

Projeto:

“Conversores CC-CC elevadores de tensão, não-isolados, com ganhos estáticos elevados”

RESUMO

Este projeto prevê o estudo comparativo e o desenvolvimento de conversores com característica elevadora de tensão, adequados a aplicações nas quais se requer um elevado ganho estático. O campo de aplicação refere-se ao aproveitamento de fontes CC associadas a fontes de energia como células a combustível, baterias e outras de natureza semelhante, como painéis fotovoltaicos. De modo mais específico, são consideradas situações em que não se necessita isolamento elétrico entre entrada e saída, como é o caso de veículos elétricos. Para a seleção da topologia a ser implementada serão focalizados aspectos de rendimento, densidade de potência, complexidade topológica e de comando, esforços de tensão e de corrente, etc. Serão desenvolvidas metodologias de projeto da topologia, tanto em termos de dimensionamento dos componentes como de controle.

1. Introdução

Os conversores CC-CC para aplicações em fontes de alimentação são estruturas de condicionamento de energia elétrica conhecidas e estudadas de longa data [1,2]. Aspectos de comportamento estático e dinâmico foram profundamente considerados, permitindo analisar, projetar e controlar estes conversores nas mais diversas aplicações [3,4].

As estruturas mais simples, como as dos conversores *buck*, *boost* e *buck-boost*, são largamente utilizadas em um sem-número de aplicações, assim como as versões isoladas derivadas, como os conversores *fly-back*, *forward* e em ponte. Além destas topologias, deve-se considerar ainda os conversores Cuk, SEPIC e Zeta, com suas variantes, que permitem características estáticas dos tipos abaixadora, elevadora e abaixadora-elevadora de tensão [5].

São possíveis ainda outras topologias, em geral derivadas destas citadas, que apresentam comportamento estático ou dinâmico diverso, podendo ser de interesse em aplicações específicas [6,7].

São diversas as estratégias de comando destes conversores, embora a maioria opere em modulação por largura de pulso (PWM, da sigla em inglês).

Usualmente, por simplicidade, a análise das topologias é feita desprezando as perdas. Considerando que o rendimento destes conversores está na faixa de 90%, quando são bem selecionados os componentes e a frequência de trabalho, tal simplificação não leva a grandes erros quando se comparam os resultados teóricos com os experimentais. Este fato deixa de ser verdade, no entanto, quando o ponto de trabalho do conversor se encontra nos limites de sua faixa de operação em termos da variável razão cíclica (também chamada de largura de pulso).

São inúmeras as não-idealidades que podem ser significativas no desempenho de um conversor CC-CC e que a análise simplificada pode desconsiderar. Vamos nos ater nesta introdução apenas nos aspectos de perda de energia no circuito de potência. Outros aspectos, como o comportamento não-linear dos elementos magnéticos, os circuitos de acionamento e controle, não serão incluídos nesta análise introdutória.

1.1 Característica estática de conversor *boost* incluindo perdas

Tanto para o conversor elevador de tensão quanto para o abaixador-elevador (e para o Cuk, SEPIC e Zeta), quando o ciclo de trabalho tende à unidade, a tensão de saída tende a infinito. Nos circuitos reais, no entanto, isto não ocorre, uma vez que as parcelas resistivas presentes nos componentes, especialmente nos interruptores, na fonte de entrada e nos indutores, produzem perdas.

A figura 1 mostra a curva da tensão de saída normalizada em função da largura do pulso para o conversor elevador de tensão.

A figura 2 mostra a topologia do conversor *boost*, na qual foi incluída uma resistência de entrada que pode representar tanto a resistência do enrolamento do indutor quanto a resistência interna da fonte [8]. Para tal circuito, a tensão disponível para alimentação do conversor se torna $(E-V_r)$, podendo-se prosseguir a análise a partir desta nova tensão de entrada. A hipótese é que a ondulação da corrente pelo indutor é desprezível, de modo a supor V_r constante.

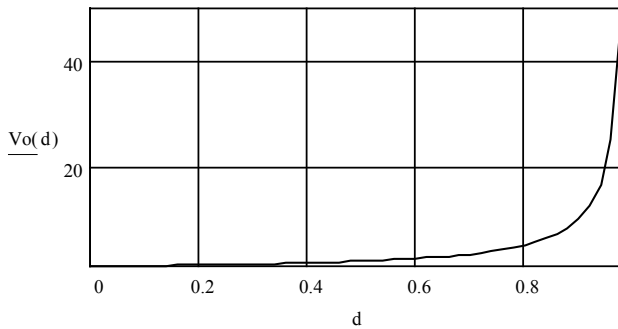


Figura 1. Característica estática de conversor elevador de tensão no modo contínuo, sem perdas.

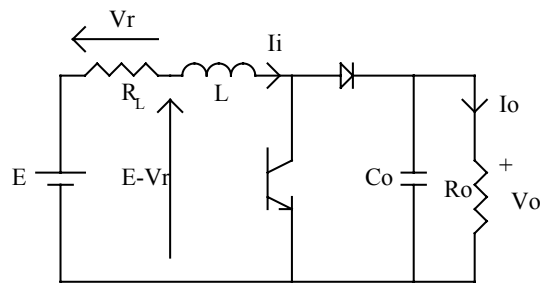


Figura 2. Conversor elevador de tensão considerando a resistência da fonte.

O objetivo é obter uma nova expressão para V_o , em função apenas do ciclo de trabalho e das resistências de carga e de entrada. O resultado está mostrado na figura 3.

$$V_o = \frac{E - V_r}{1 - \delta} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} V_r &= R_L \cdot I_i \\ V_o &= R_o \cdot I_o \end{aligned} \quad (2)$$

$$I_o = I_i \cdot (1 - \delta) \quad (3)$$

$$V_r = \frac{R_L \cdot I_o}{1 - \delta} = \frac{R_L \cdot V_o}{(1 - \delta) \cdot R_o} \quad (4)$$

$$V_o = \frac{E - \frac{R_L \cdot V_o}{(1-\delta) \cdot R_o}}{1-\delta} = \frac{E}{1-\delta} - \frac{R_L \cdot V_o}{R_o \cdot (1-\delta)^2} \quad (5)$$

$$\frac{V_o}{E} = \frac{1-\delta}{(1-\delta)^2 + \frac{R_L}{R_o}} \quad (6)$$

Verifica-se que, ao serem consideradas as perdas, passa a existir um ponto no qual a relação entre as tensões de entrada e de saída atinge um máximo. Embora esta análise tenha sido feita considerando apenas um dos elementos de perda de potência no circuito (por simplicidade de modelagem), o comportamento resultante pode ser generalizado. Ou seja, as perdas do conversor impedem que o conversor possa operar com ganhos estáticos muito elevados. Este resultado se refere à operação no modo de condução contínua (MCC). A situação é diversa no modo de condução descontínua (MCD) tal estudo é parte dos objetivos deste projeto, como se verá adiante.

Voltando à operação no MCC, o ponto de máxima razão de tensões corresponde ao limite de operação estável em uma operação em malha fechada com controle da tensão de saída pela variação da largura de pulso. Note que, a uma redução da tensão de saída (por exemplo, por um aumento da carga), o circuito de controle leva a um aumento na razão cíclica. Além do ponto de máximo, tal aumento leva a uma redução ainda maior na tensão, conduzindo à máxima largura de pulso que o circuito permitir e ao colapso da tensão de saída.

A figura 4 ilustra o rendimento do conversor. No ponto de máxima tensão o rendimento do conversor é de 50%, o que é um valor extremamente baixo para um conversor comutado que pretende ter rendimento na faixa de 90%. Se considerarmos, então, como limite de rendimento este valor (90%), a máxima razão cíclica e, portanto, o máximo ganho estático, se tornam ainda menores, praticamente inviabilizando a realização de conversores em que a relação entre as tensões de saída e entrada seja elevada.

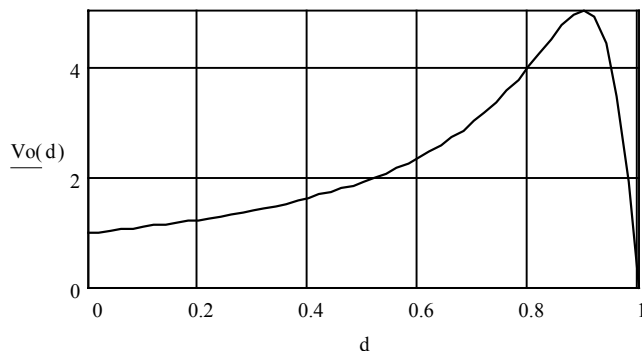


Figura 3. Característica estática de conversor elevador de tensão, no modo contínuo, considerando as perdas na entrada (fonte e indutor), para $R_L=R_o/100$.

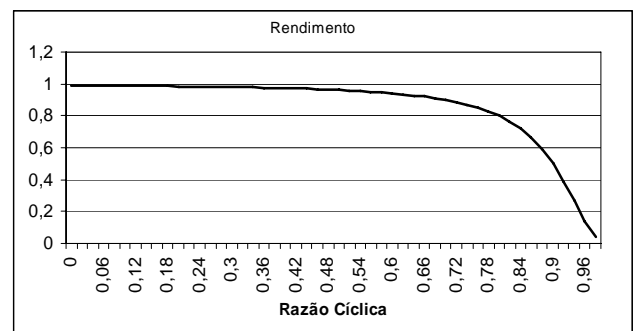


Figura 4. Rendimento do conversor elevador de tensão, no modo contínuo, considerando as perdas na entrada (fonte e indutor), para $R_L=R_o/100$.

Resultados análogos podem ser obtidos para os demais conversores com característica de elevação de tensão.

Dado que são inúmeras as situações em que é preciso operar com diferenças de tensão elevadas, é preciso encontrar solução em alternativas como os conversores com transformador [9,10], ou em topologias alternativas [11 - 13]. A Tabela I mostra os ganhos estáticos para diferentes propostas de conversores elevadores de tensão com aumento de relação de conversão. A figura 5 ilustra tais ganhos, com razão cíclica limitada a 80%. Em termos de controle, a ref. [14] trata o conversor *boost* quadrático, de forma a modelá-lo com vistas ao projeto do controlador. Soluções do tipo *interleaved* [15] também são analisadas para estes conversores e apresentam a vantagem de uma distribuição da corrente de entrada, associada a uma redução da ondulação da corrente.

Embora, sem considerar as perdas, os conversores mostrem-se promissores às nossas necessidades, é preciso verificar o impacto das perdas na fonte de entrada e na topologia para obter a taxa efetiva de conversão. Os artigos citados apresentam resultados experimentais em baixa potência, que não é o caso da aplicação em vista neste projeto. Além disso, a maioria não explora aspectos de operação no modo descontínuo e não fazem uma modelagem adequada para efeitos de controle do conversor. Adicionalmente, deve-se considerar os esforços de tensão e de corrente adicionais a que os componentes são aplicados, de modo a estabelecer critérios de comparação úteis.

A depender da topologia, a correta operação destes conversores implica em limitações de razão cíclica, em diferentes comandos para circuitos com mais de um interruptor, com impossibilidade de reversão de corrente, e outros problemas que devem ser identificados e estudados.

Tabela I – Ganho estático do conversor boost e das topologias propostas em [6], [12] e [13].

	boost	Ref. [6]	Ref. [12]	Ref. [13] – Doubler ($\delta > 0,5$)
V_o/V_i	$1/(1-\delta)$	$\delta^2/(1-\delta)^2$	$(1+\delta)/(1-\delta)$	$2/(1-\delta)$

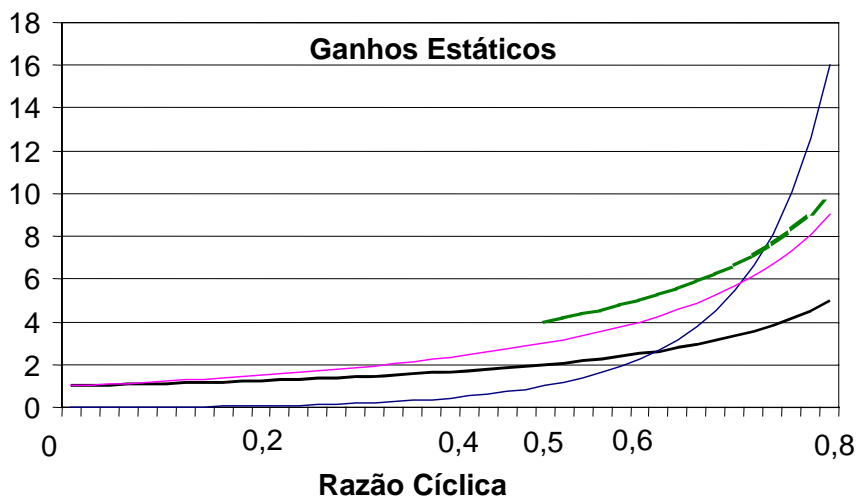


Figura 5. Ganho estático (sem perdas) do conversor *boost* e dos conversores descritos em [6], [12] e [13].

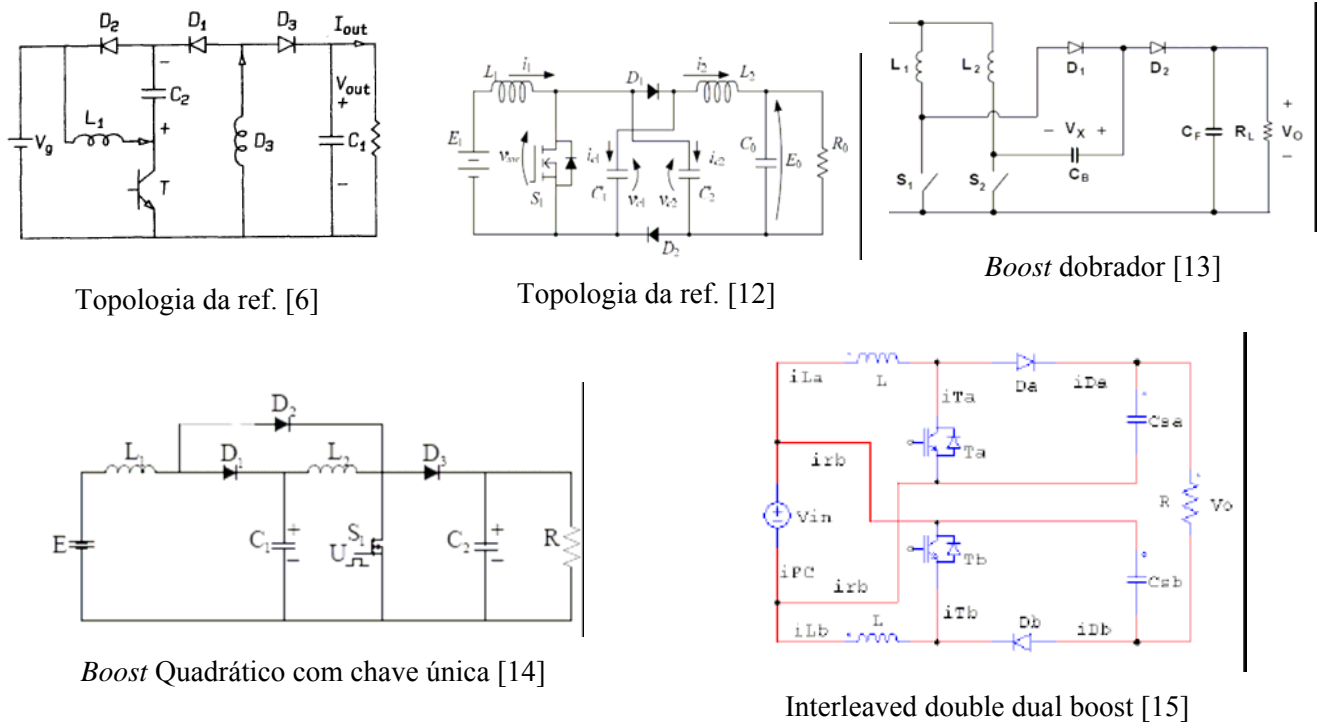


Figura 6. Topologias com elevado ganho estático.

2. Justificativa

Dentre as atividades em andamento no Laboratório de Condicionamento de Energia Elétrica da Unicamp, duas deparam-se com o problema de realizar uma conversão CC-CC em que a tensão de saída é significativamente mais alta do que a tensão de entrada, numa relação de cinco vezes, ou mais.

Uma destas aplicações se refere à geração distribuída de energia, a partir de célula a combustível estacionária, para uso residencial, conectada à rede elétrica de distribuição. Neste caso, partindo-se de uma tensão em torno de 50 V deve-se produzir uma tensão superior a 320 V para permitir a produção de uma saída alternada de 220V/60Hz. Este projeto é uma pesquisa realizada em conjunto com o Laboratório de Hidrogênio do Instituto de Física da Unicamp. Por se tratar de uma aplicação estacionária, de potência relativamente baixa (1 a 2 kW) na qual se deseja isolamento galvânica, a escolha de um conversor com transformador parece adequada para que se obtenha a tensão necessária ao estágio inversor.

Uma outra aplicação, também em pesquisa associada ao Laboratório de Hidrogênio do Instituto de Física da Unicamp, refere-se ao sistema de alimentação para veículos elétricos, cuja fonte primária é uma célula a combustível, contando com fontes auxiliares compostas por um banco de baterias e por um banco de supercapacitores [8].

A integração e a gestão de fontes de energia de características distintas em termos de densidade de energia e de densidade de potência são uma das principais responsáveis pelos modernos veículos elétricos (VE) apresentarem um significativo aumento de eficiência no uso da energia e melhora no desempenho dinâmico nas fases de aceleração e frenagem [16]

A princípio, as células a combustível (CaC) poderiam substituir plenamente as baterias (BT) para propulsar o VE, em decorrência do menor peso e volume e da grande quantidade de energia disponível para elevar a autonomia de percurso do veículo. No entanto, como as CaC apresentam pobre eficiência em situações de baixa demanda de carga, lenta transferência de energia em situações transitórias e elevado custo por watt, ficou evidente a necessidade de associar uma outra fonte de energia para suprir os picos de potência do mecanismo de tração do veículo [17-19]. Com efeito, emprega-se uma CaC compacta e de custo inferior, que atende apenas a demanda média de energia requerida pela carga.

As BT possuem capacidade de energia suficiente para movimentar o veículo em baixas velocidades e garantir suprimento extra de energia nas fases em que a energia requerida é superior à demanda média. Entretanto variações rápidas de corrente resultam em importantes perdas de potência e reduzem a vida útil da BT [20].

A solução mais completa emprega um banco supercapacitor (SC) para atuar durante o relativamente lento processo eletroquímico de conversão de energia química da CaC e da BT em energia elétrica, além de melhorar a resposta no tempo do sistema de suprimento durante distúrbios transitórios de carga. Adicionalmente, o uso combinado do SC é uma excelente ferramenta para aumentar a eficiência do processo de absorção de energia nas fases de desaceleração (frenagem regenerativa) do VE, em decorrência da severa limitação do processo de recarga das BT [21-22].

O diagrama de Ragone, mostrado na figura 7, ordena os dispositivos de armazenamento de energia de acordo com a densidade de energia e a densidade de potência. Quanto mais elevada a densidade de energia, maior a quantidade de energia disponível por unidade de massa ou volume. Por outro lado, quanto maior a densidade de potência, maior a velocidade de transferência energia por unidade de massa ou volume.

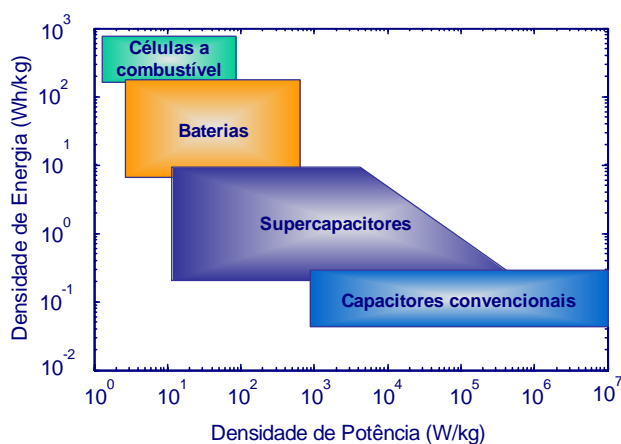


Figura 7. Diagrama de Ragone [8].

A Figura 8 ilustra as curvas características de operação da CaC [23]. De acordo com a curva de tensão-corrente da célula existem três regiões distintas de operação do dispositivo associadas aos fenômenos de polarização que ocorrem em células eletroquímicas.

As perdas na região de polarização por ativação estão diretamente relacionadas com a velocidade em que ocorrem as reações na superfície do eletrodo. São resultantes da energia necessária para romper a barreira de ativação das reações químicas.

As perdas na região de polarização por concentração, ou perdas por transporte de massa, estão relacionadas a um insuficiente aumento do fluxo de combustível em detrimento de uma elevada demanda de corrente. As perdas na região de polarização por resistência ôhmica apresentam comportamento linear, elevado rendimento e são relativas às resistências ao fluxo de íons no eletrólito e ao fluxo de elétrons nos eletrodos.

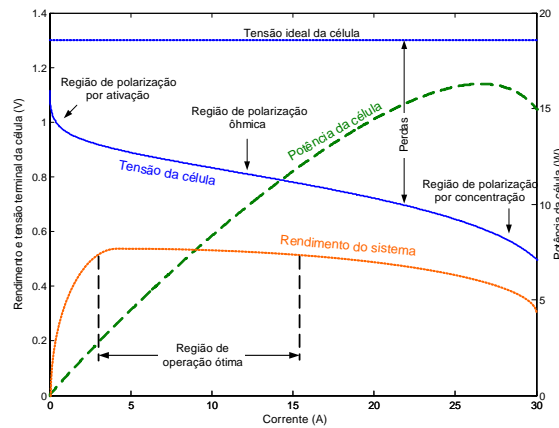


Figura 8. Curvas características de operação da célula a combustível.

Valores de corrente muito elevado resultam em grande perda de potência na forma de calor, que pode degradar o desempenho da membrana da CaC. Por outro lado, variações bruscas de corrente podem levar a célula a operar na região de perdas por polarização por concentração, uma vez que a dinâmica de ajuste de suprimento dos gases reagentes é um processo lento.

A curva de rendimento da CaC difere sensivelmente da curva de uma célula isolada, pois há consumo de energia pelos dispositivos auxiliares necessários ao funcionamento da CaC.

Do ponto de vista de durabilidade e de consumo de combustível, a CaC deve funcionar dentro da região de operação ótima. A definição dos limites depende do compromisso com a máxima eficiência que o dispositivo deve apresentar.

Para alcançar tensões e potências de operação mais elevadas, as células são conectadas em série, formando uma pilha a combustível. Com efeito, este é o outro nome que a CaC recebe.

As curvas tensão-corrente e potência-corrente da CaC e BT são semelhantes, uma vez que ambos dispositivos estão sujeitos aos mesmos processos de polarização. A descarga profunda pode reduzir permanentemente o desempenho da BT, em virtude do efeito acumulativo da fadiga térmica dos materiais durante o processo de reversão do estado de carga.

2.1 Interconexão entre as fontes de potência

A integração de diferentes fontes de energia possibilita coordenar as vantagens de cada uma das fontes.

Existem várias topologias propostas para combinar diferentes fontes de energia, que possibilitam o controle ativo de um ou mais dispositivos de suprimento. Em geral, o controle independente das fontes requer maior número de componentes eletrônicos e estratégias de coordenação do fluxo de energia mais elaboradas.

Os principais desafios para a escolha da topologia do conversor eletrônico são: baixos custos de aquisição e de manutenção, elevado grau de compactação e de confiabilidade, reduzida interferência eletromagnética, pequena emissão de ruído sonoro, elevado rendimento elétrico e estratégia de gestão do fluxo de energia com baixa complexidade.

Em aplicações veiculares deve-se considerar:

- A tensão do barramento do mecanismo de tração é tipicamente elevada, (maior que 300 V), em virtude da grande demanda de potência;
- A CaC, bem como a BT, com tensão a inferior à de saída, resulta em menor resistência interna, maior compactação e possivelmente menor custo de aquisição para estes dispositivos.
- O fluxo de corrente na CaC é sempre unidirecional, enquanto no SC e na BT é bidirecional. A BT pode ser usada tanto como fonte primária (gerador de energia) ou como fonte secundária (acumulador de energia);
- A ondulação de corrente deve ser pequena, a fim de preservar a vida útil dos dispositivos eletroquímicos;
- Não é necessário o uso de conversores isolados.

Em dispositivos elétricos acumuladores de energia, as topologias de interesse são as que permitem a reversibilidade em corrente. Na Figura 9 é exibido o circuito esquemático do conversor elevador de tensão bidirecional em corrente.

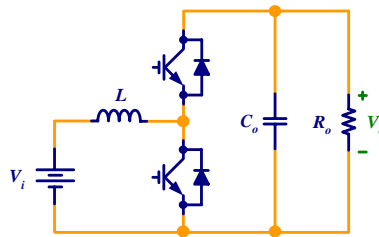


Figura 9: Conversor *boost* bidirecional em corrente.

Em termos de custo do conversor e proteção das fontes, a topologia elevadora de tensão bidirecional em corrente é mais apropriada, pois requer uma quantidade inferior de chaves e não permite a reversibilidade em tensão.

Do ponto de vista da carga, o conversor funciona no modo elevador de tensão ($V_o > V_i$), enquanto para o modo acumulador de energia, funciona como abaixador de tensão. A presença do indutor conectado à fonte, aliado funcionamento do conversor no modo de condução contínua, limita a ondulação de corrente.

A possibilidade ou não de operação no modo bidirecional em corrente de outras topologias elevadoras de tensão é um dos aspectos a ser investigado neste projeto.

3. Objetivos

Os objetivos gerais deste projeto são a pesquisa e o desenvolvimento de topologias de conversores CC-CC elevadoras de tensão não-isoladas, com grande ganho estático, visando aplicações em veículos elétricos.

3.1 Metas

Constituem-se objetivos específicos as seguintes metas:

- i. Análise comparativa de topologias com vistas à aplicação em veículos elétricos, tomando-se como principais critérios de comparação o rendimento elétrico, densidade de potência, complexidade e modularidade.
- ii. Seleção de uma ou mais topologias para aprofundamento dos estudos, com base nos parâmetros de comparação.
- iii. Desenvolvimento de metodologia de projeto do circuito de potência para uma ou mais topologias selecionadas.
- iv. Modelagem dinâmica dos conversores escolhidos.
- v. Desenvolvimento de metodologia de projeto da estratégia de comando e controle para as topologias selecionadas.
- vi. Implementação de protótipo de uma ou mais topologias, em potência da ordem de 5 kW

4. Metodologia

A metodologia a ser empregada no desenvolvimento deste projeto baseia-se na tríade: modelagem, simulação, experimentação.

As etapas de modelagem e simulação serão desenvolvidas ciclicamente, de forma que o trabalho será resultado de um conjunto composto por diversas modelagens e simulações.

Os modelos definidos serão simulados. Caso ocorram funcionamentos irregulares ou inesperados nas simulações, voltamos ao modelo e este será modificado e novamente simulado, essas duas etapas se repetirão até que o comportamento do circuito simulado esteja de acordo com os requisitos de projetos.

Outra parte do projeto refere-se ao estudo do comportamento dinâmico do conversor e o projeto do controlador.

Será implementada uma montagem que permita a verificação experimental dos conversores estudados.

5. Plano de Trabalho

1. Pesquisa bibliográfica sobre os conversores CC-CC.
2. Pesquisa bibliográfica sobre o comportamento elétrico de células a combustível, baterias e supercapacitores.
3. Simulação computacional (Pspice, Psim, ou outro simulador) dos circuitos, incluindo a modelagem das fontes, dos interruptores e das não idealidades relevantes dos demais componentes da topologia.
4. Estabelecimentos de critérios comparativos entre as topologias com vistas à escolha de uma ou mais para aprofundamento de estudos.

5. Desenvolvimento de metodologia de dimensionamento para a(s) topologia(s) selecionada(s).
6. Desenvolvimento de programa em microcontrolador para comando e controle do conversor.
7. Montagem de protótipo.
8. Testes de bancada
9. Redação de relatório e artigos.

6. Cronograma

Atividade/quadrimestre	1/2008	2/2008	3/2008	1/2009	2/2009	3/2009
1	x					
2	x					
3		x	x			
4		x				
5			x			
6			x	x		
7				x	x	
8					x	x
9			x			x

7. Equipe de Trabalho e Recursos Disponíveis

A equipe participante deste projeto é constituída pelo proponente, Prof. XXXXX, pelo bolsista de pós-doutorado, YYYYY, pelo estudante de mestrado ZZZZZ e por um estagiário.

Em termos de recursos disponíveis, conta-se com a estrutura do Laboratório de Condicionamento de Energia Elétrica.

As áreas principais de pesquisa do Laboratório KKKKKK são: Desenvolvimento de Programas para Simulação e Análise de Processos Elétricos; Desenvolvimento de Instrumentação Especializada; Desenvolvimento de Conversores e Compensadores Eletrônicos; Desenvolvimento de Filtros Ativos e Híbridos; Máquinas Elétricas e Acionamentos. Os resultados de suas pesquisas têm sido regularmente apresentados em congressos nacionais e internacionais, e publicados em anais, revistas e periódicos. Numa área de aproximadamente 200 m², esse laboratório contribui tanto na formação de estudantes de Graduação (Iniciação Científica) e de Pós-Graduação (Teses de Mestrado e Doutorado), como também no aperfeiçoamento da tecnologia de medição, condicionamento da energia elétrica.

8. Forma de análise dos resultados

Os resultados serão avaliados pelos resultados colhidos, expressos nos relatórios parciais e nas publicações. Espera-se também que se desenvolva um mestrado no tema deste projeto. Além disso, poderão ser gerados produtos de interesse industrial e comercial.

9. Referências Bibliográficas

- [1] G. Chryssis: "High-frequency Switching Power Supplies", McGraw-Hill Book Company, New York, 1984.
- [2] I. Barbi e D. C. Martins, "Conversores CC-CC Básicos Não-isolados", Edição do Autor, Florianópolis, SC, 2000.
- [3] Cuk, Slobodan; Middlebrook, R. D.; Advances in Switched-Mode Power Conversion Part I and Part II Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume IE-30, Issue 1, Feb. 1983 Page(s):10 - 29
- [4] A. Kislovski, R. Redl, N. O. Sokal, "Dynamic Analysis of Switching-Mode DC/DC Converters", Van Nostrand Reinhold, New York (1991).
- [5] J. A. Pomilio, "Fontes Chaveadas", apostila de pós-graduação, FEEC – UNICAMP, <http://www.dsce.fee.unicamp.br/%7Eantenor/fontchav.html>
- [6] Maksimovic, D.; Cuk, S.; Switching converters with wide DC conversion range Power Electronics, IEEE Transactions on Volume 6, Issue 1, Jan. 1991 Page(s):151 – 157
- [7] Axelrod, B.; Berkovich, Y.; Ioinovici, A.; Transformerless DC-DC converters with a very high DC line-to-load voltage ratio Circuits and Systems, 2003. ISCAS '03. Proceedings of the 2003 International Symposium on Volume 3, 25-28 May 2003 Page(s):III-435 - III-438 vol.3
- [8] A. A. Ferreira, "Sistema Supervisório de Gestão de Múltiplas Fontes de Suprimento para Aplicações em Veículos Elétricos", Tese de Doutorado, FEEC – UNICAMP, 26 de fevereiro de 2007.
- [9] Moisseev, S.; Soshin, K.; Nakaoka, M.; Tapped-inductor filter assisted soft-switching PWM DC-DC power converter Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on Volume 41, Issue 1, Jan. 2005 Page(s):174 - 180
- [10] Chung-Wook Roh; Seung-Hoon Han; Sung-Soo Hong; Sug-Chin Sakong; yung-Joong Youn Dual-coupled inductor-fed DC/DC converter for battery drive applications; Industrial Electronics, IEEE Transactions on Volume 51, Issue 3, June 2004 Page(s):577 – 584
- [11] M. A. Pagliosa, "Contribuição ao estudo de um conversor CC-CC não isolado de 1,5 kW aplicado a célula a combustível". Florianópolis, SC: 2005, 91 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, INEP, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [12] Hiroshi Nomura, Kenichiro Fujiwara, Masanobu Yoshida, A New DC-DC Converter Circuit with Larger Step-up/down Ratio", 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference / June 18 - 22, 2006, Jeju, Korea, pp. 3006-3012.
- [13] Yungtaek Jang and Milan M. Jovanović, "Interleaved PFC Boost Converter with Intrinsic Voltage-Doubler Characteristic", 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference / June 18 - 22, 2006, Jeju, Korea, pp. 1888-1894.
- [14] Ortiz-Lopez, M. G.; Leyva-Ramos, J.; Diaz-Saldierna, L. H.; Garcia-Ibarra, J. M.; Carbajal-Gutierrez, E. Current-Mode Control for a Quadratic Boost Converter with a Single Switch, E.; IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007. PESC 2007.
- [15] Dang, B. V. et. alli, "New high-power high-ratio non isolated DC-DC boost converter for fuel cell", 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference / June 18 - 22, 2006, Jeju, Korea, pp.1148-1154.
- [16] Honda, "Honda's Revolutionary Fuel Cell Vehicle". Disponível em: <<http://world.honda.com/FuelCell/FCX/>>. Acesso em: 17 de agosto de 2006.
- [17] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, A. Emadi, "Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design", Boca Raton, FL: CRC Press, ISBN: 0-8493-3154-4, Dec. 2004.
- [18] F. A. Farret, M. G. Simões. "Integration of Alternative Sources of Energy", Somerset, NJ: Wiley-IEEE Press, ISBN: 0-471-71232-9, Jan. 2006.
- [19] Z. Jiang, R. A. Dougal. "A Compact Digitally Controlled Fuel Cell / Battery Hybrid Power Source". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 4, Aug. 2006, pp. 1094 – 1104.
- [20] P. M. Hunter, A. H. Anbuky. "VRLA Battery Rapid Charging Under Stress Management". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 50, no. 6, Dec. 2003, pp. 1229 – 1237.
- [21] R. Kötz, M. Carlen. "Principles and applications of electrochemical capacitors", in *Electrochimica Acta*, vol. 45, nº 15-16, pp. 2483 – 2498, May 2000
- [22] EPCOS AG, "UltraCap technology". Disponível em: <www.epcos.com/inf/20/35/ds/technology.pdf>. Acesso em: 12 de março de 2005.
- [23] Fuel Cell Test and Evaluation Center (FCTec), "Fuel Cell Basics". Disponível em: <http://www.fctec.com/fctec_history.asp>. Acesso em: 25 de setembro de 2006.
- [25] L. Solero; A. Lidozzi; J.A Pomilio: "Design of multiple-input power converter for hybrid vehicles", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 20, No. 5, Sept. 2005 Page(s):1007 – 1016.
- [27] L. Gao, R. A. Dougal, S. Liu, "Power Enhancement of an Actively Controlled Battery/Ultracapacitor Hybrid", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20, no. 1, Jan. 2005, pp. 236 – 243.
- [29] A. Di Napoli, F. G. Capponi, L. Solero. "Power Converter Arrangement with Ultracapacitor Tank for Battery and Load Leveling in EV Motor Drives". *Proc. of 14th International Electric Vehicle Symposium*, 1999, pp. 1 – 8.
- [32] A. Emadi, S. S. Williamson, A. Khaligh, "Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 21, no. 3, May 2006, pp. 567 – 577.
- [33] H. Xu, L. Kong, X. Wen, "Fuel Cell Power Systems and High Power DC-DC Converter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 19, no. 5, Sep. 2004, pp. 1250 – 1255.