

Project: Design procedure for voltage controller of a Buck converter

Author: **Tiago Davi Curi Busarello**

Date: May/2012

Especificações do Projeto

$V_i := 50$	Tensão de Entrada
$P_o := 25$	Potência de Saída
$V_o := 25$	Tensão de Saída Desejada
$f_s := 20 \cdot 10^3$	Frequencia de Chaveamento
$f_a := 40 \cdot 10^3$	Frequência de Amostragem
$\Delta V_o := 2$	% da Variação da Saída Aceitável
$\Delta I_o := 5$	% da Ondulação de Corrente no Indutor
$V_P := 15$	Amplitude da Onda Triangular (Portadora)
$G_{\text{sensor}} := 0.1$	Ganho do Sensor de Tensão
$V_T := 3750$	Ampitude da onda Triangular Digital

Projeto de Potência

$$R_o := \frac{V_o^2}{P_o} \quad \text{Resistência de Saída Máxima}$$

$$R_o = 25$$

$$I_o := \frac{V_o}{R_o} \quad \text{Corrente de Saída Máximo}$$

$$I_o = 1$$

$$D := \frac{V_o}{V_i} \quad \text{Cálculo do Ponto de Operação}$$

$$D = 0.5$$

$$L_{1\min} := \frac{V_i \cdot (1 - D) \cdot D}{f_s \cdot 2 \cdot I_o}$$

Indutância Mínima Necessária Para Garantir MCC

$$L_{1\min} = 3.125 \times 10^{-4}$$

$$L_f := 10 \cdot L_{1\min}$$

Indutância do Filtro de Saída

$$L_f = 3.125 \times 10^{-3}$$

$$C_{\text{omin}} := \frac{V_o \cdot (1 - D)}{f_s^2 \cdot 8 \cdot \frac{L_f \cdot \Delta V_o}{100}}$$

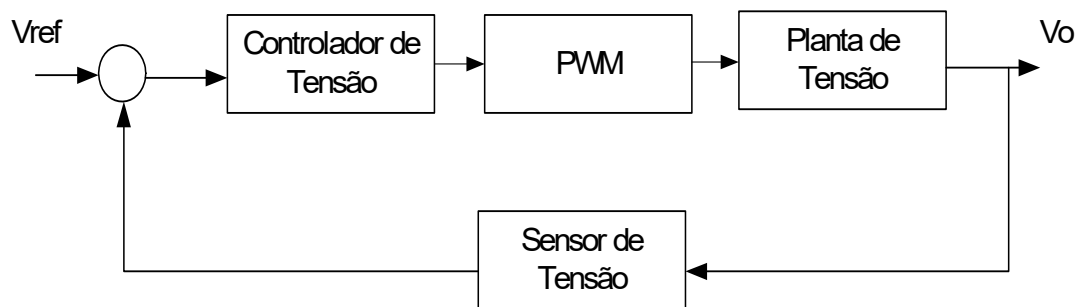
Cálculo do Capacitor de Saída Mínimo para Garantir a Ondulação Desejada

$$C_{\text{omin}} = 6.25 \times 10^{-5}$$

$$C_f := 5 \cdot C_{\text{omin}}$$

$$C_f = 3.125 \times 10^{-4}$$

Projeto dos Controladores



$$G_V(f) := \frac{V_o}{D} \cdot \frac{1}{1 + 2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot \frac{L_f}{R_o} + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot i)^2 \cdot L_f \cdot C_f}$$

Modelo Da Planta de Tensão do Conversor Buck em MCC ideal. FT entre Saída e Sinal de Controle

$$\text{PWM}(f) := \frac{1}{V_P}$$

Modelo do Modulador PWM

$$H_v(f) := G_{\text{sensor}}$$

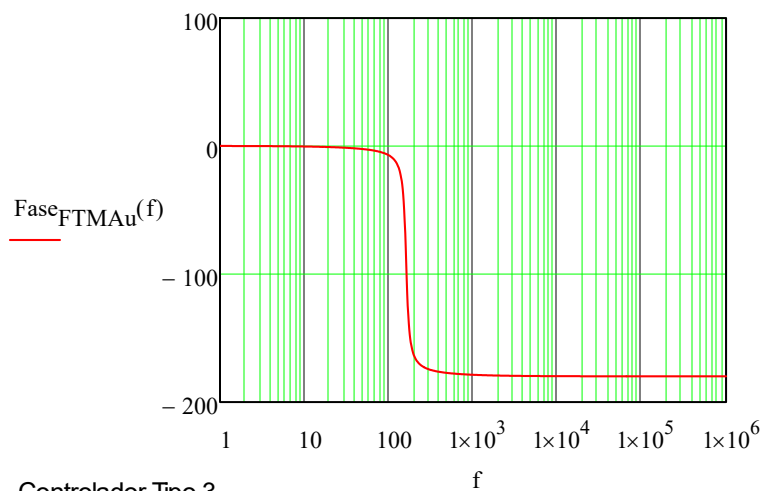
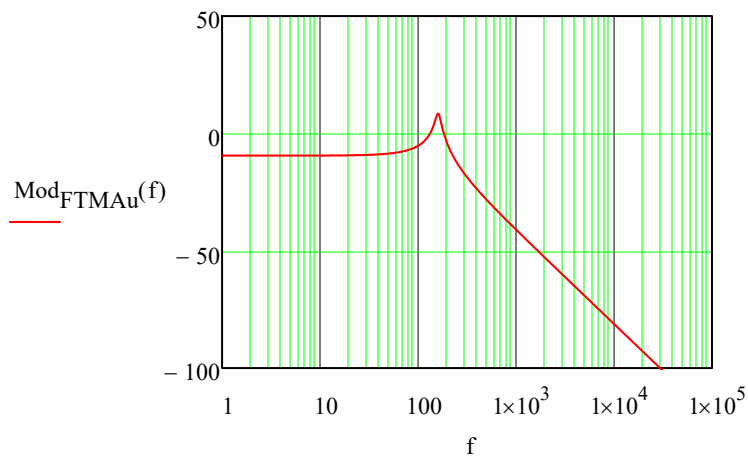
Modelo do Sensor de Tensão

$$FTMAu(f) := PWM(f) \cdot G_v(f) \cdot H_v(f)$$

FT de Malha Aberta Total Sem
Compensação. u: uncompensated

$$\text{Mod}_{FTMAu}(f) := 20 \cdot \log(|FTMAu(f)|)$$

$$\text{Fase}_{FTMAu}(f) := \arg(FTMAu(f)) \cdot \frac{180}{\pi}$$



Controlador Tipo 3

$$f_c := \frac{f_s}{10}$$

$$f_c = 2 \times 10^3$$

Frequência de Corte

$$\text{Fase}_{f_c} := \text{Fase}_{\text{FTMAu}}(f_c) \quad \text{Fase do Conversor Na Frequência de Corte Desejada}$$

$$\text{Fase}_{f_c} = -179.413$$

$$G_{\text{dB}} := \text{Mod}_{\text{FTMAu}}(f_c) \quad \text{Ganho em dB a Ser Compensado}$$

$$G_{\text{dB}} = -53.249$$

$$G_{\text{real}} := 10^{\frac{|G_{\text{dB}}|}{20}} \quad \text{Ganho Real}$$

$$G_{\text{real}} = 459.662$$

$$\text{MF}_d := 55 \quad \text{Margem de Fase Desejada (Em Graus)}$$

$$\alpha_{\text{graus}} := \text{MF}_d - \text{Fase}_{f_c} - 90$$

$$\alpha_{\text{graus}} = 144.413 \quad \text{Avanço de Fase Requerido}$$

$$k := \left(\tan \left(\frac{\alpha_{\text{graus}} \cdot \frac{\pi}{180}}{4} + \frac{\pi}{4} \right) \right)^2$$

$$k = 40.809$$

Implementação Analógica

$$R_1 := 1000 \quad \text{Valor Adotado}$$

$$C_2 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot G_{\text{real}} \cdot R_1}$$

$$C_2 = 1.731 \times 10^{-10}$$

$$C_1 := C_2 \cdot (k - 1)$$

$$C_1 = 6.892 \times 10^{-9}$$

$$R_2 := \frac{\sqrt{k}}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C_1}$$

$$R_2 = 7.376 \times 10^4$$

$$R_3 := \frac{R_1}{k - 1}$$

$$R_3 = 25.12$$

$$C_3 := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot R_3 \cdot \sqrt{k}}$$

$$C_3 = 4.959 \times 10^{-7}$$

Função de Transferência do Controlador Tipo 3

$$C_{\text{tipo3a}}(f) := \frac{1 \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot C_2} \cdot \left[R_2 + \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot C_1)} \right] \right]}{\left[\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot C_2} + \left[R_2 + \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot C_1)} \right] \right]} \cdot \frac{\left[R_1 \cdot \left(R_3 + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot C_3} \right) \right]}{\left[R_1 + \left(R_3 + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot C_3} \right) \right]}$$

$$C_{\text{te}}(f) := 2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot R_1 \cdot (C_1 + C_2)$$

$$C_{\text{tipo3}}(f) := \frac{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot i)^2 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_3 \cdot (R_1 + R_3) + 2 \cdot \pi \cdot f \cdot i \cdot (R_2 \cdot C_1 + R_1 \cdot C_3 + R_3 \cdot C_3) + 1}{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot i)^3 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot i)^2 \cdot [R_1 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2) + R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2] + C_{\text{te}}(f)}$$

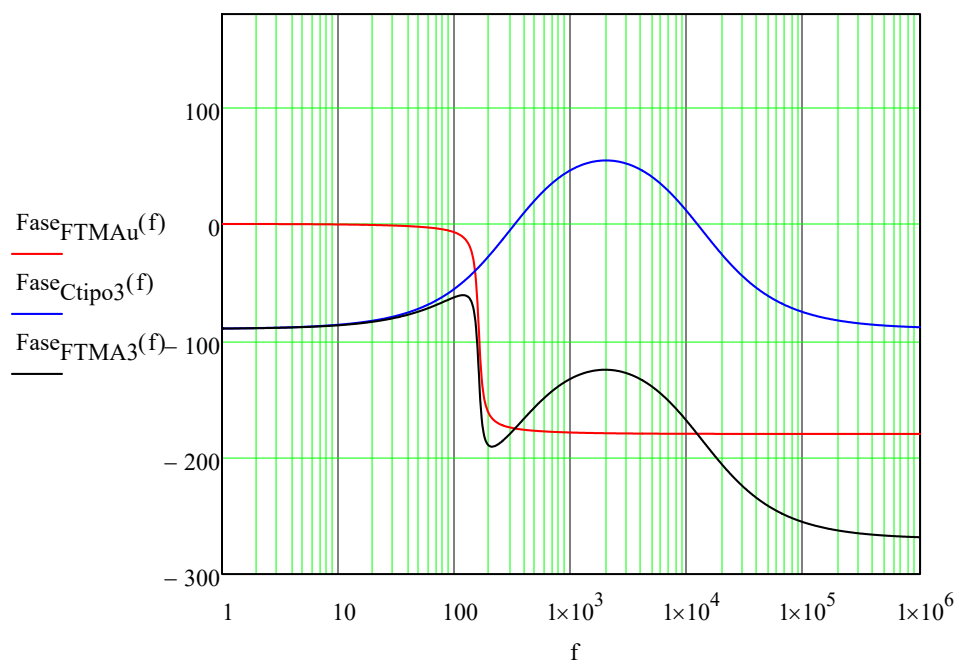
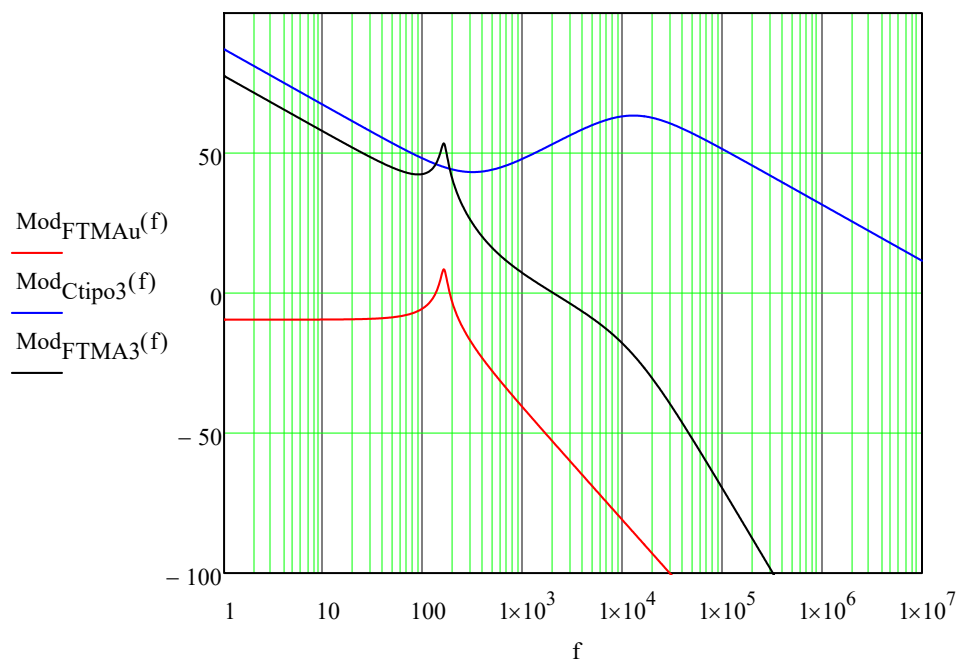
$$\text{Mod}_{C_{\text{tipo3}}}(f) := 20 \cdot \log(|C_{\text{tipo3}}(f)|)$$

$$\text{Fase}_{C_{\text{tipo3}}}(f) := \arg(C_{\text{tipo3}}(f)) \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\text{FTMA}_3(f) := C_{\text{tipo3}}(f) \cdot \text{FTMAu}(f)$$

$$\text{Mod}_{\text{FTMA}_3}(f) := 20 \cdot \log(|\text{FTMA}_3(f)|)$$

$$\text{Fase}_{\text{FTMA3}}(f) := \text{Fase}_{\text{FTMAu}}(f) + \text{Fase}_{\text{Ctipo3}}(f)$$

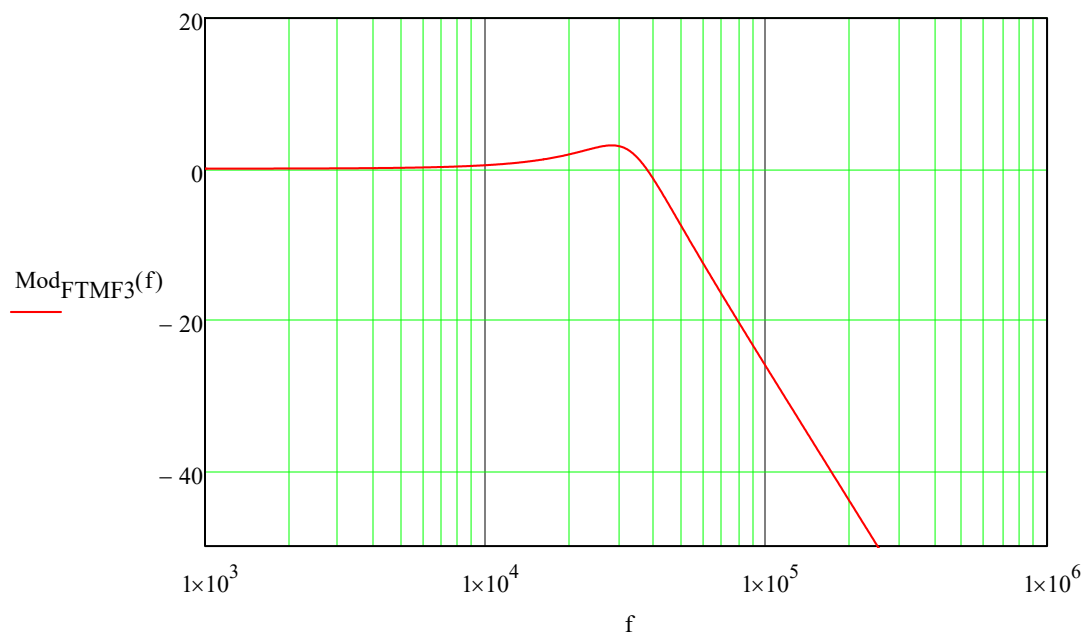


Função de Transferência em Malha Fechada

$$\text{FTMF}_3(f) := \frac{G_v(f) \cdot C_{\text{tipo3}}(f)}{1 + G_v(f) \cdot C_{\text{tipo3}}(f)}$$

$$\text{Mod}_{\text{FTMF}_3}(f) := 20 \cdot \log(|\text{FTMF}_3(f)|)$$

$$\text{Fase}_{\text{FTMF}_3}(f) := \arg(\text{FTMF}_3(f)) \cdot \frac{180}{\pi}$$



Valores Obtidos

$$R_1 = 1 \times 10^3$$

$$R_2 = 7.376 \times 10^4$$

$$R_3 = 25.12$$

$$C_1 = 6.892 \times 10^{-9}$$

$$C_2 = 1.731 \times 10^{-10}$$

$$C_3 = 4.959 \times 10^{-7}$$

