



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
DISCIPLINA DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

ALINSSON FIGUEIRA DE SOUZA - 0323491

CONVERSORES BUCK-BOOST

SOBRAL
2014

ALINSSON FIGUEIRA DE SOUZA

CONVERSORES BUCK-BOOST

Trabalho apresentado à disciplina de Sistemas Eletrônicos do curso de Engenharia da Computação do Campus de Sobral, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a aprovação na disciplina.

Professor:
Carlos Elmano.

SOBRAL

2014

Índice

1. INTRODUÇÃO	4
1.1. CONVERSORES CC-CC	4
1.2. CONVERSOR BUCK-BOOST	4
1.3. PULSE WIDTH MODULATION - PWM	6
2. OBJETIVOS	7
3. VISÃO GERAL E RESULTADOS ESPERADOS.....	8
4. REFERÊNCIAS	13

1. Introdução

1.1. Conversores CC-CC

É extremamente usual a prática de conversão de energia em aplicações eletrônicas, tanto no ramo industrial quanto no cotidiano. Geralmente temos um equipamento eletrônico que precisa de um controle e este por sua vez trabalha em pequenas faixas de tensão consumindo menos potência, enquanto o aparelho pode utilizar tanto baixa como alta potência, temos então que saber distribuir as potências adequadas a cada dispositivo.

Em práticas simples utilizamos circuitos lineares que conseguem regular a potência fornecida, embora seja de baixa eficiência pela alta dissipação de potência dos atuadores lineares, são bem mais simples de serem implementados e mais baratos.

O uso de conversores cc-cc por meio de utilização de chaves é uma boa alternativa quando o objetivo é eficiência, pois estes conversores possuem rendimento prático entre 70% e 98% já que utilizam apenas elementos eletrônicos não dissipativos, como capacitores, indutores e diodos. A desvantagem está na complexidade de montagem deste circuito e do custo destes componentes semicondutores de potência (diodos, MOSFETs, IGBTs, indutores e capacitores) que se torna mais caro quando comparado aos circuitos lineares de conversão de potência.

As principais topologias de conversão cc-cc podem ser entendidas de forma genérica como na imagem a seguir:

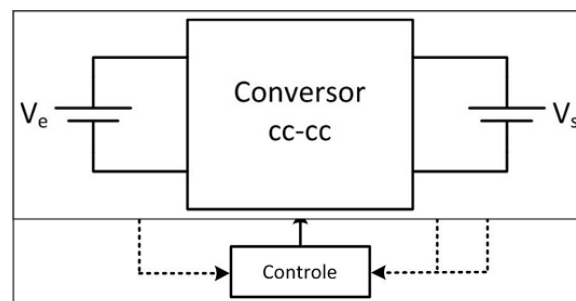


Figura 01. Sistema genérico de conversão cc-cc.

Vemos que se trata de uma de uma tensão V_e de entrada que passa por um conversor e através do bloco de controle é moldada para saída V_s , através dessa conversão podemos ter ganho $G = 1$, ou seja, $V_e = V_s$, $G > 1$, neste caso $V_s > V_e$ e por último $G < 1$ que implica em $V_e > V_s$.

1.2. Conversor Buck-Boost

Os principais conversores cc-cc não-isolados são: Buck, Boost, Buck-Boost, Cúk, SEPIC e ZETA. Estudaremos nesta etapa o conversor Buck-Boost, que pode ser tanto elevador de tensão quanto abaixador, pois:

$$G = \frac{D}{1 - D}$$

Assim vemos que conforme definimos o Duty Cycle do PWM (sinal que controla a chave do conversor) podemos elevar ou abaixar a tensão de entrada.

Em sua topologia básica possui um capacitor, um diodo, uma chave transistorizada e um indutor assim como os conversores Buck e Boost, veja a seguir:

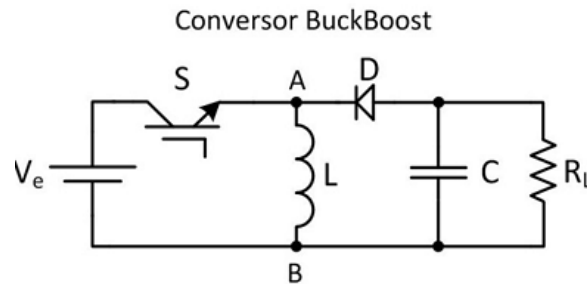


Figura 02. Sistema genérico do conversor Buck-Boost.

Este conversor possui duas etapas de operação:

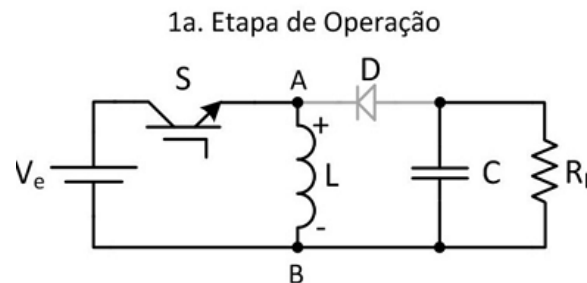


Figura 03. Sistema genérico do conversor Buck-Boost na primeira etapa de operação.

Nesta etapa de operação a chave transistorizada S está fechada, e como o diodo D está inversamente polarizado o nosso circuito de entrada de energia é apenas a fonte V_e e o indutor L que está carregando, e o circuito de saída apenas o capacitor C e a carga R_L , vemos desta forma que a carga está recebendo energia apenas do capacitor.

Vamos então para a próxima etapa:

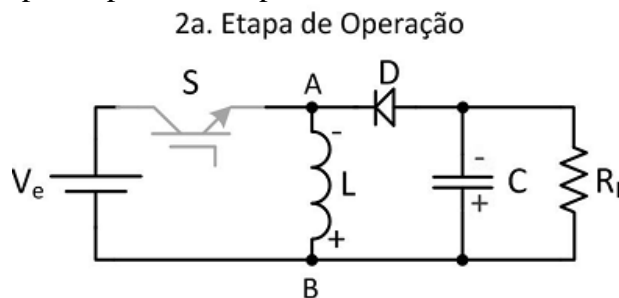


Figura 04. Sistema genérico do conversor Buck-Boost na segunda etapa de operação.

Vemos que a chave está aberta, então o indutor para de absorver energia e passa a fornecer, o diodo agora está conduzindo e fecha circuito com o capacitor e a carga, desta forma o capacitor passa a armazenar energia até o momento em que a chave fechará novamente repetindo o processo. Um detalhe importante neste conversor é a saída invertida, que não ocorre nos conversores Buck e Boost.

Analisemos como a tensão se comporta no indutor L sobre os pontos A e B:

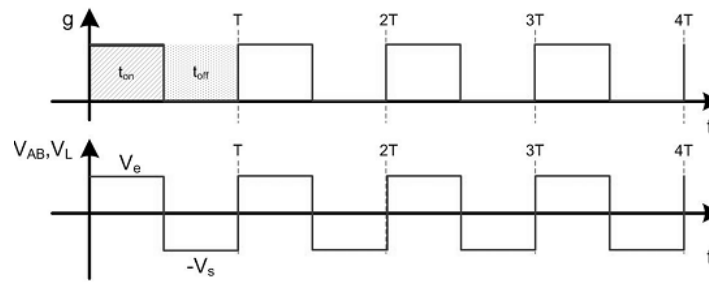


Figura 05. Formas de onda da tensão do conversor Buck-Boost.

No primeiro gráfico vemos o funcionamento da chave S que abre e fecha conforme sinal do PWM. O segundo nos mostra a tensão entre os pontos A e B que corresponde a tensão sobre o indutor V_L , que quando a chave está fechada é igual a fonte V_e pois está em série e paralelo com a fonte, e quando a chave está aberta é igual a $-V_s$ pois deixa de absorver e passa a fornecer energia, invertendo a tensão sobre si.

Vejamos agora as formas de onda da corrente no indutor e capacitor:

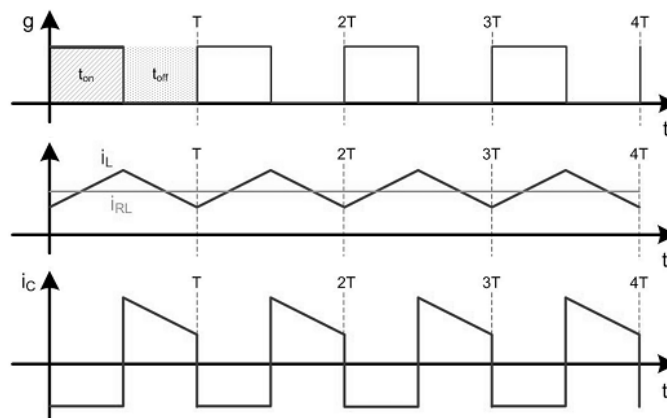


Figura 06. Formas de onda da corrente do conversor Buck-Boost.

Os primeiro gráfico novamente mostra nossa referência de chave aberta e fechada, no segunda gráfico vemos a corrente no indutor L novamente fica em um equilíbrio durante o regime permanente no qual toda energia armazenada no período de chave fechada é liberada no período de chave aberta, mas desta vez temos uma corrente média i_{RL} , que se trata da corrente média fornecida à carga. O terceiro e último gráfico mostra a corrente sobre o capacitor i_C que quando a chave está fechada é constante pois está alimentando a carga, e quando a chave abre recebe uma corrente de sentido contrário pois agora está carregando e acompanha a forma de onda da corrente do indutor.

1.3. Pulse Width Modulation - PWM

Para o estudo destes conversores precisamos entender o conceito de PWM (Pulse Width Modulation ou Modulação por Largura de Pulso), que é o tipo de modulação de frequência constante mais conhecida e utilizada. Veja a imagem a seguir para entender melhor:

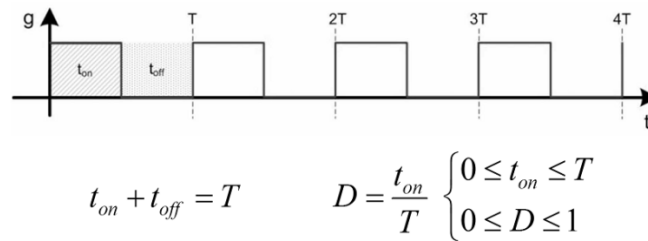


Figura 07. Modelo de um PWM.

PWM nada mais que um sinal de período constante, na qual podemos alterar o tempo em que este sinal fica em nível lógico alto t_{on} e em nível lógico baixo t_{off} . A Razão Cíclica D é a razão de t_{on} e T, ou seja, a porcentagem do período em estado lógico alto.

Um PWM pode ser facilmente implementado com um Amplificador Operacional no modo comparador, bastando inserir na entrada inversora uma onda portadora reponsável pela frequência do PWM e na entrada não-inversora colocamos um sinal modulante que é responsável pelo Duty Cycle:

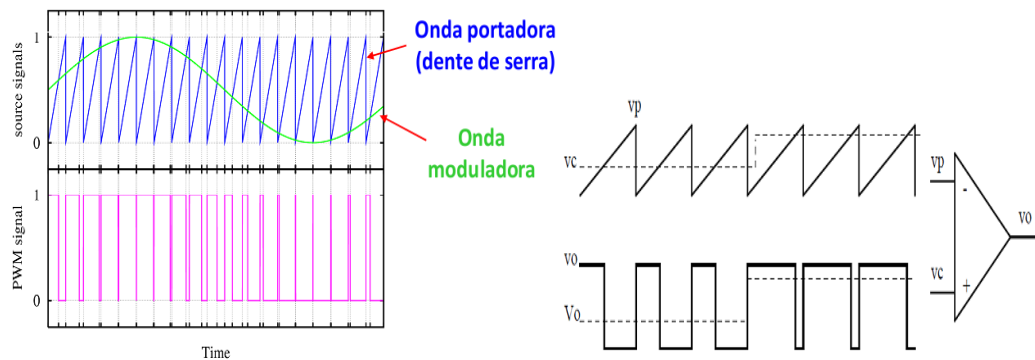


Figura 08. Geração de um PWM com um AOP.

2. Objetivos

Foi solicitado pelo professor a implementação de um conversor Buck com as seguintes especificações e considerações de projeto:

$$P_n = 100W$$

$$V_{e_min} = 10V$$

$$V_{e_max} = 14V$$

$$V_s = 12V$$

$$f_s = 40KHz$$

$$\Delta i = 0.2$$

$$\Delta v = 0.25$$

Veremos a seguir como implementar e simular este conversor.

3. Visão Geral e Resultados Esperados

Para modelar o circuito precisamos:

- Especificações do projeto: V_S , V_e e P_n ;
- Considerações de projeto: f_s , Δi e Δv ;
- Corrente nominal i_n ;
- Razões cíclicas máxima e mínima;
- Valores mínimos de capacitância e indutância.

Já temos as especificações e considerações de projeto dados pelo professor, para calcular a corrente nominal i_n , e a razão cíclica máxima D_{max} e mínima D_{min} utilizamos as seguintes fórmulas:

$$i_n = \frac{P_n}{V_S} = \frac{100}{12} = 8.3333A$$

Como:

$$D = \frac{G}{1 + G} = \frac{V_S}{V_e + V_S} = \frac{12}{\frac{10 + 14}{2} + 12} = 0.5$$

Veja que utilizei a média da tensão V_{e_min} e V_{e_max} .

Então:

$$D_{min} = \frac{V_S}{V_{e_max} + V_S} = \frac{12}{14 + 14} = 0.46154$$

$$D_{max} = \frac{V_S}{V_{e_min} + V_S} = \frac{12}{10 + 14} = 0.54545$$

Os valores mínimos de capacitância e indutância do circuito são encontrados pelas seguintes fórmulas:

$$L = \frac{V_{e_max} * D_{max}}{\Delta i_L * i_n * f_s} = \frac{14 * 0.54545}{0.20 * 8.3333 * 40000} = 114.5454\mu H \sim 115\mu H$$

$$C = \frac{i_n * D_{max}}{\Delta v_s * V_S * f_s} = \frac{8.3333 * 0.54545}{0.25 * 12 * 40000} = 37.8787\mu F \sim 38\mu F$$

Para indutor podemos criar no mundo real um no valor especificado, para o capacitor temos valores de $1\mu F$ e $9.1\mu F$ que podem ser facilmente colocados 5 deles em paralelo para obter o resultado esperado.

Para este circuito ser simulado precisamos saber qual a resistência da carga R_L :

$$R_L = \frac{V_S}{i_n} = \frac{12}{8.3333} = 1.44\Omega$$

Podemos facilmente criar esse valor com dois resistores comerciais de 3Ω em paralelo, resultado em um resistor de 1.5Ω .

Temos todos os valores para montagem do circuito, iremos utilizar para isto o software de simulação PSIM, veja a simulação deste circuito a seguir:

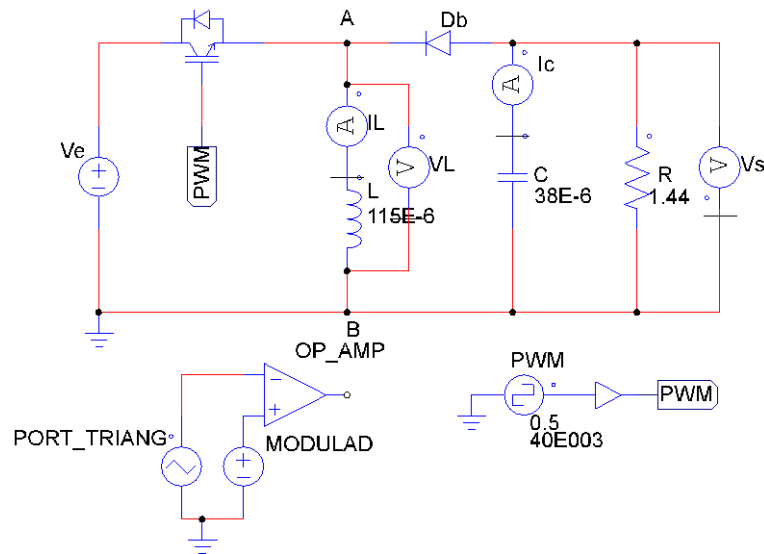


Figura 09. Simulação de um conversor Buck-Boost no software PSIM.

Porém para este projeto a tensão de entrada não é contínua, mas algo que varia entre 10V e 14V, para isto veremos com o valor mínimo e máximo de tensão as principais formas de onda do circuito.

Utilizamos como chave um IGBT (Transistor Bipolar de porta Isolada), poderia ter sido um MOSFET (Transistor Metal Óxido Efeito de Campo), para o controle da chave foi implementado um PWM com um AOP constituído por um sinal portador triangular com frequência igual a 40KHz como especificado pelo circuito e uma moduladora que respeita os limites de D_{max} e D_{min} , mas para simplificar utilizamos um Square-Wave Voltage Source, pois o Duty Cycle pode ser facilmente modificado, para este projeto utilizamos o valor encontrado anteriormente $D = 0.5$.

O circuito está repleto de voltmíetros e amperímetros, para medição das formas de onda e comparação com os resultados esperados, vejamos abaixo a forma de onda da saída pelo voltmímetro Vs com tensão de entrada mínimo de 10V:

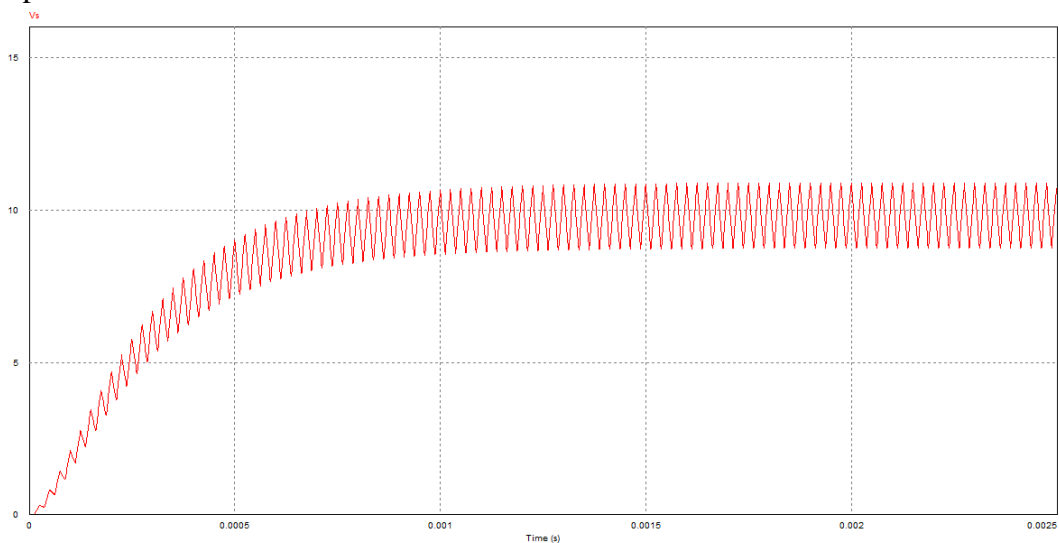


Figura 10. Tensão de saída do conversor Buck-Boost com entrada de 10V.

Com tensão de entrada máximo de 14V:

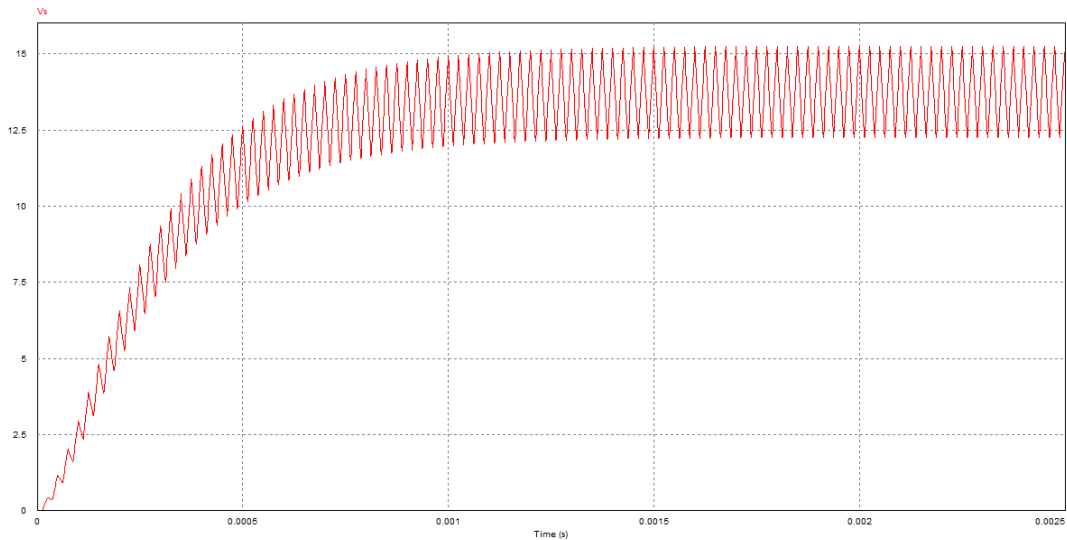


Figura 11. Tensão de saída do conversor Buck-Boost com entrada de 14V.

Vemos que antes da saída ser algo em torno de 12V, temos uma oscilação, que ocorre em um instante de tempo muito pequeno (abaixo de 1ms), isso se dá pois o circuito ainda não estava em regime permanente, ou seja, não havia equilíbrio das cargas do indutor e capacitor, mas vale lembrar que isto ocorre em um instante devidamente pequeno e não à toa, sabemos que a constante de tempo τ do capacitor é $\tau_C = RC$ e do indutor é $\tau_L = \frac{1}{RL}$, como C e L são valores bem pequenos na ordem de uH e uF então precisaram de pouco tempo na ordem de ms para estabilizarem. Outro ponto importante para vermos é que a tensão de saída não é exatamente contínua, mas sim uma onda triangular com frequência altíssima (na ordem das especificações de projeto do PWM), isso se dá pela baixa capacitância e indutância do circuito por conta da variação de corrente e tensão do circuito nas especificações do projeto serem altos, na ordem de 20% e 25% respectivamente, vejamos abaixo a saída do conversor quando temos variação de corrente e tensão na ordem de 1% e entrada de 12V:

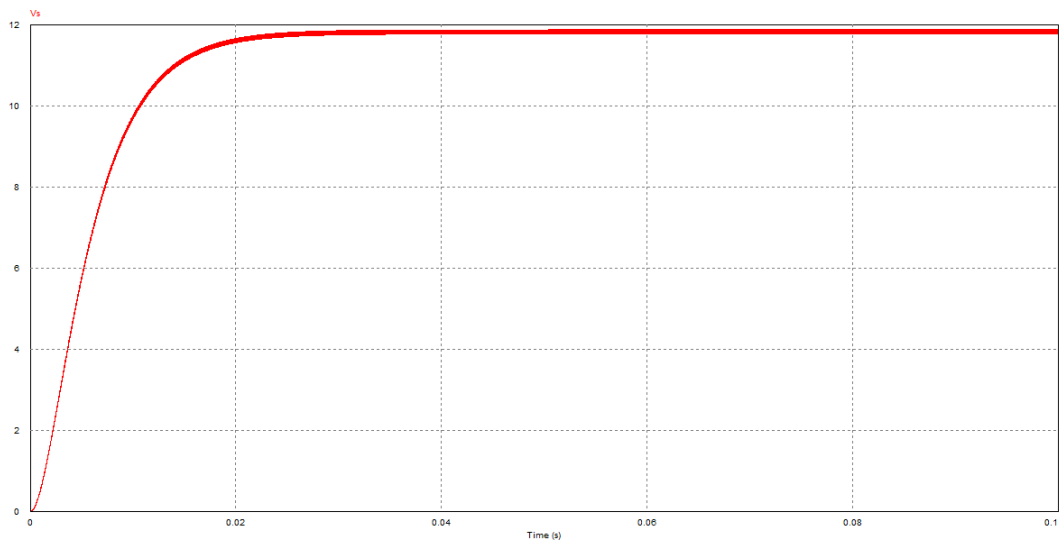


Figura 12. Tensão de saída do conversor Buck-Boost com entrada de 12V com 1% de variação.

Note que a tensão agora é quase contínua, para que seja realmente 12V temos apenas que regular o Duty Cycle do PWM. Vale ressaltar que para chegar em regime

permanente o circuito demorou muita mais tempo pois o capacitor e o indutor eram bem maiores.

Vamos ver agora como se comporta a tensão V_{AB} sobre o ponto AB do circuito que corresponde a tensão sobre o indutor V_L quando alimentamos o conversor com 10V:

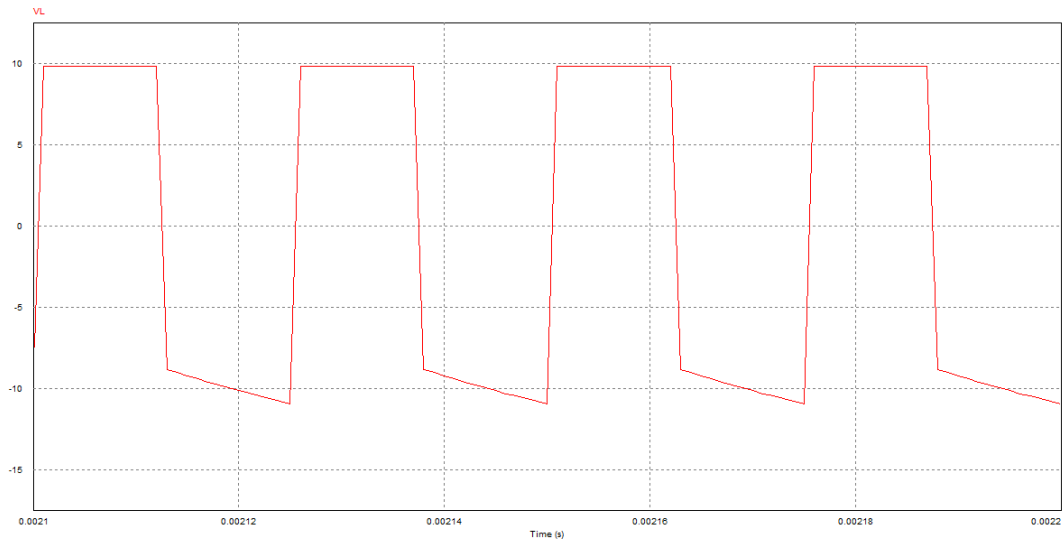


Figura 13. Tensão sobre os pontos AB do circuito com entrada de 10V.

Notamos que a tensão sobre o indutor V_L é em chave aberta e fechada, respectivamente V_e e $-V_s$, de acordo como esperado. Se o circuito for alimentado com 14V teremos o mesmo resultado:

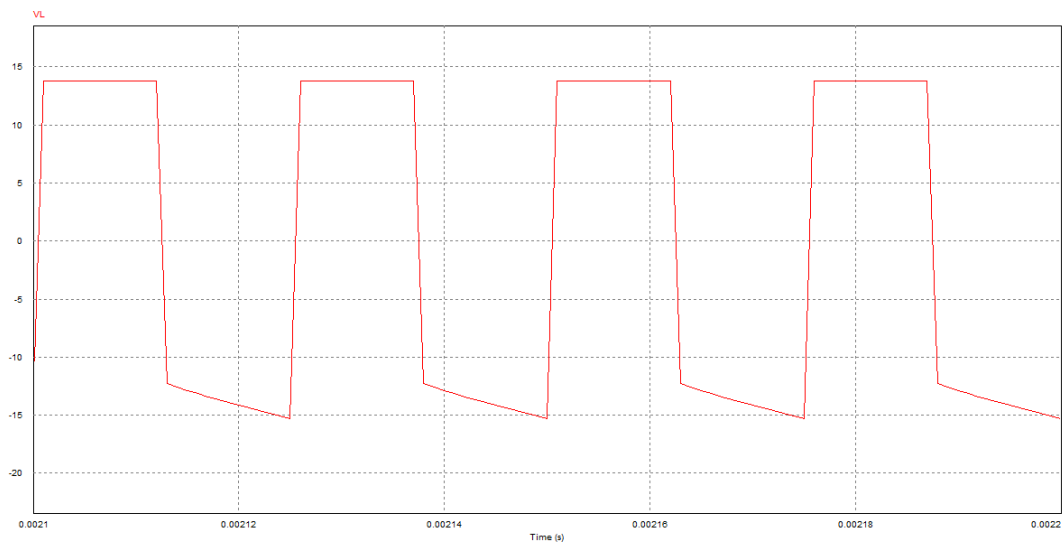


Figura 14. Tensão sobre os pontos AB do circuito com entrada de 14V.

Notamos que em ambos os gráficos, quando a chave abre a tensão sobre o indutor não fica constante como esperávamos de acordo com a imagem 05, isso se dá pelo fato de que o indutor descarrega quando a chave abre para carregar o capacitor e segurar a potência consumida pela carga.

Falta apenas vermos como se comporta a corrente sobre o indutor e capacitor quando o conversor recebe a tensão mínima de 10V:

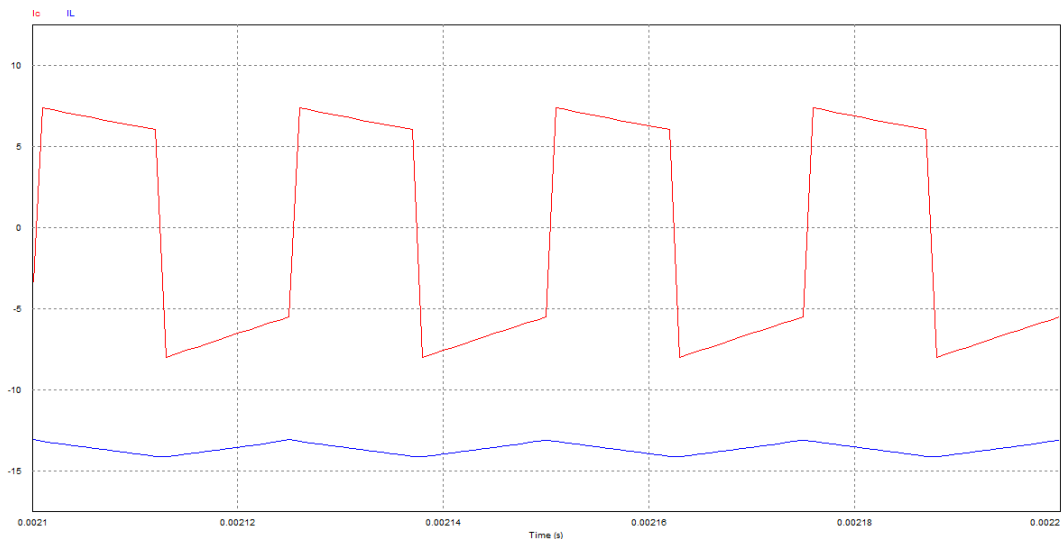


Figura 15. Formas de onda da corrente sobre o capacitor C e indutor L entrada de 10V.

Vemos que novamente temos as saídas esperadas como descrito pela imagem 06, depois de entrarem em regime permanente, o capacitor e indutor estão em equilíbrio, então toda energia que entra neles durante período de chave fechada, sai durante período de chave aberta, mesmo que não necessariamente este tempo de chave aberta e fechada sejam os mesmos.

Se a entrada fosse a tensão máxima de 14V teríamos:

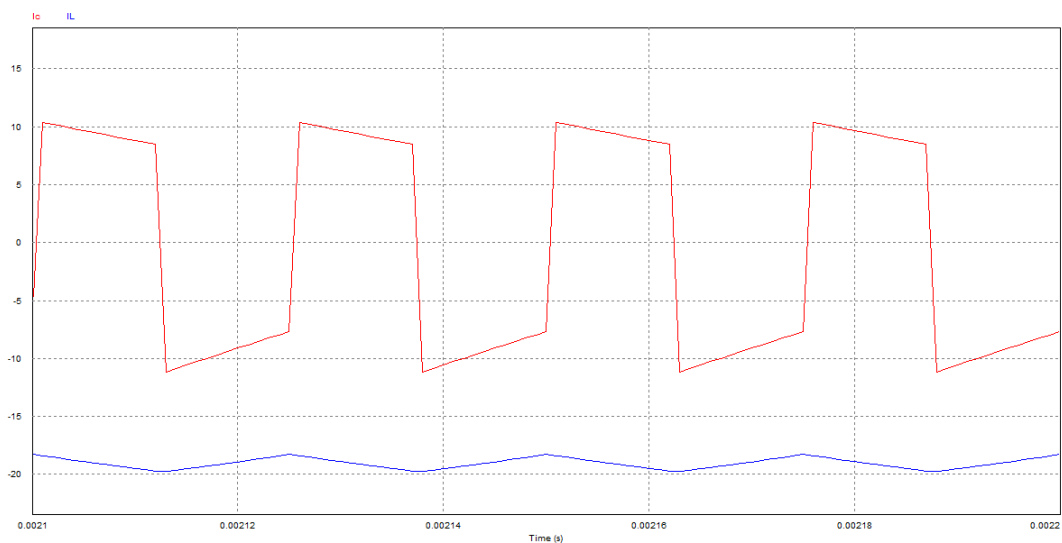


Figura 16. Formas de onda da corrente sobre o capacitor C e indutor L entrada de 14V.

Novamente temos os mesmo resultados, o que nos diz que a variação da entrada irá alterar apenas uma pequena quantidade de entrada de potência que equivale a uma pequena alteração na potência de saída.

Tivemos êxito em calcular os valores dos elementos do circuito, em sua montagem e simulação.

O uso do software Mathcad foi de extrema importância para cálculo das equações necessárias aos valores dos elementos para criação do circuito, como indutor, capacitor, razão cíclica máxima e mínima etc.

Todos os resultados obtidos eram esperados e com isso encerramos nossa análise do conversor Buck-Boost com a ideia de seu uso para projetos que utilizem 12V

constante, e tenham com entrada tensões que precisem ser elevadas (nosso exemplo 10V) ou abaixadas (nosso exemplo 14V).

4. Referências

- [1] Carlos Elmano; “**Dispositivos Semicondutores**”, Universidade Federal do Ceará - Campus Sobral; 2014.
- [2] Carlos Elmano; “**Amplificadores Operacionais**”, Universidade Federal do Ceará - Campus Sobral; 2014.
- [3] Carlos Elmano; “**Conversores cc-cc**”, Universidade Federal do Ceará - Campus Sobral; 2014.
- [4] Carlos Elmano; “**Conversores Buck**”, Universidade Federal do Ceará - Campus Sobral; 2014.
- [5] Carlos Elmano; “**Conversores Boost**”, Universidade Federal do Ceará - Campus Sobral; 2014.