

PLANO DE ENSINO

DISCIPLINA: Tópicos Especiais em Modelagem e Controle de Sistemas: Acionamento Controlado de Máquinas Síncronas de Ímãs Permanentes e Aplicações	Código: PPGELxxxx
---	--------------------------

Validade: A partir do 2º semestre 2024

Carga Horária: 60 horas-aula

Créditos: 03

Área de Concentração / Módulo: Modelagem e Controle de Sistemas / Formação Específica

Ementa:

Revisão de acionamentos em corrente contínua. Princípios de funcionamento e construtivos de máquinas síncronas de ímãs permanentes (MSIPs). Modelagem da MSIP por vetores espaciais. Controle vetorial e orientação de campo de MSIP. Enfraquecimento de campo. Controladores de torque e fluxo. Aplicações: hidrogênio verde (compressão em alta velocidade e potência), eletrificação veicular (configurações, benefícios, controlador de velocidade e máximo torque por ampere – MTPA) e geração eólica de velocidade variável (configurações, benefícios e máxima extração de potência).

Interdisciplinaridades:

Os conteúdos abordados na disciplina *Acionamento Controlado de Máquinas de Ímãs Permanentes e Aplicações* têm relações com as seguintes disciplinas e linhas de pesquisa:

- **Disciplinas:** Sinais e Sistemas, Controle de Acionamentos Elétricos, Dinâmica de Máquinas Elétricas, Modelagem e Controle de Conversores Estáticos de Potência, Técnicas de Modulação e Comando de Conversores Estáticos de Potência, Eletrônica de Potência.

- **Linhas de Pesquisa:** Análise e Modelagem de Sistemas (AMS) e Sistemas de Controle (SC).

Objetivos:

- Compreender e analisar a operação de acionamentos baseados na tecnologia de máquinas síncronas de ímãs permanentes;
- Compreender e projetar os controles necessários para o acionamento: torque, fluxo, velocidade, etc.
- Compreender as principais aplicações atuais dessa tecnologia de acionamento, bem como seus requisitos específicos.

Métodos Didáticos Utilizados:

Marque com um X no quadro:

- (X) Aula expositiva em quadro
 (X) Aula com uso de transparência
 (X) Aula com uso de multimídia
 (X) Aula Prática
 () Discussão de texto
 () Filme

- (X) Seminário
 (X) Pesquisa
 (X) Trabalho individual
 (X) Trabalho em grupo
 () Visita técnica
 () Outros: _____

Unidades de Ensino:		Carga horária hora-aula
1	Introdução	4
	Revisão de acionamentos em corrente contínua	
	Comparação entre acionamentos em corrente contínua e alternada	
2	Princípios de funcionamento e construtivo das MSIP	12
	Princípios de funcionamento em regime permanente da MS	
	Máquinas de polos salientes e o efeito da relutância	
	Utilização de ímãs permanentes em conversão de energia	
	Princípios construtivos de MSIP: posição do rotor (interno, externo), posição dos ímãs no rotor (interno, superfície) e orientação do fluxo (radial, axial)	
3	Modelagem da MSIP por vetores espaciais	12
	Vetores espaciais e eixos de coordenadas bidimensionais (estacionário e rotativo)	
	Modelagem da máquina síncrona em eixo de coordenadas síncrono com o rotor	
	Extensão do modelo para máquina síncrona de polos salientes	
	Extensão do modelo para máquina síncrona de ímãs permanentes	
4	Controle Vetorial e Orientação de Campo de MSIP	12
	Modelos de regime permanente e dinâmico	
	Controle de campo orientado e controle de ângulo	
	Resposta dinâmica de controle de campo orientado: regiões de torque constante e enfraquecimento de campo	
	Resposta dinâmica de controle de ângulo	
5	Projeto de controladores	12
	Projeto do controlador de torque no domínio da frequência	
	Projeto do controlador de fluxo no domínio da frequência	
	Projeto do controlador de velocidade	
	Obtenção do máximo torque por ampere (MTPA) em máquinas de polos salientes	

6	Aplicações de Acionamentos de MSIP	8
	Eletrificação veicular: benefícios e configurações	
	Geração eólica: tipos de turbina que aplicam a MSIP, benefícios e máxima extração de potência em velocidade variável	
	Hidrogênio verde: compressores de alta potência e velocidade	

Métodos de avaliação:

- Trabalhos de simulação e listas de exercícios;
- Trabalho final de aplicação em formato de artigo com entregas intermediárias e apresentação.

Métodos de avaliação:

A disciplina será realizada de **forma híbrida** com base na Instrução normativa PPGE 003/2023, DE 28 DE ABRIL DE 2023.

DIVISÃO DE HORAS:

- Atividades Presenciais:
 - Total de Horas: 4 horas-aula (um encontro presencial);
 - Local: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) no Campus Nova Gameleira em sala informada pelo PPGE;
 - Dedicado às atividades avaliativas (seminário apresentado pelos alunos);
 - O calendário será informado no início do semestre com base no calendário da instituição.
- Atividades Remotas:
 - Total de Horas: 56 horas-aula;
 - Toda a carga horária será cumprida de forma síncrona;
 - As atividades ocorrerão na plataforma Google Meeting e/ou *Microsoft Teams*;

PRESENÇA:

- É obrigatória a presença nos encontros presenciais e síncronos (usados para quantificar a presença nas atividades remotas).

RECURSOS:

- Nesta disciplina, o uso de áudio (microfone) é obrigatório nos encontros síncronos por parte dos discentes. Por outro lado, o uso de câmera é facultativo (mas recomendado).

CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO:

- O discente será aprovado se simultaneamente obtiver:
 - Mínimo de 75% de presença;
 - Mínimo de 60% da nota final, obtida por soma simples.

Bibliografia Básica:

- [1] KRISHNAN, R.. **Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. 611 p.
- [2] NOVOTNY, D. W.; LIPO, T. A. **Vector control and dynamics of AC drives**. New York: OxfordUniversity Press, c1996. xiii, 440 p.
- [3] KRAUSE, Paul C.; WASYNCZUK, Oleg; SUDHOFF, Scott D. **Analysis of electric machinery and drive systems**. 2nd ed. Nova Iorque: IEEE Press, c2002. xiv, 613 p.
- [4] YAZDANI, A.; IRAVANI, R.. **Voltage-Sourced Converter in Power Systems: Modeling Control, and Applications**. New York: Wiley-IEEE Press, 2010. 541 p.
- [5] HAYES, J. G.; GOODARZI, G. A.. **Electric Powertrain: Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric, and Fuel Cell Vehicles**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Ltd, 2018. 560 p.

Bibliografia Complementar:

- [1] BIM, Edson. **Máquinas elétricas e acionamentos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. xvi, 571 p.
- [2] KRISHNAN, R.. **Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2001, 656 p.
- [3] LEONHARD, Werner. **Control of electrical drives**. 3. ed. Berlin: Springer, c2001. xviii, 460 p.
- [4] BOSE, Bimal K. **Modern power electronics and AC drives**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, c2002. xxi, 711 p.
- [5] EHSANI, M.; GAO, Y.; LONGO, S.; EBRAHIMI, K.. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2018. 546 p.
- [6] TEODORESCU, R.; LISERRE, M.; RODRIGUEZ, P.. **Grid Converter for Photovoltaic and Wind Power Systems**. New York: Wiley-IEEE Press, 2007. 416 p.
- [7] UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. xv, 708 p.
- [8] G. R. Slemon, **Electric Machines and Drives**. New York: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1992. 556 p.
- [9] MOHAN, Ned; UNDELAND, Tore M.; ROBBINS, William P. **Power electronics: converters, applications, and design**. 3. ed. Nova Iorque: John Wiley, 2003. xvii, 802 p.
- [10] DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Modern control systems**. 11. ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, c2008. xxv, 1018 p.