



**Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)**

Electrical Engineering Department

BSc Thesis

**Design and Simulation of Control Unit in Electrical
Stimulation Circuit for Fully-Implantable Cochlear Prosthesis**

**By
Zahra Alizadeh**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

April 2022



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی
گرایش الکترونیک

طراحی و شبیه سازی بخش کنترل مدار تحریک الکتریکی برای پروتز حلزون
یکپارچه

نگارش
زهرا علیزاده

استاد راهنما
دکتر محمد یآوری

فروردین ۱۴۰۱

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

در این صفحه (هر سه مقطع تحصیلی) باید فرم ارزیابی یا تایید و تصویب پایان نامه/رساله موسوم به فرم کمیته دفاع برای ارشد و دکترا و فرم تصویب برای کارشناسی، موجود در پرونده آموزشی را قرار دهند.



به نام خدا

تاریخ:

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **زهرا علیزاده** 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.

در صفحه تعهدنامه اصالت اثر، در قسمت بالا سمت چپ، تاریخ دفاع خود را جایگزین تاریخ نوشته شده کنید.

همچنین در صفحه تعهدنامه اصالت اثر، در خط اول، نام و نام خانوادگی خود را به صورت کامل با نام و نام خانوادگی نمونه، جایگزین کنید. در انتهای متن تعهد، در قسمت امضا نیز باید نام و نام خانوادگی کامل خود را وارد نمایید.

زهرا علیزاده

امضا

تقدیم به پدر و مادرم،

که هر چه دارم از وجود پر مهر آنهاست.

تقدیر و تشکر

با تشکر از پدر و مادر مهربانم که در یک سال اخیر همواره همراه و یارم بوده‌اند. از استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر یاوری صمیمانه سپاس‌گزارم، بدون راهنمایی‌های ارزشمند ایشان طی این مسیر ممکن نبود. از دوستان عزیزم در آزمایشگاه طراحی مدارهای مجتمع و در تیم تحقیقاتی طراحی حلزون مصنوعی که در جلسات گروه ارائه‌های مفید داشتند و به آموخته‌هایم افزودند سپاس‌گزارم.

چکیده

بر اساس آمار در حال رشد ناشنوایان، دانشمندان سیستمی را برای کمک به ناشنوایان طراحی کردند. طراحی سیستم‌های حلزون مصنوعی از قرن ۱۸ آغاز شد و در طول زمان بهبود داده شد. این بهبودها شامل تنظیم پردازنده‌ها، تنظیم جریان‌های متنوع‌تر و تعداد الکترودها بود. سیستم‌های متداول دو پارچه کارایی مناسبی داشتند و تا حدود ۱۰۰ درصد شنوایی را به بیماران بازگرداندند، اما این سیستم‌ها خود دارای مشکلاتی از جمله مصرف توان بالا، دو پارچه بودن سیستم و پیچیدگی سیستم بودند. دانشمندان برای حل مشکلات این سیستم‌ها سیستم کاملاً کاشتنی را طراحی و معرفی کردند. در این سیستم‌ها از سنسورهای پیزوالکتریک استفاده می‌شود که صوت مکانیکی دریافت شده را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل می‌کند و سپس جریان مناسب برای تحریک را ایجاد می‌کنند. یکی از قسمت‌های تعیین کننده در بلوک تحریک الکتریکی کنترل کننده است. کنترل کننده بر اساس سیگنال ورودی دریافت شده، سیگنال‌هایی تولید می‌کند تا مقدار و نوع مناسب جریان تحریک تولید و ارسال شود. هسته اصلی کنترل کننده ها چند رجیستر برای تولید سیگنال‌های ترتیبی با زمان‌بندی ترتیبی است. این سیگنال‌ها برای فعال سازی سویچ‌ها، تقویت کننده ها و مدارهای نمونه بردار به کار برده می‌شود. در این تحقیق پیاده سازی سطح بالا و سطح ترانزیستور یک کنترل کننده سیستم کاملاً کاشتنی انجام شده است. در آخر نیز توسط نرم‌افزارهای مرتبط مثل میکروویند و کیدنس، جانمایی مداری کنترل کننده انجام شده است. در نهایت مدار طراحی شده با طراحی‌های پیشین مقایسه شده و توان و مساحت جانمایی آن بهبود داده شده است.

واژه‌های کلیدی:

حلزون مصنوعی کاملاً کاشتنی، مدار تحریک کننده الکتریکی، مدار کنترل کننده، ماشین حالت متناهی، سیگنال کنترلی

صفحه	فهرست مطالب
۱	چکیده.....
۱	۱- فصل اول: مقدمه.....
۲	۱-۱- پیش گفتار.....
۲	۲-۱- اهداف پروژه.....
۳	۳-۱- ساختار پایان نامه.....
۴	۲- فصل دوم: سیستم‌های حلزون مصنوعی.....
۵	۱-۲- گوش.....
۵	۱-۱-۲- آناتومی شنوایی.....
۹	۲-۱-۲- فیزیولوژی شنوایی.....
۱۰	۲-۲- ارزیابی ناشنوایی.....
۱۱	۳-۲- درمان ناشنوایی.....
۱۱	۱-۳-۲- سمعک.....
۱۱	۲-۳-۲- کاشت استخوانچه مصنوعی.....
۱۱	۳-۳-۲- لنگر کاشتنی استخوانی.....
۱۲	۴-۳-۲- کاشت حلزون مصنوعی.....
۱۲	۵-۳-۲- پروتز کاشتنی در ساقه مغز.....
۱۲	۴-۲- تاریخچه و مروری بر سیستم‌های گذشته.....
۱۴	۵-۲- حلزون مصنوعی دو پارچه.....
۱۵	۱-۵-۲- پردازنده.....
۱۷	۲-۵-۲- انتقال داده و توان.....
۱۸	۳-۵-۲- بلوک تحریک.....
۱۹	۴-۵-۲- الکتروود.....
۲۲	۶-۲- حلزون مصنوعی کاملاً کاشتنی.....
۲۲	۱-۶-۲- سنسور.....
۲۳	۲-۶-۲- واسط الکترونیکی.....
۲۵	۳- فصل سوم: طراحی کنترل کننده مدار تحریک الکتریکی.....
۲۶	۱-۳- مروری بر کنترل کننده مدار تحریک الکتریکی.....
۲۶	۱-۱-۳- کنترل کننده سیستم دوپارچه.....
۲۸	۲-۱-۳- کنترل کننده Yip و همکاران.....
۳۱	۳-۱-۳- کنترل کننده Ulsan و همکاران.....
۳۲	۲-۳- کنترل کننده پروژه.....

۳۴	۳-۲-۱ طراحی در نرم افزار میکروویند و DSCH
۴۲	۳-۲-۲ طراحی در نرم افزار کیدنس
۴۶	۴- فصل چهارم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۴۷	۴-۱- شبیه سازی در نرم افزار DSCH
۵۰	۳-۱- شبیه‌سازی جانمایی مدار در نرم افزار میکروویند
۵۲	۴-۳- شبیه سازی در کیدنس
۵۴	۴-۴- نتیجه گیری و مقایسه
۵۸	منابع و مراجع
۶۰	پیوست
۶۳	Abstract

شکل (۱-۲) آناتومی گوش.....	۶
شکل (۲-۲) نمای داخلی حلزون شنوایی.....	۸
شکل (۳-۲) نمای عرضی حلزون شنوایی [9].....	۸
شکل (۴-۲) غشای پایه در حلزون.....	۹
شکل (۵-۲) صفحه ادیوگرام ارزیابی نوع و میزان ناشنوایی [4].....	۱۰
شکل (۶-۲) لنگر کاشتنی استخوانی [4].....	۱۲
شکل (۷-۲) نمایی از سیستم دوپارچه [3].....	۱۵
شکل (۸-۲) مدار پیاده سازی پروتکل CIS [3].....	۱۶
شکل (۹-۲) طیف فرکانسی یک عبارت انگلیسی [3].....	۱۶
شکل (۱۰-۲) نحوه جداسازی فرکانسی و ایجاد تحریک در الکترودهای متفاوت [3].....	۱۷
شکل (۱۱-۲) یک نمونه طراحی مدار تولید جریان در بلوک تحریک [7].....	۱۹
شکل (۱۲-۲) مدار ترانزیستوری سویچ‌های بلوک تحریک [7].....	۱۹
شکل (۱۳-۲) نحوه قرارگیری الکترودها در حلزون گوش [8].....	۲۰
شکل (۱۴-۲) یک نمونه آرایه الکترودهای حلزون مصنوعی [8].....	۲۱
شکل (۱۵-۲) طراحی و اندازه‌های یک آرایه الکترودها [8].....	۲۱
شکل (۱۶-۲) نمونه طراحی یک سنسور پیزوالکتریک حلزون مصنوعی [9].....	۲۳
شکل (۱۷-۲) نمونه طراحی یک واسط الکترونیکی حلزون مصنوعی کاملاً کاشتنی [10].....	۲۴
شکل (۱-۳) سیستم حلزون مصنوعی طراحی شده توسط ونگ و همکاران [11].....	۲۷
شکل (۲-۳) مدار کنترل‌کننده سیستم آقای ونگ [11].....	۲۷
شکل (۳-۳) سیستم طراحی شده توسط آقای Yip [13].....	۲۹
شکل (۴-۳) ماشین حالت مدار کنترل‌کننده آقای Yip [13].....	۲۹
شکل (۵-۳) مدار تولید سیگنال‌های کنترلی سویچ‌های مدار آقای Yip [13].....	۳۰
شکل (۶-۳) کنترل‌کننده مدار آقای Yip [13].....	۳۰
شکل (۷-۳) مدار طراحی شده توسط آقای Ulasan و همکاران [1].....	۳۱
شکل (۸-۳) مدار کنترل‌کننده در سیستم آقای ulusan [1].....	۳۲
شکل (۹-۳) مدار تولید سیگنال‌های کنترل سویچ‌های مدار آقای Ulasan [3].....	۳۲
شکل (۱۰-۳) مدار تولید سیگنال‌های کنترلی اصلی.....	۳۳
شکل (۱۱-۳) صفحه اصلی نرم افزار میکروویند.....	۳۴
شکل (۱۲-۳) صفحه اصلی نرم افزار DSCH.....	۳۵
شکل (۱۳-۳) مدار ماشین حالت طراحی شده.....	۳۶

شکل (۱۴-۳)	مدار نوسان ساز طراحی شده.....	۳۶
شکل (۱۵-۳)	مدار مولد سیگنال آندی و کاتدی طراحی شده.....	۳۷
شکل (۱۶-۳)	مدار تولید سیگنال های آندی مربوط به الکترودها.....	۳۷
شکل (۱۷-۳)	مدار تولید سیگنال های کاتدی مربوط به الکترودها.....	۳۸
شکل (۱۸-۳)	جانمایی مدار ماشین حالت و رجیسترهای اصلی.....	۳۹
شکل (۱۹-۳)	برش دو رجیستر از جانمایی مدار اصلی.....	۳۹
شکل (۲۰-۳)	جانمایی مدار نوسان ساز طراحی شده.....	۴۰
شکل (۲۱-۳)	بزرگنمایی بخشی از جانمایی مدار نوسان ساز.....	۴۰
شکل (۲۲-۳)	جانمایی مدار تولید سیگنال های آندی.....	۴۱
شکل (۲۳-۳)	جانمایی مدار تولید سیگنال های کاتدی.....	۴۱
شکل (۲۴-۳)	جانمایی کامل مدار کنترل کننده.....	۴۲
شکل (۲۵-۳)	طراحی شماتیک فلیپ فلاپ.....	۴۳
شکل (۲۶-۳)	سمبل ایجاد شده از طراحی شماتیک یک فلیپ فلاپ.....	۴۴
شکل (۲۷-۳)	جانمایی یک فلیپ فلاپ.....	۴۴
شکل (۲۸-۳)	شماتیک مدار نهایی.....	۴۵
شکل (۲۹-۳)	جانمایی مدار نهایی.....	۴۵
شکل (۱-۴)	شبیه سازی سطح بالای دینامیک رجیسترهای اصلی مدار کنترل کننده.....	۴۷
شکل (۲-۴)	شبیه سازی زمانی سطح بالای رجیسترهای اصلی کنترل کننده.....	۴۸
شکل (۳-۴)	شبیه سازی سطح بالای مدار تولید سیگنال اصلی آندی و کاتدی.....	۴۸
شکل (۴-۴)	نمودار زمانی شبیه سازی سطح بالای مدارات تولید سیگنال های آندی.....	۴۹
شکل (۵-۴)	نمودار زمانی شبیه سازی سطح بالای مدارات تولید سیگنال های آندی.....	۴۹
شکل (۶-۴)	نمودار زمانی شبیه سازی جانمایی مدار.....	۵۰
شکل (۷-۴)	نمودار زمانی شبیه سازی جانمایی سیگنال های آندی.....	۵۱
شکل (۸-۴)	شبیه سازی زمانی و نمودار سیگنال های کاتدی.....	۵۱
شکل (۹-۴)	سیگنال های کنترلی اصلی S ، به ترتیب هشت سیگنال در هشت رنگ مختلف.....	۵۲
شکل (۱۰-۴)	سیگنال های اصلی S در شبیه سازی پیکربندی شده.....	۵۳
شکل (۱۱-۴)	سیگنال های آندی sia به ترتیب و با رنگ های مختلف.....	۵۳
شکل (۱۲-۴)	سیگنال های کاتدی sic به ترتیب و با هشت رنگ مختلف.....	۵۴
شکل (۱۳-۴)	مساحت جانمایی مدار طراحی شده.....	۵۵
شکل (۱۴-۴)	مساحت مدار طراحی شده توسط گروه آقای ییپ [13].....	۵۵
شکل (۱۵-۴)	مساحت مدار طراحی شده توسط گروه آقای اولوسان [1].....	۵۶
شکل (۱۶-۴)	منحنی مصرف توان کنترل کننده بر اساس فرکانس پالس فرکانس بالا.....	۵۶

جدول (۱-۴) مقایسه توان مصرفی به ازای پالس‌های فرکانس بالای متفاوت.....	۵۷
جدول (۲-۴) مقایسه توان مصرفی کنترل کننده گروه‌های تحقیقاتی مختلف.....	۵۷
جدول (۳-۴) مقایسه مساحت کنترل کننده‌های گروه‌های تحقیقاتی مختلف.....	۵۷

منابع و مراجع

- [1] H. Uluşan, *Ultra-low power interface electronics design for fully implantable cochlear implants*, Ph.D. Dissertation, Middle East Technical University, Turkey, 2018.
- [2] F.-G. Zeng, S. Rebscher, W. Harrison, X. Sun, and H. Feng, "Cochlear implants: system design, integration, and evaluation," *IEEE reviews in biomedical engineering*, vol. 1, pp. 115-142, 2008.
- [3] H. Bernhard, *Design Methodology and Innovative Device Concept for Acoustic Hearing Implants*, PhD Dissertation, EPFL, Switzerland, 2011.
- [4] B. S. Wilson and M. F. Dorman, "Cochlear implants: current designs and future possibilities," *Journal of rehabilitation research and development*, vol. 45, no. 5, pp. 695-730, 2008.
- [5] W. Ngamkham, M. N. van Dongen, and W. A. Serdijn, "Biphasic stimulator circuit for a wide range of electrode-tissue impedance dedicated to cochlear implants," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp. 1083-1086, 2012.
- [6] W. Ngamkham, M. N. van Dongen, W. A. Serdijn, C. Bes, J. J. Briare, and J. H. Frijns, "A 0.042 mm² programmable biphasic stimulator for cochlear implants suitable for a large number of channels," *arXiv*, 2015.
- [7] Y. Xu, C. Luo, F.-G. Zeng, J. C. Middlebrooks, H. W. Lin, and Z. You, "Design, fabrication, and evaluation of a parylene thin-film electrode array for cochlear implants," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 66, no. 2, pp. 573-583, 2018.
- [8] M. B. Yüksel, *MEMS based multi-channel piezoelectric acoustic transducer for fully implantable cochlear implants*, M.S. Dissertation, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Electrical and Electronics Engineering, Middle East Technical University, Turkey, 2020.
- [9] H. Uluşan, S. Chamanian, B. Ilik, A. Muhtaroglu, and H. Kula, "Fully Implantable Cochlear Implant Interface Electronics With 51.2- μ W Front-End Circuit," *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 27, no. 7, pp. 1504-1512, 2019.
- [10] S.-H. Wang et al., "Design of a bone-guided cochlear implant microsystem with monopolar biphasic multiple stimulations and evoked compound action potential acquisition and its in vivo verification," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 56, no. 10, pp. 3062-3076, 2021.
- [11] X.-H. Qian et al., "Design and in vivo verification of a CMOS bone-guided cochlear implant microsystem," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 66, no. 11, pp. 3156-3167, 2019.
- [12] M. Yip, R. Jin, H. H. Nakajima, K. M. Stankovic, and A. P. Chandrakasan, "18.2 A fully-implantable cochlear implant SoC with piezoelectric middle-ear sensor and energy-efficient stimulation in 0.18 μ m HVCMOS," *IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers (ISSCC)*, pp. 312-313, 2014.

- [13] M. Yip, R. Jin, H. H. Nakajima, K. M. Stankovic, and A. P. Chandrakasan, "A fully-implantable cochlear implant SoC with piezoelectric middle-ear sensor and arbitrary waveform neural stimulation," *IEEE journal of solid-state circuits*, vol. 50, no. 1, pp. 214-229, 2014.
- [14] H. Uluşan, A. Muhtaroglu, and H. Kùlah, "A Sub-500 μ W Interface Electronics for Bionic Ears," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 132140-132152, 2019.
- [15] H. Uluşan, S. Chamanian, Ö. Zorlu, A. Muhtaroglu, and H. Kùlah, "Neural stimulation interface with ultra-low power signal conditioning circuit for fully-implantable cochlear implants," *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, pp. 1-4.

Abstract

Due to the growing statistics of deaf people, Scientists have designed a system to help them. The design of cochlear implant systems began in the 18th century and was improved over time. These improvements included adjusting processors, generating currents with more diversity, and the number of electrodes. Conventional systems made of two sub-systems had good performance and restored up to 100% hearing to patients, but these systems themselves had problems such as high power consumption, and complexity of the system. So, Scientists designed and introduced a fully implantable system to solve the problems of conventional systems. In these systems, piezoelectric sensors are used to convert the received mechanical sound into electrical signals and then create the right current for stimulation. One of the important parts in the electrical stimulation block is the controller. The controller generates signals based on the received input signal to generate and send the appropriate amount and type of stimulation current. The core of the controllers is some registers, which are connected to each other, to generate sequential signals with sequential timing. These signals are used to activate switches, amplifiers and sample and hold circuits. In this study, the implementation of high level and transistor level for the controller of a fully implantable system has been carried out. Then, the simulations has been performed by related softwares. Finally, the designed circuit is compared with the previous designs and its power and area have been improved.

Key Words: Fully implantable cochlear implant, Stimulation circuit, Controller circuit, Control signals, Finite state machine.



**Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)**

Electrical Engineering Department

BSc Thesis

**Design and Simulation of Control Unit in Electrical
Stimulation Circuit for Fully-Implantable Cochlear Prosthesis**

**By
Zahra Alizadeh**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

April 2022