Roteiro de Laboratório

Nome da prática: **Controle Adaptativo**

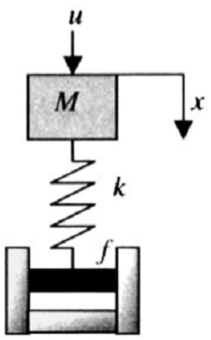
Objetivos: Implementar técnicas de estimação de parâmetros e de controle adaptativo baseadas em modelos paramétricos.

Material:
a) Material de aula, bibliografia, computador, software de simulação numérica.

Procedimento experimental:

Experiência 1 – Modelos Paramétricos:

Seja o sistema massa-mola-amortecedor e seu modelo dinâmico apresentados na figura a seguir:



$$\boxed{M\ddot{x} = u - kx - f\dot{x}}$$

tal que *k* é a constante da mola, *f* é o coeficiente de amortecimento, *M* é a massa do sistema, *u* é a força de entrada e *x* é o deslocamento da massa *M*. Para as experiências 1, 2 e 3 a seguir considere *M* = 100kg, *f* = 0,15kg/s, *k* = 7kg/s^2, *u(t)* = 1+cos($\frac{\pi}{3}t$) e $0 \leq t \leq 25s$.

a) Determine um modelo paramétrico admitindo *k*, *f* e *M* parâmetros constantes desconhecidos, sendo *x* e *u* disponíveis a cada instante *t*. Gere os sinais z e ϕ do modelo paramétrico.

b) Determine um modelo paramétrico admitindo *k* e *f* parâmetros constantes desconhecidos e *M = 100kg* um parâmetro conhecido, sendo *x* e *u* disponíveis a cada instante *t*. Gere os sinais z e ϕ do modelo paramétrico.

Experiência 2 – Modelos Paramétricos:

Seja o sistema de direcionamento do telescópio Hubble representado pelo seguinte modelo dinâmico:

$$K_1\ddot{y}(\mathrm{t}) + K_2\dot{y}(t) + K_3 y(t) = r(t)$$

tal que $K_1 = 1$; $K_2 = 12$ e $K_3 = 100$. Considere a trajetória de direcionamento da visada do telescópio dada por $r(t) = 2.7 * \cos(4 * 10^{-7} * t)$.

a) Determine um modelo paramétrico admitindo K_1, K_2 e K_3 parâmetros constantes desconhecidos, sendo *y(t)* e *r(t)* disponíveis a cada instante *t*. Gere os sinais z e ϕ do modelo paramétrico.

b) Admita agora que $z(t) = \frac{y(t)}{(s+\lambda)^2}$. Considerando K_1, K_2 e K_3 parâmetros constantes desconhecidos, sendo *y(t)* e *r(t)* disponíveis a cada instante *t*, determine um modelo paramétrico para o sistema proposto. Gere os sinais z e ϕ do modelo paramétrico.

c) Determine um modelo paramétrico admitindo K_1 e K_3 parâmetros constantes desconhecidos e $K_2 = 12$ um parâmetro conhecido, sendo *y(t)* e *r(t)* disponíveis a cada instante *t*. Gere os sinais z e ϕ do modelo paramétrico.

Experiência 3 – Modelos Paramétricos:

Analisando os resultados obtidos nas Experiências 1 e 2, responda:

a) Por que foi aplicado um filtro para determinar o modelo paramétrico do sistema proposto?

b) Como você determinou a ordem do filtro?

c) Qual a consequência da introdução deste filtro para a resposta do sistema?

d) O que acontece se aumentarmos o valor do polo do filtro? E se diminuirmos o valor do polo do filtro?

e) Como você escolheu a variável z do modelo paramétrico? Por quê?

Experiência 4 – Identificação de Parâmetros:

a) Considere o sistema da Experiência 1. Projete um algoritmo de identificação de parâmetros baseado no método dos mínimos quadrados para estimar as constantes *k*, *f* e *M*, sendo *x* e *u* disponíveis a cada instante *t*. Gere os sinais de $\hat{k}, \hat{f}$ e $\widehat{M}$.

Experiência 5 – Identificação de Parâmetros:

Seja o sistema de controle de velocidade, ω(t), por tensão de armadura, V_a(t), de um motor CC representado pela função de transferência a seguir:

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_1}{s^2 + K_2 s + K_3}$$

tal que $K_1 = \frac{K_m}{JL_a}$, $K_2 = \frac{(JR_a+bL_a)}{JL_a}$ e $K_3 = \frac{K_bK_m}{JL_a}$, sendo *J* a inércia do rotor, *b* o coeficiente de atrito viscoso do rotor, R_a a resistência de armadura, L_a a indutância de armadura e K_m=K_b a constante do motor. Considere os dados do motor CC: *J=0.001Nms²/rad*, *b=0.268Nms/rad*, *R_a=1.36Ω*, *L_a=3.6mH* e *K_m=0.838Nm/A* e a tensão de armadura de entrada $V_a(t) = \sin(\frac{\pi}{3}t)$.

a) Determine um modelo paramétrico admitindo K_1, K_2 e K_3 parâmetros constantes desconhecidos, sendo $\omega(t)$ e $V_a(t)$ disponíveis a cada instante *t*.

b) Projete um algoritmo de identificação de parâmetros baseado no método dos mínimos quadrados para estimar as constantes K_m, K_1, K_2 e K_3, sendo *ω*(t) e *V_a*(t) disponíveis a cada instante *t*. Gere os sinais de $\widehat{K}_1$, $\widehat{K}_2$ e $\widehat{K}_3$.

Experiência 6 – Identificação de Parâmetros:

Analisando os resultados obtidos nas Experiências 4 e 5, responda:

a) Os valores dos parâmetros estimados alcançaram os valores esperados? Comente.

b) Por que o método aplicado é nomeado ¨Método dos Mínimos Quadrados¨?

c) Enumere os passos para implementação do ¨Método dos Mínimos Quadrados¨ no procedimento de identificação paramétrica.

d) Quais características o sinal de entrada do sistema deve apresentar para obtermos um bom desempenho do sistema de identificação?

e) Qual variável determina a velocidade do processo de identificação? Como ela atua?

Experiência 7 – Controle Adaptativo:
(Adaptive Control Systems Tutorial – pag.199)

a) Problema 1. Para implementação no Matlab considere $a_m = 10$; $b_m = 1; r = 5\cos(t) + 2sen(\pi t)$. Gere os sinais de $x(t), x_m(t), e(t), k(t)$ e $l(t)$. Confira se $k(t)$ e $l(t)$ alcançaram k^* e l^* respectivamente. Comente.

b) Problema 2. Gere os sinais de $x(t), x_m(t), e(t), k(t)$ e $l(t)$ para cada caso. Confira se $k(t)$ e $l(t)$ alcançaram k^* e l^*, respectivamente, em todos os casos. Comente.

c) Problema 3. Escolha θ como $\theta = -k^*V + l^*V_s + \delta^*$. Gere os sinais de $V(t), V_m(t), e(t), \mathrm{k(t)}, \mathrm{l(t)}$ e δ(t) para cada caso. Confira se $k(t), l(t)$ e $\delta(t)$ alcançaram k^*, l^* e δ^*, respectivamente, em todos os casos. Comente.

d) Problema 8. Gere os sinais de $y(t), y_m(t), e(t), k(t)$ e $l(t)$ para cada caso. Confira se $k(t)$ e $l(t)$ alcançaram k^* e l^*, respectivamente, em todos os casos. Comente.

Experiência 8 – Controle Adaptativo:

Considere a planta escalar representada por

$$\dot{x} = ax + u, \qquad x(0) = x_0$$

tal que *a* é uma constante desconhecida. A lei de controle por realimentação de estados definida por $u = -k(t)x$ faz com que o polo do sistema convirja para um polo desejado em $a_m > 0$ quando $t \to \infty$. Sendo $k^* = a + a_m$ e $\tilde{k} = k(t) - k^*$ o erro de estimativa do parâmetro *k* do regulador, dada a função de Lyapunov

$$V(x, \tilde{k}) = \frac{x^2}{4} - \beta \tilde{k}^2$$

demonstre que a lei de adaptação do parâmetro *k* que faz com que todos os sinais de malha fechada sejam limitados é dada por $\dot{k} = \frac{-1}{4\beta} x^2$.

Experiência 9 – Controle Adaptativo:

Seja o circuito de um filtro passa-baixa representado pelo seguinte modelo:

$$y = \frac{b}{s+a} u$$

Tem-se por objetivo ajustar a resposta deste circuito para que ele opere com frequência de corte em 1.061 Hz e ganho DC de 0.5. Dessa forma, considere o modelo de referência dado por

$$y_m = \frac{3.3}{s + 6.7} r$$

a) Admita que os parâmetros ***a*** e ***b*** são exatamente conhecidos. Projete uma lei de controle por modelo de referência que faça com que todos os sinais de malha fechada sejam limitados e y convirja para y_m quando $t \to \infty$ para qualquer sinal de referência limitado *r*. Determine k^* e l^*.

b) Admita que os parâmetros ***a*** e ***b*** são constantes e desconhecidos, com ***b>0***. Projete um MRAC Direto de forma que todos os sinais de malha fechada sejam limitados e y convirja para y_m quando $t \to \infty$ para qualquer sinal de referência limitado *r*.

c) Admita que os parâmetros ***a*** e ***b*** são constantes e desconhecidos, com ***b>0***. Projete um MRAC Indireto de forma que todos os sinais de malha fechada sejam limitados e y convirja para y_m quando $t \to \infty$ para qualquer sinal de referência limitado *r*.

d) Implemente as leis de controle obtidas em a), b) e c) considerando $a = 1$, $b = 5$ e $\boldsymbol{r = 15}$. Gere os sinais de $y(t), y_m(t), u(t), e(t), k(t)$ e $l(t)$ para cada caso.

- Para cada caso, plote os sinais $y(t), y_m(t)$ e $e(t)$ em um mesmo gráfico.
- Plote o sinal $u(t)$ em um mesmo gráfico para os três casos.
- Plote o sinal $k(t)$ em um mesmo gráfico para os três casos.
- Plote o sinal $l(t)$ em um mesmo gráfico para os três casos.

e) Implemente as leis de controle obtidas em a), b) e c) considerando $a = 1$, $b = 5$ e $\boldsymbol{r = 2\sin(10t) + 5\sin(3t)}$. Gere os sinais de $y(t), y_m(t), u(t), e(t), k(t)$ e $l(t)$ para cada caso.

- Para cada caso, plote os sinais $y(t), y_m(t)$ e $e(t)$ em um mesmo gráfico.

- Plote o sinal $u(t)$ em um mesmo gráfico para os três casos.
- Plote o sinal $k(t)$ em um mesmo gráfico para os três casos.
- Plote o sinal $l(t)$ em um mesmo gráfico para os três casos.

f) Os sinais $k(t)$ e $l(t)$ alcançaram k^* e l^*, respectivamente, em todos os casos? Comente.

Experiência 10 – Controle Adaptativo:

Analisando os resultados obtidos nas Experiências 7, 8 e 9, responda:

a) Qual a diferença conceitual entre os controladores adaptativos e os métodos de identificação paramétrica estudados?

b) Qual o objetivo do "Controlador Adaptativo por Modelo de Referência"?

c) Qual a diferença conceitual entre o MRAC Direto e o MRAC Indireto?

d) Os controladores adaptativos estudados podem ser aplicados para estimar dinâmicas com estruturas desconhecidas?

e) Os métodos implementados são recursivos ou não-recursivos?

f) Em todos os casos trabalhados, os parâmetros estimados do controlador alcançam os mesmos valores? Comente.

g) Qual a metodologia aplicada para encontrar a lei de controle u(t) e as leis de adaptação dos parâmetros?

h) A velocidade de estabilização do sistema controlado é regulada por quais variáveis? Elas são calculadas ou definidas pelo projetista? Comente sobre a atuação dessas variáveis.

i) As variáveis definidas pelo projetista na implementação dos controladores propostos estão sujeitas a alguma restrição para manter a estabilidade do sistema controlado em malha fechada?

Para incluir no relatório:

1) Apresente todo o procedimento de projeto, incluindo gráficos e cálculos.
2) Apresente os gráficos dos sinais de entrada, de saída, de estimativa dos parâmetros e de referência, quando for o caso.
3) Apresente conclusões sobre os resultados obtidos.