PROJETO DE CONTROLADOR POR ALOCAÇÃO DE POLOS APLICADO A UM SISTEMA DE SUSPENSÃO ATIVA

Joacy Mesquita da Silva¹; Márcia Lissandra Machado Prado²

1. Bolsista PROBIC/UEFS, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: joacymsilva@gmail.com

2. Orientadora, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marcia.lissandra@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Teoria de Controle, Alocação de Polos, Sistema de Suspensão Ativa.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de controle são importantes em diversos campos da engenharia e da ciência, eles são utilizados nas mais diversas áreas da indústria (Ogata, 2009). Em veículos espaciais, sistemas robóticos, e operações industriais que envolvam o controle de temperatura, vazão, pressão, estabilização, direção, estão exemplos de sua utilização (Nise, 2009).

A Teoria de Controle Robusto estuda métodos para a construção de controladores com o propósito de melhorar significativamente o desempenho de sistemas de controle complexos, aplicáveis especialmente à indústria (Almeida, 2013). Quando, no projeto do controlador, há o desejo de especular a existência de erros ou incertezas entre a planta real e o seu modelo matemático, tal teoria é empregada (Ogata, 2009).

As suspensões veiculares têm por finalidade suportar, de forma adequada, o chassi do veículo, fazendo isolamento das vibrações causadas por irregularidades do terreno; manter o contato dos pneus com o solo de modo a manter o carro o mais estável possível; e proporcionar melhor dirigibilidade e conforto aos seus ocupantes (Côrte-real, 2002; Silva; Grandinetti, 2005).

Este trabalho teve por objetivo descrever o projeto de um controlador robusto por alocação de polos aplicado a um Sistema de Suspensão Ativa. Como não foi possível fazer o projeto do controlador robusto, será apresentado o projeto do controlador por alocação de polos aplicado a esse Sistema.

METODOLOGIA

Para a pesquisa, foi utilizado o Sistema de Suspensão Ativa da Quanser. O modelo físico concedido pelo fabricante se encontra na Figura 1.

Figura 1. Modelo para o Sistema de Suspensão Ativa da Quanser (QUANSER, 2013)

O Sistema consiste em duas massas móveis suportadas por um par de molas e amortecedores. A massa superior corresponde ao corpo do veículo suportado acima da suspensão, enquanto a massa inferior se refere a uma das rodas do veículo. A ondulação representa a pista. A modelagem matemática foi possível através da representação do sistema em Equações Diferenciais, as equações 1 e 2 foram obtidas.

$$\frac{d^2x_2}{dt^2} = -g + \frac{F_c}{M_s} + \frac{B_s}{M_s} \frac{dx_1}{dt} - \frac{B_s}{M_s} \frac{dx_2}{dt} + \frac{K_s x_1}{M_s} - \frac{K_s x_2}{M_s} \quad (1)$$

$$\frac{d^2x_1}{dt^2} = -g - \frac{F_c}{M_{us}} - \frac{(B_s+B_{us})}{M_{us}} \frac{dx_1}{dt} + \frac{B_{us}}{M_{us}} \frac{dx_2}{dt} + \frac{B_{us}}{M_{us}} \frac{dz_r}{dt} - \frac{(K_s+K_{us})x_1}{M_{us}} + \frac{K_s x_2}{M_{us}} + \frac{K_{us} z_r}{M_{us}} \quad (2)$$

O sistema é considerado do tipo **MISO** (Multiple Input, Single Output), possui como entradas a força de controle f_c e a perturbação z_r , que representa as ondulações da pista, a força de controle deve ser capaz de minimizar os efeitos causados pela ação da perturbação. A variável a ser controlada é x_2 , que diz respeito à posição da carroceria do veículo. A variável x_1 diz respeito à posição do pneu. A aceleração da gravidade é representada pela constante g , os efeitos da força da gravidade podem ser eliminados, considerando pontos de equilíbrio do sistema. A saída considerada, variável a ser controlada, passa a ser chamada de z_s . Os valores numéricos atribuídos a cada parâmetro da Figura 1 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do Sistema de Suspensão Ativa

Parâmetro	Identificação	Valor
M_s	Massa do carro	2,45 Kg
M_{us}	Massa do pneu	1 Kg
K_s	Constante de rigidez da suspensão	900 N/m
K_{us}	Constante de rigidez do pneu	2500 N/m
B_s	Coefficiente da suspensão	7,5 N.s/m
B_{us}	Coefficiente do pneu	5 N.s/m

Aplicando a Transformada de Laplace podemos obter a resposta em frequência do sistema, ou seja, a representação do mesmo na forma de Função de Transferência. Foram obtidas duas funções, uma relaciona a saída z_s e a força de controle F_c , chamada de $G_1(s)$, equação 3, e a outra relaciona a saída z_s e a perturbação z_r , chamada de $G_2(s)$, equação 4. A saída total é obtida pela soma da interação das duas entradas com suas respectivas funções de transferência.

$$G_1(s) = \frac{Z_s(s)}{F_c(s)} = \frac{s^2 + 7.5s + 1250}{2.45s^4 + 38.125s^3 + 6205s^2 + 13875s + 1.125e06} \quad (3)$$

$$G_2(s) = \frac{Z_s(s)}{Z_r(s)} = \frac{37.5s^2 + 13875s + 1.125e06}{2.45s^4 + 38.125s^3 + 6205s^2 + 13875s + 1.125e06} \quad (4)$$

Para entender o comportamento do sistema, foi desenvolvida a simulação no *Simulink*, a Figura 2 nos traz a resposta natural do sistema em Malha Fechada. Por indicação do fabricante, a perturbação z_r é representada por uma onda quadrada de amplitude 0,01 m e frequência 0,3 Hz.

Figura 2. Resposta do Sistema em Malha Fechada.

Através da visualização da Figura 2, verificamos que a saída apresenta muita oscilação. A planta possui um atuador responsável por aplicar a força de controle **Fc**, o objetivo é encontrar a equação para o controlador, $G_C(s)$, de modo a minimizar as ondulações geradas pelo efeito da perturbação **Zr**. A Figura 3 mostra a disposição dos blocos do sistema controlado.

Figura 3. Diagrama de Blocos do Sistema controlado.

Foram feitas diversas tentativas com variados tipos de controlador, podendo ser destacado $G_C(s) = \frac{As^3+Bs^2+Cs+D}{Es+F}$. Foi utilizado controle por Alocação de Polos para encontrar os coeficientes do controlador, o método consiste em escolher o posicionamento dos pólos da equação de malha fechada do sistema, e a partir disso, encontrar a equação do denominador de malha fechada, para posteriormente relacioná-la com os coeficientes a serem encontrados para o controlador. A equação de malha fechada é apresentada na equação 5.

$$T(s) = G_2(s) \frac{1}{1+G_1(s)G_c(s)} \quad (5)$$

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO

Para o projeto utilizando como controlador $G_C(s)$, os pólos foram alocados com o intuito de eliminar o efeito dos zeros. Foram alocados polos em $s = -250$, $s = -120$, $s = -20$, $s = -7.1720 + j47.6002$, e $s = -7.1720 - j47.6002$. Com isso o denominador da função de transferência de malha fechada pode ser encontrado: $denT(s) = s^5 + 404.344s^4 + 4.5311e04s^3 + 2.04018e06s^2 + 9.52703e07s + 1.3903e09$.

Conhecendo o denominador de malha fechada, foi possível encontrar os coeficientes do controlador. Foram obtidos $A = 31.9604$, $B = 993.6712$, $C = 8.1724e04$, $D = 1.2398e06$, $E = -12.6369$, e $F = -141.7084$. A equação 6 se refere a $G_C(s)$.

$$G_C(s) = \frac{31.9604s^3+993.6712s^2+8.1724e04s+1.2398e06}{-12.6369s-141.7084} \quad (6)$$

Conhecendo o controlador e a disposição dos blocos em Malha Fechada, a resposta do sistema controlado pode ser obtida no *Matlab*. A Figura 3 mostra o resultado dessa simulação.

Figura 3. Resposta do Sistema em Malha Fechada, com a ação do Controlador

Comparando com a resposta em Malha Fechada sem ação do controlador, podemos verificar que o sistema controlado apresentou considerável diminuição na amplitude das oscilações. Além disso, pode ser percebida a minimização dos efeitos da perturbação z_r na carroceria do veículo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho puderam ser aplicadas técnicas de controle por Alocação de Polos para melhorar o desempenho do Sistema de Suspensão Ativa da *Quanser*. Comparando com o sistema sem nenhum controlador, o sistema controlado se mostrou eficaz na minimização dos efeitos causados pela interação da perturbação com o sistema, gerando também estabilidade na resposta.

Como os resultados satisfatórios foram obtidos no fim da duração do projeto, não foi possível aplicar os conceitos de Controle Robusto e Análise Intervalar adquiridos durante a revisão de literatura. Pretende-se dar seguimento ao trabalho, nos aspectos citados anteriormente e na verificação do esforço de controle do sistema.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. A. (2007). Enciclopédia de Automática: Controle e Automação. 1ª Edição. São Paulo: Blucher.
- ALMEIDA, K. S., PRADO, M. L. M. (2013). Projeto de um controlador robusto e ótimo para um sistema de suspensão ativa. In: Seminário de Iniciação Científica – UEFS, 2013, Feira de Santana. Anais do Semic.
- CÔRTE-REAL, E. W. (2002). Dessensibilização da Estrutura de Controle LQG Aplicada ao Modelo de uma Suspensão Ativa Utilizando a Técnica PRABI. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2002. Disponível em: <http://www.pgee.ime.eb.br/pdf/edilmar_real.pdf>. Acesso em: 30 mar. de 2016.
- FRANKLIN, G. F., POWELL, J. D. e EMANI-NAEINI, A. (2009). Feedback Control of Dynamic Systems. 6a Edição. New Jersey, Pearson.
- NISE, N. S. (2009). Engenharia de Sistemas de Controle. 5a Edição, Rio de Janeiro, LTC.
- OGATA, K. (2009). Engenharia de Controle Moderno, 4a Edição, Prentice Hall.