



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

ALINSSON FIGUEIRA DE SOUZA - 0323491

CONVERSORES BOOST

SOBRAL
2014

ALINSSON FIGUEIRA DE SOUZA

CONVERSORES 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 BOOST.....	4
1.3. PULSE WIDTH MODULATION - PWM	6
2. OBJETIVOS	7
3. VISÃO GERAL E RESULTADOS ESPERADOS.....	7
4. REFERÊNCIAS	11

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:

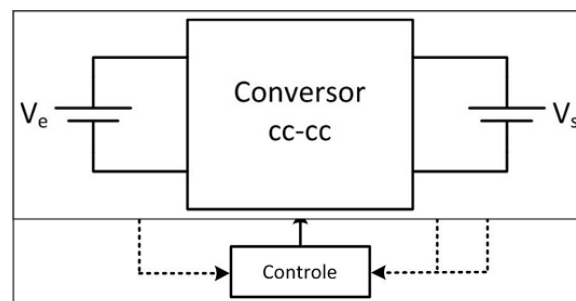


Figura 01. Sistema genérico de conversão cc-cc.

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 Boost

Os principais conversores cc-cc não-isolados são: Buck, Boost, Buck-Boost, Cúk, SEPIC e ZETA. Estudaremos nesta etapa o conversor Boost, que se trata de um elevador de tensão e consequentemente $G > 1$.

Em sua topologia básica possui um capacitor, um diodo, uma chave transistorizada e um indutor, veja a seguir:

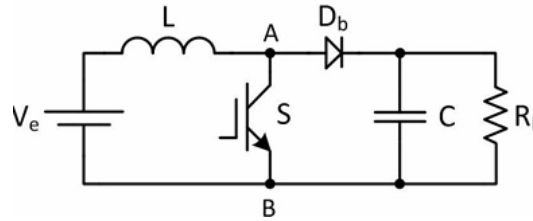


Figura 02. Sistema genérico do conversor Boost.

Este conversor possui duas etapas de operação:

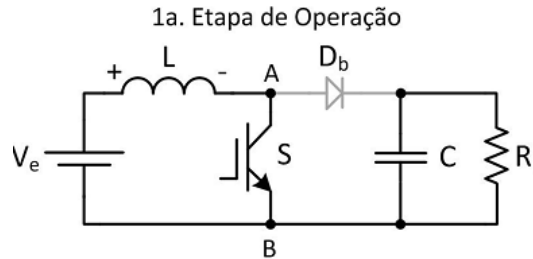


Figura 03. Sistema genérico do conversor Boost na primeira etapa de operação.

Nesta etapa de operação a chave S está fechada, assim a fonte V_e está em série e em paralelo apenas com o indutor L que está carregando, mas como o diodo está inversamente polarizado (não conduz), então o capacitor C fornece potência para a carga R_L sozinho, o diodo D encontra-se reversamente polarizado, então não conduz nesta etapa. Vamos então para a próxima etapa:

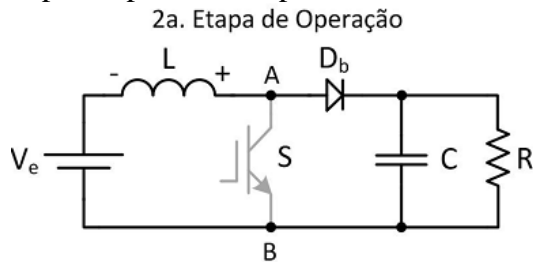


Figura 04. Sistema genérico do conversor Boost na segunda etapa de operação.

Já nesta etapa a chave S está aberta, a tensão da fonte V_e se soma a tensão do indutor L que passa a fornecer energia ao invés de absorver pois inverteu sua polaridade, nesta etapa o diodo D conduz, tanto o capacitor C quanto a carga R_L receberão energia da fonte e do indutor e conforme o capacitor carrega a tensão sobre ele aumenta, e consequentemente aumenta a tensão sobre a carga.

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

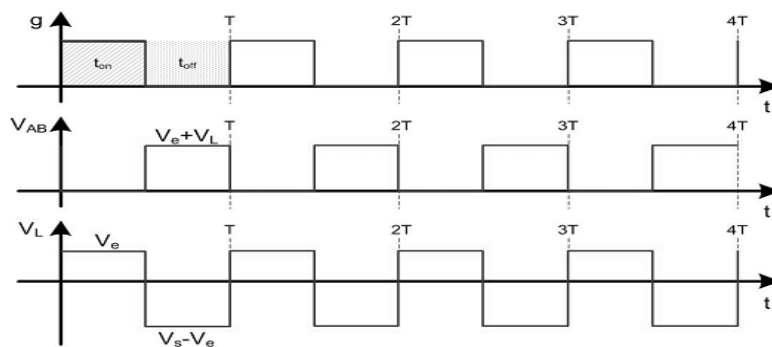


Figura 05. Formas de onda da tensão do conversor Boost.

O primeiro gráfico mostra o PWM que controla a chave S do circuito. O segundo gráfico mostra a tensão V_{AB} entre os pólos da chave S , quando a chave está fechada o ponto AB está curto-circuitado, quando a chave está aberta a tensão entre os pontos AB é igual a soma da tensão da fonte V_S com a tensão do indutor V_L . O terceiro gráfico nos mostra a tensão sobre o indutor V_L , que quando a chave S está fechada é igual a tensão V_e de entrada pois a fonte está ligada apenas com o indutor, quando aberta é igual a $V_S - V_e$, pois será a diferença entre a tensão de saída e tensão de entrada já que não estão isoladas e como temos um conversor elevador a tensão de saída é maior que a tensão de entrada.

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

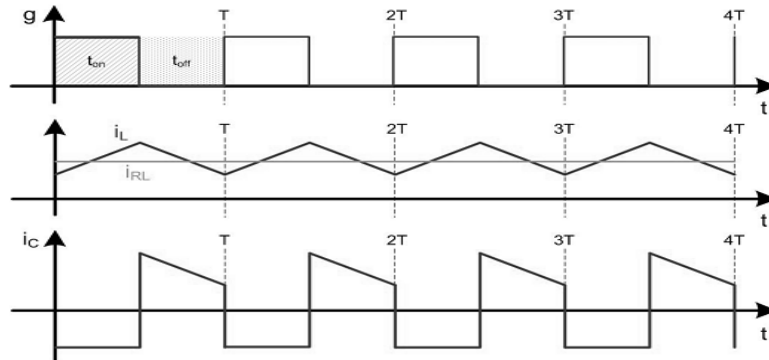
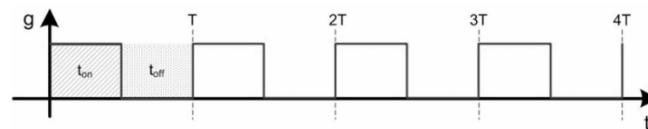


Figura 06. Formas de onda da corrente do conversor Boost.

Os primeiro gráfico novamente mostra nossa referência de chave S 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.

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:



$$t_{on} + t_{off} = T \quad D = \frac{t_{on}}{T} \begin{cases} 0 \leq t_{on} \leq T \\ 0 \leq D \leq 1 \end{cases}$$

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:

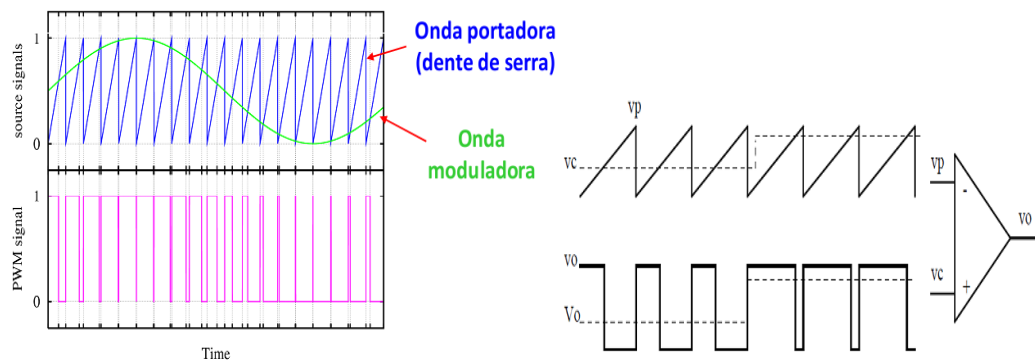


Figura 08. Geração de um PWM com um AOP.

2. Objetivos

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

$$\begin{aligned} P_n &= 100W \\ V_e &= 14V \\ V_s &= 24V \\ f_s &= 50KHz \\ \Delta i &= 0.2 \\ \Delta v &= 0.25 \end{aligned}$$

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:

$$i_n = \frac{P_n}{V_s} = \frac{100}{24} = 4.167A$$

Como:

$$D = 1 - \frac{1}{G} = 1 - \frac{V_e}{V_s} = 1 - \frac{14}{24} = 0.41667$$

Então:

$$D_{min} = 1 - \frac{V_{e_max}}{V_s} = 1 - \frac{V_e + V_e \frac{\Delta v}{2}}{V_s} = 1 - \frac{14 + 14 * \frac{0.25}{2}}{24} = 0.34375$$

$$D_{max} = 1 - \frac{V_{e_min}}{V_s} = 1 - \frac{V_e - V_e \frac{\Delta v}{2}}{V_s} = 1 - \frac{14 - 14 * \frac{0.25}{2}}{24} = 0.48958$$

Vemos que V_{e_min} é $V_e - V_e \frac{\Delta v}{2}$, onde Δv é dividido por dois, pois metade da variação é acima de 14V e a outra metade abaixo, o mesmo para V_{e_max} .

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

$$L = \frac{V_e * D_{max}}{\Delta i_L * f_s} = \frac{14 * 0.48958}{0.20 * 50000} = 685.416 \mu H \sim 690 \mu H$$

$$C = \frac{V_e * D_{max}}{\Delta v_s * f_s} = \frac{14 * 0.48958}{0.25 * 50000} = 163.194 \mu F \sim 165 \mu F$$

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

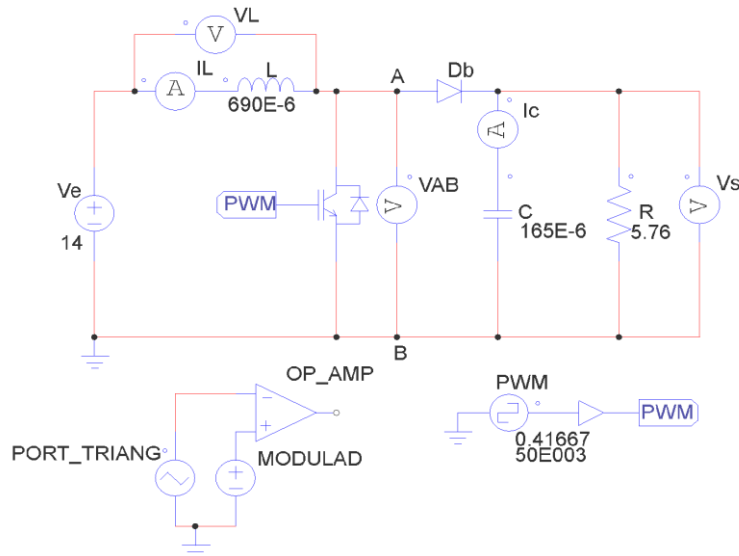


Figura 09. Simulação de um conversor Boost no software PSIM.

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 50KHz 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 $D = 0.41667$.

Neste circuito também, notamos que a saída fornece potência para a carga que foi representada por um resistor R_c . O circuito está repleto de voltímetros e amperímetros, para medição das formas de onda e comparação com os resultados esperados, vejamos abaixo a forma de onda da saída pelo voltímetro V_s :

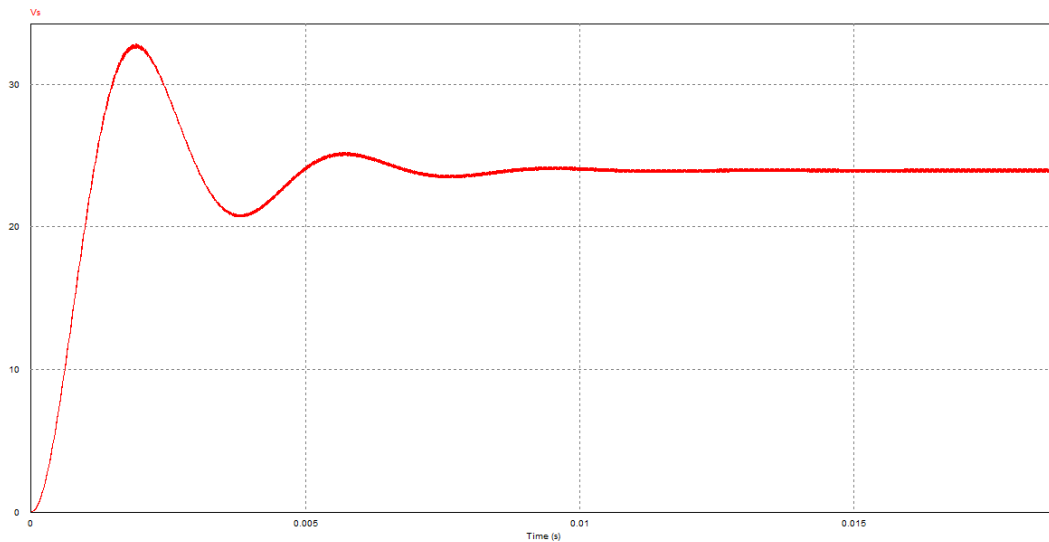


Figura 10. Tensão de saída do conversor Boost.

Vemos que antes da saída ser 24V contínuo, 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, e é o que temos no gráfico da figura 10.

Vamos ver agora como se comporta a tensão sobre a chave S , especificada V_{AB} :

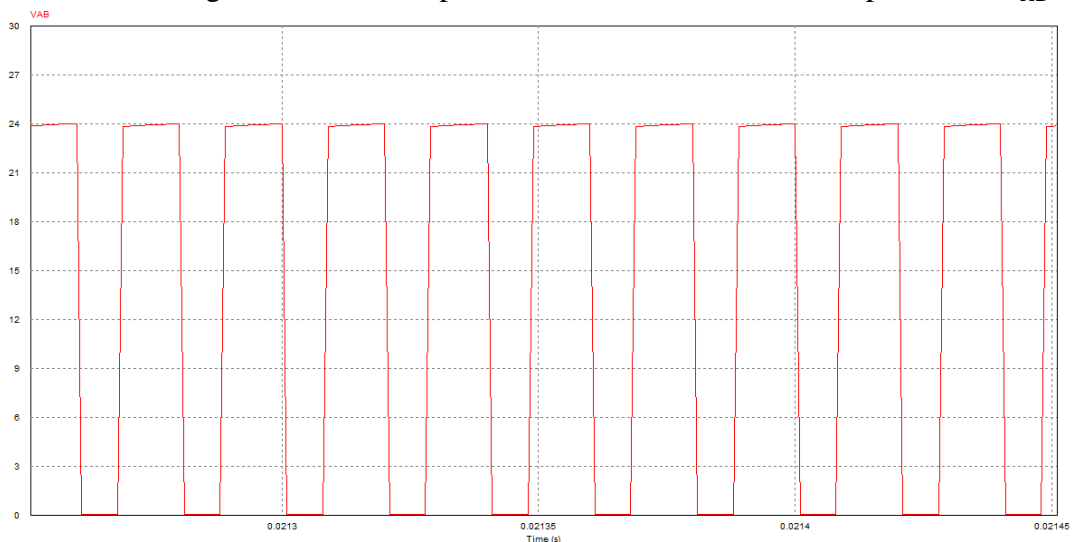


Figura 11. Tensão sobre os pontos AB do circuito.

Notamos que as tensões sobre a chave S será 0V quando fechada pois está curto-circuitado, e será $V_e + V_L$ quando aberta, sabemos que quando a chave está aberta a

tensão sobre o indutor L é $V_L = V_s - V_e$, então $V_{AB} = V_e + V_s - V_e = V_s = 24V$, resultado obtido pela forma de onda acima.

A próxima tensão analisada será a tensão sobre o indutor V_L :

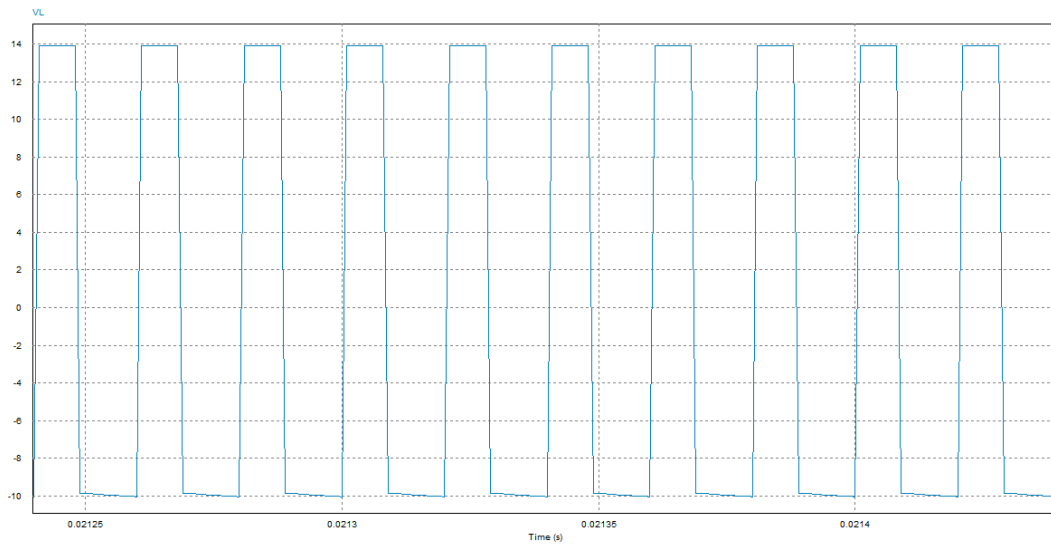


Figura 12. Tensão sobre o indutor L .

Notamos que este gráfico se comporta como o esperado, pois o valor máximo de tensão de acordo com o que vimos anteriormente e de acordo com a imagem 05, é $V_e = 14V$, e o valor mínimo de tensão é igual a $-(V_s - V_e) = -(24 - 14) = -10V$.

Falta apenas vermos como se comporta a corrente sobre o indutor e capacitor:

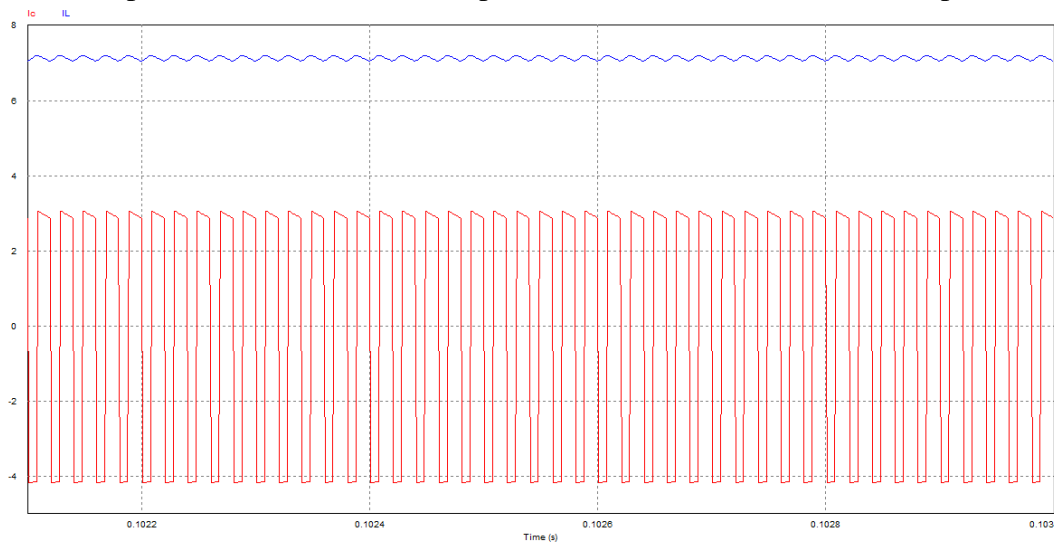


Figura 13. Formas de onda da corrente sobre o capacitor C e indutor L .

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.

Para entendermos sobre o como se comportam todos estes sinais antes e depois do regime permanente veja o comportamento da corrente sobre o capacitor e indutor e a tensão de saída:

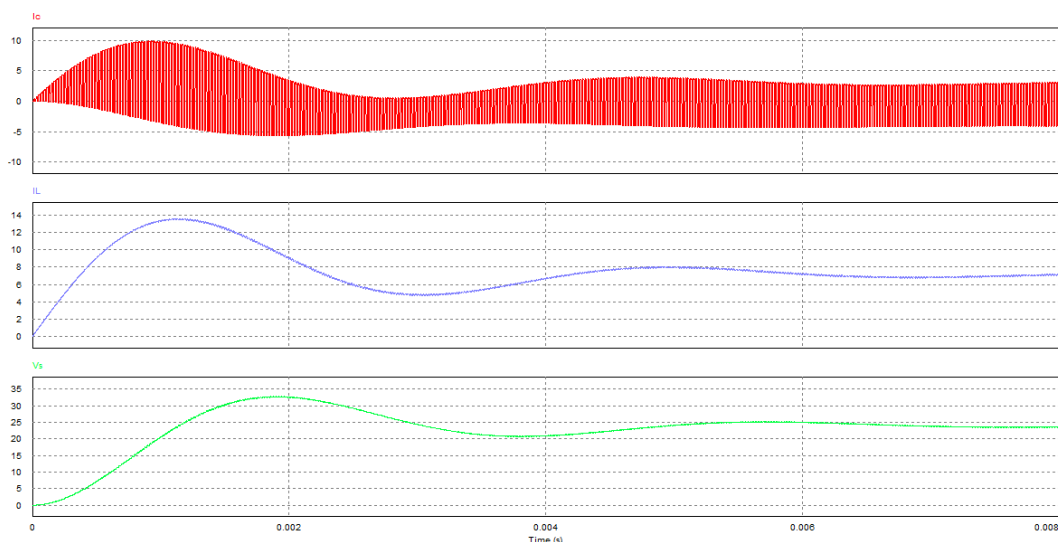


Figura 14. Comportamento do circuito antes e depois do regime permanente.

De acordo com a imagem acima o regime permanente é alcançado em menos de 8ms, ou seja, rapidamente temos uma saída estável em 24V.

O problemas enfrentados para este trabalho foram oriundos da falta de conhecimento sobre o ambiente PSIM, o principal foi não saber como escalar para criação das imagens das formas de onda, porém esse problema foi resolvido rapidamente. Contudo 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 Boost com a ideia de seu uso para projetos que utilizem baterias de 14V, por exemplo bateria de carro e moto, e que necessitem de algum sistema eletrônico que necessite de 24V como motores cc.

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.