



*43*

**INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR**  
**Escola Superior de Tecnologia de Tomar**  
**Departamento de Engenharia Electrotécnica**  
**Curso de Engenharia Electrotécnica**

**DISCIPLINA DE PROTECÇÃO E CONTROLO DE MOTORES**

4º Ano

**Regime:** Semestral (8º)

**Ano Lectivo:** 2003/2004

**Carga Horária:** 2T + 3P

**Docente:** Professor Adjunto José Filipe Correia Fernandes

---

**Objectivos:**

Pretende-se que os alunos compreendam os aspectos básicos da dinâmica dos accionamentos electromecânicos de velocidade variável.

Adaptar o modelo dinâmico do motor DC de excitação separada, quando este é alimentado por um conversor AC/DC ou conversor DC/DC.

Estudo do modelo dinâmico dos conversores AC/DC e dos conversores DC/DC.

Desenvolver os modelos dinâmicos da máquina assíncrona trifásica, com especial destaque para os modelos de base ao controlo vectorial.

Estudo de algumas técnicas de controlo vectorial.

**Programa:**

**1 – INTRODUÇÃO AOS ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS DE VELOCIDADE VARIÁVEL**

1.1 – Introdução

1.2 – Aspectos mecânicos

- Ampliação e redução de velocidade
- Comportamento elástico na transmissão

1.3 – Exigências de serviço e pontos de funcionamento

- Quadrantes de operação
- Funcionamento em regime dinâmico
- Limites de cada quadrante de funcionamento
- Estabilidade estática

**2 – MÁQUINAS ELÉCTRICAS E SEUS MODELOS DINÂMICOS**

2.1 – Máquinas de corrente contínua (DC)

- Controlo da velocidade de rotação em cadeia aberta de um motor DC

2.1.1 – Modelo dinâmico da máquina DC

- Comportamento dinâmico

## 2.2 – Máquinas assíncronas trifásicas

- Controlo da velocidade dum motor assíncrono trifásico - cadeia aberta

### 2.2.1 - Modelo dinâmico da máquina assíncrona trifásica

- Transformação de coordenadas
- Modelo da máquina assíncrona trifásica em coordenadas d,q
- Coordenadas  $(\alpha, \beta)_S$  no estator e  $(\alpha, \beta)_R$  no rotor
- Transformação de coordenadas  $\square\square$  móveis no rotor, a fixas no estator
- Transformação de coord.(s)  $(\alpha_S, \beta_S) \rightarrow (d_S, q_S); (\alpha_R, \beta_R) \rightarrow (d_R, q_R)$
- Referencial **d,q** e variáveis de estado  $\psi_S, \psi_R$

### 2.2.2 – Modelos dinâmicos para controlo vectorial de fluxo

- Referencial de fluxo estatórico. Variáveis de estado  $\psi_S, i_{d_S}, i_{q_S}$
- Referencial de fluxo rotórico. Variáveis de estado  $\psi_R, i_{d_S}, i_{q_S}$

## 3 – TÉCNICAS DE CONTROLO APLICADAS A ACCIONAMENTOS

### 3.1 – Introdução

### 3.2 – Análise dos sistemas de controlo

- Sistemas de 1ª ordem
- Sistemas de 2ª ordem

### 3.3 - Variador de velocidade em cadeia fechada

## 3 – TÉCNICAS DE CONTROLO APLICADAS A ACCIONAMENTOS (cont.)

### 3.4 – *Root-locus* e simplificação de funções de transferência (FT)

- *Root-locus* versus qualquer parâmetro
- Simplificação de funções de transferência

### 3.5 – Conversores estáticos de potência para motores DC

#### 3.5.1 – Conversores AC/DC

- Ponte monofásica semicontrolada
- Ponte monofásica controlada
- Rectificador trifásico controlado de ponto médio
- Ponte trifásica semicontrolada
- Ponte trifásica controlada

#### 3.5.2 – Modelação de conversores AC/DC, para regime dinâmico

#### 3.5.3 – Conversores DC/DC

- *Chopper* de 1 quadrante (ou do tipo A)
- Modelo dinâmico do *chopper*
- *Chopper* de 2 quadrantes (ou do tipo B)
- *Chopper* de 4 quadrantes

### 3.6 – Casos típicos de controlo com motores DC

- Regulação da corrente de excitação  $i_f$
- Regulação da corrente do induzido  $i_a$
- Controlo de velocidade (n)
- Efeito de  $K_D$  na resposta  $n(t)$
- Efeito de  $K_P$  no pico de corrente  $i_a$
- Regulação da velocidade n com controlo subordinado de  $i_a$
- Controlo, em simultâneo, de velocidade, n, e de corrente  $i_a$

## 4 – CONTROLO VECTORIAL DE FLUXO EM MOTORES ASSÍNCRONOS TRIFÁSICOS

### 4.1 – Introdução

### 4.2 – Controlo de velocidade por meio do controlo escalar $U_s/f$

- Revisão sobre onduladores de tensão
- Controlo de  $n$  com variações simultâneas de  $U_s$  e  $f$
- Variadores de velocidade com compensação do escorregamento
- Comando do motor com variação simultânea de  $f$  e de  $I_s$

### 4.3 – Controlo em orientação de campo (ou controlo vectorial)

- Controlo indirecto por meio de  $\square_R$
- Exemplos de aplicação do controlo indirecto baseado em  $\square_R$  e  $i_s$
- Parâmetros do controlador
- Comportamento dinâmico do observador  $\hat{\delta}(t)$
- Operação para velocidades superiores à nominal

### **Método de Avaliação:**

Nota Final= (Nota Frequência ou Nota Exame)\*2/3+Nota média dos trabalhos práticos\*1/3

### **Bibliografia:**

Acetatos de "Protecção e Controlo de Motores"

"Accionamentos Electromecânicos de Velocidade Variável" - João Palma - Fundação Calouste Gulbenkian

O Docente,

*José Fernandes*  
PROFESSOR ADJUNTO: JOSÉ FILIPE CORREIA FERNANDES