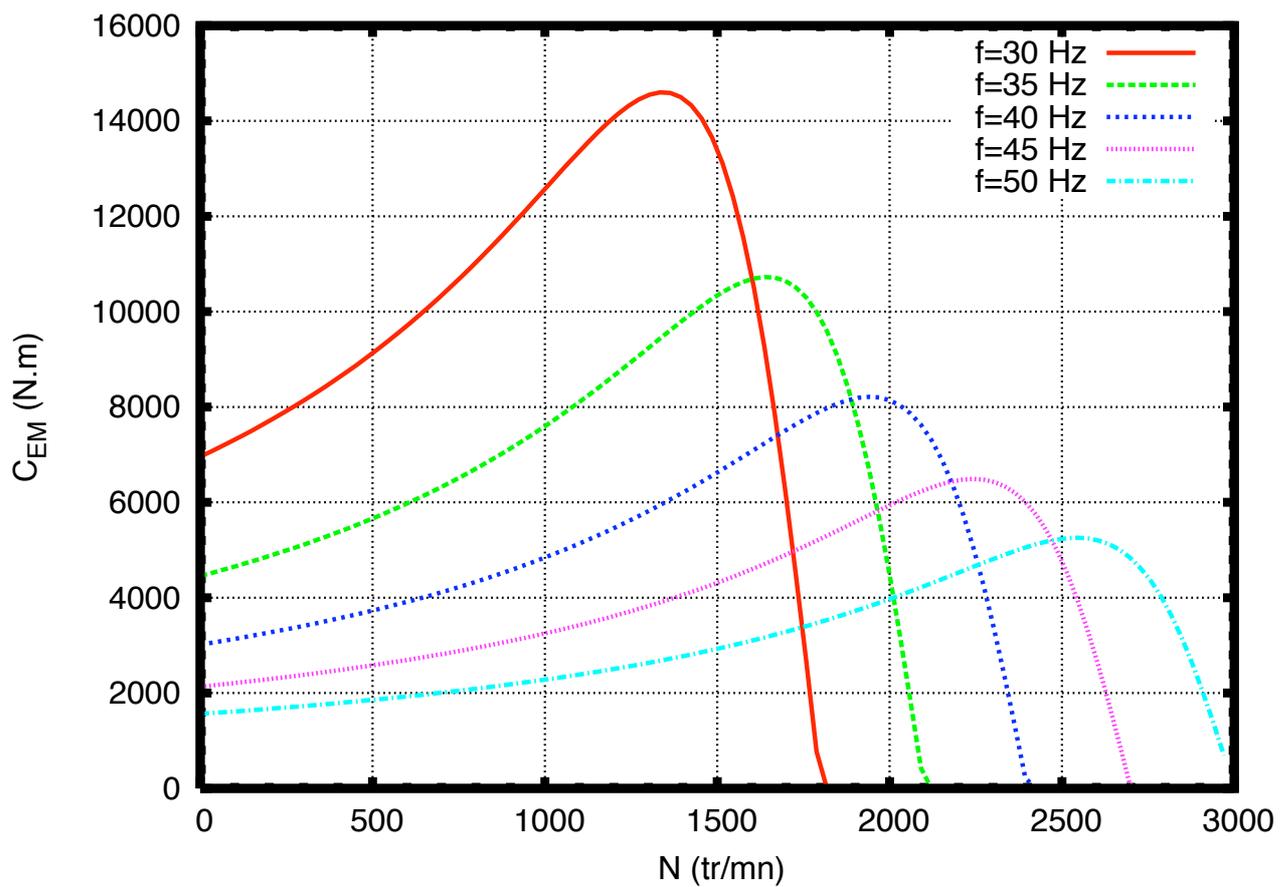


Figure 2

Fiche réponse.

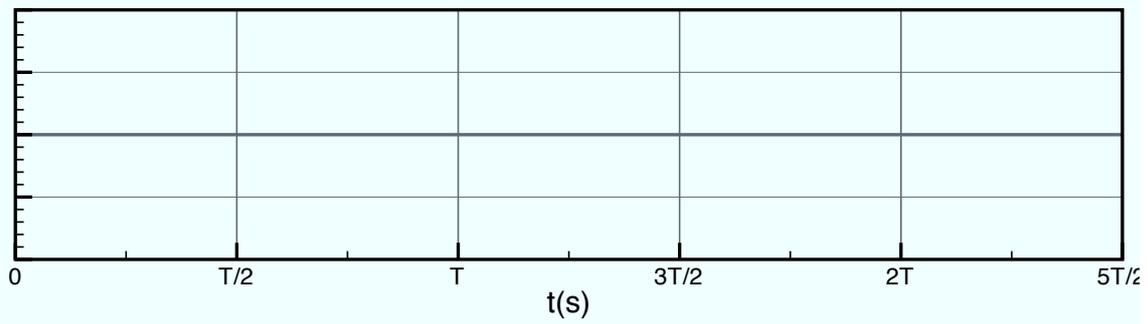
A rendre avec la copie

Numéro d'anonymat :

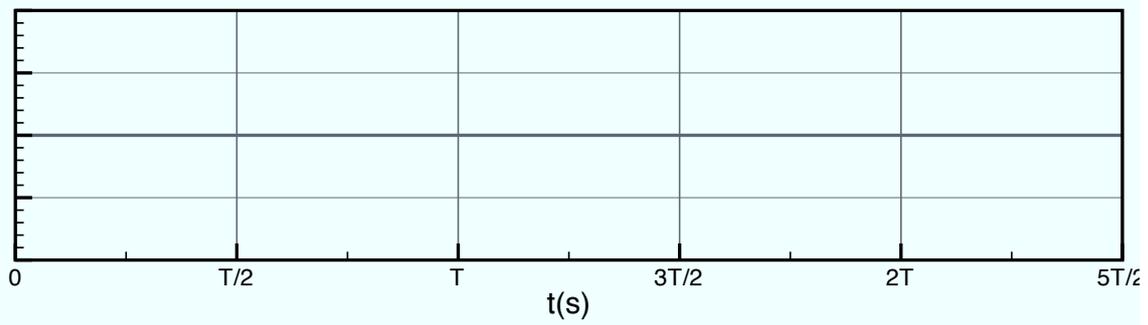


Chronogramme des signaux pour l'onduleur à transformateur à point milieu (à rendre avec la copie)

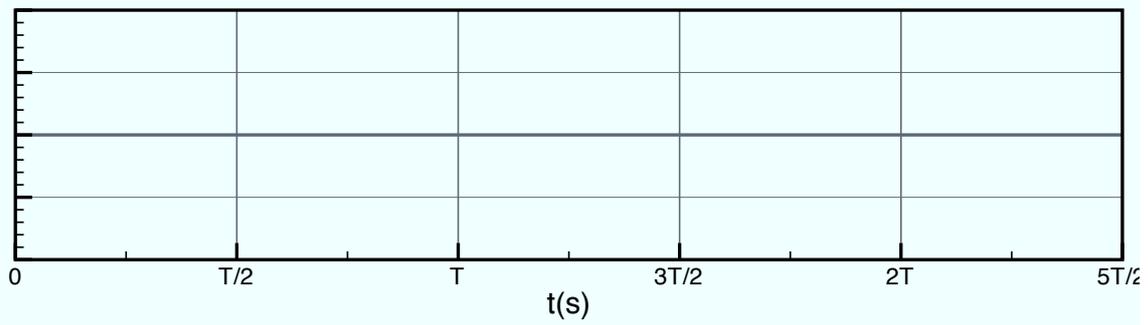
$V(t)$



$i(t)$



$i_1(t)$



$i_E(t)$

