

**Travaux dirigés sur la machine à courant continu**  
**LST.GESA**  
**Pr.Dr.BOUZI**



### Exercice : génératrice à courant continu à excitation indépendante

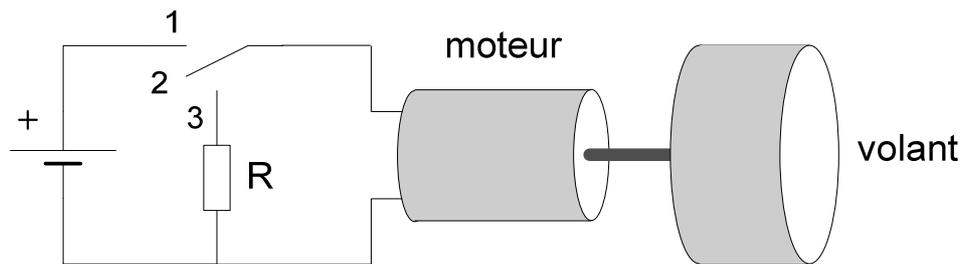
La plaque signalétique d'une génératrice à courant continu à excitation indépendante indique :

11,2 Nm	1500 tr/min	
induit	220 V	6,8 A
excitation	220 V	0,26 A
masse	38 kg	

- 1- Calculer la puissance mécanique consommée au fonctionnement nominal.
- 2- Calculer la puissance consommée par l'excitation.
- 3- Calculer la puissance utile.
- 4- En déduire le rendement nominal.

### Exercice : Expérience avec un moteur à courant continu à aimants permanents

Un moteur à courant continu à aimants permanents est couplé à un volant d'inertie (disque massif) :



- 1- On place le commutateur en position 1 : le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale. On place ensuite le commutateur en position 2 :

- Le moteur s'emballe
- Le moteur change de sens de rotation
- Le moteur s'arrête lentement
- Le moteur s'arrête rapidement

(Cocher la ou les bonnes réponses)

- 2- On place à nouveau le commutateur en position 1. Puis on commute en position 3.

- 2-1- Que se passe-t-il ?
- 2-2- Que se passe-t-il si on diminue la valeur de la résistance R ?
- 2-3- Donner une application pratique.

**Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante**

Un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante est alimenté sous 240 V. La résistance d'induit est égale à  $0,5 \Omega$ , le circuit inducteur absorbe 250 W et les pertes collectives s'élèvent à 625 W.

Au fonctionnement nominal, le moteur consomme 42 A et la vitesse de rotation est de 1200 tr/min.

1- Calculer :

- la f.e.m.
- la puissance absorbée, la puissance électromagnétique et la puissance utile
- le couple utile et le rendement

2- Quelle est la vitesse de rotation du moteur quand le courant d'induit est de 30 A ?  
Que devient le couple utile à cette nouvelle vitesse (on suppose que les pertes collectives sont toujours égales à 625 W) ?  
Calculer le rendement.

**Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante**

La plaque signalétique d'un moteur à excitation indépendante porte les indications suivantes :

$U = 240 \text{ V}$	$I = 35 \text{ A}$
$P = 7 \text{ kW}$	$n = 800 \text{ tr/min}$

Calculer (à la charge nominale):

- 1- Le rendement du moteur sachant que les pertes Joule inducteur sont de 150 watts.
- 2- Les pertes Joule induit sachant que l'induit a une résistance de  $0,5 \Omega$ .
- 3- La puissance électromagnétique et les pertes « constantes ».
- 4- Le couple électromagnétique, le couple utile et le couple des pertes « constantes ».

## Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante

Une machine d'extraction est entraînée par un moteur à courant continu à excitation indépendante.

L'inducteur est alimenté par une tension  $u = 600 \text{ V}$  et parcouru par un courant d'excitation d'intensité constante :  $i = 30 \text{ A}$ .

L'induit de résistance  $R = 12 \text{ m}\Omega$  est alimenté par une source fournissant une tension  $U$  réglable de  $0 \text{ V}$  à sa valeur nominale :  $U_N = 600 \text{ V}$ .

L'intensité  $I$  du courant dans l'induit a une valeur nominale :  $I_N = 1,50 \text{ kA}$ .

La fréquence de rotation nominale est  $n_N = 30 \text{ tr/min}$ .

N.B. Les parties 1, 2, 3 sont indépendantes.

### 1- Démarrage

1-1- En notant  $\Omega$  la vitesse angulaire du rotor, la fem du moteur a pour expression :  $E = K\Omega$  avec  $\Omega$  en rad/s.

Quelle est la valeur de  $E$  à l'arrêt ( $n = 0$ ) ?

1-2- Dessiner le modèle équivalent de l'induit de ce moteur en indiquant sur le schéma les flèches associées à  $U$  et  $I$ .

1-3- Ecrire la relation entre  $U$ ,  $E$  et  $I$  aux bornes de l'induit, en déduire la tension  $U_d$  à appliquer au démarrage pour que  $I_d = 1,2 I_N$ .

1-4- Citer un système de commande de la vitesse de ce moteur.

### 2- Fonctionnement nominal au cours d'une remontée en charge

2-1- Exprimer la puissance absorbée par l'induit du moteur et calculer sa valeur numérique.

2-2- Exprimer la puissance totale absorbée par le moteur et calculer sa valeur numérique.

2-3- Exprimer la puissance totale perdue par effet Joule et calculer sa valeur numérique.

2-4- Sachant que les autres pertes valent  $27 \text{ kW}$ , exprimer et calculer la puissance utile et le rendement du moteur.

2-5- Exprimer et calculer le moment du couple utile  $T_u$  et le moment du couple électromagnétique  $T_{em}$ .

### 3- Fonctionnement au cours d'une remontée à vide

3-1- Montrer que le moment du couple électromagnétique  $T_{em}$  de ce moteur est proportionnel à l'intensité  $I$  du courant dans l'induit :  $T_{em} = KI$ .

On admet que dans le fonctionnement au cours d'une remontée à vide, le moment du couple électromagnétique a une valeur  $T_{em}'$  égale à  $10 \%$  de sa valeur nominale et garde cette valeur pendant toute la remontée.

3-2- Calculer l'intensité  $I'$  du courant dans l'induit pendant la remontée.

3-3- La tension  $U$  restant égale à  $U_N$ , exprimer puis calculer la fem  $E'$  du moteur.

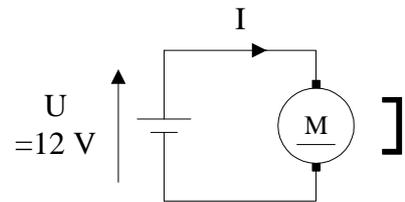
3-4- Exprimer, en fonction de  $E'$ ,  $I'$  et  $T_{em}'$ , la nouvelle fréquence de rotation  $n'$ . Calculer sa valeur numérique.

**Exercice : moteur à courant continu à aimants permanents (moteur de rétroviseur électrique)**

Un moteur de rétroviseur électrique d'automobile a les caractéristiques suivantes :

Moteur à courant continu à aimants permanents  
62 grammes  $\varnothing$  28 mm longueur 38 mm  
tension nominale  $U_N=12$  V  
fem ( $E$  en V) =  $10^{-3} \times$  vitesse de rotation ( $n$  en tr/min)  
résistance de l'induit  $R=3,5 \Omega$   
pertes collectives 1,6 W

Le moteur est alimenté par une batterie de fem 12 V, de résistance interne négligeable (voir figure).



1- A vide, le moteur consomme 0,20 A.

Calculer sa fem et en déduire sa vitesse de rotation.

2- Que se passe-t-il si on inverse le branchement du moteur ?

3- En charge, au rendement maximal, le moteur consomme 0,83 A.

Calculer :

- la puissance absorbée
- les pertes Joule
- la puissance utile
- le rendement maximal
- la vitesse de rotation
- la puissance électromagnétique
- le couple électromagnétique
- le couple utile
- le couple des pertes collectives

4- Justifier que le couple électromagnétique est proportionnel au courant d'induit.

Vérifier que :  $T_{em}(\text{en Nm}) = 9,55 \cdot 10^{-3} \cdot I$  (en A)

5- Calculer le courant au démarrage.

En déduire le couple électromagnétique de démarrage.

6- Le moteur tourne sous tension nominale.

Que se passe-t-il si un problème mécanique provoque le blocage du rotor ?

## **Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante**

Un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante a les caractéristiques suivantes :

- tension d'alimentation de l'induit :  $U = 160 \text{ V}$

- résistance de l'induit :  $R = 0,2 \Omega$

1- La fem  $E$  du moteur vaut  $150 \text{ V}$  quand sa vitesse de rotation est  $n = 1500 \text{ tr/min}$ .  
En déduire la relation entre  $E$  et  $n$ .

2- Déterminer l'expression de  $I$  (courant d'induit en A) en fonction de  $E$ .

3- Déterminer l'expression de  $T_{em}$  (couple électromagnétique en Nm) en fonction de  $I$ .

4- En déduire que :  $T_{em} = 764 - 0,477 \cdot n$

5- On néglige les pertes collectives du moteur. Justifier qu'alors :

$$T_u (\text{couple utile}) = T_{em}$$

6- Calculer la vitesse de rotation du moteur à vide.

7- Le moteur entraîne maintenant une charge dont le couple résistant varie proportionnellement avec la vitesse de rotation ( $20 \text{ Nm}$  à  $1000 \text{ tr/min}$ ).

Calculer la vitesse de rotation du moteur en charge :

- par une méthode graphique

- par un calcul algébrique

En déduire le courant d'induit et la puissance utile du moteur.

**Exercice : moteur à courant continu à excitation série**

1- Donner le schéma électrique équivalent d'un moteur à courant continu à excitation série.

2- On donne :

- tension d'alimentation du moteur :  $U = 200 \text{ V}$
- résistance de l'inducteur :  $r = 0,5 \Omega$
- résistance de l'induit :  $R = 0,2 \Omega$
- courant consommé :  $I = 20 \text{ A}$
- vitesse de rotation :  $n = 1500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

Calculer :

2-1- La f.e.m. du moteur.

2-2- La puissance absorbée, la puissance dissipée par effet Joule et la puissance utile si les pertes collectives sont de  $100 \text{ W}$ .

En déduire le moment du couple utile et le rendement.

2-3- Au démarrage, le courant doit être limité à  $I_d = 40 \text{ A}$ .

Calculer la valeur de la résistance du rhéostat à placer en série avec le moteur.

## Exercice : moteur à courant continu à excitation série

Un moteur à courant continu à excitation série est alimenté par une source de tension continue et constante  $U = 220 \text{ V}$ .

Pour simplifier l'étude, nous négligerons les résistances de l'inducteur et de l'induit, ainsi que les pertes collectives.

1-1- Montrer que le couple du moteur est proportionnel au carré du courant qu'il consomme.

1-2- Montrer que le couple est inversement proportionnel au carré de la vitesse de rotation.

1-3- En déduire que le moteur s'emballe à vide.

1-4- D'après la question 1-2, on peut écrire que :

$$T_u = \frac{a}{n^2}$$

$T_u$  : couple utile du moteur (en Nm)

$n$  : vitesse de rotation (en tr/min)

$a$  : constante

La plaque signalétique d'un moteur indique :

220 V            1200 tr/min            6,8 A

En déduire la valeur numérique de la constante  $a$ .

2- Par la suite, on prendra :  $a = 20 \cdot 10^6 \text{ Nm}(\text{tr}/\text{min})^2$

2-1- Tracer l'allure de la caractéristique mécanique  $T_u(n)$ .

2-2- Le moteur entraîne un compresseur de couple résistant constant 10 Nm.

En déduire la vitesse de rotation de l'ensemble.

2-3- Le moteur entraîne un ventilateur dont le couple résistant est proportionnel au carré de la vitesse de rotation (15 Nm à 1000 tr/min).

En déduire la vitesse de rotation de l'ensemble.

**Exercice : génératrice à courant continu à excitation indépendante**

Une génératrice à excitation indépendante délivre une fem constante de 210 V pour un courant inducteur de 2 A.

Les résistances des enroulements induit et inducteur sont respectivement 0,6  $\Omega$  et 40  $\Omega$ .  
Les pertes « constantes » sont de 400 W.

Pour un débit de 45 A, calculer :

- La tension d'induit U
- La puissance utile  $P_u$
- Les pertes Joule induit et inducteur
- La puissance absorbée  $P_a$
- Le rendement  $\eta$

# Corrigés









**Exercice : génératrice à courant continu à excitation indépendante**

1- Calculer la puissance mécanique consommée au fonctionnement nominal.

$$11,2 \times (1500 \times 2\pi / 60) = (11,2 \text{ Nm}) \times (157,1 \text{ rad/s}) = 1,76 \text{ kW}$$

2- Calculer la puissance consommée par l'excitation.

$$220 \times 0,26 = 57 \text{ W}$$

3- Calculer la puissance utile.

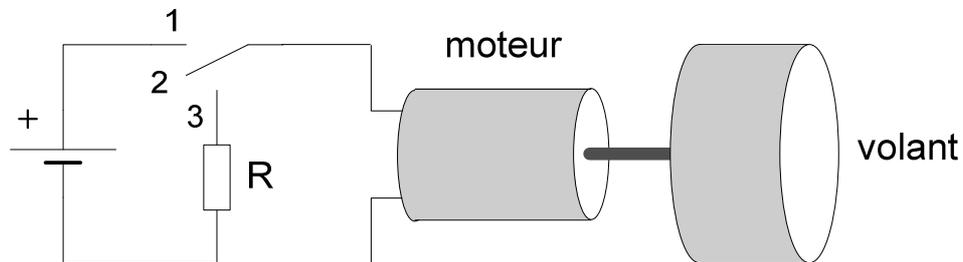
$$220 \times 6,8 = 1,50 \text{ kW}$$

4- En déduire le rendement nominal.

$$1500 / (1760 + 57) = 82,4 \%$$

## Exercice : expérience avec un moteur à courant continu à aimants permanents

Un moteur à courant continu à aimants permanents est couplé à un volant d'inertie (disque massif) :



1- On place le commutateur en position 1 : le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale.  
On place ensuite le commutateur en position 2 :

- Le moteur s'emballe
- Le moteur change de sens de rotation
- Le moteur s'arrête lentement
- Le moteur s'arrête rapidement

2- On place à nouveau le commutateur en position 1.  
Puis on commute en position 3.

2-1- Que se passe-t-il ?

Le volant s'arrête rapidement (la machine fonctionne en dynamo, l'énergie cinétique du volant est convertie en chaleur dans la résistance).

2-2- Que se passe-t-il si on diminue la valeur de la résistance R ?

Le volant s'arrête plus rapidement.

2-3- Donner une application pratique.

Systeme de freinage de train.

**Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante**

1- Calculer :

- la f.e.m.

$$E = U - RI = 240 - 0,5 \times 42 = 219 \text{ V}$$

- la puissance absorbée, la puissance électromagnétique et la puissance utile

$$P_a = UI + 250 = 240 \times 42 + 250 = 10\,080 + 250 = 10,33 \text{ kW}$$

$$P_{em} = EI = 219 \times 42 = 9,198 \text{ kW}$$

$$P_u = P_{em} - 625 = 8,573 \text{ kW}$$

- le couple utile et le rendement

$$T_u = P_u / \Omega = 8573 / (1200 \times 2\pi / 60) = 8573 / 125,7 = 68,2 \text{ Nm}$$

$$\eta = P_u / P_a = 8573 / 10\,330 = 83,0 \%$$

2- Quelle est la vitesse de rotation du moteur quand le courant d'induit est de 30 A ?

$$E = U - RI = 240 - 0,5 \times 30 = 225 \text{ V}$$

L'excitation est constante donc la fem est proportionnelle à la vitesse de rotation :

$$n = (225/219) \times 1200 = 1233 \text{ tr/min}$$

Que devient le couple utile à cette nouvelle vitesse (on suppose que les pertes collectives sont toujours égales à 625 W) ?

Calculer le rendement.

$$P_u = 225 \times 30 - 625 = 6750 - 625 = 6,125 \text{ kW}$$

$$T_u = P_u / \Omega = 6125 / (1233 \times 2\pi / 60) = 6125 / 129,1 = 47,4 \text{ Nm}$$

$$P_a = 240 \times 30 + 250 = 7200 + 250 = 7,45 \text{ kW}$$

$$\eta = 6125 / 7450 = 82,2 \%$$

## Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante

La plaque signalétique d'un moteur à excitation indépendante porte les indications suivantes :

$U = 240 \text{ V}$	$I = 35 \text{ A}$
$P = 7 \text{ kW}$	$n = 800 \text{ tr/min}$

Calculer (à la charge nominale):

1- Le rendement du moteur sachant que les pertes Joule inducteur sont de 150 watts.

Puissance utile : 7 kW

Puissance absorbée par l'induit =  $UI = 240 \times 35 = 8,4 \text{ kW}$

Puissance absorbée par l'inducteur = pertes Joule à l'inducteur = 150 W

Puissance absorbée = puissance absorbée par l'induit + puissance absorbée par l'inducteur  
=  $8400 + 150 = 8,55 \text{ kW}$

Rendement =  $7000/8550 = 81,9 \%$

2- Les pertes Joule induit sachant que l'induit a une résistance de  $0,5 \Omega$ .

$RI^2 = 0,5 \times 35^2 = 0,61 \text{ kW}$

3- La puissance électromagnétique et les pertes « constantes ».

Puissance électromagnétique = fem induite  $\times$  courant d'induit

Fem induite :  $E = U - RI = 240 - 0,5 \times 35 = 222,5 \text{ V}$

$EI = 222,5 \times 35 = 7,79 \text{ kW}$

Autre méthode : bilan de puissance

Puissance électromagnétique = puissance absorbée – pertes Joule totales

=  $8,55 - (0,15 + 0,61) = 7,79 \text{ kW}$

Bilan de puissance :

Pertes « constantes » (ou plutôt pertes collectives pour parler rigoureusement)

= puissance électromagnétique – puissance utile

=  $7,79 - 7 = 0,79 \text{ kW}$

4- Le couple électromagnétique, le couple utile et le couple des pertes « constantes ».

Couple électromagnétique =  $7790 / (800 \times 2\pi / 60) = 93 \text{ Nm}$

Couple utile =  $7000 / (800 \times 2\pi / 60) = 83,6 \text{ Nm}$



## Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante

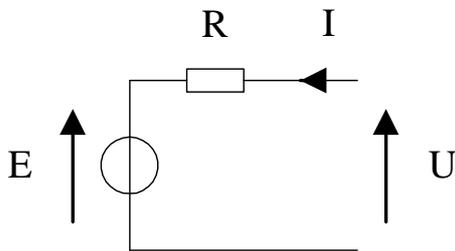
### 1- Démarrage

1-1- En notant  $\Omega$  la vitesse angulaire du rotor, la fem du moteur a pour expression :  $E = K\Omega$  avec  $\Omega$  en rad/s.

Quelle est la valeur de  $E$  à l'arrêt ( $n = 0$ ) ?

$$E = 0 \text{ V}$$

1-2- Dessiner le modèle équivalent de l'induit de ce moteur en indiquant sur le schéma les flèches associées à  $U$  et  $I$ .



1-3- Ecrire la relation entre  $U$ ,  $E$  et  $I$  aux bornes de l'induit, en déduire la tension  $U_d$  à appliquer au démarrage pour que  $I_d = 1,2 I_N$ .

$$U = E + RI$$

$$U_d = RI_d = 1,2 RI_N = 1,2 \times 0,012 \times 1500 = 21,6 \text{ V}$$

1-4- Citer un système de commande de la vitesse de ce moteur.

Montage hacheur, montage redresseur.

2- Fonctionnement nominal au cours d'une remontée en charge

2-1- Exprimer la puissance absorbée par l'induit du moteur et calculer sa valeur numérique.

$$UI = U_N I_N = 600 \times 1500 = 900 \text{ kW}$$

2-2- Exprimer la puissance totale absorbée par le moteur et calculer sa valeur numérique.

$$UI + u_i = 900 \text{ kW} + 600 \times 30 = 900 \text{ kW} + 18 \text{ kW} = 918 \text{ kW}$$

2-3- Exprimer la puissance totale perdue par effet Joule et calculer sa valeur numérique.

$$RI^2 + u_i = 0,012 \times 1500^2 + 18 \text{ kW} = 27 \text{ kW} + 18 \text{ kW} = 45 \text{ kW}$$

2-4- Sachant que les autres pertes valent 27 kW, exprimer et calculer la puissance utile et le rendement du moteur.

Pertes collectives = 27 kW

Puissance utile = 918 - (45 + 27) = 846 kW

Rendement = 846 kW / 918 kW = 92,2 %

2-5- Exprimer et calculer le moment du couple utile  $T_u$  et le moment du couple électromagnétique  $T_{em}$ .

$$T_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{846 \text{ kW}}{30 \times \frac{2\pi}{60}} = \frac{846 \text{ kW}}{3,14 \text{ rad/s}} = 269 \text{ kNm}$$

Puissance électromagnétique = Puissance utile + Pertes collectives = 846 + 27 = 873 kW

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{873 \text{ kW}}{30 \times \frac{2\pi}{60}} = \frac{873 \text{ kW}}{3,14 \text{ rad/s}} = 278 \text{ kNm}$$

### 3- Fonctionnement au cours d'une remontée à vide

3-1- Montrer que le moment du couple électromagnétique  $T_{em}$  de ce moteur est proportionnel à l'intensité  $I$  du courant dans l'induit :  $T_{em} = KI$ .

Formule générale :  $T_{em} = k\Phi I$

Ici, le courant d'excitation est constant donc le flux magnétique est constant, donc le moment du couple électromagnétique est proportionnel au courant d'induit :

$$T_{em} = KI$$

On admet que dans le fonctionnement au cours d'une remontée à vide, le moment du couple électromagnétique a une valeur  $T_{em}'$  égale à 10 % de sa valeur nominale et garde cette valeur pendant toute la remontée.

3-2- Calculer l'intensité  $I'$  du courant dans l'induit pendant la remontée.

$$T_{em} = KI$$

$$T_{em}' = KI'$$

$$\Rightarrow I' = I \frac{T_{em}'}{T_{em}} = \frac{I}{10} = 150 \text{ A}$$

3-3- La tension  $U$  restant égale à  $U_N$ , exprimer puis calculer la fem  $E'$  du moteur.

$$E' = U - RI' = 600 - 0,012 \times 150 = 598,2 \text{ V}$$

3-4- Exprimer, en fonction de  $E'$ ,  $I'$  et  $T_{em}'$ , la nouvelle fréquence de rotation  $n'$ . Calculer sa valeur numérique.

$$E' = K\Omega'$$

$$\Rightarrow E' = \frac{T_{em}'}{I'} \Omega'$$

$$\Rightarrow \Omega' = \frac{E'I'}{T_{em}'}$$

$$\Rightarrow n' = \frac{60 E'I'}{2\pi T_{em}'} = \frac{60 E'I'}{2\pi \frac{T_{em}}{10}} = \frac{60 \cdot 598,2 \times 150}{2\pi \cdot 27800} = 30,84 \text{ tr/min}$$

## Exercice : moteur à courant continu à aimants permanents (moteur de rétroviseur électrique)

1- A vide, le moteur consomme 0,20 A.  
Calculer sa fem et en déduire sa vitesse de rotation.

$$E = U - RI = 12 - 3,5 \times 0,2 = 11,3 \text{ V}$$
$$n = 11,3 \times 1000 = 11\,300 \text{ tr/min}$$

2- Que se passe-t-il si on inverse le branchement du moteur ?

Le sens de rotation est inversé.

3- En charge, au rendement maximal, le moteur consomme 0,83 A.  
Calculer :

- la puissance absorbée	$UI = 12 \times 0,83 = 9,96 \text{ W}$
- les pertes Joule	$RI^2 = 3,5 \times 0,83^2 = 2,41 \text{ W}$
- la puissance utile	$9,96 - 2,41 = 7,55 \text{ W}$
- le rendement maximal	$7,55/9,96 = 75,7 \%$
- la vitesse de rotation	$E = U - RI = 12 - 3,5 \times 0,83 = 9,10 \text{ V}$ $n = 9,10 \times 1000 = 9\,100 \text{ tr/min}$
- la puissance électromagnétique	$EI = 9,10 \times 0,83 = 7,55 \text{ W}$
- le couple électromagnétique	$7,55 / (9100 \cdot 2\pi / 60) = 7,55 \text{ W} / (952 \text{ rad/s})$ $= 7,93 \text{ mNm}$
- le couple utile	$7,55 / (9100 \cdot 2\pi / 60) = 6,25 \text{ mNm}$
- le couple des pertes collectives	$7,93 - 6,25 = 1,68 \text{ mNm}$

4- Justifier que le couple électromagnétique est proportionnel au courant d'induit.

On sait que :  $T_{em} = k\Phi I$

Le flux est constant car il s'agit d'un moteur à aimants permanents :  $T_{em} \propto I$

Vérifier que :  $T_{em}(\text{en Nm}) = 9,55 \cdot 10^{-3} \cdot I(\text{en A})$

D'après 3- :  $k\Phi = T_{em}/I = 7,93 \cdot 10^{-3} / 0,83 = 9,55 \cdot 10^{-3}$

Autre méthode :  $k\Phi = E/\Omega = (60/(2\pi)) \cdot E/n = (60/(2\pi)) \cdot 10^{-3} = 9,55 \cdot 10^{-3}$

5- Calculer le courant au démarrage.

$$n = 0 \quad E = 0 \quad \text{d'où } I = U/R = 12/3,5 = 3,43 \text{ A}$$

En déduire le couple électromagnétique de démarrage.

$$9,55 \cdot 10^{-3} \cdot 3,43 = 32,7 \text{ mNm}$$

6- Le moteur tourne sous tension nominale.

Que se passe-t-il si un problème mécanique provoque le blocage du rotor ?

$n = 0$  et  $I = 3,43 \text{ A}$  en permanence : le moteur « grille ».

## Exercice : moteur à courant continu à excitation indépendante

1- La fem  $E$  du moteur vaut 150 V quand sa vitesse de rotation est  $n = 1500$  tr/min.  
En déduire la relation entre  $E$  et  $n$ .

L'excitation étant constante,  $E$  est proportionnelle à  $n$  :

$$E \text{ (en V)} = 0,1 \cdot n \text{ (tr/min)}$$

2- Déterminer l'expression de  $I$  (courant d'induit en A) en fonction de  $E$ .

$$I = (U - E)/R$$

3- Déterminer l'expression de  $T_{em}$  (couple électromagnétique en Nm) en fonction de  $I$ .

$$T_{em} = k\Phi I$$

$$E = k\Phi\Omega \quad \text{avec } \Omega \text{ en rad/s}$$

$$\Omega = \frac{2\pi}{60} n$$

$$\Rightarrow k\Phi = \frac{E}{n} \frac{60}{2\pi} = 0,1 \frac{60}{2\pi} = 0,955 \text{ V} \cdot \text{rad}^{-1} \cdot \text{s}$$

$$T_{em} \text{ (en Nm)} = 0,955 \cdot I \text{ (en A)}$$

4- En déduire que :  $T_{em} = 764 - 0,477 \cdot n$

$$T_{em} = k\Phi I = k\Phi(U - E)/R = k\Phi(U - 0,1n)/R$$

$$T_{em} = 764 - 0,477 \cdot n$$

5- On néglige les pertes collectives du moteur. Justifier qu'alors :

$$T_u \text{ (couple utile)} = T_{em}$$

Le couple des pertes collectives est négligeable :

$$T_u = T_{em} - T_{\text{pertes collectives}} = T_{em}$$

6- Calculer la vitesse de rotation du moteur à vide.

$$T_u = 0$$

$$T_{em} = 0$$

$$n = 764/0,477 = 1600 \text{ tr/min}$$

Autre méthode :  $E = U$  (à vide,  $I = 0$  si on néglige les pertes collectives).

$$n = 160/0,1 = 1600 \text{ tr/min}$$

7- Le moteur entraîne maintenant une charge dont le couple résistant varie proportionnellement avec la vitesse de rotation (20 Nm à 1000 tr/min).

Calculer la vitesse de rotation du moteur en charge :

- par une méthode graphique

$$T_r \text{ (en Nm)} = 0,02 \cdot n \text{ (en tr/min)}$$

On trace les droites  $T_r(n)$  et  $T_u(n)$ .

L'intersection donne le point de fonctionnement.

- par un calcul algébrique

Au point de fonctionnement :  $T_u = T_r$

$$764 - 0,477 \cdot n = 0,02 \cdot n$$

$$n = 1536 \text{ tr/min}$$

En déduire le courant d'induit et la puissance utile du moteur.

$$I = (U - E)/R = (U - 0,1n)/R = 32,2 \text{ A}$$

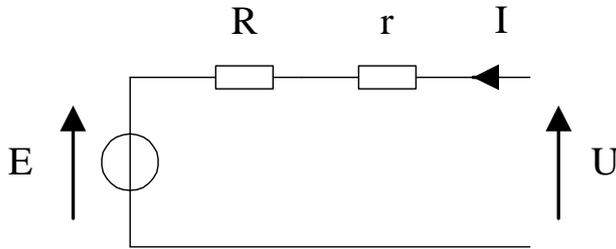
$$\text{Autre méthode : } I = T_{em}/0,955 = 0,02 \cdot n/0,955 = 32,2 \text{ A}$$

$$P_u = T_u \Omega = (30,7 \text{ Nm}) \times (160,8 \text{ rad/s}) = 4,94 \text{ kW}$$

$$\text{Autre méthode : } P_u = P_{em} \text{ (pas de pertes collectives)} = EI = (153,6 \text{ V}) \times (32,2 \text{ A}) = 4,94 \text{ kW}$$

## Exercice : moteur à courant continu à excitation série

1- Donner le schéma électrique équivalent d'un moteur à courant continu à excitation série.



2- On donne :

- tension d'alimentation du moteur :  $U = 200 \text{ V}$
- résistance de l'inducteur :  $r = 0,5 \Omega$
- résistance de l'induit :  $R = 0,2 \Omega$
- courant consommé :  $I = 20 \text{ A}$
- vitesse de rotation :  $n = 1500 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$

Calculer :

2-1- La f.e.m. du moteur.

$$E = U - (R + r)I = 200 - (0,2 + 0,5) \times 20 = 186 \text{ V}$$

2-2- La puissance absorbée, la puissance dissipée par effet Joule et la puissance utile si les pertes collectives sont de  $100 \text{ W}$ .

En déduire le moment du couple utile et le rendement.

$$\text{Puissance absorbée} = UI = 200 \times 20 = 4000 \text{ W}$$

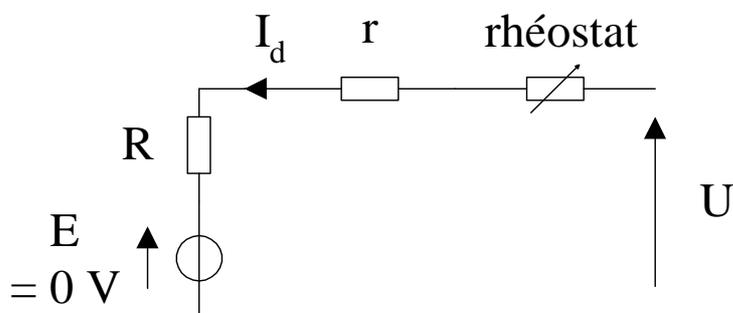
$$\text{Pertes Joules totales} = (R + r)I^2 = (0,2 + 0,5) \times 20^2 = 280 \text{ W}$$

$$\text{Puissance utile} = 4000 - (280 + 100) = 3620 \text{ W}$$

$$T_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{3620 \text{ W}}{1500 \times \frac{2\pi}{60}} = \frac{3620 \text{ W}}{157 \text{ rad/s}} = 23,0 \text{ Nm}$$

$$\text{Rendement} = 3620 \text{ W} / 4000 \text{ W} = 90,5 \%$$

2-3- Au démarrage, le courant doit être limité à  $I_d = 40 \text{ A}$ .  
Calculer la valeur de la résistance du rhéostat à placer en série avec le moteur.



Au démarrage, la fem est nulle (vitesse de rotation nulle).

$$U = (R + r + R_h)I_d$$

$$\Rightarrow R_h = \frac{U}{I_d} - (R + r) = \frac{200}{40} - 0,7 = 4,3 \Omega$$

## Exercice : moteur à courant continu à excitation série

1-1- Montrer que le couple du moteur est proportionnel au carré du courant qu'il consomme.

$$T_{em} = k\Phi I$$

$\Phi$  est proportionnel au courant d'excitation, c'est-à-dire au courant d'induit car il s'agit d'une machine à excitation série.

Le couple est donc proportionnel au carré du courant qu'il consomme.

1-2- Montrer que le couple est inversement proportionnel au carré de la vitesse de rotation.

$$E = k\Phi\Omega$$

$E = U - (r + R)I \approx U$  en négligeant les résistances de l'inducteur et de l'induit

$$U \approx k\Phi\Omega$$

Le courant est donc proportionnel à  $U/\Omega$

Le couple est donc proportionnel à  $(U/\Omega)^2$

Avec  $U =$  constante :

Le couple est inversement proportionnel au carré de la vitesse de rotation.

1-3- En déduire que le moteur s'emballe à vide.

A vide, le couple du moteur est faible.

La vitesse de rotation est donc grande (d'après la question précédente).

Le moteur s'emballe donc à vide.

1-4- La plaque signalétique d'un moteur indique :

220 V            1200 tr/min            6,8 A

En déduire la valeur numérique de la constante  $a$ .

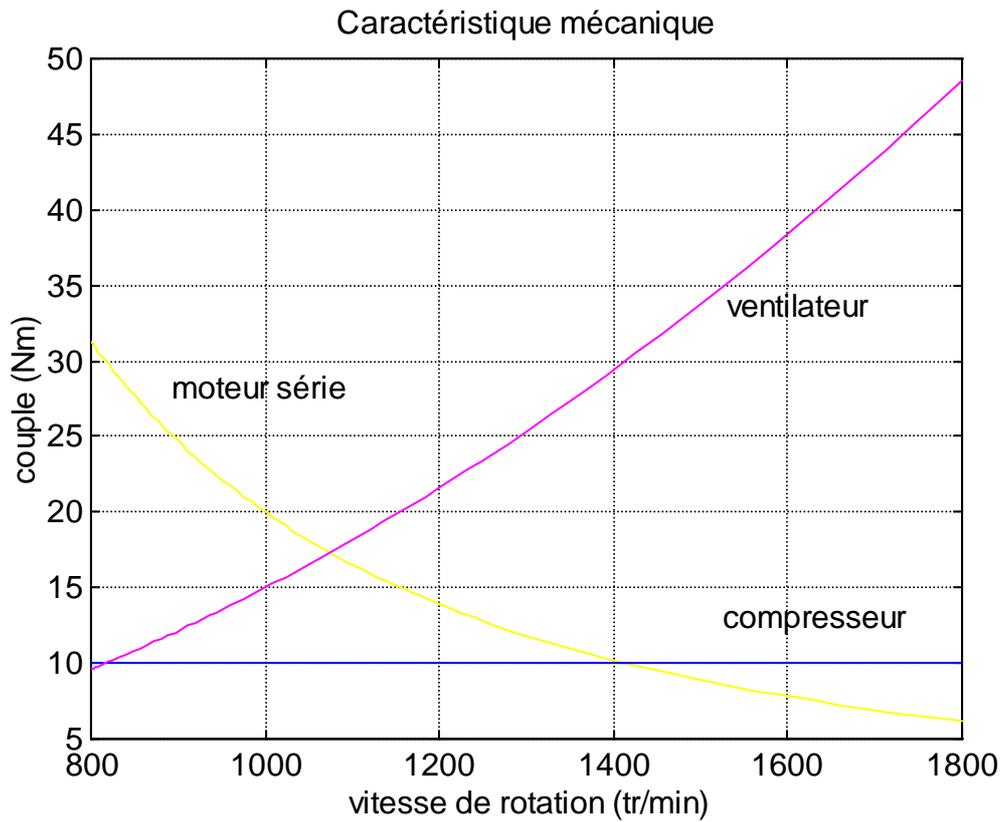
$$220 \times 6,8 = 1496 \text{ W}$$

$$1496 / (1200 \times 2\pi / 60) = 11,90 \text{ Nm}$$

$$a = 11,90 \times 1200^2 = 17,14 \cdot 10^6 \text{ Nm}(\text{tr}/\text{min})^2$$

2- Par la suite, on prendra :  $a = 20 \cdot 10^6 \text{ Nm}(\text{tr}/\text{min})^2$

2-1- Tracer l'allure de la caractéristique mécanique  $T_u(n)$ .



2-2- Le moteur entraîne un compresseur de couple résistant constant 10 Nm.  
En déduire la vitesse de rotation de l'ensemble.

$$T_u = \frac{20 \cdot 10^6}{n^2} = 10$$

$$n = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^6}{10}} = 1414 \text{ tr/min}$$

2-3- Le moteur entraîne un ventilateur dont le couple résistant est proportionnel au carré de la vitesse de rotation (15 Nm à 1000 tr/min).  
En déduire la vitesse de rotation de l'ensemble.

$$T_r = 15 \cdot 10^{-6} n^2$$

$$T_u = \frac{20 \cdot 10^6}{n^2} = T_r = 15 \cdot 10^{-6} n^2$$

$$n = \left( \frac{20 \cdot 10^6}{15 \cdot 10^{-6}} \right)^{\frac{1}{4}} = 1075 \text{ tr/min}$$

## Exercice : génératrice à courant continu à excitation indépendante

Une génératrice à excitation indépendante délivre une fem constante de 210 V pour un courant inducteur de 2 A.

Les résistances des enroulements induit et inducteur sont respectivement  $0,6 \Omega$  et  $40 \Omega$ . Les pertes « constantes » sont de 400 W.

Pour un débit de 45 A, calculer :

- La tension d'induit U
- La puissance utile  $P_u$
- Les pertes Joule induit et inducteur
- La puissance absorbée  $P_a$
- Le rendement  $\eta$

La tension d'induit U	$210 - 0,6 \times 45 = 183 \text{ V}$
La puissance utile $P_u$	$183 \times 45 = 8,23 \text{ kW}$
Les pertes Joule induit	$R I^2 = 0,6 \times 45^2 = 1,21 \text{ kW}$
Les pertes Joule inducteur	$r i^2 = 40 \times 2^2 = 0,16 \text{ kW}$
La puissance absorbée $P_a$	$8,23 + (1,21 + 0,16 + 0,4) = 10,01 \text{ kW}$
Le rendement $\eta$	$8,23/10,01 = 82,3 \%$