

Transmissão de Dados por Luz Utilizando Células Fotovoltaicas

Vitoria Alves Monteiro, Alessandro Girardi, Lucas Compassi-Severo

Grupo de Arquitetura de Computadores e Microeletrônica - GAMA

Universidade Federal do Pampa

Alegrete, Brasil

vitoriamonteiro.aluno@unipampa.edu.br

Abstract—Um sistema Li-Fi básico é composto por um diodo emissor de luz (LED) de intensidade controlada e um dispositivo receptor sensível a frequências muito altas que se torna invisível para a visão humana. As células fotovoltaicas (PV Cell) podem implementar as transmissões Li-Fi, servindo como receptor. Assim como utilizando uma modulação, é possível transmitir alguns dados para o LED, e a célula fotovoltaica receber esses dados. ASK (Amplitude Shift-Keying), é uma modulação mais simples utilizada para modular sinais digitais, através da amplitude da onda portadora em função do sinal a ser transmitido.

Index Terms—Li-Fi, Células Fotovoltaicas, ASK

I. INTRODUÇÃO

A comunicação Li-Fi trata-se da transmissão de dados através da luz por um diodo emissor de luz que acaba se transformando em transmissores sem fio muito eficiente. A ideia é usar um receptor para captar a frequência dos pulsos de luz, e com esse sistema é possível identificar as informações que estão sendo enviadas [1].

As células fotovoltaicas têm crescido rapidamente no mercado e se mostram viáveis para a utilização como receptores para sistemas de comunicação. Isto torna possível que, com um LED e uma célula fotovoltaica integrada, seja possível realizar comunicação de dados. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um amplificador para comunicação por luz utilizando um LED como transmissor e a célula fotovoltaica como um receptor em sistemas de transmissão de dados, sem afetar consumo de eletricidade, criando um sistema de transmissão de dados sem fio [2].

Para se tornar possível a transmissão de dados do LED para a célula fotovoltaica, foi utilizada uma modulação conhecida como ASK. Esse processo de modulação consiste em realizar uma operação sobre o sinal ou dados a transmitir e que produz um sinal apropriado para a transmissão. A escolha da modulação permite moldar as características do sinal a transmitir e adaptá-lo às características do canal.

II. DETALHES DA MONTAGEM DO PROTÓTIPO E MODELAGEM

Para realizar a comunicação Li-Fi com uma célula fotovoltaica foi projetado um amplificador de pequenos sinais (BJT) com polarização fixa, o qual pode ser visto na figura 1. [3]

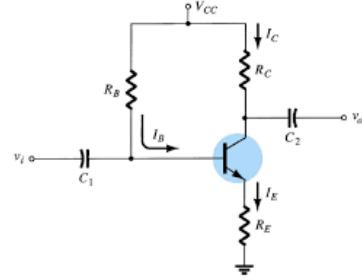


Fig. 1. Circuito amplificador com BJT em polarização fixa.

O amplificador foi projetado para ter certos requisitos nos valores da tensão e corrente, com uma tensão de 5 V e uma corrente de 100 mA.

Projetando o amplificador e observando os requisitos de utilização necessários foi sendo desenvolvido o projeto e obtendo os valores para obter um circuito equivalente para a transmissão para a célula fotovoltaica. Com isso, através do circuito obtido utilizado para as medições, foi desenvolvido um protótipo, como pode se ver nas figuras 2 e 3.

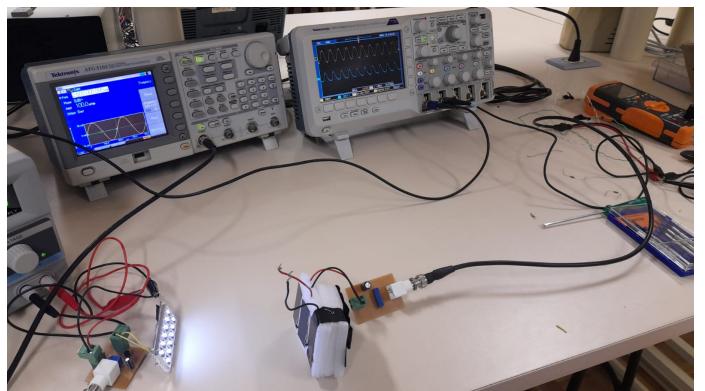


Fig. 2. Medição utilizando os protótipos de circuito projetado.

A recepção da comunicação Li-Fi é realizada por um modelo da célula fotovoltaica de tamanho 20 x 40 mm com circuito aberto. Normalmente, as células fotovoltaicas são conectadas em série para fazer módulos cuja tensão de saída em circuito aberto (V_{oc}) pode ser diretamente usado para

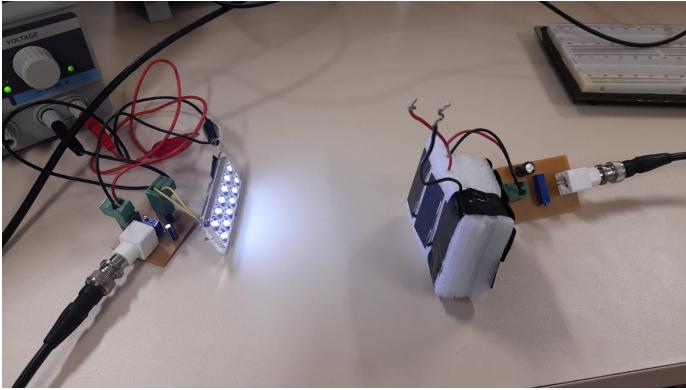


Fig. 3. Protótipos implementado realizando transmissão de dados por luz.

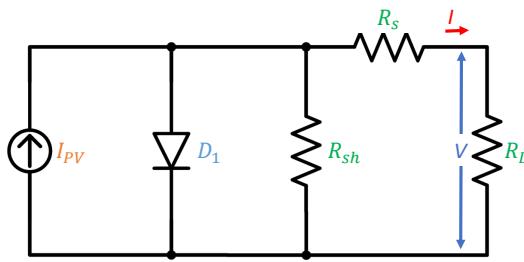


Fig. 4. Modelo elétrico 1D2R da célula fotovoltaica.

detectar modulações de luz sem qualquer amplificador de transcondutância ou fonte de alimentação adicional [4].

Para simulação e caracterização elétrica foi utilizado o modelo 1D2R da célula fotovoltaica, que é composto por um diodo e dois resistores. O circuito equivalente do modelo está ilustrado na figura 4.

III. MEDIDA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA E FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

A primeira configuração de medições está mostrada na figura 5-a, em que primeiro foi ligado a fonte no amplificador e com os valores projetados o LED foi acionado.

Depois foi conectado o gerador de sinais (Agilent 33250A) e osciloscópio (Yokogawa DLM2054) no amplificador para poder variar a frequência e poder perceber que em certa frequência o olho humano não pode ver a oscilação do LED. Então, foi conectado o osciloscópio na célula fotovoltaica também, para poder visualizar se a célula fotovoltaica estava recebendo os pulsos de frequência de luz. Logo ao lado da célula foi colocado um luxímetro (Instrutherm LD-550 luxmeter) para estimar a intensidade luminosa que o LED estava operando.

A segunda parte de medições pode-se ver no diagrama de blocos 5-b, em que no lugar do osciloscópio e do gerador de sinais foi conectado um analisador de redes (Agilent E5061D-305) e o multímetro (Agilent U1251B) para medir a corrente do amplificador em cada momento das medições. Após as medições foram obtidos os resultados através das

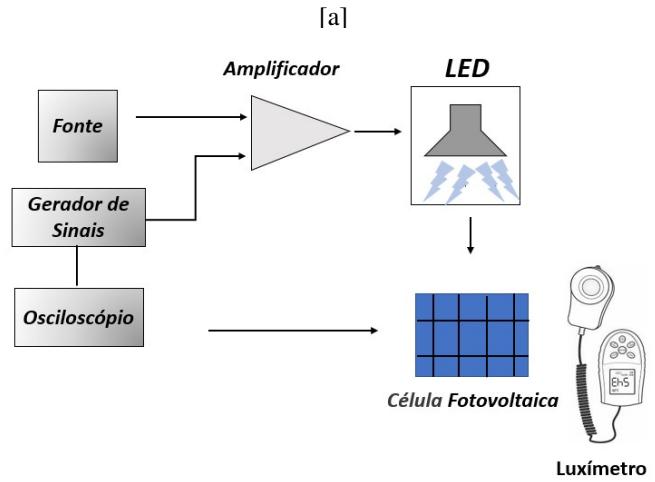


Fig. 5. [a] Diagrama de blocos da primeira medição Li-Fi [b] Diagrama de blocos da segunda medição Li-Fi.

configurações de medições. Os valores obtidos na segunda parte da configuração da medição podem ser vistos na figura 5-b. As potências de entrada foram configuradas em -20dB, -30dB e -40dB.

Conforme eram feitas as medições, era observada a intensidade de luz do LED sobre a célula fovoltaica e também a corrente do amplificador. Os níveis de iluminância do LED foram de 91.4 lux até 412 lux e a corrente variou de 25mA a 150mA. Os gráficos com uma breve comparação do ganho em relação à frequência podem ser vistos na figura 7, com as potências de entrada de -20dB, -30 dB e -40dB. Analisando os gráficos de ganho para as entradas de -30dB e -40dB percebe-se que são bastante parecidos. Os resultados obtidos nas tabelas II e III são praticamente iguais só muda uma variação no último nível de iluminância.

Através do gráfico 6 é possível perceber a comparação da frequência de corte pela iluminância e o quanto a diferença é pouca entre -30dB e -40dB.

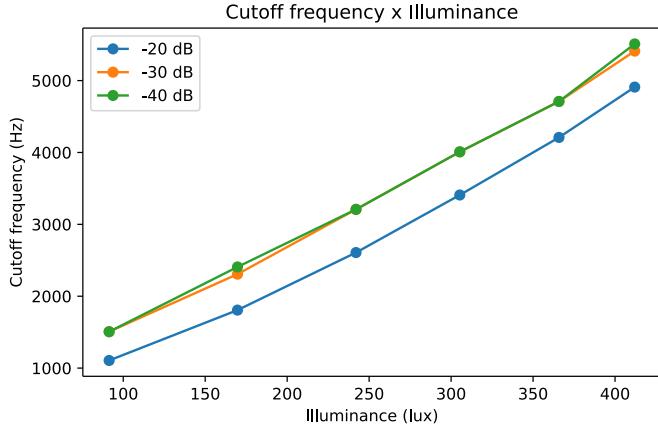


Fig. 6. Frequência de corte X Iluminância.

TABLE I
RESULTADOS DO ANALISADOR DE REDES PARA ENTRADA DE -20dB.

Ilum. (Lux)	Potência de Entrada (dB)	Corrente VDD	Freq.
91.4 lux	-20dB	25mA	1106.05 Hz
169.7 lux	-20dB	50mA	1876.10 Hz
242 lux	-20dB	75mA	2607.47 Hz
305.3 lux	-20dB	100mA	3408.23 Hz
365.8 lux	-20dB	124mA	4208.99 Hz
412 lux	-20dB	150mA	4909.66 Hz

TABLE II
RESULTADOS DP ANALISADOR DE REDES PARA ENTRADA DE -30DB.

Ilum. (Lux)	Potência de Entrada (dB)	Corrente VDD	Freq.
91.4 lux	-30dB	25mA	1506.43 Hz
169.7 lux	-30dB	50mA	2307.19 Hz
242 lux	-30dB	75mA	3208.40 Hz
305.3 lux	-30dB	100mA	4008.80 Hz
365.8 lux	-30dB	124mA	4709.47 Hz
412 lux	-30dB	150mA	5410.14 Hz

TABLE III
RESULTADOS DO ANALISADOR DE REDES PARA ENTRADA DE -40dB.

Ilum. (Lux)	Potência de Entrada (dB)	Corrente VDD	Freq.
91.4 lux	-40dB	25mA	1506.43 Hz
169.7 lux	-40dB	50mA	2408.28 Hz
242 lux	-40dB	75mA	3208.04 Hz
305.3 lux	-40dB	100mA	4008.80 Hz
365.8 lux	-40dB	124mA	4709.47 Hz
412 lux	-40dB	150mA	5510.43 Hz

IV. MEDIDAS UTILIZANDO MODULAÇÃO ASK

A modulação ASK é uma modulação em amplitude que consiste em representar os símbolos zeros e uns pela presença ou ausência do sinal da portadora. A técnica ASK é o parente digital da modulação de amplitude (AM). Em um sinal ASK é a amplitude de uma portadora que varia no tempo de acordo com os bits a transmitir, ou seja, sua amplitude é modificada conforme os pulsos digitais de entrada. [5] [6]. A amplitude da portadora é entre dois valores, usualmente ligado e desligado, onde a onda da portadora consiste em pulsos de frequência que representam o sinal binário "1" e espaços representando o dígito binário "0".

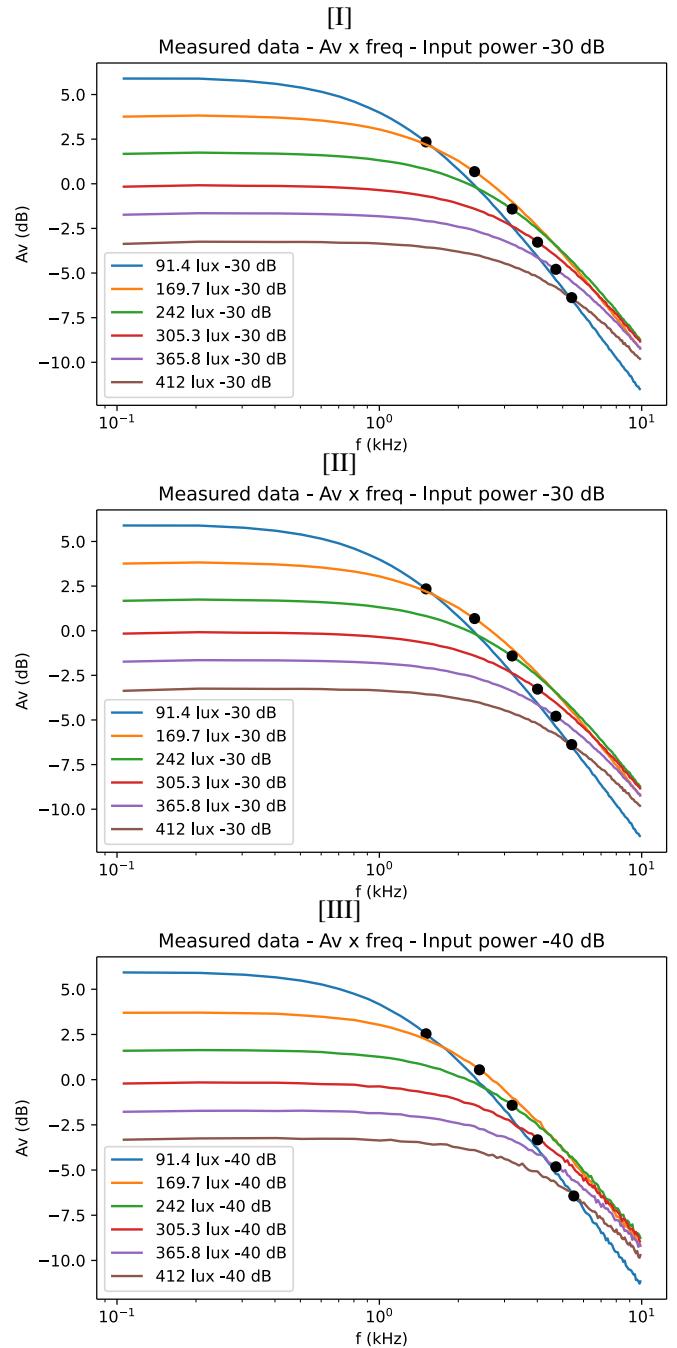


Fig. 7. Ganho x Frequência. [I] Potência de entrada de -20dB. [II] Potência de entrada de -30dB. [III] Potência de entrada de -40dB

As medidas foram feitas utilizando essa modulação em uma frequência de 1kHz em 200mVpp com uma profundidade de 70 por cento, no qual seu sinal modulante era em uma frequência de 40Hz. Nas medições, foi ligada a fonte em 5V para ser ativado o LED, e com isso foi conectado o gerador de sinais também já com a modulação ASK para poder ser transmitidos dados, como mostrado na primeira configuração de medições (Fig. 5-a). A distância nas medições entre o LED e a célula fotovoltaica era de aproximadamente 30 cm.

Diante disso, foi enviado Código Binário "01101010", que representa o caractere "j" em codificação ASCII, através da modulação ASK. Pode-se visualizar a recepção dos dados transmitidos do LED para a célula fotovoltaica através do osciloscópio na fig. 8. Pode-se ver que em amarelo é o sinal transmitido do LED, e em verde o sinal recebido para a célula fotovoltaica. Consiste na amplitude um pouco menor o sinal recebido, mas é possível obter o esperado na transmissão de dados.

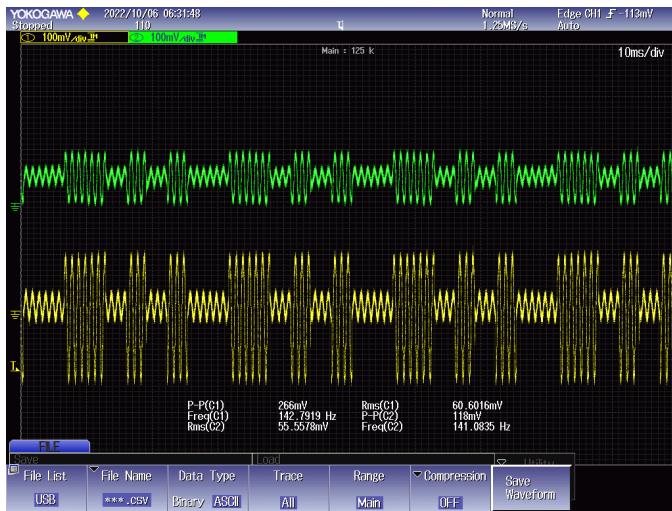


Fig. 8. Transmissão da letra 'j' em código ASCII e modulação ASK. Em amarelo está mostrado o sinal transmitido e em verde o sinal recebido.

V. CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentado um sistema de transmissão de dados através de Li-Fi. O teste foi validado e os resultados obtidos demonstraram o funcionamento da técnica.

O modelo 1D2R da célula fotovoltaica utilizada satisfez as condições dela servir como um receptor dos pulsos de frequência de luz.

Investigações que foram realizadas propondo um modulador utilizando a modulação ASK para poder caracterizar a comunicação Li-Fi para a célula fotovoltaica, foi possível receber através do osciloscópio o sinal transmitido e o sinal recebido com êxito, através de um código binário.

O sistema de comunicação baseado em Li-Fi tem baixo custo, pois necessita apenas de componentes comuns no mercado. Quando implementado em grande escala, pode se tornar ainda mais viável economicamente. [7]

As aplicações deste método de comunicação incluem transmissão de dados sigilosos (já que os sinais luminosos não atravessam paredes, tornando a área de recepção bem delimitada) ou transmissão utilizando a própria infraestrutura de iluminação já existente em todos os ambientes internos.

REFERENCES

- [1] R. Badeel, S. K. Subramaniam, Z. M. Hanapi, and A. Muhammed, "A review on lifi network research: Open issues, applications and future directions," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, 2021.
- [2] N. Lorriere, E. Bialic, M. Pasquinelli, G. Chabriel, J. Barrere, L. Escoubas, and J. J. Simon, "An ofdm testbed for lifi performance characterization of photovoltaic modules," *2018 Global LIFI Congress, GLC 2018*, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, 2018.
- [3] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. Prentice-Hall do Brasil, 1984, vol. 6.
- [4] N. Lorriere, N. Betrancourt, M. Pasquinelli, G. Chabriel, J. Barrere, L. Escoubas, J. L. Wu, V. Bermudez, C. M. Ruiz, and J. J. Simon, "Photovoltaic solar cells for outdoor lifi communications," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 38, pp. 3822–3831, 2020.
- [5] F. Aftab, M. N. U. Khan, and S. Ali, "Light fidelity (li-fi) based indoor communication system," *International Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 8, pp. 21–31, 2016.
- [6] M. Hinrichs, P. W. Berenguer, J. Hilt, P. Hellwig, D. Schulz, A. Paraskevopoulos, K. L. Bober, R. Freund, and V. Jungnickel, "A physical layer for low power optical wireless communications," *IEEE TRANSACTIONS ON GREEN COMMUNICATIONS AND NETWORKING*, vol. 5, 2021.
- [7] N. U. Hassan, A. Naeem, M. A. Pasha, T. Jadoon, and C. Yuen, "Indoor positioning using visible led lights: A survey," *ACM Computing Surveys*, vol. 48, pp. 1–32, 2015.