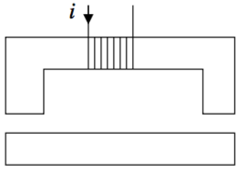
Contacteur électromagnétique

Exercice 1 : Evaluation numérique pour l'électroaimant de portage

Un électroaimant de levage est destiné à soulever des pièces métalliques. Il est formé d'un noyau de fer doux sur lequel sont bobinées $N = 100$ spires parcourues par un courant $I = 1,0$ A.



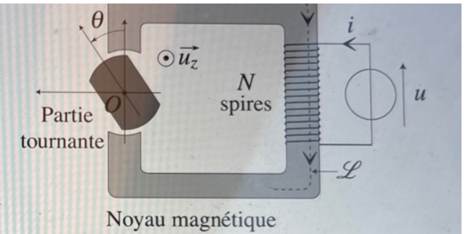
La section droite de l'électroaimant vaut $S = a^2$ avec $a = 2,0$ cm. La section droite au sein de la pièce à soulever vaut $S_p \approx 2S$.
Le noyau magnétique de l'électroaimant a une longueur $l_1 = 20$ cm et une perméabilité relative $\mu_{r,1} = 2000$; la pièce à soulever a une longueur $l_2 = 10$ cm et une perméabilité relative $\mu_{r,2} = 500$.

Déterminer la masse maximale que peut soulever ce dispositif.

Réponse : $M = \dfrac{\mu_0 N^2 S I^2}{g\,[l_1/\mu_{r,1} + l_2/(2\mu_{r,2})]^2} \approx 13$ kg

Exercice 2 : Moteur à réluctance variable

Un moteur à réluctance variable monophasé est un moteur très simple, uniquement alimenté au stator, schématisé sur la figure ci-contre.
Le moteur est constitué d'un stator ferromagnétique fixe, sur lequel sont enroulées $N = 100$ spires électriques, et d'un rotor, constitué du même ferromagnétique doux et non saturé, mobile en rotation autour d'un axe fixe.

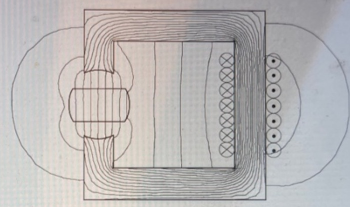


Lorsque $\theta = 0$, l'ensemble du stator et du rotor forme un tore ferromagnétique de section carrée, qui présente deux entrefers.

Le stator comme le rotor présentent une section carrée, de coté $a = 12$ mm ; la longueur du stator est $\ell_s = 22$ cm, celle du rotor $\ell_s = 2,5$ cm, celle d'un entrefer est $e = 1,0$ mm quand $\theta = 0$.

1. Vu de la bobine, l'inductance que présente le circuit varie en fonction de l'angle θ dont tourne le rotor. Les figures suivantes représentent les lignes de champ pour du moteur à réluctance variable, pour $\theta \approx 10°$, $\theta = 0$ et $\theta = 90°$.

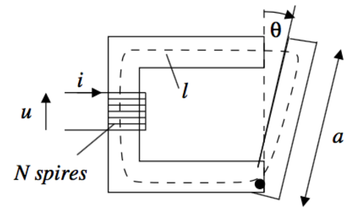
On choisit un modèle $L(\theta)$ pour l'inductance du circuit magnétique, vue de la bobine : $L(\theta) = L_1 + L_2 \cos(2\theta)$.
Expliquer sans calcul la dépendance en $\cos(2\theta)$, puis évaluer numériquement les valeurs de L_1 et L_2.
L'évaluation numérique des coefficients L_1 et L_2 n'est pas nécessaire à la poursuite du problème.



2. Le couple qui s'exerce sur la partie mobile est $\Gamma = \left(\dfrac{\partial \mathscr{E}_{em}}{\partial \theta}\right)_{i=\text{cste}}$, où $\mathscr{E}_{em}$ est l'énergie électromagnétique du système. Exprimer Γ en fonction de L_2 et de i.
3. Expliquer pourquoi le moteur ne tourne pas si le courant i reste constant.
4. On propose alors d'alimenter le moteur par un courant harmonique $i(t) = I\sqrt{2}\cos(\omega t)$.
En considérant que le moteur tourne à la vitesse angulaire Ω constante, calculer la valeur moyenne $< \Gamma >$ du couple, en fonction de L_2, I et d'une constante.
Montrer que la partie tournante ne peut être entrainée que si la vitesse angulaire Ω et la pulsation d'alimentation ω ont une valeur particulière l'une par rapport à l'autre. Quelle est la valeur maximale du couple moyen ?
5. Attendu que le flux dans une section droite du matériau ferromagnétique varie au cours du temps, une f.é.m. est induite dans la bobine. Exprimer le flux total à travers la bobine, en fonction de l'inductance $L(\theta)$ et de l'intensité du courant $i(t)$.
6. En déduire la tension $u(t)$ nécessaire pour alimenter le moteur à réluctance variable.

Exercice 3 : Couple exercé sur une barre mobile

Le circuit magnétique ci-dessous est constitué d'un matériau magnétique linéaire de grande perméabilité relative.



La longueur moyenne du matériau vaut l et sa section constante S. Il comporte une partie, de longueur a, mobile autour d'un axe perpendiculaire au plan de la figure.
Dans toute la suite, on suppose $\theta \ll 1$ rad.

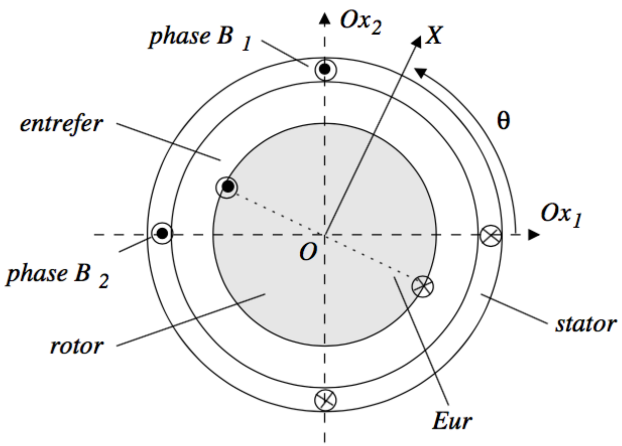
1. Déterminer l'expression du champ magnétique qui règne dans l'entrefer et montrer que l'inductance propre du système a pour expression :
$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{\dfrac{l}{\mu_r} + a\theta}$$
2. En déduire le couple qui s'exerce sur la partie mobile.

Réponses : 2 : $\Gamma = -\dfrac{a\mu_0 N^2 S i^2}{2\,(l/\mu_r + a\theta)^2}$

Machine synchrone MS

Exercice 1 : la machine synchrone

On étudie une machine synchrone bipolaire à stator et rotor non saturés et bobinés, à entrefer lisse de largeur constante.
Son stator porte un induit (I_t) diphasé, fait de deux phases (B_1) et (B_2) d'axes perpendiculaires, dans lesquelles circulent les courants $i_{s1}(t)$ et $i_{s2}(t)$ sinusoïdaux en quadrature.



Son rotor porte un circuit inducteur (Eur) monophasé alimenté par le courant continu I_r. Le maximum de la mutuelle d'inductance entre (Eur) et une phase de (I_t) est $\hat{M}$, l'inductance propre de (Eur) est L_r, celle d'une phase de (I_t) est L_s. On note Ox_1 et Ox_2 les axes magnétiques des bobines (B_1) et (B_2) et OX l'axe de la bobine (Eur).

On note $(\overrightarrow{Ox_1}, \overrightarrow{OX}) = \theta(t) = \Omega t$ l'angle entre les axes de la phase numéro 1 et l'axe de l'inducteur.

1. Exprimer les mutuelles d'inductances instantanées $M_{1r}(t)$ et $M_{2r}(t)$ de l'inducteur avec chacune des phases (B_1) et (B_2) de l'induit, en fonction de $\hat{M}$ et de l'angle $\theta(t)$.
2. Exprimer l'énergie magnétique $\mathcal{E}_{mag}(t)$ stockée à l'instant t dans la machine, à l'aide des courants, des coefficients d'inductance et de l'angle $\theta(t)$.
3. En déduire l'expression du couple $C(t)$ reçu par l'équipage en rotation de la part du stator, en fonction de $\hat{M}$, I_r et des courants $i_{s1}(t)$ et $i_{s2}(t)$.
4. Les phases (B_1) et (B_2) fonctionnent selon le régime sinusoïdal de courants $i_{s1}(t)$ et $i_{s2}(t)$, régime imprimé par les tensions $v_{s1}(t)$ et $v_{s2}(t)$, définies en convention récepteur pour chaque phase :
   — $v_{s1}(t) = \hat{V}_s \cos(\Omega t)$, $i_{s1}(t) = \hat{I}_s \cos(\Omega t - \varphi)$;
   — $v_{s2}(t) = \hat{V}_s \sin(\Omega t)$, $i_{s2}(t) = \hat{I}_s \sin(\Omega t - \varphi)$.

   (a) Exprimer le couple moteur C, puis les fem $e_{s1}(t)$ et $e_{s2}(t)$ associées à l'induction mutuelle entre les phases du stator et le rotor ; on posera $\hat{C} = \hat{M} I_r \hat{I}_s$ et $\hat{E}_s = \hat{M} I_r \Omega$.

   (b) Proposer une modélisation électrique et une construction de Fresnel pour la phase (B_1) de l'induit. On néglige la résistance des enroulements.

   (c) En déduire les expressions de $\hat{I}_s$ et φ, en fonction de $\hat{V}_s$ et de $\hat{E}_s$.
5. Exprimer la puissance mécanique P_m fournie à l'équipage mobile. Exprimer la puissance moyenne P_{fem} fournie par les forces électromotrices (associées aux inductances mutuelles) apparaissant au sein des phases de l'induit. Commentaire.
6. A.N. : $\hat{V}_s = 230\sqrt{2}$, $\Omega = 100\pi$ rad · s^{-1}, $\hat{M}\Omega I_r = 150\sqrt{2}$, $L_s\Omega = 10\ \Omega$. Calculer $\hat{I}_s$, φ et la puissance moyenne P fournie à la machine par le réseau diphasé auquel elle est connectée.
7. La machine fonctionne-t-elle en moteur ou en alternateur ?

Réponses : 1 : $M_{1r}(t) = \hat{M}\cos(\theta(t))$, $M_{2r}(t) = \hat{M}\sin(\theta(t))$; 2 : $\mathcal{E}_{mag} = \frac{1}{2}L_r I_r^2 + \frac{1}{2}L_s i_{s1}^2 + \frac{1}{2}L_s i_{s2}^2 + \hat{M}\cos(\theta) I_r i_{s1} + \hat{M}\sin(\theta) I_r i_{s2}$; 3 : $C(t) = \hat{M} I_r [\cos(\theta(t)) i_{s2}(t) - \sin(\theta(t)) i_{s1}(t)]$; 4(a) : $C = -\hat{C}\sin(\varphi)$, $e_{s1}(t) = \hat{E}_s \sin(\Omega t)$, $e_{s2}(t) = -\hat{M}\Omega I_r \cos(\Omega t)$; 4(c) : $L_s\Omega\hat{I}_s = \sqrt{\hat{E}_s^2 + \hat{V}_s^2}$, $\varphi = \frac{\pi}{2} + \arctan\left(\frac{\hat{E}_s}{\hat{V}_s}\right)$; 5 : $P_m = -\hat{M} I_r \hat{I}_s \Omega \sin(\varphi)$, $P_{fem} = \hat{M} I_r \Omega \hat{I}_s \sin(\varphi)$; 6 : $\hat{I}_s = 38,8$ A, $\varphi = 123°$, $P = -6,9$ kW ; 7 : alternateur

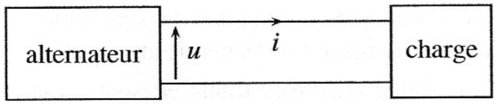
Les exercices 2,3,4 visent le fonctionnement générateur de la MS avec utilisation des diagrammes de Fresnel particulièrement.

Exercice 2 : Couple d'entraînement d'un alternateur sur charge résistive

Un alternateur synchrone diphasé délivre une tension sinusoïdale de fréquence $f = 50$ Hz. Par construction, dans une phase statorique :

- la résistance est négligeable ;
- l'inductance L est telle que $L\omega = 1{,}6\ \Omega$ à $f = 50$ Hz ;
- la valeur efficace de la f.é.m. induite est $E_{eff} = M_0 I_r \omega$, où I_r est l'intensité du courant rotorique.

L'alternateur alimente une charge purement résistive R. La valeur efficace de la tension délivrée par l'alternateur est alors $U_{eff} = 110$ V et la valeur efficace du courant débité est $I_{eff} = 30$ A.



1. Quelles sont les caractéristiques du matériau ferromagnétique constitutif de l'alternateur ?

2. Proposer un schéma électrique du système, sur lequel figurent le modèle électrique de l'alternateur, la charge, la tension u et l'intensité i du courant délivré par la MS à R.

3. Calculer la vitesse de rotation n du rotor, en tour.min^{-1}.

4. Calculer, avec un diagramme de Fresnel, la valeur efficace de la f.é.m. de l'alternateur.

5. L'intensité I_r du courant rotorique est $I_r = 1{,}0$ A. En déduire M_0.

6. Calculer la résistance R de la charge ainsi que la puissance P qu'elle absorbe.

7. Calculer le couple mécanique qui s'exerce sur le rotor. On notera ψ le déphasage entre la f.é.m. e et le courant d'intensité i.

Exercice 3 : Couple d'entraînement d'un alternateur sur charge inductive

Un alternateur synchrone diphasé alimente, sur chaque enroulement, une charge électrique inductive qui consomme une puissance moyenne $P_c = 1{,}0$ kW avec un facteur de puissance de 0,60. La tension $u_1(t)$ imposée par le 1er enroulement de l'alternateur aux bornes de sa charge a une valeur efficace de 60 V. L'alternateur tourne à la vitesse $N = 3{,}0.10^3$ tr.min^{-1}. Dans chaque phase statorique, on néglige la résistance et l'auto-inductance vaut $L = 5{,}0$ mH.

1. Représenter le schéma électrique du premier enroulement statorique, en déduire le diagramme de Fresnel des tensions de ce circuit, avec origine des phases prise à la phase de la tension $u_1(t)$.

2. Déterminer la valeur efficace E_{1eff} de la force électromotrice $e_1(t)$, puis la valeur de l'angle ψ de déphasage de la f.é.m. e_1 par rapport à l'intensité du courant i_1.

3. Calculer la valeur du couple extérieur qui doit être appliqué sur le rotor de l'alternateur.

Exercice 4 : Rendement d'un alternateur diphasé sur charge inductive

Une turbine hydraulique est accouplée à une machine synchrone qui fonctionne en alternateur, le groupe turbine-alternateur fournit de l'énergie au réseau.

Les caractéristiques de la machine synchrone diphasée, sont les suivantes :

- tension efficace aux bornes d'une phase $U = 10$ kV ;
- puissance apparente $S = 65.10^6$ VA par phase, qui est le produit de la tension efficace U et de l'intensité efficace I du courant d'induit, et s'exprime en volt ampère ;
- fréquence des courants statoriques imposée par le réseau $f = 50$ Hz ;
- résistance d'une phase statorique $R = 0{,}01\ \Omega$;
- la f.é.m. dépend du courant d'excitation rotorique selon $E = kI_e$ avec $k = 290$ V·A^{-1} ;
- l'intensité du courant dans une phase en court-circuit est $I_{cc} = 300\, I_e$.

1. Quelle condition doit être satisfaite pour que la relation entre E et I_e fournie soit valable ?

2. Calculer l'intensité du courant d'induit.

3. Calculer la réactance synchrone $X = L\omega$ de chaque enroulement.

En charge, c'est-à-dire quand l'alternateur débite un courant dans un récepteur, l'intensité du courant d'excitation est réglée à $I_e = 44$ A pour un facteur de puissance du réseau valant $\cos(\varphi) = 0{,}9$ arrière (charge inductive).

4. Représenter le schéma électrique d'une phase en négligeant la résistance R.

5. En déduire l'intensité efficace du courant dans une phase statorique.

6. Calculer la puissance fournie au réseau et le rendement de l'alternateur sachant que l'ensemble des pertes mécaniques, ferromagnétiques et d'excitation valent $P_p = 2{,}4$ MW.

Pour aller plus loin sur la MS

Exercice 5 : Traction d'un véhicule électrique par un moteur synchrone

Une machine synchrone est utilisée comme motorisation d'un véhicule électrique.

Le circuit rotorique est parcouru par le courant d'excitation d'intensité I_e constante.

Le circuit statorique est alimenté par un onduleur de courant commandé qui impose dans les deux phases des courants sinusoïdaux de pulsation ω, déphasés de $\pi/2$, de valeurs efficaces identiques égales à I.

Un ensemble de sondes positionnées dans la machine permettent, par la mesure du champ magnétique, de déterminer la position angulaire du rotor. De même, deux capteurs de courant permettent de déterminer toutes les propriétés du courant dans chaque phase. Un calculateur inclus dans le dispositif d'autopilotage, non étudié, analyse ces données et génère la commande adéquate de l'onduleur de courant permettant de fixer l'angle d'autopilotage ψ, dont la définition utile est rappelée ci-dessous.

On supposera en outre que les matériaux magnétiques constituants la machine sont idéaux.

1. Le véhicule électrique est une navette de 800 kg, qui doit être capable de monter une pente de 10 % à la vitesse constante de 50 km·h^{-1}. En supposant que la puissance perdue à cause des frottements de l'air et des pertes dans les transmissions mécaniques à cette vitesse est de 3,0 kW, estimer la puissance que doit développer le moteur afin de maintenir la vitesse du véhicule constante.

On désigne par L, l'inductance d'une phase statorique et on néglige la résistance des enroulements. En régime permanent de rotation, on note $\underline{U}$, la représentation complexe de la tension d'alimentation de la phase, $\underline{I}$, celle de l'intensité du courant et $\underline{E'}$, celle de la force contre-électromotrice.

2. Rappeler le schéma électrique d'une phase, en fonctionnement moteur.

En régime permanent de rotation à la vitesse ω, on rappelle que l'angle d'autopilotage ψ représente de déphasage de $\underline{E'}$ par rapport à $\underline{I}$. Les constantes de la machine sont : $E' = \phi\omega$ avec $\phi = 1{,}9.10^{-1}$ Wb et $L = 1{,}6.10^{-3}$ H.

On étudie un régime de rotation du moteur à la vitesse $6{,}0.10^3$ tr/min. Lors de ce régime, la commande de l'onduleur impose $\psi = -\pi/3$ et le moteur doit développer la puissance mécanique $\mathscr{P}_m$ calculé à la première question.

3. Déterminer la valeur efficace de l'intensité du courant dans chaque phase.

4. À l'aide du diagramme de Fresnel, déterminer la valeur efficace de la tension d'alimentation.

5. À $6{,}0.10^3$ tr/min, le couple utile délivré à la charge mécanique vaut $\Gamma_{\text{ut}} = 21$ N·m. Calculer le rendement du moteur.

Exercice 6 : Freinage d'un véhicule électrique par récupération

On s'intéresse à un véhicule électrique équipé d'une machine synchrone pouvant fonctionner de manière réversible en moteur ou en alternateur.

Le circuit rotorique est parcouru par le courant d'excitation continu I_e maintenu constant.

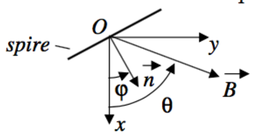
Les deux enroulements spatialement orthogonaux du circuit statorique sont parcourus par des courants sinusoïdaux de pulsation ω et déphasés de $\pi/2$.

1. Le véhicule électrique est une navette de masse voisine de 800 kg qui se déplace à la vitesse constante de 50 km · h^{-1}. À cette vitesse, le moteur synchrone tourne à sa puissance nominale de $6,0\times10^3$ tr · min^{-1}. Le véhicule aborde une pente de 10% qu'il dévale à la vitesse constante de 50 km · h^{-1}. Estimer la puissance de freinage que la machine synchrone doit appliquer au véhicule afin de maintenir sa vitesse constante en supposant que les pertes mécaniques sont de l'ordre de 3 kW.
2. Étude électrique :
   On désigne par L, l'inductance d'une phase et on néglige la résistance des enroulements. En régime permanent de rotation à la vitesse angulaire Ω, on note $\underline{U}$, la représentation complexe de la tension aux bornes de la phase, $\underline{I}$ celle de l'intensité et $\underline{E}$, celle de la force électromotrice. Il s'agit à chaque fois des grandeurs efficaces.
   (a) Rappeler le schéma électrique d'une phase en fonctionnement générateur.
   (b) En régime permanent de rotation à la vitesse Ω, on appelle ψ, l'angle de déphasage de $\underline{E}$ par rapport à $\underline{I}$, appelé angle d'auto-pilotage.
   On donne $E = \Phi\Omega$ avec $\Phi = 1,9 \times 10^{-1}$ Wb et $L = 1,6$ mH.
   On considère un régime nominal de fonctionnement pour lequel la vitesse de rotation vaut $6,0 \times 10^3$ tr/min. Lors de ce régime, la commande de l'onduleur impose $\psi = \dfrac{\pi}{3}$ et la machine consomme une puissance mécanique de 8 kW.
   Déterminer la puissance électrique que fournit l'alternateur à sa charge électrique et en déduire la valeur efficace de l'intensité du courant dans chaque phase.
   (c) À l'aide d'un diagramme de Fresnel, déterminer la valeur efficace de la tension délivrée par chaque phase de l'alternateur.
   (d) On souhaite récupérer la puissance électrique délivrée par l'alternateur et stocker l'énergie reçue dans une batterie. Proposer un dispositif permettant de réaliser ce transfert de puissance.

Réponses : 1 : $\mathcal{P}_{sync} = 7,9$ kW ; 2(b) : $I = \dfrac{\mathcal{P}_{elec}}{2E\cos(\psi)} = 67$ A ;
2(c) : $U = \sqrt{(E\sin\psi - L\omega I)^2 + (E\cos\psi)^2} \approx 70$ V

Exercice 7 : Moteur asynchrone

On dispose d'un champ magnétique qui tourne à la pulsation ω_0 dans le plan xOy.
On considère une spire d'aire S, de résistance R, d'inductance propre L et de vecteur normal $\vec{n}$ (Cf. figure). Cette spire tourne à la pulsation ω autour de Oz de telle sorte que son vecteur normal reste dans le plan xOy.



On pose $\varphi(t) = \omega t$, $\theta(t) = \omega_0 t + \theta_0$, et $\omega_r = \omega_0 - \omega$.
On suppose de plus $\omega > 0$.

1. Le champ magnétique est supposé homogène dans la spire. Calculer le flux du champ magnétique à travers la spire.
   En déduire l'expression de la f.e.m. dans la spire. On posera $\Phi_0 = B \times S$.
2. En considérant l'équation électrique de la spire, montrer, en passant par les grandeurs complexes, que l'intensité i peut se mettre sous la forme :
   $$i(t) = i_0 \sin(\omega_r t + \theta_0 - \psi)$$
   avec i_0 et ψ à exprimer en fonction des données du problème.
3. Déterminer le moment $\vec{\Gamma} = \Gamma \vec{u}_z$ des forces de Laplace exercé sur le cadre.
   <u>Indication</u> : utiliser la formule $\vec{\Gamma} = \vec{M} \wedge \vec{B}$.
   En déduire la valeur moyenne de Γ, notée Γ_m.
   Montrer que ce couple peut se mettre sous la forme :
   $$\vec{\Gamma}_m = \frac{\Phi_0^2 R(\omega_0 - \omega)}{2\left[R^2 + L^2(\omega_0 - \omega)^2\right]}\vec{u}_z$$
4. Pour toute la suite, on suppose que $0 \leq \omega \leq \omega_0$ et que $L\omega_0/R > 1$.
   Montrer que le dispositif est moteur et tracer l'allure de Γ_m en fonction de ω toutes les autres grandeurs étant fixées.
   On posera $\Gamma_0 = \Phi_0^2/(2L)$.
   Pour l'étude de la fonction, on pourra remarquer que :
   $$\Gamma_m = \frac{\Gamma_0}{\dfrac{R}{L(\omega_0 - \omega)} + \dfrac{L(\omega_0 - \omega)}{R}}$$
5. La machine est soumise à un couple résistif $\vec{\Gamma} = -\Gamma_r \vec{u}_z$, supposé constant.
   (a) Montrer que si Γ_r est inférieure à une certaine valeur limite, il existe en général deux points de fonctionnement.
   (b) Étudier la stabilité de ces deux points de fonctionnement.

Réponses : 1 : $\Phi(t) = \Phi_0 \cos(\omega_r t + \theta_0)$; 2 : $i_0 = \dfrac{\Phi_0 \omega_r}{\sqrt{R^2 + L^2\omega_r^2}}$; $\tan(\psi) = \dfrac{L\omega_r}{R}$;
3 : $\vec{\Gamma}_m = \dfrac{i_0 \Phi_0}{2} \cos(\psi)\ \vec{u}_z$

<u>Machine à courant continu MCC</u>

CP037. Génératrice à excitation indépendante (**)

La plaque signalétique d'une génératrice à courant continu à excitation indépendante indique ses caractéristiques en fonctionnement nominal :

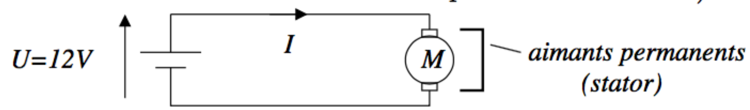
11,2 N · m	1500 tr/min	
induit	220 V (tension utile disponible)	6,8 A
excitation	220 V	0,26 A

1. Réaliser les schémas électriques de l'induit et de l'inducteur.
2. Calculer la puissance mécanique consommée en fonctionnement nominal.
3. Calculer la puissance consommée par l'excitation.
4. Calculer la puissance utile.
5. En déduire le rendement nominal

Réponses : 2 : $P_{meca} = 1,76$ kW ; 3 : $P_{cons} = 57$ W ; 4 : $P_u = 1,5$ kW ; 5 : $\eta = 82\%$

CP038. Moteur de rétroviseur (**)

Un moteur de rétroviseur électrique d'automobile a les caractéristiques suivantes :
— moteur à courant continu à aimants permanents ;
— tension nominale $U_N = 12$ V ;
— force contre électromotrice :
(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 (les pertes collectives désignent la somme de la puissance dissipée dans les matériaux ferromagnétiques et de la puissance perdue à cause des frottements mécaniques dans le moteur).



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

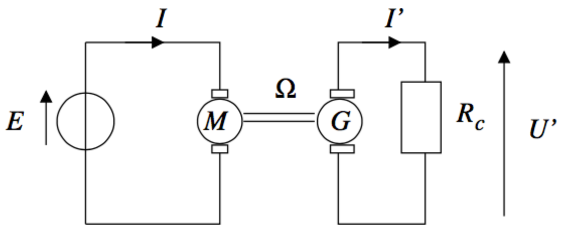
1. À vide, le moteur consomme 0,20 A.
   Calculer sa force contre-électromotrice et en déduire sa vitesse de rotation.
2. Que se passe-t-il si on inverse le branchement du moteur ?
3. En charge, au rendement maximal, le moteur consomme 0,83 A.
   Calculer : la puissance absorbée, les pertes Joule, la puissance utile, la vitesse de rotation, la puissance électromagnétique, le couple électromagnétique, le couple utile.

Réponses : 1 : $E' = 11,3$ V ; $n = 11,3 \times 10^3$ tr/min ; 3 : $P_{abs} = 9,96$ W ; $P_J = 2,41$ W ; $P_{em} = P_u = 7,55$ W ; $n = 9,1 \times 10^3$ tr/min ; $\Gamma_{em} = 7,92$ mN · m ; $\Gamma_u = 6,24$ mN · m

CP039. Étude de deux machines couplées (**)

On considère l'association de deux machines à courant continu, de caractéristiques rigoureusement identiques, placées sur un même arbre de rotation.
La machine « M » est alimentée par une source de tension idéale de f.e.m E, la machine G est connectée à une charge R_c. On note R la résistance de chacun des bobinages et f le coefficient de frottement fluide de l'ensemble (couple de frottement proportionnel à la vitesse angulaire).

On s'intéresse au régime permanent.



Données numériques :
$E = 100$ V, $R = 1,0$ Ω, constante de couplage $\Phi_0 = 1,0$ Wb, $R_c = 10$ Ω, et $f = 0,01$ S.I.

1. Écrire les équations électriques des deux machines en notant E'_1 la force contre-électromotrice du moteur et E_2 le f.e.m. de la génératrice.
   Écrire une équation mécanique pour un système constitué de l'ensemble des deux rotors et de l'arbre en notant $\Gamma_{em,M}$ et $\Gamma_{em,G}$ les normes des couples électromagnétiques pour le moteur et la génératrice.
2. En partant de l'équation mécanique et en supposant un couplage parfait, déterminer l'expression de Ω en fonction de Φ_0, E, R, R_c et f.
3. Calculer la vitesse de rotation du système, l'intensité du courant dans chacun des induits et la tension aux bornes de la charge électrique.
4. Montrer qu'un bilan de puissance conduit à :
   $$EI = RI^2 + f\Omega^2 + RI'^2 + R_cI'^2$$
   Interpréter.

Réponses : 1 : $E = RI + E'_1$; $E_2 = RI' + R_cI'$; $\Gamma_{em,M} = \Gamma_{em,G} + f\Omega$;
2 : $\Omega = \dfrac{\Phi_0 E/R}{f + \Phi_0^2\,[1/R + 1/(R + R_c)]}$ 3 : $\Omega \approx 91$ rad · s^{-1} ; $I = 9,2$ A ; $I' = 8,3$ A ; $U' = 83$ V