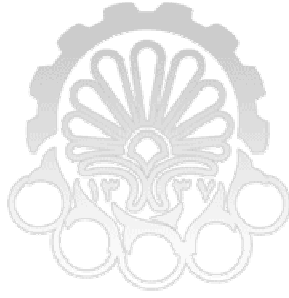


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک
کارشناسی ارشد مهندسی هسته ای گرایش پرتوپزشکی

طراحی مفهومی و شبیه سازی باتری هسته ای مورد استفاده در ضربان سازهای
مصنوعی قلب

نگارش

معصومه محمدیان

استاد راهنما

دکتر حسین آفریده

استاد مشاور

مهندس سید امیرحسین فقهی

دی ۱۳۸۶



شماره مدرک:

فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی - ارشد و دکترا
کتابخانه مرکزی

مشخصات دانشجو		نام خانوادگی : محمدیان	نام: معصومه	شماره دانشجویی: ۸۴۱۱۲۰۱۷
عنوان		طراحی مفهومی و شبیه سازی باتری هسته ای مورد استفاده در ضربان سازهای مصنوعی قلب		
Title	Conceptual Design and Simulation of Nuclear Battery using in Artificial Cardiac Pacemaker			
استاد راهنما	نام خانوادگی: آفریده	درجه و رتبه	استاد راهنما	نام خانوادگی:
	نام: حسین	استاد		نام:
استاد مشاور	نام خانوادگی: فقهی	درجه و رتبه	استاد مشاور	نام خانوادگی:
	نام: سید امیر حسین	دانشجوی دکتری		نام:
دانشنامه	کارشناسی <input type="radio"/> ارشد <input checked="" type="radio"/> دکترا <input type="radio"/>	سال تحصیلی: ۸۶		
نوع پروژه	کاربردی <input checked="" type="radio"/> نظری <input type="radio"/> توسعه ای <input type="radio"/> بنیادی <input checked="" type="radio"/>			
مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۲۰۸	تصویر <input checked="" type="radio"/> جدول <input checked="" type="radio"/> نمودار <input type="radio"/> نقشه <input type="radio"/> واژه نامه <input type="radio"/>	تعداد مراجع ۹۰	ضمائم <input type="radio"/> تعداد صفحات:
زبان متن	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>	چکیده	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>	
یادداشت				
توصیفگر				
کلید واژه فارسی	باتری هسته ای بتا ولتائیک، ضربان ساز مصنوعی قلب، MCNP			
Key word of English	Nuclear Betavoltaic Battery, Artificial Cardiac Pacemaker, MCNP			

﴿ هَذَا مِنْ فَضْلِ رَبِّي ﴾

تقدیم به

مهربان ترین و عزیزترین هدیه های الهی

پدر و مادر گرامیم

تقدیر و تشکر

با سپاس از درگاه ایزد منان،

از جناب آقای دکتر آفریده برای راهنمایی پروژه کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از جناب آقای مهندس فقهی، برای مشاورت ایشان و کمکها و راهنمایی های ارزنده شان سپاسگزارم. و از تمامی کسانی که در طول انجام این پروژه به نوعی مشوق من بوده اند تشکر نموده و برای همه آنها آروزی موفقیت دارم.

چکیده

ضربان سازهای مصنوعی قلب سیستم‌های الکترونیکی هستند که در مواقع نارسایی یا ایجاد اختلال در مکانیزم طبیعی عملکرد قلب می‌توانند جهت تنظیم و یا تقویت ضربان آن مورد استفاده قرار گیرند. در کنار پیشرفتهای انجام شده در طراحی مدارات الکترونیکی بکار رفته در این وسیله، توجه به منبع توان آن نیز همواره حائز اهمیت بوده است.

در این وسیله نیاز به داشتن منبع توانی با چگالی انرژی بالا، که برای مدت طولانی (بیش از ۳۰ سال) ولتاژ و جریان پایداری داشته باشد و در ضمن حجم کمی را نیز اشغال کند، به منظور کاهش تعداد جراحی‌های لازم جهت تعویض باتری، ضروری است. از بین منابع توان موجود باتریهای بتاولتائیک به عنوان منابعی مناسب برای دستیابی به این هدف مورد مطالعه و تحقیق هستند. در این پژوهش به طراحی مفهومی و شبیه سازی قطعه بتاولتائیک، ارائه مدل‌هایی برای بالا بردن بازده و بهینه سازی آنها پرداخته شده است. مدلسازی این قطعه با استفاده از کد MCNP به منظور تعیین میزان جریان الکترونی حاصل از اندرکنش ذرات بتا در اتصالات pn، انجام می‌گیرد. همچنین جهت انجام محاسبات لازم برای دستیابی به خروجی‌های مورد نظر از طریق داده‌های این کد، برنامه‌ای با استفاده از نرم افزار MATLAB نوشته شده است که با بکار گرفتن این داده‌ها و انتخاب نیمه هادی و چشمه مورد نظر، جریان، ولتاژ و توان قابل دست‌یابی از قطعه شبیه سازی شده را ارائه می‌کند.

نتایج محاسبات و شبیه سازی‌های انجام شده بیانگر آن هستند که از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل آرایه‌های استوانه‌ای از سلولهای بتاولتائیک، بازده بالاتری را نسبت به مدل‌های دیگر خواهد داشت. همچنین بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که از چینه موازی و یا سری چندین قطعه می‌توان برای دستیابی به جریان و یا ولتاژ مورد نظر بهره برد.

در ادامه محاسبات و شبیه سازی‌های مربوط به نمونه دیگری از باتری‌های هسته‌ای که بصورت ترکیبی از نوع بتاولتائیک و المانهای پیزوالکتریک به عنوان منابع توان پایین، در سیستم‌های میکروالکترومکانیک قابل استفاده می‌باشند، ارائه شده است. در این پایان‌نامه امکان استفاده از چنین باتریهایی در ضربان سازهای مصنوعی مدرن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: باتری هسته‌ای بتاولتائیک (Nuclear Betavoltaic Battery)، ضربان ساز مصنوعی

قلب (Artificial Cardiac Pacemaker)، MCNP

فهرست مطالب

I.....	چکیده
II.....	فهرست مطالب
VII.....	فهرست شکلها
XIV.....	فهرست جداول
۱.....	مقدمه
فصل اول: اصول و مبانی ضربان سازهای هسته ای	
۴.....	مقدمه
۵.....	۱-۱- اساس عملکرد قلب و سیگنالهای قلبی
۶.....	۱-۱-۱- مکانیزم عملکرد قلب
۶.....	- آناتومی قلب
۷.....	- ساختمان داخلی قلب
۷.....	- روند جریان خون قلب
۷.....	- فیزیولوژی قلب
۷.....	- فعالیت الکتریکی نواحی مختلف قلب و انتقال ایمپالس های الکتریکی
۸.....	
۱۳.....	۲-۱-۱- مکانیزم تولید سیگنال ECG و EGM
۲۱.....	۳-۱-۱- نارسایی های قلبی و درمان آریتمی ها
۲۹.....	۴-۱-۱- لزوم استفاده و نقش ضربان ساز مصنوعی در درمان آریتمی ها
۳۰.....	۲-۱- ضربان ساز مصنوعی قلب
۳۲.....	۱-۲-۱- دوران قبل از ضربان سازهای مصنوعی
۳۲.....	۲-۲-۱- تاریخچه ایجاد ضربان سازهای مصنوعی
۳۶.....	- پیدایش ضربان سازهای کاشتنی
۳۹.....	۳-۲-۱- توصیف ضربان ساز مصنوعی قلب
۳۹.....	- باتری
۴۰.....	- بخش الکترونیک
۴۰.....	- پالس خروجی
۴۲.....	- توصیف مدارات خروجی

۴۲	- مدارات اولیه
۴۳	- الکترودها و لیدها
۴۴	۴-۲-۱- طبقه بندی ضربان سازها
۴۸	۵-۲-۱- سیر تکاملی ضربان سازهای مصنوعی قلب
۴۸	- منابع انرژی ضربان سازهای قلب
۵۸	- توسعه مدارات الکترونیک
۵۸	- دیگرقابلیت های مدارات الکترونیک و مدارهای پیشرفته
۵۹	- الکترودها و لیدها
۶۱	۶-۲-۱- نسل جدید ضربان سازها
۶۳	- لزوم پرداختن به استفاده از باتری هسته ای
۶۴	۳-۱- تئوری عملکرد و معرفی باتریهای هسته ای
۶۵	۱-۳-۱- روشهای تولید و ایجاد انرژی الکتریکی
۶۶	۲-۳-۱- تاریخچه باتریهای هسته ای
۷۴	۳-۳-۱- طبقه بندی باتریها بر اساس مکانیزم تولید انرژی
۷۴	- تبدیل حرارتی
۷۴	- مبدل‌های ترمیونیک
۷۵	- مبدل‌های ترموالکتریک
۷۶	- مبدل های ترموفوتولتائیک TPV
۷۶	- تبدیل غیر حرارتی
۷۹	- روش غیر مستقیم تبدیل انرژی ذرات بتا
۸۱	- روش مستقیم تبدیل انرژی ذرات بتا
۸۲	۴-۳-۱- اساس عملکرد انواع مختلف باتری هسته ای
۸۲	- مولدهای ترموالکتریک رادیوایزوتوپی (RTG)
	- سیستم های میکروالکترومکانیکی و مولدهای پیزوالکتریک رادیوایزوتوپی
۹۰	
۹۶	- باتریهای بتاولتائیک
۹۶	- سابقه علمی کار
	فصل دوم : طراحی مفهومی باتری بتاولتائیک و شبیه سازی
۹۹	مقدمه

۱۰۰	۱-۲- اجزاء یک مبدل بتاولتائیک
۱۰۱	۱-۱-۲- چشمه های گسیلنده بتا
۱۰۳	۲-۱-۲- نیمه هادی های مناسب
۱۰۶	۲-۲- اساس کار باتری بتاولتائیک
۱۱۴	۱-۲-۲- معیار تعیین میزان ناخالصی
۱۱۶	۲-۲-۲- محاسبه میزان باز ترکیب
	۳-۲-۲- محاسبه احتمال جمع آوری الکترون حفره (Collection Probability)
۱۱۷	
۱۱۹	۳-۲- شبیه سازی باتری بتاولتائیک
۱۲۰	۱-۳-۲- معرفی مدل های طراحی شده و مقایسه آنها
۱۲۰	- مدل صفحه ای
۱۲۴	- ساختارهای ناهمگون
	- اثر لایه ها یا سلول های مجاور بر یکدیگر در ترکیب های سری یا موازی
۱۲۵	موازی
۱۲۶	- مدل غیر صفحه ای
۱۲۷	- ساختار هرمی
۱۲۹	- ساختار استوانه ای
۱۳۰	- بهینه سازی آرایه استوانه ای
۱۳۲	- نتایج شبیه سازی های اولیه
۱۳۲	- ساختار عملی قابل پیاده سازی
۱۳۴	۲-۳-۲- مقایسه باتری های بتاولتائیک و شیمیایی
۱۳۵	۳-۳-۲- بررسی اثرات تابش، دزیمتری و محاسبات حفاظ
	فصل سوم: طراحی مفهومی و شبیه سازی مدارات الکترونیک ضربان ساز مصنوعی قلب
۱۳۹	مقدمه
۱۴۰	۱-۳- طراحی سیستمی و بررسی بلوک دیاگرامی ضربان سازها
۱۵۱	۲-۳- بخش های الکترونیکی ضربان ساز مصنوعی قلب
۱۵۲	۱-۲-۳- واحد دریافت سیگنال های قلبی یا Sensing Unit
۱۵۳	- تقویت کننده
۱۵۵	- فیلترها

- ۱۵۷ - مدار آشکارسازی/مقایسه کننده
- ۱۵۷ - مبدل آنالوگ به دیجیتال
- ۱۵۸ - مدار اندازه گیری کننده امپدانس/پردازش سیگنال
- ۱۵۸ - مدار خروجی، واحد مولد پالس
- ۱۵۹ - مبدل دیجیتال به آنالوگ
- ۱۵۹ - مدار محافظ خروجی / محدود کننده
- ۱۶۰ - مدار خروجی
- ۱۶۰ - واحد کنترل
- ۱۶۲ - مدارات واسط
- ۱۶۲ - مدار Blanking یا سوئیچ بین حالت سنس و پيس
- ۱۶۴ - مدار Noise Reversion
- ۱۶۵ - معرفی انواع ضربان سازهای مدل‌های طراحی شده و مقایسه آنها
- ۱۶۶ - مدارات اولیه
- ۱۶۹ - ضربان سازهای دو حفره ای
- ۱۶۹ - ضربان سازهای Rate-Adaptive
- ۱۷۱ - ضربان سازهای مدرن
- ۱۷۴ - شبیه سازی بخش الکترونیک ضربان ساز و تحلیل نتایج
- ۱۷۵ - خروجی یک نمونه از مدارات ضربان ساز
- ۱۷۷ - تحلیل عملکرد مدار الکترونیکی ضربان ساز منتخب
- ۱۸۲ - خروجی های مدار ارائه شده
- ۱۸۵ - مدل جایگزین اصلاح شده
- ۱۸۸ - بحث و نتیجه گیری

فصل چهارم : جمع بندی و امکان سنجی ساخت

- ۱۹۱ - امکان سنجی ساخت
- ۱۹۱-۱-۴ - روشهای ساخت اتصال p-n و تکنیکهای مختلف لایه نشانی رادیوایزوتوپ و نیمه هادی
- ۱۹۶ - نحوه تولید و آماده سازی رادیوایزوتوپ ها
- ۱۹۸ - تولید رادیوایزوتوپ ^{63}Ni
- ۱۹۹ - جمع بندی و نتیجه گیری

فهرست شکلها

- فصل اول

- شکل (۱-۱) نمایش آناتومیک سیستم عصبی خودمختار و اثر آن بر قلب ۶
- شکل (۲-۱) سیکل دیپلاریزاسیون-رپلاریزاسیون ۸
- شکل (۳-۱) منحنی پتانسیل عمل نشان دهنده تغییرات الکتریکی در یک سلول میوکاردا، طی سیکل دیپلاریزاسیون-رپلاریزاسیون ۹
- شکل (۴-۱) سیگنال ایجاد شده توسط انتشار فعالیت رو به جلو بین یک جفت الکتروود خارج سلولی ۱۰
- شکل (۵-۱) ساختار سلولهای قلبی ۱۱
- شکل (۶-۱) هدایت ایمپالس های قلبی ۱۲
- شکل (۷-۱) فعالیت الکتریکی نواحی مختلف قلب ۱۲
- شکل (۸-۱) سیستم اشتقاق Einthoven ۱۴
- شکل (۹-۱) مراحل ایجاد سیگنال قلبی با انتشار سیگنال از گره دهلیزی تا دسته هیس ۱۴
- شکل (۱۰-۱) مرحله بعدی از ایجاد سیگنال قلبی (تشکیل موج R) ۱۵
- شکل (۱۱-۱) مرحله بعدی از ایجاد سیگنال قلبی (ایجاد بخش S) ۱۶
- شکل (۱۲-۱) مرحله بعدی از ایجاد سیگنال قلبی (تشکیل موج T) ۱۷
- شکل (۱۳-۱) الکتروکاردیوگرام طبیعی ۱۸
- شکل (۱۴-۱) ECG سطحی و الکتروگرام ثبت شده از دهلیز راست بالا (RA) در ضمن یک ریتم سینوسی که نشان دهنده دیپلاریزاسیون در نوک الکتروود در دهلیز راست است ۱۹
- شکل (۱۵-۱) مقایسه HBE, HRA الکتروگرامهای درون قلبی و ECG ۱۹
- شکل (۱۶-۱) نواحی قلبی و اثرات عوامل مختلف بر هر بخش ۲۲
- شکل (۱۷-۱) ریتم سینوسی نرمال در سرعت نرمال (۶۰ تا ۱۰۰ بار در دقیقه) ۲۲
- شکل (۱۸-۱) برادیکاردی سینوسی قلب در سرعت پایین ناشی از ایمپالس گره سینوسی-دهلیزی (S-A) ۲۳
- شکل (۱۹-۱) تاکیکاردی قلب، سرعت ضربان بالا ناشی از ایمپالس گره سینوسی-دهلیزی (S-A) ۲۳
- شکل (۲۰-۱) ریتم نامنظم قلب، ناشی از ایمپالس گره سینوسی-دهلیزی (S-A) ۲۳
- شکل (۲۱-۱) فلاتر دهلیزی ۲۵

- شکل (۲۲-۱) ریتم نامنظم در فیبریلاسیون دهلیزی ۲۵
- شکل (۲۳-۱) ایمپالس ناشی از گره AV ۲۶
- شکل (۲۴-۱) ایمپالس ناشی از تغییر نقاط ضربان ساز در دهلیز ۲۶
- شکل (۲۵-۱) تک ایمپالس ناشی از بطن راست ۲۷
- شکل (۲۶-۱) ایمپالس ناشی از ضربان ساز بطن ۲۷
- شکل (۲۷-۱) دیپلاریزاسیون بطنی نامنظم ۲۸
- شکل (۲۸-۱) دیاگرام نوعی یک ضربان ساز ۳۱
- شکل (۲۹-۱) تصویر اولین ضربان ساز و بلوک دیاگرام آن توسط Hyman ۳۳
- شکل (۳۰-۱) مدل کلینیکی ضربان ساز مصنوعی توسعه یافته توسط J.A.Hoops ۳۴
- شکل (۳۱-۱) جزئیات ضربان ساز ترانزیستوری Zakken ۳۵
- شکل (۳۲-۱) مسیر catheter از ورید زیرگلوئی خارجی راست به مجرای ورودی بطن راست ۳۶
- شکل (۳۳-۱) یکی از اولین نمونه های ضربان ساز کاشته شده در بدن ۳۸
- شکل (۳۴-۱) دیاگرامی از بخشهای مختلف یک ضربان ساز مصنوعی پیشرفته قلب ۳۹
- شکل (۳۵-۱) ایمپالس ناشی از یک ضربان ساز مصنوعی ۴۱
- شکل (۳۶-۱) پالس اعمالی به قلب ۴۱
- شکل (۳۷-۱) ساده ترین مدار برای تولید سیگنال اعمالی به قلب ۴۲
- شکل (۳۸-۱) سیستم کدینگ سه حرفی (ICHD) ۴۴
- شکل (۳۹-۱) مشکلات موجود در طراحی ضربان سازها و راه حل آنها ۴۹
- شکل (۴۰-۱) مولد پالس ساخت Alcatel - Medtronic ۵۱
- شکل (۴۱-۱) ضربان سازی با سوخت ۲,۵ کوری پلوتونیم ۲۳۸ ۵۱
- شکل (۴۲-۱) مولد پالس انگلیسی دهه ۷۰ ۵۲
- شکل (۴۳-۱) ساختار اولیه باتری Pu-238 توسط شرکت Numec برای ضربان ساز پزشکی ARCO ۵۳
- شکل (۴۴-۱) ساختار یک نمونه بتاسل با چشمه ^{147}Pm ۵۴
- شکل (۴۵-۱) برخورد ذرات بتا به یک اتصال p-n، سبب ایجاد بایاس مستقیم در نیم رسانا می شود ۵۴
- شکل (۴۶-۱) مبدل ترمیونیک و دیاگرام پتانسیل ۵۵

- شکل (۴۷-۱) دیاگرام منابع توان ضربان سازهای قلب..... ۵۶
- شکل (۴۸-۱) ترموکوپل و دیاگرام پتانسیل..... ۵۵
- شکل (۴۹-۱) بلوک دیاگرام سیستم تبدیل ترموالکتریک و ترمویونیک..... ۵۷
- شکل (۵۰-۱) بلوک دیاگرام یک ضربان ساز microprocessor-based شامل مولفه های بنیادی مورد نیاز برای کامل کردن الگوریتم AV rate-responsive..... ۵۹
- شکل (۵۱-۱) الکتروود استروئیدی یک ضربان ساز مدرن و سطح مقطع آن، Medtronic CapSure..... ۶۰
- شکل (۵۲-۱) دو نوع کلی لید ضربان سازهای مدرن؛ تک قطبی و دوقطبی..... ۶۱
- شکل (۵۳-۱) منابع تولید انرژی الکتریکی..... ۶۶
- شکل (۵۴-۱) ساختار اولیه باتری Pu-238 توسط شرکت Numec برای ضربان ساز ARCO..... ۶۸
- شکل (۵۵-۱) قطعه بتاولتائیک از نوع دیود صفحه ای..... ۷۰
- شکل (۵۶-۱) قطعه بتاولتائیک از نوع دیود صفحه ای و ایزوتوپ ^{147}Pm ۷۱
- شکل (۵۷-۱) قطعه بتاولتائیک به شکل آرایه ای از دیودهای مخروطی..... ۷۱
- شکل (۵۸-۱) فرایند ساخت دیود سیلیکونی سه بعدی. (a) زیر لایه ویفر سیلیکونی، (b) میکرو حفره های ایجاد شده با etching الکتروشیمیایی، (c) نشان دادن اتصال p-n روی تمام سطوح از طریق solid-source diffusion، (d) اتصال اهمی آلومینیم روی هر دو سمت، (e) نمایش اتصال p-n به شکل پیوسته در دو حفره مجاور..... ۷۲
- شکل (۵۹-۱) نحوه تبدیل مستقیم بارهای ساطع شده از رادیوایزوتوپ به حرکت مکانیکی..... ۷۳
- شکل (۶۰-۱) تابع کار باتری همراه با دیاگرام پتانسیل..... ۷۷
- شکل (۶۱-۱) سلول بتاولتائیک contact potential طراحی شده توسط Shorr..... ۷۸
- شکل (۶۲-۱) سلول بتاولتائیک contact potential طراحی شده توسط Shorr با چشمه بتا..... ۷۸
- شکل (۶۳-۱) تابع کار و نمایی از باتری با اتصال pn (بتاولتائیک)..... ۷۹
- شکل (۶۴-۱) نمایی از قطعه بتاولتائیک با فرایند تبدیل غیر مستقیم و مستقیم..... ۸۰
- شکل (۶۵-۱) نمونه ای از تبدیل مستقیم انرژی ذرات بتا..... ۸۱
- شکل (۶۶-۱) مدلی از عملکرد ترموکوپل..... ۸۳
- شکل (۶۷-۱) چگالی توان در رادیوایزوتوپهای مورد استفاده در RTGها..... ۸۴
- شکل (۶۸-۱) انرژی واپاشی و نیمه عمر رادیوایزوتوپهای استفاده شده در RTG..... ۸۴
- شکل (۶۹-۱) فضاییمای Cassini..... ۸۶
- شکل (۷۰-۱) نمایی از ساختمان داخلی یک GPHS-RTG..... ۸۷

- شکل (۷۱-۱) ساختار داخلی سیستم های SRG و MMRTG ۸۹
- شکل (۷۲-۱) مقطع طولی و جزئیات داخلی مبدل SRG ۸۹
- شکل (۷۳-۱) تصویر ساده ای از عملکرد یک ابزار میکروالکترومکانیک ۹۱
- شکل (۷۴-۱) نحوه عملکرد یک ابزار میکروالکترومکانیک و المانهای الکتریکی معادل ۹۳
- شکل (۷۵-۱) مدل الکترومکانیکی تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی RPG ۹۴
- شکل (۷۶-۱) نمونه عملی دو سیستم میکروالکترومکانیکی MEMS ۹۵

- فصل دوم

- شکل (۱-۲) ساختار کریستال خالص و کریستال همراه با ناخالصی های نوع n و p ۱۰۸
- شکل (۲-۲) ایجاد میدان الکتریکی در اتصال p-n ۱۰۸
- شکل (۳-۲) مدار معادل یک قطعه بتاولتائیک و نمودار مشخصه I-V ۱۱۱
- شکل (۴-۲) ساختار یک نمونه باتری هسته ای ۱۱۲
- شکل (۵-۲) ساختار یک نمونه باتری بتاولتائیک ۱۱۳
- شکل (۶-۲) ساختار یک نمونه باتری هسته ای ۱۱۳
- شکل (۷-۲) قطعه بتاولتائیک با نیمه هادی به شکل سیلیکون متخلخل ۱۱۳
- شکل (۸-۲) یک نمونه باتری بتاولتائیک همراه با حفاظ ۱۱۴
- شکل (۹-۲) نمودار تغییرات طول پخش حاملها با تراکم ناخالصی ۱۱۵
- شکل (۱۰-۲) نمودار تغییرات ولتاژ مدار باز با نسبت جریان الکترونی ایجاد شده به جریان نشتی دیود ۱۱۵
- شکل (۱۱-۲) نمودار تغییرات چگالی جریان نشتی با تراکم ناخالصی ۱۱۶
- شکل (۱۲-۲) نمودار نحوه تغییرات طول پخش حاملها و ولتاژ مدار باز با میزان ناخالصی ۱۱۶
- شکل (۱۳-۲) نحوه تغییرات تولید و جمع آوری الکترون حفره ها با فاصله از ناحیه تهی ۱۱۸
- شکل (۱۴-۲) ساختار اولیه قطعه بتاولتائیک صفحه ای ۱۲۰
- شکل (۱۵-۲) برد ذرات بتا در انرژی های مختلف ۱۲۱
- شکل (۱۶-۲) ساختار صفحه ای قطعه بتاولتائیک، چشمه رادیو اکتیو بین دو اتصال pn ۱۲۱
- شکل (۱۷-۲) ساختار قطعه بتاولتائیک GaN، شکل خروجی کد به همراه مش بندی های انجام شده و نمودار کلی معرفی قطعه ۱۲۲
- شکل (۱۸-۲) توان قابل دستیابی از قطعه بتاولتائیک GaN به صورت تابعی از ضخامت لایه ^{63}Ni و ضخامت لایه نیمه هادی ۱۲۲

شکل (۲-۱۹) ساختار آرایه بتاولتائیک هرمی و استوانه ای به صورت شماتیک و خروجی کد مدل استوانه ای ۱۲۷

- فصل سوم

- شکل (۳-۱) بلوک دیاگرام سیستم ضربان ساز rate adaptive ۱۴۲
- شکل (۳-۲) الگوریتم استفاده شده برای ضربان ساز با برنامه ریزی خودکار به منظور بهینه کردن بازه AV سمت چپ قلب ۱۴۳
- شکل (۳-۳) بخشهای مختلف سیستم ضربان ساز مصنوعی قلب ۱۴۴
- شکل (۳-۴) بلوک دیاگرام بیان بخشهای یک ضربان ساز، بر مبنای استفاده از میکروپروسسور و شامل سنسور فعالیت یا accelerometer ۱۴۵
- شکل (۳-۵) بلوک دیاگرام عملیاتی ضربان ساز بر مبنای میکروپروسسور ۱۴۶
- شکل (۳-۶) بلوک دیاگرام ضربان ساز rate adaptive ۱۴۷
- شکل (۳-۷) الگوریتم AV rate-responsive ۱۴۸
- شکل (۳-۸) روتین پیس به منظور محاسبه بازه پیس جدید با توجه به بازه AV ثبت شده و پارامترهای برنامه ۱۵۰
- شکل (۳-۹) واحد دریافت سیگنالهای قلبی، Sensing Unit ۱۵۳
- شکل (۳-۱۰) تقویت کننده حس کننده بطنی طراحی شده توسط Greatbatch ۱۵۴
- شکل (۳-۱۱) تقویت کننده کنترل بهره. سوئیچ های S1 و S2 با یک میکروکنترلر کنترل می شوند ۱۵۴
- شکل (۳-۱۲) تبدیل فوریه الکتروگرام درون قلبی بطنی مزمن تک قطبی با S-T elevation ۱۵۵
- شکل (۳-۱۳) فیلتر میانگذر Switched-capacitor biquad ۱۵۶
- شکل (۳-۱۴) پاسخ فرکانسی نوعی فیلتر biquad switched-capacitor ارائه شده در شکل (۳-۱۳) ۱۵۶
- شکل (۳-۱۵) بلوک دیاگرام عملیاتی یک نمونه ADC به منظور استفاده در ضربان ساز مصنوعی ۱۵۷
- شکل (۳-۱۶) مدار خروجی، واحد مولد پالس ۱۵۸
- شکل (۳-۱۷) a - دیاگرام استفاده از محدود کننده جریان b-قطعه محدود کننده جریان و مدار معادل آن ۱۵۹
- شکل (۳-۱۸) محدود کننده جریان ۱۶۰

- شکل (۳-۱۹) بلوک دیاگرام یک ضربان ساز بر مبنای استفاده از میکروپروسسور که شامل مولفه های بنیادی مورد نیاز برای کامل کردن الگوریتم AV rate-adaptive ۱۶۱
- شکل (۳-۲۰) نمونه یک شبکه Blanking ۱۶۲
- شکل (۳-۲۱) نمونه دیگری از یک شبکه Blanking با چند مد مختلف سنس و پیس ۱۶۳
- شکل (۳-۲۲) دیاگرام منطقی ارتباط بین ریتم اختلالات و مدهای پیس درمانی برای انتخاب مد پیس مناسب ۱۶۴
- شکل (۳-۲۳) ساده ترین مدار برای تولید سیگنال اعمالی به قلب ۱۶۶
- شکل (۳-۲۴) مدار اولین ضربان ساز کاشته شده در بدن ۱۶۶
- شکل (۳-۲۵) دیاگرام مدهای سنکرون تریگر شده بطنی و حذف بطنی (a) بیان کننده وضعیت طبیعی تپش قلب، (b) بیان کننده مد پیس تریگر شده بطنی، (c) نشاندهنده مد پیس حذف بطنی ۱۶۷
- شکل (۳-۲۶) بلوک دیاگرام اساس عملکرد و مدار الکترونیکی اولین ضربان ساز demand ۱۶۸
- شکل (۳-۲۷) فلوچارت نحوه عملکرد ضربان ساز VOO ۱۶۸
- شکل (۳-۲۸) ضربان ساز دو حفره ای demand ۱۶۹
- شکل (۳-۲۹) بلوک دیاگرام ضربان ساز rate-adaptive یا rate-responsive ۱۷۰
- شکل (۳-۳۰) چند پریود از خروجی مدار شکل (۳-۳۲) ۱۷۵
- شکل (۳-۳۱) باز شده یک پریود از سیگنال خروجی ۱۷۵
- شکل (۳-۳۲) نمونه ای از ضربان سازهای Demand ۱۷۶
- شکل (۳-۳۳) بلوک دیاگرام ضربان ساز مورد مطالعه ۱۷۷
- کل (۳-۳۴) مدار کامل یک ضربان ساز ۱۷۹
- شکل (۳-۳۵) پاسخ فرکانسی فیلتر میانگذر مدار ارائه شده ۱۸۱
- شکل (۳-۳۶) نحوه عملکرد ضربان ساز در غیاب سیگنال قلبی ۱۸۲
- شکل (۳-۳۷) سیگنال خروجی پیسر؛ در این حالت به مدت ۱,۲ ثانیه قلب ضربان نداشته و بعد از آن به علت حضور ضربان نرمال قلبی، مدار عمل پیس را ندارد و قلب خود عمل پیس را ادامه می دهد ۱۸۲
- شکل (۳-۳۸) پالس ضربان ساز با نرخ ۸۵ ضربان در دقیقه ۱۸۳
- شکل (۳-۳۹) سیگنال نرمال قلبی که از حضور همزمان پالس های پیسر جلوگیری کرده است ۱۸۴
- شکل (۳-۴۰) سیگنال قلبی با نرخ ۴۲ ضربان در ثانیه به همراه سیگنال مصنوعی پیسر ۱۸۴
- شکل (۳-۴۱) پالس اعمالی از طرف قلب و سیگنال های ایجاد شده در پیسر ۱۸۶

- شکل (۳-۴۲) استفاده از FF یا میکروکنترلر در تعیین نرخ ضربانات..... ۱۸۶
- شکل (۳-۴۳) مدار جایگزین بهبود یافته..... ۱۸۷

- فصل چهارم

- شکل (۴-۱) لایه نشانی GaN با استفاده از تکنیک MOCVD ۱۹۴
- شکل (۴-۲) شماتیکی از روش Sputtering ۱۹۵
- شکل (۴-۳) مجموعه Ion implantation ۱۹۶

فهرست جداول

- فصل اول

- جدول (۱-۱) مقایسه منابع توان مختلف به ازای ۱ میلی گرم آنها ۶۶
- جدول (۲-۱) روند پیشرفت ضربان‌سازهای هسته ای ۶۹
- جدول (۳-۱) مشخصات مبدل‌های RPTV با چشمه های رادیوایزوتوپ مختلف ۷۶
- جدول (۴-۱) پارامترهای چند باتری بتاولتائیک تبدیل غیرمستقیم ۸۰
- جدول (۵-۱) پارامترهای چند باتری بتاولتائیک تبدیل مستقیم ۸۲
- جدول (۶-۱) مشخصات انواع نمونه های RTG ها ۸۵
- جدول (۷-۱) ایزوتوپهای مورد استفاده در MEMs ۹۵

- فصل دوم

- جدول (۱-۲) منابع رادیوایزوتوپ مبدل بتاولتائیک ۱۰۱
- جدول (۲-۲) مشخصات محاسبه شده چند چشمه بتا ۱۰۲
- جدول (۳-۲) انرژی آستانه Radiation Damage چند نیمه هادی رایج ۱۰۴
- جدول (۴-۲) مشخصات چند نیمه هادی در مقایسه با GaN ۱۰۴
- جدول (۵-۲) ابعاد بهینه قطعه بتاولتائیک صفحه ای ۱۲۳
- جدول (۶-۲) نتایج شبیه سازی مدل صفحه ای با تغییر پارامترهای مختلف برای اتصال ۱۲۳ pn ۱۲۳
- جدول (۷-۲) نتایج شبیه سازی قطعه بتاولتائیک با نیمه هادیهای AlGaIn و SiC ۱۲۴
- جدول (۸-۲) خروجی دو ساختار بتاولتائیک بدون در نظر گرفتن اثر خود جذبی ۱۲۵
- جدول (۹-۲) مقایسه اثرات کنار هم جیدن چند سلول بتاولتائیک ۱۲۶
- جدول (۱۰-۲) خروجی ارزیابی بتاولتائیک هر می برای ابعاد و تعداد سلولهای مختلف، به ازای 1.13 mCi از چشمه ^{63}Ni و با سطح مقطع 5mmx5mm ۱۲۸
- جدول (۱۱-۲) بهینه سازی ابعاد یک سلول از آرایه استوانه ای ۱۳۰
- جدول (۱۲-۲) بهینه سازی ابعاد قطعه ۱۳۱
- جدول (۱۳-۲) مقایسه نتایج ساختارهای مختلف میکروباتری بتاولتائیک با اکتیویته چشمه یکسان در حدود 100mCi/cm^2 ۱۳۲
- جدول (۱۴-۲) مدل عملی و بهینه برای قطعه بتاولتائیک GaN ۱۳۳

جدول (۱۵-۲) مقایسه باتری بتاولتائیک صفحه ای و دو نوع باتری لیتیومی ۱۳۴

- فصل سوم

جدول (۱-۳) اثرات هموداینامیک مد پیس. N/A : ناکارآمد؛ x : تنها در صورت حفظ هدایت AV؛

xx : تنها در صورت حفظ پاسخ سینوس؛ xxx در صورت بروز برادیکاردی سینوس ۱۶۳

جدول (۲-۳) مشخصات ضربان سازهای rate adaptive مختلف ۱۷۱

جدول (۳-۳) توان مورد نیاز برای سیستم های حسگر کنترل از راه دور ۱۸۸