



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

Electrical Engineering

BSc Thesis

Design of a Pseudo-Resistor for Bio-implants

**By
Shahrzad Bigdeli**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

June 2024



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش الکترونیک

طراحی شبه مقاومت برای کاربردهای زیست پزشکی

نگارش

شهرزاد بیگدلی

استاد راهنما

دکتر محمد یآوری

خرداد ۱۴۰۳

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

در این صفحه (هر سه مقطع تحصیلی) باید فرم ارزیابی یا تأیید 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 شهرزاد بیگدلی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

شهرزاد بیگدلی

امضا

چکیده

طراحی مقاومت در تکنولوژی CMOS^۱ فرآیند بسیار دشواری دارد. از این رو، در سال‌های اخیر، مقاومت‌هایی معرفی شدند که ادوات سازنده آن‌ها ترانزیستورها بودند که آن‌ها را شبه‌مقاومت^۲ می‌نامیم. از ویژگی‌های مهم این ادوات می‌توان به مقدار مقاومت بالا، ابعاد کوچک نسبت به مقاومت‌های با طراحی کلاسیک، توان مصرفی پایین و نویز کم آن‌ها اشاره کرد. در کاربردهای زیست پزشکی دستیابی به مقادیر بالای مقاومت از اهمیت بسیاری برخوردار است. برای این امر، می‌توان از شبه‌مقاومت‌ها استفاده کرد. همچنین، این ادوات مساحت کمی را اشغال می‌کنند و سازگاری بالایی با مدارات مجتمع دارند؛ به همین خاطر به سادگی می‌توان از آن‌ها در دستگاه‌های کاشتنی و پوشیدنی استفاده کرد.

در این پروژه، به معرفی چند طراحی شبه‌مقاومت می‌پردازیم که شامل طراحی‌های تک سلولی و چند سلولی می‌باشد. این شبه‌مقاومت‌ها به صورت قابل تنظیم و غیر قابل تنظیم طراحی شده‌اند. این طراحی‌ها را در شرایط مختلف توسط نرم افزار کیدنس^۳ و به کمک تکنولوژی ۱۸۰ نانومتر شبیه‌سازی کرده و آن‌ها را از جوانب مهمی مانند مقدار مقاومت و میزان خطی بودن، توان مصرفی و نویز بررسی می‌کنیم. همچنین، میزان تاثیر تغییرات فرآیندی بر آن‌ها را بررسی می‌کنیم و تمامی طراحی‌های معرفی شده را از نظر اعوجاج هارمونیک کل مورد مقایسه قرار می‌دهیم. در پایان، به بررسی میزان گین و پهنای باند یک تقویت کننده هدایت انتقالی با استفاده از این مقاومت‌ها می‌پردازیم و مساحت اشغالی هریک از شبه‌مقاومت‌ها را نیز با یکدیگر مقایسه می‌کنیم تا بتوانیم مناسب‌ترین طراحی را جهت استفاده در کاربری مورد نظر شناسایی کنیم.

واژه‌های کلیدی:

شبه‌مقاومت، تک سلولی، چند سلولی، تغییرات فرآیندی، نویز، توان، مقاومت قابل تنظیم

1 Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

2 Pseudo-Resistor (PR)

3 Cadence

صفحه

فهرست مطالب

چکیده.....	أ.....
فصل اول.....	۱.....
مقدمه.....	۱.....
۱-۱- تاریخچه شبه مقاومت.....	۲.....
۲-۱- شبه مقاومت در کاربردهای زیست پزشکی.....	۳.....
فصل دوم.....	۶.....
انواع شبه مقاومت.....	۶.....
۱-۲- شبه مقاومت های تک سلولی.....	۷.....
۲-۱-۲- شبه مقاومت های تک سلولی غیر قابل تنظیم.....	۷.....
۲-۱-۲- شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم.....	۱۰.....
۲-۲- شبه مقاومت های چند سلولی.....	۱۲.....
۱-۲-۲- طراحی سری.....	۱۲.....
۲-۲-۲- طراحی موازی.....	۱۴.....
۳-۲- شبه مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا.....	۱۵.....
۴-۲- شبه مقاومت مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ.....	۱۶.....
فصل سوم:	۱۸.....
بررسی مقاومت، خطی بودن و تغییرات فرآیندی.....	۱۸.....
۱-۳- بررسی منحنی مقاومت و میزان خطی بودن شبه مقاومت ها.....	۱۹.....
۱-۱-۳- بررسی جریان و مقاومت شبه مقاومت تک سلولی غیر قابل تنظیم.....	۲۰.....
۲-۱-۳- بررسی جریان و مقاومت شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم.....	۲۲.....
۱-۲-۳- شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (الف).....	۲۳.....
۲-۲-۳- شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (ب).....	۲۷.....
۳-۱-۳- بررسی جریان و مقاومت شبه مقاومت های چند سلولی با طراحی سری.....	۳۲.....
۱-۳-۱-۳- جریان و مقاومت مربوط به شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری مربوط به شکل (۲-۵) (ج).....	۳۲.....

۳-۱-۳-۲- جریان و مقاومت مربوط به شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری مربوط به شکل (۲-۵) (د).....	۳۹
۳-۱-۴- بررسی جریان و مقاومت شبه مقاومت های چند سلولی با طراحی موازی.....	۴۶
۳-۱-۵- بررسی جریان و مقاومت شبه مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا.....	۵۳
۳-۱-۶- بررسی جریان و مقاومت شبه مقاومت مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ.....	۵۷
۳-۲- بررسی شبه مقاومت ها در حوزه فرکانسی.....	۶۰
۳-۳- تحلیل مونت کارلو و بررسی تغییرات فرآیندی.....	۶۵
فصل چهارم:.....	۷۳
تحلیل سیگنال کوچک و نویز.....	۷۳
۴-۱- معرفی تقویت کننده امیدانس انتقالی.....	۷۴
۴-۲- بررسی توان.....	۷۶
۴-۳- بررسی نویز.....	۷۸
۴-۴- بررسی اعوجاج هارمونیک کل.....	۷۹
۴-۵- معرفی تقویت کننده عملیاتی.....	۸۰
۴-۶- بررسی بهره و پهنای باند.....	۸۲
۴-۷- بررسی مساحت.....	۸۳
فصل پنجم:.....	۸۸
جمع بندی و نتیجه گیری.....	۸۸
۵-۱- جمع بندی و نتیجه گیری.....	۸۹
۵-۲- پیشنهادات.....	۹۲
منابع و مراجع.....	۹۴
Abstract.....	۹۷

صفحه

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲): شبه مقاومت تک سلولی غیر قابل تنظیم [۱]..... ۷
- شکل (۲-۲): نحوه تبدیل شبه مقاومت تک سلولی غیر قابل تنظیم به شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم توسط یک منبع ولتاژ خارجی که با توجه به محل قرارگیری منبع ولتاژ، دارای دو حالت (الف) و (ب) است [۱]..... ۹
- شکل (۳-۲): شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (الف) [۱]..... ۱۰
- شکل (۴-۲): شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (ب) [۱]..... ۱۱
- شکل (۵-۲): ساختار های ممکن برای طراحی سری شبه مقاومت (الف) و (ج) دارای دو منبع ولتاژ مجزا برای هر ترانزیستور و (ب) و (د) دارای یک منبع ولتاژ مشترک برای هر دو ترانزیستور [۱]..... ۱۳
- شکل (۶-۲): نمایش سطح مقطع شبه مقاومت های سری مربوط به شکل (۵-۲) متناظر با هر یک از طراحی های (الف) تا (د) [۱]..... ۱۳
- شکل (۷-۲): طراحی موازی شبه مقاومت [۱]..... ۱۵
- شکل (۸-۲): شبه مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا..... ۱۶
- شکل (۹-۲): شبه مقاومت مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ..... ۱۷
- شکل (۱-۳): مدار استفاده شده جهت بررسی جریان، مقاومت و تحلیل مونت کارلو..... ۲۰
- شکل (۲-۳): شبه مقاومت تک سلولی غیر قابل تنظیم [۱]..... ۲۰
- شکل (۳-۳): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی غیر قابل تنظیم..... ۲۱
- شکل (۴-۳): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی غیر قابل تنظیم..... ۲۲
- شکل (۵-۳): شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم [۱]..... ۲۳
- شکل (۶-۳): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (الف)..... ۲۴
- شکل (۷-۳): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (الف)..... ۲۵
- شکل (۸-۳): نمودار مقاومت-ولتاژ تنظیم شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (الف)..... ۲۵
- شکل (۹-۳): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (الف) به ازای مقادیر متغیر ولتاژ تنظیم..... ۲۶
- شکل (۱۰-۳): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (الف) به ازای ولتاژ های تنظیم متفاوت..... ۲۷
- شکل (۱۱-۳): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (ب)..... ۲۸
- شکل (۱۲-۳): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (ب)..... ۲۹

- شکل (۳-۱۳): نمودار مقاومت-ولتاژ تنظیم شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (ب)..... ۳۰
- شکل (۳-۱۴): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (ب) به ازای مقادیر متغیر ولتاژ تنظیم..... ۳۱
- شکل (۳-۱۵): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت تک سلولی قابل تنظیم (ب) به ازای ولتاژهای تنظیم متفاوت..... ۳۲
- شکل (۳-۱۶): شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (ج) [۱]..... ۳۳
- شکل (۳-۱۷): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (ج) غیر قابل تنظیم..... ۳۴
- شکل (۳-۱۸): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (ج) غیر قابل تنظیم..... ۳۵
- شکل (۳-۱۹): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (ج) قابل تنظیم..... ۳۶
- شکل (۳-۲۰): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (ج) قابل تنظیم..... ۳۶
- شکل (۳-۲۱): نمودار مقاومت-ولتاژ تنظیم شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (ج) قابل تنظیم..... ۳۷
- شکل (۳-۲۲): نمودار مقاومت-ولتاژ تنظیم شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (ج) قابل تنظیم..... ۳۸
- شکل (۳-۲۳): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی سری (ج) قابل تنظیم به ازای ولتاژهای تنظیم متفاوت..... ۳۹
- شکل (۳-۲۴): شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) [۱]..... ۴۰
- شکل (۳-۲۵): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) غیر قابل تنظیم..... ۴۰
- شکل (۳-۲۶): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) غیر قابل تنظیم..... ۴۱
- شکل (۳-۲۷): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) قابل تنظیم..... ۴۲
- شکل (۳-۲۸): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) به صورت قابل تنظیم..... ۴۳
- شکل (۳-۲۹): نمودار مقاومت-ولتاژ تنظیم شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) قابل تنظیم..... ۴۴
- شکل (۳-۳۰): نمودار جریان-ولتاژ تنظیم شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) قابل تنظیم..... ۴۵
- شکل (۳-۳۱): نمودار مقاومت-ولتاژ به ازای ولتاژهای تنظیم متفاوت شبه مقاومت چند سلولی با طراحی سری (د) قابل تنظیم..... ۴۶
- شکل (۳-۳۲): شبه مقاومت چند سلولی موازی [۱]..... ۴۷
- شکل (۳-۳۳): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی موازی به صورت غیر قابل تنظیم..... ۴۸
- شکل (۳-۳۴): نمودار مقاومت-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی موازی به صورت غیر قابل تنظیم..... ۴۹
- شکل (۳-۳۵): نمودار جریان-ولتاژ شبه مقاومت چند سلولی با طراحی موازی به صورت قابل تنظیم..... ۵۰

- شکل (۳-۳۶): نمودار مقاوت-ولتاژ شبه‌مقاومت چند سلولی با طراحی موازی به صورت قابل تنظیم..... ۵۰
- شکل (۳-۳۷): نمودار مقاوت-ولتاژ تنظیم شبه‌مقاومت چند سلولی موازی قابل تنظیم..... ۵۱
- شکل (۳-۳۸): نمودار جریان-ولتاژ تنظیم شبه‌مقاومت چند سلولی موازی قابل تنظیم..... ۵۲
- شکل (۳-۳۹): نمودار مقاوت-ولتاژ به ازای ولتاژهای تنظیم متفاوت شبه‌مقاومت چند سلولی با طراحی موازی قابل تنظیم..... ۵۳
- شکل (۳-۴۰): شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا [۲۰]..... ۵۴
- شکل (۳-۴۱): نمودار جریان-ولتاژ شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا..... ۵۴
- شکل (۳-۴۲): نمودار مقاوت-ولتاژ شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا..... ۵۵
- شکل (۳-۴۳): نمودار مقاوت-ولتاژ تنظیم شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا..... ۵۶
- شکل (۳-۴۴): نمودار جریان-ولتاژ تنظیم شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا..... ۵۶
- شکل (۳-۴۵): نمودار مقاوت-ولتاژ به ازای ولتاژهای تنظیم متفاوت شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم با مقدار بالا..... ۵۷
- شکل (۳-۴۶): شبه‌مقاومت مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ..... ۵۸
- شکل (۳-۴۷): نمودار جریان-ولتاژ شبه‌مقاومت مقاوم در برابر ولتاژ..... ۵۸
- شکل (۳-۴۸): نمودار مقاوت-ولتاژ شبه‌مقاومت مقاوم در برابر ولتاژ..... ۵۹
- شکل (۳-۴۹): مدار استفاده شده جهت بررسی شبه‌مقاومت ها در حوزه فرکانسی..... ۶۱
- شکل (۳-۵۰): نمودار مقاوت برحسب فرکانس برای شبه‌مقاومت تک سلولی..... ۶۱
- شکل (۳-۵۱): نمودار مقاوت برحسب فرکانس برای شبه‌مقاومت چند سلولی سری (ج)..... ۶۲
- شکل (۳-۵۲): نمودار مقاوت برحسب فرکانس برای شبه‌مقاومت چند سلولی سری (د)..... ۶۲
- شکل (۳-۵۳): نمودار مقاوت برحسب فرکانس برای شبه‌مقاومت چند سلولی موازی..... ۶۳
- شکل (۳-۵۴): نمودار مقاوت برحسب فرکانس برای شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم مقدار بالا..... ۶۴
- شکل (۳-۵۵): نمودار مقاوت برحسب فرکانس برای شبه‌مقاومت مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ..... ۶۴
- شکل (۳-۵۶): نتایج تحلیل مونت کارلو برای شبه‌مقاومت تک سلولی (شکل بالا اثر تغییرات فرایندی و شکل پایین اثر عدم تطابق)..... ۶۶
- شکل (۳-۵۷): نتایج تحلیل مونت کارلو برای شبه‌مقاومت چند سلولی سری (ج) (شکل بالا اثر تغییرات فرایندی و شکل پایین اثر عدم تطابق)..... ۶۷
- شکل (۳-۵۸): نتایج تحلیل مونت کارلو برای شبه‌مقاومت چند سلولی سری (د) (شکل بالا اثر تغییرات فرایندی و شکل پایین اثر عدم تطابق)..... ۶۷

و شکل پایین اثر عدم تطابق).....	۶۸
شکل (۳-۵۹): نتایج تحلیل مونت کارلو برای شبه‌مقاومت چند سلولی موازی(شکل بالا اثر تغییرات فرایندی و شکل پایین اثر عدم تطابق).....	۶۹
شکل (۳-۶۰): نتایج تحلیل مونت کارلو برای شبه‌مقاومت شناور قابل تنظیم مقدار بالا(شکل بالا اثر تغییرات فرایندی و شکل پایین اثر عدم تطابق).....	۷۰
شکل (۳-۶۱): نتایج تحلیل مونت کارلو برای شبه‌مقاومت مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ(شکل بالا اثر تغییرات فرایندی و شکل پایین اثر عدم تطابق).....	۷۱
شکل (۴-۱): تقویت کننده امپدانس انتقالی.....	۷۶
شکل (۴-۲): تقویت کننده عملیاتی دو طبقه با نویز کم [۳۰].....	۸۱
شکل (۴-۳): لی‌اوت شبه مقاومت تک سلولی.....	۸۴
شکل (۴-۴): لی‌اوت شبه مقاومت چند سلولی سری (ج).....	۸۵
شکل (۴-۵): لی‌اوت شبه مقاومت چند سلولی سری (د).....	۸۵
شکل (۴-۶): لی‌اوت شبه مقاومت چند سلولی موازی.....	۸۶
شکل (۴-۷): لی‌اوت شبه مقاومت شناور قابل تنظیم مقدار بالا.....	۸۶
شکل (۴-۸): لی‌اوت شبه مقاومت مقاوم در برابر تغییرات ولتاژ.....	۸۷

صفحه

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۱):	اطلاعات سیگنال های زیستی پر کاربرد [۱۱]	۴
جدول (۱-۳):	جدول جمع بندی مقدار مقاومت و بازه عملکرد خطی شبه مقاومت های معرفی شده	۶۰
جدول (۲-۳):	انحراف معیار مقاومت میانگین هر مدل در تحلیل های مونت کارلو	۶۵
جدول (۱-۴):	میانگین توان شبه مقاومت ها	۷۷
جدول (۲-۴):	بررسی نويز	۷۹
جدول (۳-۴):	مقدار THD هر شبه مقاومت	۸۰
جدول (۴-۴):	ابعاد و مشخصات تقویت کننده عملیاتی	۸۲
جدول (۵-۴):	گین و پهنای باند شبه مقاومت ها	۸۳
جدول (۶-۴):	مساحت شبه مقاومت ها	۸۷
جدول (۱-۵):	مقایسه عملکرد کلی شبه مقاومت ها	۹۱

منابع و مراجع

- [1] E. Guglielmi, etc, "high value tunable pseudo resistor," *IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS*, pp. 1-11, 2020.
- [2] T. Delbrück and C. A. Mead, "Analog VLSI adaptive, logarithmic widely namic-range photoreceptor," in *Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems*, pp. 339-342, 1994/5.
- [3] N. Neshatvar, H. A. Nashash and L. Albasha, "Design of low frequency analog low pass filter using tunable pseudo resistors," 2nd Middle East Conference on Biomedical Engineering, Doha, Qatar, 2014, pp. 39-42
- [4] S.Hwang, K.Aninakwa, S.Sonkusale, "Bandwidth tunable amplifier for recording biopotential signals", *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2010;2010:662-5
- [5] C.F.Pereira, P.L. Benko, etc, "Teraohm Pseudo-resistor Experimental Characterization Aiming at Implementation of Bio-amplifiers"2016 31st Symposium on Microelectronics Technology and Devices (SBMicro), 2016.
- [6] Webster, J.G. ed., 2009. Medical instrumentation: application and design. John Wiley & Sons.
- [7] Y. Jiang, O. W. Samuel, X. Liu, X. Wang, P. O. Idowu, P. Li, F. Chen, M. Zhu, Y. Geng, F. Wu, et al, "Effective Biopotential Signal Acquisition: Comparison of Different Shielded Drive Technologies", *Applied Sciences*, 2018.
- [8] F. Shahrokhi, K. Abdelhalim, "The 128-channel fully differential digital integrated neural recording and stimulation interface", *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* 4(3), 149–161, 2010.
- [9] P. L. BENKO, M. GALETI, C. F. PEREIRA, J. C. LUCCHI and R. C. GIACOMINI, "Bio-Amplifier based on MOS bipolar Pseudo-Resistors: A New Approach using its non-linear characteristic," *JICS. JOURNAL OF INTEGRATED CIRCUITS AND SYSTEMS*, vol. 11, pp. 132-139, 2016.
- [10] Y. C. Huang, T. S. Yang, S. H. Hsu, X. Z. Chen and J. C. Chiou, "A novel pseudo resistor structure for biomedical front-end amplifiers," 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, Italy, 2015.
- [11] R. Nagulapalli, K. Hayatleh, S. Barker, P. Georgiou & F. Lidgey, "A High Value, Linear and Tunable CMOS Pseudo Resistor for Bio-medical Applications", *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 2018.
- [12] X. Z. a. Q. L. S. Zhang, "A Voltage Swing Robust Pseudo-Resistor Structure for Biomedical Front-end Amplifier," *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, 2018.
- [13] G. Ferrari, F. Gozzini, A. Molari and M. Sampietro, "Transimpedance Amplifier for High Sensitivity Current Measurements on Nanodevices," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2009.

- [14] F. Gozzini, G. Ferrari, M. Sampietro, "Linear transconductor with rail-to-rail input swing for very large time constant applications". *Electronics Letters*, 2006.
- [15] L. G. Kulbhushan Sharma, "Implementation of Tunable and Non-Tunable Pseudo-Resistors using 0.18 μ m Technology," *International Journal of Computer Applications*, 2018.
- [16] S. Ha et al., "Integrated Circuits and Electrode Interfaces for Noninvasive Physiological Monitoring," in *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2014.
- [17] N. R. R. L. a. K. M. H. Rezaee-Dehsorkh, "A linear tunable amplifier for implantable neural recording applications," *IEEE 54th Int. Midwest Symp. Circuits Syst.*, 2011.
- [18] H. Rezaee-Dehsorkh, N. Ravanshad, R. Lotfi and K. Mafinezhad, "Analysis and Design of Tunable Amplifiers for Implantable Neural Recording Applications," *IEEE 54th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Seoul, Korea (South), 2011.
- [19] R. H. I. I. Olsson, A. N. Gulari and K. D. Wise, "A fully-integrated bandpass amplifier for extracellular neural recording," *First International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering*, 2003.
- [20] A. Tajalli, Y. Leblebici & E. Brauer, "Implementing ultrahigh-value floating tunable CMOS resistors," *Electron. Lett.*, 2008.
- [21] D. Djekic, M. Ortmanns, G. Fantner and J. Anders, "A tunable, robust pseudo-resistor with enhanced linearity for scanning ion-conductance microscopy," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Montreal, QC, Canada, 2016.
- [22] D. Djekic, G. Fantner, K. Lips, M. Ortmanns and J. Anders, "A 0.1% THD, 1-M Ω to 1-G Ω Tunable, Temperature-Compensated Transimpedance Amplifier Using a Multi-Element Pseudo-Resistor," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2018.
- [23] J. Ramirez-Angulo, M.S. Sawant, R. G. Carvajal, & A. Lopez-Martin, "Linearisation of MOS resistors using capacitive gate voltage averaging," *Electronics Letters*, vol. 41, pp. 511-512, 2005.
- [24] L. Y. e. al., "A 680 nA ECG Acquisition IC for Leadless Pacemaker Applications," *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 8, pp. 779-786, 2014.
- [25] D. Fitzpatrick, *Analog Design and Simulation Using OrCAD Capture and PSpice* (Second Edition), 2018.
- [26] A. Romanova, V. Barzdenas, "A review of modern CMOS transimpedance amplifiers for OTDR applications," *IEEE*, 2019.
- [27] E. Kamrani, F. Lesage and M. Sawan, "Low-Noise, High-Gain Transimpedance Amplifier Integrated With SiAPD for Low-Intensity Near-Infrared Light Detection," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 258-269, 2014.
- [28] I. G. Morales, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," *IEEE*, 2014.
- [29] M. I. Inc., "Understanding the Relationship between THD and TDD," *White Paper*, 2022.
- [30] Z. Zhou and P. A. Warr, "A High Input Impedance Low Noise Integrated Front-End Amplifier for Neural Monitoring," in *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 10,

no. 6, pp. 1079-1086, Dec. 2016.

- [31] A. Tajalli, E. Vittoz, Y. Leblebici and E. J. Brauer, "Ultra low power subthreshold MOS current mode logic circuits using a novel load device concept," ESSCIRC 2007.

Abstract

Designing resistors in CMOS technology presents significant challenges. To overcome these difficulties, pseudo-resistors, which are constructed using MOSFET transistors, have been introduced in recent years. These pseudo-resistors simplify the creation of high-value resistors in integrated circuits by offering notable features such as low power consumption and minimum noise, along with high resistance values and compact size compared to traditional resistor designs.

In biomedical applications, achieving high resistance values is critically important. Pseudo-resistors are advantageous for these applications as their resistance can reach tens of tera-ohms. Additionally, their small area and high compatibility with integrated circuits make them ideal for use in implantable and wearable devices.

This research explores several pseudo-resistor models. Pseudo-resistors can be divided into several groups such as single-cell pseudo-resistors and multi-cell pseudo-resistors. Also, they can be designed as a nontunable or tunable resistor. These models are simulated under various conditions using Cadence software and 180nm technology, evaluating key parameters such as resistance value, linearity, power consumption, and noise susceptibility. The study also examines the impact of process variations on these models. All introduced designs are compared based on the total harmonic distortion (THD), gain, and bandwidth of a transconductance amplifier using these resistors. Finally, the area occupied by each pseudo-resistor is analyzed to identify the most suitable design for biomedical applications.

Key Words: pseudo-resistor, single-cell, multi-cell, process variations, noise, power, tunable resistor



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

Electrical Engineering

BSc Thesis

Design of a Pseudo-Resistor for Bio-implants

**By
Shahrzad Bigdeli**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

June 2024