



Projeto 1

Aluno: Eric Monteiro dos Reis

Curso: Engenharia Eletrônica

Disciplina: Sistemas de Controle II

Professor: Flávio Alberto Bardemaker Batista

1. Introdução	3
2. Objetivos	4
3. Desenvolvimento	5
3.1 Análise da planta fornecida	5
3.2 Projeto de controlador digital pelo método do lugar das raízes	8
3.2.1 Cálculo dos pólos desejados	8
3.2.1 Equações recursivas	10
4. Referências Bibliográficas	11

1. Introdução

É inegável a importância hoje em dia dos controladores digitais em sistemas de controle, pois eles são altamente flexíveis graças a fácil alteração dos parâmetros de projeto pós produção, da dificuldade relativamente mediana de projetá-los e também possuem um custo relativamente baixo.

Sistemas de controle com controladores digitais permitem um melhor controle e desempenho do sistema por diversos motivos, garantindo melhor nível de segurança, conforto e economia – desde que os custos de operação e manutenção com o sistema sejam menores do que os benefícios providos pelo mesmo.

Sua gama de aplicações vão desde aplicações residenciais, como por exemplo climatização de ambientes, até aplicações industriais ou até mesmo a indústria bélica.

2. Objetivos

Este relatório tem como objetivo demonstrar a utilização de metodologias e conceitos de sistemas de controle e controle digital, para o projeto de controladores digitais.

3. Desenvolvimento

Utilizando a planta digital fornecida pelo professor da figura 01, iremos projetar o controlador digital.

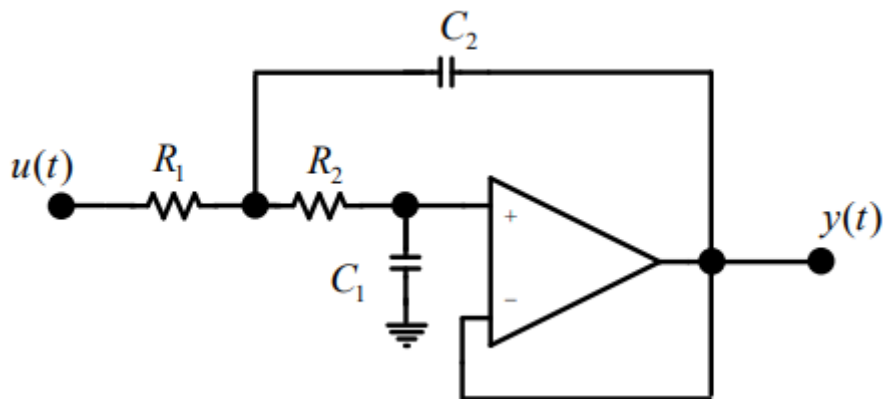


Figura 01 - Planta analógica utilizada para o Projeto. Fonte: Especificações do projeto fornecidas.

3.1 Análise da planta fornecida

Utilizando a curva da figura 02 abaixo, podemos observar os parâmetros necessários para obtermos a função de transferência da planta. Esses valores serão utilizados em nossa análise e foram obtidos de imagens experimentais fornecidas pelo professor, que se encontram na figura 03.

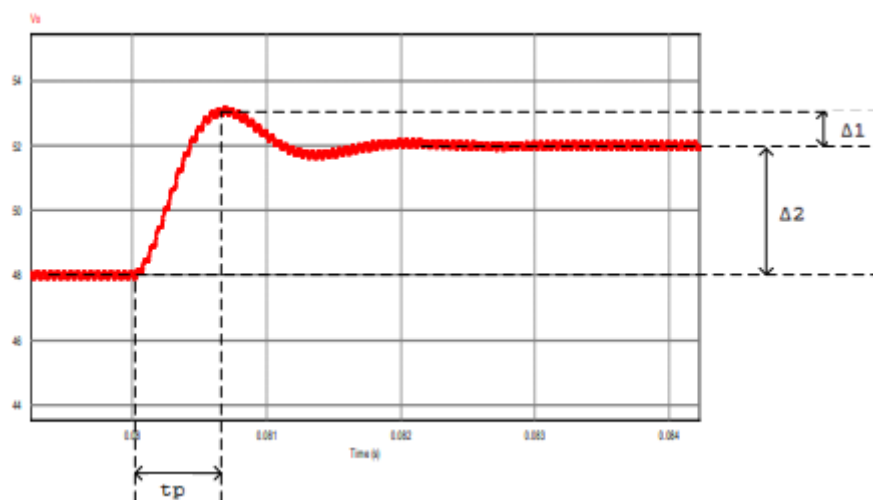


Figura 02 - Curva de resposta transitória da planta. Fonte: Especificações do projeto fornecidas.

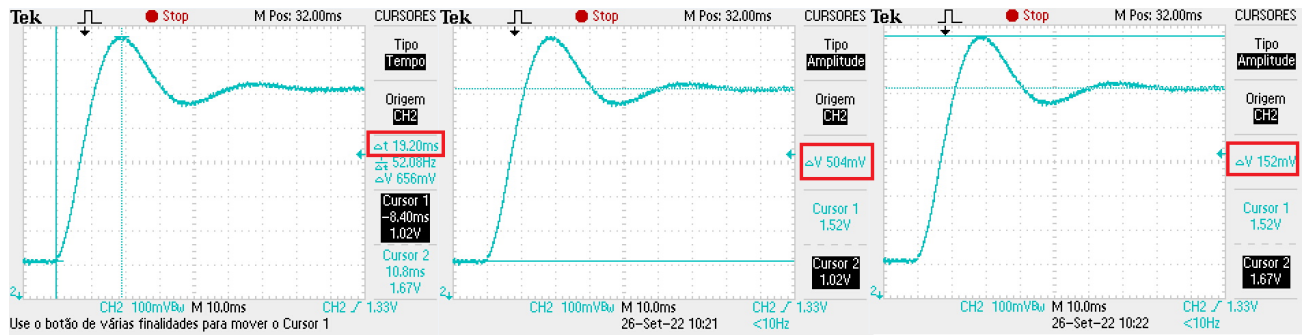


Figura 03 - Compilado com as imagens experimentais utilizadas. Fonte: Especificações do projeto fornecidas.

Observando as imagens experimentais obtivemos:

$$\delta_1 = 0.152 \text{ V}$$

$$\delta_2 = 0.504 \text{ V}$$

$$t_p = 19.2 \text{ ms}$$

Utilizando as fórmulas 1, 2 e 3, conseguiremos calcular a função de transferência da planta utilizando a fórmula 4. Os cálculos foram realizados utilizando um script de cálculo feito em python.

$$M_p = \frac{\delta_1}{\delta_2} \quad (1)$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{\log(M_p)^2}{\pi^2 + \log(M_p)^2}} \quad (2)$$

$$\omega_n = \frac{\pi}{t_p * \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (3)$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2 * \zeta * \omega_n * s + \omega_n^2} \quad (4)$$

$$M_p = 0.30158730158730157$$

$$\zeta = 0.35648834360238496$$

$$\omega_n = 175.13074771838313 \text{ rad s}^{-1}$$

Com esses valores, podemos calcular a função de transferência da planta analógica.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{3.067^4}{s^2 + 124s + 3.067^4}$$

Realizando a simulação da resposta ao degrau unitário do sistema, obtemos o resultado demonstrado na figura 04.

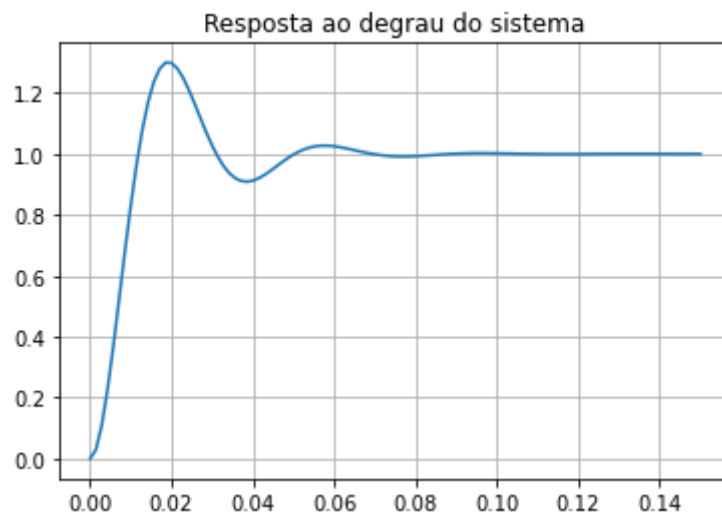


Figura 04 - Resposta ao degrau da planta. Fonte: Acervo próprio.

Utilizando a equação 5 abaixo fornecida pelo professor, podemos calcular no script em python o valor percentual de Mp obtido na simulação.

$$G(s) = \frac{(max(yf) - yf[-1])}{yf[-1] - yf[0] * 100} \quad (5)$$

O valor obtido foi: Mp = 29.98%

Para o cálculo de ts(5%), foi utilizada a equação 6 abaixo.

$$Ts(5\%) = \frac{3}{\zeta * \omega n} \quad (6)$$

O valor obtido foi: Ts(5%) = 0.04805222687520206 s

3.2 Projeto de controlador digital pelo método do lugar das raízes

Para projetarmos o controlador digital necessitamos das especificações mínimas da resposta ao degrau do sistema controlado para o projeto, elas são:

- Degrau unitário de referência de 1,0V a 1,5V.
- Tempo de acomodação à 5% igual a 19ms.
- Erro nulo em regime permanente para resposta ao degrau.
- MP = 8%.

Agora calculamos o fator de amortecimento (ζ), utilizando a fórmula 7 abaixo.

$$\zeta = \sqrt{\frac{\ln(Mp)^2}{-\pi^2 + \ln(Mp)^2}} \quad (7)$$

O valor obtido foi $\zeta = 0.6265771868559205$. Utilizando o valor de ζ e o valor de $Ts(5\%)$ estipulado nos requisitos do projeto, podemos calcular o novo ω_n .

$$\omega_n = \frac{3}{\zeta * Ts(5\%)}$$

O valor obtido foi $\omega_n = 251.99566813850933$.

A frequência de amostragem deve ser de 8 a 10 vezes a sua frequência amortecida, já que a planta é subamortecida. Foi escolhido o valor de 10 vezes, proporcionando um período de amostragem 'T' de: 3.1993 ms.

3.2.1 Cálculo dos pólos desejados

A partir dos parâmetros de frequência natural e fator de amortecimento calculados, são obtidos os pólos desejados para o sistema controlado. O cálculo destes polos é feito por meio das equações 8 e 9.

$$|z| = e^{(-T * \zeta * \omega_n)} \quad (8)$$

$$z \angle = T * \omega_n * \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (9)$$

Utilizando os parâmetros calculados previamente, teremos:

$$z1 = |0.6034| \angle 36^\circ$$

Na figura 05 abaixo, podemos observar um mapa com os pólos e zeros do sistema.

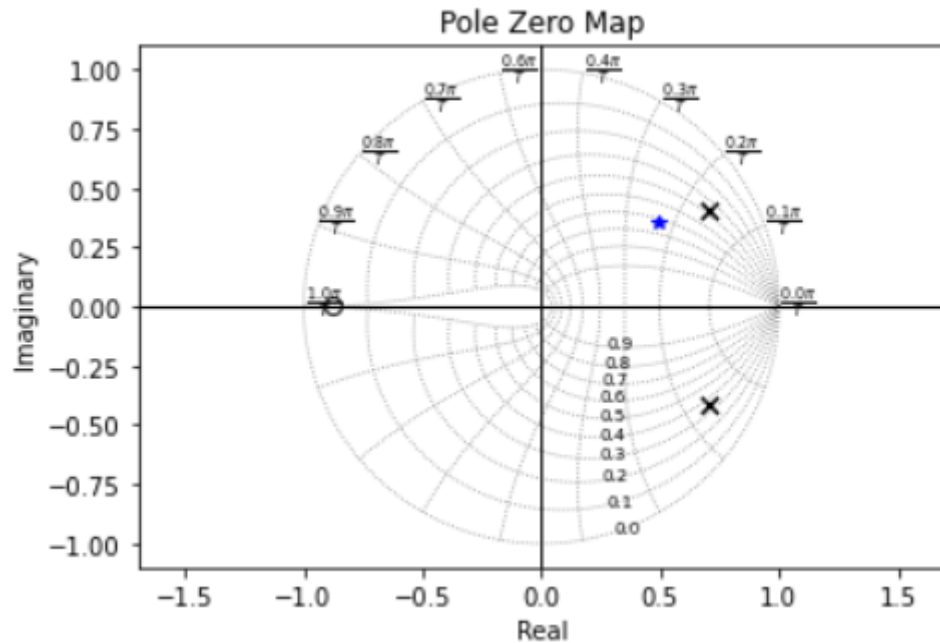


Figura 05 - Mapa com pólos e zeros do sistema. Fonte: Acervo próprio.

Após definir o pólo desejado, utilizaremos o mesmo para calcular o β e futuramente calcularmos o ganho do controlador. Para calcularmos o β , necessitamos cumprir a condição de ângulo. Se o ponto $z1$ é o local escolhido para o pólo dominante de malha fechada, então a soma dos ângulos no ponto $z1$ deve ser igual a $\pm 180^\circ$. O ângulo resultante é: -49.3129° .

Utilizando este ângulo e $z1$, podemos calcular o valor de β , utilizando a fórmula 10.

$$\beta = \frac{(IM(z1) - RE(z1) * tg(angle))}{tg(angle)} \quad (10)$$

$$\beta = -0.18324127407493368$$

Com o valor do β , podemos calcular o valor do ganho do controlador. Esse ganho é calculado utilizando a função de transferência de malha aberta e é expressa pela fórmula 11 abaixo.

$$K = \frac{1}{|FTMA(z1)|} \quad (11)$$

$$K = 1.538027915013687$$

A função de transferência do controlador resultante, dada pelo ganho K e pelo valor de β calculados previamente, é demonstrada abaixo.

$$C = \frac{1.538z^2 - 2.182z + 1.032}{z^2 - 1.183z + 0.1832}$$

3.2.1 Equações recursivas

Utilizando equações recursivas é possível confirmarmos o funcionamento da simulação da planta. Abaixo na figura 06 podemos observar o resultado.

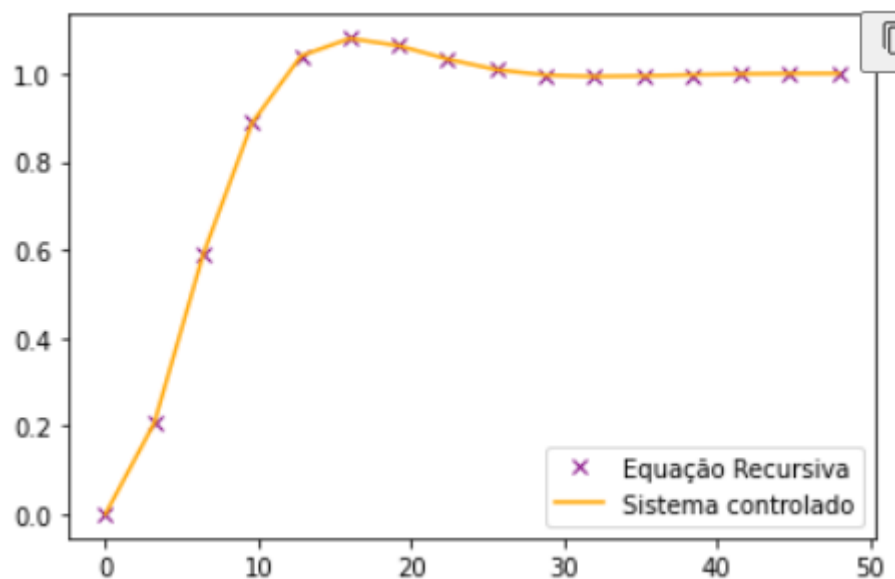


Figura 06 - Comparação entre o sistema controlado e o resultado com equações recursivas. Fonte: Acervo próprio.

4. Referências Bibliográficas

- [1] Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering. Prentice Hall, 2010.
- [2] Royce D. Harbor Charles L. Phillips. Sistemas de controle e realimentação. Makron Books, 1996.
- [3] Robert H. Bishop Richard C. Dorf. Modern Control Systems. Prentice Hall, 2008.