

Utilisation de la topologie LC-S pour recharger sans fil des dispositifs implantables

La recharge sans fil des dispositifs médicaux implantables est un défi technologique essentiel pour améliorer la qualité de vie des patients. Les approches traditionnelles de recharge impliquent des limitations importantes en termes de maintenance et d'autonomie. Ce TIPE vise à trouver une solution innovante, celle d'utiliser la topologie LCS.

La topologie LC-S s'inscrit dans le thème "Transition, transformation et conversion" en permettant une recharge sans fil des dispositifs implantables. L'énergie électrique est transformée en énergie magnétique, puis reconvertie en électricité dans l'implant, illustrant une transition technologique et une conversion efficace d'énergie pour des applications médicales innovantes.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *PHYSIQUE (Physique Théorique)*
- *PHYSIQUE (Physique Ondulatoire)*
- *SCIENCES INDUSTRIELLES (Electronique)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>recharge sans fil</i>	<i>Wireless Power Transfer (WPT)</i>
<i>topologie LC-S</i>	<i>LC-S topology</i>
<i>résonance électrique</i>	<i>electrical resonance</i>
<i>induction magnétique</i>	<i>magnetic induction</i>
<i>montage redresseur</i>	<i>full bridge rectifier</i>

Bibliographie commentée

Les stimulateurs cardiaques sont utilisés depuis 1958, et les premiers modèles implantés fonctionnaient à l'aide de batteries rechargeables au Nickel-cadmium. Ces batteries étaient rechargées en plaçant une bobine inductive contre la peau, près du stimulateur, pendant plusieurs heures, une opération à répéter tous les quelques jours. Cependant, ces stimulateurs

rechargeables ont été abandonnés pour deux raisons principales : la courte durée de vie des batteries au Nickel-cadmium, nécessitant malgré tout des remplacements fréquents, et l'oubli des patients de respecter les cycles de recharge recommandés.

Grâce aux progrès technologiques, des batteries non rechargeables plus durables, comme les batteries au mercure-zinc offrant une autonomie de deux ans, ont remplacé les modèles rechargeables. En 1973, les batteries au lithium-iodure ont été introduites, augmentant la durée de vie des stimulateurs de 5 à 10 ans. Bien que des batteries encore plus durables, à base de plutonium, aient été développées, elles ont été abandonnées en raison de leur toxicité. Actuellement, la majorité des stimulateurs doivent être remplacés après une durée typique de 10 ans.

Cependant, un nouvel intérêt se manifeste aujourd'hui pour les stimulateurs rechargeables, qui pourraient améliorer la qualité de vie des patients en réduisant la nécessité de chirurgies répétées.

Les stimulateurs cardiaques implantables, bien que révolutionnaires, nécessitent des solutions pour surmonter les limitations des batteries jetables. Une alternative prometteuse repose sur la recharge sans fil, exploitant des topologies comme la LCS pour optimiser le transfert d'énergie. Cette dernière se distingue par son efficacité énergétique élevée et sa simplicité d'intégration, comme le confirment les travaux de Xiao et al. (2018) [4]. Les études expérimentales de mon TIPE, inspirées des approches théoriques de Cetin et Demirci (2022) [3], démontrent l'importance de la condition d'angle de phase nul (Zero Phase Angle) pour minimiser les pertes et maximiser le transfert de puissance.

La conception des bobines d'émission et de réception joue un rôle clé dans l'efficacité des systèmes WPT. Vulfin et al. (2017) [1] ont mis en évidence les défis associés à l'intégration de ces systèmes dans un environnement biologique. En s'appuyant sur leurs conclusions, mon projet a développé et testé des bobines adaptées aux contraintes spécifiques des stimulateurs cardiaques. Par ailleurs, Liu et al. (2019) [2] proposent une structure sandwich pour limiter les pertes énergétiques, une approche qui a orienté mes choix en matière de design et d'optimisation.

Les travaux de Junfeng Yang et al. (2020) [5] introduisent la topologie de compensation LCC-S, qui se distingue par sa capacité à tolérer des désalignements entre les bobines d'émission et de réception. Cette robustesse est obtenue grâce à une méthode de réglage des paramètres permettant de maintenir un courant constant, même avec des variations importantes du coefficient de couplage. Ces travaux ont démontré expérimentalement que cette approche permet d'atteindre une efficacité supérieure à 86 % en conditions nominales et de 73 % dans des conditions désalignées. Ces résultats ont influencé mes choix méthodologiques pour garantir un transfert d'énergie stable et efficace.

Enfin, la sécurité des tissus biologiques à proximité des systèmes implantables est essentielle. Une solution saline a été utilisée, conformément à Xiao et al. (2018) [4], pour simuler les effets

sur les tissus humains, garantissant que le système ne génère ni surchauffe ni complications. Ces résultats, combinés à des tests approfondis, montrent que la recharge sans fil pour stimulateurs cardiaques peut être à la fois efficace et sûre, renforçant ainsi son potentiel d'application clinique à long terme.

Problématique retenue

Comment concevoir un système de recharge sans fil pour stimulateurs cardiaques implantables, alliant efficacité énergétique, simplicité de mise en œuvre, et fiabilité, tout en répondant aux contraintes techniques et pratiques ?

Objectifs du TIPE du candidat

1. Analyser les topologies de compensation.
2. Concevoir un système de transfert d'énergie sans fil.
3. Optimiser l'efficacité énergétique.
4. Réaliser des tests expérimentaux.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] VULFIN, V., SAYFAN-ALTMAN, S., & IANCONESCU, R. (2017). : Wireless power transfer for a pacemaker application. Journal of Medical Engineering Technology, 41(4), 325–332. : <https://doi.org/10.1080/03091902.2017.1299232>
- [2] C. LIU, C. JIANG, J. SONG AND K. T. CHAU. : An Effective Sandwiched Wireless Power Transfer System for Charging Implantable Cardiac Pacemaker. : *Doi: 10.1109/TIE.2018.2840522*
- [3] CETIN S, DEMIRCI YE. : High-efficiency LC-S compensated wireless power transfer charging converter for implantable pacemakers : *Doi: 10.1002/cta.3150*
- [4] XIAO C, CHENG D, WEI K. : An LCC-C compensated wireless charging system for implantable cardiac pacemakers: theory, experiment and safety evaluation : <https://doi.org/10.1109/TPEL.2017.2735441>
- [5] J. YANG, X. ZHANG, K. ZHANG, X. CUI, C. JIAO AND X. YANG. : Design of LCC-S Compensation Topology and Optimization of Misalignment Tolerance for Inductive Power Transfer : <https://ieeexplore.ieee.org/document/9233396>

DOT

- [1] : *Choix de la topologie de compensation*
- [2] : *Analyse du gain en tension*

[3] : *Condition de fonctionnement en ZPA (Zero Phase Angle)*

[4] : *L'efficacité du transfert sans fil*

[5] : *Simulation sur Pspice*

[6] : *Évaluation expérimentale*