



Dimensionamento de *driver* de laser pulsado para aplicações fotoacústicas

DESIGN OF A PULSED LASER DRIVER FOR PHOTOACOUSTIC APPLICATIONS

Isadora Fernanda Zappe Schmidt*, Fabio Rizental Coutinho†

RESUMO

A eficácia da luz modulada para geração de ondas acústicas, conceito este ao qual é conhecido como fotoacústica ou optoacústica, tornou-se notável sobretudo em aplicações biomédicas. Todavia, tal área, apesar de benéfica, ainda é pouco explorada para a medição de escoamentos industriais. O objetivo deste trabalho é discutir a geração de feixes de laser pulsados por meio da análise e prototipagem de circuitos para a aplicação da técnica fotoacústica na instrumentação de escoamentos industriais. O circuito projetado foi direcionado a fornecer uma corrente de saída de 180 mA chaveada à 1 MHz. Para isso foi utilizado um MOSFET IRF840 acionado por um *driver* de corrente TC4428A. O circuito foi capaz de pulsar o laser em 1 MHz e de fornecer aproximadamente 175 mA. O sinal de saída apresentou *overshoot* de 27,6% e *delay* de 66 ns, expondo a possibilidade de operar o laser pulsado sem a necessidade da compra de um *driver* específico, bem como comprovar que bastaram poucos componentes para viabilizar tal condição.

Palavras-chave: fotoacústica, optoacústica, medição de vazão, driver de corrente

ABSTRACT

The effectiveness of modulated light for acoustic wave generation is a concept known as photoacoustics or optoacoustics, and it has become remarkable mainly in biomedical applications. However, such an area, although beneficial, is still not explored enough for the measurement of industrial flows. This work's objective is to discuss the generation of pulsed laser beams through the analysis and prototyping of circuits for the application of the photoacoustic technique in industrial flow instrumentation. The designed circuit was aimed at providing an output current of 180 mA switched at 1 MHz. For this, an IRF840 MOSFET was used, powered by a TC4428A current driver. The circuit was able to pulse the laser at 1 MHz and deliver approximately 175 mA. The output signal had an overshoot of 27.6% and a delay of 66 ns, exposing the possibility of operating the pulsed laser without the need to purchase a specific driver, as well as to prove that only a few components were enough to make such condition viable.

Keywords: photoacoustics, optoacoustics, flow measurement, current driver

1 INTRODUÇÃO

O primeiro ensaio de luz modulada para geração de ondas acústicas foi sugerido em 1881 por Alexandre Graham Bell, estudo este ao qual ficou conhecido como fotoacústica ou optoacústica (GUSEV e KARABUTOV, 1993; WEI et al., 2007). Esse ramo tornou-se conceituado nas últimas duas décadas, sobretudo em aplicações biomédicas (ATTIA et al., 2019), em especial na medição de fluxo sanguíneo. Não obstante, tal área até então é pouco explorada para a medição de escoamentos, na qual pode-se citar o trabalho de Petersen

* Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil; isaschmidt@live.com

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo; fabiocoutinho@utfpr.edu.br



et al. (2018), que desenvolveu, no intuito de detectar contaminantes de óleo em escoamentos de ar comprimido, um sensor que recorre às técnicas de espectroscopia fotoacústica.

A fotoacústica une as vantagens de sensores ópticos com as vantagens de sensores de ultrassom podendo se atingir uma instrumentação de escoamentos mais eficiente para algumas aplicações. As técnicas de ultrassom, por exemplo, são insuficientes para inferir a vazão de escoamentos gás-líquidos quando a fração de gás em relação ao líquido ultrapassa 10% (MURAI et al., 2009). Por outro lado, enquanto as técnicas ópticas são insatisfatórias no quesito de medir vazão para líquidos pouco translúcidos, elas não têm limitações quanto à fração de vazio.

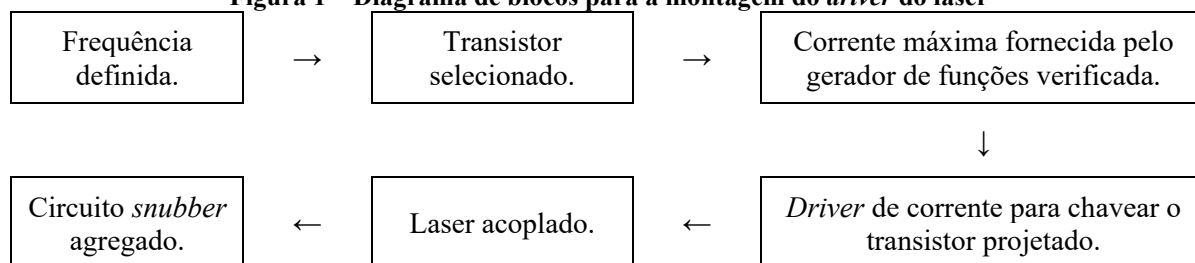
Nesse contexto, a utilização de laser é a forma mais conveniente de gerar ondas acústicas eficientes devido à sua alta potência óptica e sua capacidade de concentrar energia em pequenas dimensões (HUTCHINS, 1988). Ademais, enquanto muitos *drivers* de laser estão atualmente disponíveis, eles são comumente muito mais caros do que o custo de suas peças, também não fornecendo a estabilidade necessária para casos específicos (ERICKSON et al., 2008). A questão é, qual o circuito mais adequado para gerar um feixe de laser pulsado em frequências acima de 1 MHz?

Neste trabalho, o objetivo é discutir a geração de feixes de laser pulsados por meio da análise e prototipagem de circuitos para a aplicação da técnica fotoacústica na instrumentação de escoamentos industriais.

2 MÉTODO

O diagrama de blocos do procedimento adotado para a montagem do circuito é apresentado na Fig. 1. Este procedimento foi desenvolvido para projetar um *driver* a fim de pulsar, em frequências da ordem de MHz, um laser infravermelho da fabricante TZT emitindo luz em 808 nm, com o objetivo de fornecer uma corrente na saída de 180 mA. Posto que o laser é o principal componente, a principal variável de projeto neste procedimento é a frequência. Para os testes, foi selecionada a frequência de 1 MHz. Em seguida, os valores dos componentes utilizados foram analisados e ajustados em simulações considerando condições ideais. Posteriormente, o circuito simulado foi montado em uma *protoboard* (ou matriz de contatos), a qual forneceu os resultados no osciloscópio Keysight InfiniiVision DSO-X 2024A adiante analisados, sendo esta alimentada por uma fonte de bancada Politem POL-16B e gerador de funções Agilent 33220A.

Figura 1 – Diagrama de blocos para a montagem do *driver* do laser



Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto mais alta a frequência, mais importância se deve dar à capacitância de saída (C_{OSS}) do transistor, sendo indispensável sua utilização como um parâmetro deste projeto. Esta capacitância é proporcional ao tamanho do transistor e inversamente proporcional à resistência do dreno para a fonte ($R_{DS(on)}$). Em frequências



mais altas, os requisitos para capacitâncias menores resultam em maiores perdas de condução (HERTEL e KNOTT, 2017). Isso definiu a primeira limitação, na qual o transistor cujo laser está diretamente conectado foi selecionado. Em seguida, a corrente máxima fornecida pelo gerador de funções para 1 MHz foi verificada e o *driver* de corrente para o chaveamento do transistor já selecionado foi projetado de acordo. Após a conclusão da seleção dos componentes, o laser foi acoplado ao circuito, em série com resistores limitadores de tensão/corrente. Posteriormente, as oscilações parasitárias relacionadas à comutação dos dispositivos montados na *proto-board* foram investigadas e o circuito *snubber* resistor-capacitor (RC) agregado. A principal aplicação de um *snubber* RC é amortecer a ressonância de elementos parasitas no circuito (TODD, 1993).

2.1 Componentes

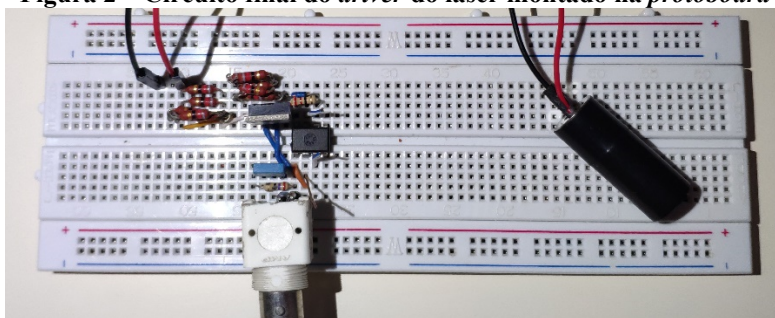
O MOSFET de potência é um dispositivo controlado por tensão que requer apenas uma pequena corrente de entrada. Além de apresentar baixas perdas de comutação, sua velocidade de chaveamento é na ordem de nanossegundos (RASHID, 2014). Ademais, na escolha do transistor, buscou-se um equilíbrio entre C_{OSS} e $R_{DS(on)}$. O transistor utilizado foi o IRF840 da fabricante International Rectifier, que apresenta 310 pF de C_{OSS} à 1 MHz, em torno de $0,85 \Omega$ de $R_{DS(on)}$ e tensão de limiar ($V_{GS(th)}$) por volta de 3 V.

Após adicionar diferentes cargas ao gerador de funções chaveado à 1 MHz, verificou-se que a corrente máxima fornecida é em torno de 1 mA, fazendo-se necessária a conexão de um *driver* de corrente entre o gerador e o *gate* do IRF840. O *driver* utilizado foi o TC4428A (Fig. 2) da fabricante Microchip, cuja corrente mínima de entrada (I_S) é cerca de 1 mA e máxima de saída (I_{PK}) é de 1,5 A, operando com tempo de atraso de chaveamento (t_{D1}) em torno de 30 ns. Ainda, entre a saída do TC4428A e o *gate* do IRF840 (Fig. 2), foi adicionado um diodo de recuperação rápida BAT47 da fabricante STMicroelectronics em paralelo com um resistor limitador de corrente de 22Ω .

Por fim, após o acoplamento do laser em série com um resistor limitador de tensão/corrente de $7,45 \Omega$, o circuito *snubber* RC foi projetado e adicionado. O valor do capacitor foi estimado a partir da capacitância dominante do circuito, a qual é representada pela C_{OSS} do IRF840. A capacitância do *snubber* geralmente será duas a quatro vezes esse valor (TODD, 1993). Assim, tal capacitância foi definida por 1,2 nF e o valor do resistor estabelecido na prática, por 27Ω .

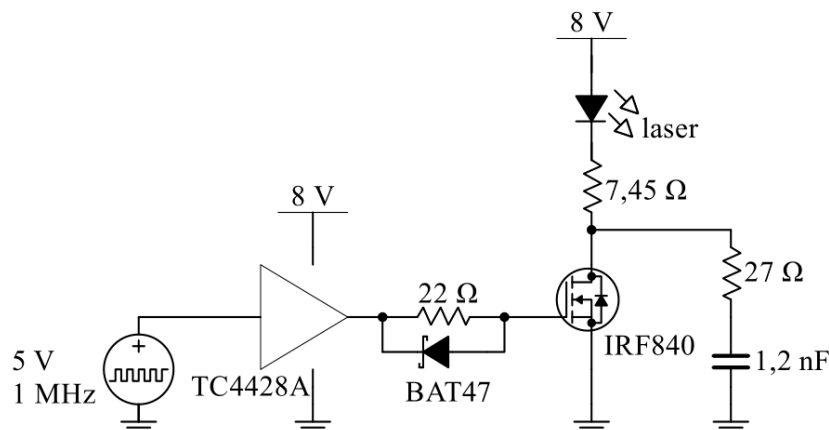
No quesito da montagem do circuito na *proto-board* e subseqüentes testes, dado que qualquer pedaço de fio possui indutância distribuída (TEXAS INSTRUMENTS, 2011), procurou-se usar o menor número de contatos admissíveis aliados ao menor comprimento possível dos condutores. Nesse cenário, agregou-se um conector coaxial no dreno do IRF840 para os testes. O circuito final montado na *proto-board* pode ser visto na Fig. 2. e o circuito final simulado pode ser observado na Fig. 3.

Figura 2 – Circuito final do *driver* do laser montado na *proto-board*



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 3 – Circuito final do *driver* do laser simulado

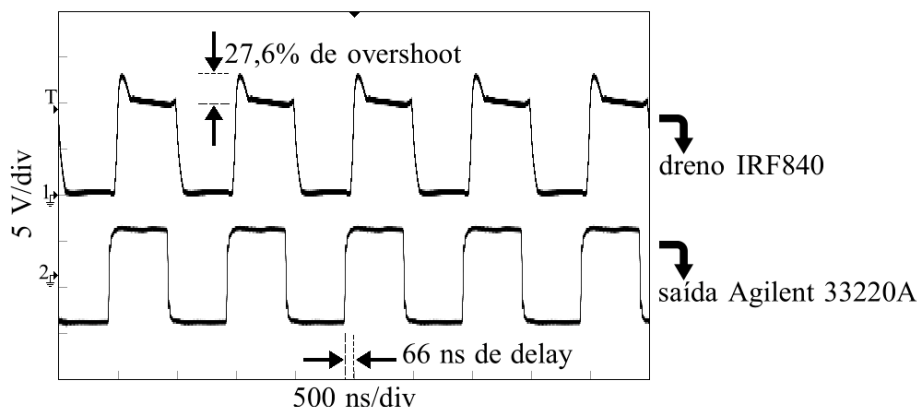


Fonte: Autoria própria (2021).

3 RESULTADOS

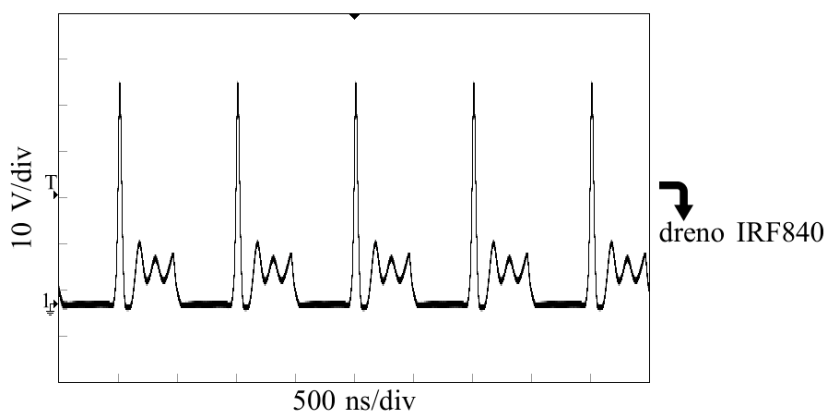
Após testado, o *driver* do laser foi capaz de fornecer uma corrente de saída de aproximadamente 175 mA. A imagem final retirada do osciloscópio com todos os componentes montados na protoboard pode ser vista na Fig. 4, na qual a primeira forma de onda caracteriza o sinal no dreno do IRF840 e a segunda forma de onda caracteriza a saída do gerador Agilent 33220A ou entrada do TC4428A. Apesar da adição do circuito *snubber* RC, este não foi capaz de atenuar 100% o *overshoot*, já que a *protoboard* também apresentou capacitâncias parasitárias relacionadas às suas conexões condutoras. Ainda, apesar da agilidade do chaveamento dos componentes, a primeira onda em relação à segunda apresenta um atraso ou *delay* de 66 ns. Por conseguinte, a Figura 5 exibe a onda do dreno do IRF840 antes da adição do circuito *snubber* RC. Pode-se perceber o efeito das oscilações parasitárias posteriormente atenuadas.

Figura 4 – Onda retirada do IRF840 e Agilent 33220A, respectivamente, ambas chaveadas à 1 MHz



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 5 – Onda retirada do IRF840 chaveado à 1 MHz, antes da adição do circuito *snubber* RC



Fonte: Autoria própria (2021).

4 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento desta etapa, foi possível passar a operar o laser pulsado em frequências da ordem de MHz sem a necessidade da compra de um *driver* específico, bem como comprovar que, se avaliados e ajustados, bastam poucos componentes para viabilizar tal condição. Ademais, o funcionamento do circuito deve apresentar melhores resultados quando for montado em uma placa de circuito impresso com conectores coaxiais adequados. Por fim, resta ainda realizar testes da luz modulada para a geração de ondas acústicas em ultrassom, a fim de inovar na instrumentação de escoamentos industriais.

AGRADECIMENTOS

O autor deste trabalho agradece a Universidade Tecnológica Federal do Paraná não só por ter cedido o uso de suas instalações, mas também pelo apoio financeiro e agradece ao Professor Dr. Fabio Rizental Coutinho por toda a orientação feita.

REFERÊNCIAS

- ATTIA, A. et al. A review of clinical photoacoustic imaging: current future trends. **Photoacoustics**, v. 16, 2019.
- ERICKSON, C. J. et al. An ultrahigh stability, low-noise laser current driver with digital control. **Rev. Sci. Instrum.**, 79:07310, 2008.
- GUSEV, V. E.; KARABUTOV, A. A. **Laser Optoacoustics**. New York: American Institute of Physics, 1993.
- HERTEL, J. C.; NOUR, Y.; KNOTT, A. Integrated Very-High-Frequency Switch Mode Power Supplies: Design Considerations. **IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics**, v. 6, n. 2, 2018.



- HUTCHINS, D. A. **Ultrasonic Generation by Pulsed Lasers**. Academic Press, 1988.
- International Rectifier. **IRF840**. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68310/IRF/IRF840.html>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- Microchip. **TC4426A/TC4427A/TC4428A**. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/195055/MICROCHIP/TC4428A.html>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- MURAI, Y. et al. Development of an ultrasonic void fraction profiler. **Measurement Science and Technology**, 20, 2009.
- PETERSEN, J. C. et al. Flow immune photoacoustic sensor for real-time and fast sampling of trace gases. Proc. SPIE 10539, **Photonic Instrumentation Engineering V**, 105390G, 2018.
- RASHID, M. H. **Eletrônica de Potência – Circuitos, dispositivos e aplicações**. São Paulo: MAKRON Books do Brasil Editora Ltda, 817 p., 1999.
- STMicroelectronics. **BAT47**. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/21957/STMICROELECTRONICS/BAT47.html>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- Texas Instruments. Ringing Reduction Techniques for NexFETTM High Performance MOSFETs. **Application Report**, SLPA010, 2011.
- TODD, P. C. Snubber Circuits: Theory, Design and Practice. **Unitrode Power Seminar**, 900, 1993.
- WEI, C. et al. Photoacoustic flow measurements based on wash-in analysis of gold nanorods. **IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control**, v. 54, n. 6, 2007.
- TZT teng. **DIY Lab 808 nm 2.2 V High Power Burning Infrared Laser Diode Module TO-18 Laser Diode 300 mW**. Disponível em: <<https://www.aliexpress.com/item/33049086758.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.2d91b90awn9xkR>>. Acesso em: 12 set. 2021.