

Ministério da Educação

Direcção – Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular

Ensino Recorrente de Nível Secundário

Programa

de

Práticas Laboratoriais de Electrotecnia/Electrónica

(de acordo com a disciplina de especificação de Práticas de Instalações Eléctricas)

12º Ano

Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica

Autores:

Henrique Gante

José Gregório

Adaptado a partir do programa elaborado por:

José Manuel Guerreiro Gregório (Coordenador)

Rogério Barros Baldaia

José Virgílio Faria Pires

António José Coelho Henriques

Homologação

26/12/2006

Índice

| | |
|---|----|
| I – Introdução..... | 3 |
| II – Visão geral dos módulos/conteúdos..... | 4 |
| III – Desenvolvimento do Programa..... | 5 |
| Módulo 7 | 5 |
| Módulo 8 | 12 |
| Módulo 9 | 22 |
| IV – Bibliografia Geral..... | 24 |

I. INTRODUÇÃO

A disciplina de Práticas Laboratoriais de Electrotecnia e Electrónica é, como já se referiu, uma disciplina trienal do Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica do ensino secundário recorrente, onde se procedeu à exploração de hipóteses pela experimentação laboratorial e pela utilização da simulação em computador, funcionando de forma intimamente relacionada com a disciplina de Sistemas Analógicos e Digitais de modo a dar suporte experimental à conceptualização teórica, não só demonstrando e confirmando a teoria mas sobretudo antecipando-a através do método indutivo.

Esta disciplina visou, ao longo dos 10º e 11º anos, o conhecimento dos processos de produção, transporte e distribuição da energia eléctrica, das leis gerais do circuito eléctrico, do magnetismo, do electromagnetismo e da corrente alternada e ainda o funcionamento dos circuitos básicos com condensadores, díodos e transístores, bem como o início do estudo dos amplificadores operacionais e dos sistemas digitais.

O programa do 12º ano visa, agora, o desenvolvimento do estudo dos sistemas trifásicos, das máquinas eléctricas, da electrónica de potência e da variação e regulação de velocidade/travagem.

Na gestão dos tempos lectivos considerou-se de igual modo, como nos anos precedentes, um total anual de 33 semanas, correspondentes a 66 tempos lectivos de 90 minutos cada. Esta carga horária contempla os necessários tempos lectivos destinados ao desenvolvimento das aprendizagens, das actividades experimentais ou prática simulada. O tempo restante, contemplado no calendário lectivo, destina-se à avaliação e a situações imprevistas. A atribuição da carga horária teve em atenção o desenvolvimento dos diferentes temas e o grau de aprofundamento atribuído à abordagem de cada conteúdo. A sugestão da forma como a carga horária poderá ser distribuída, com os tempos lectivos entre parêntesis, deve ser tomada como referência para a planificação das actividades lectivas, podendo ser alterada em função das diversas formas de abordagem, do processo ensino-aprendizagem e das actividades desenvolvidas.

II. Visão geral dos módulos/conteúdos

O programa do 12º ano está estruturado com base nos seguintes módulos e temas:

- **Módulo 7 – Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas**
 - 7.1 – Funcionamento de um Laboratório de Máquinas Eléctricas
 - 7.2 – Sistemas Trifásicos
 - 7.3 – Transformadores
 - 7.4 – Máquinas Eléctricas de Corrente Alternada

- **Módulo 8 – Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência**
 - 8.1 – Alternador Trifásico
 - 8.2 – Motores de corrente contínua
 - 8.3 – Electrónica de Potência
 - 8.4 – Rectificação monofásica controlada
 - 8.5 – Rectificação Trifásica

- **Módulo 9 – Variação e Regulação de Velocidade / Travagem**
 - 9.1 – Variação e Regulação de velocidade
 - 9.2 – Travagem de Motores Assíncronos

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|---|-----------------------------|
| <p>7.1 – Funcionamento de um laboratório de máquinas eléctricas</p> <p>7.1.1 - Descrição da constituição do laboratório</p> <p>– Localização do equipamento.</p> <p>7.1.2 - Regras e normas a cumprir na realização dos trabalhos práticos.</p> | <p>– Identificar o equipamento do laboratório.</p> <p>– Conhecer o processo de execução dos trabalhos em todas as suas fases.</p> <p>– Conhecer e praticar normas elementares de segurança.</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>Nota – Embora nem todas as actividades lectivas propostas no programa decorram obrigatoriamente num laboratório de máquinas eléctricas, a grande maioria das regras, normas e procedimentos a observar, são comuns a todos os laboratórios, pelo que se pode considerar universal o conteúdo deste primeiro ponto do programa.</p> </div> <p>– Enumerar os cuidados a ter com a manipulação dos diferentes equipamentos.</p> <p>– Sensibilizar para uma utilização racional dos equipamentos e aparelhos de medida.</p> <p>– Conhecer antecipadamente os trabalhos a realizar.</p> <p>– Elaborar, antecipadamente, os planos dos trabalhos.</p> | <p>22</p> <p>(1)</p> |

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|--|------------------|
| <p>7.2 – Sistemas trifásicos</p> <p>7.2.1- Sistemas trifásicos equilibrados</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ligação em estrela. – Ligação em triângulo. <p>7.2.2 - Sistemas trifásicos desequilibrados</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ligação em estrela. <p>7.2.3 - Verificação experimental da compensação do factor de potência</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Identificar sistemas trifásicos (geradores e receptores). – Efectuar montagens, em estrela e em triângulo de receptores monofásicos. – Medir grandezas eléctricas. – Relacionar as diferentes grandezas eléctricas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tensões simples e compostas. ▪ Correntes nos receptores e nas linhas de alimentação. – Determinar a potência trifásica para cada uma das montagens. – Identificar e descrever o Método de Aaron (dos 2 Wattímetros) para medir a potência trifásica. – Verificar experimentalmente o deslocamento do neutro (estrela desequilibrada). – Verificar experimentalmente a compensação do factor de potência (Método de Boucherot). | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>Nota: As indicações que se seguem pressupõem uma leitura prévia das sugestões metodológicas gerais feitas na apresentação do programa do 10º ano e que não são aqui repetidas por uma questão de simplificação do texto. Devem, no entanto, estar sempre presentes na gestão do programa. Assim, o professor deve ter o cuidado de, a cada passo, discernir a importância relativa dos assuntos, centrar o processo de aprendizagem na actividade dos alunos, diferenciar os métodos de acordo com as características daqueles, diversificar o tipo de actividades laboratoriais, lançar constantes desafios de reflexão e de discussão, aplicar continuamente uma avaliação formativa apoiada em instrumentos adequados.</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> – Efectuar o ensaio das montagens, quer em estrela quer em triângulo, medindo intensidades de corrente, tensões e potências – Efectuar a medida da potência trifásica, utilizando um Wattímetro trifásico e dois Wattímetros (Método de Aaron). – Explorar a situação da montagem em estrela desequilibrada (falta de fase, carga desequilibrada com e sem neutro). | <p>(6)</p> |

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|--|--|------------------|
| <p>7.3 – Transformadores</p> <p>7.3.1 - Transformador monofásico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observação de características. - Ensaio do transformador: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensaio em vazio. ▪ Ensaio em curto-circuito. | <ul style="list-style-type: none"> - Descrever as características observadas. - Determinar a polaridade dos enrolamentos. - Medir, com o secundário em vazio, as tensões no primário e secundário, a corrente e a potência no primário. - Determinar a relação de transformação em vazio do transformador. - Relacionar a potência medida em vazio com as potências de perdas essenciais nesse estado. - Realizar o ensaio em curto-circuito para medir as correntes no primário e no secundário, a tensão e a potência no primário. - Relacionar a potência medida em curto-circuito com as potências de perdas essenciais nesse estado. | <ul style="list-style-type: none"> - Sugere-se que no início do estudo do transformador seja efectuada uma visita breve a um posto de transformação, eventualmente o da escola, com o objectivo de observar o transformador de potência, recolher as suas características e situá-lo na instalação. - Realizar o ensaio em vazio à tensão nominal, determinando a corrente de magnetização (I_0) e a potência activa absorvida com o transformador em vazio (P_0). - Recomenda-se, na realização do ensaio em curto-circuito, a utilização de uma tensão inferior à tensão nominal que permita obter no secundário a corrente nominal. - Os resultados dos ensaios e os valores das grandezas obtidos devem sobretudo ter uma abordagem e tratamento físico. | <p>(7)</p> |

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|--|--|------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Queda de tensão num transformador. ▪ Determinação do rendimento do transformador. – Paralelo de transformadores monofásicos. | <ul style="list-style-type: none"> – Identificar a tensão de curto-circuito. – Identificar a impedância de curto-circuito. – Identificar o factor de potência em curto-circuito. – Medir a potência útil e a absorvida para diversas cargas (a 0,25 – 0,50 – 0,75 – 1 do valor nominal), com factores de potência diferentes (carga resistiva, indutiva e capacitiva). – Determinar a correspondência entre as polaridades dos enrolamentos primário e secundário. – Ligar transformadores em paralelo e observar a distribuição da carga de acordo com as potências nominais dos transformadores. | <ul style="list-style-type: none"> – Abordar graficamente o conceito de queda de tensão. – Referir que a determinação do rendimento pelo método directo não é recomendável para médios e grandes transformadores. – Para a determinação directa do rendimento sugere-se a utilização de módulos didácticos de carga resistiva, indutiva e capacitiva. | |

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|---|---|---|------------------|
| <p>7.3.2 - Transformador trifásico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observação e características. - Constituição. - Grupos de ligação. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Índice horário. ▪ Relação de transformação. - Paralelo de transformadores trifásicos. <p>7.3.3 - Transformadores especiais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Autotransformador. - Transformadores de medida: <ul style="list-style-type: none"> ▪ de intensidade. ▪ de tensão. | <ul style="list-style-type: none"> - Identificar e descrever as grandezas indicadas na chapa de características. - Realizar as montagens correspondentes aos diferentes grupos de ligação (Yy, Dy e Yz). - Determinar o índice horário correspondente aos grupos de ligação mais usuais. - Verificar a relação de transformação para as várias hipóteses de ligação de transformadores trifásicos. - Verificar as condições que dois transformadores devem ter, para poderem ser colocados em paralelo. - Realizar o paralelo de dois transformadores trifásicos e verificar a distribuição da carga pelos dois. - Identificar e interpretar as características indicadas na chapa de características. - Realizar montagens com transformadores de medida de intensidade. | <ul style="list-style-type: none"> - De acordo com a sugestão de visitar, no início do estudo do transformador, um PT real (da escola ou outro), observar, identificar e descrever as características do transformador trifásico. - Para os ensaios sugere-se a utilização de um transformador trifásico com 6 enrolamentos por coluna e 190 V por enrolamento, de forma a permitir realizar os diferentes tipos de ligação na nossa rede de BT, preferencialmente didáctico e eventualmente construído para o efeito. - Sugere-se que se relembrem os conceitos ligados com as f.e.m. induzidas, tensões nos enrolamentos, o seu sentido e concordância. - Utilizar a representação gráfica para a determinação do índice horário. - Na visita sugerida ao PT, identificar e descrever as características dos transformadores de medida. - Sugere-se a consulta de documentação técnica. | |

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|--|---|------------------|
| <p>7.4 – Máquinas eléctricas de corrente alternada</p> <p>7.4.1 - Motor assíncrono trifásico</p> <ul style="list-style-type: none"> – Observação e características. – Constituição. – Ensaio do motor assíncrono: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensaio em vazio. ▪ Ensaio em carga. | <ul style="list-style-type: none"> – Identificar a máquina e descrever a sua constituição. Observar a chapa de características. – Observar a placa de terminais. Identificar os terminais. – Identificar os modos de ligação dos enrolamentos do estator. – Verificar experimentalmente alguns processos de arranque (autotransformador, arranque estrela-triângulo e arranque rotórico). – Determinar as perdas constantes (perdas por histerese e de Joule, no ferro e perdas por atrito). – Verificar a corrente de arranque do motor de rotor em gaiola, em vazio e com carga mesmo reduzida, com a tensão nominal aplicada. – Verificar a variação da velocidade, do rendimento e do factor de potência, com a carga mecânica. | <ul style="list-style-type: none"> – Devem ser observadas máquinas monofásicas e trifásicas, bem como máquinas de rotor em gaiola ou rotor bobinado. – A máquina assíncrona a ensaiar deve ser trifásica. – Referir as disposições regulamentares no que se refere ao arranque destes motores. – No caso do motor de rotor bobinado, fazer a analogia com o transformador, verificando, após rotação, a variação da tensão aos terminais do rotor, com este aberto. – Referir a possibilidade de regulação de velocidade de um motor de indução trifásico através de um reóstato inserido no circuito rotórico. – Utilizar, se possível, um dínamo-freio ou um freio de Prony com dinamómetro para medir o binário resistente. – Referir a possibilidade de funcionamento da máquina assíncrona como gerador, não necessitando de manobra especial de sincronização com a linha. | <p>(8)</p> |

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|---|---|--|------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> – Motor monofásico com condensador. Ensaio. – Outros motores monofásicos com colector. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Motor universal. ▪ Motor de repulsão. ▪ Motor de pólo dividido e anel em curto-circuito. ▪ Motor série repulsão compensado. | <ul style="list-style-type: none"> – Descrever o princípio de funcionamento. – Realizar o arranque do motor monofásico. – Realizar a inversão do sentido de rotação. – Determinar algumas características eléctricas. – Identificar situações de utilização. – Identificar outros motores monofásicos. – Descrever o seu princípio de funcionamento. – Comparar as características electromecânicas. – Identificar situações de aplicação. | <ul style="list-style-type: none"> – Referir que o motor monofásico não arranca espontaneamente. – Apresentar os motores monofásicos mais frequentes nos accionamentos de pequena potência. – Referir as situações de aplicação de cada um dos motores. | |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|---|-----------------------------|
| <p>8.1 - Alternador trifásico</p> <p>8.1.1 - Constituição. Características</p> <p>8.1.2 - Ensaios do alternador:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensaio em vazio. - Ensaio com carga. - Funcionamento em curto-circuito. - Reactância síncrona. <p>8.1.3 - Ligação do alternador à rede</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Identificar a máquina e descrever a sua constituição. - Observar a chapa de características. - Observar a placa de terminais. Identificar os terminais. - Traçar a característica em vazio do alternador. - Traçar a característica externa do gerador síncrono com diferentes cargas. - Interpretar o funcionamento em curto-circuito. - Caracterizar em função da corrente de excitação a reactância síncrona. - Caracterizar as curvas de regulação. - Identificar e verificar as condições que o alternador deve ter, para se efectuar o paralelo com a rede. - Efectuar o paralelo de um alternador com a rede. | <ul style="list-style-type: none"> - A máquina síncrona a ensaiar deve ser trifásica. - No decorrer dos ensaios é necessário que a velocidade do alternador permaneça inalterada. - Referir os factores relativos a cada fase que contribuem para a queda de tensão. - Referir e verificar que se trata da curva de magnetização. - Verificar e justificar que a corrente de curto-circuito de um gerador síncrono tem variação linear. - Sugere-se uma verificação experimental do comportamento do grupo motor-gerador a uma alteração da potência pedida pela rede. - Caracterizar de forma sucinta o que são as curvas de regulação ($U \neq 0$), indicar os processos de as obter (montagem experimental – carga óhmica, e método gráfico – outras cargas) e a informação que obtemos. - Referir a sequência de manobras para fazer o paralelo do alternador com a rede. - Este ensaio poderá ser realizado directamente no quadro de ensaios e com um sincronoscópio, se a escola possuir esse recurso. | <p>22</p> <p>(5)</p> |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|---|------------------|
| <p>8.1.4 - Funcionamento da máquina síncrona como motor</p> <p>8.1.5 - Outros motores síncronos:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Motores síncronos monofásicos sem rotação pré-determinada. – Motores síncronos monofásicos com inversão de marcha eléctrica. <p>8.1.6 - Avarias das máquinas de corrente alternada</p> <ul style="list-style-type: none"> – Alternadores: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de tensão. ▪ Tensão inferior à normal. ▪ Aquecimento excessivo. – Motor de indução trifásico: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Não arranca. ▪ Não atinge a velocidade normal. ▪ Arranca com dificuldade, “ronca” e aquece. ▪ Aquece exageradamente. | <ul style="list-style-type: none"> – Observar o comportamento da máquina como motor. – Identificar diferentes situações de funcionamento. – Identificar este tipo de motores. – Descrever sucintamente a constituição, o funcionamento e as características dos vários motores. – Identificar situações práticas de utilização. – Identificar os principais defeitos de funcionamento dos alternadores. – Relacionar os defeitos de funcionamento com as respectivas causas. – Identificar os principais defeitos de funcionamento dos motores de indução trifásicos. – Relacionar os defeitos de funcionamento com as respectivas causas. | <ul style="list-style-type: none"> – Este ensaio poderá também ser realizado na sequência do anterior. – Referir as inúmeras aplicações na indústria, destes tipos de motores. – Apresentar documentação técnica. – Enumerar as principais causas das avarias das máquinas de corrente alternada. – Referir os principais cuidados gerais a ter com as máquinas eléctricas (limpas, secas, enrolamentos sem humidade ou sujidade, terminais, parafusos ou porcas de ligação limpos e apertados). – Referir algumas rotinas de manutenção. | |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|---|------------------|
| <p>8.2 - Motores de corrente contínua</p> <p>8.2.1 - Constituição. Características</p> <p>8.2.2 - Curvas características</p> <ul style="list-style-type: none"> - Electromecânicas. - Mecânicas. <p>8.2.3 - Motor de excitação derivação</p> <ul style="list-style-type: none"> - Característica de velocidade. - Característica de binário. | <ul style="list-style-type: none"> - Identificar a máquina e descrever a sua constituição. Observar a chapa de características. - Observar a placa de terminais. Identificar os terminais. - Explicar a reversibilidade da máquina de corrente contínua. - Identificar as grandezas eléctricas e mecânicas que intervêm no funcionamento do motor. - Relacionar as diferentes variáveis eléctricas e mecânicas. - Efectuar a montagem que permite o traçado da curva característica de velocidade. - Relacionar a velocidade com as grandezas eléctricas, tensão, corrente absorvida e fluxo magnético (corrente de excitação). - Efectuar a montagem que permite o traçado da curva característica de binário. - Efectuar o traçado da característica mecânica (binário/velocidade) com base nos valores obtidos para o traçado das características anteriores. | <ul style="list-style-type: none"> - O aluno deve compreender o comportamento dos diferentes motores, de modo a permitir a sua escolha para determinada aplicação. - Indicar que, tal como na máquina de corrente contínua a funcionar como gerador, analisamos as características supondo a velocidade constante, imposta pelo motor de accionamento. Agora, a funcionar como motor, a variável independente da máquina é a tensão, que se supõe constante, fornecida por uma rede com uma potência muito maior que a da máquina, cujas variações de carga não a afectam. - Analisar as características mais importantes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Características electromecânicas. ▪ Características mecânicas. - Referir que, sendo a velocidade sensivelmente constante com a carga, pode afirmar-se que o motor derivação é autotregulador no que diz respeito à velocidade. | <p>(6)</p> |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|--|---|------------------|
| <p>8.2.4 - Motor série</p> <ul style="list-style-type: none"> – Característica de velocidade. – Característica de binário. <p>8.2.5 - Motor Compound</p> <p>8.2.6 - Motores especiais</p> <ul style="list-style-type: none"> – Motor passo-a-passo. – Motor de corrente contínua sem escovas. | <ul style="list-style-type: none"> – Efectuar as ligações que permitem a utilização da máquina como motor série. – Efectuar a montagem que permite o traçado das curvas características de velocidade e de binário. – Interpretar as curvas características tendo presente as expressões da velocidade e do binário electromagnético do motor. – Efectuar as ligações que permitem a utilização da máquina como motor compound. – Efectuar a montagem que permite o traçado das curvas características de velocidade e de binário. – Interpretar as curvas características tendo presente as expressões da velocidade e do binário electromagnético do motor. – Identificar este tipo de motores. – Descrever as suas principais características eléctricas. – Identificar os terminais de ligação. – Identificar situações de utilização. | <ul style="list-style-type: none"> – Indicar que no motor série não é conveniente trabalhar em vazio, já que o motor tende a embalar, com risco de se danificar. – Em vez de começar o ensaio com o motor em vazio, iniciá-lo com uma certa carga, que de seguida se varia gradualmente. – Sugere-se que se faça uma análise comparativa dos motores derivação e série no que diz respeito ao comportamento da velocidade e do binário. – Sugere-se que sejam mostradas montagens já realizadas com estes tipos de motores que permitam a sua identificação, e descrever o controlo de funcionamento. – É importante a consulta de catálogos com informação técnica. | |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|---|------------------|
| <p>8.2.7 - Avarias das máquinas de corrente contínua</p> <ul style="list-style-type: none"> - Defeitos de funcionamento dos motores de corrente contínua. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Não arranca. ▪ Desarvora. ▪ Arcos eléctricos no colector. ▪ Aquecimento exagerado. | <ul style="list-style-type: none"> - Identificar os principais defeitos de funcionamento dos motores de corrente contínua. - Relacionar os defeitos de funcionamento com as respectivas causas. | <ul style="list-style-type: none"> - Enumerar as principais causas das avarias dos motores de corrente contínua. - Relembrar os principais cuidados gerais a ter com as máquinas eléctricas (devem estar permanentemente limpas, secas, enrolamentos sem humidade ou sujidade, terminais, parafusos ou porcas de ligação limpos e apertados). - Referir a importância de manter, nas máquinas de corrente contínua, a superfície do colector bem limpa, lisa e concêntrica com o veio. | |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|--|--|------------------|
| <p>8.3 – Electrónica de potência</p> <p>8.3.1 - Característica do UJT</p> <p>8.3.2 - Oscilador de relaxação com UJT</p> <p>8.3.3 - Característica do tiristor</p> <p>8.3.4 - Controlo de potência num receptor com oscilador de relaxação</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Identificar o componente fisicamente e nas suas formas correntes. – Visualizar no osciloscópio e interpretar a característica de um UJT. – Analisar o funcionamento de oscilador de relaxação. – Analisar o comportamento do tiristor em regime estático (condução, corte e bloqueio). – Medir as correntes mínimas de disparo e de manutenção. – Verificar a comutação do tiristor do estado de condução para o estado de bloqueio. – Observar a comutação do tiristor do estado de bloqueio para o estado de condução. – Verificar, experimentalmente, o controlo de um tiristor através dos impulsos gerados por um transístor UJT, sincronizado com o sinal da rede. – Identificar e determinar os ângulos de disparo e de condução. | <ul style="list-style-type: none"> – Consultar manuais técnicos específicos para identificar parâmetros importantes na utilização do componente, bem como valores limites de funcionamento. – É indispensável, no estudo experimental dos componentes electrónicos, a utilização segura do osciloscópio, pelo que a sua manipulação e controlo deve ser revista. – Sugere-se uma montagem simples de um tiristor (TIC 106) num circuito de corrente contínua, com uma fonte de alimentação variável e a utilização de uma lâmpada, para controlo de funcionamento, e dois miliamperímetros para medir as correntes mínimas da porta e de manutenção. – Referir o efeito no ângulo de disparo para diferentes valores da corrente de porta. – Realizar o controlo de velocidade de um pequeno motor de c.c.. | <p>(4)</p> |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|---|---|---|------------------|
| 8.3.5 - Controlo de potência num receptor com malha RC | <ul style="list-style-type: none">– Verificar e registar o efeito do controlo de potência com um tiristor através da utilização de uma malha desfasadora RC. | <ul style="list-style-type: none">– Utilizar uma PTC e uma NTC para controlar o ângulo de disparo.– Se for julgado conveniente, poderá realizar-se um outro circuito de aplicação do componente no controlo de uma tensão alternada. O controlo do tiristor poderá fazer-se através de uma corrente contínua na porta.– Se for o caso, a montagem deve ser demonstrativa, realizada e explorada pelo professor. | |
| 8.3.6 - Circuitos integrados de disparo para comutação | <ul style="list-style-type: none">– Identificar alguns circuitos integrados para comutação.– Identificar e relacionar as variáveis que determinam a duração do impulso e o ângulo de disparo.– Observar as diversas formas de onda. | <ul style="list-style-type: none">– Tendo em consideração a utilização generalizada dos circuitos com tiristores e a variedade dos respectivos circuitos de disparo, referir o fabrico e a utilização de diversos circuitos integrados de disparo, com o objectivo de simplificar o projecto de circuitos de comutação.– Sugere-se que, com uma montagem simples, se realize um gerador de impulsos com o CI TCA785. | |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|---|------------------|
| <p>8.4 - Rectificação monofásica controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Meia onda. - Onda completa. - Rectificação industrial. - Escolha dos rectificadores. - Controlo da velocidade da máquina de corrente contínua (quatro quadrantes). - Ponte mista unidirecional (2 tiristores e 2 díodos). - Ponte completa unidirecional (4 tiristores). - Dupla ponte completa reversível (8 tiristores). | <ul style="list-style-type: none"> - Analisar e verificar, experimentalmente, o controlo de potência numa montagem de meia onda e de onda completa, com um tiristor através de um circuito gerador de impulsos. - Identificar as formas de onda (carga e componente). - Descrever as características principais do funcionamento de uma máquina de corrente contínua nos quatro quadrantes. - Identificar os limites tecnológicos dos rectificadores, indicados pelos fabricantes. - Descrever e analisar o funcionamento das montagens (circuito de potência) no controlo do funcionamento (velocidade-binário), do motor de corrente contínua. | <ul style="list-style-type: none"> - Considerar tiristores no controlo dos circuitos rectificadores. - Realizar montagens experimentais para verificação do controlo de potência de meia onda e de onda completa, por tiristor, através da variação do ângulo de condução e utilizando um circuito gerador de impulsos (uma malha desfasadora RC ou outro). - Utilizar o osciloscópio ou um simulador para a visualização da evolução da tensão na carga e no tiristor. - Referir a rectificação industrial como uma das funções da electrónica de potência e o seu aspecto mais relevante, que é o controlo duma potência elevada, no circuito de carga, através de uma potência mínima, no circuito de disparo do tiristor. - Referir os principais elementos de uma montagem rectificadora, uma fonte monofásica ou polifásica ligada através de rectificadores (díodos ou tiristores) a um circuito de utilização e eventualmente a uma fonte de tensão contínua, podendo este sistema funcionar como rectificador ou como ondulado. - Privilegiar, neste estudo, a construção das formas de onda de tensão e corrente. | <p>(5)</p> |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|--|------------------|
| <p>8.5 - Rectificação trifásica</p> <p>8.5.1 - Rectificação trifásica controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> – Montagem em estrela, meia onda. – Pontes mistas (3 tiristores e 3 díodos com diodo roda livre). – Dupla ponte completa (8 tiristores). | <ul style="list-style-type: none"> – Identificar os tiristores que estão em condução simultânea. – Descrever o funcionamento de um rectificador trifásico controlado de meia onda (ligação em estrela), utilizando tiristores como rectificadores. – Identificar a forma de onda da tensão na carga, em função do ângulo de disparo. – Descrever e analisar o funcionamento das montagens (circuito de potência) no controlo do funcionamento (velocidade-binário), do motor de corrente contínua nos 4 quadrantes. | <ul style="list-style-type: none"> – Breve referência às pontes mistas. – Referir a utilização das montagens com tiristores nos sistemas em anel de regulação da velocidade ou no controlo da temperatura. – Sugere-se a realização de uma montagem em estrela com um único grupo de rectificadores (cátodo comum). | <p>(2)</p> |

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|---|--|--|------------------|
| <p>8.5.2 - Característica do DIAC</p> <p>8.5.3 - Característica do TRIAC</p> <p>8.5.4 - Controlo de potência através de TRIAC num receptor</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Identificar fisicamente os componentes nas suas formas correntes e as suas principais características. – Determinar a característica de um DIAC. – Determinar, experimentalmente, as características estáticas (1° e 3° Q) de um TRIAC. – Identificar e determinar os ângulos de disparo e de condução. – Determinar, experimentalmente, a característica de comando (porta-terminal E1) de um TRIAC. – Analisar o controlo de potência (lâmpada de incandescência) através de um TRIAC, por variação do ângulo de condução, utilizando um circuito desfasador RC e um DIAC. – Determinar os ângulos (máximo e mínimo) de disparo. | <ul style="list-style-type: none"> – Analisar os componentes através da estrutura de junções que os constituem. – Sugere-se uma montagem simples de um TRIAC num circuito de corrente alternada, com um autotransformador e a utilização de uma lâmpada, para controlo de funcionamento, e dois miliamperímetros para medir as correntes mínimas da porta e de manutenção. – Utilizar um osciloscópio, para obter as tensões no TRIAC e na porta. – Observar as variações do ângulo de condução e de disparo. – Realizar o controlo de velocidade de um pequeno motor de c.a.. – Utilizar uma LDR e uma NTC para controlar o ângulo de disparo. – Referir a existência do QUADRIAC e as vantagens dos opto-acopladores. | |

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade – Travagem

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|---|--|---|------------------------------|
| <p>9.1 - Variação e regulação de velocidade</p> <p>9.1.1 - Identificação dos elementos que permitem a transmissão de energia mecânica (deslocamento angular ou linear da carga)</p> <p>9.1.2 - Variação electrónica de velocidade para motores eléctricos</p> <p>9.1.3 - Variadores de velocidade para motores de corrente alternada</p> <p>– Tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Onda de corrente. ▪ Modulação de amplitude. ▪ Modulação de largura de impulsos. <p>9.1.4 - Variadores de velocidade para motores de corrente contínua</p> <p>9.1.5 - Arranadores progressivos para motores de corrente alternada</p> | <ul style="list-style-type: none"> – Distinguir variação de regulação de velocidade e identificar as principais funções. – Identificar os elementos da cadeia cinemática. – Identificar os critérios tecnológicos ligados com a natureza da rede e o tipo de motor na escolha do variador, do seu calibre e quadrantes de funcionamento. – Verificar, experimentalmente, a utilização de conversores de frequência para motores de corrente alternada. – Identificar as principais características. – Verificar e ajustar as características de accionamento (relação tensão/frequência, compensação do escorregamento, etc.). – Identificar e descrever o esquema de potência de um conversor. – Verificar, experimentalmente, a utilização de conversores de frequência para motores de corrente contínua. – Identificar as principais características. – Identificar e descrever os esquemas de aplicação. – Verificar, experimentalmente, a utilização do arranador progressivo para arrancar e parar progressivamente os motores assíncrono. | <ul style="list-style-type: none"> – Deve ser feita, em conjunto com a disciplina de Sistemas Analógicos e Digitais do 12º ano, uma revisão dos conceitos fundamentais de Mecânica, nomeadamente os conceitos de velocidade, de binário (os diferentes binários opostos pelas máquinas), de potência, o estudo do movimento com diferentes situações de carga, o significado do funcionamento das máquinas nos quatro quadrantes, etc. – Referir os diferentes tipos de conversores de frequência. – Abordar a questão das avarias e manutenção neste tipo de equipamentos (informação técnica dos fabricantes). – Demonstrar a possibilidade de ajustar as rampas de aceleração e de travagem, a gama de frequências, e as velocidades programadas permitindo facilitar a adaptação do motor ao processo. – Referir os diversos parâmetros a ajustar em função do tipo do motor e da sua utilização (tempos de arranque e paragem, binário e arranques frequentes). | <p>22</p> <p>(14)</p> |

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade – Travagem

| Temas/Conteúdos | Objectivos | Sugestões metodológicas | Aulas de 90 min. |
|--|---|---|------------------|
| <p>9.2 – Travagem de motores assíncronos</p> <ul style="list-style-type: none"> – Contra-corrente. – Injecção de corrente contínua. – Funcionamento em hipersíncrono. – Outros processos de travagem. – Freio por correntes de Foucault. – Electro-freio. | <ul style="list-style-type: none"> – Identificar e descrever os diversos métodos de travagem. – Verificar experimentalmente alguns dos processos de travagem estudados. | <ul style="list-style-type: none"> – Relembrar as unidades utilizadas nestas grandezas. – Referir os redutores de velocidade, a sua utilidade, os seus tipos e as suas características. | <p>(8)</p> |

IV. Bibliografia Geral

Alain, H., Claude, N. & Michel, P. (1985). *Machines électriques. Électronique de puissance. Le Technicien Dunod*. Paris: Bordas.

(Recomendado para docentes).

Bellier, M. & Galichon, A. (1972). *Machines Électriques*. Paris: Delagrave.

(Recomendado para docentes).

Malvino, A. P. (1991). *Electrónica no Laboratório*. S. Paulo: McGraw-Hill.

(Recomendado para alguns trabalhos práticos de componentes electrónicos. Aconselhado aos docentes).

Martignoni, A. (1980). *Ensaio de Máquinas Eléctricas*. Porto Alegre: Brasil Ed. Globo.

(Contém roteiros de trabalhos laboratoriais de máquinas eléctricas que podem ser usados nas aulas).

Matias, J.V.C. (1988). *Guia de Laboratório de Electricidade*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Roteiros de trabalhos laboratoriais e provas de avaliação. Aconselhado a professores e alunos).

Niard, J. (1984). *Électronique, Terminal F3*. Paris: Nathan Technique.

(Recomendado para docentes).

Niard, J. (1985). *Machines électriques, Terminal F3*. Paris: Nathan Technique.

(Recomendado para docentes).

Pinto, A. & Caldeira, J. (1996). *Tecnologias, 12º Ano*. Porto: Porto Editora.

(Recomendado para o estudo dos componentes da electrónica de potência. Aconselhado aos alunos).

Pinto, A. & Caldeira, J. (1996). *Práticas Oficiais e Laboratoriais, 12º Ano*. Porto: Porto Editora.

(Recomendado para os trabalhos práticos dos componentes da electrónica de potência. Aconselhado aos alunos).

Pinto, L. M. V. & Vasconcelos, J. F. (1990). *A Utilização da Electricidade com toda a Segurança*. Porto: Ed. ASA.

(Estudo dos vários regimes de neutro aplicados à segurança e protecção de pessoas. Aconselhado a docentes e alunos).

Rodrigues, J. & Matias, J. (1984). *Transformadores*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para o aluno, no estudo dos transformadores).

Silva, V. (1991). *Trabalhos Práticos de Electrónica, 11º Ano*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para os trabalhos de transístores bipolares e de efeito campo. Aconselhado a docentes e alunos).

Silva, V. (1991). *Trabalhos Práticos de Electrónica, 12º Ano*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para os trabalhos de amplificadores operacionais – regulação)

Simon, A. (1987). *Cours de schémas d'Électricité*, Tomo 2. Paris: Éditions L'Élan Liège Eyrolles.

(Recomendado para o estudo da regulação de velocidade e travagem de motores assíncronos. Aconselhado aos docentes).

Télémeccanique (1988). *Électronique de puissance* (catálogo). Paris: autor.

(Estudo dos componentes da electrónica de potência. Aconselhado aos docentes).