

CONTROLE E SERVOMECANISMOS

Engenharia da Computação

Aula 22 - “Resposta em Frequência V: Projeto de Compensadores”

Prof. Dr. Victor Leonardo Yoshimura

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Computação

15 de julho de 2017



1 Introdução

2 Projeto de Compensadores no Domínio da Frequência

1 Introdução

2 Projeto de Compensadores no Domínio da Frequência

Introdução

- Se a compensação introduzida não for tipo P, o DN altera seu formato;
- Assim, é mais conveniente o uso de diagramas de Bode para projetar compensadores;
- Características desejadas na resposta em malha aberta:
 - alto ganho na região de baixa frequência;
 - cruzamento de ganho com inclinação de -20dB por década;
 - atenuação significativa na região de alta frequência.

Observação

Os objetivos das compensações a serem apresentadas aqui são as mesmas na abordagem pelo LR.

1 Introdução

2 Projeto de Compensadores no Domínio da Frequência

Compensação em Avanço de Fase I

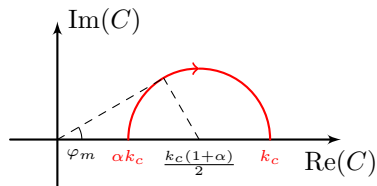
Este compensador foi apresentado (17.1) e será reescrito como:

$$C(s) = \alpha k_c \frac{Ts + 1}{\alpha Ts + 1}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (22.1)$$

Observe que $G(j0) = \alpha k_c$ e que $G(j\infty) = k_c$. Para o restante de seu DN:

$$\begin{aligned} \left| G(j\omega) - \frac{k_c(1+\alpha)}{2} \right| &= k_c \left| \alpha \frac{j\omega T + 1}{j\alpha\omega T + 1} - \frac{1+\alpha}{2} \right| \\ &= \frac{k_c}{2} \left| \frac{2\alpha + j2\alpha\omega T - 1 - j\alpha\omega T - \alpha - j\alpha^2\omega T}{j\alpha\omega T + 1} \right| \\ &= \frac{k_c(1-\alpha)}{2} \left| \frac{j\alpha\omega T - 1}{j\alpha\omega T + 1} \right| = k_c \frac{1-\alpha}{2} \quad (22.2) \end{aligned}$$

Compensação em Avanço de Fase II

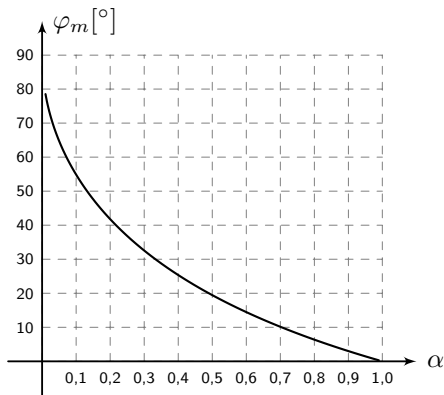


O avanço máximo de fase é:

$$\varphi_m = \arcsen\left(\frac{1-\alpha}{1+\alpha}\right) \quad (22.3)$$

A frequência onde φ_m ocorre é:

$$\omega_m = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}} \quad (22.4)$$



Compensação em Avanço de Fase III

O procedimento para o projeto segue os passos:

- i) Determine o ganho (αk_c) necessário para a exigência de erro estático;
- ii) Plote os diagramas de Bode e avalie a margem de fase;
- iii) Determine α a partir de (22.3);
- iv) Escolha a nova frequência de cruzamento de ganho com:

$$\|G(j\tilde{\omega}_g)\| = 10 \log \alpha \quad (22.5)$$

- v) Use (22.4) para determinar T ;
- vi) Determine k_c com os resultados anteriores.

Exemplo

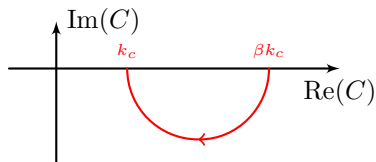
Projete um compensador avanço para $K_v \geq 20$, $MF \geq 50^\circ$ e $MG \geq 10\text{dB}$, para a planta:

$$G(s) = \frac{4}{s(s+2)}$$

Compensação em Atraso de Fase I

Este compensador foi apresentado (17.3) e será reescrito como:

$$C(s) = \beta k_c \frac{Ts + 1}{\beta Ts + 1}, \quad \beta > 1 \quad (22.6)$$



Observação

O atraso mínimo deste compensador não é de interesse pois, se usado de forma análoga à compensação avanço, a margem de fase seria reduzida.

Compensação em Atraso de Fase II

O procedimento para o projeto segue os passos:

- i) Determine o ganho (βk_c) necessário para a exigência de erro estático;
- ii) Plote os diagramas de Bode e determine a frequência ω_{gdes} que teria a MF desejada (com uma folga);
- iii) Escolha o polo e o zero do compensador em valores bem abaixo de ω_{gdes} (pelo menos, uma década);
- iv) Determine a atenuação para levar o ganho a 0dB em ω_{gdes} com:

$$||G(j\omega_{gdes})|| = 20 \log \beta \quad (22.7)$$

- v) Determine k_c .

Exemplo

Projete um compensador atraso para $K_v \geq 5$, $MF \geq 40^\circ$ e $MG \geq 10\text{dB}$, para a planta:

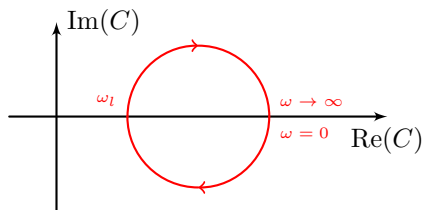
$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(0,5s+1)}$$

Compensação em Avanço-Atraso de Fase I

Sua formulação pode ser escrita como a combinação de (22.1) e (22.6):

$$C(s) = \alpha\beta k_c \frac{T_1s + 1}{\alpha T_1s + 1} \frac{T_2s + 1}{\beta T_2s + 1}, \quad 0 < \alpha < 1 \text{ e } \beta > 1 \quad (22.8)$$

Para $\alpha\beta = 1$:



com:

$$\omega_l = \frac{1}{\sqrt{T_1 T_2}} \quad (22.9)$$

Observação

Devido às exigências de projeto, deve-se fazer $T_2 \gg T_1$.

Comentários sobre os Compensadores

- 1º) O compensador avanço realiza a compensação pelo seu avanço de fase, aumentando a MF .
- 2º) O compensador atraso o faz pela atenuação em altas frequências, aumentando a MG .
- 3º) O compensador avanço tende a aumentar a largura de banda, reduzindo o tempo de acomodação, porém, pode introduzir ruído no canal de controle;
- 4º) O compensador avanço requer maior ganho para corrigir o erro em regime.

Exemplo

Projete um compensador avanço-atraso para $K_v \geq 10$, $MF \geq 50^\circ$ e $MG \geq 10\text{dB}$, para a planta:

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+2)}$$