

Questão-2

Explique quais seriam as diferenças no caso de um sistema mecânico em usar para a concepção de um controlador, modelos puramente baseados em dados ou guiados pela física. Procure destacar vantagens e desvantagens de cada uma das duas abordagens.

O controle baseado em dados e o controle guiado pela física são estratégias de controle distintas que embora compartilhem o objetivo de otimizar o comportamento de um sistema mecânico, adotam estratégias diferentes para obter modelos que fundamentam o controle.

Controle baseado puramente em dados - considera dados experimentais para prever o comportamento do sistema e assim poder gerar sinais otimizados - controle preditivo.
Esse tipo de controle torna-se mais flexível por poder ser empregado em sistemas lineares e não-lineares.

Nesse sentido o controle preditivo baseado em modelo é uma técnica amplamente utilizada onde é desenvolvido um modelo matemático para prever o comportamento do sistema e calcular um sinal de controle que minimiza um critério de desempenho estipulado para atender a uma dada aplicação. Existem na literatura diversas técnicas que podem ser empregadas com o propósito de desenvolver um controle baseado em dados como por exemplo podemos citar:

- mínimos quadrados
- ARX
- ARMAX
- Aprendizado de Máquinas

Nesse sentido, o controle baseado em dados pode ser considerado muito vantajoso quando estamos tentando aplicar um controle sobre um sistema onde a aplicação de leis físicas seria inviável ou muito dispendioso para a solução do problema. (Ex: sistemas não-lineares com características caóticas)

O ponto que pode ser negativo em utilizar esse tipo de controle pode ser por exemplo a necessidade de um grande volume de dados e isso como dados faltantes, pode-se não representar totalmente a dinâmica do sistema

Controle Guiado Pela Física - Utiliza-se os princípios fundamentais da mecânica para descrever o sistema. Assim, são empregados modelos determinísticos baseado na formulação de equações diferenciais. Portanto, são modelos baseado em leis físicas utilizando abordagens como as leis de Newton, Lagrange, etc.

O controle guiado pela física possui como desafios a modelagem de sistemas não-lineares, com diferentes acoplamentos e muitos parâmetros que devem ser estimados pelo modelo empregado. Além disso deve-se definir um controle ótimo baseado em uma função de custo que é definida tendo em vista a dinâmica do sistema.

Por fim vale destacar alguns pontos sobre a aplicação dos modelos:

Modelos Paramétricos Baseado em dados

- Necessita de um volume grande de dados
- Sensível a ruídos
- Custo computacional pode ser elevado
- Eficiente para sistemas complexos, não lineares com aleatoriedades

Modelos Guiados pela Física

- Robusto
- Alta Precisão
- Menos sensíveis a ruídos
- Custo computacional depende da complexidade do sistema
- ^{MAIOR} Dificuldade em tratar sistemas não-lineares

Questão 3:

DESCREVA OS COMPONENTES, ELEMENTOS CENTRAIS QUE DEVEM ESTAR PRESENTES NO PROJETO DE UM SISTEMA PARA CONTROLE E MONITORAMENTO DE SISTEMAS MECÂNICOS EM TEMPO REAL. SE ACHOU CONVENIENTE, USE UM CONÂMIO ESPECÍFICO.

Sistema de controle e monitoramento de sistemas mecânicos em tempo real são sistemas de controle empregados em diversas aplicações com objetivos que visam responder a um estímulo dentro de um período de tempo finito dado pelo tipo de aplicação empregada. Pode ser referido se dada uma mudança em uma condição do sistema resultem alguma característica. (Por exemplo: controle da trajetória de um míssil). Pode ainda ser classificado como um caso esteja dentro um sistema maior.

São compostos por uma central de monitoramento, sensores (temperatura, pressão, altitude...) e atuadores que podem ser pneumáticos, hidráulicos, materiais inteligentes como as ligas com memória de forma.

Existem diferentes tipos de controladores em tempo real onde o tempo de resposta do ~~sistema~~ controlador é um requisito; dentre eles podemos citar!

Hard-real-time - empregado por exemplo em sistemas de voo de aeronaves.

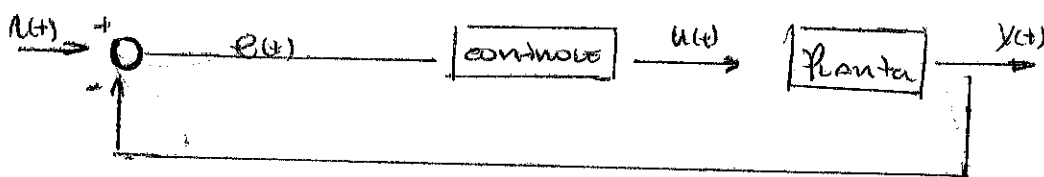
soft-real-time - Nesse tipo de controlador o prazo

- de entrega não é fundamental para o sistema
Ex: Aquisição dos dados do monitoramento de uma máquina para fins de manutenção.

Real-time - devem apresentar um tempo de resposta curto - Exemplos - controle da posição de míssil balístico

firm-real-time - empregado em sistemas de controle de veículos autônomos, tráfego aéreo, controle de processos de sistemas médicos

Podemos ter controladores analógicos ou digitais e um exemplo pode ser ilustrado a seguir através de um diagrama de blocos:



Nesse exemplo ^{temos} um sinal de entrada $r(t)$ e um sinal de saída $y(t)$ que é submetido a um controle onde é estimado um erro no qual o sinal de entrada é corrigido caso fique fora dos limites estabelecidos.

Dessa forma para um projeto de um sistema de controle em tempo real devemos elencar como principais componentes um sistema de aquisição de dados que recebe os dados de um conjunto de sensores de uma determinada aplicação

CÓDIGO DO CANDIDATO : MEC-6



Documento assinado digitalmente
FERNANDO ALVES ROCHINHA
Data: 28/11/2024 14:57:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

- como por exemplo sensores de pressão, temperatura; e um sistema de controle que avalia os dados de entrada compara com os modelos definidos para o sistema utiliza alguns modelos baseados em dados ou guias pela física e "avalia" o controle a ser empregado para o sistema.
Por exemplo: Um sistema guiado de um míssil balístico deve verificar ~~o~~ a trajetória definida para o míssil e corrigir em tempo real essa trajetória devendo mesmo até o seu alvo.

Questão 1

Discorra sobre os fundamentos conceituais e operacionais de controladores a serem aplicados em sistemas mecânicos.

O controle aplicado a um sistema mecânico tem por objetivo avaliar a resposta do sistema e aplicar um sinal de controle caso seja observado um distúrbio em relação a uma resposta desejada.

Podemos definir a variável controlada onde se deseja aplicar o controle, o sinal de controle que utiliza técnicas de controle para fazer a correção das características do sistema pre-definidas como o objetivo do sistema. Existem disponíveis na literatura diferentes tipos de controle que podem ser agrupados em controle clássico, moderno e robusto.

Assim podemos definir sistemas de controle em malha aberta que utilizam a diferença entre o sinal de saída e o de entrada como meio de controle, como por exemplo podemos citar o controle empregado em sistemas de ~~condicionamento~~ ar-condicionado.

Já os sistemas em malha fechada utilizam uma realimentação do sistema para minimizar o erro envolvido no processo de controle.

Os sistemas de controle podem ser representados utilizando diagramas de blocos

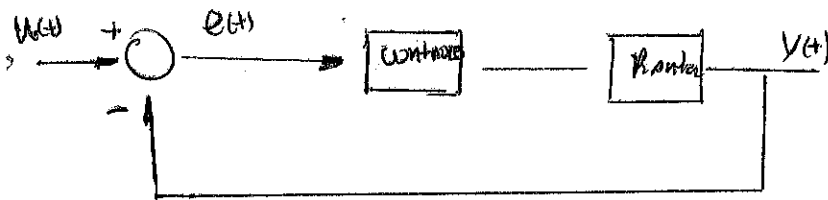
que trazem as informações sobre os sistemas.

Por exemplo, o diagrama de blocos de um sistema em malha aberta é ilustrado a seguir



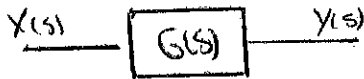
onde $U(t)$ é o sinal de entrada do sistema e $Y(t)$ é o sinal de saída.

O diagrama de blocos de um sistema de malha fechada pode ser ilustrado a seguir:



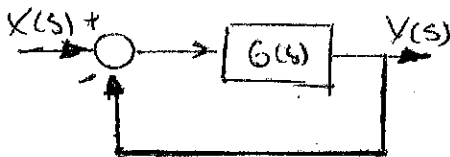
onde o $E(t)$ representa o erro que deve ser definido para o sistema para o controlador. Assim $E(t) = U(t) - Y(t)$ e assim podemos definir um valor de $E(t)$ e caso esse valor não seja atendido o controlador faz o controle para corrigir o sistema até que essa condição seja atendida.

Considerando um sistema linear invariante no tempo com condições iniciais nulas, podemos definir uma função de transferência relacionada a uma modelagem matemática para o sistema estudado. Nesse sentido, a função de transferência é definida como a transformada de Laplace na saída sobre a transformada de Laplace na entrada



$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

Considerando uma malha fechada temos que:



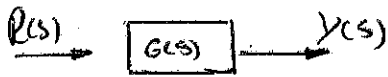
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\text{função de transferência como direto}}{1 + \text{função transferência malha}} = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

Os Diagramas de blocos podem ser empregados para representação de diferentes sistemas mecânicos. No entanto, quando a complexidade desses sistemas aumenta esses diagramas tornam-se volumosos forçando com que seja necessária uma redução desses em um diagrama menor e com isso a função de transferência obtida resulta da simplificação dos componentes presentes no sistema. Essa redução do diagrama de blocos em um equivalente pode ser entendido como ~~um~~ um procedimento similar aos utilizados para circuitos elétricos.

Como uma alternativa para a redução do diagrama de blocos podemos empregar a fórmula de

- Mason que determina a função de transferência considerando os caminhos que podem ser traçados pelo sistema considerando o diagrama de blocos inicial.

Podemos considerar como exemplo de aplicação a resposta de um sistema a um degrau unitário dado por $R(s) = \frac{1}{s}$ e dada uma função de transferência $G(s) = \frac{1}{\eta s + 1}$



Nesse sentido consideramos a resposta no domínio de Laplace;

$$Y(s) = G(s)R(s) = \frac{1/\eta}{s + 1/\eta}$$

No domínio do tempo podemos encontrar a transformada inversa de Laplace que pode ser obtida utilizando por exemplo tabelas, e obtemos a resposta do sistema

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}\{Y(s)\} = \frac{1}{\eta} e^{-t/\eta} \quad \text{Para o exemplo dado,}$$

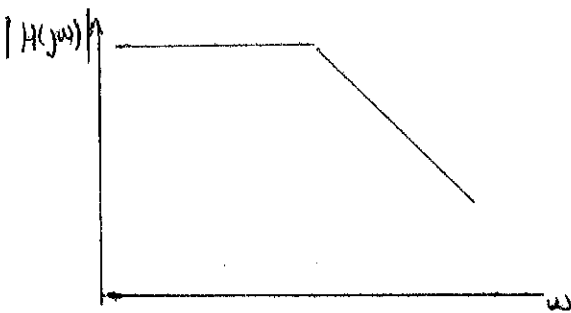
e consideramos um sistema mecânico de segunda ordem como por exemplo um sistema massa-mola-amortecedor podemos definir uma função de transferência

$$G(s) \text{ dado por } G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad \text{onde } \omega_n \text{ representa}$$

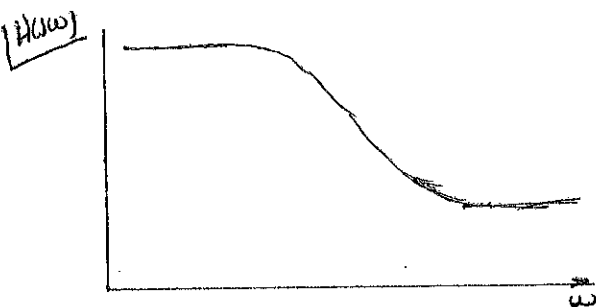
a frequência natural do sistema e ζ o amortecimento do sistema. de forma semelhante, podemos

Aplicar a transformada inversa e assim verificar a resposta do sistema no tempo.

Além das considerações descritas anteriormente podemos analisar a resposta do sistema no domínio de frequências para avaliarmos o desempenho do sistema proposto. Com isso podemos aplicar o diagrama de Bode que é construído utilizando a transformada de Fourier. Assim construímos as curvas que representam o módulo da função de transferência em relação à frequência (ω) e a fase em função de ω . Com a construção desses curvas podemos avaliar o ganho CC do controlado, também chamado de ganho de frequência zero. Essas curvas são construídas com base em uma escala logarítmica.

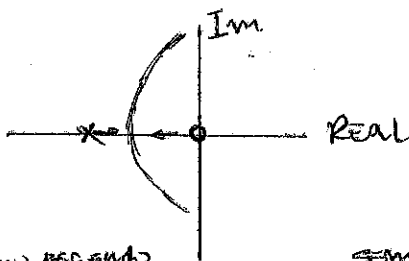


Os esboços ao lado representam as curvas descritas acima.



Outro aspecto de fundamental importância para a definição do projeto de um controlador é a análise da sua estabilidade. Nesse sentido ^{para} um sistema com zeros e polos conhecidos podem ser (definidos) empregadas técnicas como a análise de lugar das raízes, o critério de Routh e o critério de Nyquist.

Considerando um sistema representado por suas raízes e polos considerando um plano imaginário podemos ilustrar o lugar das raízes da seguinte forma:



semiplano esquerdo

semiplano direito

As raízes são representadas por "o" e os polos por "x".

Para ser estável o sistema não deve ter raízes no semiplano direito.

Um ponto importante que podemos utilizar para calibrar o controlador é utilizar o atraso e o avanço de ganho para maximizar na posição das raízes e assim no controle do sistema.

Por fim, além das técnicas descritas anteriormente podemos empregar o conceito de Aprendizado de máquinas para criar estratégias de controle baseado em dados de entrada. Um exemplo desse tipo de técnica é a utilização de redes neurais que empregam uma parcela dos dados existentes para promover um treinamento da rede utilizada e dados de teste para testar a resposta do sistema. Esse tipo de métodos pode ser interessante e empregado em diferentes sistemas como por exemplo controle de trajetória de robôs autônomos.