Nelson Duarte

Hermann

2

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES -Departamento de Engenharia Elétrica

Segunda Prova de Controle Automático II – 14/06/2011

Aluno:

1 - (3,0 ptos) Seja o sistema de controle cuja FTMA é:

$\Delta = 16 - 16 = 0$

$$G(s) = k(s^2 + 4s + 4)/(s^2 - 1)$$

$\frac{-4 \pm 0}{2} = -2$

1.a Esboce o gráfico polar especificando as frequências em que o gráfico polar corta os eixos real e imaginário.

1.b Analise a estabilidade deste sistema em malha fechada usando o critério de Nyquist simplificado, especificando a faixa do ganho K $\in [0,\infty]$ para que o sistema seja estável.

$\frac{1000\, e^{-j0{,}1\omega}}{-\omega^2 + j5\omega}$

2 – (3,5 ptos) Seja a FTMA: $G(s) = \dfrac{1000e^{-ds}}{(s^2 + 5s)}$

2.a– Faça um esboço do Gráfico de Bode resultante ao se aplicar um atraso de transporte d=0,1 seg na FTMA. Especifique a largura de banca, a freqüência de ressonância e o pico de ressonância.

2.b – Determine as freqüências de cruzamento de ganho e de fase, e as margens de ganho e de fase deste sistema. Este sistema é estável?

2.c– Projete um controlador PD para que a margem de fase seja maior ou igual a 50 graus, o erro ao degrau seja nulo e a largura de banda seja a maior possível.

2.d Esboce o diagrama de bode resultante com o controlador PD projetado no item 2.c

3 – (3,5 ptos) Dado o gráfico de bode do sistema mostrado átrás da prova

3.a - Faça um esboço do gráfico polar (sem obter a FTMA) que represente este sistema;

3.b – Analise a estabilidade usando o critério de Nyquist simplificado.

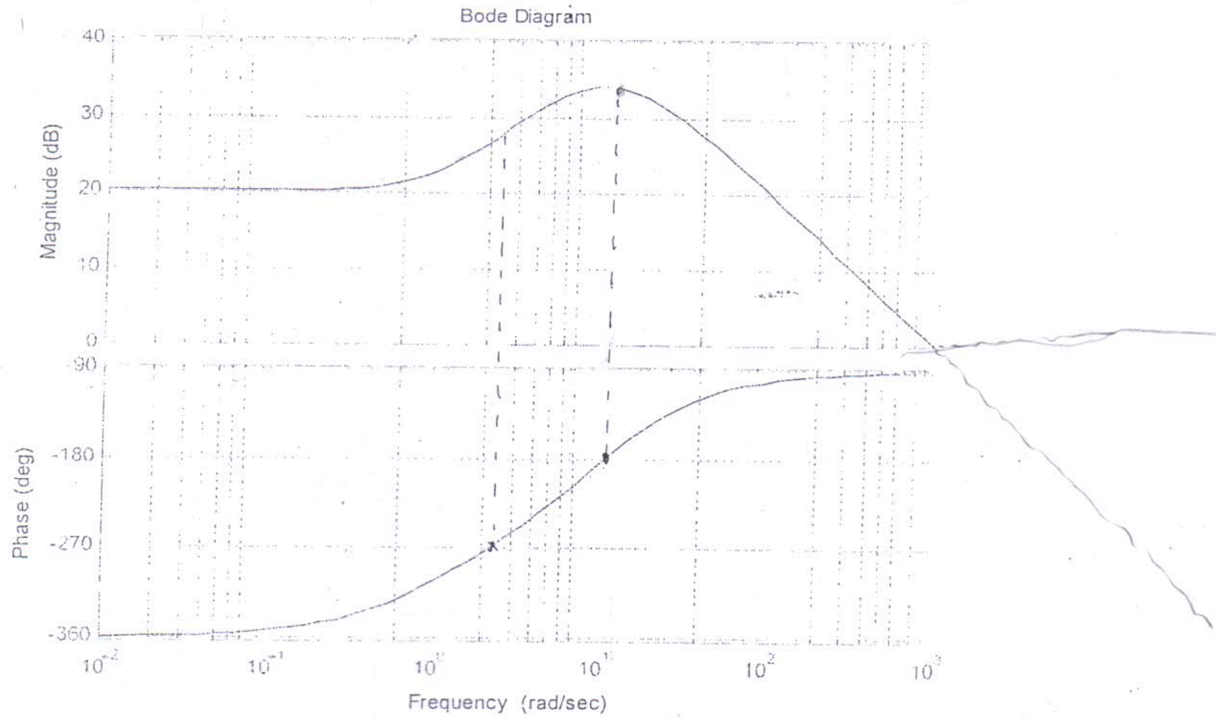
3.c - Caso o sistema não seja estável, é possível encontrar o ganho K $\in [0,\infty]$ que estabiliza este sistema? Caso o sistema seja estável qual é o ganho K $\in [0,\infty]$ que desestabiliza este sistema ? Justifique sua resposta.

3.d – Supondo que o sistema seja estável, determine os erros em regime à entrada degrau, rampa e parábola?

3.e – Este sistema é de fase mínima? Justifique sua resposta.

$$G(s) = \frac{200\, e^{-ds}}{s \cdot (1 + \frac{s}{5})} = \frac{200\, e^{-ds}}{j\omega - \frac{\omega^2}{5}}$$

Pw = 0   Pd = 2



Bode Diagram
Magnitude (dB)
40
30
20
10
0
Phase (deg)
-90
-180
-270
-360
10^{-2}
10^{-1}
10^{0}
10^{1}
10^{2}
10^{3}
Frequency (rad/sec)

Aluno: Nelson Afonso Duarte Júnior

Parte Real   Parte Im

(1) $G(s) = \dfrac{K(s^2+4s+4)}{(s^2-1)} = \dfrac{K(-w^2+4jw+4)}{(-w^2-1)} = K\left[\dfrac{-w^2+4}{-w^2-1} + j\dfrac{4w}{-w^2-1}\right]$

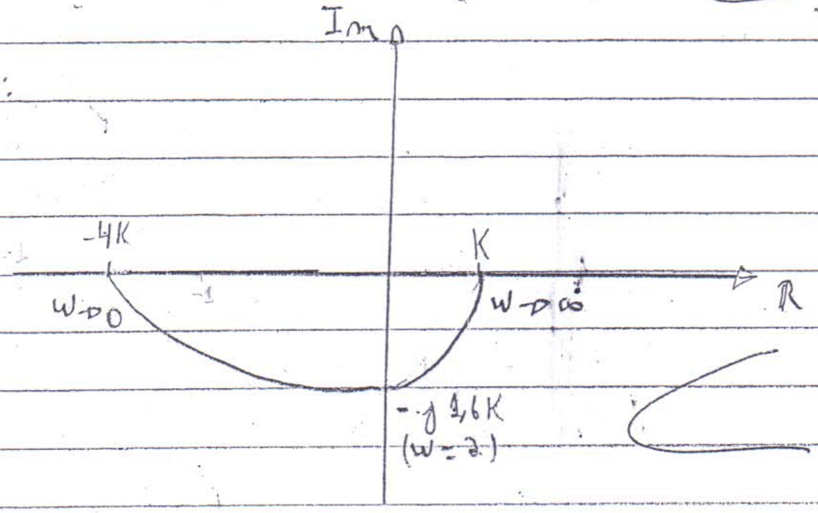
1 - 3,0
2 - 2,5
3 - 3,5
9,1

a) Para $w \to 0$: $G(jw) = -4K - j0$
Para $w \to \infty$: $G(jw) = K - j0$

Parte real nula (Corta eixo imaginário):
$-w^2+4 = 0 \Rightarrow w^2 = 4 \Rightarrow \boxed{w = 2 \text{ rad/s}}$

Para $w = 2$: $G(jw) = 0 - j1,6K$

tipo 0:



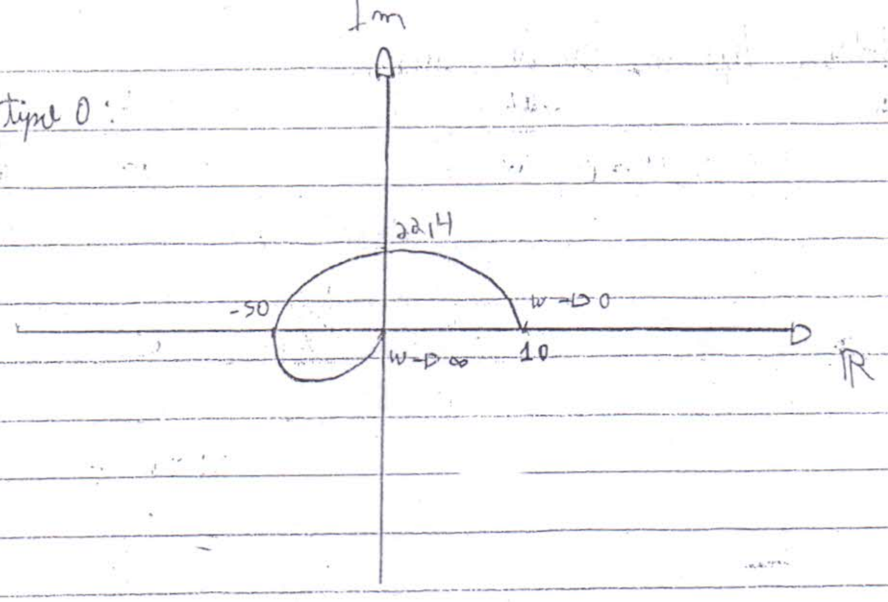
b) Para $-1 < -4K \Rightarrow K < 0,25$: $\phi^0_\infty = 0^0$
Para $-1 > -4K \Rightarrow K > 0,25$: $\phi^0_\infty = -180^0$

Para haver estabilidade temos que Z_d deve ser nulo.

$\phi^0_\infty = -180(P_d - Z_d^0 + P_w/2) = -180^0$

Logo o sistema é estável para $\boxed{K > 0,25}$

3) a) tipo 0:



Para $w \to \infty$: $|G(s)| = 0$, logo está na origem

Quando a fase passa por $-180°$, quer dizer que o gráfico corta o eixo real

Quando a fase passa por -270, o gráfico corta o eixo imaginário

Para $w \to 0$: $\angle G(s) = -360°$ e $|G(s)| = 10 \Rightarrow 20\,dB$

Para $\angle G(s) = -180° \Rightarrow |G(s)| = 10^{34/20} = 50,12$

Para $\angle G(s) = -270° \Rightarrow |G(s)| = 10^{27/20} = 22,4$

b) $\phi_{\infty}^{0} = -360°$

Do gráfico de bode: $P_w = 0$ e $P_T = 2$

$\phi_{\infty}^{0} = -360 = -180(2 - Z_1) \Rightarrow \boxed{Z_d = 0}$ Estável

Logo o sistema é estável

c) Como o sistema é estável devemos encontrar um ganho K, para desestabilizar. Para que isso ocorra, a curva do gráfico polar deve deixar de envolver o -1, logo:

Para fase de -180^0 temos amplitude de 34 db, assim:

$|G(\omega)| = 10^{34/20} = 50,12$

Então $-50,12 \cdot K > -1 \Rightarrow \boxed{K < 0,02}$ $\Rightarrow \phi_\infty^0 = 0$ e $Zd = 2$

Instável

d) Do gráfico de bode, pode-se observar que o sistema é do tipo 0, logo:

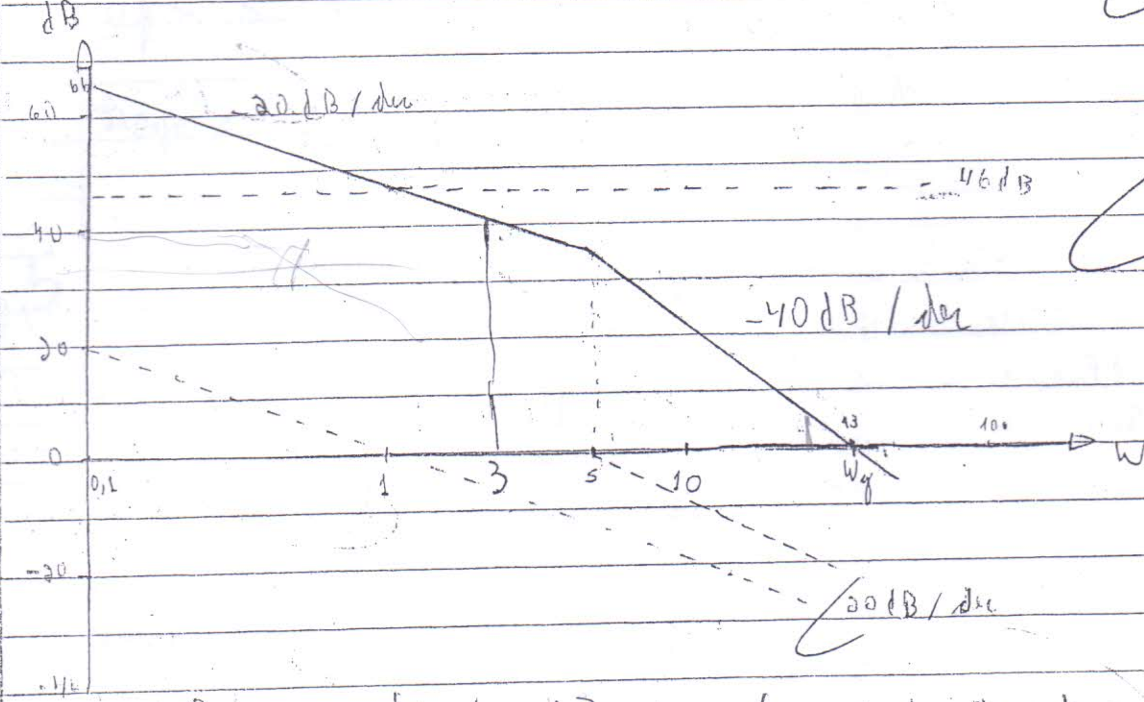
$$\begin{cases} \text{degrau}: e_{ss} = \frac{1}{(K_p+1)} = 1/11 = 0,091 \\ \text{rampa}: e_{ss} = \infty \\ \text{Parábola}: e_{ss} = \infty \end{cases}$$

e) O sistema é de fase não mínima, pois pode-se observar pelo diagrama de bode que o sistema possui pólos a direita o que faz a fase inicial ser -360^0.

② $G(s) = \dfrac{1000\, e^{-ds}}{s(s+5)} = \dfrac{200 \,.\, e^{-j w d}}{jw\left(j\frac{w}{5} + 1\right)}$ O atraso só altera a fase

0,7

a) Com $d = 0,1\,s$, implica que a fase cai: $-\dfrac{0,1\, w \,.\, 180}{\pi}$

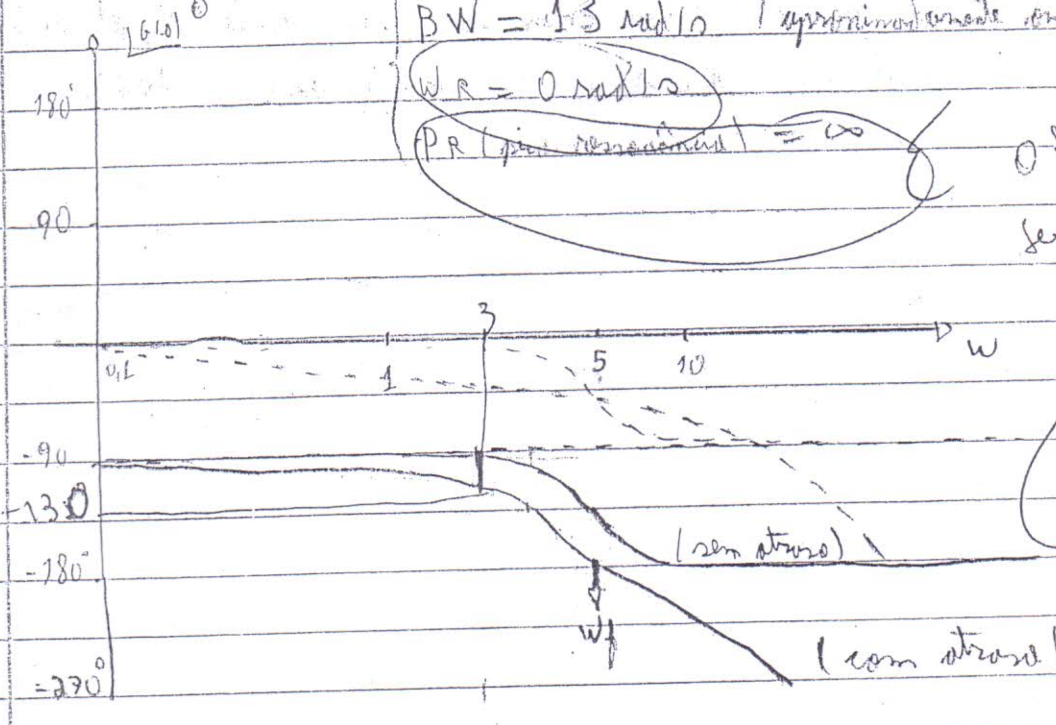


$BW = 13$ rad/s (aproximadamente onde corta 0 dB)

$w_R = 0$ rad/s

P_R (pico ressonância) $= \infty$

O sistema não tem pico de ressonância pois os polos são reais!



Nelson

0,9

② b) w_g é a frequência onde corta 0 dB

w_f é a frequência onde corta 180°

$w_g = 13$ rad/s $\Rightarrow$ MF = $-90°$

$w_f = 5$ rad/s $\Rightarrow$ MG = -35 dB

Logo o sistema é instável pois MF e MG são negativos

0,5

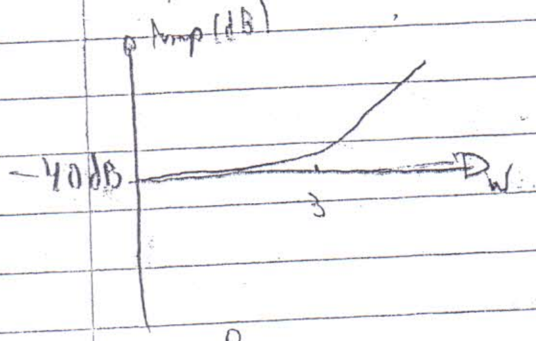
c) Projeto do PD: Como o sistema é do tipo 1, o erro estacionário é nulo e não precisa ser corrigido, logo pode-se fazer $\boxed{K_p = 0{,}01}$, para diminuir o ganho → atenuação de 40 dB

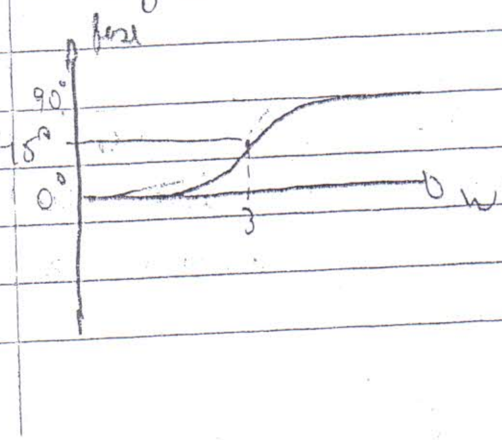
Para MF = 50°: $\angle GMA(w_g') = -130°$

Logo $w_g' = 3$ rad/s $\Rightarrow$ $w_g' = \frac{K_p}{K_d}$, logo $\boxed{K_d = \frac{0{,}01}{3}}$

Deve diminuir o ganho nem tanto

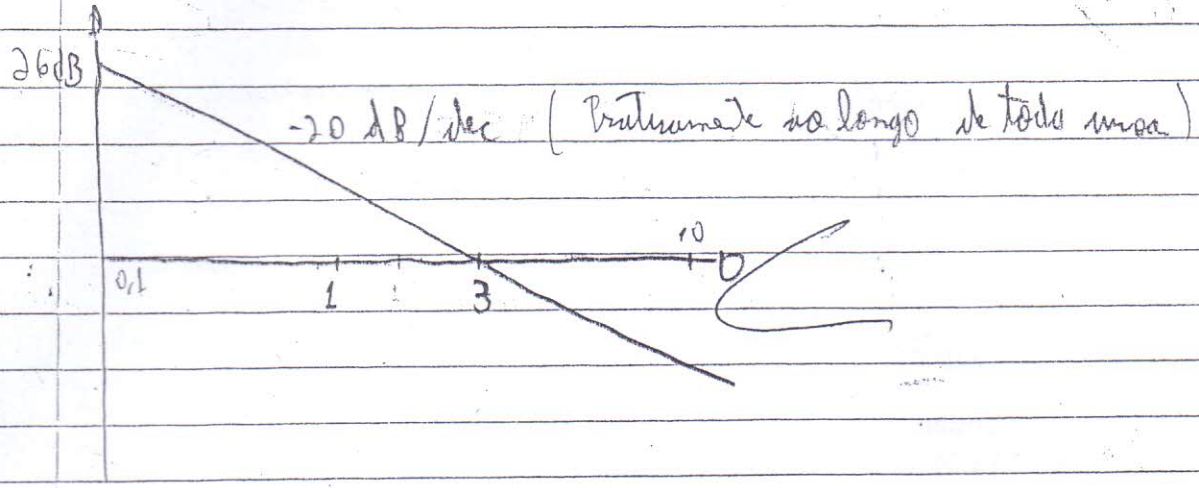
Gráfico do controlador: $\left(1 + \frac{D}{3}\right) 0{,}01$

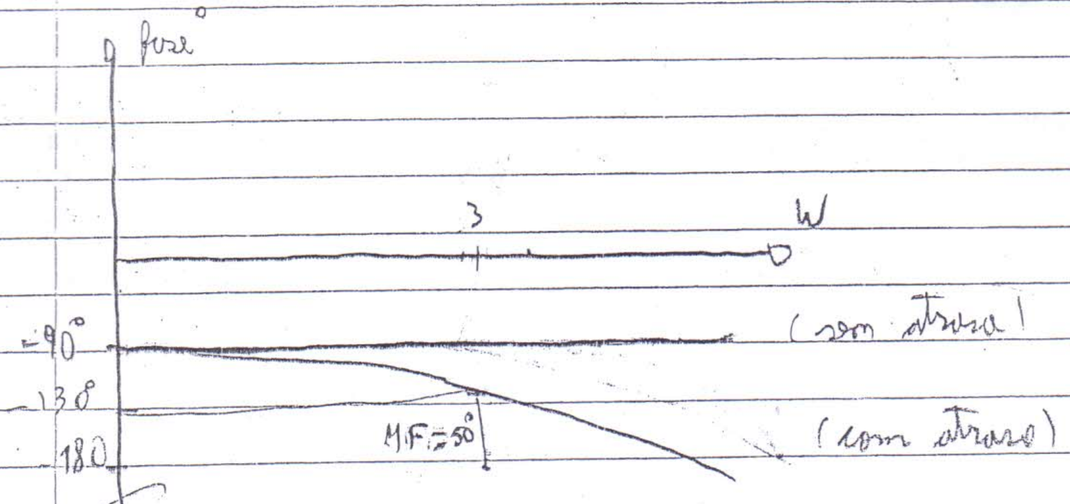




Deve atenuar 30 dB e não 25 dB e a fase do PD acrescentou 45° levando MF>50

d) Gráfico com controlador:





Com o controlador foi possível diminuir a frequência de cruzamento de ganho e aumentar a frequência de cruzamento de fase o que aumentou a estabilidade do sistema e possibilitou MF = 50° como desejado.

Vejo que você não considerou o avanço de fase do PD no gráfico de fase!