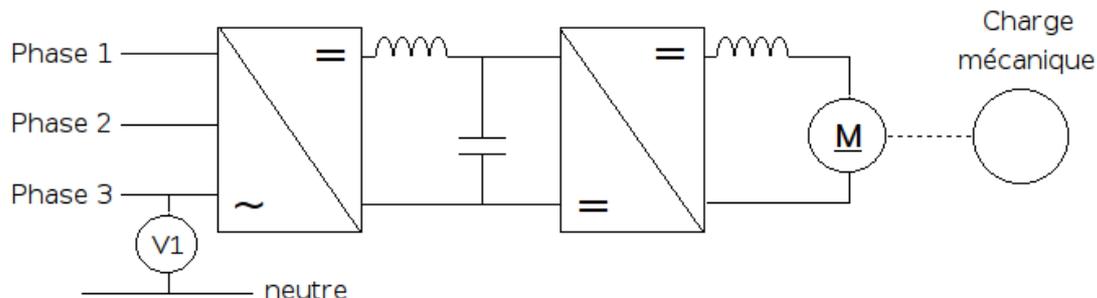


## Devoir n°11

Il est fortement conseillé de lire l'ensemble de l'énoncé avant de commencer.

Ce sujet porte sur une chaîne de motorisation comportant un variateur de vitesse pilotant une machine à courant continu qui entraîne une charge mécanique. Le dispositif est représenté sur le schéma ci-dessous.



Le convertisseur de gauche est un redresseur, celui de droite un hacheur quatre quadrants.

Les trois parties sont indépendantes.

### Partie 1 (11 points)

La machine à courant continu présente les caractéristiques suivantes :

Tension et intensité nominales pour l'induit : 220 V et 5,7 A

Tension et intensité nominales pour l'inducteur : 160 V et 0,25 A

Vitesse nominale : 1200 tr/min

Un essai rotor bloqué sous tension réduite a permis de mesurer une intensité dans l'induit égale à 5,7 A et une tension aux bornes de l'induit égale à 14 V.

L'intensité d'induit mesurée lors d'un essai à vide en fonctionnement moteur sous tension nominale est égale à 0,6 A.

La caractéristique à vide tracée pour la vitesse nominale est tracée à la page suivante.

#### 1. Modélisation de l'induit

- Déterminer les valeurs de la constante fém (en V/(tr/min)) puis de la constante de couple (en N.m/A) pour le courant inducteur nominal.
- Déterminer le couple de pertes.
- Déterminer la résistance de l'induit de la machine.

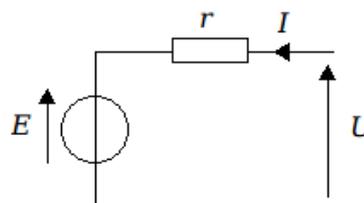
Pour la suite, on prendra 1,53 N.m/A pour la constante de couple ; 2,5  $\Omega$  pour la résistance de l'induit et un couple de pertes nul.

#### 2. Évolution du couple électromagnétique en fonction de la vitesse

Le schéma équivalent de l'induit de la machine est représenté ci-contre.

On rappelle que la fém est proportionnelle à la vitesse de rotation et que le couple électromagnétique est proportionnel à l'intensité du courant dans l'induit.

- Établir la relation entre  $U$ ,  $E$ ,  $r$  et  $I$ .



- b. Rappeler la relation entre  $E$  et la vitesse de rotation  $n$  exprimée en tours/min.
- c. Dédire des deux questions précédentes la relation entre  $U$ ,  $r$ ,  $I$ ,  $n$  et la constante de fém.
- d. Rappeler la relation entre le couple électromagnétique  $C_{em}$  et l'intensité dans l'induit.
- e. Dans l'équation trouvée à la question 2.c, remplacer le courant dans l'induit par son expression en fonction de  $C_{em}$  pour établir la relation entre  $U$ ,  $r$ ,  $n$  et  $C_{em}$ .

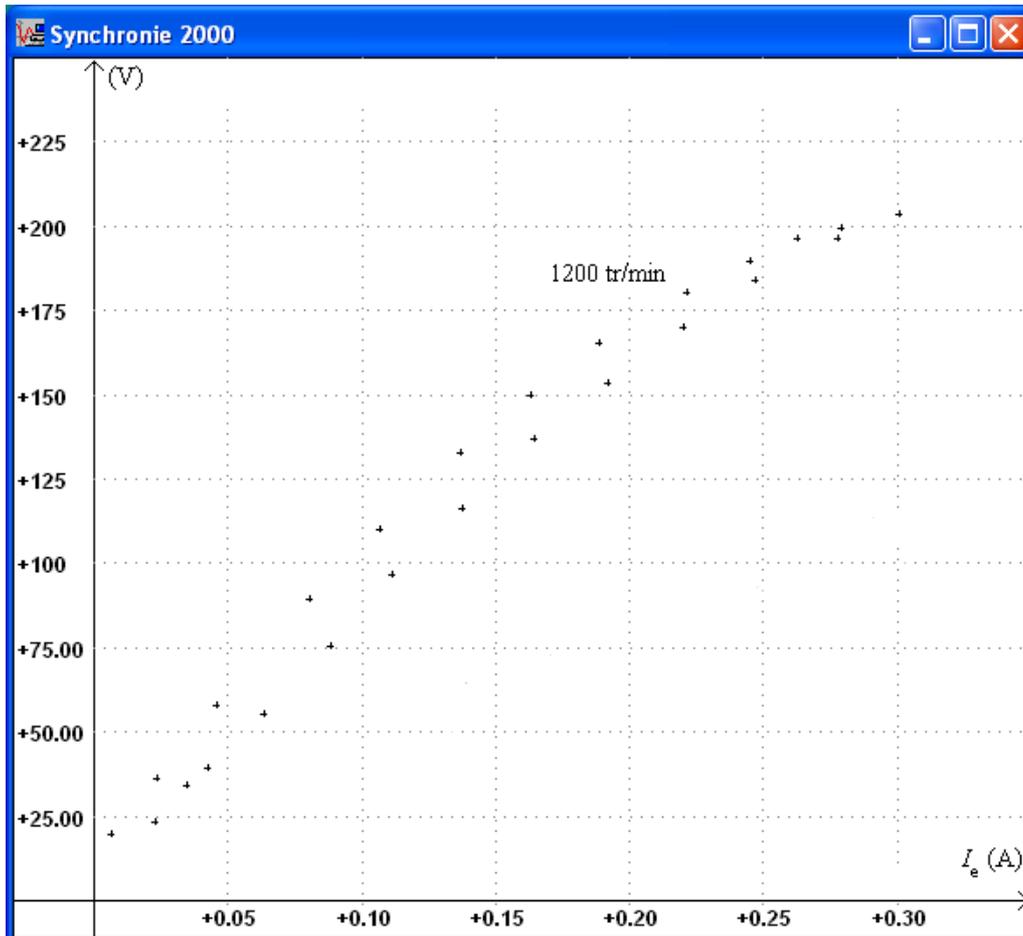
La relation trouvée à la question 2.e peut se mettre sous la forme  $C_{em} = B \cdot U - A \cdot n$  avec  $A$  et  $B$  des constantes.

- f. Écrire les constantes  $B$  et  $A$  en fonction des caractéristiques de la machine.

Pour la suite, on prendra  $C_{em} = 0,612 \cdot U - 98 \cdot 10^{-3} \cdot n$  avec  $U$  en V et  $n$  en tr/min.

- g. Sur le document réponse, tracer la caractéristique  $C_{em} = f(n)$  pour  $U = 200$  V.
- h. Déterminer par le calcul ou graphiquement la vitesse de rotation pour un couple électromagnétique égal à 5 N.m.

### Caractéristique à vide de la machine



### 3. Bilan énergétique et rendement

a. Utiliser l'un des essais pour déterminer les pertes à vide.

Les valeurs suivantes ont été relevées pour un point de fonctionnement en moteur :

Induit : 190 V et 5,1 A

Inducteur : 160 V et 0,25 A

b. Déterminer les pertes par effet Joule dans l'induit et celles dans l'inducteur.

c. Utiliser les résultats précédents pour déterminer les puissances absorbée et utile puis le rendement.

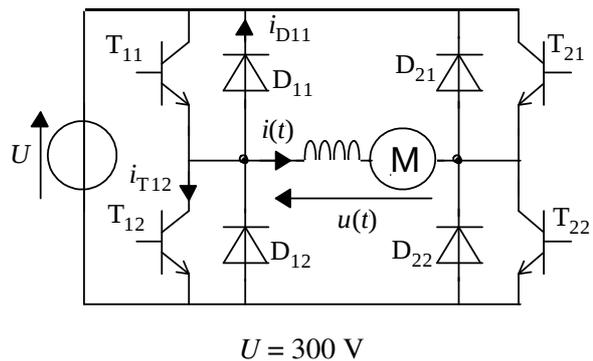
#### Partie 2 (5 points)

Le schéma du hacheur étudié dans cette partie est représenté ci-contre :

-  $T_{11}$  et  $T_{22}$  sont commandés à la fermeture de 0 à  $\alpha T$  et à l'ouverture de  $\alpha T$  à  $T$  ;

-  $T_{12}$  et  $T_{21}$  sont commandés à la fermeture de  $\alpha T$  à  $T$  et à l'ouverture de 0 à  $\alpha T$ .

La fréquence de fonctionnement du hacheur est égale à 1250 Hz. Pour les calculs qui suivent, l'induit de la machine est remplacé par sa fém  $E$  (la résistance de l'induit est supposée nulle.)



#### 1. Étude de la tension de sortie

a. Représenter la tension  $u(t)$  en fonction du temps pour  $\alpha = 0,25$  sur le document réponse.

b. Exprimer la valeur moyenne de  $u(t)$  en fonction de  $U$  et  $\alpha$ .

c. Indiquer les intervalles de conduction de  $T_{11}$ ,  $D_{11}$ ,  $D_{21}$  et  $T_{21}$  sur le document réponse.

#### 2. Ondulation du courant

a. Établir la relation entre  $u(t)$ ,  $E$ ,  $L$  et  $\frac{di(t)}{dt}$

b. Après quelques calculs, un étudiant a établi que l'expression du courant entre  $\alpha T$  et  $T$  est  $i(t) = \frac{-U-E}{L}t + C_2$ . Aidez-le à déterminer la constante  $C_2$  sachant que la valeur maximale du courant est notée  $I_{\max}$ .

c. L'expression du courant entre 0 et  $\alpha T$  est  $i(t) = \frac{U-E}{L}t + I_{\min}$ . Sachant que le courant est maximal

pour  $\alpha T$  montrer que l'ondulation du courant  $\Delta i = I_{\max} - I_{\min}$  peut s'écrire  $\Delta i = \frac{2U}{Lf} \alpha (1-\alpha)$ .

Pour ce calcul, on admettra que la fém est égale à la valeur moyenne de la tension de sortie du hacheur.

d. Calculer l'inductance  $L$  pour que l'ondulation maximale soit égale à 0,5 A.

### Partie 3 (4 points)

La valeur moyenne  $U_{\text{cmoy}}$  de la tension de sortie du redresseur est reliée à la valeur efficace  $U_1$  des tensions composées en entrée du redresseur par la relation  $U_{\text{cmoy}} = \frac{3U_1\sqrt{2}}{\pi}$ .

1. Calculer la valeur efficace des tensions composées en entrée du redresseur si sa tension de sortie doit avoir une valeur moyenne égale à 300 V.
2. Quelle est l'indication du voltmètre V1 (voir le schéma de la page 1) ?
3. Facteur de puissance et rendement du redresseur

Le réseau en entrée du redresseur a une fréquence égale à 50 Hz ; les tensions simples et composées sont sinusoïdales mais pas les intensités. La valeur efficace des tensions simples est égale à 130 V.

Des mesures ont permis de déterminer :

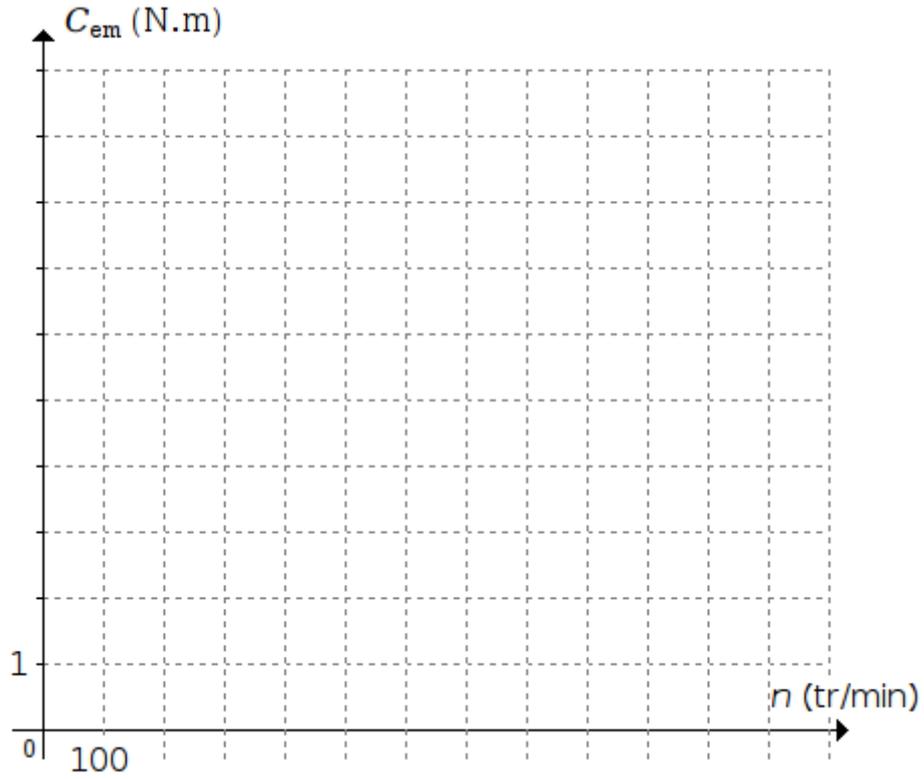
- Que le déphasage entre la tension simple et le fondamental du courant pour une même phase est nul.
- Que les puissances en entrée et en sortie du redresseur sont respectivement égales à 1100 W et 1020 W.
- Que la valeur efficace du courant mesurée dans un fil de ligne est de 2,96 A.

Pour un dispositif triphasé en régime non sinusoïdal, les puissances active et réactive, notées respectivement  $P$  et  $Q$ , sont données par :

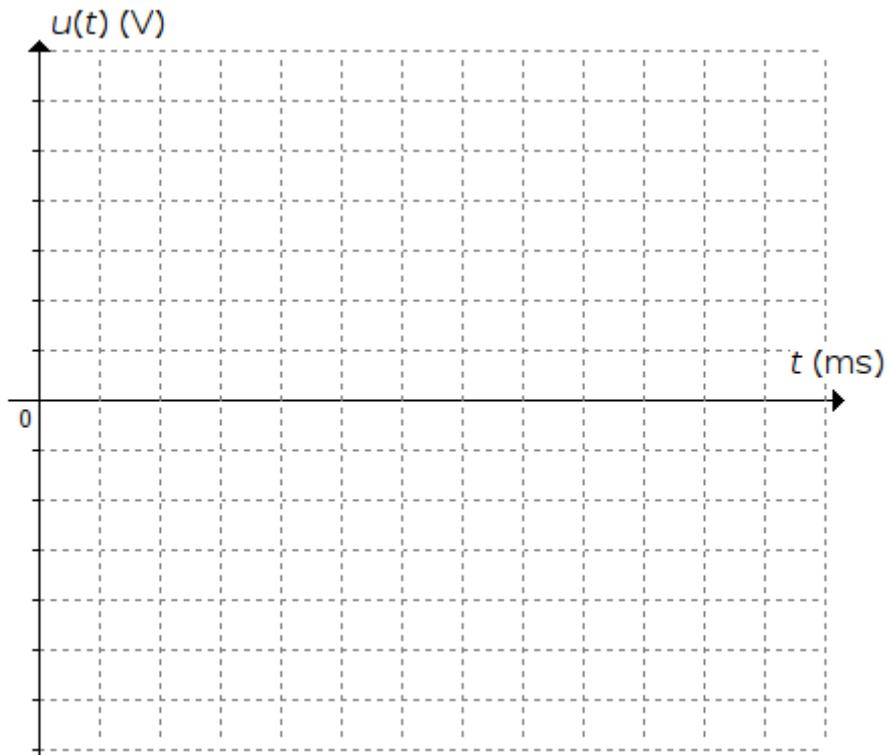
$$P = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \quad \text{et} \quad Q = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n$$
 avec  $U_n$  et  $I_n$  les valeurs efficaces des harmoniques de rang  $n$  des tensions composées et des intensités en ligne et  $\varphi_n$  le déphasage entre les harmoniques de rang  $n$  de la tension simple et de l'intensité pour une phase du dispositif.

- a. Existe-t-il des harmoniques autre que le fondamental pour les tensions en entrée du redresseur ?
- b. Utiliser un résultat des mesures et la réponse à la question précédente pour simplifier la relation donnant la puissance active.
- c. Calculer la valeur efficace du fondamental des courants en entrée du redresseur.
- d. Calculer la puissance apparente en entrée du redresseur.
- e. Calculer le rendement du redresseur.
- f. Calculer le facteur de puissance du redresseur.

Document réponse pour les questions 2.g et 2.h de la partie 1



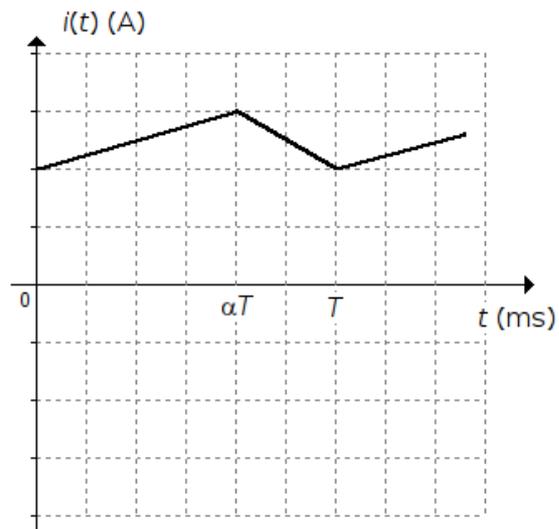
Document réponse pour la question 1.a de la partie 2



Une graduation horizontale pour 0,1 ms et une graduation verticale pour 50 V.

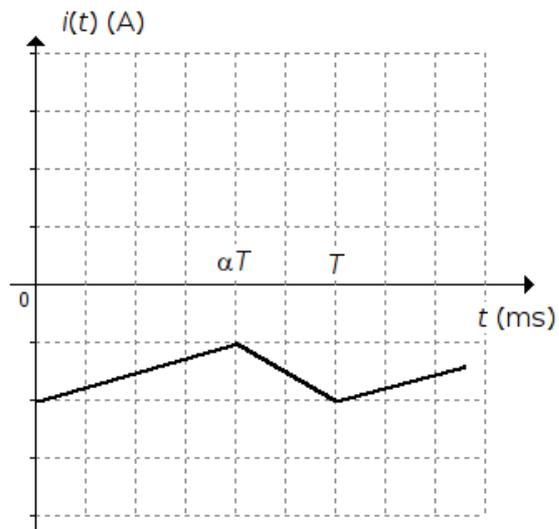
Documents réponses pour la question 1.c de la partie 2

Première situation



T<sub>11</sub> \_\_\_\_\_  
D<sub>11</sub> \_\_\_\_\_  
T<sub>21</sub> \_\_\_\_\_  
D<sub>21</sub> \_\_\_\_\_

Deuxième situation



T<sub>11</sub> \_\_\_\_\_  
D<sub>11</sub> \_\_\_\_\_  
T<sub>21</sub> \_\_\_\_\_  
D<sub>21</sub> \_\_\_\_\_