

Correction de la Série N°2
(Moteurs à courant continu)

Exercice n°1

Un moteur à excitation séparée porte sur sa plaque les indications suivantes :

$$P=1550W, U=115V, I=16A, N=2000tr/mn$$

1. Calculer le couple utile du moteur dans les conditions normales.
2. A excitation constante, on abaisse à 80V la tension d'alimentation, mais on agit sur le couple résistant de façon telle que le courant absorbé reste égale à 16 A. Quelle est alors la vitesse de rotation du moteur ? On donne : $R_a=0.8\Omega$ et on néglige la RMI.

Correction :

Puisque l'excitation est séparée, la plaque signalétique indique :

$$P = P_u = 1550W ; U = U_a = 115V ; I = I_a = 16A \text{ et } N_1 = 2000tr/mn$$

1. Calculer le couple utile du moteur dans les conditions normales.

$$\text{On a : } C_u = P_u / \Omega \Rightarrow \boxed{C_u = 7.4 \text{ N.m}}$$

2. A excitation constante, on abaisse à 80V la tension d'alimentation, mais on agit sur le couple résistant de façon telle que le courant absorbé soit égale à 16 A. Quelle est alors la vitesse de rotation du moteur ?

On a deux fonctionnements avec i_{ex} constant. On peut écrire :

- Fonct. 1 $\rightarrow E_v = U_a - R_a.I_a \Leftrightarrow k.\Phi.N_1 = U_a - R_a.I_a$ -----(1)
- Fonct. 2 $\rightarrow E_v' = U_a' - R_a.I_a \Leftrightarrow k.\Phi.N_2 = U_a' - R_a.I_a$ -----(2)

$$(1)/(2) \Rightarrow N_1/N_2 = 1.52 \Rightarrow \boxed{N_2 = 1315 \text{ tr/mn}}$$

Exercice n°2

Un moteur à cc à excitation shunt de résistance d'induit $R_a=0.1 \Omega$ et de résistance de l'inducteur $R_e=60 \Omega$ est alimenté sous une tension constante $U=120V$. Il tourne à 900 tr/mn et consomme un courant de 70 A et fournit un couple utile de 80 N.m. La RMI est négligeable.

1. Calculer les pertes Joule dans l'enroulement d'excitation.
2. Déterminer son rendement ?
3. Calculer les pertes Joule dans l'enroulement d'induit et les pertes rotationnelles (mécaniques) en négligeant les pertes fer.
4. On diminue la charge mécanique, le courant consommé devient : $I' = 35A$? Sachant que le courant d'excitation et la tension d'alimentation restent constants, quel serait le nouveau rendement ?
5. Quelle seraient sa vitesse et son couple utile dans les conditions de (4) ?

Correction :

Moteur shunt, $R_a = 0.1 \Omega$; $R_e = 60 \Omega$; $U = U_a = 120V$; $I = 70A$; $N = 900\text{tr/mn}$; $C_u = 80\text{N.m}$.

1. Calculer les pertes Joule dans l'enroulement d'excitation.

$$p_{J.ex} = R_e \cdot i_{ex}^2 \quad \text{avec : } i_{ex} = U/R_e = 2A \quad \Rightarrow \quad \boxed{p_{J.ex} = 240 \text{ W}}$$

2. Quel est son rendement réel ?

$$\eta = P_u/P_{a_{\text{tot}}} , \quad \text{avec : } P_u = C_u \cdot \Omega = 7536 \text{ W} ;$$

$$\text{et puisque le moteur est shunt, } P_{a_{\text{tot}}} = U \cdot I = 8400 \text{ W avec } I = I_a + i_{ex} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\eta = 89.7 \%}$$

3. Calculer les pertes Joule dans l'enroulement d'induit et les pertes rotationnelles (mécaniques) en négligeant les pertes fer.

$$p_{J.a} = R_a \cdot I_a^2 \quad \text{avec : } I_a = I - i_{ex} = 68 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad \boxed{p_{J.a} = 462.4 \text{ W}}$$

Selon le bilan des puissances, on peut écrire:

$$P_a = P_u + p_{J.a} + p_{J.ex} + p_m \quad \Rightarrow \quad p_m = P_a - P_u - p_{J.a} - p_{J.ex}$$

$$\text{d'où, la puissance absorbée par le moteur est : } P_a = U \cdot I = 8400 \text{ W} \Rightarrow \quad \boxed{p_m = 161.6 \text{ W}}$$

4. On diminue la charge mécanique, le courant consommé devient : $I' = 35A$? Sachant que le courant d'excitation et la tension d'alimentation restent constants, quel serait le nouveau rendement ?

$$\eta' = P_u'/P_{a'_{\text{tot}}} , \quad \text{avec : } P_{a'_{\text{tot}}} = U \cdot I' = 4200 \text{ W} \quad \text{et} \quad P_u' = P_a' - p'_{J.a} - p_{J.ex} - p_m$$

$$\text{avec : } p'_{J.a} = R_a \cdot I_a'^2 = R_a \cdot (I' - i_{ex})^2 = 108.9 \text{ W} \quad \text{et} \quad p_m = 161.6 \text{ W} \text{ pertes constantes} \Rightarrow P_u' = 3689.5 \text{ W}$$
$$\Rightarrow \quad \boxed{\eta' = 87.8 \%}$$

5. Quelle seraient sa vitesse et son couple utile dans les conditions de (4) ?

- On a deux fonctionnements avec excitation constante :

$$\bullet \text{ Fonct. 1} \rightarrow E_v = U_a - R_a \cdot I_a \Leftrightarrow k \cdot \Phi \cdot N = U_a - R_a \cdot I_a \text{ -----(1)}$$

$$\bullet \text{ Fonct. 2} \rightarrow E_v' = U_a - R_a \cdot I_a' \Leftrightarrow k \cdot \Phi \cdot N' = U_a - R_a \cdot I_a' \text{ -----(2)}$$

$$(1)/(2) \Rightarrow N' = N \cdot (116.7/113.2) \Rightarrow \quad \boxed{N' = 927.8 \text{ tr/mn}}$$

- Le nouveau couple utile est :

$$C_u' = P_u'/\Omega' \quad \Rightarrow \quad \boxed{C_u' = 38 \text{ N.m}}$$

Exercice n°3

Un moteur à cc à excitation série de résistance d'induit $R_a=0.2\Omega$ et de résistance d'inducteur $R_{e.s}=0.1\Omega$ est alimenté par une tension constante $U=230\text{ V}$, la RMI est négligeable et le circuit magnétique n'est pas saturé. À la vitesse $N_1=1200\text{tr/mn}$, il consomme un courant $I_1=40\text{A}$.

- a) Quel est le couple électromagnétique C_{e1} qu'il développe ?
- b) Quelle serait sa vitesse N_2 s'il consommait seulement un courant $I_2=20\text{A}$?
- c) Quel serait son couple C_{e2} ?

Correction :

Moteur série, avec : $R_a = 0.2\ \Omega$; $R_{ex.s} = 0.1\ \Omega$; $U = 230\text{ V}$; $N_1 = 120\text{ tr/min}$; $I_1 = 40\text{ A}$.

- a) Quel est le couple électromagnétique C_{e1} qu'il développe ?

$$C_{e1} = E_{v1}.I_{a1}/\Omega_1 = U_a - (R_a + R_{ex.s}).I_{a1}/\Omega_1 \text{ avec : } I_{a1} = I_1 \Rightarrow \boxed{C_{e1} = 69.4\text{ N.m}}$$

- b) Quelle serait sa vitesse N_2 s'il consommait seulement un courant $I_2=20\text{ A}$?

$$\text{Fonctionnement (1)} \rightarrow E_{v1} = k.I_1.N_1 \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Fonctionnement (2)} \rightarrow E_{v2} = k.I_2.N_2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\Rightarrow (1)/(2) \text{ donne : } E_{v1}/E_{v2} = I_1.N_1/I_2.N_2 \Rightarrow \boxed{N_2 = 2466\text{ tr/min}}$$

$$\text{Avec : } E_{v1} = U_a - (R_a + R_{ex.s}).I_{a1} = 218\text{ V} \quad \text{et} \quad E_{v2} = U_a - (R_a + R_{ex.s}).I_{a2} = 224\text{ V}$$

- c) Quel serait son couple C_{e2} ?

$$C_{e2} = E_{v2}.I_{a2}/\Omega_2 \Rightarrow \boxed{C_{e2} = 17.35\text{ N.m}}$$

Exercice n°4

Un moteur à courant continu à excitation séparée présente les caractéristiques nominales suivantes : tension nominale d'alimentation 250V ; $U_{ex} = 200V$; $R_a = 0.85\Omega$; $R_e = 100\Omega$

Pour le même courant d'excitation, deux essais ont été effectués sous la tension nominale :

- **A vide**, on mesure : $P_{a0} = 500W$; $I_{a0} = 2.5A$; $N_0 = 1600$ tr/min ;
- **En charge**, on mesure : $I_a = 30 A$;

- 1) Pour l'essai à vide, calculer : **a)** la f.c.e.m ; **b)** les pertes constantes.
- 2) Pour l'essai en charge, calculer : **a)** la puissance électromagnétique ; **b)** les pertes Joule dans l'induit est l'inducteur ; **c)** la puissance utile ; **d)** le rendement réel ; **e)** la vitesse de rotation.

Correction : Moteur à excitation séparée avec $R_a = 0.85\Omega$; $R_e = 100\Omega$

1) Pour l'essai à vide, on a : $U = U_a = 250V$; $P_{a0} = 500W$; $I_0 = I_{a0} = 2.5A$; $N_0 = 1600$ tr/min

a) $E_{v0} = U_a - R_a \cdot I_{a0} \Rightarrow \boxed{E_{v0} = 247.8 V}$

b) $P_{a0} = P_u + p_{ja0} + p_{coll}$ on sait qu'à vide, $P_u = 0 \Rightarrow p_{coll} = P_{a0} - p_{ja} \Rightarrow \boxed{p_{coll} = 494.7 W}$

2) Pour l'essai en charge, on a : $U = U_a = 250 V$; $I_a = 30 A$

a) $P_e = E_v \cdot I_a$ avec : $E_v = U_a - R_a \cdot I_a \Rightarrow \boxed{E_v = 224.5 V} \Rightarrow \boxed{P_e = 6735 W}$

b) $p_{ja} = R_a \cdot I_a^2 = 765 W$ et $p_{jex} = R_e \cdot i_{ex}^2 = U_{ex}^2 / R_e = 400 W$

c) Au niveau de l'induit : $P_u = P_a - p_{ja} - p_{coll} \Rightarrow \boxed{P_u = 6240.3 W}$

d) Le rendement réel est : $\eta = P_u / (P_a + P_{ex}) \Rightarrow \boxed{\eta = 79\%}$

e) Les deux essais ont été effectués à flux constant, donc on peut écrire :

$$E_{v0} = k \cdot \phi \cdot N_0 \dots (1)$$

$$E_v = k \cdot \phi \cdot N \dots (2)$$

(1)/(2) $\Rightarrow N = N_0 \cdot E_v / E_{v0} \Rightarrow \boxed{N = 1449 \text{ tr/min}}$

Exercice n°5

Soit un moteur à courant continu à excitation séparée. L'excitation est ajustée pour avoir une force électromotrice égale à 250V pour une vitesse de 350 tr/min. La résistance totale de l'induit est $0,005 \Omega$ et le maximum du courant admissible est 2000 A.

On procède au démarrage direct de ce moteur à l'aide d'une source à courant-continu dont la tension est 250 V. Le démarrage se produit à vide tout en négligeant les frottements. Le moment d'inertie a pour valeur $J = 230 \text{ kg.m}^2$.

1. Quel est le courant au démarrage ?
2. Quelle est la valeur de la résistance de démarrage permettant un démarrage sans dépasser la valeur admissible du courant ?
3. Quel est l'inconvénient de garder la résistance de démarrage branchée une fois que le moteur a démarré.
4. Que pouvez-vous dire sur le temps nécessaire pour arriver au régime permanent de la vitesse sans et avec résistance additionnelle.

Correction :

1. Quel est le courant au démarrage I_{a_d} ?

- Au démarrage, la vitesse du moteur est nulle ($N = 0 \text{ tr/min}$) $\Rightarrow E_v = k \cdot \Phi \cdot N = 0$.
- L'équation de circuit de l'induit est donnée par : $U = U_a = E_v + R_a \cdot I_a$

Où : $U = 250 \text{ V}$; $E_v = 0$ (au démarrage) ; $R_a = 0.005 \Omega \Rightarrow I_{a_d} = U_a/R_a = 50000 \text{ A} \dots \dots !!$

2. Quelle est la valeur de la résistance de démarrage permettant un démarrage sans dépasser la valeur admissible du courant ?

- Le courant admissible maximal est de $I_{adm} = 2000 \text{ A}$. Nous devons ajouter une résistance de démarrage (R_d) en série avec l'induit (de résistance R_a) pour limiter le courant au démarrage de telle sorte que $I_{a_d} = I_{adm}$.
- Alors au démarrage, on peut écrire : $U_a = (R_a + R_d) \cdot I_{adm} \Rightarrow R_d = U_a/I_{adm} - R_a \Rightarrow R_d = 0.12 \Omega$

3. Quel est l'inconvénient de garder la résistance de démarrage branchée une fois que le moteur a démarré ?

- **Perte de puissance** : après le démarrage, si on garde R_d , une chute de tension supplémentaire aura lieu ce qui traduit par une perte Joule inutile dans cette résistance ($p_{J,R_d} = R_d \cdot I_a^2$) qui surchauffe la résistance et réduit le rendement du moteur.
- **Réduction de la vitesse et du couple** : après le démarrage, si on garde R_d , la chute de tension supplémentaire réduit U_a et I_a . Par conséquent, on remarque une diminution significative sur la vitesse et le couple.

4. Que pouvez-vous dire sur le temps nécessaire pour arriver au régime permanent de la vitesse sans et avec résistance additionnelle.

Le temps nécessaire pour atteindre le régime permanent sera plus court sans R_d et plus long avec R_d . Ceci est dû au fait que la résistance de démarrage limite le courant de démarrage et donc le couple moteur, ce qui réduit l'accélération du moteur.

Démo. La constante du temps mécanique sans R_d est définie comme suit : $\zeta_{m,1} = R_a \cdot J/k$

La constante du temps mécanique avec R_d est définie comme suit : $\zeta_{m,2} = (R_a + R_d) \cdot J/k$

On constate que : $\zeta_{m,2} > \zeta_{m,1}$

Exercice n°6

Un moteur à courant continu en shunt fonctionne à 220V et tire un courant nominal d'induit de 20A et tourne à une vitesse de 2200 tr/min. La résistance d'induit est de 0.4Ω . Pour le freinage par contre-courant, la polarité de l'alimentation de l'induit est inversée et une résistance externe R_L est ajoutée en série avec l'induit pour limiter le courant à 150% du courant nominal. Calculez :

1. La force électromotrice (FEM) du moteur juste avant le freinage.
2. Le courant de freinage initial.
3. La résistance externe nécessaire à ajouter pour le freinage par inversion du courant.
4. Le couple de freinage initial.

Correction :

1. **Force électromotrice (CEM) juste avant le freinage :**

○ En fonctionnement normal, $U_a = E_v + R_a.I_a \Rightarrow E_v = 212 \text{ V}$

2. **Courant de freinage initial et couple de freinage initial :**

○ Il est égal à 150% du courant nominal $\Rightarrow I_{a_f} = 30 \text{ A}$

3. **Résistance externe de limitation :**

○ Au moment de freinage par inversion, on aura : $-U_a = E_v + (R_a + R_L).I_{a_f} \Rightarrow$ en valeur absolue la résistance de limitation est : $R_L = 14 \Omega$

4. **Le couple de freinage initial :**

○ Juste au moment de freinage, on a : $C_f = P_f/\Omega$, avec : $P_f = E_v.I_{a_f} = 6360 \text{ W}$

$\Rightarrow C_f = 27.62 \text{ N.m}$