

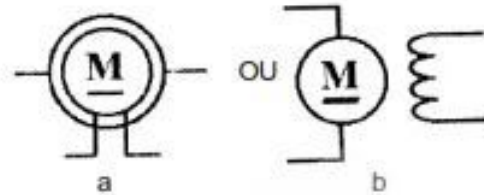
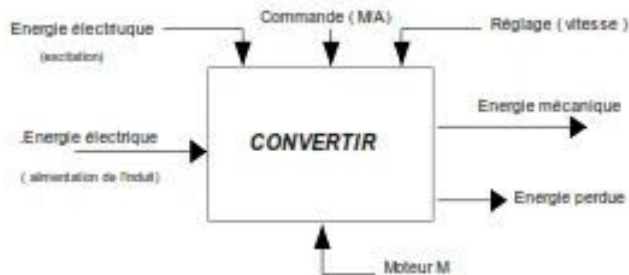
LES MOTEURS À COURANT CONTINU

A - Mise en situation : trottinette électrique à 2 roues (voir livre de cours page 207)

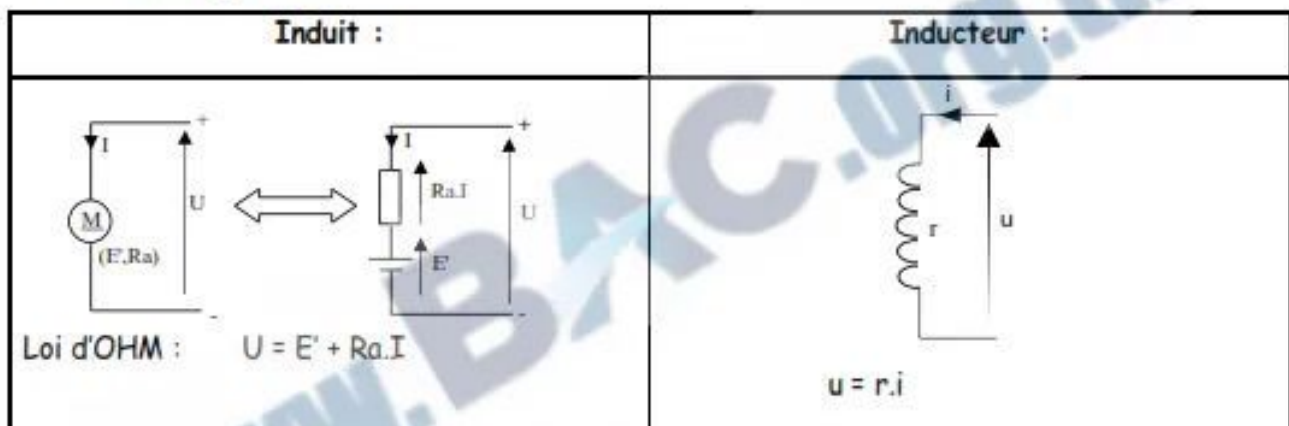
B - Rappels :

1 - Modélisation et symbole :

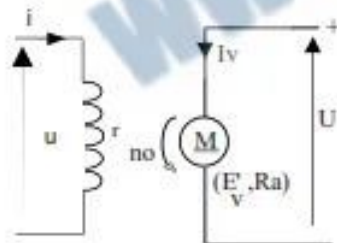
FB : SABER GÜ



2 - Schéma équivalent :



3 - Fonctionnement à vide : (Réaliser l'activité 1 page 125)

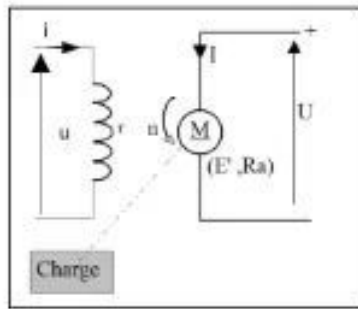


Le moteur tourne à vide , il est désaccouplé de toute charge , donc sa puissance utile est nulle ($P_u=0$).

Pertes joules inducteurs à vide	Pertes joules induit à vide	P absorbée par le moteur à vide	P absorbée par l'induit à vide	Pertes constantes ($P_c=P_f + P_{mec}$)
$P_{jsa} = u.i = r.i^2 = \frac{u^2}{r}$	$P_{jrv} = R_a.I_v^2$	$P_{avv} = U.I_v + P_{jsa}$	$P_{av} = U.I_v$	$P_c = U.I_v - R_a.I_v^2 = (U - R_a.I_v)I_v = E_v'.I_v$

La loi d'ohm à vide s'écrit $E' = U - R_a \cdot I_v = K \omega$ (k : coefficient de proportionnalité)

3 - Fonctionnement en charge : (Réaliser l'activité 2 page 125)



L'inducteur est alimenté par une tension continue $u = cte$ et traversé par un courant i (si l'inducteur n'est pas un aimant permanent). L'induit est alimenté par une tension U , absorbe un courant I pour une charge donnée et tourne à une vitesse

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ avec } n \text{ en tr/mn et } \Omega \text{ en rd/s}$$

• Loi d'ohm pour l'induit : $U = E' + R_a I$

• Puissance absorbée par le moteur : $P_{am} = UI + ui$ (si le moteur

est à aimant permanent : $u \cdot i = 0$)

• Pertes par effet Joule dans l'inducteur : $P_{JS} = r i^2 = ui = \frac{u^2}{r}$ (si le moteur est à aimant

permanent : $P_{JS} = 0$)

• Pertes par effet Joule dans l'induit (rotor) : $P_{JR} = R_a I^2$

→ les pertes joules totales : $P_{jt} = P_{JS} + P_{JR}$

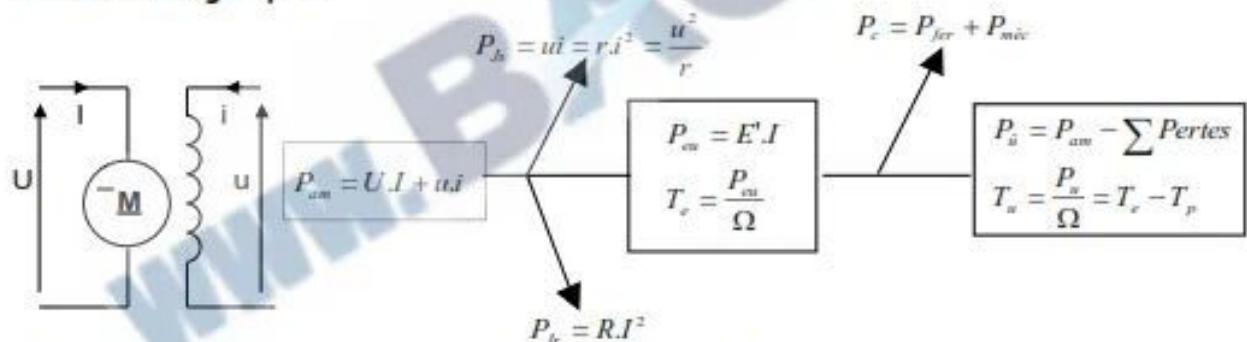
• La puissance électromagnétique : $P_{em} = P_{am} - P_{JS} - P_{JR} = E' I = T_{em} \Omega$

• Les pertes constantes : $P_c = T_p \Omega$ (constantes à vide et en charge)

• La puissance utile : $P_u = P_{am} - P_{jt} - P_c = T_u \Omega$

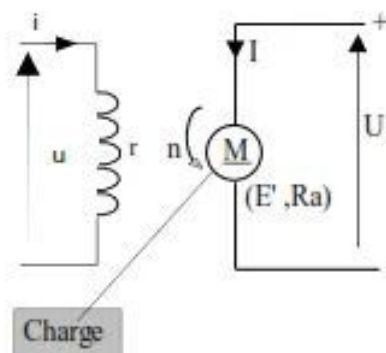
• le rendement : $\eta = \frac{P_u}{P_{am}}$

4 - Bilan énergétique :



C - Caractéristiques d'un moteur à courant continu :

• Montage :

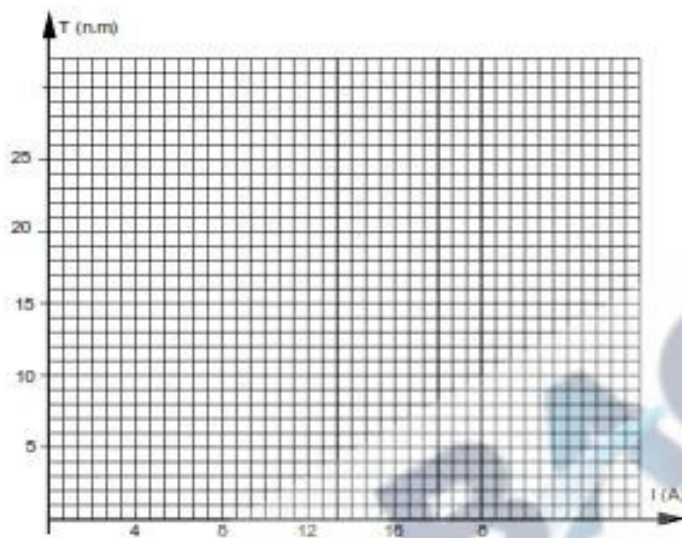


$i = 0,5A = c^{te}$, $u = 220V = c^{te}$, $U = 220V = C^{te}$ on donne $R_a = 1\Omega$, calculons le couple électromagnétique T_{em} pour différentes valeurs du courant :

• Tableau des mesures :

n en tr/mn	1560	1540	1520	1500
I (A)	4	8	12	16
Ra.I (v)	4	8	12	16
E' = U - Ra.I	216	212	208	204
$T_{em} = \frac{E' I}{2\pi n} 60$	5,3	10.5	15.7	20.8

1 - Caractéristique de couple : C'est la courbe représentative du couple T_u en fonction du courant absorbé I par le moteur pour différentes charges : $T_{em} = f(I)$



$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E' I}{2\pi n}$$

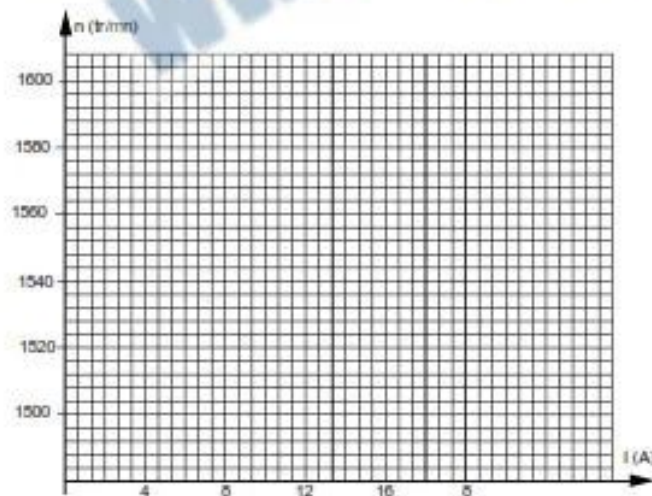
$$= \frac{N n \Phi I}{2\pi n} = \frac{N \Phi I}{2\pi} = K I$$

Le couple électromagnétique T_{em} est proportionnel au courant absorbé I

$$T_u = T_{em} - T_p$$

T_p = couple des pertes

2 - Caractéristique de vitesse : C'est la courbe représentative de la vitesse n en fonction du courant absorbé I par le moteur pour différentes charges : $n = f(I)$



$$E' = K n, \text{ avec } E' = U - R_a I$$

$$\text{soit } K.n = U - R_a.I$$

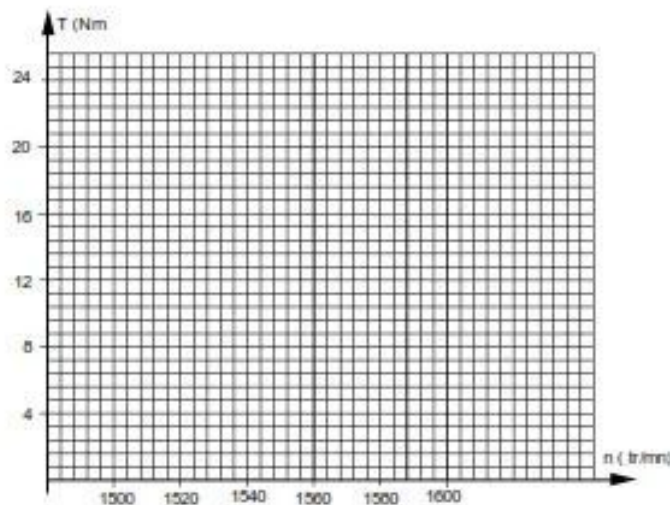
d'où :

$$n = \frac{U - R_a.I}{K} = -\frac{R_a}{K} I + \frac{U}{K}$$

$$n = A - B I$$

C'est l'équation d'une droite de pente négative. La vitesse varie peu avec la charge

3 - Caractéristique mécanique : C'est la courbe représentative du couple en fonction de la vitesse pour différentes charges : $T = f(n)$



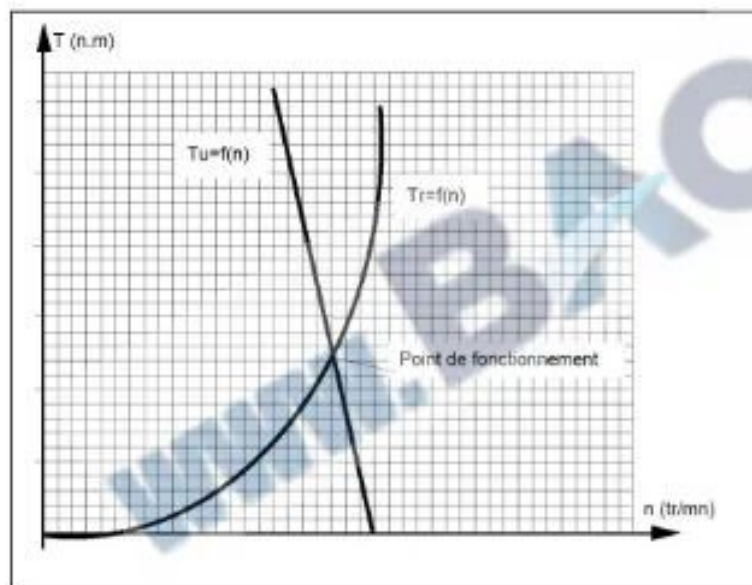
$$T_{em} = KI \text{ avec } n = -\frac{Ra}{K} I + \frac{U}{K} = -BI + A$$

ce qui donne : $I = A - \frac{n}{B}$

$$T_{em} = K(A - \frac{n}{B}) = AK - \frac{K}{B} n = a - bn$$

c'est l'équation d'une droite de pente négative

4 - Point de fonctionnement :



Une charge oppose au moteur un couple résistant T_r . Pour que le moteur puisse entraîner cette charge, le moteur doit fournir un couple utile T_u de telle sorte que $T_u = T_r$. L'intersection de la courbe $T_u = f(I)$ avec la courbe du couple résistant définit le point de fonctionnement.

FB : SABER GÜ

D - Variation de vitesse d'un moteur à courant continu :

On a $E' = N\Phi = U - R_a I$ or $R_a I \ll U$ et $\Phi = k i_{ex}$ d'où $n = \frac{U}{N k i_{ex}}$ où $k i_{ex} = K \Rightarrow n = \frac{U}{K i_{ex}}$

D'après l'expression de $n = f(U, i_{ex})$, pour varier la vitesse n , on doit agir soit :

- Sur le courant d'excitation i_{ex} en maintenant U constante.

Inconvénients : Le couple varie, risque d'emballement du moteur (n tend vers l'infini)

- Sur la tension d'alimentation de l'induit U . Pour cela il faut avoir une source de tension variable (réglable) obtenue par exemple à l'aide d'un hacheur série.

1 - Définition et symbole d'un hacheur série:

a- Définition : Le hacheur série est un convertisseur continu/continu, il permet d'obtenir à partir d'une tension continue fixe, une tension continue réglable.

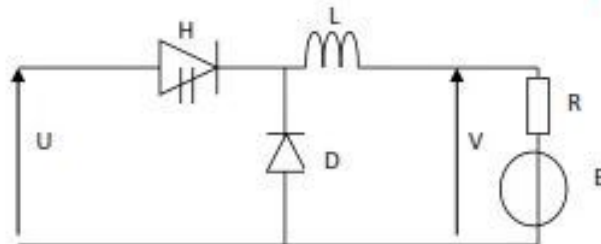
Il est composé d'un interrupteur électronique unidirectionnel H (transistor ou thyristor) fermé pendant un intervalle de temps $t_1 = \alpha T$, ouvert le reste de la période T . Une diode de roue libre D permet la circulation du courant si la charge est inductive.

b-Symbole :



FB : SABER GÜ

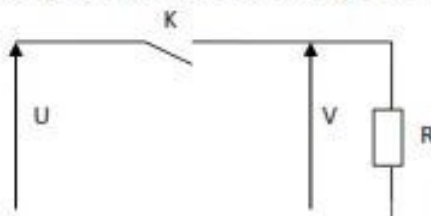
2 - Schéma d'un hacheur série :



3- Principe d'un hacheur série et valeur moyenne aux bornes de la charge :

a - Débit sur une charge résistive :

•Montage (en réalité l'interrupteur est remplacé par un transistor ou un thyristor).



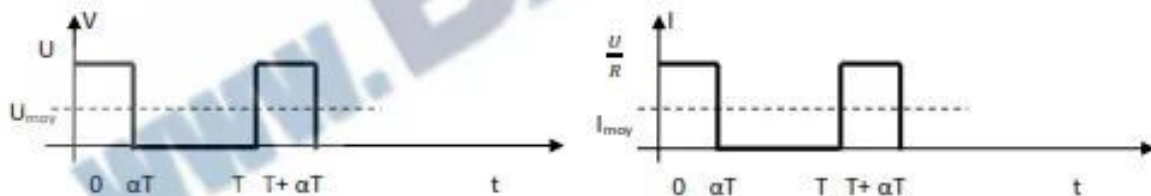
Fonctionnement :

On choisit une période T et une fraction α de cette période.

α s'appelle le rapport cyclique où $0 < \alpha < 1$

- De 0 à αT : K est fermé $\Rightarrow V = U$ et $I = \frac{U}{R}$
- De αT à T : K est ouvert $\Rightarrow I = 0$ et $V = 0$.

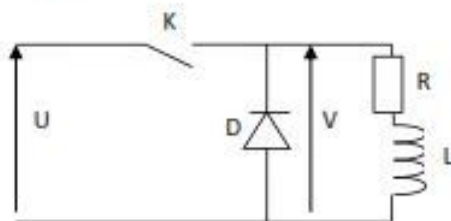
• Chronogrammes :



• Valeur moyenne U_{moy} (notée aussi $\bar{v}$) : La valeur moyenne est par définition le rapport de l'aire sous la courbe sur la période T : $U_{moy} = \frac{U \times \alpha T}{T} = \alpha U$.

b - Débit sur une charge inductive :

•Montage .

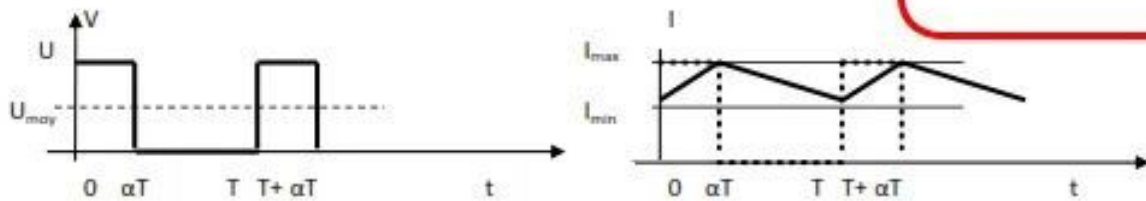


Fonctionnement :

On choisit une période T et une fraction α de cette période.

- De 0 à αT : K est fermé $\Rightarrow V = U$, I augmente progressivement et D étant bloquée
- De αT à T : K est ouvert $\Rightarrow V \approx 0$, I diminue progressivement et D est passante.

• Chronogrammes :



FB : SABER GÜ

• Valeur moyenne : $U_{moy} = \alpha T$ et $I_{moy} = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$

E - Evaluation :

Exercice N°1

Un moteur à excitation indépendante porte les indications suivantes :

Résistance de l'inducteur $r = 150\Omega$ et sa tension d'alimentation $u = 120V$. Résistance de l'induit $R = 0,5\Omega$ et sa tension d'alimentation $U = 220V$

Lors d'un essai à vide, on mesure la puissance absorbée par l'induit $P_v = 320W$, $I_v = 1,2A$.

Pour un essai en charge à la vitesse $n = 1450 \text{ tr/mn}$, l'intensité $I = 18A$

Pour l'essai en charge calculer

- 1 - Puissance électromagnétique.
- 2 - Les pertes par effet joule au stator et au rotor et les pertes collectives.
- 3 - La puissance utile.
- 4 - Le moment du couple utile.
- 5 - Le rendement du moteur.

Pour l'essai à vide, calculer

- 6 - La f.e.m E_v .
- 7 - La fréquence de rotation n_v en tr/mn

Exercice N°2

Un moteur à excitation indépendante a pour résistance d'induit $R = 0,9\Omega$ et est alimenté par une tension d'alimentation U variable.

Un essai à vide permet de mesurer le courant $I_v = 1,3A$, la tension $U_v = 150V$ et $n_v = 1250 \text{ tr/mn}$.

- 1 - Calculer les pertes constantes P_c et le moment du couple de pertes T_p .

En charge pour une tension d'alimentation $U = 170V$, l'induit appelle un courant de $I = 22A$, la vitesse de rotation est $n = 1250 \text{ tr/mn}$

- 2 - Calculer la f.e.m E
- 3 - Etablir une relation entre E et n lorsque U varie.
- 4 - Calculer la tension de décollage U_d .
- 5 - Etablir l'expression de n en fonction de U .
- 6 - Montrer que le couple électromagnétique T_{em} est constant et calculer sa valeur.
- 7 - Le moment de couple des pertes est proportionnel à la vitesse n , soit $T_p = a.n$. Calculer a .
- 8 - Ecrire l'expression de $T_u(n)$.
- 9 - Le moteur doit entraîner une charge qui a pour couple résistant

$$T_r = 2.10^{-6}n^2 - 1,1.10^{-3}n + 23.$$

Calculer les coordonnées du point de fonctionnement.

Exercice N°3 : Moteur à courant continu alimenté par un hacheur série

Les moteurs du manège sont du type " courant continu ". On lit sur la plaque signalétique d'un moteur les grandeurs nominales suivantes :

INDUIT : $U = 24V$; $I = 50A$; $n = 500 \text{ tr/min}$; INDUCTEUR: $u = 24V$; $i = 2A$

L'excitation indépendante assure un flux constant.

1- Donner le schéma équivalent de l'induit du moteur en précisant l'orientation du courant et des tensions. Calculer la f.é.m. du moteur en régime nominal sachant que la résistance de l'induit est $R = 0,08 \Omega$.

2- On admet la relation $E = k \cdot \Omega$ dans laquelle Ω représente la vitesse angulaire de l'induit en rad/s, et E la f.é.m. en volts. En déduire le coefficient k .

3- Sachant que $T = k' \cdot I$, avec T moment du couple électromagnétique du moteur en N.m, et I intensité absorbée par l'induit, calculer le moment du couple électromagnétique nominal T_n .

4- Calculer la puissance nominale totale P_{An} absorbée par le moteur (induit plus inducteur).

5- En déduire la puissance utile nominale P_{un} sachant que le rendement du moteur est 62%.

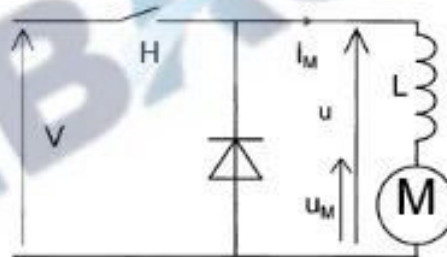
6- Calculer le moment du couple utile nominal T_{un} .

7- On donne le schéma de principe d'un convertisseur électronique pour l'induit d'un moteur à courant continu où :

La tension V est supposée parfaitement continue $V = 24V$.

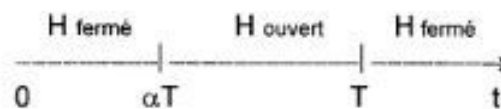
L symbolise une bobine de résistance nulle.

Le courant I_M est supposé continu, d'intensité $I_M = 50A$, constante.



FB : SABER GÜ

L'interrupteur électronique hacheur H est commandé périodiquement selon le chronogramme suivant:



$$T = 5 \text{ ms}$$

$$\alpha T = 2 \text{ ms}$$

a - Calculer la fréquence de fonctionnement du hacheur.

b - Rappeler la définition du rapport cyclique α et calculer sa valeur.

c - Donner le schéma de branchement d'un oscilloscope permettant de visualiser les variations de u et I_M en fonction du temps. Tracer l'allure de $u(t)$ et $I_M(t)$ sur une période, en précisant les échelles.

d- Calculer la valeur moyenne U_{moy} de la tension u_M aux bornes de l'induit sachant que la valeur moyenne de la tension aux bornes de la bobine est nulle.

Entre quelles limites varie U_{moy} lorsque $0 \leq \alpha \leq 1$?

Quel est l'intérêt d'alimenter le moteur par un hacheur ?

EXERCICE N°1 :

Un moteur à courant continu à excitation indépendante fonctionne à flux constant : son courant inducteur a une intensité $i = 0,35 \text{ A}$. Dans ces conditions, la force contre électromotrice E' peut s'exprimer sous la forme $E' = k \cdot n$, relation dans laquelle n désigne la fréquence de rotation exprimée en tr/min ; on donne $k = 0,11 \text{ V/tr min}^{-1}$.

❖ Essai en continue par la méthode voltampèremétrique à l'induit bloqué :

$$U_1 = 30 \text{ V} ; I_1 = 4,76 \text{ A} \Rightarrow R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{30}{4,76} = 6,3 \Omega$$

❖ Essai à vide

Sous tension d'induit nominale $U = 250 \text{ V}$, l'induit absorbe un courant d'intensité $I_0 = 0,28 \text{ A}$.

- Calculer la force contre électromotrice E'_0 de l'induit dans ces conditions,
- En déduire la fréquence de rotation n_0 du moteur.
- Évaluer les pertes par effet Joule dans l'induit, notées P_{J0}
- Déterminer le moment T_p du couple de pertes que l'on considérera constant dans la suite du problème.

❖ Essai en charge

Le moteur, toujours alimenté sous tension nominale $U = 250 \text{ V}$, développe un couple électromagnétique de moment $T = 2,1 \text{ N.m}$.

- Montrer que l'induit absorbe alors un courant d'intensité $I = 2 \text{ A}$.
- Calculer la force contre électromotrice E' du moteur.
- En déduire sa fréquence de rotation, n .
- Calculer le rendement de l'induit du moteur en charge.
- Calculer le moment T_u du couple utile développé par le moteur.

www.BAC.org.tn
Page BAC-TUNISIE
Tél: 25 351 137 / 53 371 502

EXERCICE N°2 :

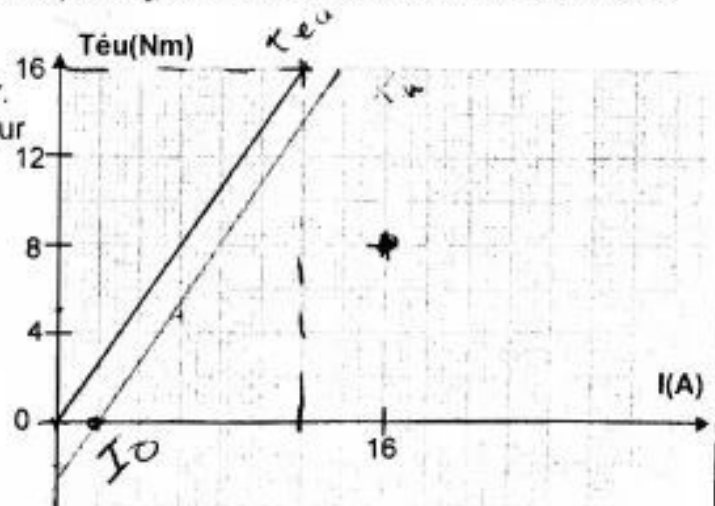
Etude du moteur à courant continu (M)

- Un essai sous tension continue : (Rotor bloqué) a permis de relever par la méthode voltampère métrique :
 - Tension d'alimentation de l'induit 12 V
 - Intensité du courant dans l'induit 16 A
- Essai à vide : $U_0 = 220 \text{ V}$ et $I_0 = 2 \text{ A}$
- Essai en charge nominale : $U_N = u_N = 220 \text{ V}$ $I_N = 16 \text{ A}$ $i = 0,75 \text{ A}$
- Vitesse nominale $n_N = 1500 \text{ tr/min}$

- Calculer les f.c.é.m E'_0 à vide et E'_N nominale de ce moteur
- Déterminer la vitesse à vide n_0 (en tr/min)
- Calculer les pertes par effet joule P_{Ji} dans l'induit puis P_{Jl} dans l'inducteur dans les conditions nominales.
- Déterminer les pertes collectives P_c .
- Calculer la puissance absorbée par le moteur.
- En déduire le rendement nominal η_N du moteur
- Calculer le moment du couple utile T_u

B- caractéristiques du moteur:

- Montrer que $E' = K_1 \cdot n$ (n en tr/s), calculer K_1
- Montrer que le couple électromagnétique est proportionnel au courant d'induit
 $T_{eu} = K_2 \cdot I$ puis calculer K_2
- Tracer la caractéristique électromécanique du couple
- Déduire l'expression de la caractéristique mécanique du moteur $T_u = f(I)$ et la tracer



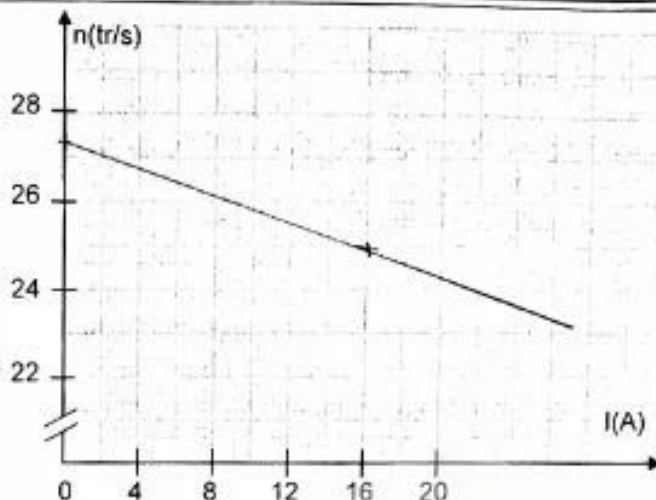
5°/ Montrer que $n = a.I + b$ avec n en tr / s et calculer a et b

6°/ Tracer la caractéristique $n = f(I)$

7°/ Dédurre l'expression numérique de la caractéristique $T_{eu} = f(n)$ et $T_u = f(n)$

4/a) tracer $T_u = f(n)$

8°/ le moteur entraîne une charge qui possède un couple résistant "Tr" d'équation $T_r = n - 1$ et que le couple des pertes est supposé constant = 9 N.m. Calculer les coordonnées du point de fonctionnement.



EXERCICE 3 :

1- Indiquer deux manières de faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu

2- Indiquer comment inverser le sens de rotation d'un moteur à courant continu

Un essai sous tension continue, rotor bloqué, a permis de faire les relevés suivants par la méthode voltampèremétrique.

• Tension d'alimentation de l'induit : $U = 15$ V. • Intensité du courant dans l'induit : $I = 50$ A.

Les conditions nominales de fonctionnement de ce moteur sont :

$U_n = 200$ V $u_n = 200$ V $I = 50$ A $i = 3,4$ A $n = 2000$ tr/min.

Un essai à vide a donné : $U_0 = 200$ V ; $I_0 = 4,5$ A

3- Calculer la résistance de l'induit.

4- Calculer la force contre électromotrice nominale de ce moteur.

5- Déterminer la vitesse à vide

6- Calculer les pertes par effet Joule à l'induit P_{ji} puis à l'inducteur P_{ji} nominales.

7- Déterminer les pertes collectives (considérées constantes).

8- En déduire le rendement du moteur dans les conditions nominales.

9- a) Calculer le moment du couple utile nominal T_u

b) Représenter graphiquement la caractéristique mécanique du moteur $T_u = f(n)$.

c) Le moteur entraîne une charge mécanique dont le couple résistant est constant vaut $T_R = 22$ N.m. Déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement « M » du groupe (moteur+charge).

Site: www.BAC.org.tn

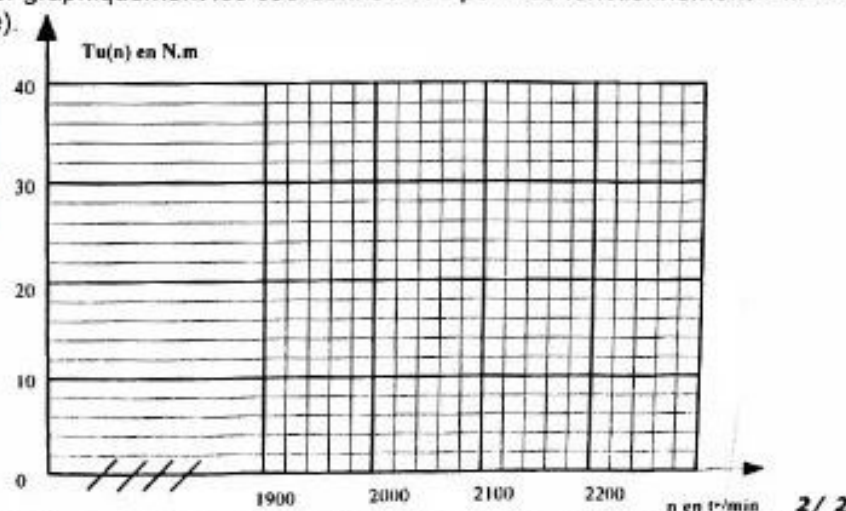
Page: BAC - TUNISIE



Saber_Gü



25.361.197



www.BAC.org.tn
Page BAC-TUNISIE
Tél: 25 351 197 / 53 371 502

Series 2-1

Ex 1:
* essai à vide

$$a) E'_0 = U - R \cdot I_0 = 250 - 6,3 \times 0,28$$

$$E'_0 = 248,23 \text{ V}$$

$$b) n_0 = \frac{E'_0}{K} = \frac{248,23}{6,6} = 37,61 \text{ tr/s}$$

$$c) P_{g0} = R \cdot I_0^2 = 6,3 \times (0,28)^2 = 0,49 \text{ W}$$

$$d) P_c = E'_0 \cdot I_0 = 248,23 \times 0,28$$

$$P_c = 69,5 \text{ W}$$

$$P_c = T_p \cdot 2\pi n_0$$

$$\Rightarrow T_p = \frac{P_c}{2\pi n_0} = \frac{69,5}{2\pi \times 37,61} = 0,23 \text{ ms}$$

* essai en charge:

$$a) P_{em} = E' \cdot I = T \cdot \omega$$

$$I = \frac{T \omega}{E'} = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{K \cdot \pi} = \frac{2 \cdot 2 \times \pi}{6,6}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$b) E' = U - R \cdot I = 250 - 6,3 \times 2$$

$$E' = 237,4 \text{ V}$$

$$c) K = \frac{E'}{n} \Rightarrow n = \frac{E'}{K} = \frac{237,4}{6,6}$$

$$n = 36 \text{ tr/s}$$

$$d) \eta_{\text{induct}} = \frac{P_u}{U I} = \frac{P_{em} - P_c}{U \cdot I}$$

$$= \frac{E' \cdot I - P_c}{U \cdot I} = \frac{237,4 \times 2 - 0,49}{250 \times 2}$$

$$\eta_{\text{induct}} = 0,82$$

$$f) T_u = \frac{P_u}{\omega} = \frac{405,3}{2\pi \cdot 36}$$

$$T_u = 1,80 \text{ ms}$$

Ex 2:

$$1) E'_0 = U - R \cdot I_0 \quad R = 12 \times 0,75$$

$$= 220 - 0,75 \times 16$$

$$E'_0 = 218,1 \text{ V}$$

$$E'_n = 220 - 0,75 \times 16$$

$$E'_n = 208 \text{ V}$$

$$2) K = \frac{E'_n}{n_n} = \frac{E'_0}{n_0}$$

$$n_0 = \frac{E'_0}{E'_n} \cdot n_n = \frac{218,1}{208} \times 1500$$

$$n_0 = 1175,72 \text{ tr/min}$$

$$3) P_{gi} = R \cdot I^2 = 0,75 \times (16)^2$$

$$P_{gi} = 192 \text{ W}$$

$$P_{gi} = U \cdot i = 220 \times 0,75 = 165 \text{ W}$$

$$4) P_c = E'_0 \times I_0 = 218,1 \times 2$$

$$P_c = 437 \text{ W}$$

$$5) P_a = U I + U \cdot i$$

$$= 220 \times 16 + 220 \times 0,75$$

$$P_a = 3685 \text{ W}$$

$$6) \eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{E' \cdot I - P_c}{P_a}$$

$$= \frac{208 \cdot 26 - 437}{3685}$$

$$\boxed{\eta = 0,78}$$

$$7) T_u = \frac{P_u}{\omega} = \frac{P_u}{2\pi \cdot n} = \frac{208 \cdot 26 \times 60}{2\pi \cdot 1500}$$

$$\boxed{T_u = 18,42 \text{ N.m}}$$

B - caractéristique du moteur:

$N = \text{const} \quad \theta = \text{const} = K_2$
 $\omega = \text{const}$

$$\boxed{E' = K_1 \cdot n}$$

$$K_1 = \frac{E'_N}{n} = \frac{208 \times 60}{1500}$$

$$K_1 = 8,32 \cdot V / \text{t/A}$$

$$\boxed{E' = 8,32 \cdot n}$$

$$2) P_{eu} = T_{eu} \cdot \omega = E' \cdot I$$

$$T_{eu} = \frac{E' \cdot I}{\omega} = \frac{K_1 \cdot n}{2\pi \cdot n} \cdot I$$

$$T_{eu} = \frac{K_1}{2\pi} \cdot I$$

$$\text{avec } F_2 = \frac{K_1}{2\pi} = \frac{8,32}{2\pi} = 1,32 \text{ N/A}$$

$$\Rightarrow \boxed{T_{eu} = 1,32 \cdot I}$$

$$3) I = 0 \rightarrow T_{eu} = 0$$

$$I = 12 \rightarrow T_{eu} = 16 \text{ N.m}$$

$$4) T_u = T_{eu} - T_p$$

$$= 1,32 \cdot I - T_p$$

$$T_p = \frac{P_c}{\omega} = \frac{437 \times 60}{2\pi \times 1500} = 2,78 \text{ N.m}$$

$$\boxed{T_u = 1,32 \cdot I - 2,78}$$

$$5) n = aI + b$$

$$E' = K_1 \cdot n = U - R \cdot I$$

$$n = \frac{U - R \cdot I}{K_1}$$

$$n = \frac{U}{K_1} - \frac{R \cdot I}{K_1}$$

$$n = -\frac{R}{K_1} \cdot I + \frac{U}{K_1}$$

$$\text{avec } a = -\frac{R}{K_1} = -\frac{0,75}{8,32} = -0,09$$

$$b = \frac{U}{K_1} = \frac{290}{8,32} = 26,44$$

$$\boxed{n = -0,09 I + 26,44}$$

$$6) I = 0 \rightarrow n = 26,44$$

$$I = 16 \rightarrow n = 25$$

$$7) \text{ avec } \begin{cases} T_{eu} = 1,32 I \\ n = -0,09 I + 26,44 \\ I = \frac{26,44 - n}{0,09} \end{cases}$$

$$\Rightarrow T_{eu} = 1,32 \cdot (26,44 - n)$$

Site: www.BAC.org.tn
 Page: BAC - TUNISIE

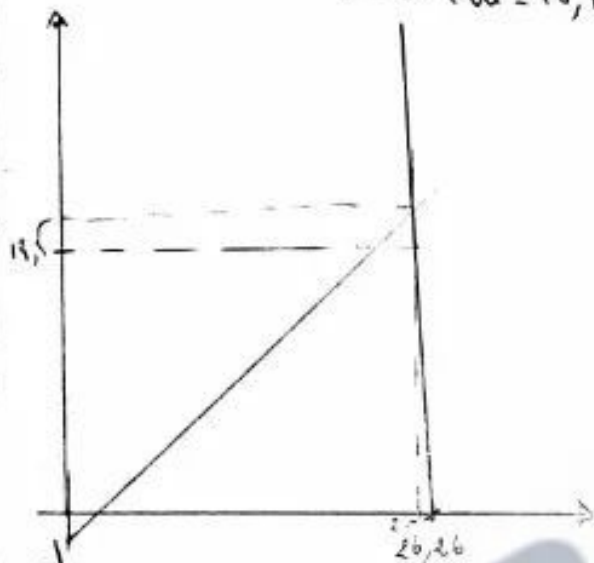
f Saber_Gu 25.361.197

$$T_u = T_{eu} - T_p \text{ or } T_p = 2,78 \text{ N/m}$$

$$T_u = -14,66m + 385$$

$$7) c) T_u = -14,66m + 385$$

$$\begin{cases} T_u = 0 \longrightarrow m = m_0 = \frac{385}{14,66} = 26,26 \text{ t/m} \\ m = 25 \text{ t/m} \longrightarrow T_u = 18,1 \text{ N/m} \end{cases}$$



$$T_u = T_r$$

$$-14,66m + 385 = m - 2$$

$$T_u = -14,66 \times 24,66 + 385 = 23,7 \text{ N/m}$$

$$M(24,66 \text{ t/m}; 23,7 \text{ N/m})$$



Ex 3.

Site: WWW.BAC.org.tn

Page: BAC - TUNISIE

f Saber_Gu ☎ 25.361.197