



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

Electrical Engineering Department

Bachelor of Science Thesis

**CMRR enhancement in fully differential class AB
amplifiers**

**By
Amir Hossein Sabour**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

October 2019



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده برق

پایان نامه کارشناسی
گرایش الکترونیک

بهبود پارامتر CMRR در تقویت کننده های تفاضلی کلاس AB

نگارش
امیر حسین صبور

استاد راهنما
دکتر محمد یآوری

اللهم صل على محمد

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.

نکات مهم:

- ✓ نگارش پایان نامه/رساله باید به **زبان فارسی** و بر اساس آخرین نسخه دستورالعمل و راهنمای تدوین پایان نامه های دانشگاه صنعتی امیرکبیر باشد. (دستورالعمل و راهنمای حاضر)
- ✓ رنگ جلد پایان نامه چاپی، کارشناسی ارشد و رساله دکترا باید به ترتیب، "طوسی" و "سفید" رنگ و اطلاعات مندرج "زرکوب" باشد.
- ✓ چاپ و صحافی پایان نامه/رساله بصورت **پشت و رو (دورو)** بلامانع است و انجام آن توصیه می شود.
- در صورتی که یک عنوان پایان نامه دارای **دو نویسنده** است، فقط یکبار فایل و فرم اطلاعات آن با ذکر هر دو نویسنده بارگذاری و تکمیل گردد.

به نام خدا
تعهدنامه اصالت اثر



اینجانب **امیرحسین صبور** متعهد می شوم 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 هم سطح 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 می باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

امیرحسین صبور

امضا

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر مهربانم
به خاطر حمایت‌های بی دریغ و محبت‌های بی‌پایانشان.

همسر عزیزم

که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

قدردانی

با سپاس فراوان از زحمات استاد گرانقدر **جناب آقای دکتر یآوری** که در تمامی مراحل انجام این پروژه
مرا یاری نموده و بدون راهنمایی های ایشان انجام این پروژه امکان پذیر نبود. از خداوند متان موفقیت
راه در تمامی مراحل زندگی برای ایشان خواستارم.

چکیده

مفاهیم سرعت، دقت و هزینه همواره در نوعی مصالحه بایکدیگر قرار داشته‌اند. بنظر می‌رسد که برای افزایش هرکدام از این موارد با یکی یا هر دو مورد دیگر قربانی بشود. در این پروژه، به هرکدام از مفاهیم سرعت، دقت و هزینه پارامتری نسبت داده شده و سپس سعی کرده‌ایم که نقطه بهینه‌ای را برای این پارامترهای مدار پیدا کنیم. پارامتر SR به سرعت نسبت داده شده، $CMRR$ را به دقت نسبت داده‌ایم؛ و همچنین هزینه نیز همان توان مصرفی مدار در نظر گرفته شده است. به عبارتی، سعی کرده‌ایم که پارامترهای مربوط به سرعت و دقت را برای مدارها به گونه‌ای افزایش بدهیم، که حداقل هزینه ممکن برای آن انجام بگیرد. این موضوع یعنی که، سعی شده است تا پارامترهای SR و $CMRR$ مدار با کمترین افزایش توان مصرفی ممکن، بالا برده شوند. در این راستا، به مشکل افت $CMRR$ مدارهای هدف رسیدیم و راه‌حلی برای افزایش این پارامتر ارائه شده است. این افزایش $CMRR$ ، مشکل اصلی این پروژه بوده و عنوان آن می‌باشد.

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| فصل اول مقدمه | ۱ |
| ۱-۱- انگیزش و اهمیت موضوع..... | ۲ |
| ۱-۳- مسئله ی مورد بررسی | ۳ |
| ۱-۴- ساختار پایان نامه | ۳ |
| فصل دوم تعریف پارامترهای CMRR و SR و معرفی کلاس های مختلف تقویتکننده ها | ۵ |
| ۲-۱- کمیت CMRR | ۶ |
| ۲-۱-۱- معرفی بهره های مختلف برای تقویت کننده ها | ۶ |
| ۲-۱-۲- تعریف CMRR | ۸ |
| ۲-۱-۳- مفهوم CMRR | ۸ |
| ۲-۲- کمیت SR | ۹ |
| ۲-۲-۱- تعریف SR | ۹ |
| ۲-۳- کلاس های مختلف مدارهای طبقه خروجی | ۱۰ |
| ۲-۳-۱- مدارهای طبقه خروجی کلاس A | ۱۱ |
| ۲-۳-۲- مدارهای طبقه خروجی کلاس B | ۱۲ |
| ۲-۳-۳- مدارهای طبقه خروجی کلاس AB | ۱۳ |
| ۲-۴- کلاس های مختلف تقویتکننده ها | ۱۵ |
| ۲-۴-۱- مدارهای تقویتکننده کلاس A | ۱۵ |
| ۲-۴-۲- مدارهای تقویتکننده کلاس AB | ۱۷ |
| فصل سوم روش های موجود برای افزایش CMRR در تقویتکننده ها | ۲۱ |
| ۳-۱- چگونگی افزایش کمیت CMRR | ۲۲ |
| ۳-۲- مدار اولیه مورد استفاده در دو روش اول | ۲۲ |

| | |
|---------|--|
| ۲۵..... | ۳-۳- افزایش CMRR بواسطه مستقل کردن جریان i_{dn} از v_{cm} [8] |
| ۲۵..... | ۳-۳-۱- توضیحات روش اول |
| ۲۷..... | ۳-۳-۲- نتایج پیاده سازی |
| ۲۸..... | ۳-۴- افزایش CMRR بواسطه وابسته کردن i_{up} به v_{cm} [7] |
| ۲۸..... | ۳-۴-۱- توضیحات روش دوم |
| ۳۱..... | ۳-۴-۲- نتایج پیاده سازی |
| ۳۱..... | ۳-۵- افزایش CMRR بواسطه تغییر دادن جزئی ساختار مدار |
| ۳۱..... | ۳-۵-۱- توضیحات روش سوم |
| ۳۷..... | ۳-۵-۲- نتایج پیاده سازی |
| ۳۸..... | فصل چهارم تعریف مدارهای موردنظر پروژه و روش پیشنهادی برای افزایش CMRR |
| ۳۹..... | ۴-۱- مروری بر موارد ذکر شده و تبیین اهداف پروژه |
| ۴۰..... | ۴-۲- افزایش SR تقویتکننده ها و بررسی مشکل پیش آمده با انجام این کار |
| ۴۰..... | ۴-۲-۱- افزایش SR |
| ۴۲..... | ۴-۲-۲- افزایش بهره مد-مشترک در اثر برداشتن منبع جریان I_{tail} از مدار |
| ۴۳..... | ۴-۳- مدار اصلی مورد استفاده در پروژه و روش ارائه شده برای بهبود CMRR |
| ۴۳..... | ۴-۳-۱- توضیحات مربوط به مدار اصلی مورد استفاده در پروژه |
| ۴۵..... | ۴-۳-۲- روش ارائه شده جهت افزایش CMRR |
| ۴۶..... | ۴-۴- بررسی شهودی مدار استفاده شده جهت پیاده سازی روش افزایش CMRR |
| ۴۸..... | ۴-۵- شرایط لازم برای کارکرد صحیح مدار افزایش دهنده CMRR |
| ۴۹..... | ۴-۶- برخی از نکات مفید و مشکلات ممکن در طراحی مدار |
| ۴۹..... | ۴-۶-۱- نحوه ارضا کردن شرط های لازم برای کارکرد صحیح مدار |
| ۵۰..... | ۴-۶-۲- مشکل احتمالی افت بهره تفاضلی مدار و روش رفع آن |
| ۵۰..... | ۴-۶-۳- تعدیل و تنظیم المان افزایش دهنده CMRR پس از انجام طراحی و شبیه سازی اولیه |
| ۵۲..... | |
| ۵۳..... | ۴-۷- حالت کلی تر روش ارائه شده برای افزایش CMRR |
| ۵۶..... | فصل پنجم نتایج عملی و شبیه سازی |

| | |
|---------|--|
| ۵۷..... | ۵-۱- نتایج شبیه سازی مدار دارای منبع جریان I_{tail} |
| ۵۹..... | ۵-۲- نتایج شبیه سازی مدار حاصل از برداشتن منبع جریان I_{tail} |
| ۶۱..... | ۵-۳- نتایج شبیه سازی مدار حاصل از قرار دادن المان افزایش دهنده CMRR در مدار بخش قبل |
| ۶۳..... | ۵-۴- مقایسه پاسخ گذرای مدار اولیه حاوی I_{tail} با مدار نهایی شامل المان افزایش دهنده CMRR |
| ۶۳..... | ۵-۴-۱- مدار استفاده شده برای تعیین SR در تقویتکننده های مورد بررسی |
| ۶۴..... | ۵-۴-۲- مقدار SR^+ در مدار اولیه و مدار نهایی |
| ۶۵..... | ۵-۴-۳- مقدار SR^- در مدار اولیه و مدار نهایی |
| ۶۶..... | ۵-۳- پیاده سازی المان افزایشدهنده CMRR بروی مدار واقعی دیگر |
| ۷۰..... | فصل ششم جمع بندی و نتیجه گیری و پیشنهاد ها برای ادامه ی کار |
| ۷۱..... | ۶-۱- جمع بندی |
| ۷۱..... | ۶-۲- پیشنهاد های برای ادامه ی کار |
| ۷۳..... | منابع و مراجع |

فهرست اشکال

| | |
|---------|---|
| ۹..... | شکل ۲-۱ مدارى جهت تعيين Slew rate [2] |
| ۱۱..... | شکل ۲-۲ نمونه اى از طبقه خروجى کلاس [1]A |
| ۱۱..... | شکل ۲-۳ مشخصه انتقالى مدار طبقه خروجى کلاس [1]A |
| ۱۲..... | شکل ۲-۴ نمونه اى از طبقه خروجى کلاس [1]B |
| ۱۳..... | شکل ۲-۵ مشخصه انتقالى مدار طبقه خروجى کلاس [1]B |
| ۱۴..... | شکل ۲-۶ نمونه اى از طبقه خروجى کلاس [1]AB |
| ۱۴..... | شکل ۲-۷ مشخصه انتقالى مدار طبقه خروجى کلاس [1]AB |
| ۱۶..... | شکل ۲-۸ آرايش مرسوم کسکود تا شده [3] |
| ۱۸..... | شکل ۲-۹ تقويتکننده کلاس [4]AB |
| ۲۳..... | شکل ۳-۱ مدار اوليه تقويتکننده کلاس [6]AB |
| ۲۴..... | شکل ۳-۲ مدل سيگنال کوچک نيم مدار تقويتکننده کلاس [7]AB |
| ۲۵..... | شکل ۳-۳ مدار تقويتکننده کلاس AB به همراه المان هاى [8]CMFB |
| ۲۷..... | شکل ۳-۴ مدار ايجادکننده مقدار مناسب براى v_x [8] |
| ۲۹..... | شکل ۳-۵ مدار تقويتکننده کلاس AB به همراه المان تغييردهنده V_B [7] |
| ۳۰..... | شکل ۳-۶ مدار ايجادکننده ولتاژ v_x [7] |
| ۳۲..... | شکل ۳-۷ مدار RFC [3] |
| ۳۳..... | شکل ۳-۸ مدار IRFC [10] |
| ۳۳..... | شکل ۳-۹ مدار DRFC [9] |
| ۳۴..... | شکل ۳-۱۰ مدار CMRFC [11] |
| ۳۵..... | شکل ۳-۱۱ مدار معادل تونن ديده شده از سورس M_{12} به سمت بالا [11] |
| ۳۶..... | شکل ۳-۱۲ نيم مدار معادل CMRFC [11] |
| ۴۱..... | شکل ۴-۱ مدار کلاس A حاوى جريان دنبال کننده [2] |
| ۴۱..... | شکل ۴-۲ مدار حاصل از برداشته شدن جريان دنبال کننده |
| ۴۲..... | شکل ۴-۳ مدار معادل در تحليل مد-مشترک |
| ۴۴..... | شکل ۴-۴ مدار اصلى مورد استفاده جهت توضيح روش افزايش CMRR |
| ۴۶..... | شکل ۴-۵ توضيح شهودى راه حل افزايش CMRR |
| ۴۷..... | شکل ۴-۶ مدار اصلى به همراه المان افزايش دهنده CMRR |
| ۵۷..... | شکل ۵-۱ مدار اصلى به همراه I_{tail} در سورس ترانزیستورهاى ورودى |

- شکل ۵-۲ مدار حاصل از برداشتن منبع جریان I_{tail} ۵۹
- شکل ۵-۳ مدار حاصل از قرار دادن المان افزایش دهنده CMRR در مدار بخش قبل ۶۱
- شکل ۵-۴ ساختار مورد استفاده برای بدست آوردن SR ۶۳
- شکل ۵-۵ خاموش و روشن شدن سیگنالهای ϕ_1 و ϕ_2 ۶۴
- شکل ۵-۶ پاسخ گذرای مدار اولیه برای محاسبه SR^+ ۶۴
- شکل ۵-۷ پاسخ گذرای مدار نهایی برای محاسبه SR^+ ۶۵
- شکل ۵-۸ پاسخ گذرای مدار اولیه برای محاسبه SR^- ۶۵
- شکل ۵-۹ پاسخ گذرای مدار نهایی برای محاسبه SR^- ۶۶
- شکل ۵-۱۰ مدار اولیه تقویت کننده [12] ۶۷
- شکل ۵-۱۱ مدار حاصل از حذف I_{tail} ۶۷
- شکل ۵-۱۲ مدار حاصل از افزودن المان افزایش دهنده CMRR ۶۸

فهرست جداول

| | | |
|----------|---|---------|
| جدول ۳-۱ | مقایسه مدار اولیه با مدار حاصل از پیاده‌سازی افزایش‌دهنده CMRR به روش اول [8] | ۲۷.. |
| جدول ۳-۲ | مقایسه مدار اولیه با مدار حاصل از پیاده‌سازی افزایش‌دهنده CMRR به روش دوم [7] | ۳۱.. |
| جدول ۳-۲ | مقایسه مدار اولیه DRFC با مدار CMRFC که هدف آن بهبود CMRR بوده است | ۳۷.. |
| جدول ۵-۱ | نتایج شبیه‌سازی مدار شکل ۵-۱ | ۵۸..... |
| جدول ۵-۲ | نتایج شبیه‌سازی مدار شکل ۵-۲ | ۶۰..... |
| جدول ۵-۳ | نتایج شبیه‌سازی مدار شکل ۵-۳ | ۶۲..... |
| جدول ۵-۴ | نتیجه شبیه‌سازی مدار شکل های ۵-۱۰ ، ۵-۱۱ و ۵-۱۲ | ۶۹..... |

منابع و مراجع

- P. R. Gray, *Analysis and design of analog integrated circuits*. New York, NY: Wiley, 1993. [۱]
- M. Yavari, "Lectures 19, 20 & 21: Basic Opamp Design and Frequency Compensation", 2017 [۲]
- R. S. Assaad and J. Silva-Martinez, "The Recycling Folded Cascode: A General Enhancement of the Folded Cascode Amplifier," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 44, no. 9, pp. 2535–2542, 2009. [۳]
- A. Lopez-Martin, S. Baswa, J. Ramirez-Angulo, and R. Carvajal, "Low-Voltage Super class AB CMOS OTA cells with very high slew rate and power efficiency," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 5, pp. 1068–1077, 2005. [۴]
- F. Centurelli, P. Monsurrò, and A. Trifiletti, "Comparative performance analysis and complementary triode based CMFB circuits for fully differential class AB symmetrical OTAs with low power consumption," *International Journal of Circuit Theory and Applications*, vol. 44, no. 5, pp. 1039–1054, 2015. [۵]
- V. Peluso, P. Vancorenland, M. Steyaert, and W. Sansen, "900 mV differential class AB OTA for switched opamp applications," *Electronics Letters*, vol. 33, no. 17, p. 1455, 1997. [۶]
- F. Centurelli, P. Monsurro, G. Parisi, P. Tommasino, and A. Trifiletti, "A Topology of Fully Differential Class-AB Symmetrical OTA With Improved CMRR," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 65, no. 11, pp. 1504–1508, 2018. [۷]

- F. Centurelli, P. Monsurrò, G. Parisi, P. Tommasino, and A. Trifiletti, “Fully Differential Class-AB OTA with Improved CMRR,” *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 26, no. 11, p. 1750169, Nov. 2017. [٨]
- Z. Yan, P.-I. Mak, and R. P. Martins, “Double recycling technique for folded-cascode OTA,” *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 71, no. 1, pp. 137–141, 2011. [٩]
- Y. Li, K. Han, X. Tan, N. Yan, and H. Min, “Transconductance enhancement method for operational transconductance amplifiers,” *Electronics Letters*, vol. 46, no. 19, p. 1321, 2010. [١٠]
- M. Farsi and K. Monfaredi, “A Low Voltage Recycling Folded Cascode OTA based on novel CMRR Magnifier,” *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, pp. 37–42, 2018. [١١]
- M. Yavari and T. Moosazadeh, “A single-stage operational amplifier with enhanced transconductance and slew rate for switched-capacitor circuits,” *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 79, no. 3, pp. 589–598, Feb. 2014. [١٢]



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

Electrical Engineering Department

Bachelor of Science Thesis

**CMRR enhancement in fully differential class AB
amplifiers**

**By
Amir Hossein Sabour**

**Supervisor
Dr. Mohammad Yavari**

October 2019