



Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

B. Sc. Thesis

**Design and Fabrication of Inductive Power Link
for Implantable Devices for Brain**

By:
Maryam Dodangeh

Supervisor:
Dr. Mohammad Yavari

October 2016



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش الکترونیک

عنوان

طراحی و ساخت مدار انتقال توان توسط لینک القایی برای حسگرهای کاشته شده
در مغز

نگارش

مریم دودانگه

استاد راهنما

دکتر محمد یآوری

آبان ۱۳۹۵

صفحه فرم ارزیابی و تصویب پایان نامه - فرم تأیید اعضاء کمیته دفاع

در این صفحه فرم دفاع یا تأیید و تصویب پایان نامه موسوم به فرم کمیته دفاع - موجود در پرونده آموزشی - را قرار دهید.

اینجانب مریم دودانگه متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضا

تقدیم به:

پدر، مادر و برادر عزیزم

تشکر و قدردانی:

از استاد فرهیخته، جناب آقای دکتر یاوری که در راه انجام این پژوهش مرا از مساعدت‌های علمی و عملی خود بهره‌مند ساختند.

چکیده

با پیشرفت‌های صورت گرفته در تکنولوژی میکروالکترونیک و MEMS^۱، می‌توان به طراحی و ساخت حسگرهای قابل کاشت پزشکی در زمینه‌های مختلف پرداخت. در تمامی حسگرهای قابل کاشت پزشکی، تامین توان برای حسگر کاشته شده موضوع چالش برانگیزی است. در میان تمامی روش‌های موجود، رایج ترین روش به منظور ارسال توان استفاده از لینک القایی می باشد .

در این پروژه به طراحی و شبیه سازی با نرم افزار ADS^۲ و ساخت مدار انتقال توان توسط لینک القایی پرداخته شده است. این لینک از دو سیم‌پیچ چاپ شده بر روی برد FR4 تشکیل شده است که در فاصله‌ی ۱ سانتی‌متر از یکدیگر قرار دارند که به منظور بیشترین مقدار بازدهی توان طراحی شده اند. فرکانس کاری ۱۰ مگاهرتز می‌باشد و هدف نهایی القای توان خروجی حداقل ۵۰ میلی وات در سیم‌پیچ ثانویه است. هم چنین طراحی و شبیه سازی یک تقویت کننده ی توان کلاس E هم با توان خروجی ۵۰۰ میلی وات به منظور تهیه‌ی توان مورد نیاز برای سیم پیچ اولیه صورت گرفته است. در نهایت مدار طراحی و شبیه‌سازی شده، ساخته شده و تست عملی بر روی آن انجام گرفته است.

واژه‌های کلیدی:

لینک القایی بی‌سیم، بازده توان انتقالی، PSC^۳، تقویت‌کننده‌ی توان کلاس E، تراشه‌های قابل کاشت د مغز

¹ Micro Electro Mechanical Systems

² Advanced Design Systems

³ Printed Spiral Coil

فهرست مطالب

۱	فهرست اختصارات
۲	فصل ۱: مقدمه
۳	۱-۱- مروری بر کلیات و کاربردهای لینک انتقال توان القایی.....
۵	۲-۱- ساختار پایان نامه.....
۶	فصل ۲: طراحی لینک القایی
۷	۱-۲- مقدمه.....
۷	۲-۲- تئوری طراحی.....
۷	۱-۲-۲- شمای کلی لینک.....
۹	۲-۲-۲- PSC و فرمول های مربوط به آن.....
۱۲	۳-۲-۲- بازده لینک القایی و فرمول های مربوط به آن.....
۱۴	۴-۲-۲- مراحل طراحی لینک القایی.....
۱۴	۱-۴-۲-۲- در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به تکنولوژی و پیاده سازی.....
۱۴	۲-۴-۲-۲- جایگذاری مقادیر اولیه.....
۱۶	۳-۴-۲-۲- انتخاب سائز و ضریب انباشتگی سیم پیچ اولیه.....
۱۶	۴-۴-۲-۲- انتخاب ضریب انباشتگی و W سیم پیچ ثانویه.....
۱۷	۵-۴-۲-۲- انتخاب سائز و W سیم پیچ اولیه.....
۱۸	۶-۴-۲-۲- بازگشت به مرحله ی سوم و تکرار مراحل.....
۱۹	۳-۲- جمع بندی.....
۲۰	فصل ۳:
۲۰	تقویت کننده ی توان کلاس E
۲۱	۱-۳- مقدمه.....
۲۱	۲-۳- بررسی عملکرد تقویت کننده ی توان کلاس E.....
۲۳	۳-۳- فرمول ها و روابط مربوط به تقویت کننده ی توان کلاس E.....
۲۵	۴-۳- مقادیر طراحی شده برای المان های تقویت کننده.....
۲۶	۵-۳- جمع بندی.....
۲۷	فصل ۴:
۲۷	شبیه سازی و نتایج به دست آمده
۲۸	۱-۴- مقدمه.....
۲۸	۲-۴- شبیه سازی لینک القایی با استفاده از EM Simulation.....
۳۷	۳-۴- شبیه سازی تقویت کننده ی توان کلاس E.....
۳۹	۴-۴- شبیه سازی مدار کلی.....
۴۰	۵-۴- جمع بندی.....

۴۱	فصل ۵: ساخت عملی
۴۲	۱-۵- مقدمه.....
۴۲	۲-۵- کشیدن PCB توسط نرم افزار Altium Designer.....
۴۵	۳-۵- پیاده سازی تقویت کننده ی توان کلاس E.....
۴۶	۴-۵- پیاده سازی مدار کلی لینک القایی انتقال توان.....
۴۸	۵-۵- جمع بندی.....
۴۹	فصل ۶: نتیجه گیری
۵۰	۱-۶- نتیجه گیری و فعالیت پژوهشی.....
۵۱	مراجع

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱): بخش‌های مختلف سیستم انتقال توان القایی.....	۴
شکل (۱-۲): مدار لینک القایی.....	۷
شکل (۲-۲): شکل کلی و پارامترهای یک PSC مربعی.....	۹
شکل (۳-۲): برش مقطعی یک PSC و نمایش خازن‌های پارازیتی موجود.....	۱۱
شکل (۴-۲): نمودار η_{12} بر حسب d_{o1} و ϕ_1	۱۶
شکل (۵-۲): نمودار η_{12} بر حسب w_2 و ϕ_2	۱۷
شکل (۶-۲): نمودار η_{12} بر حسب w_1 و d_{o1}	۱۸
شکل (۱-۳): شکل موج مطلوب ولتاژ و جریان ترانزیستور به منظور کم‌ترین مقدار تلفات توان.....	۲۲
شکل (۲-۳): شمای کلی تقویت‌کننده‌ی توان کلاس E.....	۲۳
شکل (۱-۴): ساختار کلی قرار گرفتن دو سیم پیچ رو به روی هم با فواصل دقیق و جنس مشخص.....	۲۹
شکل (۲-۴): Layout کشیده شده برای PSC اولیه و ثانویه.....	۳۰
شکل (۳-۴): شمای نزدیک تری از layout رسم شده برای PSC ثانویه.....	۳۰
شکل (۴-۴): نمایش 3D برای layout کشیده شده.....	۳۱
شکل (۵-۴): مقادیر حقیقی و موهومی Z_{11}	۳۲
شکل (۶-۴): مقادیر حقیقی و موهومی Z_{22}	۳۲
شکل (۷-۴): مقدار موهومی Z_{21}	۳۳
شکل (۸-۴): رسم نمودارهای بخش حقیقی Z_{11} و Z_{22} برای محاسبه‌ی SRF.....	۳۴
شکل (۹-۴): توان ورودی و خروجی لینک القایی.....	۳۵
شکل (۱۰-۴): شماتیک مدار تقویت‌کننده‌ی توان کلاس E طراحی شده.....	۳۷
شکل (۱۱-۴): جریان خروجی تقویت‌کننده‌ی توان کلاس E.....	۳۷
شکل (۱۲-۴): ولتاژ خروجی تقویت‌کننده‌ی توان کلاس E.....	۳۸
شکل (۱۳-۴): شماتیک کلی لینک انتقال توان القایی به همراه تقویت‌کننده‌ی توان.....	۳۹
شکل (۱۴-۴): ولتاژ خروجی لینک القایی توان.....	۳۹
شکل (۱-۵): PCB سیم پیچ اولیه.....	۴۲
شکل (۲-۵): PCB سیم پیچ ثانویه.....	۴۳
شکل (۳-۵): PSC چاپ شده‌ی سمت اولیه.....	۴۳
شکل (۴-۵): PSC چاپ شده‌ی سمت ثانویه.....	۴۴
شکل (۵-۵): مدار مونتاژ شده‌ی تقویت‌کننده‌ی توان کلاس E.....	۴۵
شکل (۶-۵): مدار نهایی مونتاژ شده.....	۴۶
شکل (۷-۵): شکل موج ولتاژ خروجی سیم پیچ ثانویه در تست نهایی.....	۴۶

فهرست جداول ها

جدول (۱-۲): پارامترهای ثابت و پارامترهای مربوط به تکنولوژی ساخت.....	۱۴
جدول (۲-۲): پارامترهای به دست آمده برای سیم پیچ ها بعد از چندین تکرار.....	۱۸
جدول (۳-۲): مقادیر L و R_s و C_p سیم پیچ ها.....	۱۹
جدول (۱-۳): پارامترهای مشخص در طراحی.....	۲۵
جدول (۲-۳): مقادیر طراحی شده برای المان های تقویت کننده.....	۲۶
جدول (۱-۴): پارامترهای الکتریکی هوا و FR4.....	۲۹
جدول (۲-۴): مقادیر به دست آمده از شبیه سازی و مقایسه ی آن با مقادیر تئوری.....	۳۴
جدول (۱-۵): مقایسه ی اندوکتانس عملی با شبیه سازی.....	۴۴

فهرست اختصارات

MEMS Micro Electro Mechanical Systems

PSC Printed Spiral Coil

PCB Printed Circuit Board

ADS Advanced Design Systems

EM Electro Magnetic

SRF Self Resonance Frequency

M Mutual Inductance

k Coupling Coefficient

References

- [1] Jow, Uei-Ming, and Maysam Ghovanloo. "Design and optimization of printed spiral coils for efficient transcutaneous inductive power transmission." *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems* 1.3 (2007): 193-202.
- [2] Ali, Hussnain, Talha J. Ahmad, and Shoab A. Khan. "Inductive link design for medical implants." *Industrial Electronics & Applications, 2009. ISIEA 2009. IEEE Symposium on*. Vol. 2. IEEE, 2009.
- [3] Silay, Kanber Mithat, Catherine Dehollain, and Michel Declercq. "Inductive power link for a wireless cortical implant with two-body packaging." *IEEE Sensors Journal* 11.11 (2011): 2825-2833.
- [4] Zierhofer, Clemens M., and Erwin S. Hochmair. "Geometric approach for coupling enhancement of magnetically coupled coils." *IEEE transactions on Biomedical Engineering* 43.7 (1996): 708-714.
- [5] R. R. Harrison *et al.*, "A low-power integrated circuit for a wireless 100-electrode neural recording system," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 42, no. 1, pp. 123–133, Jan. 2007.
- [6] Vaillancourt, P., et al. "EM radiation behavior upon biological tissues in a radio-frequency power transfer link for a cortical visual implant." *Engineering in Medicine and Biology Society, 1997. Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE*. Vol. 6. IEEE, 1997.
- [7] J. C. Lin, "Computer methods for field intensity predictions," in *CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*, C. Polk and E. Postow, Eds. Boca Raton, FL: CRC Press, 1986, ch. 2, pp. 273–313.
- [8] Wu, Wei, and Qiang Fang. "Design and simulation of printed spiral coil used in wireless power transmission systems for implant medical devices." *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE, 2011.
- [9] Atluri, Suresh, and Maysam Ghovanloo. "A wideband power-efficient inductive wireless link for implantable microelectronic devices using multiple carriers." *2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. IEEE, 2006.
- [10] Sokal, Nathan O. "Class-E RF power amplifiers." *QEX Commun. Quart* 204 (2001): 9-20.
- [11] Acar, Mustafa, Anne-Johan Annema, and Bram Nauta. "Design Equations for Class-E Power Amplifiers." (2006): 6-9.



Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

B. Sc. Thesis

Design and Fabrication of Inductive Power Link for Implantable Devices for Brain

By:

Maryam Dodangeh

Supervisor:

Dr. Mohammad Yavari

October 2016