

PROJETO DE CONTROLADORES VIA MODEL MATCHINGValmir P. Silva^{1*}, Marcos Paulo R. Cabral², João Victor M. Silva¹, Orlando Fonseca Silva³

1. Estudante da Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica da Universidade Federal do Pará (FEEB-UFPA)

2. Graduado da FEEB-UFPA

3. Professor da FEEB-UFPA - Orientador

Resumo

Este trabalho apresenta um resumo teórico e o projeto de controladores analógicos, pelo método analítico *model matching*, usando as configurações de realimentação unitária e de dois parâmetros, para controlar uma planta de fase não mínima. Os controladores obtidos são avaliados via simulação utilizando o *software Scilab*. Analisa-se os desempenhos em malha fechada no transitório e em regime permanente, tendo como sinal de referência um degrau unitário e uma perturbação externa. Busca-se avaliar a aplicabilidade e limitações dos controladores projetados pelo método analítico utilizado.

Palavras-chave: Sistemas de controle; Modelo de referência; Fase não mínima.

Introdução

O problema do controle de sistemas dinâmicos pode ser expresso, resumidamente, da seguinte forma: dada uma planta com função de transferência $G(s) = Y(s)/U(s)$, ao se aplicar um sinal de entrada, $U(s)$, espera-se que sua saída, $Y(s)$, atenda um conjunto de especificações predefinidas, que caracterizam o desempenho desejado para a mesma. Contudo, em geral, uma planta, por si só, raramente consegue atender às expectativas de desempenho para uma determinada aplicação, assim, é necessário projetar um controlador, $C(s)$, que, trabalhando em conjunto com a planta, produza um sistema geral (planta mais controlador) capaz de gerar um sinal de saída que atenda as especificações de projeto (CHEN, 1995).

O controlador pode ser obtido empírica ou analiticamente. No método empírico, projeta-se o controlador e testa-se o sistema geral por simulação, fazendo 'ajustes' repetidas vezes até se obter o resultado desejado e, por fim, implementa-se o controlador. Por mais que esse método seja muito utilizado ele é inadequado se não houver experiência anterior para tirar proveito ou se a experimentação não for viável devido ao alto custo ou risco. Deste modo, torna-se importante a aplicação de métodos analíticos (CHEN, 1995).

No método analítico *model matching*, uma vez conhecida a função de transferência, $G(s)$, da planta a ser controlada, as etapas seguintes se tornam um problema essencialmente matemático. (CHEN, 1995).

Metodologia

Na Figura 1, $G(s) = N(s)/D(s)$ é a função de transferência da planta. Denomina-se *model matching* o processo de obtenção de um controlador tal que, em malha fechada, o comportamento seja igual ao de um modelo de referência com função de transferência $G_m(s) = N_m(s)/D_m(s)$ que atenda as especificações de projeto como: sobressinal (M_p), tempo de subida (t_r), tempo de estabilização (t_s), erro de regime $e(\infty)$. Existem três configurações possíveis para o controlador: realimentação unitária, dois parâmetros e realimentação de entrada e saída da planta, das quais apenas as duas primeiras são abordadas neste trabalho (CHEN, 1995).

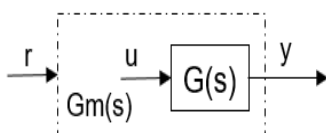
Configuração de realimentação unitária: O sistema completo é ilustrado na Figura 2. O controlador é obtido simplesmente pela Equação (1). O método é bastante simples, todavia limitado, pois geralmente há cancelamento de polos e zeros, e não se tem controle sobre tais cancelamentos.

$$C(s) = \frac{G_m(s)}{G(s)(1-G_m(s))} \quad (1)$$

Configuração de dois parâmetros: O sistema completo consta na Figura 3. Sendo a planta dada pela Equação (2), o controlador da Equação (3), é obtido seguindo os passos de 'a' a 'd' a seguir:

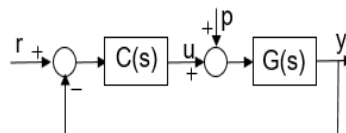
$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{N_0 + N_1s + N_2s^2 + \dots + N_ms^m}{D_0 + D_1s + D_2s^2 + \dots + D_ns^n} \quad ; n \geq m \quad (2)$$

$$C(s) = [C_1(s) \quad C_2(s)] = \left[\frac{L(s)}{A(s)} \quad \frac{-M(s)}{A(s)} \right] \quad (3)$$

Figura 1: Modelo de Referência $G_m(s)$ 

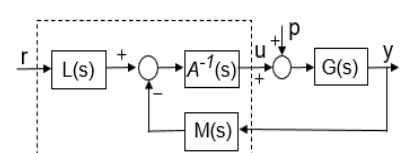
Fonte: adaptado de (CHEN, 1995)

Figura 2: Realimentação unitária



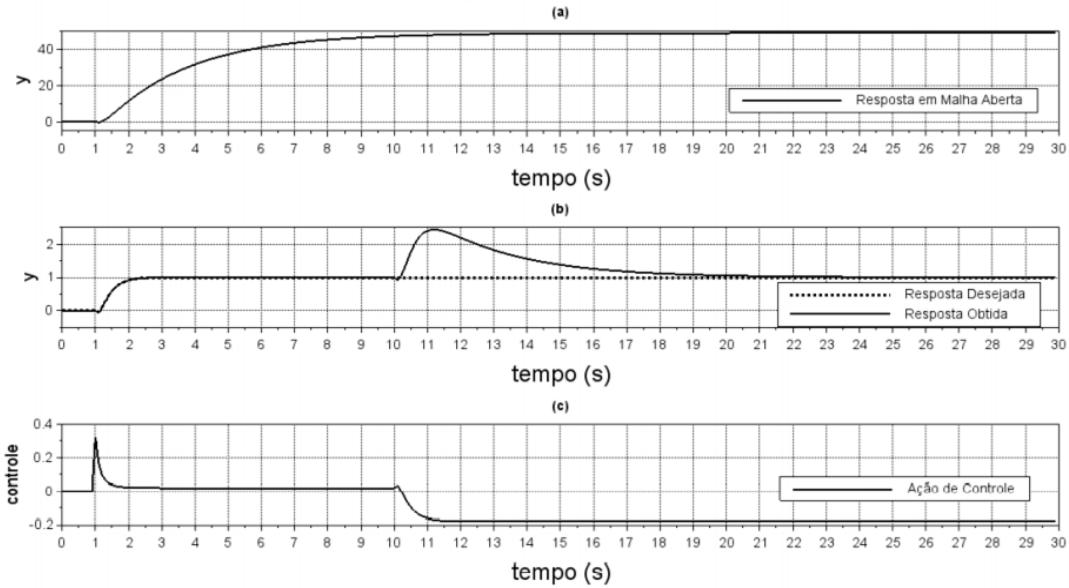
Fonte: adaptado de (CHEN, 1995)

Figura 3: Dois parâmetros



Fonte: adaptado de (CHEN, 1995)

Figura 5: Resultados com controle via configuração de realimentação unitária.



Fonte: adaptado de (CABRAL, 2020)

Observa-se que a resposta do sistema em malha fechada é idêntica à do modelo de referência $G_m(s)$ até a ocorrência da perturbação externa, quando então sua resposta cresce atingindo uma amplitude próxima de 2,5 e em seguida retorna para 1, tornando o erro em regime permanente nulo. Noutras palavras, o controlador projetado garante que o sistema em malha fechada tenha o mesmo desempenho do modelo de referência $G_m(s)$ e, mesmo quando submetido a uma perturbação externa, consegue zerar o erro de regime com valores máximos da ação de controle em níveis bastantes moderados.

Projeto do controlador com configuração de dois parâmetros:

a. Substituindo $N(s)$, $N_m(s)$ e $D_m(s)$ das Equações (6) e (7) na Equação (4), resulta a Equação (9).

$$\frac{G_m(s)}{N(s)} = \frac{0,3241}{s^2+12,7s+30} = \frac{N_p(s)}{D_p(s)} \quad (9)$$

b. Como o grau de $D_p(s)\bar{D}_p(s) \geq 2n-1$ e sendo $n = 2$ (ordem da planta) então o grau de $D_p(s)\bar{D}_p(s) \geq 3$. Como o grau de $D_p(s) = 2$, então o grau de $\bar{D}_p(s)$ tem de ser pelo menos 1. Escolheu-se arbitrariamente $\bar{D}_p(s)=(s+10)^2$.

$$F(s)=D_p(s)\bar{D}_p(s)= (s^2+12,7s+30)(s+10)^2=s^4+32,7s^3+384s^2+1870s+3000$$

$$L(s)=N_p(s)\bar{D}_p(s)=0,3241.(s+10)^2$$

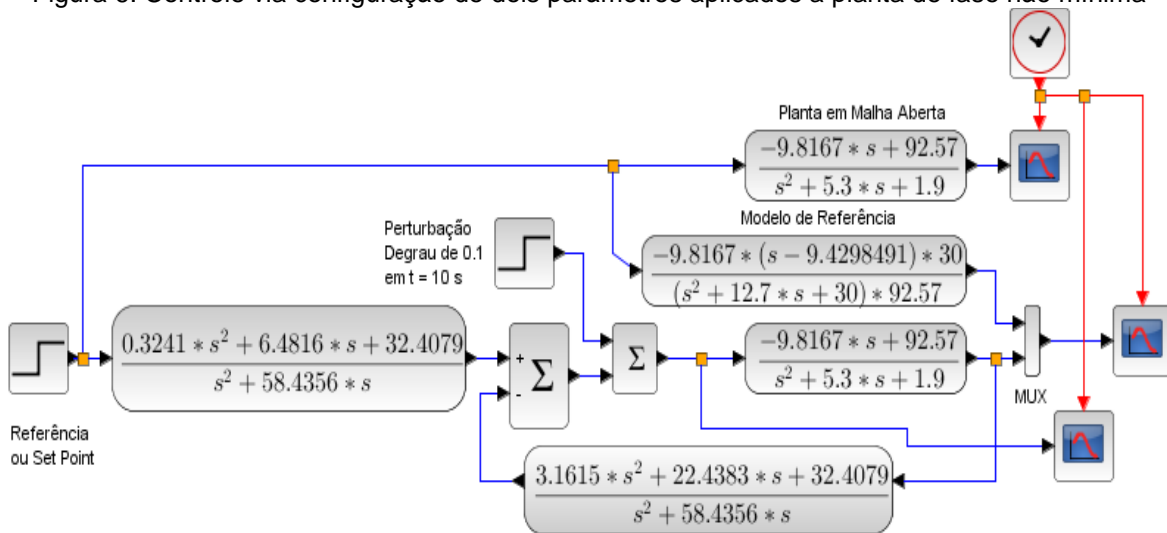
d. Ao construir o sistema de Equações (5), ele resulta num sistema com infinitas soluções, mas arbitrando $A_0 = 0$, tem-se a Equação (10) em que se obtém: $M_0 = 32,4079$; $A_1 = 58,4356$; $M_1 = 22,4383$; $A_2 = 1$ e $M_2 = 3,1615$. Assim, o controlador da Equação (3) é dado pela Equação (11).

$$\begin{bmatrix} 92,57 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9,8167 & 1,9 & 92,57 & 0 & 0 \\ 0 & 5,3 & -9,8167 & 1,9 & 92,57 \\ 0 & 1 & 0 & 5,3 & -9,8167 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_0 \\ A_1 \\ M_1 \\ A_2 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3000 \\ 1870 \\ 384 \\ 32,7 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$C(s) = \left[\frac{L(s)}{A(s)} \quad \frac{-M(s)}{A(s)} \right] = \left[\frac{0,3241s^2+6,4816s+32,4079}{s^2+58,4356s} \quad \frac{3,1615s^2+22,4383s+32,4079}{s^2+58,4356s} \right] \quad (11)$$

Para simulação, desenvolveu-se o diagrama de blocos da Figura 6, sendo a referência e a perturbação externa as mesmas utilizadas no controlador de realimentação unitária.

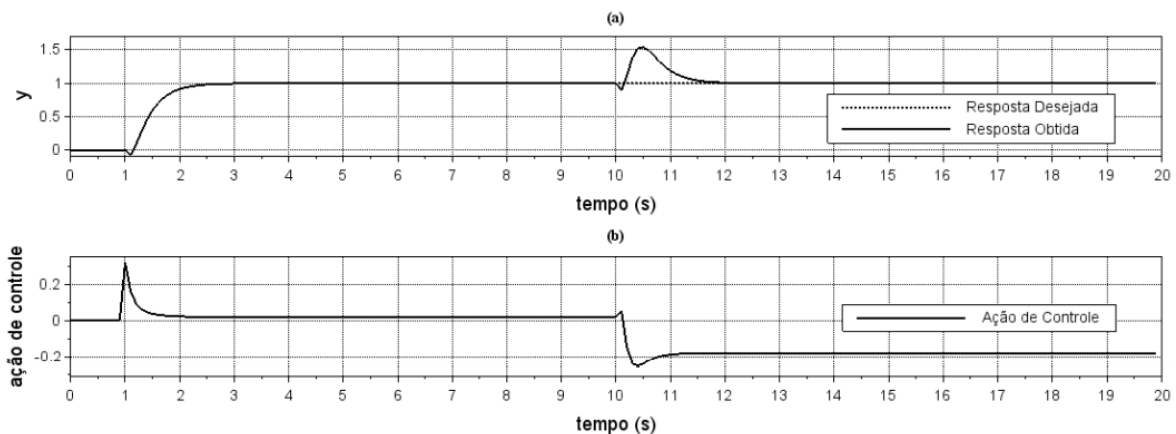
Figura 6: Controle via configuração de dois parâmetros aplicados a planta de fase não mínima



Fonte: Fonte: adaptado de (CABRAL, 2020)

Na Figura 7 (a), têm-se as respostas do modelo de referência Equação (7) (linha pontilhada) e do sistema em malha fechada com o controlador da Equação (11) (linha contínua). A Figura 7 (b) mostra a ação de controle $u(t)$.

Figura 7: Resultados com controle via configuração de dois parâmetros.



Fonte: Fonte: adaptado de (CABRAL, 2020)

Os resultados são análogos aos obtidos com o controlador por realimentação unitária, ou seja, garante que o sistema em malha fechada tenha o mesmo desempenho do modelo de referência $G_m(s)$ e, mesmo quando submetido a uma perturbação externa, consegue zerar o erro de regime com valores máximos da ação de controle em níveis bastantes moderados. Observa-se que após a ocorrência da perturbação, a resposta atinge uma amplitude máxima de 1,5 enquanto no controle por realimentação unitária foi de 2,5.

Conclusões

Neste trabalho, apresentou-se as configurações de realimentação unitária e de dois parâmetros, do método analítico *model matching* para o projeto de controladores analógicos para uma planta de fase não mínima. Para tanto, especificou-se um modelo de referência que garantisse controladores implementáveis e fez-se uma análise comparativa, via simulação digital, do desempenho dos controladores projetados. Utilizou-se um sinal de referência do tipo degrau unitário e uma perturbação externa também do tipo degrau.

Os resultados mostraram que ambos os controladores garantiram o rastreamento da referência com desempenho no transitório e em regime, iguais ao do modelo de referência adotado, bem como a rejeição da perturbação externa. Ambos os métodos são de fácil obtenção dos controladores e não envolvem tentativa e erro. Uma próxima etapa do trabalho será o estudo de uma versão discreta do *model matching*.

Referências bibliográficas

CABRAL, MARCOS P.R. **Projetos de controladores usando as configurações de realimentação unitária, de dois parâmetros e de realimentação de entrada e saída da planta**. TCC. UFPA/ITEC/FEEB. 2020

CHEN, C.T. **Analog and Digital Control System Design: Transfer-Function, State-Space, and Algebraic Methods**. 1ª. ed. New York: Saunders College Publishing, 1995.

ESI. **Scilab**. Version 6.1.0, 2020. Disponível em: <<https://www.scilab.org/download/6.1.0>>. Acesso em: 10 agosto 2020.