

Experimento 5: Análise no Domínio da Frequência

Professor: Henrique Cezar Ferreira

Alunos:

Juarez A.S.F

11/0032829

Luís Henrique Vieira Amaral 10/0130488

I. OBJETIVOS

Obter experimentalmente o diagrama de Bode para a magnitude e fase da planta servo angular Quanser.

II. INTRODUÇÃO TEÓRICA

Consideramos para análise em frequência a seguinte função de transferência:

$$H(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (1)$$

substituindo τ por jw , onde w é a frequência em rad/s, obtemos:

$$H(jw) = \frac{K}{1 + (w\tau)j} \quad (2)$$

de onde temos o módulo e a fase:

$$\begin{cases} |H(jw)| = \frac{|K|}{\sqrt{1+(w\tau)^2}} \\ \angle H(jw) = -\tan^{-1}(w\tau) \end{cases} \quad (3)$$

tirando 20 vezes o logaritmo na base dez do módulo, obtemos:

$$20 \log |H(jw)| = 20 \log |K| - 20 \log(\sqrt{1 + (w\tau)^2}) \quad (4)$$

dividimos então a análise em duas etapas:

- para altas frequências $\sqrt{1 + (w\tau)^2} \approx |w\tau|$
- para baixas frequências $\sqrt{1 + (w\tau)^2} \approx 1$

portanto:

$$\begin{cases} 20 \log |H(jw)| \approx 20 \log |K/\tau| - 20 \log w, & w \gg \frac{1}{\tau} \\ 20 \log |H(jw)| \approx 20 \log |K/\tau|, & w \ll \frac{1}{\tau} \\ 20 \log |H(jw)| = 20 \log |K/\tau| - 20 \log \sqrt{2}, & w = \frac{1}{\tau} \end{cases} \quad (5)$$

para a frequência obtemos:

$$\begin{cases} \angle H(jw) \approx -90^\circ, & w \gg \frac{1}{\tau} \\ \angle H(jw) \approx 0^\circ, & w \ll \frac{1}{\tau} \\ \angle H(jw) = -45^\circ, & w = \frac{1}{\tau} \end{cases} \quad (6)$$

Ao plotarmos o logaritmo da frequência pelo módulo e pela fase se $H(jw)$ obtemos os diagramas de Bode. A facilidade dessa análise consiste em, por meio da aproximação por assíntotas, dividir a resposta em frequência como a soma das respostas para cada polo e zero da função de transferência.

III. DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

- Primeiramente, o modelo bode_IP02.mdl que continha o subsistema real do IP02 e outro subsistema teórico foi aberto no Simulink. Na entrada havia uma senóide com fase nula e amplitude e frequências ajustáveis. Abriu-se o script setup_lab_IP02_bode.m que carregava todos os parâmetros e variáveis do diagrama.
- Após executar o script bode_plot.m verificou-se se a aproximação assintótica calculada no pré-relatório se assemelhava com o diagrama obtido experimentalmente.
- A partir dos valores de frequência e amplitude da tabela dada, os valores de amplitude (dB) e fase (graus) foram obtidos. Para a obtenção destes dados, o programa amp_fase.m foi executado.
- Por fim, os pontos obtidos na tabela foram plotados nos diagramas de Bode teóricos para que fossem feitas as comparações. Os pontos foram plotados a partir dos comandos especificados no roteiro do experimento: subplot(2,1,1); semilogx(w,M,'o'); hold on; e subplot(2,1,2); semilogx(w, phi,'o'); hold on; para amplitude e fase respectivamente.

IV. RESULTADOS

A tabela a seguir mostra os dados experimentais:

Frequencia(rad/seg)	Amplitude M (dB)	Fase(Graus)
1	5.2556	1.1495
2	3.3802	-2.9835
3	4.1187	-4.6712
4	4.9935	-7.2857
5	4.9383	-8.9341
6	4.8837	-9.7783
7	4.8689	-10.9161
10	4.6464	-16.4334
15	4.2467	-23.3527
20	3.7984	-29.9879
30	2.6781	-41.6042
40	1.5014	-49.7234
60	-0.6492	-59.8260
80	-2.5478	-68.0906
100	-4.1486	-73.2130
100	-4.1486	-73.2130

Tabela I: dados experimentais

O gráfico obtido é mostrado a seguir:

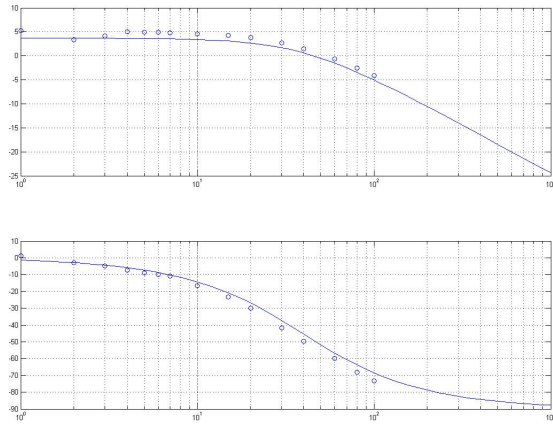


Figura 1: resposta em frequência da planta angular Quanser

Em ambos os gráficos temos o no eixo x o logaritmo da frequência, já no eixo y temos o módulo da resposta no gráfico de cima e a fase no gráfico de baixo. A linha contínua foi obtida usando a função `freqs()` sob a função de transferência na fórmula 1 com os parâmetros $K = 1.5286$ e $\tau = 0.0254$ e os círculos são os pontos experimentais obtidos para algumas frequências de entrada.

V. DISCUSSÃO

Notamos que a aproximação da previsão teórica com os dados experimentais é satisfatória, pequenas diferenças, no entanto, são observáveis. No gráficos para a amplitude os pontos estão de forma geral acima da curva teórica, enquanto no gráfico da fase eles estão a baixo. Como pode ser visto pela fórmula 5, a fase de -45° é atingida na frequência $\frac{1}{\tau}$. Esse valor de fase foi obtido experimentalmente mais para a esquerda do que a previsão teórica. Isso nos sugere que o valor real de $\frac{1}{\tau}$ seja menor que aquele utilizado, o que implica um valor de $\tau > 0.0254$. Da mesma forma, a amplitude em baixas frequências depende do fator K/τ , como vemos em na fórmula 5. Como o experimental está acima do teórico, sabemos que a razão K/τ real é maior que a utilizada, juntando essa informação com a análise anterior, vemos que o valor real de K deve ser maior que 1.5286.

Outra análise que poderia ser feita sobre os dados experimentais seria determinar a forma função de transferência e seus parâmetros. Caso não soubéssemos a fórmula da função de transferência a forma da resposta experimental nos daria uma ideia de que a função de transferência deve ter a forma $\frac{A}{1+s/w_0}$, isto porque:

- a queda de -20db para altas frequência nos indica a presença de um polo simples
- o valor do ganho diferente de zero para baixas frequências indica a constante A no numerador.

Além disso, uma vez que temos uma previsão para a função de transferência, podemos estimar os valores pela

análise do gráfico. Supondo uma função na forma $\frac{A}{1+s/w_0}$, podemos determinar:

- w_0 ao determinar a frequência de -3db
- K ao medir o ganho em baixas frequências.

Fora essa pequena diferença encontrada entre os dados experimentais e a previsão teórica, o experimento foi feito sem maiores dificuldades.

VI. CONCLUSÃO

O experimento permitiu estudar a resposta em frequência para a planta Quanser angular e comparar os resultados experimentais com aqueles esperados teoricamente. Os resultados obtidos estiveram de bom acordo com a teoria e as pequenas diferenças observadas nos deram um ideia de como melhorar a estimativa dos parâmetros da real função de transferência.

REFERÊNCIAS

- [1] Nise, N.S. *Engenharia de Sistemas de Controle* 5ª ed. LTC, 2009.
- [2] Ogata, K. *Modern Control Engineering* 5ª ed. Pearson, 2010.