1. Modulación PWM y realimentación

1.1. Amplificador de error

a) Valores de $R2$ y $R3$ si $V_o = 25VDC$

Como V_{FB} es el divisor de tensión de V_o y se busca cumplir $V_{FB} = V_{REF}$, se obtiene:

$$V_{FB} = V_{REF} = V_o \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} \tag{1}$$

Depejando de la ecuación (1) y suponiendo que $R_3 = 10k\Omega$, obtenemos:

$$R_2 = R_3 \cdot \left(\frac{V_o}{V_{REF}} - 1 \right) = 90k\Omega \tag{2}$$

b) Transferencia $\frac{\widetilde{v_c}(s)}{\widetilde{v_o}(s)}$ para pequeñas variaciones

La transferencia a pequeñas variaciones del amplificador de error se obtiene analizando el inversor con $Z_1 = R_2$ y $Z_2 = R_6 + \frac{1}{sC}$. Esto se debe a que a pequeñas variaciones, tanto la fuente de tensión V2 como la funete de corriente I1 se pasivan.

$$\frac{\widetilde{v_c}(s)}{\widetilde{v_o}(s)} = -\frac{R_6 + \frac{1}{s \cdot C_2}}{R_2} = -\frac{R_6}{R_2} \cdot \frac{s + \frac{1}{C_2 \cdot R_6}}{s} \tag{3}$$

c) Amplificador de error como bloque de un sistema LTI. Ganancia, Polos y Ceros

Reacomodando la ecuación (3), el diagrama en bloque resulta:

$$\boxed{-\frac{R_6}{R_2} \cdot \frac{s+\frac{1}{C_2 \cdot R_6}}{s}}$$

El amplificador de error cuenta con una ganacia $G_{amp} = \frac{R_6}{R_2} = \frac{1}{9}$, un polo en $s = -\frac{1}{C_2 \cdot R_6} = -1000$ y un cero en el origen.

d) Conjunto fuente de corriente I1 y R7

1.2. Modulación PWM

a) Características de la señal triangular

b) Duty cycle máximo

c) Modulador PWM como bloque de un sistema LTI.

1.3. Convertidor DC/DC

a) Función transferencia del convertidor

Considerando el diodo y el MOS como ideales, comenzamos analizando el espacio de estados.
Durante el tiempo que la llave se encuentra cerrada (SW=ON) obtenemos:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \dot{i_{L_1}} \\ \dot{V_{C_1}} \end{bmatrix}}_{\dot{X}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{R_L \cdot C_1} \end{bmatrix}}_{A_{on}} \underbrace{\begin{bmatrix} i_{L_1} \\ V_{C_1} \end{bmatrix}}_{X} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \end{bmatrix}}_{B_{on}} V_1 \tag{4}$$

$$V_o = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}}_{C_{on}} \begin{bmatrix} i_{L_1} \\ V_{C_1} \end{bmatrix} \tag{5}$$

Por otro lado, durante el tiempo que la llave se encuentra abierta (SW=OFF), se obtiene que:

$$A_{off} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L_1} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_L \cdot C_1} \end{bmatrix} \qquad B_{off} = B_{on} \qquad C_{off} = C_{on} \tag{6}$$

A continucación se calcula el promedio ponderado de las matrices de estado:

$$\overline{A} = A_{on} \cdot d + A_{off} \cdot (1-d) \qquad \overline{A} = A_{on} = A_{off} \qquad \overline{B} = B_{on} = B_{off} \tag{7}$$

Finalmente, utilizando la ecuación provista por la cátedra en la clase de Transferencias y reemplazando los valores obtenidos anteriormente obtenemos la transferencia deseada.

$$\frac{\widetilde{v_o}(s)}{\widetilde{d}(s)} = \overline{C} \cdot (s \cdot I - \overline{A})^{-1} \left[(A_{on} - A_{off})X(s) + (B_{on} - B_{off})V_1 \right] + (C_{on} - C_{off})X(s) \tag{8}$$

Donde X(s) es el vector en estado estacionario:

$$X(s) = \begin{bmatrix} i_{L_1} \\ V_{C_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{I_o}{1-d} \\ \frac{V_1}{1-d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_1}{R_L(1-d)^2} \\ \frac{V_1}{1-d} \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\frac{\widetilde{v_o}(s)}{\widetilde{d}(s)} = \frac{V_1}{(d-1)^2} \cdot \frac{\frac{(d-1)^2}{L_1 \cdot C_1} - s}{s^2 + \frac{1}{R_L \cdot C_1} s + \frac{(d-1)^2}{L_1 \cdot C_1}} \tag{10}$$

El sistema cuenta con dos polos complejos conjugados en el semi-plano izquierdo y un cero real en el semi-plano derecho.

b) Valor real del Duty cycle

c) Tiempos de establecimiento ante los cambios de carga

d) Tiempos de establecimiento con $R_6 = 22k\Omega$ y $R_6 = 1k\Omega$