



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ES664 - Laboratório de Eletrônica para Automação Industrial

Relatório - Simulação 3 Conversores DC-DC

Nome:

Daniel Dello Russo Oliveira
Marcelli Tiemi Kian

RA

101918
117892

7 de outubro de 2016

1 Objetivos

Essa simulação tem como objetivo o estudo dos conversores step-down (buck), step-up (boost) e seus modos de condução contínua e descontínua.

2 Conversor Buck

Através do Simulink implementamos o conversor step-down detalhado na figura 1.

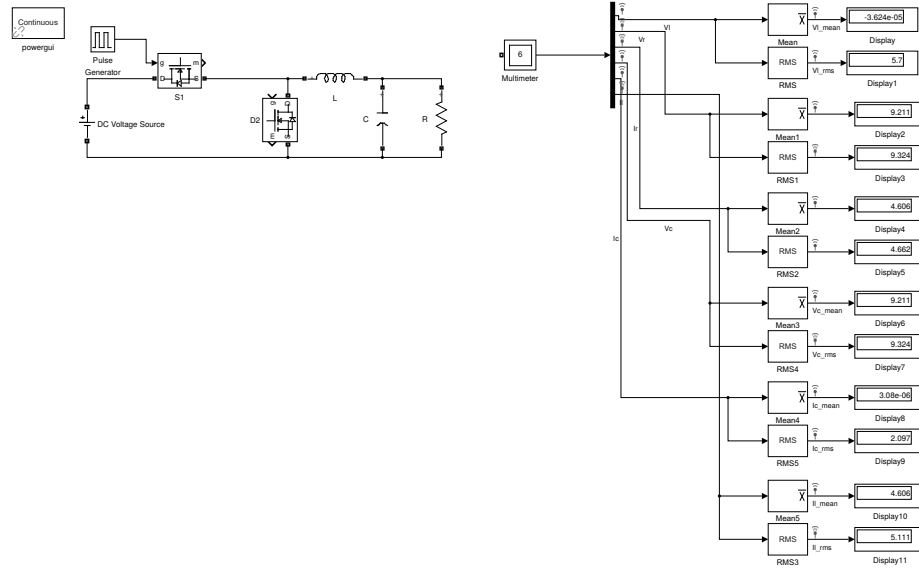


Figura 1: Esquema para simulação do conversor buck

Conforme detalhados no roteiro, setamos os parâmetros $R = 2\Omega$, $C = 220\mu F$, $L = 330\mu H$ e simulamos o sistema com uma frequência $f = 1kHz$ e duty-cycle de 80% na chave S1. Extraímos dessa simulação as curvas de tensão e corrente na carga (figura 2), no indutor (figura 3), no capacitor (figura 4), na chave S1 (figura 5) e no diodo D2 (figura 6).

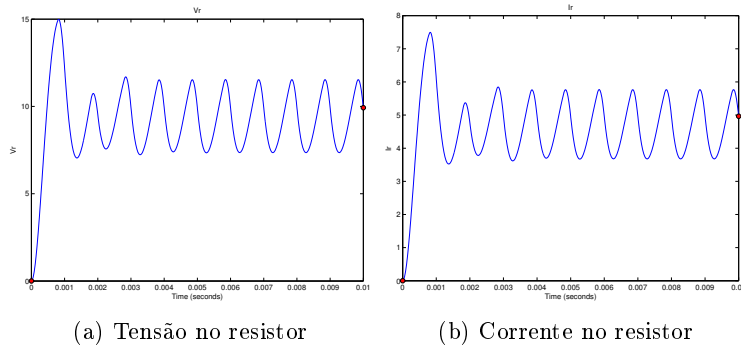


Figura 2: Curvas do resistor para conversor buck

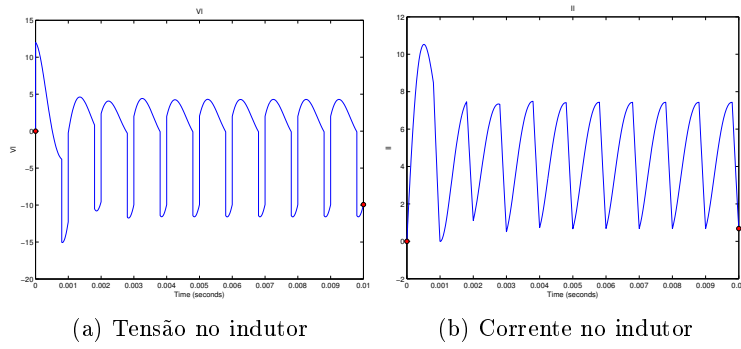


Figura 3: Curvas do indutor para conversor buck

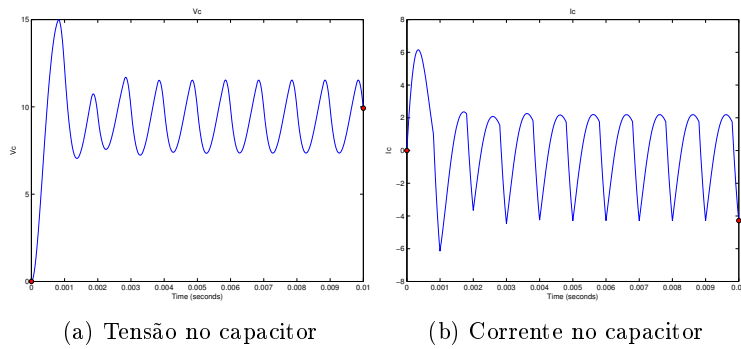


Figura 4: Curvas do capacitor para conversor buck

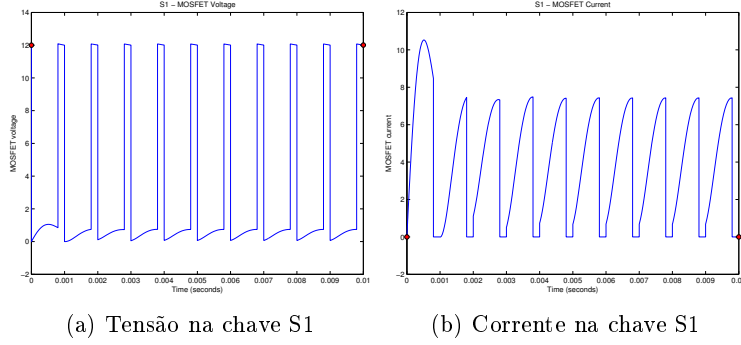


Figura 5: Curvas da chave S1 para conversor buck

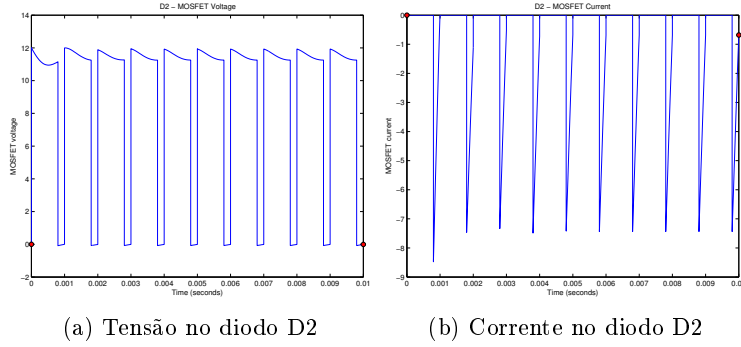


Figura 6: Curvas do diodo D2 para conversor buck

Medimos as tensões média e efetiva no resistor, obtendo os seguintes valores:

$$\overline{Vr} = 9.2111 \text{ V} \quad (1)$$

$$Vr_{rms} = 9.3240 \text{ V} \quad (2)$$

Conforme podemos ver analisando as curvas,
Podemos calcular a tensão média teórica sobre a carga através da equação 3

$$\overline{Vr} = \quad (3)$$

Variamos então o valor do duty-cycle entre 0 e 100% e encontramos a tensão média sobre a carga. Comparamos esse valor com o valor teórico esperado na figura 7

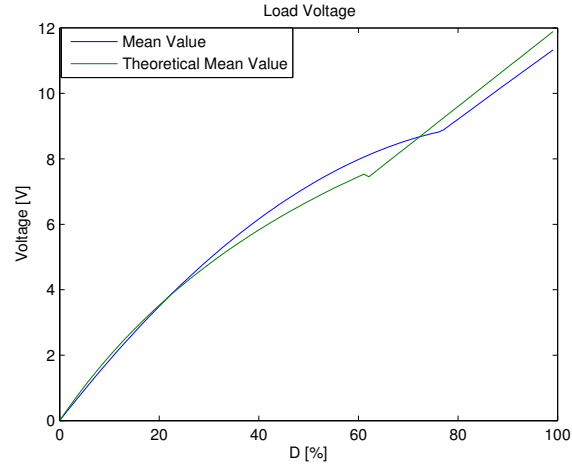


Figura 7: Tensão média no resistor para conversor buck

Como podemos ver os valores obtidos são

Podemos calcular o valor da indutância limite L_b para que o conversor trabalhe em modo de condução contínua utilizando a equação:

$$L_b = \frac{(1 - D)R}{2f_s} \quad (4)$$

Para um duty-cycle $D = 80\%$, temos:

$$L_b = 400\mu H \quad (5)$$

Ajustamos então nosso indutor para $L = \frac{L_b}{2} = 200\mu H$ e rodamos a simulação novamente, obtendo os resultados apresentados nas figuras ??, ??, ??, ??, ??.

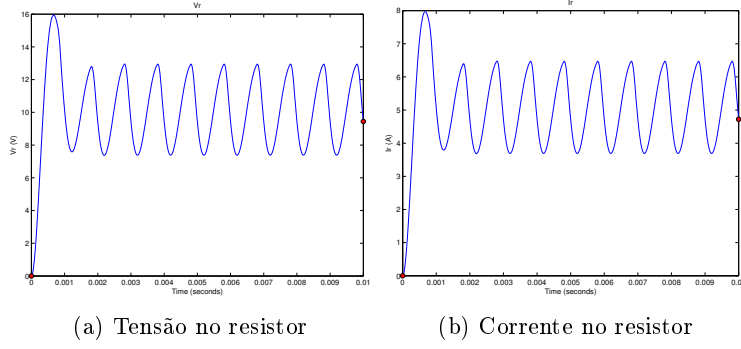


Figura 8: Curvas do resistor para conversor buck com indutância $L_{b\bar{2}}$

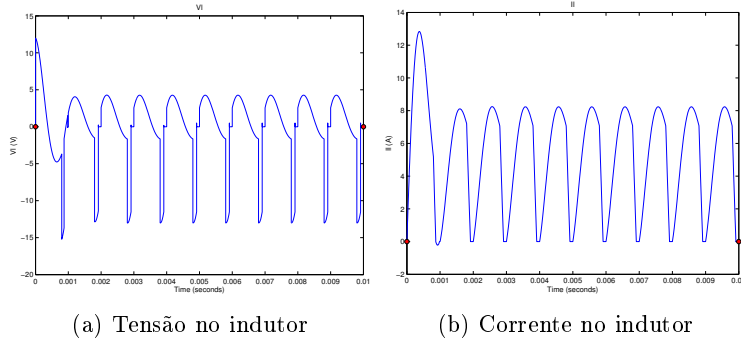


Figura 9: Curvas do indutor para conversor buck com indutância $L_{b\bar{2}}$

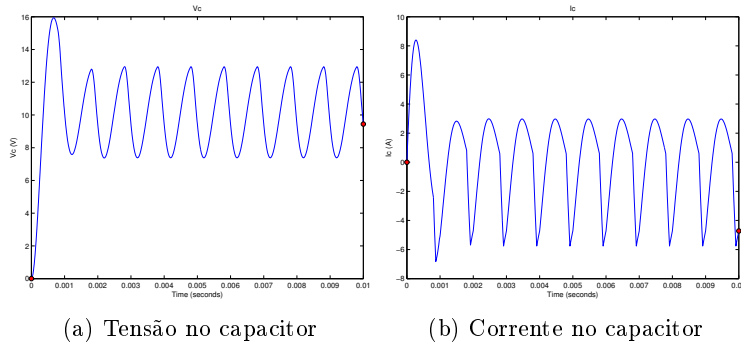


Figura 10: Curvas do capacitor para conversor buck com indutância $L_{b\bar{2}}$

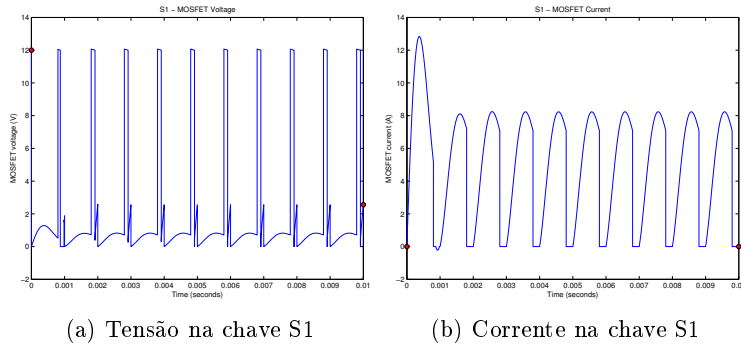


Figura 11: Curvas da chave S1 para conversor buck com indutância $L_{b\bar{2}}$

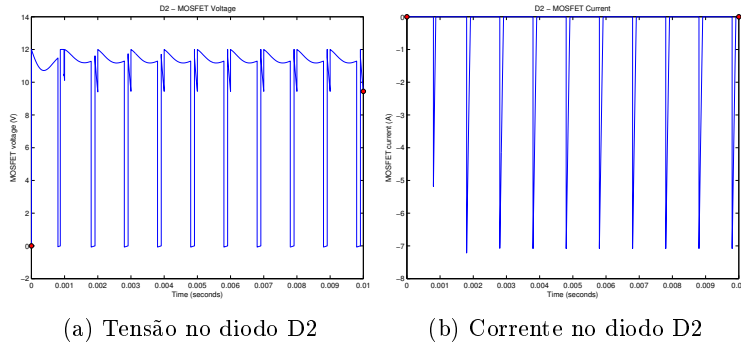


Figura 12: Curvas do diodo D2 para conversor buck com indutância $L_{b\bar{2}}$

Por fim voltamos a nossa indutância original porém retiramos o filtro capacitivo, encontramos então a curva de tensão sobre o resistor apresentada na figura ??.

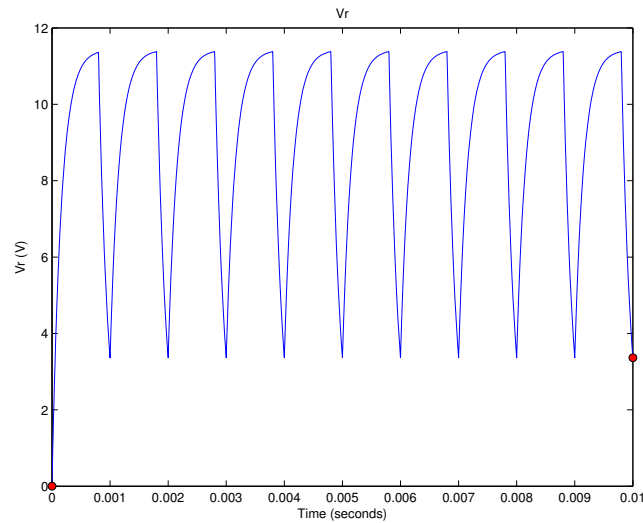


Figura 13: Tensão no resistor para conversor buck sem filtro capacitivo

3 Carga RL

Conectamos então um indutor em série com o resistor conforme mostrado na figura 8.

Figura 14: Esquema para simulação do retificador monofásico controlado com carga RL

Simulamos o circuito para uma indutância $L = 100mH$ e um ângulo de disparo $\alpha = 60^\circ$. Extraímos dessa simulação as curvas de tensão (figura 9) e corrente (figura 10) no resistor e de tensão no indutor (figura 11) para dois períodos da fonte.

Figura 15: Tensão no resistor para retificador monofásico com carga RL (100mH)

Figura 16: Corrente no resistor para retificador monofásico com carga RL (100mH)

Figura 17: Tensão no indutor para retificador monofásico com carga RL (100mH)

Medimos as tensões e correntes médias e efetivas na resistência R, obtendo os seguintes valores:

$$\overline{V_r} = 40.3318 \text{ V} \quad (6)$$

$$\overline{I_r} = 0.8066 \text{ A} \quad (7)$$

$$V_{rms} = 48.1121 \text{ V} \quad (8)$$

$$I_{rms} = 0.9622 \text{ A} \quad (9)$$

Calculamos o fator de retificação usando a equação ??.

$$\sigma = 0.7027 \quad (10)$$

Encontramos também o fator de forma usando a equação ??.

$$FF = 1.1929 \quad (11)$$

Simulamos então circuito com uma indutância $L = 1H$ e um ângulo de disparo $\alpha = 60^\circ$. Extraímos dessa simulação as curvas de tensão (figura 12) e corrente (figura 13) no resistor e de tensão no indutor (figura 14) para quinze períodos da fonte.

Figura 18: Tensão no resistor para retificador monofásico com carga RL (1H)

Figura 19: Corrente no resistor para retificador monofásico com carga RL (1H)

Figura 20: Tensão no indutor para retificador monofásico com carga RL (1H)

Medimos as tensões e correntes médias e efetivas na resistência R, obtendo

os seguintes valores:

$$\overline{Vr} = 30.1911 \text{ V} \quad (12)$$

$$\overline{Ir} = 0.6038 \text{ A} \quad (13)$$

$$Vr_{rms} = 30.4340 \text{ V} \quad (14)$$

$$Ir_{rms} = 0.6087 \text{ A} \quad (15)$$

Calculamos o fator de retificação usando a equação ??.

$$\sigma = 0.9841 \quad (16)$$

Encontramos também o fator de forma usando a equação ??.

$$FF = 1.0080 \quad (17)$$

Podemos ver que ao introduzir uma carga indutiva os tiristores continuam conduzindo mesmo que a tensão sobre eles seja negativa (contanto que a corrente continue positiva). Isso causa uma redução da tensão média na carga. Ao mesmo tempo, o indutor, uma vez carregado evita variações bruscas na corrente sobre a carga (possivelmente evitando que ela chegue a zero), aumentando o alisamento (e consequentemente melhorando o fator de forma e o de retificação) de maneira proporcional ao valor da indutância.

Para os dois valores de indutância nós medimos uma tensão média praticamente nula no indutor. Esse resultado é esperado uma vez que:

$$\overline{Vl} = \frac{1}{T} \int_0^T V l dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{L dI}{dt} dt = \frac{LI}{T} \Big|_0^T \quad (18)$$

Como nossa resposta é periódica, sabemos que $I(0) = I(T)$ logo:

$$\overline{Vl} = 0 \quad (19)$$

4 Carga RC

Conectamos então um capacitor em paralelo com o resistor conforme mostrado na figura 15.

Figura 21: Esquema para simulação do retificador monofásico controlado com carga RC

Simulamos o circuito para uma capacitância $C = 100\mu F$ e um ângulo de disparo $\alpha = 60^\circ$. Extraímos dessa simulação as curvas de tensão (figura 16) e corrente (figura 17) no resistor para dois períodos da fonte.

Figura 22: Tensão no resistor para retificador monofásico com carga RC ($100\mu F$)

Figura 23: Corrente no resistor para retificador monofásico com carga RC ($100\mu F$)

Medimos as tensões e correntes médias e efetivas na resistência R, obtendo os seguintes valores:

$$\overline{Vr} = 60.6456 \text{ V} \quad (20)$$

$$\overline{Ir} = 1.2129 \text{ A} \quad (21)$$

$$Vr_{rms} = 67.1804 \text{ V} \quad (22)$$

$$Ir_{rms} = 1.3436 \text{ A} \quad (23)$$

Calculamos o fator de retificação usando a equação ??.

$$\sigma = 0.8149 \quad (24)$$

Encontramos também o fator de forma usando a equação ??.

$$FF = 1.1078 \quad (25)$$

Simulamos então circuito com uma capacitância $C = 1mF$ e um ângulo de

disparo $\alpha = 60^\circ$. Extraímos dessa simulação as curvas de tensão (figura 18) e corrente (figura 19) no resistor para dois períodos da fonte.

Figura 24: Tensão no resistor para retificador monofásico com carga RC ($1mF$)

Figura 25: Corrente no resistor para retificador monofásico com carga RC ($1mF$)

Medimos as tensões e correntes médias e efetivas na resistência R, obtendo os seguintes valores:

$$\overline{Vr} = 92.0838 \text{ V} \quad (26)$$

$$\overline{Ir} = 1.8417 \text{ A} \quad (27)$$

$$Vr_{rms} = 92.1690 \text{ V} \quad (28)$$

$$Ir_{rms} = 1.8434 \text{ A} \quad (29)$$

Calculamos o fator de retificação usando a equação ??.

$$\sigma = 0.9982 \quad (30)$$

Encontramos também o fator de forma usando a equação ??.

$$FF = 1.0009 \quad (31)$$

Ao introduzir uma carga capacitiva esta armazenará energia, liberando-a quando a tensão sobre o resistor diminuí. Essa energia liberada causa uma retificação da tensão sobre o resistor, de maneira proporcional à capacitância, obtendo uma curva de tensão quase linear com ótimos fatores de forma e de retificação.

5 Referências

[FUJIWARA, 2016] FUJIWARA, E. **Retificadores controlados**. Roteiro Simulação 2, Unicamp/FEM/DSI, 2016.