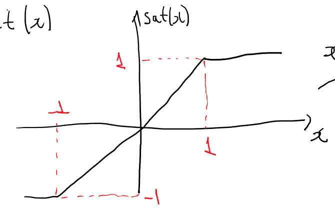
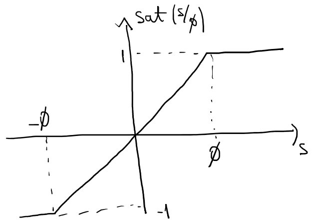
CHATTERING

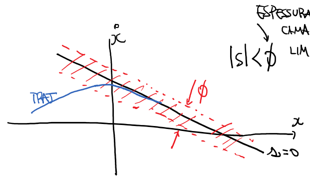
$\text{sign}(s) \longrightarrow \text{sat}(s/\phi)$

$\text{sat}(x)$



$x \to s/\phi$





ESPESSURA CAMADA LIMITE

$|s| < \phi \longrightarrow$ erro associado

$$|s| \leq \phi \Rightarrow \boxed{|\tilde{x}| \leq \frac{\phi}{\lambda^{n-1}}}$$

A CAMADA LIMITE INTRODUZ ERRO EM REGIME

CONTROLE INTEGRAL

$$\boxed{s = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)^n \int \tilde{x}\, d\tau}$$

Para: $n = 2$

$$\boxed{s = \dot{\tilde{x}} + 2\lambda\tilde{x} + \lambda^2 \int \tilde{x}\, d\tau}$$

↳ ELIMINA ERRO REGIME

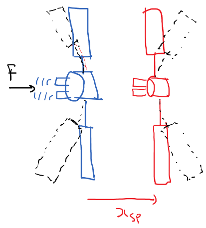
↳ SE ASSOCIADO $\text{sat}(s/\phi)$ ELIMINA CHATTERING

AJUSTE PARÂMETROS

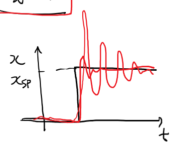
(λ) → LARGURA DE BANDA

$n=2)$ $\dot{\tilde{x}} + \lambda\tilde{x} = 0 \to$ RESPOSTA MALHA FECHADA ERRO

1) λ DEVE SER MENOR QUE O 1º MODO RESSONANTE NÃO MODELADO



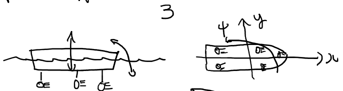
$\boxed{M\ddot{x} = F}$



x_{sp}

$$\lambda < \lambda_R = \frac{2\pi\, \nu_R^{Hz}}{3}$$

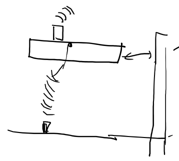
Ex)



$\nu_R = 0{,}5\, \text{rad/s} \to \boxed{\lambda = 0{,}16\, \text{rad/s}}$

2) ATRASO TRANSPORTE MEDIDAS

$$\lambda < \lambda_A = \frac{1}{3T_A}$$



8s atraso

POSIÇÃO REAL E MEDIDA

$\lambda < \frac{1}{24}$ $\boxed{= 0{,}042\, \text{rad/s}}$

3) AMOSTRAGEM

$$\lambda < \lambda_s \cong \frac{1}{5}\nu_{SAMPLE}$$

Ex) NAVIO DP → 1s

$\lambda < \frac{1}{5}\,1$ $\boxed{= 0{,}2\, \text{rad/s}}$

$$\boxed{\lambda < 0{,}042}$$

2) η → TEMPO ALCANCE

$$t_R = \frac{s(0)}{\eta} \to \boxed{\eta = \frac{s(0)}{t_R}}$$

Ex) $n=2$

$$\left.\begin{array}{l}\dot{\tilde{x}}(0) = 0\\ \tilde{x}(0) = \tilde{x}_0\end{array}\right\} \quad s(0) = \dot{\tilde{x}}_0 + \lambda\tilde{x}_0 = \lambda\tilde{x}_0$$

$$\boxed{\eta = \frac{\lambda\tilde{x}_0}{t_R}}$$

3) φ → ESPESSURA C.L.

$$\tilde{x} = \frac{\phi}{\lambda^{n-1}}$$

ERRO REGIME

CONTROLE POR MODOS DESLIZANTES DE ORDEM SUPERIOR

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_T \\ \dot{F}_T = u \end{cases}$$

→ REDUZIR CHATTERING ELEVANDO A ORDEM DO SISTEMA

$F_T = \int u \, dt$

$s = \dot{\tilde{x}} + \lambda\tilde{x} \Rightarrow \dot{s} = \ddot{\tilde{x}} + \lambda\dot{\tilde{x}} \Rightarrow$

$\ddot{s} = \dddot{\tilde{x}} + \lambda\ddot{\tilde{x}} \Rightarrow$

$$\boxed{\ddot{s} = \left(\frac{1}{m}u - \dddot{x}_d\right) + \lambda\ddot{\tilde{x}}}$$

→ DINÂMICA DE 2º ORDEM em t

SE: $u = m\left(\dddot{x}_d - \lambda\ddot{\tilde{x}}\right) + u_{descontínuo}$

→ ACELERAÇÃO (2º DERIVADA DA MEDIDA)

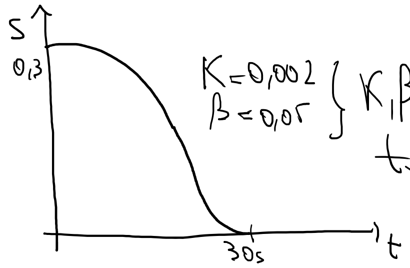
↓

DINÂMICA EM t, DESCONSIDERANDO ERROS MODELAGEM

$$\boxed{\ddot{s} = u_{descont}}$$

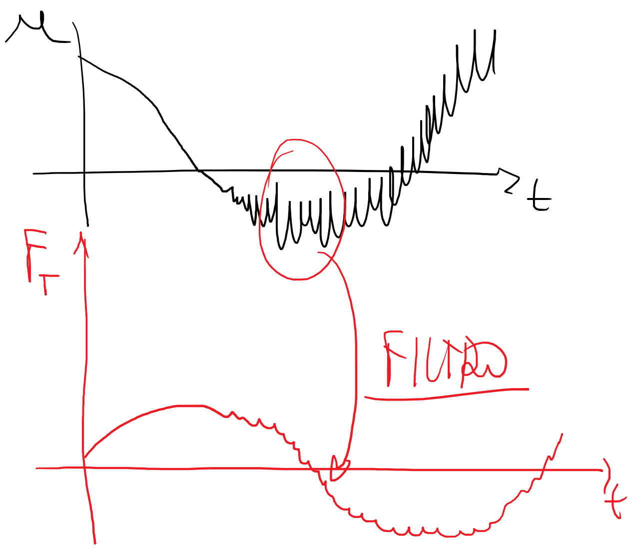
↓

LEVANT $= -K\,\mathrm{sgn}\left(\dot{s} + \beta\sqrt{|s|}\,\mathrm{sgn}(s)\right)$



$K = 0{,}002$
$\beta = 0{,}05$ { K, β ajustados p/ tempo de alcance

$\lambda \Rightarrow$ MESMO significado do S.M. 1º ORDEM



→ PROBLEMA ⇒ necessidade de 2º derivada posição.

↓

LEVANT ⇒ $\boxed{\text{diferenciador exato}}$

CONTROLE ADAPTATIVO

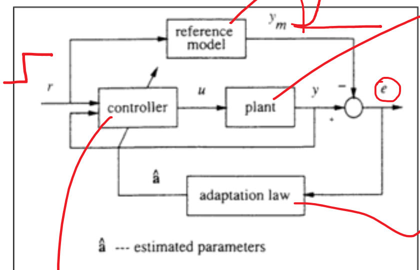


Figure 8.3 : A model-reference adaptive control system

MODELO IDEAL DO SISTEMA EM M.F.

ESTRUTURA MODELO CONHECIDA

AJUSTA GANHOS CONTROLE

PARAMETRIZADO POR PAR. AJUSTÁVEIS

SE A PLANTA FOSSE CONHECIDA, GARANTIRA TRACKING AO MOD. REF.

$$\boxed{\overset{\text{NÃO CONHECIDO}}{m}\,\ddot{x} = u} \rightarrow \text{PLANTA}$$

$$\boxed{\underbrace{\ddot{x}_M + \lambda_1 \dot{x}_M + \lambda_2 x_M}_{\text{M.R.}} = \lambda_r \overset{\text{SET-POINT}}{r(t)}}$$

SE m fosse conhecido

$$u = m\left(\ddot{x}_M - 2\lambda\dot{\tilde{x}} - \lambda^2\tilde{x}\right)$$

COM $\tilde{x} = x - x_M$

COMO m NÃO É CONHECIDO

$$u = \hat{m}\left(\ddot{x}_M - 2\lambda\dot{\tilde{x}} - \lambda^2\tilde{x}\right)$$

$\Rightarrow$ DINAMICA MALHA FECHADA

$$m\ddot{x} = \hat{m}\left(\ddot{x}_M - 2\lambda\dot{\tilde{x}} - \lambda\tilde{x}\right)$$

SENDO $\tilde{m} = \hat{m} - m$

$$\boxed{m\dot{s} + \lambda m s = \tilde{m}\cdot v}$$

COM

$s = \dot{\tilde{x}} + \lambda\tilde{x}$

$v = \ddot{x}_M - 2\lambda\dot{\tilde{x}} - \lambda^2\tilde{x}$

$\hookrightarrow$ s É LIGADO AO ERRO PARAMETRICO ($\tilde{m}$) POR UM FILTRO ESTÁVEL

VAMOS INTRODUZIR UMA LEI DE ADAPTAÇÃO

$$\boxed{\dot{\hat{m}} = -\gamma v \cdot s}$$

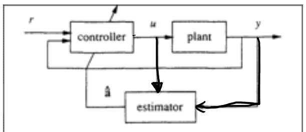
$$V = \frac{1}{2}\left[m s^2 + \frac{1}{\gamma}\tilde{m}^2\right] \quad \text{PD}$$

$$\dot{V} = \frac{1}{2}\left[m s\dot{s} + \frac{1}{\gamma}2\tilde{m}\dot{\tilde{m}}\right]$$

$\vdots$

$$\dot{V} = -\lambda m s^2 < 0 \Rightarrow \text{SND} \Rightarrow \text{ESTÁVEL}$$

$\hookrightarrow$ $\begin{cases} s \to 0 \ (x \to x_M) \\ \tilde{m} \text{ É BOUNDED} \end{cases}$



â --- estimated parameters

Figure 8.6 : A self-tuning controller

ESTIMADORES 1) BASEADO NA RELAÇÃO $u \to y$, ESTIMA PARÂMETROS PLANTA. $\hat{a}$

2) CONTROLE SE ATUALIZA BASEADO EM $\hat{a}$

STC

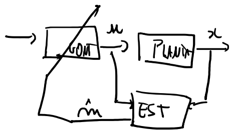
MÍNIMOS QUADRADOS OU OUTROS ↔ PID LQR LQG H_∞

IDENTIFICAÇÃO — CONTROLE

$$m\ddot{x} = u$$

$$\to u = \hat{m}\left(\ddot{x}_m - 2\lambda\dot{\tilde{x}} - \lambda^2\tilde{x}\right)$$

ALOCAÇÃO DE POLOS $-\lambda$



→ ESTIMAR m (IDENTIF. PLANTA)

(A) $\boxed{\hat{m} = \frac{u}{\ddot{x}}}$ — MUITO RUÍDO / NÃO TEM HISTÓRICO

(B) MIN. QUADRADOS

estimar $\hat{m}$ / $J = \int_0^t e^2(\tau)\,d\tau$ seja mínimo

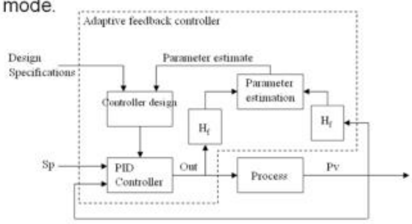
onde $e(\tau) = \hat{m}(\tau)\ddot{x}(\tau) - u(\tau)$

$$\Rightarrow J = \int_0^t (\hat{m}\ddot{x})^2 - 2\hat{m}\ddot{x}u + u^2\,d\tau$$

$$\frac{dJ}{d\hat{m}} = 0 \Rightarrow \int_0^t 2\hat{m}\ddot{x}^2\,d\tau - \int_0^t 2\ddot{x}u\,d\tau = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{\hat{m} = \frac{\int \ddot{x}u\,d\tau}{\int \ddot{x}^2\,d\tau}}$$

- Adaptation of the control parameters can be used when the dynamic changes are slow in comparison with the main process dynamics!
- A variety of rule sets defines when the Out and Pv signals can be used for adaptation and then the parameter estimate is focused around the frequency gained during the auto-tuning. Parameter estimation is done using Least-Squares methods.
- Adaptation runs continuously and an extensive set of rules are implemented to safe-guard against condition when Out and Pv does not contain useful modelling information contents or the controller is in manual mode.



Slide 23

EX SIST 1º ORDEM) MRAC (SINAL(b_p) CONHECIDO)

$$\begin{cases} \dot{y} = -a_p y + b_p u \\ \dot{y}_M = -a_M y_M + b_M r \end{cases}$$

(a_p, b_p NÃO CONHECIDOS)

($a_M > 0$ ESTÁVEL)
(a_M, b_M p/ $y_M \to r$)
(a_M, b_M CONHECIDOS)

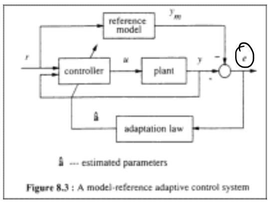


Figure 8.3 : A model-reference adaptive control system

$$u = \hat{a}_r r + \hat{a}_y y$$

CASO IDEAL: $a_y^* = \dfrac{a_p - a_M}{b_p}$ $\quad a_r^* = \dfrac{b_M}{b_p}$

PLANTA = MODELO REF!!

EM MALHA FECHADA CASO IDEAL

$$\dot{y} = -a_p \cdot y + b_p \cdot \left(\frac{b_M}{b_p} \cdot r + \frac{a_p - a_M}{b_p} \cdot y \right) = -a_M y + b_M r$$

$$\left.\begin{aligned} \hat{a}_r &\to a_r^* \\ \hat{a}_y &\to a_y^* \end{aligned}\right\}$$ OBTER LEI DE ADAPTAÇÃO p/ GARANTIR ESTA CONVERGÊNCIA

$z = y - y_M$ = ERRO DE ACOMPANHAMENTO

$$\dot{z} = \dot{y} - \dot{y}_M$$

$$\dot{z} = -a_p y + b_p u + a_M y_M - b_M r$$

$$\dot{z} = -a_p y + b_p (\hat{a}_r r + \hat{a}_y y) + a_M y - b_M r$$

$$\dot{z} = -a_M (y - y_M) + (\underbrace{-a_p - a_M}_{-a_y^* b_p} + b_p \hat{a}_y) y + (b_p \hat{a}_r - \underbrace{b_M}_{a_r^* \cdot b_p}) r$$

$$\dot{z} = -a_M z + b_p(-a_y^* + \hat{a}_y) + b_p(\hat{a}_r - a_r^*) r$$

$$\boxed{\dot{z} = -a_M z + b_p (\tilde{a}_y y + \tilde{a}_r r)}$$

$$\left.\begin{aligned} \tilde{a}_y &= \hat{a}_y - a_y^* \\ \tilde{a}_r &= \hat{a}_r - a_r^* \end{aligned}\right\}$$ erro estimativa parâmetros

LEI ADAPTAÇÃO

$$\dot{\hat{a}}_r = -\operatorname{sgn}(b_p) \gamma z r$$

$$\dot{\hat{a}}_y = -\operatorname{sgn}(b_p) \gamma z y$$

$$V = \frac{1}{2} z^2 + \frac{1}{2\gamma} |b_p| (\tilde{a}_r^2 + \tilde{a}_y^2) \quad (PD)$$

$\vdots$

$$\dot{V} = -a_M z^2 \quad (SND)$$

$\hookrightarrow$ $z \to 0$; $\tilde{a}_r, \tilde{a}_y$ LIMITADOS

EX) FORNO

$$\dot{y} = -\frac{1}{\tau} y + K \cdot u \qquad \begin{cases} \tau = 600s \\ K = 1{,}2 \\ u = [0; 1] \end{cases}$$

$$\dot{y}_M = -\frac{1}{300} y_M + \frac{1}{300} r$$

STC

$\dot{y} = -a_p y + b_p u$

IDENT. a_p, b_p BASEADO NA MEDIDA DE y i u

TRUQUE $\quad s.Y = -a_p . Y + b_p . U$

$(s+d_f)Y = (-a_p+d_f)Y + b_p . U$

$$\boxed{Y = -(a_p+d_f) . Y_f + b_p . U_f}$$

c/ $Y_f = \dfrac{Y}{s+d_f} \quad U_f = \dfrac{U}{s+d_f}$

$$y = \begin{pmatrix} y_f & u_f \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} d_f - a_p \\ b_b \end{pmatrix}$$

$$\boxed{y = \underset{\sim}{x}^T . \underset{\sim}{p}}$$

$\underset{\sim}{x} = \begin{pmatrix} y_f \\ u_f \end{pmatrix} \quad \underset{\sim}{p} = \begin{pmatrix} d_f - a_p \\ b_p \end{pmatrix}$

$\hat{y} = \underset{\sim}{x}^T . \underset{\sim}{\hat{p}}$

$\tilde{y} = \hat{y} - y$

$\tilde{y} = x^T . \hat{p} - x^T . p = x^T . \tilde{p}$ → erro parâmetro

VÁRIOS MÉTODOS
- GRADIENT
- LEAST SQUARE

$\dot{\hat{p}} = -\dfrac{\alpha}{2} . \dfrac{d\tilde{y}^2}{d\hat{p}}$ ← $\hat{p}$ VAI BUSCANDO DIREÇÃO CONTRÁRIA CRESCIMENTO DO ERRO

$\dot{\hat{p}} = -\dfrac{\alpha}{2} . 2\tilde{y}\underset{\sim}{x}$

$$\boxed{\dot{\hat{p}} = -\alpha . \tilde{y} . \underset{\sim}{x}}$$

α → PARÂMETRO

CONTROLE → PRINCÍPIO EQUIVALENCIA A CERTEZA

$u = a_y . y + a_r . r$

OBJETIVO $\quad t_{resp} = \dfrac{1}{\gamma}$ GANHO UNITÁRIO

$\dot{y}_{ideal} = \dfrac{1}{\gamma} . y_{ideal} + \dfrac{1}{\gamma} . r$

$a_y^{ideal} = \dfrac{-1/\gamma + \hat{a}_p}{\hat{b}_p} \quad a_r^{ideal} = \dfrac{1}{\gamma \hat{b}_p}$