

DIRECTION DES EXAMENS ET DES CONCOURS (DEXCO)

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR / SESSION 2024

FILIERE INDUSTRIELLE : ELECTROTECHNIQUE

EPREUVE :

PHYSIQUE APPLIQUEE

Durée : 5 H

Coefficient : 4

ATTENTION

CETTE EPREUVE EST COMPOSEE DE QUATRE PROBLEMES INDEPENDANTS QUE LE CANDIDAT DEVRA RESOUDRE SUR DES FEUILLES DE COPIES INDEPENDANTES.

CHAQUE FEUILLE DE COPIE DEVRA PORTER UN STICKER ET TOUTES LES FEUILLES DE COPIES D'UN MEME CANDIDAT DOIVENT OBLIGATOIREMENT ETRE REGROUPEES.

PROBLEME 1 : ELECTROTECHNIQUE (60 points)

Un moteur asynchrone triphasé hexapolaire de puissance utile nominale 160 kW, entraîne un ventilateur. La caractéristique mécanique, moment du couple en fonction de la vitesse du ventilateur obéit à la relation : $T_r = 0,001147934 \times N^2$ avec T_r : couple résistant en N.m et N : vitesse en tr.min^{-1}

Le facteur de puissance en fonctionnement nominal est $\cos\varphi = 0,84$.

La pulsation des courants rotoriques ω_r est constant et égal à $2,5 \text{ rad.s}^{-1}$.

Dans tout le problème, on néglige les pertes statoriques par effet Joule, les pertes dans le fer, les inductances de fuite et les pertes mécaniques.

1. Étude des caractéristiques du moteur en fonctionnement nominal

1.1. Donnez l'expression du couple utile du moteur en fonction de la vitesse N du moteur sous

la forme $T_u = \frac{A}{N}$ avec A un nombre à déterminer (N en tr.min^{-1} et T_u en N.m)

1.2. En supposant qu'en fonctionnement nominal le couple du moteur est égal au couple du ventilateur, calculez la vitesse de l'ensemble moteur – ventilateur en fonctionnement nominal.

1.3. Calculez le couple nominal du moteur correspondant.

1.4. Donnez l'expression de g (glissement) en fonction de Ω_s et Ω . Avec Ω_s et Ω respectivement la vitesse angulaire de synchronisme et vitesse angulaire du rotor.

1.5. Montrez qu'il existe une relation entre ω , ω_r et N , relation de la forme $\omega = k \times N + \omega_r$.

Calculez k .

ω : pulsation des courants statoriques en rad/s ; ω_r : pulsation des courants rotoriques en rad/s et N : vitesse du rotor en tr.min^{-1}

1.6. Pour le point de fonctionnement nominal avec $k=0,314$, calculer :

1.6.1. La pulsation ω et la fréquence f du réseau d'alimentation.

1.6.2. Le glissement.

1.6.3. La vitesse de synchronisme en tr.min^{-1} .

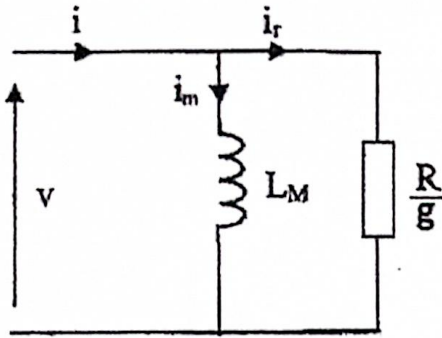
1.6.4. La puissance active absorbée par le moteur.

1.6.5. Le rendement du moteur.

2. Étude du moment du couple moteur et variation de vitesse

Le moteur est alimenté par un onduleur qui lui fournit une tension et une fréquence variable. La commande de l'onduleur engendre, à partir de la mesure de Ω (vitesse angulaire de rotation), la pulsation ω telle que, à chaque instant : $\omega = \omega_r + p \Omega$. Avec p nombre de paires de pôles.

On utilise le schéma équivalent ramené au stator d'une phase du moteur



R : résistance d'une phase rotorique ramenée au stator

L_M : inductance magnétisante par phase.

g : glissement

$L_M = 14,5\text{mH}$ et $R = 9\text{m}\Omega$.

2.1. Donnez l'expression de la valeur efficace I_r du courant i_r en fonction de L_M , R , ω_r et de I valeur efficace de i . Avec ω_r : pulsation des courants rotoriques

2.2. Mettez le couple moteur sous forme $T_m = \frac{a}{\frac{b}{\omega_r} + c \times \omega_r} \times I^2$ avec T_m en N.m et I valeur efficace de i en ampères. On déterminera la valeur des coefficients b et c sachant que $a = 1$.

2.3. L'ensemble moteur – ventilateur est entraîné à 1000tr.min^{-1} . Calculez, en régime établi :

2.3.1. La pulsation des courants statoriques imposée par l'onduleur

2.3.2. Le glissement du moteur

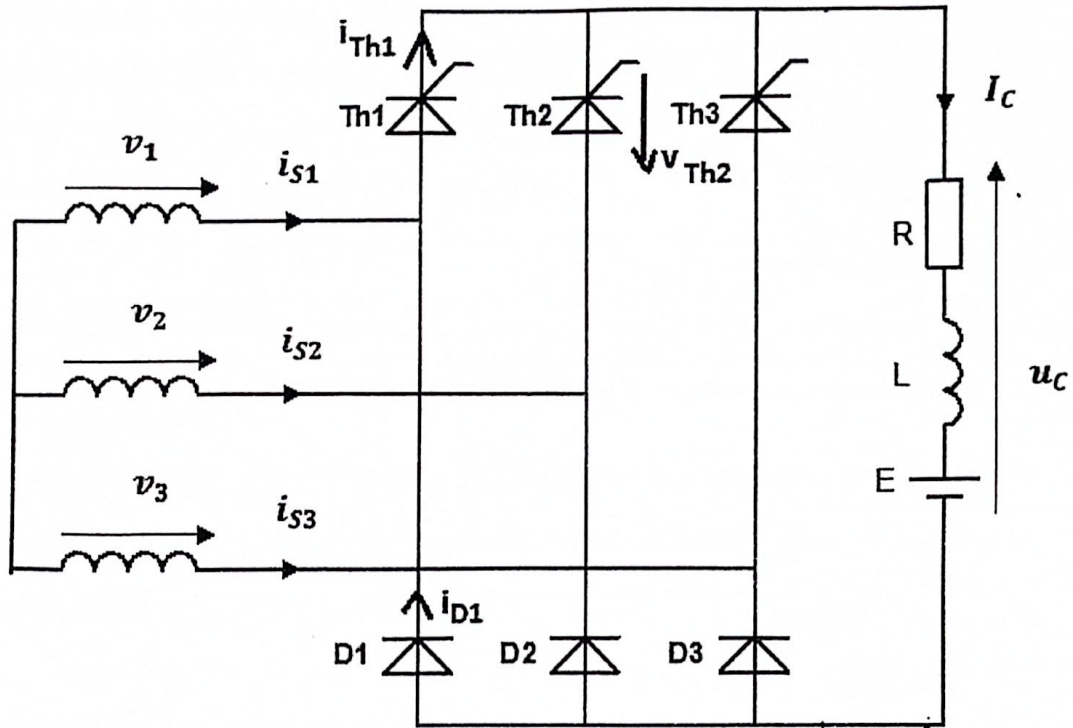
2.3.3. La puissance utile fournie par le moteur

2.3.4. Le courant absorbé par le moteur

PROBLEME 2 : ELECTRONIQUE DE PUISSANCE (20 points)

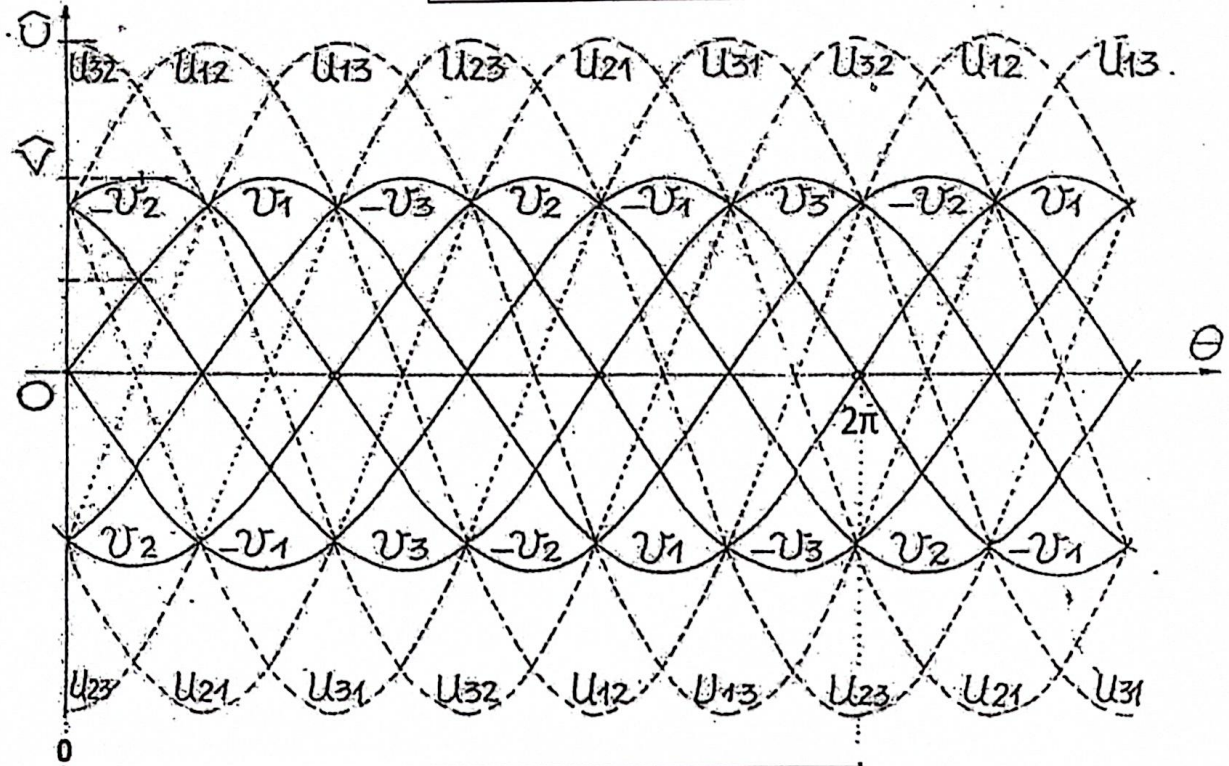
Le pont PD3 mixte représenté ci-dessous alimente un récepteur de f.é.m $E = 272\text{V}$ de résistance interne $0,2\Omega$ et d'inductance L .

On note que le courant dans le récepteur est constant et égal à 25A . Les thyristors sont amorcés avec un retard d'angle $\alpha = 30^\circ$

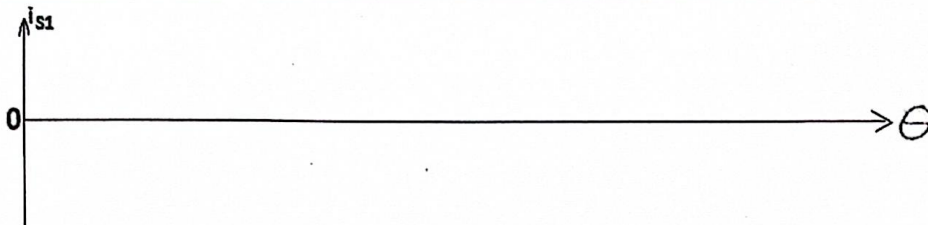


$$v_1 = V_m \sqrt{2} \sin \Theta ; v_2 = V_m \sin (\Theta - 2\pi/3) ; v_3 = V_m \sin (\Theta + 2\pi/3) ; \text{Fréquence} = 50\text{Hz}$$

1. Analyser le fonctionnement du montage en remplissant le tableau du document réponse. Tracer les courbes de $u_C(\Theta)$; $v_{th2}(\theta)$ et $i_{S1}(\Theta)$ sur le document réponse de la page 4/6.
2. Calculer l'amplitude U_m des tensions composées du secondaire du transformateur
3. Déterminer la fréquence de la tension redressée $u_C(\Theta)$ aux bornes de la charge
4. Calculer la valeur efficace du courant dans un enroulement secondaire du transformateur
5. Calculer :
 - 5.1. La puissance absorbée par la charge
 - 5.2. La puissance apparente au secondaire du transformateur
 - 5.3. Le facteur de puissance au secondaire du transformateur



Th1	
Th2	
Th3	
D1	
D2	
D3	
u_c	
i_{Th1}	
i_{D1}	
i_{s1}	
v_{Th2}	



PROBLEME 3 : ELECTRONIQUE ANALOGIQUE (20 points)

On considère tout d'abord le montage Trigger dont le schéma est à la figure 1 ci-dessus :

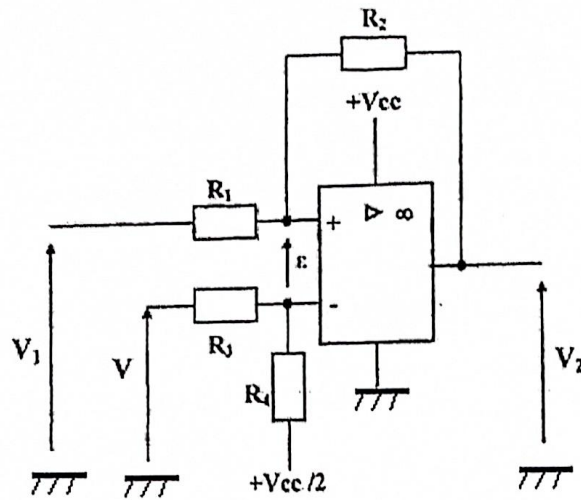


Figure 1

V est une tension continue.

V^+ potentiel de l'entrée non inverseuse par rapport à la masse.

V^- potentiel de l'entrée inverseuse par rapport à la masse.

1. Calculer V^+ , V^- et en déduire l'expression de ε en fonction de V , V_1 , V_2 , V_{cc} et des différentes résistances du montage.
2. Donner l'expression des deux seuils (c'est-à-dire les valeurs particulières de V_1 qui entraînent le basculement de la sortie) V_{1h} et V_{1b} ($V_{1h} > V_{1b}$), en fonction de V , de V_{cc} et des différentes résistances du montage.
3. On appelle centre, la valeur correspondante à la demi - somme des deux seuils trouvés précédemment. Exprimer ce centre, et donner la condition à vérifier sur les résistances si on veut que le centre soit égal à V (on supposera cette vérifiée par la suite).
4. Donner la caractéristique de transfert du montage.
5. On appelle la largeur de la fenêtre L , la distance entre les deux seuils. Exprimer L puis donner les valeurs numériques de R_2 et R_4 (avec $R_1=R_3=2k\Omega$) pour avoir $L=1$ volt.

PROBLEME 4 : AUTOMATIQUE (20 points)

Soit un système d'entrée $u(t)$ et de sortie $y(t)$ représenté par l'équation différentielle suivante :

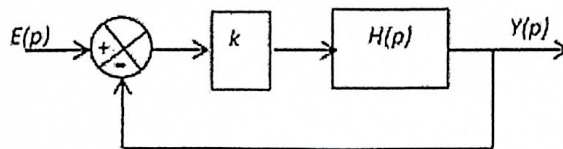
$$10\ddot{y}(t) + 17\dot{y}(t) + y(t) = 4u(t)$$

1. Déterminer la transformée de Laplace du système puis donner sa fonction de transfert (les conditions initiales sont nulles)

$$H(P) = \frac{Y(P)}{U(P)}$$

2. On donne : $H(P) = \frac{4}{(1+P)(1+2P)(1+5P)}$

Le système est mis dans une boucle de régulation avec une correction proportionnelle donné par la représentation suivante :



- 2.1. Déterminer la fonction de transfert en boucle fermée $T(p)$.
- 2.2. En utilisant le critère de Routh, déterminer la condition de stabilité sur k .
- 2.3. Quel est la valeur du gain critique k_c qui permet d'avoir la limite de stabilité ?
3. Étude harmonique du système en boucle ouverte avec $k=1$
 - 3.1. Cette étude nous a permis de remplir le tableau suivant :

$\omega(\text{rad/s})$	0,01	0,03	0,1	0,2	0,3	0,6	0,9	2
$ H(j\omega) _{dB}$	12	11,9	10,9	8,2	5,2	-3,2	-10	-27
$\arg(H(j\omega))$	-4,5	-13,7	-43,6	-78	-104	-153	-180	-223,7

- 3.2. Représenter le système dans le diagramme de Bode (document réponse page 7/7), déterminer la marge de gain et la marge de phase puis en déduire la stabilité du système en boucle fermée.

