

TD 02 : Moteurs à courant continu

Exercice 1

L'induit d'un moteur à courant continu à aimants permanents est alimenté par un convertisseur électronique fournissant une tension réglable de 0 à 250 V. On donne ses caractéristiques nominales :

Tension d'induit : $U = 220$ V Intensité : $I = 30$ A
Résistance d'induit : $R_a = 0,2$ Ω Vitesse : $N = 1\,500$ tr/mn

1. Quelle tension faut-il appliquer aux bornes de l'induit, lors du démarrage direct du moteur, pour que l'intensité initiale absorbée soit $1,5.I_n$?
2. Calculer les valeurs de la f.e.m du moteur, de la puissance électromagnétique et du couple électromagnétique, pour le fonctionnement nominal.
3. Pour un fonctionnement particulier, l'induit absorbe 15 A sous 220 V.
 - a. Montrer que le couple électromagnétique est proportionnel au courant dans l'induit.
 - b. Calculer les nouvelles valeurs du couple électromagnétique et de la vitesse.
 - c. Quelle tension doit-on appliquer à l'induit pour que la vitesse reste égale à la valeur nominale et le couple garde la valeur trouvée à la question 3.b.

Exercice 2

Un moteur à courant continu à aimants permanents a les caractéristiques nominales suivantes :

$U_n = 200$ V $I_n = 10$ A $P_{un} = 1\,700$ W $N_n = 1\,800$ tr/mn $R_a = 2,0$ Ω

1. Calculer pour le fonctionnement nominal la valeur de la force électromotrice du moteur.
2. Montrer que la f.c.e.m peut s'écrire sous la forme $E = k_e.n$; calculer la valeur de la constante k_e dans les unités du système international.
Quelle est la valeur de la f.c.e.m si la vitesse de rotation est de 900 tr/min ?

3. Montrer que le couple électromoteur peut s'écrire sous la forme :

$$C = k_c.I \quad \text{avec} \quad k_c = k_e/2.\pi \approx 3/\pi = 0,95 \text{ S.I}$$

Calculer le couple électromoteur pour l'intensité nominale.

4. La caractéristique $C_u = f(N)$ du moteur est assimilable à une droite telle qu'à vide la vitesse est de 2 000 tr/min et pour un fonctionnement en charge $N = 1\,800$ tr/min avec $C_u = 9$ Nm.
La caractéristique mécanique $C_r = f(N)$ de la machine entraînée est une droite passant par les points ($C_r = 3$ Nm ; $N = 1\,540$ tr/mn) et ($C_r = 12$ Nm ; $N = 2\,000$ tr/mn).
Déterminer la vitesse à laquelle le moteur entraîne la machine ainsi que le couple qu'il développe.
5. Pour le régime de fonctionnement nominal, calculer :
 - a. la puissance absorbée par le moteur et les pertes par effet Joule ;
 - b. les pertes collectives et le couple correspondant ;
 - c. le moment du rendement du moteur.

Exercice 3

Un scooter fonctionne grâce à un moteur à excitation séparée. On suppose que sa vitesse V exprimée en km/h est proportionnelle à la vitesse de rotation n du moteur en tr/mn. Lorsque l'arbre du moteur tourne à 800 tr/mn, le scooter roule à 45 km/h.

A. Etude du moteur à tension d'induit U constante

Le moteur est alimenté sous sa tension nominale de 18 V, l'induit absorbe alors un courant de 100 A. L'inducteur alimenté par une tension d'excitation $U_{ex} = 18$ V est parcouru par un courant constant $I_{ex} = 1,5$ A. La vitesse nominale est $N_n = 800$ tr/mn. La résistance de l'induit est $R_a = 0,05 \Omega$.

La réaction magnétique de l'induit est parfaitement compensée.

1. Montrer que l'expression de la f.c.e.m peut s'écrire : $E = k.N$; calculer la valeur du coefficient K_e lorsque N est exprimé en tr/mn.
2. Montrer que lorsque $I = I_n = 100$ A, la vitesse de rotation n et la tension d'alimentation U sont liées par la relation numérique suivante : $n = 61,5.U - 307$ [tr/mn ; Volts].
3. Démontrer que le couple électromagnétique C_{em} s'écrit sous la forme suivante : $C_{em} = K_c.I$; calculer la valeur du coefficient K_c .
4. Montrer que l'expression liant le couple électromagnétique à la vitesse de rotation N en tr/mn et la tension d'alimentation U en Volts peut se mettre sous la forme suivante : $C_{em} = 3,1.U - 0,05.N$.
5. Calculer les pertes par effet Joule totales de ce moteur pour $I = I_n$.
6. Pour le fonctionnement nominal, la somme des pertes dans le fer et des pertes mécaniques vaut $P_c = 344$ W. Déterminer les valeurs de la puissance utile et du rendement.

B. Etude du moteur sous tension d'induit U réduite

Le conducteur du scooter dispose d'un mode de conduite économique, la tension d'induit du moteur est alors : $U_{eco} = 13,7$ V.

1. A l'aide du résultat de la question A.4, donner l'expression liant le couple électromagnétique C_{em} à la vitesse de rotation N en tr/mn.
2. Pour un couple électromagnétique développé $C_{em} = 15,8$ Nm, déterminer la vitesse de rotation du moteur ainsi que la vitesse de scooter.

Exercice 4

Un moteur shunt est alimenté sous une tension constante de 200 V et absorbe un courant $I = 22$ A. Les résistances de l'induit et de l'inducteur sont respectivement de $0,5 \Omega$ et 100Ω , les pertes constantes sont de 200 W.

1. Calculer :
 - a. l'intensité des courants d'excitation et d'induit ;
 - b. la valeur de la force contre électromotrice ;
 - c. les pertes par effet Joule dans l'inducteur et dans l'induit ;
 - d. la puissance absorbée, la puissance utile et le rendement du moteur.
2. La valeur de la résistance du rhéostat à insérer en série avec l'induit, si l'on désire limiter son courant à 30 A au démarrage.
3. On équipe le moteur d'un rhéostat de champ. Donner son rôle et indiquer dans quelle position doit se trouver ce rhéostat au démarrage.

Exercice 5

Un moteur shunt possède les caractéristiques suivantes : Tension d'alimentation $U = 220 \text{ V}$; Résistance de l'inducteur $R_d = 110 \Omega$; Résistance de l'induit $R_a = 0,2 \Omega$.

1. La vitesse de rotation est de $1\,500 \text{ tr/mn}$ quand l'induit absorbe un courant de 75 A . calculer :
 - a. les valeurs de la force contre électromotrice et de la puissance absorbée;
 - b. la valeur de la puissance utile, les pertes constantes étant de 700 W ;
 - c. le rendement et le moment du couple utile.
2. Calculer la vitesse de rotation lorsque le courant induit est 45 A , puis lorsque le moteur est à vide (On négligera les pertes Joule devant les pertes constantes).
3. Quelle valeur faut-il donner à la résistance du rhéostat d'excitation pour obtenir une vitesse de $1\,650 \text{ tr/mn}$ avec le même courant I égal à 75 A (On considérera que le flux magnétique est proportionnel au courant d'excitation).

Exercice 6

Un moteur à excitation série possède une résistance interne totale $R_t = 0,1 \Omega$. On suppose que son circuit magnétique n'est pas saturé. Le moteur est utilisé à sa puissance maximale. Alimenté sous une tension $U = 750 \text{ V}$, il est traversé par un courant d'intensité $I = 200 \text{ A}$, la vitesse de rotation de l'arbre vaut alors $n = 10 \text{ tr/s}$.

1. Déterminer la valeur de la force contre électromotrice du moteur.
2. Calculer le moment de son couple électromagnétique, le couple utile sur l'arbre n'est alors que de $2\,100 \text{ Nm}$.
3. Calculer le rendement du moteur.
4. Le moteur est maintenant alimenté sous tension variable, il entraîne une charge qui impose au moteur un couple électromagnétique dont le moment est lié à la vitesse de rotation par la relation suivante : $C_{em} = 18.n^2 + 520$, avec C_{em} en Nm et n en tr/s .
 - a. Vérifier que le moteur est bien capable d'entraîner cette charge, sur toute la gamme de vitesse entre 0 à 10 tr/s .
 - b. Calculer l'intensité du courant, puis la tension à appliquer pour obtenir une vitesse de rotation $n_0 = 5 \text{ tr/s}$.

Exercice 7

La plaque signalétique d'un moteur série indique : $240 \text{ V} - 15 \text{ A} - 3 \text{ kW} - 1\,500 \text{ tr/mn}$.
La résistance totale du moteur est $R_t = 2 \Omega$.

1. Le moteur est alimenté sous une tension $U = 240 \text{ V}$ maintenue constante, calculer pour le fonctionnement nominal :
 - a. la valeur de la force contre électromotrice et le moment du couple utile ;
 - b. la valeur de la puissance absorbée et le rendement ;
 - c. les pertes dues à l'effet Joule, en déduire la valeur des pertes collectives.
2. On alimente maintenant le moteur sous une tension variable.
 - a. Le circuit magnétique n'est pas saturé, montrer que le f.c.e.m s'écrit sous la forme $E = k.n.I$. Calculer la valeur numérique du coefficient k si n est exprimé en tr/s .

- b. Le moteur entraîne une charge imposant un couple résistant constant, montrer que si on néglige le couple de pertes, le moteur absorbe un courant constant.
- c. Etablir l'équation des variations de la vitesse n (en tr/s) en fonction de la tension U lorsque l'intensité du courant absorbée par le moteur est $I = 15$ A.

Exercice 8

Un moteur série, essayé à vide et en génératrice à excitation séparée, a donné à une vitesse de rotation $N = 1\,200$ tr/mn les résultats suivants :

E_0	A	0	100	200	300	350	375
I_{ex}	V	0	10	20	30	40	50

La réaction magnétique de l'induit est parfaitement compensée. Les résistances de l'induit et de l'inducteur mesurées à chaud sont respectivement : $R_a = 0,8 \Omega$ et $R_s = 0,2 \Omega$.

La machine fonctionne en moteur série sous tension fixe $U = 230$ V.

1. Pour le courant d'induit d'intensité nominale $I_n = 30$ A. Calculer :
 - a. la valeur de la force contre électromotrice E' ;
 - b. la vitesse de rotation N ;
 - c. le moment du couple électromagnétique C_{em} ;
 - d. le moment du couple utile, sachant que la somme des pertes fer et des pertes mécaniques est de 500 W à 1 200 tr/mn et qu'elles sont supposées proportionnelles à la vitesse de rotation. Vérifier que le couple de pertes reste constant, quel que soit la vitesse de rotation.
2.
 - a. Vérifier que pour $I \leq 30$ A , le circuit magnétique n'est pas saturé et par conséquent que l'on peut écrire : $\phi = k.I$
 - b. Démontrer que le couple électromagnétique peut s'écrire sous la forme : $C_{em} = K_c.I^2$. Calculer la valeur du coefficient K_c , sachant que le couple de perte est $C_p = 4$ Nm.
 - c. Calculer le courant absorbé par le moteur si sa charge est accidentellement débranchée.
3. Le moteur est alimenté sous 230 V et travaille à couple résistant constant ($C_r = C_u$ calculé à la question 1.d).
 - a. On désire limiter le courant de démarrage à $1,5.I_n$, calculer la valeur de la résistance R_{HD} à placer en série avec l'induit.
 - b. Calculer le moment du couple de démarrage.
 - c. Si, accidentellement, la résistance R_{HD} reste en série avec l'induit, quelle sera la vitesse de rotation du moteur en régime permanent ?