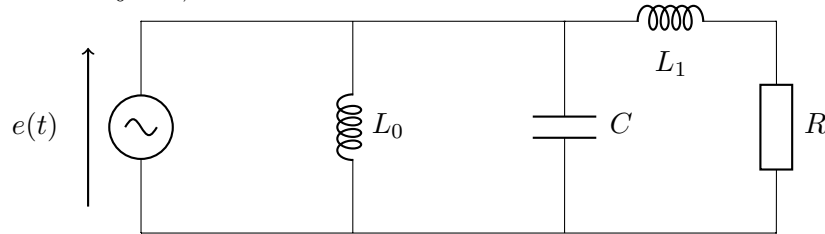


TD10 : milieux magnétiques, puissance, transformateur

Puissance électrique en régime sinusoïdal

CP055. Détermination d'une puissance (**)

Le circuit représenté ci-dessous est alimenté par une source de tension sinusoïdale de pulsation $\omega = 100\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ et de valeur efficace $E_0 = 220 \text{ V}$. La résistance R est variable et $L_0 = 1,0 \text{ H}$.



1. Montrer que la puissance moyenne P dissipée par la résistance R a pour expression :

$$P = \frac{RE_0^2}{R^2 + (L_1\omega)^2}$$

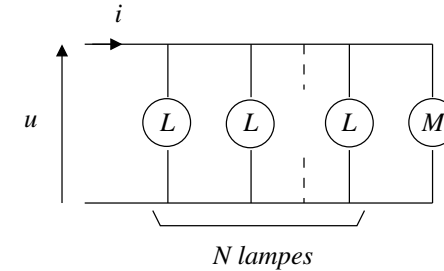
2. Déterminer l'expression R_0 de R pour laquelle la puissance P est maximale. Déterminer L_1 sachant que $R_0 = 12 \Omega$.
3. Calculer dans ces conditions la valeur maximale P_m de P .
4. Dans cette dernière question $R = R_1 = 16 \Omega$, déterminer la valeur de la capacité du condensateur C pour que la tension aux bornes du générateur soit en phase avec le courant qu'il débite.

Réponses : 2 : $R = R_0 = L_1\omega$, $L_1 = 38 \text{ mH}$; 3 : $P_m = 2,0 \text{ kW}$; 4 : $C = \frac{1}{L_0\omega^2} + \frac{L_1}{R_1^2 + (L_1\omega)^2}$
 $C = 0,11 \text{ mF}$

CP061. Puissance d'installation électrique (**)

On considère l'installation ci-après. Le moteur inductif absorbe une puissance moyenne P_1 avec un déphasage φ_1 et les N lampes, assimilées à des conducteurs ohmiques, absorbent P_2 au total. Montrer que le facteur de puissance de l'ensemble a pour expression :

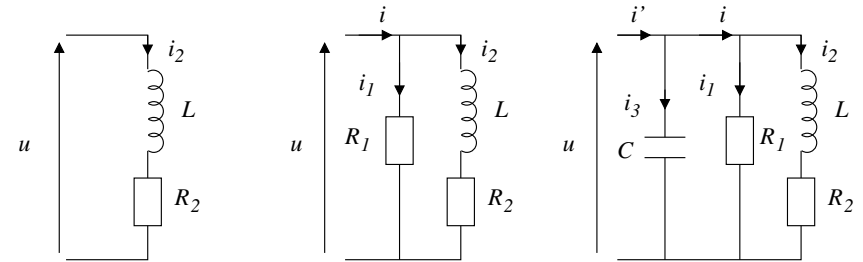
$$\cos(\varphi) = \frac{P_1 + P_2}{\sqrt{(P_1 + P_2)^2 + [P_1 \tan(\varphi_1)]^2}}$$



CP060. Puissance absorbée par une installation (***)

Une installation électrique est alimentée avec une tension efficace $U = 220 \text{ V}$ à la fréquence $f = 50 \text{ Hz}$.

Pour les raisonnements, on s'appuiera sur des diagrammes de Fresnel.



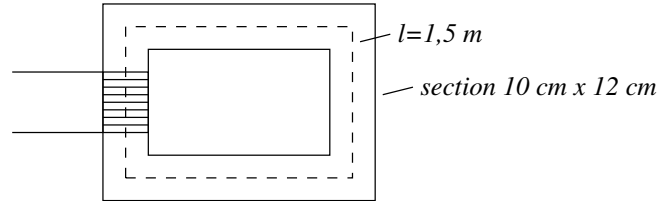
1. *Schéma de gauche* : l'installation est de type inductif. Elle consomme une puissance $P_2 = 2,0 \text{ kW}$ et elle est parcourue par un courant d'intensité efficace $I_2 = 18,2 \text{ A}$. En déduire les valeurs de la résistance R_2 et de l'inductance L , qui, placées en série, seraient équivalentes à l'installation. Calculer le facteur de puissance $\cos(\varphi_2)$.
2. *Schéma central* : on ajoute en parallèle une résistance R_1 consommant une puissance $P_1 = 1,0 \text{ kW}$. Calculer les valeurs efficaces I , I_1 et I_2 , la puissance P et le facteur de puissance $\cos(\varphi)$ de l'installation.
3. *Schéma de droite* : on veut rendre égal à 1 le $\cos(\varphi')$ de l'installation. Expliquer pourquoi le distributeur d'électricité impose cette valeur. Quelle valeur de la capacité C doit-on placer en parallèle ?
4. On enlève R_1 . Quelles valeurs de C permettent d'avoir $\cos(\varphi) \geq 0,93$, condition réellement imposée ?

Réponses : 1 : $R_2 = 6,04 \Omega$, $L = 33 \text{ mH}$, $\cos(\varphi_2) = 0,50$; 2 : $I_1 = 4,55 \text{ A}$, $I = 20,9 \text{ A}$, $\cos(\varphi) = 0,65$, $P = 3,0 \text{ kW}$; 3 : $C = \frac{I |\sin(\varphi)|}{U\omega} = 2,3 \times 10^{-4} \text{ F}$;
 4 : $C = \frac{I_2}{U\omega} [|\sin(\varphi_2)| + \cos(\varphi_2) \tan(\varphi)]$, $1,7 \times 10^{-4} \text{ F} \leq C \leq 2,8 \times 10^{-4} \text{ F}$.

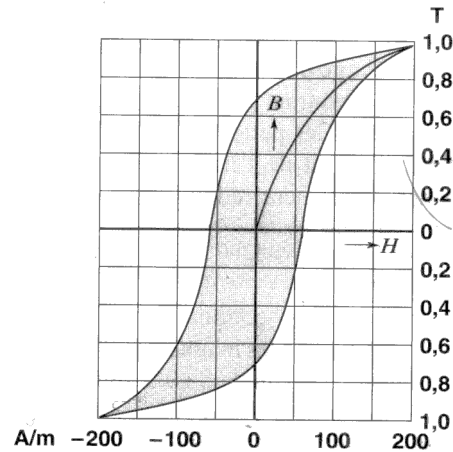
Milieux magnétiques

CP031. Puissance dissipée par hystérésis (*)

On applique une tension alternative de fréquence $f = 60 \text{ Hz}$ aux bornes de l'enroulement d'un acier pour relais.



Cet acier possède le cycle d'hystérésis suivant :



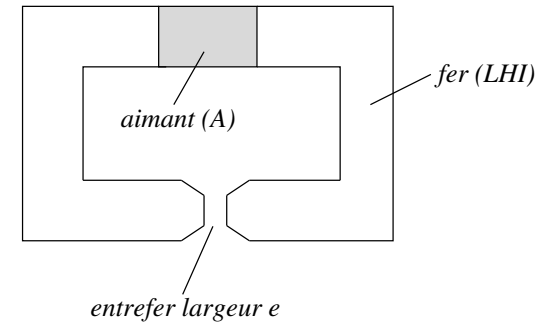
Calculer la puissance approximative moyenne dissipée par hystérésis.

Réponse : $P \approx 2,4 \times 10^2 \text{ W}$

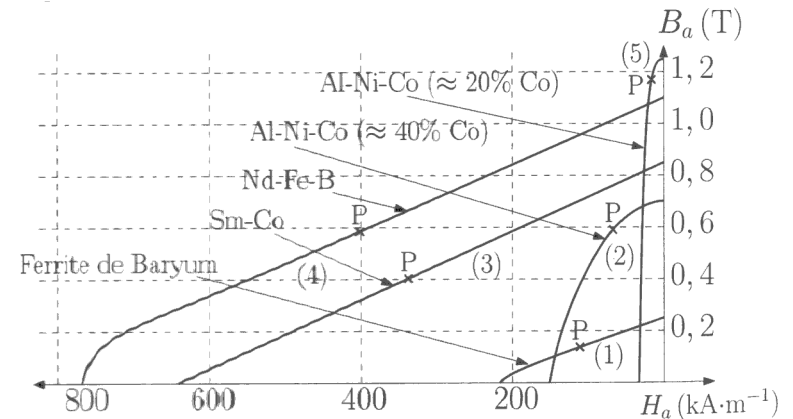
CP068. Dimensionnement d'un aimant, critère d'Evershed (**)

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 B_e .

On suppose pour la suite une canalisation parfaite des lignes de champ



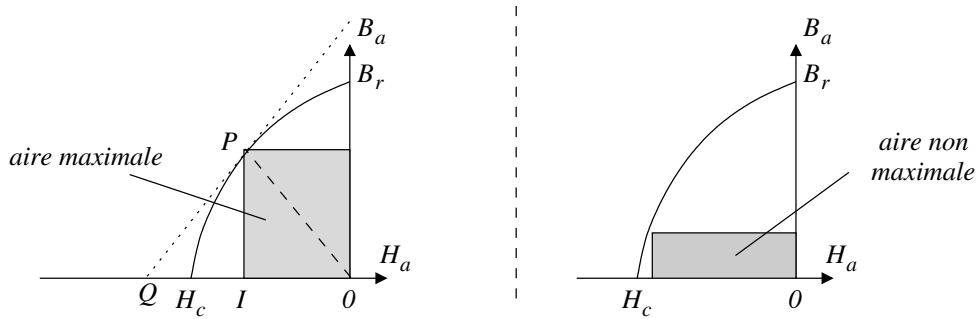
On note H_a et B_a l'excitation et le champ de l'aimant. La figure suivante donne un quart de cycle $B_a(H_a)$ pour quatre matériaux d'aimants permanents, matériaux durs.



1. Économiquement, l'aimant (A) doit être dimensionné à volume minimal. En exploitant la conservation du flux magnétique, le théorème d'Amperè pour l'excitation magnétique et les relations constitutives des matériaux, montrer qu'à volume V_e et champ B_e d'entrefer imposés, l'aimant le plus économique correspond à un produit d'énergie $|H_a B_a|$ maximal (critère d'Evershed).

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

2. Montrer que le produit d'énergie 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).



3. Dimensionner l'aimant (A) pour le samarium-cobalt Sm - Co.

Données :

$$B_e = 1,8 \text{ T}, S_e = 3,0 \text{ cm}^2, e = 1,0 \text{ cm}, l_f = 1,0 \text{ m}, \mu_{r,f} = 1,0 \times 10^4.$$

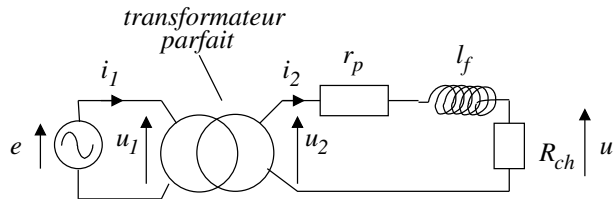
Réponses : 1 : $H_a B_a \times l_a S_a = -\frac{B_e^2 V_e}{\mu_0}$; 3 : $V_a = 55 \text{ cm}^3, S_a = 13,5 \text{ cm}^2, l_a = 4,1 \text{ cm}.$

Transformateurs et applications

CP002. Adaptation à l'aide d'un transformateur (**).

Dans cet exercice, on prend en compte la résistance des enroulements et la canalisation non parfaite des lignes de champ d'un transformateur en introduisant une résistance r_p et une inductance de fuite l_f au secondaire.

On considère que la perméabilité du noyau tend toujours vers l'infini. On appelle m le rapport de transformation. E désigne l'amplitude la tension du GBF.

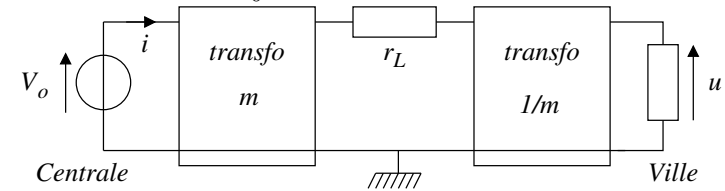


1. Rappeler la relation entre u_1 et u_2 ; en déduire l'expression de la tension complexe \underline{u} en fonction de ω, E, r_p, l_f et m .
2. Déterminer le rendement du transformateur réel (rapport de la puissance moyenne fournie à la résistance R_{ch} sur la puissance moyenne absorbée au primaire).
3. On place un condensateur de capacité C en série avec la charge, donner l'expression de C pour que la tension U soit maximale aux bornes de cette dernière?

Réponses : 1 : $\underline{u}_2 = m\underline{u}_1, \underline{u} = \frac{mR_{ch}E}{R_{ch} + r_p + j l_f \omega}$; 2 : $r = \frac{R_{ch}}{R_{ch} + r_p}$; 3 : $C = \frac{1}{l_f \omega^2}.$

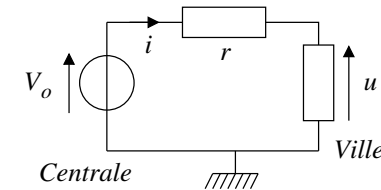
CP013. Alimentation d'une ville, intérêt ligne THT (**)

Une ville est reliée à une centrale se situant à une distance $L = 100 \text{ km}$, par l'intermédiaire d'un réseau monophasé 50 Hz dont la tension au niveau de la centrale a une valeur efficace $V_0 = 230 \text{ V}$ environ.



Le réseau se compose : d'une centrale, d'un fil de ligne réalisé avec $N = 10$ brins conducteurs cylindriques de diamètre $d = 3,0 \text{ mm}$ et de conductivité électrique $\sigma = 5,64 \times 10^7 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$, d'un fil de retour de résistance nulle, d'un dipôle « Ville » consommant la puissance $P_0 = 20 \text{ MW}$, de deux transformateurs aux deux extrémités de la ligne.

1. Donner une estimation de la population de l'agglomération considérée.
2. Montrer que l'ARQS est applicable. Calculer la résistance r_L de la ligne.
3. On choisit $m = 1000$ pour le rapport de transformation. Justifier cette valeur. Quel phénomène physique limite en pratique la valeur de m ?
4. En ramenant la centrale et la résistance de ligne au secondaire du second transformateur, montrer que l'on peut représenter la ligne par le circuit simplifiée ci-dessous.



Exprimer r en fonction de r_L et m . Expliquer l'intérêt des transformateurs.

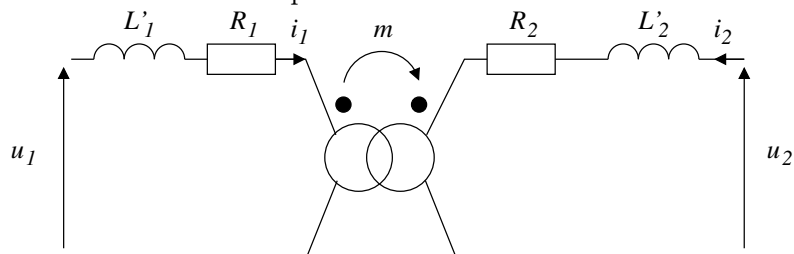
5. On appelle U et I la tension et l'intensité efficaces au niveau du dipôle « Ville », et φ le déphasage entre la tension et l'intensité. On supposera la tension U fixée à 220 V. On note enfin P_1 la puissance perdue en ligne par effet Joule.
 - (a) Montrer que : $\frac{P_1}{P_0} = \frac{r_L P_0}{m^2 U^2 \cos^2(\varphi)}$
 - (b) Justifier alors l'intérêt d'acheminer le courant sous haute tension.
 - (c) Justifier l'intérêt pour le fournisseur d'électricité d'imposer un facteur de puissance élevée.

(d) Application numérique avec $\cos(\varphi) = 1$ puis $\cos(\varphi) = 0,7$.

Réponses : 1 : 20 000 personnes ; 2 : $r_L = 25 \Omega$; 4 : $r = r_L/m^2$; 5 : $P_1/P_0 = 1,0\%$, $P_1/P_0 = 2,1\%$.

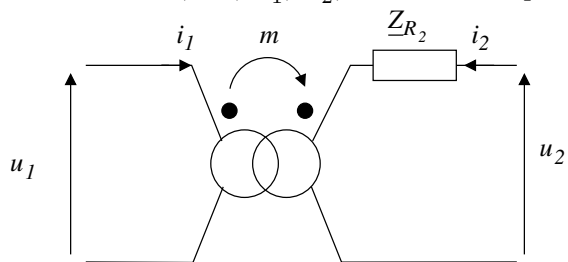
CP069. Transformateur réel à défaut série (**)

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

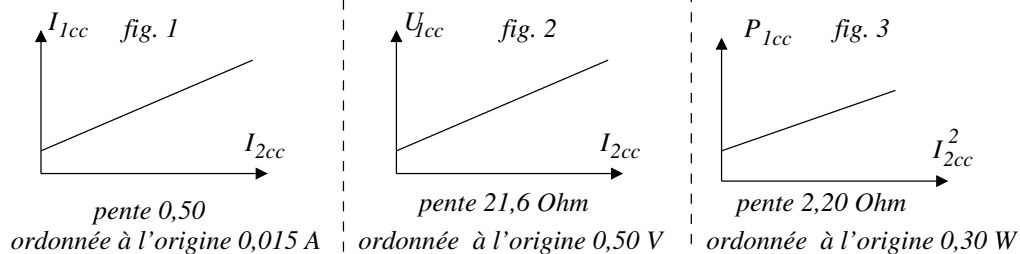


Les résistances R_1 et R_2 représentent les résistances des fils de cuivre associées aux enroulements. Les inductances L'_1 et L'_2 sont des *inductances de fuite* modélisant les fuites de champ magnétique dues à la perméabilité finie du noyau.

1. Montrer que le transformateur est équivalent au schéma suivant d'un transformateur idéal et d'une impédance \underline{Z}_{R_2} placée au secondaire que l'on exprimera en fonction de R_1 , R_2 , L'_1 , L'_2 , m et de la pulsation ω .



2. 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.



(a) Relier théoriquement U_{1cc} , I_{2cc} , $Z_{R_2} = |\underline{Z}_{R_2}|$ et m .

(b) Trouver une équation reliant théoriquement P_{1cc} et I_{2cc} .

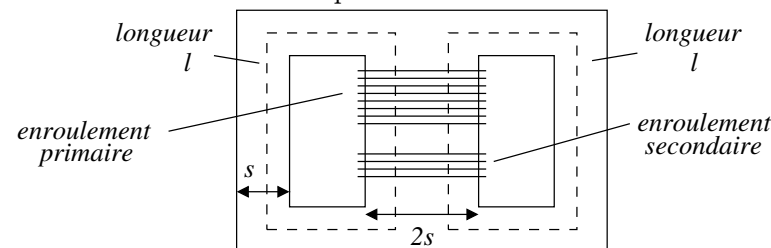
(c) On a $R_2 = m^2 R_1$ et $L'_2 = m^2 L'_1$. Calculer m , R_1 , et L'_1 .

Réponses : 1 : $\underline{Z}_{R_2} = [R_2 + m^2 R_1] + j [L'_2 + m^2 L'_1] \omega$; 2 : $U_{1cc} = \frac{Z_{R_2} I_{2cc}}{m}$; $P_{1cc} = \frac{1}{2} (R_2 + m^2 R_1) I_{2cc}^2$; $m = 0,5$, $R_1 = 8,80 \Omega$, $L'_1 = 63 \text{ mH}$

CP070. 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-dessus.

On admet que la section du tube d'induction est $s = 8,0 \text{ cm}^2$ et que la longueur de la ligne de champ magnétique moyenne (en pointillé sur la figure) est $l = 25 \text{ cm}$.

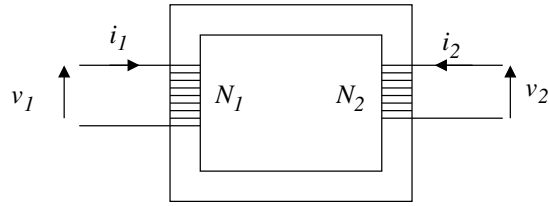
Les tôles utilisées, non saturées, ont les caractéristiques suivantes : perméabilité relative $\mu_r = 3,1 \times 10^3$, masse volumique $7,2 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1. Sachant que le primaire est alimenté par une tension de 220 V de fréquence 50 Hz, déterminer le nombre N_1 de spires du primaire pour que, dans le fer, le champ magnétique soit de un tesla. En déduire N_2 . Combien faudrait-il de spires si la fréquence valait 400 Hz ?
2. Modèle du transformateur réel :

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.



(a) En se plaçant en régime forcé à la pulsation ω , montrer que :

$$v_1 = j\omega N_1 \Phi \quad ; \quad v_2 = j\omega N_2 \Phi \quad ; \quad N_1 i_1 + N_2 i_2 = \mathcal{R} \Phi$$

avec $\mathcal{R} = \frac{l}{S\mu_0\mu_r}$ appelée réluctance du dispositif.

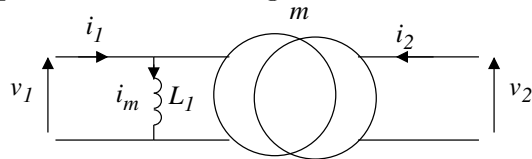
(b) Montrer que la dernière relation peut se réécrire :

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

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

(c) Que vaudrait I_m pour $\mu_r \rightarrow +\infty$?

(d) Justifier alors le nouveau schéma proposé pour le transformateur pour tenir compte de ce courant magnétisant.



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

Réponses : 1 : $N_1 = \frac{V_{eff}\sqrt{2}}{2\pi f \times 2s \times B_0} \approx 620$ spires, $N_2 = 310$; 2(e) : $I_m = 73$ mA