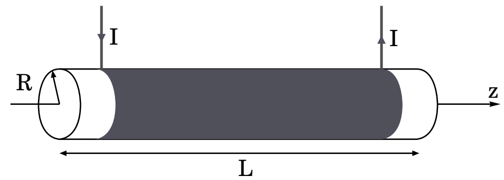
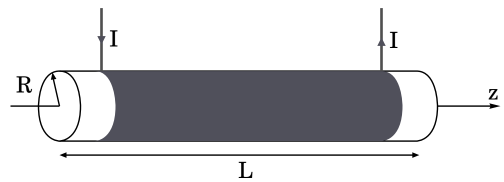
Questions de cours

* Un cylindre (rayon R, longueur L, $R \ll L$) de matériau ferromagnétique dur est enroulé sur tout sa longueur par N spires, d'un fil parcouru d'un courant I. Donner l'allure des champs $\vec{B}/\mu_0$, $\vec{H}$ et $\vec{M}$ le long de l'axe du cylindre (noté z). On supposera que l'aimatation est uniforme dans tout le matériau. On s'intéressera en particulier au cas où $B > 0$ et $H < 0$.



* Un cylindre (rayon R, longueur L, $R \ll L$) de matériau ferromagnétique doux est enroulé sur tout sa longueur par N spires, d'un fil parcouru d'un courant $i(t)$. Quel est l'inductance L du circuit ? Même question dans le cas d'un ferromagnétique dur.



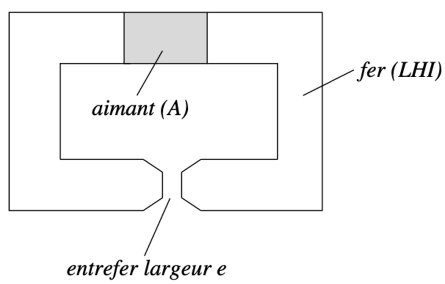
* Décrire le modèle du transformateur parfait.

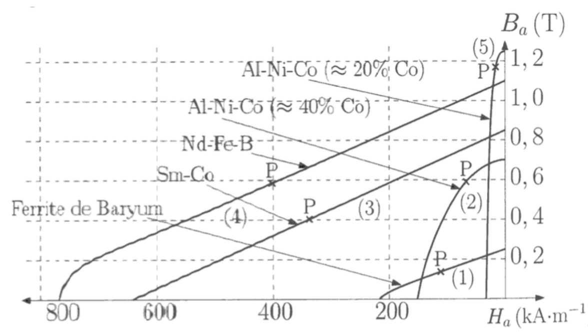
* Décrire la caractéristique (H, B) d'un matériau ferromagnétique doux et dur. Pourquoi préfère t-on les matériaux doux pour les transformateurs ou les électroaimants ?

Dimensionnement d'un aimant

Un aimant (A) permanent, rectangulaire, de section S_A, de longueur l_a est intercalé dans un circuit magnétique (CM) en fer (ou acier) de longueur l_f. Ce circuit magnétique est supposé linéaire, homogène et isotrope (LHI) de perméabilité magnétique $\mu_0\mu_{r,f}$. Le circuit magnétique a même section que l'aimant (A) excepté au voisinage d'un entrefer de largeur e, où sa section décroît jusqu'à S_e et a vocation à produire dans l'entrefer un champ magnétique B_e. On suppose pour la suite une canalisation parfaite des lignes de champ fer (LHI).

On note H_a et B_a l'excitation et le champ de l'aimant. La figure suivante donne un quart de cycle $B_a(H_a)$ pour quatre matériaux d'aimants permanents, matériaux durs.

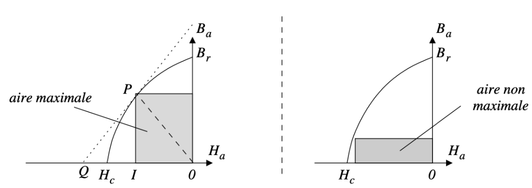




- ♡ Économiquement, l'aimant (A) doit être dimensionné à volume minimal. Montrer qu'à volume V_e et champ B_e d'entrefer imposés, l'aimant le plus économique correspond à un produit d'énergie $|H_aB_a|$ maximal (critère d'Evershed).

  On pourra faire l'hypothèse : $\frac{l_f}{\mu_{r,f}} \ll \frac{S_a e}{S_e}$

- ♡ Montrer que le produit d'énergie $|H_aB_a|$ d'un matériau dur est maximal quand on est au point P d'Evershed, point de son quart de cycle $B_a(H)$ tel que le segment PQ soit tangent à la courbe et le triangle OPQ isocèle (Cf. figure).



- ♡ Dimensionner l'aimant (A) pour le samarium-cobalt Sm-Co. Données : B_e =1.8T, S_e =3.0cm^2, e=1.0cm, l_f=1.0m, $\mu_{r,f} = 1,0 \cdot 10^4$.

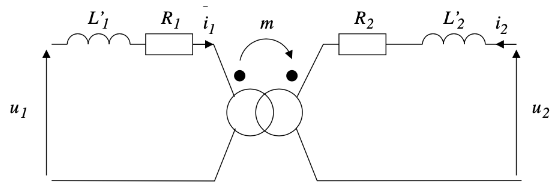
Estimation de la puissance dissipée dans un cycle hystérésis

Un tore en acier de section 10cm×12cm et de longueur 1.5m est enroulé par un bobinage dans lequel circule un courant à la fréquence f = 50Hz, imposé par un générateur. L'acier est considéré comme un matériau ferromagnétique dur, de champ de saturation B_{sat} =1T, de champ rémanent B_r =0.7T et d'excitation coercitive H_c = 60A/m.

Déterminer la puissance dégagée en moyenne lorsqu'on parcours cet hystérésis. Sous quelle forme se transforme l'énergie électrique apportée par le générateur ?

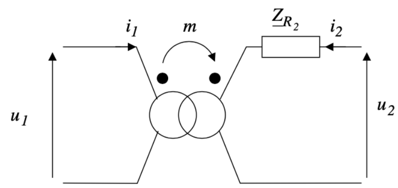
Transformateur réel série

Un transformateur réel est représenté sur le schéma ci-dessous.

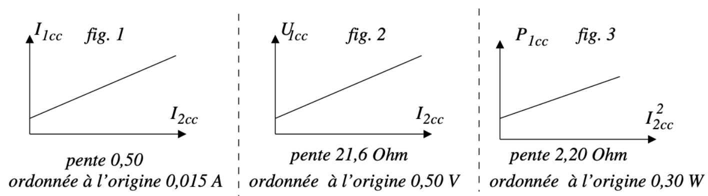


Les résistances R_1 et R_2 représentent les résistances des fils de cuivre associées aux enroulements. Les inductances L_1' et L_2' sont des inductances de fuite modélisant les fuites de champ magnétique dues à la perméabilité finie du noyau.

* Montrer que le transformateur est équivalent au schéma suivant d'un transformateur idéal et d'une impédance Z_{R_2} placée au secondaire. Donner son expression.



Les figures 1, 2 et 3 donnent les graphes liant amplitudes de tensions, de courants et de puissance moyenne appelée au primaire lorsque le secondaire est court-circuité à 50 Hz.

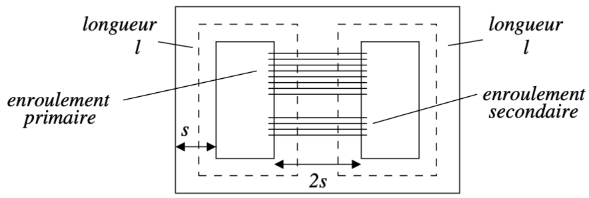


* Relier théoriquement U_{1cc}, I_{2cc}, $Z_{R_2} = Z_R$ et m, puis trouver une équation reliant théoriquement P_{1cc} et I_{2cc}. Ces équations sont-elles en accord avec les courbes expérimentales ? Expliquer.

* On a $R_2 = mR_1$ et $L_2' = mL_1'$. Calculer numériquement m, $R1$, et $L1$.

Transformateur réel

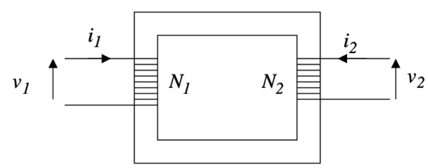
On étudie un transformateur monophasé 220 V/110 V de puissance apparente 500 VA. Ce transformateur est alimenté au primaire en 220 V sous 50 Hz. Pour réaliser ce transformateur, on utilise le circuit magnétique représenté ci-dessous.



On admet que la section du tube d'induction est $s = 8.0cm^2$ et que la longueur de la ligne de champ magnétique moyenne (en pointillé sur la figure) est l =25 cm. Les tôles utilisées, non saturées, ont les caractéristiques suivantes : perméabilité relative $\mu_r = 3,1 \cdot 10^3$, masse volumique $\rho = 7,2 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$.

▷ Sachant que le primaire est alimenté par une tension de 220 V de fréquence 50 Hz, déterminer le nombre $N1$ de spires du primaire pour que, dans le fer, le champ magnétique soit de 1 tesla. En déduire N_2. Combien faudrait-il de spires si la fréquence valait 400 Hz ?

On cherche maintenant à représenter un modèle linéaire de ce transformateur réel tenant compte du caractère fini de la perméabilité relative μ_r. On considère le schéma suivant pour le transformateur : on appelle N_1 le nombre de spires au primaire, N_2 le nombre de spires au secondaire, μ_r la perméabilité magnétique relative du milieu (non infinie !), ϕ le flux magnétique à travers la section droite S du noyau. On appelle l la longueur moyenne d'une ligne de champ dans le fer. On ne tient pas compte des pertes par effet Joule et des pertes fer.

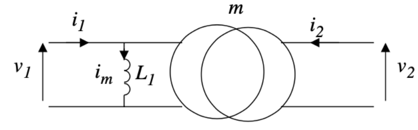


▷ En se plaçant en régime forcé à la pulsation ω, montrer que :

$$i_1 - I_m = -\frac{N_2}{N_1} i_2$$

avec $I_m = \frac{v_1}{j\omega L_1}$ le courant magnétisant, et L_1 l'inductance propre du circuit primaire, dont on donnera l'expression.

▷ Que vaudrait I_m pour $\mu_r \longrightarrow \infty$? Justifier alors le nouveau schéma proposé pour le transformateur pour tenir compte de ce courant magnétisant.

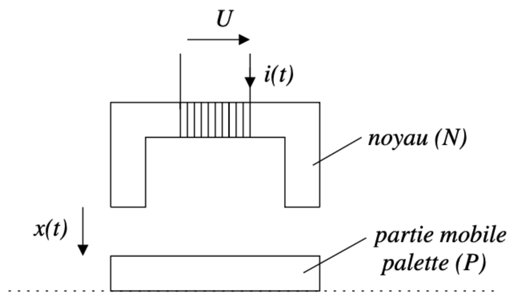


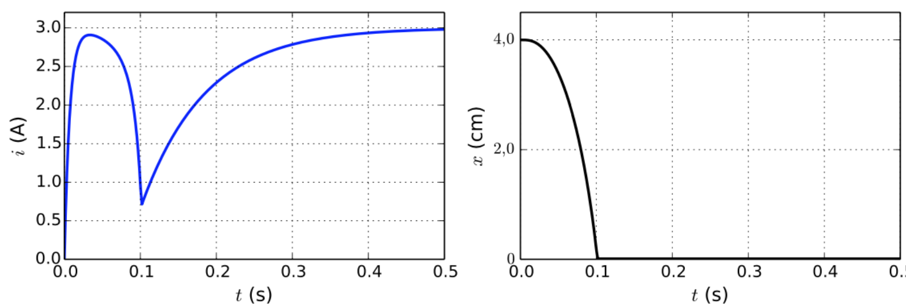
▷ Calculer la valeur efficace du courant magnétisant pour le transformateur réel étudié à la première question.

Pic de courant dans un relais à palette

On considère un convertisseur à mouvement linéaire, constitué d'un noyau (N) fixe en forme de U, d'une palette (P) cylindrique, tous deux en fer doux de section S. Ces deux parties forment un circuit magnétique d'entrefer $x(t)$ dont on considérera la canalisation parfaite des lignes de champ. Le fer doux est un matériau de grande perméabilité relative μ_r.

La longueur moyenne totale de l'aimant en U et de la palette est notée l. La palette a une masse m. Un bobinage (B) enroulé autour de (N) est, à partir de $t = 0$, alimenté par la tension continue U et parcouru par le courant $i(t)$. On note R la résistance de l'enroulement constitué de N spires.





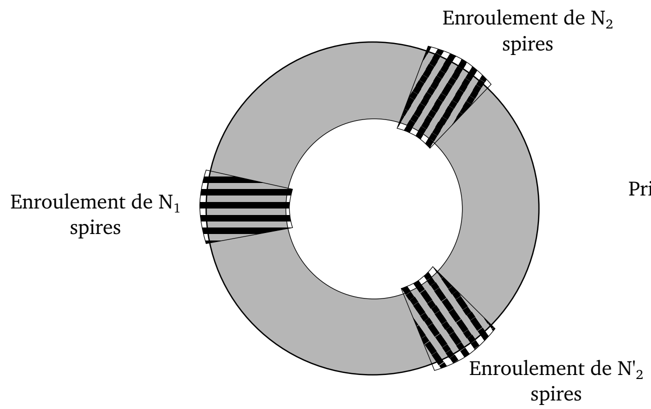
Les figures ci-dessus donnent les courbes de simulation du courant et de la position de la palette au cours du temps. Paramètres : $U = 30$V, $R = 10\Omega$, $N = 500$, $\mu_r = 200$, $S = 0,02\text{m}^2$, espacement initial $e = 4$cm, $l = 1,5$m, $m = 10$kg.

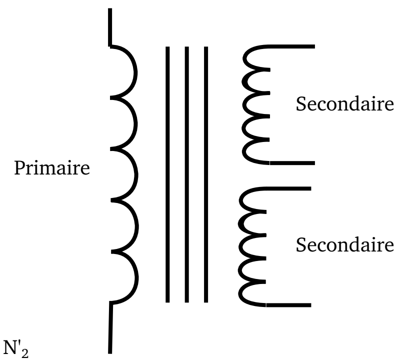
- ◇ Etablir le système d'équations différentielles satisfait par $i(t)$ et $x(t)$.
- ◇ Analyser les différentes phases du mouvement et expliquer l'allure des courbes.

Transformateur à 3 bobinages

Un transformateur à deux secondaires possède trois enroulements, l'un de N_1 spires appelé primaire, et deux enroulements de N_2 et N_2' spires appelés secondaires. On assimile la carcasse magnétique à un tore de section S et de circonférence moyenne L.

On appelle u_1, i_1, u_2, i_2, u_2' et i_2' les tensions et intensités dans les différents enroulements.





- ♣ Déterminer la relation entre l'excitation magnétique moyenne dans la carcasse magnétique et les paramètres électriques dans les enroulements. Faire de même pour les relations entre le flux à travers une spire et les paramètres du circuit.

- ♣ En déduire, dans le cas du transformateur parfait, les relations entre tensions et intensités. Donner une modélisation à l'aide de transformateurs idéaux de ce transformateur parfait.

Transfert de puissance

On souhaite alimenter un dipôle ohmique de résistance R par un générateur sinusoïdal de fem $e(t) = E_0 cos(\omega t)$ par l'intermédiaire d'un transformateur supposé parfait de rapport de transmission m. Les câbles électriques reliant le transformateur ont un coefficient d'auto-induction L et l'ensemble générateur-fils une résistance r.

- ★ Déterminer le rapport de transformation pour avoir la puissance maximale dissipée dans R.

- ★ Calculer le rendement de l'installation électrique en fonction de m.

- ★ Tracer les courbes de la puissance dissipée dans R et du rendement en fonction de m.