

# Conversion de puissance

## CP-1: Machine à courant continu (CCINP 2025 Aurèle DURAND)

On considère un système composé d'une machine à courant continu (MCC) dont l'axe de rotation est relié à une poulie. Une masse  $m$  suspendue à un fil enroulé autour de cette poulie entraîne la machine en rotation lorsqu'elle chute.

La machine à courant continu est à aimants permanents; elle a une résistance interne notée  $r$ . Le rotor a un moment d'inertie  $J$  par rapport à son axe de rotation.

La machine est branchée en génératrice : elle est reliée à une résistance externe  $R$ .

La masse met en rotation la poulie de diamètre  $d$ , solidaire de l'axe du moteur.

On néglige les frottements et l'inertie de la poulie.

La masse  $m$  est en chute libre avec un fil tendu, qui ne glisse pas sur la poulie.

1. Donner la relation entre la f.é.m. de l'induit et la vitesse de rotation, en faisant intervenir une constante caractéristique de la machine.
2. Démontrer cette relation.
3. Expliquer physiquement le rôle joué par cette constante dans le fonctionnement de la machine.
4. Déterminer le couple exercé par la masse.
5. Déterminer une équation différentielle régie par la vitesse de rotation de la machine.
6. La résoudre.

## CP-2: Hacheur (CCINP 2025 Rania EL MALKI et Keenan GALLART)

On considère le montage ci-contre, pour lequel  $E > 0$  et  $i(t) > 0 \forall t$ .

1°) Pourquoi les deux interrupteurs ne peuvent-ils être fermés simultanément ? pourquoi ne doit-on pas les ouvrir simultanément brutalement ?

On dispose de diodes et de transistors et on veut que la charge soit alimentée de 0 à  $\alpha T$ .

Comment choisir les interrupteurs et le régime de commutation du (ou des) interrupteurs commandable(s) ?

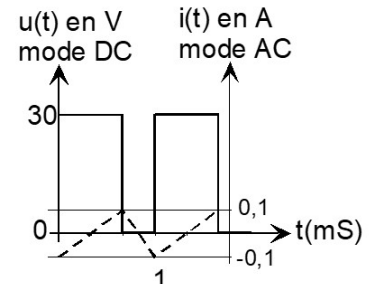
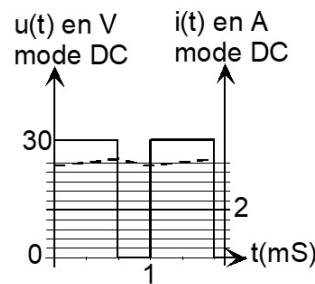
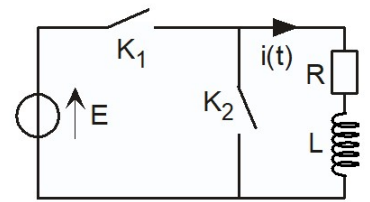
2°) Quelles sont les équations différentielles vérifiées par  $i(t)$  au cours de chacune des 2 phases de fonctionnement ? Les résoudre, en notant  $\tau$  la constante de temps, et  $I_m$  et  $I_M$  les valeurs extrêmes du courant dans la charge (R,L).

3°) On donne  $I_m = \frac{E}{R} \frac{1 - \exp(-\frac{\alpha T}{\tau})}{1 - \exp(-\frac{T}{\tau})}$  et  $I_M = \frac{E}{R} \frac{1 - \exp(-\frac{\alpha T}{\tau})}{1 - \exp(-\frac{T}{\tau})}$ . On fait

l'hypothèse que  $\tau \gg T$ . Calculer  $I_m$ ,  $I_M$  puis l'ondulation de courant de façon approchée, par développement limité.

4°) Calculer le courant moyen  $\langle i \rangle$ , de façon exacte, mais sans passer par de gros calculs.

5°) Trouver  $E$ ,  $f$ ,  $\alpha$  puis  $L$  et  $R$  à l'aide des figures ci-contre.



## CP-3: Conduction continue (CCINP 2025 Maxime PATTON)

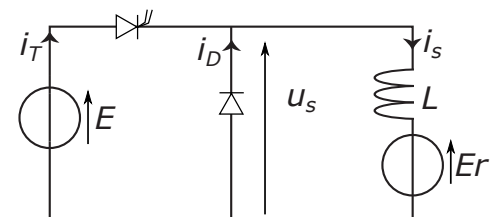
Le montage illustré sur la figure est conçu pour pouvoir faire varier la puissance délivrée par une source de tension continue à une source de courant continue. Il est constitué d'un transistor et d'une diode, comme le montre la figure.

Lorsque la charge énergétique, c'est-à-dire la source de courant n'est pas idéale, il peut arriver que la diode cesse d'être passante avant la fin de la période  $T$ . On a alors un phénomène de "conduction discontinue", puisqu'il existe un intervalle de temps au cours duquel ni le transistor ni la diode ne conduisent le courant. La charge est alors parcourue par un courant nul pendant cette phase.

Dans le cas présent, la charge est un moteur électrique, modélisé par  $E_r$ , en série avec une inductance  $L$ .

On fait l'hypothèse que le transistor est passant de  $t = 0$  à  $t = \alpha T$ , et que  $E > E_r$ .

On note  $P_m$  la puissance moyenne absorbée par le moteur.



1. Donner la caractéristique courant-tension de la diode, puis celle du transistor.
2. Donner le nom du convertisseur formé de la diode et du transistor.
3. Quel type de moteur peut être utilisé avec un tel montage? Est-ce le rotor ou le stator de ce moteur qui est alimenté par ce montage?
4. Donner le tracé de  $v_s(t)$  sur 2 périodes.
5. Exprimer la valeur moyenne et la valeur efficace de  $v_s(t)$ .
6. On pose  $i_s(0) = I_{\min}$ , et on note  $I_{\max}$  la valeur maximale de  $i_s$ . Déterminer les expressions de  $i_s(t)$  entre  $t = 0$  et  $t = T$ . On fera intervenir  $I_{\min}$  mais pas  $I_{\max}$ .
7. Quelle est la condition sur  $P_m$  pour éviter la conduction discontinue?
8. Tracer alors  $i_s(t)$  puis exprimer sa valeur moyenne en fonction de  $I_{\min}$  et  $I_{\max}$ .

#### CP-4: Adaptation d'impédance (Pierre GIRIE CCINP 2023)

On se place en régime sinusoïdal forcé, à la pulsation  $\omega$ .

1. Rappeler les expressions des impédances complexes de résistances, des bobines, des condensateurs.
2. Quel est le comportement HF et BF de ces composants?
3. On considère un circuit constitué d'une seule maille, dans laquelle sont placés une charge d'impédance complexe  $\underline{Z}_c$ , et une source de tension sinusoïdale imparfaite, de tension efficace  $\underline{E}$ , et d'impédance interne  $\underline{Z}_g$ . On pose  $\underline{Z}_c = R_c + jX_c$  et  $\underline{Z}_g = R_g + jX_g$ . Exprimer la puissance moyenne consommée par la charge en fonction des paramètres caractéristiques des éléments de ce montage.
4. Comment faut-il choisir la réactance  $X_c$  de la charge pour maximiser la puissance moyenne consommée par cette charge?
5. On adopte cette réactance. Comment faut-il alors choisir la résistance  $R_c$  de la charge pour maximiser la puissance moyenne consommée par cette charge?
6. En résumé, comment faut-il choisir  $\underline{Z}_c$  en fonction de l'impédance interne de la source?
7. Qu'appelle-t-on "adaptation d'impédance"?
8. On considère à présent un générateur de tension sinusoïdale dont l'impédance interne est une résistance pure,  $R_g$ . Il est relié à une résistance de charge  $R_c \neq R_g$ . Comment peut-on, avec un transformateur, adapter l'impédance de la charge à celle de la source?

#### CP-5: Transformateur (Margot MISERERE CCINP 2023)

1. Rappeler les hypothèses d'un transformateur idéal. À quoi sert le tore ferromagnétique? Doit-il être réalisé en matériau dur ou doux? Expliquer.

2. En supposant le transformateur parfait, exprimer  $\frac{v_2(t)}{v_1(t)}$  en justifiant bien les signes.

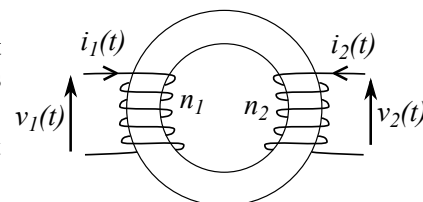
3. En supposant le transformateur parfait, exprimer  $\frac{i_2(t)}{i_1(t)}$  en justifiant bien les signes.

4. On note  $L_1$  l'autoinductance du bobinage primaire,  $L_2$  celle du bobinage secondaire, et  $M$  la mutuelle inductance. Exprimer l'énergie magnétique totale  $\mathcal{E}_m$  emmagasinée dans le transformateur, en fonction de ces paramètres, et des deux courants.

5. Au moyen d'une autre expression de  $\mathcal{E}_m$ , montrer que cette énergie est nécessairement positive ou nulle. En déduire que  $M^2 \leq L_1 L_2$ .

6. On note  $\ell$  la longueur du parcours moyen dans le tore ferromagnétique, et  $S$  la section du tore, supposée uniforme. En supposant la perméabilité magnétique relative du noyau  $\mu_r$  finie, mais aussi que le noyau canalise parfaitement le champ magnétique, exprimer  $L_1$ ,  $L_2$  et  $M$ .

Montrer qu'on a alors  $M^2 = L_1 L_2$ . Cette relation est-elle vérifiée pour un transformateur parfait?

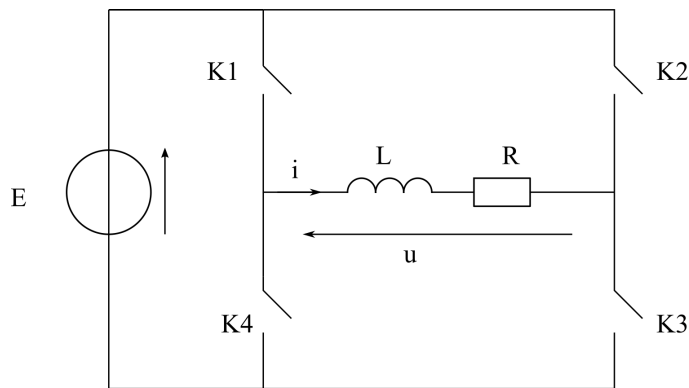


#### CP-6: Onduleur sur charge inductive (CCINP 2019)

On étudie le circuit suivant, dans lequel les interrupteurs  $K_i$  sont idéaux. On donne les valeurs des composants qui modélisent la charge : pour la résistance  $R = 10\Omega$  et pour la bobine  $L = 0.50\text{H}$ . Pour la source,  $E = 50\text{V}$ .

Le fonctionnement des interrupteurs est périodique de période  $T = 2\text{ms}$ , sur une période il est défini par :

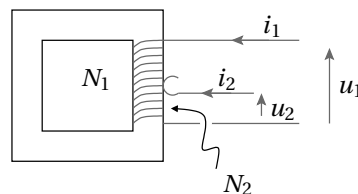
	$-\frac{T}{4} \rightarrow \frac{T}{4}$	$\frac{T}{4} \rightarrow \frac{3T}{4}$
$K_1, K_3$	F	O
$K_2, K_4$	O	F



1. Définir la fonction d'un onduleur et donner un exemple d'utilisation.
2. Tracer la tension  $u(t)$ .
3. En déduire  $\langle u \rangle$  et  $U_{eff}$ .
4. Justifier que dans le cas envisagé on peut négliger  $R$  et considérer que la charge est purement inductive.
5. Montrer que le courant est alternatif, triangulaire, et varie entre  $-i_{max}$  et  $+i_{max}$ , déterminer  $i_{max}$ .
6. Déterminer la nature des interrupteurs. Quels éléments seront passants entre  $-\frac{T}{4}$  et  $\frac{T}{4}$ ? (Diode, transistor...)
7. Calculer la puissance moyenne cédée à la charge.

### CP-7: Auto-transformateur

Le transformateur représenté ci-contre ne comporte qu'un seul bobinage de  $N_1$  spires au total, alimenté par le circuit primaire avec la tension  $u_1(t)$ . On branche le circuit secondaire (on note  $u_2(t)$  la tension aux bornes du secondaire) entre une extrémité du bobinage et un contact glissant sur ce bobinage. On note  $i_1$  et  $i_2$  les intensités au primaire et au secondaire.



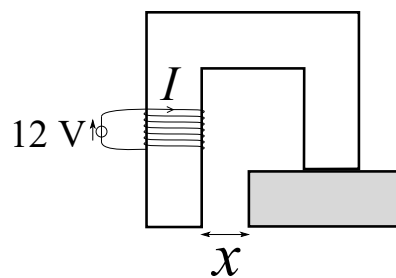
1. Avec les hypothèses du transformateur parfait, établir les équations du transformateur.
2. Déterminer les pertes cuivre en fonction de la résistance  $r$  d'une spire et du courant  $i_2$ . Le rendement est-il meilleur qu'avec deux bobines de  $N_1$  et  $N_2$  spires?

### CP-8: Bouton poussoir (Bertrand TURCK CCP 2018)

Un bouton poussoir magnétique est constitué de deux morceaux de matériau ferromagnétique. Le blanc, en forme de "U" à l'envers, est fixe. Le gris, de section  $S$ , peut translater suivant l'axe horizontal. Cet axe ( $Ox$ ) est orienté vers la droite sur le dessin. Une source continue de 12 Volt alimente une bobine de  $N$  spires.

On note  $\mathcal{E}_m$  l'énergie magnétique du système,  $\ell$  la longueur moyenne du noyau ferromagnétique lorsqu'il est refermé sur lui-même (c'est-à-dire pour  $x = 0$ ). Ce noyau est un milieu linéaire homogène isotrope, de perméabilité magnétique relative  $\mu_r$ .

On rappelle que la force magnétique qui s'exerce sur la partie mobile est donnée par  $\vec{F} = \left( \frac{\partial \mathcal{E}_m}{\partial x} \right)_I \vec{e}_x$ .



1. Exprimer  $\vec{F}$  au moyen de  $N$ ,  $\ell$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_r$ ,  $S$ ,  $x$  et  $I$ .
2. Déterminer la "pression magnétique" exercée par la partie mobile sur la partie fixe, lorsqu'il n'y a pas d'entrefer. Il fallait ensuite, à l'aide de valeurs numériques, comparer cette pression magnétique à la pression atmosphérique.

### CP-9: Chargeur USB (LSL CCP 2018)

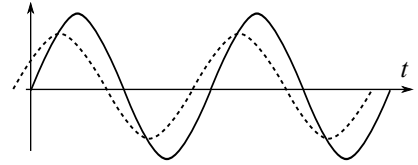
Un chargeur USB pour téléphone comporte quatre connecteurs :

- 2.0V
- 2.8V
- 5.0V

Pour simplifier, on ne considère que le 5.0V. Comment fabriquer cette tension à partir du secteur? Établir le lien entre le courant efficace dans la ligne du secteur et le courant moyen dans l'appareil qui se charge.

**CP-10: Radiateur, lampe, bobine, condensateur (Brice PUGET CCP 2017)**

On considère un radiateur purement résistif. Il est alimenté par une tension purement sinusoïdale, de valeur efficace 230 V et de fréquence 50 Hz. Sa puissance est de 2300 W.



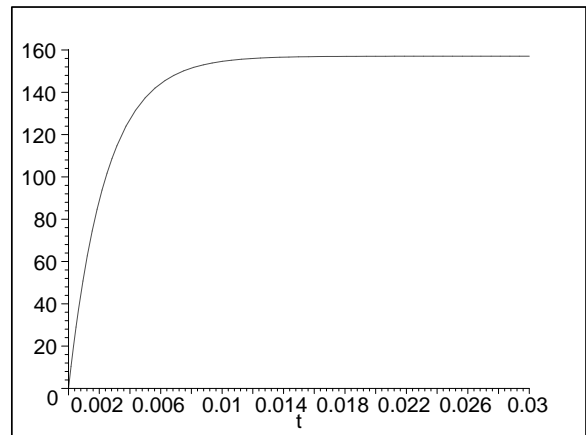
1. Calculer la valeur efficace du courant qui circule dans ce radiateur.
2. On ajoute en parallèle sur ce radiateur une lampe (purement résistive également) de 100 W. Calculer le courant efficace total consommé par ces deux appareils.
3. Montrer que quand un dipôle est soumis à une tension efficace  $U$ , et parcouru par un courant efficace  $I$ , la puissance moyenne consommée est  $UI \cos \varphi$ , et expliquer ce que représente  $\varphi$ .
4. On considère une bobine réelle, de résistance interne  $r$ , et d'autoinductance  $L$ . Déterminer le déphasage entre la tension aux bornes de la bobine et le courant qui y circule. Exprimer l'amplitude du courant  $I_{max}$  en fonction de celle,  $U_{Lmax}$ , de la tension, de  $r$ , de  $L$ .
5. En observant la tension aux bornes de la bobine  $u_L(t)$  et le courant  $i(t)$  qui y circule, comment fait-on la différence entre une bobine réelle et une bobine quasi-parfaite? Sur le schéma ci-contre identifier quelle courbe correspond à  $u_L$  et quelle courbe correspond à  $i$ . Déterminer le déphasage entre les deux, puis la puissance moyenne consommée par la bobine, sachant que cette bobine est branchée sur le réseau de 230 V, et que le courant efficace qui y circule est de 7,5 A.
6. Soit un condensateur réel. Comment modifier le schéma électrique d'un condensateur idéal pour prendre en compte le caractère non parfaitement isolant de son diélectrique? Dessiner sur un même graphe l'allure de la tension sinusoïdale aux bornes d'un condensateur réel et celle du courant qui y circule. Comment à partir de ce type de schéma, peut-on remonter aux éléments du modèle du condensateur réel?

**CP-11: Détermination des caractéristiques d'une MCC (Romain MARPAUX CCP 2015)**

On cherche à caractériser une machine à courant continu à aimants permanents. Celle-ci est reliée mécaniquement à une génératrice tachymétrique, de moment d'inertie négligeable, servant de capteur de vitesse. Les frottements secs sont modélisés par un couple résistant, de moment constant  $-T_{rc}$ . La charge mécanique entraînée par le moteur, exerce sur l'arbre de celui-ci un couple dont le moment est proportionnel à la vitesse angulaire :  $T_c = -\alpha\Omega$ . On néglige les frottements visqueux. Le schéma équivalent de la MCC est une simple association en série d'une résistance et d'une fcém.

On effectue plusieurs essais :

- Essai en charge nominale : la tension appliquée au moteur est  $U_n = 150V$ ; le courant dans l'induit est  $I_n = 19A$  et la vitesse angulaire  $\Omega_n = 1500 \text{ tr min}^{-1}$ ;
- Essai à vide : Pour retrouver une vitesse  $\Omega_n = 1500 \text{ tr min}^{-1}$ , sans charge mécanique, il faut appliquer à l'induit une tension  $U_2 = 143V$ ; le courant est alors  $I_2 = 1.0A$ ;
- Essai de démarrage avec charge : en présence de la charge indiquée dans le préambule, la machine étant à l'arrêt, on impose un échelon de courant : à  $t = 0$ ,  $I$  passe de 0 à  $I_n = 19A$ . L'évolution de la vitesse angulaire  $\Omega$  en  $\text{rad s}^{-1}$  est donnée sur la courbe ci-contre.



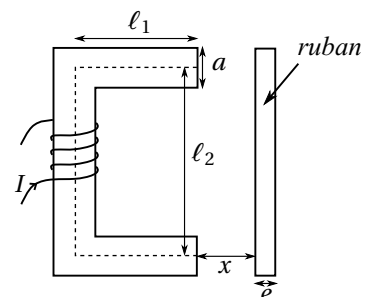
1. Déterminer la constante de proportionnalité  $K$  entre la force-contre-électromotrice et la vitesse angulaire.
2. Déterminer la valeur de  $T_{rc}$ , moment du couple des frottements secs.
3. Déterminer  $\alpha$
4. Déterminer le moment d'inertie  $J$  du rotor de la machine.

**CP-12: Capteur magnétique à réluctance variable (Matija MARINKOVIC CCP 2017 et LSL CCP 2018)**

Un capteur magnétique à réluctance variable est constitué d'une partie en forme de U, en matériau ferromagnétique doux de perméabilité magnétique  $\mu_1$ . Sa section est  $a^2$ .

Le "ruban", de section  $ea$ , est en matériau ferromagnétique doux de perméabilité magnétique  $\mu_2$ .

La bobine, constituée de  $N$  spires, est parcourue par un courant constant d'intensité  $I$ .



1. Donner les deux équations de Maxwell portant sur le champ magnétique et sur l'excitation magnétique pour un milieu ferromagnétique, dans le cadre de l'ARQS. Écrire les équations intégrales associées à ces équations de Maxwell.

- Dessiner des lignes de champ magnétique et donner des relations entre les champs magnétiques moyens  $B_1$  (partie en U),  $B_0$  (entrefer), et  $B_2$  (ruban). Ces champs sont les composantes des vecteurs projetées le long d'un contour moyen, orienté.
- Déterminer  $B_1$  en fonction de  $N$ ,  $I$ , les perméabilités, et les dimensions géométriques des noyaux ferromagnétiques.
- On définit la réluctance  $\mathcal{R}$  par  $\mathcal{R} = \frac{NI}{\phi}$ , où  $\phi$  est le flux magnétique canalisé. Déterminer  $\mathcal{R}$ .
- Rappeler l'expression de la résistance électrique  $R$  d'un cylindre conducteur de conductivité  $\gamma$ , de longueur  $L$ , de section  $S$ , le courant étant parallèle aux génératrices du cylindre. Faire l'analogie entre résistance et réluctance.
- Décrire le fonctionnement de ce capteur de position, qualifié de capteur "à réluctance variable". Pourquoi choisir des matériaux doux?

### CP-13: Alternateur, puis moteur

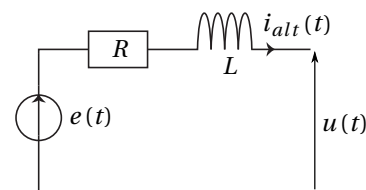
Soit une machine synchrone bipolaire et diphasée, à rotor bobiné. On ne s'intéresse qu'à une des phases de l'induit, c'est-à-dire du stator. On note  $i_{alt}(t)$  ou  $i_{mot}(t)$  le courant dans cette phase, orienté différemment selon le mode de fonctionnement. On note  $R$  et  $L$  la résistance et l'inductance de chacun des enroulements du stator. On donne  $R = 0.90\Omega$ . Le schéma électrique de la phase étudiée est le schéma ci-contre; schéma du haut pour le fonctionnement alternateur; schéma du bas pour le fonctionnement moteur.

#### A. Fonctionnement alternateur

On réalise les essais suivants :

- Essai "à vide" à la vitesse de rotation  $\omega_0$  et pour un courant d'excitation  $I_{ev} = 4.0A$  : tension efficace  $U_v = 220V$ ;
- Essai "en court-circuit" à la vitesse de rotation  $\omega_0$  et pour un courant d'excitation  $I_{ecc} = 1.0A$  : courant efficace dans l'induit  $I_{cc} = 3.5A$ .

- Que signifient "essai à vide", "essai en court-circuit"?
- Montrer qu'avec un choix approprié de l'origine des temps, on peut écrire :  $e(t) = KI_e\omega\sqrt{2}\sin(\omega t)$
- À l'aide de l'essai à vide, déterminer la valeur du produit  $K\omega_0$ .
- À l'aide de l'essai en court-circuit, calculer la réactance  $L\omega_0$  à la pulsation  $\omega_0$ . Montrer que  $R \ll L\omega_0$ . **Dans toute la suite, on négligera  $R$ .**

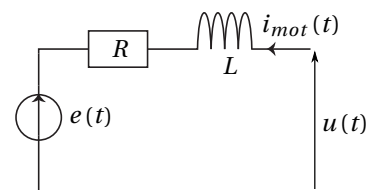


#### B. Fonctionnement moteur

La machine fonctionne à présent en moteur. On note  $\varphi$  (supposé indépendant de la phase choisie) le retard de phase du courant  $i_{mot}(t)$  par rapport à la tension  $u(t)$ .

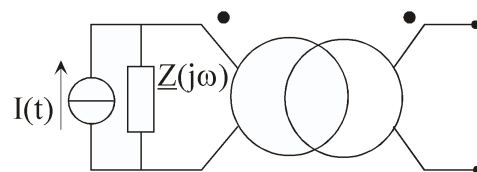
En régime nominal, à la fréquence  $f_0 = 50Hz$  correspondant à la pulsation  $\omega_0$ , chaque phase fonctionne sous une tension de valeur efficace  $U = 190V$ . Le stator absorbe une puissance moyenne  $P = 1.0kW$ , avec un facteur de puissance  $\cos(\varphi) = 0,87$ . On néglige les frottements mécaniques.

- Calculer l'intensité du courant efficace  $I$  dans la phase du stator.
- En faisant un bilan de puissance, calculer le moment du couple électromagnétique appliqué à l'arbre du moteur.
- Tracer le diagramme de Fresnel relatif au courant et à la tension dans le cas où  $\varphi > 0$ .
- Déterminer la valeur efficace  $E$  de la f.c.é.m.
- Établir la relation  $U\cos(\varphi) = E\cos(\beta)$ , où  $\beta$  représente le déphasage de  $e(t)$  par rapport à  $i_{mot}(t)$ .



### CP-14: Transformateur courant continu

On considère le montage ci-contre, le rapport du transformateur étant  $m$ . L'impédance complexe  $\underline{Z}$  dépend de la pulsation  $\omega$ , ce qui est symbolisé par la notation  $\underline{Z}(j\omega)$ . Ce montage est relié à sa droite à une résistance de charge  $R$ .

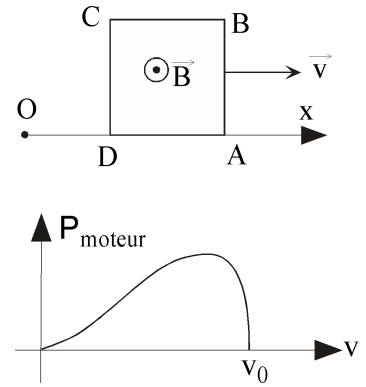


- En régime harmonique, de pulsation  $\omega$ , le courant de court-circuit de la source non idéale de courant est noté  $\underline{I}$ . Quel serait le générateur de Thévenin (force électromotrice  $\underline{E}_g$ , impédance interne  $\underline{Z}_g(j\omega)$ ) équivalent à la source de courant imparfaite branchée sur le primaire,?
- Le courant  $I(t)$  est périodique de période  $T$ , donc décomposable en série de Fourier. Quelle est alors l'expression de la tension  $u_s(t)$  aux bornes de  $R$ , et celle du courant  $i_s(t)$  qui y circule?
- Application : Une photopile est éclairée par une source d'intensité lumineuse variable. Elle est équivalente à un générateur de courant de résistance interne  $R_g = 1.0k\Omega$  et de courant de court-circuit  $I_{cc}(t) = I_0\cos^2(2\pi f_1 t)$  avec  $I_0 = 1.5mA$  et  $f_1 = 50Hz$ . Elle est reliée au primaire d'un transformateur idéal de rapport de transformation  $m = 10$ . Quelle est l'expression du courant qui circule dans une résistance  $R = 100k\Omega$  branchée au secondaire?

**CP-15: Moteur linéaire asynchrone (Centrale)**

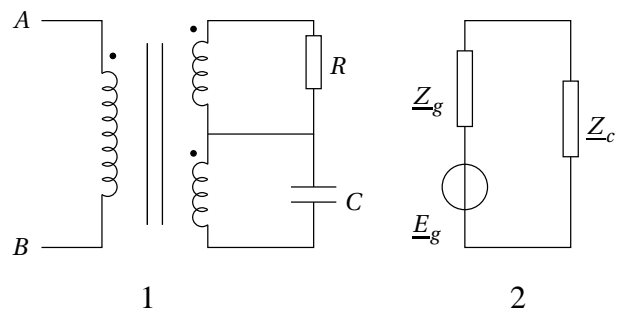
Un cadre conducteur carré  $ABCD$ , de côté  $a$ , se déplace à vitesse constante  $v$  selon  $Ox$ . Il est soumis à un champ magnétique de la forme  $\vec{B} = B_0 \cos(\omega_0 t - kx) \vec{u}_y$ . À  $t = 0$ , le point  $A$  est en  $O$ . On pose  $v_0 = \omega_0/k$ . Soient  $R$  et  $L$  la résistance et l'autoinductance (appelée aussi "self") du cadre.

1. Comment évolue le champ magnétique en fonction de l'espace et du temps; comment peut-on qualifier un tel champ?
2. On suppose que  $a \ll \frac{2\pi}{k}$ . Quelle en est la conséquence sur le champ magnétique ressenti par le cadre à  $t$  fixé?
3. On appelle  $e$  la f.é.m. induite dans le cadre, orientée dans le sens  $ABCD$ . On appelle  $i$  le courant dans le cadre, orienté dans le même sens que  $e$ . Calculer  $e(t)$ . En déduire  $i(t)$  (on pourra avantageusement utiliser la notation complexe en introduisant une pulsation  $\Omega$  à définir).
4. En déduire la force instantanée  $\vec{F}$  que subit le cadre, puis la force moyenne au cours du temps.
5. À quelle condition le dispositif est-il moteur?
6. On donne le graphe ci-contre. Expliquer.



**CP-16: Adaptation d'impédance (Centrale)**

On considère le montage numéroté (1). Le milieu magnétique du transformateur est linéaire, de perméabilité  $\mu_r$ , non infinie. On note  $L_1$  l'inductance propre du circuit primaire. Le circuit secondaire comporte deux sorties. On néglige les pertes fer et les pertes de flux magnétiques.



1. Montrer que le dipôle  $AB$  est équivalent à une association  $L' // R' // C'$ . Déterminer  $R'$  et  $C'$ . On pourra introduire les grandeurs caractéristiques du transformateur (section  $S$ , nombre de spires de l'enroulement...). Que représente  $L_1$  physiquement?
2. On alimente le montage précédent par un générateur imparfait d'impédance interne  $Z_g$ . On introduit :

$$\underline{E}_g = E\sqrt{2} \quad \underline{Z}_g = X_g + jY_g \quad \underline{Z}_c = X_c + jY_c.$$

Quelle est la puissance fournie à la charge? À  $E$ ,  $X_g$  et  $Y_g$  fixés, comment fournir le maximum de puissance à la charge?

**CP-17: Machines à courant continu (Centrale)**

Soient 2 machines à courant continu identiques,  $M_1$  et  $M_2$ . Leurs induits sont reliés entre eux par une résistance  $R$  et un interrupteur  $K$ . On note  $J$  le moment d'inertie de chacun des deux rotors (ils sont égaux),  $R_T$  la résistance totale du circuit ( $R$  + les 2 résistances des rotors). On néglige les inductances et les frottements mécaniques. Pour  $t < 0$ , les vitesses angulaires des deux machines sont  $\Omega_1 = \Omega_0$  et  $\Omega_2 = 0$ . À  $t = 0$ , on ferme  $K$ .

1. Donner l'évolution des 2 vitesses angulaires au cours du temps. Tracer les courbes correspondantes. Quel est le lien entre les deux vitesses angulaires finales? Pouvaient-on s'y attendre?
2. Faire un bilan énergétique et conclure.

**CP-18: Cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique**

Pour le montage ci-contre, on donne : la longueur moyenne du tore ferromagnétique  $\ell = 25$  cm, la section  $s = 5.0$  cm<sup>2</sup> et les nombres de spires au primaire  $N_1 = 200$  et au secondaire  $N_2 = 1000$ . La petite résistance en série avec le primaire a pour valeur  $r = 4 \Omega$ .

1. Expliquer comment ce montage permet la visualisation du cycle d'hystérésis du matériau sur un oscilloscope.
2. Le signal  $u(t)$  est à 50 Hz.  $R = 50$  k $\Omega$  et  $C = 10$   $\mu$ F. Expliquer le rôle du circuit  $\{R,C\}$ . Définir les quantités  $H$  et  $B$  et donner leurs expressions en fonction de  $V_X$  et  $V_Y$ .
3. Définir et donner les valeurs numériques de l'excitation coercitive et du champ magnétique rémanent. Calculer la puissance dissipée dans le tore par unité de volume.

