

Ajuste de Controladores PID Via Método de Ziegler-Nichols

Luiz Fernando Gonçalves *
João Manoel Gomes da Silva Junior †

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo

Este trabalho tem como principal objetivo servir de roteiro para os alunos de graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a aula de laboratório, onde efetua-se o ajuste de controladores PID via método Ziegler-Nichols, que é parte integrante da cadeira de Sistemas de Controle, bem como, apresentar uma descrição do *Kit* de ensino de controle utilizado neste laboratório.

Inicialmente, descreve-se o intuito primordial destes laboratórios e experimentos, e após passa-se para uma descrição dos principais componentes do *Kit*. Segue-se então, para a análise dos métodos de projeto de controladores, especificamente o método de Ziegler-Nichols e de Chien, e o exame de um ensaio específico.

1 Introdução

Os ensaios que são realizados em laboratórios, aplicados para alunos de graduação, têm como objetivo principal aproximar a teoria, que é em alguns casos abstrata, com a realidade, que é concreta e visível.

Como experimentos tipicamente empregados em laboratórios de ensino de controle, pode-se citar massa mola, pêndulos, etc.

Estes experimentos possuem a característica de serem caros e apresentarem pouca similaridade, tanto do ponto de vista construtivo

quanto operacional, com aqueles sistemas de controle com os quais o aluno, futuro engenheiro, irá se defrontar em sua prática profissional. Resultando então, numa fraca identificação visual e operacional com a realidade profissional vivida pelo aluno.

Com o intuito de fechar esta lacuna, aproximando visual e operacionalmente o ensaio de laboratório da experiência prática do aluno, seria conveniente dispor de experimentos que utilizassem as mesmas grandezas, dispositivos e programas encontrados na prática industrial.

Para solucionar isto foi implantado um sistema com um custo baixo e flexível, permitindo a realização de um grande número de análises, explorando conceitos básicos e avançados em sistemas de controle [1].

Os principais conceitos, então, que têm sido introduzidos por meio deste sistema são os seguintes:

- identificação de parâmetros de processos;
- ações básicas de controle;
- resposta em frequência de processos;
- ajuste de controladores PID pelos métodos de Ziegler-Nichols;
- implementação digital de algoritmos PID.

O sistema construído para efetuar estes experimentos é constituído dos seguintes elementos: uma planta térmica, um controlador PID industrial e um microcomputador, ver fig. 1.

*luizfg@eletro.ufrgs.br

†jngomes@eletro.ufrgs.br



Figura 1: Foto do Sistema.

Cada um destes elementos será analisado a seguir.

2 Planta Térmica

A planta térmica é composta de uma resistência, de um termopar tipo K (usado para medir a temperatura), de um ventilador (utilizado para simular perturbações) e de um relé de potência, cuja principal função é controlar a alimentação, conforme [1].

O sistema pode ser modelado como um processo de primeira ordem com atraso de transporte, conforme a figura 2 vista a seguir, sendo:

$$G(s) = \frac{\Delta P(s)}{\Delta T(s)} = \frac{K_{pl}e^{-Ls}}{1 + \tau s} \quad (1)$$

onde:

- K_{pl} é o ganho estático;
- L é o atraso de transporte;
- τ é a constante de tempo do processo.

Os parâmetros da função de transporte podem ser variados de diversos modos:

1. variando-se a posição do sensor com relação à resistência é possível variar o atraso de transporte L ;
2. ajustando-se a chave seletora pode-se selecionar dois níveis de alimentação: nível

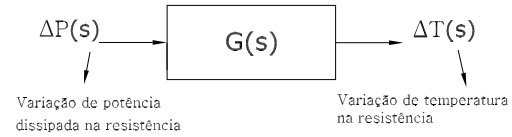


Figura 2: Modelo do processo térmico.

máximo (100%) e nível reduzido (50%); variando assim, o ganho estático K_{pl} ;

3. ligando ou desligando o ventilador modifica-se simultaneamente o ganho K_{pl} e a constante de tempo τ .

3 PID Industrial

É usado um controlador PID industrial do tipo *single loop*, modelo N1100, que foi produzido pela empresa NOVUS Produtos Eletrônicos Ltda. As características deste controlador de maior interesse para os ensaios são as seguintes [1]:

- controlador microprocessado, que permite uma ampla programação dos parâmetros e dos modos de operação, via teclas do próprio equipamento ou remotamente;
- entrada universal multisensor, em particular, para sensores de temperatura (termopares e PT100) onde uma linearização interna via *software* é feita;
- saída em PWM através de um relé de potência (3A/250V).
- display possibilitando a visualização de, entre outros: valores da variável manipulada (MV), valores da variável do processo (PV) em tempo real e dos valores dos parâmetros programados;
- modos de operação manual e automático são selecionáveis;

1. modo manual: neste modo, a operação se dá em malha aberta. Através das telas de programação do controlador é possível fixar a potência térmica a ser aplicada sobre a resistência entre 0% e 100%;
2. modo automático: neste modo, a operação se dá em malha fechada com controle PID ou controle liga-desliga com histerese.

A lei de controle PID é implementada na forma série:

$$MV(t) = \frac{1}{PB} \left[e(t) + IR \int_0^t e(\tau) d(\tau) + DT \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

onde $e(t)$ representa o erro de seguimento de referência e PB , IR e DT são os parâmetros do controlador PID, denominados respectivamente Banda Proporcional, Taxa Integral e Tempo Derivativo.

4 Microcomputador

O controlador industrial PID está conectado a um microcomputador através de uma interface serial RS232, como a saída padrão do N1100 é RS485 utiliza-se um conversor RS485-RS232. No microcomputador é feito o gerenciamento dos experimentos e a monitoração dos mesmos através da execução do programa supervisorio a ser descrito na seção 5.

Para tanto, a configuração mínima necessária é a seguinte: processador 80486DX ou superior (Pentium recomendado); 16Mb de memória RAM (32Mb recomendado); monitor VGA; 10Mb de espaço em disco livres; sistema operacional Microsoft Windows 3.1, 95, NT ou 98.

5 Supervisorio

Sistemas supervisorios são sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados. Localizam-se na parte de mais alto nível de um processo

de controle e são usados em grande escala pela indústria.

Em particular, as telas para o gerenciamento e o monitoramento das análises foram geradas através do *software* supervisorio Elipse Scada, da empresa Elipse Software Ltda (Elipse SCADA - Manual do Usuário, 1999).

Suas unidades básicas de dados são os *TAGS*. O supervisorio trata os dados do processo como *TAGS*, sejam eles vindos de um CLP, via (*drivers*), de uma base de dados industrial, ou mesmo através de expressões matemáticas internas (*TAG* expressão)[2].

Em nosso sistema, associam-se *TAGS* a valores de registradores do controlador N1100. Assim, através do *driver* de comunicação serial, os valores dos registradores são passados, em tempo real, aos respectivos *TAGS* e vice-versa. Tais *TAGS* podem ser ainda processados internamente pela aplicação supervisorio através da execução de *scripts* (pequenos trechos de programas) escritos na linguagem Elipse Basic.

Têm-se então grande facilidade e flexibilidade para realizar cálculos, elaborar relatórios, gerar arquivos históricos, montar estratégias de controle, manipular variáveis, etc.

Entre outras características que este programa também possui pode-se citar: um ambiente gráfico para a edição das telas de monitoração (que permite a criação de *displays*, botões, animações, gráficos com tendências, etc.) e suporte para WEB.

As telas supervisorias dos experimentos incluem basicamente: um controlador *virtual*, gráficos de tendências e campos para entrada de parâmetros específicos para cada ensaio [1]. As características e funcionalidades destes objetos são detalhadas a seguir.

5.1 Controlador Virtual

É possível realizar todas as alterações e programações em tempo real dos parâmetros do N1100 remotamente através da tela supervisorio, ver figura 3.

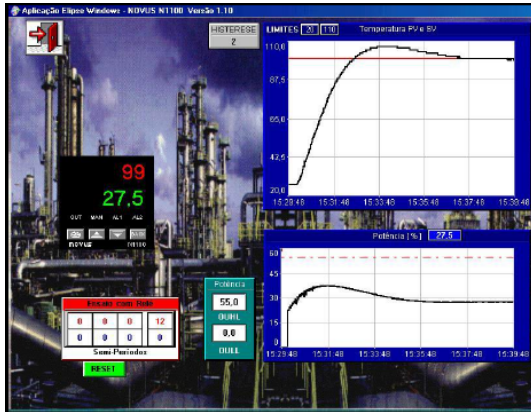


Figura 3: Tela do supervisório.

Sendo os valores programados enviados pela interface serial ao supervisório, podendo em seguida serem alterados através deste último. O controlador virtual, responsável pelo gerenciamento desta interface, é retratado por uma figura da parte frontal do N1100. Os botões de programação (idênticos aos do controlador real) são executados por meio de cliques de mouse sobre os mesmos.

A ação correspondente ao clique em um dos botões é diretamente enviada ao N1100 através da interface serial, e estas ações correspondem exatamente ao que ocorre quando o botão do controlador é pressionado fisicamente [1].

5.2 Gráficos de Tendências

Os gráficos de tendência exibem em tempo real o valor de saída (PV), o valor de referência (SP) e o sinal de controle (MV) do processo.

A partir de um duplo clique do mouse sobre um determinado gráfico torna-se possível alterar as escalas (selecionando a faixa de tempo na qual deseja-se efetuar a análise), realizar um zoom, navegar com o mouse sobre a curva (obtendo os valores) e ainda alterar as cores e as linhas.

Com base na faixa de tempo escolhida é possível gerar ainda um arquivo texto com os dados do histórico. Isto é útil para utilizar estes dados em outros programas e para processo *off-*

line como o Matlab, por exemplo [1].

6 Projeto de Controladores

Dispõe-se de vários métodos que são baseados na resposta em frequência ou na resposta ao salto para determinar os parâmetros do controlador PID. Os métodos de projeto diferem com respeito ao conhecimento do processo dinâmico que se faz necessário.

O método clássico de Ziegler-Nichols (baseado na resposta ao salto, onde os parâmetros são simplesmente características obtidas da resposta ao salto) e os métodos derivados deste serão agora abordados. Nestes, os processos dinâmicos são caracterizados por dois parâmetros: um parâmetro está relacionado com o ganho do processo e o outro descreve o quão rápido o processo é.

6.1 Método de Ziegler-Nichols

Este método clássico usado para a determinação dos parâmetros dos controladores PID foi apresentado em 1942 por Ziegler e Nichols. Este método e seus correlatos são ainda atualmente usados na sua forma original ou com algumas modificações.

Eles oferecem a forma básica de procedimento de ajuste dos controladores dos processos industriais e são baseados na determinação de algumas características do processo dinâmico a partir da resposta ao salto unitário do sistema, sendo caracterizados por dois ou três parâmetros, como na figura 4, onde percebe-se que há um atraso de tempo também. Os parâmetros do controlador são expressos, então, em termos destas características por simples fórmulas.

O ponto onde a inclinação da resposta ao salto tem seu máximo (P1) deve ser o primeiro a ser determinado, e a tangente neste ponto deve ser desenhada. A partir das intersecções entre a tangente e a coordenada do eixo obtemos os parâmetros \tilde{a} e L , conforme a figura 4.

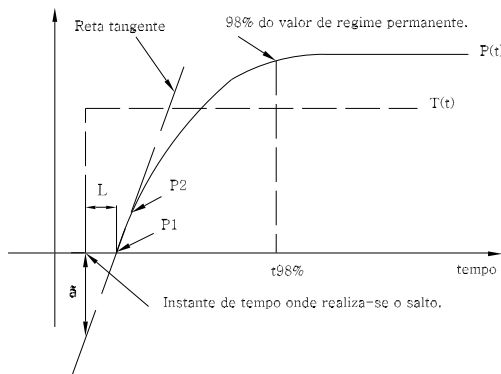


Figura 4: Ensaio ao salto.

Obtém-se os parâmetros do controlador em função destes dois parâmetros, como visto na tabela 1, onde \tilde{a} é igual a a .

6.2 Método de Chien

Foram feitas muitas sugestões para modificar o método de Ziegler-Nichols. Chien, Hrones e Reswick modificaram o método da resposta ao salto para obter um melhor amortecimento do sistema em malha aberta, aqui definido como método de Chien. Eles propuseram o uso de um controlador que não tivesse sobre-passo (*overshoot*) ou que tivesse um sobre-passo de 20% como critério de projeto.

Para ajustar o controlador de acordo com o método de Chien, os parâmetros a e L são determinados da mesma forma que o método da resposta ao salto de Ziegler-Nichols.

Neste método os parâmetros não são somente baseados somente em a e L , mas em τ também, ver tabela 2.

7 Ensaio ao Salto Para Sintonia de Controladores PID

O ensaio ao salto, descrito a seguir, tem como intuito obter os parâmetros para o controlador PID com em uma aula de laboratório.

Controlador	K	T_i	T_d	T_p
P	$1/a$	-	-	$4L$
PI	$0.9/a$	$3L$	-	$5.7L$
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$	$3.4L$

Tabela 1: Parâmetros do controlador PID obtidos do método da resposta ao salto de Ziegler-Nichols

Inicialmente, deve-se programar o controlador para operar em modo não automático, o que corresponde a operar o sistema em malha aberta.

Após, deve-se ajustar a potência a ser aplicada na planta, 20% por exemplo, ajustando a potência do controlador (MV) igual a 20.

Ajusta-se, então, a chave de potência do aquecimento do *Kit* em 100%, certificando-se que o ventilador está desligado.

Coloca-se o controlador em operação. Isto pode ser realizado através do ajuste YES na tela RUN, ou apenas através de um clique sobre a tecla INICIAR ENSAIO na tela do supervisório, figura 5. Ver-se-á que a temperatura começará a subir estabilizando em um valor de regime após certo tempo. Isto deve levar alguns minutos. Estando em regime, desliga-se o controlador e passa-se para a análise da curva de resposta do ensaio a partir do supervisório Elipse.

Com base no ensaio ao salto realizado, determina-se os ganhos do PID utilizando a tabela de Chien. Para obtermos os parâmetros do controlador PID necessita-se de três constantes. A primeira é o próprio atraso de transporte L , medido em segundos. O segundo é a constante de tempo τ , sendo obtido pela seguinte expressão:

$$\tau = \frac{t_{98}}{4} \quad (3)$$

onde t_{98} é o tempo decorrido até o valor da temperatura atingir 98% do valor de regime permanente.

O terceiro parâmetro, \tilde{a} , é obtido traçando-se uma reta tangente no ponto de maior inclinação da curva e analisando-se visualmente a diferença

Controlador	K	T_i	T_d
P	0.3/a	-	-
PI	0.35/a	1.2 τ	-
PID	0.6/a	τ	0.5L

Controlador	K	T_i	T_d
P	0.7/a	-	-
PI	0.6/a	τ	-
PID	0.95/a	1.4 τ	0.47L

Tabela 2: Parâmetros do controlador PID, obtidos do método de Chien com um sobre-passo de 0 e 20%.

entre a temperatura registrada no gráfico e o ponto onde esta reta tocaria o eixo da temperatura. Outro meio de se obter este parâmetro é escrever a equação da reta a partir de dois pontos (P1 e P2, por exemplo). A diferença entre a temperatura registrada no gráfico e o ponto onde esta reta tocaria o eixo da temperatura, denominaremos \tilde{a} .

Como no ensaio de Ziegler-Nichols o salto é unitário, deve-se normalizar o salto de potência:

$$\tilde{a} = \frac{\tilde{a}}{\Delta p} \left[\frac{^{\circ}C}{\%Potência} \right] \quad (4)$$

A seguir, deve-se fazer uma uniformização deste valor, visto que o controlador, que pode trabalhar com vários sensores, utiliza valores percentuais do fundo de escala associado a um determinado sensor. Neste caso o sensor é um termopar do tipo k, cuja faixa de medição de temperatura varia de 0^o até 1460^oC. Obtendo-se então o parâmetro a :

$$a = \frac{100\tilde{a}}{1460} \left[\frac{\%^{\circ}C}{\%Potência} \right] \quad (5)$$

De posse destes parâmetros consulta-se a tabela de Chien e determina-se os parâmetros K , T_i e T_d para controlador que deseja-se implementar (P, PI ou PID). Entretanto ainda deve-se implementar a lei de controle para o controlador da Novus, conforme a equação (2), determinando os parâmetros PB , IR e DT , de

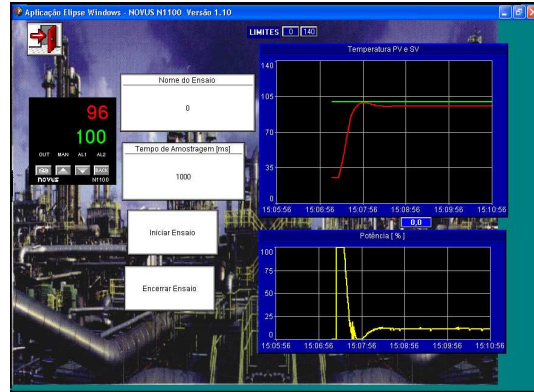


Figura 5: Ensaio ao salto.

acordo com as equações a seguir:

$$PB = \frac{100}{K} \quad (6a)$$

$$IR = \frac{1}{T_i} \quad (6b)$$

$$DT = \tau \quad (6c)$$

onde as unidades de IR e DT são respectivamente min^{-1} e s. Programa-se, então, os ganhos determinados e coloca-se o controlador para operar em modo automático (malha fechada) como P, PI ou PID observando-se o comportamento da variável de processo (temperatura) e da variável de controle (potência aplicada) durante o transitório e em regime permanente.

Referências

- [1] J. M. Gomes da Silva Jr., A. S. Bazanella, Um Sistema Didático Para o Ensino de Ajuste de Controladores PID, XIV Congresso Brasileiro de Automática, Natal, RN, 2 a 5 de setembro de 2002.
- [2] R. P. Zeilmann, Uma estratégia Para Controle e Supervisão de Processos Industriais Via Internet, Dissertação de Mestrado, UFRGS, PPGEI, Porto Alegre, 2002.
- [3] K. J. Astrom, T. Hagglund, PID Controllers: Theory, Design and Tuning, 2^a edição, 1995.