UMA BIBLIOTECA EM MATLAB PARA O ENSINO DE CONTROLES INDUSTRIAIS

João Carlos Basilio – basilio@dee.ufrj.br
Carine Valentini Botinhão – carinevb@dee.ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Engenharia, Depto. de Eletrotécnica
Cidade Universitária – Ilha do Fundão
21.945-970 – Rio de Janeio - RJ

Resumo: *Os objetivos principais de um curso de Controles Industriais são a identificação de funções de transferências de plantas e o projeto de controladores industriais – em geral, controladores do tipo PID. Contudo a exemplificação em sala de aula dos métodos de identificação e projeto é bastante difícil tendo em vista que, como requerem um número elevado de dados, levam a matrizes de ordem muito elevadas, que são de difícil manipulação sem o auxílio de programas computacionais. Neste artigo, serão apresentados diversos programas escritos na linguagem Matlab que permitirão que os métodos apresentados nos cursos de Controles Industriais sejam efetivamente exemplificados durante as aulas em que são apresentados. Além de sua utilização em sala de aula, essa biblioteca pode também ser usada ainda como um importante meio auxiliar para o ensino à distância e também representar uma conexão entre universidade e indústria, permitindo ao engenheiro prático utilizar técnicas mais avançadas de identificação e controle sem necessidade de aprofundar os seus conhecimentos nessa área.*

Palavras-chave: *Educação em controle, Meios didáticos auxiliares, Identificação de sistemas, Projeto de controladores, Controladores PID*

1. INTRODUÇÃO

A disciplina de Controles Industriais tem destacada importância na formação de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos e também como parte do curriculum dos cursos de Engenharia de Automação e Controle. A razão para isso é o fato de que, é na disciplina de Controles Industriais que se estabelecem as conexões entre os conceitos teóricos e sua aplicação e utilização na prática. Um exemplo dessa ligação entre teoria e prática é o estudo da decomposição de sinais definidos em um intervalo $[t_0,t_0+T]$ em série trigonométrica de Fourier. Nos cursos teóricos de Sinais e Sistemas e/ou Sistemas de Controle, o aluno se acostuma a um tratamento analítico dos sinais; os coeficientes da expansão em série de Fourier dos sinais considerados são obtidos resolvendo-se integrais, uma vez que os sinais considerados são descritos analiticamente. Contudo, na prática, os sinais não podem ser caracterizados analiticamente, uma vez que são, na maioria das vezes, corrompidos por ruídos introduzidos pelos sensores. Assim, o cálculo dos coeficientes da expansão em série de Fourier de sinais obtidos de sistemas reais requer um tratamento numérico, uma vez que agora, não são mais descritos analiticamente, mas por um conjunto de pares ordenados $[t_i,f(t_i)]$, $i=1,2,...,n$, $t_i \in [t_0,t_0+T]$. Portanto, é na disciplina de Controles Industriais que o aluno aprende a lidar com as dificuldades e as "imperfeições do mundo real", tais como, ruído, obtenção de modelos matemáticos de sistemas (funções de transferências) sem necessidade de modelar matematicamente os fenômenos físicos envolvidos no processo, projeto de controladores (PI, PD ou PID, em geral) para esses sistemas *etc*.

A manipulação de dados obtidos a partir de sistemas reais traz, contudo, uma outra dificuldade: para que se possa representar os sinais de forma segura (no sentido do teorema da amostragem de Nyquist), é necessário fazer a aquisição de um número significativamente grande de pontos. A conseqüência é que a exemplificação dos métodos de identificação e projeto de controladores fica seriamente comprometida, uma vez que, em geral, os métodos de identificação requerem a formação de matrizes em que pelo menos uma das dimensões tem a mesma ordem de grandeza do número de pontos obtidos experimentalmente. Para contornar esse problema, sem que se tenha que recorrer mais uma vez a exemplos sem motivação prática, o professor deve fazer uso do computador como um meio didático auxiliar. Assim, utilizando-se de programas previamente desenvolvidos de acordo com os algoritmos que estão sendo apresentados em sala de aula, o professor será capaz de, a partir de dados experimentais obtidos de sistemas reais, demonstrar a validade dos métodos de identificação e projetos que estão sendo ensinados.

Dentro do contexto de utilização do computador como um meio didático auxiliar, apresenta-se neste trabalho uma biblioteca em Matlab para: (i) manipulação de sinais; (ii) identificação de funções de transferências de sistemas lineares a partir de experimentos de resposta ao degrau, resposta em freqüência e; (iii) projeto de controladores PI e PID industriais. Deve ser ressaltado que a linguagem Matlab foi a escolhida por ser reconhecida como a mais adequada para o desenvolvimento de programas computacionais dentro do contexto de sistemas de controle.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. Na seção 2 faz-se uma breve apresentação dos tópicos usualmente considerados em um curso de Controles Industriais e dos métodos de identificação e projeto de controladores cujos algoritmos serão implementados. Na seção 3, alguns exemplos de utilização das rotinas serão apresentados. Finalmente, na seção 4, serão apresentados os comentários finais sobre a utilização da biblioteca em sala de aula e, também, uma sugestão de possível trabalhos que podem ser desenvolvidos a partir dessa biblioteca, mais especificamente, como uma ferramenta para o ensino à distância utilizando a internet e como uma conexão entre universidade e indústria.

2. CONTROLES INDUSTRIAIS

2.1 Escopo do curso

Um curso de controles industriais é geralmente dividido em duas partes principais: (i) identificação de sistemas industriais; (ii) projeto de controladores PI ou PID. Na parte de identificação de sistemas industriais, o objetivo é apresentar os métodos mais comuns para o desenvolvimento de modelos matemáticos (funções de transferências) para sistemas industriais estáveis. Esses modelos são geralmente desenvolvidos utilizando-se: (a) resposta ao degrau (ASTROM E HAGGLUND 1988,1995), levando a sistemas de primeira ou de segunda ordem criticamente amortecidos, com ou sem atraso (quando o sistema possuir uma resposta ao degrau monotonicamente crescente) ou a sistemas de segunda ordem subamortecidos (quando o sistema possuir resposta ao degrau oscilatoriamente descrescente); (b) resposta em freqüência, sendo a ordem do sistema e o número de zeros finitos e infinitos determinados, respectivamente, em função das assíntotas do diagrama de módulo de Bode e do diagrama de fase ou a partir de ajuste por mínimos quadrados da resposta em freqüência do sistema identificado e dos pontos obtidos experimentalmente (BASILIO 1998,2002). Na parte relativa ao projeto de controladores PI ou PID industriais é abordado desde o fundamento do projeto de controladores PID (justificativa para o uso das ações proporcional, integral e derivativa) até a apresentação de técnicas de ajustes de controladores PID industriais (ZIEGLER e NICHOLS 1942, HANG et al. 1991, RIVERA et al. 1986, BASILIO e MATOS 2002).

2.2 Funções Matlab desenvolvidas

De acordo com o exposto na seção 2.1, uma biblioteca MATLAB (MATHWORKS 1999) para ser eficientemente usada como um meio auxiliar em um curso de Controles Industriais deve permitir que as seguintes tarefas sejam realizadas:

1. Identificação de sistemas com resposta ao degrau monotonicamente crescente por um sistema de primeira ordem.
2. Identificação de sistemas com resposta ao degrau monotonicamente crescente por um sistema de primeira ordem com atraso.
3. Identificação de sistemas com resposta ao degrau monotonicamente crescente por um sistema de segunda ordem criticamente amortecido sem zeros.
4. Identificação de sistemas com resposta ao degrau monotonicamente crescente por um sistema de segunda ordem criticamente amortecido com atraso e sem zeros.
5. Decomposição de sinais periódicos em série trigonométrica de Fourier, permitindo identificar, principalmente, a amplitude e a fase da componente fundamental.
6. Identificação da função de transferência utilizando-se os Diagramas de Bode construídos a partir da resposta em freqüência obtida experimentalmente e trabalhadas utilizando-se a função descrita no item 5.
7. Ajuste de controladores PID industriais utilizando o método de Ziegler & Nichols.
8. Ajuste de controladores PID industriais utilizando o método de Basilio & Matos.

Um aspecto importante a ser ressaltado com relação às funções desenvolvidas para identificação de funções de transferências é que elas devem ser capazes de realizar a validação da identificação, isto é, deve estar conectada a um modelo Simulink (MATHWORKS 1999), que seja capaz de fazer a simulação utilizando-se o mesmo sinal de entrada aplicado no sistema real, porém aplicado ao modelo obtido a partir do programa para identificação.

As funções em Matlab desenvolvidas foram as seguintes:

GANHOFASE : Calcula o ganho e a defasagem entre as senoides de saída e de entrada;

IDENTBODE : Faz a identificação da função de transferência a partir dos diagramas de Bode;

INDFOURIER : Calcula os n primeiros termos da Serie trigonometrica de Fourier;

ORDEM1AREA : Identifica por um sistema de primeira ordem utilizando o método da área;

ORDEM2AREA : Identifica por um sistema de segunda ordem criticamente amortecido utilizando o método das áreas;

ORDEM1ATRASO : Identifica por um sistema de primeira ordem com atraso utilizando o método das áreas (ASTROM E HAGGLUND 1988);

ORDEM2ATRASO : Identifica por um sistema de segunda ordem criticamente amortecido com atraso utilizando o método das áreas;

ORDEM1LN: Identifica por um sistema de primeira ordem utilizando o método do logaritmo neperiano;

ORDEM2SUB: Identifica um sistema com resposta ao degrau subamortecida por um sistema de segunda ordem sem atraso;

ORDEM2SUBATRASO : Identifica um sistema com resposta ao degrau subamortecida por um sistema de segunda ordem sem atraso;

PIDBASMAT : Calcula os parâmetros do controlador PID para um sistema com resposta ao degrau criticamente amortecida de acordo com o método de BASILIO E MATOS (2002);

PIDSUB : Calcula os parâmetros do controlador PID para um sistema com resposta ao degrau subamortecida de acordo com o método de BASILIO E MATOS (2002);

PIDZIEGLER : Calcula os parâmetros do controlador PID para um sistema com resposta ao degrau criticamente amortecida de acordo com o método de ZIEGLER E NICHOLS (1942);

SEPARAPERIODO : Separa um período de sinal qualquer (periódico ou não).

Além dessas funções, foram também desenvolvidos os seguintes modelos em Simulink para simulação dos sistemas, cujos modelos foram desenvolvidos utilizando as funções acima:

MODELO_ATRASO : Para simulação de sistemas de primeira ou segunda odem com atraso.

MODELO_SEMATRASO : Para simulação de sistemas de primeira ou segunda ordem sem atraso;

É importante ressaltar que os sinais de entrada utilizados na simulação devem ser os mesmos obtidos experimentalmente e que foram usados para excitar o sistema real.

3. EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DAS FUNÇÕES

3.1 Identificação de sistemas por resposta ao degrau

Um sistema usualmente utilizado para ilustrar em sala de aula a identificação por resposta ao degrau é o motor dc controlado pela armadura, uma vez que este possui uma resposta ao degrau monotonicamente crescente. Ao se considerar como entrada a tensão aplicada ao circuito de armadura, $v_a(t)$, e, como saída, a tensão medida em um tacômetro acoplado ao eixo do motor, $v_t(t)$, que é proporcional à velocidade angular do motor, tem-se que o modelo matemático do motor dc é dado por (DORF 1986):

$$G(s) = \frac{V_t(s)}{V_a(s)} = \frac{K}{(\tau_m s + 1)(\tau_e s + 1)} \qquad (1)$$

onde K denota o ganho dc do motor, τ_m e τ_e são, respectivamente, as constantes de tempo mecânica e elétrica do sistema. Um importante aspecto a ser considerado é que, dependendo do motor, $\tau_e << \tau_m$, e, portanto, o motor dc, poderá neste caso ser aproximado por um modelo de primeira ordem. Por outro lado, quando τ_m e τ_e têm aproximadamente a mesma ordem de grandeza, o modelo mais adequado para o sistema será o de segunda ordem superamortecido. Contudo, utilizando-se resposta ao degrau, não existe um método que seja de fácil implementação para a identificação de sistemas de segunda ordem superamortecido. Isto leva, a um interessante exercício de identificação conforme será mostrado a seguir. Na figura 1, estão representados o degrau aplicado a um motor dc e a correspondente resposta. Note que, a resposta é, a menos do ruído de medição introduzido pelo sensor, monotonicamente crescente. Um outro aspecto a ser ressaltado é o número de pontos obtidos experimentalmente: 500 pares ordenados $(t_i, v_a(t_i))$ e outros 500 pares $(t_i, v_t(t_i))$; o que reforça o comentário feito na seção introdutória que, devido ao número elevado de dados obtidos experimentalmente, é impossível para o professor exemplificar os conceitos apresentados em sala de aula sem fazer uso de programas computacionais. Ainda na figura 1, é possível visualizar a tela gráfica para que o professor possa clicar nos pontos fundamentais para identificação, quais sejam: (i) o instante de início da aquisição dos dados; (ii) o instante em que o degrau foi aplicado e; (iii) o instante que o usuário considera que a resposta já se encontra em regime permanente.

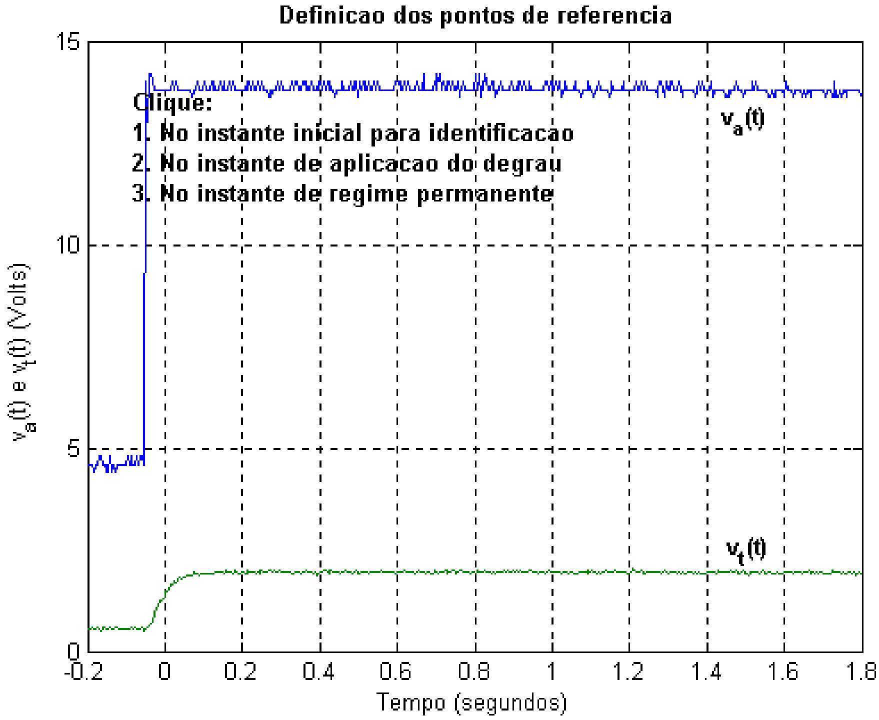

Figura 1. Aspecto da tela gráfica para inserção dos dados para identificação por resposta ao degrau de sistemas de primeira e segunda ordem, com e sem atraso

A identificação por um sistema sem atraso pode ser feita utilizando-se os métodos do logaritmo neperiano (função ORDEM1LN) e da área (função ORDEM1AREA), quando o modelo adotado é de primeira ordem ou fazendo-se uso do método das áreas (função ORDEM2AREA), para um modelo de segunda ordem criticamente amortecido. As respostas do sistema real e as obtidas a partir de um modelo Simulink (MODELO_SEMATRASO) aplicando-se o mesmo sinal de entrada aplicada ao sistema real (motor) estão mostradas na figura 2, de onde é possível observar que a resposta obtida a partir da simulação do modelo de segunda ordem criticamente amortecido é a que mais se aproxima da resposta real do sistema. É importante observar a melhor exatidão do modelo de segunda ordem criticamente amortecido não deve ser generalizada, isto é, podem haver outros sistemas que sejam melhor modelados por sistemas de primeira ordem. Um outro motor dc, por exemplo, em que a constante de tempo elétrica fosse muito menor que a elétrica, certamente seria melhor modelado por um sistema de primeira ordem. Esses detalhes devem ser levados ao conhecimento dos alunos para que eles não sejam levados a concluir que o melhor modelo é sempre o de segunda ordem criticamente amortecido. Para tanto, o professor pode até mesmo utilizar outros exemplos de sistemas, reais ou não, de preferência corrompidos por ruídos, para ilustrar o fato de que o melhor modelo depende do sistema a ser identificado.

A identificação por um sistema com atraso pode ser feita utilizando-se os métodos das áreas, podendo levar a modelos de primeira ordem com atraso (função ORDEM1ATRASO) ou de segunda ordem com atraso (função ORDEM2ATRASO). Um sistema real que pode ser utilizado para se realizar as identificações são os fornos elétricos a resistência, cuja resposta tem um atraso de transporte que depende da tensão aplicada. Uma aplicação da função ORDEM1ATRASO na obtenção de um modelo para um forno elétrico a resistência pode ser encontrada em BASILIO ET AL. (2002).

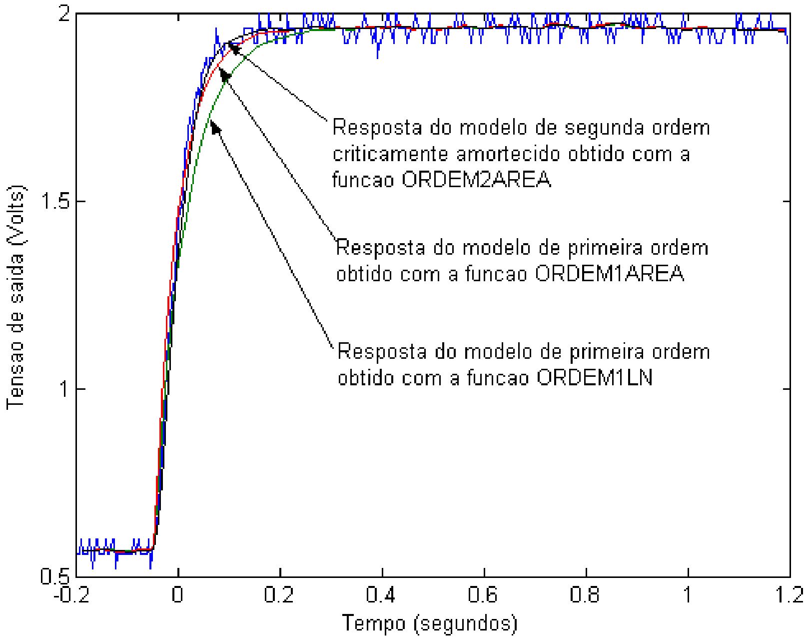

Figura 2. Comparação entre as respostas experimentais e as obtidas a partir dos modelos de primeira ordem sem atraso utilizando as funções ORDEM1LN, ORDEM1AREA e ORDEM2AREAS

3.2 Identificação por resposta em freqüência

A identificação por resposta em freqüência de sistema lineares invariantes no tempo (SLIT) estáveis é feita excitando-se o sistema com senóides de diferentes freqüências. É sabido que para SLIT estáveis, a resposta a uma senoide será, em regime permanente, também uma senóide, porém de amplitude e ângulo de fase determinados pela freqüência do sinal de entrada. A identicação do sistema é feita a partir dos diagramas de Bode (DORF 1986), determinando-se as freqüências de canto (pontos de interseção das assíntotas). Essas freqüências de canto correspondem aos pólos e zeros do sistema a ser identificado. Portanto, para cada senóide aplicada ao sistema, é necessário obter o ganho e a fase do sistema naquela freqüência; o primeiro é numericamente igual à razão entre as amplitudes das senóides de saída e de entrada, enquanto o segundo é dado pela defasagem entre as senóides de saída e de entrada.

Embora bastante simples do ponto de vista teórico, a identificação por resposta em freqüência apresenta a seguinte dificuldade: quando aplicada a outros sistemas que não os eletrônicos, os sinais de saída, e, até mesmo os de entrada, são corrompidos por ruídos; os sinais de entrada, às vezes, deixam até mesmo de serem senóides devido, por exemplo, a limitações nos amplificadores de potência, enquanto os sinais de saída são corrompidos por ruídos de medição. Na figura 3 são mostradas as formas de onda aplicadas a um motor dc e a correspondente resposta de regime permanente. A onda gerada pelo gerador de sinais é uma onda senoidal com freqüência de 16,6Hz quase perfeita, porém a tensão aplicada, após passar pelo amplificador de potência, foi sensivelmente distorcida, conforme pode ser visto na figura 3 (figura superior). Ainda na figura 3 (figura inferior) está mostrada a tensão nos terminais do tacômetro, que conforme se pode observar, está corrompida por ruídos de medição. Assim sendo, para se poder determinar as amplitudes das senóides de entrada e saída e o correspondente ângulo de defasagem entre elas é necessário "tratar" os sinais de entrada e de saída. Para tanto é necessário encontrar as componentes fundamentais da expansão em série de Fourier desses sinais, o que pode ser feito com a ajuda das funções SEPARAPERIODO e INDFOURIER. A aplicação dessas funções aos sinais considerados está também representada na figura 3. Note que após "tratamento" dos sinais aplicado ao motor e medido nos terminais do tacômetro pelas funções SEPARAPERIODO E INDFOURIER, tem-se os sinais mostrados na figura 3 (superior e inferior), que são definidos pelas componentes fundamentais das expansões em série de Fourier dos sinais considerados.

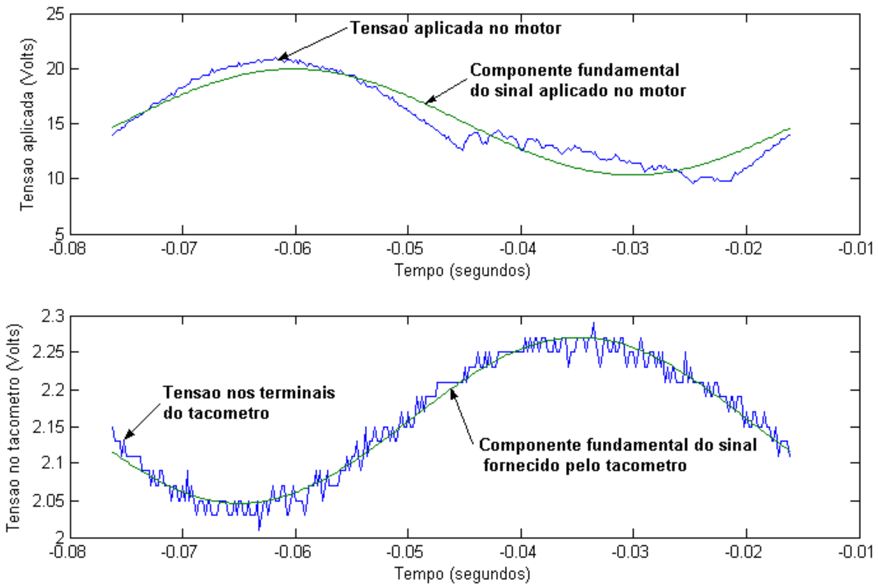

Figura 3. Sinais senoidais de entrada (aplicado ao motor) e de saída (terminais do tacômetro) e suas componentes fundamentais.

A identificação da função de transferência do sistema é, então, realizada utilizando-se a função IDENTBODE. Esta função leva à determinação das freqüências de canto (pontos de interseção das assíntotas) através de um processo interativo, em que o usuário escolhe a inclinação das assíntotas e também o ponto de interseção entre duas assíntotas consecutivas. A eficiência do programa pode ser comprovada pelo diagrama de módulo de Bode mostrado na figura 4 obtido aplicando-se sinais senoidais de diferentes freqüências a um motor dc controlado pela armadura. No gráfico estão mostrados os pontos obtidos experimentalmente e determinados utilizando-se a função GANHOFASE (pontos marcados por +), as assíntotas do diagrama, determinadas pelo usuário em um processo de tentativa-e-erro e a resposta em freqüência do modelo de segunda ordem para o motor. Note que, conforme havia sido observado nos experimentos para determinação do modelo via resposta ao degrau, o motor em consideração é melhor modelado como um sistema de segunda ordem e, de acordo com a equação (1), os pólos são reais e desiguais. Desta forma, de acordo com a função IDENTBODE, o modelo mais adequado para o motor dc controlado pela armadura do laboratório de Sistemas de Controle (LABCON) da UFRJ é dado por:

$$G(s) = \frac{V_t(s)}{V_a(s)} = \frac{0{,}1460}{(0{,}0384s+1)(0.0117s+1)} \tag{2}$$

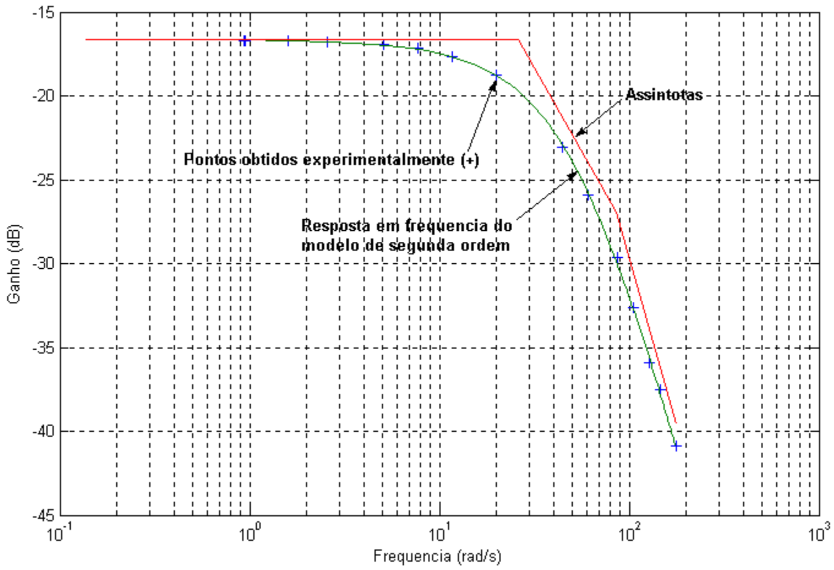

Figura 4. Diagrama de módulo de Bode e as correspondentes assíntotas obtidas utilizando as funções GANHOFASE E IDENTBODE

3.3 Ajuste dos parâmetros do controlador PID

Supondo como entrada do controlador o sinal de erro *e(t)* e como saída o sinal de controle *u(t)*, então um controlador PID terá a seguinte função de transferência:

$$K(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right), \tag{3}$$

onde *E(s)* e *U(s)* denotam, respectivamente, as transformadas de Laplace de *e(t)* e *u(t)*. Os parâmetros do controlador PID a serem ajustados são o ganho proporcional (K_p), a constante de tempo de integração (T_i) e o tempo derivativo (T_d).

O ajuste dos parâmetros dos controladores PID é realizado utilizando-se as funções PIDSUB, PIDZIEGLER e PIDBASMAT. É sabido que as fórmulas de ajuste são simples, desde que algumas constantes tenham sido determinadas em experimentos de resposta ao degrau. Essas constantes podem ser determinadas diretamente utilizando-se as funções ORDEM1AREA, ORDEM2AREA, ORDEM1ATRASO, ORDEM1LN, ORDEM2SUB e ORDEM2SUBATRASO. No caso da função PIDZIEGLER, o método utilizado para o ajuste é baseado na identificação de um sistema de primeira ordem com atraso, o que é feito pela função ORDEM1ATRASO. O ajuste dos parâmetros do PID utilizando-se a função PIDBASMAT requer que o sistema seja identificado por um sistema de segunda ordem criticamente amortecido sem atraso e, para tanto, chama a função ORDEM2AREA. Finalmente, o ajuste dos parâmetros de controladores PID para sistemas subamortecidos é feito utilizando-se a função PIDSUB e faz uso da função ORDEM2SUB.

4. CONCLUSÃO

A manipulação de dados obtidos a partir de sistemas reais representa uma dificuldade que deve ser considerada em um curso de Controles Industriais, uma vez que é necessário fazer a aquisição de um número significativamente grande de pontos. A conseqüência é que a exemplificação dos métodos de identificação e projeto de controladores fica seriamente comprometida. Para contornar esse problema, sem que se tenha que recorrer a exemplos sem motivação prática, o professor deve fazer uso do computador como um meio didático auxiliar. É dentro desse contexto, que neste trabalho é apresentada uma biblioteca em Matlab para identificação de funções de transferências de sistemas lineares a partir de experimentos de resposta ao degrau e resposta em freqüência para o projeto de controladores PI e PID industriais. A linguagem Matlab foi a escolhida por ser, reconhecidamente, a mais adequada para o desenvolvimento de programas na área de sistemas de controle.

Um outro aspecto importante desse trabalho é que ele pode ser usado também no ensino à distância e como uma conexão entre universidade e indústria. Um trabalho vem sendo desenvolvido no sentido de permitir que os dados sejam fornecidos via internet e processados em um servidor. Quando requisitado, um programa Matlab será executado no servidor, chamando as funções da biblioteca desenvolvida nesse trabalho. Deve ser ressaltado que, neste caso, todo o procedimento interno será invisível para o usuário, que não terá acesso aos códigos Matlab das funções.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e pela FAPERJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTROM, K. J. e HAGGLUND, T. **Automatic Tuning of PID controllers**. Research Triangle Park : Instrument Society of America, 1988.

ASTROM, K. J.; HAGGLUND, T. **PID controllers: Theory, Design and Tuning**. Research Triangle Park : Instrument Society of America, 1995.

BASILIO, J. C. **Notas de aulas de Controles Industriais**. Rio de Janeiro : UFRJ Depto. de Eletrotécnica, 1998.

BASILIO, J. C. A laboratory for a first course in control systems. **International Journal of Electrical Engineering Education**, v. 39, p. 54-70, 2002.

BASILIO, J. C.; MATOS, S. R. Design of PI and PID controllers with transient performance specification. **IEEE Transactions on Education**, v. 45, n. 4, p. 364-370, 2002.

BASILIO, J. C.; MANHÃES, R. R.; ROLIM, L.G.B. Controle de temperatura de um forno elétrico a resistência utilizando a função PID de um controlador lógico programável. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 9, 2002, Natal. **Anais**. Natal : UFRN, 2002. p. 2184-2189.

DORF, R. C. **Modern Control Systems**. Reading : Addison Wesley, 1986.

HANG, C. C.; ASTROM, K. J.; HO, W. K. Refinements of the Ziegler-Nichols tuning formula. **Proceedings of the IEE – Part D: Control Theory and Applications**, v. 138, n. 2, p. 111-118, 1991.

MATHWORKS **Using Matlab**. Natick : The Mathworks Inc., 1999.

RIVERA, D. E.; MORARI, M.; SKOGESTAD, S. Internal Model Control 4. PID controller design. **Ind. Eng. Chem. Process Design Development**, v. 25, p. 252-265, 1986.

ZIEGLER, J. G.; NICHOLS, N. B. Optimal settings for automatic controllers. **Transactions of the ASME**, v. 64, p. 759-768, 1942.

A MATLAB TOOLBOX FOR THE TEACHING OF INDUSTRIAL CONTROL

Abstract: *The main goals of an Industrial Control course are the identification of transfer functions for industrial plants and the design of industrial controllers – usually, PID controllers. However, the illustration of identification and design techniques during lectures is usually problematic since, in general, a large number of data is required. This gives rise to high order matrices whose manipulation becomes cumbersome if no computational tool is employed. In this paper, several functions written in Matlab will be presented. They are intended to be used in Industrial Control courses in order to illustrate the main concepts and algorithms introduced during the course. Beside its use in classroom, this tool can be deployed in distance learning and also as a connection between university and industry, allowing the practitioner engineer the use of advanced techniques for identification and design without having to go deep in theoretical studies*

Key-words: *Control education, Auxiliary didactic means, System identification, Controller design, PID controllers.*