

Aula 7 - Laboratório de Controle - 2022/1

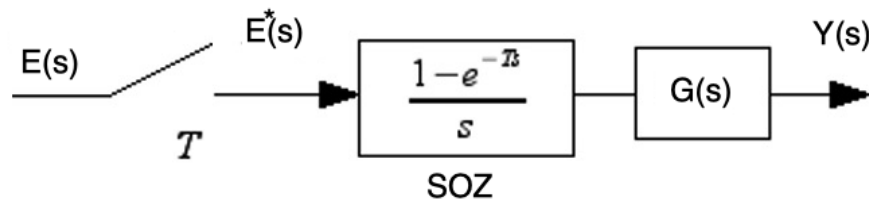
Sistemas discretos: discretização e estabilidade

Nesta aula um sistema contínuo será discretizado e analisado em malha aberta e malha fechada. Uma FT de ordem 2 será utilizada para as análises.

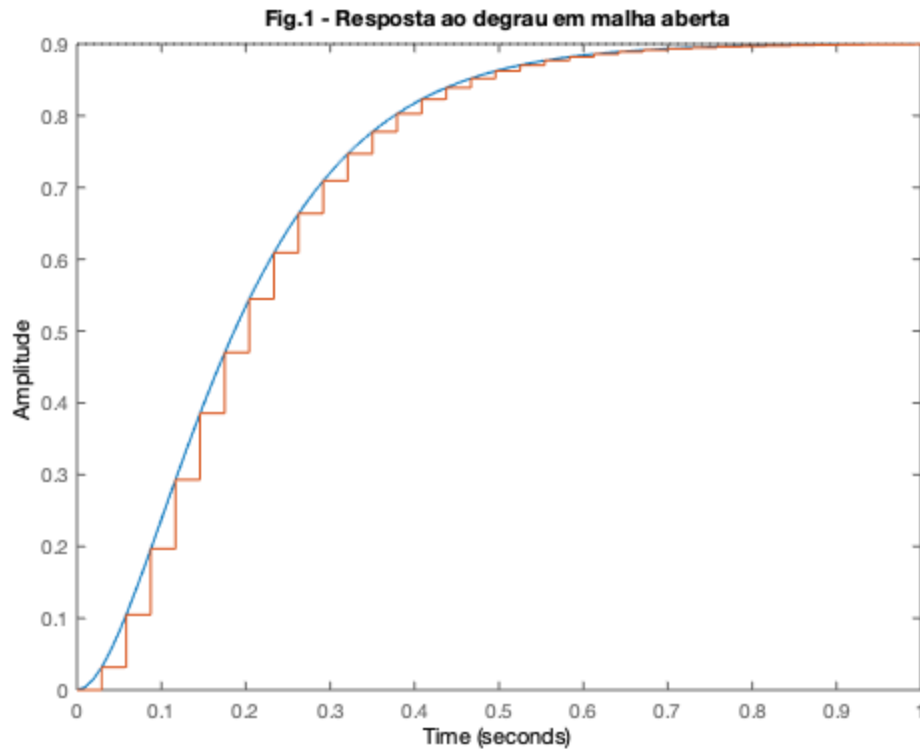
Atividade 1 - Discretização da FT de malha aberta

Dada a FT contínua $G(s)$, a FT discreta $G(z)$ é obtida de $G(z) = Z\left[\frac{1 - e^{-Ts}}{s} G(s)\right]$. Nos instantes de amostragem, a saída discretizada e a contínua são iguais.

O tempo de amostragem usado aqui será $1/20$ do tempo de estabelecimento t_s , que equivale a $1/5$ da constante de tempo. Logo, o tempo de amostragem $T = t_s/20$ será usado para obter a FT discretizada $G_d(G(z))$.



Na figura 1 é mostrada a resposta ao degrau para o sistema contínuo e para o sistema discreto. Nos instantes de amostragem as duas saídas são iguais. Embora o sistema seja de ordem 2, sua resposta pode ser aproximada por um sistema de ordem 1.



1.1 Sabendo que a discretização mapeia um polo em $s = -a$ mapeia o polo do plano s para o polo do plano z em $z = e^{-aT}$, ou seja, $G(z) = Z\left[\frac{1}{s+a}\right] = \frac{z}{z - e^{-aT}}$ a compare os polos de g e de gd .

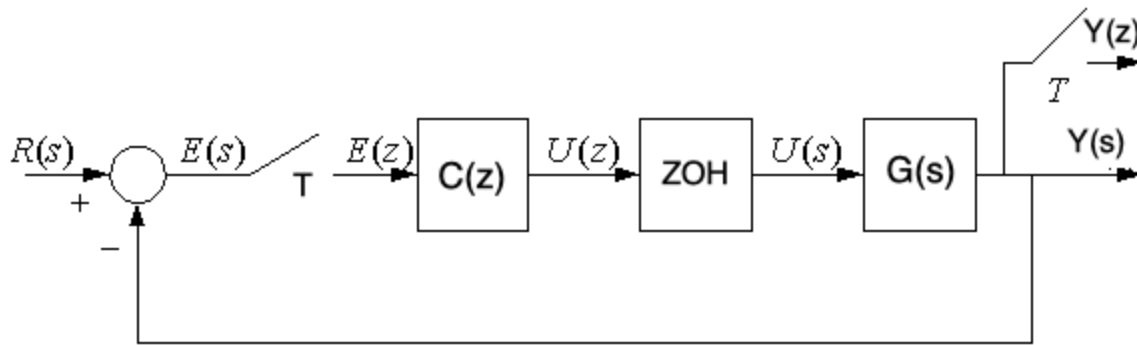
1.2 Sabendo que sistemas contínuos com resposta rápida têm polos no semiplano esquerdo longe da origem, onde estão os polos de sistemas discretos rápidos? (Dica: usar a expressão de 1.1).

Atividade 2 - Avaliação do efeito do ganho no caso contínuo e no caso discreto

Em malha fechada, o controlador discreto $C(z)$ é aplicado ao sistema contínuo dado pela FT $G(s)$. Um segurador de ordem zero (SOZ) mantém o sinal de controle $U(s)$ aplicado constante entre instantes de amostragem T .

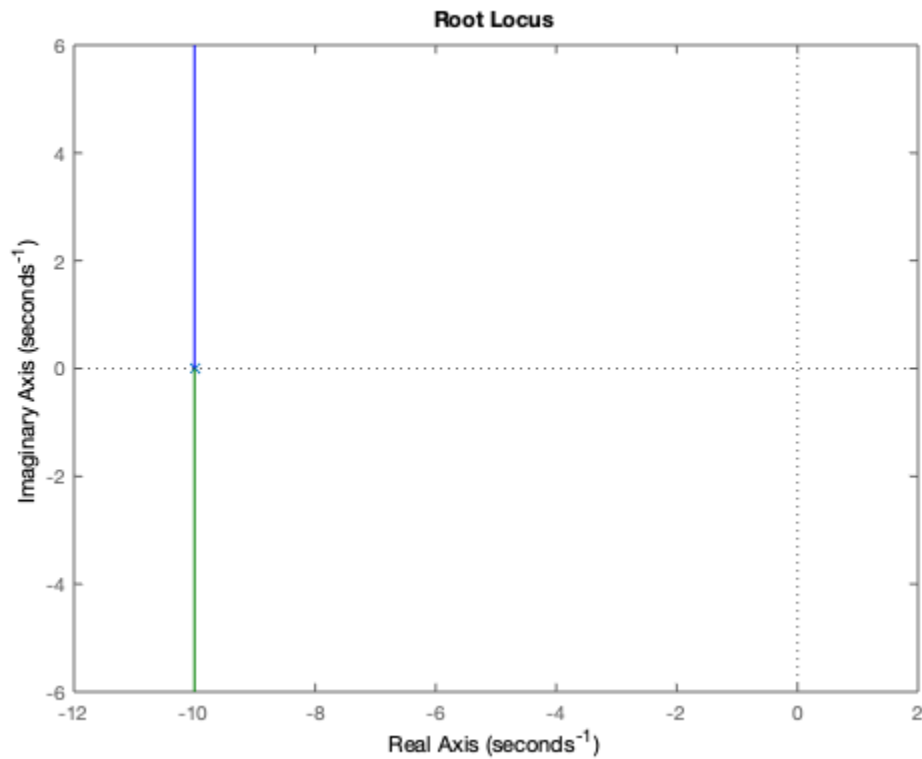
A função de transferência discreta de malha fechada para o diagrama abaixo é dada por

$$M(z) = \frac{C(z)G(z)}{1 + C(z)G(z)}, \text{ com } G(z) = Z\{SOZ * G(s)\}.$$



Nesta atividade se avalia a diferença do comportamento do sistema contínuo e discreto em malha fechada quando o ganho varia, fazendo, $C(z) = K$.

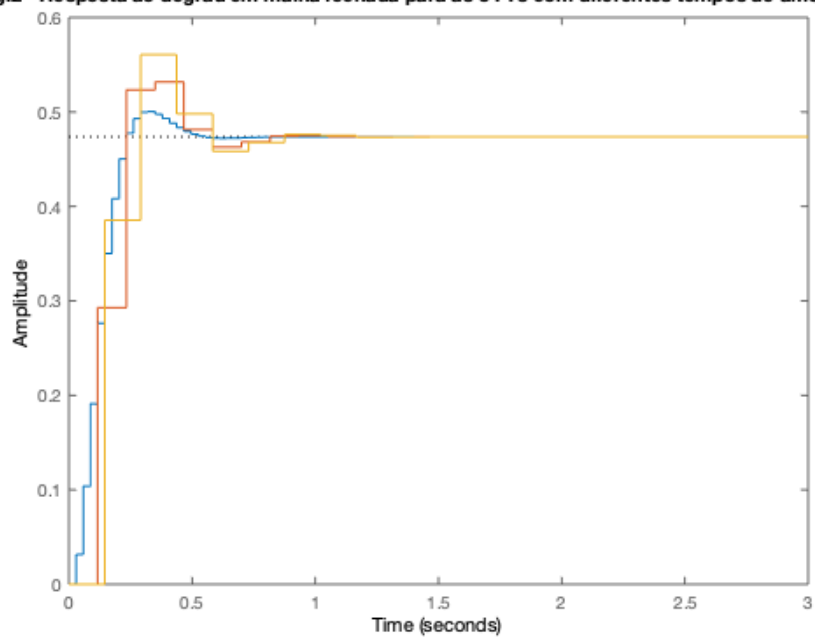
2.1 Use o comando rlocus e avalie o efeito do aumento do ganho K nos polos do sistema contínuo em malha fechada, ou seja, o efeito de K em $1 + KG(s) = 0$.



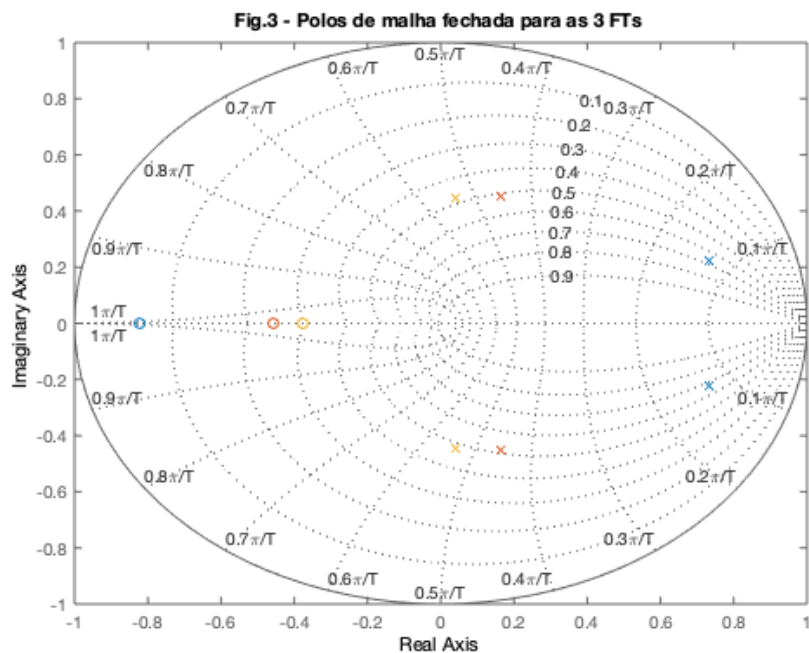
Neste LR se observa o que ocorre com os dois polos de malha fechada quando o ganho K varia de zero a infinito.

2.2 Use o comando rlocus e avalie o efeito do aumento do ganho K nos polos do sistema discreto em malha fechada, ou seja, o efeito de K em $1 + KG(z) = 0$ (gd é $G(z)$).

Fig.2 - Resposta ao degrau em malha fechada para as 3 FTs com diferentes tempos de amostragem



A figura abaixo mostra a localização dos polos de malha fechada para os 3 tempos de amostragem escolhidos.



3.1 Compare a localização dos polos e a resposta ao degrau e explique a relação da localização dos polos no plano z e a respectiva resposta ao degrau em termos de sobre-elevação. Dica: observe as curvas de amortecimento constante.

3.2 Faça um gráfico de barras dos tempos de amostragem versus a sobre-elevação para os três casos acima, escrevendo as linhas de código abaixo.

Atividade 4 - Avaliação da sintonia de um controlador contínuo discretizado

Usualmente se projeta os controladores usando FTs contínuas, e depois se discretiza o controlador para a implementação controlando uma planta contínua, como mostrado na figura da atividade 2.

Os comandos abaixo aproximam a FT de ordem 2 por uma de ordem 1, como feito na aula 6. A seguir, é feita a sintonia de um controlador PI usando o método lamba, com um valor de lambda que deve ser escolhido e justificado (ver relatório 6). Lembre-se que lambda é a constante de tempo de malha fechada, e deve ser menor que a constante de tempo de malha aberta.

g1 =

$$\frac{0.8973 \exp(-0.05s)}{0.16s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

C =

$$\frac{1}{K_p + K_i \frac{1}{s}}$$

with $K_p = 1.03$, $K_i = 5.57$

Continuous-time PI controller in parallel form.

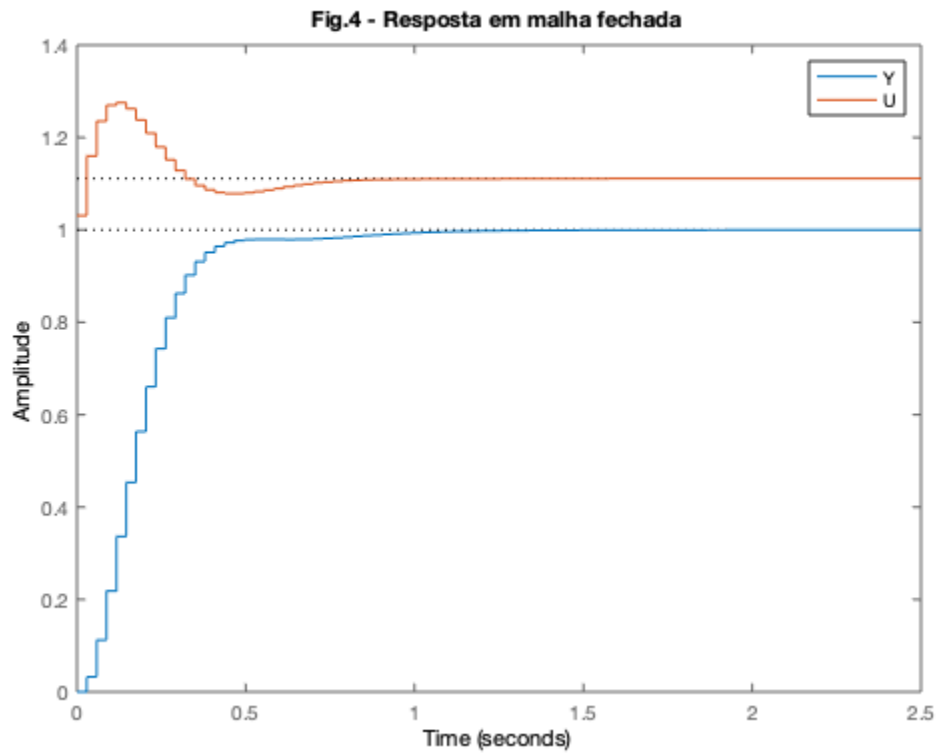
Cd =

$$\frac{T_s}{K_p + K_i \frac{1}{z-1}}$$

with $K_p = 1.03$, $K_i = 5.57$, $T_s = 0.0292$

Sample time: 0.029174 seconds

Discrete-time PI controller in parallel form.



A figura acima mostra o sinal de controle e a saída para o controlador PI sintonizado.

4.1 Explique a Fig.4 e os passos que foram seguidos desde o projeto (usando $G(s)$ e escolhendo λ) até a implementação deste controlador na forma discreta.

4.2 Explique como avaliar este controlador para tempos de amostragem maiores. Pode usar código para ilustrar.