



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

ALINSSON FIGUEIRA DE SOUZA - 0323491

CONVERSORES BUCK

SOBRAL
2014

ALINSSON FIGUEIRA DE SOUZA

CONVERSORES BUCK

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
2. OBJETIVOS	7
3. VISÃO GERAL E RESULTADOS ESPERADOS.....	7
4. REFERÊNCIAS	11

1. Introdução

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:

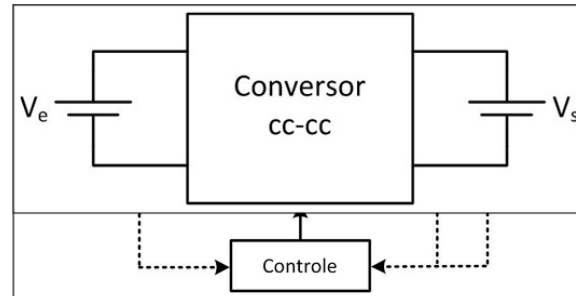


Figura 01. Sistema genérico de conversão cc-cc.

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 $V_s > V_e$ por último $G < 1$ que implica em $V_e > V_s$.

Os principais conversores cc-cc não-isolados são: Buck, Boost, Buck-Boost, Cúk, SEPIC e ZETA. Estudaremos o tipo mais básico, o conversor Buck, que se trata de um abaixador de tensão e consequentemente $G < 1$. Sua topologia básica é:

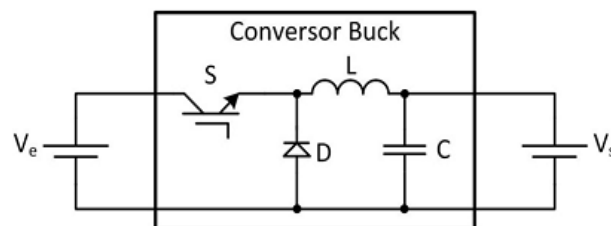


Figura 02. Sistema genérico de conversão cc-cc.

Este conversor possui duas etapas de operação:

1a. Etapa de Operação

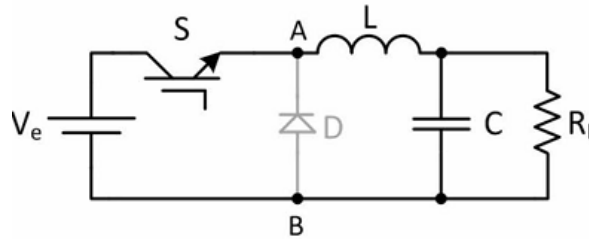


Figura 03. Sistema genérico de conversão cc-cc.

Nesta etapa de operação a chave S está fechada, assim a fonte V_e fornece corrente que carrega o indutor L , o capacitor C e a carga R_L , o diodo D encontra-se reversamente polarizado, então não conduz nesta etapa. Vamos então para a próxima etapa:

2a. Etapa de Operação

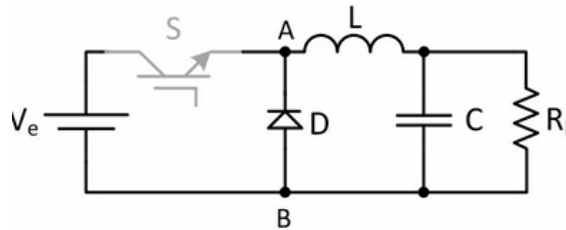


Figura 04. Sistema genérico de conversão cc-cc.

Já nesta etapa a chave se abre, a fonte interrompe o fornecimento de energia ao circuito, o indutor L inverte a polaridade de tensão passando a fornecer corrente ao circuito assim como o capacitor que inverte o sentido da corrente e também passa a fornecer corrente à carga, porém mantém sua polaridade sobre a carga. Vemos que com o indutor e o capacitor fornecendo energia à carga eles irão descarregar, então a chave fecha novamente fazendo com que todo o ciclo reinicie.

Analisemos agora algumas formas de onda do circuito em questão:

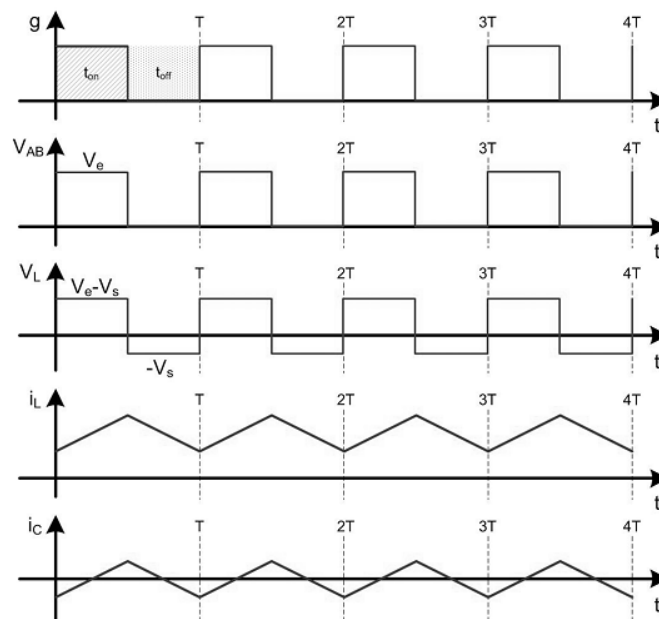


Figura 05. Formas de onda do conversor Buck.

O primeiro gráfico mostra o PWM que controla a chave S do circuito. O segundo gráfico mostra a tensão V_{AB} entre os pólos do diodo D , quando a chave está aberta o diodo está curto-circuitado, quando a chave está fechada a tensão nos pólos do diodo é igual ao da fonte V_e . O terceiro gráfico nos mostra a tensão sobre o indutor V_L , que quando a chave está fechada é igual a tensão V_e de entrada menos a tensão de saída V_S , e quando aberta é igual a $-V_S$, pois quando o indutor passar a fornecer energia ao invés de absorver, muda sua polaridade. Os quarto e quinto gráficos mostram as correntes que passam no indutor e capacitor respectivamente, vemos que durante a chave fechada ambos absorvem e durante a chave aberta ambos fornecem, a diferença está no fato de que o indutor mantém a corrente do circuito a mesma quando a chave abre, já o capacitor irá inverter sua polaridade para ajudar o indutor à fornecer energia à carga.

Note que após o período de regime permanente toda energia que carrega o indutor e o capacitor quando a chave está fechada irá ser descarregada quando a chave abrir.

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:

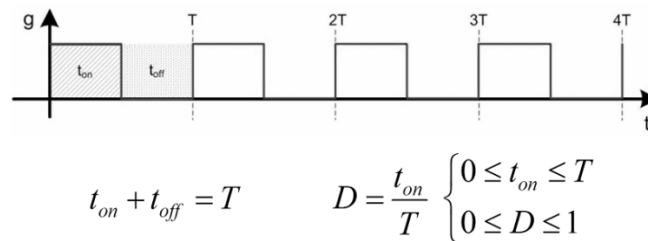


Figura 06. Modelo de um PWM.

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:

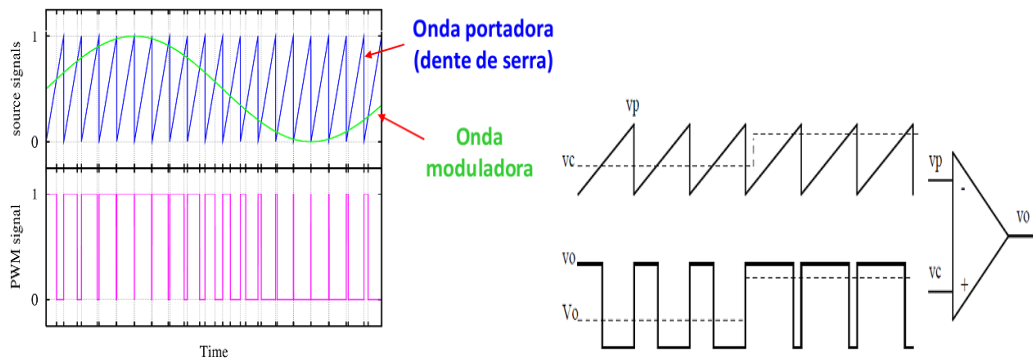


Figura 07. Geração de um PWM com um AOP.

2. Objetivos

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

$$P_n = 20W$$

$$V_e = 14V$$

$$V_s = 5V$$

$$f_s = 25 \cdot 10^3 Hz$$

$$\Delta i = 0.3$$

$$\Delta v = 0.2$$

Veremos a seguir como implementar e simular este conversor.

3. Visão Geral e Resultados Esperados

Com a teoria e especificações em mão, temos tudo para implementar nosso circuito, exceto os valores mínimos de capacitância e indutância do circuito, que são encontrados pelas seguintes fórmulas:

$$L := \frac{(V_e - V_s) \cdot D_{\max}}{\Delta i \cdot f_s}$$

$$C := \frac{i_n \cdot (1 - D_{\min})}{\Delta v \cdot f_s}$$

Temos todas as variáveis dadas pelas especificações do projeto, exceto D_{\max} , D_{\min} e i_n , que são respectivamente razão cíclica máxima, mínima e corrente nominal, para encontrar esses valores utilizamos as seguintes fórmulas:

$$i_n := \frac{P_n}{V_s}$$

$$D_{\min} := \frac{V_s}{V_{e_{\max}}}$$

$$D_{\max} := \frac{V_s}{V_{e_{\min}}}$$

Agora podemos calcular os valores do capacitor e do indutor:

$$C = 5.40260E-009$$

$$\text{Temos então } C = 5.5nF$$

$$L = 4.76190E-009$$

$$\text{Temos então } L = 4.8nH$$

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

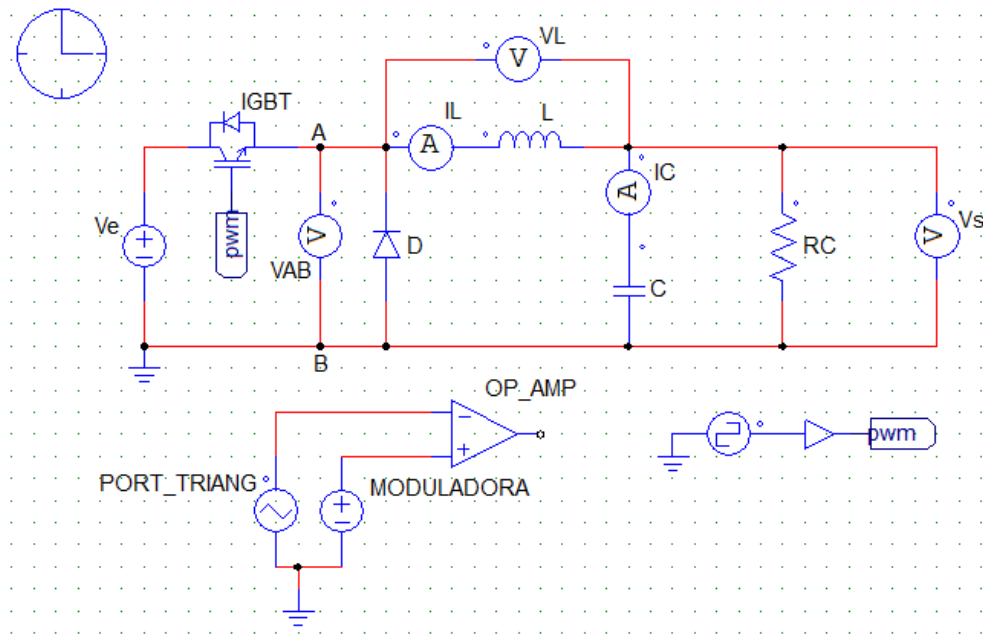


Figura 08. Simulação de um conversor Buck no software PSIM.

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 25KHz como especificado pelo circuito e uma moduladora que respeita os limites de D_{MAX} e D_{MIN} que é respectivamente 0,39683 e 0,32468. Optei por utilizar um Square-Wave Voltage Source, pois o Duty Cycle já pode ser facilmente deduzido, para este projeto especifiquei $D = 0,35$.

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 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 V_s :

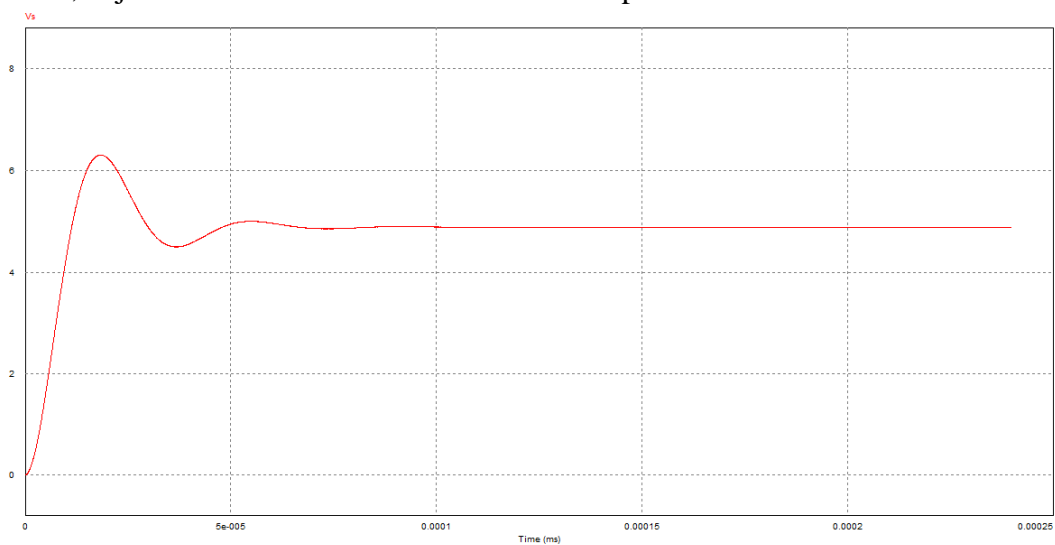


Figura 09. Saída do conversor Buck.

Vemos que antes da saída ser 5V contínuo, temos uma oscilação, que ocorre em um instante de tempo muito pequeno, isso se dá pois o circuito ainda não estava em regime permanente, ou seja, o capacitor e indutor ainda não haviam chegado ao seu regime de trabalho equilibrado, mas vale lembrar que isto ocorre em um instante devidamente pequeno e não à toa, sabemos que 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 nH e nF então precisaram de pouco tempo na ordem de ms para estabilizarem, e é o que temos no gráfico da figura 09.

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

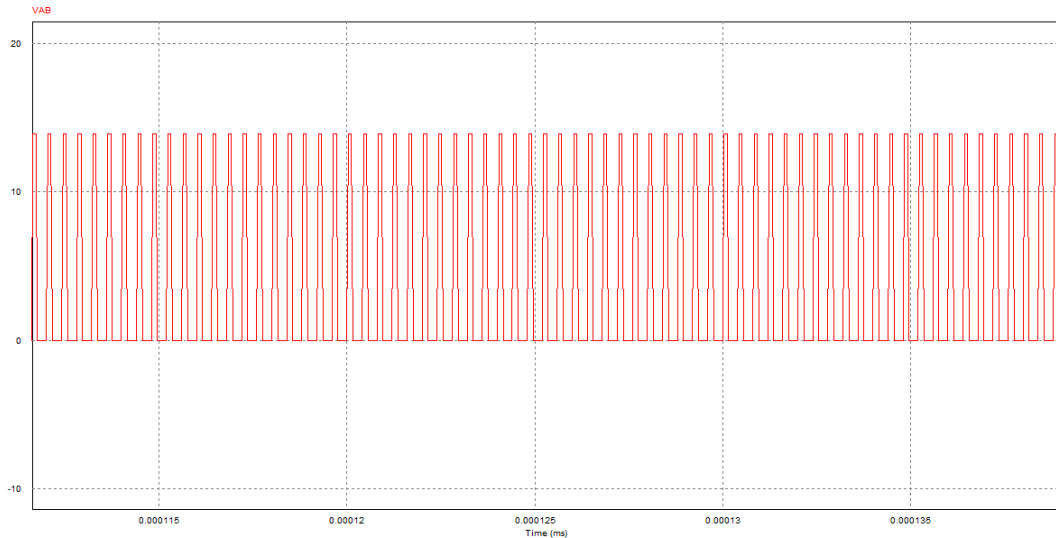


Figura 10. Tensão sobre os pontos AB, ou seja, sobre o diodo D.

Notamos que as tensões sobre o diodo acompanham a abertura da chave S, quando a chave está aberta e conduz 14V da fonte pois o diodo está inversamente polarizado, especificamente sobre o período T_{on} do PWM, e quando a chave está fechada o diodo é um curto circuito, então sua ddp é zero.

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

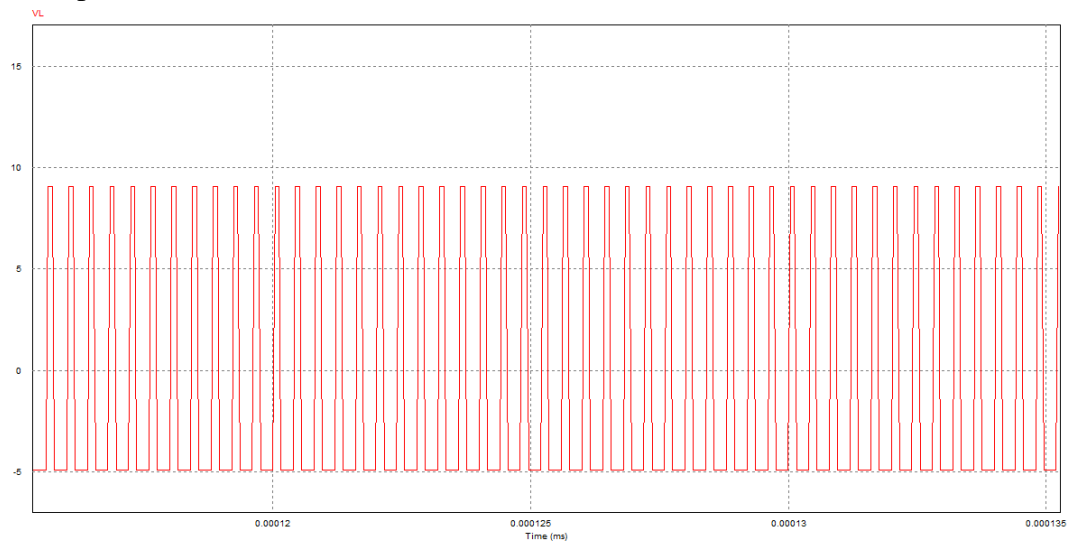


Figura 11. Tensão sobre o indutor L.

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 $V_e - V_s$, ou seja, $V = 14 - 5 = 9V$, e o valor mínimo de tensão é igual a $-V_s = -5V$.

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

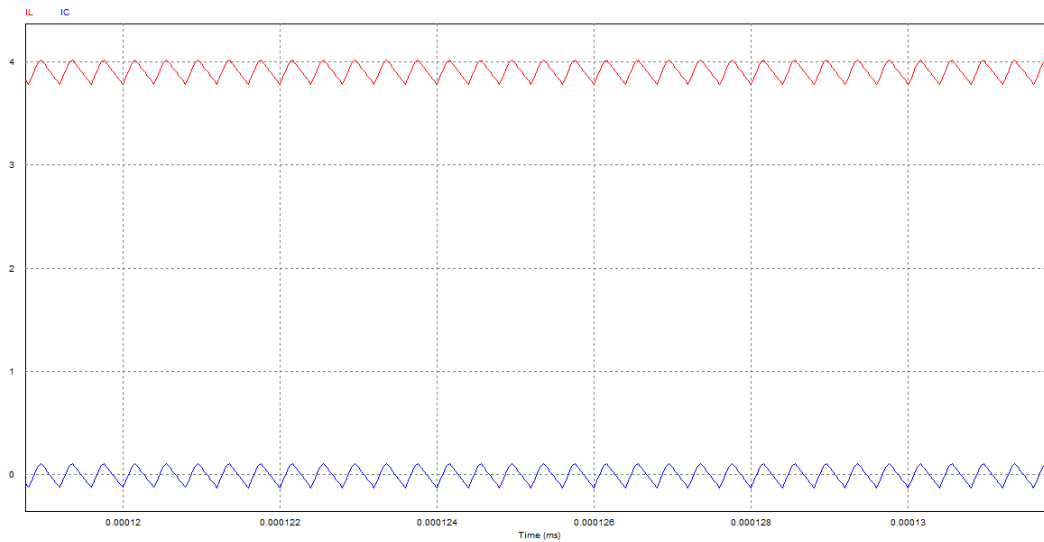


Figura 12. Formas de onda da corrente sobre o capacitor C e indutor L .

Vemos que novamente temos as saídas esperadas como descrito pela imagem 05, 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:

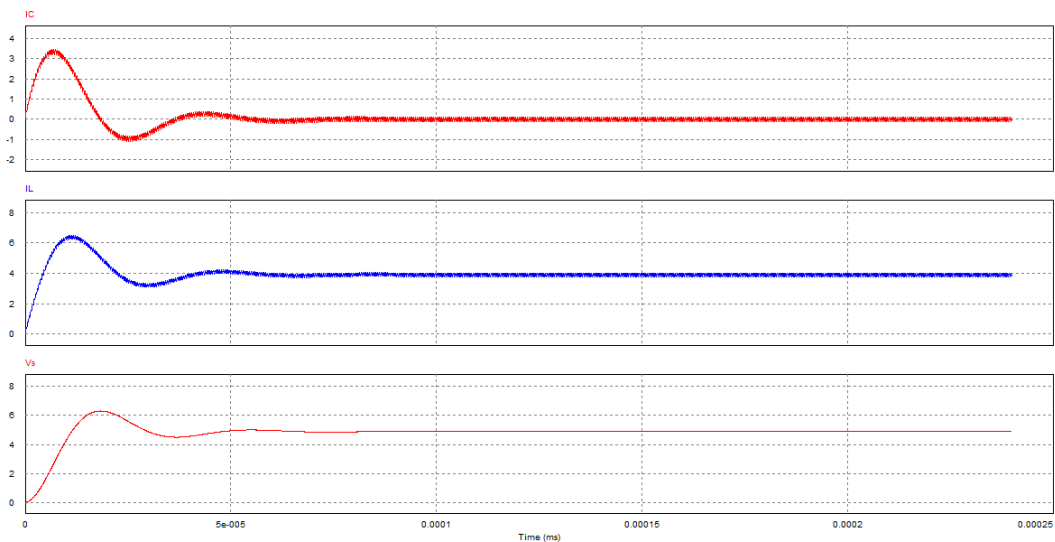


Figura 13. Comportamento do circuito antes e depois do regime permanente.

De acordo com a imagem acima o regime permanente é alcançado em menos de 5ms, ou seja, rapidamente temos uma saída estável em 5V.

O problemas enfrentados para este trabalho foram oriundos da falta de conhecimento sobre o ambiente PSIM, o principal foi não saber da necessidade de uso

de um On-Off Switch Controller para uso de chaves transistorizadas. 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 Buck 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 embarcado que na maioria das vezes trabalha com lógica digital com tensões em torno de 5V.

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] Felipe de Sousa, Paulo Cesar, Flávio Viana; “**Conversor Buck – Eletrônica de Potência**”, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; 2012.