ارائه الگوریتمی جهت بهبود تقویت کننده کم نویز

محمد امین کمالی ، کارشناسی ارشد گرایش الکترونیک دانشگاه شهید باهنر کرمان
Amin87.kamali@gmail.com
احمد حکیمی، دانشیار گروه مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان

Archive of SID

چکیده

در این مقاله یک روش UWB LNA حذف نویز کم توان پیشنهاد شد و برای مصارف $۳.۱ - ۱۰.۶\ GHZ$ با استفاده از فناوری $TSMC\ ۰.۱۸\mu m\ RF$ ارزیابی شد. UWB LNA پیشنهادی با استفاده از روش حذف نویز و با روش استفاده مجدد از جریان طراحی شد تا اتلاف توان را کاهش دهد و مراحل گیت مشترک و منبع مشترک را با استفاده از جریان بایاس مشابه DC تولید کند. توپولوژی حذف نویز باعث کاهش منبع برجسته نویز با استفاده از ولتاژ نویز کاملا همبسته می شود که با ترانزیستور گیت مشترک M1 فراهم شده است. تنظیم یک در میان نیز در مدار پیشنهادی بکار رفت تا بهره کافی و هموار با کاربرد تطبیق مرحله ای درونی در نوار فرکانس مطلوب بدست آید.

کلیدواژه‌ها: تقویت کننده کم نویز ، نوار فرکانس ، حذف نویز

www.SID.ir

1- مقدمه

تقویت‌کننده ی کم نویز نوع خاصی از تقویت‌کننده‌های الکترونیکی است که در سیستم‌های مخابراتی برای تقویت سیگنال‌های گرفته شده از آنتن به‌کار می‌رود و اغلب در فاصله ی کمی از آنتن قرار می‌گیرد تا کاهش دامنه ی سیگنال در خطوط به حداقل ممکن برسد. استفاده از LNA سبب می‌شود که نویز طبقات بعد به‌وسیله ی بهره ی LNA کاهش یابد ولی نویز LNA به‌طور مستقیم در سیگنال دریافتی تزریق می‌شود. لذا یک پیش‌شرط برای تقویت‌کننده ی کم‌نویز آن است که در حالی‌که سیگنال را تقویت می‌کند، نویز و اختلال بسیار کمی به آن بیافزاید تا بازیابی سیگنال در طبقات بعد به نحو مطلوب صورت گیرد.

سیستم‌های فرا پهن باند[1] به‌طور تاریخی بر پایه پالس‌های ضربه رادیویی شناخته می‌شوند، زیرا آن‌ها داده را با نرخ انتقال بسیار بالایی، با ارسال پالس‌هایی از انرژی به‌جای استفاده از حامل‌های باند باریک[2] فرکانس ارسال می‌کنند .از سال 1960، فن‌آوری‌های رادیویی ضربه شروع به توسعه برای کاربردهای نظامی و رادار نمود. درنهایت مخابرات فرا پهن باند توسط جرالد روس در سال 1973 پایه‌ریزی گردید .استاندارد مربوط به باندها و توان مجازی برای کاربران در مخابرات فرا پهن باند توسط FCC[3] در فوریه 2002، ارائه گردید. بدین ترتیب باند فرکانسی 3/1 تا 10/6 گیگاهرتز به مخابرات فرا پهن باند اختصاص یافت که بزرگ‌ترین تخصیص طیف برای استفاده‌های بدون مجوز است که تاکنون FCC انجام داده است.

به‌طور خلاصه برخی امکانات و ویژگی‌های فرا پهن باند عبارت‌اند از: انتقال داده با سرعت بسیار بالا، بهبود ظرفیت کانال، توانایی کار با SNR پایین، مقاومت در برابر مسدود شدن کانال، مصرف توان کمتر، هزینه کمتر، همزیستی با استاندارد 802.11/b/g، اندازه‌گیری فاصله، تعیین موقعیت (در حد چند سانتی‌متر) با دقت بالا و افزایش قابل‌ملاحظه در دقت اندازه‌گیری رادارها و تعداد بسیار زیادی از مزایا و ویژگی‌هایی که در اینجا مجال پرداختن به آن‌ها نیست.

LNA ها در گیرنده ها به منظور تقویت همه ی سیگنال های باندهای فرکانسی دریافتی از آنتن، مورد نیاز هستند.

نویز کم، پهنای باند کامل، بهره ثابت، توان بهره ی بزرگ و مصرف کم توان از مواردی هستند که در طراحی LNA ها باید در نظر گرفته شوند. تکنیک دفع نویز فیدفوروارد برای از بین بردن trade off بین noise factor و تطبیق امپدانس ورودی پیشنهاد می شد. بنابراین مصرف بالای توان اجتناب ناپذیر بود. پهنای باند که توسط بهره ی 3 دسی بل محدود می شود معمولا به اندازه ی کافی برای سیستم های UWB وسیع نیست. یک LNA با ساختار فیدبک مقاومتی موازی می تواند به تطبیق امپدانس خوب ورودی، بهره ی زیاد و عملکرد باند وسیع دست یابد. یک مقاومت فیدبک به منظور گسترش پهنای باند مورد استفاده قرار می گیرد. متاسفانه هنگامی که LNA در باند فرکانسی بالا کار می کند، عملکرد آن کاهش می یابد و این به خاطر اثر خازن های پارازیتی می باشد.

Distributed amplifiers برای رسیدن به مشخصه های باند وسیع، ارایه می شوند. از آنجایی که Distributed amplifiers با اتصال چندین طبقه ی سری ساخته می شوند در نتیجه مصرف توان بالایی

[1] ultra Wideband
[2] Narrow band
[3] Federal Communications Commission

Archive of SID
www.SID.ir

دارند. LNA های چند طبقه برای عملکرد باند کامل و تطبیق پهن باند طراحی می شوند. بنابراین ساختارهای چند طبقه، به مسیرهای بایاس DC چندگانه نیاز دارند که به شکل قابل توجهی مصرف کلی توان را بالا می برند. L-degenerated LNA های با فیلترهای پایین گذر ورودی می توانند توان کم، تطبیق ورودی وسیع و نویز کم را فراهم کنند. این قبیل ساختارها به چندین سلف با ضریب کیفیت بالا برای رسیدن به تطبیق ورودی باند وسیع نیاز دارند.

سیستم های ارتباط رادیویی از جو یا فضای آزاد به عنوان محیط انتقال اطلاعات استفاده می کنند. این سیستم ها برای برقراری ارتباط رادیویی از امواج بلند گرفته تا امواج میلیمتری استفاده می کنند. در هر صورت برای امواج رادیویی وجود یک گیرنده و فرستنده برای تولید و انتشار امواج و دریافت و تفکیک آن ضروری است. گیرنده ها و فرستنده ها ساختارهای تقریبا مشابهی دارند، بخش گیرنده از فیلترها، آنتن مدولاتور، میکسر و تقویت کننده تشکیل می شود. در گیرنده تقویت کننده های مختلفی از جمله تقویت کننده های باند میانی ویا تقویت کنده های قدرت وجود دارند اما در میان همه ی آن ها تقویت کننده های کم نویز از اهمیت بالایی در طراحی برخوردار بوده و دقتی مضاعف را در زمان طراحی می طلبند. این تقویت کننده در واقع ابتدایی ترین بخش گیرنده بعد از آنتن است. سیگنال دریافتی از آنتن به دلیل عبور از کانال مخابراتی دامنه ی آن به شدت افت پیدا کرده و نویز آن تا حد زیادی افزایش می یابد، از این رو تقویت کننده ی کم نویز باید بهره ی بالا و تقویت نویز کمی داشته باشد تا بتواند سیگنال دریافتی از آنتن را تقویت کند و با SNR مناسب به طبقه ی بعد تحویل دهد.

2- پیشینه پژوهش

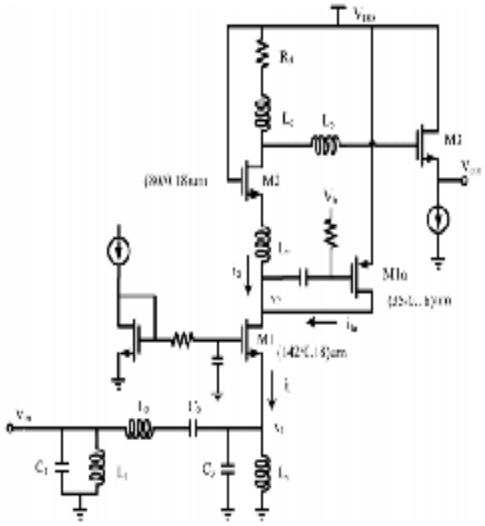
CMOS LNA خطی شده با استفاده از تکنیک پس اعوجاج[1]در *CMOS* های مقیاس نانو، خطی بودن با توجه به کاهش ولتاژ تغذیه و اثر حامل های داغ، کاهش پیدا می کند. اگرچه *LNA*های باند باریک ممکن است که فقط به خطی بودن مرتبه ی سوم بالایی نیاز داشته باشند، اما *UWB*ها[3] به خطی بودن مرتبه ی سوم هم نیاز دارند.

یک *CMOS LNA* با پهنای باند خیلی بالا پیشنهاد شده است. در واقع از یک *PMOS* به عنوان ترانزیستور کمکی، به منظور کنسل کردن جریان های غیر خطی مرتبه دوم و سوم در یک *LNA* گیت مشترک[5] استفاده کرده است. یک فیلتر میان گذر سه بخشی چبی شف[1] به منظور مچینگ ورودی به کار گرفته شده است. هدف این مقاله بیشتر بهبود گستره ی فرکانسی[4] بوده است.

این ترانزیستور کمکی یک مرتبه ی سوم مثبت مشتق شده از مشخصه ی انتقال *DC* را برای کنسل کردن منفی تولید شده توسط ترانزیستور اصلی، تولید می کند که در افزایش خطی بودن گستره ی عملکرد *DC* ، تاثیر دارد. با این حال تعامل مرتبه ی دوم در فرکانس های بالا، اغلب این اثر را محدود می کند. علاوه بر این نویز گیت ناشی از پدیده ی وارونگی ضعیف ترانزیستور، باعث تنزل *Noise figure* می شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 1- *CMOS LNA* با استفاده از تکنیک دو شبکه ی موازی[2]

می دانیم که فیدبک مقاومتی موازی[7]، یک تکنیک قدیمی برای گسترش پهنای باند یک *LNA* است، اما با حذف انتخابی گین در فرکانس های پایین محقق می شود. در راستای رسیدن به پهنای باند و بهره ی کافی، تکنولوژی [5]*Inductive peaking* ، اغلب در طراحی های بر پایه ی فیدبک استفاده می شود.

یک *CMOS LNA* با دو شبکه ی موازی پیشنهاد شده است. یک شبکه متشکل از سلف که *Flat gain* را فراهم می کند و شبکه ی دیگر که فیدبک مقاومتی است برای مچینگ ورودی قرار داده شده است. بهره ی شبکه ی فیدبک، کم در نظر گرفته می شود تا مصرف توان *LNA* را کاهش دهد. نویز تولید شده توسط شبکه ی فیدبک به وسیله ی شبکه ی القایی خنثی می شود.

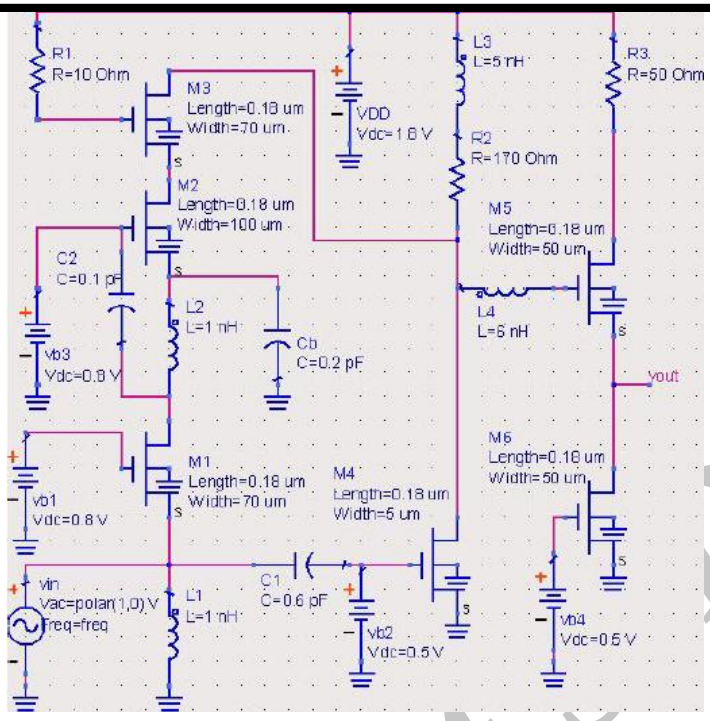
در تکنولوژی *CMOS* بر پایه ی سیلیکون، کوپلینگ ظرفیت های پارازیتی به طور قابل توجهی پهنای باند یک *LNA* را کاهش می دهد که با ثابت زمانی *RC*[6] گره مدار در تقویت کننده مشخص می شود. اضافه کردن یک سلف به گیت ترانزیستور *MOS* ، باعث ایجاد پیک نوسان در پاسخ فرکانسی آن می شود که موجب جبران بهره در فرکانس های بالا می شود. بنابراین پیک القایی روشی موثر در افزایش پهنای باند است.

3-الگوریتم پیشنهادی

شکل 2 نشان دهنده نمودار شماتیک UWA LNA پیشنهادی است. این مدار پیشنهادی از توپولوژی گیت مشترک در طبقه ورودی برای ویژگی های تطبیق امپدانس ورودی گسترده تشکیل شده است، و یک ساختار لغو نویز برای کاهش منبع نویز برجسته از M1، و یک ساختار بازیابی-جریان آبشاری cascode برای توان مصرفی کم و یک بافر خروجی هم دارد. علاوه براین، پیک سری های-القاگر برای بسط پهنای باند در طبقه ی خروجی به کار رفت. مفاهیم طراحی LNA به صورت زیر آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 2-نمودار شماتیکی از UWB LNA پیشنهادی

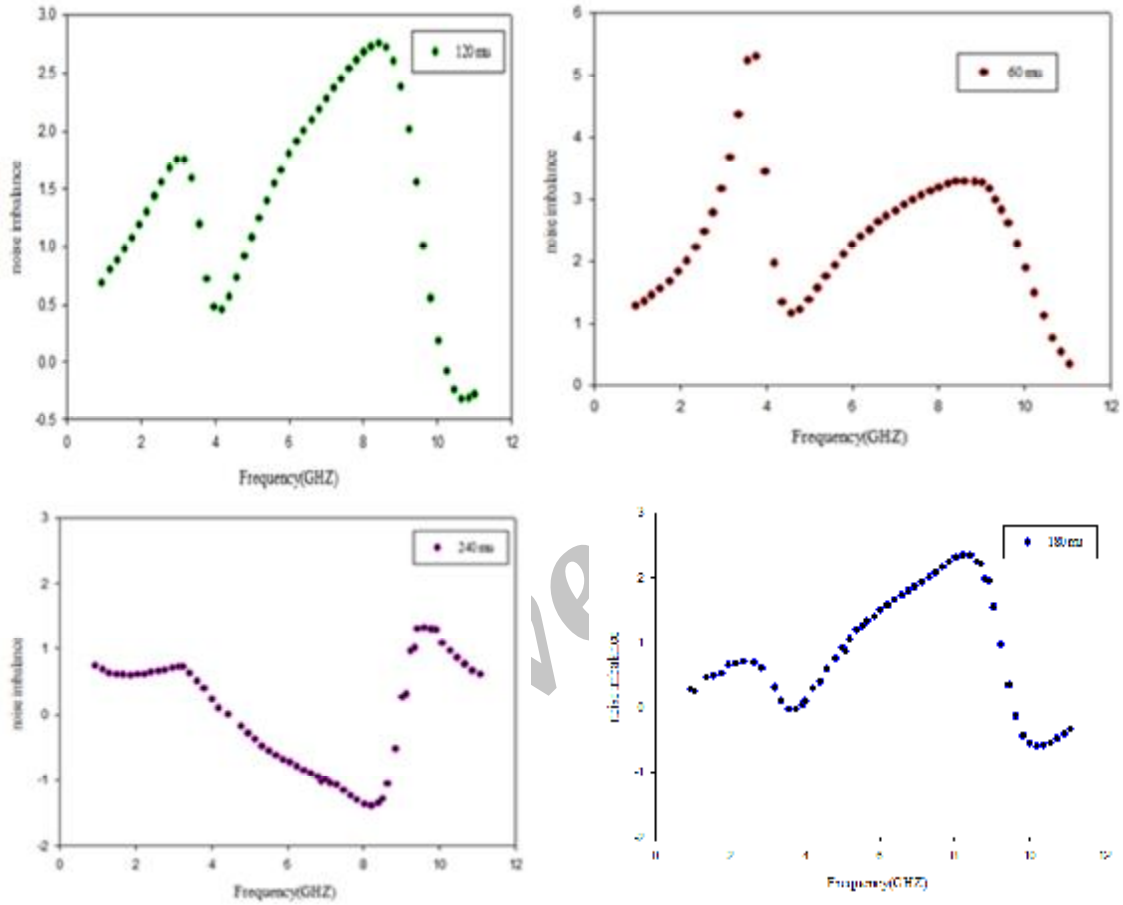
V_{DD} ، ولتاژ منبع تامین 1/8 ولت است. V_{bias1}، V_{bias2} و V_{bias3} ، ولتاژ بایاس کننده برای طبقه ی گیت-مشترک M1، طبقه ی کسکد M2 و M3 و M4 است.

به طور متعارف، M1 و M2 به صورت توپولوژی آبشاری برای طراحی UWB LNA با حذف نویز، متصل شده اند. طبقه ی گیت مشترکی وجود دارد (M1) که تطبیق امپدانس ورودی وسیع برای پهنای باند و طبقه ی آبشاری ارائه می دهد (M2 و M3 با $\frac{W}{L} = \frac{۶۰}{۰.۱۸}\mu m$)، که بهره را در نوار کامل ارائه می دهد. برای صرفه جویی در مصرف توان، روش استفاده مجدد از جریان در شکل 1 بکار رفت ،همچنین M2 در بالای M1 قرار گرفت. زمانی که جریان درین عبور می کند، M1 و M2 به صورت جریان آبشاری در نظر گرفته می شوند که جریان مشابه مصرف می کنند تا هر ترانزیستور در زمان مشابه کار کند. برخی از مولفه ها و قطعات منفعل برای ساختار استفاده مجدد از جریان لازم اند مانند G2 یک خازن جفت شونده است که مسیر سیگنالی بین گیت مشترک (M1) و سورس مشترک M2 فراهم می کند، c_b خازن بای‌پس است که سیگنال AC به منبع M2 را قطع می کند و بهره AC طبقه ی سورس مشترک را افزایش می دهد. این بخش به عنوان حوزه ی AC در فرکانس بالا کار می کند. خازن c_b بزرگ انتخاب شده است تا در حوزه ی AC کار کند یعنی 4 pF. $L_۲$ یک القاگر شوک RF است که از عبور سیگنال AC از آن، با استفاده از امپدانس بالا از درین M1 به سورس M2 جلوگیری می کند. $L_۲$ بار القاگر طبقه ی اول است. مقادیر L2 با Cb بر یکنواختی بهره در طراحی بکارگیری روش تنظیم یک درمیان تاثیر می گذارد. با کنترل پیک بهره در کران پایین تر محدوده فرکانس، یک منحنی بهره بسیار هموار می تواند در محدوده فرکانس های وسیع به دست آید. علاوه براین، اندازه ترانزیستور M1 و شرط بایاس نیز برای مصرف کم توان در نظر گرفته شده است. ترانزیستور M3 برای کاهش اثر میلر اضافه شده است و دارای جداسازی معکوس بهتر است از این رو، پایداری LNA را افزایش می دهد.

www.SID.ir

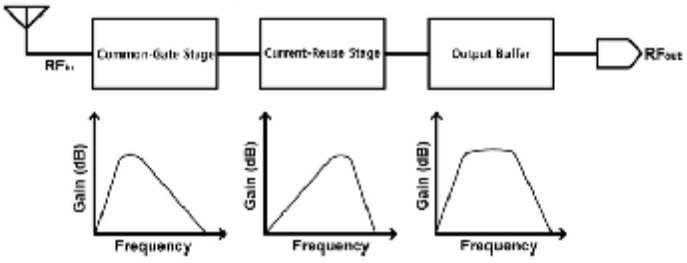
4-نتایج شبیه سازی UWB LNA پیشنهادی

UWB LNA پیشنهادی با فرایند $TSMC\ 0.18\mu m$ با استفاده از ولتاژ منبع 1/8 ولتی طراحی شد. ترانزیستور M5 به عنوان بافر عمل می کند. این ترانزیستور به ترانزیستور M6 متصل است که منبع جریان M5 است. باعث اتلاف 7 میلی وات با منبع تغذیه 1/8 ولتی می شود. در نتیجه، مصرف کلی توان، 15/2 میلی وات است. پارامترهای-S، رقم نویز و IIIP3 در سطح شماتیکی شبیه سازی شدند.



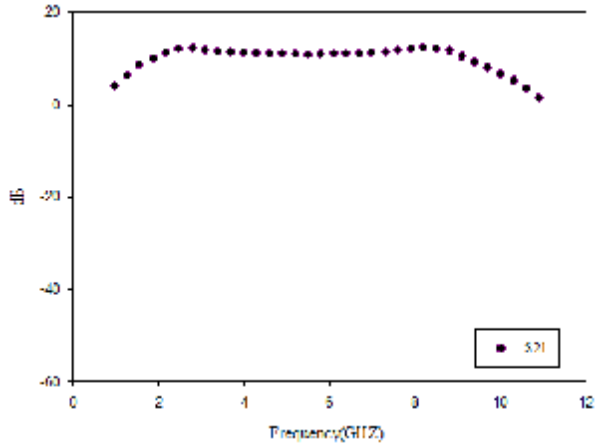
شکل 3-نتایج گسترده شبیه سازی عدم تعادل نویز

نتایج گسترده شبیه سازی عدم تعادل نویز با توجه به تغییر در اندازه ترانزیستور M4، طول گیت تا 60، 120، 180، 240 میکرومتر تغییر می کند.

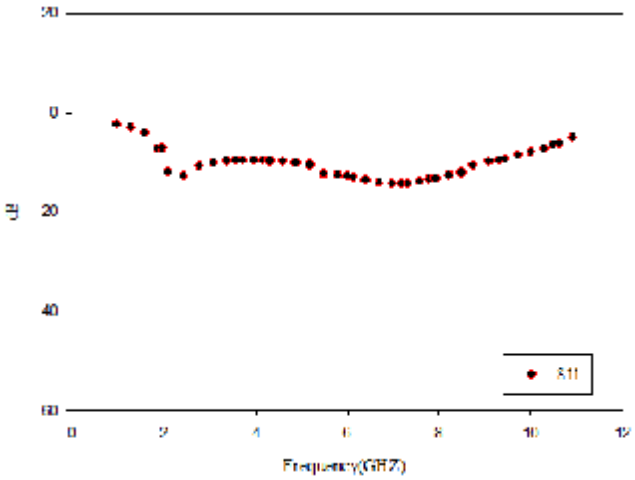


شکل 4-نمودار بلوکی روش تنظیم یک در میان برای تطبیق مرحله داخلی با استفاده از نوار فرکانس پایین (3 گیگا هرتز) و نوار فرکانس بالا (10 گیگا هرتز)

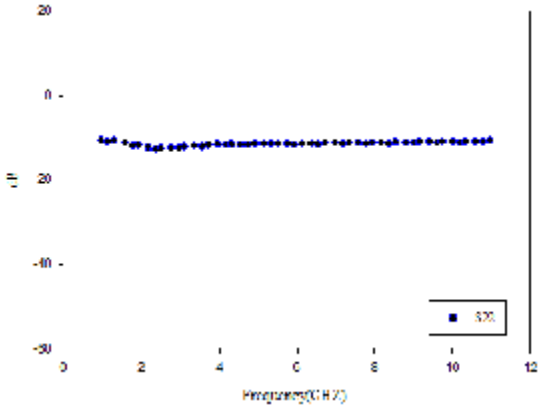
www.SID.ir



شکل 5- پاسخ های فرکانس محاسبه شده از بهره ولتاژ (S21)

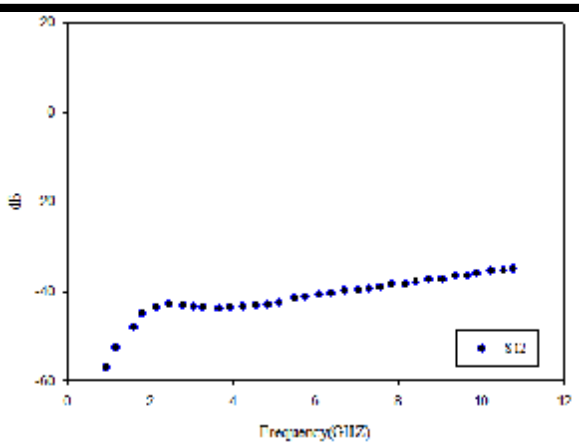


شکل 6- پاسخ های فرکانس محاسبه شده از اتلاف بازگشتی ورودی (S11)



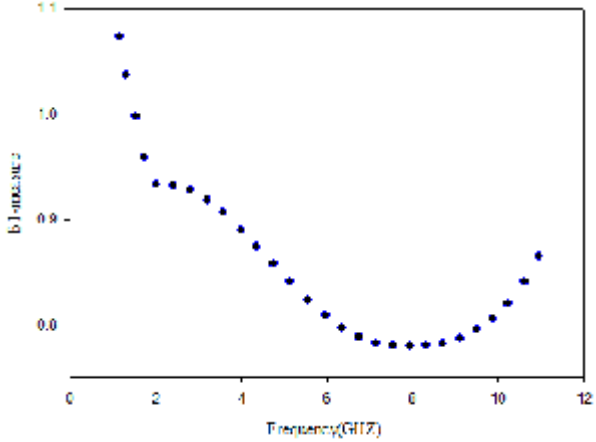
شکل 7- پاسخ های فرکانس محاسبه شده از اتلاف بازگشتی خروجی (s22)

www.SID.ir



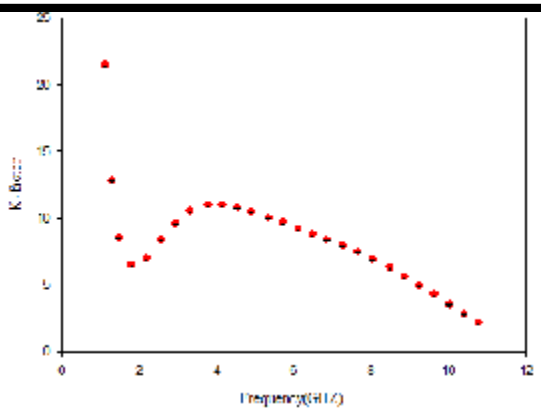
شکل 8- پاسخ های فرکانس محاسبه شده از جداسازی وارونه (s12)

شکل های بالا نشان دهنده اتلاف بازگشتی ورودی (S11) و بهره (S21) است. S11 از 3/1 گیگا هرتز تا 10/6 گیگا هرتز زیر 10- دسیبل است. ظرفیت القایی انتقالی مرحله گیت مشترک M1 تقریبا 20 میلی ثانیه برای تطبیق امپدانس ورودی گسترده با 50 اهم انتخاب شد. L1 برای تشدید با ظرفیت های پارازیتی (C_{gs1} و C_{gs2}) در فرکانس مرکزی (6/5گیگا هرتز) بکار رفت. S21 بالای 10 دسیبل در باند کامل است و ظرفیت های پارازیتی دیگر برای بدست آورن بهره هموار در پهنای باند کامل 7/5 گیگا هرتزی L_2, L_3, C_b بکار رفت. بهره هموار (12/6-10/4 دسیبل) می تواند با استفاده از تطبیق درون مرحله ای در 3 و 10 گیگا هرتز بدست آید. جداسازی معکوس (S12) کمتر از 23- دسیبل به دلیل القای شوک L2 RF و خازن بای پس C_b بین ترانزیستور M1 و M2 در پهنای باند لازم است.



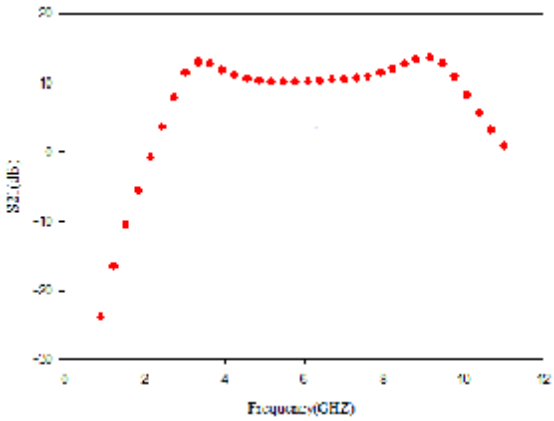
شکل9- معیار UWB LNA B1 پیشنهادی نسبت به فرکانس

www.SID.ir

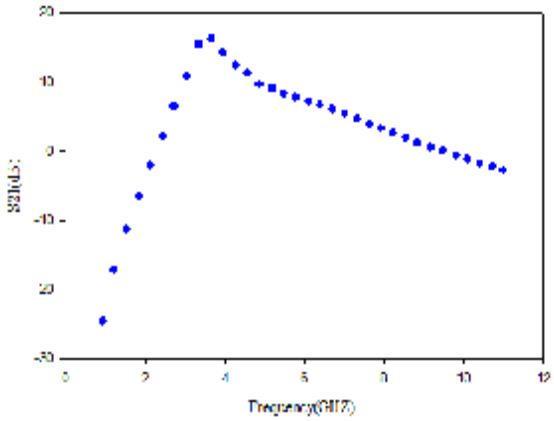


شکل 10-فاکتور k پیشنهادی نسبت به فرکانس

دو شکل بالا نشان دهنده فاکتور K شبیه سازی شده و معیار UWB LNA B1 است. به لحاظ نظری، فاکتور K به تنهایی برای تضمین پایداری کافی نیست و شرایط دیگری باید تحقق یابد. یکی از این پارامترها، معیار پایداری B1 است که باید بزرگتر از صفر باشد.



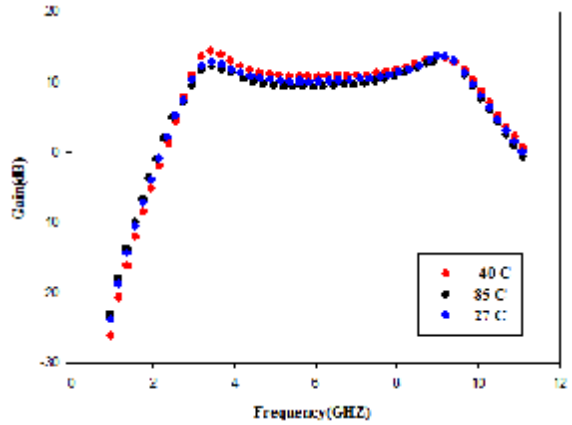
شکل 11-پاسخ های فراوانی محاسبه شده از بهره ولتاژ (S21) نسبت به فرکانس با پیک القا گر-سری



شکل 12-پاسخ های فراوانی محاسبه شده از بهره ولتاژ (S21) نسبت به فرکانس بدون پیک القا گر-سری

www.SID.ir

شکل های بالا نشان دهنده اثر گسترش پهنای باند با استفاده از پیک القاگر سری است. القاگر L4 باعث کاهش اتلاف از توان پارازیتی گیت-سورس M5 با افزایش فرکانس می شود. در نتیجه، این بهره تقریبا 12 دسیبل در منطقه فرکانس بالا افزایش می یابد.



شکل 13-بهره توان LNA نسبت به فرکانس در دماهای مختلف (سلسیوس)

شکل 13 نشان دهنده تغییر بهره توان نسبت به فرکانس در دماهای مختلف است در حالی که پارامترهای دیگر ثابت هستند.

5-نتیجه گیری

در این مقاله یک روش UWB LNA حذف نویز کم توان پیشنهاد شد و برای مصارف $۳.۱ - ۱۰.۶\ GHZ$ با استفاده از فناوری $TSMC\ ۰.۱۸\mu m\ RF$ ارزیابی شد. UWB LNA پیشنهادی با استفاده از روش حذف نویز و با روش استفاده مجدد از جریان طراحی شد تا اتلاف توان را کاهش دهد و مراحل گیت مشترک و منبع مشترک را با استفاده از جریان بایاس مشابه DC تولید کند. توپولوژی حذف نویز باعث کاهش منبع برجسته نویز با استفاده از ولتاژ نویز کاملا همبسته می شود که با ترانزیستور گیت مشترک M1 فراهم شده است. تنظیم یک در میان نیز در مدار پیشنهادی بکار رفت تا بهره کافی و هموار با کاربرد تطبیق مرحله ای درونی در نوار فرکانس مطلوب بدست آید.

مراجع

[1] Benqing Guo and Xiaolei Li, A 1.6-9.7GHz CMOS LNA Linearized by Post Distortion Technique, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, VOL.23, NO.11, November 2013
[2] Qiang-Tao Lai and Jun-Fa Mao, Senior Member, IEEE, A 0.5–11 GHz CMOS Low Noise Amplifier Using Dual-Channel Shunt Technique, IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, VOL. 20, NO. 5, MAY 2010
[3] Ro-Min Weng, Member, IEEE, Chun-Yu Liu, Student Member, IEEE, and Po-Cheng Lin, A Low-Power Full-Band Low-Noise Amplifier for Ultra-Wideband Receivers, IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 58, NO. 8, AUGUST 2010
[4] Felix Gunawan, Basuki Rachmatul Alam Electronics Research Group, School of Electrical Engineering and Informatics, Institute of Technology Bandung Bandung, Indonesia, Design and Modulation Analysis of Cascade LNA for L-band Very Low Magnitude Signal, 978-1-5090-5170-0/16/$31.00 ©2016 IEEE
[5] Zhiqun Li Chong Wang, Qin Li and Zhigong Wang, 60 GHz low-power LNA with high gm × Rout transconductor stages in 65 nm CMOS, ELECTRONICS LETTERS 16th February 2017 Vol. 53 No. 4 pp. 279–281
[6] Reza Erfani , Fatemeh Marefat , and Mehdi Ehsanian Electrical Engineering and Computer Science Dept, Case Western Reserve University, Cleveland, OH, USA Electrical and Computer Engineering

Archive of SID

www.SID.ir

Dept, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran, Highly Phase-Linear Self-Biased CMOS IR-UWB LNA with Sub-ps Group-Delay Variations, 978-1-5090-5721-4/16/$31.00 ©2016 IEEE
[7] Amra Fathima, Sushma P.S, Siddesh Gaonkar, Design of High Gain, Low Power CMOS Multi-Standard LNA, IEEE International Conference On Recent Trends In Electronics Information Communication Technology, May 20-21, 2016, India

Archive of SID

www.SID.ir