

<https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2019>

Modelagem, identificação, síntese e implementação de estratégias PI no controle de um circuito resistor-capacitor

Modeling, identification, syntheses and implementation of PI strategies in the control of a resistor-capacitor circuit

RESUMO

O amadurecimento intelectual do futuro profissional em engenharia depende tanto de seu conhecimento teórico quanto de seu conhecimento prático, e no campo de controle dinâmico não é diferente. Consequentemente, surgem os módulos didáticos que visam fortalecer os conteúdos conceituais vistos em sala de aula teórica. No entanto, quaisquer módulos didáticos, independente da área de instrução, costumam ser de difícil aquisição por possuírem um custo elevado para as instituições de ensino. Dessa forma, este trabalho propõe realizar a modelagem, identificação, síntese e implementação de estratégias PI no controle de um circuito Resistor-Capacitor (RC) através do desenvolvimento de um módulo didático analógico de baixo custo de execução.

PALAVRAS-CHAVE: Módulo didático. Controle PI. Circuito RC.

ABSTRACT

The intellectual maturity of the future engineering professional depends as much on his theoretical knowledge as his practical knowledge, and in the field of dynamic control is no different. Consequently, didactic modules appear that aim to strengthen the conceptual contents seen in the theoretical classroom. However, any teaching modules, regardless of the area of instruction, are often difficult to acquire because they have a high cost to educational institutions. Thus, this work proposes to perform the modeling, identification, synthesis and implementation of PI strategies in the control of a Resistor-Capacitor circuit (RC) through the development of a low cost analogue teaching module.

KEYWORDS: Didactic module. PI control. RC circuit.

Izabela Almeida Mocelin
izabelamocelin@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Andre Feracin
andreferacin@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Emerson Ravazzi Pires da Silva
emersonr@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O controle automático de sistemas dinâmicos tem desempenhado um papel vital no avanço da engenharia, pois contribuem em todos os aspectos da sociedade moderna (OGATA, 2010). Em nossos lares os encontramos em praticamente tudo, desde torneiras e sistemas de aquecimento, até em aparelhos de vídeo. Os sistemas de controle também têm ampla aplicação na ciência e na indústria, como na condução de embarcações e aviões, inclusive em guiamento de mísseis e de ônibus espaciais. A compreensão desses sistemas habilita estudantes de todos os ramos das engenharias a falarem uma língua comum e a desenvolverem um conhecimento prático (NISE, 2012). Dessa forma, para o estudo e a formação do profissional, a contemplação laboratorial é um item muito importante, pois permite ao acadêmico a comprovação prática de diversos conceitos. Apesar da disponibilidade de módulos didáticos comerciais, os mesmos, independentemente da esfera de utilização, nem sempre são acessíveis devido ao alto custo para a compra e manutenção. Com o propósito de preencher essa lacuna são desenvolvidos módulos didáticos mais baratos, acessíveis e com potencial de replicabilidade (FONSECA, 2019).

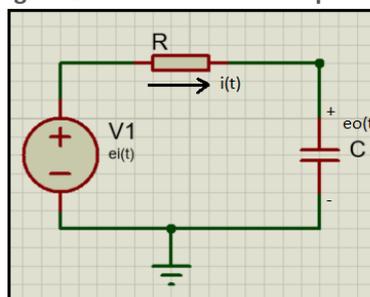
À vista disso, neste trabalho propõe-se o desenvolvimento de um módulo didático analógico de baixo custo e de simples reprodução que disponibilizem os recursos necessários para a aplicação de estratégias de controle PI em um circuito RC. O trabalho é baseado em "Hardware-Based Activities for Flipping the System Dynamics and Control Curriculum" (HILL, 2015).

MATERIAL E MÉTODOS

MODELAGEM DO CIRCUITO RESISTOR-CAPACITOR (RC)

Para realizar a modelagem matemática de um circuito RC, considera-se a Figura 1:

Figura 1: Circuito Resistor-Capacitor.



Fonte: Autoria própria.

Assumindo uma direção para a corrente, aplica-se a lei de Kirchhoff. Sendo assim, as tensões são somadas ao longo da malha e em seguida iguala-se o resultado a zero, obtendo-se a equação diferencial (1).

$$e_i - iR - \frac{1}{C} \int i dt = 0. \quad (1)$$

Em seguida, realiza-se a transformada de Laplace da Equação (1), obtendo (2).

$$E_i(s) - I(s)R - \frac{1}{Cs} I(s) = 0. \quad (2)$$

Isolando $I(s)$ na Equação (2), temos (3).

$$I(s) = \frac{E_i(s)}{R + \frac{1}{Cs}}. \quad (3)$$

É conhecido que a tensão de saída do circuito através do capacitor é $e_o = (1/C) \int i dt$. Aplicando a transformada de Laplace e isolando $I(s)$, chega-se em (4).

$$I(s) = \frac{E_o(s)}{\frac{1}{Cs}}. \quad (4)$$

Igualando (3) e (4), chega-se em (5).

$$\frac{E_i(s)}{R + \frac{1}{Cs}} = \frac{E_0(s)}{\frac{1}{Cs}} \quad (5)$$

Reorganizando, chega-se no modelo matemático (6).

$$G_M(s) = \frac{E_0(s)}{E_i(s)} = \frac{\frac{1}{Cs}}{R + \frac{1}{Cs}} = \frac{1}{RCs + 1} \quad (6)$$

Nesse trabalho, utilizou-se $R = 10k\Omega$ e $C = 100\mu F$.

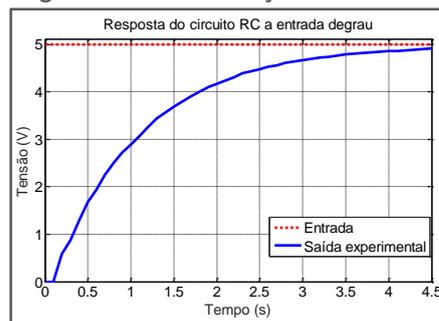
IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS

A identificação de sistemas se propõe a obter um modelo matemático que explique a relação de causa e efeito presente nos dados de entrada e saída. Há vários aspectos importantes envolvidos em problemas reais de identificação. Em linhas gerais, as principais etapas de um problema de identificação são os testes dinâmicos e coleta de dados, a escolha da representação matemática a ser usada, a determinação da estrutura do modelo, a estimação de parâmetros e a validação do modelo (AGUIRRE, 2000).

Com base na curva de reação do circuito RC (veja Figura 2), excitado por 5V, obteve-se a função de transferência identificada (7).

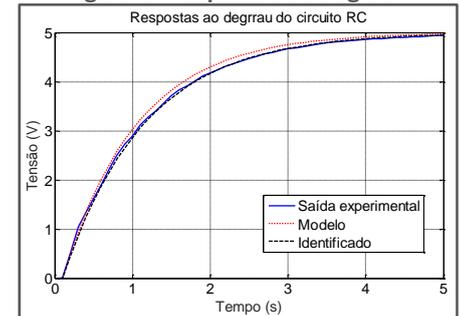
$$G_I(s) = \frac{1}{1,047s + 1} \quad (7)$$

Figura 2: Curva de reação Circuito RC.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3: Respostas ao degrau.



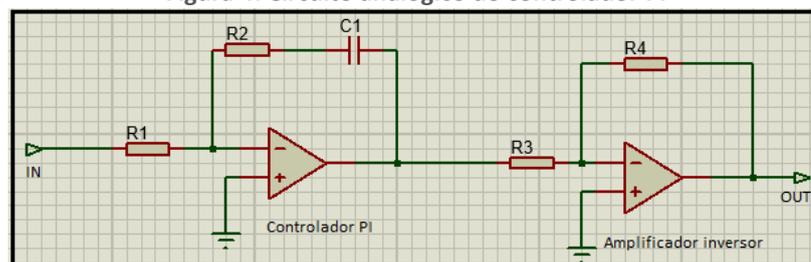
Fonte: Autoria própria.

A Figura 3 mostra as respostas ao degrau do circuito RC real, do modelo matemático $G_M(s)$ e do modelo identificado $G_I(s)$. Observe que ambos modelos ficam bem próximos da curva real.

CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL (PI)

O controlador Proporcional e Integral (PI) é a combinação da ação de controle proporcional, que é essencialmente um amplificador de ganho ajustável, com a ação de controle integral e o valor de saída é variado segundo uma taxa proporcional ao sinal de erro atuante. Essa ação combinada possui as vantagens de cada uma das duas ações de controle individuais (OGATA, 2010). A Figura 4 mostra o circuito analógico do controlador PI.

Figura 4: Circuito analógico do controlador PI



Fonte: Autoria Própria.

A função de transferência do controlador PI, Figura 4, é dada por (7).

$$\frac{OUT}{IN} = \frac{R_4 R_2 R_2 C_1 s + 1}{R_3 R_1 R_2 C_1 s} \quad (7)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após obter as representações da dinâmica do sistema, foi realizado a sintonia do controlador PI considerando a função de transferência obtida através da modelagem, $G_M(s)$.

Para a sintonia será utilizado a alocação algébrica de polos. Inicialmente, obteve-se a função de transferência de malha fechada controlada pelo PI, conforme (8).

$$\frac{OUT(s)}{IN(s)} = \frac{K_p s + K_i}{s^2 + (1 + K_p)s + K_i} \quad (8)$$

Trata-se de um sistema de ordem 2 com um zero em malha fechada.

Após, especificou-se alguns parâmetros para o projeto: Tempo de acomodação $< 1s$; Tempo de pico $< 0,350s$; Máximo overshoot $< 25\%$.

Para o tempo de acomodação temos:

$$t_s(2\%) \approx \frac{4}{\sigma} < 1 \leftrightarrow \sigma > 4. \quad (9)$$

Para o requisito de Tempo de pico temos:

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} < 0,350s \leftrightarrow \omega_d > \frac{\pi}{0,350} \approx 8,98. \quad (10)$$

E para o máximo overshoot:

$$\zeta > \sqrt{\frac{(\ln 0,25)^2}{4\pi^2 + (\ln 0,25)^2}} \approx 0,215. \quad (11)$$

Com base nos requisitos, pode-se escolher os polos de malha fechada como: $-6 \pm 12j$ e chegar nos valor dos ganhos K_p e K_i .

$$1 + K_p = 2\sigma \rightarrow K_p = 2(6) - 1 = 11,$$

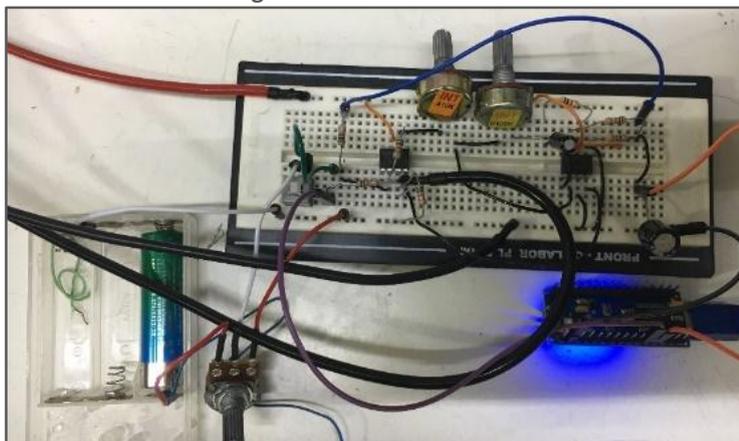
$$K_i = \sigma^2 + \omega_d^2 = 6^2 + 12^2 = 180.$$

Para implementar os ganhos no circuito da Figura 4, é preciso calcular os valores dos potenciômetros R_1 e R_2 . Considerando $R_3 = R_4 = 5k\Omega$ e $C_1 = 1\mu F$, temos:

$$K_i = \frac{R_4}{C_1 R_1 R_3} \rightarrow R_1 = 5,55k\Omega, \quad K_p = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \rightarrow R_2 = 88k\Omega.$$

Com o projeto do controlador PI realizado e o módulo didático construído, realizou-se a implementação prática para validar o controlador, bem como observar o comportamento da resposta transitória. A Figura 5 exibe o módulo didático utilizado.

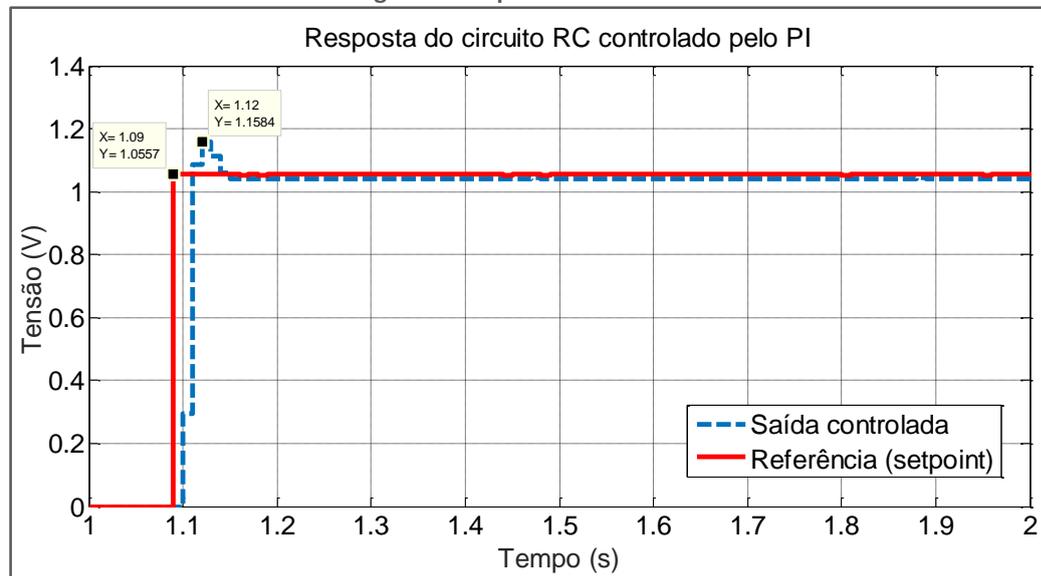
Figura 5: Módulo didático.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 6 mostra a resposta transitória do circuito RC controlado pelo controlador PI projetado.

Figura 6: Resposta controlada.



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 6 mostra a comparação entre a saída controlada, obtido experimentalmente, e o sinal de referência. Nota-se que o sistema apresentou resultados satisfatórios, respeitando as especificações iniciais de projeto. No entanto, ocorreu uma pequena diferença entre a referência e a tensão de saída do circuito RC, pequeno erro de regime permanente.

CONCLUSÃO

O objetivo principal desse trabalho foi a modelagem, identificação, síntese e implementação de uma estratégia de controlador PI para realizar o controle de um circuito resistor-capacitor (RC), sendo o resultado validado através de um teste experimental. Utilizaram-se materiais de baixo custo visando a replicabilidade do módulo. Para o controle do sistema, foi implementado um controlador proporcional integral através da alocação algébrica de polos, apresentando resultados satisfatórios, apesar do pequeno erro de regime permanente.

No mais, o trabalho exposto possui perspectivas para aprimoramento e desenvolvimento de trabalhos futuros, tais como a utilização de outras estratégias de controle como o controle robusto, controladores do tipo LQR, controle chaveado, entre outros.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luiz Antonio. **Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-lineares Aplicadas a Sistemas Reais**. Belo Horizonte: Ufmg, 2000.

CONTROL TUTORIALS FOR MATLAB & SIMULINK. **RC Circuit- Activity 1 Part (a)**. Equipe CONTROL TUTORIALS, 2018. Disponível em : <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?aux=Activities_RCcircuitA >. Acesso em: 22 abr. 2019.

CONTROL TUTORIALS FOR MATLAB & SIMULINK. **RC Circuit- Activity 1 Part (c)**. Equipe CONTROL TUTORIALS, 2018. Disponível em : <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?aux=Activities_RCcircuitC >. Acesso em: 26 abr. 2019.

FONSECA, Ronei Delfino da. **Kit eletrônico de apoio didático para a disciplina de sistemas de controle**. Disponível em: <https://fga.unb.br/articles/0000/7770/RoneiFonseca_Kit_Eletronico.pdf >. Acesso em: 28 abr. 2019.

HILL, R. C.. Hardware-based activities for flipping the system dynamics and control curriculum. **2015 American Control Conference (acc)**, [s.l.], p.2777-2782, jul. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/acc.2015.7171155>.

NISE, Norman S. **Engenharia de sistemas de controle**. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2010.