

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA

TEMA:
RELACIÓN ENTRE LA POTENCIA RF Y LA SEPARACIÓN DE FRECUENCIAS
PARA REDES DE ACCESO ÓPTICO CONVERGENTE FBMC Y LTE

AUTOR:
KARINA LIZETH VALENCIA BARRAGÁN

TUTOR:
MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA

Quito, julio del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Karina Lizeth Valencia Barragán, con documento de identificación N° 1722407978, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “RELACIÓN ENTRE LA POTENCIA RF Y LA SEPARACIÓN DE FRECUENCIAS PARA REDES DE ACCESO ÓPTICO CONVERGENTE FBMC Y LTE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA ELECTRÓNICA, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Karina Lizeth Valencia Barragán

CI: 1722407978

Quito, julio del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Milton Napoleón Tipán Simbaña, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, “RELACIÓN ENTRE LA POTENCIA RF Y LA SEPARACIÓN DE FRECUENCIAS PARA REDES DE ACCESO ÓPTICO CONVERGENTE FBMC Y LTE” realizado por Karina Lizeth Valencia Barragán, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2020



Milton Napoleón Tipán Simbaña

CI: 1713583126

DEDICATORIA

A Dios por permitirme alcanzar esta meta tan anhelada, a mis queridos padres por apoyarme incondicionalmente, por ser un ejemplo de constancia, esfuerzo y dedicación, a mis hermanos por guiarme durante este largo camino, por confiar en mí, brindarme siempre su ayuda y sus consejos, gracias familia por formar parte de mi vida y estar siempre presentes en la realización de cada uno de mis sueños, este es un logro alcanzado gracias a ustedes.

Karina Lizeth Valencia Barragán

RELACIÓN ENTRE LA POTENCIA RF Y LA SEPARACIÓN DE FRECUENCIAS PARA REDES DE ACCESO ÓPTICO CONVERGENTE FBMC Y LTE

RELATION BETWEEN RF POWER AND FREQUENCY SEPARATION FOR FBMC AND LTE CONVERGENCE OPTICAL ACCESS NETWORKS

Karina L. Valencia¹

Resumen

Se transmitió conjuntamente una señal de datos FBMC y LTE en una sola longitud de onda dentro de una red de acceso óptico, la señal de FBMC se dejó en banda base y la señal LTE fue probada a distintas frecuencias hasta encontrar el valor óptimo determinado por el valor de EVM y BER, para mejorar el rendimiento del sistema se optimizó la potencia de RF en la señal de LTE, encontrándose un valor óptimo de potencia de transmisión de -18 dBm, con lo cual se consigue una mejora en el EVM de 4,2% en la señal de LTE y se obtiene la señal FBMC con una transmisión libre de errores. Los resultados muestran que con los puntos óptimos encontrados durante la transmisión de FBMC y LTE estas dos señales de datos pueden coexistir y ser empleados en una red de acceso óptico para reducir ancho de banda y prestar más servicios.

Palabras Clave: LTE, FBMC, RF, Redes de acceso óptico.

Abstract

A FBMC and LTE single wavelength data signal was transmitted together within an optical access network, the FBMC signal was left in the baseband and the LTE signal was tested at different frequencies until the optimal value determined by the EVM and BER value was found, to improve system performance, the RF power in the LTE signal was optimized, finding an optimal value of transmission power of -18 dBm, which achieves an improvement in the EVM of 4.2% in the LTE signal and the FBMC signal is obtained with an error free transmission. The results show that with the optimal points found during the transmission of FBMC and LTE these two data signals can coexist and be used in an optical access network to reduce bandwidth and provide more services.

Keywords: LTE, FBMC, RF, Optical Access Network.

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica (Mención en Telecomunicaciones)-Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur

1. Introducción

El mundo está atravesando por una era de avances tecnológicos, cada día se generan nuevas aplicaciones más inteligentes y con mejores servicios[1], imponiendo en las redes inalámbricas mayores velocidades de datos, fiabilidad y calidad de servicio[2]. La aparición de (IoT, Internet of Things) y el exponencial crecimiento de dispositivos inalámbricos que requieren transmisiones de baja latencia y gran cantidad de datos que generan un aumento de tráfico [3] [4], lo cual implica una demanda de mayor ancho de banda que proporcione altas velocidades de transmisión de datos para un número cada vez mayor de usuarios [5]. Una solución para el insuficiente ancho de banda y los problemas de capacidad son las tecnologías de quinta generación (5G) [6]. El desafío de la quinta generación es hacer frente al aumento de ancho de banda, proporcionando conectividad, baja latencia, aumento de capacidad, cobertura, eficiencia energética y reducción de costos. Sin embargo, esto no se puede dar de manera directa ya que debe existir una transición y estas deben convivir con señales de cuarta generación (4G) [7]. Por otro lado, la gran cantidad de servicios que deben llegar al usuario como datos, televisión, domótica y telefonía ha obligado al uso de redes ópticas debido a sus beneficios de gran ancho de banda y baja atenuación [8], lo que ha permitido llegar a lugares geográficamente distantes usando sistemas de radio sobre fibra (RoF, Radio Over Fiber), aunque esto representa un reto debido a la diferente naturaleza de las señales así como a las propiedades no lineales de la fibra óptica que genera transferencias de energía entre ellas[9].

La señal (LTE, Long Term Evolution) utiliza multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing), actualmente usada en las mayoría de sistemas de comunicación de 4G [10], está tiene baja eficiencia espectral comparada con la señal (FBMC, Filter Bank MultiCarrier) [11], una de las señales propuestas para 5G, la cual presenta bajas emisiones fuera de banda (OOBE, Out of Band Emission)[12]. En este documento se investiga valores óptimos de potencia RF y la separación de frecuencia que determinen la coexistencia de las señales de

FBMC y LTE transmitidas por fibra óptica (SMF, Single Mode Fiber).

2. Configuración Experimental

2.1 Transmisor

En el transmisor se generaron dos señales de datos modulados FBMC y LTE.

Para FBMC son mapeados en total 10240 bits generados aleatoriamente con un generador binario pseudoaleatorio a una modulación por amplitud de pulsos en cuadratura en 4-QAM (QAM, Quadrature Amplitude Modulation), esta modulación es robusta frente al ruido y permite una comparación adecuada con la señal LTE, los 5120 símbolos ingresan al convertidor S/P (Serie/Paralelo) y estos datos en paralelo son pasados por un Filtro de Nyquist con un factor de superposición de $k=2$, que proporciona un nivel de rechazo espectral fuera de banda adecuado para el sistema, luego son modulados con la transformada inversa rápida de Fourier (iFFT, Inverse Fast Fourier Transform) de 1024 puntos, convirtiendo la señal al dominio del tiempo para su transmisión. Sin embargo al ser una señal compleja es necesario convertirla en una señal real para que pueda ser transmitida por los dispositivos ópticos, para lo cual las entradas a la iFFT son colocadas en simetría hermítica con el objetivo de conseguir este tipo de señal.

Entonces, las salidas de la iFFT son ingresadas al convertidor paralelo a serie P/S (Paralelo/Serie), para generar las muestras de señal a transmitir por el sistema de fibra óptica.

Las muestras obtenidas de este bloque se cargan en un generador de forma de onda arbitraria (AWG, Arbitrary Waveform Generator) cuya frecuencia máxima de muestreo es de $1.25\text{GS} / \text{s}$.

En el caso de LTE, esta señal es producida por un analizador vectorial de señales (VSA, Vector Signal Analyzer), con una modulación (Q-PSK, Quadrature – Phase Shift Keying) y subida a una frecuencia intermedia (f_i) variable de 1.5 GHz.

En la Figura 1 se muestra el esquema experimental de la configuración implementada, con los respectivos espectros de las señales FBMC y LTE del enlace.

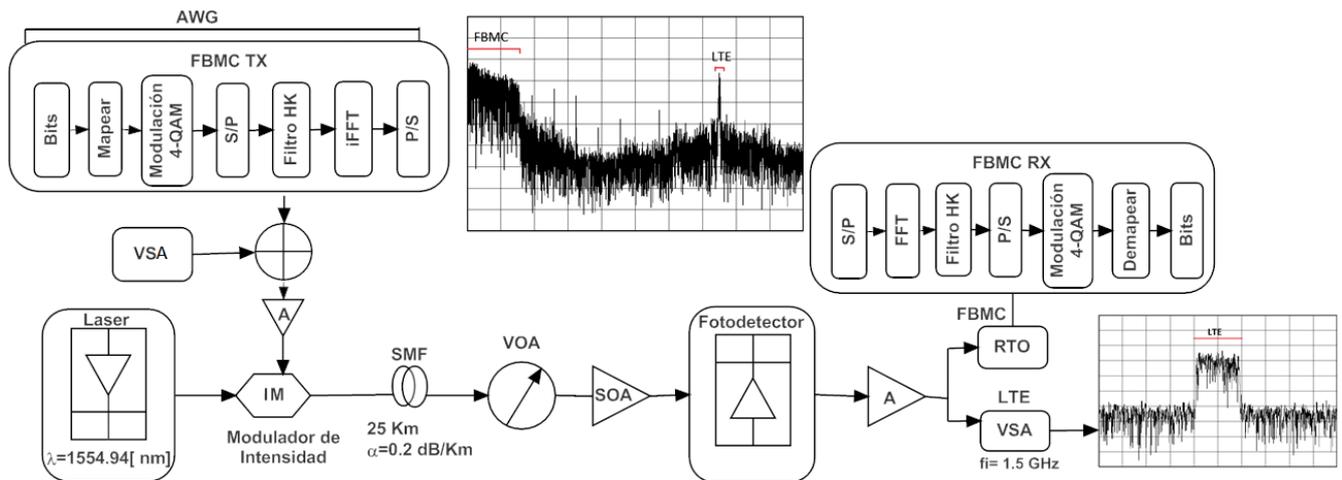


Figura 1. Esquemas de configuración experimental. Las inserciones muestran el espectro (i) en la fibra con datos LTE y FBMC y (ii) señales Rx eléctricas LTE.

Las dos señales generadas en el transmisor FBMC y LTE se combinan y modulan mediante la luz producida por un láser de retroalimentación distribuida (DFB, Distributed Feedback), con una longitud de onda de $\lambda=1554.94$ [nm], a través de un modulador en intensidad (IM, Intensity Modulation). La señal óptica se prueba en un rango de potencias desde -4dbm hasta -33dbm, y se envía a través de 25 km fibra SMF. Para limitar la potencia óptica al receptor y emular la pérdida de división de red se hace uso de un atenuador óptico variable (VOA, Variable Optical Attenuator).

2.2 Receptor

El receptor consiste en un pre-amplificador de 10 GHz de ancho de banda y un fotodiodo PIN (Positive Intrinsic Negative). Mediante un osciloscopio en tiempo real (RTO, Real Time Oscilloscope) de 2 GHz de ancho de banda (BW, Bandwidth) y un analizador vectorial de señales (VSA, Vector Signal Analyzer), la señal eléctrica completa se amplifica y se detecta. El RTO muestrea la señal eléctrica a 5GS / s y filtra digitalmente la señal con un filtro pasa bajo tipo FIR (Finite Impulse Response) a 650 MHz BW para recuperar la señal FBMC. Estas muestras son descargadas directamente del RTO para ser procesadas en Matlab®, la cual es sincronizada e ingresa al convertidor S/P para ser transformados en datos en paralelo y mediante la FFT de 1024 puntos, convertir la señal al dominio de la frecuencia, luego son pasados por un Filtro de Nyquist y un convertidor P/S y posteriormente ser demodulados, estos son equalizados mediante un equalizador de un solo tap. Finalmente,

mediante un conteo directo de errores se obtiene, tasa de errores (BER, Bit Error Rate).

El VSA posee un sintonizador de radio frecuencia (RF, Radio Frequency) interno que está centrado en f_i , este detecta la señal LTE y calcula el error de la magnitud vectorial (EVM, Error Vector Magnitude) para cuantificar el desempeño de la señal recibida.

3. Resultados y discusión

Inicialmente la señal LTE fue generada y transmitida sola a través de 25 km de fibra óptica SMF. La frecuencia de banda pasante se varió desde 1.5 GHz hasta 200 MHz. El EVM fue medido y los resultados se muestran en la Fig. 2, se observa un porcentaje de EVM por debajo de 18,2% que corresponde a $BER=10^{-3}$ [13], a partir del rango de frecuencias más bajas conformado entre 600 MHz a 200 MHz.

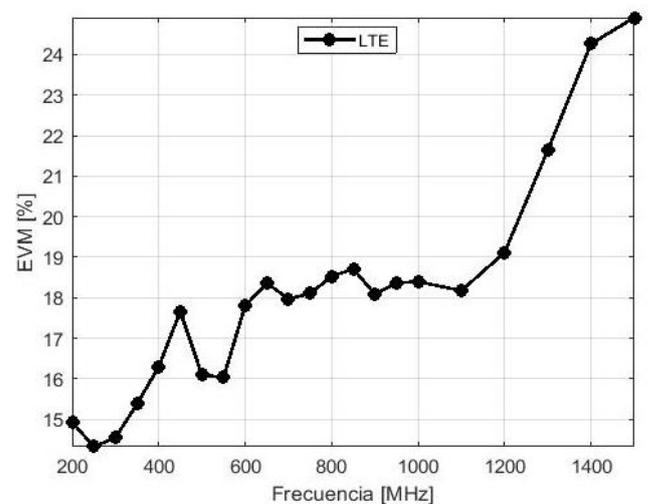


Figura 2. EVM vs Frecuencia para una señal LTE transmitida sola en 25 Km de SMF.

Teniendo caracterizada solo la señal LTE, se transmitieron juntas la señal de FBMC (BW= 312 MHz) y LTE (BW=8.9 MHz) en la misma longitud de onda por 25Km de SMF, con una potencia de FBMC de -2dBm y RF Tx de -14 dBm.

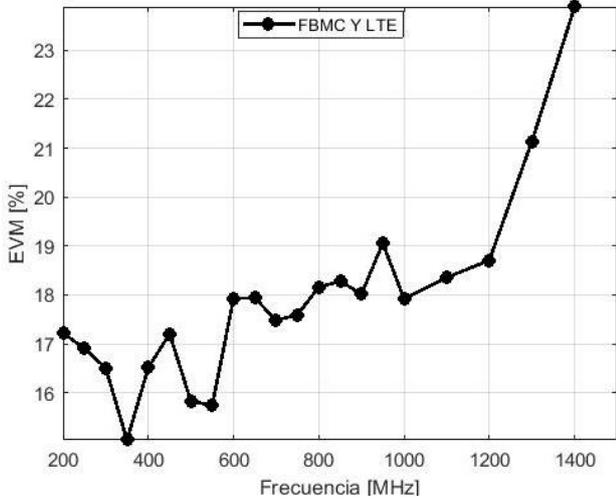


Figura 3. (a) EVM vs Frecuencia para la señal LTE transmitida en conjunto con la señal FBMC en 25 Km de SMF.

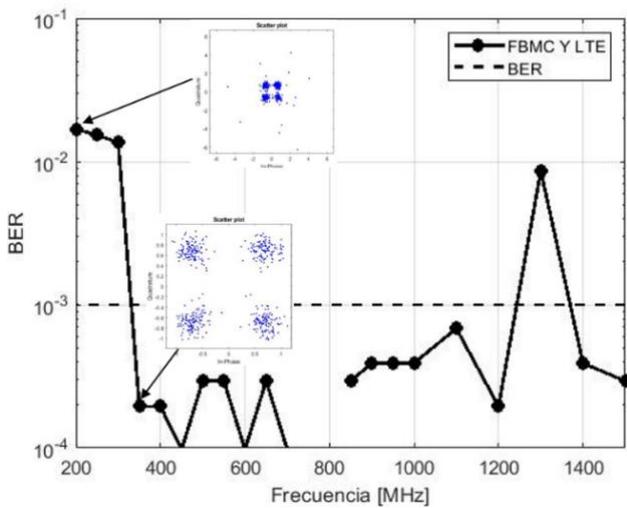


Figura 3. (b) BER vs Frecuencia para la señal FBMC transmitida en conjunto con la señal LTE en 25 Km de SMF.

El efecto de variación de la frecuencia de transmisión sobre la señal de LTE se puede observar en Figura 3(a), un incremento en el EVM es apreciado a partir de frecuencias menores a 350 MHz, esto se debe a que LTE se sobrepone a los lóbulos laterales de FBMC causados por el efecto del filtro de Nyquist usado para generar la señal multiportadora, lo que produce distorsión a la señal y causando un incremento del BER, como se aprecia en la Figura 3(b). Sin embargo, un punto óptimo de EVM se divide alrededor de 350 MHz que corresponde a aproximadamente 15,04 % y un

BER=1,95x10⁻⁴, que es superior al límite impuesto de un BER=10⁻³ suficiente para transmisión usando técnicas (FEC, Forward Error Correction). Esta mejora se debe a que la mezcla de altas componentes de frecuencias de FBMC y las bajas componentes de LTE produce una interferencia no destructiva logrando una transferencia de energía desde la señal FBMC hacia la señal LTE.

Con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos, se varía la potencia de transmisión de la señal LTE de -4 a -33 dBm, manteniendo constante la frecuencia en 350 MHz. Con lo anterior un punto óptimo de -18 dBm fue encontrado reduciendo el EVM en aproximadamente 4.2%, como se muestra en la Figura 4(a).

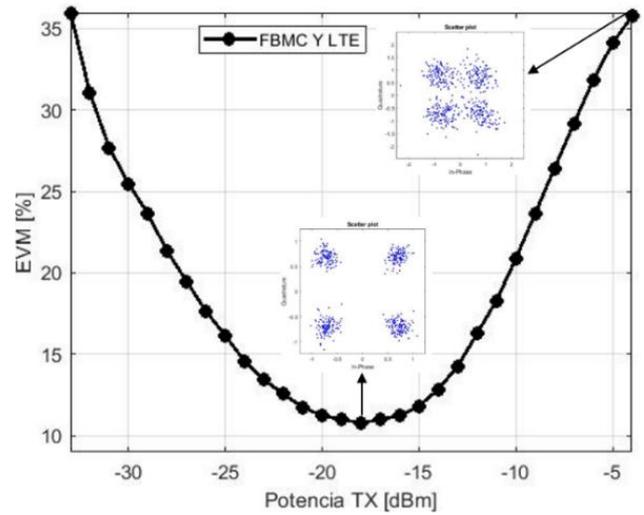


Figura 4. (a) EVM vs Potencia Tx para la señal LTE transmitida en conjunto con la señal FBMC en 25 Km de SMF.

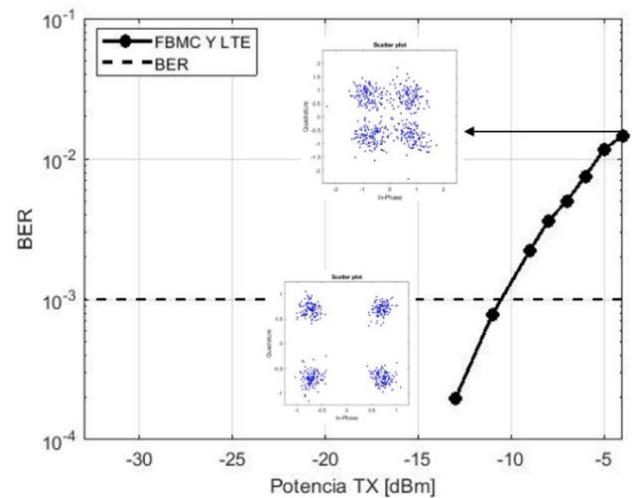


Figura 4. (b) BER vs Potencia Tx de LTE para la señal FBMC transmitidas en conjunto en 25 Km de SMF.

En consecuencia, la reducción de la potencia de LTE con lleva a una reducción del BER de la señal FBMC debido a que la interferencia con sus lóbulos laterales se reduce y por consiguiente se logra una transmisión libre de errores luego del ecualizador como se muestra en Figura 4(b).

Finalmente, la Figura 5 muestra el espectro resultante obtenido del RTO, así como los diagramas de constelaciones de las señales FBMC y LTE en el receptor para los valores óptimos obtenidos.

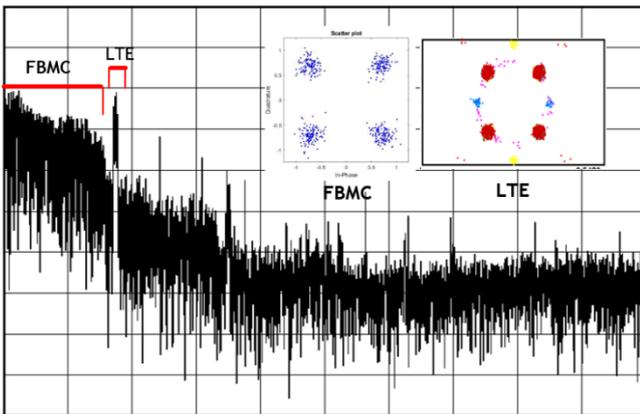


Figura 5. Espectro de frecuencias de las señales FBMC y LTE, en los valores óptimos de convergencias transmitidas en 25Km de SMF.

4. Conclusiones

Una transmisión conjunta de las señales FBMC y LTE para redes convergentes de cuarta y quinta generación de señales inalámbricas se llevó a cabo. Los puntos óptimos de operación fueron obtenidos al optimizar la potencia de transmisión de LTE y variar la frecuencia de la señal portadora de potencia de LTE una mejora de aproximadamente 4.2 % en su EVM y una transmisión libre de errores luego del ecualizador de un tap de la señal FBMC fue obtenida a una potencia de -18 dBm y una frecuencia de 350 MHz de la señal LTE. Esto permitirá una migración hacia las nuevas tecnologías de quinta generación usando técnicas que reducen tanto el ancho de banda y el costo como son las multiplexación en frecuencia (inalámbrica) y la técnica de modulación en intensidad y detección directa (óptica) respectivamente, lo que se traduce en más servicios a los usuarios a grandes distancias.

Referencias

- [1] N. Wolff, S. Chevtchenko, A. Wentzel, O. Bengtsson, and W. Heinrich, "Switch-Type Modulators and PAs for Efficient Transmitters in the 5G Wireless Infrastructure," *2018 IEEE MTT-S Int. Microw. Work. Ser. 5G Hardw. Syst. Technol. IMWS-5G 2018*, pp. 1–3, 2018, doi: 10.1109/IMWS-5G.2018.8484690.
- [2] M. V. Farfán Durán, "Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito," *Tesis*, pp. 1–100, 2018.
- [3] K. Nakatani, Y. Yamaguchi, Y. Komatsuzaki, S. Sakata, S. Shinjo, and K. Yamanaka, "A Ka-Band High Efficiency Doherty Power Amplifier MMIC using GaN-HEMT for 5G Application," *2018 IEEE MTT-S Int. Microw. Work. Ser. 5G Hardw. Syst. Technol. IMWS-5G 2018*, pp. 1–3, 2018, doi: 10.1109/IMWS-5G.2018.8484612.
- [4] S. Mahama, Y. J. Harbi, A. G. Burr, and D. Grace, "Iterative Interference Cancellation in FBMC-QAM Systems," *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC*, vol. 2019-April, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1109/WCNC.2019.8885832.
- [5] Z. U. Khan, A. Alomainy, and T. H. Loh, "Empty substrate integrated waveguide planar slot antenna array for 5g wireless systems," *2019 IEEE Int. Symp. Antennas Propag. Usn. Radio Sci. Meet. APSURSI 2019 - Proc.*, pp. 1417–1418, 2019, doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2019.8888861.
- [6] Z. Ahmed, P. McEvoy, and M. J. Ammann, "Comparison of Grid Array and Microstrip Patch Array Antennas at 28 GHz," *2018 IEEE MTT-S Int. Microw. Work. Ser. 5G Hardw. Syst. Technol. IMWS-5G 2018*, pp. 1–3, 2018, doi: 10.1109/IMWS-5G.2018.8484539.
- [7] T. Varum, A. Ramos, and J. N. Matos, "Planar microstrip series-fed array for 5G applications with beamforming capabilities," *2018 IEEE MTT-S Int. Microw. Work. Ser. 5G Hardw. Syst. Technol. IMWS-5G 2018*, 2018, doi: 10.1109/IMWS-5G.2018.8484697.
- [8] M. N. Tipán-Simbaña, J. M. Alfonso, L.

- Betancur, and F. Amaya-Fernández, PAPR comparison between conventional OFDM and fast-OFDM on radio over fiber applications,” *2013 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2013 - Conf. Proc.*, pp. 1–4, 2013, doi: 10.1109/ColComCon.2013.6564824.
- [9] T. Cseh and T. Bercei, “Improved Receiver Techniques for Radio over Multimode Fiber Systems,” pp. 23–26, 2013, doi: 10.1109/NOC-OCI.2013.6582863.
- [10] R. Zakaria and D. Le Ruyet, “Theoretical Analysis of the Power Spectral Density for FFT-FBMC Signals,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 9, pp. 1748–1751, 2016, doi: 10.1109/LCOMM.2016.2588497.
- [11] H. Jamal and D. W. Matolak, “PAPR Analysis for Dual-Polarization FBMC,” *Proc. - IEEE Mil. Commun. Conf. MILCOM*, vol. 2019-Octob, no. 1, pp. 709–713, 2019, doi: 10.1109/MILCOM.2018.8599689.
- [12] J. Kim, Y. Park, S. Weon, J. Jeong, S. Choi, and D. Hong, “A new filter-bank multicarrier system: The linearly processed FBMC system,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 17, no. 7, pp. 4888–4898, 2018, doi: 10.1109/TWC.2018.2832646.
- [13] Agilent, “8 Hints for Making and Interpreting EVM Measurements Application Note,” *Appl. NOte*, 2005.