

# CONTENIDO

## I EL INTERRUPTOR TRANSISTORIZADO COMO DISPOSITIVO DECISOR

xxiv

### Objetivos 1

- 1-1 Sistemas que Contienen Circuitos Lógicos 2
- 1-2 Circuitos Lógicos que Utilizan Relevadores Magnéticos 2
- 1-3 Circuito Lógico de Relevadores para un Sistema de Banda Transportadora/Clasificador 4
- 1-4 Funciones de Lógica Desempeñadas por Transistores 8
- 1-5 Compuertas Lógicas—Los Bloques Funcionales de la Lógica de Estado Sólido 10
- 1-6 Circuito Lógico de Estado Sólido para el Sistema de Banda Transportadora/Clasificador 11
- 1-7 Dispositivo de Entrada para la Lógica de Estado Sólido 13
- 1-8 Dispositivos de Salida para la Lógica de Estado Sólido 18
- 1-9 La Lógica de Estado Sólido Comparada con la Lógica de Relevadores 19
- 1-10 Circuito Lógico de Estado Sólido para el Ciclo Operativo de una Cortadora de Perfiles 22
- 1-11 Circuito Lógico para un Anunciador de Primera Falla 24
- 1-12 Circuito Lógico para un Ciclo de Taladrado de una Máquina 26

### ■ EJERCICIO PRÁCTICO:

*Expansión de Sistema de la Máquina Taladradora 29*

Resumen 29

Preguntas y Problemas 30

## 2 LOS INTERRUPTORES TRANSISTORIZADOS EN APLICACIONES DE MEMORIA Y CONTEO

34

### Objetivos 35

- 2-1 Circuito de Control de una Soldadora, que Utiliza Flip-Flops RS 36
- 2-2 Mesa Oscilante de Maquinado que Utiliza Flip-Flops RS Sincronizado 37
- 2-3 Flip-Flops JK 40
- 2-4 Registro de Corrimiento 40
- 2-5 Contadores 45

- 2-6 Decodificación 46
- 2-7 Sistemas de Apilado que Utiliza Contadores de Décadas y de Codificadores 47
- 2-8 Circuitos de un solo Disparo (One-Shots) 50
- 2-9 Relojes 53
- 2-10 Llenado Automático de Tanques Mediante un Sistema que Utiliza un Reloj y Circuitos de un Solo Disparo 54
- 2-11 Contadores Descendentes y Codificadores 56
- 2-12 Temporizadores 58
- 2-13 Sistema de Llenado de Recipientes que Utiliza un Contador Descendente, un Codificador y Temporizadores 65

■ **EJERCICIO PRÁCTICO:**

*Expansión de Circuito del Cepillado Oscilante 69*

Resumen 69

Fórmula 69

Preguntas y Problemas 69

### 3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

72

*Objetivos 73*

- 3-1 Partes de un Controlador Lógico Programable 74
- 3-2 Programación de un PLC para Controlar el Sistema de Banda Transportadora/Clasificador 93
- 3-3 Programación de Funciones de Temporización y Conteo 99
- 3-4 Un aparato de Fresado con Funciones de Temporización y Conteo 105
- 3-5 Otras Funciones Tipo Relevador de los PLC 111
- 3-6 Manejo de Datos de Entrada Analógicos 114
- 3-7 Mejora del Sistema de Fresado, Haciéndolo Sensible a la Temperatura 126

■ **EJERCICIO PRÁCTICO:**

*Refinación de la Respuesta de Temperatura del Proceso de Fresado 131*

Resumen 132

Fórmula 133

Preguntas y Problemas 133

### 4 LOS SCR

138

*Objetivos 139*

- 4-1 Teoría y Operación de los SCR 140
- 4-2 Formas de Ondas de los SCR 140
- 4-3 Características de la Compuerta de los SCR 142
- 4-4 Circuitos comunes de Control de Compuerta 142
- 4-5 Otros Circuitos de Control de Compuerta 145
- 4-6 Métodos Alternos de Conexión de los SCR a las Cargas 148
- 4-7 Los SCR en Circuitos de CD 148

### ■ EJERCICIO PRÁCTICO:

*Vehiculos Maglev* 152

Resumen 157

Fórmula 158

Preguntas y Problemas 158

Proyectos de Laboratorio Sugeridos 159

## 5 LOS UJT

162

*Objetivos* 163

5-1 Teoría y Operación de los UJT 164

5-2 Osciladores de Relajación con UJT 167

5-3 Circuitos de Temporización con UJT 171

5-4 Los UJT en Circuitos de Disparo para SCR 173

5-5 Los PUT 181

### ■ EJERCICIO PRÁCTICO:

*Disparo de los SCR en un Módulo de Control de un Maglev* 185

Resumen 187

Fórmulas 187

Preguntas y Problemas 187

Proyectos de Laboratorio Sugeridos 189

## 6 LOS TRÍACS Y OTROS TIRISTORES

192

*Objetivos* 193

6-1 Teoría y Operación de los Triacs 194

6-2 Formas de onda de los Triacs 195

6-3 Características Electrónicas de los Triacs 196

6-4 Métodos de disparo para los Triacs 197

6-5 Interruptores Bilaterales de Silicio 199

6-6 Dispositivos Unilaterales de Transición Conductiva 204

6-7 Dispositivo de Transición Conductiva (SUS)  
Usado o para Disparar un Triac 205

6-8 Razón de Aumento Crítico del Voltaje de  
Estado de Apagado ( $dv/dt$ ) 207

6-9 Los UJT como Dispositivos de Disparo para Triac 208

### ■ EJERCICIO PRÁCTICO:

*Remoción de Partículas de Ceniza de la Chimenea de una Planta de Generación de R  
Electricidad Operada con Carbón* 215

Resumen 218

Fórmulas 218

Preguntas y Problemas 218

Proyectos de Laboratorio Sugeridos 220

<b>7</b>	<b>SISTEMA AUTOMÁTICO DE SOLDADURA INDUSTRIAL CON CONTROL DIGITAL</b>	<b>224</b>
	Objetivos 225	
	7-1 Descripción Física del Sistema de Soldadura de Ruedas 226	
	7-2 Secuencia de Operaciones para hacer una Soldadura 227	
	7-3 Diagrama de Bloques del Circuito de Control de Secuencia 230	
	7-4 Descripción Detallada del Circuito de Inicio de Secuencia y el Circuito de Disparo de Intervalo y Canalización 234	
	7-5 Descripción Detallada del Circuito y Decodificador de Pasos de Intervalo 239	
	7-6 Circuito Contador de Tiempo de Intervalo y de Predeterminación del Contador de Tiempo de Intervalo 242	
	7-7 Circuito de Pasos de Calentamiento-Enfriamiento y Canalización 247	
	7-8 Circuito de Conteo de Calentamiento-Enfriamiento y de Predeterminación del Contador de Calentamiento-Enfriamiento 249	
	7-9 Circuito de Potencia de Soldadura 251	
	<b>■ EJERCICIO PRÁCTICO:</b>	
	Recreación del Diagrama Esquemático del Circuito de Potencia de Soldadura con Subintervalos de Calor de Polaridad Alternante 261	
	Resumen 261	
	Preguntas y Problemas 262	
<b>8</b>	<b>USOS ESPECIALES DE LOS AMPLIFICADORES OPERACIONALES</b>	<b>266</b>
	Objetivos 267	
	8-1 Características de los Amplificadores Operacionales y Circuitos Básicos 268	
	8-2 Amplificador Diferencial Basado en un Amplificador Operacional 268	
	8-3 Convertidor de Voltaje a Corriente Basado en un Amplificador Operacional 269	
	8-4 Integradores y Diferenciadores Basados en Amplificadores Operacionales 270	
	<b>■ EJERCICIO PRÁCTICO:</b>	
	Diagnóstico de Fallas del Circuito Procesador de Señal de Posición de la Pared del Maglev 272	
	Resumen 279	
	Fórmulas 279	
	Preguntas y Problemas 279	
	Proyecto de Laboratorio Sugerido 280	
<b>9</b>	<b>SISTEMAS REALIMENTADOS Y SERVOMECANISMO</b>	<b>282</b>
	Objetivos 283	
	9-1 Sistemas en Lazo Abierto contra Sistemas en Lazo Cerrado 284	
	9-2 Nomenclatura y Diagramas de los Sistemas en Lazo Cerrado 287	
	9-3 Ejemplos de Sistemas de Control en Lazo Cerrado 289	
	9-4 Modos de Control en los Sistemas Industriales en Lazo Cerrado 293	
	9-5 Control de Encendido-Apagado (ON-OFF) 294	

- 9-6 Control Proporcional 296
- 9-7 Control Proporcional más Integral 307
- 9-8 Control Proporcional más Integral más Derivativo 310
- 9-9 Respuesta del Proceso 314
- 9-10 Relación entre las Características del Proceso y el Modo de Control Apropriado 320
- 9-11 Control de Proceso PID con un Controlador Lógico Programable 323

**■ EJERCICIO PRÁCTICO:**

*Uso de un PLC para la Variación Automotizada de Condiciones de Proceso y Recopilación de Información 328*

Resumen 330

Preguntas y Problemas 330

## **10 TRANSDUCTORES DE ENTRADA—DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN**

**336**

*Objetivos 337*

- 10-1 Potenciómetro 338
- 10-2 Transformadores Diferenciales de Variación Lineal (LVDT) 342
- 10-3 Transductores de Presión 344
- 10-4 Termopares 345
- 10-5 Termistores y Detectores Resistivos (RTDs) 349
- 10-6 Otros Traductores de Temperatura 352
- 10-7 Fococeldas y Dispositivos Fotoelectricos 354
- 10-8 Fibras Ópticas 370
- 10-9 Ultrasónica 372
- 10-10 Galgas 373
- 10-11 Acelerómetros 376
- 10-12 Tacómetros 377
- 10-13 Transductores de Efecto Hall 380
- 10-14 Resolvers 384
- 10-15 Transductores de Humedad 394

**■ EJERCICIO PRÁCTICO:**

*Detección de Fallas con un Osciloscopio Multicanal de Almacenamiento Digital 398*

Resumen 401

Fórmulas 402

Preguntas y Problemas 402

## **11 DISPOSITIVOS CORRECTORES FINALES Y AMPLIFICADORES**

**408**

*Objetivos 410*

- 11-1 Válvulas Solenoide 410
- 11-2 Válvulas de Dos Posiciones Manejadas por un Motor Eléctrico 411
- 11-3 Válvulas de Posición Proporcional Manejadas por un Motor Eléctrico 413

- 11-4 Válvulas Electroneumáticas 414
- 11-5 Válvulas Electrohidráulicas 417
- 11-6 Características de Flujo de las Válvulas 418
- 11-7 Reveladores y Contactores 421
- 11-8 Tiristores 424
- 11-9 Motores de CA de Fase Dividida 425
- 11-10 Servomotores de CA 430
- 11-11 Servoamplificadores de CA de Estado Sólido 437
- 11-12 Servomotores de CD 446
- 11-13 Amplificadores para Servomotores de CD 448

**■ EJERCICIO PRÁCTICO:**

- Detección de Errores en un Operador Electroneumático de Válvula* 451
- Resumen 452
- Preguntas y Problemas 452

**12 MOTORES DE CD DE ROTOR DEVANADO**

**456**

*Objetivos* 457

- 12-1 Tipos de Motores 458
- 12-2 Principios del Dinamo de Rotor Devanado 459
- 12-3 Desempeño de los Motores de CD de Rotor Devanado 476
- 12-4 Graficas Características de los Motores de CD Configurados en Derivación 491
- 12-5 Características de los Motores de CD Configurados en Serie 493
- 12-6 Configuración Compuesta 501
- 12-7 Interpolos 502
- 12-8 Arranque, Paro e Inversión 503

**■ EJERCICIO PRÁCTICO:**

- Remoción de Azufre de la Chimenea de una Planta de Generación de Electricidad Operada con Carbón* 510
- Resumen 515
- Fórmulas 515
- Preguntas y Problemas 516

**13 MOTORES DE CD NO TRADICIONALES**

**520**

*Objetivos* 521

- 13-1 Motores Convencionales de Imán Permanente 522
- 13-2 Motores de Imán Permanente sin Núcleo 523
- 13-3 Motores Paso a Paso 526
- 13-4 Motores de CD sin Escobillas 542
- 13-5 Comparación de los Motores de CD de Conmutación Electrónica con los Equipados con Escobillas 544

■ **EJERCICIO PRÁCTICO:**

*Aprendizaje de un Circuito de Prueba Complicado de Motor Paso a Paso* 548

Resumen 550

Fórmulas 550

Preguntas y Problemas 550

**14 MOTORES DE CA**

**554**

*Objetivos* 555

14-1 El campo Giratorio 556

14-2 El Rotor de Jaula de Ardilla 561

14-3 Obtención del Desfasamiento 565

14-4 Características de Operación de los Motores de Jaula de Ardilla 570

14-5 Sistemas de Potencia de CA de Trifasicos 575

14-6 Motores de Inducción de Jaula de Ardilla Trifásicos 584

14-7 Características de los Motores Trifásicos 588

14-8 Arranque, Inversión y Operación a dos Voltajes 592

■ **EJERCICIO PRÁCTICO:**

*Diagnostico de Sobrecarga de un Motor* 598

Resumen 599

Fórmulas 600

Preguntas y Problemas 601

**15 NUEVE EJEMPLOS DE SISTEMAS INDUSTRIALES EN LAZO CERRADO**

**606**

*Objetivos* 607

15-1 Control por Termistor de la Temperatura de Aceite de Templado 608

15-2 Sistema de Control de Presión Empleando el Modo Proporcional 610

15-3 Controlador Proporcional más Integral de la Temperatura con Entrada de Termopar 617

15-4 Controlador de Tensión de Cinta 623

15-5 Control de Guía de Borde para un Enrollador de Cinta 628

15-6 Sistema Automático de Pesado 631

15-7 Controlador de Dióxido de Carbono para un Horno de Carburación 640

15-8 Control de Humedad Relativa en un Proceso de Humectación de Textiles 648

15-9 Controlador de Humedad de una Bodega 651

■ **EJERCICIO PRÁCTICO:**

*Detección de fallas de un Circuito de Control Proporcional Basado en Amplificador Operacional* 655

Resumen 655

Preguntas y Problemas 655

## 16 SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES

658

### Objetivos 659

- 16-1 Motores de CD—Operación y Características 660
- 16-2 Control Mediante Tiristores del Voltaje y Corriente de Armadura 662
- 16-3 Sistema de Control de Velocidad Monofásico y de Media Onda para un Motor de CD en Derivación 663
- 16-4 Otro Sistema de Control de Velocidad Monofásica 665
- 16-5 Control Reversible de Velocidad 666
- 16-6 Sistemas de Manejo Trifásicos para Motores de CD 667
- 16-7 Ejemplo de un Sistema de Manejo Trifásico 668
- 16-8 Control Mediante Modulación por Ancho de Pulso 671
- 16-9 El Temporizador-Oscilador tipo 555 673
- 16-10 Inversores de Frecuencia Variable 686
- 16-11 Variación del Voltaje junto con la Frecuencia 694
- 16-12 Cicloconvertidores 698

### ■ EJERCICIO PRÁCTICO:

*Detección de Fallas de un Manejador de Motor de CD de alta potencia basado en SCR 711*

- Resumen 712
- Fórmulas 713
- Preguntas y Problemas 713

## 17 TELEMETRÍA

718

### Objetivos 719

- 17-1 Telemetría Mediante Modulación por Ancho de Pulso 720
- 17-2 Telemetría Mediante Modulación por Frecuencia de Pulso 723
- 17-3 Telemetría Multiplexada 733
- 17-4 Telemetría de Radio 737
- 17-5 Telemetría Digital 737

### ■ EJERCICIO PRÁCTICO:

*Prueba de un Sistema de Telemetría Mediante Modulación por Frecuencia de Pulso 754*

- Resumen 756
- Fórmulas 756
- Preguntas y Problemas 757

## 18 CONTROL EN LAZO CERRADO CON UNA COMPUTADORA EN LÍNEA

760

### Objetivos 761

- 18-1 Sistema de Transportación de Lodo de Carbón Controlado por Microcomputadora 762
- 18-2 Esquema de Control del Sistema 762
- 18-3 Programación de una Microcomputadora 764

- 18-4 Diagrama de Flujo del Programa 765
- 18-5 La Arquitectura de la Microcomputadora 767
- 18-6 Ejecución de un Programa 774
- 18-7 Programa de Control de Lodo de Carbón 777
- **EJERCICIO PRÁCTICO:**
- Uso de un Analizador Lógico para Detección de Fallas* 792
- Resumen 794
- Preguntas y Problemas 795

## 19 ROBOTS INDUSTRIALES

798

- Objetivos* 799
- 19-1 El Concepto del Robot 800
- 19-2 Configuraciones Mecánicas de los Robots Industriales 802
- 19-3 Categorías de Programación (software) para Robots Industriales 806
- 19-4 Programas de Detención Positiva 807
- 19-5 Programas Punto a Punto 815
- 19-6 Programas de Trayectoria Continua 824
- **EJERCICIO PRÁCTICO**
- Entendimiento de las Fallas de un Robot* 827
- Resumen 828
- Preguntas y Problemas 828

## 20 SEGURIDAD

832

- Objetivos* 833
- 20-1 Descarga Eléctrica 834
- 20-2 Alambres de Tierra 836
- 20-3 Interruptores de Tierra Accidental 837
- 20-4 Administración de Ayuda a una Víctima de Descarga Eléctrica 840
- 20-5 Quemaduras 841
- 20-6 Protección de Ojos y Cabeza 842
- 20-7 Fuego 842
- 20-8 Código de Color Osha 843
- Resumen 844
- Preguntas y Problemas 844

## APÉNDICE A: Curvas de la constante universal del tiempo

847

## GLOSARIO

G-I

## ÍNDICE

I-I