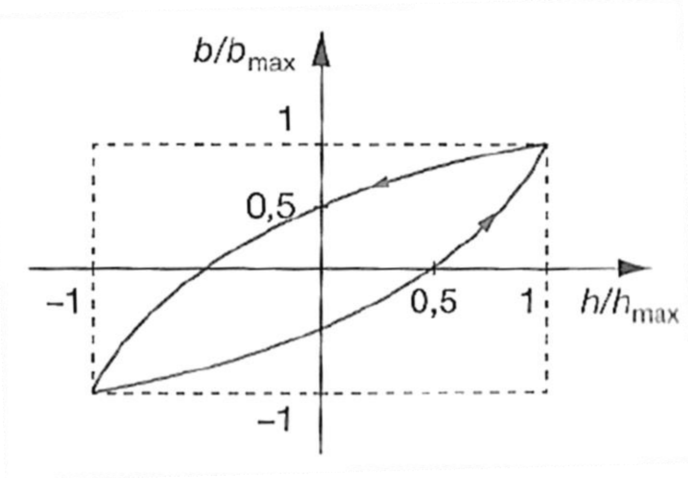
Conversion de puissance

Etude énergétique d'un transformateur

On étudie un transformateur monophasé en régime sinusoïdal forcé. Le générateur branché au primaire fournit : $v_p(t) = V_p\sqrt{2}\cos(\omega t)$. Le nombre de spires des enroulements primaire et secondaire sont notés N_p et N_s, la résistance des bobinages est négligée. Le circuit magnétique présente un cycle d'hystérésis (voir figure).



Forme d'onde

a. Expliquer pourquoi le flux dans le circuit magnétique est lui aussi sinusoïdal.
b. Le transformateur est refermé sur une charge résistive. Que peut-on dire sur le courant secondaire i_s ? Le courant primaire est-il sinusoïdal ? (on considérera pour cela que μ_r est finie).
c. Donner l'expression générale de la puissance instantanée absorbée au primaire par le transformateur. Montrer que la valeur moyenne de la puissance ne fait intervenir que l'harmonique d'ordre 1 du courant primaire.
d. Le circuit secondaire du transformateur est ouvert. On suppose, malgré le cycle d'hystérésis, que l'on peut considérer temporairement qu'il n'y a pas de perte par hystérésis, ni de perte par effet Joule, ni de perte par courant de Foucault. Quelle est dans ce cas la puissance absorbée par le transformateur ? Quel est le déphasage entre la tension primaire et l'harmonique d'ordre 1 du courant primaire ?
e. A l'aide de la caractéristique $b(h)$ du milieu magnétique représentée en unités relatives sur la figure, préciser les notions de champs coercitif et d'aimantation rémanente. Que peut-on dire du champ coercitif dans un matériau ferromagnétique dur ? Faut-il pour un transformateur préférer un fer dur ou un fer doux ? Pourquoi ?

Remarque : le cycle représenté sur la figure donne : $B = \mu_0[\mu_r H \pm a(H_m^2 - H^2)]$ avec $\mu_r = 1000$.

Mesure du rendement

On considère désormais que les pertes énergétiques ne sont plus négligeables, c'est-à-dire que l'on tient compte des pertes fer et cuivre. La puissance nominale du transformateur est de $2.2\ kV \cdot A$.

Essai à vide

On applique au primaire la tension nominale $V_p = 230\ V$. La valeur efficace de l'intensité au primaire est $I_p = 1\ A$ et la puissance mesurée est $P_{10} = 80\ W$.

f. A quoi correspond cette puissance fournie au transformateur ? Quel est le déphasage entre l'harmonique d'ordre 1 du courant primaire et la tension appliquée au primaire ?

En court-circuit

On applique au primaire la tension V_{pcc} telle que la valeur efficace de l'intensité au secondaire soit égale à la valeur nominale du courant que peut débiter le transformateur. La puissance fournie au primaire est $P_{1cc} = 75\ W$.

g. A quoi correspond cette puissance fournie au primaire du transformateur ?

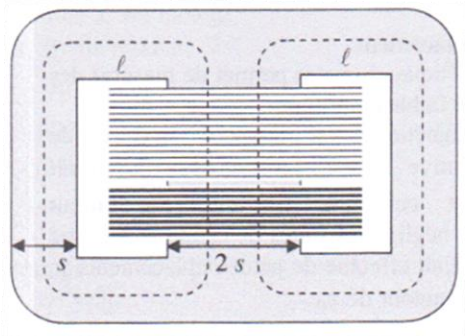
En charge

h. Dans les conditions nominales de fonctionnement, on fournit une puissance de $P = 2\ kW$. En déduire le rendement du transformateur.

Conversion de puissance

Dimensionnement d'un transformateur réel

On étudie un transformateur monophasé 220 V / 110 V de puissance apparente $550\ V \cdot A$. Ce transformateur est alimenté au primaire en 220 V à 50 Hz.

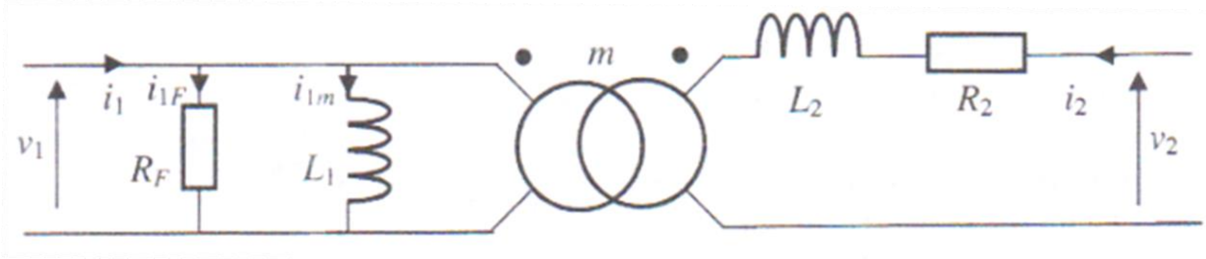


Pour réaliser ce transformateur on utilise le circuit magnétique représenté ci-contre. On admet que la section du tube d'induction est $s = 8.0\ cm^2$ et que la longueur de la ligne de champ magnétique moyenne (en pointillés sur la figure) est $l = 25\ cm$. Les tôles magnétique utilisées, non saturées, ont les caractéristiques suivantes :

- perméabilité relative $\mu_r = 3.1\ 10^3$
- masse volumique : $\rho = 7.2\ 10^3\ kg.m^{-3}$
- pertes fer massiques à 50 Hz : $p_F = 2.5\ W.kg^{-1}$ pour un champ maximal de $1T$.

a. Déterminer le nombre N_1 de spires au primaire pour que, dans le fer, le champ magnétique maximal soit de $1T$. En déduire N_2. Combien faudrait-il de spires si la fréquence était de 400 Hz ?

b. On cherche à décrire le transformateur par le modèle suivant :



Calculer la valeur efficace du courant magnétisant $I_{1m,eff}$.

c. On modélise les pertes fer à l'aide de la résistance R_F. Calculer ces pertes fer et en déduire la valeur de la composante $I_{1F,eff}$ du courant à vide qui traverse R_F.

d. Déterminer le courant $I_{1V,eff}$, absorbé à vide par le primaire, ainsi que le facteur de puissance à vide.

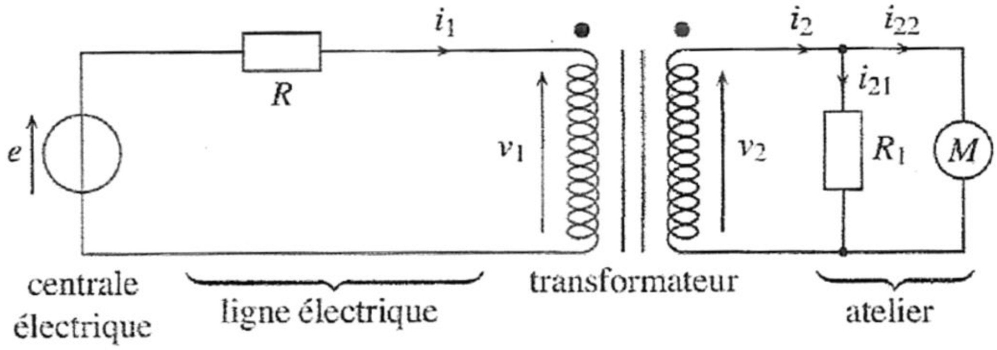
e. Lors de la réalisation du transformateur, on a mesuré la résistance des enroulements (en basse fréquence) $r_1 = 0.21\ \Omega$ pour le primaire et $r_2 = 0.11\ \Omega$ pour le secondaire. Déterminer la résistance ramenée au secondaire R_2.

f. Un essai avec le secondaire en court-circuit a donné les résultats suivants : $I_{2,eff} = 5.0\ A$ et $V_{1,eff} = 3.4\ V$. Déterminer la réactance de fuite ramenée au secondaire $L_2\omega$.

g. Déterminer la tension $V_{2,eff}$ obtenue lorsque $V_{1,eff} = 220\ V$ et que le secondaire du transformateur est connecté à un dipôle essentiellement inductif qui absorbe le courant $I_{2,eff} = 5.0\ A$ et possède un facteur de puissance $\cos(\varphi_2) = 0.8$.

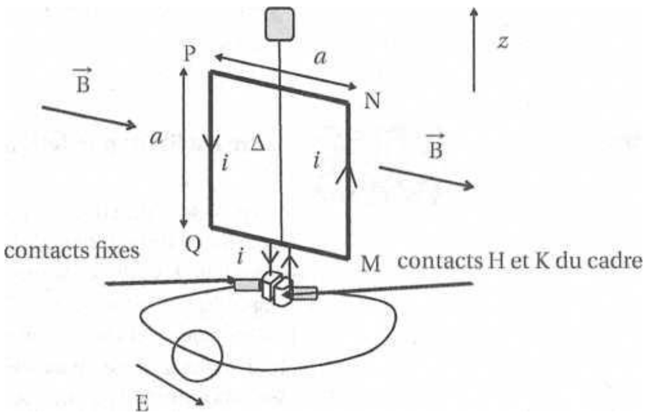
Alimentation d'un local industriel

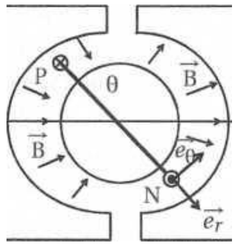
Une centrale électrique alimente un atelier par une ligne électrique de moyenne tension. La centrale impose une tension efficace en entrée du transformateur $V_{1,eff} = 20\,kV$, de fréquence $f = 50\,Hz$; les machines électriques de l'atelier sont alimentées par l'intermédiaire d'un transformateur qui délivre une basse tension de valeur efficace $V_{2,eff} = 230\,V$. Sur les prises électriques de l'atelier sont branchés un système électrique de chauffage et d'éclairage, équivalent à une résistance R_1, qui consomme une puissance active $P_1 = 4,0\,kW$, ainsi que des moteurs, dipôles inductifs, qui consomment une puissance active $P_2 = 12,0\,kW$, avec un facteur de puissance $cos\,\varphi_2 = 0,80$.



a. Quel est le rapport de transformation m du transformateur ?
b. Quelle est la valeur efficace de l'intensité $I_{2,eff}$ du courant appelé par l'atelier ?
c. Quel est le facteur de puissance cos φ de l'atelier au secondaire du transformateur? Son relèvement est traité à la dernière question.
d. Quel est la valeur efficace du courant appelé au primaire du transformateur ?
e. Les câbles électriques de la ligne présentent une résistance $R = 1,2k\,\Omega$. Quelle est la puissance dissipée par effet Joule dans la ligne électrique? On répondra en fonction de la puissance totale absorbée par l'atelier et de son cos φ. Que peut-on en conclure quant au cos φ de l'atelier ?
f. Quelle tension efficace la centrale doit-elle délivrer pour avoir $V_{1,eff} = 20\,kV$?
g. Quel est le facteur de puissance $cos\,\varphi_0$ en début de ligne, c'est-à-dire à la sortie de la centrale électrique, avant la ligne électrique ?
h. Proposer une méthode pour relever le facteur de puissance local de l'atelier à l'unité. On ne s'intéressera qu'aux deux dipôles de l'atelier et on mènera explicitement les calculs numériques.

Moteur à courant continu





Un cadre carré de côté a et de résistance R est en rotation autour d'un axe Δ. Il est relié à une source de tension de force électromotrice E par des contacts H et K qui commutent à chaque demi-tour. On note J le moment d'inertie du système par rapport à l'axe Δ et on repère un point du cadre par ses coordonnées cylindriques. Un aimant permanent produit un champ magnétique $\vec{B}$ radial et de norme B uniforme au niveau des fils MN et PQ. Un système mécanique exerce un couple de charge résistant $-\Gamma_c\overrightarrow{e_z}$ constant.

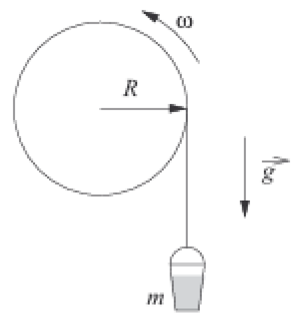
a. Calculer la force de Laplace qui agit sur chaque conducteur.
b. Calculer le travail de cette force sur un tour.
c. Calculer le moment des forces de Laplace s'exerçant sur le cadre en fonction de i, a et B.
d. Exprimer la force électromotrice e induite en fonction de a, B et ω, la vitesse angulaire de rotation du cadre.
e. En déduire la valeur de i en fonction de ω puis déterminer l'équation différentielle régissant l'évolution de $\omega(t)$.
f. Résoudre l'équation différentielle puis exprimer la vitesse angulaire ω_f atteinte en régime permanent par ce moteur à courant continu.
g. En généralisant les résultats des questions a et b à un moteur constitué de 700 conducteurs, calculer sa puissance sachant que :
   - $B = 1.2\,T\ /\ i\ =\ 10A$
   - longueur des conducteurs : $a\ =\ 12\ cm$
   - vitesse de rotation du moteur : $n\ =\ 1800\ tours/min$

Conversion électromécanique

Stabilité du régime de fonctionnement

Le rotor d'un moteur synchrone est relié à un treuil, arbre cylindrique de rayon R, sur lequel est enroulée une corde, au bout de laquelle on veut hisser un seau d'eau de masse m. Le moment moyen du couple moteur s'écrit $\Gamma = \Gamma_0 \cdot \sin(\alpha)$.

a. Déterminer l'expression de la masse maximale m_{max} que le moteur peut hisser en régime permanent en fonction de Γ_0, g et R.
b. Montrer qu'il y a deux valeurs possibles pour α en régime permanent. On notera $0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \pi$.
c. Un caillou tombe dans le seau et augmente légèrement sa masse. Montrer par une analyse qualitative qu'une seule des valeurs de α assure la stabilité de la montée du seau.
d. Même question si un peu d'eau tombe du seau, diminuant légèrement sa masse.
e. Donner l'expression de la puissance du moteur.
f. Donner l'expression du coût énergétique de la montée du seau sur une hauteur H.

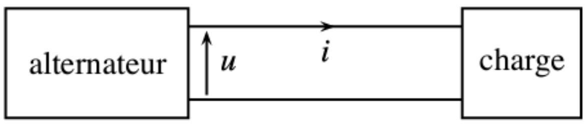


Couple d'entrainement d'un alternateur sur charge résistive

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.

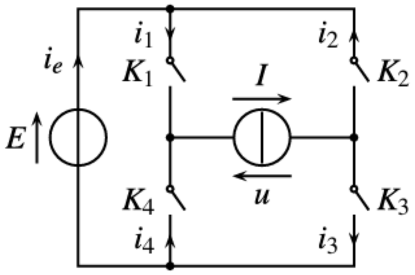


1. Quelles sont les caractéristiques du matériau ferromagnétique constitutif de l'alternateur ?
2. Proposer un schéma électrique du système, sur lequel figurent le modèle électrique de l'alternateur, la charge, la tension u et l'intensité i du courant délivré par la MS à R.
3. Calculer la vitesse de 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.

Conversion électronique statique

Hacheur en pont

La source d'entrée présente une tension $E > 0$ constante ; celle de sortie est parcourue par un courant d'intensité $I > 0$ constante. i_e, u, i_1, i_2, i_3 et i_4 dépendent du temps.



1. Dresser la liste de tous les états possibles pour les interrupteurs. Préciser les états autorisés. Dans la suite, on ne s'intéresse qu'aux états qui permettent un transfert de puissance entre l'entrée et la sortie ; quels sont-ils ?

2. En étudiant les contraintes qui pèsent sur les interrupteurs, identifier les.

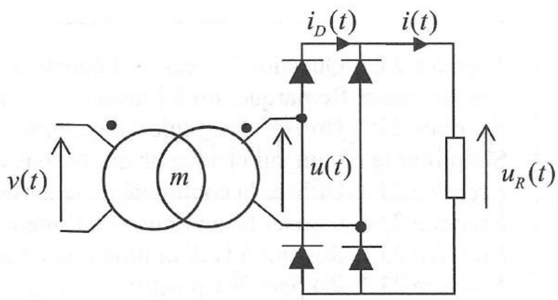
3. Le hacheur fonctionne de manière périodique. Les interrupteurs commandés sont fermés sur $[0, \alpha T]$ et ouverts sur $[\alpha T, T]$. Comment nomme-t-on α ?

4. Tracer les formes d'onde de l'intensité i_e du courant en entrée, de la tension u en sortie. En déduire leurs valeurs moyennes, I_e et U. Quelle est la particularité de ce hacheur ?

5. Calculer les puissances délivrée par la source d'entrée et absorbée par celle de sortie ; en déduire le rendement du hacheur.

Chargeur de piles

A l'intérieur d'un chargeur de piles, on a le circuit suivant. On supposera le transformateur et les diodes parfaits. Le rapport de transformation est $m = 0.06$. On note U_{eff} la valeur efficace de la tension $u(t)$ et la valeur efficace de la tension $v(t)$ est $V_{eff} = 230\ V$. La résistance est $R = 160\ \Omega$.



a. Montrer que $\langle U_R \rangle = \frac{2\sqrt{2}U_{eff}}{\pi}$

b. En déduire les expressions de $\langle i \rangle$ et $\langle i_D \rangle$ ainsi que les valeurs efficaces associées. Applications numériques.

c. Calculer la puissance moyenne consommée par la résistance.

On ajoute dans le chargeur deux piles $Ni - Cd$ de fem $1.2\ V$ et de capacité $500\ mAh$ en série avec R.On note $u'_R(t)$ la tension aux bornes de la résistance et des deux piles.

d. Tracer $u'_R(t)$ et $i(t)$.

e. Calculer $\langle i \rangle$. On admet que la tension aux bornes de la résistance et des deux piles vaut $\langle U'_R \rangle \approx \frac{2\sqrt{2}U_{eff}}{\pi}$.

En déduire la puissance consommée par une pile et la durée de charge.