

IMPLEMENTAÇÃO DE CONVERSOR CC-CC PARA CARREGAMENTO DE BATERIAS

João Marcos S. Torres¹ (IC), Robson B. Gonzatti (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Conversor buck. Eletrônica de potência. Microcontrolador. PWM. Sistema de carregamento.

Introdução

Diante da atual transição energética global, motivada pelas incertezas relacionadas aos combustíveis fósseis e pelas crescentes emissões de gases poluentes provenientes dos motores a combustão, os veículos elétricos estão ganhando destaque no mercado global, devido ao seu menor impacto ambiental. No entanto, é importante reconhecer que diversos desafios dificultam a viabilidade desses veículos, incluindo a complexidade dos sistemas de carregamento de baterias e os longos tempos de recarga.

Conscientes desses obstáculos, tem havido um esforço considerável por meio de estudos e pesquisas para viabilizar essa transição, sendo esse o tema que motivou a realização deste trabalho.

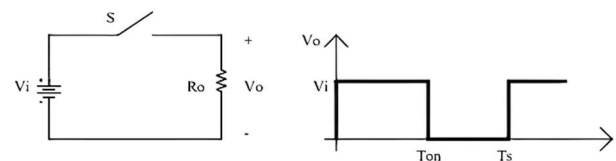
Os objetivos desta pesquisa são voltados para o desenvolvimento de um carregador de bateria que utiliza um conversor CC-CC do tipo Buck, com ênfase na capacidade de ter total acesso e controle sobre os níveis de tensão e corrente fornecidos pelo sistema. Para atingir esses objetivos, foram conduzidos estudos abrangentes e diversos testes para adquirir proficiência na operação do microcontrolador TMS320F28379D, compreender o funcionamento dos conversores CC-CC do tipo Buck, realizar simulações dos circuitos, empregar sensores para aquisição de dados, montar um sistema em bancada e executar testes de carregamento em condições reais das baterias.

Revisão Bibliográfica

• Conversor CC-CC.

O conversor CC-CC básico, é formado por uma fonte de tensão e por um transistor de potência que atua como um interruptor (PETRY, 2001). Como o próprio nome sugere, é responsável por converter a tensão de entrada em diferentes níveis de tensão de saída. A figura 1 apresenta o circuito e o sinal de onda de tensão resultante de sua operação.

Figura 1 – Conversor CC-CC básico e sinal da tensão de saída.



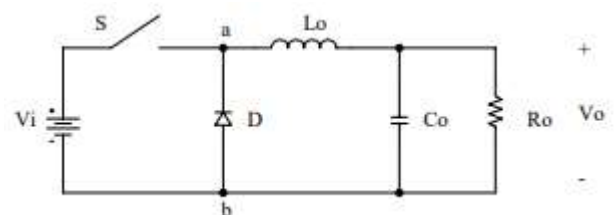
Fonte: (PETRY, 2001, p. 3)

Como pode ser observado na figura 1, o transistor, representado pela chave S, ora está ativado ora está desativado, assim, controlando a frequência de chaveamento desse transistor é possível obter diferentes níveis de tensão média de saída (V_o).

No entanto, essa oscilação de tensão pode ser indesejada para muitas aplicações, como em carregadores de baterias por exemplo, sendo necessário a utilização dos derivados desse conversor.

Dentre as variações do conversor CC-CC básico, encontra-se o conversor CC-CC buck, responsável por linearizar e baixar a amplitude do sinal de saída de tensão, através de seus elementos passivos. A figura 2 representa o circuito desse conversor.

Figura 2 – Conversor CC-CC tipo Buck.



Fonte: (PETRY, 2001, p. 5)

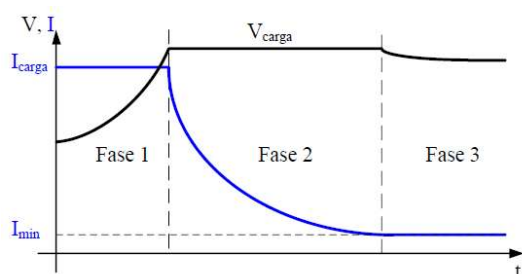
Para entender o funcionamento desse conversor é necessário fazer a análise do circuito em dois momentos. Segundo (PETRY, 2001), quando o transistor, representado pela chave S_1 , está conduzindo, a fonte V_i fornece energia para carga R_o , para o capacitor C_o e para magnetização do indutor L_o , caracterizando o primeiro momento. Já o segundo momento acontece quando o transistor está bloqueado (chave S_1 aberta), fazendo com

que o diodo D entre em condução, e então o capacitor atua como fonte de tensão enquanto o indutor atua como fonte de corrente para o circuito até que o transistor entre em operação novamente, repetindo o ciclo.

- **Estado de carga da bateria.**

As baterias de chumbo-ácido controladas por válvulas (VRLA), são baterias estacionárias seladas, ou seja, não permitem acesso aos seus elementos químicos internos, o que possibilita que esse tipo de bateria seja utilizado em ambientes fechados, pois não liberam produtos tóxicos. Essas baterias possuem fases específicas durante o tempo de carregamento, como é apresentado na figura 3.

Figura 3 – Curva de carga da bateria VRLA.



Fonte: (GONZATTI, 2015, p. 99)

Segundo (GONZATTI, 2015), a fase 1 caracteriza-se por apresentar corrente constante e aumento gradativo de tensão até atingir o limite máximo, nessa etapa a bateria atinge cerca de 70 a 80% da carga total. Já a fase 2 corresponde à fase de absorção, onde a bateria atinge sua carga completa. A tensão nessa fase se mantém constante em seu valor máximo permitido, enquanto a corrente diminui lentamente até atingir um nível mínimo constante, caracterizando a próxima fase. Na fase 3, a corrente se mantém mínima para garantir a tensão de flutuação, onde a tensão é reduzida para evitar aquecimento, essa fase é denominada de estágio de flutuação.

É importante destacar que o comportamento da curva de tensão é fortemente influenciado pelos parâmetros e tipos da bateria, além das condições em que ela se encontra. Dessa forma, é possível que uma bateria apresente curva de tensão com características lineares, não lineares ou até mesmo exponenciais, sendo que todas elas representarão uma maior variação durante a fase 1.

Metodologia

Este trabalho teve como base estudos e experimentos laboratoriais com o objetivo de desenvolver um carregador de baterias utilizando um conversor CC-CC

do tipo Buck.

As primeiras etapas envolveram o estudo dos principais módulos utilizados do microcontrolador TMS320F28379D da Texas Instruments, incluindo o PWM (SANT'ANA, 2021), os Conversores Analógico-Digital (SANT'ANA, 2020) e as interrupções (SANT'ANA, 2019). Após a compreensão desses módulos, utilizou-se o software Code Composer Studio (CCS) para testar suas funcionalidades (SANT'ANA, 2020), aplicando vários códigos de programação em linguagem C.

Com a proficiência necessária para utilização do microcontrolador, iniciou-se os estudos e simulações relacionados aos conversores CC-CC, com foco especial no conversor CC-CC do tipo buck (PETRY, 2001). Dado que o princípio de funcionamento desse conversor envolve a modulação PWM para o chaveamento de um transistor, foi utilizado um módulo inversor de frequência disponível no laboratório da Universidade para realizar testes. Embora o propósito original desse módulo fosse diferente, ele apresentava elementos úteis para a montagem do conversor, como transistores, filtros e isolamento galvânico entre o circuito de controle e o circuito de potência (SILVA, 2019).

Com um entendimento sólido e a comprovação do funcionamento dos conversores CC-CC, a próxima etapa foi à coleta de medidas de tensão e corrente nos terminais da bateria. Para essa finalidade, utilizou-se os sensores LA 55-P para medir corrente e LV 25-P para medir tensão. Esses sensores requeriam resistores externos para limitar a corrente e a tensão de operação, e os valores desses resistores foram determinados com base no projeto.

Na sequência foi desenvolvido o algoritmo responsável por manipular as variáveis medidas, garantindo que o início de carregamento fosse suave e não ultrapassasse os limites de tensão e corrente estabelecidos.

Após a análise individual de cada componente, o sistema completo foi montado em bancada para realização dos testes reais de carregamento. Cada passo desenvolvido foi cuidadosamente testado levando em consideração os possíveis riscos durante a operação, visando apresentar um carregador seguro e confiável.

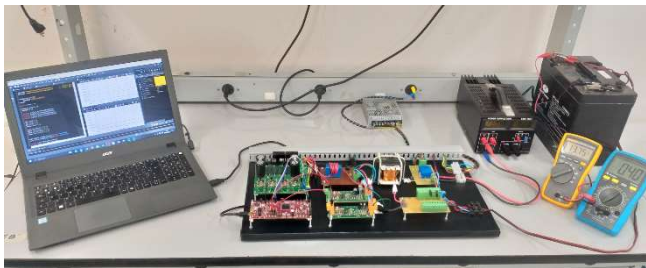
Resultados e discussão

A realização dos testes reais de carregamento da bateria permitiu a coleta dos dados necessários para uma análise abrangente do sistema. Esses dados correspondem aos valores nominais de tensão e corrente durante o período de carregamento.

É importante destacar que os parâmetros de carregamento da bateria, assim como o limite de corrente da fonte

utilizada, foram previamente inseridos no sistema de controle. No caso da bateria, ela possui limite máximo de tensão de 13,8 [V] e mínimo de 13,5 [V]. Quanto à fonte de alimentação, foi utilizado uma tensão de 20 [V], e como seu limite máximo de corrente é de 2,5 [A], adotou-se o valor de 2,3 [A], por motivo de segurança. A figura 4 representa o sistema de carregamento montado em bancada para realização dos testes.

Figura 4 – Sistema de carregamento montado.

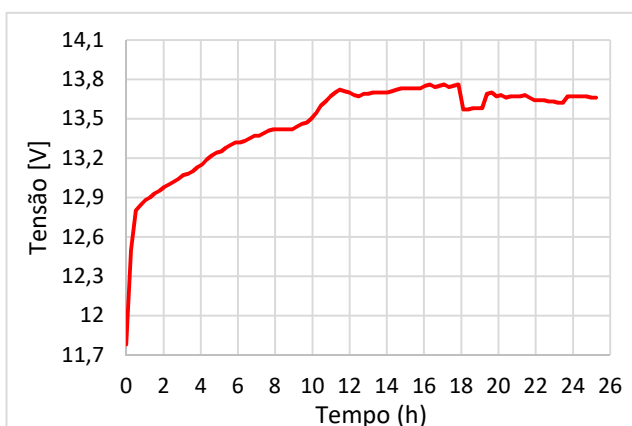


Fonte: Autoria própria.

Os dados foram coletados em intervalos de 15 minutos entre as leituras desde o início até o fim do carregamento, caracterizado por uma pequena corrente constante por um longo período de tempo. Com esses dados em mãos, foram plotados os gráficos representados nas figuras 5 e 6. A figura 5 exibe a tensão nos terminais da bateria durante o processo de carga, enquanto a figura 6 mostra a corrente consumida ao longo desse período.

Para tornar os gráficos mais compreensíveis, o tempo de carregamento foi representado em intervalos de 2 horas. Assim, podemos observar através das figuras 5 e 6 que o tempo total de carga da bateria foi de aproximadamente 25 horas.

Figura 5 – Tensão de carregamento da bateria.



Fonte: Autoria própria.

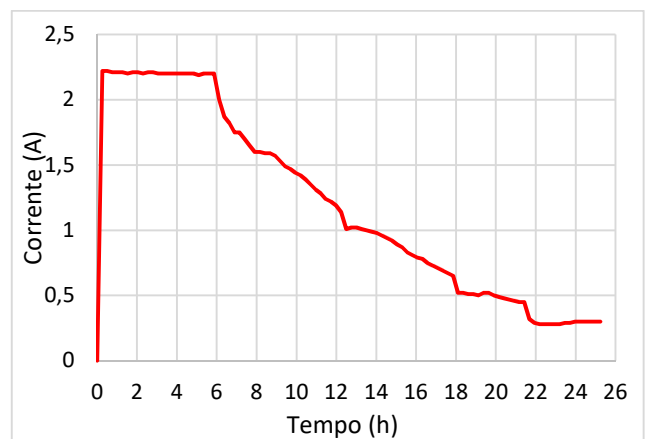
É importante notar que a bateria de 12 volts utilizada nos testes não estava completamente descarregada, como indicado na figura 5. A primeira leitura, realizada antes

do início do carregamento, apresentava uma tensão em torno de 11,8 [V].

Com base nos parâmetros da bateria, podemos verificar como o sistema de controle manteve a tensão dentro dos limites esperados após cerca de 12 horas de carga. Antes desse ponto, os níveis de tensão aumentaram gradualmente devido às características típicas de carga da bateria.

No entanto, na figura 6, observa-se um comportamento oposto em relação à tensão. No início da carga, a corrente permanece constante e depois diminui gradualmente até atingir um valor mínimo constante.

Figura 6 – Corrente de carregamento da bateria.



Fonte: Autoria própria.

O primeiro dado coletado ocorreu com o sistema desligado, resultando em um sinal na figura 6 que parte do valor zero. Logo quando o sistema foi ligado, a corrente atingiu o valor máximo, conforme era esperado para fase 1 de carregamento. Esse valor foi informado ao sistema de controle, e corresponde ao limite de corrente da fonte mais uma zona de segurança.

É notável que o período de corrente máxima constante foi de aproximadamente 6 horas, correspondendo a 24% do tempo total de carregamento. Durante esse período, há uma grande diferença entre a tensão interna da bateria e a tensão fornecida pelo carregador o que permite um elevado fluxo de corrente, que deve ser controlado pelo sistema.

Conforme a bateria adquire carga, a diferença de potencial entre o carregador e a tensão interna da bateria vai diminuindo, resultando na diminuição correspondente do fluxo de corrente. Isso é evidenciado a partir da hora de número 6 na figura 5, e corresponde a fase 2 da curva de carga.

A partir da hora de número 22, a corrente permaneceu constante durante às 3 horas finais de análise, o que significa que a bateria atingiu o estágio de flutuação, caracterizando carga completa.

É possível perceber através dos gráficos que as variáveis do processo se ajustam à medida que a bateria é carregada. Como a resistência interna da bateria é muito baixa e praticamente invariável, sua tensão interna é a principal responsável por limitar o fluxo de corrente durante o carregamento.

Além disso, é importante notar que o tempo de carregamento não depende apenas da potência fornecida pelo carregador, uma vez que essa potência foi limitada pela bateria por aproximadamente 76% do tempo total de carga.

De modo geral, observou-se que as curvas de carga obtidas a partir dos dados coletados não apresentaram a transição entre as fases de carregamento no momento esperado, mas evidenciaram todas as 3 fases com forte tendência ao que era esperado teoricamente.

Conclusões

Em resumo, esta pesquisa investigou com êxito o desenvolvimento de um sistema de carregamento de baterias utilizando o conversor CC-CC do tipo Buck. Os resultados obtidos durante os testes reais de carregamento evidenciaram que o sistema é capaz de manter a tensão e a corrente dentro dos limites especificados, resultando em um carregamento eficiente, confiável e seguro.

A análise detalhada dos gráficos permitiu uma compreensão mais profunda do comportamento da bateria durante o processo de carregamento, incluindo as variações da tensão interna da bateria a medida que ela adquire carga. Além disso, ficou claro que, para otimizar o tempo de carregamento, é essencial considerar a utilização de fontes de alimentação mais potentes, com limites de corrente mais elevados. No entanto, percebe-se que a eficiência do processo de carregamento também depende da tecnologia embarcada na bateria, que desempenha um papel crítico.

Uma possível melhoria para o sistema consiste em aumentar a precisão dispositivos de aquisição de dados, bem como diminuir a faixa de variação permitida da tensão de saída do carregador, com o objetivo de refinar os sinais de saída do sistema.

Em síntese, este estudo contribuiu para validar a capacidade e a viabilidade dos conversores CC-CC no contexto do carregamento de baterias, representando um avanço nas tecnologias associadas à transição energética global e à crescente demanda por veículos elétricos. Além disso, os insights obtidos fornecem informações para pesquisas futuras nesta área em constante evolução, contribuindo para um futuro mais sustentável e eficiente no setor de energia e mobilidade.

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à Universidade Federal de Itajubá, que forneceu todo suporte necessário para a realização desta pesquisa. Agradeço profundamente ao meu orientador Robson Bauwelz Gonzatti, pelas orientações excepcionais que enriqueceram minha experiência de pesquisa. Agradeço também ao CNPq por fornecer a bolsa de iniciação científica, a qual possibilitou minha participação neste trabalho.

Referências

PETRY, Clóvis A. **Introdução aos Conversores CC-CC**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

GONZATTI, Robson B. **Filtro Ativo Híbrido na Transformação de Microrredes com Alta Impedância em Barramento Quasi-infinito**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2015.

SANT'ANA, Wilson C. **Introducao ao Code Composer Studio**. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1MD1-MoB5GXgMszoQdU1iIIV7EtqYPnWE/view>>. Acesso em: Outubro 2022.

SANT'ANA, Wilson C. **Modulacao PWM**, Maio 2021. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1Bp7enF8rYjX6m1QzKQIHp8jdsK_ckZY-/view>. Acesso em: Novembro 2022.

SANT'ANA, Wilson C. **Conversor Analogico para Digital - ADC**, Junho 2020. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1X0doF64CrvIIGZAlfmeGQ_Q_xo-1UmJ-P/view>. Acesso em: Novembro 2022.

SANT'ANA, Wilson C. **Interrupcoes e Timers**, Maio 2019. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1N0TFNuKqpAh_8JCXSnfAUHdfd8zDKNdu/view>. Acesso em: Novembro 2022.

GEPCL. **Firmware_V_2_2**. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/1mq8pe6Kv_d4eoPntjDKZRaMuEYj97H7H?us>. Acesso em: Outubro 2022.

SILVA, Renan D. M. **INVERSOR DE FREQUENCIA MONOFÁSICO**. Universidade Federal de Itajubá. [S.l.]. 2019.

INSTRUMENTS, Texas. **LAUNCHXL-F28379D Overview**, Marco 2019. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ug/sprui77c/sprui77c.pdf?ts=1668030854769&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>. Acesso em: Novembro 2022.