

**Departamento** *Engenharia Electrotécnica*

**Disciplina** *Máquinas Eléctricas I*

**Ano** 2.<sup>a</sup>

**Semestre** 2.<sup>a</sup>

**Curso** *Engenharia Electrotécnica*

**Ano lectivo** 2005/2006

Grupo	Carga horária semanal			
	<i>Teóricas</i>	<i>Teórico Práticas</i>	<i>Práticas/ Lab.</i>	<i>Seminários Estágios</i>
<b>Docente Responsável</b> <i>Luis Pestana</i>	2	2	2	

## PROGRAMA

### 1. Circuitos Magnéticos e Conversão de energia

- 1.1. Introdução
- 1.2. Materiais magnéticos
  - 1.2.1. Diamagnetismo
  - 1.2.2. Paramagnetismo
  - 1.2.3. Ferromagnetismo e ciclo de Histerése
- 1.3. Leis dos circuitos magnéticos
- 1.4. Energia e coenergia magnética
- 1.5. Perdas de energia nos núcleos ferromagnéticos

### 2. Generalidades sobre Máquinas Eléctricas

- 2.1. Definição de Máquina Eléctrica
- 2.2. Tipos de Máquinas Eléctricas
  - 2.2.1. Geradores
  - 2.2.2. Receptores
  - 2.2.3. Conversores e Transformadores
  - 2.2.4. Amplificadores
- 2.3. Máquinas Electromagnéticas
  - 2.3.1. Rotativas de C.C.
  - 2.3.2. Rotativas de C.A. (síncronas, assíncronas e de colector)
  - 2.3.3. Estáticas de C.A.
  - 2.3.4. Rotativas de conversão
  - 2.3.5. Rotativas de amplificação
  - 2.3.6. Estáticas de amplificação
  - 2.3.7. Máquinas de movimento limitado (linear e circular)
- 2.4. Constituição das Máquinas Electromagnéticas
  - 2.4.1. Circuitos eléctricos
  - 2.4.2. Circuitos magnéticos
  - 2.4.3. Órgãos mecânicos
- 2.5. Grandezas características das Máquinas Eléctricas. Ensaios de verificação de características.
  - 2.5.1. Tensão nominal
    - 2.5.1.1. ensaios de isolamento e de rigidez dieléctrica
  - 2.5.2. Corrente nominal
    - 2.5.2.1. ensaio de aquecimento
  - 2.5.3. Velocidade nominal e velocidade máxima

**Disciplina** *Máquinas Eléctricas I*

**Ano** 2.<sup>o</sup>

**Semestre** 2.<sup>o</sup>

**Ano lectivo** 2005/2006

- 2.5.3.1. ensaio de embalamento
- 2.5.4. Capacidade
  - 2.5.4.1. em corrente alternada monofásica
  - 2.5.4.2. em corrente alternada trifásica
- 2.5.5. Carga, carga nominal e factor ou fracção de carga
- 2.5.6. Queda de tensão; Queda de tensão nominal
  - 2.5.6.1. no domínio temporal
  - 2.5.6.2. no domínio espacial
- 2.5.7. Regulação
- 2.6. Perdas. Rendimento. Problema económico de redução das perdas
  - 2.6.1. Generalidades sobre rendimento e economia
  - 2.6.2. O problema económico da utilização de uma máquina
  - 2.6.3. Natureza das perdas
    - 2.6.3.1. Eléctricas
    - 2.6.3.2. Magnéticas
      - 2.6.3.2.1.A histerése
      - 2.6.3.2.2. Correntes de Eddy Foucault
    - 2.6.3.3. Mecânicas
      - 2.6.3.3.1. Por atritos mecânicos
      - 2.6.3.3.2. Por arrastamento do fluído envolvente

### 3. Princípio de funcionamento dos dínamos

- 3.1. Constituição das Máquinas dinamoeléctricas
  - 3.1.1. O induzido
  - 3.1.2. O colector
  - 3.1.3. O indutor
    - 3.1.3.1. Enrolamentos
    - 3.1.3.2. Constituição e materiais utilizados
    - 3.1.3.3. As expansões polares
  - 3.1.4. A carcaça
  - 3.1.5. O rotor
- 3.2. Noções rudimentares sobre dínamos
  - 3.2.1. Conceito de linha neutra geométrica
  - 3.2.2. Forma do campo magnético indutor
  - 3.2.3. Enrolamento em Anel de Gramme e em tambor
  - 3.2.4. Força electromotriz de um dínamo
  - 3.2.5. Fenómeno de Reacção do Induzido
  - 3.2.6. Ângulo de avanço da linha neutra em carga, ou ângulo de calagem de escovas
  - 3.2.7. Noção de pólos de comutação auxiliares e de enrolamentos de compensação
  - 3.2.8. Dínamos multipolares
  - 3.2.9. Força electromotriz nos dínamos multipolares
  - 3.2.10. Potência de um dínamo
  - 3.2.11. Tipos de enrolamentos do induzido
    - 3.2.11.1. Enrolamento em derivação ou imbricado
    - 3.2.11.2. Enrolamento em série ou ondulado
  - 3.2.12. Noção de via, secção, multiplicidade de enrolamento, multiplicidade de fecho
  - 3.2.13. Noção de Passo Polar, Passo de Ligação e Passo Resultante
  - 3.2.14. Força electromotriz do dínamo em função do tipo de enrolamento
  - 3.2.15. Coeficiente K de fugas magnéticas (ou coeficiente de Hopkinson)
  - 3.2.16. Influência das expansões polares e da espessura de entreferro no coeficiente de fugas
- 3.3. Tipos de excitação de Dínamos
  - 3.3.1. Excitação Separada

Disciplina *Máquinas Eléctricas I*

Ano 2.<sup>o</sup>

Semestre 2.<sup>o</sup>

Ano lectivo 2005/2006

- 3.3.2. Auto-excitação
  - 3.3.2.1. Shunt
  - 3.3.2.2. Série
  - 3.3.2.3. Compound
    - 3.3.2.3.1. aditivo
    - 3.3.2.3.2. diferencial
- 3.4. Condições limite de excitabilidade de dínamos
  - 3.4.1. A excitação óptima
  - 3.4.2. A resistência de carga crítica
- 3.5. Curvas características dos dínamos em excitação separada
  - 3.5.1. Característica interna ou em vazio  $E_0(i)$
  - 3.5.2. “ de quedas de tensão  $E_0-U=f(I)$ 
    - 3.5.2.1. Influência da saturação nas quedas de tensão
  - 3.5.3. Característica de carga  $I(i)$
  - 3.5.4. “ de regulação  $i(I)$
  - 3.5.5. “ externa  $U(I)$
- 3.6. Estudo do andamento das curvas características para a situação de auto-excitação
  - 3.6.1. Construção de “PICOU” para o traçado da característica externa do dínamo shunt
- 3.7. Estabilidade de funcionamento dos dínamos com variações de carga
  - 3.7.1. Condições limite de estabilidade
  - 3.7.2. Resistência crítica de funcionamento
- 3.8. Aplicações dos vários tipos de dínamos
- 3.9. Rendimento dos dínamos
- 3.10. Agrupamento de dínamos
  - 3.10.1. em série
  - 3.10.2. em paralelo
- 3.11. Estabilidade interna e externa de funcionamento do paralelo de dínamos
- 3.12. Barra de compensação
- 3.13. Agrupamento em serviço

#### 4. Princípio de funcionamento da Máquina Síncrona

- 4.1. Estudo da Máquina Síncrona como gerador (Alternador)
  - 4.1.1. Constituição interna e princípio de funcionamento do alternador
    - 4.1.1.1. comparação com o funcionamento do dínamo
  - 4.1.2. Classificação do alternador
    - 4.1.2.1. Induzido fixo e indutor móvel e vice-versa
    - 4.1.2.2. n.º de fases
    - 4.1.2.3. n.º de pólos
    - 4.1.2.4. Tipo de rotor
      - 4.1.2.4.1. Pólos lisos
      - 4.1.2.4.2. Pólos salientes
  - 4.1.3. Funcionamento do alternador monofásico bipolar e tetrapolar
  - 4.1.4. funcionamento do alternador bifásico e trifásico
    - 4.1.4.1. ligação em estrela a três e quatro condutores
    - 4.1.4.2. ligação em triângulo
  - 4.1.5. Expressão da força electromotriz do alternador
  - 4.1.6. Regulação da frequência e da força electromotriz do alternador
  - 4.1.7. Arranque de um alternador
  - 4.1.8. Curvas características do alternador
    - 4.1.8.1. Característica em vazio
      - 4.1.8.1.1. “ em curto-circuito simétrico
      - 4.1.8.1.2. “ em carga

**Disciplina** *Máquinas Eléctricas I*

**Ano** 2.<sup>o</sup>

**Semestre** 2.<sup>o</sup>

**Ano lectivo** 2005/2006

- 4.1.9. Diagrama de carga do alternador (Método de Behn-Eschemburg)
- 4.1.10. Noção de reactância síncrona e de impedância síncrona
  - 4.1.10.1. Importância da reactância síncrona no estudo do alternador
- 4.1.11. Variação da tensão aos terminais do alternador com a corrente e com o factor de potência
- 4.1.12. Potência de um alternador
  - 4.1.12.1. monofásico
  - 4.1.12.2. trifásico em regime equilibrado
- 4.1.13. Rendimento do alternador
- 4.1.14. Associação em paralelo de alternadores (monofásicos e trifásicos)
  - 4.1.14.1. Paralelo da máquina síncrona com a rede
- 4.1.15. Distribuição da carga por cada um dos alternadores em paralelo
- 4.1.16. O sincronoscópio
- 4.2. Estudo da máquina síncrona como motor
  - 4.2.1. Reversibilidade da máquina síncrona
  - 4.2.2. Velocidade da máquina síncrona
  - 4.2.3. Ligação da máquina síncrona à rede
  - 4.2.4. Diagrama vectorial do motor síncrono
  - 4.2.5. Potência absorvida pelo motor trifásico
  - 4.2.6. Característica I(i), a potência útil constante
  - 4.2.7. Curvas de Mordey
  - 4.2.8. Sentido de rotação do motor síncrono
  - 4.2.9. A máquina síncrona como compensador do factor de potência da rede (Compensador síncrono)

#### **BIBLIOGRAFIA:**

1. Apontamentos teóricos da cadeira. (Sebenta)
2. "Electric Machinery Fundamentals - 3<sup>rd</sup> edition", Stephen J. Chapman,
3. "Electric Machinery - 2<sup>nd</sup> edition", Peter F. Ryff - Prentice Hall International Editions
4. "Máquinas Eléctricas - Introdução às máquinas eléctricas de corrente contínua", Diogo de Paiva Leite Brandão - Fundação Calouste Gulbenkian.
5. "Guia de Laboratório de Electricidade", José Matias - Didáctica Editora
6. "Máquinas Eléctricas", Vol. I e II, Kostenko - Edições Lopes da Silva
7. "Máquinas Eléctricas", A. E. Fitzgerald - McGraw-Hill
8. "Máquinas Eléctricas - Problemas resolvidos e propostos", Syed A. Nasar - Colecção Schaum - McGraw-Hill.
9. "Máquinas eléctricas" Jesus Fraile Mora, McGraw-Hill editora
10. "electrical machines, drives and Power systems" theodore wildi,