

TRABALHO

PMR3404 - Controle I - 2017

Nas aulas de laboratório de PMR3404 os alunos irão desenvolver um projeto completo de um controlador para um sistema dinâmico. Esse projeto será totalmente desenvolvido usando o software **MATLAB**.

1. Funcionamento do laboratório

- O projeto será desenvolvido em **equipes de dois a três alunos**, dessa forma, os alunos devem se dividir em duplas ou triplas, de forma que antes da primeira aula os grupos já estejam formados. Essas equipes devem ser mantidas durante todo o semestre.
- Cada equipe irá trabalhar com um **sistema dinâmico diferente** que será **definido na primeira aula de laboratório**.
- As aulas de laboratório consistem em um horário que deve ser utilizado pelos alunos para desenvolver o projeto onde o professor da turma de laboratório está disponível para tirar dúvidas.
- **Cada item do projeto, finalizado pela equipe, deve ser apresentado para o professor** da turma de laboratório para permitir o acompanhamento dos projetos pelo professor e para que o item seja verificado antes de se prosseguir para a etapa seguinte do projeto.
- Ao **final de cada aula** de laboratório os alunos devem **entregar** para o professor uma **folha descrevendo o que foi realizado** naquela aula.
- **A presença nas aulas de laboratório é obrigatória**. Na medida em que se tem cinco aulas de laboratório ao longo do semestre, a ausência somente é tolerada em uma das aulas. **Se um aluno faltar a mais do que uma aula de laboratório ele ficará com zero na nota de laboratório**.
- O laboratório é na sala TS-03.
- Tolerância máxima de atraso na aula de laboratório é de 10 minutos. Após este período não será mais permitido o ingresso de nenhum aluno na aula.
- Não haverá reposição das aulas de laboratório. O aluno que faltar ficará com zero na aula.

2. Relatório final

Uma semana após a **última aula de laboratório** que o aluno assiste, as equipes deverão **entregar um relatório final** descrevendo o desenvolvimento do projeto. Esse **relatório deve conter** todo o desenvolvimento do projeto incluindo uma breve introdução, equações utilizadas nos cálculos, resultado obtidos, discussão dos resultados e conclusões. O enunciado do projeto fornece um guia para os cálculos e resultados que devem ser apresentados no relatório final.

Observações importantes:

- 1) Não serão aceitos relatórios entregues após a data final de entrega estipulada.
- 2) A equipe que não entregar o relatório final ficará com nota zero de trabalho.
- 3) Deve ser entregue um único relatório por equipe.
- 4) Lembre-se que é inevitável que as notas tenham uma componente de natureza comparativa em relação aos relatórios de seus colegas. Por isso, procure sempre, dentro de suas possibilidades, fazer o melhor em termos de apresentação e clareza do relatório.

3. O projeto

O trabalho do laboratório de PMR3404 consiste no projeto de um controlador para um sistema dinâmico. Cada equipe irá trabalhar com um sistema dinâmico diferente.

Existem dois tipos de sistemas em malha fechada: **sistemas servos** e **reguladores**. Nos sistemas servos deseja-se que a saída siga um comando de referência. Nos reguladores a referência da malha fechada é uma constante e, portanto, o sistema de controle deve manter o sistema operando em uma condição de operação estacionária frente a variações de distúrbios.

No caso do sistema em malha fechada ser um **sistema servo**, o projeto do controlador deve garantir que as seguintes especificações são satisfeitas para o sistema em malha fechada:

- Erro de regime igual a zero para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Máximo sobressinal menor do que 10% para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Tempo de assentamento de 2% compatível com a dinâmica do sistema para o comando de referência variando na forma de degrau;
- Margem de ganho maior do que 10 dB;
- Margem de fase maior do que 45°;
- Rejeição completa de qualquer perturbação constante.

No caso do sistema em malha fechada ser um **regulador**, o projeto do controlador deve garantir que as seguintes especificações são satisfeitas para o sistema em malha fechada:

- Erro de regime igual a zero para uma condição inicial diferente da desejada e para qualquer perturbação variando na forma de degrau;
- Máximo sobressinal menor do que 10% para uma condição inicial diferente da desejada e para qualquer perturbação variando na forma de degrau;
- Tempo de assentamento de 2% compatível com a dinâmica do sistema para uma condição inicial diferente da desejada e para qualquer perturbação variando na forma de degrau;
- Margem de ganho maior do que 10 dB;
- Margem de fase maior do que 45°;
- Rejeição completa de qualquer perturbação constante.

O relatório final deve conter uma descrição das etapas seguidas no projeto do controlador e todos os gráficos necessários.

4. Etapas do projeto

A realização das etapas a seguir auxilia o desenvolvimento do seu projeto.

Implementação do modelo não linear

- 1) Faça um modelo no SIMULINK que implementa as equações dinâmicas do modelo matemático do sistema. Apresente no relatório o diagrama de blocos do modelo no SIMULINK.
- 2) Determine uma condição estacionária (equilíbrio) do sistema, ou seja, uma condição onde as derivadas de todos os estados são iguais a zero. Você deve calcular todos os estados, entrada e saída nessa condição.
- 3) No modelo do SIMULINK aplique a entrada e as condições iniciais calculadas no item (2) e verifique se o sistema se mantém na mesma condição de regime permanente. Observe que essa simulação consiste no primeiro texto do seu modelo do SIMULINK.

Linearização do modelo e análise

- 4) Considere a condição de equilíbrio calculada no item (2) como condição de linearização. Simule o seu modelo para pequenas variações na entrada em torno dessa condição de linearização. Use como condição inicial para essa simulação a condição de linearização.
- 5) Obtenha o modelo linearizado do seu sistema e depois coloque o modelo linearizado na forma de função de transferência.
- 6) Repita o item (5), ou seja, obtenha o modelo linearizado do seu sistema, mas usando a função *linmod* do MATLAB. Compare o modelo obtido usando o MATLAB com o modelo obtido no item (5).
- 7) Faça um modelo no SIMULINK que implementa o modelo linearizado do sistema. Use esse modelo para simular a mesma condição utilizada para o modelo não linear no item (4) e compare os resultados. Compare os resultados colocando no mesmo gráfico as curvas resultantes do modelo linearizado e do modelo não linear.
- 8) Calcule os pólos e zeros do sistema linearizado e analise a sua dinâmica, ou seja, calcule para cada pólo ou par de pólos complexos conjugados a sua constante de tempo, frequência natural, frequência de oscilação e coeficiente de amortecimento.

Projeto do controlador

- 9) Indique a posição dos polos dominantes que satisfazem os critérios de projeto.
- 10) Obtenha o lugar das raízes supondo um controlador proporcional e discuta a estrutura do controlador necessário para que o sistema em malha fechada satisfaça os critérios de projeto. Justifique esta estrutura do controlador.
- 11) Obtenha os parâmetros do controlador proposto e verifique se, de fato, ele garante que os polos obtidos no item (9) sejam os polos dominantes do sistema.

12) Obtenha as margens de ganho e de fase para o sistema com o controlador projetado no item (11) e verifique se atende aos requisitos de margens.

OBS: Caso o controlador não satisfaça os requisitos definidos, o controlador deve ser reprojetoado.

Verificação do Projeto

13) Simule o controlador projetado com a planta linearizada e comprove que as especificações de projeto são satisfeitas.

14) Simule o controlador projetado com a planta original (não linear) e verifique se os critérios de projeto continuam ou não satisfeitos. Caso não sejam, discutir, analisar e justificar.