

José E. de A. Junior: 20170009356

Kallil de A. Bezerra: 20180154987

Rafael de M. M. Capuano: 20180010172

Victor K. C. Sousa: 20180155278

Controle PID de Sistemas Dinâmicos: Sistema de Primeira Ordem

Brasil

9 de outubro de 2020

José E. de A. Junior: 20170009356

Kallil de A. Bezerra: 20180154987

Rafael de M. M. Capuano: 20180010172

Victor K. C. Sousa: 20180155278

Controle PID de Sistemas Dinâmicos: Sistema de Primeira Ordem

Modelo canônico de Relatório Técnico e/ou Científico em conformidade com as normas ABNT apresentado à comunidade de usuários L^AT_EX.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Departamento de Engenharia da Computação e Automação – DCA

Brasil

9 de outubro de 2020

Resumo

O trabalho apresentado aqui mostra a teoria e simulações de três tipos, os controladores de primeira ordem, segunda ordem e, por último, um arranjo de dois controladores em cascata. Sempre usando o *software* Matlab para essas simulações.

De forma simplificada, vimos que é possível diminuir o sobressinal e o tempo para atingir a estabilidade com algumas configurações mais elaboradas de controle, combinando filtros ou até mesmo fazendo o controle em cascata, porém, para atingir resultados melhores é extremamente importante saber escolher os valores para as constantes, caso contrário o resultado final pode ser pior até que o de um sistema P simples.

Palavras-chaves: Sistemas de controle. PID. Sistemas Dinâmicos.

Lista de ilustrações

Lista de tabelas

Sumário

	Introdução	6
1	EMBASAMENTO TEÓRICO	7
1.1	Espaço de Estados	7
1.2	Controlador Proporcional Integral (PI)	8
1.3	Controlador Proporcional Derivativo (PD)	8
1.4	Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)	9
1.5	Filtros	9
1.5.1	Filtro derivativo	9
1.5.2	Filtro <i>anti windup</i>	9
1.6	Sistemas de segunda ordem	10
1.6.1	Sistemas de segurança	10
1.7	Controle em cascata	11
2	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	12
3	CONCLUSÃO	13
	REFERÊNCIAS	14

Introdução

O controle automático tem desempenhado um papel vital no avanço da engenharia e da ciência. Além da sua importância em sistemas de veículos espaciais, sistemas robóticos, e semelhantes, o controle automático tornou-se uma importante parte da fabricação moderna e dos processos industriais. É possível citar o controle numérico de ferramentas e máquinas nas indústrias de manufatura, no projeto de sistemas de piloto automático em operações aeroespaciais e no projeto de carros e caminhões na indústria automobilística. O controle também é essencial no controle de pressão, temperatura, umidade e viscosidade nos processos industriais ([OGATA, 2001](#)).

Os avanços na teoria e na prática do controle fornecem meios para atingir o desempenho desejado dos sistemas dinâmicos, melhorando a produtividade e aliviando o trabalho penoso de algumas atividades. Portanto, os engenheiros e cientistas precisam ter uma boa compreensão deste campo para poder aplicar e entender o que está sendo aplicado na prática.

1 Embasamento teórico

O controlador PID esteve em uso por mais de um século em várias formas e aplicações. Já foi popular como um dispositivo puramente mecânico, também como um dispositivo pneumático e até eletrônico. Atualmente o PID é implementado em sistemas embarcados, e os microprocessadores são essenciais nessa tarefa ([WESCOTT, 2020](#))

As três letras que compõem o PID vem de Proporcional, Integral e Derivativo, e cada um desses elementos tem uma tarefa diferente, portanto, causam diferentes efeitos na funcionalidade de um sistema. Num típico controle PID esses elementos são orientados por uma combinação de comandos do sistema e de respostas do sinal que está sendo controlado.

1.1 Espaço de Estados

O controle no Espaço de Estados é aplicável a sistemas de múltiplas entradas e múltiplas saídas, que podem ser lineares ou não-lineares, invariantes ou variantes no tempo e com condições iniciais nulas ou não. Considera-se que o estado de um sistema no instante t_0 é a quantidade de informação em t_0 que, em combinação com a entrada $u(t)$ em $t \geq t_0$, determina univocamente o comportamento do sistema para todo $t \geq t_0$.

Assim, temos a representação de um sistema dinâmico no espaço de estados com as seguintes equações:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t) \quad (1.1)$$

E

$$y(t) = g(x(t), u(t), t) \quad (1.2)$$

Em que a equação 1.1 é a Equação de Estados e a 1.2 é a Equação de Saída.

$$U(s) = K_p E(s) \quad (1.3)$$

Dentre as características do controlador P podemos citar ([ARAÚJO, 2020](#)):

- O controlador proporcional é um amplificador com ganho ajustável (K);
- O aumento do ganho K diminui o erro do regime;
- Em geral, o aumento de K torna o sistema mais oscilatório, podendo gerar instabilidade;

- Melhora o regime e piora o transitório, sendo bastante limitado.

1.2 Controlador Proporcional Integral (PI)

O controle Integral é usado para adicionar uma precisão de longo termo ao *loop* do controle, normalmente é usado com controle Proporcional.

$$U(s) = \frac{(K_p s + K_i)}{s} E(s) \quad (1.4)$$

Dentre as características do controlador PI podemos citar (ARAÚJO, 2020):

- Zera o erro de regime, pois aumenta o tipo do sistema em 1 unidade;
- É utilizado quando tempos resposta transitória aceitável e resposta em regime insatisfatória;
- Adiciona um polo em $p = 0$ e um zero em $z = \frac{-K_i}{K_p} = \frac{-1}{\tau_i}$;
- Como aumenta a ordem do sistema, tempos a possibilidade de instabilidade do sistema original. Pode degradar o desempenho do controlador em malha fechada.

1.3 Controlador Proporcional Derivativo (PD)

É conhecido que o controle proporcional trabalha com o comportamento presente da planta, e o integral trabalha com o passado do sistema. O controlador derivativo tenta prever como será o comportamento do sistema, tentando adiantar a estabilidade. O componente diferencial é, resumidamente, a última posição conhecida menos o valor atual da posição.

$$U(s) = (K_p + K_d s) E(s) \quad (1.5)$$

Dentre as características do controlador PD podemos citar (ARAÚJO, 2020):

- Leva em conta a taxa de variação do erro;
- É utilizado quando temos resposta em regime aceitável e resposta transitória insatisfatória;
- Adiciona um zero em $z = \frac{-K_p}{K_d} = \frac{-1}{\tau_d}$;
- Introduce um efeito de antecipação no sistema, fazendo com que o mesmo reaja não somente à magnitude do sinal de erro, como também à sua tendência para o instante futuro, iniciando, assim, uma ação corretiva mais cedo.

1.4 Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)

De forma resumida, o controlador PID, trabalhando numa malha fechada, tem a estrutura mostrada na imagem acima. A variável e representa o erro, que é a diferença entre a saída desejada r e a saída real y . Esse sinal de erro é alimentado para o controlador PID, que calcula tanto a derivada como a integral desse sinal de erro em relação ao tempo. O sinal do controlador, u , para a planta é igual ao ganho proporcional K_p vezes a magnitude do erro mais a integral do ganho K_i vezes a integral do erro mais a derivada do ganho K_d vezes a derivada do erro.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (1.6)$$

Esse sinal de controle, u , é passado para a planta e a nova saída y é obtida. Essa nova saída é enviada de volta e comparada à referência para que se encontre o novo sinal de erro. O controlador recebe esse novo sinal e atualizada a entrada do controlador. Esse processo continua enquanto o controlador estiver funcionando.

1.5 Filtros

Os filtros têm por objetivo tornar o controle implementado, diminuindo o sobressinal e o tempo para se alcançar o *setpoint*.

1.5.1 Filtro derivativo

O filtro derivativo age no regime transitório. Esse tipo específico de filtro tenta prever alguns comportamentos, eliminando ruídos de alta frequência e suavizando o efeito do ruído no controle. No caso real a queda da água, por exemplo, poderia ser considerada como um ruído, porque essa queda causaria um distúrbio no tanque. Na simulação é um pouco mais difícil de notar esse tipo de comportamento, então, adiantando a parte prática, encontramos um pouco de dificuldade de ver o efeito dele no sistema.

1.5.2 Filtro *anti windup*

Sistemas de controle podem sofrer com resposta transitória lenta e oscilatória se houver, como entrada, um sinal saturado, pois a malha de realimentação é desfeita quando esse valor não é considerado. Isso faz com que a saída demore muito para atingir o *setpoint* e apresente oscilações frequentes, esses dois comportamentos são indesejáveis numa planta industrial. Então, para atacar esse problema existe o filtro *anti windup*, que faz com que o controlador saia da região da saturação e volte para o comportamento esperado.

1.6 Sistemas de segunda ordem

Até aqui foram discutidos os conceitos necessários para a realização da primeira parte do experimento, para a segunda parte serão necessários alguns novos conceitos relacionados aos sistemas de segunda ordem.

Os sistemas de segunda ordem são aqueles cujo modelo pode ser escrito por uma equação diferencial de segunda ordem, ou seja, os que possuem dois polos ([MADEIRA, 2016](#)).

O comportamento dos sistemas de segunda ordem é bastante sensível à mudança nos parâmetros, então é importante fazer uma classificação dos perfis existentes para esses sistemas, tentando entender melhor os fenômenos que ocorrem em cada caso. Durante as simulações foi notado que apesar de haver bastante matemática por trás dos modelos, muita coisa pode ser entendida de forma mais fácil de forma empírica, alterando os parâmetros e analisando a mudança nos gráficos.

Existem três tipos principais de sistemas de segunda ordem, são eles:

1. Superamortecido: um polo na origem, proveniente da entrada degrau unitário e dois polos reais;
2. Subamortecido: um polo na origem proveniente da entrada degrau unitário e dois polos complexos, vindos do sistema;
3. Criticamente amortecido: um polo na origem proveniente da entrada degrau unitário e dois polos reais iguais.

1.6.1 Sistemas de segurança

No segundo experimento será necessário implementar um sistema de segurança que impeça a água de transbordar, mas a bomba também não pode trabalhar sem água, numa situação real ela poderia queimar. Então será feito um sistema de segurança que não permita nem que haja um transbordamento nem uma quebra do motor.

Esse tipo de segurança é definido como sendo um conjunto de passos, na lógica de automação e controle, que devem existir para garantir a segurança de um equipamento, pessoa ou processo ([ARAÚJO, 2020](#)). Nesses casos as travas lógicas, que são implementadas em *software* e as travas físicas, que são *hardware*, são usadas para garantir a segurança das pessoas e a continuidade da produção.

O sistema vai monitorar certas condições da planta, tentando mantê-la dentro do limite operacional estabelecido, e quando condições de risco, ou que estiverem fora dos parâmetros criados, forem detectadas ele deve acionar alarmes, ou também pode atuar nos erros.

Na simulação as seguintes regras devem ser seguidas e implementadas no sistema de segurança:

- Não deve ser enviado para o sistema uma tensão fora dos limites de $\pm 4V$;
- A bomba não pode trabalhar sem que haja líquido a ser bombeado;
- Nenhum dos dois tanques pode transbordar.

1.7 Controle em cascata

O controle em cascata é implementado quando a malha de controle simples não responde satisfatoriamente, principalmente em processos que possuem uma perturbação contínua em torno da variável que se deseja manipular, ou seja, o nível do tanque 2 com o constante recebimento de água a partir do tanque 1 pode se encaixar nessa situação. O controle em cascata consiste de um controlador primário que regula um controlador secundário, melhorando a velocidade de resposta e reduzindo os distúrbios causados pela malha secundária

No arranjo proposto pelo roteiro pode-se manipular a tensão enviada para a bomba e obter o nível desejado no tanque 1, que influencia na vazão de saída afetando a vazão de entrada do tanque 2. O objetivo é controlar o nível do segundo tanque a partir do primeiro, então com uma malha externa de controle é preciso captar o erro entre a referência desejada e o nível do tanque 2 e fornecer um valor para o tanque 1, alterando a tensão do motor e aumentando, ou diminuindo, o nível do segundo tanque.

2 Desenvolvimento e resultados

3 Conclusão

As simulações permitiram que fosse melhor entendido o comportamento dos controladores P, PI, PD e PID, e além desses, também implementamos os filtros, para entender o impacto que eles causam nos sinais dos controladores. Nos experimentos 2A e 2B o objetivo era controlar os níveis dos tanques 1 e 2, respectivamente, e no experimento 2C era pedido que apenas o segundo tanque fosse controlado. Para analisar os gráficos observamos o tempo de estabilidade, o tempo de subida, o sobressinal e a oscilação.

Foi observado que no sistema de primeira ordem, de acordo com nossas simulações, o tempo de estabilidade é menor em relação ao de segunda ordem, e também oscila menos. Além disso, esperávamos encontrar resultados melhores com o controle em cascata, porém o tempo de estabilidade aumentou e também ficou mais instável, isso pode ser um problema de *tunning*, mas mesmo com pesquisa e vários testes empíricos não chegamos a um resultado realmente bom, que justifique o aumento de complexidade na implementação do controle em cascata numa planta industrial real, por exemplo.

Em todos os experimentos foi possível ver a ação proporcional, integral e derivativa, e as consequências de cada uma delas nos gráficos. Portanto, para diminuição de erro de regime, regula-se o K_i , para atuar na oscilação usamos o K_p e para tornar o tempo de acomodação menor é importante usar o K_d .

Referências

ARAÚJO, F. M. U. de. *Roteiro de laboratório 2A*. 2020. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~meneghet>>. Acesso em: 20 set. 2020. Citado 3 vezes nas páginas 7, 8 e 10.

MADEIRA, D. *Controlador proporcional em sistemas de segunda ordem*. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/controlador-proporcional-em-sistemas-de-segunda-ordem/>>. Acesso em: 01 nov. 2020. Citado na página 10.

OGATA, K. *Modern Control Engineering*. [S.l.]: Prentice Hall, 2001. Citado na página 6.

WESCOTT, T. *PID without a PhD*. 2020. Disponível em: <<http://manuals.chudov.com/Servo-Tuning/PID-without-a-PhD.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2020. Citado na página 7.