بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

گیرنده IFM مایکروویوفوتونیک با قابلیت تنظیم بازه و دقت اندازه‌گیری بر اساس پارامتر Chirp مدولاتور شدت نور

محسن گنجعلی[۱]، سید اسماعیل حسینی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز (m.ganjali@shirazu.ac.ir)

[۲]عضو هیئت‌علمی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز (se.hosseini@shirazu.ac.ir)

چکیده - در این مقاله ساختار جدیدی برای اندازه‌گیری فرکانس لحظه‌ای سیگنال مایکروویو با استفاده از فناوری نوین مایکروویوفوتونیک پیشنهاد و تحلیل می‌شود. در این ساختار، نور خروجی یک لیزر موج پیوسته (Continuous wave laser (CWL)) به دو مدولاتور شدت نور، که پارامتر Chirp آن‌ها قابل تنظیم است، اعمال می‌شود. شدت نور خروجی این دو مدولاتور توسط سیگنال مایکروویوی که فرکانس آن باید اندازه‌گیری شود مدوله می شود. دو سیگنال نوری با شدت نور مدوله شده پس از عبور ازدو المان دارای طول و مشخصات پاشندگی (Dispersion) متفاوت، توسط دو آشکارساز نوری، آشکار می شود. توان سیگنال-های خروجی دو آشکارساز نوری تابع فرکانس سیگنال مایکروویو است که با اندازه‌گیری آن‌ها و پردازش ثانویه، فرکانس سیگنال مایکروویو به دست می آید. در ساختار پیشنهادی با تغییر پارامتر Chirp دو مدولاتور شدت نور، می‌توان بازه و دقت اندازه‌گیری فرکانس مایکروویو را تنظیم کرد که از مزیت های این ساختار به شمار می رود.

کلید واژه- بازه و دقت اندازه‌گیری، پارامتر Chirp، گیرنده IFM، مایکروویوفوتونیک

Microwave Photonic IFM Receiver with Tunable Measurement Range and Resolution Based on Intensity Modulator Chirp Parameter

Mohsen Ganjali[1], S. Esmail Hosseini[2]

[1]School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran (m.ganjali@shirazu.ac.ir)

[2]School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran (se.hosseini@shirazu.ac.ir)

Abstract- In this paper, a novel scheme for measuring instantaneous frequency of a microwave signal based on microwave photonics technology is proposed and theoretically investigated. In the proposed structure, a microwave signal with its frequency to be measured is applied to two optical intensity modulators with adjustable chirp parameters and modulated on a continuous wave light. Then these two intensity modulated optical signals sent to two dispersive elements with different lengths and dispersion characteristics which leading to two different optical power penalties. There is a relationship between the ratio of the optical power penalties and microwave frequency. Therefore, by measuring the powers of the two signals at the output of the two photodetectors, the microwave frequency can be estimated. One of the main advantages of the proposed IFM is that its measurement range and resolution can be tuned by adjusting the chirp parameters of the two intensity modulators.

Keywords: Chirp parameter, IFM receiver, Measurement range and resolution, Microwave photonic

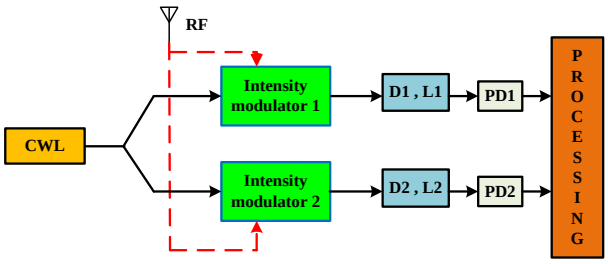
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

مقدمه

اندازه‌گیری فرکانس لحظه‌ای سیگنال‌های مایکروویو کاربردهای زیادی در سیستم‌های تجاری و نظامی دارد.

گیرنده‌های IFM (Instantaneous frequency measurement) که برای این کار استفاده می‌شوند در بسیاری از زمینه‌ها مثل علوم پزشکی، دستگاه‌های اندازه‌گیری، زلزله‌شناسی و به‌خصوص در جنگ الکترونیک به کار می‌روند. گیرنده‌های IFM اولیه به‌صورت الکترونیکی و در دو نوع آنالوگ و دیجیتال بودند که در آن‌ها از المان‌های الکترونیکی و RF مانند تقسیم‌کننده‌های توان، میکسر، خط تأخیر و . . . استفاده می‌شد. بنابراین دارای عیب‌هایی مانند مصرف توان بالا، حجیم بودن ساختارها و همچنین دارای پهنای باند پایینی بودند اما با پیشرفت روزافزون علم و همچین با به خدمت گرفتن نور و ادوات نوری در سیستم‌های الکترونیکی که منجر به پدید آمدن فناوری مایکروویوفوتونیک شده، بسیاری از عیوب سیستم‌های قبلی برطرف شده است [۱, ۲]. از مزایای علم مایکروویوفوتونیک می‌توان به تلفات پایین، مقاوم در برابر تداخل الکترومغناطیسی، وزن سبک و از همه مهم‌تر می‌توان به پهنای باند بالا اشاره کرد[۳]. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری فرکانس سیگنال مایکروویو به روش نوری پیشنهاد و استفاده شده است. از تکنیک‌هایی که توانست نظر شمار زیادی از محققان را به خود جلب کند تکنیک Mapping یا نگاشت فرکانس هست. این تکنیک جامع به سه دسته اصلی نگاشت فرکانس به توان [۴]، نگاشت فرکانس به زمان [۵] و نگاشت فرکانس به فضا [۶] تقسیم می‌شود. در این



شکل ۱: ساختار گیرنده IFM پیشنهادی

تکنیک سیگنال نوری مدوله‌شده توسط سیگنال مایکروویو از دو محیط دارای پاشندگی عبور می‌کند. می‌توان نشان داد توان سیگنال‌های آشکارشده تابعی از فرکانس سیگنال مایکروویو است. با اندازه‌گیری توان‌های دو مسیر توسط توان متر RF، می‌توان فرکانس سیگنال مایکروویو را اندازه‌گیری کرد.

در این مقاله روش جدیدی برای اندازه‌گیری فرکانس لحظه‌ای سیگنال مایکروویو با استفاده از فناوری نوین مایکروویوفوتونیک و بر اساس تکنیک نگاشت فرکانس به توان پیشنهاد شده است که نشان می‌دهیم با تغییر پارامتر Chirp مدولاتور شدت نور، می‌توان بازه و دقت اندازه‌گیری فرکانس مایکروویو را تنظیم کرد که از مزیت‌های این ساختار به شمار می‌رود.

معرفی ساختار IFM پیشنهادی و تحلیل آن

ساختار پیشنهادی برای اندازه‌گیری فرکانس سیگنال مایکروویو در شکل ۱ نشان داده شده است. در ایده پیشنهادی، یک بیم نوری با میدان الکتریکی $E_i = \sqrt{2}E_0 e^{j(\omega_0 t)}$، وارد یک کوپلر نوری به شکل Y، می‌شود و به دو سیگنال نوری با توان‌های یکسان در خروجی کوپلر تقسیم می‌شود. این دو سیگنال نوری وارد دو مدولاتور شدت نور با chirpهای قابل تنظیم می‌شوند. ساختار این مدولاتورها می‌توانند بر اساس ساختارهای

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

اشاره‌شده در [۷, ۸] باشند که نکته مهم در این دو ساختار، امکان تنظیم پارامتر Chirp در آن‌ها هست. سپس شدت دو سیگنال نوری توسط سیگنال RF $V=\sqrt{2}V_m\cos(\omega_m t)$ مدوله می‌شود. با توجه به اینکه دو مدولاتور از یک نوع هستند رفتار و خروجی یکی از مدولاتورها را بررسی می‌کنیم. با فرض آن‌که مدولاتورهای شدت نور از نوع ماخ-زندر هستند، میدان الکتریکی خروجی مدولاتور شماره یک، به‌صورت زیر قابل بیان است،

$$E_1 = E_0\Big[\cos(\omega_0 t)+\cos\Big(\omega_0 t+\frac{\pi V_{DC1}}{V_{\pi 1}}+\frac{\pi V_m}{V_{\pi 1}}\cos(\omega_m t)\Big)\Big]/2 \qquad (۱)$$

که در رابطه بالا ω_m و V_m به ترتیب فرکانس و دامنه سیگنال مایکروویو، V_{DC1} ولتاژ بایاس اعمالی به مدولاتور و $V_{\pi 1}$ ولتاژ نیم موج مدولاتور شدت نور شماره یک می‌باشند. با استفاده از رابطه (۱) و بسط Jacobi-Anger [۱۰]، می‌توان میدان نوری را در خروجی مدولاتور به‌صورت زیر بازنویسی کرد،

$$E_1(t)=\frac{E_0}{2}\Big[\cos(\omega_0 t)+\sum_{-\infty}^{\infty}J_n(\Gamma_1)\cos\Big((\omega_0+n\omega_m)t+\Gamma_{01}+n\frac{\pi}{2}\Big)\Big] \qquad (۲)$$

که در رابطه بالا $J_n(\Gamma_1)$ مرتبه nام تابع بسل نوع اول، $\Gamma_1=\frac{\pi V_m}{V_{\pi 1}}$ اندیس مدولاسیون و $\Gamma_{01}=\frac{\pi V_{DC}}{V_\pi}$ تغییر فاز ناشی از بایاس DC مدولاتور است. اکنون سیگنال نوری با میدان الکتریکی ذکرشده در رابطه (۲) از یک محیط دارای پاشندگی با طول L1 و پاشندگی D1 عبور کند و به اندازه $\beta(\omega_0+n\omega_m)L_1$ را در فرکانس حامل و باندهای کناری $\omega_0+n\omega_m$ تغییر فاز می‌یابد. با اعمال سیگنال نوری (که شدت آن‌ها توسط سیگنال مایکروویو مدوله‌شده و از محیط دارای پاشندگی عبور کرده است) به آشکارسازی نوری، یک جریان الکتریکی تولید می‌شود که توان آن در فرکانس ω_m به‌صورت زیر است [۹]،

$$P_1 = R_1\cos^2\Big[\frac{\pi D_1 L_1\lambda^2 {f_m}^2}{c}+\alpha_1\Big] \qquad (۳)$$

که در این رابطه، R_1 تلفات کل مسیر شامل تلفات محیط دارای پاشندگی، مدولاتور و آشکارساز نوری و α_1 پارامتر Chirp مدولاتور شماره یک است. با توجه به آن هر دو مدولاتور از یک نوع هستند توان خروجی آشکارساز نوری شماره دو هم به‌صورت زیر است،

$$P_2 = R_2\cos^2\Big[\frac{\pi D_2 L_2\lambda^2 {f_m}^2}{c}+\alpha_2\Big] \qquad (۴)$$

با کالیبره کردن دو مسیر، R_1 و R_2 معلوم می‌شوند که بدون از دست دادن کلیت مسئله و برای ساده شدن روابط، آن‌ها یکسان فرض می‌کنیم. تابع مقایسه توان (Amplitude comparison function (ACF)) به‌صورت نسبت توان مسیر شماره یک به توان مسیر شماره دو تعریف می‌شود،

$$ACF=\frac{P_1}{P_2}=\frac{\cos^2\Big[\frac{\pi D_1 L_1\lambda^2 {f_m}^2}{c}+\alpha_1\Big]}{\cos^2\Big[\frac{\pi D_2 L_2\lambda^2 {f_m}^2}{c}+\alpha_2\Big]} \qquad (۵)$$

همان‌طور که در رابطه (۵) مشاهده می‌شود ACF تابع فرکانس سیگنال مایکروویو است که باید اندازه‌گیری شود. همچنین با تعریف ACF به‌صورت بالا، اثر اغتشاشات توان نور لیزر حذف می‌شود و دقت اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد. با اندازه‌گیری توان سیگنال‌های RF خروجی دو آشکارساز نوری (P_1 و P_2) و محاسبه ACF، فرکانس سیگنال مایکروویو به دست می‌آید. برای اثبات ایده، از دو فیبر نوری با طول‌های L1=20km و L2=15km که دارای

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

پاشندگی‌های به ترتیب $17\frac{ps}{nm.km}$ و $14.4\frac{ps}{nm.km}$ در شبیه‌سازی استفاده شده است. همچنین برای سه حالت مختلف که مدولاتورها دارای Chirp متفاوت هستند شبیه‌سازی انجام شده است (سه حالت: ۱) $\alpha_1=5$ و $\alpha_2=-1$، ۲) $\alpha_1=1$ و $\alpha_2=0$ و ۳) $\alpha_1=0$ و $\alpha_2=-1$). نتایج شبیه‌سازی این سه حالت مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود با تغییر پارامتر Chirp یک یا هر دو مدولاتور شدت نور، بازه و دقت اندازه‌گیری تنظیم می‌شود.

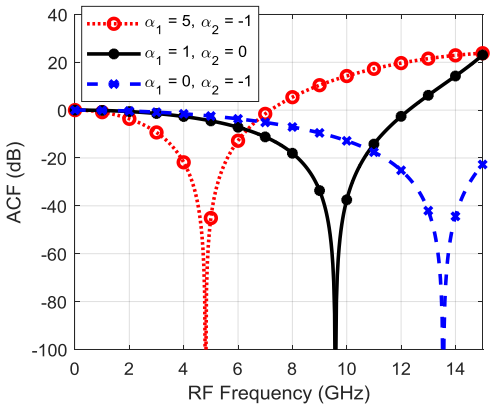
نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک ساختار جدید برای اندازه‌گیری فرکانس سیگنال مایکروویو با استفاده از فناوری نوین مایکروویوفوتونیک و نگاشت توان به فرکانس پیشنهاد شده است. در ساختار پیشنهادی، بازه و دقت اندازه‌گیری فرکانس سیگنال مایکروویو با تغییر پارامتر Chirp یک یا هر دو مدولاتور شدت نور، قابل تنظیم است. با تغییر این پارامتر در محدوده [۱,۵-]، بازه اندازه‌گیری در محدوده ۴/۵GHz تا ۱۳/۵GHz تنظیم شد. هرچه بازه اندازه‌گیری کم‌تر باشد شیب تغییرات ACF نسبت به فرکانس بیشتر است و دقت اندازه‌گیری بالاتر است. بنابراین در ساختار پیشنهادی می‌توان با انتخاب مناسب پارامتر chirp مدولاتورها، به بازه اندازه‌گیری مناسب و دقت کافی رسید.

مرجع‌ها

[1] L. V. Nguyen and D. B. Hunter, "A photonic technique for microwave frequency measurement," *IEEE photonics technology letters*, Vol. 18, No. 10, pp. 1188-1190, 2006.

[2] M. Drummond, P. Monteiro, and R. Nogueira, "Photonic RF instantaneous frequency measurement system by means of a polarization-domain interferometer," *Optics express*, Vol. 17, No. 7, pp. 5433-5438, 2009.



شکل ۲ : تغییرات تابع ACF بر اساس تغییرات پارامتر chirp مدولاتورهای شدت نور

[3] J. Capmany and D. Novak, "Microwave photonics combines two worlds," *Nature photonics*, Vol. 1, No. 6, p. 319, 2007.

[4] X. Zhang, H. Chi, X. Zhang, S. Zheng, X. Jin, and J. Yao, "Instantaneous microwave frequency measurement using an optical phase modulator," *IEEE microwave and wireless components letters*, Vol. 19, No. 6, pp. 422-424, 2009.

[5] L. V. Nguyen, "Microwave photonic technique for frequency measurement of simultaneous signals," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 21, No. 10, pp. 642-644, 2009.

[6] W. Wang *et al.*, "Characterization of a coherent optical RF channelizer based on a diffraction grating," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 49, No. 10, pp. 1996-2001, 2001.

[7] S. E. Hosseini and H. Keshavarz, "Chirp-adjustable optical intensity modulator with tunable OCSR based on Sagnac interferometer," *Optical Fiber Technology*, Vol. 46, pp. 104-112, 2018.

[8] H. Kim and A. H. Gnauck, "Chirp characteristics of dual-drive. Mach-Zehnder modulator with a finite DC extinction ratio," *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 14, No. 3, pp. 298-300, 2002.

[9] F. Devaux, Y. Sorel, and J. Kerdiles, "Simple measurement of fiber dispersion and of chirp parameter of intensity modulated light emitter," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 11, No. 12, pp. 1937-1940, 1993.

[10] F. W. J. Olver, “Bessel functions of integer order,” in *Handbook of Mathematical Functions*, M. A. I. A. Stegan, Ed., pp. 355–434, 1972.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.