

## مقایسه پنج مدار تقویت کننده CMOS-OTA ، طراحی شده از طریق تکنولوژی بالک درایو

مریم قدیری مدرس ۱، دکتر مهدی دولتشاهی ۲

(۱) کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ، ghadirfarzan@yahoo.com

(۲) استاد یار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ، me\_dolatshahi@yahoo.com

چکیده - در این مقاله برآنیم که پنج مدار طراحی شده، به روش راه اندازی از طریق بدنه را با یکدیگر مقایسه نماییم. هدف اصلی استفاده از این تکنیک ، کاهش ولتاژ تغذیه مدار و به دنبال آن کاهش توان مصرفی می باشد. هر یک از این مدارها به طور جداگانه طراحی شده اند. در اینجا نتایج حاصل از طراحی آنها را که در تکنولوژی 0.18 میکرون در نرم افزار HSPICE شبیه سازی و آنالیز شده است ، مورد بررسی و تحلیل قرار می دهیم. با توجه به اینکه هر کدام ، تکنولوژی راه اندازی از طریق بدنه را با سایر تکنولوژی ها تلفیق نموده اند ، اثر آن روش را بر روی توان مصرفی و میزان بهره و پهنای باند مدار بیان می کنیم . همچنین تاثیر تغییرات دما بر روی میزان بهره و برخی پارامترهای دیگر را نیز از نظر می گذرانیم.

کلید واژه- OTA , Feed Forward , راه اندازی از طریق بدنه, bulk driven

ترانزیستور داده می شود و این امر باعث می گردد ولتاژ آستانه بسیار کاهش و حتی حذف شود. در نتیجه می توانیم از ولتاژ تغذیه ی کمتری برای راه اندازی مدار استفاده نماییم که منجر به کاهش توان مصرفی مدار می گردد.

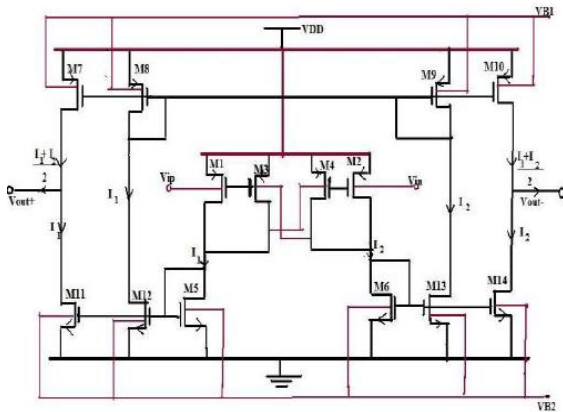
### ۱- مقدمه

در سالهای اخیر طراحی مدارهایی با توان مصرفی پایین، در تکنولوژی ساخت مدارهای مجتمع CMOS، باعث پیشرفت قابل ملاحظه ای در ساخت تجهیزات قابل حمل و نقل شده است. از عناصر اصلی یک سیستم آنالوگ یا دیجیتال، تقویت کننده می باشد. تقویت کننده ی هدایت انتقالی (OTA)، در مدارهای مختلفی از جمله فیلترهای زمان پیوسته، نوسان سازها، کنترل کننده های بهره اتوماتیک و ضرب کننده ها از بلوکهای بسیار مهم ، به شمار می آید.

### ۲- روش عملکرد مدار OTA راه اندازی شده از طریق بدنه

در راه اندازی ترانزیستورها از طریق گیت ، ولتاژ گیت - سورس ، جریان درین را کنترل می نماید. اما چنانچه راه اندازی آنها را از طریق پایه بالک (Bulk) انجام دهیم ، ولتاژ  $V_{th}$  یا ولتاژ آستانه با  $V_{BS}$  (ولتاژ بالک - سورس) کنترل می گردد و در نتیجه جریان درین تنظیم می شود. در این حالت، حتی وقتی ورودی صفر است

از روش های مطرح طراحی تقویت کننده به منظور کاهش توان مصرفی ، روش راه اندازی از طریق بالک یا همان پایه ی بدنه در ترانزیستور می باشد. در این روش ورودی به پایه ی چهارم



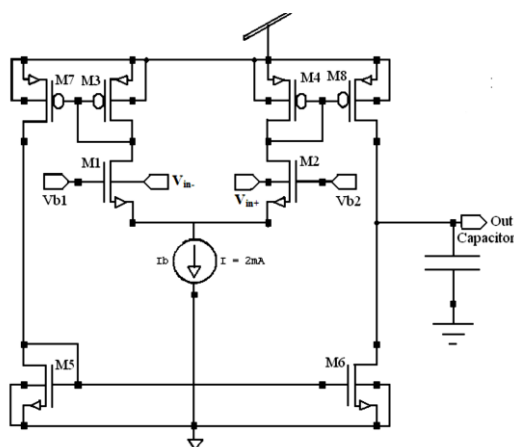
شکل (۲) مدار طراحی شده با استفاده از تکنیک های Bulk driven و Feed forward

در این مدار سیگنال ورودی به پایه های بالک ترانزیستورهای از نوع P-MOS، M1, M2 داده می شود. جریان درین ترانزیستورهای ورودی براساس مرجع [۲]، طبق رابطه ۲ محاسبه می شود.

(۲):

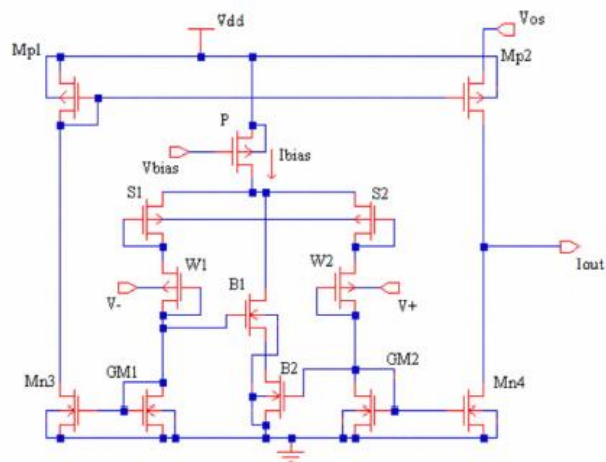
$$I_d = \frac{W}{L} \mu \left( \frac{KT}{q} \right)^2 \sqrt{\frac{qesiNch}{4\phi f}} \exp\left(\frac{VGS-VT}{nKT/q}\right)$$

سومین مدار مطرح شده در این طراحی، مدار شکل ۳ از مرجع [۳]، می باشد. این مدار متقارن است و از پایداری حرارتی خوبی برخوردار می باشد.



شکل (۳) مدار راه اندازی OTA با تکنیک بالک درایو و تکنیک Balance

نیز ترانزیستور می تواند فعال باشد. شکل ۱ مربوط به مرجع [۱]، اولین مدار طراحی شده بر این اساس است



شکل (۱) مدار راه اندازی OTA با تکنیک بالک درایو خطی

جریان ترانزیستور MOS در راه اندازی زیر آستانه بر طبق مرجع [۱]، از رابطه ی زیر بدست می آید:

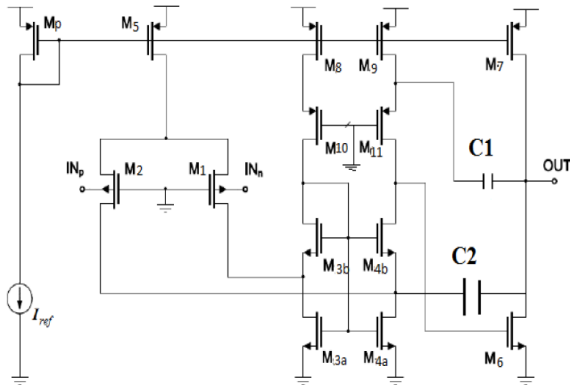
$$I = I_0 e^{-k Vgs/VT} e^{-(1-k)Vbs/VT} \quad (1)$$

که در آن k مقدار ثابت توان زیر آستانه و I<sub>0</sub> پارامتر exp زیر آستانه و VT=kT/q می باشد.

در این مدار مربوط به شکل ۱، ترانزیستورهای W1, W2 زوج تفاضلی ورودی می باشند که به بالک آنها ورودی متصل می شود. ترانزیستورهای B1, B2 برای برطرف نمودن اثرات پارازیتیک استفاده می شوند. در این مدار به منظور حذف آفست و افزایش بهره DC مدار، از آینه جریان ویلسون استفاده شده است. ترانزیستورهای Mp1, Mp2, Mn3, Mn4 در شکل ۱ آینه جریان را در مدار تشکیل می دهند.

در مدار شکل ۲ از مرجع [۲]، دومین تقویت کننده هدایت انتقالی را داریم که در این طرح از تکنیک Feed forward، برای داشتن بهره ی بیشتر و پایداری مناسب تر استفاده نموده است.

۱۳۹۴-۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

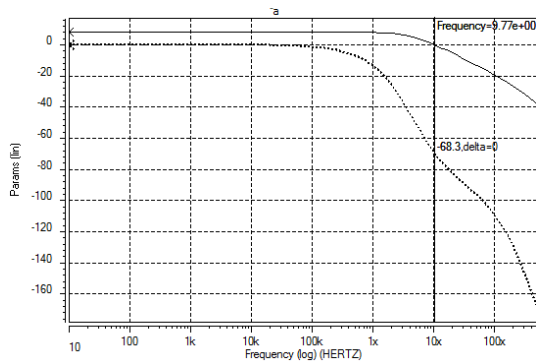


شکل (۵) مدار Bulk Driven به صورت Hybrid

پایداری حرارتی این مدار نیز نسبتاً خوب است .

### ۳- نتایج شبیه سازی ومقایسه بهره وپهنای باند هر مدار

در این قسمت نمودار حاصل از طراحی هر مدار، نمایش داده می شود.



شکل (۶) بهره مدار Linear-OTA

وقتی ترانزیستورهای ورودی زوج تفاضلی در ناحیه ی اشباع عمیق قرارگیرند ، ولتاژ آستانه آنها از رابطه زیر بدست می آید.

[۳]

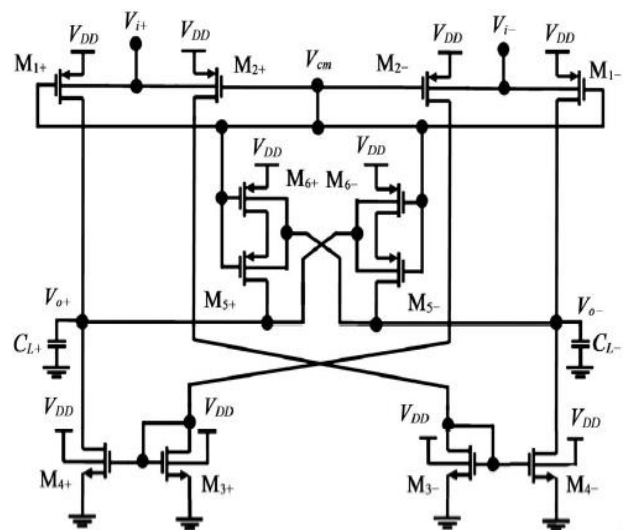
(۳):

$$|V_{th}| = |V_{th0}| + |\gamma|[\sqrt{2|\phi_f|} + V_{BS} - \sqrt{2|\phi_f|}]$$

در اینجا  $V_{THO}$  ولتاژ Threshold می باشد، وقتی  $V_{BS}$  صفر در نظر گرفته شود،  $\gamma$  پارامتر اثر دهنده است و  $\phi_f$  پتانسیل فرمی می باشد.

مدار rail to rail مرجع [۴]، راه اندازی شده از طریق بدنه

دارای بهره ی بسیار زیاد می باشد. اما پایداری حرارتی این مدار کم است .



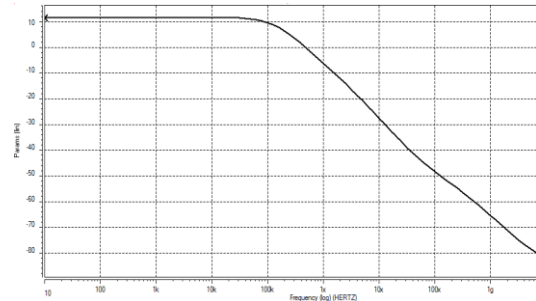
شکل (۴) مدار طرح چهارم که با تکنیک Bulk drive و rail to rail طراحی شده است.

مدار آخر طراحی شده براساس مرجع [۵] ، به صورت شکل ۵

می باشد ودر این مدار برای داشتن تعادل ، ترانزیستورهای  $M_8, M_9$  را در شرایط یکسان طراحی می نمایم.

شکل (۱۰) بهره مدار Hybrid-OTA

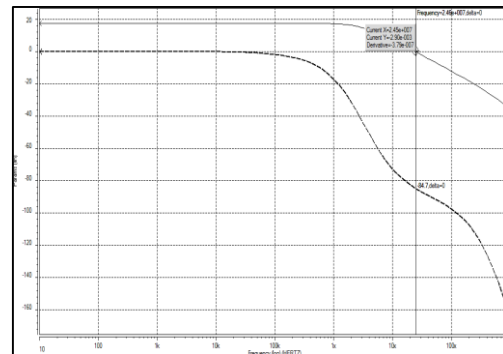
همانطور که ملاحظه می‌شود، نتایج حاصل از مقایسه این پنج مدار OTA راه اندازی شده از طریق بدنه را می‌توان به صورت جدول زیر خلاصه نمود.



شکل (۷) بهره مدار Feed forward-OTA

جدول (۱): بهره مدارهای طراحی شده

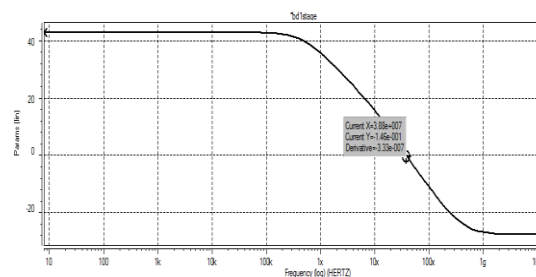
نوع مدار	Open loop gain
Linearity-OTA	8.4dB
Feed forward-OTA	11.6dB
Balance -OTA	17.4dB
rail to rail-OTA	39dB
Hybrid-OTA	22dB



شکل (۸) بهره مدار Balance-OTA

ملاحظه می‌شود، مدار rail to rail-OTA از لحاظ بهره بیشترین مقدار را دارد.

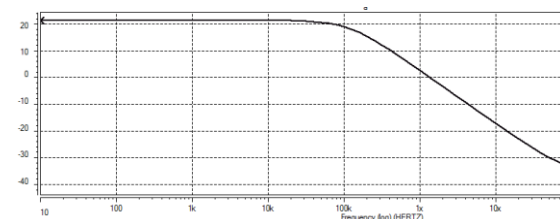
جدول زیر نیز پهنای باند مدارهای فوق را مقایسه می‌نماید.



جدول (۲): پهنای باند مدارهای طراحی شده

شکل (۹) بهره مدار rail to rail-OTA

نوع مدار	Unity gain bandwidth
Linearity-OTA	10 MHZ
Feed forward-OTA	0.5MHZ
Balance -OTA	26.1MHZ



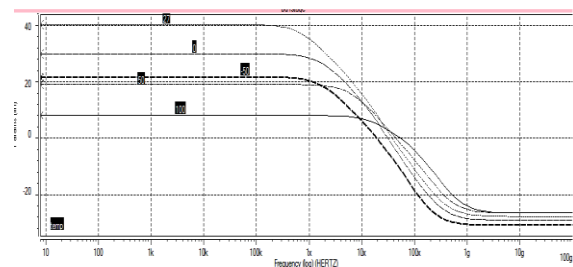
ترین و Linearity-OTA بیشترین توان مصرفی را داراست که به دلیل زیاد بودن ولتاژ تغذیه DC آن یعنی  $1/3$  ولت می باشد. ولتاژ تغذیه Feed forward-OTA ،  $1/5$  ولت و Hybrid-OTA،  $1/7$  ولت و همچنین Balance -OTA ،  $1/8$  ولت و-rail to rail-OTA نیز،  $1/2$  ولت می باشد.

rail to rail-OTA	38MHZ
Hybrid-OTA	1.3MHZ

مجدداً ملاحظه می شود ، مدار rail to rail-OTA دارای پهنای باند بیشتری نسبت به سایرین است .اما مشکل اصلی این مدار ناپایداری آن است که در شکل ۱۱ این ناپایداری نسبت به دما ، با شکل ۱۲ مربوط به مدار Balance -OTA مقایسه شده است.

جدول (۳):توان مصرفی مدارهای طراحی شده

نوع مدار	Power consumption
Linearity-OTA	133uw
Feed forward-OTA	15uw
Balance -OTA	58.18uw
rail to rail-OTA	38uw
Hybrid-OTA	57uw



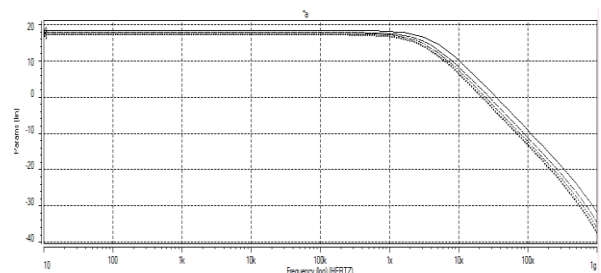
شکل (۱۱) نمودار تغییرات دما و اثر آن بر روی بهره rail to rail-OTA

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله بررسی پنج طرح مدار تقویت کننده هدایت انتقالی که از تکنیک بالک درایو استفاده نموده اند انجام شد.نتایج نشان داد که هر یک از آنها دارای مزایا و معایب مخصوص به خود می باشند و باید بر اساس نیاز و اهمیت موضوع ، در مدار های مورد نیاز از هر یک استفاده نمود.

#### سپاسگزاری

در پایان از استاد گرامی جناب آقای دکتر ابراهیم برزآبادی به پاس زحماتشان ، قدردانی می نمایم.



شکل (۱۲) نمودار تغییرات دما و اثر آن بر روی بهره rail to rail-OTA

در جدول ۳ نیز مقادیر مربوط به توان مصرفی هر طرح آورده شده است. طرح Feed forward-OTA ، نسبت به بقیه کم مصرف

## مراجع

- [1] Nikhil raj , panitesh gupta and vikram chopra "Bulk driven ota in 0.18 micron with high linearity "IEEE Computer Science and Information Technology (ICCSIT) , july 2010 ,vol.8,pp.478-482.
- [2] Saurabh Kamboj and Arvind Kumar" A low voltage bulk driven feed forward OTA" ,International Journal of Engineering Research & Technology ,August 2012,vol.1,pp.1-5.
- [3] Neha Gupta , Sapna Singh and Priyanka Sonia "low power low voltage bulk driven balanced OTA ",international journal of VLSICS ,December 2011,vol.4,No.4,pp.131-141.
- [4] A. Ahmad Pour " An Ultra Low-Voltage and Low-Power OTA Using Bulk-Input Technique and Its Application in Active-RC Filters", Circuits and Systems ,May 2011,vol. 2,pp. 183-189.
- [5] Seyede Sara Hassani,Abbas Golmakani "A 0.5v,900uW CMOS OTA Using Bulk Driven and Hybrid compensation technique ", Majlesi Journal of Telecommunicate Devices, June 2014, vol 3,No 2,pp.71-75.
- [6] F. khateb "Utilizing the bulk driven technique in low voltage low power integrated circuits design", SHORT VERSION OF Habilitation Thesis ,Brno, 2011,PP.1-37.
- [7] Y. Haga and Lkale "Class-AB rail-to-rail CMOS buffer with bulk driven super source followers", 2009.
- [8] J. Rosenfeld, M.Kozak,and Eby G.Friedman ,"A 0.8 volt high performance OTA using bulk-driven MOSFETs for low power Mixed-signal SOCs" , IEEE,2003,pp.244-245.