

| Compétence   | En détail  | ++ | + | - | -- |
|--------------|--|----|---|---|----|
| S'approprier | Modéliser une bobine réelle et un couplage entre bobines sur un schéma électrique.                       |    |   |   |    |
| Analyser     | Proposer un protocole de mesure de mutuelle.   |    |   |   |    |
| Réaliser     | Déterminer théoriquement un déphasage entre deux tensions.   |    |   |   |    |
| S'approprier | Déterminer l'inductance propre de deux bobines couplées en série.  |    |   |   |    |
| Analyser     | Proposer un protocole de mesure de la pulsation de coupure d'un filtre d'ordre 1.                        |    |   |   |    |
| Valider      | Analyser <u>tous</u> les résultats ou observations, de manière critique.                                 |    |   |   |    |
| Valider      | Évaluer une incertitude de type B et évaluer une incertitude composée avec un algorithme de Monte-Carlo. |    |   |   |    |
| Communiquer  | Écrire tous les protocoles en détails.   |    |   |   |    |
| Communiquer  | Indiquer les objectifs du TP en introduction du compte-rendu.  |    |   |   |    |
| Communiquer  | Organiser un compte-rendu expérimental de manière claire.  |    |   |   |    |

Liste du matériel à disposition (en plus du matériel électronique usuel) : ensemble de bobines, noyau de fer à insérer dans les bobines, une résistance  $R = 82 \Omega$ .

Dans ce TP, nous allons réaliser différents protocoles de mesure d'inductance propre  $L$  et d'inductance mutuelle  $M$ . Nous verrons aussi une application pratique de la mesure de mutuelle dans le domaine industriel.

## I Préambule théorique

### I.1 Définitions : rappels

Dans tout ce TP (et dans tout l'électromagnétisme...), on comptera le flux magnétique  $\Phi$  positivement s'il est dirigé selon le sens donné par la règle de la main droite, basée sur le sens du courant.

Le flux magnétique  $\Phi_p$  propre créé par une bobine seule est proportionnel au courant  $i$  la traversant :

$$\Phi_p = Li$$

avec  $L > 0$  l'inductance propre.

Le flux magnétique  $\Phi_{1 \rightarrow 2}$  créé par une bobine 1 parcourue par le courant  $i_1$  à travers les spires de la bobine 2 est proportionnel à  $i_1$  :

$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = Mi_1$$

avec  $M$  l'inductance mutuelle. Par symétrie du problème, on a de manière équivalente :  $\Phi_{2 \rightarrow 1} = Mi_2$ .

## I.2 Modélisation d'une bobine seule

- Proposer une modélisation électrique d'une seule bobine idéale.
- Quel effet doit-on également modéliser pour décrire une seule bobine réelle ? Donner le schéma électrique d'une bobine réelle. On représentera également le courant  $i$  la traversant et la tension  $v_B$  que l'on mesure à ses bornes.

**Remarque :** Vocabulaire : Pour un dipôle  $\underline{Z} = r + jX$  en notation complexe, on appelle résistance la partie réelle de  $\underline{Z}$  et réactance la partie imaginaire de  $\underline{Z}$ .

## II Mesure de mutuelle et application : le capteur de position

Bobines à utiliser dans cette partie : ( $B_1$ ) : Leybold de 40 mH ; ( $B_2$ ) : Leybold de 12 mH.

### II.1 Mesure de mutuelle

- Proposer un protocole de mesure de l'inductance mutuelle entre les deux bobines.

**Appeler le professeur pour valider votre protocole.**

- Mettre en œuvre le protocole. Donner une valeur numérique de l'inductance mutuelle entre les deux bobines lorsque celles-ci sont collées. *Aucun calcul d'incertitude n'est attendu ici.*

### II.2 Influence de la géométrie sur la mutuelle

- Observer comment évolue la mutuelle lorsque :
  - les deux bobines sont écartées l'une de l'autre.
  - les deux bobines ont leurs axes de révolution perpendiculaires.

### II.3 Influence de la présence d'un noyau de fer sur la mutuelle : capteur de position

- Observer l'évolution de la mutuelle lorsqu'on introduit un noyau de fer à l'intérieur des bobines.

Sur les structures de génie civil (bâtiments, ponts...), on cherche à prévenir les risques de rupture en mesurant la déformation de cette structure au cours du temps. L'une des méthodes couramment utilisées est de fixer un noyau de fer sur une partie de la structure, qui va rentrer à l'intérieur d'un ensemble de deux bobines fixées sur une autre partie de la structure.

- Coller les deux bobines entre elles. Introduire progressivement le noyau de fer.
- Pour différentes positions du noyau de fer, mesurer la mutuelle entre les deux bobines.
- Expliquer comment cette méthode peut être utilisée pour mesurer les déformations de structures en génie civil.

### III Mesure d'inductance propre et de mutuelle en mettant deux bobines en série

Bobines à utiliser dans cette partie :

- ( $B_1$ ) : Pierron de 40 mH. Inductance propre  $L_1$  et résistance  $r_1$ .
- ( $B_2$ ) : Pierron de 12 mH. Inductance propre  $L_2$  et résistance  $r_2$ .

On prendra soin de maintenir les deux bobines collées durant toute cette partie.

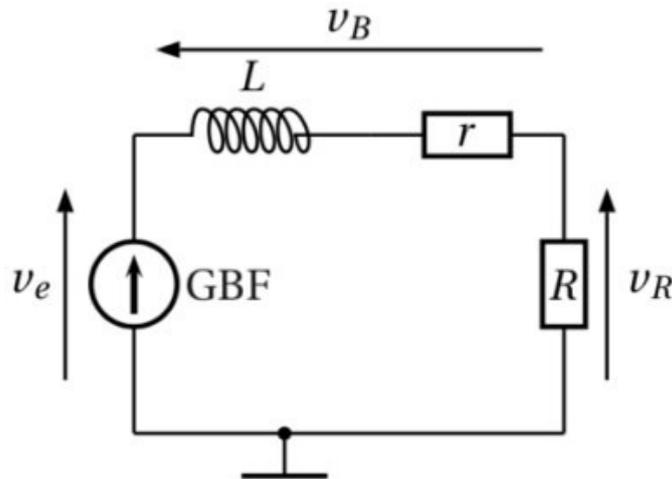
Il est possible d'associer en série les bobines de deux façons différentes :

- soit les courants "tournent dans le même sens" (les flux s'ajoutent) et on obtient une bobine équivalente ( $B_3$ ), d'inductance propre  $L_3$  et de résistance  $r_3$ .
- soit les courants "tournent en sens inverse" (les flux, en valeur absolue, se retranchent) et on obtient une bobine équivalente ( $B_4$ ), d'inductance propre  $L_4$  et de résistance  $r_4$ .

#### III.1 Mesure des résistances

- Quelle est la modélisation équivalente d'une seule bobine réelle lorsqu'on l'étudie en régime continu ?
- Mesurer à l'Ohmmètre les résistances des bobines ( $B_i$ ) ( $i$  allant de 1 à 4). On précisera l'incertitude-type sur ces valeurs.

#### III.2 Mesure des réactances



La bobine à étudier (on le fera pour les quatre bobines) est placée en série avec une résistance étalon  $R = 82 \Omega$  aux bornes d'un GBF délivrant une tension sinusoïdale de fréquence 500 Hz.

- **Théorie** : A l'aide de la notation complexe, exprimer l'inductance propre de la bobine en fonction du déphasage  $\varphi$  entre  $v_R$  et  $v_e$ .
- Pour chaque bobine et chaque association, mesurer le déphasage entre  $v_R$  et  $v_e$ . On estimera une incertitude-type sur ces déphasages.

- Calculer alors la valeur des inductances propres des quatre bobines.

### Exploitation

- Déterminer théoriquement l'expression de  $L_3$  et de  $L_4$  en fonction de  $L_1$ ,  $L_2$  et  $M$ .
- En déduire que  $L_3 + L_4 = 2(L_1 + L_2)$  et le vérifier expérimentalement.
- Déterminer la valeur de l'inductance mutuelle à partir d'une relation  $M = f(L_3, L_4)$  que l'on exprimera.
- Calculer le coefficient de couplage entre les bobines  $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$  qui est compris entre  $-1$  et  $1$  et qui caractérise la qualité du couplage entre les deux bobines.

### Incertitude-type sur $L$ et $M$ : algorithme de Monte-Carlo

- A l'aide d'un algorithme de Monte-Carlo permettant de propager les incertitudes, estimer numériquement une incertitude-type sur  $L_i$  et en déduire celle sur  $M$ .

## IV Mesure d'inductance propre et de mutuelle en reconnaissant un filtre

Bobines à utiliser dans cette partie : ( $B_1$ ) : Leybold de 40 mH ; ( $B_2$ ) : Leybold de 12 mH

On fera toujours attention à maintenir les deux bobines collées entre elles.

### IV.1 Etude théorique : filtre

La bobine secondaire ( $B_2$ ) étant en circuit ouvert, la bobine ( $B_1$ ) est montée en série avec le GBF et une résistance additionnelle  $R$ .

- En notant  $u_e$  la tension délivrée par le GBF et  $u_2$  celle aux bornes de ( $B_2$ ), déterminer la fonction de transfert  $\underline{H} = \underline{u_2}/\underline{u_e}$ . Reconnaître la nature du filtre réalisé et préciser sa pulsation de coupure.

### IV.2 Mesure de l'inductance propre

- Proposer puis mettre en œuvre un protocole de mesure de l'inductance propre  $L_1$ . On estimera une incertitude-type sur  $L_1$ .
- Comparer à la valeur déterminée dans la partie précédente.

### IV.3 Mesure de l'inductance mutuelle

- Choisir un signal pour  $u_e(t)$  afin qu'il soit dérivé par le filtre. Vérifier ce comportement dérivateur.
- Simplifier alors la fonction de transfert du filtre dans la zone dérivateur.
- En déduire un protocole de mesure de  $M$  à l'aide de ce filtre en comportement dérivateur. Le mettre en œuvre.