

Extraits du programme :

Partie 2 - Formation expérimentale

Conversion de puissance

Conversion électromagnétique statique de puissance.

Mettre en œuvre un transformateur.

Partie 3 - Formation disciplinaire : CONVERSION DE PUISSANCE

Milieu ferromagnétique.

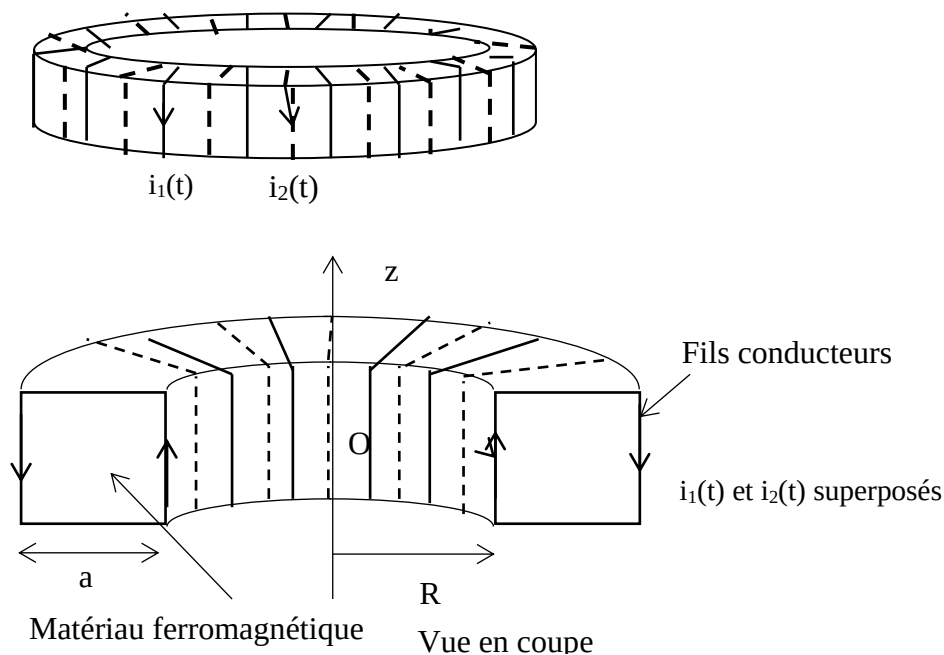
Tracer le cycle d'hystérésis d'un milieu ferromagnétique.

TRACE EXPERIMENTAL DU CYCLE D'HYSTERESIS D'UN MATERIAU FERROMAGNETIQUE

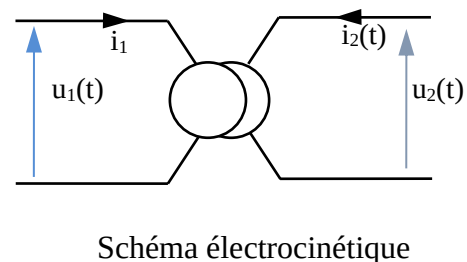
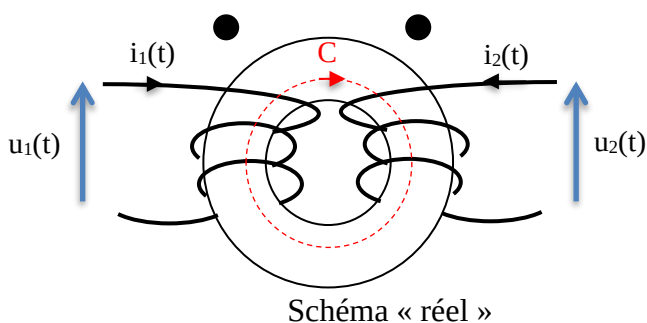
But des manipulations : Représenter graphiquement les courbes $B(H)$ puis $M(H)$ pour un matériau magnétique, déterminer l'excitation coercitive, l'aimantation rémanente et l'aimantation à saturation. Evaluer les pertes par hystérésis dans le noyau.

Préparation du TP

On considère un tore magnétique sur lequel on a enroulé des fils conducteurs de manière à constituer un circuit primaire de N_1 spires parcourues par un courant sinusoïdal i_1 , représenté en traits pleins ci-dessous et un circuit secondaire de N_2 spires, parcourues par un courant sinusoïdal i_2 , représenté en pointillé.



Du point de vue électrocinétique, il s'agit d'un transformateur.



1. Lois générales :

Quelle est la direction et le sens du champ magnétique $\vec{B}$ créé par une telle distribution de courants ? Montrer qu'en dehors du tore le champ est nul.

Rappeler la définition ainsi que les unités de $\vec{M}$ vecteur aimantation.

Rappeler la définition ainsi que les unités de $\vec{H}$ excitation magnétique.

Pourquoi les vecteurs $\vec{B}$, $\vec{H}$ et $\vec{M}$ sont-ils colinéaires ? Quelle est leur valeur en dehors du tore ?

2. Mesure de l'excitation magnétique :

Rappeler l'expression de la relation de Maxwell Ampère avec le vecteur $\vec{H}$.

En déduire l'expression du théorème d'Ampère avec le vecteur $\vec{H}$.

En déduire l'expression de la valeur H en fonction de $i_1(t)$, $i_2(t)$, N_1 , N_2 et ℓ circonférence moyenne du tore.

Montrer que si l'intensité au secondaire est très faible alors $H(t) \approx N_1 i_1(t) / \ell$.

On détermine $i_1(t)$ à l'aide d'une sonde de courant branchée en série au primaire, qui délivre une tension $U_{SC}(t)$ proportionnelle à $i_1(t)$: $U_{SC}(t) = K_{SC} i_1(t)$. La valeur de K_{SC} qui s'exprime en $V.A^{-1}$ est précisée sur la sonde. Exprimer littéralement H en fonction de U_{SC} .

3. Mesure du champ magnétique :

Appliquer la loi de Faraday au secondaire, en circuit ouvert, pour en déduire une relation entre le champ magnétique B(t), la tension $u_2(t)$ mesurée en convention récepteur aux bornes du secondaire, N_2 et S, section d'une spire = section du tore.

Justifier l'utilisation des grandeurs complexes pour donner cette relation.

La tension $u_2(t)$ est appliquée à l'entrée d'un montage RC, soit $s(t)$ la tension aux bornes du condensateur. On prendra $R = 1 \text{ M}\Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$.

Peut-on toujours supposer le secondaire en circuit ouvert ?

Déterminer la fonction de transfert complexe de ce montage $\underline{s} / \underline{u_2}$.

Dans quelles conditions ce montage a-t-il un fonctionnement intégrateur ?

Montrer alors que $s(t) = \frac{N_2 S}{RC} B(t)$

Application numérique :

$f = 50 \text{ Hz}$. Le montage est-il intégrateur ?

Donner la relation numérique entre $s(t)$ et $B(t)$.

4. Mesure de l'aimantation

Exprimer M(t) en fonction de B(t) et de H(t).

5. Expression des pertes par hystérésis

Le transformateur reçoit une puissance au primaire mais ne peut l'évacuer au secondaire qui est en circuit ouvert. Cette puissance est alors dissipée sous forme de chaleur dans le matériau ferromagnétique du transformateur. On montre que ces pertes sont liées au caractère non linéaire du noyau magnétique, donc à l'hystérésis précédent. C'est pourquoi, on les nomme pertes par hystérésis.

Exprimer la puissance moyenne consommée au primaire et montrer que $\langle P(t) \rangle = f V_{\text{ferro}} A$

avec ℓ circonférence du tore, S section du tore, $V_{\text{ferro}} = S.\ell$, volume du tore, f fréquence, A aire du cycle B(H).

MANIPULATIONS

I- matériel

- 1 auto-transformateur.
- 1 circuit magnétique + 1 bobine 500 spires MAE 542 + 1 bobine 1000 spires MAE 543.
- Fils de sécurité.
- 1 sonde de courant
- Une centrale Sysam + LatisPro
- 1 wattmètre.
- Petits composants électroniques : 1 plaquette d'essai, $1 \times R = 10 \text{ M}\Omega$ et $1 \times C = 100 \text{ nF}$.

II – Caractéristiques géométriques du circuit magnétique :

Mesurer avec une règle la longueur moyenne du tore ainsi que les dimensions de la section.
Calculer la valeur de la surface de la section.

III - Montage



- Réaliser le montage en prenant au primaire $N_1 = 250$ spires et au secondaire $N_2 = 1000$ spires. Pour débuter, régler l'autotransformateur sur 0 V. On prendra $R = 10 \text{ M}\Omega$ et $C = 100 \text{ nF}$.
- Allumer la sonde de courant : elle délivre une tension $U_{SC}(t)$ proportionnelle au courant dans le circuit qu'elle enserme : $U_{SC}(t) = K_{SC} i_1(t)$ avec K_{SC} dont la valeur est notée sur la sonde.

IV. ACQUISITION DES MESURES

Acquérir les tensions $U_{SC}(t)$ et $s(t)$, tension aux bornes du condensateur, pour les tensions d'entrée de 50V, 100 V et 150 V. Revenir à 0 avec l'autotransformateur.
Observer l'évolution de $s(U_{SC})$.

V. LINEARITE DU MONTAGE

Justifier que le montage n'a pas un comportement linéaire. Quel est le composant qui est responsable de cette non linéarité ?

VI. TRAITEMENTS DES MESURES

A partir du travail fait en préparation :

- Exprimer la relation numérique entre la tension $U_{SC}(t)$ et l'excitation magnétique $H(t)$. Calculer $H(t)$ dans le tableur.
- Exprimer la relation numérique entre $s(t)$ et $B(t)$. Calculer $B(t)$ dans le tableur.
- Exprimer la relation numérique qui donne l'aimantation $M(t)$. Calculer $M(t)$ dans le tableur.
- Tracer les cycles d'hystérésis $B(H)$ et $M(H)$ pour chaque cas.

VII. EXPLOITATIONS DES CYCLES

- Tracer les cycles $M(H)$ et $B(H)$ correspondant à $U = 150$ V.
- Le noyau est-il saturé ?
- Déterminer alors l'**aimantation rémanente** M_R , valeur de M lorsque le courant dans le primaire est nul.
- Déterminer M_{SAT} , **aimantation à saturation**, c'est-à-dire la valeur maximale de l'aimantation.
- Déterminer l'**excitation magnétique coercitive** H_C qui correspond à une aimantation nulle.
- Exporter **une période** de $B(t)$ et $H(t)$ dans un fichier csv nommé `Aire_hyst_ferro.csv` dans un répertoire personnel.
- Déterminer l'aire du cycle $B(H)$ du noyau ferromagnétique en utilisant la feuille python ouverte avec SPYDER
- :
Aire_hyst_ferro.py que vous aurez recopié dans le même répertoire que le fichier `Aire_hyst_ferro.csv`.
- En déduire la puissance dissipée **par hystérésis**.

Conclusion : matériau dur, matériau doux

Un matériau « doux » est caractérisé par une faible excitation coercitive, $H_C < 10 \text{ A.m}^{-1}$. Son cycle d'hystérésis est étroit.

Un matériau « dur » est caractérisé par un fort champ coercitif. $10^3 < H_C < 10^6 \text{ A.m}^{-1}$. Son cycle d'hystérésis est large.

On donne :

	$M_{SAT} (\text{A.m}^{-1})$	$T_C (\text{K})$
fer	$1,70.10^6$	1043
cobalt	$1,40.10^6$	1388
nickel	$0,48.10^6$	627

L'aimantation du fer dépend de la température. Pour une température supérieure à T_C , son aimantation disparaît. T_C est appelée température de Curie (Pierre)

Le matériau utilisé est-il dur ou doux ?

VIII. Mesures des pertes par hystérésis du noyau ferromagnétique

Lorsqu'on retire le circuit intégrateur, le transformateur reçoit une puissance au primaire mais ne peut l'évacuer au secondaire. Cette puissance est alors dissipée sous forme de chaleur dans le matériau ferromagnétique du transformateur. On montre que ces pertes sont liées au caractère non linéaire du noyau magnétique, donc à l'hystérésis précédent. C'est pourquoi, on les nomme pertes par hystérésis.

Faire un schéma, puis placer un wattmètre devant la bobine du primaire et mesurer la puissance transmise au transformateur, pour la même tension qu'étudiée dans la partie précédente.

Comparer cette grandeur à la valeur mesurée dans la partie précédente.