



**UFABC - Universidade Federal do ABC**

**Sistemas de Controle II**  
**Projeto Final - Pêndulo Invertido**

Prof<sup>a</sup> Dra. Heloise Assis Fazzolari

heloise.fazzolari@ufabc.edu.br  
Sala 717-1, 7<sup>º</sup> andar, Torre 1, Bloco A - Campus Santo André

3<sup>º</sup> Quadrimestre de 2021

Ao final do projeto o aluno deve ser capaz de:

- Modelar um sistema de pêndulo invertido usando a descrição de função de transferência;
- Projetar compensadores no domínio da frequência: avanço de fase, atraso de fase, atraso e avanço de fase;
- Analisar o comportamento do sistema sem compensação e compensado nos domínios da frequência e do tempo, justificando os resultados obtidos através da teoria desenvolvida durante o curso;
- Analisar o comportamento de cada compensador e verificar as vantagens e desvantagens de cada um deles;
- Inferir sobre possíveis melhorias de desempenho do sistema para cada tipo de compensador.

# Pêndulo Invertido

O sistema a ser estudado é um módulo didático de pêndulo invertido existente na UFABC. A documentação do sistema será disponibilizada e deverá ser utilizada para o desenvolvimento do projeto.

# O projeto

Cada grupo deverá desenvolver um projeto contendo:

- Modelagem detalhada do sistema de pêndulo invertido;
- Projeto e implementação de simulação computacional do sistema modelado;
- Projeto e implementação de simulação computacional de compensadores para o sistema modelado;
- Análise detalhada dos resultados obtidos;
- Inferência sobre possíveis melhorias nos projetos.

Todos os códigos utilizados devem ser entregues em uma pasta compactada e devem estar funcionando perfeitamente.

# Especificações

O módulo didático contém informações sobre os parâmetros físicos do sistema. Porém, como possui algumas configurações customizáveis, seguem os parâmetros necessários para a modelagem, considerando a utilização da haste média (12in) e carro com massa adicional.

Parâmetro	Descrição	Valor	Unidade
$R_m$	resistência da armadura do motor	2,6	$\Omega$
$J_m$	momento de inércia do rotor	$3,9 \times 10^{-7}$	$kg.m^2$
$k_t$	constante de torque-corrente do motor	$7,68 \times 10^{-3}$	$N.m/A$
$\eta_m$	eficiência do motor	1	
$k_m$	constante de força contra-eletromotriz	$7,68 \times 10^{-3}$	$V/(rad/s)$
$k_g$	relação total de engrenagens	3,71	
$\eta_g$	eficiência da caixa de engrenagens	1	
$M_c$	massa do carro	0,94	$Kg$
$r_{mp}$	raio da roda dentada do motor	0,0063	$m$
$B_{eq}$	coeficiente de amortecimento viscoso	5,4	$N.m/(rad/s)$
$g$	aceleração da gravidade	9,81	$kg.m/s^2$

A função de transferência a ser obtida na modelagem é **a relação entre a posição linear do carro e a tensão no motor**. O atuador do sistema é o motor que realiza a força através da aplicação de uma tensão. Esta força faz o carro se locomover até a posição desejada. Sendo assim, é possível controlar a posição do carro a partir da tensão aplicada no motor.

# Compensadores

Para o projeto dos compensadores, considere as seguintes especificações de desempenho:

<b>Avanço de fase</b>	<b>Valor</b>
$e_{ss}$	$\leq 1\%$
$M_p$	$\leq 5\%$
<b>Atraso de fase</b>	<b>Valor</b>
$e_{ss}$	$\leq 0,1\%$
$M_p$	$\leq 5\%$
<b>Atraso e avanço de fase</b>	<b>Valor</b>
$e_{ss}$	$\leq 0,1\%$
$M_p$	$\leq 5\%$
$t_p$	$\leq 0.1s$

O relatório deve conter:

- a modelagem completa do sistema, resultando na função de transferência a ser utilizada. É necessário incluir a função algébrica e também numérica (após substituição dos parâmetros).
- Para o sistema sem ajuste de ganho, com o ganho ajustado e compensado (para cada compensador), obter:
  - Os diagramas de Bode;
  - As respostas ao degrau unitário;
  - As respostas à rampa;
  - Todo e qualquer gráfico necessário ao projeto.
- Projeto e análise detalhada do sistema sem compensação e compensado (para cada compensador);
- Comentários sobre possíveis modificações, ajustes e melhorias nas especificações de desempenho para cada tipo de compensador;
- Comentários sobre as vantagens e desvantagens de utilizar cada tipo de compensador.



As análises devem se basear na teoria e é desejável que haja pesquisa em mais de uma referência bibliográfica além do conteúdo das aulas (FONTES CONFIÁVEIS, por exemplo, livros). Utilizem o sistema Minha Biblioteca.