طراحی تقویت کننده اپتیکال با افزایش پهنای باند رنج دینامیکی برای کاربردهای گیرنده مخابرات نوری

رضاکازرانی[۱]، نجمه چراغی شیرازی[۲*]، عبدالرسول قاسمی[۳]

۱: گروه برق،دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران kazeraniirezaa3081@gmail.com
۲*: استادیار گروه برق، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران nch_shirazi@yahoo.com
۳: استادیار گروه برق، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران rasul_ghasemi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲

چکیده

امروزه با گسترش شبکه های مخابراتی و افزایش سرعت انتقال اطلاعات، استفاده از سیستم های مخابرات نوری افزایش چشم گیری داشته است. قسمت اصلی یک سیستم مخابراتی شامل فرستنده، محیط انتقال و گیرنده می باشد. گیرنده دارای نقص هایی از جمله تضعیف می باشد و به همین جهت طراحی قسمت گیرنده دارای چالش می باشد ویک مصالحه بین پهنای باند، بهره و توان وجود دارد. در این مقاله یک تقویت کننده اپتیکال با افزایش پهنای باند بااستفاده از تکنیک بالازدگی القایی جهت استفاده در یک سیستم مخابرات نوری برای کاربردهای با نرخ داده 10Gb/s با استفاده از تکنولوژی 180 nm CMOS مورد طراحی و شبیه سازی قرار گرفته است. نتایج شبیه سازی‌های ارائه شده بیان کننده آن است که مدار ارائه شده با تغذیه 1.8V، توان مصرفی 57.6 mW، پهنای باند 7.5GHz و بهره 25dB را دارا می باشد.

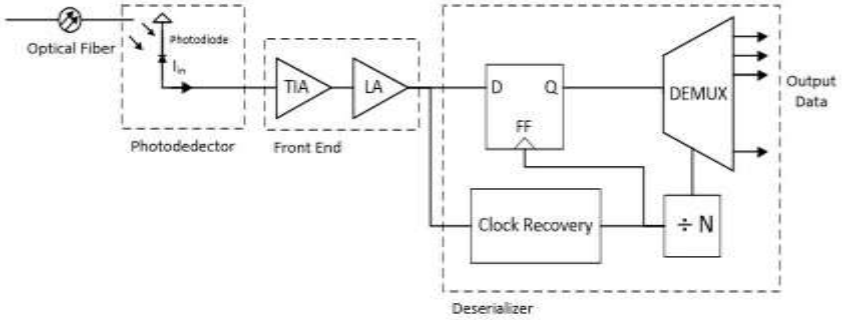
واژه های کلیدی: تقویت کننده اپتیکال، تقویت کننده امپدانس انتقالی، تقویت کننده محدود ساز، بالازدگی القایی

۱- مقدمه

امروزه با گسترش شبکه های مخابراتی و افزایش سرعت انتقالات، استفاده از سیستم های مخابرات نوری افزایش چشم گیری داشته است. استفاده از فیبر نوری به دلایل پهنای باند وسیع تر، اتلاف کمتر وهزینه پایین تر گسترش یافته است. تکنولوژی CMOS نیز به دلیل قیمت کم و قابلیت مجتمع سازی بالا جایگزین سایر تکنولوژی ها شده است. قسمت های اصلی یک سیستم مخابرات نوری شامل فرستنده، کانال ارتباطی و گیرنده نوری می باشد. فرستنده نوری سیگنال دریافتی را به نور تبدیل کرده ودر کانال ارتباطی که همان فیبر نوری است ارسال می کند که اطلاعات ارسال شده به سمت گیرنده دارای نقص هایی از قبیل تضعیف، نویز و اعوجاج است برای همین طراحی قسمت گیرنده با چالش های بیشتری روبرو است. چرا که تقویت کننده برای غلبه بر نویز طبقات بعدی باید بهره بالا و برای داشتن سرعت مناسب باید پهنای باند مناسبی باشد. شکل ۱ شمای کلی یک گیرنده نوری را نشان میدهد که از یک فتودیود(آشکارساز)، تقویت کننده های فیبر نوری شامل تقویت کننده امپدانس انتقالی و تقویت کننده محدودساز و مدار بازیابی کلاک می باشد. نور فرستاده شده توسط فتودیود دریافت و به جریان الکتریکی تبدیل می شود. سپس توسط تقویت کننده امپدانس انتقالی به ولتاژ الکتریکی تبدیل و سپس تقویت می شود[۱].

طراحی تقویت کننده امپدانس انتقالی شامل مصالحه بین پهنای باند، بهره، توان مصرفی و نویز می باشد که چالش های بسیار زیادی برای طراحی ایجاد کرده است. عمده ترین مساله در محدودیت پهنای باند خازن های پارازیتی مخصوصا خازن ورودی آشکار ساز می باشد. تکنیک های زیادی جهت بهبود پهنای باند و بهره مدار استفاده می گردد که در این مقاله از تکنیک بالازدگی القایی موازی جهت این امر استفاده گردیده است. مشکل اساسی دیگر در تقویت کننده های فیبر نوری خروج از حالت خطی تقویت کننده در صورت اعمال جریان ورودی بزرگ مدار است(مثل وقتی که تقویت کننده در انتهای یک فیبر نوری کوتاه قرار گرفته باشد) که در این

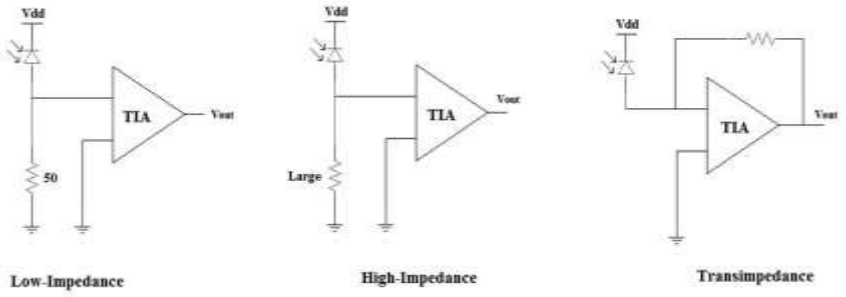
صورت باعث قطع یا به اشباع رفتن تقویت کننده و خروج از حالت خطی می باشد که در این مقاله جهت بهبود این وضعیت از تکنیک کنترل خودکار بهره یا تکنیک شنت استفاده می گردد.



شکل۱: شماتیک کلی گیرنده نوری[۱]

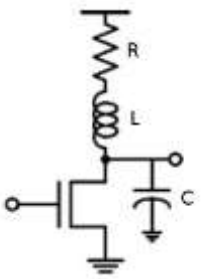
۲-تقویت کننده امپدانس انتقالی

همانطور که گفته شد تقویت کننده امپدانس انتقالی سیگنال الکتریکی را از آشکار ساز دریافت میکند و به ولتاژ الکتریکی تبدیل و سپس تقویت می کند. طراحی تقویت کننده امپدانس انتقالی بسیار حساس و چالش برانگیز است که برای طراحی آن سه ساختار وجود دارد که در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است. ساختار حلقه باز با امپدانس ورودی پایین، ساختار حلقه باز با امپدانس ورودی بالا و ساختار حلقه بسته با فیدبک که هرکدام از ساختارها در زمینه پهنای باند و نویز دارای مزایا و معایبی می باشند که به طراح این امکان را می دهد برای طرح های خاص یک ساختار را انتخاب نمایند. دراین مقاله از ساختار حلقه بسته با فیدبک جهت طراحی مدار استفاده گردیده است[۱].



شکل۲: ساختارهای تقویت‌کننده‌های امپدانس انتقالی[۱]

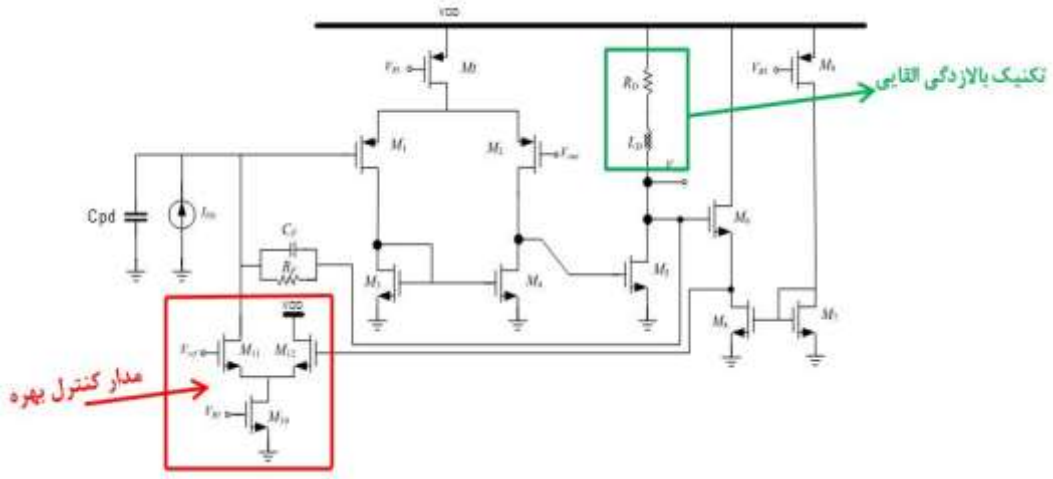
همانطور که گفته شد در تقویت کننده امپدانس انتقالی جهت بهبود پهنای باند و بهره از روش های مختلفی استفاده می شود. در این مقاله جهت بهبود پارامترهای ذکر شده از تکنیک بالازدگی القایی استفاده می شود. قبلا ذکر شد که خازن های پارازیتی مدار مخصوصا خازن آشکارساز ورودی باعث محدودیت پهنای باند می گردد. پس در تکنیک بالازدگی القایی یک سلف به مدار اضافه می گردد تا با خازن ورودی مدار رزونانس ایجاد کرده و باعث بهبود سرعت مدار و در نتیجه پهنای باند مدار گردد. خازن ورودی مدار رزونانس ایجاد کرده و باعث بهبود سرعت مدار و در نتیجه پهنای باند مدار گردد.



شکل ۳: ساختار بالازدگی القایی[۱]

۳- ساختار تقویت کننده پیشنهادی

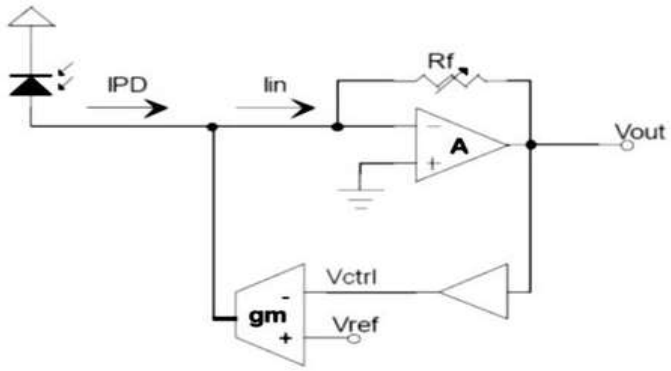
شکل ۴ ساختار تقویت کننده چند طبقه ارائه شده در این مقاله را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود طرح پیشنهادی متشکل از چند تقویت کننده کسکود شده می باشد که برای بهبود عملکرد تقویت کننده از لحاظ پهنای باند از تکنیک بالازدگی استفاده شده است از مهمترین معیارهای طراحی برای تقویت کننده امپدانس انتقالی، توان مصرفی، رنج دینامیک ورودی، بهره، پهنای باند و نویز تقویت کننده می‌باشند [۱و۲و۳]. از آنجایی که تقویت کننده های تفاضلی با ورودی PMOS عملکردی بهتری از لحاظ ولتاژ مد مشترک ورودی و همچنین پهنای باند دارند، در این تقویت کننده زوج تفاضلی ورودی از نوع PMOS استفاده گردید. همچنین با استفاده از یک تکنیک مداری جدید به نام تکنیک "شنت"، یک مدار کنترل خودکار بهره، برای مدار تقویت کننده پیشنهادی ارائه شده است که به وسیله این مدار رنج دینامیکی ورودی تقویت کننده بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است و به این طریق تقویت کننده برای رنج بزرگی از سیگنالهای ورودی در حالت خطی عمل تقویت را انجام خواهد داد و به این صورت چنانچه سیگنال خروجی فیبر نوری به هر دلیل دچار تغییرات ناخواسته شود، این تغییرات باعث خروج تقویت کننده از حالت خطی و به قطع و اشباع رفتن تقویت کننده طبقات بعدی نخواهد شد.



شکل ۴: ساختار مداری تقویت کننده پیشنهادی

طبقه اول تقویت کننده شامل ترانزیستورهای M1-4 می باشد که در واقع یک تقویت کننده تقاضلی با بار آینه جریان می باشد. ترانزیستور Mt بایاس طبقه اول را انجام می دهد. این ترانزیستور باعث افزایش پارامتر CMRR می شود. طبقه دوم تقویت کننده، شامل ترانزیستور سورس مشترک M5 به همراه بار R_DL_D می باشد. این طبقه به عنوان طبقه بالازدگی القایی عمل کرده و باعث افزایش پهنای باند کل تقویت کننده می شود. مقدار اورشوت ایجاد شده در پاسخ فرکانسی تقویت کننده را می توان توسط مقاومت R_D تنظیم کرد. ترانزیستور M6 با آرایش درین مشترک به عنوان بافر بهره واحد عمل می کند و سطح DC ولتاژ خروجی را کاهش می دهد تا برای مدار کنترل بهره اتوماتیک بهره (M11-M12) مناسب باشد. ترانزیستورهای M7-9 به عنوان مدار بایاس طبقه بافر عمل می کنند. چنانچه سیگنال خروجی فیبر نوری دچار تغییرات ناخواسته شود آنگاه اعمال جریان های ورودی بزرگ، به مدار تقویت کننده امپدانس انتقالی، باعث عدم عملکرد صحیح تقویت کننده در حالت خطی و باعث به قطع و اشباع رفتن تقویت کننده و سایر طبقات تقویت کننده بعدی می شود، برای محدود کردن جریان های ورودی به تقویت کننده و جلوگیری از خروج تقویت کننده از حالت خطی می توان از تکنیک شنت استفاده نمود. اصول و نحوه عملکرد تکنیک شنت در شکل۵، نشان داده شده است. همان طور که در شکل۵ مشاهده می شود، با استفاده از یک بلوک رسانایی (بلوک شنت) که با بخش ورودی تقویت کننده اصلی، موازی شده است و با طراحی یک قسمت مقایسه کننده در حلقه فیدبک می توان از ورود جریان های بزرگ به درون تقویت کننده جلوگیری نمود. در این مدار اگر جریان ورودی به تقویت کننده (I_{in}) افزایش یابد، ولتاژ در گره خروجی تقویت کننده اصلی نیز زیاد شده و سپس با

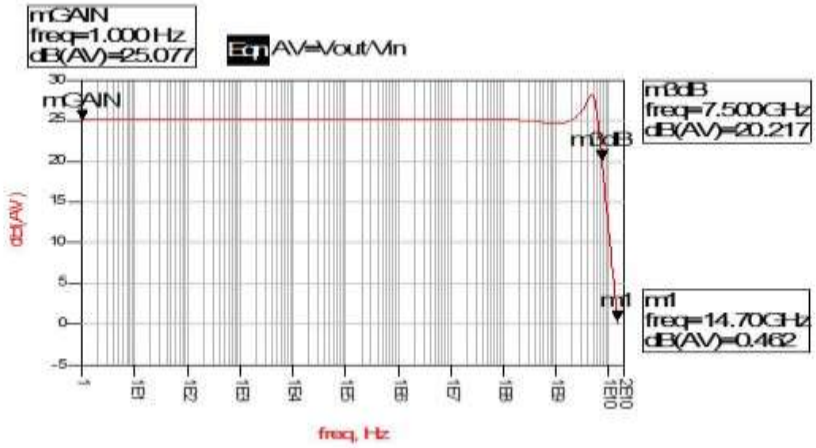
کمک یک حلقه فیدبک و مقایسه ولتاژ خروجی (V_{ctrl})، با ولتاژ مرجع (V_{ref})، می توان جریان کشیده شده توسط بلوک شنت را افزایش داد و به این ترتیب جریان اضافی در ورودی تقویت کننده امپدانس در این ساختار، با یک طراحی مناسب می توان مدار را برای رسیدن به بهره، پهنای باند و پایداری مناسب، مصرف توان اندک و نیز پاسخ زمانی مطلوب به پالس ورودی، بصورت بهینه طراحی نمود. ساختار مفهومی این تکنیک در شکل۵ نشان داده شده است.



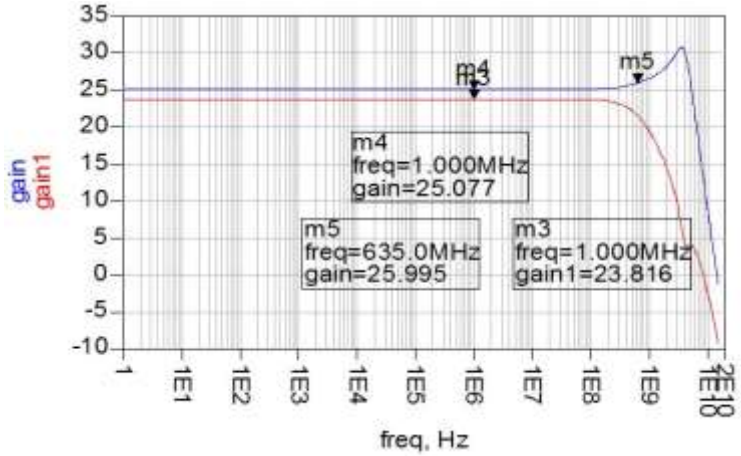
شکل ۵: ساختار مفهومی مدار کنترل بهره[۱]

۴- نتایج شبیه سازی

برای اثبات کارایی تقویت کننده پیشنهادی، ساختار نشان داده شده در شکل ۴ با ولتاژ تغذیه 1.8 V، در تکنولوژی 180 nm CMOS شبیه‌سازی شده است. شکل های۶ و ۷ نتیجه شبیه سازی مدار را نشان می دهد.

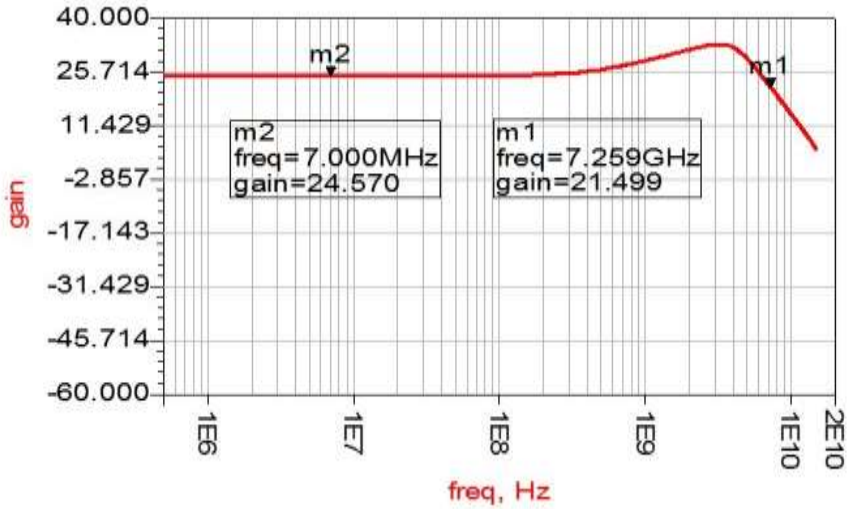


شکل ۶: نتیجه شبیه سازی بهره کل تقویت کننده

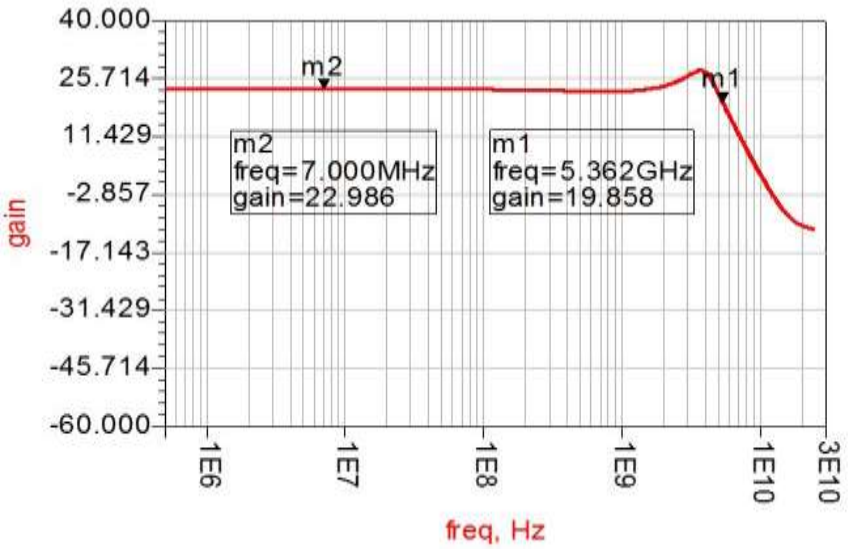


شکل ۷: نتیجه شبیه سازی بهره طبقات تقویت کننده

همانطور که در شکل‌ها مشاهده می شود پهنای باند 3dB- و پهنای باند بهره واحد به ترتیب بزرگتر از7.5 GHz و 14GHz و بهره dc بزرگتر از 25 dB می باشد. در شکل های۸ و ۹ نتایج شبیه سازی مدار در گوشه ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است و جدول ۱ نتایج حاصل شده را نمایش می دهد.



شکل ۸: نتایج شبیه سازی بهره مدار برای گوشه تکنولوژی FF



شکل ۹: نتایج شبیه سازی بهره مدار برای گوشه تکنولوژی SS

جدول۱: خلاصه عملکرد تقویت کننده پیشنهادی اول در گوشه های مختلف

Parameter	TT (25°C)	FF (-40°C)	SS (85°C)
DC Gain (dB)	25.0	24.7	22.9
f-3dB$_{GBW}$ (GHz)	7.5	7.26	5.3
f$_{GBW}$ (GHz)	14	18	11
Supply voltage (V)	1.8	1.8	1.8
Power dissipation (mW)	57.6	82.26	41.4
Technology (nm)	180	180	180

اما به‌عنوان آخرین بخش، عملکرد تقویت کننده پیشنهادی با چند نمونه از کارهای ارائه شده در مراجع که عملکرد مناسبی دارند، مقایسه می‌گردد. جدول ۲ مقایسه انجام‌گرفته با سایرکارهای انجام‌شده و پارامترهای عملکردی مدنظر را نشان می‌دهد. اگرچه ممکن است مقایسه انجام‌گرفته در جدول ۲ منصفانه به نظر نرسد چرا که کار بعضی از مراجع مقایسه‌شده، از لحاظ فرکانس کاری متفاوت می‌باشند و یا با استفاده از فناوری دیگری طراحی شده باشد. در ضمن مزیت اصلی طرح ارایه شده در این مقاله استفاده از تکنیک شنت یا همان کنترل بهره خودکار می باشد که باعث می شود مدار برای رنج بیشتری از ورودی ها در حالت خطی باشد و به حالت قطع یا اشباع نرود.

جدول ۲: خلاصه مقایسه عملکرد تقویت کننده پیشنهادی با کارهای دیگر

Refrence	Process (nm)	Supply (V)	Power dissipation (mW)	BW (GHz)	GAIN (dB)
[3]	90	1.0	139	2.07	66
[7]	180	1.8	17.9	1.75	83
[8]	180	1.8	65	2.3	70
[2]	180	1.8	70	5.6	50
This Work	180	1.8	57.6	7.5	25

۵- نتیجه گیری

هدف از این مقاله ارائه یک تقویت کننده امپدانس انتقالی چند طبقه با توان مصرفی پایین و بهره و پهنای باند مناسب برای گیرنده های نوری می‌باشد. مدار ارایه شده با فناوری 180nm CMOS شبیه‌سازی گردید. نتایج حاصل از شبیه سازی مدار پهنای باند 7.5GHz و بهره 25dB با توان مصرفی 57.6mW بدست آمد که می توان نتیجه گرفت تکنیک های مورد استفاده یعنی تکنیک بالازدگی القایی و تکنیک شنت(کنترل خودکار بهره) باعث بهینه شدن مدار جهت استفاده در سیستم های مخابراتی می باشد. زیرا علاوه بر بهبود پارامترهای مدار، از لحاظ خطی بودن نیز مدار در وضعیت مناسبی قرار دارد و تحمل رنج بالاتری از ورودی را دارا می باشد.

مراجع

[1] B. Razavi, *Design of integrated circuits for optical communications*. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.

[2] S. Salhi, H. Escid,A. Slimane,“ Design of High Speed Transimpedance Amplifier for Optical Communication Systems,” *in proc. Seminar on Detection Systems Architectures and Technologies*, Feb. 2017,pp. 1-4.

[3] A. M. Zadeh Khaki, and et al,“ An ultra-low-power TIA plus Limiting Amplifier in 90nm CMOS technology for 2.5 Gb/s optical receiver,” *in proc. 24th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2016, pp.224-227.

[4] L. Szilagyi, and et al,“ Optical Receiver Amplifier with Adaptive Power and Bandwidth for up to 30 Gbit/s in 28 nm CMOS,” *in proc. Proceedings of the 11th European Microwave Integrated Circuits Conference*, Oct. 2016, pp.110-113.

[5] D. Schoeniger, R. Henker, F. Ellinger,“ High-speed transimpedance amplifier with runtime adaptive bandwidth and power consumption in 0.13 µm SiGe BiCMOS,” *in IET El. Letters*, vol. 52, no. 2, pp. 154-156, 2016.

[6] T. Takemoto, H. Yamashita, T. Yazaki, N. Chujo, L. Yong, Y. Matsuoka,“ A 25-to-28 Gb/s High-Sensitivity (-9.7 dBm) 65 nm CMOS Optical Receiver for Board-to-Board Interconnects ,” *in IEEE JSSC*, vol. 49, no. 10, pp. 2259-2276, 2014.

[7] I. Kwon, T. Kang, B. T. Wells, L. J. D'Aries, M. D. Hammig, “ A High Gain 1.75 GHz Dual Inductor Transimpedance Amplifier with Gate Noise Suppression for Fast Radiation Detection,”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 63, no. 4, pp. 356-360, April. 2016.

[8] Y. Jiao, and et al, “ A 70 dBΩ 2.3 GHz low noise Transimpedance Amplifier,” *in proc. European*

Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), 2013, pp.71-74.
[9] S. Bashiri, and et al,“ A 40 Gb/s Transimpedance Amplifier in 65 nm CMOS,” *in proc. Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, June. 2010, pp.174-177.
[10] A. K.-Bidhendi and et al,“ A Silicon-Based Low-Power Broadband Transimpedance Amplifier,” *IEEE Transactions on CIrcuits and Systems–I: Regular papers*, vol. 65, no. 2, Feb. 2018
[11] A.S. Bhuiyan and et al,“ Shunt-feedback Transimpedance Amplifier in 0.18μm CMOS Technology,” *2nd International Symposium on Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA)*, Dec. 2013, pp. 64-67.

Design of an optical amplifier with increasing bandwidth of dynamic range for optical receiver applications

Reza Kazerani[1], Najmeh Cheraghi shirazi [2*], A.Rasool Ghasemi [3]

Electrical Engineering, Islamic Azad University Bushehr Branch, Bushehr, Iran
1: kazeraniirezaa3081@gmail.com
2*:nch_shirazi@yahoo.com
3: rasul_ghasemi@yahoo.com

ABSTRACT:

In this thesis an optical amplifier with increased dynamic range bandwidth with inductive amplification technique, including a transient impedance amplifier (TIA) for use in an optical telecommunication system for applications with 10Gb/s data rate using CMOS 0.18µm technology Designed and simulated. For the proper design of a fiber optic amplifier, the design of the transient impedance amplifier is a key element of this type of amplifier so that it compromises between challenging issues such as bandwidth, gain and power consumption. Appropriate bandwidth and interest required for use in new telecommunications and transfer an image. In this thesis, the inductive enhancement technique developed by the predecessor is used to improve the parameters. In this technique, the desired inductor resonates with the parasitic capacitors of the circuit and creates a peak in the circuit which increases the bandwidth and gain of the circuit. Linear Mode In certain situations, such as short-circuit optical fiber, a technique called shunt technique is used to keep the circuit in linear mode. The simulation results show that the proposed circuit has 1.8v power supply, 57.6 mW power, 5.98GHz bandwidth and 25dBΩ output.

KEYWORDS: Optical Amplifier, Transient Impedance Amplifier (TIA), Limiting Amplifier, Induction Hoist, Shunt Technique.