PMR3306 – Sistemas Dinâmicos II para Mecatrônica
Escola Politécnica - USP

Profa. Larissa Driemeier

# Regras básicas... Diagrama de Bode

| Termo | Magnitude | Fase |
|---|---|---|
| Constante: $G(j\omega) = K$ | $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = 20\log\lvert K\rvert$ | $\angle G(j\omega) = 0°$ para $K > 0$<br>$\angle G(j\omega) = \pm 180°$ para $K < 0$ |
| Polo na origem (integral): $G(j\omega) = \frac{1}{j\omega}$ | $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = -20\log\omega$ dB | $\angle G(j\omega) = -\angle\frac{j}{\omega} = -90°$ |
| Zero na origem (derivativo): $G(j\omega) = j\omega$ | $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = 20\log\omega$ dB | $\angle G(j\omega) = \angle j\omega = 90°$ |
| Polo real: $G(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$ | $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = -20\,log\sqrt{1+\omega^2\tau^2}$ dB<br>• Baixas frequências: assintótica em 0dB<br>• Altas frequências: assintótica em -20dB/década<br>• Conexão das assintóticas em $\omega = 1/\tau$ | $\angle G(j\omega) = -\operatorname{atan}\omega\tau$<br>• Baixas frequências: assintótica em $0°$<br>• Altas frequências: assintótica em $-90°$<br>• Conexão linear das assintóticas de $\omega = 0{,}1/\tau$ até $\omega = 10/\tau$ |
| Zero real: $G(j\omega) = 1 + j\omega\tau$ | $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = 20\,log\sqrt{1+\omega^2\tau^2}$ dB<br>• Baixas frequências: assintótica em 0dB<br>• Altas frequências: assintótica em +20dB/década<br>• Conexão das assintóticas em $\omega = 1/\tau$ | $\angle G(j\omega) = \operatorname{atan}\omega\tau$<br>• Baixas frequências: assintótica em $0°$<br>• Altas frequências: assintótica em $+90°$<br>• Conexão linear das assintóticas de $\omega = 0{,}1/\tau$ até $\omega = 10/\tau$ |
| Polo complexo: $G(j\omega) = \frac{1}{1 + 2\zeta\frac{j\omega}{\omega_n} + \frac{(j\omega)^2}{\omega_n^2}}$ | $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = -20\,log\sqrt{\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$ dB<br>• Baixas frequências: assintótica em 0dB<br>• Altas frequências: assintótica em -40dB/década<br>• Conexão das assintóticas em $\omega = \omega_n$<br>• Desenho do pico em $\omega_r$, com amplitude $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = -20\log 2\zeta\sqrt{1-\zeta^2} \cong -20\log 2\zeta$ | $\angle G(j\omega) = -\operatorname{atan}\left[\frac{2\zeta\frac{\omega}{\omega_n}}{1-\frac{\omega^2}{{\omega_n}^2}}\right]$<br>• Baixas frequências: assintótica em $0°$<br>• Altas frequências: assintótica em $-180°$<br>• Conexão linear das assintóticas de $\omega = \omega_n 10^{-\zeta}$ até $\omega = \omega_n 10^{\zeta}$ |
| Zero complexo: $G(j\omega) = 1 + 2\zeta\frac{j\omega}{\omega_n} + \frac{(j\omega)^2}{\omega_n^2}$ | $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = 20\log\sqrt{\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left(2\zeta\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$ dB<br>• Baixas frequências: assintótica em 0dB<br>• Altas frequências: assintótica em 40dB/década<br>• Conexão das assintóticas em $\omega = \omega_n$<br>• Desenho da queda em $\omega_r$, com amplitude $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = +20\log 2\zeta\sqrt{1-\zeta^2} \cong +20\log 2\zeta$ | $\angle G(j\omega) = \operatorname{atan}\left[\frac{2\zeta\frac{\omega}{\omega_n}}{1-\frac{\omega^2}{{\omega_n}^2}}\right]$<br>• Baixas frequências: assintótica em $0°$<br>• Altas frequências: assintótica em $+180°$<br>• Conexão linear das assintóticas de $\omega = \omega_n 10^{-\zeta}$ até $\omega = \omega_n 10^{\zeta}$ |
| Retardo no transporte: $G(j\omega) = e^{-j\omega T}$ | Sem mudança no módulo: $\lvert G(j\omega)\rvert_{dB} = 0$ dB | $\angle G(j\omega) = \omega T$ (radianos)<br>$\angle G(j\omega) = \frac{180}{\pi}\omega T$ (graus)<br><br>Em plotagem log fase aparenta decaimento exponencial. |

Para zeros e polos complexos, assume-se que picos para $\zeta > 0{,}5$ podem ser desprezados. Entretanto, para $0 < \zeta < 0{,}707$ os picos devem ser desenhados em $\omega_r = \omega_n\sqrt{1-2\zeta^2}$.

Uma vez que a curva aproximada tenha sido desenhada, a curva real pode ser obtida adicionando-se as correções a cada frequência de canto e às frequências uma oitava abaixo e acima das frequências de canto.Para os fatores de primeira ordem, as correções são $\pm 3\ dB$ na frequência de canto e $\pm 1\ dB$ nas oitavas acima e abaixo da frequencia de canto. As correções necessárias para o fator quadrático referem-se ao pico na frequência de canto, já considerado na tabela acima.