

یک تقویت کننده کم نویز توان پایین برای کاربرد ثبت عصبی

محمد رضا قمری^۱، محمد رضا قهری^۲

^۱ ایران، ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، گروه برق و الکترونیک

^۲ ایران، ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملایر، گروه برق و الکترونیک

چکیده

در این مقاله با استفاده از تکنولوژی نانوتیوپ یک تقویت کننده (مارتینز^۱، ۲۰۰۹) را طراحی کردیم که برای ثبت سیگنال های عصبی (چارلز^۲، ۲۰۰۳) کاربرد دارد. تقویت کننده های عصبی باید دارای نویز و توان کم باشند تا به شبکه عصبی آسیبی وارد نشود زیرا گرمایی که بر اثر توان بالا ایجاد می شود می تواند بافت های عصبی را از بین ببرد. ما در این مدار توان و نویز را کاهش داده ایم. شبیه سازی های مداری با استفاده از نرم افزار Hspice و تکنولوژی نانوتیوپ انجام شده است که نتایج شبیه سازی نشان می دهد که تقویت کننده ما عملکرد خوبی دارد.

واژه های کلیدی: شبکه عصبی، تقویت کننده کسکد، نانوتیوپ.

^۱ Jose Silva-Martinez

^۲ Cameron Charles

۱. مقدمه

نیاز زیادی به تکنولوژی‌هایی وجود دارد که پزشکان و عصب‌شناسان را قادر می‌سازد تا فعالیت تعداد زیادی نورون در مغز را مشاهده کنند. ثبت‌های عصبی چند الکترودی در حال تبدیل شدن به فرآیندی استاندارد در تحقیقات عصب‌شناسی پایه هستند و دانش بدست آمده از این مطالعات در حال توانمند سازی کاربردهای پزشکی و عصب‌شناسی است. با وجود اینکه مدارهای مجتمع الکترونیک برای تقویت مقیاس کوچک سیگنال‌های بیوالکتریک ضعیف توسعه داده شده (دگرو^۱، ۱۹۸۵) و (السون^۲، ۲۰۰۲)؛ اما معمولاً مدارهای موجود سطح نویز غیر قابل قبولی دارند یا برای کاشت کامل در اندازه‌های بزرگ به توان مصرفی زیادی نیاز دارند. تقویت‌کننده‌ها باید توان اندکی تلف کنند تا بافت‌های اطراف عصب از حرارت آسیب نبینند. شار گرمایی اندکی در حدود 80 mW/cm می‌تواند موجب نکروسیس در بافت ماهیچه شود. (سیس^۳، ۱۹۹۸) بنابراین توان مصرفی برای کاشت‌های chronic نباید بیش از چند صد میلی‌وات شود. در نتیجه برای یک سیستم ۱۰۰۰- الکترودی حداکثر اتلاف توان هر تقویت‌کننده 1 mW است که شامل توان مورد نیاز اجزای دیگر در سیستم کاشته شده مانند تله متری نیست.

به دلیل اثرات الکتروشیمیایی در واسط الکتروباخت. آفست‌های ۱-۲-۷ در دو سر الکترون‌های ثبت تفاضلی متداول است (فریس^۴، ۱۹۷۸). این مقاله طراحی یک تقویت‌کننده مناسب برای ثبت سیگنال‌های عصبی را ارائه می‌دهد.

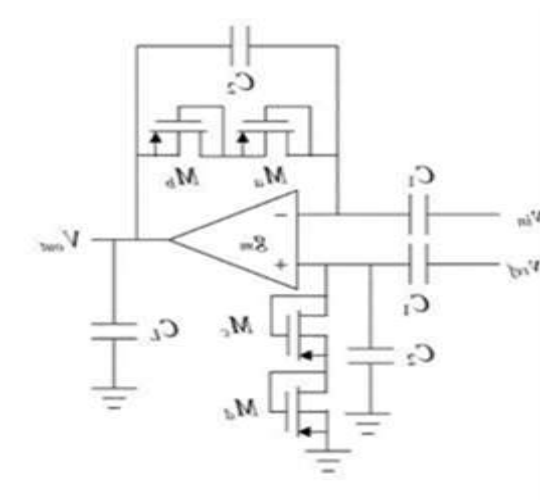
۲. طراحی تقویت‌کننده عصبی

شکل (۱) شماتیک طراحی بیو تقویت‌کننده ما را نشان می‌دهد. این مدار برای اولین بار در (هریسون^۵، ۲۰۰۲) ارائه شده است. بهره وسط باند A_m توسط $c1/c2$ تنظیم و در مواردی که $c1 > c2$ باشد. پهنای باند تقریباً gm است، هدایت انتقالی تقویت‌کننده می‌باشد عملیاتی هدایت انتقالی (شکل ۲) می‌باشد.

۲-۱. المان‌های شبه مقاومت دو قطبی mos

ترانزیستورهای M_d, M_a ترانزیستورهای mos دو قطبی هستند که به عنوان شبه مقاومت با v_{gs} منفی عمل می‌کنند، هر ترانزیستور به عنوان ترانزیستور pmos با خصوصیات دیودی عمل می‌کند؛ که v_{gs} آن مثبت، در نتیجه ترانزیستور پیوند دو قطبی p-n-p پارازیتی فعال میشود و ترانزیستور Bjt با اتصال دیودی عمل می‌کند (دلبروک^۶، ۱۹۹۴) ما از دو ترانزیستور mos دو قطبی سری برای کاهش اعوجاج سیگنال‌های خروجی بزرگ استفاده می‌کنیم. علیرغم ثابت زمانی طولانی، تغییر بزرگ در ورودی منجر به ولتاژ بزرگ در دو سر المان‌های mos دو قطبی می‌شود و مقاومت‌های افزایشی آن را کاهش می‌دهد و زمان نشت سریعی بدست می‌آید.

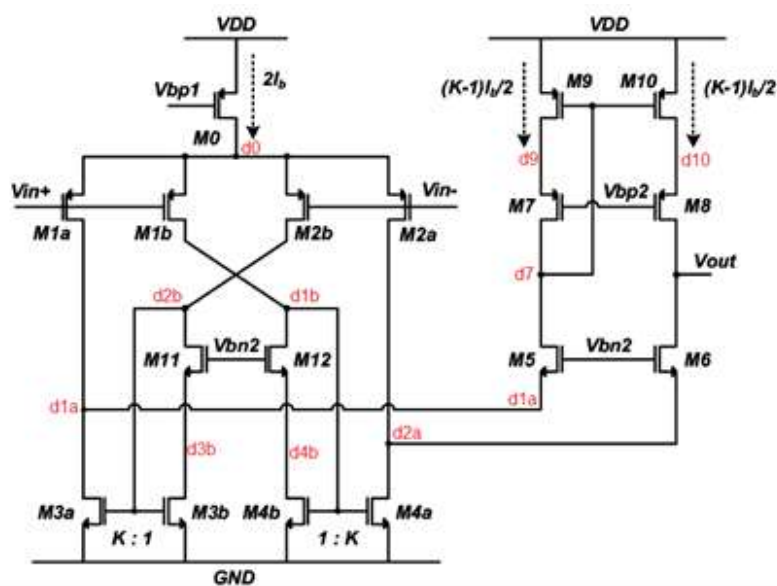
1-M. Degrauwe
2-R. H. Olsson
3-T. M. Seese
4-C.D.Ferris
5-R. R. Harrison
6-T. Delbrück



شکل ۱: تقویت کننده عصبی

۳. مدار پیشنهادی

شکل (۲) براساس ساختار فولد د کسکود مرسوم ارائه شده است. اصلاح ساختار مرسوم باعث افزایش ترانسانسی، گین و سلوریت شده است. در ساختار مرسوم $M3$ و $M4$ تنها وظیفه فراهم کردن گره تا شده برای جریان سیگنال کوچک ناشی از $M1$ و $M2$ را دارد. برای اصلاح این ساختار غیر بهینه از ترانزیستورهای $M3$ و $M4$ به عنوان ترانزیستورهای درایو استفاده شده است. برای این منظور ابتدا ترانزیستورهای ورودی به $M1a$ و $M1b$ ، $M2a$ و $M2b$ تقسیم می شوند، سپس $M3$ و $M4$ برای تشکیل دادن آینه جریان $M3a:M3b$ و $M4a:M4b$ تقسیم می شوند. اتصالات ضربدری آینه های جریان باعث می شوند که جریان های سیگنال کوچک به سورس ترانزیستورهای $M5$ و $M6$ اضافه شوند. بدین ترتیب اضافه کردن آینه های جریان باعث افزایش گین DC مدار می شود. استفاده از تکنولوژی نانوتیوب باعث افزایش گین و کاهش توان مصرفی و نویز نسبت به CMOS می شود اما در مقابل سرعت مدار و فرکانس کاری آن کاهش پیدا می کند.



شکل ۲: تقویت کننده

۴. نتایج شبیه سازی

مشاهده می کنیم که توان مصرفی برابر $44 \mu\text{W}$ است.

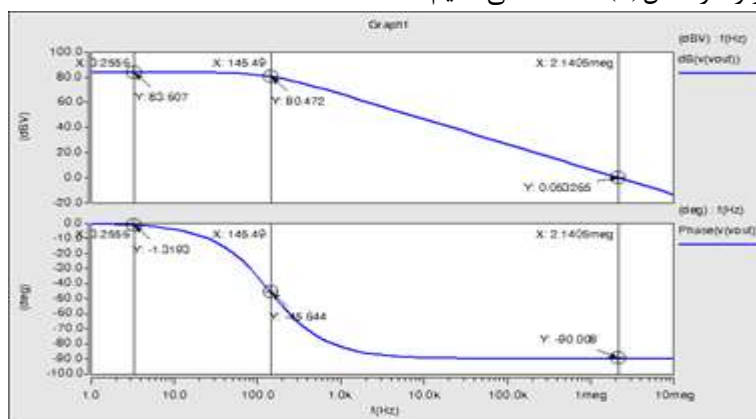
**** voltage sources

subckt element	0:vdd	0:vbp1	0:vin+	0:vin-	0:vbn2
volts	1.800e+00	1.349e+00	9.414e-01	9.414e-01	8.586e-01
current	-2.459e-05	-1.350e-12	-9.414e-13	-9.414e-13	-8.586e-13
power	4.427e-05	1.822e-12	8.862e-13	8.862e-13	7.372e-13

subckt element	0:vbp2	0:vbp3
volts	9.414e-01	1.400e+00
current	-9.414e-13	-1.400e-12
power	8.862e-13	1.960e-12

total voltage source power dissipation= 44.27e-06 watts

پاسخ فرکانسی و فاز مدار را در شکل (۳) مشاهده می کنیم.



شکل-۳: پاسخ فرکانسی و فاز مدار

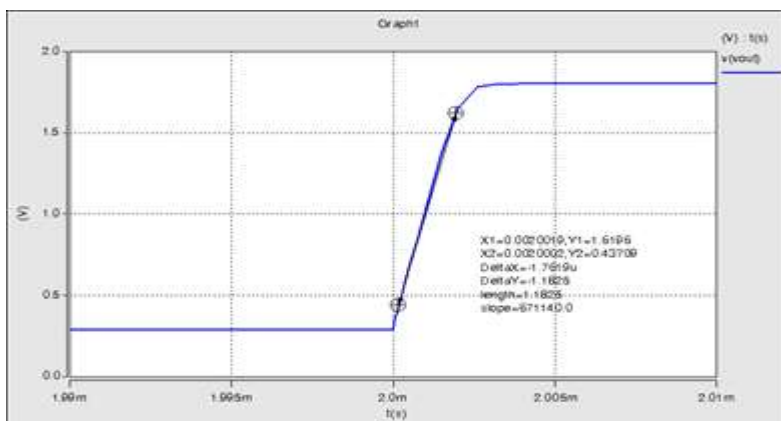
با توجه به شکل اخیر موارد زیر قابل استخراج هستند:

Gain = 83 dB

Unity Gain Bandwidth = 2.1MHz

Phase Margin = 90

گین مدار برابر 83dB است که برای یک طبقه بسیار بالا است و این باز یکی دیگر از مزیت های تکنولوژی نانوتیوب است. فرکانس بهره واحد و فرکانس افت 3dB به ترتیب برابر 2.1 MHz و 145Hz است. یکی از دلایل کاهش فرکانس کاری جریان بسیار کم مدار است که باعث کاهش $gm1$ و به طبق آن فرکانس کاری شده است. حاشیه فاز مدار نیز برابر 90 درجه است که با توجه به یک طبقه بودن مدار قابل پیش بینی است برای محاسبه Slew Rate با توجه به متن مقاله، یک پله در فرکانس 250Hz به مدار اعمال می کنیم و خروجی را بررسی می کنیم، در شکل زیر نتیجه حاصل از شبیه سازی آمده است.

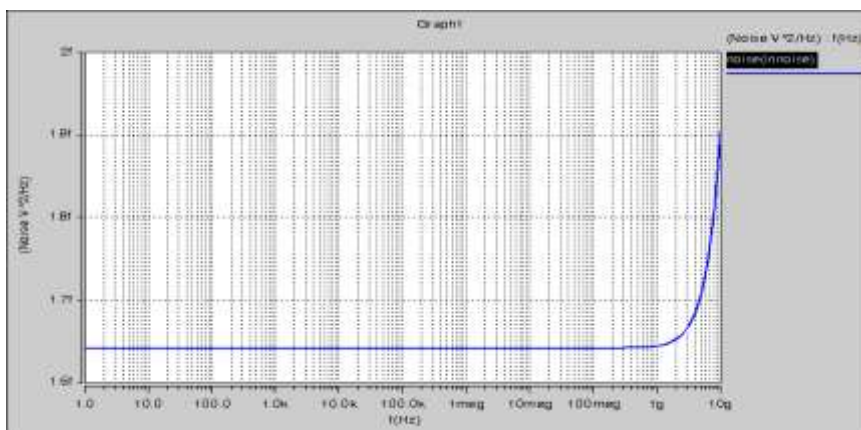


شکل ۴: Slew Rate

با توجه به شکل درمیابیم که: $SR-RFC1 = 0.72 \text{ V/uS}$

همانطور که میدانیم سلوریت مدار نسبت جریان بایاس ورودی به خازن بار در خروجی است. خازن بار برابر 5.6pF است. با توجه به پایین بودن جریان ورودی انتظار کاهش سرعت مدار را داشتیم. افزایش سرعت مدار برابر است با افزایش توان مصرفی که با هدف ما مغایرت دارد.

در شکل (5) نویز ارجاعی به ورودی را مشاهده می کنیم. در تکنولوژی نانو تیوب (بر خلاف CMOS) نویز در فرکانس های پایین کم و ثابت است و در فرکانس های خیلی بالا شروع به افزایش می کند. مشاهده می کنیم که نویز مدار تا فرکانس حدود 1GHz برابر $1.64 \text{ V}/\sqrt{\text{HZ}}$



شکل ۵: نویز ارجاعی به ورودی

۵. نتیجه گیری

یک تقویت کننده نانو تیوپ با توان مصرفی $44\mu W$ و نویز ورودی $1.64\mu V_{rms}$ ارائه شده است. تقویت کننده ارائه شده در این مقاله به پاسخ فرکانسی بسیار پایین می رسد همچنین توان مصرفی مدار را کاهش دادیم تا از رسیدن آسیب به شبکه عصبی جلوگیری شود.

تقویت کننده کسکد	تقویت کننده OTA	
44	80	توان
۱.۶	2.2	نویز

مراجع:

- 1-Rida S, Jose Silva-Martinez." The Recycling Folded Cascode: A General Enhancement of the Folded Cascode Amplifier".IEEE.J. SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 44, NO. 9, SEPTEMBER 2009
- 2- Reid R, Cameron Charles. "A Low-Power Low-Noise CMOS Amplifier for Neural Recording Applications".IEEE J. SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 38, NO. 6, JUNE 2003
- 3-M. Degrauwe, E. Vittoz, and I. Verbauwhede, "A micropower CMOS instrumentation amplifier," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-20, pp. 805–807, June 1985.
- 4- R. H. Olsson, III, M. N. Gulari, and K. D. Wise, "Silicon neural recording arrays with on-chip electronics for in-vivo data acquisition," in Proc. IEEE-EMBS Special Topic Conf. Microtechnol. Medicine Biol., 2002, pp. 237–240.
- 5- T. M. Seese, H. Harasaki, G. M. Saidel, and C. R. Davies, "Characterization of tissue morphology, angiogenesis, and temperature in the adaptive response of muscle tissue to chronic heating," Lab. Invest., vol. 78, no. 12, pp. 1553–1562, 1998.
- 6- C.D.Ferris, Introduction to Bioinstrumentation. Clifton, NJ: Humana, 1978.
- 7- R. R. Harrison, "A low-power, low-noise CMOS amplifier for neural recording applications," in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, vol. 5, 2002, pp. 197–200.
- 8-T. Delbrück and C. A. Mead, "Analog VLSI adaptive, logarithmic wide- dynamic-range photoreceptor," in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, vol. 4, 1994, pp. 339–342.

A Low-Power Low-Noise Carbon Nanotube Amplifier for Neural Recording Applications

Mohammad Reza Ghamari¹, Mohammad Reza Ghahri²

1- Iran, Islamic Azad University of Malayer, Electrical Power Group

2- Iran, Islamic Azad University of Malayer, Electrical Power Group

Abstract

In this study, using the nanotube technology we designed a booster (Martins, 2009) which is mainly used to record nervous signals (Charles, 2003). Nervous boosters must have little noise and power so as not to traumatize nervous networks, because the resulting heat from high power can destroy nervous tissues. We have lowered noise and power in this circuit. Orbital simulations have been done using Hspice software and nanotube technology. The simulation results indicate that our booster has a good performance.

Keywords: Neural Recording, Folded Cascode Amplifier, Carbon Nanotube
