MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

REITORIA

Avenida Rio Branco, 50 – Santa Lúcia – 29056-255 – Vitória – ES

27 3357-7500

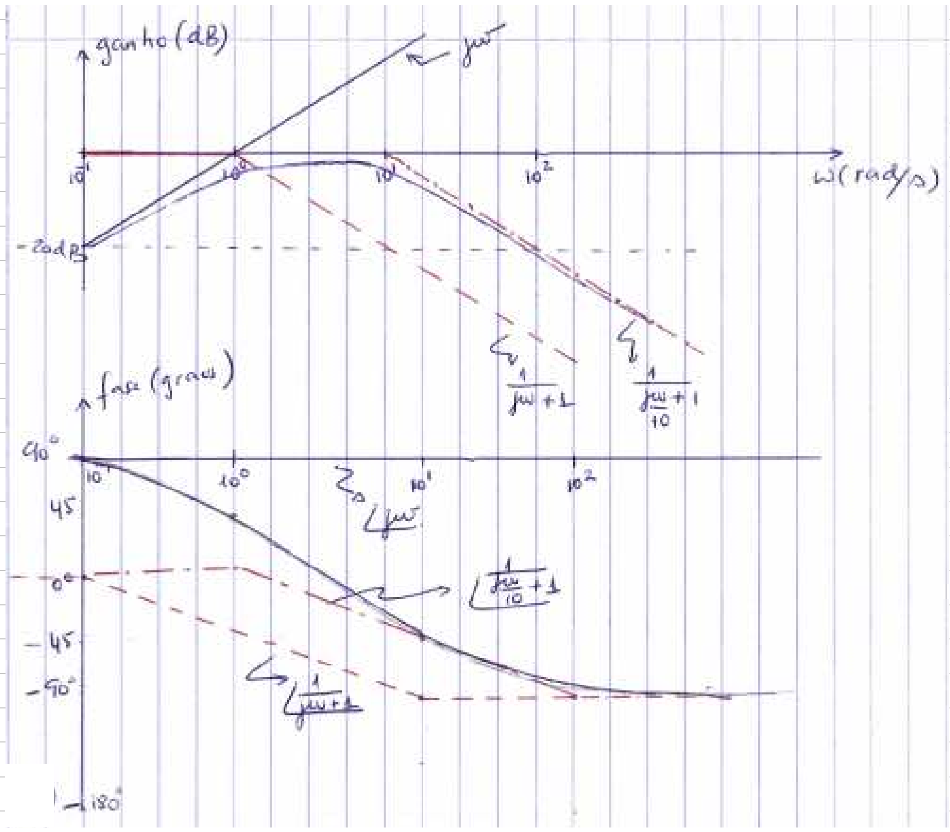
CONCURSO PÚBLICO
EDITAL Nº 03 / 2014

Professor do Magistério do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico

ÍNDICE DE INSCRIÇÃO	318
CAMPUS	SERRA
ÁREA/SUBÁREA/ESPECIALIDADE	ENGENHARIA ELÉTRICA / CONTROLE DE PROCESSOS ELETRÔNICOS

PROVA DE CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS | DISCURSIVA
MATRIZ DE CORREÇÃO

QUESTÃO 01



Ao traçar as assíntotas na curva de ganho tem-se:

$$G(jw) = \frac{jw}{(jw+1)(j\frac{w}{10}+1)}$$

Entretanto ao traçar a curva de fase para G(jw) esta se mostra diferente da apresentada no problema.

Em vez da curva de fase do problema iniciar em +90º, devido ao zero na origem, a mesma origina-se em -90º, O que indica a presença de um pólo no semi-plano direito. Logo, conclui-se que o pólo instável está em s = 1 e O pólo estável está em s = -10. Corrigindo,

$$G(jw) = \frac{jw}{(jw-1)(j\frac{w}{10}+1)}$$

Logo

$$G(jw) = \frac{10s}{(s-1)(s+10)}$$

QUESTÃO 02

Da equação diferencial do sistema tem-se:

$$\frac{X(s)}{u(s)} = \frac{b0}{s^3 + a2s^2 + a1s + a0}$$

Qualquer realização mínima em espaço de estado da função de transferência acima, será controlável e observável.

a) Representando o sistema na forma canônica controlável

$$\begin{bmatrix} \dot{x}1 \\ \dot{x}2 \\ \dot{x}3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a0 & -a1 & -a2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} b0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} u$$

Onde:

$x1 = x; \quad x2 = \dot{x}; \quad x3 = \ddot{x}$

$$u = -\begin{bmatrix} k0 & k1 & k2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \end{bmatrix} + R$$

Substituindo u na equação de estado

$$\begin{bmatrix} \dot{x}1 \\ \dot{x}2 \\ \dot{x}3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -(a0+k0) & -(a1+k1) & -(a2+k2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ x3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} R$$

O projeto da realimentação deve alocar os pólos da equação característica do sistema realimentado na localização desejada, no caso todos os pólos em –*p*.

Assim $s^3 + (a2+k2)\, s^2 + (a1+k1)s + (a0+k0) = 0$ deve ser igual a equação característica desejada

$s^3 + 3ps^2 + 3p^2s + p^3 = 0$,

tem-se as equações:

$$\begin{array}{lcl} a2 + k2 = 3p & \therefore & k2 = 3p - a2 \\ a1 + k1 = 3p^2 & \therefore & k1 = 3p^2 - a1 \\ a0 + k0 = p^3 & \therefore & \underbrace{k0 = p^3 - a0} \end{array}$$

São os ganhos da
Realimentação

b) Para o projeto do observado de estado de ordem completa, assume-se todos os pólos do observador em –ξ, onde ξ = 4p.

Representando o sistema na forma canônica observável

$$\begin{bmatrix} \dot{z}1 \\ \dot{z}2 \\ \dot{z}3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -a0 \\ 1 & 0 & -a1 \\ 0 & 1 & -a2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \\ z3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z1 \\ z2 \\ z3 \end{bmatrix}$$

A equação do observador é dada por:

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{z}}1 \\ \dot{\hat{z}}2 \\ \dot{\hat{z}}3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -a0 \\ 1 & 0 & -a1 \\ 0 & 1 & -a2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{z}1 \\ \hat{z}2 \\ \hat{z}3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} L0 \\ L1 \\ L2 \end{bmatrix} (y - \hat{y})$$

$$\hat{y} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{z}1 \\ \hat{z}2 \\ \hat{z}3 \end{bmatrix}$$

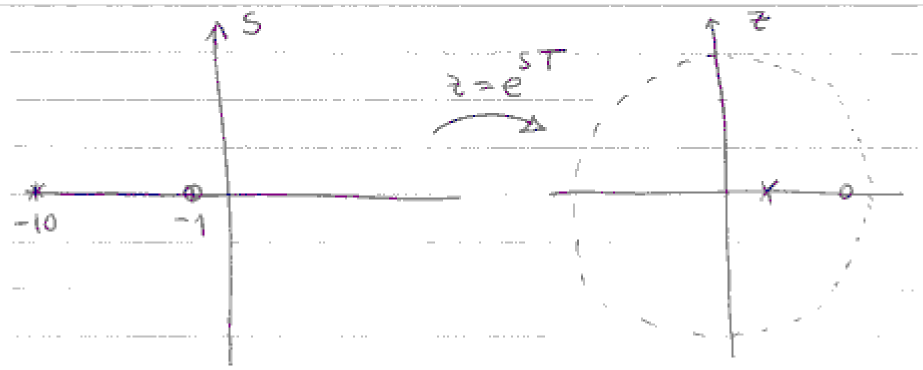
Aproveita-se a dualidade para concluir que os ganhos do observador são:

$$\begin{cases} L0 = \xi^3 - a0 \\ L1 = 3\xi^2 - a1 \\ L2 = 3\xi - a2 \end{cases}$$

Sabendo-se que existe uma matriz que transforma a forma canônica controlável em forma canônica observável, chamada T. Então:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}1 \\ \hat{x}2 \\ \hat{x}3 \end{bmatrix} = T^{-1} \times \begin{bmatrix} \hat{z}1 \\ \hat{z}2 \\ \hat{z}3 \end{bmatrix}$$

QUESTÃO 03



O mapeamento se dá pela relação: $z = e^{ST}$

Assim,

$$C(z) = K\frac{(z - e^{-1\times 0,1})}{(z - e^{-10\times 0,1})} = K\frac{(z - 0,9048)}{(z - 0,3679)}$$

K é calculado para que C(z) tenha o mesmo ganho estático de C(s),

$$K\frac{(z - 0,9048)}{(z - 0,3679)} = 0,2$$
$$K = 1,3279$$

Assim,

$$u(k) = 0,3679u(k-1) + 1,3279e(k) - 1,2015e(k-1)$$

QUESTÃO 04

Dados $P_{OL} = 2$ e $Z_{OL} = 1$.

Do diagrama de Nyquist:
Os circundamentos do ponto -1, N = 0.

Do critério: $Z_{MF} = N + P_{OL}$
$Z_{MF} = 0 + 2 = 2$

Logo o sistema em malha fechada é instável.

Desta forma nenhum ajuste de ganho levará este sistema a estabilidade. Para que o sistema em malha fechada fosse estável, o ponto -1 deveria ser circundado duas (2) vezes no sentido anti-horário.

QUESTÃO 05

Especificação de desempenho: $\xi = 0,7$, wn = 0,7.

Ponto de teste: $s0 = -\xi wn + jwn\sqrt{1-\xi^2}$
$s0 \cong -0,5 + j0,5$

Se o controlador for proporcional, s0 não será lugar de raízes e a condição de erro estacionário não será cumprida:

$$e(\infty) = \lim_{s\to 0} s\left[\frac{1}{1+CG(s)}\cdot\frac{1}{s} + \frac{G(s)}{1+CG(s)}\cdot\frac{1}{s}\right] = \frac{1}{2K}$$

O que impede a utilização dessa ação de controle.

Se for utilizado um controle PI:

$$C(s) = \frac{kp\left(s + {}^{1}\!/_{Tikp}\right)}{s}$$

$$e(\infty) = \lim_{s\to 0} s\left[\frac{1}{1+CG(s)}\cdot\frac{1}{s} + \frac{G(s)}{1+CG(s)}\cdot\frac{1}{s}\right]$$

$$e(\infty) = \lim_{s\to 0} s\left[\frac{1}{1+\frac{kp\left(s + {}^{1}\!/_{Tikp}\right)}{s}\cdot\frac{2}{s(s+2)}} + \frac{\frac{2}{s(s+2)}}{1+\frac{kp\left(s + {}^{1}\!/_{Tikp}\right)}{s}\cdot\frac{2}{s(s+2)}}\right]$$

$$e(\infty) = \lim_{s\to 0} s\left[\frac{s^2}{s^2+\frac{2kp\left(s + {}^{1}\!/_{Tikp}\right)}{(s+2)}} + \frac{\frac{2s}{(s+2)}}{s^2+\frac{2kp\left(s + {}^{1}\!/_{Tikp}\right)}{(s+2)}}\right]$$

$e(\infty) = 0$, o que cumpre a condição de erro estacionário.

Para que s0 se lugar de raízes, deve-se ter cumprida a condição de ângulo:

$$(\varphi_{ZC} - \varphi_{PC}) - \varphi_{P1} - \varphi_{P2} = 180^\circ \pm l360^\circ, \qquad l = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots (*)$$

Onde: φ_{ZC} é a contribuição de ângulo de zero do controlador. φ_{PC} é a contribuição do pólo do controlador resultando para (*)

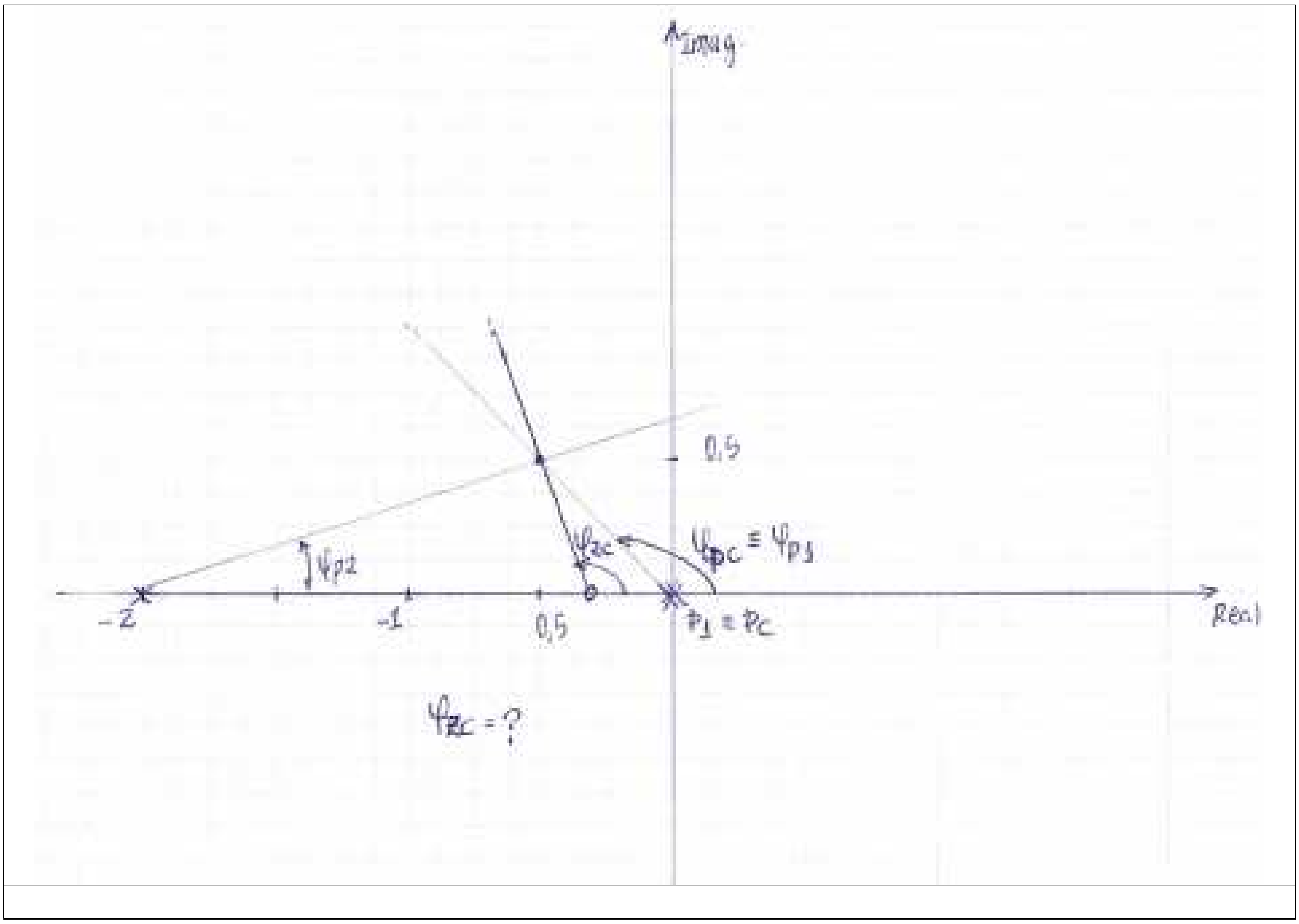
$$\varphi_{ZC} - 2\times(135^\circ) - 18{,}43^\circ = 180^\circ \pm l360^\circ, \qquad l = -1$$
$$\varphi_{ZC} - 288{,}43^\circ = -180^\circ$$
$$\varphi_{ZC} = 108{,}43^\circ$$
$$Z_C = -0{,}33$$

O ganho do controlador é ajustado para cumprir a condição de módulo para que só seja lugar de raízes:

$$K = \left|\frac{s^2(s+2)}{2(s+0{,}33)}\right|_{s=-0{,}5+j0{,}5} \cong 0{,}75$$

$$C = \frac{0{,}75(s+0{,}33)}{s}$$

kp = 0,75 e
Ti = 4,04



Imag
0,5
φ_{p2}
φ_{zc}
$\varphi_{pc} = \varphi_{p1}$
-2
-1
0,5
$p_1 = p_c$
Real
$\varphi_{zc} = ?$