

HỆ THỐNG ROF MỚI SỬ DỤNG DML VÀ FBG ĐỂ TẠO TÍN HIỆU OFDM 3,5Gb/s

NGUYỄN HOÀNG VIỆT

Khoa Công nghệ Điện tử, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh

* Tác giả liên hệ: nguyenhoangviet@iuh.edu.vn

DOIs: <https://www.doi.org/10.46242/jstiuh.v80i2.5904>

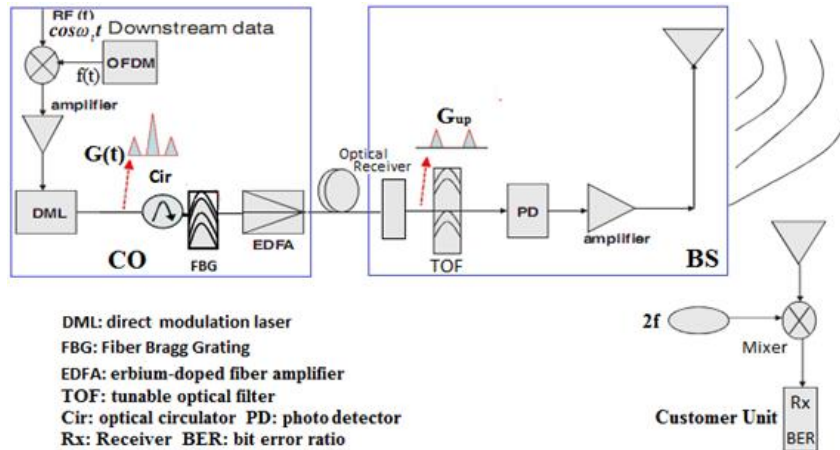
Tóm tắt. Chúng tôi đã nghiên cứu hệ thống mới để tạo tín hiệu ghép kênh phân chia tần số trực giao OFDM cho các hệ thống ROF bằng cách sử dụng laser điều chế trực tiếp DML. Tín hiệu sóng quang 40GHz này được tạo ra bởi DML được điều khiển bởi tín hiệu OFDM 3,5Gb/s được truyền bởi tín hiệu RF 20GHz. Hệ thống mới này sử dụng laser điều chế trực tiếp và Fiber Bragg Grating, đây là hệ thống thực tế cho các mạng truy cập băng thông rộng trong tương lai.

Từ khóa. Laser điều chế trực tiếp (DML), Fiber Bragg Grating (FBG), Ghép kênh phân chia tần số trực giao (OFDM).

1 GIỚI THIỆU

Gần đây, số lượng người dùng mạng không dây đang tăng mạnh do sự xuất hiện của các ứng dụng và dịch vụ internet hiện đại. Mạng cáp quang dự kiến sẽ đáp ứng nhu cầu lưu lượng ngày càng tăng bằng cách tận dụng các đặc tính dung lượng cao và chi phí thấp. Kỹ thuật ROF trở thành giải pháp hấp dẫn trong việc hiện thực hóa mạng không dây băng thông rộng trong tương lai vì chúng có băng thông lớn và có thể được sử dụng để phân phối tín hiệu không dây phát triển rất nhanh. Nhắm đến các đặc điểm về tốc độ truyền cao và dung lượng mạng lớn 6G, công nghệ vô tuyến qua cáp quang ROF có thể được sử dụng như một trong những lựa chọn thay thế công nghệ truy cập băng cách tận dụng các lợi thế về tốc độ cao và băng thông cao của nó [1-3], [16]. Truyền thông sợi quang dường như có tốc độ dữ liệu cao hơn nhiều [4]. Để giảm tổng chi phí và tạo cấu hình đơn giản hơn cho hệ thống ROF, nhiều phương án tái sử dụng bước sóng hoặc sóng ánh sáng tập trung trong hệ thống trung tâm (Central Office CO) đã được đề xuất và chứng minh bằng thực nghiệm trong [5-9]. Tín hiệu OFDM trở thành một lựa chọn để truyền trong các mạng truy cập và đường dài thế hệ tiếp theo vì nó có hiệu suất phổ cao và khả năng chống tán sắc màu và tán sắc phân cực mode [10-15]. Nhiều phương pháp trộn hoặc đảo ngược tín hiệu RF đã được giới thiệu như sử dụng dải biên kép (Double-side band DSB), dải biên đơn (Single-side band SSB) và điều chế triệt tiêu sóng mang quang. Ưu điểm chính của kỹ thuật DSB là đơn giản, chi phí thấp và chỉ cần bộ điều biến một nhánh. Hệ thống mới này giới thiệu DML chi phí thấp để tạo DSB quang. Khi so sánh với bộ điều biến quang ngoài, DML tiết kiệm chi phí và có công suất đầu ra cao hơn. Trong bài này, chúng tôi đã nghiên cứu hệ thống ROF để truyền tín hiệu OFDM 3,5Gbit/s 16PSK trên sóng mm 40GHz do DML tạo ra.

2 KIẾN TRÚC HỆ THỐNG



Hình 1: Kiến trúc của hệ thống OFDM ROF

Kiến trúc của hệ thống OFDM ROF được trình bày trong Hình 1. Nó bao gồm CO, Base station (BS) và hệ thống khách hàng. Trong CO cần tạo ra tín hiệu sóng mm quang, độ dài của sợi quang truyền từ CO đến BS là 50 km. Trong BS, máy dò quang tốc độ cao được sử dụng để thực hiện chuyển đổi quang/điện (O/E) cho tín hiệu sóng mm quang trước khi tăng tín hiệu Radio Frequency (RF) điện đã chuyển đổi bằng cách sử dụng bộ khuếch đại RF công suất cao. Tín hiệu RF có thể được phát tới hệ thống khách hàng bằng ăng-ten. Trong hệ thống thực, có một số sóng hài cao hơn do tính phi tuyến của DML, nhưng chúng quá nhỏ và có thể bỏ qua. Tín hiệu băng cơ sở 3,5Gb/s được trộn với sóng hình sin 20GHz để thực hiện điều chế sóng mang phụ Subcarrier modulation (SCM) và sau đó các tín hiệu hỗn hợp này được sử dụng để điều khiển DML nhằm tạo ra tín hiệu quang DSB. Đầu ra dạng sóng của DML được điều khiển bởi tín hiệu RF trộn $f(t)\cos\omega_1 t$ có thể được biểu thị gần đúng bằng $G(t)$ có một sóng mang quang và hai dải biên bậc nhất như sau:

$$G(t) \cong G_0 J_1[\xi f(t)] \cos(\omega_c + \omega_1)t + G_0 J_0[\xi f(t)] \cos\omega_c t + G_0 J_1[\xi f(t)] \cos(\omega_c - \omega_1)t \quad (1)$$

Trong đó $f(t) [=0 \text{ hoặc } 1]$ là dữ liệu đường xuống kỹ thuật số, ω_1 là tần số góc của tín hiệu Local Oscillator (LO). G_0 và ω_c lần lượt là biên độ điện và tần số góc của đầu ra sóng ánh sáng của DML. $J_0[\xi f(t)] \cos\omega_c t$ và $J_1[\xi f(t)] \cos(\omega_c \pm \omega_1)t$ lần lượt là bậc 0 và bậc một của hàm Bessel loại một và ξ là chỉ số điều chế cường độ. CIR và FBG được sử dụng để triệt tiêu sóng mang quang khỏi các dải biên bậc nhất. Chúng tôi giả định để đơn giản hóa việc phân tích rằng sóng mang quang được tách biệt hoàn toàn khỏi các dải biên quang bậc nhất.

Đối với việc truyền qua sợi quang đường xuống có độ dài L , $\beta(\omega)$ biểu thị hằng số truyền của sợi. τ_+ và τ_- lần lượt là độ lệch trễ gây ra bởi sự tán sắc của sợi ở các dải biên quang ($\omega_c + \omega_1$ và $\omega_c - \omega_1$) so với sóng mang quang ban đầu ω_c . Chúng có thể được biểu thị dưới dạng $\tau_+ = -2\pi LcD \omega_1 / \omega_c^2$ và $\tau_- = 2\pi LcD \omega_1 / \omega_c^2$, trong đó D là tham số tán sắc. Tín hiệu DSB quang tạo ra được truyền qua sợi quang đường xuống có độ dài L , do tán sắc của sợi quang, tín hiệu DSB quang trở thành

$$G(t) = G_0 J_1[\xi f(t-\tau_+)] \cos[(\omega_c + \omega_1)t - \beta(\omega_c + \omega_1)L] + G_0 J_1[\xi f(t-\tau_-)] \cos[(\omega_c - \omega_1)t - \beta(\omega_c - \omega_1)L] \\ + G_0 J_0[\xi f(t)] \cos[\omega_c t - \beta(\omega_c)L]$$

$$G_{up} = G_0 J_1[\xi f(t-\tau_+)] \cos[(\omega_c + \omega_1)t - \beta(\omega_c + \omega_1)L] + G_0 J_1[\xi f(t-\tau_-)] \cos[(\omega_c - \omega_1)t - \beta(\omega_c - \omega_1)L] \quad (2)$$

Áp dụng tín hiệu quang nhánh trên cho máy dò ảnh băng thông rộng Photodetector (PD), biểu thức (2) tạo ra tín hiệu điện như sau:

$$i_{out} = \frac{1}{2} G_0^2 J_1^2(\xi) [f(t-\tau_+) + f(t-\tau_-)] + G_0^2 J_1^2(\xi) f(t-\tau_+) f(t-\tau_-) \cos[2\omega_1 t - \beta(\omega_c + \omega_1)L + \beta(\omega_c - \omega_1)L]$$

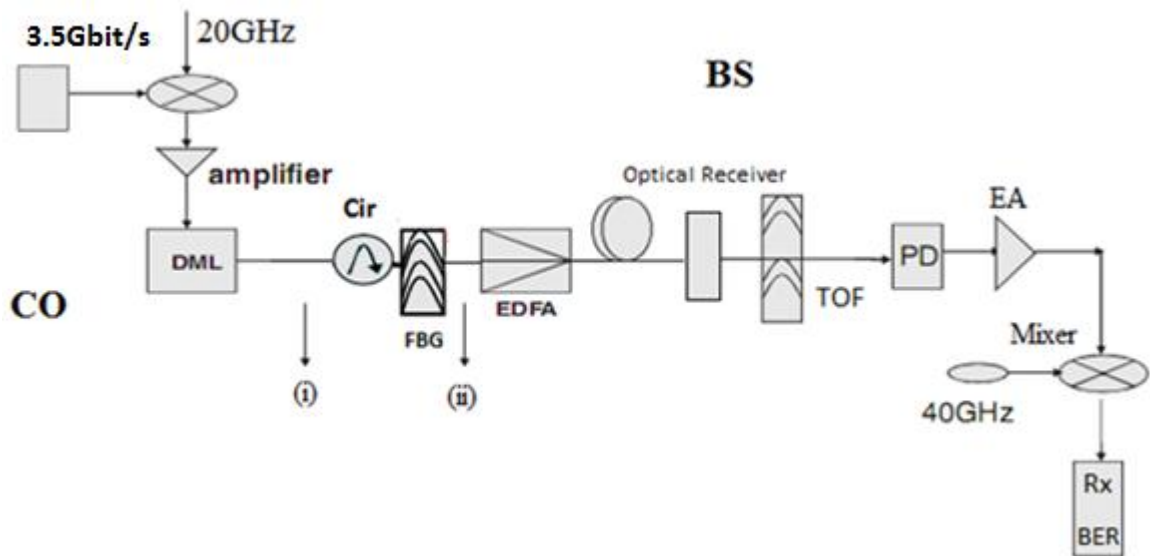
$$\text{Lại có } \beta(\omega_c \pm \omega_1) = \beta(\omega_c) \pm \omega_1 \beta'(\omega_c) + \frac{1}{2} \omega_1^2 \beta''(\omega_c) + \dots$$

Với $J_1(\xi\chi) = \chi J_1(\xi)$ ($\chi = 0$, hay 1). Bằng cách mở rộng hằng số truyền của sợi cho mỗi dải biên quang thành chuỗi Taylor xung quanh tần số góc của sóng mang quang, tín hiệu điện được tạo ra sẽ trở thành

$$i_{out} = \frac{1}{2} G_0^2 J_1^2(\xi) [f(t-\tau_+) + f(t-\tau_-)] + G_0^2 J_1^2(\xi) f(t-\tau_+) f(t-\tau_-) \cos 2\omega_1 [t - \beta'(\omega_c)L] \quad (3)$$

Từ (3) có thể thấy rằng tín hiệu điện được tạo ra chủ yếu bao gồm thành phần DC $\frac{1}{2} G_0^2 J_1^2(\xi) [f(t-\tau_+) + f(t-\tau_-)]$ và thành phần hài $2\omega_1$. Chu kỳ làm việc của mã dữ liệu sau khi được chuyển đổi xuống từ sóng mm sẽ giảm. Khi $\tau = \tau_- - \tau_+$ bằng chu kỳ hoạt động của dữ liệu băng cơ sở, sẽ không có tín hiệu sóng mm ở $2\omega_1$, trong đó τ là độ lệch thời gian trễ giữa các dải biên quang học bậc một trên và dưới gây ra bởi tán sắc. Khoảng cách truyền của sóng mm quang được tạo ra bởi hệ thống này cũng bị hạn chế do nhiễu đối với dữ liệu băng cơ sở.

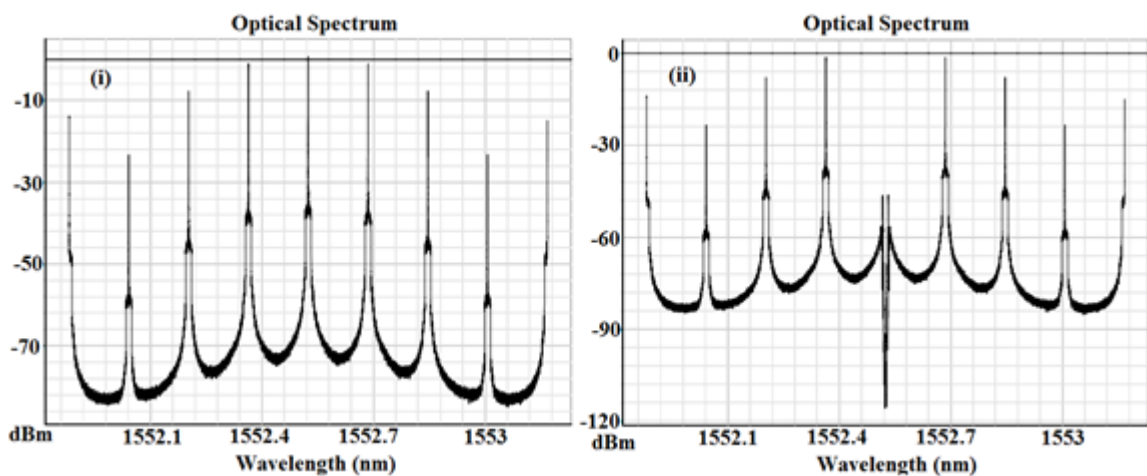
3 MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ



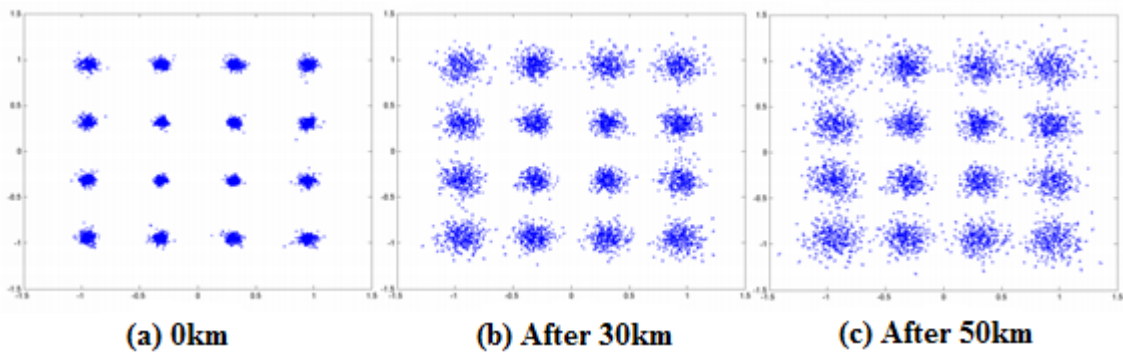
Hình 2: Mô phỏng hệ thống OFDM ROF

Mô phỏng hệ thống OFDM ROF được trình bày trong Hình 2. Tín hiệu băng cơ sở OFDM 3,5Gbit/s có thể được tạo ngoại tuyến bằng chương trình Matlab. Phổ tín hiệu quang DSB được tạo ra trình bày trong Hình 3 dưới dạng hình 3(i). Cir và FBG được sử dụng để triệt tiêu sóng mang quang từ các dải biên bậc một. FBG có băng thông phản xạ 3dB là 0,2nm. Phổ quang học sau FBG được trình bày trong Hình 3 dưới dạng hình 3(ii). Sau đó, các dải biên thứ nhất sẽ được truyền quãng đường 50km qua Standard Single Mode Fiber (SSMF) tới BS sau khi được tăng công suất bởi EDFA. Tại BS, tín hiệu triệt tiêu sóng mang quang được phát hiện bởi bộ thu quang là máy dò quang tốc độ cao với băng thông 3dB là 50GHz. Bộ lọc có băng thông quang 0,4nm TOF được sử dụng để triệt tiêu nhiễu Amplified Spontaneous Emission (ASE). Sau đó, tín hiệu quang được chuyển đổi thành tín hiệu điện bằng bộ chuyển đổi quang-điện (O/E) có băng thông 3 dB ở tần số 40GHz. Các tín hiệu điện được khuếch đại bởi bộ khuếch đại điện băng hẹp (EA) có băng thông 10GHz. Cuối cùng, tín hiệu LO điện 40GHz và bộ trộn được sử dụng để chuyển đổi xuống tín hiệu sóng mm điện để thu được tín hiệu băng tần cơ sở. Dữ liệu nhận được được xử lý và phục hồi ngoại tuyến bằng chương trình Matlab dưới dạng bộ thu OFDM. Bộ kiểm tra tỷ lệ lỗi bit Bit error rate (BER) được sử dụng để đo tín hiệu sau khi chuyển đổi.

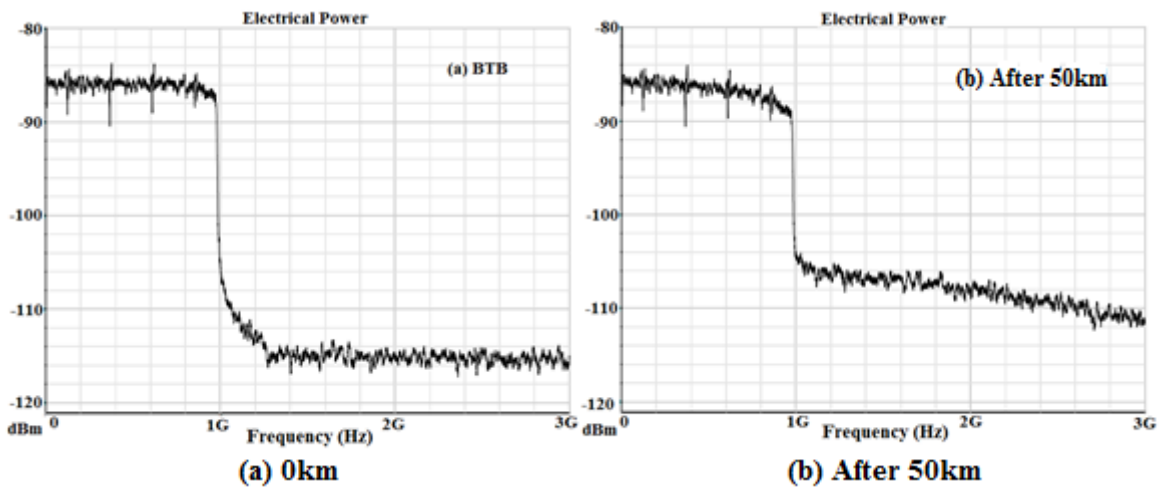
Hình 4(a-c) trình bày sơ đồ chòm sao của tín hiệu nhận được ở các khoảng cách 0km, 30km và 50km. So sánh tại 0km, sơ đồ chòm sao của tín hiệu nhận được ở 30km và 50km cho thấy độ méo pha nhỏ do hiệu ứng điều chế phi tuyến của DML và tán sắc, nhưng thể hiện của sơ đồ chòm sao vẫn đạt yêu cầu.



Hình 3: Quang phổ tại các vị trí (i) và (ii) trong Hình 2



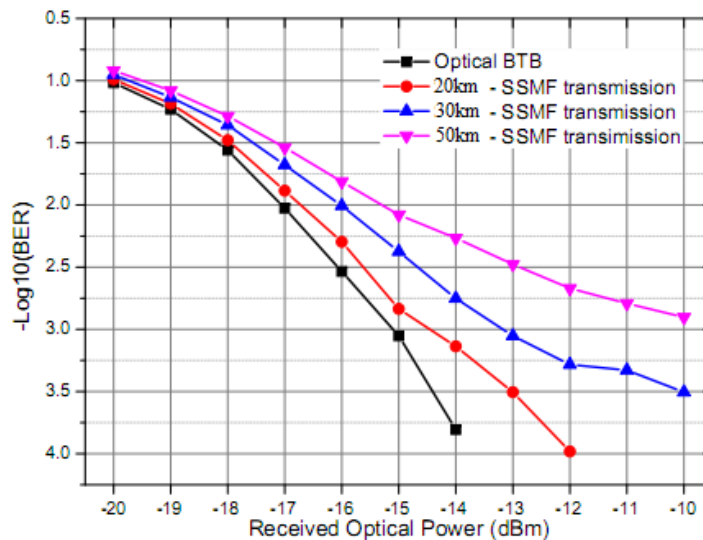
Hình 4: Sơ đồ chòm sao của tín hiệu nhận được



Hình 5: Phổ điện của tín hiệu OFDM

Hình 5(a) và 5(b) lần lượt trình bày phổ điện của tín hiệu OFDM tại 0km và 50km. Thể hiện của phổ điện của hình 5(b) sau 50km thay đổi rất ít so với hình 5(a) nên vẫn đạt yêu cầu.

Đường cong thể hiện tỉ lệ lỗi bit tại 0km, 20km, 30km và 50km có trong hình 6. Mức giảm công suất chủ yếu gây ra bởi hiệu ứng điều chế phi tuyến, độ nhiễu tần số của DML và tán sắc có giá trị nhỏ hơn 2 dBm ở mức BER là 10^{-2} sau quãng đường truyền 50 km. Do đó ảnh hưởng của tán sắc sợi quang và hiệu ứng điều chế phi tuyến của DML là nhỏ và có thể bỏ qua.



Hình 6: Đường cong thể hiện tỉ lệ lỗi bit

4 KẾT LUẬN

Chúng tôi đã nghiên cứu một hệ thống tạo tín hiệu OFDM ROF. FBG được sử dụng vì băng thông của bộ điều chế quang giảm và giúp kiến trúc của hệ thống ROF đơn giản hơn. Mức giảm công suất chủ yếu gây ra bởi hiệu ứng điều chế phi tuyến, độ nhiễu tần số của DML và tán sắc có giá trị nhỏ hơn 2 dBm ở mức BER là 10^{-2} sau quãng đường truyền 50 km. Kết quả mô phỏng cho thấy ảnh hưởng của tán sắc và hiệu ứng điều chế phi tuyến của DML là nhỏ và có thể bỏ qua. Hệ thống này sử dụng DML chi phí thấp để tạo tín hiệu sóng mm mang tín hiệu OFDM. Đây là hệ thống thực tế có thể được áp dụng cho các mạng truy cập băng thông rộng trong tương lai

REFERENCES

- [1] J. Lu, Y. Hu, J. Ma, J. Liu, T. Liu, and Y. Wang, Precoding-enabled OFDM-ROF transmission system with self-pumping structure, *Optical Fiber Technology*, vol. 73, pp. 103039, 2022.
- [2] J. Lu, T. Liu, Y. Wang, J. Liu, and J. He, Research on polarization insensitive AOWC system for 40Gbps 16QAM-OFDM based on wide optical comb generation self-pumping structure, *Optical Fiber Technology*, vol. 65, pp. 102611, 2021.
- [3] X. Kong, and Y. Zhao, All optical wavelength conversion of dual users CO-OFDM system based on FWM in cascade HNLFs, *Optical Fiber Technology*, vol. 63, pp. 102480, 2021.
- [4] Kamaljit Singh Bhatiaa, Sandeep Singh Performance Analysis of RoF link using Mach-Zehnder Modulator and its parameters, *An International Journal of Engineering Sciences*, Special Issue ICTMS-15, ISSN: 2229-6913 (Print), ISSN: 2320-0332, 29-30 December 2015.
- [5] W. Jiang, C. T. Lin, A. Ng'oma, P. T. Shih, J. Chen, M. Sauer, F. Annunziata and S. Chi, Simple 14-Gb/s short-range radio-over-fiber system employing a single-electrode MZM for 60-GHz wireless application, *J Lightwave Technol.*, vol.28, no. 16, 2238-2246, 2010.
- [6] J. Armstrong, OFDM for optical communications, *J Lightwave Technol.*, vol.27, no. 27, 189-204, 2009.
- [7] J. Ma, 5 Gbit/s full-duplex radio-over-fiber link with optical millimeter-wave generation by quadrupling the frequency of the electrical RF carrier, *J. Opt. Commun. Netw.*, vol.3, no. 2, 127-133, 2011.
- [8] Z. Cao, J. Yu, H. Zhou, W. Wang, M. Xia, J. Wang, Q. Tang and L. Chen, WDM-ROF-PON architecture for flexible wireless and wire-line layout, *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 2, no. 2, 117-121, 2010.
- [9] Ali, A. H., & Farhood, A. D., Design and performance analysis of the WDM schemes for radio over fiber system with different fiber propagation losses, *Fibers*, 7(3), 19, 2019.
- [10] N. Cvijetic, OFDM for Next-Generation Optical Access Networks, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 30, no. 4, pp. 384-398, 2012.
- [11] Linglong Dai, Jintao Wang, Zhaocheng Wang. "Spectrum- and Energy-Efficient OFDM Based on Simultaneous Multi-Channel Reconstruction." *Transactions on Signal Processing*, VOL. 61, NO. 23, DECEMBER 1, 2013.
- [12] Y. Qiu, M. Luo, Z. He, and X. Li, Balanced detection of 100-Gb/s optical OFDM signals with SSBI cancellation based on fused-type fiber mode-selective coupler, *IEEE Photon. J.*, vol. 10, no. 5, Art. no. 7105010, Oct. 2018.
- [13] Hussien, A. A., & Ali, A. H. , Comprehensive investigation of coherent optical OFDM-RoF employing 16QAM external modulation for long-haul optical communication system. *International Journal Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10(3), pp. 2607-2616, 2020.

- [14] H. Zhou, Y. Shen, M. Chen, C. Fei, and J. He, Cost-efficient, polarization-insensitive and widely-tunable AOWC of OFDM signal based on FWM in SOA, *Opt. Express*, 27(26), pp. 38553-38566, 2019.
- [15] A. Desai, A. Gupta, M. Jambhale, and V. Chavan, Efficient Implementation Technique for OFDM on FPGA, Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Science & Technology (ICAST2021), 2021.
- [16] Y. Zhang, S. Liang, C. Wang and F. Zhao, Channel Estimation Algorithm of OFDM-RoF System in 5G Mobile Front-end Network based on Artificial Neural Network, Proceedings of the 2022 5th International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition, pp. 1113-1119, 2022.

A NOVEL ROF SYSTEM EMPLOYING DML AND FBG TO GENERATE 3.5Gb/s OFDM SIGNALS

NGUYEN HOANG VIET

Faculty of Electronics Technology, Industrial University of Ho Chi Minh City

Corresponding author: nguyenhoangviet@iuh.edu.vn

Abstract. We have investigated a novel system using a Direct modulation laser (DML) to generate Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) signal for Radio Over Fiber (ROF) system. This 40GHz mm-wave signal has been generated by a DML driven by 3.5Gb/s electrical OFDM signal carried by 20GHz RF signal. This novel system employs a direct modulation laser and a Fiber Bragg Grating which is a practical system for future broadband access network.

Keywords. DML, FBG, OFDM.

Ngày nhận bài: 30/9/2024

Ngày chấp nhận đăng: 30/6/2025