1- ir escrevendo as condições num canto da folha (C1), (C2), ... dar nomes

Estabelecer arquitetura:

↓ ver

se é necessária ação I

se é necessário controlar separada/ ξ e w_n (amort. freq. nat.) → determinar FTMF na forma standard → tirar expressões: ω, ξ → relacionar c/ as condições

⇓

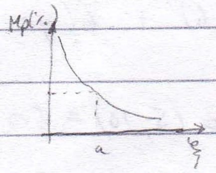
2 par. ajust.

Estabelecer condições

- relativas a $t_s < a$
  - $\varepsilon_{ss} = 2\%$ → $t_s \approx 4T = \frac{4}{\xi w_n} < a$ para $\xi \leq 0{,}9$
  - ε_{ss} 5% → $t_s \approx 3T = \frac{3}{\xi w_n} < a$ para $\xi \leq 0{,}85$

  se $\xi = 1$ ↓ $t_s \approx 5{,}8T$, $T = \frac{1}{\xi w_n}$

- $M_p \leq x\%$



$\Rightarrow \xi \geq a$

- $\varepsilon_{ss} = 0$: a ref. de (...) ctes → ação integral

- tipo do sistema: 1
  - $K_p = \infty$
  - $K_v = cte$ ← qdo solicitado p/ rampa c/ declive ⇒ (se n tiver já) $e_{ss} = \frac{R_1}{K_v}$
  - $K_a = 0$

- realimentação é unitária?
  - S → $K_v = \lim_{s \to 0} s \cdot FTMA$
  - N → p. $\boxed{64}$

$\frac{\frac{a}{b}}{1 + \frac{a}{b}} =$

$\frac{a}{b+a}$

se ñ estiver 1, por esse valor no local do ganho K

$\omega_N = 10 \cdot \omega_{>}$ → > freq. natural do sistema ← dos

- pólos ← zeros denominador, na forma $\frac{1}{as+1}$ → $\omega = \frac{1}{a}$
- zeros ← zeros do numerador, na forma $(as+1)$ → $\omega = \frac{1}{a}$
- pólos complexos conjugados ← $\frac{T_z s+1}{(T_p s+1)\left(\frac{s^2}{\omega_n^2}+\frac{2\xi}{\omega_n}s+1\right)}$

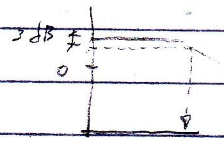
$\omega_s = 2 \cdot \omega_N$

largura de banda ← freq. + elevada à qual o sistema tem 1 ganho q é $\frac{1}{\sqrt{2}}$ relativ/ ao q tem a ↓ freq.

pode ser
- calculada: $\omega_b = \frac{K}{\sqrt{2}}$
- tirada do dB $20 \log \frac{1}{\sqrt{2}} = -3\,dB$

$f_s = \frac{\omega_s}{2\pi} = (\ldots) \qquad \omega_N = f_N \cdot 2\pi$

$T_s = \frac{1}{f_s} = (\ldots)$ ← nº arredondado

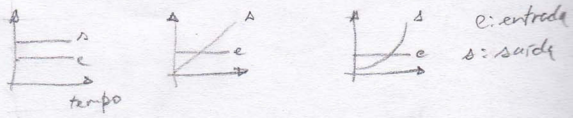


Aplicação da transformação de Tustin

$$U(z) = U(s)\Big|_{s = \frac{2}{T_s} \cdot \frac{z-1}{z+1}}$$

A resposta em frequência do sistema discreto aproximado só é igual à do sistema contínuo p/ valores $\omega < \frac{\omega_N}{10}$ ...

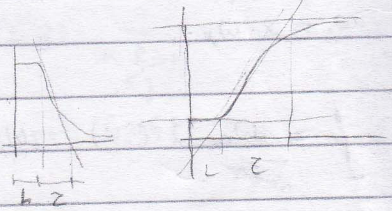
tipo 0 tipo 1 tipo 2



(solicitação $\sqcap$)

- Tipo: ação cte $\Rightarrow$ saída tende p/ valor cte $\Rightarrow$ tipo 0
- ordem: nº de elementos de dinâmica ñ desprezável entre ação de comando e saída

$\left.\begin{matrix}(\ldots)\\(\ldots)\\(\ldots)\end{matrix}\right\} n$



- atrasos temporais
  - de transporte $L =$
  - cte de tempo $\tau = (\ldots) - L$

se
- $e_{ss} = 0$ a ref cte $\Rightarrow$ tipo ≥ 1 (tem de ter ação $\int$)
- $L < \tau \Rightarrow \Delta$ suave $\Rightarrow$ PiD
- $L > \tau \Rightarrow \Delta$ brusca $\Rightarrow$ Pi

Dimensiona/o controlador pelo 1º método de Ziegler-Nichols

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$1/a$	—	—
Pi	$0{,}9/a$	$3L$	—
PiD	$1{,}2/a$	$2L$	$L/2$

$$\frac{K}{\tau} = \frac{a}{L} \qquad K = \frac{K'}{\Delta U}$$

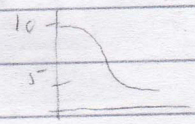
ganho do sistema

5–10

L_{6-8}

6 → 8

10 → 5



a subtração é do fim p/ início

	$\sqcap$	/	⌡
tipo 0	$\frac{R_0}{1+K}$	∞	∞
tipo 1	0	$\frac{R_1}{K}$	∞
tipo 2	0	0	$\frac{R_2}{K}$

$$G_c\Big|_{PiD}(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$$

$$G_c\Big|_{Pi}(s) =$$

Pi ou PiD? inclusão da ação derivativa ↓ tempo de resposta mas ↑ overshoot

2º Método Ziegler-Nichols

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0{,}5K_{cr}$	—	—
Pi	$0{,}45K_{cr}$	$P_{cr}/1{,}2$	—
PiD	$0{,}6K_{cr}$	$P_{cr}/2$	$P_{cr}/8$

D.B.: diagrama de Bode ϕ_m ← margem de fase

DIAGRAMA DE BODE

fazer tabela dos factores elementares

fator	w_c rad/s (frequência de quebra)
$K =$	—
$p_1(s) = \frac{1}{\tau s+1}$	$w_c = \frac{1}{\tau}$
$z_1(s) = 1 + \kappa s$	$w_c = 1/\kappa$
$p_{2,3}'(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{a} + bs + 1}$	$w_c = \sqrt{a}$

a cada 1 corresponde 1 curva.

↓

escolher a escala do D.B.

→ ver w_c mín e w_c máx

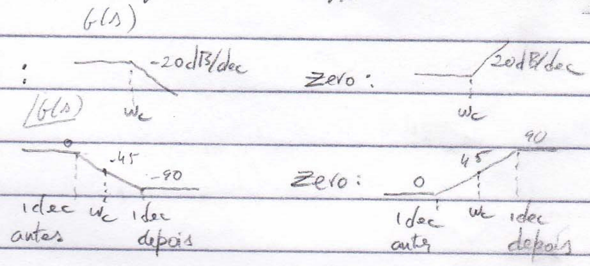
↓ se tem ganho → no final a curva é $G(s) \times K$

→ módulo do ganho $= 20\log_{10} K$ ← sobe na horizontal e aqui q começa

↓

Módulo → pólo: $|G(s)|$ ... zero:

fase → pólo: ... zero:



se tivermos 2 pólos complexos conjugados

$-20 + (-20) = -40$ dB/dec

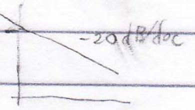
$-90 + (-90) = -180°$

o ganho p/ fase mas funciona tipo ← se $p(s) = \frac{1}{s}$ w/

p -90

z $+90$

módulo 0dB



hip.

fase $-90°$ ———

21 junho 2010

ângulo de inclinação

① i) $G(s) = \frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{12}{s(s+10)(s+70)}$ pondo os termos independentes unitários

ação de controlo ↗

$G(s) = \frac{12/700}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)\left(\frac{s}{70}+1\right)}$ 3ª ordem <u>Tipo 1</u>

Desprezando a c.te tempo + rápida (1/70)

$$G(s) = \frac{12/700}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)} \quad \text{2ª ordem} \quad \underline{\text{Tipo 1}} \quad (2)$$

Derivando p/ obter a velocid. (multiplicar p. "s")

$$\frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{12/700}{\frac{s}{10}+1} \quad \text{1ª ordem} \quad \underline{\text{Tipo 0}} \quad (1)$$

Velocid. máxima ocorre p/ tensão máxima. Aplicando 1 solicitação em degrau de 10V de amplitude

$U(s) = 10 \cdot \frac{1}{s}$ substituindo em (1)

$$\Omega(s) = \frac{12/700}{\frac{s}{10}+1} \cdot \frac{10}{s} = \frac{12/70}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)}$$

A velocid. máx ocorre p/ $t \to \infty$, logo para $s \to 0$

$$w_{max} = \lim_{s \to 0} s \cdot \Omega(s) = \frac{\cancel{s}(12/70)}{\cancel{s}\left(\frac{s}{10}+1\right)} = \frac{12}{70} \text{ rpm?}$$

ii) o regime permanente ocorre para $t \overset{aprox}{=} 4T \Rightarrow t = 0,4s$

$T = 1/10$

iii) Para o mesmo degrau de 10 V de amplitude a eq. (2) fica — é a q tem o ∡

$$\Theta(s) = \underbrace{U(s)}_{10/s} \cdot \frac{12/700}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)} = \frac{12/70}{s\left(\frac{s}{10}+1\right)} = \frac{12/7}{s^2(s+10)}$$

$$\mathcal{L}\{\Theta\} = \mathcal{L}\left\{\frac{12/7}{s^2(s+10)}\right\} = \frac{12}{7}\mathcal{L}\left\{\frac{1}{s^2(s+\underset{a}{10})}\right\} \qquad \theta(t) = \frac{12}{7}\frac{1}{a^2}(at - 1 + e^{-at})$$

$10° \cdot \frac{2\pi}{360}$

b) i) $e_{ss} = \frac{R}{K_v} < 15V$ como o declive da rampa é a própria velocid. $\Rightarrow R = V$

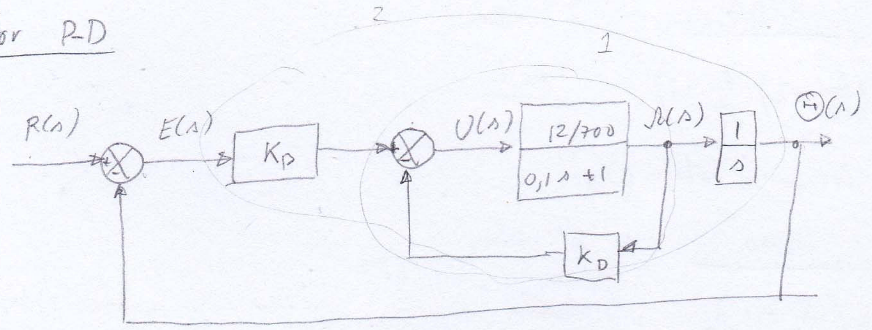
$e_{ss} = \frac{R}{K_v} < 15\cancel{R} \Rightarrow K_v > 1/15$ rad/s (as unid. da rampa tb são rad/s e tem de cortar c/ o K_v p/ dar adimensional)

ii) $M_p < 5\% \Rightarrow \xi \geq 0,7 \wedge \xi < 0,9$

iii) $t_s < 0,6s$, $\varepsilon = 2\% \Rightarrow \frac{4}{\xi w_n} < 0,6 \Rightarrow \xi w_n > 6,67$

Como os bogies são equipados c/ acelerómetros q̄ permitem medir o valor da aceleração lateral, é desejável evitar a derivação do sinal de posição (e de seguida de velocid.) q̄ pode acrescentar ruído ao sinal. Além disso o controlador PD introduz zeros na FTMF o q̄ pode comprometer os requisitos de M_p e t_s.

Controlador P-D



① $$\frac{\frac{12/700}{0{,}1s+1}}{1+\frac{(12/700)K_D}{0{,}1s+1}} = \frac{12/700}{0{,}1s+1+(12/700)K_D}$$

② $$FTMA = \frac{(12/700)K_P}{s(0{,}1s+1+(12/700)K_D)}$$

③ $$FTMF = \frac{\frac{12/700\,K_P}{s(0{,}1s+1+\frac{12}{700}K_D)}}{1+\frac{12/700\,K_P}{s(0{,}1s+1+\frac{12}{700}K_D)}} = \frac{12/700\,K_P}{s\left(0{,}1s+1+\frac{12}{700}K_D\right)+\frac{12}{700}K_P} = \frac{\frac{12}{700}K_P}{0{,}1s^2+s+\frac{12}{700}K_D s+\frac{12}{700}K_P}$$

$$= \frac{\frac{12}{70}K_P}{s^2+s\left(10+\frac{12}{70}K_D\right)+\frac{12}{70}K_P} = \frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2}$$

$0{,}7 < \xi < 0{,}9$ C1

$\xi\omega_n > 6{,}67$ C2

$K_v \geq 6{,}67$ rad/s

$$\omega_n^2 = \sqrt{\frac{12}{70}K_P}$$

$$2\xi\omega_n = 10+\frac{12}{70}K_D \Rightarrow \xi\omega_n = 5+\frac{12}{140}K_D \quad (1)$$

como realimentação é unitária

$$K_v = \lim_{s\to 0} s\cdot FTMA(s) = \frac{12/700\,K_P}{0{,}1s+1+\frac{12}{700}K_D} = \frac{\frac{12}{700}K_P}{\frac{12}{700}K_D} \geq 6{,}67 \quad \therefore \quad K_P \geq 389 + 6{,}67\,K_D \quad (2)$$

eq. (1) + C2

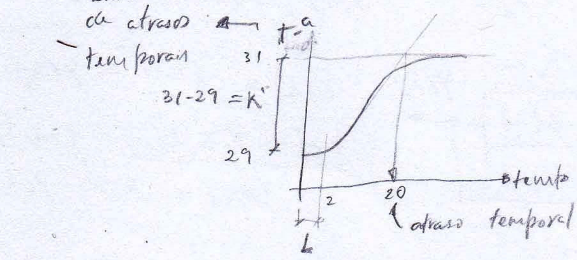
$$5+\frac{12}{140}K_D > 6{,}7 \Rightarrow K_D \geq 19{,}3 \overset{(2)}{\Longrightarrow} K_P \geq 517$$

$$\xi = \frac{5+\frac{12}{140}\overbrace{K_D}^{19,3}}{\sqrt{\frac{12}{70}\underbrace{K_P}_{517}}} = 0{,}706 \checkmark$$

21 junho 2010

(2)

a) Estimar:
- tipo ← ação de controlo cte ⇒ saída cte (tende p/ valor) ⇒ tipo 0
- ordem ← = nº de elementos de dinâmica não desprezável entre a ação de comando e a saída
  - caldeira
  - Pt100
  - moto-bomba
  - termo convector
  - válvula motorizada
- existência de atrasos temporais ←



45% → 55%
$\Delta U = 10\%$

é pequeno pq o Pt100 está colocado logo à saída do convector

↑ atraso transporte: existência de 1 intervalo de tempo entre uma atuação sobre 1 dado sistema e a manifestação de seus efeitos sobre o comportamento deste.

A cte tempo, τ, está relacionada c/ a inércia térmica do fluido q está a ser insuflado.

b) P, PI ou PID p/ $e_{ss} = 0$ a ref. ctes

Para $e_{ss} = 0$ a ref. ctes. é preciso q o seu tipo seja ≥ 1. como é tipo 0 é preciso q o controlador tenha ação integral

Qdo a variação é mto brusca, a ação derivativa é indesejada pois destabiliza a resposta.

$L < T \Rightarrow \Delta$ suave $\Rightarrow$ PID

$L > T \Rightarrow \Delta$ brusca $\Rightarrow$ PI

$L = 2s$

$T = 20 - 2 = 18s$

$L < T \Rightarrow$ PID $\Rightarrow$ 4ª ordem

Dimensionamento do controlador pelo 1º método de Ziegler-Nichols:

$$K = \frac{K'}{\Delta U} = 0{,}2\ °C/\%$$

($K' = 2$, $\Delta U = 10$)

$$\frac{K}{T} = \frac{a}{L} \Rightarrow a = 0{,}02\ °C/\%$$

($K = 0{,}2$, $T = 20$, $L = 2$)

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$1/a$	—	—
PI	$0{,}9/a$	$3L$	—
PID	$1{,}2/a$	$2L$	$L/2$

$$K_p = \frac{1{,}2}{a} = 60$$

$$T_i = 2L = 4$$

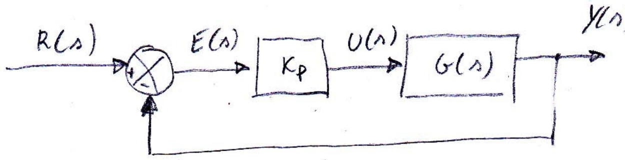
$$T_d = \frac{L}{2} = 1$$

(3)

$$U(s) = K_p \left\{ \left[\alpha \cdot R(s) - Y(s)\right] + \frac{1}{T_i s}\left[R(s) - Y(s)\right] + T_d s\left[\beta \cdot R(s) - Y(s)\right] \right\}$$

	α	β	T_i	T_d
PID	1	1	n	n
P-D	1	0	∞	n
P	1	0	∞	0
PD	1	1	∞	n
I-P	0	0	n	0
PI-D	1	0	n	n
PI	1	0	n	0
I-PD	0	0	n	n

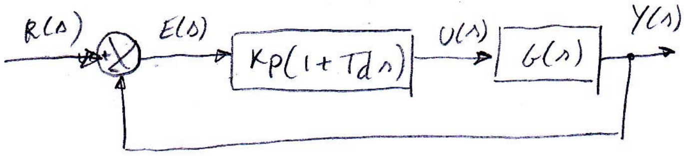
i) P



$$E(s) = R(s) - Y(s)$$

$$\underbrace{K_p E(s)}_{U(s)} = K_p(R(s) - Y(s))$$

ii) PD

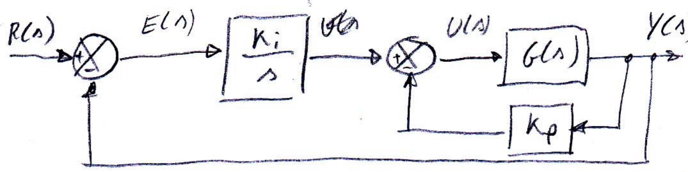


$$E(s) = R(s) - Y(s)$$

$$\underbrace{k_p(1+T_d s)E(s)}_{U(s)} = (1+T_d s)(R(s) - Y(s))$$

$$U(s) = R(s) - Y(s) + T_d s(R(s) - Y(s))$$

iii) I - P



$$E(s) = R(s) - Y(s)$$

$$E(s)\frac{k_i}{s} = \frac{k_i}{s}(R(s) - Y(s))$$

$$\underbrace{E(s)\frac{k_i}{s} - k_p Y(s)}_{U(s)} = \frac{k_i}{s}(R(s) - Y(s)) - k_p Y(s)$$

como $k_i = \frac{k_p}{T_i}$

$$U(s) = \frac{k_p}{T_i s}(R(s) - Y(s)) - k_p Y(s) =$$

$$= k_p\left(-Y(s) + \frac{1}{T_i s}(R(s) - Y(s))\right)$$

iv)

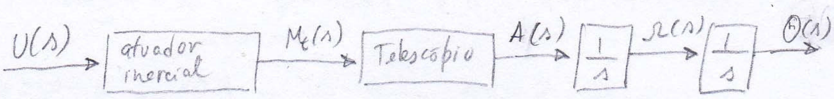
b) $f_N = 50\ Hz$ $\quad w_N = f_N \cdot 2\pi = 314\ rad/s$ $\quad f_s = \frac{w_s}{2\pi} = \frac{2 \cdot w_N}{2\pi} = 100\ Hz \Rightarrow T_s = \frac{1}{f_s} = 0{,}01\ s$

Aplicar agora a transformação de Tustin

$$U(z) = U(s)\Big|_{s = \frac{2}{T_s}\cdot\frac{z-1}{z+1}}$$

29 JUNHO 2009

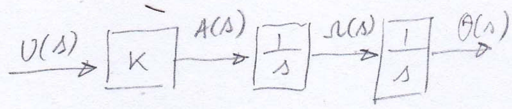
a)



$A(s) = K\,U(s) \Rightarrow K = 0{,}06$ rad/s^2%. ($\frac{6}{100}$)

$U(s) = \pm 100\%$

$A(s) = \pm 6$ rad/s^2



pode simplificar pq é dito q $U(s) \propto A(s)$

$\frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{K}{s^2} \Rightarrow$ tipo 2, 2ª ordem

b) converter w p/ rad/s

1 minuto de arco $= \frac{1}{60}{}^\circ = \frac{2\pi}{360} \cdot \frac{1}{60}$ rad

i) $e_{ss} \leq 0{,}01 \cdot \frac{2\pi}{360 \cdot 60} = 2{,}91 \cdot 10^{-6}$ rad

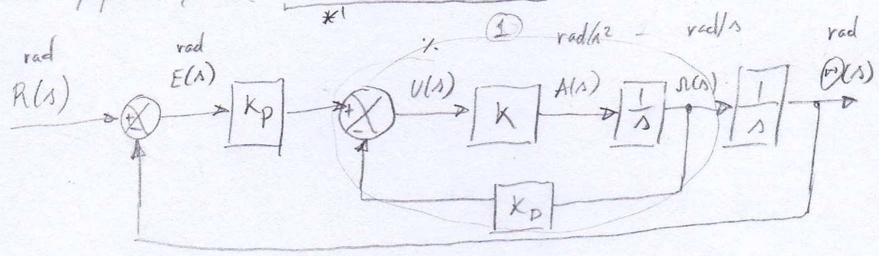
$v_{corpo} = 0{,}21 \frac{2\pi}{360 \cdot 60} = 6{,}11 \cdot 10^{-5}$ rad/s $= R$

$\frac{R}{K_v} < e_{ss} \Rightarrow K_v > 21$ ($6{,}11 \cdot 10^{-5}$, $2{,}91 \cdot 10^{-6}$)

ii) $M_p < 5\%$ $\downarrow$ $\xi \geq 0{,}7$

Como o sistema é tipo 2, 2ª ordem o controlador ñ precisa de ação integral. Por ser de 2ª ordem é conveniente usar um controlador P-D (a realimentação é possível pq o satélite está eqipado c/ um transdutor de velocid.*1). São necessárias 2 ações de controlo, uma p/ w_n e outra p/ ξ

*1 giroscópio p/ medição de velocid angular



Satélite parado é solicitado a acompanhar corpo em movim. $\Rightarrow$ solicitação em rampa c/ declive $= v_{corpo}$.

Determinação de K_v:

Como a realimentação é unitária

$K_v = \lim_{s\to 0} s\,FTMA(s) > 6{,}11 \cdot 10^{-3}$

$FTMA(s) = K_P \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{K}{s + K_D K} = \frac{K K_P}{s(s + K_D K)}$ tipo 1, 2ª ordem

1 $\frac{\frac{K}{s}}{1 + \frac{K_D K}{s}} = \frac{K}{s + K_D K}$

$\lim_{s\to 0} \frac{\cancel{s} \cdot K K_P}{\cancel{s}(s + K_D K)} = \frac{K K_P}{K_D \cancel{K}} \Rightarrow \boxed{\frac{K_P}{K_D} > 21}$ (4)

ii) $FTMF = \dfrac{FTMA}{1+FTMA} = \dfrac{\dfrac{kK_p}{s(s+kK_D)}}{1+\dfrac{kK_p}{s(s+kK_D)}} = \dfrac{kK_p}{s(s+kK_D)+kK_p} = \dfrac{kK_p}{s^2+s.kK_D+kK_p} = \dfrac{\omega_n^2}{s^2+2s\xi\omega_n+\omega_n^2}$

$$\begin{cases} \omega_n^2 = kK_p \\ 2\xi\omega_n = kK_D \end{cases} \Rightarrow \begin{array}{l} \omega_n = \sqrt{kK_p} \quad (2) \\ \xi = \dfrac{kK_D}{2\omega_n} \geq 0{,}7 \quad (1) \end{array}$$

Fazendo $\xi = 0{,}7 \xrightarrow{(1)} \omega_n = \dfrac{\overset{0{,}06}{kK_D}}{2 \cdot 0{,}7} = 0{,}0429\,K_p$ (3)

$$\begin{cases} \dfrac{K_p}{K_D} > 21 \Rightarrow K_p > 21K_D \Rightarrow K_p = 14\,406 \\ \dfrac{kK_D}{2\sqrt{kK_p}} \geq 0{,}7 \Rightarrow \dfrac{kK_D}{2\sqrt{k \cdot 21K_D}} \geq 0{,}7 \Rightarrow K_D = 686 \end{cases}$$

units?

K_p: rad. $(\ldots) = \%$

$(\ldots) = \left[\dfrac{\%}{rad}\right]$

K_D: $\dfrac{rad}{s} \cdot (\ldots) = \%$

$(\ldots) = \left[\dfrac{\%}{rad/s}\right]$

(solicitação em Γ)

2) a) Tipo: ação controlo cte => saída tende p/ valor cte => tipo

Ordem: nº de elementos de dinâmica n desprezável entre ação de comando e saída

- Motobomba + motor
- chiller
- variador eletrónico de frequência?

} 3 +

atrasos temporais
- de transporte $L = 16s$
- cte de tempo $\tau = 27{,}5 - 16 = 11{,}5s$

b) Para garantir $e_{ss} = 0$ a Ref T^a de retorno da água cte, o sistema precisa ser tipo ≥ 1 portanto o controlador tem de ter ação integral. => sistema passa a ser ordem 4

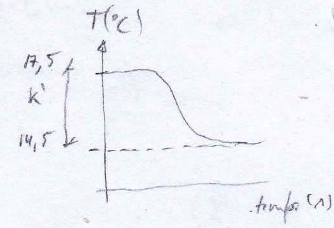
Além disso, como $L > T \Rightarrow \Delta T^a \uparrow$ deve-se evitar introduzir ação derivativa

∴ Controlador PI

c) 1º método de Ziegler-Nichols

controlador PI: $K_p = \dfrac{0{,}9}{a} \xleftarrow{(2)} \dfrac{K'\ \text{°C/V}}{\underset{11{,}5}{\tau(s)}} = \dfrac{a}{\underset{16}{L(s)}} \xleftarrow{(1)} K = \dfrac{\overset{14{,}5-17{,}5}{K'}}{\underset{8-6}{\Delta U}}\ \dfrac{\text{°C}}{\text{V}}$

$T_i = 3L$



$K = -1{,}5\ \text{°C/V} \xrightarrow{(1)} a = -2{,}09\ \text{°C/V} \xrightarrow{(2)} K_p = -0{,}43\ \text{°C/V}$

$T_i = 48\,s$

$$G_c(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) = -0{,}43\left(1 + \frac{1}{48s}\right)$$

29 junho 2009

3) a)

$f_N = 10\ Hz \qquad w_N = f_N \cdot 2\pi = 20\pi\ rad/s \qquad f_s = \frac{w_s}{2\pi} = \frac{2 \cdot w_N}{2\pi} = 20\ Hz \qquad T_s = \frac{1}{f_s} =$

$$U(z) = K_p\left(\left(\alpha \cdot R(s) - Y(s)\right) + \frac{1}{T_i \cdot \frac{2}{T_s} \cdot \frac{z-1}{z+1}} \cdot \left(R(s) - Y(s)\right)\right)$$

$$U(z) = K_p\left(\alpha \cdot R(s) - Y(s)\right) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \frac{T_s(z+1)}{2(z-1)}\left(R(s) - Y(s)\right)$$ Tirando $(z-1)$ de denominador

$$U(z)(z-1) = K_p(z-1)\left(\alpha R(s) - Y(s)\right) + \frac{K_p}{T_i}\frac{T_s(z+1)}{2}\left(R(s) - Y(s)\right)$$ Dividindo pela > potência de z (q aqui é z)

$$U(z)(1-z^{-1}) = K_p(1-z^{-1})\left(\alpha R(s) - Y(s)\right) + \frac{K_p}{T_i}\frac{T_s(1+z^{-1})}{2}\left(R(s) - Y(s)\right)$$ passando p/ domínio temporal

$$u_k - u_{k-1} = K_p \cdot \left(\alpha r_k - y_k - (\alpha r_{k-1} - y_{k-1})\right) + \frac{K_p T_s}{2T_i}\left((r_k - y_k) + (r_{k-1} - y_{k-1})\right)$$

$u_k = u_{k-1} + \ldots$

18 JULHO 2008

1. a) $U(s) \in [0, 10]\,V$ (tensão de comando)

O diagrama está representado no domínio variacional, em torno de um ponto de funciona/o: $T_{amb} = 20°C$

$T = T_{forno} = 200°C$

Então $\delta T_{amb} = T_{amb} - 20$

$\delta T_{forno} = \delta T = T - 200 \quad (1)$

Para a condição $T_{amb} = 20°C \Rightarrow \delta T_{amb} = 0$ e o ramo de cima desaparece. O diagrama de blocos fica

$$\delta U \longrightarrow \boxed{G_A} \xrightarrow{\delta P} \boxed{\frac{\overset{30}{K}}{\underset{120}{T} s + 1}} \xrightarrow{\delta T}$$

Daqui se tira $\delta T = \dfrac{G_A K}{Ts+1}\delta U$

Em regime permanente $\delta T = \lim\limits_{s \to 0} \dfrac{G_A K}{Ts+1} \delta U = G_A K\, \delta U$

Se $U = 0 \overset{\text{reg. perm.}}{\Longrightarrow} T = T_{amb} = 20$, substituindo (1) acima e sabendo que $\delta U = U - U_0$

tensão de comando definida p/ o ponto funciona/o

$$\overset{20}{T} - 200 = \frac{\overset{2}{G_A}\overset{30}{K}}{\underset{120}{T}s+1}\delta U \Rightarrow U_0 = 3V$$

O valor máximo ocorre qdo se aplica a máx tensão de comando

$$T - 200 = \frac{\overset{2}{G_A}\overset{30}{K}}{\underset{120}{T}s+1}(\overset{10}{U} - \overset{3}{U_0}) \Rightarrow T = 620°C$$

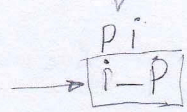
b) A tensão de comando respetiva às condições de linearização é $U_0 = 3V$ (calculada acima)

Relativa/ à potência, $= \underset{3}{U_0} \cdot \underset{2}{G_A} = 6\,kW$

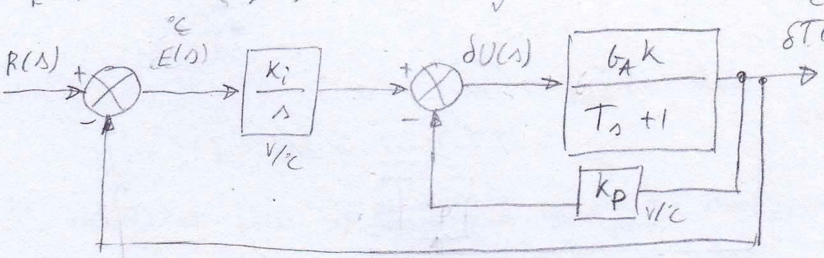
c) i) sitema tipo 0 $\longrightarrow$ controlador c/ ação integral

ii) $t_s = 240 = \frac{4}{\zeta \omega_n}$ $(\varepsilon = 2\%)$ $\wedge\ \zeta \leq 0{,}9$ } vai ser preciso ajustar ω_n e ζ

iii) $M_p \leq 5\% \Rightarrow \zeta \geq 0{,}7$



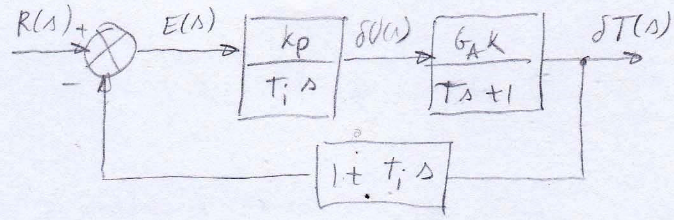
Ⓐ



← diagrama p/ Tamb = 20 °C p/ evitar o controlador ter 2 graus de liberdade.

Este sistema pode ser representado de maneira q os blocos do controlador estejam separados dos do sistema

Ⓑ



Vamos 1° tentar pelo de cima e dps verificamos p/ o de baixo sabendo q $k_i = \frac{k_p}{T_i}$

Ⓐ

$$\frac{\frac{G_A k}{T_s+1}}{1+\frac{G_A k k_p}{T_s+1}} = \frac{G_A k}{T_s+1+G_A k k_p}$$

$$FTMA = \frac{G_A k k_i}{s(T_s+1+G_A k k_p)} \qquad FTMF = \frac{FTMA}{1+FTMA}$$

$$FTMF = \frac{G_A k k_i}{s(Ts+1+G_A k k_p)+G_A k k_i} = \frac{\frac{G_A k k_i}{T}}{s^2 + s\frac{(1+G_A k k_p)}{T} + \frac{G_A k k_i}{T}} = \frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

$$\begin{cases} \omega_n^2 = \frac{\overbrace{G_A k}^{60} k_i}{\underbrace{T}_{120}} \Rightarrow \omega_n^2 = \frac{k_i}{2} \\ 2\zeta\omega_n = \frac{1+\overbrace{G_A k}^{60} k_p}{2\underbrace{T}_{120}\omega_n} = 0{,}0167 \Rightarrow k_p = 0{,}05 \end{cases}$$

por ii) $\Rightarrow \zeta\omega_n = 0{,}01(6) \approx 0{,}0167$

por iii) $0{,}7 \leq \zeta \leq 0{,}9$

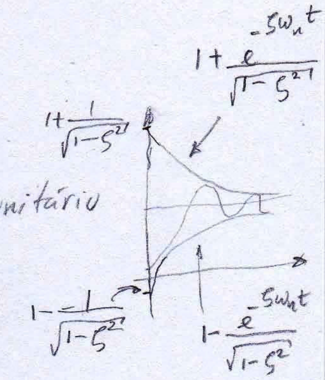
$$\begin{cases} 0{,}7 \leq \frac{1+\overbrace{G_A k}^{60}\overbrace{k_p}^{0{,}05}}{\underbrace{2T}_{120}\sqrt{\frac{k_i}{2}}} \Rightarrow \\ \frac{1+G_A k k_p}{2T\sqrt{\frac{k_i}{2}}} \leq 0{,}9 \Rightarrow \end{cases}$$

18 julho 2008

(2) $U(s) \in [-10, 10]\,V$; $w_n = 40\pi$ rad/s ; $\xi = 0{,}6$; $K = 1\,\text{rpm}/V = \frac{\pi}{30}\,\text{rad}/sV$

a) $U(s) \longrightarrow \boxed{\text{válvula}} \xrightarrow{P(s)} \boxed{\text{Motor}} \xrightarrow{\Omega_{mot}(s)} \boxed{\text{Redutor}} \xrightarrow{\Omega(s)}$ $\qquad \varepsilon < 1\%$

$$U(s) \longrightarrow \boxed{\dfrac{K}{\frac{1}{w_n^2}s^2 + \frac{2\xi s}{w_n} + 1}} \longrightarrow \Omega(s)$$



Considerando as 2 curvas envolventes da resposta ao degrau unitário

Para um erro de 1%.

$$1+\frac{e^{-\xi \underbrace{w_n}_{40\pi} t}}{\sqrt{1-\underbrace{\xi^2}_{0,6}}} = 1{,}01 \implies t = 0{,}064\,s$$

ou tb se podia usar a curva de baixo $= 0{,}99$

b) copiado do Bessa

O sistema é de tipo 0, e para uma solicitação em Ω (v. ref cte) responde c/ 1 erro cte em regime permanente pelo q. ñ é necessária ação integral no controlador $\Rightarrow$ comp de avanço de fase

$$e_{ss} = \frac{R_0}{1+K_p} \quad , \quad K_p = \lim_{s\to 0} FTMA(s)$$

factor

$$p_1(s) = \frac{1}{1 + j\frac{2\xi}{40\pi}w - \frac{1}{(40\pi)^2}w^2}$$

freq. quebra $w_c = w_n = 40\pi$

i) $\left.\frac{e_{ss}}{R_1}\right\} = 0{,}01$

$$FTMA(s) = \frac{K_c(T_1 s + 1)}{\frac{T}{2}s + 1} \cdot \frac{1}{\frac{1}{(40\pi)^2}s^2 + \frac{2\cdot 0{,}6}{40\pi}s + 1}$$

$$K_p = \lim_{s\to 0} K \cdot \frac{0+1}{0+1} \cdot \frac{1}{0+0+1} = K$$

$$\frac{e_{ss}}{K} = 0{,}01 = \frac{1}{1+K} \implies K = 99$$

?

18 julho 2008

3

a) $U_c \nearrow$ ⟹ válvula abre ⟹ passa + $\dot{V}$ por ela e − pelo permutador. ⟹ ar aquece.

$U_c \nearrow$ ⟹ ar aquece ⟹ ganho do controlador tem sinal +

$G_c = K \ V/C°$

b) ordem sistema = nº de componentes de dinâmica ñ desprezável do sistema

componente cuja influência no sistema ñ pode ser desprezada

ordem ≥ 3 ⟸ $\begin{cases} \text{permutador} \\ \text{eletroválvula} \\ \text{bomba + motor} \end{cases}$

o tipo do sistema deve ser 0 porque mediante uma solicitação em degrau (da válvula) a temperatura tenderá, em regime permanente, p/ um valor cte.

Qto. a atrasos temporais:
- de transporte (L) deverá existir porque a conduta é grande e o Pt 100 só foi colocado no final. Se tivesse sido colocado ao pé do permutador o L ↓.
- cte tempo (T): tem de ter devido à inércia térmica do ar e devido às caraterísticas do permutador (resistência térmica (condução + conv. + rad.))

c) Para o sistema não ter nenhum erro ao fim de muito tempo ($e_{ss} = 0$) deve ter pelo − 1 integrador ⟹ o controlador é q vai ter de o ter visto q o sistema tipo 0 ñ tem nenhum. ⟹ PI ou PID.

Tendo informação relativa aos valores de L e T é possível ajudar na escolha.

Podemos ver q $P_{cr} \approx 194\,s$ (período c/ oscilações ctes). Para um P_{cr} tão grande também T deve ser grande ⟹ $T > L$ ⟹ PID.

d) $K_{cr} = 2\,V/°C$; $P_{cr} \approx 194\,s$

Para 1 controlador PID

K_p	T_i	T_d
$0{,}6 K_{cr}$	$\frac{P_{cr}}{2}$	$\frac{P_{cr}}{8}$
$0{,}54\,V/°C$	$97\,s$	$24{,}25\,s$

$$G_c = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$$

$$G_c = 0{,}54\left(1 + \frac{1}{97 s} + 24{,}25 s\right)$$