

Transmissor analógico para aplicações de Comunicação por Luz Visível

Analog transmitter for Visible Light Communication applications

RESUMO

Claudio Vinicius Ohara Soares
claudiovinicius@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Paulo de Tarso Neves Junior
pneves@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Nesse trabalho foi desenvolvido e simulado um circuito com componentes eletrônicos capaz de reproduzir um sinal elétrico de comunicação de um dispositivo de entrada para um dispositivo de saída ótico, o *Light emitting diode* (LED), visando uma posterior implementação de um sistema de comunicação a luz visível (VLC). A metodologia utilizada contou com estudo de caso, analisando circuitos com LED por meio de fundamentos de eletrônica e teoria de circuitos. Propõe-se um novo circuito, com frequência de corte de 50 MHz, que permite através de parâmetros ajustáveis operar com LEDs de diferentes curvas características.

PALAVRAS-CHAVE: Circuito eletrônico. Transmissor. LED. Comunicação.

Recebido: dd mes. aaaa.

Aprovado: dd mes. Aaaa.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

ABSTRACT

In this paper, a circuit with electronic components was developed and simulated capable of reproducing an electrical communication signal from an input device to an optical output device, the Light Emitting Diode (LED), aiming a later implementation of a visible light communication system (VLC). The methodology used included a case study, analyzing LED circuits by electronics fundamentals and circuit theory. A new circuit is proposed, with cutoff frequency of 50 MHz, which through adjustable parameter is able to drive LEDs with different curves characteristics.

KEYWORDS: Eletronic circuit. Transmitter. LED. Communication.



INTRODUÇÃO

A tecnologia que permite o envio de sinais de comunicação no espectro visível é conhecida como *Visible Light Communication* (VLC) [1] e ganha destaque devido a crescente demanda por soluções em conectividade.

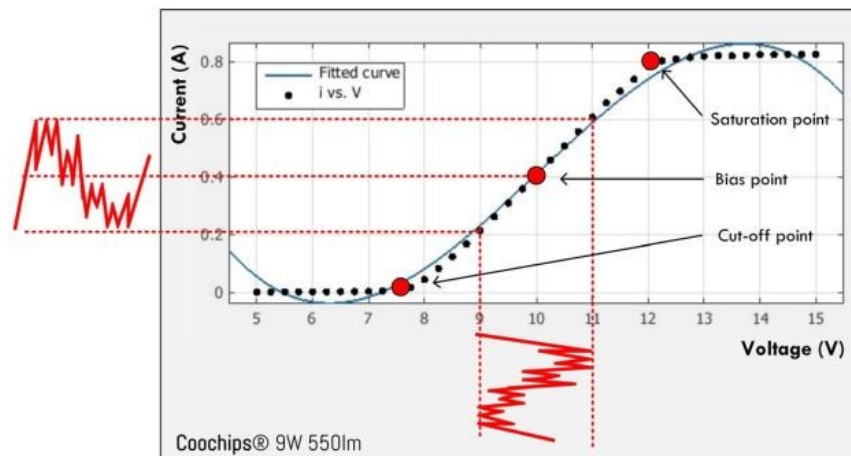
O desenvolvimento dessa tecnologia foi atrelado a uma crescente utilização de dispositivos de luz de estado sólido, como os LEDs, no contexto da iluminação de interiores, devido a alta eficiência energética desses dispositivos [2]. Os dispositivos LEDs atrelam as funcionalidades de conexão e de iluminação. Esse artigo propõe um circuito que emprega um LED para transmissão do sinal VLC.

O principal desafio na utilização do LED na transmissão de sinal VLC é evitar que distorções harmônicas causem erro na modulação do sinal. A tensão ótima de polarização para a máxima linearidade depende das características construtivas do LED, variando para cada modelo e fabricante.

Para o desenvolvimento do circuito transmissor (*driver*) foi considerado o LED modelo Coochip, caracterizado em [3] e que emite potência ótica máxima de 9 W e 550 lm.

O LED apresenta curva característica I-V, corrente por tensão, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1: Curva Corrente por Tensão para o LED considerado.



Fonte: S. Fuada *et al.*, 2016 [3].

É possível observar que o dispositivo apresenta região de comportamento linear entre os pontos *cut-off point* e *Saturation point* e comportamento não linear fora desse intervalo.

O *driver* foi desenvolvido para operar na região de máxima linearidade, *Bias point*, que representa a tensão contínua de polarização ótima (V_{bias}) e foi determinada para 10 V, como apresentado na curva I-V.

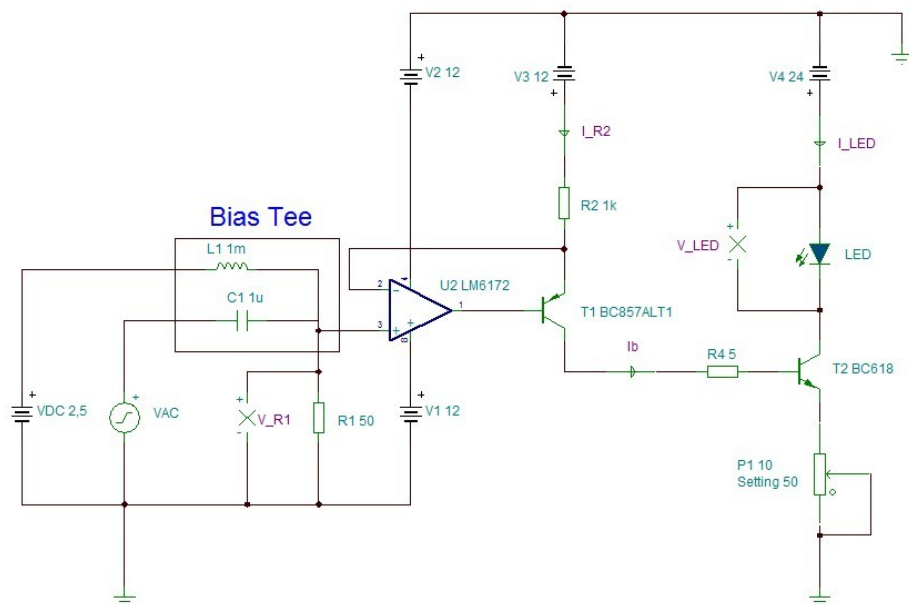
A solução apresentada no presente trabalho é o projeto e simulação de um circuito com largura de banda de pelo menos 10 MHz, com o dimensionamento

de componentes que permitem manter o LED dentro da região de comportamento linear tendo o LED Coochips como referência.

MATERIAL E MÉTODOS

O circuito analógico proposto para transmissão de sinal via LED foi projetado com o auxílio do *software* TINA-TI, um programa *freeware* da empresa DesignSoft produzido para a Texas Instruments. O circuito é composto, entre outros componentes, de um amplificador operacional (ampop) de banda larga (100 MHz), modelo LM6172, atuando como seguidor de tensão (*buffer*) e dois transistores para amplificar uma corrente controlada pela tensão de entrada para um LED.

Figura 2 – Transmissor analógico



Fonte: Autoria própria.

Conforme indicado na Figura 2, nessa simulação o sinal de entrada tem origem em um gerador de onda senoidal (VAC) com impedância interna de 50 Ω. Considerou-se um sinal senoidal de amplitude 1 V e 10MHz de frequência com sobreposição (*offset*) de um nível constante de tensão (nível DC) de 2,5 V proveniente de uma fonte de tensão constante (VDC) por meio de um *bias tee* formado por um capacitor de 1 µF e um indutor de 1 mH.

A amplitude do sinal AC é reduzida à metade devido ao divisor de tensão entre R1 e a impedância interna do gerador VAC, ambos dimensionados para 50 Ω. Dessa forma, o resistor R1 realiza o casamento de impedâncias entre a impedância do gerador e a impedância de entrada não-inversora do ampop que é da ordem de 10 MΩ. Portanto, a tensão sobre R1 será dada por Equação (1).

$$V_{R1} = 2,5 + \frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot 10^7 \cdot t)}{2} V \quad (1)$$

Devido ao curto-circuito virtual há o mesmo sinal V_{R1} na entrada inversora, o que impõe uma corrente no resistor R2 de valor 1 k Ω diretamente proporcional à tensão da entrada não-inversora. A corrente sobre R2 pode ser obtida por Equação (2).

$$I_{R2} = \frac{V_3 - V_{R1}}{R2} = 12 - \left(2,5 + \frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot 10^7 \cdot t)}{2} \right) mA$$

$$I_{R2} = 9,5 - \frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot 10^7 \cdot t)}{2} mA \quad , \quad (2)$$

cujo valor eficaz (RMS) pode ser obtido por Equação (3).

$$I_{R2(RMS)} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T I^2 dt} \quad , \quad (3)$$

onde T representa o período da corrente.

Calculando o valor RMS da onda composta por um sinal de corrente alternada (AC) e um sinal de corrente contínua (DC) [4] obtém-se Equação (4).

$$I_{R2(RMS)} = \sqrt{I_{DC}^2 + I_{AC(RMS)}^2} = \sqrt{(9,5)^2 + \left(\frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}} \right)^2} = 9,506 mA \quad (4)$$

A corrente de coletor do transistor PNP (modelo BC857), polarizado na região de saturação, fluirá para a base do transistor NPN Darlington (modelo BC618) com alto ganho de corrente para baixas frequências (na ordem de 10^3) controlando sua corrente de coletor do Darlington, que é a mesma que alimentará o LED. Para as simulações o potenciômetro P1 no emissor do Darlington foi ajustado para 50% ($R_{P1} = 5 \Omega$).

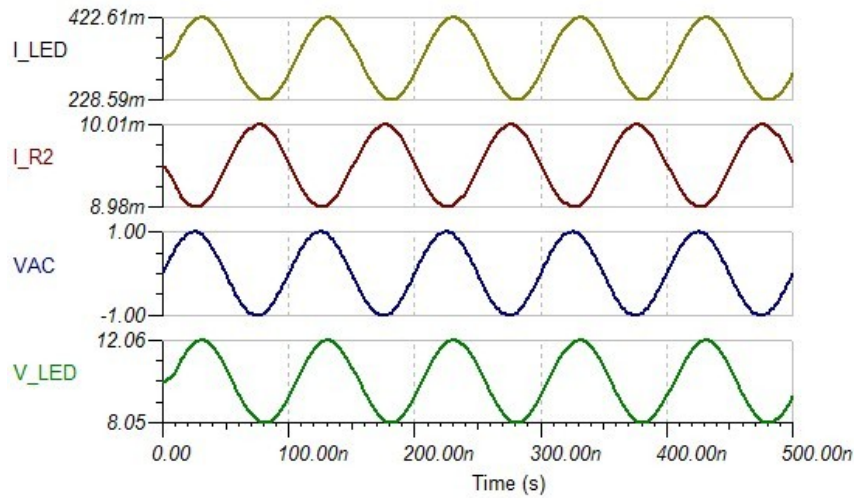
O circuito foi projeto para um LED com comportamento semelhante ao LED Coochip [3], portanto, a tensão de polarização (V_{bias}) para o ponto de maior linearidade deve ficar em torno de 10 V.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A principal função do circuito é fornecer um sinal de corrente a um LED, a partir de um sinal de tensão de entrada conhecido, apresentando o mesmo formato de onda desse sinal de entrada, com valor eficaz de corrente suficiente para o funcionamento, sem danificar o dispositivo e operando na região linear do LED, preservando assim a informação contida no sinal de entrada.

A Figura 3 apresenta as curvas do sinal de entrada AC em 10 MHz e do sinal da corrente no LED. O nível DC no LED apresenta o valor $V_{bias} = 10 V$, alcançado ao escolher o nível DC da fonte de entrada em 2,5 V. Observa-se que tanto a corrente no LED quanto a corrente em R2 (I_{R2}) não sofrem distorções em seu formato de onda em relação ao sinal de entrada.

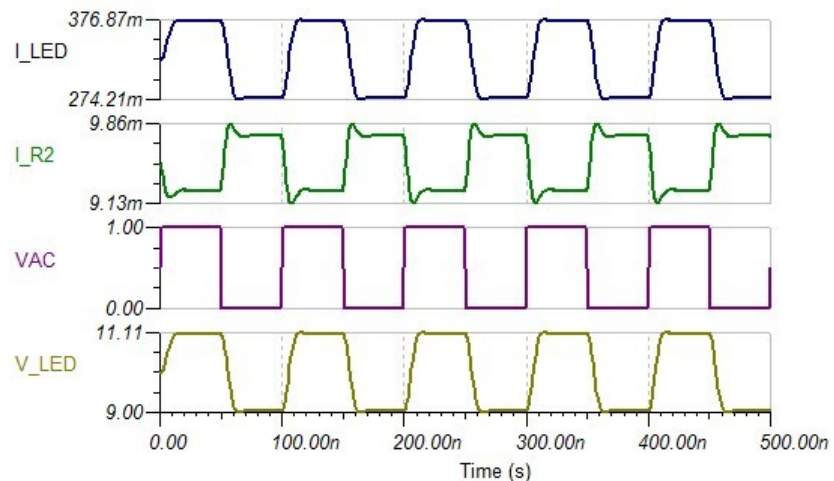
Figura 3: Tensão e corrente no LED para VDC = 2,5 V e entrada senoidal VAC = 1 Vp e 10 MHz.



Fonte: Autoria própria.

O circuito teve bom desempenho também para entradas digitais. A Figura 4 apresenta a resposta tendo como entrada uma sequência de bits, com 1 V para nível alto e 0 V para nível baixo, a uma taxa de 20 Mbps mantendo fixo o nível DC da fonte de entrada em 2,5 V. Os bits 0 e 1 se mostraram perfeitamente distinguíveis como pode ser visto pela forma de onda da corrente no LED. Observa-se também que o nível DC no LED continua apresentando o valor $V_{bias} = 10$ V no seu ponto ótimo de máxima linearidade.

Figura 4: Resposta para entrada digital com taxa de 20 Mbps e 1 V de pico.

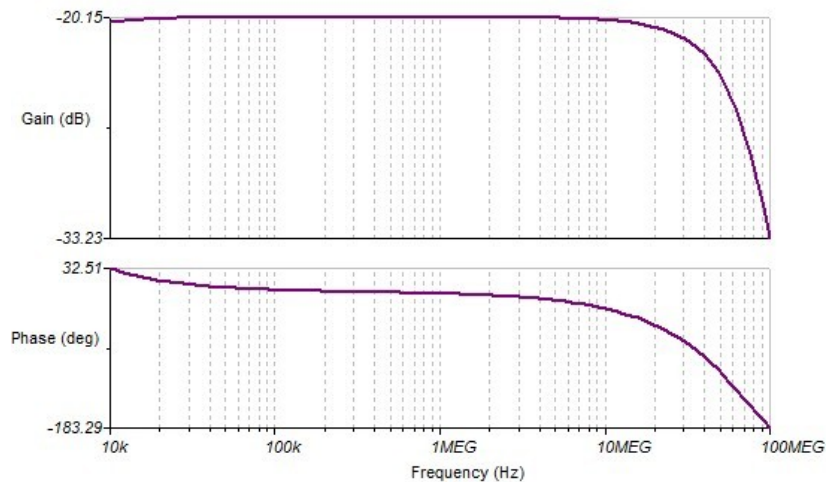


Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 ilustra o comportamento em frequência da corrente no LED. Observa-se que tanto a magnitude quanto a fase são satisfatoriamente planas na faixa de 10 kHz a 10 MHz, indicando que não haverá distorções em sinais que contenham frequências nessa faixa. A análise da resposta em frequência do circuito no simulador indicou ganho de -20,46 dB em 10 kHz e -20,29 dB em 10 MHz, entre essas frequências um ganho estável próximo a -20,15 dB e a

frequência de corte no espectro, ganho -23,15 dB, é de aproximadamente $f_{3dB} = 47$ MHz.

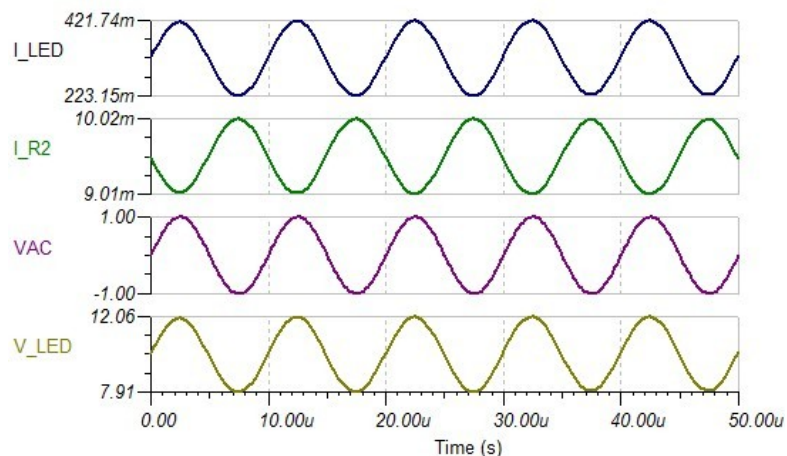
Figura 5: Comportamento em frequência da corrente no LED.



Fonte: Autoria própria.

Essa estabilidade em frequência é exemplificada na Figura 6, que apresenta uma simulação feita com as mesmas condições anteriores, porém, com uma frequência de 100 kHz, dentro do intervalo de frequências de ganho estável (-20,15 dB) para o circuito do *driver* e que, portanto, não deve sofrer distorção do sinal de VAC em I_LED.

Figura 6: Tensão e corrente no LED para VDC = 2,5V e entrada senoidal VAC = 1 Vp e 100 kHz.



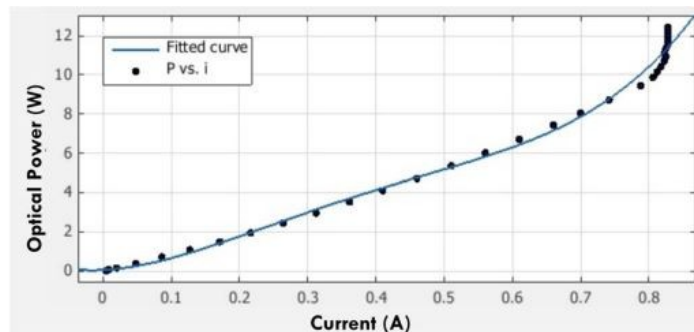
Fonte: Autoria própria.

Comparando os resultados das simulações apresentadas na Figura 3, sinal com 10 MHz, com os da Figura 6 acima, sinal com 100 kHz, é possível observar que no primeiro caso a corrente I_LED assumiu valor de aproximadamente 298,710 mA eficaz no primeiro caso e aproximadamente 297,183 mA eficaz no

segundo e em ambos os casos o V_{bias} do LED permaneceu em 10 V, condição de máxima linearidade.

Conforme a caracterização feita em [3], a potência ótica emitida pelo LED Coochip é proporcional a corrente, se o LED estiver operando com correntes na região linear entre 100 mA e 700 mA. A Figura 7 mostra que para a corrente média de 300 mA, obtida pelas simulações do circuito proposto, o LED emitiria 3 W de potência ótica.

Figura 7: Curva de Potência Ótica por corrente do LED Coochip.



Fonte: S. Fuada *et al.*, 2016 [3].

Apesar de o circuito projetado atender ao comportamento do LED Coochip utilizado no artigo de referência [3], algumas alterações podem ser implementadas para que o circuito opere com LEDs de diferentes curvas de comportamento de corrente por tensão. Por exemplo, a amplitude da corrente do LED pode ser ajustada variando a tensão senoidal de entrada VAC, sendo que a tensão de polarização do LED, V_{bias} , pode ser ajustada variando a resistência do potenciômetro P1 ou pelo sinal de entrada contínuo VDC.

CONCLUSÃO

Nas simulações realizadas o circuito proposto atingiu o objetivo de reproduzir com fidelidade o sinal de entrada conhecido na forma de onda da corrente do LED, com largura de faixa considerável (de 10 kHz a 10 MHz) e mostrou ser ajustável a diferentes situações por considerar elementos de controle dos parâmetros de funcionamento do circuito e do LED, a saber: o circuito Bias tee e o potenciômetro no ramo emissor do Darlington.

Dessa forma esse circuito se mostrou adequado a sinais de comunicação em um intervalo maior de frequências e mais flexível em relação ao tipo de LED empregado, visto que seu parâmetro de funcionamento mais crítico, o V_{bias} , pode ser ajustado pelo sinal DC aplicado ao sinal de entrada pelo circuito Bias tee ou pelo potenciômetro no estágio final de amplificação de corrente.

Devido aos imprevistos ocasionados pela pandemia da COVID-19 não foi possível realizar os testes em bancada de um circuito real desse modelo proposto.

REFERÊNCIAS

1. L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. M. Vieira, M. A. M. Vieira and O. Gnawali, "**Visible Light Communication: Concepts, Applications and Challenges**," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 4, pp. 3204-3237, Fourthquarter 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2913348;
2. Y. Tanaka, S. Haruyama and M. Nakagawa, "**Wireless optical transmissions with white color ed LED for wireless home links**," 11th IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications. PIMRC 2000. Proceedings (Cat. No.00TH8525), London, UK, 2000, pp. 1325-1329 vol.2, doi: 10.1109/PIMRC.2000.881634.
3. S. Fuada, T. Adiono, A. P. Putra and Y. Aska, "**A low-cost Analog Front-End (AFE) transmitter designs for OFDM visible light communications**," 2016 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), Bandung, 2016, pp. 371-375, doi: 10.1109/ISESD.2016.7886750;
4. Nakashima, Kazuo. "**Valor médio e eficaz.**" *Setembro, 2013a. Universidade Federal de Itajubá (2007)*. Disponível em <<https://elt09.unifei.edu.br/roteiroslab/rms.pdf>>. Acesso em 28 ago. 2020.