TP2 : MODÉLISATION DE BOBINES EN RÉGIME SINUSOÏDALE

INTRODUCTION

Les inductances se présentent principalement sous forme de nids d'abeilles réalisés par va et vient latéral du fils lors du bobinage ou sous forme de solénoïdes réalisés sur des supports isolants (Bakélite, Téflon …) cylindriques ou toriques, à l'intérieur desquels on peut introduire des noyaux métalliques (alliages ferromagnétiques) ou des noyaux de ferrite pour atteindre de plus grande valeurs d'inductances. En électronique les bobines servent essentiellement dans les circuits d'accords (circuits bouchons L-C) ou de filtrages pour assurer le découplage. Si en électrotechnique elles remplissent également ce rôle de filtrage (lissage) par des filtres L-C non dissipatifs (primordial pour les applications de puissance), elles permettent de stocker de l'énergie sous forme magnétique dans un entrefer canalisé par un circuit magnétique.

Les bobines utilisées en électrotechnique sont toujours munies d'un noyaux magnétique : ferromagnétique (fer doux, fonte ou acier au silicium) ou bien ferrites pour les applications hautes fréquences (> kHz). Ce noyau est nécessaire :

- pour le lissage car on travaille à des fréquences en général plus basses qu'en électronique et les valeurs d'inductance sont plus importantes,
- pour le stockage d'énergie car il permet de mieux canaliser le flux magnétique vers l'entrefer qui stocke cette énergie.

La bobine étudiée ici est une bobine à noyau de fer acier silicium communément utilisé pour le lissage des courants.

OBJECTIFS

L'objectif principal de cette manipulation est la modélisation physique d'une bobine réelle. Le modèle de base (vu en travaux dirigés), qui est un schéma électrique équivalent, comporte plusieurs éléments (résistif, inductif, capacitif) appelés aussi paramètres. La méthode principale pour déterminer les paramètres de chacun des modèles est basée sur des mesures de puissances globalement échangées entre la source d'alimentation et la bobine réelle, ainsi que la tension et le courant à ses bornes.

Dans le domaine de fonctionnement exploré pour le dispositif (et donc le domaine de validité pour son modèle) les caractéristiques d'un "bon modèle" comportemental sont globalement :

- une structure (parallèle, série ou une combinaison des deux) ainsi que la nature des paramètres (résistifs, inductifs) qui soient le reflet des phénomènes physiques mis en jeu ;
- une simplicité maximale en regard de la précision souhaitée ;
- la facilité de détermination des paramètres par des essais simples ;
- la possibilité d'être employé pour prédire le comportement du dispositif ;
- et enfin l'utilisation possible en simulation numérique, par exemple avec d'autres dispositifs couplés, dans le cadre de l'étude d'un système industriel.

Dans un premier temps, on se propose d'identifier à partir des mesures de puissances, le modèle d'une bobine à air. Puis seront étudiées différentes bobines à noyau magnétique (avec ou sans

entrefer). Différentes structures de modèles seront envisagées et justifiées. Notamment, l'étude à fréquence variable d'une bobine à air permettra de choisir le modèle électrique le plus adapté et de justifier la nature physique des paramètres retenus.

À l'issue de la manipulation (et après un travail personnel !), l'étudiant doit savoir traiter les points suivants:

- Mettre en œuvre la mesure de la puissance active, de la puissance apparente et de la puissance réactive ;
- Effectuer un bilan de puissance par la méthode de Boucherot ;
- Élaborer le modèle d'une charge (ici une bobine) à partir de la mesure des puissances qu'elle consomme ;
- Donner, quand c'est possible, une interprétation physique des éléments du modèle choisi ;

Les connaissances et compétences acquises durant cette manipulation seront ultérieurement mises à profit lors de la manipulation concernant l'étude du transformateur.

MARETIELS MIS A DISPOSITION

La liste du matériel nécessaire pour effectuer cette manipulation est la suivante :

- Une source de tension monophasée, V = 230 V (tableau de distribution) [S1].
- Une source de tension continue variable: V ∈ [0 ; 60 V], I ∈ [0 ; 20 A] [S3]
- Un autotransformateur: V_{prim} = 230V, V_{sec} ∈ [0 ; 230V] [S4].
- Un bobinage de 440 spires sans noyau : I_{max} = 4 A U = 230 V [L2].
- Un circuit magnétique fermé (fer doux) en forme de □ : l_{moy} = 56 cm, S = 4 cm x 4 cm, μ_r = 2020 [T1].
- Un wattmètre numérique (NANOVIP) pour la mesure de V, I, P, Q, S, FP et f [M1]
- Un oscilloscope Tektronix TDS 210 à deux voies équipé de la sonde de tension à deux voies (ST1000) et de la sonde de courant (PR30) pour les mesures temporelles [M3].

PRÉCAUTIONS ET RECOMMANDATIONS

Il est impératif :

- **De faire vérifier le montage à chaque modification de câblage**,
- De prendre soin à ne pas dépasser les valeurs nominales de courant et de tension, de chacune des charges,
- De prendre le type d'appareil adapté à la mesure à réaliser (mesure temporelle, valeur moyenne, efficace, efficace vraie, bande passante, valeurs limites, formes d'ondes, etc...),
- De prendre soin de ne pas dépasser les calibres des appareils de mesures (ampèremètre, voltmètre, wattmètre).

<u>Remarque</u> : Les postes de manipulation utilisés par la Licence (L2 et L3) sont alimentés en tension triphasée équilibrée 133 V / 230 V. La tension est quasi-sinusoïdale (légèrement déformée par la saturation du transformateur d'alimentation général). À cause de cette distorsion on prendra soin d'utiliser des appareils efficaces vraies: ferromagnétiques repérés par le symbole ⋚ , ou numériques adaptés.

RAPPELS

GENERALITES SUR LES BOBINES ET LEURS MODELES

On se reportera au cours et aux Travaux Dirigés. Seuls les compléments nécessaires sont rappelés ici.

En électrotechnique et à basse fréquence, une bobine est souvent modélisée par l'un des modèles suivants (figure 1). Comportant quatre éléments, le modèle 1(d) est le plus complet. Toutefois, sa détermination peut souvent s'avérer délicate. Quand cela est possible, on préfère utilisé l'un des trois autres modèles 1(a), 1(b) ou 1(c), plus simples.

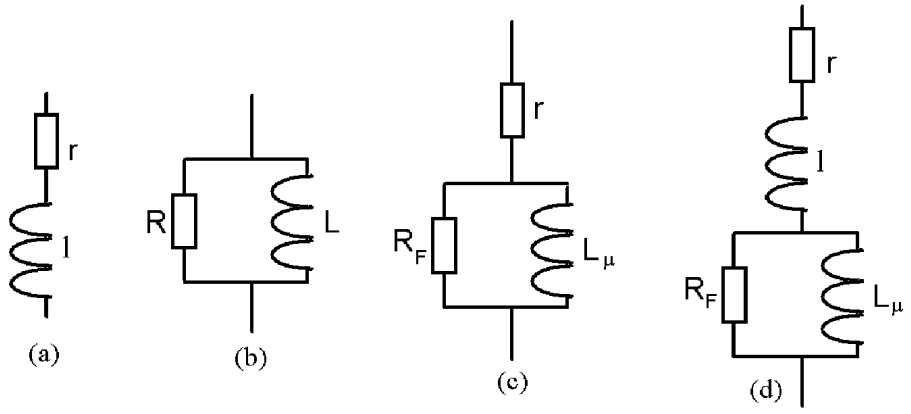

Figure 1 : Exemples de modèles d'une bobine à basses fréquences

La bobine à air ne possède pas de noyau magnétique et donc n'est le siège d'aucune perte fer. Elle peut alors être modélisée par deux paramètres seulement (figure 1(a) ou 1(b)). Cependant, vu que les seules pertes sont les pertes par effet Joule dans le bobinage, le modèle 1(a) a une interprétation plus physique.

La bobine à noyau de fer possède un noyau magnétique et est alors le siège de pertes fer. Si le modèle 1(d) est le plus fidèle, le modèle 1(c) est souvent suffisant en l'absence d'entrefer et, lorsque les pertes joules sont faibles par rapport aux pertes fer, le modèle 1(b) est utilisé.

MANIPULATION

En utilisant le matériel mis à votre disposition, réaliser le montage de la figure 2 permettant:

- d'alimenter une charge constituée d'un rhéostat et d'une bobine en parallèle au moyen d'une source de tension v(t) monophasée sinusoïdale variable 0-230 V (utiliser l'autotransformateur).
- de visualiser v(t), le courant de ligne i(t) : (sonde ST1000, sonde PR30, oscilloscope TDS 210),
- de mesurer les différents courants (wattmètre NANOVIP),
- de mesurer les valeurs efficaces du courant I et de la tension V de la charge globale, ainsi que les puissances P, Q, et S mises en jeu par cette dernière, et la fréquence f de la tension.

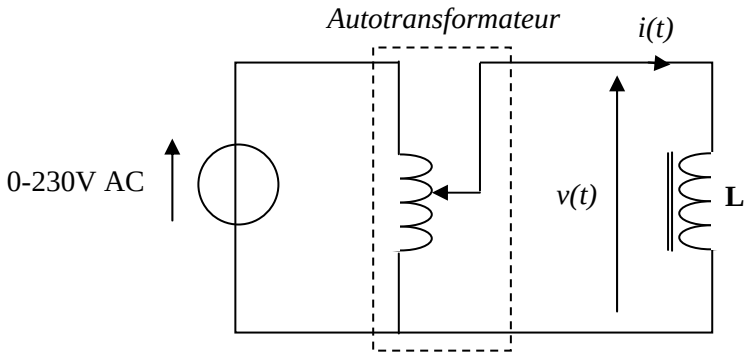

Figure 2: schéma de principe du montage

1. MODELISATION PHYSIQUE DE 3 TYPES DE BOBINES A FREQUENCE FIXE.

1.1 Etude de la bobine à air

La bobine est constituée du bobinage de 440 spires dans l'air.

Attention : On utilise pour cela le bobinage d'une bobine à noyau de fer (ce dernier a été enlevé). Sachant que la perméabilité relative du matériau constituant ce noyau est voisine de 5000, l'impédance du bobinage seul est alors environ 5000 fois plus petite. Alimentée sous 220 V, elle serait parcourue par un courant trop élevé. **On prendra soin d'augmenter la tension de la bobine progressivement jusqu'à atteindre le courant demandé.**

- Alimenter la **bobine à air** seule et augmenter progressivement la tension V à ses bornes de manière à ce que la bobine soit traversée par un courant **I = 4 A**.
- Mesurer V, la puissance active P et déterminer par le calcul la puissance apparente S, le facteur de puissance FP, la puissance réactive Q.
- Pour S, FP et Q, comparer aux valeurs indiquées par le wattmètre.
- Déterminer le modèle équivalent série (R_s, X_s et L_s) de la bobine à air.

Remplacer la tension sinusoïdale de la bobine par une tension continue variable. Monter progressivement cette tension continue de manière à ce que la bobine soit traversée par un courant **I=4A**.

- Déterminer la résistance en régime continu R_{cc} de la bobine. Comparer les valeurs de R_s et R_{cc}.
- Conclure sur la nature physique des pertes d'énergie dans la bobine à air.

1.2 Etude de la bobine à noyau de fer avec un entrefer

La bobine est maintenant constituée du bobinage de 440 spires autour d'un circuit magnétique en forme de U. Il existe donc un "entrefer" important.

Attention : La bobine étudiée a toujours une faible impédance à cause de la présence de l'entrefer. Alimentée sous une tension de 220 V, elle sera parcourue par un courant trop élevé par rapport à son courant maximal admissible. **On prendra donc soin d'augmenter la tension de la bobine progressivement jusqu'à atteindre le courant demandé.**

Alimenter la bobine et augmenter progressivement la tension V à ses bornes de manière à ce que la bobine soit traversée par un courant **I = 4 A**.

- Mesurer V, la puissance active P, et déterminer par le calcul la puissance apparente S, le facteur de puissance FP, la puissance réactive Q.
- Pour S, FP et Q, comparer aux valeurs indiquées par le wattmètre.
- Déterminer le schéma équivalent série (modèle 1(a)) de cette bobine : R_s, X_s et L_s.
- Commenter vos résultats.

Remplacer la tension sinusoïdale de la bobine par une tension continue variable. Augmenter progressivement cette tension continue de manière à ce que la bobine soit traversée par un courant **I = 4 A**.

- Déterminer la résistance en régime continu R_{cc} de la bobine à partir de vos mesures. Comparer les valeurs de R_s et R_{cc}.
- Déduire de ces mesures les résistances r et R_F et l'inductance L_μ (modèle 1(c), figure1) de la bobine avec entrefer.
- Donner une interprétation physique de ces trois grandeurs.

1.3 Etude de la bobine à noyau de fer fermé

La bobine est maintenant constituée du bobinage de 440 spires avec son circuit magnétique complet (fermé) en forme de □.

Alimenter seule la bobine à noyau de fer et augmenter progressivement la tension V à ses bornes jusqu'à 220 V.

- Mesurer V, I, la puissance active P, et déterminer la puissance apparente S, le facteur de puissance FP, la puissance réactive Q.
- Déterminer le schéma équivalent 1(c) de la figure 1 pour cette bobine.
- Comparer les pertes Joules dans le bobinage aux pertes globales mesurées : conclusion ?
- Montrer qu'alors le schéma équivalent 1(b) de la figure 1 est suffisant pour modéliser la bobine et déterminer la valeur de ses paramètres.

2. MODELE ELECTRIQUE EQUIVALENT DE BOBINES A FREQUENCE VARIABLE.

- Dans le paragraphe 1-1, vous avez déterminé le modèle équivalent série de la bobine à air à 50Hz. A l'aide de vos mesures, déterminez le modèle équivalent parallèle à cette même fréquence.
- Effectuer les mesures de V, P et Q à 100Hz et 150Hz pour un courant I voisin de 4A (voir les enseignants) et remplissez le tableau suivant (précisez les unités de chaque grandeur):

	Mesures				Modèle série			Modèle parallèle		
	I	V	P	Q	R_s	X_s	L_s	R_p	X_p	L_p
50Hz										
100Hz										
150Hz										

- Quel est le modèle électrique le plus cohérent pour une bobine à air ?