**Titre** : Transformateurs idéals et réels

**Présentée par** : **Rapport écrit par** :

**Correcteur** : **Date** : 08/04/2020

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Bibliographie de la leçon :** | | | |
| **Titre** | **Auteurs** | **Éditeur** | **Année** |
| **Dunod tout en un PSI** |  |  |  |
| BFR 4 milieux diélectriques et aimantés |  |  |  |
| Cours de J. Neveu sur l’électronique |  |  |  |
| Images sur internet |  |  |  |
| https://sitelec.org/animations2.htm |  |  |  |

|  |
| --- |
| **Plan détaillé** |
| **Niveau : CPGE PSI**  **Prérequis : Induction (PCSI), matériaux ferromagnétiques : canalisation des lignes de champs, aimantation, perméabilité magnétique, cycle d’hystérésis et pertes énergétiques**  **Intro : transformateurs sont très utiles au quotidien, convertissent un signal éléctrique avec ue certaine tension en un autre signal éléctrique avec une autre tension, ils sont présents tout autour de nous. Sur slide, l’acheminement de l’énergie électrique (300kV lignes haute tension pour transport (diminuer effet joule), puis 230-380V utilisation en milieu urbain) depuis les centrales jusqu’aux particuliers, il y a plusieurs transformateurs qui servent à abaisser/augmenter les tensions dans les câbles/fils. Photo de transformateurs électriques industriels. [3] p. 47**  On peut mntrer des photo de transformateurs, montrer les 3 bobines ! Ensuite se plasser dans le cas idéal pour presenter les transformateurs.  **3 min**  **I] Transformateur idéal :**  **A) Principe de fonctionnement**  C’est un quadripôle électrique qui permet de modiﬁer l’amplitude de tensions et de courants alternatifs dans un circtuit appelé « primaire », sans changer leur fréquence. **[1] p. 682.**  (écrire au tableau signal elecrique ave apmplitude u(t) f(t) flèche signal e’ u’(t) f(t), avec le premier signal le primaire, le dictionnaire de physique a aussi une definition plus complète).  - faire le schéma du **[1] p. 682**, completer le schéma avec les spires, courants, primaires. Etc.. Et le decrire selon 5.1 du **[1] p. 682**.    Expérience à faire : gbf sur primaire et secondaire sur voltmètre. Utiliser un transfo de rapport ½. C.A.D 2 bobines avec un rapport de spires de ½.  Comment cela fonctionne-t ’il ? Par le phénomène d’induction. Dans le primaire, un courant alternatif circule, cela crée un champ magnétique variable. Enfin, Par induction, une –dPhi/dt s’établit dans le secondaire. (faire la suite logique au tableau).  **7 :30**  Hypothèses du transformateur idéal :   * Pas de pertes par effet joule 🡪 les deux bobines du primaire et secondaire n’ont pas de résistance életrique (R1 = R2 = 0) * Les lignes de champ sont canalisées par le matériau ferromagnétique supposé infinie. C..A.D pas de fuites du champ magnétique [1] p. 684.   **9 :00**  **B) Lois de transformation des tensions et des courants**  Cette aprtie suit **[1] p. 682-683**  On utilise loi de Maxwell faraday pour relier les tensions aux champs.  Schéma des circuits électriques équivalents avec les deux inductances propres et l’inductance mutuelle.    Expliqué dans [1] p. 682-683, e1 résulte de l’auto-induction par i1 qui est alternatif. e2 est le la fem induite par le premier circuit.  La loi de Lenz dicte le sens de la fem générée dans le circuit secondaire (opposée au circuit primaire), on choisit un sens d’orientation judicieux de manière à avoir  V2 = e2 = -N2 \* S \* dB/dt  V1 = e1 = -N1 \* S \* dB/dt  **V2/V1 = N2/N1**  *Note : pourquoi B est uniforme ?*  Pour trouver la loi de transformation des courants on utilise le théorème d’ampere sur un contour fermé à l’intérieur du fer doux. **[1] p. 683-684**  Faire le schema suivant ou le projeter sur slide (mieux). O utilise contour gris.    Faie calcul :    Or i interieur est relié au nombre de spires et à i2 et i2, d’où :  Integrale de circulation de H = N1\*i1+N2\*i2  Or B=mu\*H, donc, si B reste fini et mu->+oo, c’est que H->0.  **Donc i2/i1= -N1/N2**  **17 :30**  Parler ici du fait que on peut avec le transformateur en jouant sir les rapports N2/N1 modifier le courant et la tenson dans le secondaire. Qu’en est il de la puissance d’un tel système ?  **C) Transfert parfait de puissance**  P1=u1i1  P2=u2i2  La puissance totale consommée par le transformateur est Ptot=P1+P2=0 d’après les lois de transformation des courants et tensions.  **Il y a donc transfert parfait de puissance du circuit primaire vers le circuit secondaire, pas de pertes ! La puissance du primaire est entièrement resitué au sécondaire.**  **Transition : on peut facilement voir expérimentalement qu’en réalité on a des pertes énergétiques dans le transformateur (il y a des resistances !)**  **II] De l’idéal au réel :**  **A) Sources de pertes énergétiques**  Un transformateur on a dit qu’il avait un carcasse ferromagnetique, une bobine avec des fils de cuivre et des courants crées par induction.  - Carcasse ferromagnétique : lors d’un cycle, une partie de l’énergie est prélevée pour aimanter cette carcasse et n’est pas restituée ensuite (échauffement) **pertes fer** (hystérésis) **(voir aussi [3] p. 49, [2] p. 187)**  - Courants de Foucault : ils sont créés par induction dans le noyau/carcasse ferromagnétique, ils sont parasites et provoquent un échauffement en plus de s’opposer au sens voulu d’induction. **(voir aussi [3] p. 50)**  - effet Joule dans les bobines : pertes cuivre par effet Joule [1] p. 686.  On s’interesse sur les pertes fer, énergie emmagasiné par le ferromagnetique.  **28 :15**  **B) Energie magnétique emmagasinée par le matériau ferromagnétique**  Le matériau ferromagnétique s’aimante et se désaimante, on a vu dans un précédent cours que l’énergie magnétique dans un ferro est :  E = integrale volumique de B²/(2mu) dV **[1] p. 689**  Phénomène d’aimantation du au champ magnétique crée. (lire **[1] p. 670-673** ou **[3] p. 181-189** plus complex mais plus complet, aussi **[2] p. 49-50 pour un résumé des pertes**).  *Ce qui est à savoir est que lors de l’aimantation d’un ferromagnetique :*  *- il y a creation de domaines ayant des aimantations parallèles au sein d’un même domaine (domaines de Weiss) ;*  *- quand on change le camp extérieur les parois se déplacent mais restent accrchés aux défaults et impuret és du cristal ;*  *- en diminuant encore plus le champ il y a un claquage qui crée un courant de foucalt local du a la forte variation du champ on perd alors de l’énergie. Plus ce phénomène arrive, plus on per de l’énergie et l’aimantation reste importante en l’absance de champ.*  *Ceci est mieux expliqué dans [2], le lire mais ne pas le dire. On admet que les étudiants on déjà vu les ferro durs et doux.*  Courbes : cycles d’hystérésis expérimentaux pour du fer, **les montrer sur slide** ferro dou et ferro dur.    L’énergie est perdue car modifier l’aimantation dans le ferromagnetique necessite l’apport d’énergie (champ coercitif non nul).  Comment évaluer les pertes sur un cycle grâce à l’outil graphique ?  Loi de Fraday et théorème d’Ampère appliqués dans le matériau ferromagnétique  Pmag = S\*l\*H\*dB/dt  E\_perdue\_cycle = V\*integrale sur un cycle H dB avec V=l\*S    Cette intégrale est en fait l’aire de la surface a l’intérieur du cycle  Expérience : obtenir expérimentalement B et H avec un circuit intégrateur et un ampèremètre et voltmètre. On récupère en mode x,y la courbe d’hystérésis à des constantes multiplicatives près. (*mouais, à voir, Montag sur slide on l’a fait avec raph, Vy donne la fem dans le circuit secondaire après intégration (donc champ B) et Vx relie teorème d’amprère pour avoir H*).  Note : de l’ordre de cb de % de puissance perdue pour une utilisation nominale ?  **37 :00**  **C) Comment limiter les pertes ?**  Utiliser des matériaux ferromagnétiques doux sous forme d’alliages, ceci réduit les pertes fer sur un cycle avec faible champ coercitif.  Tableau de différents matériaux ferromagnétiques avec leur perméabilité et leur pertes par cycle en J/kg sur slide.  Pour les pertes par courant de Foucault, on feuillètera le noyau ferromagnétique pour empêcher ces courants volumiques. **[3] p. 56 4.4.3**  **Pour alliages utilisées voir [2] p. 189.**  **Conclusion : modèle idéal est utile pour comprendre le fonctionnement du transformateur et son intêret. L’étude du transformateur réel montre les difficultés technologiques auxquelles on doit faire face dont le developpement continue de nos jours. L’utilisation des ferromagnétiques doux et durs a aussi un intêret pour la confection de moteurs avec des bobinages qui nécessitent des champs magnétiques importants.** |

|  |
| --- |
| **Questions posées par l’enseignant** |
| 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, 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  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 |
| **Commentaires donnés par l’enseignant** |
|  |
| **Partie réservée au correcteur** |
| **Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)**  Plan classique, leçon bien menée et bonne réponse aux questions mais attention aux histoires de convention d’orientation. C’est le seul point délicat de la leçon et donc il ne faut pas passer à côté.  **Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates**  Le transformateur idéal appelle une bonne modélisation avec des conventions d’orientation bien précisées, afin que les signes des calculs soient bons. Cette étape passée, la leçon passe rapidement en « leçon de choses » où on raffine éventuellement le modèle. Le formalisme laisse la place à de belles discussions de physique.  **Expériences possibles (en particulier pour l’agrégation docteur)**  Cycle d’hystérésis dans le tore ferromagnétique, mesure de rendement, rapports de conversion  **Bibliographie conseillée**  Livres de PSI, illustrations web de vrais transformateurs |