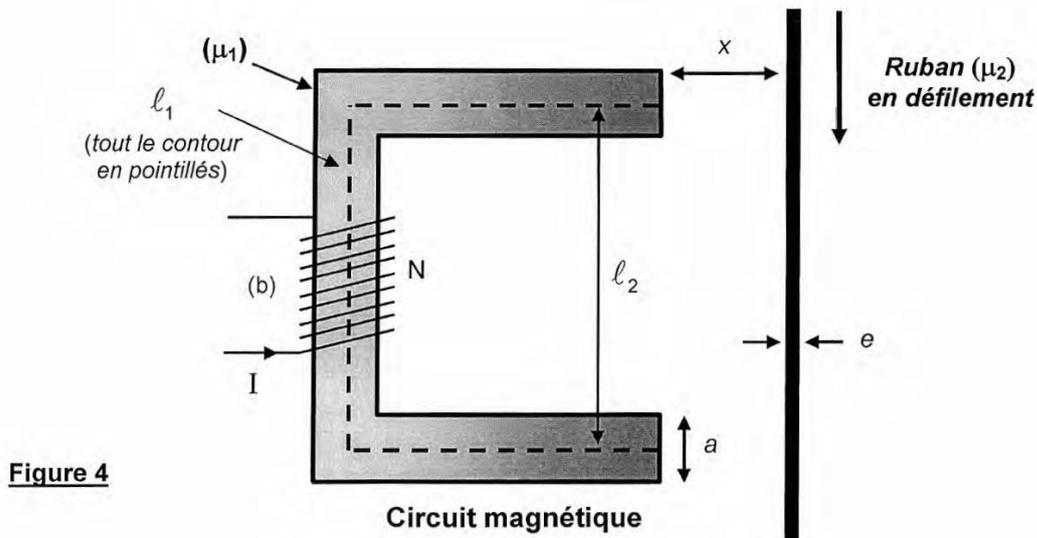


PSI* 2023 - 2024
TD N° 18 - Ferromagnétisme - Transformateur

EXERCICE 1 : Capteur à Reluctance variable (e3a PSI extrait)

Un capteur inductif permet de mesurer la distance qui le sépare d'un ruban magnétique défilant. Il est assimilable à un circuit magnétique (Figure 4) constitué d'un matériau doux feuilleté en forme de U dont la section est un carré d'aire $S_1 = a^2$. Autour du circuit sont bobinés N enroulements (b) d'un conducteur parcouru par un courant d'intensité I .

La ligne moyenne du circuit magnétique est représentée en pointillés sur le schéma, elle est de longueur ℓ_1 dans le feuilletage ; la perméabilité magnétique du matériau doux vaut $\mu_1 = 500\mu_0$, μ_0 étant la perméabilité magnétique du vide.



Ce capteur est placé en regard d'un ruban métallique ferromagnétique de largeur supérieure à a . Il est en défilement continu à une distance x devant le capteur ; son épaisseur est notée e et la perméabilité magnétique du matériau constitutif vaut $\mu_2 = 700\mu_0$.

Les lignes de champ sont parfaitement guidées par le circuit magnétique. L'entrefer entre le circuit magnétique et le ruban est suffisamment petit pour pouvoir négliger les fuites de flux magnétique. Les courants induits qui peuvent circuler dans le ruban sont négligés.

La longueur du contour d'Ampère moyen Γ adopté se décompose ainsi : ℓ_1 dans le capteur, $2x$ dans l'air et ℓ_2 dans le ruban. Les valeurs de l'excitation magnétique (respectivement du champ magnétique) seront notées H_1 (respectivement B_1) dans le capteur, H_0 (respectivement B_0) dans l'air et H_2 (respectivement B_2) dans le ruban.

- D1.** Énoncer le théorème d'AMPERE relatif au vecteur excitation magnétique \vec{H} .
- D2.** Appliquer ce théorème le long du contour moyen Γ orienté.
- D3.** Écrire, en justifiant votre raisonnement, le flux Φ du champ magnétique successivement à travers les sections du capteur, du ruban et de l'air. Le champ magnétique est noté respectivement \vec{B}_1 , \vec{B}_2 et \vec{B}_0 pour chacune de ces régions ; a et e sont les longueurs permettant de préciser les surfaces des sections qu'ils traversent.
- D4.** Exprimer les relations liant les excitations magnétiques aux champs magnétiques dans les trois parties du dispositif. Dédurre du théorème d'AMPERE l'expression de l'intensité I en fonction du seul champ B_1 , de N , ℓ_1 , ℓ_2 , a , e , x , μ_0 , μ_1 et μ_2 .

- D6.** Déterminer le flux magnétique Φ_b dans la bobine (b). En déduire l'expression de l'inductance L de cette bobine en fonction du champ magnétique B_1 , de N , a et I .
Exprimer l'inductance $L(x)$ de la bobine pour une distance x entre le capteur et le ruban, en fonction de N , ℓ_1 , ℓ_2 , a , e , x , μ_0 , μ_1 et μ_2 .

La valeur de consigne pour la distance capteur-ruban est fixée égale à x_0 ; toute distance quelconque pourra s'écrire $x = x_0 + \Delta x$.

- D7.** Montrer que l'inductance $L(x)$ de la bobine peut s'écrire, en fonction de l'inductance associée à la distance de consigne $L(x_0) = L_0$ et de l'écart Δx , sous la forme :

$$L(x) = L_0 \left(\frac{1}{1 + A \Delta x} \right).$$

Identifier L_0 , puis écrire A sous la forme : $A = \Psi \left(\frac{\ell_1}{\mu_1} + \frac{2x_0}{\mu_0} + \frac{a \ell_2}{e \mu_2} \right)^{-1}$. Déterminer Ψ .

Les données relatives au capteur : $N = 100$, $\ell_1 = 12 \text{ cm}$, $\ell_2 = 5 \text{ cm}$, $a = 3 \text{ cm}$, $x_0 = 10 \text{ mm}$, $e = 0,1 \text{ mm}$ et $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$, permettent de calculer les grandeurs $L_0 = 0,3 \text{ mH}$ et $A = 50 \text{ m}^{-1}$.

La grandeur définie comme le rapport \mathfrak{R} de la somme des courants enlacés NI sur le flux du champ magnétique au travers de la section S d'un tube de champ, porte le nom de réluctance :

$$\mathfrak{R} = \frac{NI}{\Phi}.$$

- D8.** Exprimer cette grandeur \mathfrak{R} en fonction de ℓ_1 , ℓ_2 , a , e , x , μ_0 , μ_1 et μ_2 , puis en fonction de N et de $L(x)$. Analyser son sens physique par analogie électrique.
Justifier le titre de cette deuxième partie : capteur de proximité à réluctance variable.

EXERCICE 2 : Réfraction des lignes de champ

Une surface plane sépare un milieu magnétique linéaire, homogène et isotrope, de perméabilité relative μ_r et l'air ($\mu_{r,\text{air}} = 1$).

On indique que la composante normale de l'induction est continue ainsi que la composante tangentielle de l'excitation (respectivement grâce à M-T et M-A).

On considère une ligne de champ du champ magnétique. Déterminer la relation entre les angles β_{ferro} et β_{air} que fait cette ligne de champ avec la normale à la surface de séparation respectivement dans le milieu ferromagnétique et dans l'air.

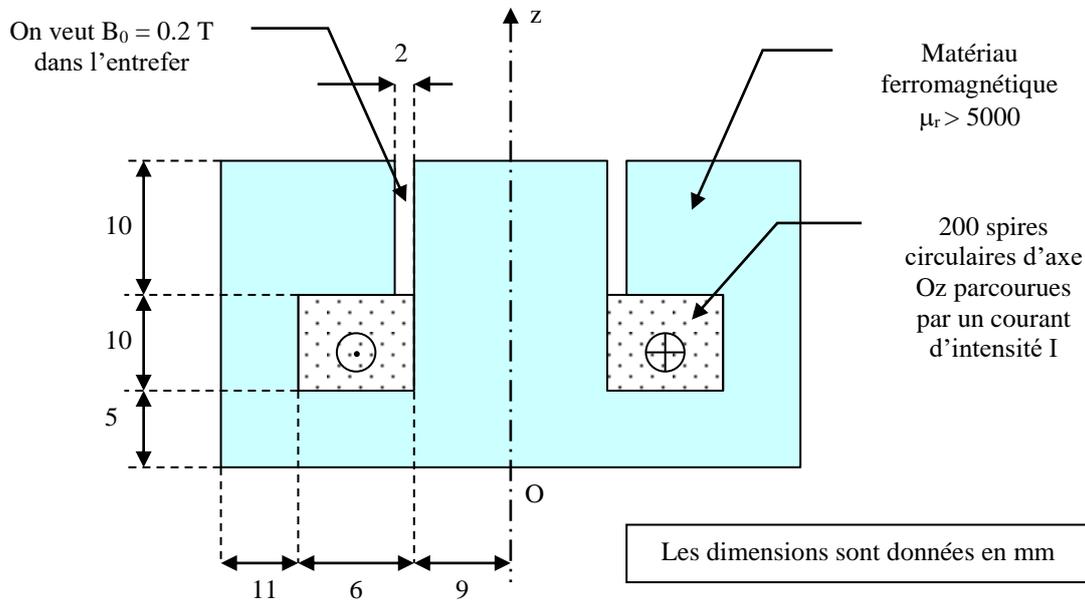
Conclure sur la valeur de l'angle β_{ferro} et sur la canalisation des lignes de champ.

EXERCICE 3 : Électroaimant

On considère la structure schématisée ci-dessous : le système est de révolution autour de l'axe Oz ; les dimensions sont données en millimètre. 200 spires parcourues par un courant d'intensité I sont bobinées sur le noyau (cf. ci-dessous). Le vecteur induction magnétique dans l'entrefer est noté B_0 .

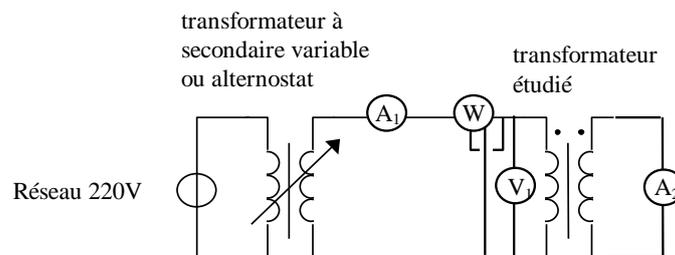
1. En utilisant la géométrie du système et les propriétés des matériaux magnétiques proposer une description qualitative des lignes de champ magnétique.

- Préciser la structure, et l'ordre de grandeur du champ B_0 dans l'entrefer annulaire d'épaisseur e de l'électroaimant.
- Quelle valeur faut-il donner au courant I pour avoir $B_0 = 0,2 \text{ T}$? Commenter cet ordre de grandeur.



EXERCICE 4 : ETUDE D'UN TRANSFORMATEUR EN COURT-CIRCUIT

On réalise le montage suivant pour étudier les caractéristiques d'un transformateur :



L'ampèremètre A_1 mesure I_1 courant au primaire, l'ampèremètre A_2 mesure I_2 courant au secondaire, le voltmètre V_1 mesure U_1 , tension d'entrée au primaire et le wattmètre W mesure P_1 , puissance efficace consommée au primaire.

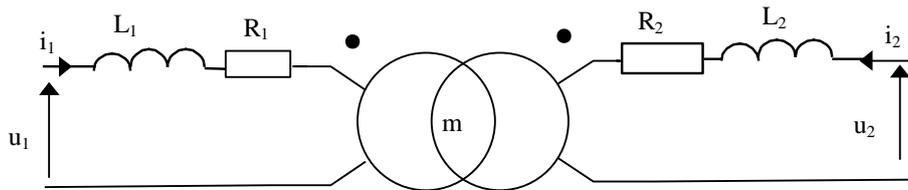
I_1 (A)	0,24	0,48	0,70	0,95	1,2
U_1 (V)	7,8	15	23	31	39
P_1 (W)	1,0	4,2	9,2	17	27
I_2 (A)	2,0	4,0	6,0	8,0	10

Tableau des mesures effectuées

La mesure à l'ohmmètre des résistances des bobinages donne $R_1 = 1,5 \Omega$ (primaire) et $R_2 = 0,17 \Omega$ (secondaire). La résistance interne de l'ampèremètre A_2 est $R_A = 0,04 \Omega$.

1. La plaque signalétique du transformateur donne une tension d'alimentation de 220V pour une tension de sortie de 24V et une intensité admissible au secondaire de 10A. Peut-on alimenter directement le transformateur sous 220V avec le montage proposé ?
2. Utiliser les mesures ci-dessus pour discuter de la validité du modèle suivant :

« Le transformateur considéré fonctionne de manière linéaire et suivant le schéma électrique suivant » :



Déterminer numériquement les caractéristiques du transformateur qui peuvent l'être.