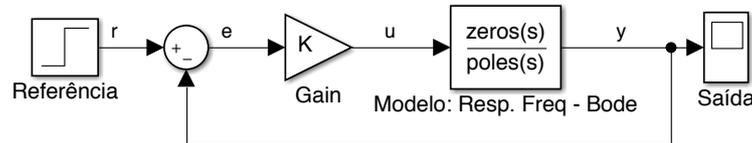




2ª Prova - CONTROLE DINÂMICO - 1º/2018

1ª Questão (4,0) O diagrama de Bode de um sistema, que possui um polo no semi-plano direito, em malha aberta, é mostrado na folha de respostas.



a) (1,0) Para quais valores de $-\infty \leq K \leq \infty$, este sistema é estável (Nyquist)?

Projete um compensador em avanço, $D(s)$, para que o sistema apresente:

- Erro em regime permanente (parábola unitária), $e_{ss} \leq 0,01$;
- Sobrepasso percentual da resposta ao degrau, M_p (Ver Folha de Respostas).

b) (0,5) Qual o ganho em baixas frequências para que seja atendida a especificação de erro?

c) (0,5) Calcule o avanço de fase necessário, considerando uma tolerância, $\phi_{tol} = 10^\circ$.

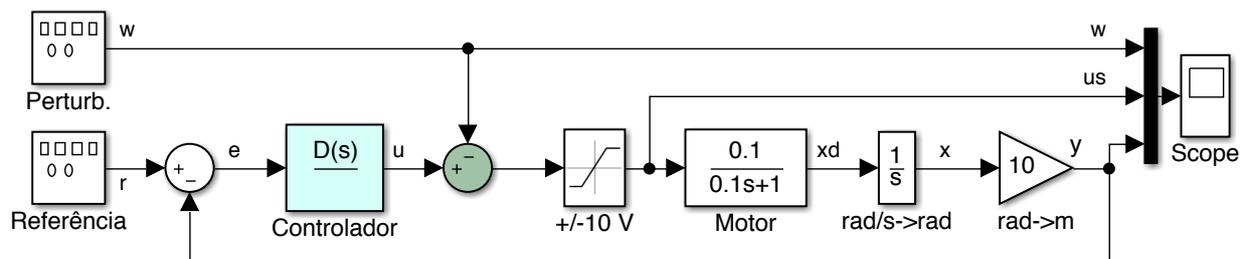
d) (0,5) Para contrapor o ganho do compensador em avanço, obtenha ω_m , a frequência central de $D(s)$ tal que $|D(j\omega_m)|_{dB} = -|KG(j\omega_m)|_{dB}$. (frequência em que se medirá a nova MF).

e) (0,5) Complete o projeto, calculando K , z e p . $D(s) = \frac{K(s+z)}{s+p}$.

f) (0,5) Qual a Margem de Fase efetivamente obtida?

g) (0,5) Seria possível atender às especificações com um compensador em atraso? Por quê?

2ª Questão (4,0) Considere o projeto de um controlador para um processo de posicionamento linear.



Se escolher compensador em Avanço, utilize o Método da Bissetriz. Se escolher compensador em Atraso, utilize polo múltiplo de potência de 10. Se escolher PID, adote zero duplo.

Especificações:

- i) *Sobrepasso percentual*, M_p (Ver Folha de Respostas).
 - ii) *Tempo de acomodação*, $t_s(2\%) \leq 0,8 \text{ s}$.
 - iii) *Tempo subida*, $t_r(10-90\%) \leq 0,2 \text{ s}$.
 - iv) *Tempo de pico*, $t_p \leq 0,3 \text{ s}$.
 - v) $|e_{ss}| \leq 0,1$ para rampas de referência.
 - vi) $|e_{ss}| \leq 0,1$ para degraus de perturbação.
- a) (1,0) Qual a posição do pólo desejado s_0 , que atende às especificações dinâmicas (transitórias) de projeto? Esboce no plano s o mapeamento de cada restrição.
 - b) (0,5) Dentre os controladores (P, I, D, PI, PD, PID, Avanço, Atraso, Avanço-Atraso, Avanço-Avanço), quais poderiam ser utilizados?
 - c) (1,0) Projete o controlador $D(s)$ “mais simples” que atenda às especificações dinâmicas.
 - d) (0,5) Caso o projeto não atenda às especificações de e_{ss} , ou, eventualmente, não seja realizável, complemente o projeto de forma própria, $D_2(s)$.
 - e) (1,0) Para o controlador projetado, considerando o Teorema do Valor Inicial, qual a amplitude máxima de r que não leva à saturação do sinal u ?

3ª Questão (2,0) Assinale V (Verdadeiro) ou F (Falso).

Caso considere um item falso, sublinhe e justifique, **todas** as partes que considere falsas.

- a) Métodos de sintonia heurística (e.g., Ziegler-Nichols) não tem um sobrepasso desejado. Cada projeto produz sobrepassos diferentes e não previsíveis pelo método.
- b) Controladores Liga-Desliga nunca seguem o valor desejado. Nem mesmo o valor médio da variável controlada segue o valor desejado. (Com a exceção do ponto médio do atuador).
- c) O projeto em ω não é tão preciso como o feito no LGR, pois polos e zeros são desconhecidos.
- d) O controlador PI é o mais utilizado na indústria por ser o de projeto mais “simples e eficaz”. Com apenas dois parâmetros (K_p e T_i) atendem-se especificações transitórias e de regime.

$MF \cong 100 \zeta$; $Z = N + P \rightarrow N$ Env. Horários

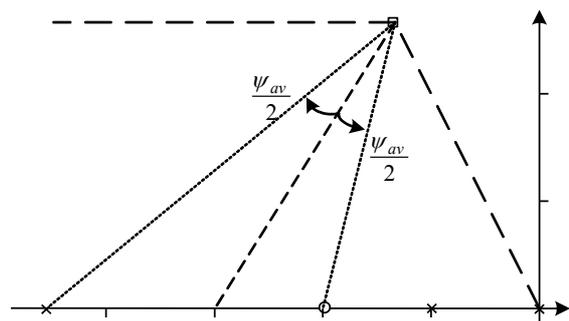
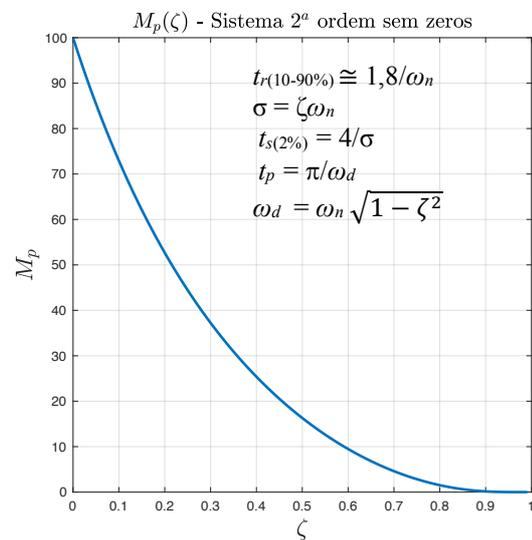
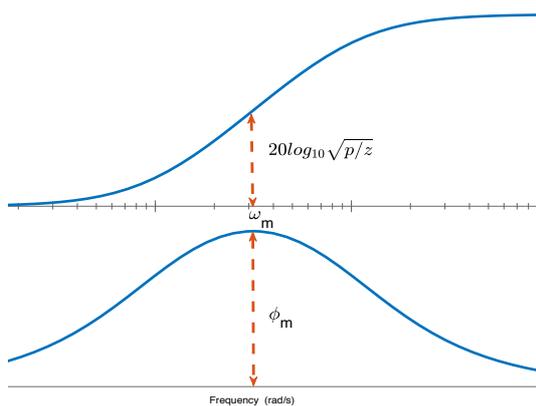
$$D(s) = K \frac{Ts+1}{\alpha Ts+1} = K' \frac{s+z}{s+p}$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{p}{z} = \frac{1+\text{sen}\phi_m}{1-\text{sen}\phi_m} \text{ fator de avanço}$$

$$\max \angle D(j\omega) = \angle D(j\omega_m) = \phi_m$$

$$\omega_m = \sqrt{pz} = \frac{1}{\sqrt{\alpha T}}; |D(j\omega_m)| = \sqrt{p/z}$$

$$x(0^+) = \lim_{t \rightarrow 0^+} x(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sX(s)$$



Nome: _____ Matrícula: _____ Curso: Eng. _____

A resolução das questões, **organizada de forma clara e objetiva**, nas páginas anexas, **é considerada na correção**.
Transcreva aqui, as respostas finais. (Estas serão, sempre, em discrepância, as consideradas na correção).
Não separar, por favor, **as folhas** deste caderno de repostas!!

FOLHA DE RESPOSTAS

Prova Tipo 1 (1ª Questão: $M_p \leq 9\%$; 2ª Questão: $M_p \leq 4,6\%$)

Prova Tipo 2 (1ª Questão: $M_p \leq 16\%$; 2ª Questão: $M_p \leq 9\%$)

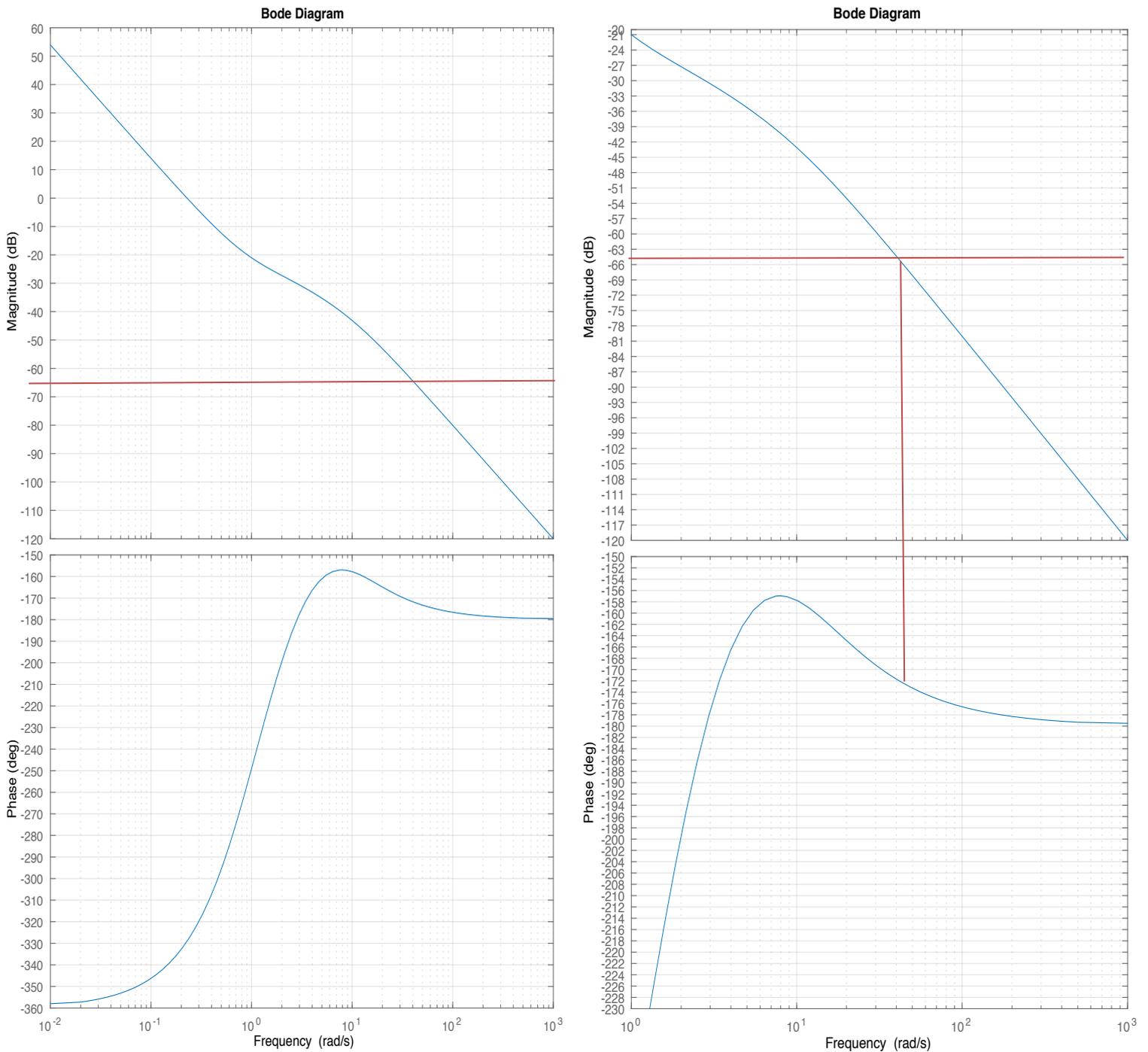


Fig. 1 – Questão 1: Diagrama de Bode do Processo e detalhe na faixa de frequências 1-1000 rad/s.

Prova Tipo 1 (1ª Questão: $M_p \leq 9\% \rightarrow \zeta = 0,6$; 2ª Questão: $M_p \leq 4,6\% \rightarrow \zeta = 0,7$)

Prova Tipo 2 (1ª Questão: $M_p \leq 16\% \rightarrow \zeta = 0,5$; 2ª Questão: $M_p \leq 9\% \rightarrow \zeta = 0,6$)

1ª Questão (4,0)

a) (1,0) (30 dB) $31,6 \leq K \leq \infty$ (Esboço Nyquist, prox. Pág.).

b) (0,5) $K_a = (0,01)^2 * (10^{(55/20)}) = 0,0526$; $K_0 = 1779,4$ (65 db)

c) (0,5) $\phi_{av} = 60^\circ - 8^\circ + 10^\circ = 62^\circ$
 $\phi_{av} = 50^\circ - 8^\circ + 10^\circ = 52^\circ$

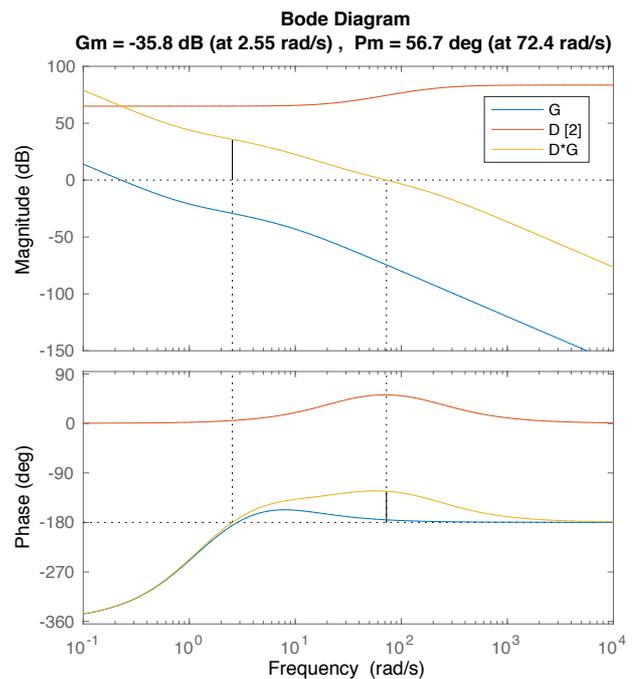
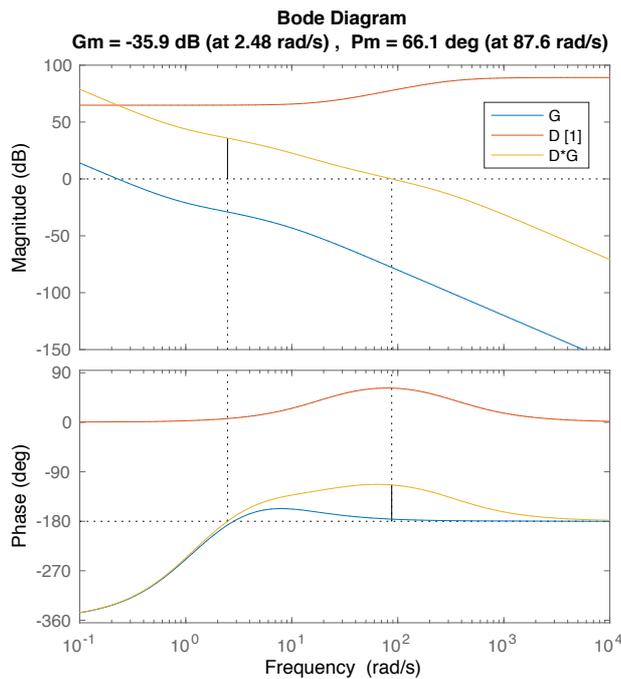
d) (0,5)
 $1/\alpha = (1 + \sin(62)) / (1 - \sin(62)) = 16,09$; (24,13 dB). Freq. Central $\omega_m = 80$ (-12,06 dB).
 $1/\alpha = (1 + \sin(52)) / (1 - \sin(52)) = 8,43$; (18,52 dB). Freq. Central $\omega_m = 70$ (-9,25 dB).

e) (0,5) $16,09 = \frac{1}{\alpha} = \frac{p}{z}$; $p = 16,09 * z$; $\omega_m = 80 = \sqrt{pz}$; $pz = 6400$; $z = 19,94$; $p = 320,9$;
 $K = 1779,4 * 320,9 / 19,94 = 28636$; $D(s) = 28636 \frac{(s+19,94)}{320,9}$
 $8,43 = \frac{1}{\alpha} = \frac{p}{z}$; $p = 8,43z$; $\omega_m = 70 = \sqrt{pz}$; $pz = 4900$; $z = 24,1$; $p = 203,24$;
 $K = 1779,4 * 203,24 / 24,1 = 15006$; $D(s) = 15006 \frac{(s+24,1)}{203,24}$

f) (0,5) $MF = 180 - 177 + 62$ $MF \approx 65^\circ$ (ml: $66,1^\circ$ em $87,5 \text{ rad/s}$)
 $MF = 180 - 175 + 52$ $MF \approx 57^\circ$ (ml: $56,7^\circ$ em $72,4 \text{ rad/s}$)

g) (0,5) Compensador em Atraso? N Pois o compensador em atraso usa a fase do processo. Neste caso o processo não não compensado não a fase necessária em nenhum ponto.

```
>> G=zpk([-1 -1],[0 0 2 -10],1);figure(1);bode(G);figure(2);nyqlog(G);figure(3);rlocus(G)
figure(4);bode(G);hold on; bode(D);margin(D*G);
```



2ª Questão (4,0) Projeto no LGR

- a) (0,5) $\boxed{1} s_0 = -10,21+10,53i$ $\boxed{2} s_0 = -7,817+10,5i$
 b) Esboço no plano s do mapeamento de cada restrição (abaixo).

(0,5) Controladores que poderiam ser utilizados:

$\boxed{1} s = -10,21+10,53i; 180 - \text{angle}(1/(.1*s*s+s)) * 180/\pi = \psi_{av} = 45,26^\circ; \psi_{av}/2 = 22,63^\circ;$

$\boxed{2} s = -7,817+10,5i; 180 - \text{angle}(1/(.1*s*s+s)) * 180/\pi = \psi_{av} = 24,92^\circ; \psi_{av}/2 = 11,46^\circ;$

Tipo 0 para e_{ss} perturb. \rightarrow

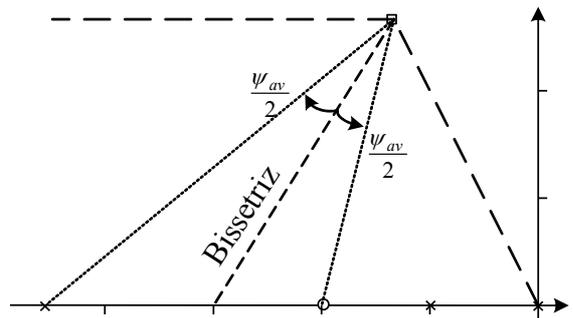
Poderiam ser utilizados:

PD (mais simples mas ruído!), Avanço (melhor opção)

PID (aumenta tipo desnecessariamente),

Avanço-Atraso (só avanço já atende).

(PI não pode – zero no SPD!)



- c) (1,0) $D(s)$ pelo método da Bissetriz.

Bissetriz do setor pontilhado: $\boxed{1} 67,1^\circ$ $\boxed{2} 63,3^\circ$

$\boxed{1} D(s) = 22,07 \frac{s+10,27}{s+20,95}$ $\boxed{2} D(s) = 17,57 \frac{s+10,48}{s+16,37}$

- d) (0,5)

rampa ref $\boxed{1} K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sD(s)G(s) = 22,07 \frac{10,27}{20,95} = 10,81; e_{ss} = 0,0925;$

$\boxed{2} K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sD(s)G(s) = 17,57 \frac{10,48}{16,35} = 11,25; e_{ss} = 0,0889.$

Perturbação: $e_{ss} = r - y = -y$

$\boxed{1} \frac{Y}{W} = \frac{\frac{1}{0,1s^2+s}}{1+22,07 \frac{s+10,27}{s+20,95} \frac{1}{s+20,950,1s^2+s}} = \frac{s+20,95}{(s+20,95)(0,1s^2+s)+22,07(s+10,27)} e_{ss} = \frac{-20,95}{22,07*10,26} = -0,0925$

$\boxed{2} \frac{Y}{W} = \dots \quad e_{ss} = -0,0889$

$|e_{ss}| \leq 0,1$ em todos os casos. $D_2(s)$ não é necessário!

- e) (1,0) $\boxed{1} r_{max} = 10/22,07 = 0,4531$ $\boxed{2} r_{max} = 10/17,57 = 0,5692$

 PD

$\boxed{1} s = -10,21+10,53i; \psi_{av} = 45,26^\circ; D(s) = 1,042(s + 20,65); e_{ss} = 0,0465; e_w = 0,0465;$

$\boxed{2} s = -7,817+10,5i; \psi_{av} = 24,92^\circ; D(s) = 0,5634(s + 30,4146); e_{ss} = 0,0584; e_w = 0,0584;$

$|e_{ss}| \leq 0,1$ em todos os casos. $D_2(s)$ não é necessário!

Canal derivativo: $u(0) \rightarrow \infty \Rightarrow$ só não satura para $r_{max} = 0$ (i.é, sempre satura!).

 PID

$\boxed{1} s = -10,21+10,53i; \pi - \text{angle}(1/(s*s*(.1*s+1))) \rightarrow \psi_{av} = 179,37^\circ; D(s) = 2,043 \frac{(s+10,267)^2}{s}$

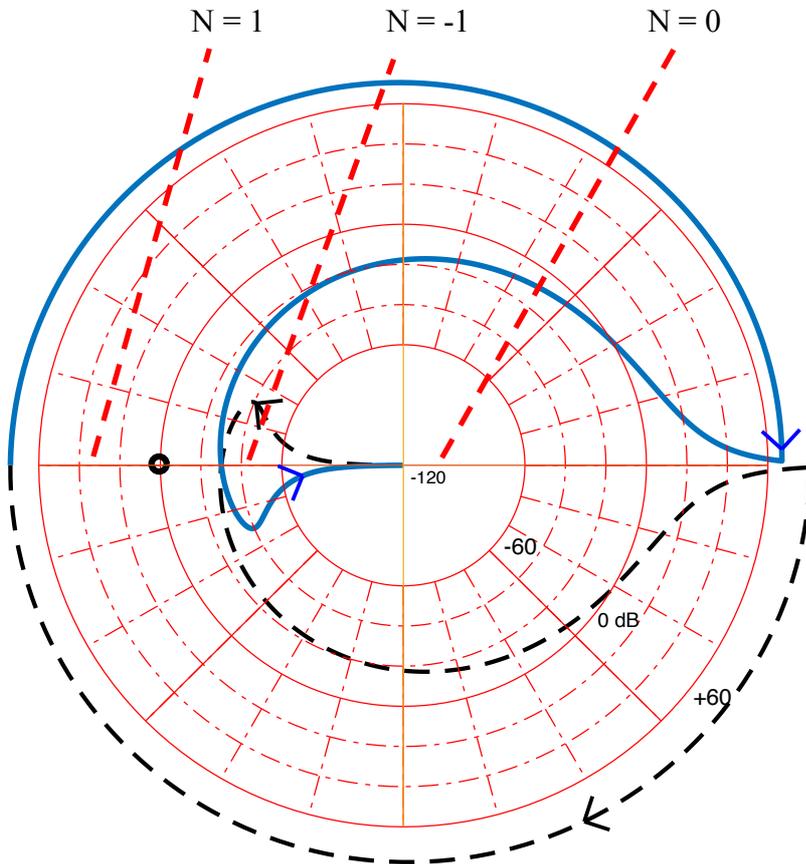
$\boxed{2} s = -7,817+10,5i; \pi - \text{angle}(1/(s*s*(.1*s+1))) \rightarrow \psi_{av} = 151,59^\circ; D(s) = 2,157 \frac{(s+10,475)^2}{s}$

(r : tipo 2; w : tipo 1): $r: e_{ss} = 0; w: e_{ss} = 0; D_2(s)$ não é necessário!

Canal derivativo: $u(0) \rightarrow \infty \Rightarrow$ só não satura para $r_{max} = 0$ (i.é, sempre satura!).

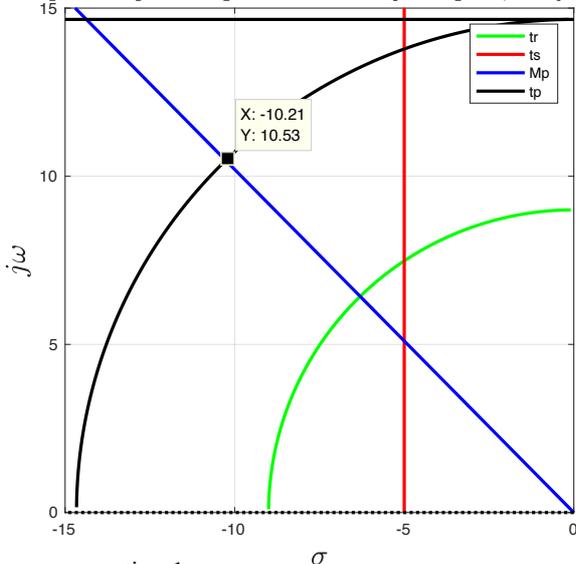
3ª Questão: (1,5) V/F

- a) (0,5) F. Ziegler-Nichols tem sobrepasso desejado (25%), porém, em geral, os projetos apresentam sobrepassos bastante diferentes de 25%.
- b) (0,5) V
- c) (0,5) F. Tanto projetos no LGR como no domínio ω utilizam como referência um sistema de 2ª ordem sem zeros. Discrepâncias grandes podem acontecer tanto para projetos via s_0 (polo desejado) como para MF (Margem de Fase). Não se pode afirmar que projetos em ω sejam menos precisos.
- d) (0,5) V



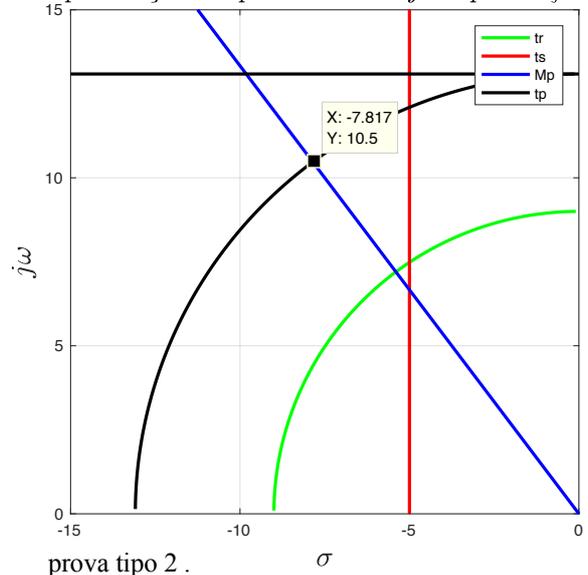
1a Questão - a) Esboço: Nyquist.

Especificações no plano $s = \sigma + j\omega$ $M_p=4,6\%$ $\zeta=$



prova tipo 1
2a Questão - a) Esboço: Restrições em s

Especificações no plano $s = \sigma + j\omega$ $M_p=9\%$ $\zeta=0,6$



prova tipo 2 .