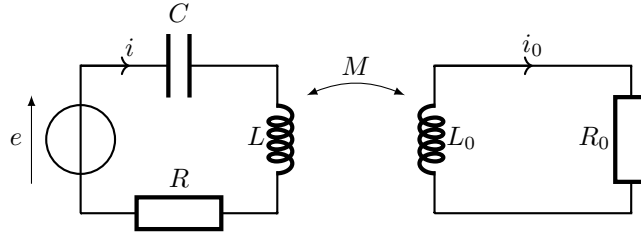


EM 11/12-TD

Milieux magnétiques et transformateurs

EM11 – 01 Couplage électromagnétique

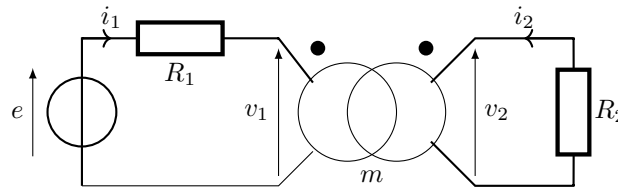
Le circuit ci-dessous est alimenté par une tension sinusoïdale $e = E \cos(\omega t)$. Le coefficient d'inductance mutuelle est noté M .



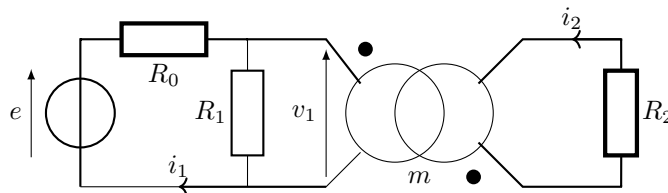
- 1) Donner les équations qui régissent les intensités dans les deux circuits, en notation complexe.
- 2) On suppose que $R_0 \gg L_0 \omega$. Montrer que le second circuit peut être remplacé par une unique résistance R_{eq} à déterminer, qui se trouverait dans le premier.

EM11 – 02 Adaptation d'impédance

Un générateur de tension, de force électromotrice sinusoïdale $e = E \cos(\omega t)$, alimente le primaire d'un transformateur à travers une résistance R_1 .



- 1) À quelle condition sur le rapport de transformation m , la puissance absorbée par la résistance R_2 au secondaire est-elle maximale ?

EM11 – 03 Utilisation d'un transformateur

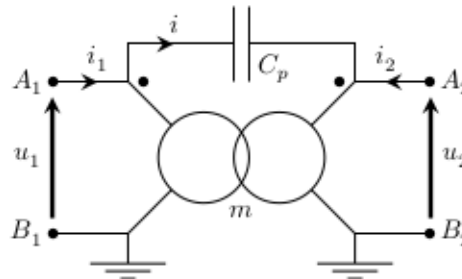
- 1) Calculer v_1 en fonction de e , R_0 , R_1 , R_2 et m .
- 2) En déduire i_2 en fonction de e , R_0 , R_1 , R_2 et m .
- 3) Que vaut i_2 si $R_0 = R_1 = R_2 = 100 \, \Omega$, $e = 2 \, \text{V}$ est une tension constante et $m = 10$?

EM11 – 04 Étude d'un transformateur

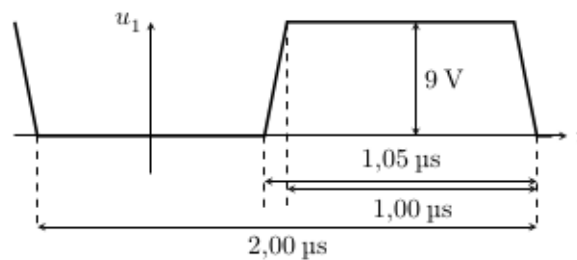
(adapté de Centrale PSI 2023 physique 2)

Première partie. Transformateur.

On étudie le montage à transformateur ci-dessous. Le transformateur est supposé idéal, avec un rapport de transformation m . La capacité C_p représente une capacité « parasite », rendant compte d'une influence électrostatique entre les enroulements du primaire et du secondaire.



- 1) Établir l'expression de l'intensité i en fonction de C_p , m et du_1/dt , pour une intensité de sortie nulle, $i_2 = 0$. En déduire l'expression de i_1 en fonction de C_p , m et du_1/dt . Toujours avec le modèle du transformateur idéal, quelle serait la valeur de i_1 en l'absence de la capacité parasite si $i_2 = 0$?
- 2) On alimente le circuit précédent avec une tension représentée ci-dessous :



Calculer la valeur de l'intensité maximale i_1 dans les conditions de la question précédente. Quels sont les effets de ce courant ? Pourquoi ce défaut est-il particulièrement important pour les variations rapides de tension ?

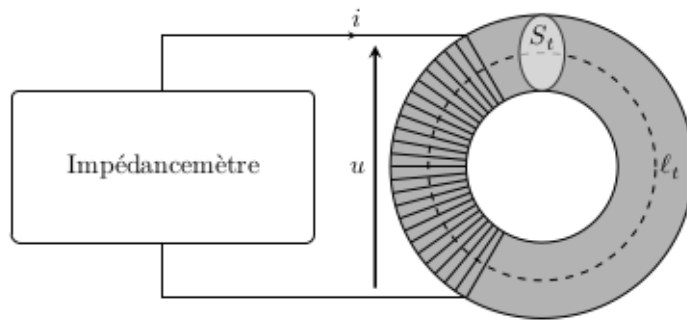
Deuxième partie. Milieux magnétiques.

Le transformateur contient un matériau ferromagnétique. Le rôle du matériau magnétique est de canaliser les lignes de champ magnétique. Cependant, il présente l'inconvénient d'être à l'origine de pertes énergétiques.

- 3) Dans le modèle de Bohr, un électron possède une trajectoire circulaire autour d'un noyau atomique immobile. Le moment cinétique de l'électron est $\sigma_e = \|\vec{\sigma}_e\| = \hbar$, où $\hbar$ est la constante de Planck réduite. Établir l'expression du moment magnétique $\mu_e = \|\vec{\mu}_e\|$ de cet atome, en fonction de $\hbar$, de la charge élémentaire e et de la masse de l'électron m_e . Effectuer l'application numérique.
- 4) Un matériau ferromagnétique de masse molaire M , de masse volumique ρ , est formé d'atomes de moment magnétique $z\vec{\mu}_e$ où $z \in \mathbb{N}$. Quelle est l'expression de l'aimantation de saturation M_{sat} , valeur de l'aimantation du matériau quand tous les moments magnétiques sont alignés et de même sens ? Calculer la valeur $M_{\text{sat}}(\text{Fe})$ pour le fer pour lequel $z = 4$.
- 5) En reprenant la valeur précédente de M_{sat} , quel serait le moment magnétique à saturation m_a d'un cube de fer de côté $150 \mu\text{m}$? Quelle serait l'intensité I parcourant une boucle circulaire de diamètre $150 \mu\text{m}$ de moment magnétique m_a ? Commenter.

Troisième partie. Mesures des propriétés d'un milieu ferromagnétique.

Pour mesurer la perméabilité magnétique μ de ce matériau, on utilise un impédancemètre équipé d'un dispositif de caractérisation de matériaux ferromagnétiques, sous la forme d'un bobinage de N_t spires enlaçant un tore formé de ce matériau. Le tore possède une longueur moyenne ℓ_t et une section S_t .



Le milieu ferromagnétique est étudié dans son domaine linéaire et sa perméabilité magnétique relative est notée μ_r . On suppose que les lignes de champ adoptent la symétrie de révolution du tore. L'impédancemètre génère des signaux harmoniques de pulsation $\omega = 2\pi f_0$ avec $f_0 = 50$ Hz.

6) On suppose les normes des champs d'excitation magnétique $\vec{H}$ et magnétique $\vec{B}$ uniformes dans le tore. À quelle condition sur la géométrie du tore cette hypothèse est-elle justifiée?

7) En travaillant en coordonnées cylindriques, d'axe l'axe de révolution du tore, justifier que $\vec{H} = H \vec{e}_\theta$ et $\vec{B} = B \vec{e}_\theta$.

8) Exprimer les champs H et B en fonction de μ_0 , μ_r , N_t , l_t et i . Préciser les orientations choisies.

9) En déduire l'expression de l'impédance $\underline{Z} = \underline{u} / \underline{i}$. Y a-t-il dissipation d'énergie dans le matériau?

Pour décrire plus complètement les propriétés du matériau ferromagnétique, on généralise la relation $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$ à une relation entre champs complexes $\underline{\vec{B}} = \mu_0 \underline{\mu_r} \underline{\vec{H}}$ où $\underline{\mu_r}$ est la perméabilité relative complexe et l'on pose $\underline{\mu_r} = \mu'_r - j \mu''_r$ où μ'_r et μ''_r sont des réels positifs.

10) Exprimer la puissance moyenne P_c consommée dans le tore en fonction de la valeur efficace I_{eff} de l'intensité i et des caractéristiques du milieu.