۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی–بیوالکتریک

طراحی و ساخت یک سیستم ارتباط عصبی دو سویه (تحریک–ثبت) خارج سلولی

بخش ۱: تحریک

نگارش:

سینا فرهمند

استاد راهنما:

دکتر امیر مسعود سوداگر

زمستان ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام، برسم

تشکر و قدردانی

در این جا لازم می‌دانم مراتب تشکر و قدردانی خود را از دکتر امیر مسعود سوداگر که راهنمایی‌های ایشان علاوه بر کمک در راستای پیشبرد صحیح این پروژه، مرا با روش کار علمی و اخلاقی نیز آشنا ساخت، ابراز نمایم. همچنین از مسئولین محترم مرکز علوم اعصاب دانشگاه شهید بهشتی به ویژه دکتر میرشهرام صفری و دکتر عباس حق‌پرست به خاطر زحماتشان در فراهم نمودن امکانات لازم و انجام آزمایش‌های پزشکی، تشکر می‌نمایم.

به علاوه نهایت سپاس و قدردانی خود را از تمامی دوستانم در آزمایشگاه مدارها و سیستم‌های مجتمع که کار در کنار آن‌ها خاطره‌های خوشی را به یادگار گذاشت، و همچنین خانواده عزیزم، اعلام می‌دارم.

بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تاسیس ۱۳۰۷	**تأییدیه هیأت داوران**	**شماره:** **تاریخ:**

هیأت داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تهیه شده تحت عنوان :

طراحی و ساخت یک سیستم ارتباط عصبی دوسویه (تحریک-ثبت) خارج سلولی
بخش1: تحریک

توسط آقای / خانم سینا فرهمند ، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش مهندسی پزشکی در تاریخ / / ۱۳ مورد تأیید قرار می‌هند.

۱- استاد راهنمای اول	جناب آقای / سرکار خانم دکتر امیر مسعود سوداگر	امضاء
۲- استاد راهنمای دوم	جناب آقای / سرکار خانم دکتر	امضاء
۳- استاد مشاور	جناب آقای / سرکار خانم دکتر	امضاء
۴- ممتحن داخلی	جناب آقای / سرکار خانم دکتر حمید ابریشمی مقدم	امضاء
۵- ممتحن خارجی	جناب آقای / سرکار خانم دکتر سید محمد فیروزآبادی	امضاء
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	جناب آقای / سرکار خانم دکتر	امضاء

بسمه تعالی

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**اظهارنامه دانشجو**	**شماره:** **تاریخ:**

اینجانب سینا فرهمند **دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته** مهندسی برق

گرایش مهندسی پزشکی **دانشکده** مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان

طراحی و ساخت یک سیستم ارتباط عصبی دوسویه (تحریک-ثبت) خارج سلولی

بخش1: تحریک

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای / سرکار خانم دکتر امیرمسعود سوداگر توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت واصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

بسمه تعالی

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	**حق طبع و نشر و مالکیت نتایج**	**شماره:** **تاریخ:**

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر **دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.**

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

*** توجه:**

این فرم می‌بایست پس از تکمیل، در نسخ تکثیر شده قرار داده شود.

چکیده

در این پایان‌نامه، مراحل طراحی و ساخت یک تحریک‌کننده‌ی عصبی پوشیدنی[۱] جهت تحریک الکتریکی سیستم اعصاب مرکزی[۲] موجودات زنده ارائه شده است. سیستم تحریک‌کننده‌ی عصبی ساخته شده بر اساس تحریک کنترل شده با جریان[۳]، طراحی شده است. سیستم تحریک عصبی پیشنهادی توانایی انتقال پالس‌های تحریک دوفازه[۴] و تک‌فازه[۵] را به صورت تک‌پالس[۶] یا قطارپالس[۷]، به بافت هدف دارا می‌باشد. سیستم تحریک پیشنهادی دارای ۸ کانال مستقل کاملاً برنامه‌پذیر، جهت انتقال پالس‌های تحریک به بافت می‌باشد. این سیستم از دو قسمت اصلی پایانه تحریک[۸] و کنترل‌کننده‌ی خارجی تشکیل شده که با استفاده از ریزتراشه‌های[۹] تجاری ساخته شده‌اند. بخش پایانه تحریک که همان قسمت پوشیدنی سیستم است، پارامترهای تحریک را به صورت بی‌سیم[۱۰] از کنترل‌کننده‌ی خارجی قابل حمل دریافت می‌کند. بخش پایانه تحریک سیستم، با یک باتری قابل شارژ ۳/۷ V و با فرکانس ۲MHz کار می‌کند. حداکثر جریان انتقالی توسط تحریک‌کننده‌ی عصبی پیشنهادی، برابر ۴۰۰μA می‌باشد. توان مصرفی بخش پایانه تحریک ساخته شده در حالت عملکرد فعال ۸ کانال تحریک، برابر ۵۱/۲mW و در حالت غیر فعال برابر ۱/۵mW می‌باشد. وزن و ابعاد سیستم تحریک‌کننده‌ی عصبی ساخته شده به ترتیب ۶۵ گرم و ۹cm×۵cm×۲cm می‌باشد. برای بررسی صحت عملکرد سیستم تحریک‌کننده‌ی عصبی پیشنهادی، از آن برای تحریک الکتریکی قشر حرکتی[۱۱] مغز یک موش آزمایشگاهی[۱۲] استفاده شده است.

کلید واژه: سیستم تحریک‌کننده‌ی عصبی، پالس دوفازه، پایانه تحریک، قشر حرکتی.

---

[1] Wearable Neural Stimulator
[2] Central Nervous System (CNS)
[3] Current-Controlled Stimulation (CCS)
[4] Biphasic
[5] Monophasic
[6] Single Pulse
[7] Pulse Train
[8] Stimulation Front-End (SFE)
[9] Microchips
[10] Wireless
[11] Motor Cortex
[12] Rat

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ه

فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه‌ای بر سیستم‌های تحریک عصبی ۱

۱-۱- تاریخچه ۱

۱-۲- سیستم عصبی موجودات زنده ۳

۱-۳- سلول عصبی (نورون) ۴

۱-۳-۱- جسم سلولی ۵

۱-۳-۲- دندریت ۶

۱-۳-۳- آکسون ۶

۱-۳-۴- سیناپس ۶

۱-۳-۴-۱- سیناپس شیمیایی ۷

۱-۳-۴-۲- سیناپس الکتریکی ۷

۱-۴- قشر مغز ۷

۱-۴-۱- ناحیه حسی ۹

۱-۴-۲- ناحیه حرکتی ۹

۱-۵- انواع تحریک ۹

۱-۵-۱- تحریک الکتریکی ۱۰

۱-۵-۲- تحریک مغناطیسی عبوری از جمجمه ۱۲

۱-۵-۳- تحریک نوری ۱۳

۱-۵-۴- تحریک شیمیایی ۱۵

۱-۶- کاربردها و دلایل اعمال تحریک ۱۶

۱-۶-۱- تحریک عمقی مغز ۱۷

۱-۶-۲- تحریک قشر بینایی مغز ۱۸

۱-۷- هدف از انجام پژوهش ۱۹

۱-۸- ساختار گزارش ۲۰

فصل ۲- تحریک الکتریکی سیستم اعصاب مرکزی ۲۱

۲-۱- مقدمه ۲۱
۲-۲- انواع سیستم‌های تحریک الکتریکی ۲۱
۲-۲-۱- سیستم‌های تحریک قابل کاشت در بدن ۲۱
۲-۲-۲- سیستم‌های تحریک عصبی پوشیدنی ۲۵
۲-۳- تحریک الکتریکی از دیدگاه کمیت فیزیکی مورد استفاده ۲۶
۲-۳-۱- تحریک کنترل شده با ولتاژ ۲۷
۲-۳-۲- تحریک کنترل شده با جریان ۲۹
۲-۳-۳- تحریک سودهی خازنی ۳۰
۲-۴- انواع تحریک الکتریکی جریانی از دیدگاه تجمع بار ۳۳
۲-۴-۱- تحریک تک فازه ۳۳
۲-۴-۲- تحریک دوفازه ۳۴
۲-۴-۲-۱- انواع پالس‌های تحریک دوفازه از دیدگاه تکرار پالس ۳۵
۲-۵- حفاظت از بافت در مقابل جریان مستقیم ۳۶
۲-۶- مدل واسط الکترود-الکترولیت ۳۷
۲-۷- ساختار سیستم‌های تحریک جریانی دوفازه ۳۹
۲-۸- سیستم تحریک پوشیدنی جهت تحریک الکتریکی نخاع ۴۰
۲-۹- سیستم پوشیدنی تحریک الکتریکی جریانی ۴۱
۲-۱۰- بانداژ تحریک الکتریکی ۴۳
۲-۱۱- نتیجه‌گیری ۴۵

فصل ۳- معرفی سیستم تحریک طراحی و ساخته شده ۴۶

۳-۱- مقدمه ۴۶
۳-۲- ویژگی‌های طراحی سیستم تحریک ساخته شده ۴۶
۳-۳- ساختار سیستم تحریک پیشنهادی ۴۷
۳-۳-۱- بخش پایانه تحریک ۴۷
۳-۳-۱-۱- انتقال داده (ماژول فرستنده/گیرنده) ۴۸
۳-۳-۱-۲- واحد کنترل‌کننده‌ی دیجیتال ۵۳
۳-۳-۱-۳- تولیدکننده‌ی جریان ۵۶
۳-۳-۱-۴- مبدل افزاینده ولتاژ ۶۲
۳-۳-۱-۵- شبکه سوئیچی ۶۵
۳-۳-۱-۶- منبع تغذیه ولتاژ ۶۹
۳-۳-۲- بخش کنترل‌کننده‌ی خارجی ۷۰

۳-۳-۲-۱- واسط کاربر ۷۰
۳-۳-۲-۲- ماژول بی‌سیم فرستنده/گیرنده ۷۰
۳-۳-۲-۳- ریزکنترلر ۷۰
۳-۴- نتیجه‌گیری ۷۲
فصل ۴- پیاده‌سازی و نتایج آزمایشگاهی ۷۳
۴-۱- مقدمه ۷۳
۴-۲- پیاده‌سازی ۷۳
۴-۲-۱- پیاده‌سازی بخش پوشیدنی سیستم تحریک ۷۳
۴-۲-۲- پیاده‌سازی بخش کنترل‌کننده‌ی خارجی ۷۶
۴-۳- نتایج Invitro ۷۷
۴-۴- نتایج Invivo ۸۱
۴-۴-۱- دستگاه استریوتکس ۸۱
۴-۴-۲- اطلس پاکسینوس ۸۲
۴-۴-۳- الکترود تحریک ۸۳
۴-۴-۴- مراحل جراحی ۸۳
۴-۴-۵- تحریک الکتریکی قشر حرکتی مغز موش بیهوش ۸۵
۴-۴-۵-۱- ناحیه ویبریزا ۸۵
۴-۴-۵-۲- ناحیه حرکت دست ۸۶
۴-۴-۵-۳- حرکت دست، پا و دم ۸۸
۴-۴-۶- تحریک الکتریکی قشر حرکتی مغز موش با حرکت آزادانه ۸۹
۴-۵- نتیجه‌گیری ۹۰
فصل ۵- جمع‌بندی و پیشنهادها ۹۱
۵-۱- جمع‌بندی ۹۱
۵-۲- پیشنهادها ۹۲
پیوست أ - مشخصات اصلی ریزتراشه‌های استفاده شده در سیستم تحریک ۹۴
پیوست ب - برد مدار چاپی طبقه‌ی پائین سیستم تحریک پیشنهادی ۱۰۰
پیوست ج - پرسشنامه بررسی جنبه‌های اخلاقی، حقوقی طرح‌های تحقیقاتی (مربوط به حیوانات) ۱۰۱
فهرست مراجع ۱۱۲

واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۱۷

واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۲۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ محدوده تغییرات پارامترهای جریان تحریک در سیستم تحریک پیشنهادی ۶۹
جدول ۱-۲ مشخصات ریزتراشه‌های استفاده شده در قسمت پوشیدنی سیستم تحریک برای ۸ کانال..۶۹
جدول ۵-۱ مقایسه میان سیستم تحریک الکتریکی پیشنهادی با چندین سیستم تحریک اخیر ۹۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ نحوه‌ی تحریک عصب‌های مربوط به نخاع یک قورباغه مرده توسط لوئیجی گالوانی ۱
شکل ۱-۲ دستگاه تحریک‌کننده‌ی فارادی ۳
شکل ۱-۳ تقسیم بندی سیستم عصبی موجودات زنده ۳
شکل ۱-۴ نواحی کنترل شده‌ی بدن توسط سیستم اعصاب مرکزی و محیطی ۴
شکل ۱-۵ سلول عصبی و اجزای تشکیل دهنده‌ی آن ۵
شکل ۱-۶ نحوه‌ی اتصال دو سلول عصبی با یکدیگر ۷
شکل ۱-۷ قشر حرکتی و حسی سمت چپ مغز به همراه نواحی مرتبط با آنها در بدن ۸
شکل ۱-۸ چهار نمونه از اعمال تحریک الکتریکی به بافت‌های مختلف بدن ۱۱
شکل ۱-۹ نحوه اعمال تحریک مغناطیسی به بافت ۱۳
شکل ۱-۱۰ دستگاه تحریک نوری آزمایشگاهی ۱۴
شکل ۱-۱۱ مقایسه اثر بخشی تحریک الکتریکی و نوری بر روی نورون‌های معمولی و نورون‌های حساس به نور ۱۵
شکل ۱-۱۲ نمونه‌ای از ایجاد کشت سلولی در یک سیستم تحریک شیمیایی ۱۶
شکل ۱-۱۳ نحوه‌ی قرارگرفتن یک سیستم DBS در بدن و موقعیت الکترود آن جهت درمان پارکینسون ۱۷
شکل ۱-۱۴ برخی از نمونه‌های تجاری سیستم تحریک کننده‌ی عمقی مغز ۱۸
شکل ۱-۱۵ نمونه‌ای از یک پروتز بینایی مبتنی بر تحریک قشر بینایی مغز ۱۹
شکل ۲-۱ نمایشی مفهومی از یک سیستم تحریک الکتریکی بی‌سیم کاشته شده در مغز ۲۲
شکل ۲-۲ نمونه‌ای از ساختار بخش داخلی یک سیستم تحریک قابل کاشت در بدن ۲۳
شکل ۲-۳ نمونه‌ای از ساختار داخلی بخش راه‌انداز جریان یک سیستم تحریک الکتریکی جریانی ۲۴
شکل ۲-۴ نمونه‌ای از یک سیستم پوشیدنی قرارگرفته در پشت یک موش ۲۵
شکل ۲-۵ نمایی کلی از ساختار داخلی سیستم‌های تحریک الکتریکی ولتاژی، جریانی و باری ۲۷
شکل ۲-۶ ساختار داخلی یک سیستم تحریک کنترل شده با ولتاژ ۲۸
شکل ۲-۷ نمونه‌ای از پالس‌های ولتاژ و جریان ثبت شده از دو سر الکترود بر حسب زمان در یک سیستم مبتنی بر vcs ۲۸
شکل ۲-۸ ساختار داخلی یک سیستم تحریک کننده‌ی جریانی ۲۹

شکل ۲-۹ نمونه‌ای از پالس‌های ولتاژ و جریان ثبت شده از دو سر الکترود بر حسب زمان در یک سیستم مبتنی بر ccs ۳۰
شکل ۲-۱۰ ساختار داخلی SFE مربوط به یک سیستم تحریک‌کننده مبتنی بر انتقال بار ۳۱
شکل ۲-۱۱ نمایی از برد مدار چاپی یک سیستم تحریک‌کننده ولتاژی، جریانی و باری ۳۱
شکل ۲-۱۲ مقایسه انواع تحریک الکتریکی با استفاده از یک سیستم تحریک‌کننده ۳۲
شکل ۲-۱۳ انواع شکل موج‌های تحریک الکتریکی جریانی ۳۳
شکل ۲-۱۴ طبقه تولید کننده‌ی جریان تحریک (حالت فروبرنده) ۳۳
شکل ۲-۱۵ طبقه تولیدکننده‌ی جریان ثابت دوفازه ۳۴
شکل ۲-۱۶ نمونه‌ای از یک پالس دوفازه ۳۵
شکل ۲-۱۷ انواع پالس‌های تحریک دوفازه (الف) تک پالس، (ب) قطار پالس ۳۶
شکل ۲-۱۸ اثر جریان نشتی کانالهای مجاور ۳۷
شکل ۲-۱۹ مدل واسط الکترود-الکترولیت ۳۷
شکل ۲-۲۰ انواع ساختار سیستم‌های تحریک جریانی دوفازه (الف) با تغذیه مثبت و منفی، (ب) فقط با تغذیه مثبت ۳۸
شکل ۲-۲۱ نمونه‌ای از ساختار مداری یک سیستم تحریک جریانی دوفازه با تغذیه مثبت و منفی..... ۳۹
شکل ۲-۲۲ نمونه‌ای از ساختار مداری یک سیستم تحریک جریانی دوفازه با تغذیه مثبت ۳۹
شکل ۲-۲۳ ساختار سیستم پوشیدنی تحریک الکتریکی نخاع ۴۱
شکل ۲-۲۴ ساختار داخلی سیستم پوشیدنی تحریک جریانی ۴۲
شکل ۲-۲۵ سیستم پوشیدنی تحریک ساخته شده (الف) ۳ برد مدار چاپی ساخته شده و متصل شده به هم (ب) نمایی از جعبه‌ی سیستم تحریک ۴۲
شکل ۲-۲۶ سیستم تحریک پوشیدنی قرار گرفته در پشت یک گربه ۴۳
شکل ۲-۲۷ نمایی از قرارگرفتن بانداژ تحریک بر روی پشت موش ۴۳
شکل ۲-۲۸ نمایی از سیستم تحریک قرار گرفته درون بانداژ ۴۴
شکل ۲-۲۹ شکل موج جریان تحریک خروجی از پایانه سیستم تحریک ۴۴
شکل ۳-۱ بلوک دیاگرام سیستم تحریک پوشیدنی پیشنهادی ۴۷
شکل ۳-۲ مشخصات بسته‌ی داده در ارتباط UART ۴۹
شکل ۳-۳ دو بسته‌ی داده جهت انتقال یک پارامتر تحریک (الف) بسته اول، (ب) بسته دوم ۵۰
شکل ۳-۴ نمودار مفهومی از نحوه عملکرد پروتکل ARQ ۵۱
شکل ۳-۵ نحوه عملکرد پروتکل ARQ به روش توقف و انتظار جهت انتقال اطلاعات ۵۲
شکل ۳-۶ ساختار قاب قدردانی ۵۲

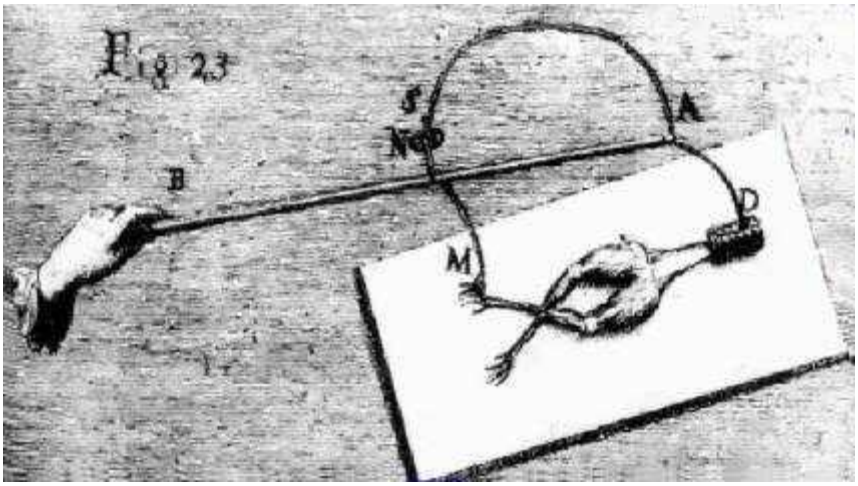
شکل ۳-۷ نمودار نحوه تغییرات ولتاژ تغذیه با افزایش فرکانس عملکرد ریزکنترلر ۵۴
شکل ۳-۸ تغییرات جریان مصرفی ریزکنترلر نسبت به افزایش فرکانس در حالت عملکرد فعال..... ۵۴
شکل ۳-۹ تغییرات جریان مصرفی ریزکنترلر نسبت به افزایش فرکانس در حالت سکون و بیکاری ۵۵
شکل ۳-۱۰ تغییرات جریان مصرفی ریزکنترلر نسبت به افزایش دما در حالت عملکرد غیرفعال.....۵۶
شکل ۳-۱۱ ساختار داخلی ریزتراشه‌ی مبدل دیجیتال به آنالوگ (DAC) استفاده شده در سیستم تحریک پیشنهادی ۵۷
شکل ۳-۱۲ تغییرات جریان مصرفی ریزتراشه DAC نسبت به افزایش ولتاژ تغذیه در حالت فعال ۵۸
شکل ۳-۱۳ تغییرات جریان مصرفی ریزتراشه DAC نسبت به افزایش ولتاژ تغذیه در حالت عملکرد غیرفعال ۵۹
شکل ۳-۱۴ مدار مبدل ولتاژ به جریان استفاده شده در سیستم تحریک پیشنهادی ۶۰
شکل ۳-۱۵ جریان مصرفی هر تقویت‌کننده عملیاتی نسبت به تغییرات ولتاژ تغذیه آنها ۶۱
شکل ۳-۱۶ نمودار پاسخ فرکانسی هر تقویت‌کننده در داخل یک ریزتراشه ۶۲
شکل ۳-۱۷ ساختار مبدل افزاینده‌ی ولتاژ در سیستم تحریک پیشنهادی ۶۳
شکل ۳-۱۸ تغییرات جریان سکون مبدل افزاینده نسبت به تغییرات ولتاژ ورودی ۶۴
شکل ۳-۱۹ تغییرات ولتاژ فیدبک مبدل افزاینده، نسبت به تغییرات دما ۶۴
شکل ۳-۲۰ ساختار شبکه سوئیچی در سیستم تحریک پیشنهادی ۶۵
شکل ۳-۲۱ ساختار داخلی ریزتراشه DG442DY ۶۶
شکل ۳-۲۲ تغییرات جریان مصرفی ریزتراشه DG442DY نسبت به دما ۶۷
شکل ۳-۲۳ زمانبندی خطوط کنترلی در سیستم تحریک پیشنهادی ۶۸
شکل ۳-۲۴ باتری استفاده شده جهت تأمین انرژی در قسمت پوشیدنی سیستم ۶۸
شکل ۳-۲۵ نمونه‌ای از یک پالس تحریک جریانی دوفازه همراه با مشخصات آن ۶۹
شکل ۳-۲۶ نمودار تغییرات جریان مصرفی نسبت به افزایش فرکانس ۷۱
شکل ۴-۱ قسمت پوشیدنی سیستم تحریک ساخته شده (الف) نمای شماره یک، (ب) نمای شماره دو ۷۴
شکل ۴-۲ قسمت پوشیدنی سیستم تحریک درون یک جعبه‌ی پلاستیکی (الف) نمای شماره یک، (ب) نمای شماره دو ۷۵
شکل ۴-۳ قسمت کنترل کننده‌ی خارجی سیستم تحریک ساخته شده ۷۶
شکل ۴-۴ نمایی از قسمت کنترل کننده‌ی خارجی درون جعبه پلاستیکی ۷۶
شکل ۴-۵ ولتاژ دیفرانسیلی اندازه‌گیری شده از دو سر سایتهای مجاور برای هر ۸ کانال (الف) ۴ کانال اول، (ب) ۴ کانال دوم ۷۷

شکل ۴-۶ نمونه‌ای از یک قطار پالس تحریک جریانی دوفازه ۷۸
شکل ۴-۷ شکل موج ولتاژ خروجی مبدل افزاینده‌ی ولتاژ در لحظه‌ی شروع کار سیستم ۷۹
شکل ۴-۸ تغییرات ولتاژ خروجی DAC نسبت به مقادیر دسیمال کدهای دیجیتال ورودی آن ۷۹
شکل ۴-۹ بسته‌های اطلاعات ارسالی (بسته داده) و دریافتی (بسته قدردانی) توسط ریزکنترلر در بخش کنترل‌کننده‌ی خارجی ۸۱
شکل ۴-۱۰ دستگاه استریوتکس به همراه اجزای تشکیل دهنده‌ی آن ۸۲
شکل ۴-۱۱ اطلس پاکسینوس ۸۲
شکل ۴-۱۲ الکترود تحریک دوقطبی ۸۳
شکل ۴-۱۳ مراحل جراحی جهت کاشتن الکترود تحریک در سطح قشر مغز ۸۴
شکل ۴-۱۴ ناحیه مربوط به حرکت دست موش (به سمت بالا) (الف) قبل از تحریک، (ب) بعد از تحریک ۸۶
شکل ۴-۱۵ ناحیه مربوط به حرکت دست موش (به سمت جلو) (الف) قبل از تحریک، (ب) بعد از تحریک ۸۷
شکل ۴-۱۶ ناحیه مربوط به حرکت دست، پا و دم موش (الف) قبل از تحریک، (ب) بعد از تحریک ۸۸
شکل ۴-۱۷ نحوه‌ی قراردادن رابط مخابراتی روی جمجمه مغز موش ۸۹
شکل ۴-۱۸ سیستم تحریک در پشت موش یک هوشیار با حرکت آزادانه ۹۰
شکل ب-۱ نمای از روی برد مدار چاپی طبقه‌ی پائین ۱۰۰
شکل ب-۲ نمای از زیر برد مدار چاپی طبقه‌ی پائین ۱۰۰

فصل ۱– مقدمه‌ای بر سیستم‌های تحریک عصبی

۱–۱– تاریخچه

تحریک سیستم عصبی موجودات زنده معمولاً برای شناخت بیشتر این سیستم پیچیده و یا درمان بسیاری از بیماریهای ناشی از اختلال در این سیستم به کار می‌رود. تاریخچه‌ی استفاده از سیستم‌های تحریک نیز خود، این مطلب را نشان می‌دهد. اولین تحریک الکتریکی گزارش شده تقریباً به ۴۶ سال بعد از میلاد مسیح باز می‌گردد که فردی به نام لارگوس[1] با استفاده از آن موفق به درمان سردرد یک اژدر ماهی[2] شد [۱]. بعد از قرن ۱۸ میلادی فردی به نام لوئیجی گالوانی[3] کشف کرد که اعمال تحریک به صورت جریان مستقیم[4] به ناحیه‌ی مشخصی از عصب‌های نخاع یک قورباغه مرده منجر به تکان خوردن ماهیچه‌ی پای آن می‌شود [۲]. نحوه انجام آزمایش لوئیجی گالوانی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

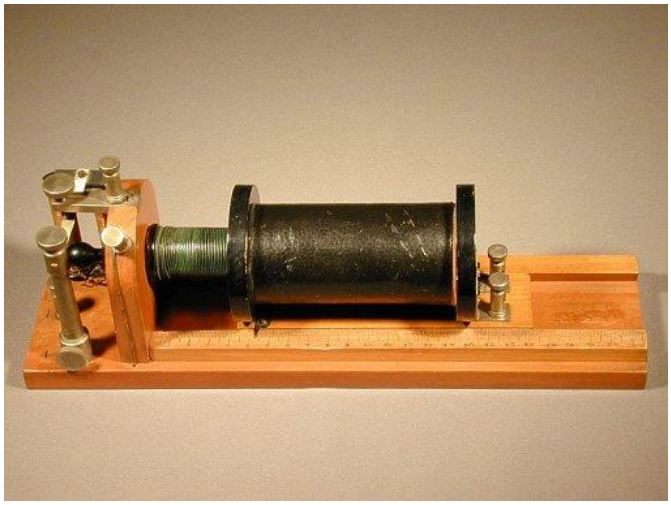


شکل ۱-۱ نحوه‌ی تحریک عصب‌های مربوط به نخاع یک قورباغه مرده توسط لوئیجی گالوانی [۲]

در سال ۱۸۵۰ میلادی پس از کشف الکترومغناطیس، اولین سیستم تحریک الکترومغناطیسی عضله و عصب ساخته شد. این سیستم از یک سیم‌پیچ تشکیل شده بود که با دوران آن در میدان مغناطیسی و تولید جریان متناوب، می‌توانست بطور مکرر عضله فلج شده را منقبض نماید. مشکل این سیستم، نیاز به تحریک خارجی آن بود که استفاده از آن را بسیار مشکل کرده بود. در سال ۱۸۷۰ میلادی گزارش شد که تغییرات در فعالیت مغز سگ در اثر تحریک الکتریکی قشر حرکتی آن منجر به تکان‌های ناگهانی در

[1] Largus
[2] Torpedo Fish
[3] Luigi Galvani
[4] Direct Current

اندام‌های حرکتی آن مثل دست و پا می‌شود [۳]. در قرن نوزدهم میلادی تحریک‌کننده‌ای[۱] برای کنترل و تقویت عمل انقباض در عضله توسط فارادی[۲] ساخته شد که منبع تغذیه آن داخلی بوده و توانایی تحریک ۱۰۰ پالس در ثانیه را داشت. ضمناً قابلیت کنترل سطح خروجی در آن تعبیه شده بود. این تحریک کننده درشکل ۱-۲ نشان داده شده است [۴]. در قرن بیستم میلادی پس از اختراع دیود توسط فلمینگ در سال ۱۹۰۴ و درک کامل عملکرد عضله‌ها و اعصاب، تحریک‌کننده‌های الکتریکی با استفاده از دیودها ساخته شدند که البته این افزارها بسیار سنگین بودند. پس از ساخت اولین ترانزیستور در سال ۱۹۴۷، انقلابی در الکترونیک پدید آمد که در روند ساخت تحریک‌کننده‌های عصبی هم اثر گذاشت [۵]. دستاوردهای زیادی با گذشت زمان در این زمینه بوجود آمده است.



شکل ۱-۲ دستگاه تحریک کننده‌ی فارادی [۴]

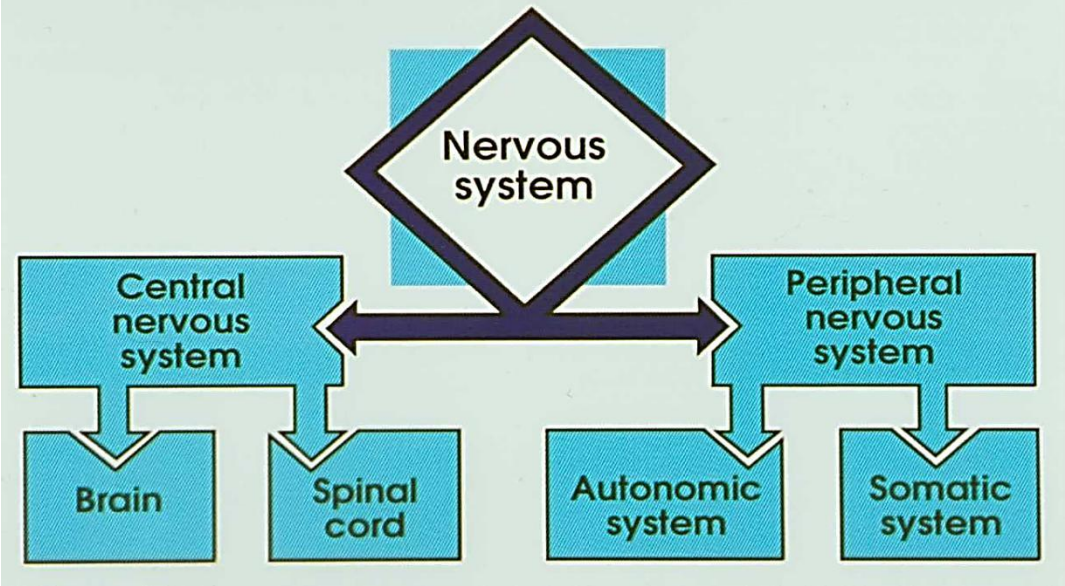
امروزه ریزسیستم‌های تحریک عصبی[۳] شامل کاشت ریزسیستم مجرای حلزونی[۴] برای درمان ناشنوایی، تحریک عمقی مغز[۵] که معمولاً برای درمان بیماری پارکینسون[۶] بکار می‌رود، دستگاه تنظیم ضربان قلب[۷]، پروتزهای بینایی[۸] برای بازگرداندن بینایی به نابینایان و تمامی ریزسیستم‌هایی که برای درمان معلولیت-های حرکتی یا تسکین درد[۹] ساخته شده‌اند، شاهدی بر این مدعا هستند.

[1] Stimulator
[2] Faraday
[3] Neural Stimulation Microsystems
[4] Cochlear Implant
[5] Deep Brain Stimulation(DBS)
[6] Parkinson
[7] Pacemaker
[8] Visual Prosthesis
[9] Pain Relief

قبل از اینکه به بررسی انواع تحریک و کاربردها و دلایل استفاده از آنها بپردازیم، ابتدا لازم است در مورد کالبدشناسی[1] و اندام‌شناسی[2] سیستم اعصاب موجودات زنده مطالبی بیان شود. بیان این مطالب به این دلیل است که هدف از ساخت بسیاری از تحریک‌کننده‌های امروزی، تحریک سیستم اعصاب موجودات زنده جهت درمان بسیاری از اختلال‌ها و بیماری‌ها می‌باشد.

۱-۲- سیستم عصبی موجودات زنده

کار دستگاه عصبی، مدیریت بدن است. در واقع اداره دستگاه‌های مختلف بدن وظیفه‌ی سیستم عصبی می‌باشد. همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، اعصاب موجود در بدن به دو گروه کلی سیستم



شکل ۱-۳ تقسیم بندی سیستم عصبی موجودات زنده

اعصاب مرکزی و سیستم اعصاب محیطی[3] تقسیم می‌شوند. اعصاب مرکزی به طور کلی از سه قسمت زیر تشکیل شده‌اند:

- نخاع
- ساقه مغز و مخچه
- نیمکره‌های مخ

[1] Anatomy
[2] Physiology
[3] Peripheral Nervous System(PNS)