

RESPUESTA EN FRECUENCIA: DIAGRAMAS DE BODE

Un diagrama de Bode consta de dos trazados, uno el diagrama del logaritmo del módulo de la función de transferencia senoidal y el otro, el diagrama del ángulo de fase. Los dos en función de la frecuencia en escala logarítmica.

Margen de ganancia (MG): es la magnitud del recíproco de la función de transferencia de lazo abierto, calculada a la frecuencia de cruce de fase (ν_π), mide cuanto se puede incrementar la ganancia del sistema, antes que se haga inestable.

$$MG = \frac{1}{|G(j\nu_\pi)|} \qquad MG(db) = 20 \log \frac{1}{|G(j\nu_\pi)|}$$

Frecuencia de cruce de fase (ν_π): Es la frecuencia a la cual el ángulo de fase de la función de transferencia de lazo abierto alcanza -180° , es decir:

$$\theta_c = \angle G(j\nu_\pi) = -180^\circ$$

Margen de fase (ϕ_{PM}): Se define como la suma de 180° al ángulo θ_c , medido a la frecuencia de cruce de ganancia.

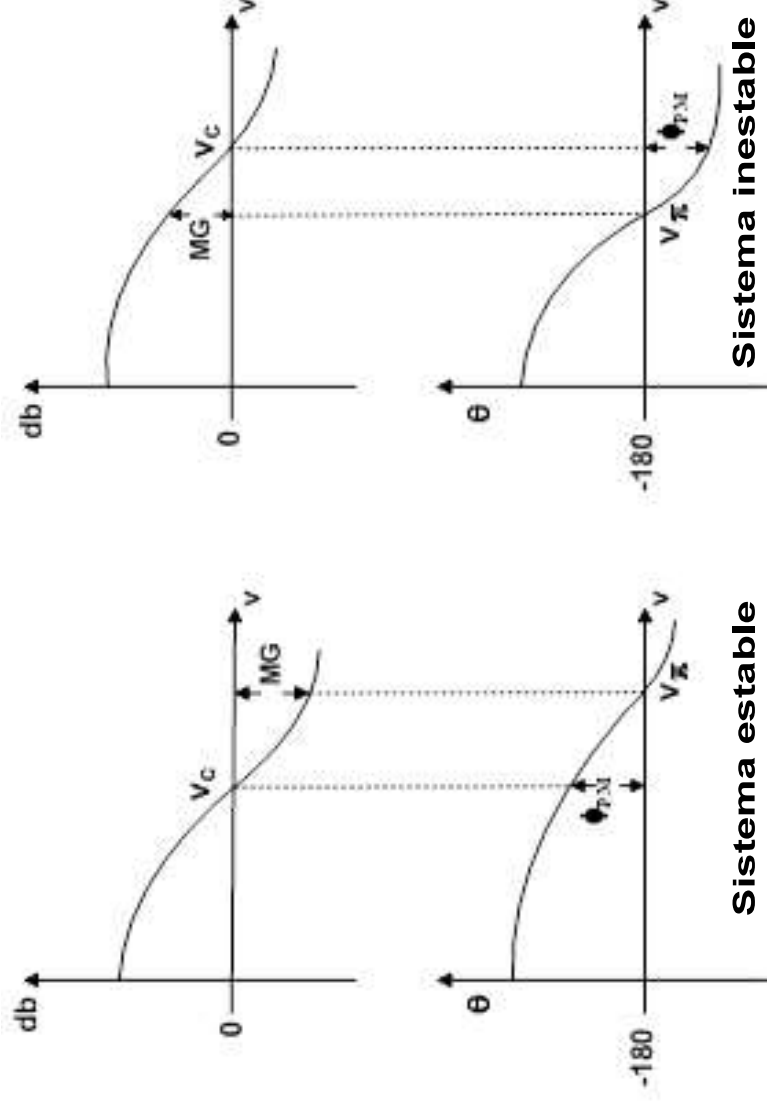
$$\phi_{PM} = 180^\circ + \theta_c$$

MÁRGEN DE GANANCIA Y MARGEN DE FASE

Frecuencia de cruce de ganancia (ν_c): Se define como la frecuencia a la cual la magnitud de la función de transferencia de lazo abierto es igual a 1 es decir 0 db.

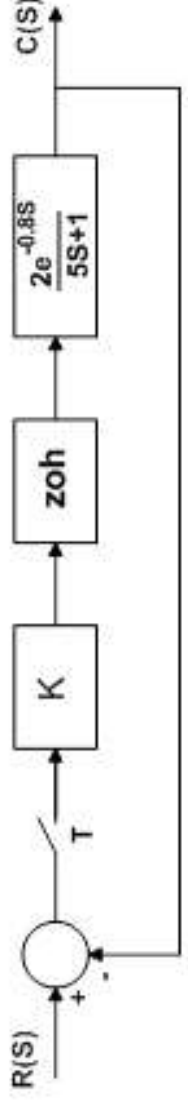
$$|G(j\nu_c)| = 1 \qquad 20 \log |G(j\nu_c)| = 0$$

La figura indica cómo determinar, el margen de ganancia y el margen de fase.



EJEMPLO DIAGRAMA DE BODE

Para el sistema de control digital de la figura con $T = 0.8\text{ s}$, obtener el diagrama de Bode correspondiente para $K = 1$ y determinar: a) El margen de ganancia y el margen de fase. b) El valor crítico de K para estabilidad del sistema.



SOLUCIÓN: utilizando la transformada z modificada se obtiene:

$$HG(z) = (1 - z^{-1})z^{-N}\mathfrak{I}_m \left\{ \frac{G_p(s)}{s} \right\} \quad \begin{cases} N = \frac{\theta'}{T} = \frac{0.8}{0.8} = 1 \\ \theta = \theta' - NT = 0 \\ m = 1 - \frac{\theta}{T} = 1 \end{cases}$$

$$HG(z) = (1 - z^{-1})z^{-1}\mathfrak{I}_m \left\{ \frac{2}{s(5s + 1)} \right\} = 2(1 - z^{-1})z^{-1}\mathfrak{I}_m \left\{ \frac{0.2}{s(s + 0.2)} \right\}$$

$$HG(z) = \frac{0.2957}{z(z - 0.8521)}$$

PROGRAMA EN MATLAB PARA EL DIAGRAMA DE BODE

```
clc
n=input('Entre el numerador continuo n=');
d=input('Entre el denominador continuo d=');
theta=input('Entre el retardo theta=');
T=input('Entre el periodo de muestreo T=');
G=tf(n,d,'iodelay',theta)
GD=c2d(G,T) % Discretiza la funcion
get(GD);% % Muestra propiedades de la funcion
w=0.01:0.05:3; % Rango de frecuencia deseado (opcional)
[mag,fas,w]=bode(GD,w); %Calcula la magnitud y el ángulo
imargin(mag,fase,w) % Hace la gráfica
grid
[Kmax,PHIPM,wpi,wc]=imargin(mag,fase,w) % Calcula Kmax
```

DIAGRAMA DE BODE PARA EL EJEMPLO

