**Electromagnétique**

**Production et mesure de champ magnétique :**

Mesure du champ : sonde à effet Hall et Fluxmètre (circuit ac intégrateur) basé sur l'induction.

**INDUCTION**

**ARQS Magnétique** = écart à la magnétostatique, comme en magnétostatique un champ magnétique est créé par un courant mais ce courant n'étant plus permanent sa présence engendre en p lus de l'existence d'un champ magnétique, celle d'un champ électrique (Equation de Maxwell-Faraday) [E~a.B/T]. Cf Dunod PSI chapitre 20-Approximation des régimes quasi-stationnaires.

**Conséquences ?** Il suffit de prendre l'équation de M-A. le terme en dE/dt peut-être calculé en ordre de grandeur et il est négigeable si a<<cT où a est la distance entre la source et le point M et T est le temps caractéristique associé à l'évolution temporelle de la répartition des charges et des courants en S.

L'équation de Maxwell-Ampère est donc la même qu'en magnétostatique (si a<<cT), et les autres sont les mêmes que pour des champs variables, ac tous les termes !

**Induction : On se place dans l'ARQS magnétique. (cf. DUNOD PSI ARQS)**

Dans l'ARQS, même s'il reste suffisamment faible, le champ électrique n'est pas nul. Son existence est due à la présence du champ magnétique variable, on dit que le couple (j,B) est inducteur.

Courant i inducteur variable => champ magnétique variable => champ E induit => Loi d'Ohm : courant induit => rotB=u0.j (champ magnétique) [ON le néglige dans le cadre de l'ARQS tant que la taille caractéristique du conducteur reste inférieure à l'épaisseur de peau] cf. même réf que les courants de Foucault.

Dans un conducteur massif métallique soumis à un champ magnétique variable => les courants induits sont appelés courants de Foucault.

**Courants de Foucault** dans PSI DUNOD chapitre Approximation des régimes quasi-stationnaires.

**Transformateur :**

**Attention gros point tricky de la leçon : orientations !!**

**Dès le début :**

1) On oriente le contour autour du tore (flux mag)

2) Faire attention comment on oriente les fils électriques ensuite.

**En fait dS.dl va changer de signe selon le schéma qu'on fait.**

Principe d'un électroaimant ?

Feuilletage : cf. Exercice TD four à induction

boucles de courant sont beaucoup plus petites => moins de pertes.

**Ferromagnétiques :** Pertes fer = Perte par courant de Foucault [Effet Joules] + perte par Hysteresis. On feuillette pour diminuer les pertes par courant de Foucaul

Tu as dit que le transfo est un élément important des infrastructures électriques, en quoi est ce utile de baisser et d’augmenter les tensions ?

Pour limiter les pertes par effet joule dans les lignes haute tension

Quelles caractéristiques des transformateurs ont été un élément important lors de la guerre industriel entre courant continu et courant alternatif ?

Le transformateur ne fonctionne qu’avec des tensions alternatives, uniquement avec des courants alternatifs on peut limiter

Pour un signal continu, comment abaisser une tension ? version 19 -ème siècle

Pont diviseur de tension par exemple (hacheur dévolteur pour la version moderne)

Quel est le désavantage de diviser par deux avec un pont diviseur par rapport a un transformateur ?

On perd la moitié de la puissance dans la résistance du pont diviseur à même courant avec le pont diviseur mais pas avec le transformateur ?

Le rendement est de 50% dans le cas du pont diviseur, alors qu’un transfo a un rendemetn typiquement au-dessus de 90%

Quelle part de la production électrique d’un pays est perdu dans les lignes hautes tensions et les transformateurs ?

Environ 10%

La première photo est elle un transformateur du quotidien ?

Non c’est un très vieux transfo, on le voit en coupe dans un musée

Pourquoi présente-t-il trois bobines ?

Il y a trois bobines car c’est un transfo pour le triphasé

Quelles sont vos conventions d’orientation dans vos schémas par rapport à l’induction ?

Le sens d'enroulement des fils a-t-il une importance ?

Oui énormément, il faut dès le début définir un contour orienté le long du tore ferro, qui définit le signe + ou – des i\_enlacés tu théorème d’Ampère. Le sens d’enroulement défini **aussi** le signe du flux magnétique dans une boucle de courant, flux que l’on retrouve dans la loi de Faraday. Donc dès le premier schéma il faut faire très attention a bien représenté le bobinage : **les fils des circuits primaires et secondaires s’enroulent-il par-dessus ou par-dessous le tore ?**

Dans le schéma utilisé pour les lois de transformations, précisez le sens des tensions

Peux-tu refaire la démonstration des tensions avec le schéma fléché ?

Démo refaite ok

Pourquoi dites-vous que c’est le même champ magnétique qui crée des fem dans les deux bobines ?

Parce que le flux de B est supposé parfaitement canalisé, section identique, par contre B reste un vecteur donc attention à son orientation vis à vis des spires.

Dans le secondaire, le champ magnétique pointe dans l’autre sens (tore) non ?

Cf ci-dessus

Quelle est la définition générale du flux magnétique ?

Que signifie le vecteur dS sur l'intégrale ?

Dans le transformateur, qu'est ce qui délimité la surface ?

La surface est délimitée par les boucles de courant, le sens d’orientation de cette boucle donne le sens du vecteur dS de l’intégrale du flux phi=\int\int \vec{B} \dot \vec{dS}. Donc encore une fois, les conventions d’orientation sont primordiales pour avoir in fine les bons signes.

Le mot carcasse est il approprié ?

On préfèrera dire tore ou noyau torique

Transfert parfait de puissance. Qu'est-ce que tu as appelée puissance "reçue" et puissance "perdue" ?

Est-ce la bonne terminologie ? Ne serait-il pas mieux d’étudier la puissance avec le transformateur en convention récepteur ?

Les termes « perdu » et « reçu » était bien employé dans le cas où le système considéré est le circuit secondaire ou le circuit primaire, mais il est plus judicieux de parler du système transformateur comme un tout, et définir le « fourni » « reçu » pour le système entier.

Quelle est la perte de stockage ferromagnétique dont vous avec parlé en premier dans les pertes ?

Cette énergie magnétique est-elle vraiment jamais restituée ?

Est-ce ça que vous avez appelé pertes fer ?

L’énergie stockée sous forme de B^2/2mu n’est pas perdue mais stockée. Elle est certes indispobiles pour le circuit secondaire mais peut être récupérée (en coupant le courant au primaire par exemple).

Dans un transformateur réel mu n’est plus infini, quelles en sont les conséquences ? par rapport au champ magnétique et à sa canalisation ? y a-t-il alors des pertes par induction & courants de Foucault dans l’environnement entourant le transformateur ?

Mu non infini engendre le stockage d’énergie sous forme magnétique dans le tore (on ouvre le cycle d'Hystérésis), des défauts de canalisation du champ B et l’ouverture du cycle d’hystérésis et des pertes associées

La section 2B est-elle mal nommée ? l’énergie stockée est-elle perdue ?

Cf ci dessus, on parle pas d'énergie stockée mais perdue.

Est-ce au programme cette description ? (Pertes/cycle d'hystérésis) et le traitement mathématique ?

Faut-il modéliser l’origine du cycle d’hystérésis selon les programmes ?

La modélisation des pertes dans le transfo n’est pas au programme, mais le cycle est au programme dans le chapitre sur B dans les milieux ferro, donc pas de soucis pour faire le lien ici.

Dans la manip pour obtenir le cycle d’hystérésis, quelles sont les grandeurs mesurées et à quoi permettent elle de remonter ?

A quoi sert le circuit intégrateur ? Pourquoi mesure-t-on la tension aux bornes de la résistance ?

Sur voie X on mesure tension aux bornes de résistance donc une image de i primaire donc de H, Sur voie Y on mesure l’intégrale de la tension au secondaire donc le flux magnétique donc une image de B .

Dans le tableau, qu’est-ce que Bm ? c’est l’asymptote sur le cycle d’hystérésis

En quoi est-ce une quantité (B\_m) importante pour un transformateur ?

Comment as-tu construit ton plan ? Quel choix as-tu fait ?

Est-ce que tu as fait des choix de choses à ne pas dire, à cacher à certains moments ?

Avec plus de temps, qu'aurais-tu montrer d'autres ?

Dans le programme, il y a les termes d'"isolement", "adaptation d'impédances"

Pourquoi ne pas en avoir parler ?

Pas le temps mais ça peut être un prolongement de la leçon

**Moteurs :**

Chronologiquement : MCC -> Moteur synchrone -> Moteur asynchrone

**Moteur synchrone (Alternateur dans les centrales, moteur TGV atlantique)**

* **Stator [INDUIT]** = Circuit magnétique (ferromagnétique doux qui canalisent les champ B) où sont disposées des bobines qui créent un champ magnétique qui dépend de teta. Et qui est tournant. Pour cela : Trois bobines espacées de 2pi/3 avec des courants déphasés de 2pi/3
* **Entrefer**
* **Rotor** **[INDUCTEUR]**= moment magnétique permanent (ça peut être un aimant [càd un ferromagnétique dur] ou alors un bobinage parcouru par un courant I permanent (dans le Dunod on le représente via une spire) le tout étant enrobé dans un milieu ferromagnétique doux pour canaliser le flux magnétique et augmenté le couplage entre le stator et le rotor.

**En fonctionnement Moteur** : Le moment magnétique souhaite s'alligner avec le champ magnétique. Couple = **M**^**B** et Ep=-**M**.**B** afin de minimiser l'énergie potentielle.

Il tourne donc à la vitesse du rotor pour le rejoindre.

Programme PSI : Il faut le comprendre via l'énergie électromagnétique = Ici elle est égale à l'énergie magnétique. Et étant donné que les ferromagnétiques ont une perméabilité magnétique infinie, l'énergie magnétique est nulle en leur sein. L'énergie électromagnétique est donc égale à l'énergie magnétique au sein de l'entrefer.

Dans l'entrefer les lignes de champ sont radiales (à cause de la perméabilité infinie, cf poly en 4.2.1 de Jérémy). On dit que les ferromagnétiques conduisent les champ magnétiques (perméabilité infinie) en réalité elles sortent quand même par l'entrefer et ça permet au ligne de champ magnétique statorique de passer par le rotor ! C'est ce qu'on souhaite vu qu'on veut faire tourner un champ B.

On comprend aisément **en fonctionnement alternateur** que le fait que le rotor tourne va induire chez le stator un courant (vu que le flux au sein des bobinages du stator va varier) d'où le fait que le rotor soit l'inducteur et le stator l'induit.

**Avantage :** condition de synchronisme, tourne à la vitesse du champ statorique on peut donc fixer facilement la vitesse de rotation du moteur.

**Inconvénient** : Afin de modifier la vitesse il faut utiliser un onduleur et asservir le moteur.

Couple au démarrage est de valeur moyenne nulle (le rotor n'a pas encore accroché au champ statorique ) et sans couple il ne peut pas commencer à vaincre le couple de charge). Il faut le démarrer.

Solution : On utilise des onduleurs de fréquence variable qui permettent d'établir un asservissement de l'angle interne pour obtenir de façon constante un couple moteur.

Ou alors on met une petite cage sur le rotor afin de le démarrer via ... moteur asynchrone.

**Moteur asynchrone** (Plus moderne, moins cher, utilisé dans de nombreux dispositifs domestiques [machine à laver, sèche linge], TGV Nord)

***B est toujours un champ magnétique tournant mais le moment magnétique est cette fois-ci induit par le fait que B tourne.***

* **Stator [INDUCTEUR]: Idem que la machine synchrone.**

Circuit magnétique (ferromagnétique doux qui canalisent les champ B) où sont disposées des bobines qui créent un champ magnétique qui dépend de teta. Et qui est tournant. Pour cela : Trois bobines espacées de 2pi/3 avec des courants déphasés de 2pi/3. Le champ magnétique a une pulsation ws.

* **Rotor [INDUIT] : Bobinages ou Cage à écureuil.**

(pas d'aimant, pas de courant élec, c'est top !)

Dans le Rotor le flux magnétique varie puisque B varie temporellement. Le flux varie selon wg=ws-wr.

Il apparaît donc une force électromotrice et ainsi un courant induit. Et ainsi le rotor acquiert un moment magnétique **M**=I**S.** Le moment magnétique a une pulsation wg.

On peut alors calculer le couple via M^B et on trouve qu'en moyenne il est non nulle uniquement si wg est différent de 0. En effet si wr=ws on voit bien que le flux magnétique ne varie pas vu que le rotor tourne à la même vitesse que le champ magnétique.

Remarques : Il peut fonctionner en génératrice mais très peu utilisé ! Théoriquement possible lorsque le glissement est négatif.

Le moteur asynchrone peut démarrer seul

**Moteur à courant continu** (Premier historiquement, jouets à pile, métro en fonctionnement moteur [traction] ou en générateur [freinage])

Une tension U est imposée aux bornes d'un collecteur

**Stator [INDUCTEUR] :** Carcasse en matériau ferromagnétique sur laquelle on place une bobine traversée par un courant permanent (ou alors ça peut être des aimants) qui crée un champ magnétique permanent.

**Rotor** **[INDUIT]**: Ensembles de spires (on peut dans un premier temps en considérer une) parcouru par un courant I ! Le rotor est alors un moment magnétique, il tourne pour s'alligner avec le champ statorique, une fois alligné ...

On utilise un  **collecteur** [fait aussi parti de l'induit] pour inverser le moment magnétique qui va donc tourner encore d'un demi tour pour s'aligner avec le champ statorique.

**Avantage** : La vitesse de rotation est commandée par la tension d'alimentation et donc on peut modifier la vitesse facilement.

**Inconvénient** : Système collecteur/ Balais sur la spires est fragile.

**Formules super importantes : Ecm=-e=K.Φs.Ω et Γ=KΦs.Irotor**