

طراحی و شبیه‌سازی تقویت‌کننده کم نویز دو بانده با توان مصرفی پایین برای کاربردهای شبکه‌های بی‌سیم محلی

نویسندگان: ۱- امید اسلامی فر، ۲- مریم اسلامی فر

(۱) دانشگاه آزاد اسلامی، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علمی مهندسی برق، تهران، ۱۳۵۴۸-۱۴۴۱۵، ج.ا.ایران، omideslamifar@yahoo.com

(۲) دانشگاه پیام نور، کارشناسی ارشد گروه علمی مهندسی کامپیوتر، تهران، ۱۳۵۴۸-۱۴۴۱۵، ج.ا.ایران، mslmifar3000@yahoo.com

چکیده

در مقاله زیر طراحی و شبیه‌سازی تقویت‌کننده کم نویز (LNA) با استفاده از ترانزیستورهای مکمل اکسید فلز- نیمه هادی (CMOS) با توان مصرفی پایین برای برنامه‌های کاربردی شبکه‌های بی‌سیم محلی (WLAN 802.11) ارائه شده است. جهت تطبیق ورودی از سوئیچ خازن خارجی متصل به گره ورودی گیت- سورس ترانزیستور در ۲ باند ۲.۴ و ۵.۲ گیگا هرتز استفاده شده است. در ساختارهای همزمان با استفاده از فرکانس تشدید مدار تانک LC فرکانس مورد نظر انتخاب می‌شود در حالی که در ساختار LNA پیشنهادی تنها با اضافه کردن یک سوئیچ خازنی به ساختار سورس دجنریت شده معمولی این انتخاب فرکانس انجام می‌شود. این کار باعث کاهش فضای اشغال شده در مدار نسبت به دیگر ساختارها دارد. علاوه بر این، استفاده از تکنیک سوئیچ ترانزیستوری باعث کاهش میزان توان مصرفی در مقایسه با دیگر ساختارها دارد. LNA پیشنهادی دارای منبع تغذیه ۱ ولتی و جریان ۲.۳ میلی آمپری است. مدار دارای پارامترهای پراکندگی S11 و S22 کمتر از -۱۹- دسیبل در هر دو باند فرکانسی و دارای عدد نویز ۲.۳ و ۵.۳ دسیبل به ترتیب در فرکانس ۲.۴ و ۵.۲ گیگاهرتز است. بهره توان بزرگتر از ۲۰ دسیبل است.

واژه‌های کلیدی: تقویت‌کننده کم نویز، شبکه‌های بی‌سیم محلی، فرکانس رادیویی (RF)، سوئیچ خازنی

۱- مقدمه

سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم با استاندارد های مختلف در فرکانس‌های بین ۸۰۰ مگا هرتز تا ۶ گیگا هرتز کار می‌کنند بنابراین دریافت دو و یا چند باند فرکانسی تنها با یک ترمینال بی‌سیم مطلوب است. امروزه شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN) به طور گسترده‌ای در منازل و ادارات استفاده می‌شود و توانایی پشتیبانی ارتباطات و داده‌های نرخ بالا را دارا هستند. افزایش تقاضا انگیزه معرفی استانداردهای جدید WLAN مانند IEEE802.11a، IEEE802.11g را برای پاسخگویی به الزامات نرخ بالای داده‌ها ایجاد کرده است با این حال استانداردهای مختلف WLAN چالش‌های قابل توجهی در طراحی فرکانس رادیویی (RF) بخش جلوی نظیر تقویت‌کننده‌های کم نویز و سوئیچ‌ها بوجود آورده است.

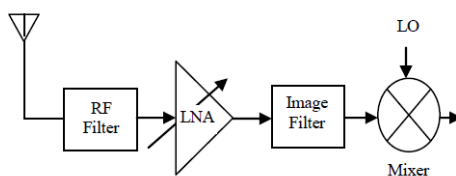
یکی از این چالش‌ها پایانه‌های استاندارد تقویت‌کننده‌های کم نویز (LNA) چند بانده است. استفاده از LNAهای موازی، همزمان و یا پهن باند از روش‌هایی هستند که به طور معمول در گیرنده‌های چند بانده بکار گرفته می‌شوند.

در LNAهای موازی برای هر باند فرکانسی یک LNA تخصیص داده می‌شود [1]. این رویکرد نیاز به فضای مرده اضافی برای LNA دارد. علاوه بر این سوئیچینگ انتخاب باند ترتیب معرفی این سوئیچ در گیرنده پیچیده می‌شود. LNA های همزمان تطبیق ورودی دوگانه در باند فرکانسی مختلف [2] و LNA های پهن باند تطبیق پهن باندی را ورودی فراهم می‌سازد [3]، LNAهای همزمان و پهن باند فضای کمتری را اشغال می‌کنند اما هنوز نیاز به سلف اضافی خطی ترو مصرف توان بالاتر هستند.

یک طراحی LNA ساده موجود سوئیچ ترانزیستور در ورودی سوئیچ خازن، و یا سلف بار است [4,5]. طرح LNA موجود دیگر توسط سوئیچ خازن موازی خارجی با ترانزیستور ورودی و سوئیچ خازن بار برای تنظیم باندهای مختلف فرکانس است که به یکدیگر بسیار نزدیک است [6] با این حال برای کاربردی دو گانه باندهای ۲.۴ و ۵.۲ گیگاهرتز، تنظیم خروجی با استفاده از اختلاف فرکانس در تنظیم خازن بار بسیار دشوار است در این مقاله LNA دوبانده برای کاربردهای WLAN با تعویض خازن خارجی موازی با C_{gs} ترانزیستور ورودی و تعویض سلف در باند خروجی ارائه شده است.

۱-۱- استانداردهای چندگانه گیرنده جلویی

یک گیرنده با استاندارد چند گانه را می‌توان با یکپارچه سازی ماژول های مختلف از هر استاندارد بر روی یک تراشه سخت افزاری با استفاده از نرم افزار رادیویی (SDR) اجرا کرد [2] نمونه گیرنده با استاندارد چند گانه جلویی شامل LNA تنظیم پذیر یک فیلتر و کلید در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: گیرنده جلویی برای استانداردهای چند گانه

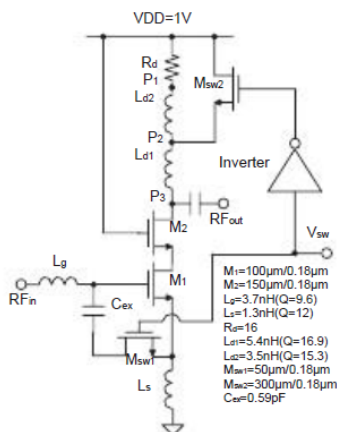
محبوب ترین استانداردهای که در حال حاضر در حال استفاده هستند عبارتند از ارتباطات متقابل سراسری برای دسترسی های فرکانس مایکروویو (Wimax)، تقسیم چند گانه کد دسترسی (CDMA2000)، سیستم جهانی ارتباطات موبایل (GSM)، CDMA پهن باند، سیستم های مخابرات تلفن همراه با بخش بندی زمانی (UMTSTDD) و بلوتوث (BT) [3] و [4]. فرکانسهای استاندارد در سیستم های مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ فرکانس های استانداردهای انتخاب شده

استاندارد	فرکانس کاری (گیگاهرتز)
CDMA2000	1.7
GSM	1.9
WCDMA	2.1
WIMAX	2.3
Bluetooth/WLAN	2.4
UMTSTDD	2.5

۲- ساختار LNA و طراحی مدار

شکل ۲ مدار LNA پیشنهادی را نشان می‌دهد. ساختار کسکود با سورس دجنریت شده دارای مزایای از جمله ایزولاسیون خوب، بهره بالا و کاهش اثر میلراست. سوئیچ‌ها نیز می‌توانند از اکسید فلز نیمه هادی با کانال n در ترانزیستورهای اثر میدانی استفاده شود. اندازه‌ترانزیستورهای M_{sw1} و M_{sw2} با توجه به میزان مقاومت‌ها و خازن‌های پارازیتی سوئیچ تعیین می‌شوند. بخش اینوتور شامل یک کلید جهت خاموش و روشن کردن کلیدها است. همچنین اندازه اینوتور با توجه به حداقل اندازه ترانزیستور تعیین می‌شود تا اثر منفی در کارایی LNA نداشته باشد.



شکل ۲: شماتیک LNA دو بانده پیشنهادی با سوئیچ ترانزیستوری

۲-۱- تطبیق ورودی و تطبیق نویز

شکل ۳ مدار معادل سیگنال کوچک ترانزیستور ورودی زمانی که M_{sw1} خاموش و روشن است را نشان می‌دهد. هنگامی که M_{sw1} در حالت خاموش است مدار در فرکانس ۵.۲ گیگاهرتز عمل می‌کند و امپدانس ورودی LNA مطابق شکل ۲ الف خواهد بود در نتیجه داریم.

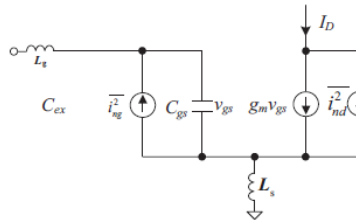
$$Z_{in,H} = \frac{g_m L_s}{C_{GS}} + j(\omega_H(L_s + L_g) - \frac{1}{\omega_H C_{GS}}) \quad (1)$$

در نتیجه G_m ، C_{gs} ، تراسانایی و کاپاستیانس ترانزیستور ورودی M_1 و ω_H فرکانس‌های مدار خواهند بود.

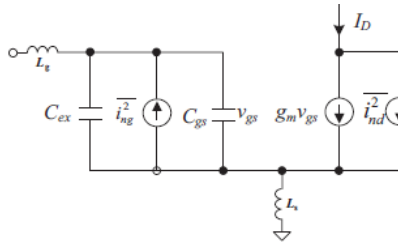
[7] در نتیجه امپدانس نویز بهینه برابر خواهد بود با

$$Z_{opt,H} = \frac{\alpha \sqrt{\frac{\delta}{5\gamma}(1-|C|^2)} + j(1-\alpha|C|\sqrt{\frac{\delta}{5\gamma}})}{\omega_H C_{GS} \left\{ \frac{\alpha^2 \gamma}{5\gamma}(1-|C|^2) + (1-\alpha|C|\sqrt{\frac{\delta}{5\gamma}}) \right\} - j\omega_H(L_s + L_g)} \quad (2)$$

که در آن پارامتر α مقداری برابر واحد ترانزیستورهای کانال بلند دارد و کاهش آن وابسته به کاهش میزان عرض کانال است. δ یک مقدار ثابت است که میزانی برابر ۴.۳ میزان عرض کانال خواهد داشت. پارامتر γ نیز دارای مقدار واحد در $V_{DS}=0$ و ۳.۲ در حالت اشباع کاری با ترانزیستورهای کانال بلند دارد. C نیز برابر $-0.395j$ برای ادوات کانال بلند است.



شکل ۳ الف مدار معادل سیگنال کوچک ترانزیستور ورودی در فرکانس ۵.۲ گیگاهرتز



شکل ۳ ب مدار معادل سیگنال کوچک ترانزیستور ورودی در فرکانس ۲.۲ گیگاهرتز

از (۱) و (۲) شرایط تطبیق نویز ورودی برابر است با

$$Z_{opt,H} = Z_{in}^* \quad (۳)$$

از (۳) داریم که بخش حقیقی $Z_{opt,H}$ بایستی برابر قسمت موهومی امپدانس ورودی و قسمت موهومی $Z_{opt,H}$ بایست موهومی مزدوج باشند.

زمانی که M_{SW1} روشن است. LNA در باند فرکانس ۲.۴ گیگا هرتز عمل می کند و امپدانس ورودی برابر است با:

$$Z_{in} = \frac{g_m L_s}{C_t} + j \left[\omega_L (L_s + L_g) - \frac{1}{\omega_L C_t} \right] \quad (۴)$$

که C_t مجموع کاپاسیتانس های $C_{ex} + C_{gs}$ در پایه گیت ترانزیستور ورودی M_1 است. و ω_L فرکانس کاری مدار است. بطور مشابه، امپدانس نویز بهینه برابر است

$$Z_{opt,L} = \frac{\alpha \sqrt{\frac{\delta}{5\gamma}(1-|C|^2)} + j(1-\alpha|C| \sqrt{\frac{\delta}{5\gamma}})}{\omega_H C_t \left\{ \frac{\alpha^2 \gamma}{5\gamma} (1-|C|^2) + (1-\alpha|C| \sqrt{\frac{\delta}{5\gamma}}) \right\} - j\omega_H (L_s + L_g)} \quad (۵)$$

از روابط ۴ و ۵ شرایط تطبیق ورودی و نویز برابر است با:

$$Z_{opt,L}^* = Z_{in,L} \quad (۶)$$

از رابطه ۶ دیده می شود که قسمت حقیقی $Z_{opt,L}$ می بایست برابر با امپدانس ورودی و قسمت موهومی $Z_{opt,L}$ و $Z_{in,L}$ می بایست موهومی مزدوج باشد.

از روابط ۳ و ۶ نتیجه می گیریم که مقدار سلف و جریان بایاس می بایست بگونه‌ای تنظیم شود تا نیاز نویز شبیه سازی و تطبیق امپدانس را برآورده کند.

۲-۲- تطبیق خروجی

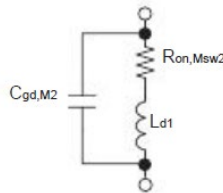
میزان سلف بار R_d بایستی به گونه‌ای انتخاب شود تا حداکثر بهره ولتاژ در خروجی را داشته باشیم. زمانی که M_{SW1} روشن است با خروجی شامل مقاومت کلید روشن M_{sw2} سری با L_{d1} مطابق شکل ۳ الف می شود. ایندر حالی است $C_{gd1,M2}$ کاپاسیتانس پارازیتی

طراحی و شبیه‌سازی تقویت‌کننده کم نویز دو بانده با توان مصرفی پایین برای کاربردهای شبکه‌های بی‌سیم محلی

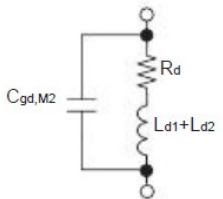
گیت درین در گره خروجی می‌باشد. بنابراین ضریبکیفیتبار (Q) سبب کاهش مقاومت کلید روشن و مقاومت R_d ترانزیستور M_{sw} می‌شود در نتیجه بهره تقویت کننده دو بانده فرکانس ۵.۲ گیگا هرتز کاهش می‌یابد.

زمانی که ترانزیستور M_{sw2} خاموش است بار خروجی برابر مقاومت R_d سری شده با $L_{d1}+L_{d2}$ مطابق شکل ۳ ب می‌شود مقاومت R_d تمایل به کاهش فاکتور Q در بانده فرکانس ۲.۴ گیگا هرتز دارد و تعیین دقیق آن برای تقویت کننده سبب بهره مناسب در مورد بانده فرکانس ۵.۲ گیگا هرتز دارد.

از آنجائیکه سلفها فضای زیادی را در تراشه اشغال می‌کنند سلف های L_{d1} و L_{d2} می‌توانند بصورت یک سلف تک برای پیاده سازی بر روی تراشه و افعی طراحی شوند تا فضای مرده کمتری نسبت به دوسلف جداگانه اشغال کنند. سلف تکی دارای شیاری است که مطابق شکل ۴ بین پورت دو ترمینال قرار می‌گیرد. با استفاده از نرم افزارهای شبیه سازی نظیر ADS (Agilent Advanced Design) اندازه حرکت، ضریب چرخش سلف و محل شیارها قابل تعیین است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که مقادیر مورد نیاز برای L_{d1} و L_{d2} برابر ۵.۴ و ۳.۵ نانوهارتری خواهد بود. مقدار مقاومت R_{on} ترانزیستور M_{sw2} برابر ۴.۹ اهم و R_d برابر ۱۶ اهم است. تقویت کننده طراحی شده دارای بهره سیگنالیکسانی در سراسر بانده فرکانسی است.



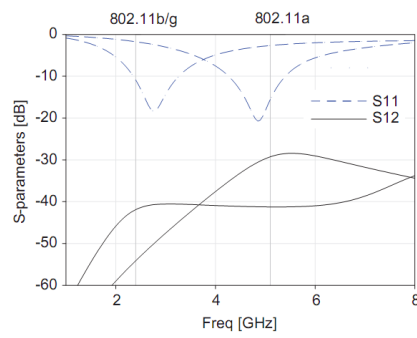
شکل ۴- الف بار خروجی در فرکانس ۵.۲ گیگاهرتز (روشن بودن کلید M_{sw2})



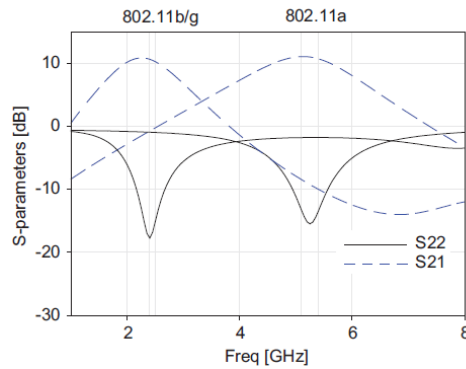
شکل ۴- ب بار خروجی در فرکانس ۲.۴ گیگا هرتز (خاموش بودن کلید M_{sw2})

۳- نتایج:

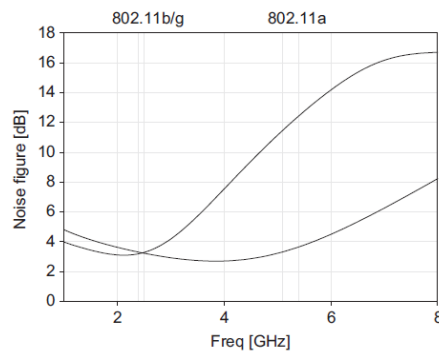
زمانی که LNA در بانده فرکانس ۲.۴ گیگا هرتز کاری کند کلید ترانزیستور M_{sw1} روشن و کلید ترانزیستور M_{sw2} خاموش است. جریان مصرفی LNA ۲.۳ میلی آمپر از منبع ولتاژ ۱ ولتی است. مطابق شکل ۶ میزان افت در تطبیق ورودی و خروجی کمتر از ۱۰- دسیبل است. بهره LNA برابر ۱۰.۴ دسیبل مطابق شکل ۷ است. عدد نویز نیز برابر ۳.۲ دسیبل است. در زمان عملکرد LNA در بانده فرکانس ۵.۲ گیگا هرتز، کلید ترانزیستور M_{sw1} خاموش و کلید ترانزیستور M_{sw2} روشن است. میزان جریان مصرفی در این حالت ۲.۳ میلی آمپر از منبع تولید ۱ ولتی است. مطابق شکل ۶ میزان افت در تطبیق ورودی و خروجی کمتر ۱۰ دسیبل است. بهره توان در این حالت ۱۱ دسیبل مطابق شکل ۷ و عدد نویز آن ۳.۵ دسیبل است.



شکل ۶- الف تلفات بازگشتی ورودی (S11) و ایزولاسیون معکوس (S12)



شکل ۶- ب بهره توان (S21) و تلفات برگشتی خروجی (S22)



شکل ۷: شبیه سازی عملکرد عدد نویز LNA دو بانده پیشنهادی

جدول ۲ خلاصه و مقایسه نتایج طراحی تقویت کننده کم دو بانده

مرجع	تکنولوژی مورد استفاده (نانومتر)	فرکانس کاری [GHz]	عدد نویز [dB]	بهره [dB]	[dB]S11	توان [mW]	تغذیه [W]
[3]	350	2.45	2.3	14(AV)	-2.5	10	2.5
		5.25	4.5	15.5(AV)	-15	10	
[6]	180	2.4	2.9	10.1	-10.1	11.7	1.8
		5.2	3.7	10.9	-11	5.7	
[7]	130	1.8	1.75	14.45	-11.52	7.5	1.5
		2.14	1.97	16.6	-15.18	7.5	
طرح پیشنهادی	180	2.4	3.2	10.4	<-10	2.3	1
		5.2	3.5	11	<-10	2.3	

۴- نتیجه گیری:

در این مقاله LNA دو بانده برای عملکرد در باند ۲.۴ گیگا هرتز و ۵.۲ گیگا هرتز ارائه شده است. برای بدست آوردن تطبیق ورودی از سوئیچ کردن خازن خارجی موازی با خازن‌های پارازیتی گیت سورس ترانزیستور ورودی استفاده شده است. برای تطبیق خروجی نیز از سوئیچینگ سلفی استفاده شده است. یکی از تکنیک‌های مفید جهت کاهش فضای مرده در روی تراشه به جای استفاده از دو سلف جداگانه در خروجی استفاده از یک سلف ماریپچی است که دارای دو شیار بین دو ترمینال در پورت خروجی است. در طراحی این LNA دو بانده از تکنولوژی ۱۸۰ نانومتر استفاده شده است طراحی LNA نشان می‌دهد که تلفات تطبیق ورودی و خروجی کمتر از ۱۰- دسیبل است. بهره توان LNA بالاتر از ۱۰ دسیبل برای ۲ بانده فرکانس و عدد نویز ۳.۲ دسیبل و ۳.۵ دسیبل به ترتیب برای بانده فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز و ۵.۲ گیگاهرتز است. استفاده از ساختار کسکود معمولی برای طراحی LNA می‌تواند یک راهکار مقرون به صرفه برای برنامه های WLAN با کاهش قابل توجه فضا باشد.

مراجع

- [1] S Wu, and B Razavi, "A 900 MHz/1.8 GHz CMOS receiver for dualband applications, *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 33, pp. 2178-85,
- [2] Ralf E. Schuh, Peter Eneroth and Peter Karlsson, "Multi-Standard Mobile Terminals", Proceedings of IST Mobile & Wireless Telecom. Summit, pp 174 - 178, 16th – 19th June 2002.
- [3] Andreas F. Molisch, "Wireless Communications", Second Edition, Wiley, Chapter 24 - 26, 2011.
- [4] Dharma Prakash Agrawal and Qing-An Zeng, "Introduction to Wireless and Mobile Systems", Third Edition, Cengage Learning, Chapter 11 & 15, 2011.
- [5] W C Cheng, J G Ma, and K S Yeo, "A 1 V switchable CMOS LNA for 802.11A/B WLAN applications," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, Vol. 48, pp. 181-4, May. 2006.
- [6] L H Lu, H H Hsieh, and Y S Wang, "A compact 2.4/5.2-GHz CMOS dual-band low-noise amplifier," *IEEE Microwave and Wireless Letters*, Vol. 15, pp. 685-7, Oct. 2005.
- [7] H Song, K Han, J Choi, C Park, and B Kim, "A sub-2 dB NF dual-band CMOS LNA for CDMA/WCDMA applications," *IEEE Microwave and Wireless Letters*, Vol. 18, pp. 212-4, Mar 2008.
- [8] N J Oh, "Corrections to "CMOS low-noise amplifier design optimization techniques"," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, Vol. 55, pp. 1255, June. 2007.