

APLICACIONES DE MICROCONTROLADORES EN SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR LUZ VISIBLE BIDIRECCIONAL LED A LED

1st Andrés Felipe Isaza Piedrahita

Facultad de ingeniería

Institución Universitaria ITM

Medellín, Colombia

andresisaza34307@correo.itm.edu.co

2nd Francisco Eugenio Lopez

Facultad de ingeniería

Institución Universitaria ITM

Medellín, Colombia

franciscolopez@itm.edu.co

3rd Roger Alexander Martinez

Facultad de ingeniería

Institución Universitaria ITM

Medellín, Colombia

rogermartinez@itm.edu.co

Resumen—En el ámbito de la comunicación por luz visible (VLC), los diodos emisores de luz (LEDs) son comúnmente utilizados como transmisores de información, mientras que los receptores suelen ser fotodiodos, cámaras, paneles solares y fotoceldas, lo que típicamente resulta en enlaces unidireccionales. Sin embargo, la implementación de comunicación bidireccional LED a LED abre nuevas posibilidades, permitiendo que los LEDs actúen tanto como emisores como receptores. Esto es posible gracias a la integración de microcontroladores, que gestionan el comportamiento de los LEDs y optimizan el sistema.

En esta presentación, se describe un sistema innovador que utiliza un LED RGB de 5 mm como un dispositivo multifuncional para comunicación bidireccional y recolección de energía. Mediante el uso de un microcontrolador Arduino Nano, se controla la polarización del LED, lo que permite su operación tanto en modos de transmisión como de recepción. Además, el microcontrolador facilita la recolección de energía mediante técnicas de recolección de energía, aprovechando la capacidad fotovoltaica del LED RGB para cargar un capacitor. Este trabajo destaca cómo los microcontroladores no solo permiten una comunicación efectiva entre LEDs, sino que también facilitan la integración de sistemas de recolección de energía, demostrando su potencial en aplicaciones avanzadas de VLC y gestión energética. La presentación abordará la innovación de usar el LED RGB como divisor de potencia, la implementación del sistema con microcontroladores y la aplicación a un sistema de acceso.

Index Terms—Arduino Nano, LED a LED, acumulación de energía, circuito conmutador.

I. INTRODUCCIÓN

La comunicación por luz visible (VLC) está emergiendo como una solución innovadora en el campo de las telecomunicaciones, ofreciendo una alternativa a las tecnologías basadas en radiofrecuencia. Utilizando diodos emisores de luz (LEDs) para transmitir datos, VLC permite una comunicación rápida y eficiente a través de la luz visible, aprovechando la infraestructura de iluminación existente [1].

Tradicionalmente, los sistemas VLC han dependido de fotodetectores especializados, como fotodiodos o paneles solares, para recibir la información emitida por los LEDs. Sin embargo, estos enfoques presentan limitaciones, principalmente en términos de unidireccionalidad [2]. La capacidad de los LEDs para actuar simultáneamente como emisores y receptores transforma este paradigma, abriendo nuevas posibilidades para la comunicación de datos y la integración de funciones adicionales, como la recolección de energía.

En este trabajo, se presenta un sistema de comunicación bidireccional LED a LED, el cual emplea un Arduino Nano para gestionar el proceso de transmisión de datos, recepción y elevación de tensión en el modo de generación de energía.

Este sistema es particularmente relevante en aplicaciones donde la energía disponible es limitada o donde se busca reducir el consumo energético, como en dispositivos de Internet of Things (IoT). El uso de LEDs como transmisores y receptores, combinado con la capacidad de almacenar y reutilizar energía, propone una solución

innovadora para la comunicación en ambientes de baja potencia. El presente artículo detalla el diseño, implementación y evaluación de este sistema, destacando las ventajas de integrar microcontroladores como el Arduino Nano en la gestión de comunicación y energía en sistemas embebidos.

II. MODELO DEL SISTEMA

El modelo del sistema diseñado y construido se muestra en la fig 1. El sistema consiste en 2 PCs, desde los cuales por medio del monitor serial del **Arduino IDE** se pueden enviar y recibir mensajes en forma bidireccional, utilizando LEDs RGB. La condición para la transmisión de datos es que mientras un LED esta enviando el dato el otro debe estar en modo receptor, para esto se utiliza el Circuito conmutador el cual permiten la actuación del LED como sensor y como transmisor.

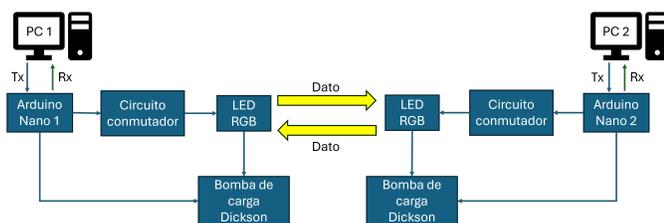


Fig. 1: Esquema de comunicación y acumulación de energía en el receptor

Cuando el LED esta en modo receptor, debe tener la capacidad de decodificar datos (actuar como sensor) y acumular energía (funcionar como panel solar), esto se conoce como divisor de potencia donde en algunos casos es un concepto [3] o se requieren elementos de hardware como amplificadores de transimpedancia, elevadores DC-DC y gestionar la programación [5] para que el LED pueda funcionar en sus tres regiones [4].

A. Innovación: Uso del LED RGB como divisor de potencia

Debido a la complejidad inherente tanto en hardware como en software para el control simultáneo del LED en su función de emisor-receptor y generador de energía, surge la consideración de emplear el LED RGB. Este componente incorpora tres LEDs distintos (rojo, verde y azul) en su estructura. La utilización de este tipo de LED ofrece la ventaja de ejecutar la división de potencia de manera simplificada con las operaciones de comunicación y acumulación de voltaje, tal como se ilustra en la fig. 2.

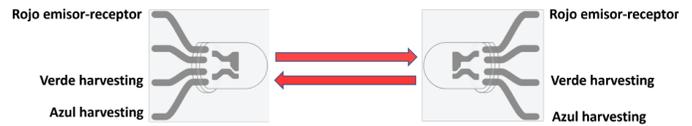


Fig. 2: LED RGB como generador de energía y comunicación bidireccional por luz visible

Se utiliza el canal con longitud de onda de color rojo debido a que su responsividad es mas alta con respecto a los otros canales y los canales verde y azul son utilizados para generar energía.

B. Circuito conmutador

Se procede a replicar el experimento previamente realizado en [6], enfocado en la transmisión unidireccional de señales de audio de un LED a otro. Con base en la valiosa experiencia adquirida durante la ejecución de este experimento, se emprende el diseño y construcción de un circuito conmutador basado en transistores BJT que permite polarizar el LED en la region inversa para que funcione como sensor y en región directa para que funcione como transmisor. Como resultado, se logra la elaboración del circuito ilustrado en la fig. 3.

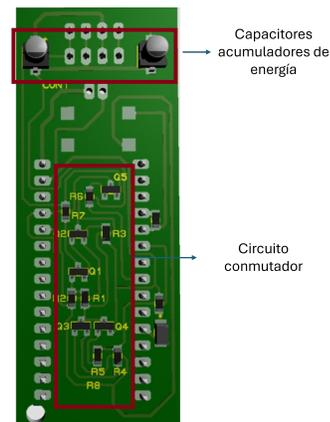


Fig. 3: Prototipo del circuito bidireccional y acumulador de energía

C. Funcionamiento del circuito

Cuando el pulsador está presionado mantiene un estado de “uno lógico”, el LED cambia a modo de emisión lo que hace que el LED se encienda y envíe el dato “123” como se muestra en la fig. 4a.

Cuando el pulsador no está presionado, el circuito mantiene un estado de “cero lógico”, lo que hace que el LED entre en modo sensor y cuando recibe el dato “123” se enciende un LED indicador confirmando que el dato es seguro como se muestra en la fig. 4b .

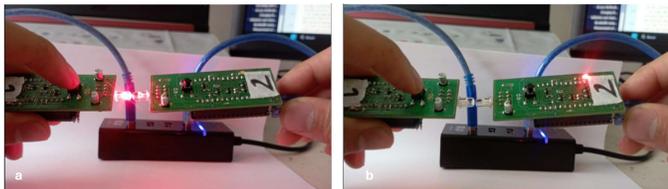


Fig. 4: Comunicación entre tarjetas

D. Comunicación bidireccional LED a LED utilizando modulación OOK

En comunicación LED a LED se han utilizado algunas técnicas de modulación binaria como OFDM en un LED RGB como sensor [7]. En [8] comparan la modulación OOK y PPM en un LED rojo como sensor y eligieron la modulación PPM debido a que tienen una tasa de bits mas alta que la modulación OOK en condiciones de SNR. Pero la modulación PPM requiere sincronización entre los sistemas de transmisión y recepción. La modulación OOK es una forma de modulación de amplitud, y es mucho más simple que las técnicas de modulación de frecuencia. Tanto [9], [10] optaron por implementar OOK por su simplicidad, buen rendimiento promedio y componentes de hardware menos costosos.

E. Implementación de OOK en comunicación bidireccional LED a LED

La comunicación bidireccional LED a LED en este sistema se logra mediante el uso de la modulación OOK, complementada por un circuito con transistores BJT que permite que el LED funcione como emisor y receptor. A continuación, se describen los componentes y el flujo de operación del sistema:

1) Componentes del sistema

- LED RGB como Transmisor/Receptor: En este sistema, el LED RGB actúa tanto como emisor como receptor. Esto es posible gracias al Circuito conmutador con transistores BJT (2N3904 y 2N3906), que conmutan el LED entre los modos de transmisión y recepción. En modo receptor, el LED RGB no solo detecta señales de luz sino que también puede generar una pequeña corriente eléctrica acumulando tensión.
- Circuito de Control con Transistores BJT: Los transistores BJT se utilizan para conmutar la funcionalidad del LED entre transmisor y receptor. El transistor NPN (2N3904) controla la activación del LED como emisor, mientras que el transistor PNP (2N3906) permite la operación inversa para recibir señales luminosas.

- Modo conmutador: Un pin de control del microcontrolador alterna entre los modos de transmisión y recepción, permitiendo la comunicación bidireccional. Este conmutador maneja los transistores para ajustar la funcionalidad del LED.

En la fig 5 se muestra la arquitectura de las señales que envía el microcontrolador al circuito bidireccional y la señal analoga que recibe del acondicionamiento del LED como sensor a partir de un transistor NPN, tambien se puede apreciar como se genera una señal de reloj para la acumulación de tensión.

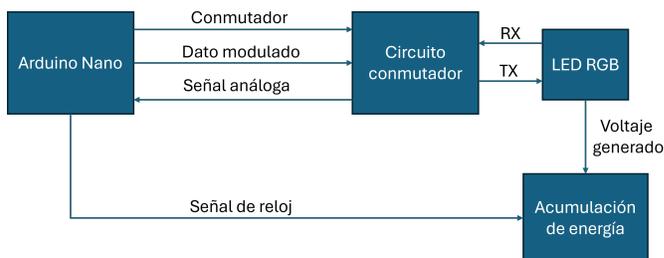


Fig. 5: Arquitectura del microcontrolador y el circuito conmutador

2) Proceso de Transmisión

En el modo de transmisión, el LED RGB envía datos utilizando la modulación OOK, modulando su luz para representar los datos binarios:

- Inicio de la Transmisión: El microcontrolador activa el transistor NPN para permitir que el LED RGB emita luz. El LED se apaga brevemente para indicar el inicio de la transmisión.
- Envío de Bits: Utilizando la modulación OOK, se transmiten pulsos de luz para representar cada bit del byte. Si el bit es '1', el LED se enciende; si es '0', el LED permanece apagado. El control preciso del LED es manejado por los transistores BJT.
- Finalización de la Transmisión: Después de enviar todos los bits, el LED se mantiene encendido para indicar que la transmisión ha terminado. Los transistores se ajustan para detener el flujo de corriente en modo de transmisión.

En la fig. 6 se muestra el diagrama de flujo del modo transmisor.

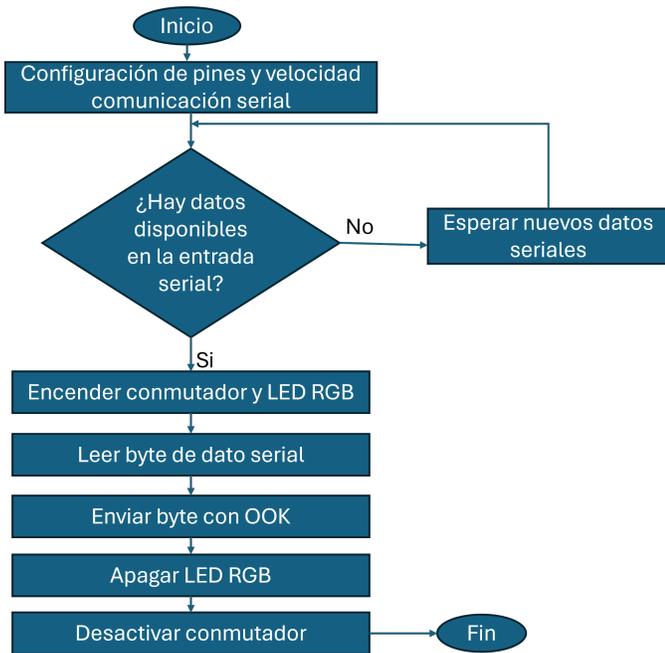


Fig. 6: Diagrama de flujo transmisor

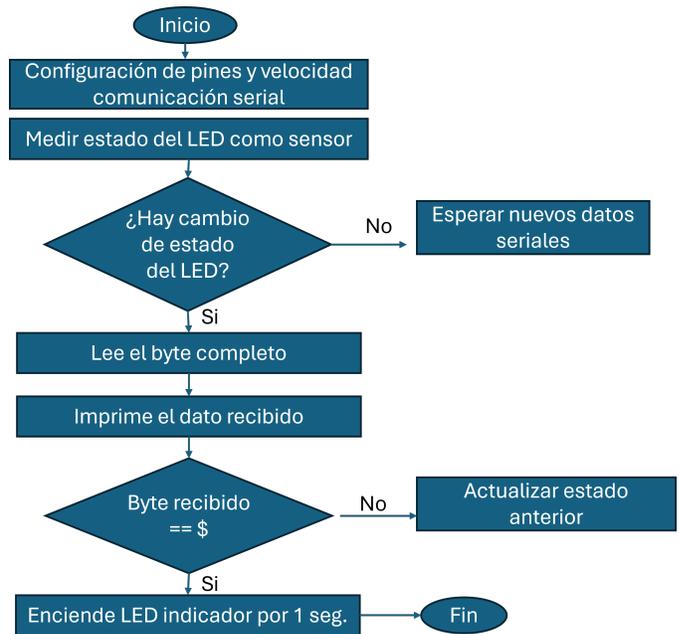


Fig. 7: Diagrama de flujo receptor

3) Proceso de recepción

En el modo de recepción, el sistema cambia el estado de los transistores para aprovechar la capacidad del LED de recibir luz y generar una corriente eléctrica:

- **Detección de Señal Lumínica:** El LED RGB actúa como un fotodetector. Los cambios en la luz recibida por el LED se convierten en señales eléctricas. El transistor PNP se activa para facilitar la detección de estas señales.
- **Acumulación de Tensión:** En el modo receptor, el LED RGB puede acumular tensión cuando recibe luz, aprovechando su capacidad de generar corriente cuando se expone a la luz. Esta característica es clave para aplicaciones donde la recuperación de energía es necesaria.
- **Reconstrucción de Bytes:** Los bits de datos se reconstruyen en el microcontrolador al medir la señal recibida por el LED RGB. Se sigue un ciclo de temporización para asegurar que los datos se lean de manera sincronizada.
- **Impresión de Datos Recibidos:** Una vez que se han reconstruido los bytes, se envían a través del puerto serie para su visualización. Si se detecta un carácter específico (como '\$'), un indicador visual se activa para confirmar la recepción exitosa.

En la fig. 7 se muestra el diagrama de flujo del modo receptor.

F. Configuración de la bomba de carga Dickson

Con la finalidad de aumentar la tensión acumulada en los capacitores, se opta por aplicar la técnica de bomba de carga Dickson mostrada en la fig. 8 la cual se compone de diodos tipo schotky y una serie de capacitores.

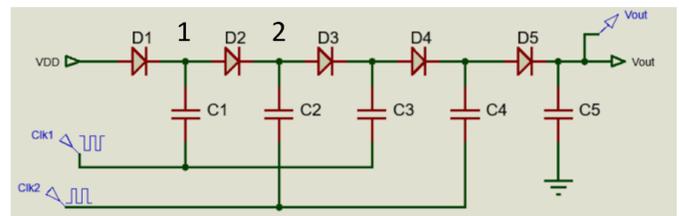


Fig. 8: Circuito bomba de carga Dickson

Esta técnica permite elevar el voltaje generado por los LEDs y acumularlo en el capacitor C5. Se genera una señal oscilante con el Arduino Nano, con capacidad adicional para recibir y transmitir mensajes. A través de un transistor, esta señal se desfasa 90° con respecto a la original, lo que acelera la carga de los capacitores. En la fig. 9. se muestra la señal de reloj en color amarillo que hace funcionar la bomba de carga Dickson y el mensaje enviado de color azul, cada vez que se envía el mensaje el conmutador esta en un uno logico.

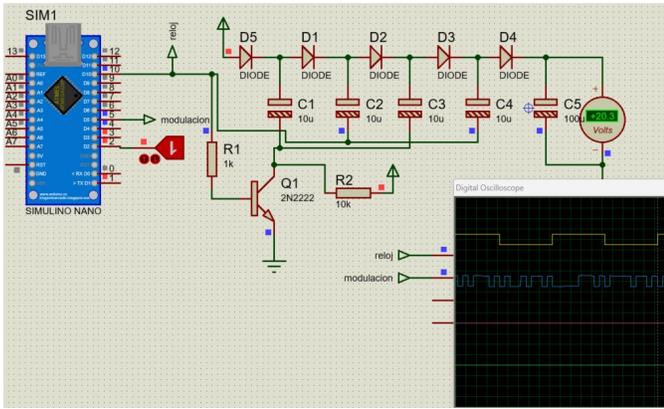


Fig. 9: Señales para bomba de carga Dickson

III. RESULTADOS

Se diseño y construyo con exito un modelo para demostrar la comunicacion bidireccional entre LEDs y la acumulacion de energia. El objetivo era establecer la comunicacion de dos dispositivos por medio del espectro visible usando el mismo LED. En la etapa inicial se utilizo el microcontrolador Arduino Nano y Arduino IDE para recibir y transmitir un texto fijo. Posteriormente se utilizo un proceso paso a paso para escribir texto en el terminal serial de Arduino IDE y enviarlo a una tasa de velocidad de 250 kbps. La distancia entre ambos LEDs se fijo en 2 cms, logrando acumular 19 V con la bomba de carga Dickson. En las siguientes figuras se muestran los resultados de transmision recei3n de dato con la generacion de energia.

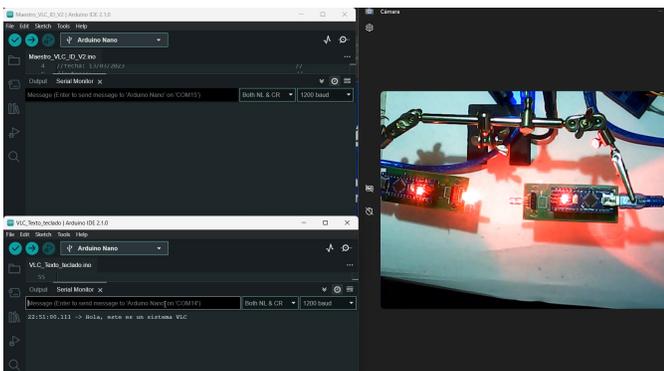


Fig. 10: Envio de dato y recepci3n.

En la fig. 10 se muestra como se envia el mensaje "Hola, este es un sistema VLC" de la tarjeta de izquierda a derecha.

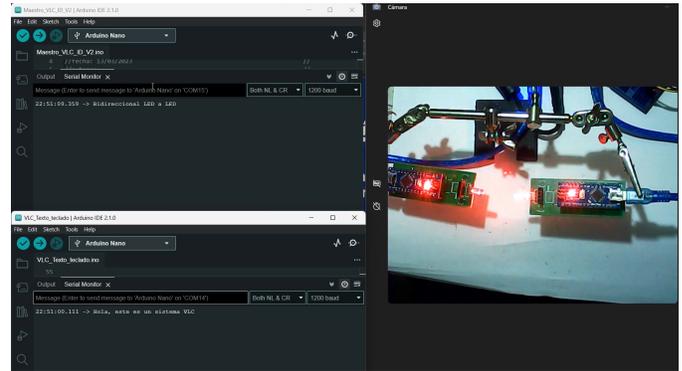


Fig. 11: Reenvio de dato

En la fig. 11 se puede ver la comunicacion bidireccional enviando de derecha a izquierda el mensaje "Bidireccional LED a LED".

Finalmente en la fig. 12 se puede apreciar como se consigue la recepci3n de datos y acumulaci3n de energia.

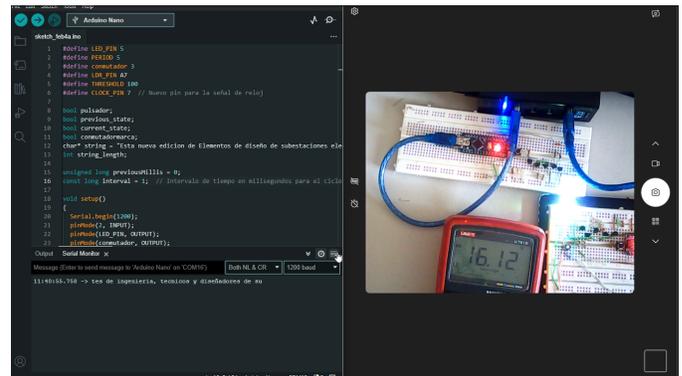


Fig. 12: Comunicaci3n y acumulaci3n de energia

IV. CONCLUSI3N

Este estudio demuestra la viabilidad de la transmisi3n y recepci3n de datos a trav3s de LEDs utilizando un circuito basado en transistores BJT, mientras se aprovecha la capacidad de generaci3n de energia del mismo sistema. Se ha logrado una velocidad de transmisi3n de datos de 250 kbps, lo que indica una eficiente capacidad de comunicaci3n para un sistema VLC-ID.

La implementaci3n y an3lisis de la bomba de carga Dickson demostraron su eficacia para elevar y acumular la tensi3n generada por el LED RGB utilizado como generador de energia. Esta t3cnica se adapt3 específicamente a los niveles de tensi3n alcanzados, permitiendo mejorar la eficiencia de la recolecci3n de energia. Adem3s, se observ3 que, a pesar de las limitaciones iniciales en otras configuraciones de convertidores, la bomba de carga Dickson fue una soluci3n viable y eficiente para

este propósito, mostrando un potencial significativo en la generación y acumulación de energía.

RECONOCIMIENTO

Esta investigación y la APC fueron financiadas por el Instituto Metropolitano de Tecnología [beca P23202], Medellín, Colombia

REFERENCIAS

- [1] Matheus, L. E. M., Vieira, A. B., Vieira, L. F., Vieira, M. A., & Gnawali, O. (2019). Visible light communication: concepts, applications and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3204-3237. 01
- [2] Mir, M. S., Majlesein, B., Guzman, B. G., Rufo, J., & Giustiniano, D. (2021, June). LED-to-LED based VLC Systems: Developments and open problems. In *Proceedings of the Workshop on Internet of Lights* (pp. 1-6).
- [3] Ndjiongue, A. R., & Ngatched, T. M. (2020, October). Led-based energy harvesting systems for modern mobile terminals. In *2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)* (pp. 1-6). IEEE.
- [4] Fan, X., Leon-Salas, W. D., Fischer, T., & Perez-Olvera, A. (2016, October). An LED-based image sensor with energy harvesting and projection capabilities. In *2016 IEEE SENSORS* (pp. 1-3). IEEE.
- [5] Haydaroglu, I., & Mutlu, S. (2014). Optical power delivery and data transmission in a wireless and batteryless microsystem using a single light emitting diode. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 24(1), 155-165.
- [6] Hasegawa, M. (2019, May). Satisfactory role of LEDs as a light receiving component and their uses in science demonstration experiments for educational purposes. In *Education and Training in Optics and Photonics* (p. 11143_79). Optica Publishing Group.
- [7] Sabne, A., Panda, A., & More, V. (2019, July). Simplified wavelength division multiplexing in visible light communication by using RGB LED as frequency selective receiver. In *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)* (pp. 1-5). IEEE.
- [8] Liang, S., Li, S., Pan, Q., & Xu, Z. (2019, July). Self-powered Weak Light LED-LED Communications. In *2019 15th International Conference on Telecommunications (ConTEL)* (pp. 1-5). IEEE.
- [9] Kowalczyk, M., & Siuzdak, J. (2015, July). VLC link with LEDs used as both transmitters and photo-detectors. In *2015 Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks* (pp. 893-897). IEEE.
- [10] Milovančev, D., Vokić, N., & Schrenk, B. (2021, June). VLC using a red SMD LED as 2.48 Gb/s multi-carrier receiver and wide field-of-view 25 Mb/s OOK transmitter. In *Optical Fiber Communication Conference* (pp. F1A-6). Optica Publishing Group.