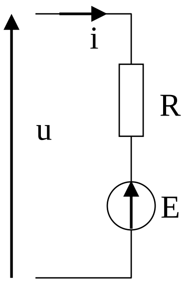
MACHINE A COURANT CONTINU – EXERCICES

1. Moteur à courant continu (CCP PSI 04) :



On s'intéresse à l'utilisation d'un moteur en traction automobile.
On rappelle le schéma équivalent du moteur à courant continu à excitation séparée : u représente la tension aux bornes de l'induit i l'intensité du courant le traversant.
On néglige les frottements.

Le moteur étant soumis à un couple résistant constant C_r = 60 N.m, un essai réalisé avec u = 120 V a donné les résultats suivants :

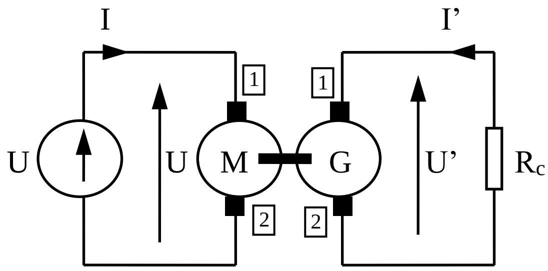
- Fém E = 100 V ;
- Vitesse de rotation Ω = 3200 tours/minute

Le moment d'inertie de la partie mobile entraînée par le moteur vaut J = 1,5 kg.m^2 et la relation entre la vitesse de rotation du moteur et la vitesse v du véhicule est

$$\Omega = \lambda v \text{ avec } \lambda = 35 \text{ tr.min}^{-1}/(\text{km.h}^{-1})$$

a) Rappeler les relations entre les grandeurs électriques E et i et mécaniques Ω et C (couple moteur).
b) Déterminer la valeur de R, résistance de l'induit.
c) On considère un fonctionnement à couple moteur C constant (C = 60 N.m) et on étudie la phase de « mise en vitesse » d'un véhicule sur une route horizontale. Le moment du couple résistant varie alors suivant une loi du type $C_r = a\Omega + b$ avec a = 0,01N.m/(rad.s^{-1}) et b = 5 N.m.
Calculer le temps Δt_1 mis par le véhicule pour passer de 0 à v = 50 km.h^{-1}.
Réponses : R = 0,1Ω ; Δt_1 = 5,1 s.

2. Association moteur-génératrice à courant continu



On considère l'association ci-contre de deux machines à courant continu de caractéristiques rigoureusement identiques, placées sur un même arbre de rotation. Les bornes 1 et 2 de chacune des machines sont indiquées. On néglige leur inductance propre. L'objectif du dispositif est de transférer de la puissance de la source d'alimentation à la résistance de charge R_c.

Le moteur M est alimenté par une source idéale délivrant une tension $U > 0$. La génératrice G est connectée à une charge résistive de résistance R_C. Les rotors de deux machines sont reliées, et on appellera par la suite « rotor » la partie mobile du dispositif.
On note R la résistance de l'induit de chaque machine, J le moment d'inertie du rotor et f le coefficient de la force de frottement fluide s'appliquant au rotor. On note ϕ la constante électromécanique de chaque machine.

a1) M est motrice et entraîne le rotor dans le sens $\omega > 0$. Orienter l'axe du rotor et dessiner le sens positif de rotation (au choix). D'après l'orientation des grandeurs électriques aux bornes de l'alimentation, quel est le signe de I ? Quel est le signe du couple exercé par le stator de M sur le rotor ? Vérifier que l'expression $\Gamma_G = +\phi I$ correspond bien aux signes discutés précédemment.
a2) G joue le rôle de génératrice. Quel est le signe du couple Γ_G exercé par le stator de G sur le rotor ? On précise que l'axe du rotor reste orienté dans le sens défini à la question précédente. En remarquant que I et I' sont tous deux orientés rentrant par la borne 1 de leur machine respective, justifier que l'on doit écrire : $\Gamma_G = -\phi I'$.
a3) Ecrire les équations électriques et l'équation mécanique du dispositif.

b1) G joue le rôle de génératrice. Quel doit être le signe de sa fcém ? Justifier que $e'_G = -\phi\omega$
b2) Déterminer, en fonction de ω, l'expression du couple résistant résultant des frottements et du couple exercé par le stator de G
c) Déterminer la vitesse angulaire de rotation du système, le couple moteur, l'intensité du courant dans l'induit de chaque machine et la tension aux bornes de la charge électrique R_c
d) Comparer les puissances moyennes absorbée par la charge électrique et cédée par la source d'alimentation ; interpréter la différence. En déduire le rendement du dispositif.
e) Que deviennent les résultas précédents si l'on néglige les frottements et les résistances d'induit ?
Valeurs numériques : U = 100 V ; R = 1 Ω ; R_c = 10 Ω ; Φ = 1V.rad^{-1} ; f = 0,01 SI.

3. Commandes d'un moteur à courant continu (d'après Centrale PSI 00):

On désire comparer deux modes de commande d'un moteur à courant continu : en tension et en courant.
Valeurs numériques : $R = 1{,}5\ \Omega$; $\Phi = 0{,}17\ N.rad^{-1}.s$; $J = 1{,}0.10^{-3}\ kg.m^2$.
L'inductance d'induit et les frottements sont négligés. Les contraintes technologiques imposent une valeur maximale de l'intensité du courant d'induit : $I_{max} = 10$ A.

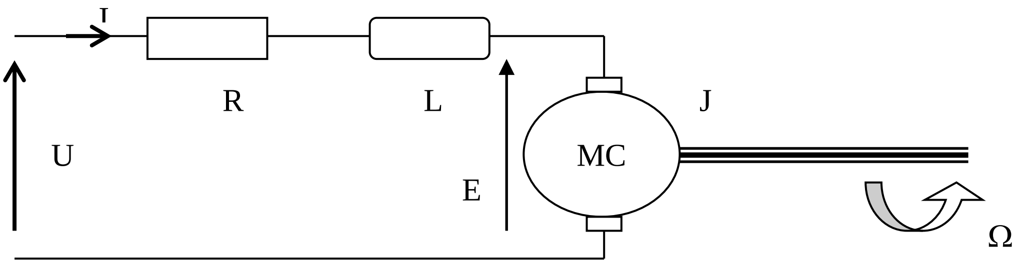
a) On applique un échelon de tension aux bornes de l'induit d'un moteur initialement au repos, et on observe l'évolution de la vitesse angulaire $\omega(t) = d\theta(t)/dt$. Sachant que l'amplitude de l'échelon de tension est choisie de telle sorte que l'intensité maximale du courant d'induit soit égale à I_{max}, déterminer littéralement, puis numériquement, le temps au bout duquel la vitesse aura atteint 90% de sa valeur finale.

b) On impose à présent au moteur, à partir des mêmes conditions initiales, une intensité constante égale à I_{max}. Quel sera le temps mis pour atteindre la même valeur de vitesse ? Interpréter.

Réponse : a) $t_1 = 120$ ms ; b) $t_2 = 47$ ms.

4. Bus électrique (X-Cachan 99)

Le modèle retenu pour un moteur de bus électrique est celui d'une force contre électromotrice e, sans pertes, en série avec une résistance R et une inductance L, et, pour la partie mécanique, un moment d'inertie global J. On négligera les frottements.
Le paramètre de proportionnalité entre, par exemple, le couple et le courant dans l'induit I est le même pour tous les moteurs. On notera Φ ce paramètre.
Les variables décrivant le système sont Ω et I.



A l'instant initial, le système étant au repos et le circuit électrique ouvert, on ferme en branchant une source de tension constante U_0.

1. Ecrire les équations électriques et mécaniques décrivant le comportement du système.
2. Montrer que ces équations admettent une solution indépendante du temps : (Ω_0 , I_0)
3. On donne : $\dfrac{\sqrt{LJ}}{\Phi} = 3\,\text{S.I.}$ et $\dfrac{R}{2\Phi}\sqrt{\dfrac{J}{L}} = 5\,\text{S.I.}$ Préciser les unités de ces constantes.
4. Résoudre ces équations afin d'obtenir la vitesse de rotation $\Omega(t)$ de la machine.
5. On observe expérimentalement qu'un régime permanent est effectivement atteint avec un courant dans la machine I_P .Est-ce compatible avec le modèle précédent ? Proposer une correction si nécessaire. On négligera ce courant dans les calculs ultérieurs.

Une fois le régime permanent atteint on impose un couple constant C_0 sur l'arbre du moteur.

6. Déterminer le nouveau régime permanent.
7. Déterminer la vitesse de rotation $\Omega(t)$ et l'intensité du courant I(t) après l'application de C_0. On choisira une nouvelle origine pour le temps.