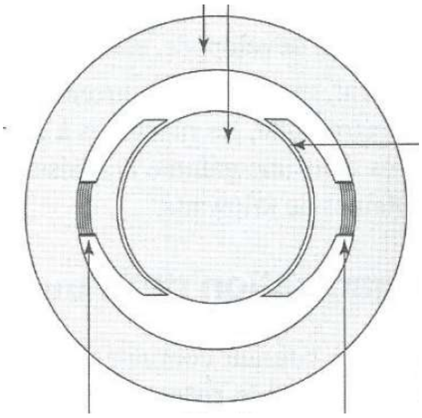
Thème : Machine à courant continu

APPLICATIONS DIRECTES

1. Modélisation d’un moteur à courant continu



Un véhicule électrique est équipé d’un moteur à courant continu à excitation séparée de courant i_{exc} dont le schéma est donné ci-contre.

1. Donner les légendes des flèches.

2. On suppose que le matériau ferromagnétique du rotor et du stator sont parfaits, doux, de perméabilité relative infinie. Tracer quelques lignes du champ magnétique du circuit statorique. Exprimer la valeur du champ magnétique dans l’entrefer en fonction de i_{exc} que l’on orientera.

3. Quelle est la direction moyenne du champ magnétique statorique dans l’entrefer ?

4. Pourquoi le champ créé par le rotor est-il toujours perpendiculaire à celui du stator ?

On peut représenter le rotor en régime permanent par l’association en série d’une force contreélectromotrice e et d’une résistance, tel que $U = Ri + e$, avec $e = \Phi.\omega$ où $\Phi = ki_{exc}$, k étant caractéristique du moteur. Cette relation est valable lorsque $i_{exc} < i_{exc,max}$.

5. Quelle est l’unité de Φ ? Tracer l’allure des variations de Φ en fonction de i_{exc}. Quel phénomène observe-t-on lorsque $i_{exc} > i_{exc,max}$?

2. Moteur à courant continu :

L'induit d'un moteur à courant continu à aimant permanent est alimenté par une tension constante U = 100 V. On relève les caractéristiques suivantes de l'induit :

$R = 0,8\ \Omega$; $I_0 = 1$ A (courant à vide) ;

$I = 25$ A (courant en charge pour une vitesse de rotation $\Omega = 1000$ tr/min).

a) Rappeler les relations entre la fcém E et la vitesse de rotation Ω, le couple électromagnétique (ou couple de Laplace) C et l'intensité du courant I, les équations mécanique et électrique du moteur en régime stationnaire.
b) Calculer la fcém E lorsque la machine est en charge. En déduire la constante du moteur et le couple moteur ou couple de Laplace
c) Lorsque le moteur tourne à vide déterminer la valeur du couple de frottement C_{frott}. Calculer sa fcém E_o à vide, en déduire la vitesse de rotation ω_0.
d) Calculer le couple de charge, lorsque le moteur est chargé, en supposant le couple de frottement identique à vide et en charge.
e) Evaluer à vide puis en charge : la puissance électrique reçue par le moteur P_{mot} , la puissance dissipée par effet Joule P_J , la puissance de Laplace ou puissance utile Pu, la puissance dissipée par frottement P_{frott} , la puissance dissipée par la charge P_{ch}. Quels liens a-t-on entre toutes ces puissances ?

3. Démarrage d’un moteur à courant continu

Soit Φ la constante électromécanique d’un moteur à courant continu à aimants permanents et r sa résistance d’induit, on néglige l’inductance d’induit. On suppose que la charge entrainée présente un couple résistant défini par $C_r = c + f\omega$ où c et f sont des constantes positives. Partant d’un état d’immobilité de l’ensemble, on suppose que la tension d’induit du moteur prend la valeur U, qui reste constante pendant toute la phase de démarrage.

a) Représenter, en régime permanent, la caractéristique couple vitesse d’une machine à courant continu à excitation séparée soumise à une tension d’induit fixée.

b) Sur le même graphe représenter l’allure de la caractéristique définissant le couple résistant. On suppose $C_{rMAX} < \Phi U/ r$.

c) Ecrire l'équation mécanique du moteur. Décrire qualitativement l'évolution de la vitesse angulaire, à partir du démarrage, en s'appuyant sur le graphe précédent.

d) Au bout d'un temps suffisamment long, le dispositif tend-il vers un fonctionnement stable ?

EXERCICES

I. Caractéristiques d'un moteur à courant continu

Un moteur à courant continu à aimants permanents a pour valeurs nominales :
tension d'induit : $U_N = 12\ \mathrm{V}$; intensité du courant d'induit : $I_N = 2{,}5\ \mathrm{A}$; fréquence de rotation : $\omega_N = 100\,tr/s$; on mesure une résistance d'induit $R = 0{,}4\ \Omega$.

Dans cet exercice, on néglige toutes les pertes autres que par effet Joule.

a) Fonctionnement en régime nominal :

Calculer la force contreélectromotrice ; la puissance absorbée, la puissance utile et le rendement défini par le rapport de la puissance utile sur la puissance absorbée ; le moment du couple utile.

On souhaite que le moteur fournisse sa valeur nominale de couple à la vitesse de rotation de $60\ \mathrm{tr/s}$.

b) Déterminer le courant d'induit, la force contreélectromotrice, la tension d'alimentation et le rendement du moteur.

On fait démarrer le moteur sous une intensité égale à 1,5 fois sa valeur nominale.

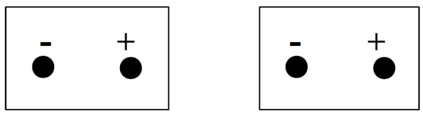
c) Calculer le couple utile et la tension aux bornes du moteur au moment du démarrage (vitesse de rotation nulle).

II. Constante de temps de l'induit d'une MCC

Dans une M.C.C. à stator bobiné, l'inducteur comporte un grand nombre de spires en série, alimentées par un courant continu de faible intensité, notée i_{exc}. Par l'intermédiaire de pièces polaires, ce courant crée un champ radial dans l'entrefer.

Le rotor ou induit est constitué de plusieurs spires plates, connectées en parallèle les unes avec les autres. Il est alimenté par une source de tension continue qui délivre un courant d'intensité I importante.

Le bornier de la machine fait apparaître deux couples de bornes, l'un correspondant à l'induit et l'autre à l'inducteur. Ils sont dénommés couple A et couple B.



Couple A Couple B

Dans une première expérience, on mesure à l'aide d'un impédance-mètre, à la fois la résistance *R* et l'inductance *L* des deux enroulements de la M.C.C..

	Couple A	Couple B
f = 120 Hz	R_A = 4,61 Ω ; L_A = 3,30 mH	R_B = 160 Ω ; L_B = 822 mH

Q1. Quel couple de bornes A ou B correspond *a priori* aux enroulements de l'induit ? Aux enroulements de l'inducteur ?

Dans une seconde expérience, on a bloqué le rotor de la machine. On a ensuite imposé entre les deux bornes du couple A, un échelon de tension d'amplitude V_0 = 10 V, à l'aide d'une alimentation extérieure. On a relevé (**figure 4**), à l'aide d'un capteur à effet Hall, le courant $I_A(t)$ circulant dans l'enroulement correspondant au couple de bornes A.

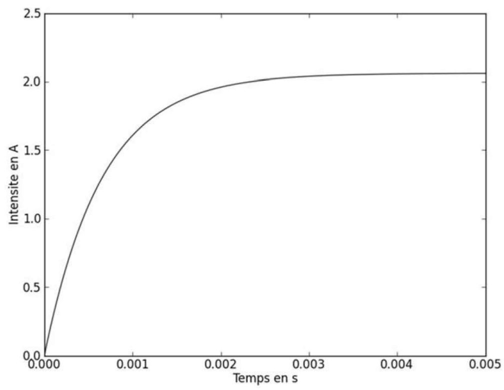


Figure 4 - Réponse à un échelon de tension, rotor bloqué

Q2. Justifier la nécessité de bloquer le rotor de la M.C.C..
Évaluer alors les valeurs de la résistance *R*, de l'inductance *L* et de la constante de temps électrique τ'_e de l'association alimentation-M.C.C..
Ces valeurs sont-elles compatibles avec les relevés de la première expérience ?

III. Etude d'une machine à courant continu

On étudie successivement la réponse à vide et en charge d'un moteur à courant continu, de résistance R, d'inductance L, de moment d'inertie J. On note U la tension d'alimentation de l'induit et $\Omega(t)$ la vitesse de rotation instantanée de l'arbre.

Le constructeur fournit les données suivantes : $R = 1\Omega$, $J = 5.10^{-2}$ kg.m^2, $\Phi_o = 0,5$ Wb et $\Omega_{max} = 100$ rad.s^{-1}.

1. Fonctionnement à vide

a. Etablir les équations de fonctionnement du moteur. On négligera tout couple résistant.

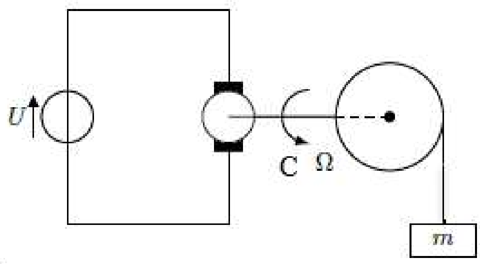
b. En déduire la fonction de transfert $\underline{H}(p) = \dfrac{\Omega(p)}{\underline{U}(p)}$ du moteur. De quel type de filtre s'agit-il ?
Comment se simplifie classiquement $\underline{H}(p)$? On justifiera sa réponse en donnant un ordre de grandeur pour L. On conservera l'expression simplifiée pour la suite de l'exercice.

c. Le moteur initialement à l'arrêt, est soumis à un échelon de tension, d'amplitude $U_o = 15$ V. Déterminer $\Omega(t)$. En déduire la valeur Ω_o de $\Omega(t)$ en régime permanent.

2. Fonctionnement en charge

Le moteur tournant en régime établi (déterminé précédemment) on charge brutalement le moteur en lui appliquant un couple résistant – C_r. Déterminer la nouvelle vitesse de rotation Ω_o' du moteur en régime permanent. AN : $C_r = 20$ N.m. Conclusion ?

IV. Moteur de treuil



On s'intéresse à un treuil constitué d'une poulie de rayon a et d'un moteur à courant continu de constant de couplage Φ_0, de résistance interne *r* et d'inductance propre *L* alimenté par une tension continue *U*. Le treuil soulève une masse *m*.
On note Ω la vitesse angulaire du moteur et C le couple qu'il fournit. On néglige les pertes fer et les pertes mécaniques du moteur, ainsi que le moment d'inertie de la poulie.

1. En isolant la masse m, puis la poulie, déterminer, en fonction de m, r, a, Φ_o, U et g, l'expression de la vitesse v de m en régime permanent.
2. Montrer qu'au démarrage v est solution d'une équation différentielle d'ordre 2. Le système est-il stable ?
3. Retrouver l'expression de v obtenue en 1.

V. Rendement d'une génératrice à courant continu

Une génératrice à courant continu de constante de couplage $\Phi_o = 0,12$ Wb, re résistance interne $r = 0,45\ \Omega$, d'inductance propre $L = 20$ mH et dont les valeurs nominales de tension et de courant sont $U_n = 40$ V et $I_n = 6$A est utilisée pour alimentée une charge électrique modélisée par une résistance $R_c = 3\Omega$.

On néglige les pertes mécaniques.

La machine est entrainée par une turbine qui exerce sur le rotor de la MCC un couple de moment $C_t = 0,5$ N.m. La MCC tourne à la vitesse de rotation Ω positive et constante.

1. Représenter le schéma électrique de l'induit alimentant la charge électrique et préciser l'expression du couple électromagnétique qu'exerce la machine en fonction du courant d'induit.
2. Calculer les valeurs de l'intensité du courant dans la charge et la vitesse de rotation de la machine.
3. Définir, puis calculer le rendement de conversion de la machine. La machine fonctionne-t-elle dans les conditions nominales ?