



# Desenvolvimento de uma interface homem-máquina para conversor eletrônico de potência

## Development of human machine interface for power electronic converter

Aleksander Da Silva Toth<sup>1</sup>,  
Taisa Stefani Angelico, Osvaldo Jackson Silva Vieira Dos Santos<sup>2</sup>,  
Vinícius Dário Bacon<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho descreve a implementação de uma Interface Homem-Máquina (IHM) para controlar um conversor CC-CC Buck. O firmware foi desenvolvido utilizando um microcontrolador ATMEGA2560 em uma placa base Arduino Mega 2560, juntamente com periféricos como displays, botões, encoder e conexões de I/O. Para garantir que o sistema funcionasse corretamente com a Driver SKHI22, foi necessária a utilização de uma Placa Interface para resolver as limitações de tensão de entrada entre a IHM e a Driver. Para validação, o sinal chaveado com a técnica de modulação por largura de pulso (Pulse Width Modulation, PWM) foi medido nas saídas da IHM, da Placa Interface Driver e da Placa Driver SHKI22, com resultados que indicaram a operação e a configuração correta da frequência de chaveamento e da razão cíclica. No entanto, observou-se desvios significativos nos níveis de tensão e corrente, atribuídos a características físicas do circuito, hardware, incertezas de medição, temperatura e umidade relativa do ar no momento dos testes. Apesar desses desvios, as observações práticas forneceram informações valiosas sobre o funcionamento do conversor e suas limitações, além da possibilidade de melhorias e implementação da IHM.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conversor; chaveamento; IHM; PWM.

### ABSTRACT

This work describes the implementation of a Human-Machine Interface (HMI) to control a DC-DC Buck converter. The firmware was developed using an ATMEGA2560 microcontroller on an Arduino Mega 2560 base board, along with peripherals such as displays, buttons, encoder, and I/O connections. To ensure that the system worked correctly with the SKHI22 Driver, it was necessary to create an Interface Board to resolve the input voltage limitations between the HMI and the Driver. For validation, the Pulse Width Modulation (PWM) signal was measured at the outputs of the HMI, the Driver Interface Board and the SHKI22 Driver Board, with results that showed the correct operation and configuration of the switching frequency and cyclic ratio. However, significant deviations were seen in voltage and current levels, attributed to physical characteristics of the circuit, hardware, measurement uncertainties, temperature, and relative humidity at the time of testing. Despite these deviations, practical observations supplied valuable information about the operation of the converter and its limitations, in addition to the possibility of improvements and implementation of the HMI.

**KEYWORDS:** Converter; HMI; switching; PWM.

<sup>1</sup> Voluntário do PIBIC. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: [atoth@alunos.utfpr.edu.br](mailto:atoth@alunos.utfpr.edu.br). ID Lattes: 3216825109688689.

<sup>2</sup> Alunos voluntários. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: [taisaangelico@alunos.utfpr.edu.br](mailto:taisaangelico@alunos.utfpr.edu.br), ID Lattes: 4047779133604681, E-mail: [osvaldojackson@hotmail.com](mailto:osvaldojackson@hotmail.com), ID Lattes: 5695994762052933.

<sup>3</sup> Docente no Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: [viniciusbacon@utfpr.edu.br](mailto:viniciusbacon@utfpr.edu.br). ID Lattes: 0702667817086590.



## INTRODUÇÃO

Uma Interface Homem Máquina (IHM) é um sistema que permite a interação entre pessoas e dispositivos ou computadores por meio de componentes de hardware ou software (SOBRAL, 2019). De maneira simples, pode ser considerada como um sistema embarcado, constituído de circuitos que em conjunto condicionam e processam informações, além de serem contidos em um invólucro (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

A história envolvendo as interfaces revelam uma progressiva evolução, com interações mais robustas com diversos cabos, válvulas e conexões, até tecnologias mais avançadas, como os componentes semicondutores, circuitos integrados e comunicação via rede sem fio. (XIE; HOU; YANG, 2020).

As IHMs são projetadas de maneira a facilitar a interação do usuário com o sistema, diminuindo ou até eliminando a necessidade de compreender toda a complexidade interna. O desenvolvimento delas iniciou na década de 80, com foco em permitir que as pessoas utilizassem sistemas computacionais, resultando nas interfaces modernas com telas coloridas, teclados alfanuméricos e telas sensíveis ao toque (BARRETO; JR.; BARBOZA, 2018). No entanto, devido a unicidade de cada tecnologia empregada nos equipamentos, há diferentes requerimentos para o design de uma interface homem máquina, aumentando a dificuldade e compreensão de cada uma (XIE; HOU; YANG, 2020).

Além do uso comum, as IHMs também têm aplicação na indústria, como em inversores de frequência para acionamento de motores de indução. Elas permitem visualizar e controlar parâmetros como tensão, corrente, frequência, velocidade e alarmes por meio de *displays* (FRANCHI, 2013).

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma Interface Homem-Máquina utilizando aplicação embarcada em microcontrolador que controle um conversor CC-CC por meio de um sinal *PWM*. Esta iniciativa visa simplificar a operação de sistemas de conversão de energia, reduzindo a dependência de computadores *desktop* ou notebooks em cenários de uso cotidiano.

## CONVERSOR E INTERFACE HOMEM MÁQUINA

### CONVERSOR CC-CC *BUCK*

A capacidade de controlar o fluxo de energia elétrica em sistemas elétricos é um ponto crucial na engenharia, pois desejamos alterar um sinal de valor fixo para um valor variável e/ou vice-versa. Conseqüentemente, alto rendimento é um dos pontos mais importantes nesse tipo de ação, e com o objetivo de alcançar o melhor rendimento possível e com a criação de dispositivos interruptores, surgiu o princípio de conversores estáticos que com a evolução da tecnologia fez com que a ciência relacionada a essa área de estudo, conhecida como a eletrônica de potência alcance o que conhecemos atualmente (BARBI, 2012).

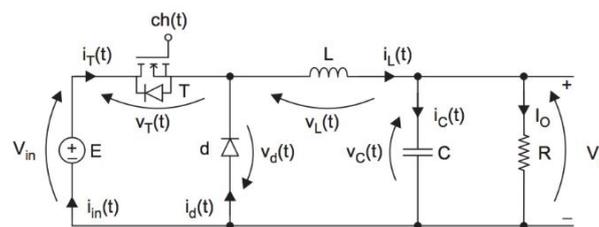
Um conversor estático é definido basicamente como um sistema constituído de elementos passivos e ativos, como resistores, capacitores, indutores e interruptores de maneira geral, que conforme a maneira em que são arranjados definem as principais funções dos conversores, para atuarem como Retificadores, Inversores, Conversor CC-CC, Conversor Indireto de Tensão, Conversor

Direto de Frequência e Conversor Indireto de Frequência (BARBI, 2012).

Os conversores CC-CC são circuitos que usam diversas técnicas de chaveamento, no qual o elemento interruptor alternará entre aberto e fechado em determinadas faixas de tempo, resultando em um  $t_{ligado}$  e um  $t_{desligado}$ , onde a faixa de trabalho ou razão cíclica é dada pela razão entre o tempo ligado e a soma do tempo ligado com o tempo desligado (período T) (HART, 2012). Para um conversor desse tipo, sua topologia típica é composta por uma fonte de tensão CC fixa, um interruptor (chave de potência), um diodo, um indutor, um capacitor e um resistor, sendo ilustrado conforme a figura 1. Há ainda o modo de condução, sendo modo de condução contínua (MCC), modo de condução limite (MCL) e modo de condução descontínua (MCD), que indicam se a corrente que flui pelo indutor não se anula em nenhum instante do período T, se atinge o valor zero no exato período T ou anula-se antes de terminar o período T, respectivamente (ARRABAÇA; GIMENEZ, 2013).

Para esses circuitos, as técnicas de chaveamento mais conhecidas são modulação por frequência (*Frequency Modulation, FM*) e modulação por largura de pulso (*Pulse Width Modulation, PWM*), sendo no caso escolhida a técnica de modulação por largura de pulso *PWM* devido à facilidade com que pode ser aplicada.

Figura 1 – Topologia típica de um Conversor CC-CC BUCK



Fonte: (ARRABAÇA; GIMENEZ, 2013)

Para o desenvolvimento do módulo, utilizou-se uma placa desenvolvida em software Kicad com base nas documentações e guias Semikron. Essa placa contém o Driver SKHI22 A/B capaz de acionar duas chaves de potência de maneira isolada e em até  $50kHz$ , onde basta enviar os pulsos PWM na entrada de  $0V$  a  $15V$  e fornecerá sinais com amplitude de  $-7V$  a  $15V$ , além de acrescentar automaticamente o tempo morto entre os sinais. Ela foi montada em conjunto com uma chave de potência IGBT SKM100GB12T4 da Semikron, com as seguintes características básicas: tensão  $V_{GES}$ ,  $V_{GE(th)}$  e  $V_{CE}$  de  $-20V$  a  $20V$ ,  $5V$  e  $1200V$ , respectivamente; corrente  $I_c$  nominal de  $100A$  e frequência de chaveamento até  $20kHz$ . Foi desenvolvida também uma placa para proteção de nível de tensão de chaveamento nos gates da chave de potência, limitando-os em  $-15V$  a  $15V$ .

A placa Driver e a chave de potência foram fixadas em um dissipador usual da Semikron, que possui um formato ideal para encaixe da placa Driver e do IGBT, conforme a figura 2.

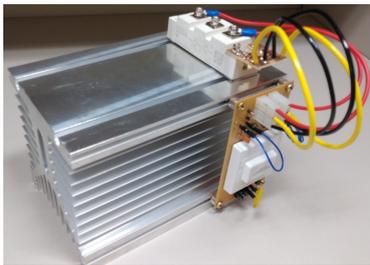
## SISTEMA EMBARCADO - INTERFACE HOMEM MÁQUINA

A primeira versão do firmware da IHM foi desenvolvida em C++ em um microcontrolador ATMEGA2560, na placa base Arduino Mega 2560. E o projeto da Placa de Circuito Impresso, onde encontram-se os periféricos como *displays*, botões, *encoder* e conexões com *I/Os*, foi feito utilizando

o software Kicad.

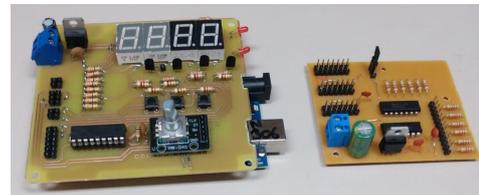
Conforme o desenvolvimento da placa, houve a necessidade de utilização de uma outra placa intermediária entre a IHM e a Driver SKHI22 devido às limitações de fabricação do próprio módulo, onde a tensão de alimentação é necessariamente próxima de 15V, devido a isso, os sinais de entrada também devem estar próximos a esse nível de tensão. Essa placa, denominada Placa Interface Driver, consegue realizar o chaveamento de 0 a 15V, com o sinal de entrada na faixa de 0 a 5V (limitação do Arduino Mega 2560 para o caso da IHM).

**Figura 2 – Montagem do módulo conversor**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

**Figura 3 – Montagem da placa IHM e Placa Interface Driver**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com as placas montadas e conectadas, obteve-se os resultados com o uso dos seguintes equipamentos e componentes:

**Quadro 1 – Equipamentos e componentes**

Descrição	Valor/ Modelo
Multímetro	ET-2082E
Osciloscópio	DSOX1204A
Ponta de prova de Tensão Isolada	CT2593-1
Ponta de prova de Corrente Isolada	0C5010
Fonte de bancada regulável	PS-5000 e PS-6000
Cabos tipo banana	—
Resistores de potência (associação em paralelo)	55,29 $\Omega$
Capacitor eletrolítico	470 $\mu F$
Indutor de ferrite	1,5mH

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Assim, o circuito do conversor foi montado conforme as seguintes diretrizes: fontes de bancada ajustadas com valores de aproximadamente 15V, para alimentar as placas e 50V, para alimentar o barramento CC. Frequência de chaveamento e razão cíclica ajustadas pela IHM em 7,81kHz e 50% respectivamente.

Em seguida, com o osciloscópio e com as pontes isoladas, foi realizada a medição do sinal PWM nas saídas da IHM, da Placa Interface Driver e da Placa Driver SHKI22 (sinal para Gate) conforme as figuras 4 e 5 e na tabela 1.

Os valores de desvio percentual dos sinais PWM foram calculados com base no valor de pico a pico.

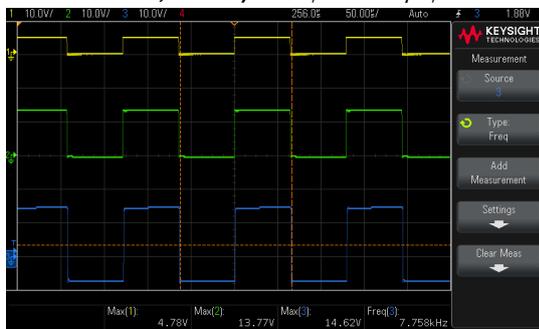


Tabela 1 – Comparação de valores

VARIÁVEIS	VALORES ESPERADOS	VALORES MEDIDOS	DESVIO PERCENTUAL
PWM_IHM [V]	0,00 a 5,00	-0,60 a 4,78	7,60%
PWM_Interface [V]	0,00 a 15,00	-0,45 a 13,22	8,86%
PWM_Driver [V]	-7,00 a 15,00	-7,19 a 14,90	0,60%
$f_{ch}$ [Hz]	$7,81 \times 10^3$	$7,76 \times 10^3$	0,67%
$t_{on}$ [s]	$6,40 \times 10^{-5}$	$6,44 \times 10^{-5}$	0,58%
D [%]	50,00%	49,95%	0,09%
E [V]	50,00	50,20	0,40%
$V_o$ [V]	25,00	25,90	3,20%
$i_L$ [A]	$4,52 \times 10^{-1}$	$3,72 \times 10^{-1}$	17,73%
$\Delta i_L$ [A]	1,07	1,20	6,09%
R [ $\Omega$ ]	55,29	55,50	0,38%
L [H]	$1,50 \times 10^{-3}$	$1,43 \times 10^{-3}$	4,80%
C [F]	$4,70 \times 10^{-4}$	$4,58 \times 10^{-4}$	2,62%

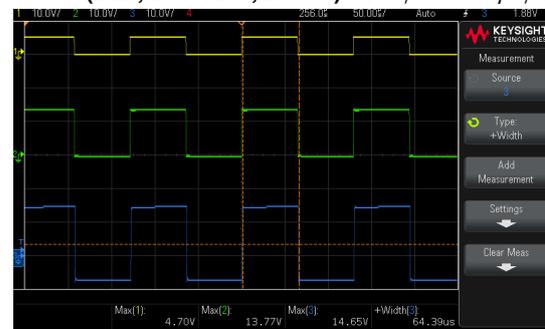
Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2023)

Figura 4 – Sinais PWM. Amplitude e frequência (IHM, Interface, Driver) -  $10V/div \times 50\mu s/div$



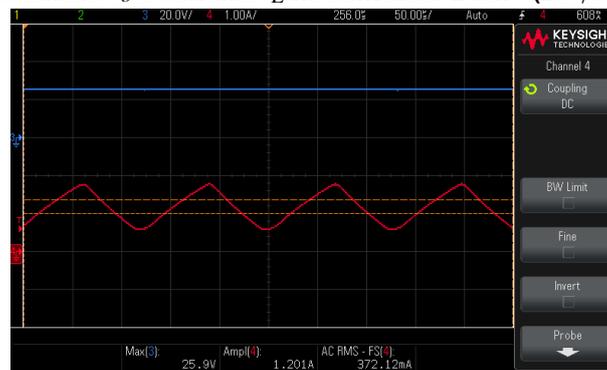
Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Figura 5 – Sinais PWM. Amplitude e largura de pulso (IHM, Interface, Driver) -  $10V/div \times 50\mu s/div$



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Figura 6 – Sinais de tensão  $V_o$  e corrente  $i_L$  no conversor Buck -  $(20V/div, 1A/div) \times 50\mu s/div$



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Os dados obtidos indicam o sinal PWM sendo de fato enviado para a chave de potência, indicando também que o conversor está operando no modo de condução contínua (MCC), onde a corrente  $i_L$  não atinge o valor dentro de um período de chaveamento. Também há indicações de que as configurações realizadas pela IHM foram de fato observadas na prática, sendo elas a frequência de chaveamento próxima de  $7,81kHz$  e a razão cíclica em 50%, comprovando seu funcionamento. Observando os níveis de tensão e corrente, nota-se um desvio maior, sendo as possíveis causas as características físicas do próprio circuito, do hardware, considerando as placas e componentes, a propagação de erros considerando também as incertezas de medição, a temperatura e a umidade relativa do ar no momento do teste.



## CONCLUSÃO

Este estudo resultou no desenvolvimento bem-sucedido de uma Interface Homem-Máquina para controle simples de um conversor CC-CC *Buck*. A IHM demonstrou efetivamente a geração do sinal PWM necessário para o funcionamento do conversor no modo de condução descontínua (MCD), validando as configurações na prática, apesar de desvios observados nos níveis de tensão e corrente, indicando a importância de considerar fatores externos e incertezas em sistemas elétricos. Este trabalho representa um passo significativo na simplificação da operação de conversores de energia.

## Agradecimentos

Agradeço ao professor Dr. Vinícius Dário Bacon pelas orientações e oportunidade dada, aos alunos Taisa Stefani Angelico e Osvaldo Jackson Silva Vieira Dos Santos pelo apoio e auxílio na elaboração deste trabalho, à aluna Bárbara Aparecida Bueno pelo apoio e incentivo, à minha família que mesmo longe também me apoiaram e a Deus, por tudo.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

- ARRABAÇA, Devair A.; GIMENEZ, Salvador P. **Conversores de Energia Elétrica CC/CC para Aplicações em Eletrônica de Potência**: Conceitos, Metodologia de Análise e Simulação. 1. ed. São Paulo - SP: Saraiva, 2013. ISBN 9788536518305. Disponível em: [🔗](#).
- BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. 8. ed. Florianópolis - SC: [s.n.], 2012. ISBN 9788590104674.
- BARRETO, Jeanine S.; JR., Paulo A P.; BARBOZA, Fabrício F M. **Interface humano-computador**. Porto Alegre - RS: SAGAH, 2018. ISBN 9788595027374. Disponível em: [🔗](#).
- FRANCHI, Claiton M. **Inversores de Frequência - Teoria e Aplicações**. 2. ed. São Paulo - SP: Saraiva, 2013. ISBN 9788536505619. Disponível em: [🔗](#).
- HART, Daniel W. **Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos**. 1. ed. São Paulo - SP: Grupo GEN, 2012. ISBN 9788580550474. Disponível em: [🔗](#).
- OLIVEIRA, André Schneider de; ANDRADE, Fernando Souza de. **Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática**. 2. ed. São Paulo - SP: Saraiva, 2010. ISBN 9788536520346. Disponível em: [🔗](#).
- SOBRAL, Wilma S. **Design De Interfaces - Introdução**. 1. ed. São Paulo - SP: Saraiva, 2019. ISBN 9788536532073. Disponível em: [🔗](#).
- XIE, Yonghui; HOU, Xujie; YANG, Xiaoyan. Design of Embedded HMI Universal Platform and its Application in Mounter. IEEE, p. 909–913, 2020. DOI: [10.1109/AEMCSE50948.2020.00197](#).