

Electromagnétisme :

Notations :

H : Champ magnétique, en Atr/m

R : Réductance ('Résistance' magnétique)

B : Induction, en Tesla

Φ : Flux, en Weber

μ : Perméabilité du matériau

μ_0 : Perméabilité du vide ($4\pi \cdot 10^{-7}$)

μ_r : Perméabilité relative ($\mu = \mu_0 \mu_r$)

Lois fondamentales :

$$\sum Hl = \sum NI = R\Phi$$

$$\Phi = BS$$

$$N\Phi = LI$$

$$B = \mu H$$

$$E = Nd\Phi/dt = LdI/dt$$

Inductance :

$$LI = N(NI/R)$$

$$L = N^2/R$$

Inductance d'un tore :

$$NBS = N\mu HS = \mu N^2 IS/l = LI$$

$$L = \mu N^2 S/l$$

Transformateur :

$$E = N_1 d\Phi/dt$$

$$S = N_2 d\Phi/dt$$

$$\Rightarrow S = E \cdot N_2/N_1$$

Si les bobines sont enroulées dans le même sens, sur le même axe, alors leurs forces électromotrices induites sont en phase. Le courant magnétisant, doit être faible par rapport au courant nominal.

En fonctionnement normal :

$$P \approx E \cdot I_1 \approx S \cdot I_2 \Rightarrow I_1 \approx I_2 N_2/N_1$$

Courants de Foucault :

Un circuit magnétique en fer, est assimilable à une infinité de spires de fil de fer, en court circuit :

Pour réduire les pertes, on augmente sa résistivité avec du silicium, et on le fabrique avec des tôles, isolées les unes des autres.

Plus le transformateur est gros, plus il y a de pertes, mais plus il y a de tôles, donc plus le rendement est bon.

Saturation du circuit magnétique :

$E(t) = NBS\omega \sin \omega t$ avec B de l'ordre de 1 Tesla, pour du fer.
Soit $E = 2\pi fNBS$ (Amplitude 0-max)

Cela signifie que pour un transformateur existant :

- que l'on peut réduire un peu la fréquence **en réduisant la tension**
- que l'on peut augmenter un peu la fréquence, **avec la même tension** (courants de Foucault).

Analogie électrique :

$NI = f.e.m$
 $\Phi = \text{Courant}$

Transformateur HF:

Les transformateurs de flyback avec annulation périodique du flux, présentent un entrefer dans le circuit magnétique, pour augmenter la réluctance, donc le nombre de spires, et par conséquent la tension de claquage, en conservant une fréquence de fonctionnement élevée.

Ce transfo se calcule de la façon suivante :

$U_s = 30V$

$U_s = N_2 S dB/dt$ donne le nombre de spires du secondaire et la section du CM.

$I_s = 1A$ donne $2A$ moyens la moitié du temps, donc $4A$ max.

$N_2 \cdot I_m = (B_e / \mu_0) + (B_l / \mu)$ donne la longueur CM.

Si $U_e = 300V$, le primaire a dix fois plus de spires, de section dix fois plus faible.

Transformateur triphasé :

Il est constitué de trois colonnes, sur lesquelles trois primaires sont bobinés dans le même sens.
Pour un câblage étoile, les branchements sont les suivants :

UVW

NNN

Les câblages étoile-étoile et triangle-triangle permettent d'avoir un rapport N_2/N_1 .

En étoile, le circuit magnétique permet d'équilibrer les tensions, sans brancher le neutre :

$\Sigma \Phi = 0 \Rightarrow \Sigma d\Phi = 0 \Rightarrow \Sigma e(t) = 0 \Rightarrow$ Tensions **sinusoïdales** de même amplitude.

Le câblage triangle-étoile permet de multiplier la tension par $\sqrt{3}$,
tandis que le câblage étoile-triangle permet de diviser la tension par $\sqrt{3}$.

Force électromagnétique :

Une charge élémentaire q , se déplaçant à la vitesse V , dans un milieu soumis à une induction B , subit une force : $F = qVB$ (produit vectoriel).

La direction et le sens de la force sont donnés par les trois doigts suivants de la main droite :

- Pouce : Force qui pousse
- Majeur : Magnétique
- Index : Intensité

A une échelle millimétrique, la force exercée sur un conducteur vaut QVB avec $Q=I\Delta t$, et $V=l/\Delta t$ (τ =durée nécessaire pour renouveler la charge). Donc :

$$F=IlB \text{ (produit vectoriel).}$$

Haut-parleur :

Sur une bobine de haut-parleur, la force vaut $2\pi rnIB$, B étant l'induction dans l'entrefer.

Si on obtient un flux Φ en 'court-circuitant' un aimant d'épaisseur e , elle vaut :

$$B= \Phi / (2\pi re).$$

Calcul de la tension induite :

$$E=n\Phi/\tau =n\Phi/(e/V)$$

On peut aussi faire un bilan énergétique pour un déplacement infiniment petit :

Le courant est supposé constant.

$$\text{Energie mécanique} = \text{Energie électrique} \Rightarrow Fdx = EIdt$$

En remplaçant F par Bil , on obtient :

$$E=BlV=2\pi rnBV=n\Phi V/e$$

Electro-aimant :



Calcul de la force :

Le courant est supposé constant.

Il s'agit de faire un bilan énergétique pour un déplacement infiniment petit :

$$\text{Energie mécanique} = \text{Energie électrique} \Rightarrow 2Fdx = EIdt = - NI d\phi$$

$$\phi = \frac{1}{2}NIS\mu_0 / [x+\mu_0 l / (2\mu)] \Rightarrow F = \frac{1}{4}\mu_0 S (NI / [x+l / (2\mu_r)])^2 .$$

Notions de propagation des ondes :

Dans un câble coaxial, le signal parcourt environ 200 m par microseconde, soit une longueur d'onde de 200 m pour une fréquence de 1 MHz, ou une célérité de 200.000 Km/s. Dans le vide, une onde parcourt environ 30 cm par nanoseconde, soit une longueur d'onde de 30 cm pour une fréquence de 1 GHz, ou une célérité de 300.000 Km/s (vitesse de la lumière). Dans le cas général, la longueur d'onde vaut :

$$\lambda=cT$$

Pour empêcher les retours d'onde dans un câble coaxial, on branche aux extrémités du câble, une résistance de même valeur que l'impédance caractéristique (50 ou 75 Ω).

Le champ magnétique d'une bobine (sauf champ proche), est inversement proportionnel au carré de la distance.

Une antenne verticale, a traditionnellement une longueur de $\lambda/4$,
et une impédance voisine de 50Ω avec un plan de masse perpendiculaire.

La puissance rayonnée ou reçue se mesure en dBm :

0 dBm = 1mW

10 dBm = 10mW

20 dBm = 100mW

3 dBm = 2mW donc :

13 dBm = 10 dBm + 3 dB = 10mW x2 = 20mW

7 dBm = 10 dBm - 3dB = 10mW/2 = 5mW

14 dBm = 7 dBm + 7dB = 5mW x 5 = 25mW

Pour les mords d'hyperfréquences, 'derrière' un émetteur, si une onde plane $y(t)$ à $x = 0$, se déplace suivant l'axe des x , dans le sens croissant, sans perte d'énergie, à une abscisse x quelconque, la grandeur instantanée de l'onde vaut :
 $y(t-x/c)$

Notions de compatibilité électromagnétique :

Les interférences entre deux signaux peuvent être :

- par impédance commune $U_0 = Z(I_1+I_2)$ ($R \approx 1\Omega/m$ pour piste de 0,5mm)
- par couplage inductif $E_2 = Mdl_1/dt$
- par effet capacitif $I_2 = CdV_1/dt$ ($\approx 0,9$ pF/cm² pour 1mm d'air)

Remèdes :

- Utiliser des fils courts (un fil de $\lambda/30$ éloigné du fil de retour fait 50Ω soit $1\mu H/m$).
- Eloigner les fils perturbateurs des fils perturbés.
- Rapprocher les fils perturbateurs (alim ...).
- Rapprocher les fils perturbés (signal & référence de potentiel).
- Plaquer tous les fils contre un 'plan de masse' (relié à la masse).
- Répartir plusieurs fils de masses dans les nappes.
- Filtrer l'alim dès le départ, sur les éléments perturbateurs, et aux points sensibles.
- Utiliser des blindages ou des maillages suffisamment fins (\ll longueur d'onde).
- Ajouter une inductance torique sur le +, pour les perturbations de mode différentiel.
- Passer les fils dans des tores de ferrite pour les perturbations de mode commun.
- Relier la masse à la terre pour éviter les transferts de charge entre la carte et le sol.
- Tresser les fils, ou croiser perpendiculairement les nappes de fils...

Le label C€ est attribué, si l'appareil placé dans une chambre anéchoïque, répond à ces 2 critères :

- Il rayonne peu
- Il fonctionne en milieu perturbé