

DISCIPLINA: **CONVERSÃO ELETROMECÂNICA DE ENERGIA B**

(Disciplina Obrigatória do Curso de Engenharia Elétrica)

CÓDIGO: EEL 7073

CARGA HORÁRIA: 72 horas (54 Horas de Teoria e 18 Horas de Laboratório)

OFERECIDA PARA OS CURSOS DE: Engenharia Elétrica e Engenharia de Produção (Elétrica)

TURMAS: 07202A; 07202B; 07202C; 07213.

PRÉ-REQUISITO: Conversão Eletromecânica de Energia A

PROFESSORES: Nelson Jhoe Batistela (aulas de teorias e aulas práticas), Nelson Sadowski e Kátia Campos de Almeida (aulas práticas).

EMENTA:

Motores de Indução: ensaios, circuito equivalente, potência e torque em motores trifásicos, métodos de partida do motor trifásico; Motores de Indução Monofásico e Bifásico; Máquinas de Corrente contínua: máquinas elementares, máquinas reais, tensão gerada e torque, fluxo de potência e perdas, geradores corrente contínua, motores corrente contínua; Máquinas Especiais: motor universal, outros tipos de motores especiais, laboratório.

Plano de Ensino 2º Semestre de 2012

(Prof. Nelson Jhoe Batistela)

Para reflexão dos discentes:

***Por que uma escola, uma sistematização do conteúdo e um professor?
- "...E ireis mais facilmente, porque é da natureza de nossa inteligência proceder do conhecido para o desconhecido" (Pedro Julião Eymard).***

Para reflexão do docente:

***"... E acrescentou que a pimenta pura era melhor que o gengibre na salsa. Falou ainda que se alegrava quando, depois de ter preparado com todo o cuidado possível as preleções, via seus alunos assistí-las sem nenhuma atenção. Assim, considerava ele, era-lhe tirada a ocasião de vangloriar-se e não perderia nenhum de seus méritos"
(Fontes Franciscanas, Da chegada dos Frades Menores à Inglaterra de Tomás de Eccleston.)***

Para reflexão de todos:

"A educação é um processo social, é desenvolvimento. Não é a preparação para a vida, é a própria vida" (John Dewey).

1. JUSTIFICATIVA:

A disciplina faz parte do Currículo de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. Tanto quanto ela procura compor com o todo, também está preocupada em fornecer e estimular o discente, de maneira sistemática, ao conhecimento das máquinas elétricas, e em particular no processo de conversão eletromecânica de energia. Esta disciplina está estruturada de modo a satisfazer as possíveis carreiras dentro da engenharia elétrica e afins, tendo em vista uma vida profissional de atualização contínua e de capacitação de profissionais para atuarem como transformadores sociais visando o bem estar.

As máquinas elétricas são tão presentes na vida moderna da sociedade que, por exemplo, sem as mesmas, as indústrias perderiam sua força motriz, e praticamente não haveria energia elétrica nas residências disponível ao consumo. Grande parte da energia elétrica é proveniente de geradores eletromecânicos. As máquinas elétricas são as responsáveis por transformar energia elétrica em energia mecânica, como o seu inverso.

Além de todo o sistema industrial e de energia, o Brasil, e em particular o Estado de Santa Catarina, possui um parque fabril de máquinas competitivo em nível mundial na produção e na qualidade, demandando profissionais adequadamente habilitados na manutenção e atualização deste quadro.

2. OBJETIVOS:

Objetivos Gerais:

- a) Atender as diretrizes curriculares dos cursos de Engenharia do Conselho Nacional de Educação;
- b) Contribuir para que o graduando esteja adequadamente preparado para o ingresso na prática da engenharia, conforme sua a habilitação;
- c) Estimular o processo de aprendizagem;
- d) Encorajar o desenvolvimento humanístico, tendo uma formação profissional, técnica e científica do graduando, atendendo o projeto pedagógico do curso em vista do seu perfil de egresso. Adicionalmente, estimular a atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, sob uma visão ética e humanista, a fim de atender às demandas da sociedade.

Objetivos Específicos:

Curso a ser ministrado de modo a introduzir e conscientizar o aluno nos aspectos de conversão eletromecânica de energia. Esta disciplina tem como objetivo transferir ao aluno conteúdos fundamentais sobre Motores de Indução, Máquinas de Corrente Contínua e Motores Especiais.

3. CONTEÚDO (PROGRAMA DO CURSO):

CAPÍTULO I - MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

- 1.01 - Introdução
 - a) Rotor Bobinado ou Enrolado ou de Anéis
 - b) Rotor com Bobinas Maciças ou Rotor Fundido ou Tipo Gaiola de Esquilo
- 1.02 - O Campo Girante
- 1.03 - Princípio de Funcionamento do Motor de Indução
- 1.04 - O Escorregamento
- 1.05 - O Circuito Elétrico Equivalente
 - 1.05.1 - Circuito Elétrico Equivalente do Estator, por Fase.
 - 1.05.2 - Circuito Elétrico Equivalente do Rotor, por Fase.
 - a) Circuito Elétrico Equivalente do Rotor, por Fase, Referido ao Rotor.
 - b) Circuito Elétrico Equivalente do Rotor, por Fase, Referido ao Estator.
 - 1.05.3 - Circuito Elétrico Equivalente Completo Referido ao Estator, por Fase
 - 1.05.4 - Forma Alternativa para o Circuito Elétrico Equivalente
- 1.06 - Potência Mecânica Útil
- 1.07 - Torque
- 1.08 - Perdas no Cobre do Estator
- 1.09 - Conjugado e Potência pelo uso do Teorema de Thévenin
- 1.10 - Curvas de Conjugado, Potência e Corrente.
- 1.11 - Diagrama Fasorial
- 1.12 - Determinação dos Parâmetros do Motor de Indução Trifásico

- 1.12.1 - Ensaio de Rotor Bloqueado (Travado)
- 1.12.2 - Ensaio a Vazio
- 1.13 - Métodos de Partida
 - 1.13.1 - Partida Direta
 - 1.13.2 - Partida com Tensão Reduzida com Autotransformador
 - 1.13.3 - Partida com Tensão Reduzida com Reator ou Resistor Primário
 - 1.13.4 - Partida Estrela - Triângulo
 - 1.13.5 - Partida por Fase Dividida ou por Enrolamento Parcial
 - 1.13.6 - Partida com Resistência Externa de Rotor
 - 1.13.7 - Partida Direta com Rotor de Dupla Gaiola
 - 1.13.8 - Partida utilizando “softstart”
- 1.14 - Controle de Velocidade de Motores de Indução Trifásicos
 - 1.14.1 - Controle pela Variação do Número de Polos
 - 1.14.2 - Controle pela Variação da Frequência da Linha
 - 1.14.3 - Controle pela Variação da Tensão da Linha
 - 1.14.4 - Controle pela Variação da Resistência do Rotor
 - 1.14.5 - Controle pela Aplicação de Frequência no Rotor
 - 1.14.6 - Controle utilizando conversores de frequência
- 1.15 - Categorias dos Motores de Indução Trifásicos
 - 1.15.1 – Categorias Segundo a NBR
 - 1.15.2 - Categorias Segundo a IEC
 - 1.15.3 - Categorias Segundo a NEMA
- 1.16 – Visita técnica a um fabricante de máquinas elétricas

CAPÍTULO II - MOTOR DE INDUÇÃO BIFÁSICO E MONOFÁSICO

- 2.01 - Motor de Indução Bifásico Balanceado
 - 2.01.1 - Introdução
 - 2.01.2 - Representação Esquemática
 - 2.01.3 - Circuito Elétrico Equivalente Referido, por Fase
 - 2.01.4 - Formulário
 - 2.01.5 - Uso do Teorema de Thévenin
 - 2.01.6 - Observação Final
- 2.02 - Noções de Componentes Simétricas
- 2.03 - Motor de Indução Bifásico Desbalanceado
 - 2.03.1 - Introdução
 - 2.03.2 - Circuitos Elétricos Equivalentes
 - 2.03.3 - Análise do Circuito Equivalente
- 2.04 - Motor de Indução Monofásico
 - 2.04.1 - Introdução
 - 2.04.2 - Análise do Motor de Indução Monofásico Através do Campo Girante
 - 2.04.3 - O Circuito Equivalente por Componentes Simétricas
 - 2.04.4 - Obtenção dos Parâmetros do Motor de Indução Monofásico
 - a) Ensaio a Rotor Travado
 - b) Ensaio a Vazio
 - 2.04.5 - Característica Torque-Velocidade
 - 2.04.6 - Análise de Desempenho
 - 2.04.7 - A Partida do Motor de Indução Monofásico
 - a) Motor de Fase Dividida ou Fase Auxiliar
 - b) Motor de Fase Dividida a Capacitor de Partida
 - c) Motor de Fase Dividida com Capacitor Permanente
 - d) Motor de Fase Dividida com Dois Capacitores
 - 2.04.8 - Cálculo do Capacitor de Partida

CAPÍTULO III - MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA

- 3.01 - Geração da Tensão Unidirecional
 - 3.01.1 - Introdução
 - 3.01.2 - Máquina de Corrente Contínua Elementar
 - 3.01.3 - Funcionamento do Comutador
 - 3.01.4 - Observações Finais
- 3.02 - Tipos de Geradores de Corrente Contínua
 - 3.02.1 - Excitação Independente
 - 3.02.2 - Auto-Excitação
- 3.03 - Efeito da Força Magnetomotriz da Armadura
 - 3.03.1 - Introdução
 - 3.03.2 - Máquina com Somente o Campo Excitado

- 3.03.3 - Máquina com Somente a Armadura Excitada
- 3.03.4 - Fluxo da Máquina de Corrente Contínua com o Campo e a Armadura Excitados
- 3.04 - Comutação e Interpolos
 - 3.04.1 - Introdução
 - 3.04.2 - Considerações Iniciais
 - 3.04.3 - Interpolos ou Polos de Comutação
- 3.05 - Enrolamentos Compensadores
 - 3.05.1 - Introdução
 - 3.05.2 - Enrolamento Compensador
- 3.06 - Fundamentos Analíticos. Aspectos dos Circuitos Elétrico e Magnético
 - 3.06.1 - Introdução
 - 3.06.2 - Aspectos do Circuito Elétrico
 - 3.06.3 - Aspectos do Circuito Magnético
 - a) Com a Reação de Armadura Desprezada
 - b) Considerando a Reação de Armadura
- 3.07 - Análise do Desempenho em Regime Permanente
- 3.08 - Característica do Gerador. Análise Não-Linear
 - 3.08.1 - Excitação Independente
 - 3.08.2 - Auto-Excitação
 - a) Linha de Resistência de Campo
 - b) Escorvamento
- 3.09 - Análise do Motor de Corrente Contínua
- 3.10 - Característica Velocidade-Torque do Motor
- 3.11 - Controle de Velocidade
 - 3.11.1 - Introdução
 - 3.11.2 - Controle por Reostato de Campo Derivação
 - 3.11.3 - Controle por Resistência no Circuito de Armadura
 - 3.11.4 - Controle por Tensão Terminal de Armadura
 - 3.11.5 - Controle pela Mudança da posição das Escovas
- 3.12 - Aplicações da Máquina de Corrente Contínua
- 3.13 - Partida da Máquina de Corrente Contínua

CAPÍTULO IV - MOTORES ESPECIAIS

- 4.01 - Motores Universais
- 4.02 - Motores de Relutância
- 4.03 - Motor de Histerese
- 4.04 - Motor de Distorsão de Fluxo ou Motor com Bobina de Arraste ou Motor de Indução de Polo Ranhurado ou Motor com Bobina de Sombra – Visto quando o conteúdo sobre motor de indução monofásico é apresentado.
- 4.05 - Motor de Passos ou Motor Passo a Passo
- 4.06 - Servomotores
- 4.07 - Outros Motores e Máquinas Especiais (comentários)

Aulas Práticas Laboratório:

1. Introdução;
2. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
3. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com Carga.
4. Teste sobre motores de indução. Motor de Indução Monofásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
5. Características de Magnetização da Máquina de Corrente Contínua - Gerador de Corrente Contínua a vazio.
6. Características do Gerador de Corrente Contínua Independente e Derivação.
7. Teste sobre GCC. Características de Regulação do Gerador de Corrente Contínua Série e Composto.
8. Prova final.

OBS.: a) Há um Plano de Ensino adicional e específico de cada professor das aulas de laboratório, o qual é fornecido ao aluno pelo professor das aulas de laboratório.

b) Como está ocorrendo alguns problemas no laboratório, o conteúdo acima das aulas de experimentais poderá ter alterações.

4. METODOLOGIA:

O desenvolvimento metodológico buscará estabelecer a relação teoria-prática através da identificação, análise crítica, utilização de modelos e da expressão das concepções experimentadas pelos participantes do curso. Serão utilizadas metodologias fundamentadas na exposição dialógica, leitura de textos, ensaios e caracterização de máquinas, discussões e produção de idéias individuais e

coletivas, exercícios feitos em sala de aula e em horários externo, e outras metodologias que, julgadas convenientes, poderão ser utilizadas no decorrer do processo.

5. RECURSOS DIDÁTICOS:

- ◇ Apostila "CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA", do Prof. Renato Lucas Pacheco, UFSC/CTC/EEL;
- ◇ Referências bibliográficas
- ◇ Transparências ou "data show";
- ◇ Exercícios práticos;
- ◇ Experiências de Laboratórios e seus respectivos relatórios;
- ◇ Catálogos de Fabricante.

6. CRONOGRAMA:

Capítulo I.....	18 aulas
Capítulo II.....	14 aulas
Capítulo III.....	12 aulas
Capítulo IV.....	10 aulas
Laboratório.....	18 aulas

7. AVALIAÇÃO:

A avaliação é realizada através da composição de notas relativas às partes teórica e experimental. Duas provas escritas são utilizadas na avaliação da parte teórica. Também são levados em conta: a) frequência; b) postura, interesse e participação em sala de aula; c) listas de exercícios e trabalhos que eventualmente possam ser solicitados. A composição da média parcial é dada pela fórmula (1) com as notas das provas e laboratório.

$$Média_{parcial} = 0,75\left(\frac{N_1 + N_2}{2}\right) + 0,25N_L \quad (1)$$

Onde N_1 e N_2 são as notas das provas teóricas, e N_L a nota final do laboratório. A maneira de como é obtida a nota do laboratório segue o plano de ensino do professor relativo às atividades experimentais.

Se o aluno obtiver média parcial superior ou igual a 5,75, ele está aprovado na disciplina. Caso o aluno obtenha média inferior a 5,75, ele poderá fazer uma prova de recuperação, que constará de uma prova escrita sobre todo o conteúdo da disciplina. Neste caso, a nota final será dada por (2).

$$Nota_{final} = \frac{Nota_{recuperação} + Média_{parcial}}{2} \quad (2)$$

Se o aluno obtiver uma nota final superior ou igual a 5,75, ele obtém aprovação na disciplina.

As datas das provas são fornecidas pelo professor em data oportuna.

Notas Importantes:

a) Está estabelecido a não utilização de calculadoras programáveis nas provas teóricas da disciplina EEL 7073, podendo apenas ser utilizadas calculadoras até o nível do tipo de "calculadora científica" simples. Quando for solicitada uma determinação de algum valor ou de um cálculo, a resolução da questão que apresentar apenas procedimentos de solução receberá automaticamente a atribuição de valor nulo no compito da nota da prova (Exemplos: "determine o rendimento da ..." ou "determine a corrente de entrada da máquina..." ou " calcule a potência transferida..."). Assim, **o aluno deverá calcular, mostrando todo o desenvolvimento da questão, sem omitir passos de desenvolvimento e/ou de cálculo, e disponibilizar o valor final. Assim, não é aceito apenas o valor final da questão, ou omitindo passos de cálculo.**

b) Está proibida a utilização de aparelhos celulares durante as aulas, inclusive durante as provas, como também aparelhos de gravação auditiva ou visual (a não ser com autorização expressa do professor).

- c) Todo e qualquer problema, mal entendidos etc., individual ou coletivo, deverão ser tratados inicialmente com o professor. O aluno tem o dever de procurar o professor para esclarecimento de qualquer mal entendido ou situação de constrangimento.
- d) O professor comunicará aos alunos os horários de atendimento.
- e) As datas das provas serão definidas pelo professor.
- f) Evitar sair da sala de aula durante as atividades didáticas ou chegar atrasado ao início da aula.
- g) O professor estará disponibilizando materiais didáticos complementares (lista de exercício, cópia de transparências, exercícios resolvidos etc.) em locais que serão comunicados aos alunos oportunamente.
- h) Na primeira prova da disciplina, poderão constar questões referentes a procedimentos de segurança nas atividades de laboratório. Os professores disponibilizarão um material básico de segurança.
- i) É exigido que em todas as aulas os alunos estejam munidos de calculadora (acima descrita e/ou adequada à realização das provas), bem como de material didático necessário para anotações e a realização de exercícios ou provas surpresas. O não cumprimento desta regra implicará em falta grave contra as atividades didático-pedagógicas, com sanção a ser determinada pelo professor.

4. BIBLIOGRAFIA BÁSICA:

-  Apostila de Conversão Eletromecânica de Energia do Prof. Renato Pacheco.
-  Máquinas Elétricas, A.E. Fitzgerald; C. Kingsley; S. D. Umans, Bookmann.
-  Máquinas Elétricas e Transformadores, de Irving I. Kosow, Editora Globo.

5. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR:

-  Electric Machinery Fundamentals, Stephen J. Chapman, Trird Edition, McGraw-Hill Companies, Schaum's.
-  Máquinas de Corrente Contínua, Gilio Aluisio Simone, Editora Érica, 2000.
-  Eletromecânica, Volumes 1 e 2, de Aurio Gilberto Falcone, Editora Edgard Blücher Ltda, 1981.
-  Material e informações para as aulas poderão ser obtidos no endereço eletrônico fornecido pelo professor, ou em outro site conveniente.

Florianópolis, setembro de 2012.
Prof. Nelson Jhoe Batistela

PLANO DE ATIVIDADES DE LABORATÓRIO - 2012.1

Disciplina: Conversão Eletromecânica de Energia - B

Código: EEL 7073

Turmas: 07202A

Professor: Nelson Jhoe Batistela

Atividades:

1. Apresentação. Divisão das turmas e equipes. Informações gerais.
2. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
3. Motor de Indução Trifásico. Ensaio com carga.
4. Motor de Indução Monofásico. Ensaio com rotor travado e a vazio.
5. Características de Magnetização da Máquina de Corrente Contínua – Gerador de Corrente Contínua a vazio.
6. Características do Gerador de Corrente Contínua Independente e Derivação.
7. Características de Regulação do Gerador de Corrente Contínua Série e Composto.
8. Prova prática sobre todos os ensaios.

Avaliação:

É composta pelos seguintes itens:

- Frequência
- Relatórios sobre os ensaios realizados no laboratório;
- Prova final.

Cada professor de laboratório definirá na primeira aula no início do semestre a forma para se encontrar a nota da média do Laboratório.

Observações:

- O aluno que tiver presença menor que 75% estará automaticamente sem nota de laboratório (FI).
- A turma é dividida em duas. Assim, uma semana tem aula uma turma (9 alunos), e na outra semana as demais equipes. Há então um revezamento: uma semana tem aula, na próxima semana folga.
- Os relatórios podem ser feitos em equipe, referente àquela que realizou o ensaio em conjunto.
- O aluno ausente numa determinada aula deverá recuperar a presença na semana subsequente e fazer o relatório da referida experiência.
- Na prova, o aluno poderá utilizar somente o seu relatório do respectivo ensaio (portanto, cada aluno deverá ter uma fotocópia do seu relatório).
- Cada aluno é responsável no controle de sua presença.
- O relatório deverá ser entregue na aula subsequente ao ensaio.
- A prova final será **individual**. Para a prova final, um dos ensaios será escolhido na hora pelo professor.
- A prova será subsequente ao término dos ensaios propostos.
- A forma de avaliação será repassada aos alunos na primeira aula de laboratório.