



Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

En la figura se muestra un convertidor boost con un lazo de control de tensión. La tensión de entrada V_{IN} es de 10V; en tanto que la tensión de referencia V_{REF} se define en 2.4V, tal como se señala en la figura. La resistencia de carga R_0 puede variar entre 4Ω y 6Ω . El sistema presenta una perturbación debida al ripple de la tensión de entrada.

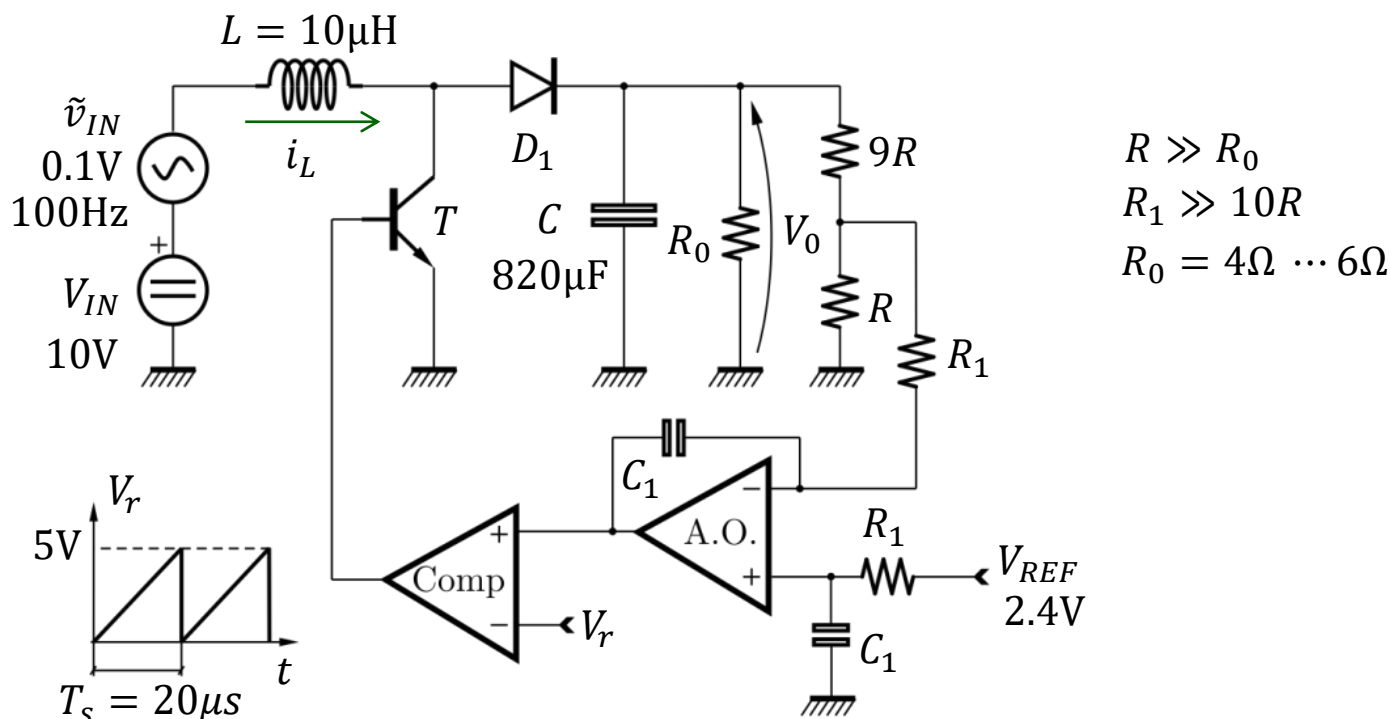


Figura: Fuente de alimentación basada en convertidor boost





Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

- a) A partir del sistema de control planteado, determinar la tensión de salida y el ciclo de trabajo con el que va a operar el convertidor. Verificar, para las diferentes condiciones de carga, que el sistema siempre opere en CCM.
- b) A partir de la función de transferencia del convertidor respecto de la variable de control $G_d = \tilde{v}_o / \tilde{d}$ y de la entrada de perturbación $G_{vi} = \tilde{v}_o / \tilde{v}_{IN}$, dibujar el diagrama de bloques del sistema de control identificando claramente la función de transferencia de las diferentes etapas. Asumir que el amplificador operacional es ideal; es decir, $Z_{IN} = \infty$, $Z_O = 0$ y la ganancia $A(\omega)$ es infinita en todo el rango de frecuencias.

$$G_{\tilde{d}} = \left[\frac{V_0}{(1-D)} \right] \frac{(1 - \frac{s}{\omega_z})}{\left[1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2} \right]}$$

$$G_{\tilde{v}_{IN}} = \left[\frac{1}{(1-D)} \right] \frac{1}{\left[1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \frac{s^2}{\omega_0^2} \right]}$$

$$\begin{aligned}\omega_0 &= (1-D) / \sqrt{LC} \\ \omega_z &= (1-D)^2 R_0 / L \\ Q &= (1-D) R_0 \sqrt{C/L}\end{aligned}$$

- c) Dibujar el diagrama de Bode correspondiente a la transferencia de avance y a la ganancia de realimentación para las diferentes condiciones de carga. Identificar de manera clara las singularidades y ganancias resultantes para cada caso.





Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

- d) Determinar el valor de los componentes del controlador C_1 y R_1 de modo de obtener un sistema con el mayor ancho de banda posible y un margen de fase superior o igual a 45° . Nota: considerar, si fuera necesario, el empleo de una red de amortiguamiento. En caso de utilizarla, calcular el valor de sus componentes. Señalar el ancho de banda obtenido.
- e) Evaluar mediante diagrama de Bode cuanto es el rechazo a la entrada de perturbación considerando el ajuste del controlador obtenido en d).

Solución

A partir de las condiciones del problema se tiene que:

$$H = \frac{V_F}{V_0} = \frac{R}{R + 9R} = 0.1$$

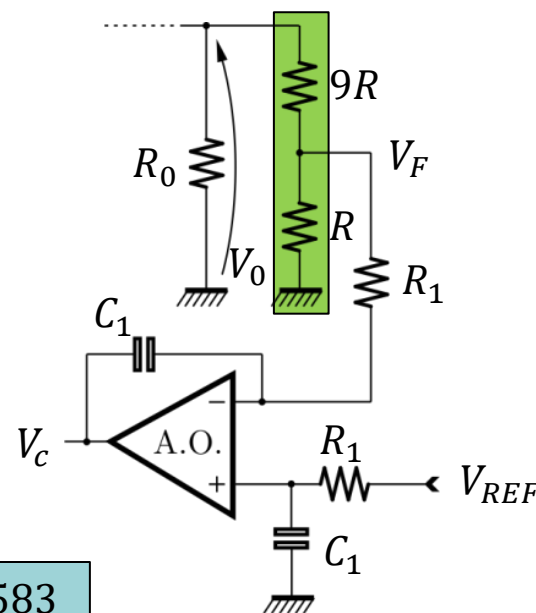
$$G_c(s) = \frac{V_c}{(V_{REF} - V_F)} = \frac{1}{sC_1R_1}$$

Controlador integral

Luego:

$$V_0 = \frac{V_{REF}}{H} = \frac{2.4V}{0.1} = 24V$$

$$\frac{V_0}{V_{IN}} = \frac{1}{(1 - D)} \Rightarrow D = 0.583$$

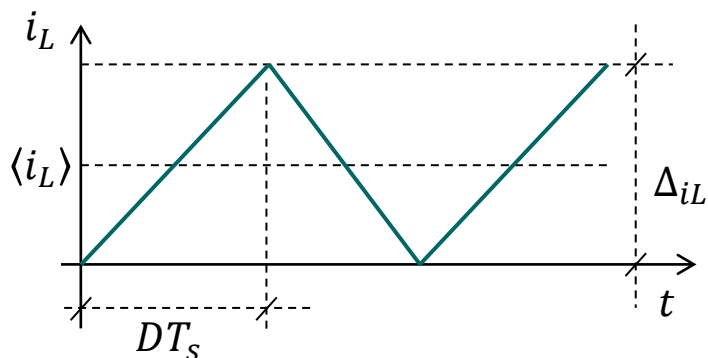




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Solución

Verifico conducción continua (CCM)



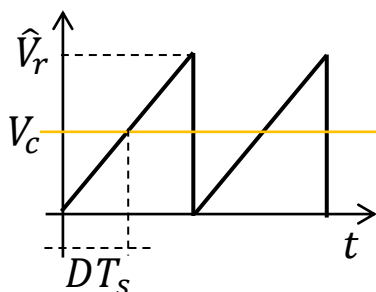
$$\langle i_L \rangle = \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_{IN} D T_s}{2L}$$
$$V_{IN} \langle i_L \rangle = V_0 I_0 \quad (\eta = 1)$$
$$I_0 = \langle i_L \rangle (1 - D)$$
$$I_0 = \frac{V_{IN} D (1 - D) T_s}{2L}$$

Si $I_0 = I_{0min}$ entonces $L = L_c$

$$L_c = \frac{V_{IN} D (1 - D) T_s}{2 I_{0min}}$$

⇒ $L_c \approx 6 \mu H$ ⇒ $L > L_c$ (CCM)

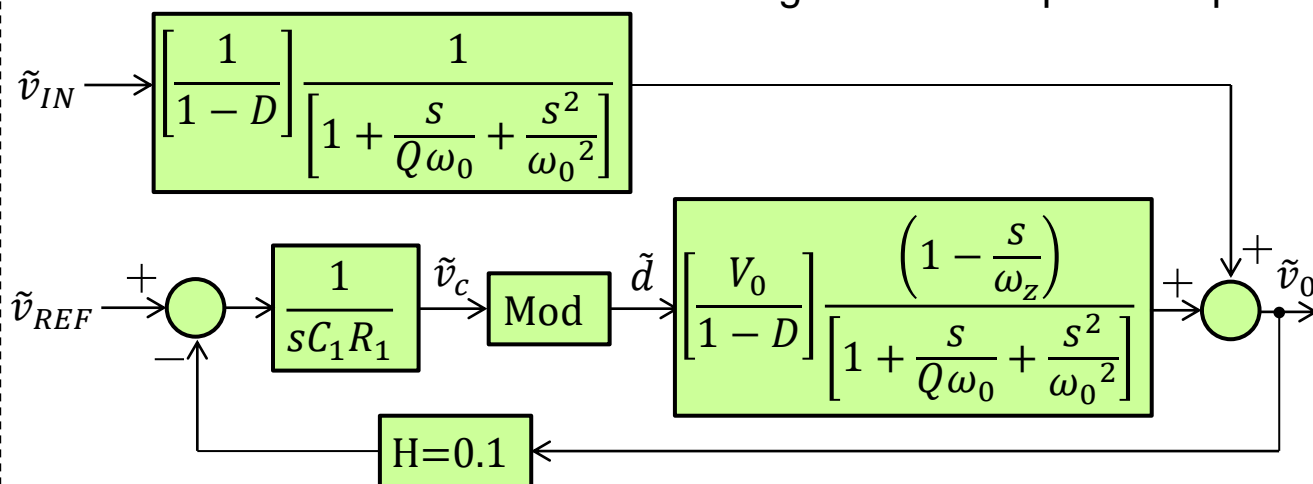
Modulador



$$\frac{V_c}{\hat{V}_r} = \frac{D T_s}{T_s}$$

$$\frac{\tilde{d}}{\tilde{v}_c} = \frac{dD}{dV_c} = \frac{1}{\hat{V}_r}$$

Diagrama de bloques completo

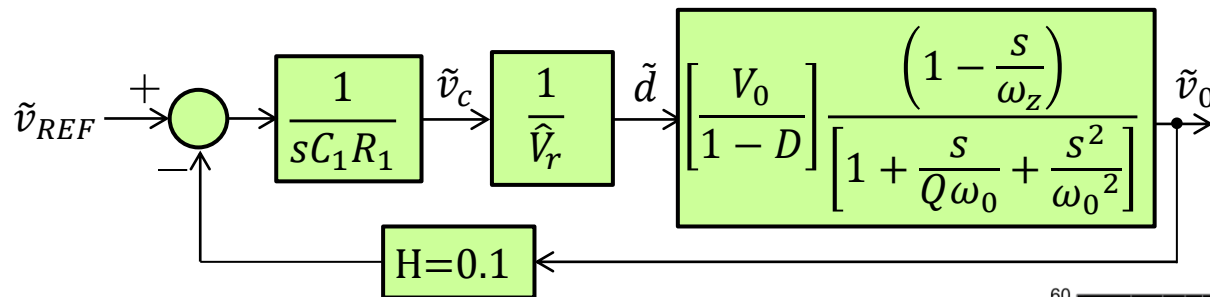




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Solución

Diagrama de bloques del lazo de control



Análisis de casos según R_0

$$\omega_z = (1 - D)^2 R_0 / L \rightarrow \omega_z = 69.5 \text{kr/s} (R_0 = 4\Omega)$$

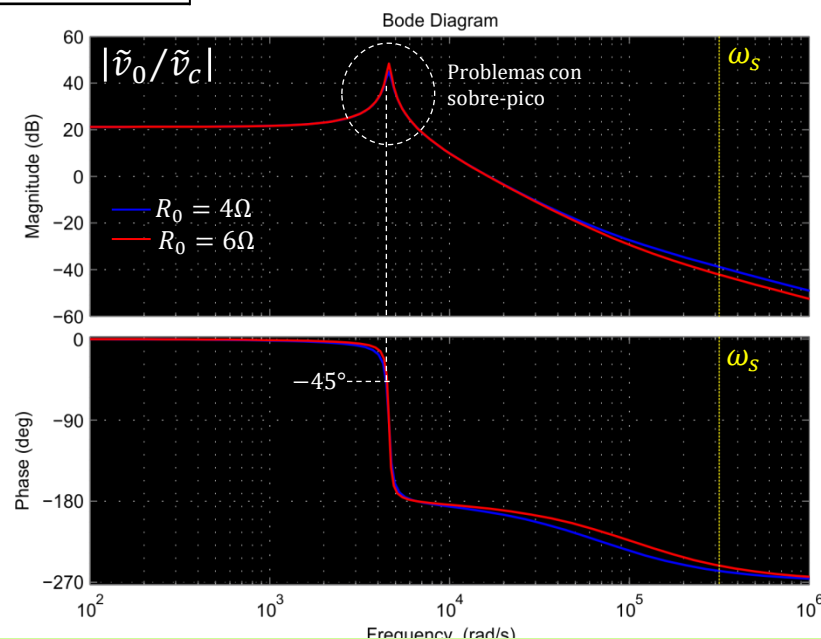
$$\omega_z = (1 - D)^2 R_0 / L \rightarrow \omega_z = 104.3 \text{kr/s} (R_0 = 6\Omega)$$

$$\omega_0 = (1 - D) / \sqrt{LC} = 4.6 \text{kr/s}$$

$$Q = (1 - D) R_0 \sqrt{C/L} \rightarrow Q = 15.1 (R_0 = 4\Omega)$$

$$Q = (1 - D) R_0 \sqrt{C/L} \rightarrow Q = 22.6 (R_0 = 6\Omega)$$

$$G_{d0} / \hat{V}_r = V_0 / [\hat{V}_r (1 - D)] = 11.5 \equiv (21.2 \text{dB})$$

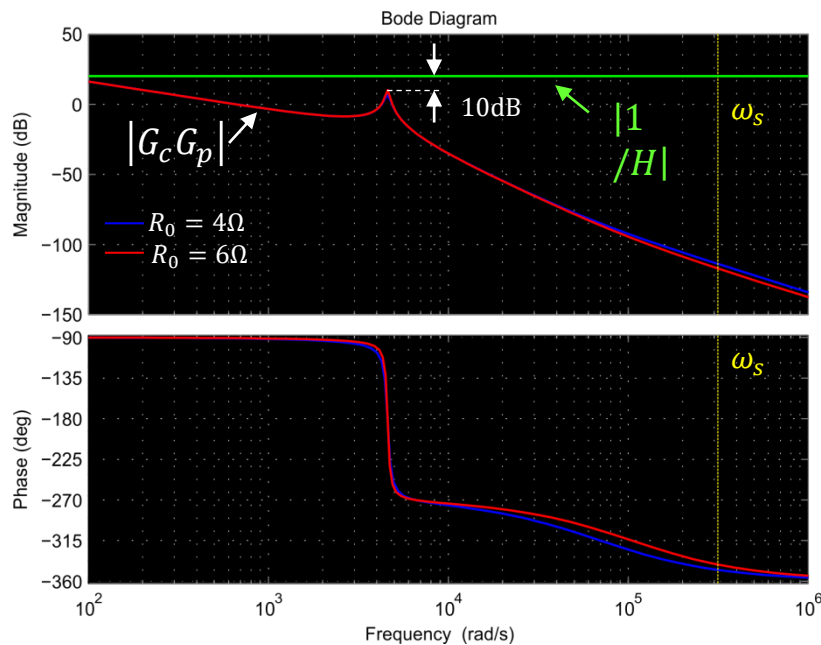




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Solución

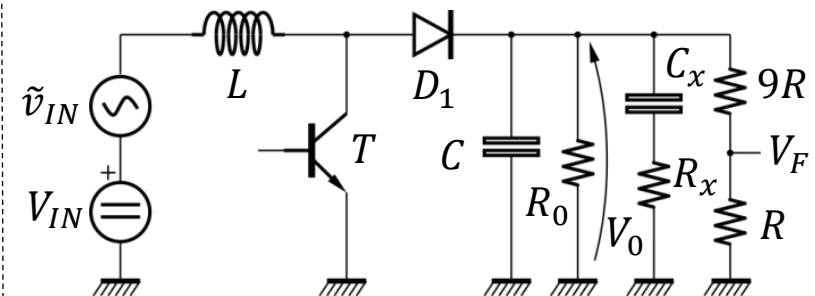
Compensación sin amortiguar el sobrepico



$$G_c(s) = \frac{56}{s} \quad (\text{Margen de ganancia respecto a } S_p)$$

- Margen de fase de 90°
- Bajo ancho de banda: inferior a $100r/s$

Estrategia de amortiguamiento del S_p



$$Q = 1/2\xi = (1 - D)R \sqrt{C/L} \quad \xi = 1$$

$$R = [2\xi(1 - D)]^{-1} \sqrt{L/C} \Rightarrow R = 0.132\Omega$$

$$R \approx R_x \parallel R_0 \Rightarrow R_x \approx 0.135\Omega$$

$$1/\omega_0 C_x \approx R_x \Rightarrow C_x \approx 1.61\text{mF}$$

$$C_x \approx 2C!!$$





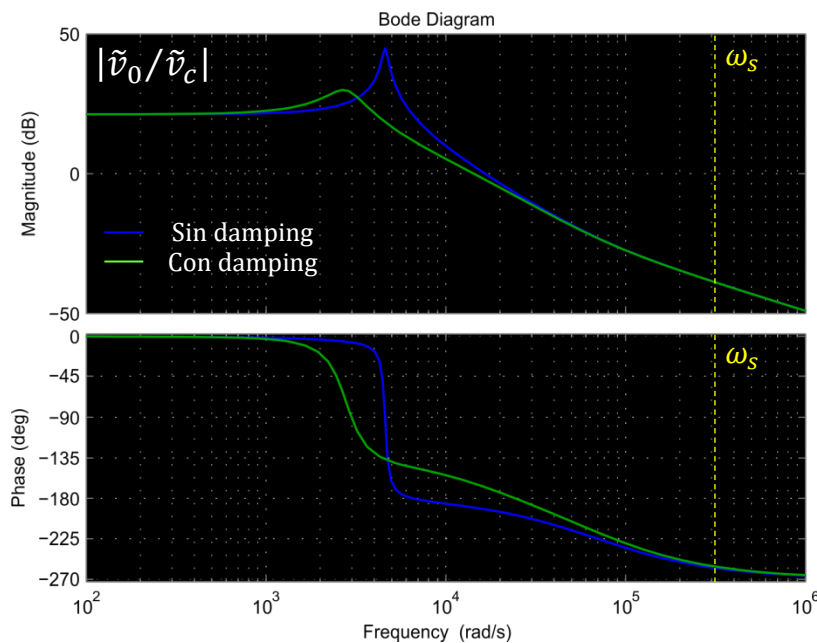
Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Se consideró que $R_x \ll R_0$

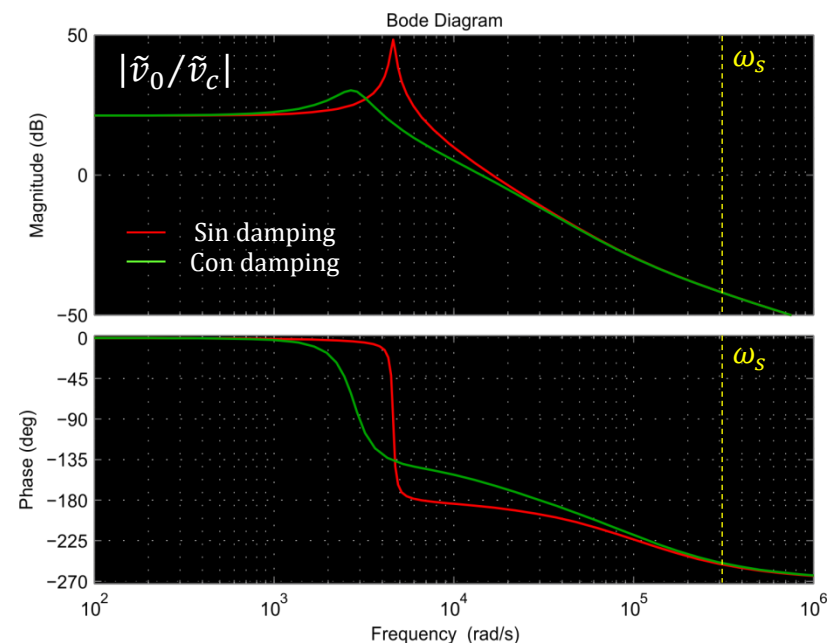
Solución

Planta amortiguada

$$\frac{\tilde{v}_0}{\tilde{d}} = \left[\frac{V_0}{(1-D)} \right] \frac{\left[1 - \frac{sL}{R_0(1-D)^2} \right] (1 + sC_x R_x)}{\left[\frac{LC_x C R_x}{(1-D)^2} s^3 + \frac{L(C_x + C)}{(1-D)^2} s^2 + \left(\frac{L}{R_0(1-D)^2} + C_x R_x \right) + 1 \right]}$$



Bode de planta con $R_0 = 4\Omega$



Bode de planta con $R_0 = 6\Omega$



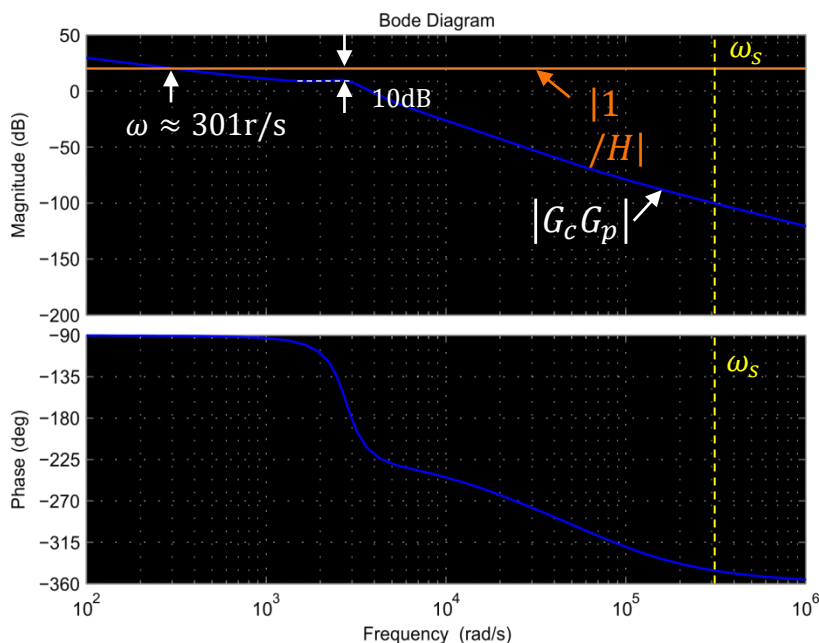


Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

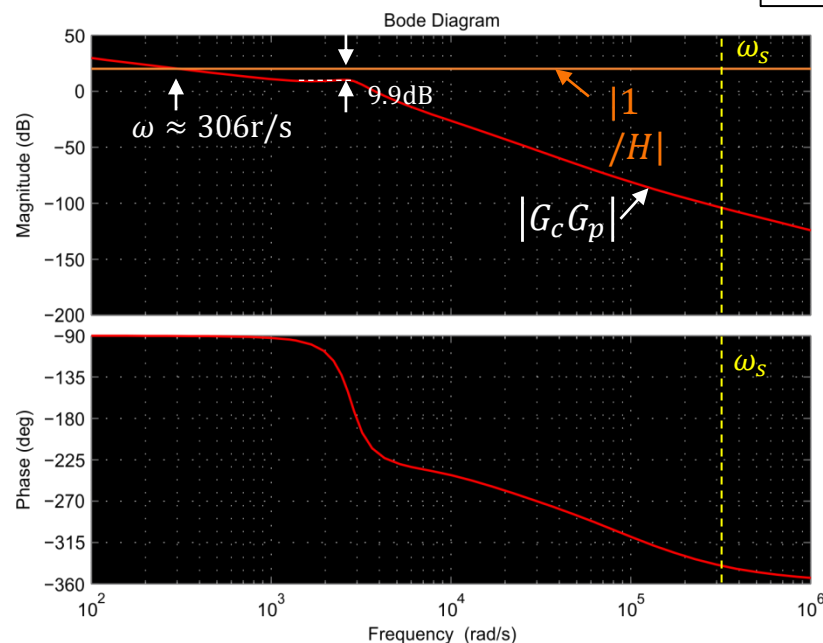
Solución

Bode G y $1/H$ para sistema amortiguado

- Margen de fase de 90°
- Ancho de banda: próximo a 300r/s

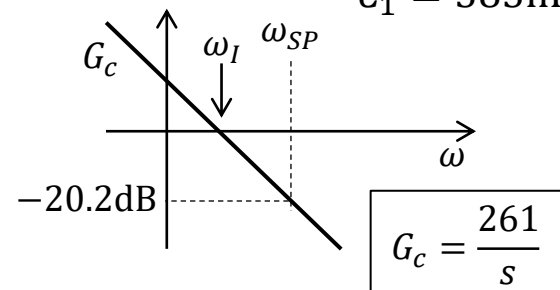


Bode de G y $1/H$ con $R_0 = 4\Omega$ y damping



Bode de G y $1/H$ con $R_0 = 6\Omega$ y damping

$$\begin{aligned}\omega_{SP} &= 2.67\text{kr/s} \\ Gp_{max} &= 30.2\text{dB} \\ \omega_I &= 261\text{r/s}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}R_1 &= 10\text{k}\Omega \\ C_1 &= 383\text{nF}\end{aligned}$$





Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Solución

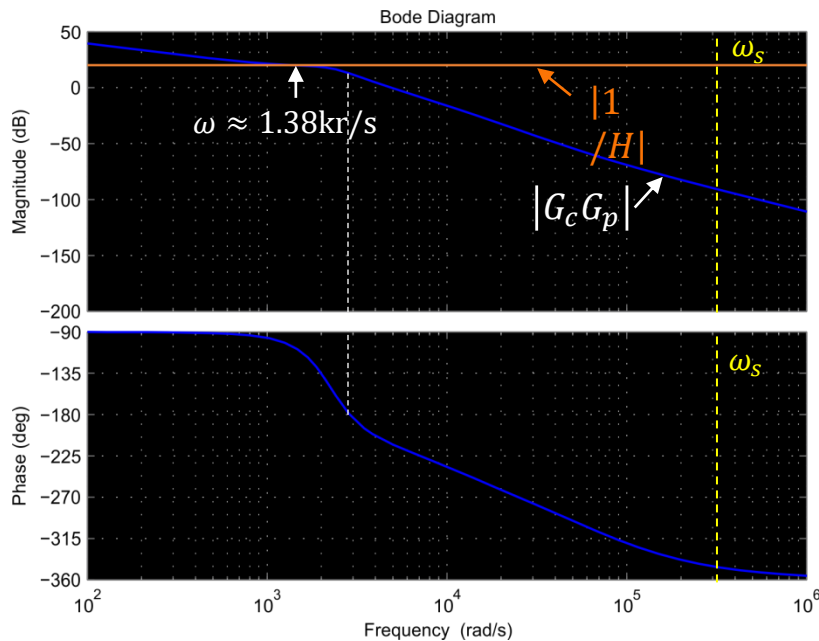
Bode G y $1/H$ para sistema amortiguado

$$R_x \approx 0.135\Omega \quad C_x \approx 3.22\text{mF}$$

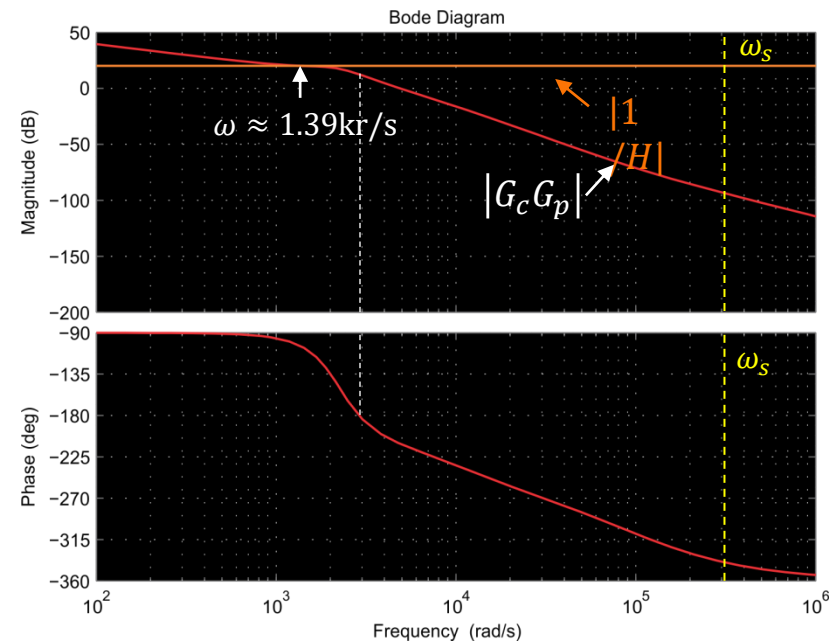
- Margen de fase de 74°
- Margen de ganancia de 12dB
- Ancho de banda: próximo a 1.4kr/s

$$G_c = \frac{814}{s}$$

$$R_1 = 10\text{k}\Omega$$
$$C_1 = 122\text{nF}$$



Bode de G y $1/H$ con $R_0 = 4\Omega$ y damping
En $\omega = 628\text{r/s}$ $GH \approx 4.2\text{dB}$



Bode de G y $1/H$ con $R_0 = 6\Omega$ y damping
En $\omega = 628\text{r/s}$ $GH \approx 4.2\text{dB}$



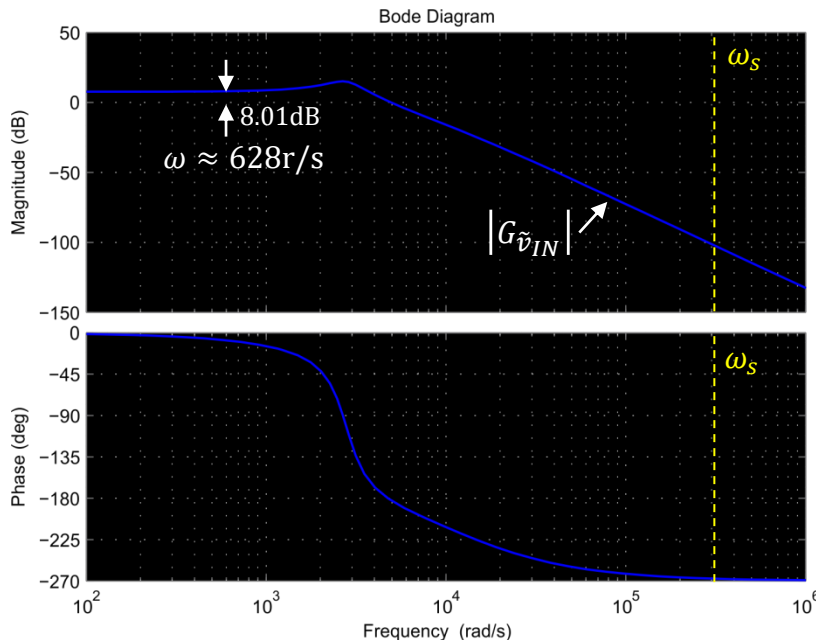


Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Solución

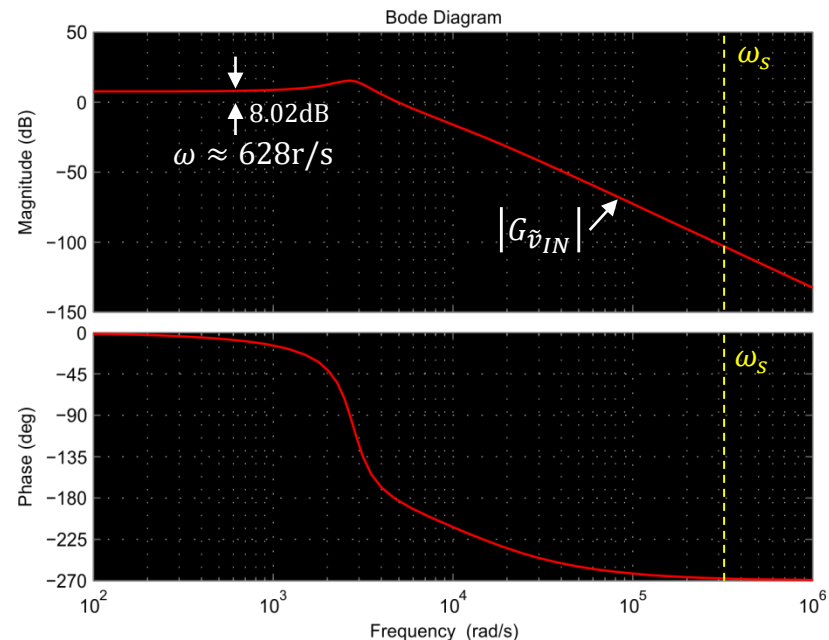
Análisis de perturbación

$$\frac{\tilde{v}_0}{\tilde{v}_{in}} = \left[\frac{1}{(1-D)} \right] \frac{(1 + sC_x R_x)}{\left[\frac{LC_x C R_x}{(1-D)^2} s^3 + \frac{L(C_x + C)}{(1-D)^2} s^2 + \left(\frac{L}{R_0(1-D)^2} + C_x R_x \right) + 1 \right]}$$



Bode $G_{\tilde{v}_{IN}}$ con $R_0 = 4\Omega$ y damping

$$R_x \approx 0.135\Omega \quad C_x \approx 1.61 \text{ mF}$$



Bode $G_{\tilde{v}_{IN}}$ con $R_0 = 6\Omega$ y damping

$$R_x \approx 0.135\Omega \quad C_x \approx 1.61 \text{ mF}$$



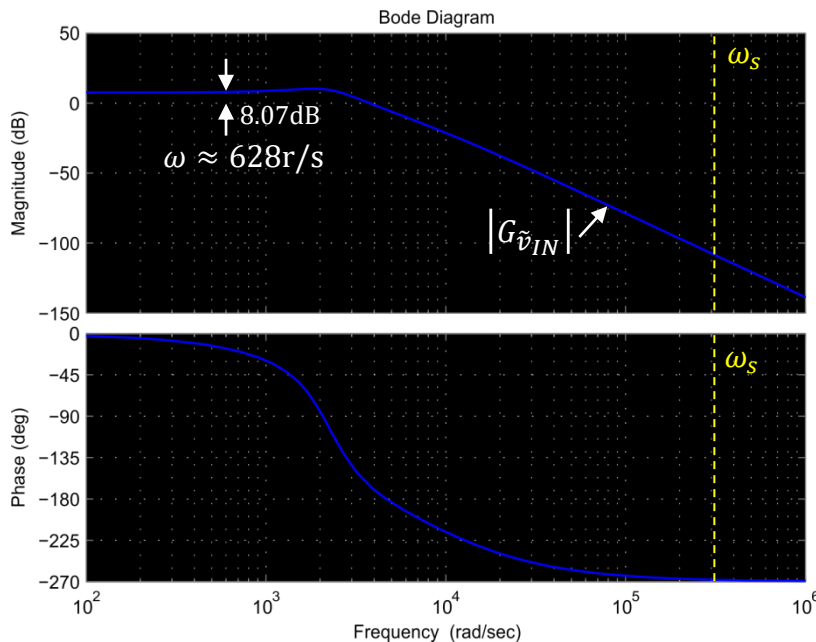


Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Solución

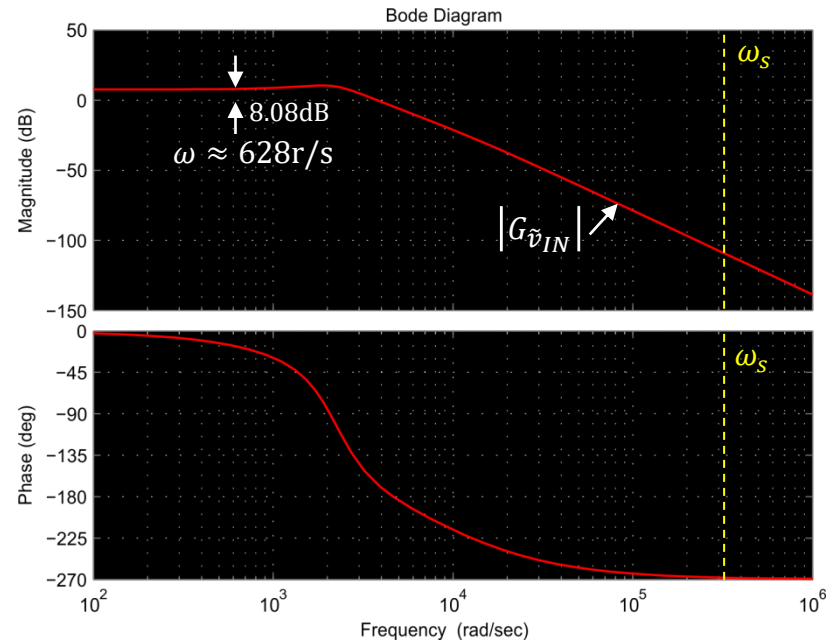
Análisis de perturbación

$$\frac{\tilde{v}_0}{\tilde{v}_{in}} = \left[\frac{1}{(1-D)} \right] \frac{(1 + sC_x R_x)}{\left[\frac{LC_x C R_x}{(1-D)^2} s^3 + \frac{L(C_x + C)}{(1-D)^2} s^2 + \left(\frac{L}{R_0(1-D)^2} + C_x R_x \right) + 1 \right]}$$



Bode $G_{\tilde{v}_{IN}}$ con $R_0 = 4\Omega$ y damping

$$R_x \approx 0.135\Omega \quad C_x \approx 3.22\text{mF}$$



Bode $G_{\tilde{v}_{IN}}$ con $R_0 = 6\Omega$ y damping

$$R_x \approx 0.135\Omega \quad C_x \approx 3.22\text{mF}$$



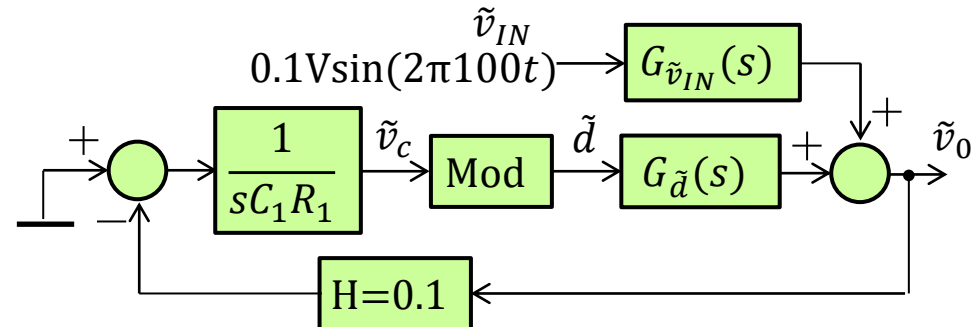


Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Solución

Análisis de perturbación

$$\frac{\tilde{v}_0}{\tilde{v}_{IN}} = \frac{G_{\tilde{v}_{IN}}}{1 + G_c \text{Mod} G_{\tilde{d}} H}$$

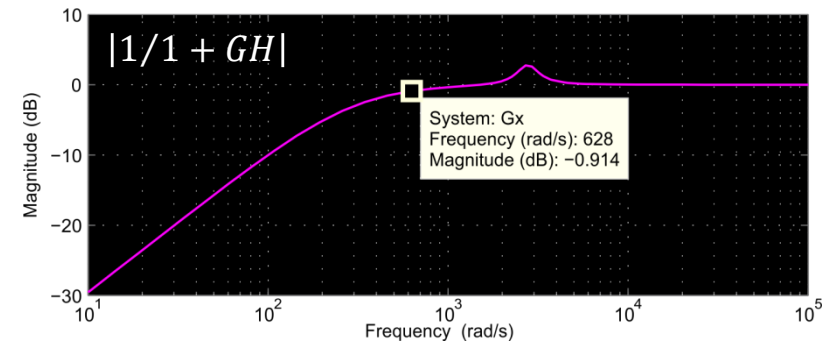


Caso : $R_x \approx 0.135\Omega$, $C_x \approx 1.61\text{mF}$, $G_c(s) = 261/s$

$$|G_{\tilde{v}_{IN}}(\omega_p)| \approx 2.51 \equiv (8.02\text{dB})$$

$$|1/[1 + GH(\omega_p)]| \approx 0.9 \equiv (-0.914\text{dB})$$

$$|\tilde{v}_0/\tilde{v}_{IN}| = 2.25 \equiv (7.1\text{dB})$$

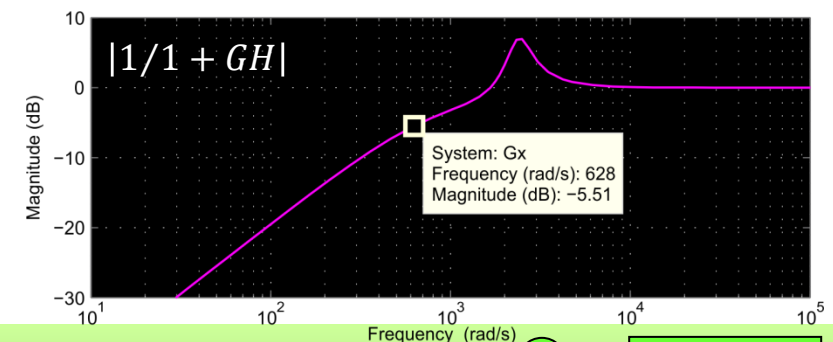


Caso : $R_x \approx 0.135\Omega$, $C_x \approx 3.22\text{mF}$, $G_c(s) = 814/s$

$$|G_{\tilde{v}_{IN}}(\omega_p)| \approx 2.53 \equiv (8.08\text{dB})$$

$$|1/[1 + GH(\omega_p)]| \approx 0.53 \equiv (-5.51\text{dB})$$

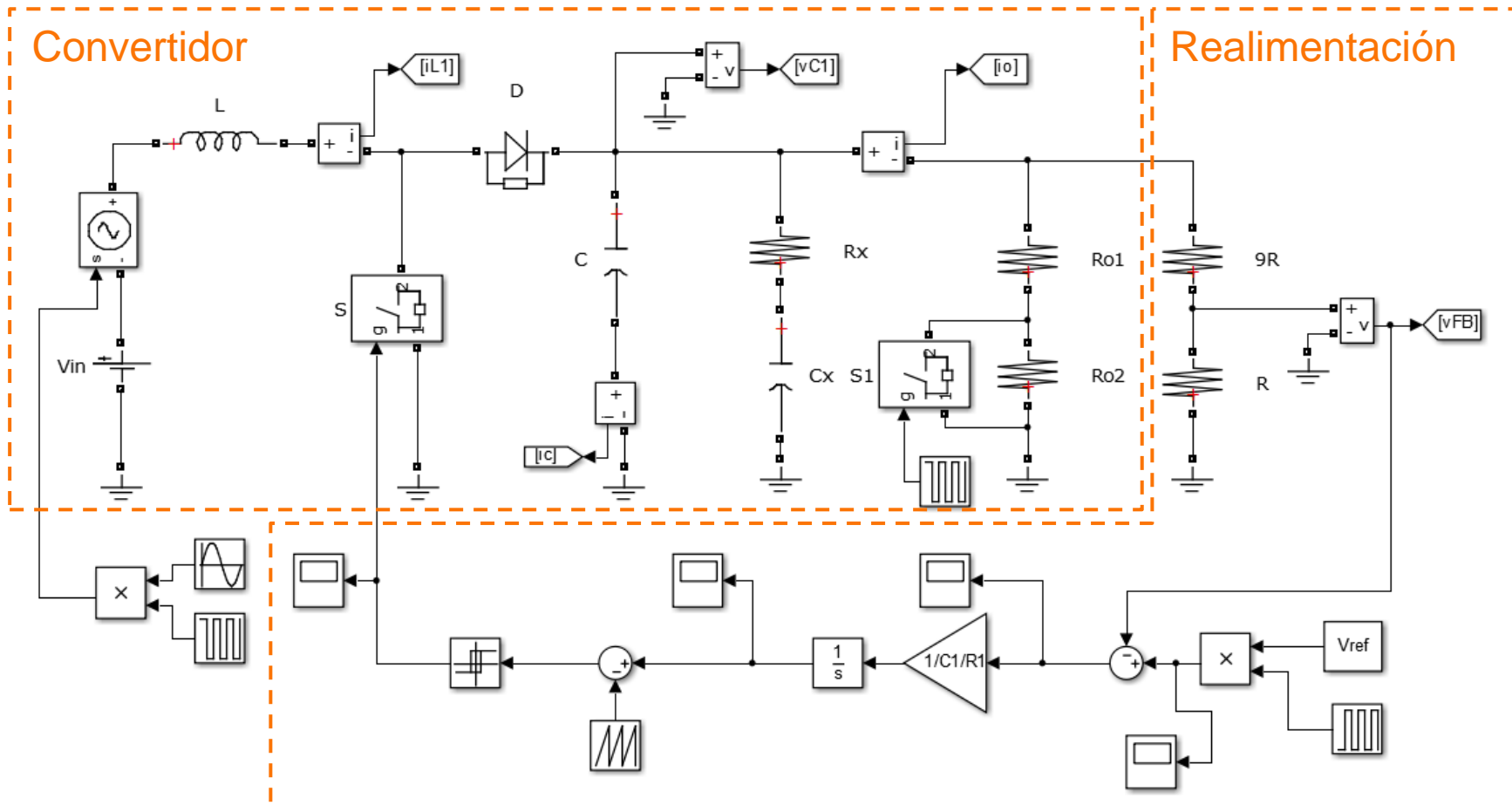
$$|\tilde{v}_0/\tilde{v}_{IN}| = 1.34 \equiv (2.55\text{dB})$$





Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

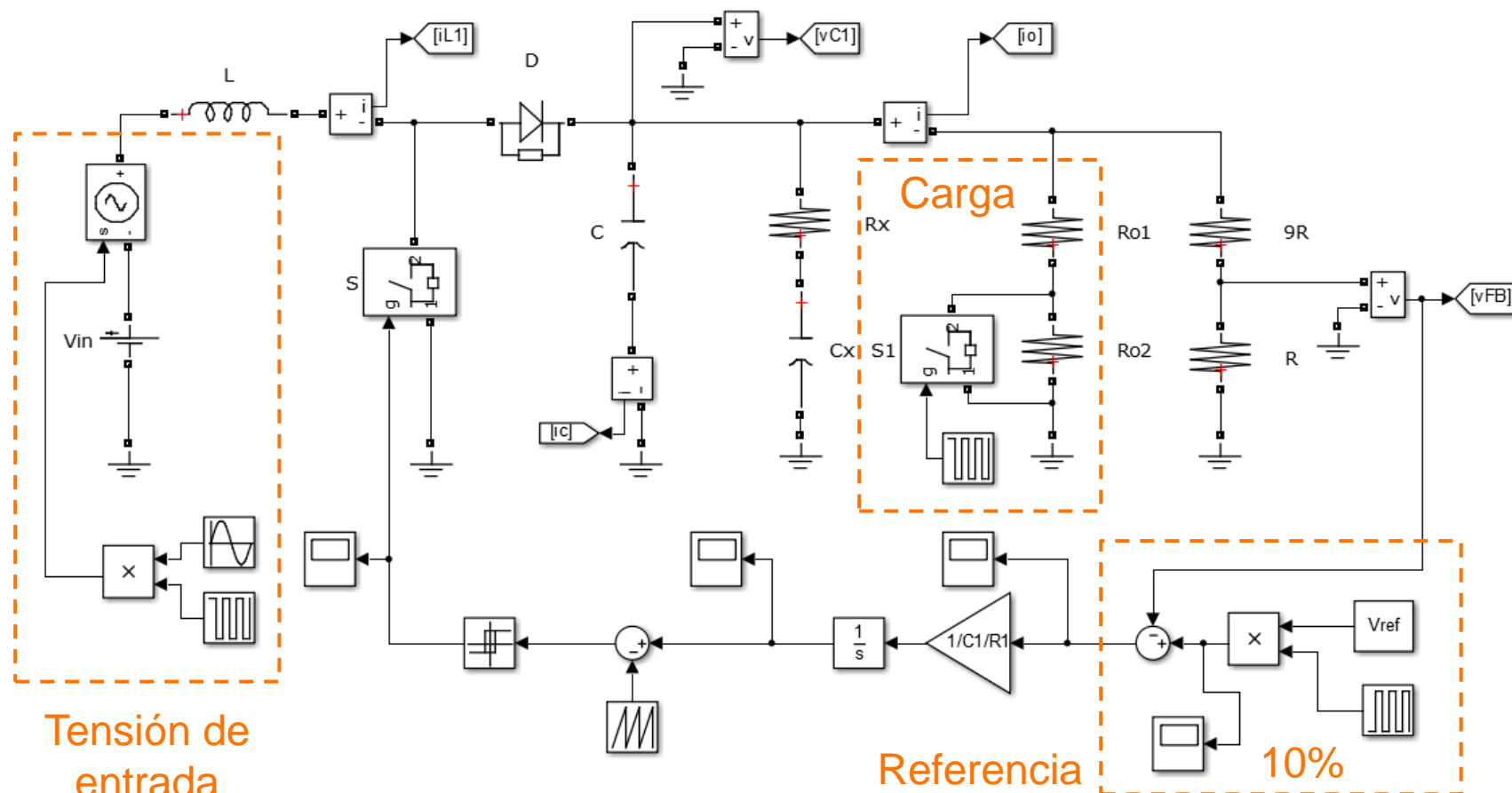
Simulaciones





Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

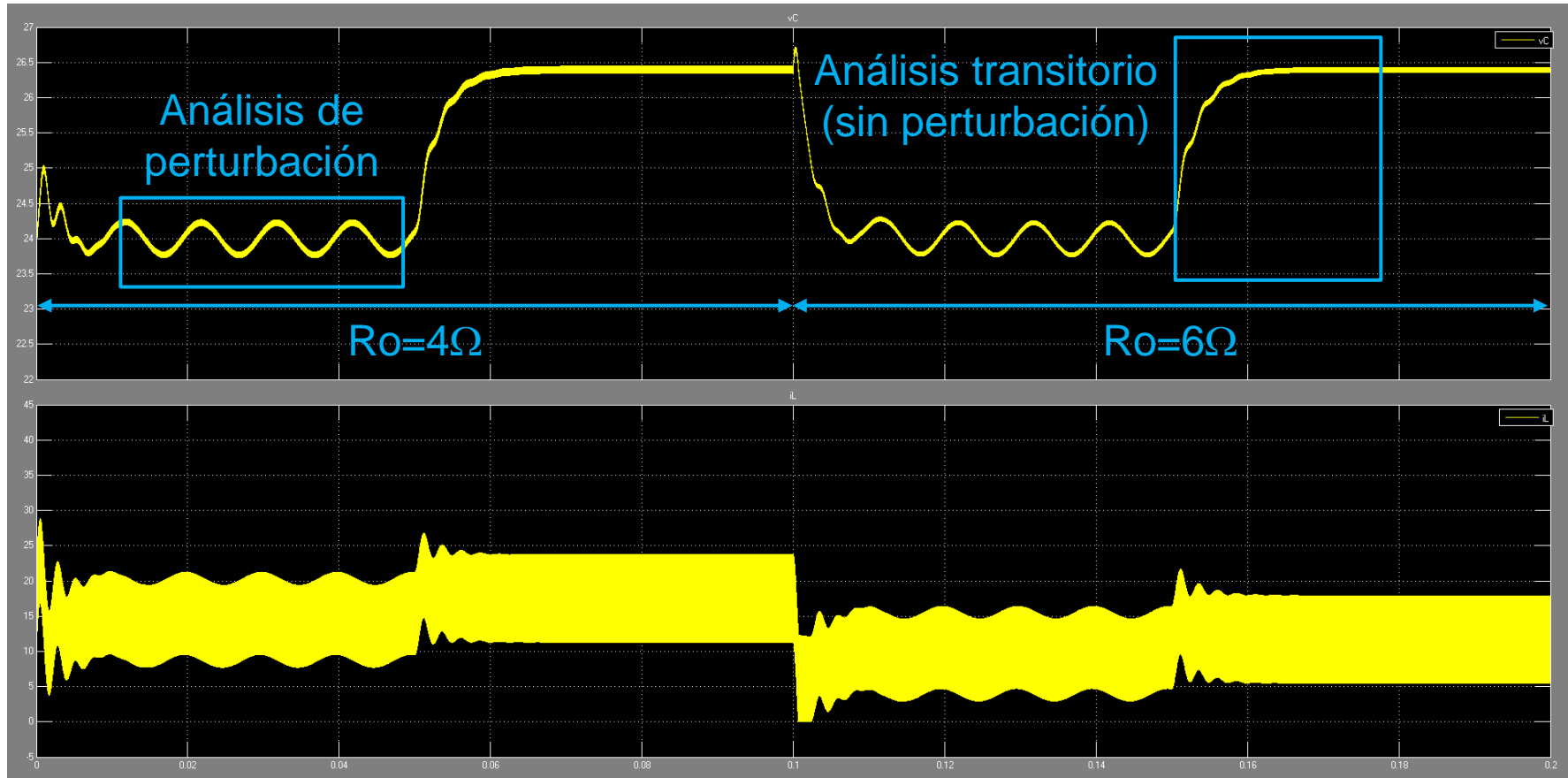




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

Caso 1

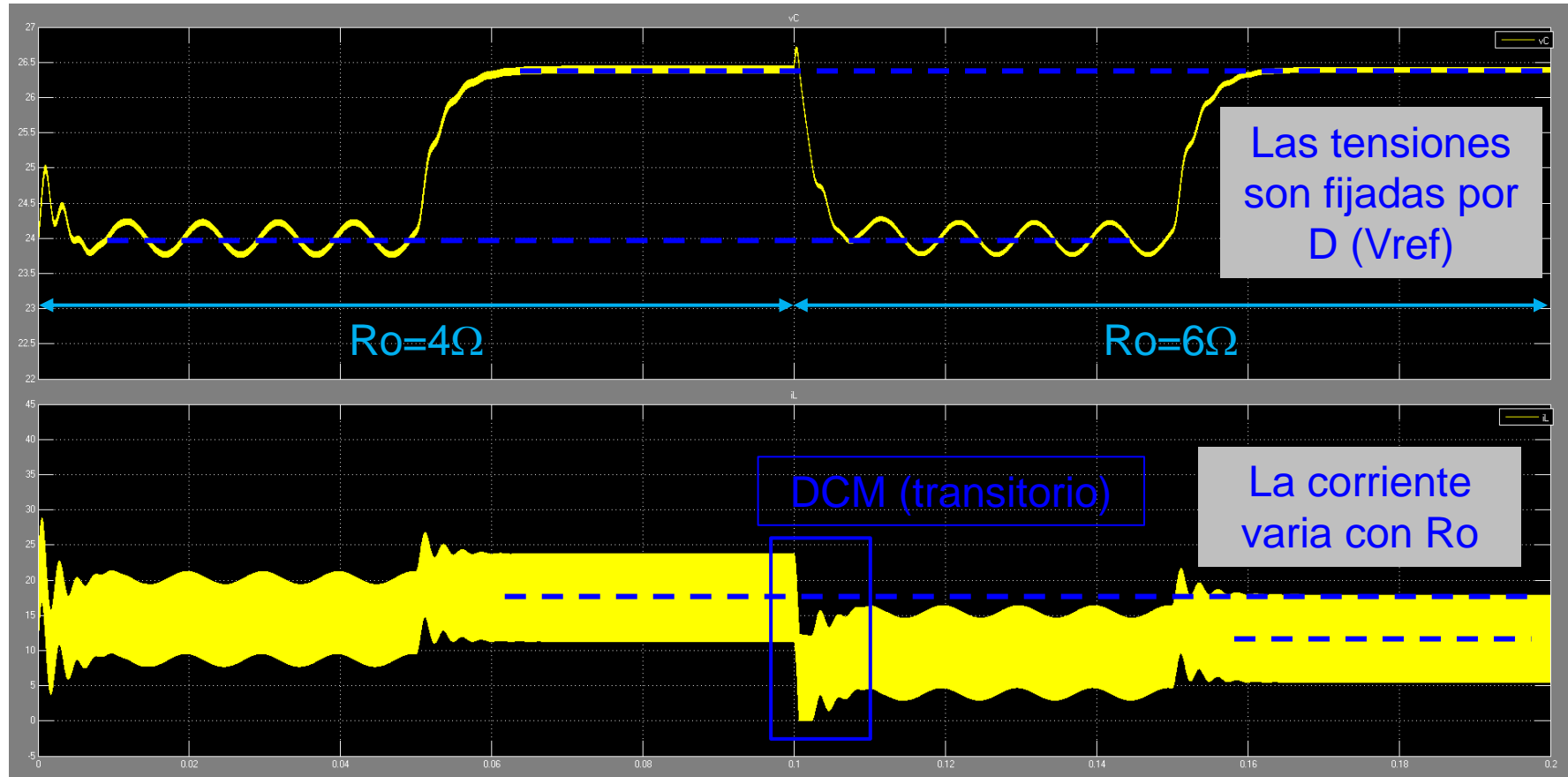




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

Caso 1

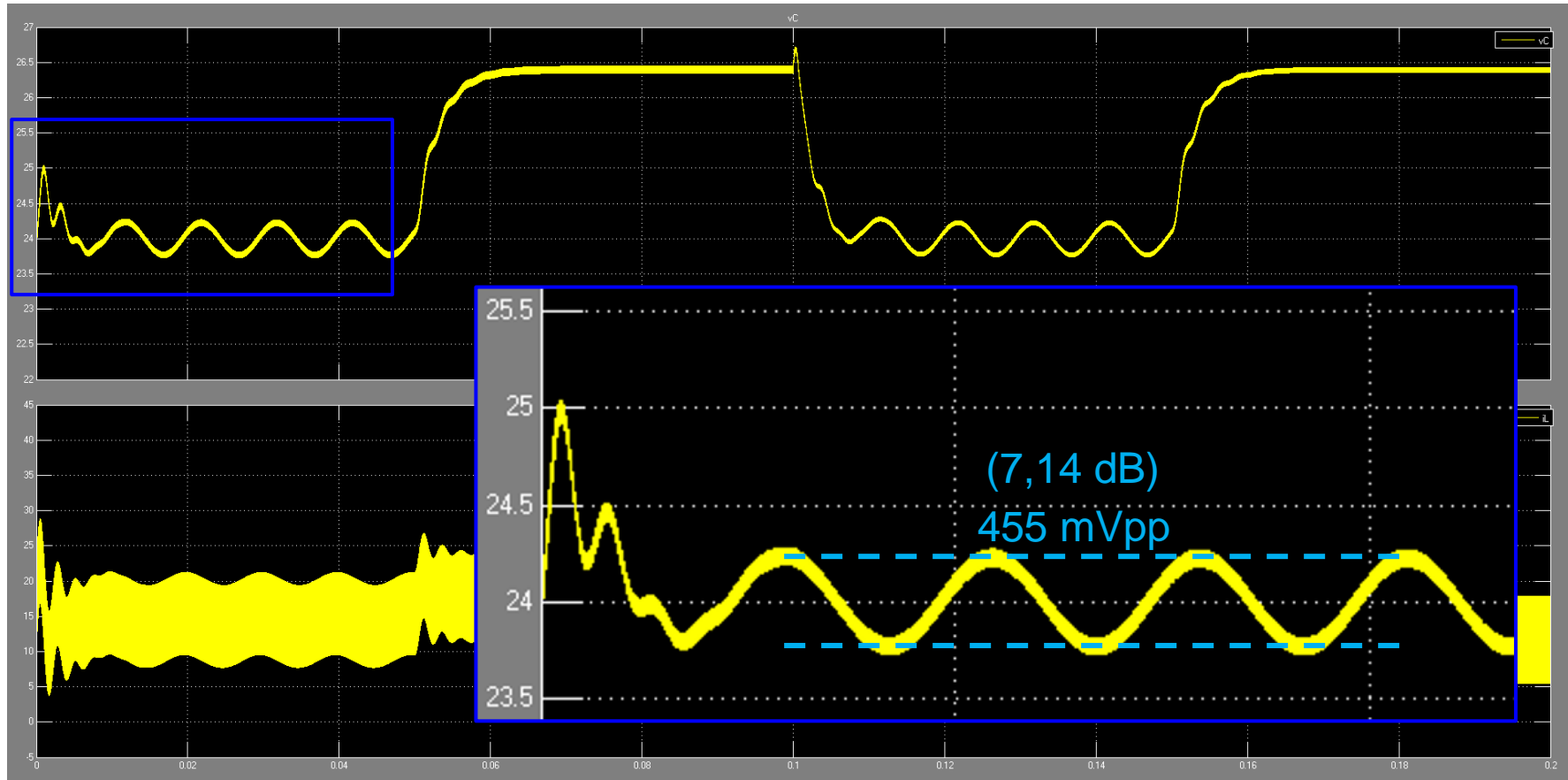




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

Caso 1

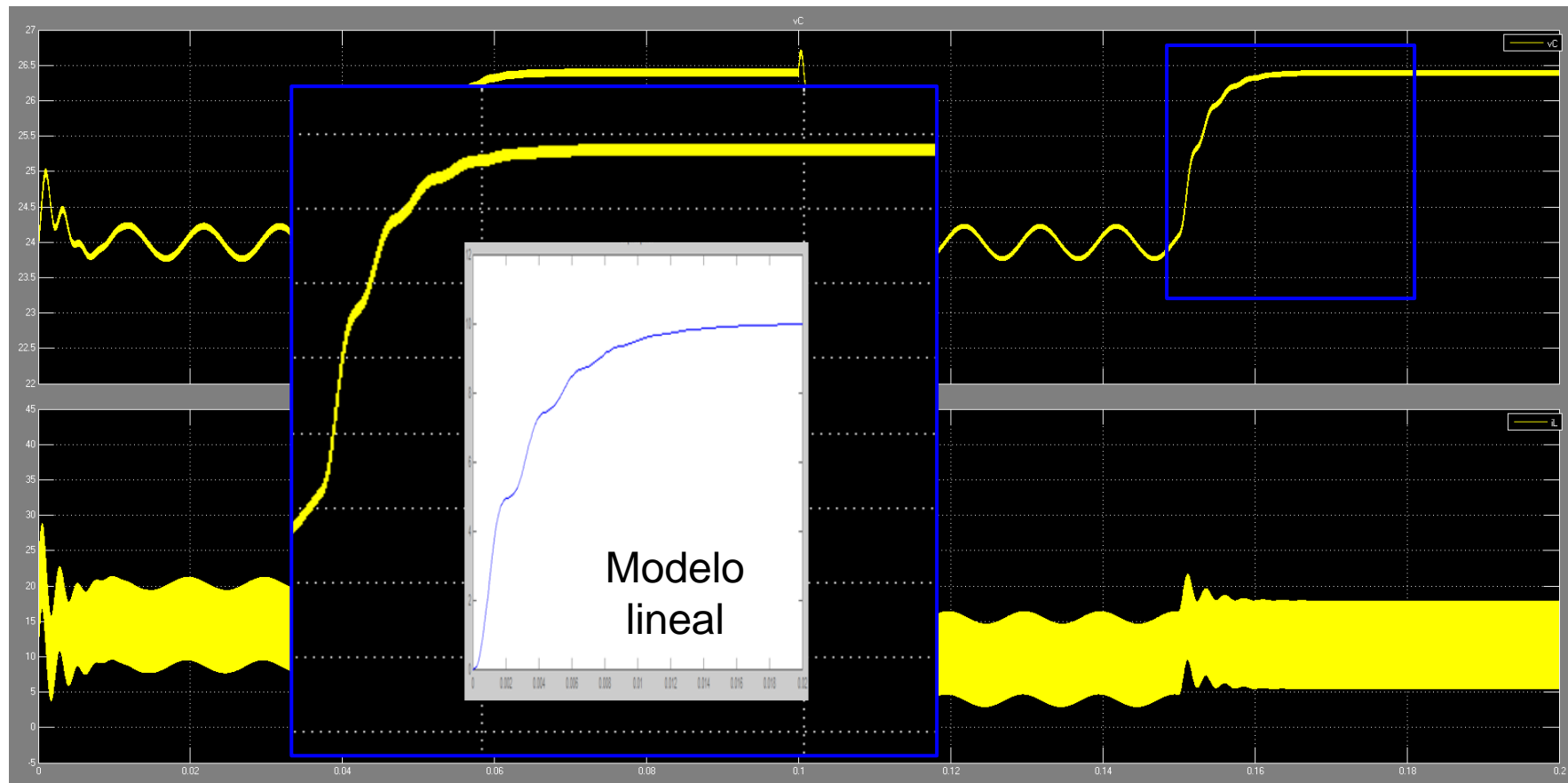




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

Caso 1

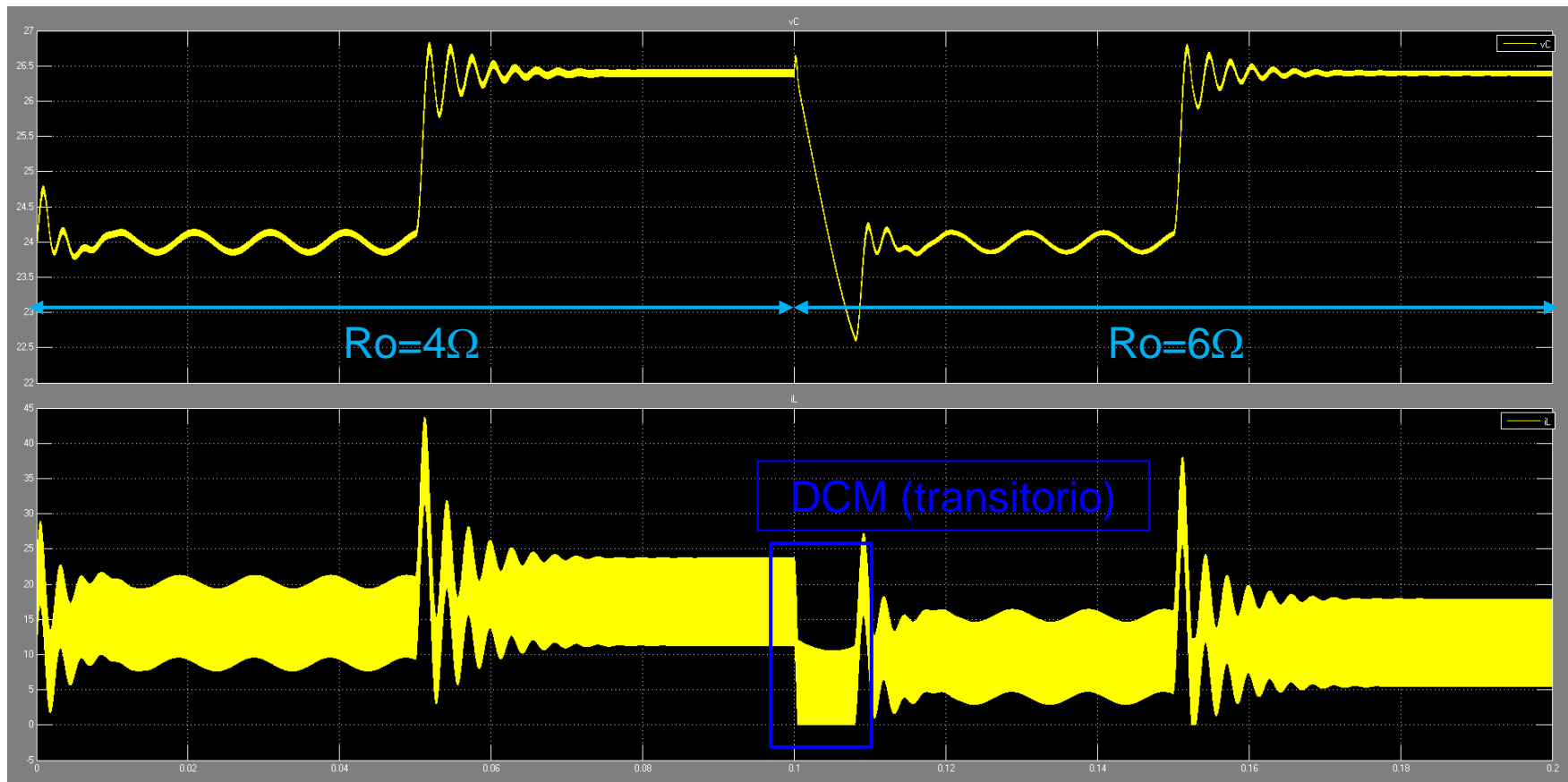




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

Caso 2

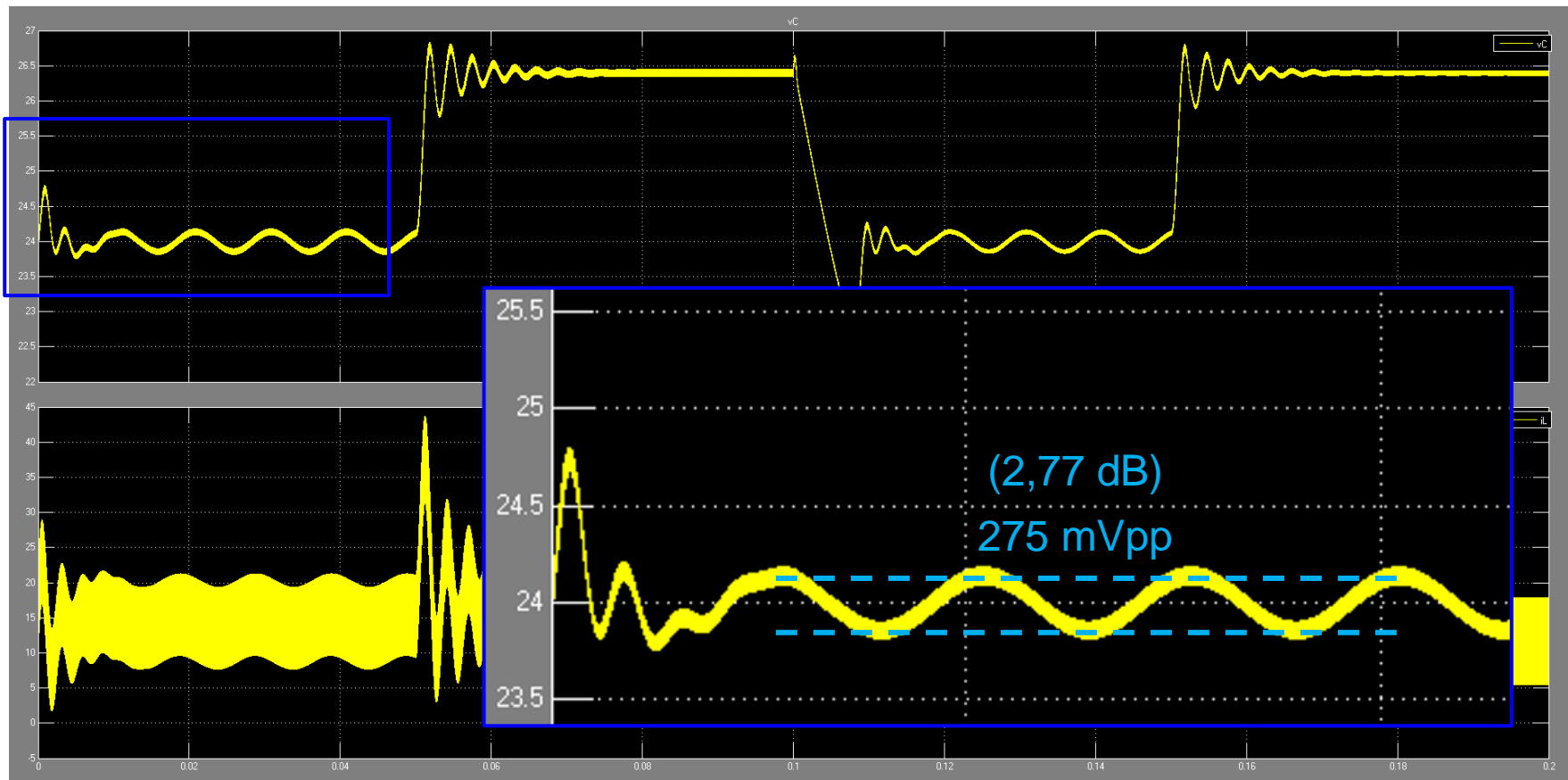




Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

Caso 2





Convertidores DC/DC. Control de un convertidor boost

Simulaciones

Caso 2

