



Desenvolvimento de sensor isolado de tensão e corrente para controle de máquinas elétricas

Development of an isolated voltage and current sensor for electrical machine control

Bárbara Aparecida Bueno¹, Carlos M. R. de Oliveira²

RESUMO

O uso de técnicas de controle com realimentação age na minimização de variações de velocidade em máquinas elétricas perante distúrbios de carga no eixo. Para que seja alcançado o melhor desempenho dinâmico possível, é preciso não só que sejam utilizados sensores de tensão e corrente confiáveis e precisos, mas que sejam garantidas as condições seguras de operação, ao isolar os dispositivos de controle do sistema de potência. Parte importante disso é o uso de sensores isolados nas malhas de realimentação. O presente estudo aborda o desenvolvimento de um sensor de tensão e corrente baseado no amplificador opto-isolador HCPL-7840. Os resultados obtidos indicam que o sensor apresenta linearidade satisfatória na medição de corrente e tensão, e o circuito desenvolvido é confiável tanto nos modos de saída em tensão quanto em corrente. Além disso, ele possibilita a medição de até a 19ª harmônica sem atraso significativo. Desse modo, o sensor se mostrou adequado para uma ampla gama de aplicações que envolvem alta potência e controle eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: Amplificador isolador; sensor de corrente; sensor de tensão.

ABSTRACT

The use of feedback control techniques helps minimize speed variations in electric machines in the face of load disturbances on the shaft. To achieve the best possible dynamic performance, it is necessary for the current and voltage sensors to be not only reliable and accurate but also to ensure safe operating conditions while isolating the control equipment from the high-power system. The use of isolated sensors in the feedback loop is an important measure to achieve this goal. This study presents the development of a current and voltage sensor based on the opto-isolated amplifier HCPL-7840. The results indicate that the sensor exhibits satisfactory linearity when measuring current and voltage, and is reliable in both voltage and current output modes. Additionally, it allows the measurement of frequencies up to the 19th harmonic without significant output delay. In conclusion, the sensor is suitable for a wide range of applications involving high-power and efficient control.

KEYWORDS: Isolation amplifier; current sensor; voltage sensor.

¹ Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: bbueno.2017@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7857232287079366.

² Docente de Engenharia Elétrica - COELT-AP. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: carlosoliveira@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3505392210932112.



INTRODUÇÃO

Motores elétricos podem ser definidos como máquinas rotativas que, ao serem alimentadas com eletricidade, fornecem energia mecânica em seu eixo. Tal propriedade tem vasto potencial de utilização nos mais diversos âmbitos, principalmente no industrial, onde esses dispositivos chegavam a ser responsáveis por mais de 60% do consumo de energia elétrica já em 2010 (SAIDUR, 2010a). Motores são projetados para apresentar alta eficiência tendo em vista condições de operação específicas, como velocidade e torque nominais. No entanto, é comum que sejam necessários ajustes ao seu modo de funcionamento, para atender às exigências específicas dos processos em que são utilizados (SAIDUR et al., 2012).

Quando motores elétricos operam em carga parcial, ou em sobrecarga, seu rendimento é prejudicado. O emprego de dispositivos e técnicas de controle adequados ao acionamento desses equipamentos melhora não apenas seu desempenho e produtividade, mas também proporciona maior eficiência energética, ao permitir que a velocidade se mantenha constante mesmo para diferentes cargas. Portanto, os avanços nessa área se mantêm relevantes, principalmente com a crescente preocupação a respeito dos impactos ambientais associados ao consumo de recursos energéticos (SAIDUR, 2010b).

No contexto de controle e automação de processos, a medição de grandezas físicas é parte fundamental para que se alcancem as condições de desempenho planejadas. Em ambientes industriais, os equipamentos tendem a operar em altas tensões e correntes, de modo que não apenas a precisão e acurácia sejam importantes, mas também a confiabilidade e a segurança de operação (SERGEI; BOHDAN; VIKTORIYA, 2019). Dessa forma, torna-se essencial prevenir ao máximo que condições anormais, como sobretensões e sobrecorrentes, causem riscos ao bem estar dos operadores, e danos aos demais componentes do sistema de controle.

Em instalações de potência mais alta, o uso de sensores com isolamento galvânico no circuito de realimentação é uma das medidas empregadas para a proteção dos controladores. Nesse caso, não há caminho elétrico entre ele e o equipamento cuja grandeza está sendo medida, o que impede que faltas ocorridas no lado de potência o afetem. Além disso, o isolamento auxilia na preservação da integridade do sinal, ao proporcionar proteção contra interferências e ruídos elétricos (SCHWEBER, 2017), possibilitando um controle com atuação mais precisa e confiável.

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sensor de tensão e corrente baseado no amplificador opto-isolador HCPL-7840, visando a aplicação no controle e acionamento de motores elétricos.

CIRCUITO ELETRÔNICO

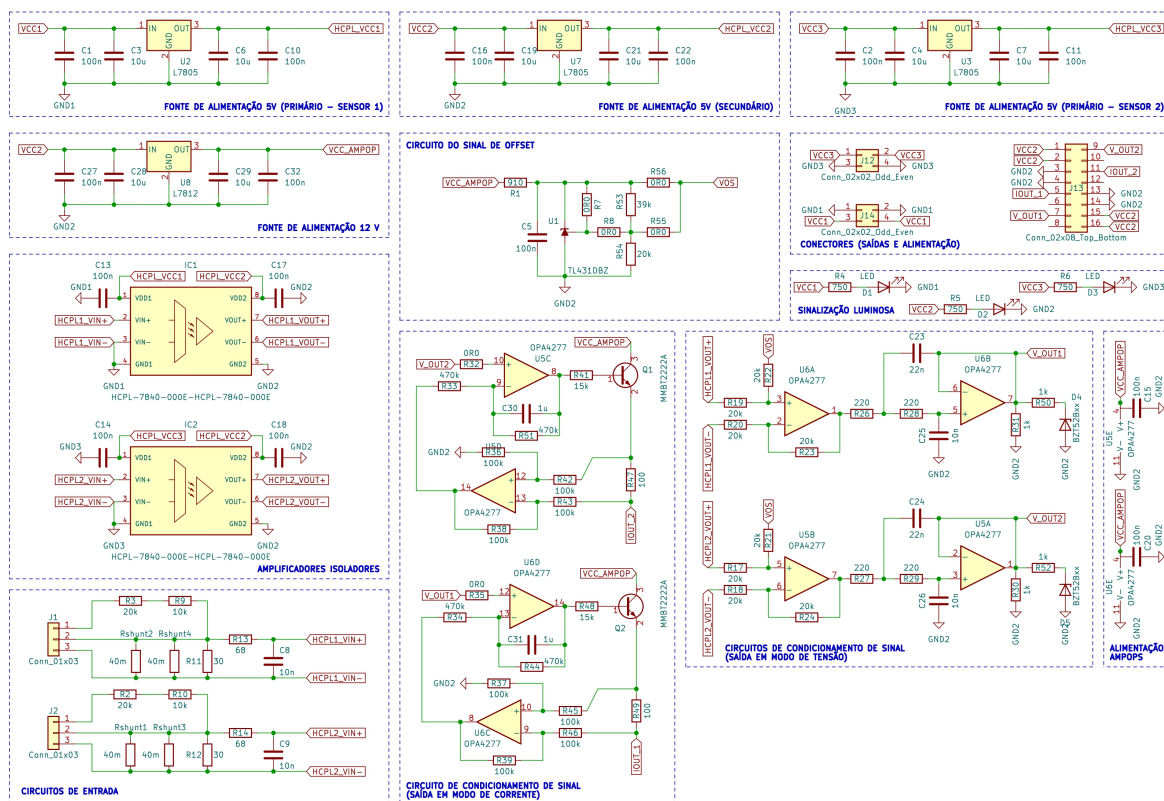
O HCPL-7840 foi desenvolvido para ser uma alternativa no sensoreamento de correntes elétricas, apresentando tamanho reduzido e melhor custo benefício quando comparado com os métodos tradicionais, como sensores de efeito hall e transformadores de corrente. Em sua saída, esse componente é capaz de entregar representações proporcionais e acuradas dos sinais de tensão aplicados aos terminais de entrada, mantendo uma baixa taxa de não-linearidade mesmo conforme a



variação da temperatura. Tais características tornam esse circuito integrado adequado para atuar na realimentação de sistemas de controle que requerem precisão (HEWLETT-PACKARD®, s.d.).

Cada um dos circuitos eletrônicos que compõem o sensor foi desenvolvido para se adequar às características de operação do amplificador isolador. O desenvolvimento também teve como objetivo proporcionar versatilidade de utilização. O circuito de entrada pode ser configurado para medir tanto sinais de tensão, quanto de corrente, e o circuito de condicionamento de sinal possibilita configurar diferentes valores de ganho, *offset*, uso de filtro passa-baixa de segunda ordem, e disponibilizar o sinal de saída em modo de tensão e corrente.

Figura 1 – Esquemático eletrônico completo



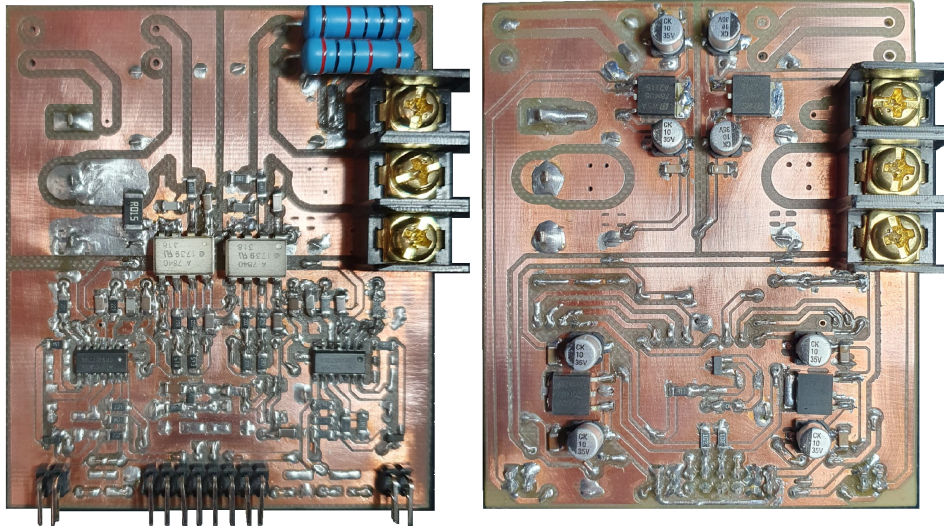
Fonte: Autoria própria (2023)

PROTÓTIPO

Um protótipo contendo dois sensores foi desenvolvido com a finalidade de testar o desempenho do circuito estudado. O *design* da placa de circuito impresso foi realizado utilizando o *software* de código aberto KiCad 6.0 (2022). Visando a implementação em um tamanho mais compacto, optou-se pelo projeto em placa de circuito dupla face com componentes SMD (*Surface Mount Device*). O resultado final apresenta dimensões de aproximadamente 8,5 x 6,5 cm. A largura das trilhas de entrada de corrente e a espessura do isolamento para a entrada em tensão foram baseadas nas

diretrizes estabelecidas para trilhas externas e sem revestimento pela IPC-2221B (PETERSON, 2020).

Figura 2 – Protótipo desenvolvido



Fonte: Autoria própria (2023)

RESULTADOS

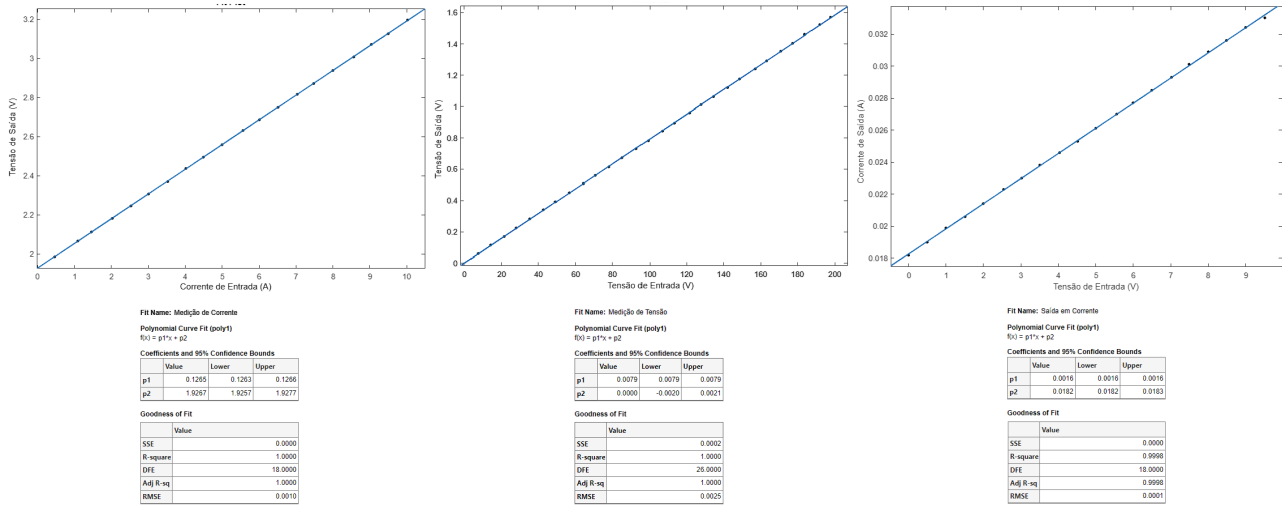
Foram realizados quatro ensaios para validar o desempenho do circuito desenvolvido. Os dois primeiros tiveram foco na avaliação da linearidade entre os sinais de entrada e saída ao medir correntes e tensões, com saída configurada em modo de tensão. O terceiro ensaio investigou a linearidade com a saída configurada em modo de corrente. Por fim, o quarto ensaio abordou a resposta do sensor diante da variação da frequência do sinal medido, abrangendo desde a frequência fundamental de 60 Hz até a 19ª harmônica. O software *MATLAB Online (MathWorks, 2023)* foi utilizado para a realização do ajuste das retas e elaboração dos gráficos.

Os resultados dos três primeiros ensaios mencionados se encontram apresentados na Figura 3. No ajuste da reta, **p1** representa o ganho do sensor, enquanto **p2** representa o *offset*. Os valores encontrados para esses parâmetros estiveram em conformidade com o esperado, considerando o dimensionamento dos componentes. O Erro Médio Quadrático Residual (RMSE) e a Soma dos Quadrados dos Erros (SSE) podem ser influenciados tanto pelo desempenho do protótipo quanto por desvios de medição atribuídos aos multímetros utilizados no ensaio. Com base nos baixos valores obtidos para esses indicadores, é possível concluir que o sensor apresenta uma relação linear forte entre as variáveis de entrada e saída, tanto ao medir tensões quanto ao medir correntes, independentemente da forma em que sua saída é disponibilizada.

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados do quarto ensaio para as frequências de 60 Hz e 1140 Hz, respectivamente. Ao sobrepor os sinais de entrada e saída nos dois casos, é possível concluir que, com base no dimensionamento de componentes utilizados na montagem, o sensor é adequado para medir até a 19ª harmônica com precisão e com um mínimo de atraso.

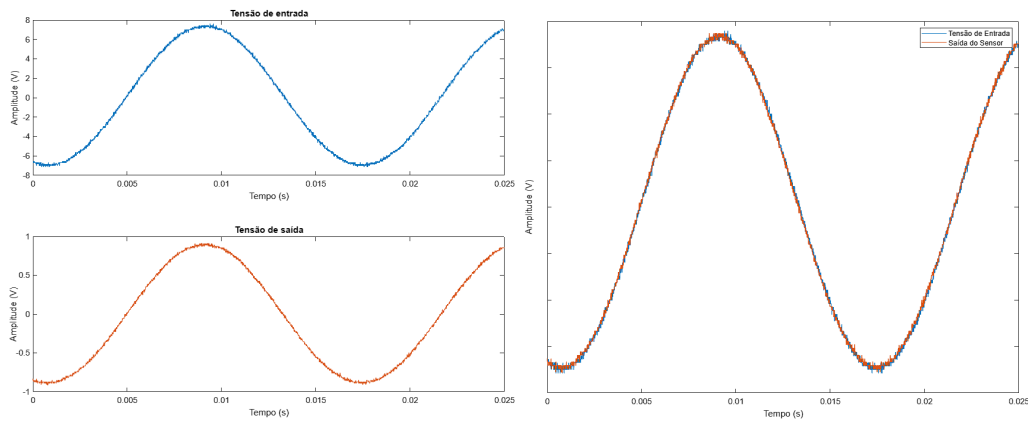


Figura 3 – Resultados dos ensaios para avaliação da linearidade do sensor



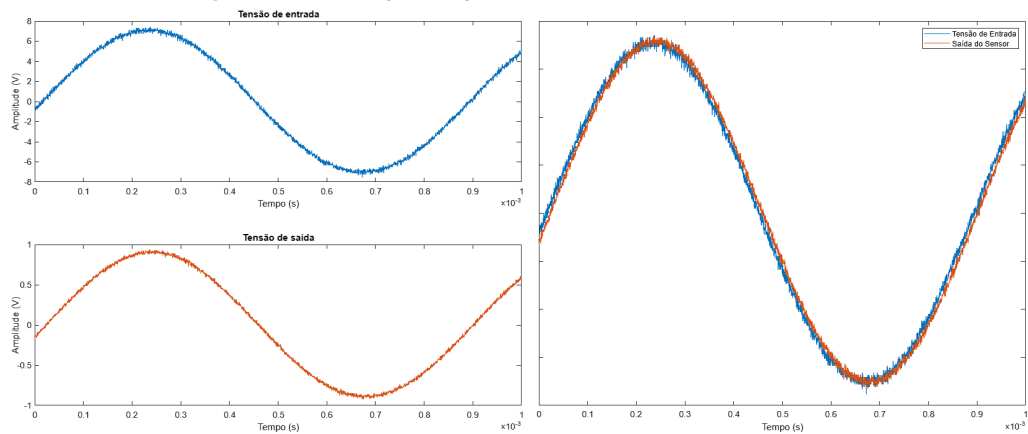
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 4 – Desempenho para um sinal senoidal de 60 Hz



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 5 – Desempenho para um sinal senoidal de 1140 Hz



Fonte: Autoria própria (2023)



CONCLUSÃO

O circuito desenvolvido possibilitou medir grandezas de tensão e corrente de maneira isolada, com linearidade satisfatória entre entrada e saída, e em um intervalo de frequência aceitável para diversas áreas de utilização. Destaca-se também que o circuito apresenta melhor custo-benefício em comparação aos sensores de efeito hall em tensão disponíveis no mercado.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo suporte financeiro que possibilitou essa experiência tão valiosa na pesquisa. Ao professor Dr. Carlos Matheus Rodrigues de Oliveira, por sua dedicação em orientar e pela confiança depositada durante todo o processo de desenvolvimento desse trabalho. Aos amigos Aleksander da Silva Toth e Taisa Stefani Angelico, por todo o auxílio e pelos bons momentos no laboratório. À minha família e ao meu namorado pelo apoio e incentivo, mesmo nos momentos desafiadores.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

HEWLETT-PACKARD®. **Analog Isolation Amplifier - HCPL-7840**. California, Estados Unidos da América.

PETERSON, Z. **Using an IPC-2221 PCB Clearance Calculator for High Voltage Design**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: [↗](#).

SAIDUR, R. A review on electrical motors energy use and energy savings. In: v. 14, p. 877–898. DOI: [10.1016/j.rser.2009.10.018](https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018).

SAIDUR, R. A review on electrical motors energy use and energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 3, p. 877–898, 2010. ISSN 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.018>. Disponível em: [↗](#).

SAIDUR, R. et al. Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 543–550, 2012. ISSN 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.020>. Disponível em: [↗](#).

SCHWEBER, B. **How to Select the Right Galvanic Isolation Technology for IoT Sensors**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: [↗](#).

SERGEI, Poroshin; BOHDAN, Shostak; VIKTORIYA, Usik. Features of using optoelectronic alignment amplifiers in industrial control systems. In: 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL). [S.l.: s.n.], 2019. P. 610–613. DOI: [10.1109/CAOL46282.2019.9019549](https://doi.org/10.1109/CAOL46282.2019.9019549).