

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO CAIXA PRETA PARA OBTENÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS EM SERVOMECANISMOS

**André Maia de Lima, Abdiel Ferreira Neves da Silva, Moises Felix Lamim
Barbosa, Nickolas Célio dos Passos, Wilner Daniel Sousa, Anderson Kenji
Hirata.**

Instituto Federal de São Paulo, Rodovia Presidente Dutra, km 145, Jardim Diamante – 12223-01, São José dos Campos-SP, Brasil, andre.maia@aluno.ifsp.edu.br, anderson.hirata@ifsp.edu.br.

Resumo

Este artigo tem o objetivo de demonstrar métodos de obtenção de identificação de sistema de primeira ordem a partir de dados coletados experimentalmente. Na área de controle destacam-se 3 (três) métodos. São eles: Método de Ziegler & Nichols, Método de Miller e Método de Smith. Esses métodos são amplamente utilizados na área de controle e são essenciais para entender e modelar o comportamento dinâmico de sistemas físicos. Será analisado e comparado o resultado obtido por cada um dos métodos. A grandeza de interesse deste experimento é a velocidade angular de um motor de corrente contínua.

Palavras-chave: identificação de sistemas, comportamento dinâmico, motor de corrente contínua.

Área do Conhecimento: Engenharia Mecatrônica.

Introdução

Os motores CC (corrente contínua) são amplamente utilizados em diversas aplicações na indústria, como automação de máquina, envasadoras, manipuladores robóticos, dentre outras aplicações em que é necessária a precisão no controle deste dispositivo. Existem diversas técnicas de controle de velocidade de motor CC, por exemplo, controle de tensão, controle de corrente, controle PWM (Pulse Width Modulation) e controle de feedback de velocidade.

Métodos determinísticos são aqueles em que as variáveis e parâmetros são tratados como se as suas variáveis não são aleatórias, ou seja, é feita a consideração de que não há incertezas presentes nas diversas fontes de dados (que seria o caso chamado estocástico) (Aguirre, 2015). Um tipo de modelo matemático simples, mas que pode fornecer o conhecimento sobre a dinâmica de sistemas encontrados na indústria, é a função de transferência, que relaciona duas variáveis do processo. Existem métodos de identificação de sistemas que podem servir para tratar dos casos de sistemas de 1ª ordem e de 2ª ordem pouco amortecidos, cujo modelo matemático resultante pode servir para a realização de análise da resposta e para projeto em que será realizada a malha fechada realimentada para esse sistema.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos da comparação de técnicas determinísticas de identificação de sistemas, bem como o uso de ferramentas computacionais existentes no mercado para auxiliar nesse processo, apresentando os passos necessários para levantamento dos dados relevantes nesse processo. Para validação dos modelos, foi realizada a comparação entre a resposta obtida experimentalmente, e as respostas obtidas através de simulações computacionais com os modelos obtidos.

Metodologia

Para realizar o procedimento de identificação do modelo, foram seguidas as seguintes etapas:

(1) Aquisição de dados do processo: Segundo (Garcia, 2017) o ensaio em malha aberta para a obtenção da curva de reação do sistema, deve ser realizado de forma a se causar uma mudança na variável de entrada, e observar o comportamento da variável de saída. Para a planta em estudo, sinais de excitação de tensão elétrica aplicada no motor foram enviados através de PWM, sendo medida a

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

velocidade angular no eixo do motor. Foram escolhidos valores de ciclo ativo para o PWM de tal forma a causar uma mudança de velocidade do motor, mas sem que o degrau aplicado fosse muito alto, a ponto de entrar dentro de uma região não-linear para o sistema. Além disso, foram aplicados valores de degrau positivo e negativo, de modo a entender o comportamento da planta para aumentar e diminuir o valor da variável de saída.

(2) Tratamento dos dados: Para a aplicação dos métodos de identificação, uma etapa que antecede a aplicação dos algoritmos é a de tratamento dos dados, onde podem ser selecionadas regiões de interesse, aplicados filtros, normalização dos valores, etc.

(3) Aplicação dos métodos de identificação: Para obter modelos aproximados de sistemas de ordem superior como sistemas de primeira ordem, é comum utilizar técnicas de simplificação ou aproximação. Essas técnicas podem ser úteis quando se deseja simplificar a análise ou o projeto de controle de sistemas mais complexos. Uma abordagem comum é a aproximação de sistemas de primeira ordem por meio de sua resposta ao degrau unitário. O objetivo é encontrar um sistema de primeira ordem que reproduza de forma aproximada o comportamento dinâmico do sistema de primeira ordem, dado pela seguinte equação:

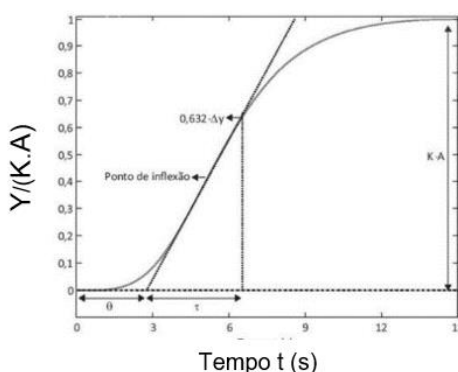
$$FT = \frac{K \cdot e^{-\theta s}}{\tau s + 1}$$

Tem-se então, alguns métodos determinísticos que podem ser usados utilizados para obtenção de uma função de transferência de primeira ordem a partir de um conjunto de dados, esses métodos são:

- Método Ziegler e Nichols.

O Método de Ziegler e Nichols é um método clássico que consiste em tracejar uma tangente no ponto de inflexão da curva de reação do processo. Então, os parâmetros são determinados pela inspeção (Figura 1);

Figura 1 - Método de Ziegler e Nichols.



Fonte: Garcia, 2017

O tempo morto, representado por θ , é o tempo decorrido entre a aplicação do degrau e o ponto em que a tangente traçada intersecta o valor inicial estacionário. Ao traçar a tangente, identificamos o momento em que ela cruza a linha do valor da resposta em regime após a aplicação do degrau. Esse instante corresponde a $\tau + \theta$, onde subtraímos θ para encontrar a constante de tempo τ .

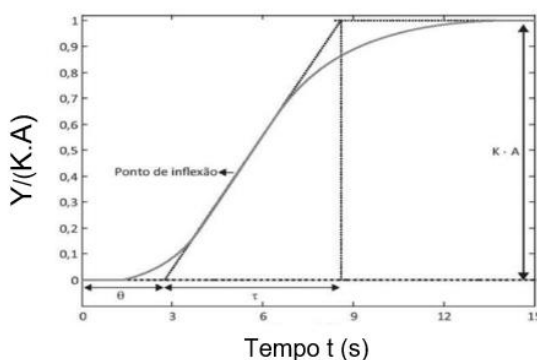
- Método de Miller.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

O Método de Miller é uma técnica utilizada para a sintonia de controladores em sistemas de controle. Assim como o Método de Ziegler e Nichols, esse método também envolve o traçado de uma tangente no ponto de inflexão da curva de resposta do sistema (Figura 2).

Da mesma forma que o Método de Ziegler e Nichols, o tempo morto é determinado através dessa tangente, representando o tempo decorrido desde a aplicação do degrau até o ponto de interseção da tangente com o valor inicial estacionário. Além disso, a constante de tempo (τ) é obtida a partir do ponto em que a resposta atinge 63,2% do valor em regime após a aplicação do degrau.

Figura 2 - Método de Miller.



Fonte: Garcia, 2017

Essa constante de tempo é calculada subtraindo o tempo morto do instante em que ocorre essa porcentagem. Portanto, o Método de Miller utiliza uma abordagem similar ao Método de Ziegler e Nichols, trazendo a tangente e o tempo morto como elementos importantes para a determinação da constante de tempo do sistema.

• Método de Smith.

Devido à influência significativa do traçado da tangente no ponto de inflexão da curva de resposta, a proposta de Smith era determinar os valores do tempo morto (θ) e da constante de tempo (τ) a partir de dois pontos específicos na curva de reação do processo (Figura 3).

A solução analítica para a função de transferência de primeira ordem é dada por:

$$y(t) = A[1 - e^{-(t-\theta)/\tau}]$$

Onde $y(t)$ é a resposta do sistema no tempo t , A é a amplitude da resposta, θ representa o tempo morto e τ é a constante de tempo.

Suponha que dois pontos da curva de resposta, em $t = \theta + \tau/3$ e $t = \theta + \tau$, sejam escolhidos arbitrariamente. Aplicando a equação acima, temos:

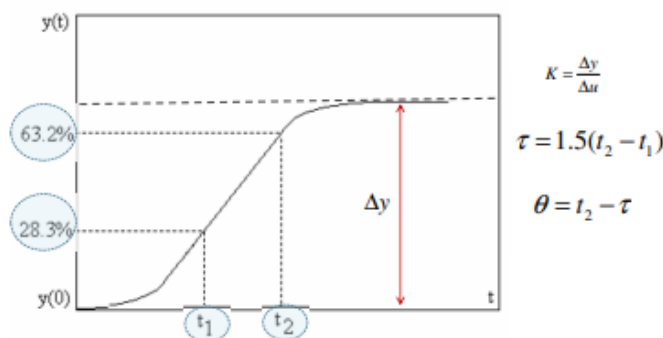
$$\begin{aligned} y(\theta + \tau/3) &= 0,284\Delta y \\ y(\theta + \tau) &= 0,632\Delta y \end{aligned}$$

Os tempos em que a resposta atinge 28,4% e 63,2% de seu valor em regime podem ser obtidos diretamente da curva de reação do processo. Resolver esse sistema de duas equações nos fornece os valores de θ e τ através das seguintes equações:

$$\begin{aligned} \tau &= 1,5(t_2 - t_1) \\ \theta &= t_2 - \tau \end{aligned}$$

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 3 - Método de Smith.



Fonte: Autor.

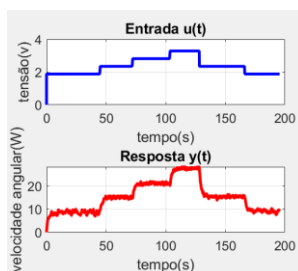
Dessa forma, utilizando os pontos específicos na curva de resposta, podemos calcular o tempo morto (θ) e a constante de tempo (τ) necessários para a modelagem de sistemas de primeira ordem.

Resultados

1. Aquisição de dados do processo

O motor responde a essa excitação com velocidade angular, dessa maneira obtém-se o seguinte gráfico, de entrada e saída do sistema.

Figura 4 - Entrada e resposta do sistema.



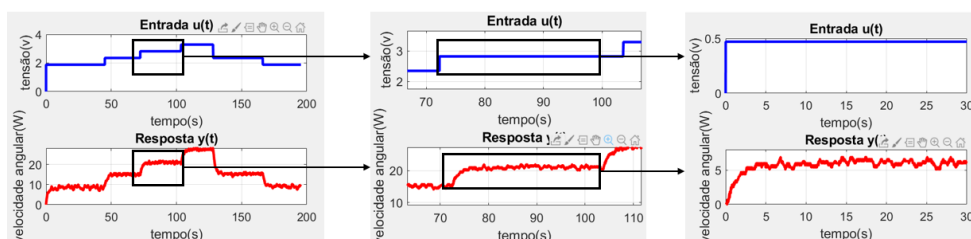
Fonte: Autor.

2. Tratamento de dados

Para a aplicação dos métodos de identificação, uma etapa que antecede a aplicação dos algoritmos é a de tratamento dos dados, onde podem ser selecionadas regiões de interesse, aplicados filtros, normalização dos valores, etc.

Antes de aplicar os métodos de identificação, escolheu-se apenas uma curva de toda a amostra de dados com a curva escolhida, precisa-se normalizá-la para facilidade dos cálculos. Utilizando-se de recursos do Matlab, colocou-se então as curvas no ponto de origem (0,0). Conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5 - Curva escolhida.



Fonte: Autor.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

3. Aplicação dos métodos de Identificação

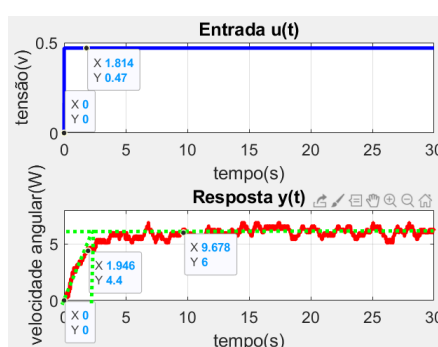
- Método de Ziegler e Nichols

Traçando a tangente no ponto de inflexão a curva escolhida e interceptando-a no valor de estado estacionário, obtém-se o gráfico da figura 6:

Do gráfico, obtém-se K, que é o valor do ganho proporcional do sistema através de:

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{(\text{AmpFinal} - \text{AmpInicial})} = 12,77$$

Figura 6 - Obtenção dos parâmetros.



Fonte: Autor.

Obtém-se τ (Tau) = 1,946 , que é a constante de tempo;
O tempo morto, para este caso, é negligível, portanto, ele foi considerado como 0;
Então com esses dados é montado a seguinte função de transferência de primeira ordem:

$$FT_{zn} = \frac{12,77 \cdot e^{-0s}}{1,946s + 1} = \frac{12,77}{1,946s + 1}$$

- Método de Miller

Pelo método de Miller, o cálculo de K é o mesmo que o método de Ziegler e Nichols, com a exceção da constante de tempo, que é obtida no ponto em que a resposta atinge 63,2% do valor final. Assim, calcula-se a função de transferência:

$$FT_{miller} = \frac{12,77}{3,792s + 1}$$

- Método de Smith

Por fim, adotando-se a mesma curva já utilizada, agora para o método de Smith, sabendo-se que $y(\infty) = 6$, calcula-se $t_1 = 1,704$ e $t_2 = 3,792$, τ e θ . A função de transferência é obtida:

$$FT_{smith} = \frac{K \cdot e^{-\theta s}}{\tau s + 1} = \frac{12,77 \cdot e^{-0,66s}}{3,132s + 1}$$

Simulando as funções calculadas e comparando com os dados experimentais tem-se:

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 7 - Comparação entre a resposta e os modelos obtidos.



Fonte: Autor.

Discussão

Pela figura 7, nota-se que a função de transferência que mais se aproxima da curva experimental é a de Ziegler e Nichols.

A mesma apresenta um comportamento quase idêntico tanto em regime transiente quanto em regime permanente. Já na função obtida pelo método de Miller é notável um regime transiente mais lento.

A função de transferência obtida por método de Smith por sua vez, foi a que apresentou resposta mais lenta. Esta diferença entre as funções se dá pelo modo como se obtém a constante de tempo. O método de Smith, contrariando os outros dois métodos não se utiliza de uma tangente no ponto de inflexão, extraindo os pontos de momentos específicos da curva para cálculo da constante de tempo e atraso de transporte.

É possível prosseguir com um projeto de controlador com qualquer uma das funções obtidas, embora, para o sistema apresentado, as funções obtidas por Miller e Smith precisariam de alguns ajustes. A melhor escolha, portanto, para um projeto de controlador de tal sistema, é o modelo obtido por Ziegler e Nichols.

Conclusão

Neste artigo foi demonstrado a aplicação de algumas metodologias de identificação de sistemas. E avaliado qual o melhor modelo obtido. Para o sistema em questão o método mais adequado foi o de Ziegler e Nichols, o que não necessariamente é verdade para todos os sistemas dinâmicos. Portanto é importantíssimo que engenheiros de controle e automação conheçam as diversas metodologias de identificação para desta maneira avaliar diferentes funções e ensaiar os diversos modelos obtidos buscando a melhor representação possível. Pois é a partir desta representação matemática que se dá sequência a todo o projeto do controlador a ser implementada.

É importante ressaltar que este artigo apresenta apenas três metodologias diferentes de obtenção de modelo, portanto vale menção de alguns outros métodos para futuros estudos, como o método de Sundaresan e Krishnaswamy e Método de Nishikawa.

Referências

AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistema.** Técnicas lineares e não lineares aplicadas a sistemas: Teoria e aplicação. 4. ed. - Belo Horizonte: UFMG, 2014.

CHAMPAN, S.J. **Fundamentos de máquinas elétricas.** 5. ed. - Porto Alegre: AMGH, 2013.

GARCIA, C. **Controle de processos industriais:** Estratégias Convencionais. 1. ed. - São Paulo: Blucher, 2017.