

Controle Não Linear Aplicado - *Sliding Mode*

Nilson Tinassi Peres

Universidade de São Paulo

nilson.peres@usp.br

April 24, 2017

Problema Proposto

- Usar a topologia Boost
- Considerar efeitos de perdas
- Obter a Lei de Controle (u)
- Obter a Lei de Controle Equivalente
- Obter a condição de estabilidade
- Obter gráficos

Conversor Boost com Perdas

- É um tipo de conversor CC/CC
- Elevador de tensão

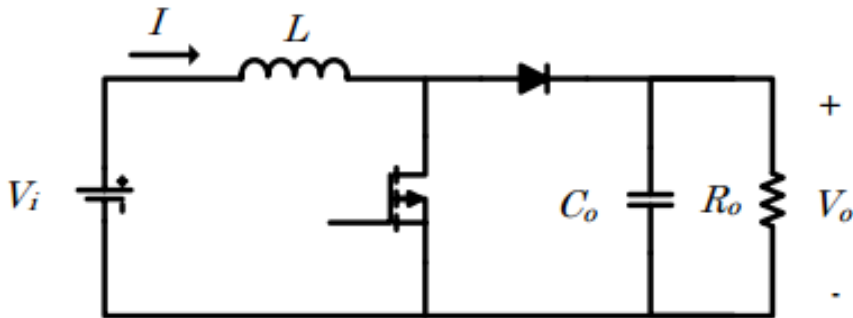


Figure: Esquemático do Boost

Conversor Boost com Perdas

- É um tipo de conversor CC/CC
- Elevador de tensão
- Considerando-se perdas:

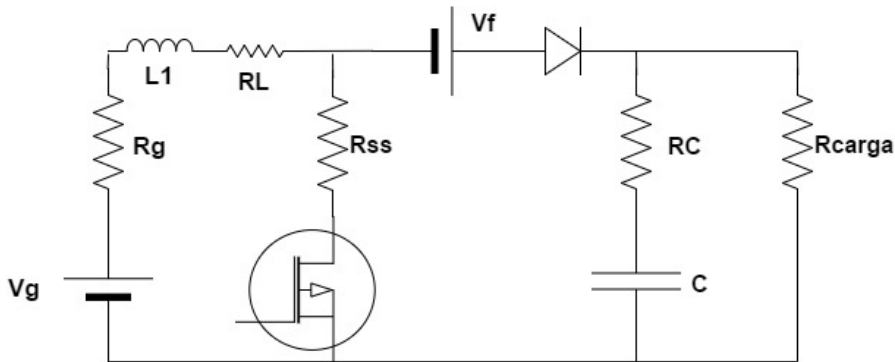


Figure: Esquemático com Perdas do Boost

Boost - Espaço de Estados

- Diodo aberto
- MOSFET fechado
- Intervalo DT_s

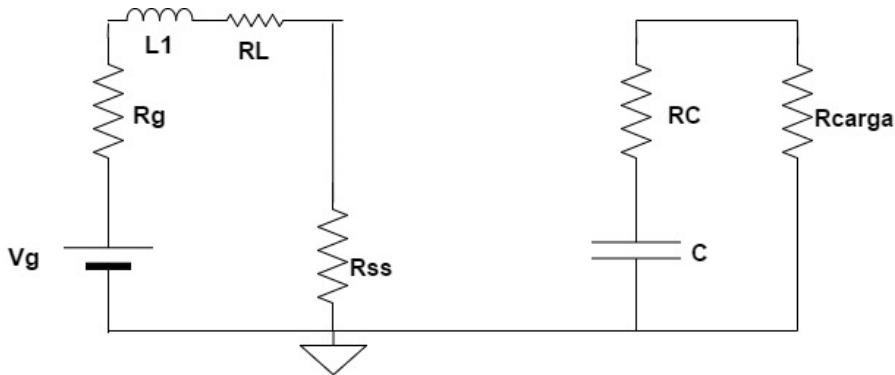


Figure: Esquemático do Boost - MOSFET conduzindo

Boost - Espaço de Estados

- Diodo fechado
- MOSFET aberto
- Intervalo $D' T_s$

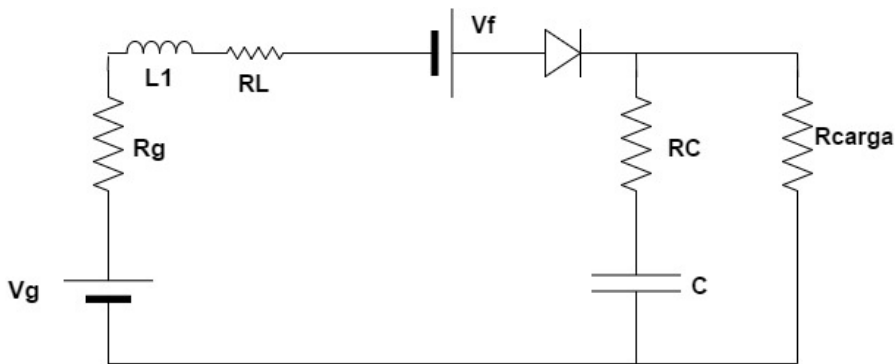


Figure: Esquemático do Boost - Diodo conduzindo

- Seja D o tempo ativo
- Seja D' o complemento do tempo ativo
- T_s o período

A partir dessas considerações começou-se o equacionamento do espaço de estados.

Intervalo DT_s

$$V_L = V_g - i_L(R_g + R_L + R_{SS}) \quad (1)$$

$$i_C = -\frac{V_C}{R_{carga}} \quad (2)$$

Intervalo $D'T_s$

$$V_L = V_g - i_R(R_g + R_L) - V_C \quad (3)$$

$$i_C = -\frac{V_C}{R_{carga}} + i_L \quad (4)$$

Seja o espaço de estados da forma:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (5)$$

$$y = Cx + Du \quad (6)$$

Onde:

$$A = A_1 D + A_2 D' \quad (7)$$

$$B = B_1 D + B_2 D' \quad (8)$$

Então, pode-se reescrever:

$$L \frac{di_L}{dt} = [-i_L(R_g + R_L + R_{SS})]d + [-i_L(R_g + R_L) - V_C + V_g](1 - D) \quad (9)$$

$$C \frac{dV_C}{dt} = - \left(\frac{V_C}{R_{carga}} \right) D - \left[\frac{V_C}{R_{carga} + i_L} \right] (1 - D) \quad (10)$$

E finalmente em formato de espaço de estados:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_L \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R_g - R_L}{L} - \frac{R_{SS}}{L} D & -\frac{(1-D)}{L} \\ \frac{(1-D)}{C} & -\frac{1}{R_{carga} C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_g$$

- Seja a superfície de deslizamento $s(x) = x - x_d$
- x a corrente atual
- x_d a corrente desejada

Define-se a lei de controle como:

$$u = \frac{1}{2}(1 - \operatorname{sgn}(s)) \quad (11)$$

Boost - Lei de Controle Equivalente \hat{u}

- A lei de controle equivalente ocorre para $\dot{s} = 0$
- x que se deseja controlar é a corrente i_L

$$\dot{s} = \dot{x} - \dot{x}_d \quad (12)$$

$$\dot{s} = \dot{i}_L = 0 = u_{eq} - R_g - R_L - R_{SS}di_L - (1 - D)V_C \quad (13)$$

$$u_{eq} = R_g + R_L + R_{SS}di_L + (1 - D)V_C \quad (14)$$

- Definindo a função de Lyapunov como $V(x) = \frac{s^2(x)}{2}$
- Estabilidade ocorre para:

$$\dot{V}(x) < 0 \Leftrightarrow \dot{s}(x)s(x) < 0 \quad (15)$$

- Testa com u_{eq}

$$\dot{s} = \dot{x} - \dot{x}_d \quad (16)$$

$$\dot{s} = \dot{i}_l < 0 \Leftrightarrow \quad (17)$$

$$\frac{R_g + R_L + R_{SS}di_l}{d - 1} < V_c \quad (18)$$

Definindo:

- $R_L = 0.135\Omega$
- $R_g = 0.114\Omega$
- $R_{SS} = 0.027\Omega$
- $R_{carga} = 40\Omega$
- $C = 1000\mu F$
- $L = 10mH$
- $V_i = 3.3V$
- $V_f = 0V$
- $R_C = 0\Omega$
- Corrente desejada $i = 10A$

Boost - Esquemático Simulink

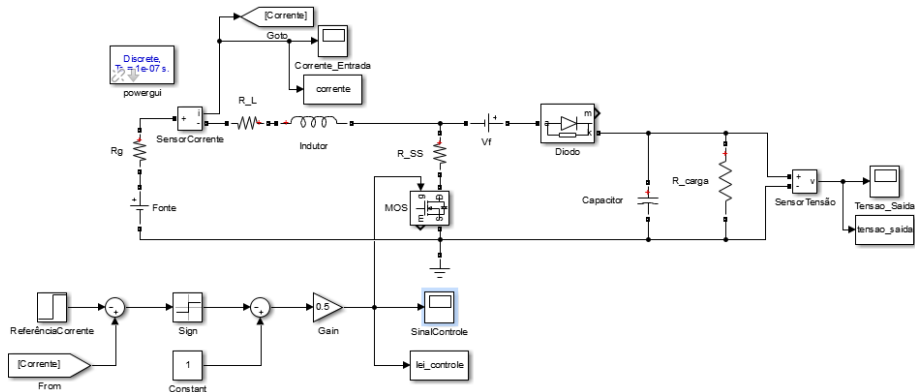


Figure: Gráfico do Esquemático em Simulink

Boost - Resultados - Lei de Controle u

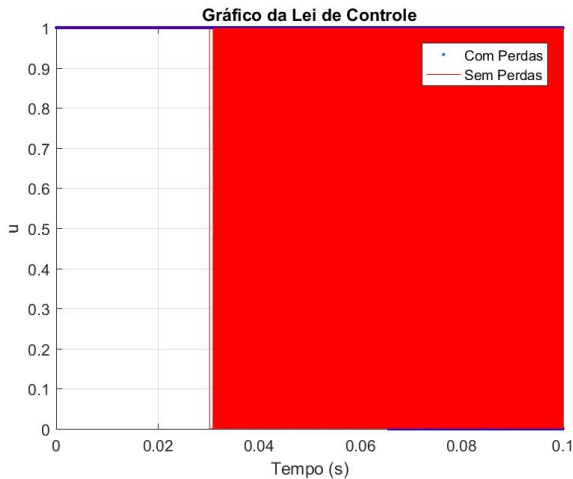


Figure: Gráfico da Lei de Controle

Boost - Resultados - Corrente i

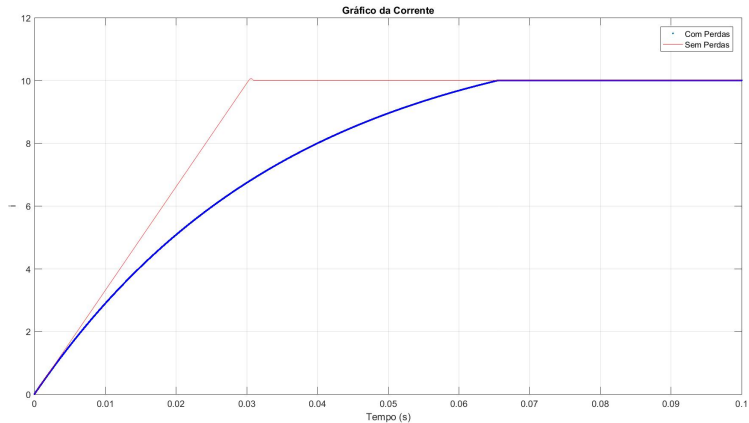


Figure: Gráfico da Corrente

Boost - Resultados - Tensão na Carga V

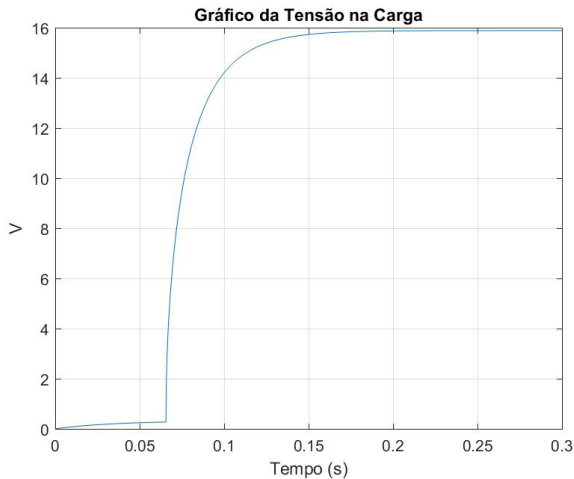


Figure: Gráfico da Tensão na Carga

- Alterar os valores de perdas do circuito para: $R_L = 0.100\Omega$, $R_g = 0.170\Omega$ e $R_{SS} = 0.015\Omega$
- A lei de controle u permanece igual?
- E a lei de controle equivalente?
- Qual a condição de estabilidade?
- Plote os gráficos para esses valores

The End