

# SAPHIRE : 233 - Conversion d'énergie

## EXAMEN : Partie Modélisation Electro-Magnétique

Il est demandé de traiter les deux parties du sujet (Partie Modélisation Electro-Magnétique et partie Electronique de Puissance) sur des copies séparées.

**Durée conseillée pour la partie Modélisation Electro-Magnétique : 1h 30 minutes**

### 1 Mise en situation

La généralisation de l'électrification des actionneurs notamment dans le domaine des transports pousse les chercheurs à inventer de nouvelles structures de convertisseurs électro-mécaniques ainsi que de leur électronique de puissance. Ainsi, dans le brevet internationale WO2010/067021A2, l'équipe du professeur Thierry Meynard propose une solution pour améliorer la densification d'un actionneur synchrone par le fractionnement (ou découpage) de la bobine des phases de la machine en plusieurs bobines fractionnées sur chacune des phases, voir annexe. Chacune de ces bobines est alimentée par un convertisseur d'électronique de puissance.

### 2 Étude de la solution proposée, simplification du problème

Afin de faciliter l'étude du brevet, nous proposons de représenter une phase de la machine électrique par une inductance équivalente. L'entrefer de la machine électrique est représenté par l'entrefer de l'inductance et nous considérons qu'une bobine d'une phase est découpée en deux sous bobines (A et B), figure 1.

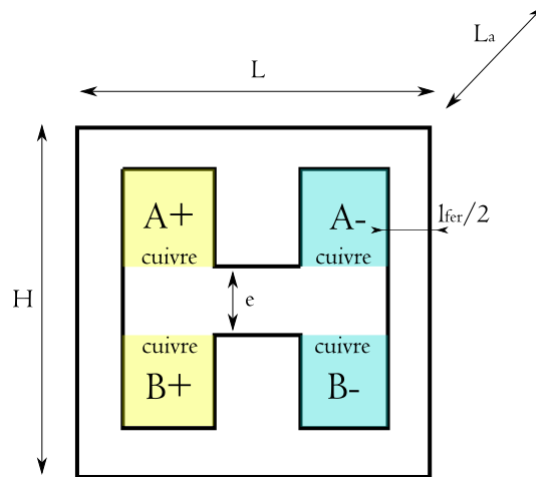


FIGURE 1 – Représentation schématique des bobines d'une phase de l'inductance ( $L_a$  représente la longueur dans la partie 3D)

#### 2.1 Étude magnétique

**Question 2.1 :** Dans le cas où le courant dans la bobine B est nul,  $i_B = 0$  et le courant dans la phase A est positif et constant, représentez les lignes d'induction magnétique dans l'inductance.

**Question 2.2 :** Même question si  $i_A = 0$  et que le courant dans la bobine B est positif et constant.

**Question 2.3 :** En vous aidant des deux questions précédentes, comment sont définies les bornes homologues ?

Les bobines A et B possèdent le même nombre de spires,  $N$ . La perméabilité relative du fer est supposée infinie devant celle de l'air.

**Question 2.4 :** A partir du théorème d'Ampère, de la conservation du flux et de la relation des matériaux, définissez les inductances propres des bobines A et B, respectivement  $L_A$  et  $L_B$  ainsi que les mutuelles des bobines A et B,  $M_{AB}$  et  $M_{BA}$ .

## 2.2 Étude électrique

Dans la suite, nous considérons les inductances des phases A et B égales  $L_A = L_B = L$  et les mutuelles également  $M_{AB} = M_{BA} = M$ , figure 2. Les résistances des phases sont négligées.

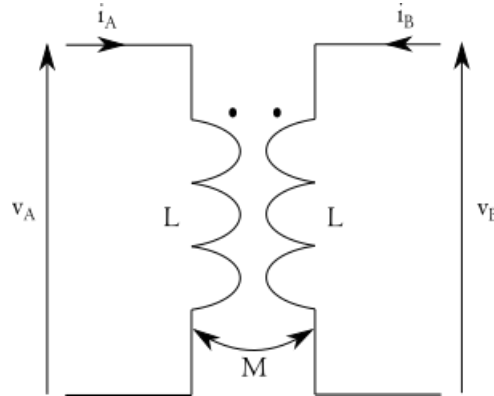


FIGURE 2 – Représentation électrique d'une inductance couplée

**Question 2.5 :** Écrivez les équations électriques de la bobine couplée.

**Question 2.6 :** Dans le cas général, écrire l'équation différentielle pour le courant  $i_A$  en fonction de  $v_A$  et  $v_B$ . En déduire celle de  $i_B$ .

Dans la suite, nous pouvons écrire une relation entre les inductances et les mutuelles de phase telle que :  $M^2 = k^2 L^2$ . Ou  $k$  est le coefficient de couplage magnétique compris entre 0 et 1.

**Question 2.7 :** A quoi correspond un coefficient de couplage de 0 et un coefficient de 1 ?

Dans la machine électrique réelle, toutes les sous bobines doivent être alimentées par la même forme de tension. L'alimentation électrique idéale de la bobine couplée est alors réalisé de la façon suivante (avec  $T$  la période d'alimentation) :

- De  $t = 0$  à  $t = \frac{T}{2}$  : Les tensions  $v_A$  et  $v_B$  sont constantes et valent  $V_{cc}$ .
- De  $t = \frac{T}{2}$  à  $t = T$  : Les tensions  $v_A$  et  $v_B$  sont constantes et valent  $-V_{cc}$ .

**Question 2.8 :** Résoudre les équations différentielles de  $i_A$  et  $i_B$ .

On donne  $k = 0.75$ ,  $L = 200\mu H$  et  $V_{cc} = 20V$ .

**Question 2.9 :** Représentez les courants  $i_A$  et  $i_B$  sur une période.

Nous considérons un cas où l'alimentation électrique n'est pas idéale, i.e. les deux tensions ne sont pas en phases :

- De  $t = 0$  à  $t = \frac{T}{2}$  : La tension  $v_A$  est constante et vaut  $V_{cc}$ .
- De  $t = \frac{T}{2}$  à  $t = T$  : La tension  $v_A$  est constante et vaut  $-V_{cc}$ .
- De  $t = \delta T$  à  $t = \frac{T}{2} + \delta T$  : La tension  $v_B$  est constante et vaut  $V_{cc}$ .
- De  $t = \frac{T}{2} + \delta T$  à  $t = T + \delta T$  : La tension  $v_B$  est constante et vaut  $-V_{cc}$ .

**Question 2.10 :** Résoudre les équations différentielles de  $i_A$  et  $i_B$ .

**Question 2.11 :** Pour  $\delta T = \frac{T}{8}$ , Représentez les courants  $i_A$  et  $i_B$  sur une période.

**Question 2.12 :** Que pouvez vous en conclure ?

3 Annexe

