

SUMÁRIO

Capítulo 1 - UJT ou TUJ *ok*

- 1.1 - Introdução, 1
- 1.2 - Estrutura Interna, 1
- 1.3 - Símbolo, 1
- 1.4 - Circuito Equivalente, 2
- 1.5 - Identificação dos Terminais, 3
- 1.6 - Polarização do UJT, 3
- 1.7 - Funcionamento, 3
- 1.8 - Curva Característica, 5
- 1.9 - Definição de Parâmetros, 5
- 1.10 - Oscilador de Relaxação, 6
- 1.11 - Função dos Componentes do Oscilador de Relaxação, 7
- 1.12 - Cálculo do Oscilador de Relaxação, 8

Capítulo 2 - PUT ou TUP

- 2.1 - Introdução, 14
- 2.2 - Estrutura Interna, 14
- 2.3 - Circuitos Equivalentes, 14
- 2.4 - Identificação dos Terminais, 15
- 2.5 - Polarização e Condução, 16
- 2.6 - Oscilador de Relaxação, 17
- 2.7 - Circuito VCO, 19

Capítulo 3 - SCR ou RCS *ok*

- 3.1 - Introdução, 20
- 3.2 - Histórico, 20
- 3.3 - Estrutura Interna, 20
- 3.4 - Símbolo, 21
- 3.5 - Circuitos Equivalentes, 21

- 3.6 - Identificação dos Terminais, 21
- 3.7 - Funcionamento, 23
 - 3.7.1 - Polarização Direta Anodo-Catodo e Gate Aberto, 23
 - 3.7.2 - Polarização Reversa Anodo-Catodo e Gate Aberto, 24
 - 3.7.3 - Polarização Direta Anodo-Catodo e Polarização Direta Gate-Catodo, 24
- 3.8 - Influência do Sinal do Gate, 25
- 3.9 - Etapas dos Circuitos com SCR, 25
- 3.10 - Curva Característica do SCR, 25
- 3.11 - Cálculo de Polarização do SCR em C.C., 26
- 3.12 - Codificação da Série TIC, 27
- 3.13 - Vantagens e Desvantagens dos Tiristores em Relação aos Relés, 28
- 3.14 - Métodos de Disparo do SCR, 28
 - 3.14.1- Disparo por Tensão de Breakover, 28
 - 3.14.2- Disparo Através de Sinal Aplicado ao Gate, 28
 - 3.14.3- Disparo por ruído (Sinais de Interferência), 29
 - 3.14.4- Disparo pelo Efeito dv/dt , 29
 - 3.14.5- Disparo por Temperatura, 30
 - 3.14.6- Disparo pela Luz, 30
- 3.15- SCRs de Potência, 31
 - 3.15.1- SCR Parafuso ou Rosca, 31
 - 3.15.2- SCR Disco, 33
- 3.16 - Thyodul, 33
- 3.17 - Circuitos Aplicativos de SCR em C.C., 34
 - 3.17.1- Temporizador com SCR, 34
 - 3.17.2- Chave de Código, 34
 - 3.17.3- Circuitos de Alarmes, 35
- 3.18 - SCR em Corrente Alternada, 36
- 3.19 - Cálculo da Tensão Média e Eficaz na Carga, 39
 - 3.19.1- Definição do Valor Médio, 39
 - 3.19.2- Definição de Valor Eficaz ou RMS, 39
 - 3.19.3- Cálculo do Valor de V_{DC} e V_{RMS} nos Circuitos de $\frac{1}{2}$ Onda, 40
- 3.20 - Cálculo das correntes média e eficaz na carga, 44
- 3.21 - Processos de Chaveamento, 45
- 3.22 - Meios de Propagação da RFI, 45
- 3.23 -Dimmer Programável com SCR, 46

Capítulo 4 - Dados Técnicos de Tiristores.

- 4.1 - Introdução, 47
- 4.2 - Dados Técnicos de Tensão, 47
- 4.3 - Dados Técnicos de Corrente, 49
- 4.4 - Dados Técnicos Gate-Catodo, 49
- 4.5 - Taxas de Incremento, 49
- 4.6 - Outros Dados Técnicos, 50
- 4.7 - Proteção para Tiristores, 50
 - 4.7.1- Proteção Contra Curto-Circuito, 50
 - 4.7.2- Proteção Contra Sobretensão, 50
 - 4.7.3- Proteção Contra Alto di/dt , 50
 - 4.7.4- Proteção Contra Alto dv/dt , 50
- 4.8 - Especificação de SCR para Circuitos de Controle de Potência, 50

Capítulo 5 - DIAC. *ok*

- 5.1 - Introdução, 53
- 5.2 - Estrutura Interna, 53
- 5.3 - Símbolo, 53
- 5.4 - Teste de Diac, 54
- 5.5 - Curva Característica, 54
- 5.6 - Aplicações para o Diac, 54
 - 5.6.1- Proteção contra Sobretensão, 55
 - 5.6.2- Gerador de Dente-de-Serra, 55
 - 5.6.3- Circuito de Disparo de Triac, 56

Capítulo 6 - TRIAC. *ok*

- 6.1 - Introdução, 57
- 6.2 - Estrutura Interna, 57
- 6.3 - Símbolo, 58
- 6.4 - Teste do Triac, 58
- 6.5 - Curva Característica, 58
- 6.6 - Sensibilidades de Disparo, 59
- 6.7 - Controle de Potência com Triac, 59
- 6.8 - Desvantagens do Triac em Relação ao SCR, 62

Capítulo 7 - Circuitos de Disparo de Tiristores. *ok X não*

- 7.1 - Introdução, 63
- 7.2 - Disparo de Tiristores com Sinal C.C. no Gate, 63
- 7.3 - Disparo de Tiristores com Sinal C.A. no Gate, 63
- 7.4 - Disparo de Tiristores Através de Pulsos, 64
- 7.5 - Considerações Sobre o Circuito de Disparo, 64
- 7.6 - Circuito de Disparo Sincronizado com a Rede, 65
- 7.7 - Transformador de pulso (TP), 67
 - 7.7.1 - Transformador de Pulso de dois Enrolamentos, 67
 - 7.7.2 - Transformador de Pulso de Três Enrolamentos, 70
- 7.8 - Acopladores Ópticos ou Isoladores Ópticos, 71
 - 7.8.1- Tipos de Acopladores Ópticos, 72
 - 7.8.1.1 - Acopladores Ópticos com Fotodiodo, 72
 - 7.8.1.2 - Acoplador Óptico com Fototransistor, 72

Capítulo 8 - Circuitos Integrados TCA - 780 e TCA - 785 *ok*

- 8.1 - Introdução, 77
- 8.2 - Descrição do Princípio de Funcionamento, 77
- 8.3 - Pinagem dos CI's TCA-780 e TCA-785, 79
- 8.4 - Circuito com o TCA-780/785, 80
- 8.5 - Cálculo com TCA 780 e TCA 785, 82
 - 8.5.1- Cálculo da Tensão Controle, 82
 - 8.5.2- Cálculo da Rampa, 84
 - 8.5.3- Cálculo de R5, 87
 - 8.5.4- Cálculos para os Pinos 14 e 15, 87
- 8.6 - Circuitos Aplicativos para TCA-780 e TCA-785, 90

Capítulo 9 - Conversores Estáticos *OK*

- 9.1 - Introdução, 92
- 9.2 - Conversor C.C.-C.C.:Chopper, 92
 - 9.2.1- Controle PWM, 93
 - 9.2.2- Modulação em Frequência, 94

- 9.2.3- Variação de T_{ON} e T , 94
- 9.3 - Circuitos de Comutação para SCR, 95
 - 9.3.1- Comutação Forçada com Capacitor em Paralelo, 96
 - 9.3.2- Comutação Forçada em Rede L.C, 97
- 9.4 - Inversores, 99
 - 9.4.1- Ponte Inversora Monofásica, 99
 - 9.4.2- Ponte Inversora Trifásica, 101
 - 9.4.3- Inversor com Transformador, 103
- 9.5 - Controladores de Tensão C.A, 106
 - 9.5.1- Controle de Fase, 107
 - 9.5.2- Zero Crossing Switch ou Controle ON-OFF, 107
- 9.6 - Cicloconversores, 109
 - 9.6.1- Cicloconversor Monofásico, 110
 - 9.6.2- Cicloconversor Trifásico, 112

Capítulo 10 - Retificadores OK

- 10.1 - Introdução, 114
- 10.2 - Nomenclatura de Retificadores, 114
- 10.3 - Retificadores não Controlados, 114
 - 10.3.1 - Retificador Monofásico não Controlado, 114
 - 10.3.1.1 - Retificador Monofásico não Controlado de $\frac{1}{2}$ onda, 115
 - 10.3.1.2 - Retificador Monofásico não Controlado de Onda Completa, 119
 - 10.3.1.2.1 - Retificador Monofásico não Controlado de Onda Completa com Transformador em Center Tape, 120
 - 10.3.1.2.2 - Retificador Monofásico não Controlado de Onda Completa em Ponte, 123
 - 10.3.2 - Retificador Trifásico não Controlado de $\frac{1}{2}$ Onda, 126
 - 10.3.3 - Retificador Trifásico não Controlado de Onda Completa (Ponte Graetz), 132
- 10.4 - Retificador Controlado, 137
 - 10.4.1 - Retificador Monofásico Controlado de $\frac{1}{2}$ Onda, 138
 - 10.4.2 - Retificador Monofásico Controlado de Onda Completa, 141
 - 10.4.3 - Retificador Trifásico Controlado de $\frac{1}{2}$ Onda, 143
 - 10.4.4 - Retificador Trifásico Controlado de Onda Completa, 146
- 10.5 - Retificador Monofásico Semicontrolado, 151
- 10.6 - Retificador Trifásico Semicontrolado, 153

Capítulo 11 - Conversores com Carga Indutiva

- 11.1 - Introdução, 154
- 11.2 - Conversor Monofásico Controlado de $\frac{1}{2}$ Onda, 154
- 11.3 - Conversor Monofásico de $\frac{1}{2}$ Onda com Diodo de Circulação, 156
- 11.4 - Conversor Monofásico Controlado de Onda Completa com Carga Indutiva, 156
- 11.5 - Ábaco de Puschlowiski, 159
- 11.6 - Conversor Monofásico Controlado de Onda Completa com Diodo de Circulação, 163.
- 11.7 - Classificação dos Conversores Quanto ao Quadrante de Operação, 163
- 11.8 - Conversor Monofásico Semicontrolado com Carga Indutiva, 164
- 11.9 - Conversor Trifásico Controlado de $\frac{1}{2}$ Onda com Carga Indutiva, 165
- 11.10 - Conversor Trifásico Controlado de $\frac{1}{2}$ Onda com Diodo de Circulação, 167
- 11.11 - Conversor Trifásico Controlado de Onda Completa com Carga Indutiva, 168
- 11.12 - Conversor Trifásico Controlado de Onda Completa com Diodo de Circulação, 170
- 11.13 - Conversor Trifásico Semicontrolado com Carga Indutiva, 170

Capítulo 12 - Dispositivos de Potência

- 12.1 - Introdução, 172
- 12.2 - Transistor Bipolar de Potência, 172
- 12.3 - Mosfet de Potência, 172
- 12.4 - GTO (Gate Turn-Off), 173
- 12.5 - IGBT ou COMFET, 173

Capítulo 13 - Transformador de Corrente (TC) e Shunt

- 13.1 - Introdução, 175
- 13.2 - T.C. (Transformador de Corrente), 175
 - 13.2.1 -Tipos de Transformador de Corrente, 175
- 13.3 - Shunt, 177

Capítulo 14 - No-Break ou UPS

- 14.1 - Introdução, 179
- 14.2 - Constituição do No-Break On-Line, 179
- 14.3 - Situações de Funcionamento do No-Break On-Line, 180
 - 14.3.1 - Rede Normal, 180
 - 14.3.2 - Falta de Energia da Rede, 180
 - 14.3.3 - Retorno de Energia da Rede, 181
- 14.4 - Operação Em Paralelo e Sistemas Redundantes, 182

Capítulo 15 - Sistema de Energia Para Telecomunicações

- 15.1 - Introdução, 183
- 15.2 - Características do Sistema de Energia, 184
- 15.3 - Tipos de Consumidores, 184
- 15.4 - Fontes de Tensão C.A., 184
- 15.5 - GMG (Grupo Moto Gerador), 185
- 15.6 - USCA (Unidade de Supervisão de Corrente Alternada), 185
- 15.7 - Sistema Completo de Energia para Consumidores C.C., 187
 - 15.7.1 - USCC (Unidade de Supervisão de Corrente Contínua), 188
 - 15.7.2 - Conversor Aditivo, 158
 - 15.7.3 - Diodo By-Pass, 188
 - 15.7.4 - Bateria, 188
 - 15.7.5 - Unidade Retificadora, 188
 - 15.7.5.1- Regime de Flutuação, 189
 - 15.7.5.2- Regime de Equalização, 189
 - 15.7.5.3- Regime Carga Especial, 189

Capítulo 16 - Controle de Velocidade de Motor C.A.

- 16.1 - Introdução, 190
- 16.2 - Considerações Básicas Sobre o Motor de Indução, 190
 - 16.2.1 - Análise do Conjugado Motor, 191
 - 16.2.2 - Análise do Conjugado Resistente, 191
 - 16.2.2.1- Conjugado Resistente Constante, 192
 - 16.2.2.2- Conjugado Resistente Proporcional ao Quadrado da Velocidade, 193

- 16.2.3 - Conceito de Escorregamento ou Deslizamento, 193
- 16.3 - Formas de Controle de Velocidade do Motor de Indução, 193
- 16.4 - Controle de Velocidade Através do Escorregamento, 194
 - 16.4.1 - Controle de Velocidade Através da Variação da Tensão Estatórica, 194
 - 16.4.2 - Controle de Velocidade Através de Resistência Rotórica, 197
 - 16.4.3 - Controle de Velocidade com Cascata Subsíncrona, 197
- 16.5 - Controle de Velocidade com Tensão e Frequência Variáveis, 197
 - 16.5.1 - Conversão Indireta de Frequência, 199
 - 16.5.1.1 - Acionamento com Retificador Controlado + Inversor de Frequência, 199
 - 16.5.1.2 - Acionamento com Retificador não Controlado + Chopper + Inversor de Tensão, 200
 - 16.5.1.3 - Acionamento com Retificador Não Controlado + Inversor PWM, 202
 - 16.5.2 - Acionamento com Conversão Direta de Frequência: Cicloconversor, 204
- 16.6 - Cuidados na Utilização de Conversores para o Acionamento de Motores de Indução, 205
- 16.7 - Tipos de Frenagem do Motor de Indução, 206
 - 16.7.1 - Frenagem por Contra-Corrente, 206
 - 16.7.2 - Frenagem por Tensão C.C. aplicada ao Estator, 206
 - 16.7.3 - Frenagem por Resistor, 206
 - 16.7.4 - Frenagem Regenerativa, 206
- 16.8 - Aplicações para o Controle de Velocidade de Motores de Indução, 207

Capítulo 17 - Controle de Velocidade de Motor C.C.

- 17.1 - Introdução, 209
- 17.2 - Equações Básicas do Motor C.C. Independente, 209
- 17.3 - Considerações Sobre o Controle de Velocidade do Motor CC, 210
- 17.4 - Controle de Velocidade Através da tensão de Campo ou de Excitação, 210
- 17.5 - Controle de Velocidade Através da Tensão de Armadura, 211
- 17.6 - Controle Misto de Velocidade, 211
- 17.7 - Formas de Parada do Motor C.C., 211
 - 17.7.1 - Parada por Inércia, 211
 - 17.7.2 - Parada por Frenagem, 212
 - 17.7.2.1 - Frenagem Resistiva, 212
 - 17.7.2.2 - Frenagem Regenerativa, 213

- 17.8 - Quadrantes de Operação da Máquina C.C., 213
- 17.9 - Acionamento em 1 Quadrante, 214
- 17.10 - Acionamento em 2 Quadrantes, 214
- 17.11 - Acionamento em 4 Quadrantes, 215
 - 17.11.1 - Conversor de 2 Quadrantes e Chave de Reversão de Armadura, 216
 - 17.11.2 - Conversor Dual, 216
 - 17.11.2.1 - Conversor Dual sem Corrente de Circulação, 217
 - 17.11.2.2 - Conversor Dual com Corrente de Circulação, 218

Capítulo 18 - Sensores de Proximidade

- 18.1 - Introdução, 221
- 18.2 - Informações Gerais Sobre Sensores, 221
 - 18.2.1 - Funções de Saída, 221
 - 18.2.2 - Proteções Incorporadas aos Sensores, 222
 - 18.2.3 - Configurações Elétricas em Corrente Contínua, 222
 - 18.2.3.1 - Sensores de Corrente Contínua de 3 e 4 Fios, 222
 - 18.2.3.1.1 - Sensores de Proximidade DC com Saída NPN, 222
 - 18.2.3.1.2 - Sensores de Proximidade DC com Saída PNP, 224
 - 18.2.3.2 - Sensores de Corrente Contínua Namur, 225
 - 18.2.3.3 - Sensores de Saída Programável, 225
 - 18.2.4 - Sensores de Proximidade AC (Saída a 2 Fios), 225
 - 18.2.4.1 - Sensores de Proximidade AC (Saída a Três ou Quatro Fios), 227
 - 18.2.5 - Fonte de Alimentação para os Sensores, 228
 - 18.2.6 - Ligação Série de Sensores DC, 228
 - 18.2.7 - Ligação Paralela de Sensores DC, 228
 - 18.2.8 - Ligação Série de Sensores AC (Dois e Três Fios), 229
 - 18.2.9 - Ligação Paralela de Sensores AC, 229
 - 18.2.10 - Recomendações para Utilização dos Sensores da Sense, 229
 - 18.2.11 - Sensores Embutidos e não Embutidos, 230
- 18.3 - Sensores de Proximidade Indutivos, 230
 - 18.3.1 - Vantagens dos Sensores Indutivos, 231
 - 18.3.2 - Construção Eletrônica Básica, 231
 - 18.3.3 - Princípio de Funcionamento, 231
 - 18.3.4 - Termos e Denominações dos Sensores Indutivos, 232
 - 18.3.5 - Denominações das Características Elétricas dos Sensores, 232
 - 18.3.6 - Codificação para os Sensores Indutivos da Linha Sense, 232
- 18.4 - Sensores de Proximidade Capacitivos, 233

- 18.4.1 - Campos de Aplicações, 233
- 18.4.2 - Princípio de Funcionamento, 233
- 18.4.3 - Ajuste de Sensibilidade, 234
- 18.4.4 - Cuidados com os Sensores Capacitivos, 234
- 18.4.5 - Codificação de Sensores Capacitivos da Linha Sense, 235
- 18.4.6 - Termos e Denominações para os Sensores Capacitivos, 235
- 18.5 - Sensores Fotoelétricos, 235
 - 18.5.1 - Princípio de Funcionamento, 235
 - 18.5.2 - Tipos de Construções, 236
 - 18.5.2.1 - Sensor Fotoelétrico Sistema por Barreira, 236
 - 18.5.2.2 - Sensor Fotoelétrico Fotosensor ou por Difusão, 236
 - 18.5.2.3 - Sensor Fotoelétrico Sistema Refletivo com Espelho Prismático, 236
 - 18.5.3 - Modos de Operação dos Sensores Fotoelétricos, 237
 - 18.5.4 - Codificação para os Sensores Fotoelétricos da Linha Sense, 239
 - 18.5.5 - Fibra Óptica para Sensores Fotoelétricos, 240
 - 18.5.5.1 - Princípio de Funcionamento, 240
 - 18.5.5.2 - Modos de Operação, 240
- 18.6 - Aspectos Físicos dos Sensores de Proximidade, 240
 - 18.6.1 - Sensores de Proximidade Indutivo, 240
 - 18.6.2 - Sensores de Proximidade Capacitivo, 244
 - 18.6.3 - Sensores de Proximidade Fotoelétrico, 244