



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<sup>۱</sup>، سید اسماعیل حسینی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شیراز (m.ganjali@shirazu.ac.ir)

<sup>۲</sup>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) 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 می‌شود. دو سیگنال نوری با شدت نور مدوله شده پس از عبور از دو المان دارای طول و مشخصات پاشندگی (Dispersion) متفاوت، توسط دو آشکارساز نوری، آشکار می‌شود. توان سیگنال‌های خروجی دو آشکارساز نوری تابع فرکانس سیگنال مایکروویو است که با اندازه‌گیری آن‌ها و پردازش ثانویه، فرکانس سیگنال مایکروویو به دست می‌آید. در ساختار پیشنهادی با تغییر پارامتر Chirp دو مدولاتور شدت نور، می‌توان بازه و دقت اندازه‌گیری فرکانس مایکروویو را تنظیم کرد که از مزیت‌های این ساختار به شمار می‌رود.

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

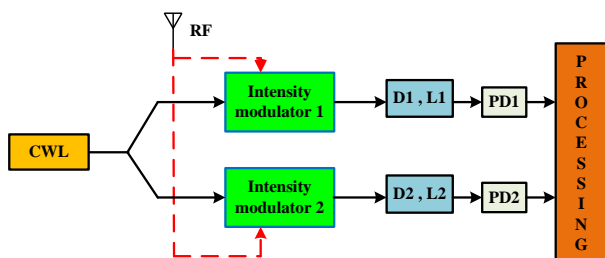
Mohsen Ganjali<sup>1</sup>, S. Esmail Hosseini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran (m.ganjali@shirazu.ac.ir)

<sup>2</sup>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



شکل ۱: ساختار گیرنده IFM پیشنهادی

تکنیک سیگنال نوری مدوله شده توسط سیگنال مایکروویو از دو محیط دارای پاشندگی عبور می کند. می توان نشان داد توان سیگنال های آشکار شده تابعی از فرکانس سیگنال مایکروویو است. با اندازه گیری توان های دو مسیر توسط توان متر RF، می توان فرکانس سیگنال مایکروویو را اندازه گیری کرد.

در این مقاله روش جدیدی برای اندازه گیری فرکانس لحظه ای سیگنال مایکروویو با استفاده از فناوری نوین مایکروویوفوتونیک و بر اساس تکنیک نگاشت فرکانس به توان پیشنهاد شده است که نشان می دهیم با تغییر پارامتر Chirp مدولاتور شدت نور، می توان بازه و دقت اندازه گیری فرکانس مایکروویو را تنظیم کرد که از مزیت های این ساختار به شمار می رود.

### معرفی ساختار IFM پیشنهادی و تحلیل آن

ساختار پیشنهادی برای اندازه گیری فرکانس سیگنال مایکروویو در شکل ۱ نشان داده شده است. در ایده پیشنهادی، یک بیم نوری با میدان الکتریکی  $E_i = \sqrt{2}E_0 e^{j(\omega t)}$  وارد یک کوپلر نوری به شکل Y، می شود و به دو سیگنال نوری با توان های یکسان در خروجی کوپلر تقسیم می شود. این دو سیگنال نوری وارد دو مدولاتور شدت نور با chirp های قابل تنظیم می شوند. ساختار این مدولاتورها می توانند بر اساس ساختارهای

### مقدمه

اندازه گیری فرکانس لحظه ای سیگنال های مایکروویو کاربردهای زیادی در سیستم های تجاری و نظامی دارد.

گیرنده های IFM (Instantaneous frequency measurement) که برای این کار استفاده می شوند در بسیاری از زمینه ها مثل علوم پزشکی، دستگاه های اندازه گیری، زلزله شناسی و به خصوص در جنگ الکترونیک به کار می روند. گیرنده های IFM اولیه به صورت الکترونیکی و در دو نوع آنالوگ و دیجیتال بودند که در آن ها از المان های الکترونیکی و RF مانند تقسیم کننده های توان، میکسر، خط تأخیر و... استفاده می شد. بنابراین دارای عیب هایی مانند مصرف توان بالا، حجیم بودن ساختارها و همچنین دارای پهنای باند پایینی بودند اما با پیشرفت روزافزون علم و همچنین با به خدمت گرفتن نور و ادوات نوری در سیستم های الکترونیکی که منجر به پدید آمدن فناوری مایکروویوفوتونیک شده، بسیاری از عیوب سیستم های قبلی برطرف شده است [۱، ۲]. از مزایای علم مایکروویوفوتونیک می توان به تلفات پایین، مقاوم در برابر تداخل الکترومغناطیسی، وزن سبک و از همه مهم تر می توان به پهنای باند بالا اشاره کرد [۳]. در سال های اخیر روش های مختلفی برای اندازه گیری فرکانس سیگنال مایکروویو به روش نوری پیشنهاد و استفاده شده است. از تکنیک هایی 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 می شود. در این

و از محیط دارای پاشندگی عبور کرده است) به آشکارسازی نوری، یک جریان الکتریکی تولید می‌شود که توان آن در فرکانس  $\omega_m$  به صورت زیر است [۹]،

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

که در این رابطه،  $R_1$  تلفات کل مسیر شامل تلفات محیط دارای پاشندگی، مدولاتور و آشکارساز نوری و  $\alpha_1$  پارامتر Chirp مدولاتور شماره یک است. با توجه به آن هر دو مدولاتور از یک نوع هستند توان خروجی آشکارساز نوری شماره دو هم به صورت زیر است،

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

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)) به صورت نسبت توان مسیر شماره یک به توان مسیر شماره دو تعریف می‌شود،

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

همان‌طور که در رابطه (۵) مشاهده می‌شود ACF تابع فرکانس سیگنال مایکروویو است که باید اندازه‌گیری شود. همچنین با تعریف ACF به صورت 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  $L_1=20\text{km}$  و  $L_2=15\text{km}$  که دارای

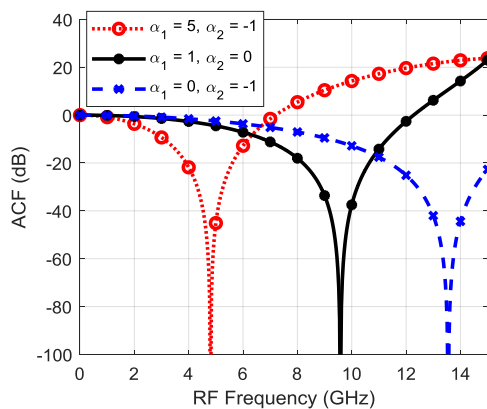
اشاره‌شده در [۷، ۸] باشند که نکته مهم در این دو ساختار، امکان تنظیم پارامتر Chirp در آن‌ها هست. سپس شدت دو سیگنال نوری توسط سیگنال RF مدولاتور از یک نوع هستند رفتار و خروجی یکی از مدولاتورها را بررسی می‌کنیم. با فرض آن‌که مدولاتورهای شدت نور از نوع ماخ-زندر هستند، میدان الکتریکی خروجی مدولاتور شماره یک، به صورت زیر قابل بیان است،

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

که در رابطه بالا  $\omega_m$  و  $V_m$  به ترتیب فرکانس و دامنه سیگنال مایکروویو، و  $V_{DC1}$  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 به صورت زیر بازنویسی کرد،

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

که در رابطه بالا  $J_n(\Gamma_1)$  مرتبه  $n$ ام 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 ذکر شده در رابطه (۲) از یک محیط دارای پاشندگی با طول  $L_1$  و پاشندگی  $D_1$  عبور کند و به اندازه  $\beta(\omega_0 + n\omega_m)L_1$  در فرکانس حامل و باندهای کناری  $\omega_0 + n\omega_m$  تغییر فاز می‌یابد. با اعمال سیگنال نوری (که شدت آن‌ها توسط سیگنال مایکروویو مدوله شده



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. Stegun, Ed., pp. 355-434, 1972.

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  $\alpha_1=0$  (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  $[-1, 5]$ ، بازه اندازه‌گیری در محدوده  $4/5GHz$  تا  $13/5GHz$  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.