

$$G_t(s) = \frac{1}{(s+9,98) \times (s+1) \times (s+0,02004)} \quad (15) \quad (4)$$

Las especificaciones de desempeño exigidas a este sistema, en lazo cerrado son: $\zeta_{sp} = 0$

$$M_p \leq 5\% \quad \text{y} \quad t_s \approx 100 \text{ seg.}$$

A partir de estos parámetros se calculan los siguientes valores de los polos dominantes a lazo cerrado:

$$\zeta = 0,69 \quad \sigma_d = 0,04 \text{ rad/s} \quad \omega_{nd} = 0,0579 \text{ r/s}$$

$$\omega_{dd} = 0,04194 \text{ r/s}$$

Se calcula el periodo de muestreo para el diseño de un controlador PI predictivo en el plano- z se toma el periodo de oscilación correspondiente a la frec. angular ω_{dd} y un número de muestras $N_d = 50$ muestras:

$$t_d = \frac{2\pi}{\omega_{dd}} = 149,78 \text{ seg.} \quad (16)$$

$$T = \frac{t_d}{N_d} = 2,9957 \text{ seg.} \quad (17)$$

Con este periodo de muestreo, la planta discreta resulta

$$G_{pd}(z) = \frac{0,19106 \times (z+0,4477) \times (z+0,0006167)}{z \times (z-0,9417) \times (z-0,05)} \quad (18)$$

ϕ_1 ϕ_2 ϕ_3

Las especificaciones en tiempo continuo resultan (5) en el sig. par de polos complejos conjugados en el plano-s:

$$S_{1,2} = -0,04 \pm j0,0419 \quad (19)$$

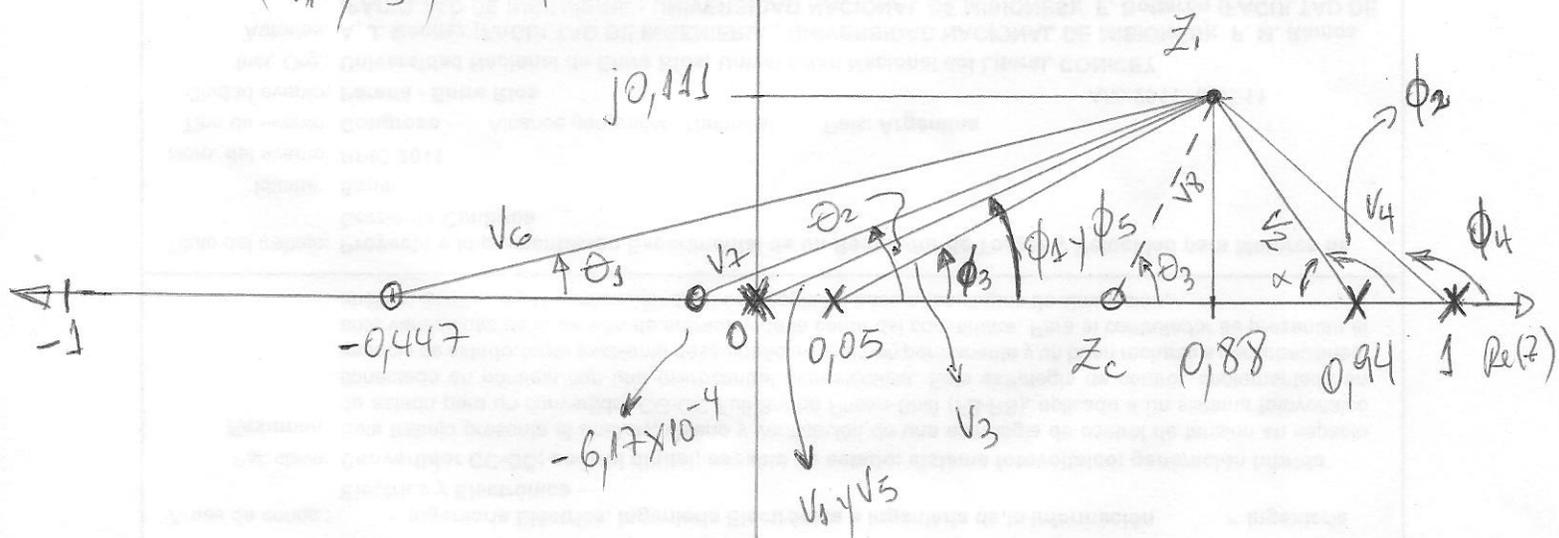
y para el periodo de muestreo seleccionado el par de polos deseados de lazo cerrado en el plano-z se ubican en:

$$Z_{1,2} = 0,88 \pm j0,111 \quad (20)$$

Con las F.T (12) y (18), la F.T.L.A resulta:

$$G_{la}(z) = K_1 \times \frac{\theta_1 y v_6}{(z + 0,4477)} \times \frac{\theta_2 y v_7}{(z + 0,0006167)} \times \frac{\theta_3 y v_8}{(z - z_c)} \quad (21)$$

$$\rightarrow z^2 \times \frac{(\phi_1 y \phi_5)}{(v_1 y v_5)} \times \frac{\phi_4}{v_4} \times \frac{(\phi_2 y \phi_3)}{(v_2 y v_3)} \times \frac{(\phi_4)}{(v_3 y \phi_3)}$$



Polos Planta	{	$\bar{V}_1 = \text{Re}(z_1) + j \text{Im}(z_1)$	{	Polos controlador	$\bar{V}_4 = [1 - \text{Re}(z_1)] + j \text{Im}(z_1)$
		$\bar{V}_2 = [\text{pp}_2 - \text{Re}(z_1)] + j \text{Im}(z_1)$			$\bar{V}_5 = \text{Re}(z_1) + j \text{Im}(z_1)$
		$\bar{V}_3 = [\text{Re}(z_1) - \text{pp}_3] + j \text{Im}(z_1)$			

$$\bar{V}_6 = \left[\text{Re}(z_1) + \text{abs}(zz_1) \right] + j \text{Im}(z_1) \quad \left. \begin{array}{l} \text{ceros} \\ \text{plants} \end{array} \right\} \textcircled{6}$$

$$\bar{V}_7 = \left[\text{Re}(z_1) + \text{abs}(zz_2) \right] + j \text{Im}(z_1)$$

~~El~~ El cero del compensador puede estar ubicado entre 0 y 1 o entre 0 y -1 .

Aunque en primera instancia z' se ubicará entre 0 y 1 , parte derecha del eje $\text{Re}(z)$ del plano z .

Esto significa que el ángulo θ_3 es mayor que el ángulo del vector, entre el origen y z_1 , respecto al eje $\text{Re}(z)$. P' el caso con los ángulos ϕ_1 y ϕ_5

o sea:

$$\phi_1 = \text{tg}^{-1} \left[\frac{\text{Im}(z_1)}{\text{Re}(z_1)} \right]$$

$$\gamma \quad \theta_3 = \text{tg}^{-1} \left[\frac{\text{Im}(z_1)}{[\text{Re}(z_1) - z_c]} \right] \quad (22)$$

$$\Rightarrow \text{tg}(\theta_3) = \frac{\text{Im}(z_1)}{\text{Re}(z_1) - z_c} \quad \text{o} \quad \text{tg}(\theta_3) \cdot \text{Re}(z_1) - z_c \text{tg}(\theta_3) = \text{Im}(z_1)$$

$$\Rightarrow -z_c \text{tg}(\theta_3) = \text{Im}(z_1) - \text{Re}(z_1) \text{tg}(\theta_3)$$

$$\Rightarrow z_c = \text{Re}(z_1) - \left[\frac{\text{Im}(z_1)}{\text{tg}(\theta_3)} \right] \quad (23)$$

Cálculo de los ángulos de aporte en z_1 :

(7)

$$\phi_1 = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(z_1)}{\operatorname{Re}(z_1)} \right] = 7,2^\circ$$

$$\phi_2 = 180^\circ - \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(z_1)}{[PP_2 - \operatorname{Re}(z_1)]} \right] = 119,01^\circ$$

$$\phi_3 = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(z_1)}{[\operatorname{Re}(z_1) - PP_3]} \right] = 7,63^\circ$$

$$\phi_4 = -\operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(z_1)}{1 - \operatorname{Re}(z_1)} \right] + 180^\circ = 137,16^\circ$$

$$\phi_5 = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(z_1)}{\operatorname{Re}(z_1)} \right] = 7,2^\circ$$

polos a
 z_1

$$\theta_1 = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(z_1)}{\operatorname{Re}(z_1) + \operatorname{abs}(z_1 z_1)} \right] = 4,78^\circ$$

$$\theta_2 = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\operatorname{Im}(z_1)}{\operatorname{Re}(z_1) + \operatorname{abs}(z_1 z_2)} \right] = 7,19^\circ$$

ceros a
 z_1

La deficiencia de fase de la planta y compensador en z_1 está dada por la condición de fase:

$$\text{deficiencia}_g = \theta_1 + \theta_2 - \phi_1 - \phi_2 - \phi_3 - \phi_4 - \phi_5$$

$$\text{deficiencia-}\gamma = -266,22^\circ$$

(8)

Como es menor γ 360° , la condición de fase se iguala $\pm 180^\circ$ y el ángulo complementario resulta igual a:

$$\theta_3 = -[-266,22^\circ + 180^\circ] = 86,22^\circ$$

A partir de la ec. (23) obtenemos la posición del cero del compensador

$$Z_c = 0,88 - \frac{0,111}{\text{tg}(86,22^\circ)} = 0,8727 \text{ r/s}$$

Con el valor de Z_c , puede formarse el vector de este cero al punto deseado Z_1 ; \bar{V}_8 :

$$\bar{V}_8 = [\text{Re}(Z_1) - Z_c] + j \text{Im}(Z_1)$$

$$\bar{V}_8 = 0,0073 + j 0,111$$

Finalmente puede aplicarse la condición de magnitud y el cálculo de K_1 en la ec. (12):

De la ec. (21) se tiene que:

$$K_1 \times 0,19106 \times |V_6|_{z_1} \times |V_7|_{z_1} \times |V_8|_{z_1} = 1$$

$$|V_1|_{z_1} \times |V_5|_{z_1} \times |V_4|_{z_1} \times |V_2|_{z_1} \times |V_3|_{z_1}$$

$$K_1 = \frac{|V_1| |V_5| |V_4| |V_2| |V_3|}{0,19106 \times |V_6| \times |V_7| \times |V_8|} = 0,544$$

$$Z_c = \frac{K_2}{K_1} \Rightarrow K_2 = K_1 \times Z_c$$