



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ES828 - Laboratório de Controle de Sistemas

Pré Relatório - Experimento 6

Controle por realimentação de saída de uma
planta eletrônica

Nome:

Daniel Dello Russo Oliveira

Marcelli Tiemi Kian

RA

101918

117892

25 de abril de 2015

1 Objetivos

O objetivo desse experimento é projetar via realização em espaço de estado um controlador e um observador de estado para a planta eletrônica identificada no experimento 2[?].

2 Projeto do Controlador

Consideramos a planta cuja função de transferência representada pela equação ?? que foi obtida usando as medidas realizadas durante o experimento 2[?] para o projeto do controlador em espaço de estado conforme a figura ?. A representação da planta em espaço de estado é mostrada em ?? e ??, com as matrizes A , B e C indicadas em ??, ??, ??.

Tabela 1: Parâmetros numéricos da função de transferência

Parâmetro	Valor
κ_1	-0.1005
κ_2	-2.1508
κ_3	-4.6448
κ_4	-5.6307
τ_2	0.0210
τ_3	0.0244

$$G(s) = \frac{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4}{(s\tau_2 + 1)(s\tau_3 + 1)s} \quad (1)$$

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2)$$

$$y = Cx \quad (3)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -\frac{1}{\tau_2 \tau_3} & -\frac{\tau_2 + \tau_3}{\tau_2 \tau_3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4}{\tau_2 \tau_3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

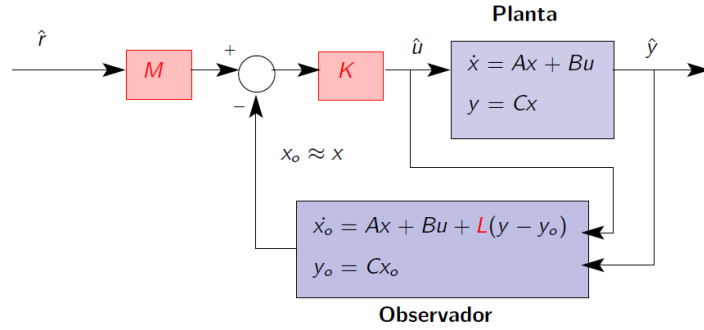


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema

2.1 Requisitos do Sistema e Projeto

Seguindo o proposto no roteiro [?] as especificações do sistema são:

- Tempo de estabilização de aproximadamente 0.5 [s].
- Fator de amortecimento igual a $\sqrt{2}/2$.
- Polo em $s = -30$.
- Erro em regime permanente nulo a uma entrada rampa.
- Amplitude do sinal de controle não pode ultrapassar ± 10 [Volts].

Utilizando a metodologia indicada no roteiro[?], iniciamos o cumprimento dos três primeiros requisitos considerando as raízes obtidas como sendo:

$$s_1 = -30 \quad (7)$$

$$s_2 = -7.8240 + 7.8240i \quad (8)$$

$$s_3 = -7.8240 - 7.8240i \quad (9)$$

Chegamos então a:

$$K = \begin{bmatrix} 0.3329 & -0.1232 & -0.0039 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Posteriormente, para os requisitos de margem de fase e sobrelevação (ambos ligados ao fator de amortecimento do sistema), calculamos a margem de fase de $\kappa G(s)$ dada por $M_f = 17.4123$, menor que margem de fase mínima de 45° . Como margem de segurança, adotaremos as margens de fase desejadas de $M_{d1} = 45^\circ$, $M_{d2} = 50^\circ$ e $M_{d3} = 55^\circ$ que também garantem sobrelevação menor que 20%. Projetamos três controladores de maneira a ter opções caso a implementação real do sistema não corresponda às simulações. Idealmente gostaríamos de adotar uma margem de fase mais elevada, porém, após comparar a sua resposta com a resposta do sistema com margem de 45° , decidimos implementar mais opções.

A partir destas margens de fase encontramos os parâmetros α_v dos controladores utilizando as equações ?? e ?. Com o conhecimento de α_v e da frequência ω_g na qual $\text{mod } \kappa G(j\omega_g) = \sqrt{\alpha_v}$, encontramos τ_v pela equação ?. Os parâmetros α_t e τ_t são calculados pelas equações ? e ?

$$\phi = M_d - M_f \quad (11)$$

$$\alpha_v = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (12)$$

$$\tau_v = \frac{1}{\omega_g \sqrt{\alpha_v}} \quad (13)$$

$$\alpha_t = \frac{1}{\alpha_v} \quad (14)$$

$$\tau_t = 10 \frac{\alpha_v \tau_v}{\alpha_t} \quad (15)$$

Logo, a função de transferência dos controladores são dadas pela equação ? e seus parâmetros pela tabela ?.

$$C(s) = \kappa \frac{\alpha_v \tau_v s + 1}{\tau_v s + 1} \frac{\alpha_t \tau_t s + 1}{\tau_t s + 1} \quad (16)$$

Tabela 2: Parâmetros numéricos da função de transferência dos controladores Avanço-Atraso

Parâmetro	Controlador 1 ($M_d = 45^\circ$)	Controlador 2 ($M_d = 50^\circ$)	Controlador 3 ($M_d = 55^\circ$)
κ	8.8445	8.8445	8.8445
α_v	2.7251	3.3345	4.1279
τ_v	0.0257	0.0250	0.0243
α_t	0.3670	0.2999	0.2423
τ_t	1.9108	2.7768	4.1334

2.2 Simulação e Comparação

Com o auxílio do Simulink simulamos as respostas dos 3 controladores à uma onda quadrada de amplitude $1V$ e frequência de $0,25Hz$, que podem ser vistas nas figuras ??, ?? e ??, e os seus esforços de controle, mostrados nas figuras ??, ?? e ??.

Figura 2: Resposta à onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 45°

Figura 3: Esforço de controle para onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 45°

Figura 4: Resposta à onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 50°

Figura 5: Esforço de controle para onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 50°

Figura 6: Resposta à onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 55°

Figura 7: Esforço de controle para onda quadrada do controlador projetado para margem de fase de 55°

Simulamos também as respostas destes controladores à uma rampa, estas são mostradas nas figuras ??, ?? e ?. Como podemos ver, o erro estacionário para essa entrada é próxima de 2% para todos os controladores, conforme desejado.

Figura 8: Resposta à rampa do controlador projetado para margem de fase de 45°

Figura 9: Resposta à rampa do controlador projetado para margem de fase de 50°

Figura 10: Resposta à rampa do controlador projetado para margem de fase de 55°

O controlador com margem de fase de 45° é o que apresenta o menor tempo de estabilização e erro estacionário. Porém os outros controladores não apresentam a sobrelevação relativamente elevada que o primeiro controlador apresenta. A tabela ?? apresenta as características das respostas desses controladores, obtida com o auxílio da função *stepinfo* do Matlab.

Tabela 3: Características da resposta dos controladores Avanço-Atraso

Característica	Controlador 1 ($M_d = 45^\circ$)	Controlador 2 ($M_d = 50^\circ$)	Controlador 3 ($M_d = 55^\circ$)
Sobrelevação	12.3698%	4.0867%	3.4618%
Tempo de estabilização	0.7454s	1.0142s	1.3472s
Tempo de subida	0.0503s	0.0553s	0.0628s
Erro estacionário (degrau)	0.3%	0.6%	1%
Erro estacionário (rampa)	2%	2.5%	3%

Comparamos esse controlador com os controladores projetados no experimento

Figura 11: Resposta ($y(t)$) à onda quadrada do sistema com controlador projetado com o auxílio do SISOTool discretizado

Figura 12: Esforço de controle ($y(t)$) em resposta a uma onda quadrada do sistema com controlador projetado com o auxílio do SISOTool discretizado

Figura 13: Resposta ($y(t)$) à uma rampa do sistema com controlador projetado com o auxílio do SISOTool discretizado

Figura 14: Esforço de controle ($y(t)$) em resposta à uma rampa do sistema com controlador projetado com o auxílio do SISOTool discretizado

3 Referências

- [1] Roteiro do experimento disponibilizado para os alunos
- [2] KIAN, Marcelli; OLIVEIRA, Daniel. *Relatório - Experimento 2: Identificação de plantas eletrônicas*.