

Inductance

Densité volumique d'énergie magnétique

Perméabilité

I) Inductance

a) Définition

Soit Φ le flux du champ magnétique créé par le courant I d'un circuit orienté à travers lui-même. La linéarité des équations entraîne que le flux est proportionnel au courant :

$$\Phi = LI$$

Le coefficient de proportionnalité L est l'*autoinductance* du circuit.

Son unité est le Henry (noté H).

b) Exemples

- Autoinductance d'un solénoïde de longueur l , section d'aire S et comportant N spires. En négligeant les effets de bord :

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$$

- Autoinductance d'un câble coaxial constitué de deux cylindres creux de rayons R_1 et R_2 , séparés par du vide. En négligeant les effets de bord :

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

II) Autoinduction

a) Loi physique

Lorsqu'un courant d'un circuit crée un champ magnétique variable de flux Φ à travers ce même circuit, apparaît dans le circuit une force électromotrice s'opposant aux variations de ce courant. La force électromotrice s'écrit :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(LI)$$

Si la géométrie du circuit est constante, alors L est une constante et on a : $e = -L\frac{dI}{dt}$.

b) Exemple

Calcul de $i(t)$ dans un circuit RL alimenté par une source de tension constante.

III) Energie magnétique

a) Expression électrocinétique

Le bilan de puissance effectué dans le circuit RL montre que l'énergie stockée dans la bobine, appelée énergie magnétique, s'écrit :

$$E_m = \frac{1}{2}Li^2$$

b) Expression liée au champ

L'énergie magnétique se retrouve dans le volume \mathcal{V} d'espace où règne le champ magnétique créé par le circuit :

$$E_m = \iiint_{\mathcal{V}} \frac{B^2}{2\mu_0} dV$$

Chaque élément de volume dV contient l'énergie magnétique $\frac{B^2}{2\mu_0}dV$. La densité volumique d'énergie magnétique est :

$$u_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

c) Exemples

Illustration des deux formules précédentes sur les exemples du solénoïde fini et du câble coaxial vus au paragraphe I-b.

IV) Perméabilité

Les milieux dont les propriétés magnétiques sont les plus prononcées sont les milieux ferromagnétiques. Ces derniers ont la faculté de canaliser les lignes de champ magnétique : on dit qu'ils sont perméables au champ magnétique. C'est par exemple le cas du fer. Le scalaire μ , appelé *perméabilité magnétique*, caractérise quantitativement cette propriété. La perméabilité du vide est notée μ_0 , sa valeur est $4\pi \cdot 10^{-7} \text{m.kg.s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$. La perméabilité relative, μ_r est définie par :

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

La perméabilité de l'air est très proche de 1. Celle des matériaux ferromagnétiques peut varier de quelques centaines à 100000 pour le mumétal (alliage de nickel, cuivre et cobalt).

Lorsqu'un matériau ferromagnétique est placé dans la zone où un circuit crée un champ magnétique, l'autoinductance est fortement augmentée. Il suffit en première approximation de remplacer μ_0 par μ dans l'expression de l'autoinductance du circuit. Ceci est notamment valable que si les courants ne sont pas trop élevés car sinon des phénomènes non linéaires apparaissent, c'est pourquoi pour augmenter l'inductance d'une bobine on utilise du fer doux (permet de retarder l'apparition de ces phénomènes non linéaires).