

Optimisation d'un dispositif de recharge par induction

Nous avons voulu axer notre TIPE sur un sujet concret et proche de la vie quotidienne. Par les nombreux domaines de la physique que la recharge par induction englobe, ce sujet nous a semblé particulièrement intéressant et adapté à un travail de groupe

La recharge par induction est une alternative à la recharge par fil, à la fois innovante et plus ergonomique, mais son rendement est limité. Bien que cette technologie repose sur un principe ancien, le couplage magnétique entre deux bobines, l'augmentation de son efficacité est un des enjeux pour son développement.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

-

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Couplage magnétique</i>	<i>Magnetic coupling</i>
<i>Résonance</i>	<i>Resonance</i>
<i>Rendement</i>	<i>Yield</i>
<i>COMSOL</i>	<i>COMSOL</i>
<i>Oscillateur Colpitts</i>	<i>Colpitts Oscillator</i>

Bibliographie commentée

La multiplication des appareils électroniques pose la question de la recharge de leur batterie. Les techniques actuelles d'alimentation filaire ou par pile peuvent s'avérer respectivement encombrantes ou polluantes. Avec les travaux de Faraday sur l'induction en 1831 on sait qu'il est possible de générer un courant dans une bobine à l'aide d'une variation du champ magnétique qui la traverse. Il est ainsi possible de transférer de l'énergie électromagnétique entre deux systèmes sans support matériel.

On peut se servir de cette propriété pour recharger des appareils sans fil. On considère un montage avec deux circuits : un premier (dit primaire ou émetteur) contient une bobine alimentée par un générateur de tension sinusoïdale et un deuxième circuit (dit secondaire ou récepteur) contient une bobine reliée au module de chargement. Le courant circulant dans la bobine du circuit primaire crée un champ magnétique variable, qui, en traversant la bobine du circuit secondaire, sera à l'origine

d'un courant induit. Il permettra, après avoir été redressé, de recharger la batterie. Notre dispositif comporte donc un onduleur relié à la bobine primaire et un redresseur, ainsi qu'un module de chargement de batterie Li-ion relié à la bobine secondaire.

Pour maximiser le rendement et permettre une recharge sécuritaire, il est nécessaire, dans un premier temps, de fournir à la bobine du circuit primaire un signal de fréquence égale à la fréquence de résonance [1]. Pour ce faire, à partir du courant du secteur de fréquence 50Hz, on redresse le signal puis on utilise un oscillateur Colpitts pour le faire osciller à une fréquence précise et ajustable. En ayant recours au modèle pi hybride du transistor et en utilisant les conditions de Barkhausen, on détermine la fréquence d'oscillation de ce circuit en fonction des caractéristiques de ses composants [7].

Les travaux de Tesla suggèrent d'utiliser un phénomène de résonance pour maximiser la puissance transmise : dans sa « bobine de Tesla », ce dernier excite le circuit primaire à sa fréquence de résonance afin de produire des surtensions très élevées. Cependant, le rendement du dispositif, directement lié au coefficient de couplage des bobines, diminue fortement lorsque la distance entre ces dernières augmente. Le calcul de l'inductance mutuelle permet alors de quantifier la qualité du couplage entre les bobines émettrices et réceptrices : une inductance mutuelle élevée signifie que l'on perd très peu d'énergie entre le circuit primaire et le secondaire. L'expérience, en accord avec la théorie, montre alors qu'en plus de leur position relative, le coefficient de couplage dépend fortement de la géométrie des bobines [2][3].

La qualité du couplage peut être simulée numériquement, notamment à l'aide du logiciel Comsol. En utilisant la résolution numérique des équations aux dérivées partielles (ce que réalise Comsol) on se libère de plusieurs contraintes. Pour résoudre numériquement les équations aux dérivées partielles il existe plusieurs solutions. La plus répandue d'entre elle est la méthode des éléments finis, développée pendant la deuxième partie du XXe siècle, à l'origine pour résoudre des problèmes de mécanique des structures [6]. L'idée théorique est de poser le problème dans un espace vectoriel de fonctions de dimension infinie, et d'approcher la solution en la projetant sur des sous-espaces de dimensions finies, ce qui ramène le problème approché à la résolution d'un système linéaire [5]. Il convient alors d'étudier la convergence vers la solution, et d'estimer l'erreur commise par la méthode [4].

Dans un second temps il faut élaborer un module de chargement respectant strictement le profil de charge de la batterie Li-ion[9]. La puce LM3420 de Texas Instrument [8] propose une solution de recharge assez ludique à comprendre et à monter dans la mesure où le circuit qui l'intègre est assez simple.

Problématique retenue

Comment maximiser le rendement d'un système de rechargement par induction d'une batterie LiIon ?

Objectifs du TIPE

- Etablir un modèle théorique du circuit électrique de couplage
- Mettre en évidence le rôle de la résonance dans le transfert d'énergie entre circuits.
- Déterminer l'inductance propre des bobines pour construire un chargeur
- Evaluer le coefficient d'inductance mutuelle des bobines en fonction de leur position relative
- Faire varier divers paramètres des bobines pour maximiser le rendement

Objectifs des autres membres du groupe:

- Utiliser le logiciel COMSOL pour déléguer une partie des expériences.
- Concevoir un circuit émetteur. Utilisation d'un oscillateur Colpitts.
- Concevoir un circuit récepteur prenant en charge la recharge d'une batterie Li-Ion

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] LUC LASNE : Etude des bobines couplées et transmission d'énergie à distance sous conditions de résonance : *Université de Bordeaux 1, Centre de Ressources en EEA*
- [2] AHAFHAF, AMINE EL ALAOUI, ABDERAZAK EL JALOULI, MAROUANE, MATERRE DAMIEN, OBDAM GUILLAUME : Recharge sans fil des téléphones mobiles Science physique pour l'ingénieur : *FIPA 17 P1G2*
- [3] WEI WANG : Étude de la transmission d'énergie sans fil (WPT) basée sur la résonance couplée magnétique. : https://publications.polymtl.ca/1496/1/2014_WeiWang.pdf
- [4] MICHEL KERN : Introduction à la méthode des éléments finis : *Ecole nationale supérieure des mines de Paris* http://mms2.ensmp.fr/ef_paris/formulation/polycop/f_coursEF.pdf
- [5] ANDRÉ FORTIN, ANDRÉ GARON : Les éléments finis : de la théorie à la pratique : *Université de Laval* https://giref.ulaval.ca/afortin/elements_finis.pdf
- [6] A. BENDALI : Méthode des éléments finis : https://www.math.univ-toulouse.fr/~abendali/gmm4_EF_bendali.pdf
- [7] RICHARD C. JAEGER TRAVIS N. BLALOCK : Microelectronic circuit design, fifth edition chapitre 12
- [8] TEXAS INSTRUMENT : LM3420 data sheet : <https://www.ti.com/product/LM3420>
- [9] PAUL PICKERING : Mouser Electronics : Market Trends Drive Battery Charger Development : <https://www.mouser.fr/applications/battery-charger-trends/>
- [10] J-M FOUCHET, A. PEREZ-MAS : Électronique pratique

DOT

- [1] *Septembre-Octobre: Etude théorique des circuits électroniques mis en jeux pour la conception du chargeur. Mise en évidence d'un phénomène de résonance permettant d'augmenter le rendement du dispositif. Recherche de matériel électronique à acheter pour monter le chargeur.*
- [2] *Novembre-Décembre: Premières expériences de mesure d'inductance de bobines avec le matériel du laboratoire, puis mise en œuvre d'expériences permettant la mesure du coefficient d'inductance mutuelle de bobines. Etude théorique du rendement du dispositif en fonction des*

paramètres des bobines (géométrie, nombre de tours de fils,...), puis mise en œuvre pratique

[3] Janvier-Mars: Arrivage du matériel commandé et premières grosses difficultés: l'inductance des bobines utilisables pour notre dispositif est très faible, et certaines expériences ne sont pas réalisables, comme l'étude de l'influence de l'écartement des bobines sur le coefficient de couplage. Réalisation de l'expérience de mesure du coefficient de couplage en fonction de l'alignement des bobines. Nous décidons alors de traiter le reste des expériences sur le logiciel Comsol.

[4] Mars-Avril: Réalisation du circuit de chargement en commun avec les deux autres membres du groupe.