

ANÁLISE DE UM SISTEMA HIDRÁULICO COM A UTILIZAÇÃO CONTROLADORES PID

Edson Hideki Koroishi

UNESP – Campus de Ilha Solteira, Av. Brasil, 56, CEP: 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil
edson.koroishi@gmail.com

Fernando Vitoriano Fernandes

fvfernandes@dem.feis.unesp.br

Gilberto Pechoto de Melo

gilberto@dem.feis.unesp.br

Resumo. O desenvolvimento de sistemas de controle automático permite uma melhor compreensão dos sistemas mecânicos, sendo que a análise das respostas de sistemas transientes apresenta resultados bastante interessantes no estudo do comportamento dos sistemas dinâmicos. Sistemas mecânicos podem ser representados por uma função de transferência, a qual faz a relação entre a entrada e a saída, assim, a otimização é feita por meio da adição de controladores, os quais alteram as respostas, sendo possível ajustá-las. Neste trabalho são considerados os controladores PID (simples) e PID modificados, os quais fazem a combinação de três tipos de ação de controle: proporcional, integral e derivativo. A ação de controle proporcional é de um amplificador com ganho ajustável, no entanto, este tipo de controle gera um erro estacionário ou erro atuante na resposta, o qual pode ser removido pela ação de controle integral. Já a adição de uma ação de controle derivativo a um controlador proporcional permite a obtenção de um controlador com alta sensibilidade. O presente trabalho visa otimizar sistemas mecânicos, utilizando controladores PID (simples) e PID modificados. Sendo que para o caso do controlador PID simples, este será posicionado de duas formas: em série com a função de transferência do sistema mecânico e na retroalimentação do sistema de controle. Nos controladores PID modificados o posicionamento será feito de maneira a ser obtido cada tipo de controlador, uma vez que os PID modificados são apenas variações de posicionamentos dos componentes do controlador PID simples. A sintonia para determinação do ganho e dos tempos derivativo e integrativo, é feita através do estabelecimento de um valor para o overshoot de cada resposta submetida a um sinal de entrada em degrau unitário. A seguir é feita a comparação das respostas obtidas.

Palavras-chave: overshoot, controlador, PID.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ogata (1998) à medida que os processos tecnológicos aumentam em complexidade e as especificações exigidas tornam-se mais severas, o engenheiro é forçado a ter um completo conhecimento da natureza do comportamento dinâmico do sistema a ser estudado, tornando necessário o uso e o desenvolvimento de modelos matemáticos que possibilitem tal análise, com isto, o controle automático tem desempenhado um papel vital no avanço da engenharia e da ciência, tornando-se uma parte importante e integrante dos processos industriais e de manufatura modernos.

Considerando que os avanços na teoria e na prática do controle automático propiciam meios para se atingir desempenho ótimo de sistemas dinâmicos, melhoria de produtividade, alívio no trabalho enfadonho de muitas operações manuais repetitivas de rotinas, os engenheiros e cientistas, em sua maioria, devem possuir agora um bom conhecimento desse campo.

O desenvolvimento de sistemas de controle automático permite uma melhor compreensão dos sistemas mecânicos, sendo que as análises das respostas em frequência e respostas de sistemas transientes apresentam resultados bastante interessantes para os sistemas dinâmicos.

2. CONTROLADOR PID

Para Ogata (1998) a importância apresentada pelo controlador PID pode ser observado na sua ampla utilização na indústria, sendo que mais da metade dos controladores industriais são controladores PID ou PID modificados. A utilidade dos controles PID está na sua aplicabilidade geral à dos sistemas de controle. Em particular, quando o modelo matemático da planta não é conhecido e, portanto, métodos de projeto analítico não podem ser utilizados, controles PID se mostram os mais úteis. Na área dos sistemas de controle de processos, sabe-se que os esquemas básicos de controle PID e os controles PID modificados provaram sua utilidade conferindo um controle satisfatório, embora em muitas situações eles podem não proporcionar um controle ótimo.

Para entender a ação do controle PID é necessário, primeiramente, entender a ação de cada tipo de controle. Nos seus trabalhos Quanser (2003) propôs que a ação de controle proporcional é basicamente a ação de um amplificador com ganho ajustável. No entanto, a adição deste tipo de controle gera um erro estacionário ou erro atuante na resposta a um sinal de entrada, por exemplo, em degrau (na resposta transiente as principais funções utilizadas como entrada são degrau, rampa e impulso, sendo escolhido de acordo com a situação requerida). Este tipo de erro pode ser removido pela ação de controle integral, o qual, por sua vez, pode conduzir a indesejáveis respostas oscilatórias que apresentam ou uma amplitude que decresce de maneira lenta ou mesmo uma amplitude sempre crescente.

Já a adição de uma ação de controle derivativo a um controlador proporcional permite a obtenção de um controlador com alta sensibilidade. A principal vantagem em se utilizar uma ação de controle derivativo é que ela prevê o erro atuante, inicia uma correção antecipadamente, aumentando, assim, a estabilidade do sistema, tornando possível a utilização de valores mais elevados para o ganho K_p . Como se pode observar o controle derivativo atua sobre a taxa de variação do erro atuante, por isso ele nunca é utilizado sozinho. Desta forma a ação de controle PID pode ser representada pela seguinte equação:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

E a função de transferência é:

$$G_p(s) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (2)$$

O controlador PID é utilizado para melhorar o desempenho transitório e o desempenho em regime estacionário.

2.1. Formas de sintonia do controlador PID

O posicionamento do controlador pode ser feito de duas maneiras.

Uma das maneiras utilizadas encontra-se representada na Figura 1, onde $G(s)$ representada a função de transferência do sistema analisado.

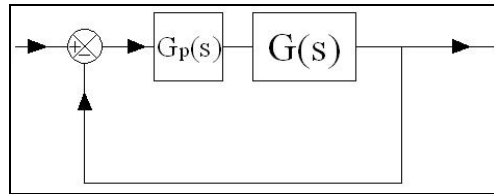


Figura 1: Sistema de controle com controlador em série com o sistema.

Neste caso, a Equação 3 representada a função de transferência do sistema de controle resultante:

$$F(s) = \frac{G_p(s) \cdot G(s)}{1 + G_p(s) \cdot G(s)} \quad (3)$$

A Figura 2 representa a outra maneira de se sintonizar o controlador, neste caso ele encontra-se na realimentação do sistema de controle.

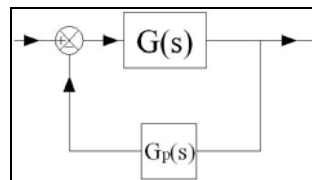


Figura 2: Sistema de controle com controlador em paralelo com o sistema.

E a função de transferência do sistema passa a ser da seguinte forma:

$$F(s) = \frac{G(s)}{1 + G_p(s) \cdot G(s)} \quad (4)$$

2.2. Tipos de controladores PID

Para entender os controladores PID modificados, é necessário considerar inicialmente uma planta de um sistema de controle com um controle PID básico.

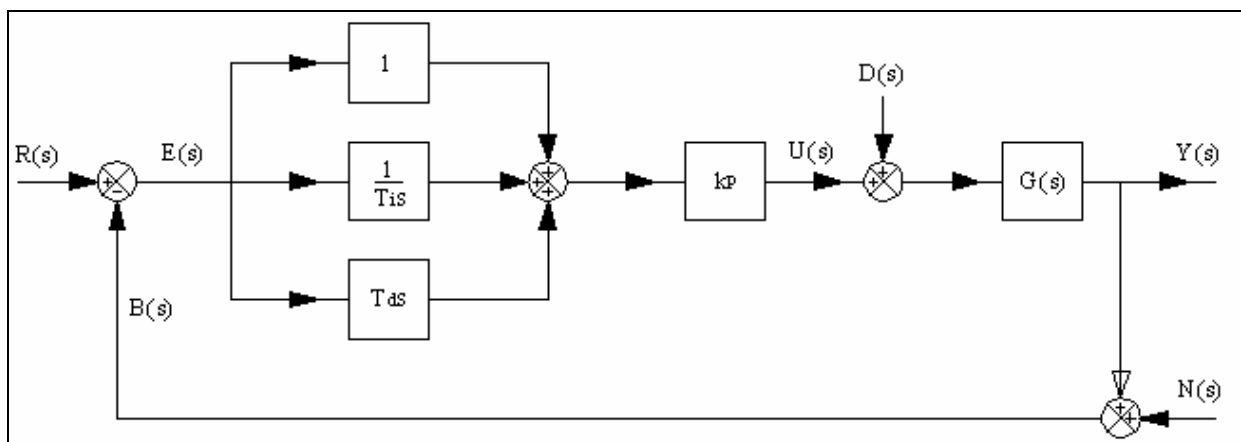


Figura 3: Diagrama de blocos de um sistema de controle com um controlador PID básico.

Na ausência de distúrbios e de ruídos a função de transferência de malha fechada do sistema de controle PID básico é da seguinte forma (conforme visto anteriormente):

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s\right) \cdot \frac{K_p \cdot G(s)}{1 + \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s\right) \cdot K_p \cdot G(s)} \quad (5)$$

Segundo Reis et al (2002) para esta situação quando a entrada de referência for uma função degrau ocorrerá o fenômeno do salto do valor de referência, o qual consiste no fato de que quando o sistema é submetido a um sinal de entrada em degrau, a variável manipulada $u(t)$ ao invés de envolver uma função impulso, envolverá uma função pulso estreita.

Para evitar esse fenômeno salto do valor de referência foi desenvolvido o controlador PI-D (variação do controle PID), o qual consiste em se colocar o termo derivativo do controlador na realimentação, para que a diferenciação ocorra apenas no sinal de realimentação e não no sinal de referência. Desta forma o sistema de controle fica da seguinte maneira:

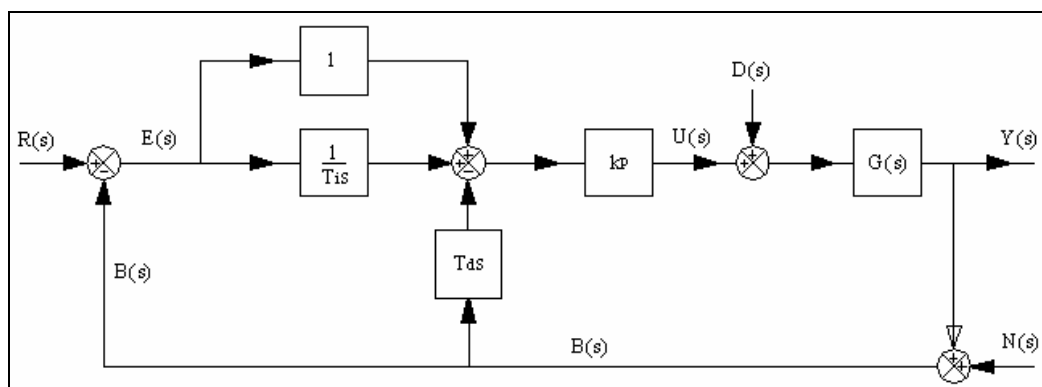


Figura 4: Diagrama de blocos de um sistema de controle com um controlador PI-D.

E a função de transferência da planta, representada pela Figura 4, é dada pela Equação 6 considerando ausência de ruídos e distúrbios.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right) \cdot \frac{K_p \cdot G(s)}{1 + \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s\right) \cdot K_p \cdot G(s)} \quad (6)$$

Como se pode observar tanto no controle PID como no controle PI-D foi envolvida uma função degrau no sinal manipulado, no entanto essa alteração degrau no sinal manipulado pode não ser desejado em muitos casos. Desta forma, para solucionar este problema foi desenvolvido o controle I-PD, na qual as ações de controle proporcionais e derivativas são colocadas na realimentação, para que essas ações influenciem apenas na realimentação, enquanto que o sinal de entrada sofre influência apenas da ação de controle integral. A entrada de referência $R(s)$ aparece apenas na parte integral do controle. Logo, no controle I-PD, é imperativo ter a ação de controle integral para uma operação apropriada do sistema de controle. Com isto obtém-se o seguinte sistema de controle:

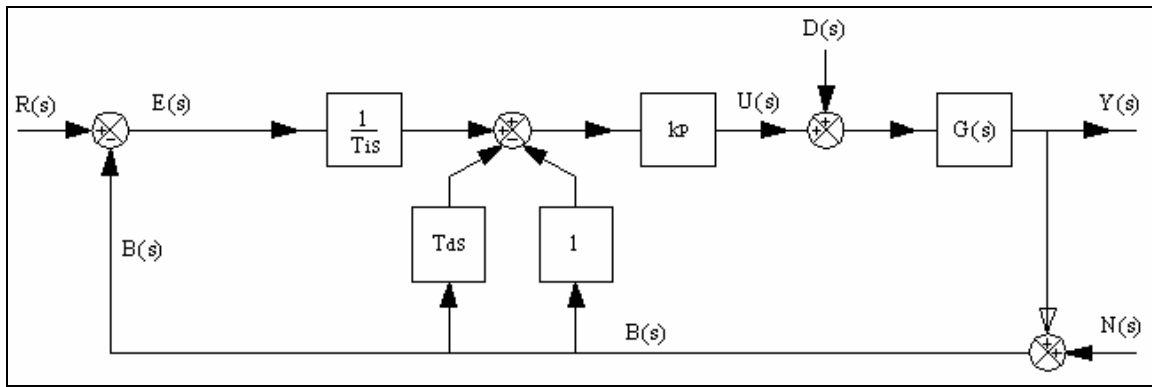


Figura 5: Diagrama de blocos de um sistema de controle com um controlador I-PD.

E a função de transferência do sistema de controle da Figura 5 é dada por:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \left(\frac{1}{T_i \cdot s} \right) \cdot \frac{K_p \cdot G(s)}{1 + \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \cdot K_p \cdot G(s)} \quad (7)$$

3. SISTEMA MECÂNICO ANALISADO

A ampla utilização dos circuitos hidráulicos em aplicações de máquinas-ferramenta, sistemas de controle de aeronaves e de operações similares ocorre devido a fatores como positividade, precisão, flexibilidade, alta relação potência-peso, partida rápida, parada e reversão com suavidade e precisão e simplicidade nas operações.

Segundo Dorf et al (1995) existem certas vantagens e desvantagens na utilização de sistemas hidráulicos em relação a outros sistemas. Algumas vantagens são: o fluido hidráulico age como lubrificante, o tamanho comparativamente pequeno dos atuadores hidráulicos pode desenvolver grandes potências ou torques, estes atuadores ainda têm grande velocidade de respostas e também podem operar sob condições contínuas, intermitentes, de reversão e de parada repentina, sem sofrer avarias. Algumas desvantagens são: a potência hidráulica não é tão facilmente disponível como a elétrica, pode apresentar custo mais alto, existe o risco de explosão e fogo, a contaminação do óleo pode causar falha no funcionamento apropriado de um sistema hidráulico, os circuitos hidráulicos têm geralmente características de amortecimentos deficientes.

Para Schwarzenbach et al (1989), neste sistema podem ser considerados a influência de alguns fatores secundários, os quais alteram a resposta do sistema. Os fatores secundários a serem considerados são: a inércia do pistão, a força viscosa e por último, combinando-os; comparando-os com o caso simples. É de se destacar que neste sistema a entrada é a vazão do óleo e a saída é a posição do pistão.

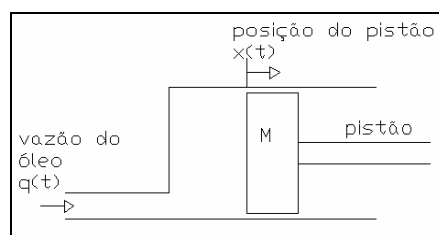


Figura 6: Sistema hidráulico.

Considerando a combinação dos dois fatores secundários tem-se que a função de transferência do sistema hidráulico é dado pela Equação 8.

$$\frac{X(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{1}{A + \frac{K_L \cdot \mu}{A}}}{s \left(1 + \frac{K_L \cdot M}{A^2 + K_L \cdot \mu} \cdot s \right)} \quad (8)$$

4. PROCEDIMENTO

Foi realizada uma análise do amortecedor hidráulico na ausência de controladores de maneira a se observar o comportamento do sistema. A seguir utilizaram-se os controladores PID e PID modificados, de maneira a se obter as melhores respostas do sistema, sendo observado para isto o *overshoot* do sistema, visando se obter os menores picos da resposta. Foram utilizados determinados intervalos para a varredura dos parâmetros dos controladores. Para o controlador PID simples utilizou-se duas maneiras de posicionamento no sistema de controle, conforme representado no item 2.1. Já para os casos dos controladores PID modificados, utilizou-se as formas representadas no item 2.2. Por fim, compararam-se os resultados obtidos, determinando o controlador mais adequado ao sistema.

5. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Foram utilizados os seguintes valores para, respectivamente, o coeficiente de vazamento, a viscosidade, a área da seção transversal do pistão e a massa do pistão, $K_L=0,00025m^3/s$, $\mu=4,25N.s/m$, $A=0,012m^2$, $M=5kg$. E como intervalos para variação do ganho, do tempo derivativo e do tempo integrativo foram usados, respectivamente, $1 < K_P < 20$, $1s < T_d < 20s$ e $1s < T_i < 20s$.

Primeiramente foi obtida a resposta do sistema mecânico na ausência de controladores e submetido a uma entrada em degrau unitário.

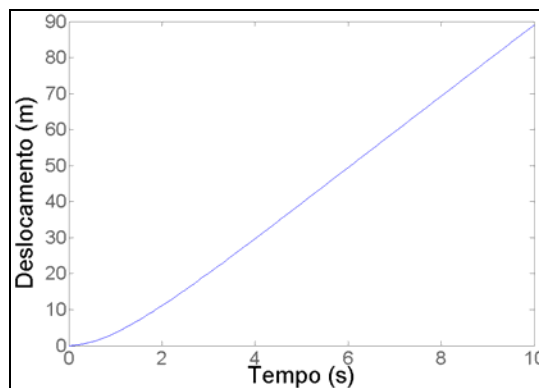


Figura 7: Resposta do sistema mecânico na ausência de controladores e submetido a uma entrada em degrau unitário.

Analisando a Figura 7 observa-se que o sistema é instável. Demonstrando a necessidade da utilização de controladores a fim de melhorar a resposta do sistema. A Tabela 1 apresenta os resultados para o sistema de controle controlador PID em série com a função de transferência do sistema hidráulico e realimentação unitária.

Com os resultados da Tabela 1 observa-se que os 10 menores picos foram iguais a $1,0001m$, e ocorreram para o tempo integrativo $1,0000s$. Outro ponto observado é que os tempos derivativos e os ganhos do controlador foram elevados para tais picos.

Tabela 1: Resultados obtidos para os parâmetros do controlador PID em série.

K_P	$T_d (s)$	$T_i (s)$	Máximo pico (m)
20,0000	20,0000	1,0000	1,0001
19,0000	20,0000	1,0000	1,0001
20,0000	19,0000	1,0000	1,0001
18,0000	20,0000	1,0000	1,0001
19,0000	19,0000	1,0000	1,0001
20,0000	18,0000	1,0000	1,0001
17,0000	20,0000	1,0000	1,0001
18,0000	19,0000	1,0000	1,0001
19,0000	18,0000	1,0000	1,0001
16,0000	20,0000	1,0000	1,0001

A Tabela 2 apresenta os resultados para o controlador PID posicionado na realimentação.

Tabela 2: Resultados obtidos para os parâmetros do controlador PID na realimentação.

K_P	$T_d (s)$	$T_i (s)$	Máximo pico (m)
20,0000	20,0000	1,0000	0,0095
20,0000	19,0000	1,0000	0,0097
20,0000	18,0000	1,0000	0,0099
19,0000	20,0000	1,0000	0,0100
20,0000	17,0000	1,0000	0,0101
19,0000	19,0000	1,0000	0,0102
20,0000	16,0000	1,0000	0,0104
19,0000	18,0000	1,0000	0,0104
18,0000	20,0000	1,0000	0,0105
19,0000	17,0000	1,0000	0,0107

Analizando os resultados da Tabela 2 observa-se que os menores picos da resposta para o sistema de controle com controlador PID na realimentação apresentaram valores muito próximos da posição inicial do controlador, demonstrando ser este posicionando adequado ao sistema. A Figura 8 apresenta a resposta do sistema de controle com controlador PID em série e na realimentação. Sendo considerado para o controlador PID na entrada: $K_P=20$, $T_d=20s$ e $T_i=1s$; e para o controlador PID: $K_P=20$, $T_d=20s$ e $T_i=1s$.

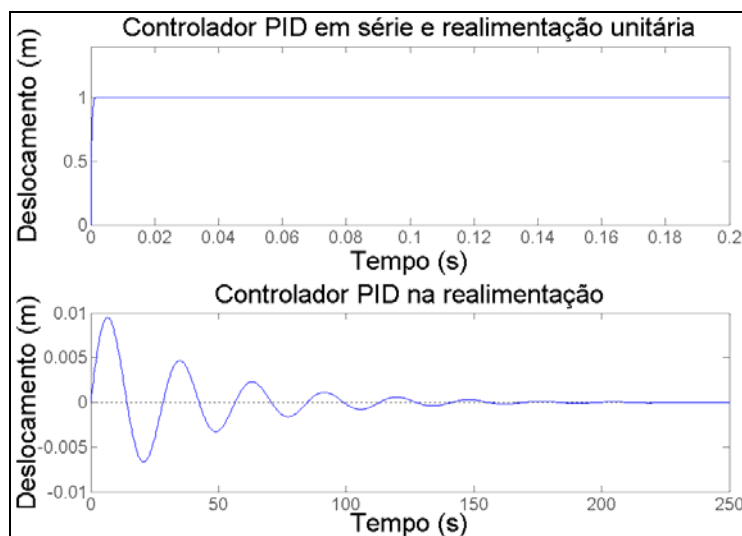


Figura 8: Resposta do sistema de controle com controlador PID.

Analisando a Figura 8 observa-se que para o caso no qual o controlador PID encontra-se em série o sistema se estabiliza instantaneamente, no entanto seu estado estacionário é diferente da posição inicial do sistema. Em compensação com o controlador PID na realimentação o sistema levou aproximadamente em torno de 220s, no entanto apresentou um pico muito pequeno, em torno de 0,01m e se estabilizou na própria posição inicial. Com isto pode-se dizer que o controlador PID na realimentação é mais adequado do que em série.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros obtidos para o controlador PI-D.

Tabela 3: Resultados obtidos para os parâmetros do controlador PI-D.

K_P	$T_d (s)$	$T_i (s)$	<i>Máximo pico (m)</i>
20,0000	1,0000	1,0000	1,1263
19,0000	1,0000	1,0000	1,1264
18,0000	1,0000	1,0000	1,1265
17,0000	1,0000	1,0000	1,1266
16,0000	1,0000	1,0000	1,1267
15,0000	1,0000	1,0000	1,1269
14,0000	1,0000	1,0000	1,1270
13,0000	1,0000	1,0000	1,1272
12,0000	1,0000	1,0000	1,1274
11,0000	1,0000	1,0000	1,1276

Analisando os resultados da Tabela 3 observa-se um fato curioso dentro do intervalo considerado para análise dos parâmetros do controlador. Os menores picos da resposta do sistema ocorreram com tempos derivativos e integrativos constantes e que quanto maior o ganho, menor o pico. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o controlador I-PD.

Tabela 4: Resultados obtidos para os parâmetros do controlador I-PD.

K_P	$T_d (s)$	$T_i (s)$	<i>Máximo pico (m)</i>
16,0000	5,0000	20,0000	0,0500
17,0000	5,0000	20,0000	0,0500
12,0000	4,0000	20,0000	0,0500
20,0000	4,0000	20,0000	0,0500
19,0000	1,0000	20,0000	0,0500
12,0000	3,0000	20,0000	0,0500
19,0000	3,0000	20,0000	0,0500
20,0000	2,0000	20,0000	0,0500
15,0000	4,0000	20,0000	0,0500
12,0000	2,0000	20,0000	0,0500

Da Tabela 4 observa-se que os 10 menores picos foram constantes com valores iguais a 0,05m, e ocorreram para tempos derivativos constantes e iguais a 20s. A Figura 9 apresenta a resposta do sistema com os controladores PID modificados. Sendo considerado para o controlador PI-D na entrada: $K_P=20$, $T_d=1s$ e $T_i=1s$; e para o controlador I-PD: $K_P=16$, $T_d=5s$ e $T_i=20s$.

Analisando a Figura 9 observa-se que o controlador PI-D estabiliza o sistema numa posição deslocada de 1m da posição inicial enquanto que o controlador I-PD desloca apenas 0,05m. Este fato demonstra que dentre os controladores PID modificados, o mais adequado é o I-PD. No entanto comparando estes resultados com os obtidos para o controlador PID simples, tem-se que o controlador PID na realimentação é o mais adequado ao sistema, pois apresenta um baixo pico de resposta e estabiliza o sistema na própria posição inicial. Desta maneira, dentre os controladores PID simples e modificados, o mais adequado é o PID na realimentação do sistema de controle.

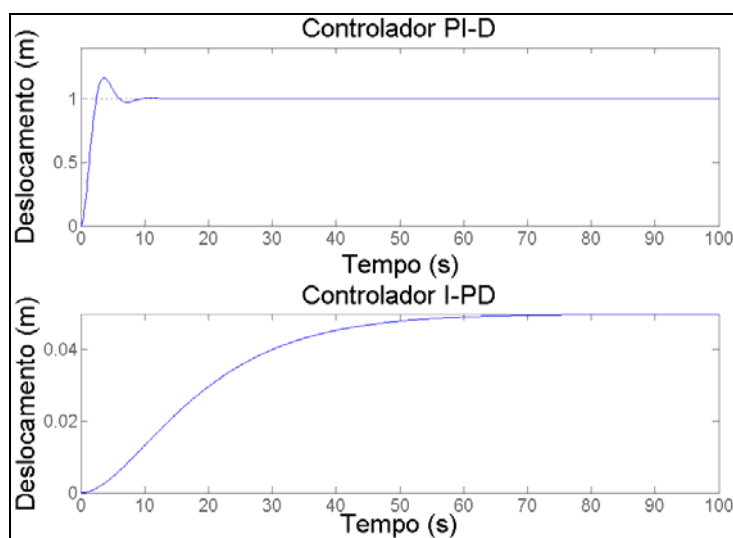


Figura 9: Resposta do sistema de controle com controladores PID modificados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analizando os resultados do item 5 observa-se que a influência do posicionamento do controlador PID, este fato ocorre, pois considerando este controlador em série com a função de transferência do sistema hidráulico tem-se que ele irá atuar apenas no sinal de entrada não atuando na resposta do sistema, enquanto que posicionado na realimentação, o controlador PID irá atuar sobre a resposta do sistema e desta forma atuando tanto na reposta como no sinal de entrada. Outro fato a destacar é a influência das variações do controlador PID na resposta do sistema, revelando a influência de cada componente do controlador, e assim no momento em que for sintonizar e posicionar um tipo de controlador PID é necessário tomar cuidado não só no seu posicionamento, mas também na utilização e localização de cada componente.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIBIC/CNPq/UNESP, FUNDUNESP E FAPESP pelo suporte financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- Dorf R. C. & Bishop R. H., 1995, “Modern Control System”, 7ª Edição, Addison-Wesley, New York.
- Ogata, K., 1998, “Engenharia de Controle Moderno”, 3ª Edição, Universidade de Minnesota, Editora Prentice-Hall do Brasil LTDA.
- Quanser Innovate Educate, 2003, “Advanced Control Systems”, Multi PCI.
- Reis, C. A. Silva, N. A. P., Teixeira, M. C. M., 2002, “O Overshoot e o Undershoot em Sistemas de Controle Lineares contínuos no Tempo: um Tutorial”, 2º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, PB.
- Schwarzenbach J., K. F. Gill, 1978, “System Modelling and Control”, pp. 23-25, Edward Arnold Ltd, London.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS OF A HYDRAULICAL SYSTEM WITH USE CONTROLLING PID

Edson Hideki Koroishi

UNESP – Campus de Ilha Solteira, Av. Brasil, 56, CEP: 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil
edson.koroishi@gmail.com

Fernando Vitoriano Fernandes

fvfernandes@dem.feis.unesp.br

Gilberto Pechoto de Melo

gilberto@dem.feis.unesp.br

Abstract. *The development of systems of automatic control allows one better understanding of the mechanical systems, being that the analysis of the answers of transient systems presents resulted sufficiently interesting in the study of the behavior of the dynamic systems. Mechanical systems can be represented by a transfer function, which makes the relation between the input and the output, thus, the optimization is made by means of the addition of controllers, which modify the answers, being possible to adjust them. In this work controllers PID (simple) and PID modified are considered, which make the combination of 3 types of action of control: proportional, integral and derivative. The action of proportional control is of an amplifier with adjustable profit, however, this type of control generates a stationary error or operating error in the reply, which can be removed by the action of integral control. Already the addition of an action of derivative control to a proportional controller allows the attainment of a controller with high sensitivity. The present work aims at to optimize mechanical systems, using controlling modified PID (simple) and PID. Being that for the case of simple controller PID, this will be located of two forms: in series with the function of transference of the mechanical system and in the feedback of the control system. In modified controllers PID the positioning will be made in way to be gotten each type of controller, a time that the modified PID are only variations of positioning of the components of simple controller PID. The tuning for determination of the profit and the times derivative and integrative, is made through the establishment of a value for overshoot of each reply submitted to a signal of entrance in unitary step. To follow the comparison of the gotten answers is made.*

Keywords: optimization, controller, PID.