

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

Session 2002

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Série : Sciences et Technologies Industrielles

Spécialité : Génie Électrotechnique

Durée de l'épreuve : 4 heures

coefficient : 7

L'épreuve a été conçue pour être traitée SANS calculatrice

L'usage des calculatrices N'EST PAS autorisé

Les calculs sont facilités par la simplicité ou l'arrondi des données numériques.

Le sujet comporte 7 pages numérotées de 1 à 7 dont les documents-réponse pages 6 et 7 sont à rendre avec la copie.

Le sujet est composé de quatre parties pouvant être traitées de façon indépendante.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements, entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

On se propose d'étudier ici le fonctionnement simplifié d'une partie du TGV – Paris Sud Est.

Nous étudierons en particulier l'alimentation des moteurs à courant continu :

- soit à partir du réseau alternatif (25 kV, 50 Hz) ;
- soit à partir du réseau continu 1500 V.

Les valeurs numériques présentes dans cet énoncé ont été modifiées de façon à simplifier les calculs, les ordres de grandeurs restent respectés.

Partie I : Étude à partir du réseau monophasé (25 kV, 50 Hz)

On dispose d'un réseau monophasé (25 kV, 50 Hz).

On désire alimenter un pont mixte qui va permettre de commander un moteur à courant continu à excitation série.

On intercale entre le réseau et le pont redresseur, un transformateur qui permet d'alimenter ce pont sous une tension alternative de valeur efficace 1250 V.

A - Étude du transformateur

Ce transformateur a les caractéristiques suivantes :

tension primaire nominale : $U_{1n} = 25 \text{ kV}$

puissance apparente : 4000 kVA

On a réalisé deux essais qui ont permis d'obtenir les résultats suivants :

* Essai à vide : tension primaire nominale

tension secondaire à vide : $U_{20} = 1,25 \text{ kV}$

puissance absorbée au primaire : $P_{10} = 2 \text{ kW}$

* Essai en court circuit : tension primaire : $U_{1cc} = 1 \text{ kV}$

courant secondaire : $I_{2cc} = 3 \text{ kA}$

puissance absorbée au primaire : $P_{1cc} = 90 \text{ kW}$

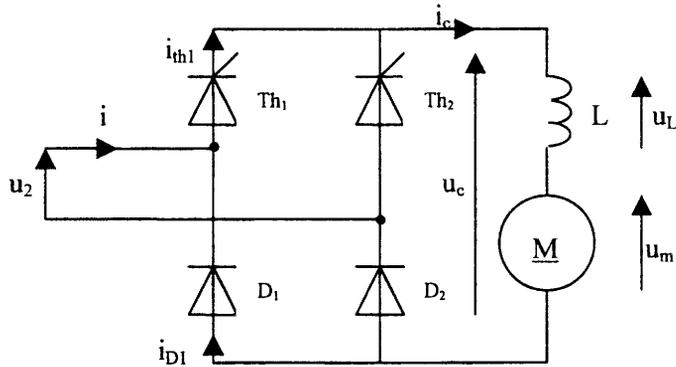
- 1) Déterminer le rapport de transformation.
- 2) Représenter le schéma équivalent du transformateur ramené au secondaire.
Établir les relations qui permettent de déterminer les éléments R_s et X_s du modèle équivalent de Thévenin de ce transformateur en utilisant ce modèle pour exploiter l'essai en court-circuit.
Calculer R_s .
- 3) On place en sortie de ce transformateur (côté basse tension) un pont mixte qui va alimenter le moteur du TGV. Le transformateur distribue alors un courant de 1 kA sous une tension de 1,2 kV.
 - 3.1) Donner l'allure de la représentation de Fresnel qui permet de déterminer la valeur du facteur de puissance secondaire.
 - 3.2) La chute de tension ΔU_2 au secondaire a pour expression :
$$\Delta U_2 = U_{20} - U_2 = R_s \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + X_s \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2$$

Quelle doit être la nature de la charge pour que la chute de tension secondaire soit nulle ?

B - Étude du pont mixte

Dans cette partie, nous supposons que :

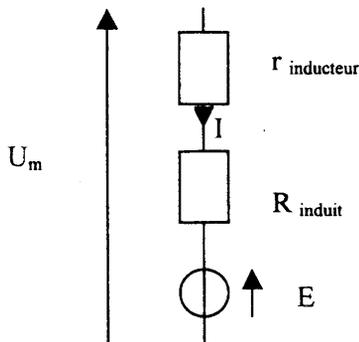
- la tension de sortie du transformateur est sinusoïdale de valeur efficace 1,2 kV ;
- le courant d'intensité i_c absorbé par le moteur (charge) est parfaitement lissé : $i_c = I_c$;
- l'angle de retard d'amorçage θ_0 défini par rapport à la commutation naturelle est égal à 30° .



- 1) Dessiner sur le document réponse N°1 la forme d'onde de la tension redressée u_c .
- 2) Dessiner, en concordance avec la tension précédente (document réponse N°1), les formes d'ondes des courants dans le thyristor Th_1 et dans la diode D_1 .
Vous prendrez soin d'indiquer les intervalles de conduction de chaque interrupteur ainsi que la nature des phases de fonctionnement (A : alimentation , RL : roue libre).
- 3) En déduire l'allure du courant en entrée du pont : $i(t)$.
Quel type d'appareil doit-on utiliser pour mesurer sa valeur efficace ?
- 4) On donne l'expression de la valeur moyenne $\langle u_c \rangle$ de la tension $u_c(t)$: $\langle u_c \rangle = \frac{\hat{U}_2}{\pi} (1 + \cos \theta_0)$.
Comment peut-on la mesurer ?
- 5) Donner l'expression de la puissance active P absorbée par le moteur en fonction de θ_0 .
Pour quelles valeurs de θ_0 cette puissance est-elle maximale et minimale ?

C - Étude du moteur à courant continu à excitation série

Du point de vue électrique, la machine est équivalente au circuit suivant :



La machine est parfaitement compensée.

Les grandeurs nominales sont les suivantes :

$$U_{mn} = 1000 \text{ V}$$

$$I_n = 500 \text{ A}$$

$$N_n = 3000 \text{ tr.min}^{-1}$$

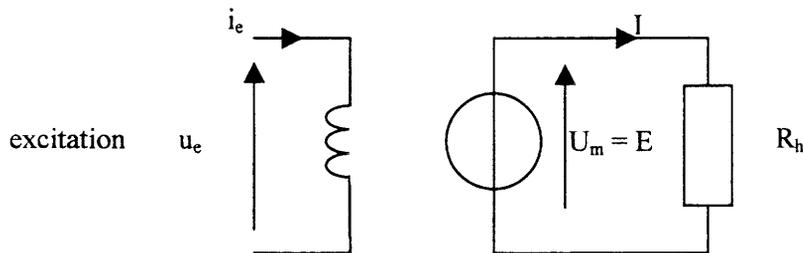
La vitesse de rotation du moteur est liée à la vitesse du train par la relation : $v = N/10$ (v en km.h^{-1} et N en tr.min^{-1}).

Pour un moteur de TGV, la résistance totale ($R_t = R + r$) est de l'ordre de $40 \text{ m}\Omega$.

- 1) Donner un schéma de principe avec les différents éléments permettant de faire les relevés suivants :
 - intensité I du courant traversant le moteur en fonction de la vitesse de rotation N : $I = f(N)$ à $U_m = \text{constante}$;
 - moment T_u du couple utile en fonction de cette même vitesse N : $T_u = f(N)$ à $U_m = \text{constante}$.
- 2) Donner l'allure de ces courbes.
Rappeler les procédures de mise en rotation et d'arrêt de ce type de moteur en précisant les précautions à prendre.
- 3) Déterminer la valeur nominale de la force électromotrice E .
- 4) Compléter littéralement le document réponse N°1 permettant d'établir le bilan de puissances de ce moteur série.
Sachant que les pertes totales par effet Joule sont de 10 kW et que les pertes collectives s'élèvent à 10 kW , calculer la puissance active absorbée ainsi que la puissance utile.

Lors du freinage, on fait fonctionner la machine à courant continu en génératrice à excitation indépendante. L'intensité du courant inducteur est maintenue constante à 200 A (flux constant) et l'induit de cette machine débite alors dans une résistance R_h : $R_h = 0,5 \Omega$.

La résistance R de l'induit ($R = 30 \text{ m}\Omega$) de la machine est négligeable devant R_h .



Un relevé de la caractéristique à vide à la fréquence de rotation de 2000 tr.min^{-1} a donné les résultats suivants : $i_e = 200 \text{ A}$ et $E = 500 \text{ V}$.

- 5) Lorsque le train roule à une vitesse de 100 km.h^{-1} , calculer la fréquence de rotation, la force électromotrice, l'intensité du courant d'induit.

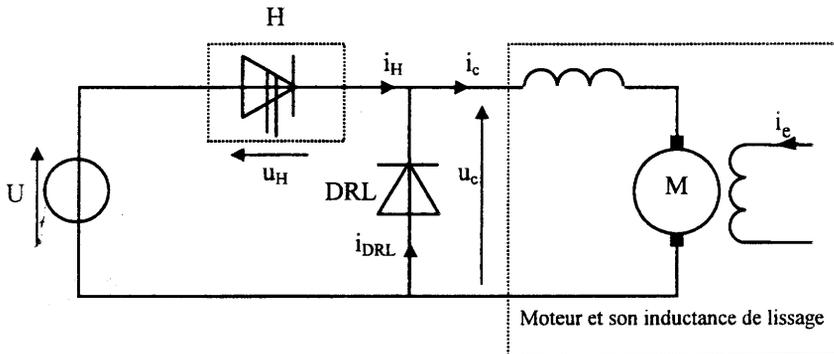
Partie II : Étude à partir du réseau continu 1500 V

On désire alimenter le moteur à courant continu sous une tension continue réglable entre 0 et 1000 V.

On intercale alors, entre le réseau et le moteur, un hacheur série.

Étude du hacheur série

Nous désirons étudier le montage suivant :

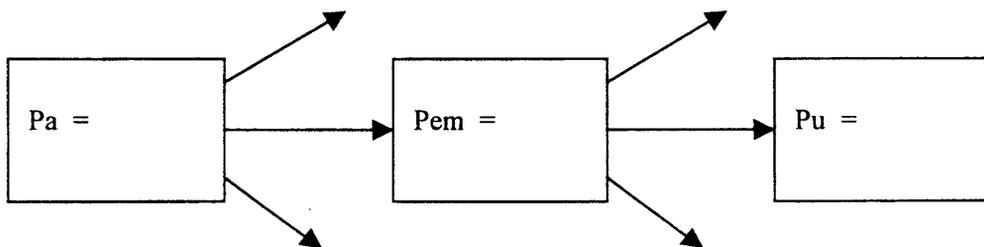
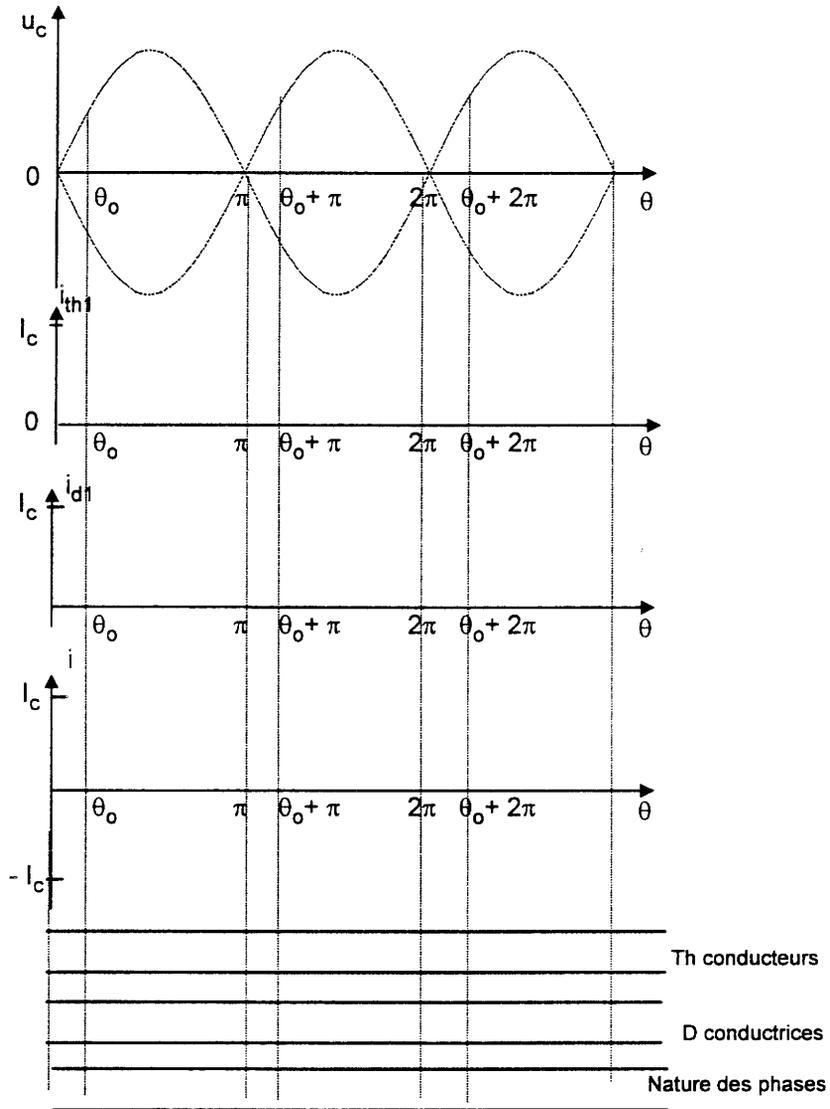


L'interrupteur H est fermé sur l'intervalle $[0 ; \alpha T]$ et ouvert sur l'intervalle $[\alpha T ; T]$.

Réseau : $U = 1500 \text{ V}$

- 1) Préciser le rôle de la diode de roue libre.
- 2) Représenter $u_c(t)$ et $u_H(t)$ pour $\alpha = 2/3$ sur le document réponse N°2.
- 3) Calculer la valeur moyenne de la tension $u_c(t)$.
- 4) Le moteur à courant continu garde les mêmes caractéristiques que dans la partie précédente : $R = 30 \text{ m}\Omega$. La charge mécanique impose au moteur un couple de moment constant tel que l'intensité du courant dans l'induit du moteur soit égale à 500 A ($i_c(t) = I_c = \text{cte}$) et ceci quelle que soit la fréquence de rotation.
Donner l'expression de $\langle u_c \rangle$ en fonction de $\langle u_m \rangle$ (valeur moyenne de $u_L = 0$).
Déterminer alors la valeur du rapport cyclique α permettant d'obtenir le démarrage du moteur.
(valeur moyenne de $u_L = 0$).
- 5) Représenter, sur le document réponse N°2, les intensités $i_H(t)$ et $i_{DRL}(t)$ des courants.
Exprimer leurs valeurs moyennes en fonction de l'intensité I_c du courant dans la charge et du rapport cyclique α .
- 6) On suppose maintenant que le courant dans la charge présente une ondulation.
Représenter l'intensité de ce courant sur le document réponse N°2.
On rappelle l'expression de l'ondulation de courant : $\Delta I_c = (I_{c\text{max}} - I_{c\text{min}})/2$ ainsi que l'équation de l'intensité du courant i_c sur l'intervalle $[0 ; \alpha T]$: $i_c(t) = [(U - E) / L] t + I_{c\text{min}}$
Donner l'expression littérale de $I_{c\text{max}}$ en fonction de U , E , L , αT et $I_{c\text{min}}$.
Exprimer alors l'ondulation de courant en fonction des paramètres suivants : α , U , f (fréquence de commande de l'interrupteur H) et L (On considérera : $\alpha U = E$ donc R négligeable).
Comment doit on agir sur ces différents paramètres si on veut limiter cette ondulation de courant ?

DOCUMENT RÉPONSE N°1



DOCUMENT RÉPONSE N°2

