Indice

Parte I. Circuitos lógicos

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE ÁLGEBRA LÓGICA

Conceptos generales 21
Estados y valores 23
Funciones lógicas de una variable binaria 24
Proposiciones lógicas 36
Operaciones lógicas 37
Propiedades de la adición lógica de dos variables binarias . . 44
Propiedades de la adición lógica de *n* variables binarias . . . 51
Operación lógica Y 57
Propiedades del producto lógico de *n* variables binarias . . . 60
Resumen de las propiedades de la adición lógica y del producto lógico de *n* variables binarias 64
Primeros ejemplos de simplificación de circuitos mediante las propiedades de la adición y del producto lógicos 64
Expresiones lógicas 67
Distributividad de la adición lógica y del producto lógico . . 69
Teoremas de Morgan 78
Operación lógica NO 86
Funciones lógicas de dos variables binarias 87
Operación lógica O exclusivo . . 100
Operación lógica NI 103

CAPÍTULO 2. CIRCUITOS LÓGICOS FUNDAMENTALES Y DERIVADOS

Concepto de circuito lógico . . 107
Circuitos lógicos fundamentales. 110
Circuito lógico Y 110
Circuito lógico O 113
Circuito lógico NO 115
Circuitos lógicos derivados . . 116
Circuito lógico NI 116
Circuito lógico O exclusivo . . 124
Circuito lógico de inhibición . . 128
Circuito lógico de temporización. 129
Circuito lógico de memoria de desconexión 130
Circuito lógico de memoria de retención 133
Circuito lógico de comparación . 138
Circuitos complementarios . . . 142
Circuitos combinatorios y circuitos secuenciales 146
Simbolización de los circuitos lógicos 151

CAPÍTULO 3. APLICACIONES DEL ÁLGEBRA LÓGICA A LOS CIRCUITOS LÓGICOS

Generalidades. 153
Determinación de ecuaciones lógicas a partir de los circuitos correspondientes 153
Determinación de circuitos lógicos a partir de las ecuaciones lógicas correspondientes . . . 165
Determinación de circuitos lógicos NI a partir de las ecuaciones lógicas correspondientes . 168
Simplificación de circuitos lógicos por los procedimientos del Algebra lógica 181

CAPÍTULO 4. SIMPLIFICACIÓN DE CIRCUITOS LÓGICOS POR PROCEDIMIENTOS GRÁFICOS

Conceptos generales 199

Fundamentos del método de Veitch 200
Diagrama de Veitch para una variable binaria 204
Diagrama de Veitch para dos variables binarias 208
Ejemplos de aplicación de simplificación de expresiones lógicas por el diagrama de Veitch. 243
Simplificación de circuitos lógicos por el método de Huffman 253

CAPÍTULO 5. CIRCUITOS LÓGICOS SECUENCIALES

Definiciones 271
Circuitos de prioridad 273
Arranque y parada condicionales de un motor eléctrico 275
Parada de un eje después de una vuelta 278
Parada de un eje después de *n* vueltas 283
Indicador del sentido de rotación 288
Síntesis de los circuitos lógicos secuenciales. Método de Huffman 291
Ejemplo de aplicación del método Huffman. Báscula síncrona. 301
Ejemplo de aplicación del método de Huffman. Peaje de autopista 304

CAPÍTULO 6. TECNOLOGÍA DE LOS CIRCUITOS LÓGICOS

Conceptos generales 311
Estructura general de los circuitos lógicos 312
Constitución del bloque de decisión o circuito lógico propiamente dicho 313
Ejemplo de un circuito lógico completo 316
Circuitos lógicos con relés electromagnéticos 316
Circuitos lógicos con diodos semiconductores 318
Circuitos lógicos con diodos de gas de cátodo frío 330
Fundamentos del transistor . . 336
El transistor utilizado como interruptor 339
Circuito lógico NO, con transistor 339
Circuito lógico NI, con transistores 340
Circuito lógico O, con transistores 343
Circuito lógico Y inversor, con transistores 344
Circuito lógico Y, con transistores 346
Circuito lógico O exclusivo, con transistores 347
Memoria de desconexión automática, con transistores . . . 350
Temporizador de retardo posterior a la excitación con transistores 351
Temporizador de retardo posterior a la desexcitación, con transistores 353
Multivibradores con transistores. 355
Bloques de amplificación para circuitos lógicos, con transistores 360
Conceptos generales sobre los circuitos integrados 362
Circuitos lógicos integrados . . 364
Dispositivos periféricos para circuitos lógicos integrados . . . 380
Dispositivos de entrada para circuitos lógicos integrados . . . 382
Dispositivos de salida para circuitos lógicos integrados . . 384
Conceptos generales sobre los circuitos magnéticos 386
Circuitos lógicos magnéticos basados en el amplificador magnético de autosaturación . . . 387
Realización práctica de los circuitos lógicos magnéticos basados en el amplificador magnético de autosaturación . . . 392
Circuitos lógicos magnéticos basados en el amplificador magnético de Ramey 398
Representación simbólica de los toros magnéticos por el método de los espejos 401

Combinaciones de toros magnéticos 403
Supresión del arrollamiento de reposición R 406
Circuito lógico O con toros magnéticos 408
Circuito lógico Y con toros magnéticos 411
Circuito lógico inversor con toros magnéticos 411
Circuito lógico NI con toros magnéticos 414
Circuito lógico inhibidor con toros magnéticos 414
Circuito lógico O exclusivo, con toros magnéticos 416

Parte II. Mando y regulación de motores eléctricos

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE MANDO Y REGULACIÓN

Conceptos generales 421
Definiciones fundamentales . . 424
Constitución de un sistema de mando 424
Constitución de un sistema de regulación 430
Características de funcionamiento del regulador 433
Comportamiento en función del tiempo, de los elementos de un sistema de regulación . . 436
Criterio de estabilidad de los sistemas de regulación 439
Clasificación de los elementos de un sistema de regulación . 441
Tipos de reguladores empleados en los sistemas de regulación. 445
Sistemas de regulación con elementos inestables 456
Fundamentos de la automatización 458
Técnica de mando en los sistemas automáticos 461
Técnica de la captación de datos en los sistemas automáticos . 463
Técnica de los ordenadores en los sistemas automáticos . . 464
Aplicaciones de los sistemas automáticos 468

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS GENERALES DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Conceptos generales 473
Características mecánicas de las máquinas accionadas 474
Características mecánicas de los motores eléctricos 477
Características generales de funcionamiento 479
Característica mecánica común de un motor eléctrico y de la máquina accionada 484

CAPÍTULO 3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Características mecánicas de un motor shunt 488
Determinación de las características mecánicas de un motor shunt 493
Características mecánicas de un motor shunt en régimen de frenado 502
Características mecánicas de un motor serie 515
Determinación de las características mecánicas de un motor serie 518
Características mecánicas de un motor serie en régimen de frenado 529

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Características mecánicas de un motor asíncrono en régimen de frenada 557
Característica mecánica y angular de un motor síncrono . . 569

CAPÍTULO 5. CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Generalidades 577
Definición 578

Factores que influyen en la regulación de velocidad de los motores eléctricos 578
Gama de regulación de velocidad 579
Flexibilidad de regulación . . . 579
Rentabilidad de un sistema de regulación 580
Estabilidad de funcionamiento a una velocidad dada 581
Sentido de la regulación de la velocidad 582
Carga admisible a las diferentes velocidades 582

CAPÍTULO 6. REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Conceptos generales 587
Regulación de la velocidad de un motor shunt, por variación de la corriente de excitación . . 587
Regulación de la velocidad de un motor shunt, por variación de la resistencia del circuito del inducido 595
Regulación de la velocidad de un motor shunt, por shuntado del inducido 601
Regulación de la velocidad de un motor shunt por variación de la tensión de la alimentación 616
Sistema Ward-Leonard para regulación de velocidad de un motor shunt 616
Regulación de la velocidad de un motor serie, por variación de la corriente de excitación . . 627
Regulación de la velocidad de un motor serie, por variación de la resistencia del circuito del inducido 627
Regulación de la velocidad de un motor serie, por shuntado del inducido 628
Regulación de la velocidad de un motor serie, por shuntado del arrollamiento de excitación . 632
Regulación de la velocidad de los motores de corriente continua, por convertidores termoiónicos 635
Regulación de la velocidad de los motores de corriente continua, por convertidores de tiristores 647

CAPÍTULO 7. REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Conceptos generales 651
Regulación de la velocidad de un motor asíncrono por inserción de una resistencia en el circuito rotórico 652
Regulación de la velocidad de un motor asíncrono por cambio del número de polos . . 653
Regulación de la velocidad de un motor asíncrono por variación de la frecuencia 657
Regulación de la velocidad de un motor asíncrono con convertidor de frecuencia síncrono 660
Regulación de la velocidad de un motor asíncrono con convertidor de frecuencia asíncrono 661
Regulación de la velocidad de un motor asíncrono con convertidor de frecuencia de tiristores 663
Regulación de la velocidad de un motor de corriente alterna de colector 669

CAPÍTULO 8. REGULACIÓN POR IMPULSOS DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Conceptos generales 675
Regulación por impulsos de la velocidad de los motores de corriente continua 676
Regulación por impulsos de la velocidad de los motores de corriente alterna 680
Conclusión 682

CAPÍTULO 9. SISTEMAS ESPECIALES DE REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Conceptos generales 683
Sistemas de regulación de la velocidad con acoplamiento mecánico de motores que funcionan en régimen de marcha como motor 684
Sistemas de regulación de la velocidad con acoplamiento mecánico de motores que funcionan en régimen de marcha como motor y en régimen de frenado 688
Sistemas de regulación de la velocidad por acoplamiento de motores en cascada . . . 695
Sistemas de rotación síncrona de motores eléctricos (eje eléctrico) 701
Eje eléctrico con máquinas auxiliares 702
Eje eléctrico sin máquinas auxiliares 710

CAPÍTULO 10. CONCEPTOS GENERALES SOBRE REGÍMENES TRANSITORIOS EN LOS SISTEMAS DE REGULACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

Generalidades 721
Fuerzas y pares que actúan en un sistema de regulación . . 722
Reducción de los pares resistentes y de los momentos de inercia 728
Reducción a movimiento de rotación, de fuerzas y masas en movimiento de traslación . . 730
Reducción a movimiento de rotación, de masas y de pares en movimiento de traslación a velocidad variable 731
Duración de la aceleración y de la deceleración de un sistema de regulación: determinación de la relación de transmisión óptima 734
Soluciones gráfica y grafo-analítica de la ecuación del movimiento de un sistema de regulación 738

CAPÍTULO 11. REGÍMENES TRANSITORIOS DE LOS SISTEMAS DE REGULACIÓN DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Arranque de un motor shunt hasta la velocidad nominal . . 745
Arranque de un motor shunt a una velocidad superior a su valor nominal 763
Frenado reostático de un motor shunt 769
Frenado a contracorriente e inversión del sentido de marcha de un motor shunt 778
Frenado de un motor shunt con recuperación de energía por la red 782
Energética de los regímenes transitorios de un motor shunt . . 783
Regímenes transitorios en los sistemas de regulación de motores serie 789

CAPÍTULO 12. REGÍMENES TRANSITORIOS EN LOS SISTEMAS DE REGULACIÓN DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Arranque de los motores trifásicos asíncronos 793
Frenado a contracorriente e inversión del sentido de marcha de los motores trifásicos asíncronos 800
Frenado reostático de los motores trifásicos asíncronos . . . 802
Frenado por recuperación de energía de los motores trifásicos asíncronos 804
Regímenes electromagnéticos transitorios en los sistemas de regulación de motores trifásicos asíncronos 804
Energética de los regímenes transitorios de los motores trifásicos asíncronos 808
Procedimiento para disminuir las pérdidas de energía en los motores eléctricos 810

CAPÍTULO 13. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Consideraciones generales . . . 817
Clases de servicio de los motores eléctricos 819
Datos previos para el cálculo de la potencia de un motor eléctrico 826
Calentamiento y refrigeración de un motor en servicio permanente 828
Determinación directa de la potencia de un motor en servicio permanente, con carga invariable 838
Determinación directa de la potencia de los motores para bombas 839
Determinación directa de la potencia de los motores para ventiladores 839
Determinación directa de la potencia de un motor en servicio permanente, con carga variable 840
Determinación de la potencia de un motor en servicio permanente con carga variable, por el método de las pérdidas medias 842
Determinación de la potencia de un motor en servicio permanente con carga variable, por el método de la corriente equivalente 844
Determinación de la potencia de un motor en servicio permanente, con carga variable, por los métodos del par equivalente 848
Comparación de los métodos estudiados para determinar la potencia de un motor en servicio permanente, con carga variable 849
Calentamiento y refrigeración de un motor en servicio temporal. 850
Calentamiento y refrigeración de un motor en servicio intermitente 854
Determinación de la potencia de un motor en servicio temporal. 858
Determinación de la potencia de un motor en servicio intermitente 860
Determinación del número admisible de puestas en circuito de los motores con rotor en cortocircuito 864
Algunas particularidades de construcción de los diagramas de trabajo 868
Ejemplo de aplicación: Diagramas de carga de un motor eléctrico de accionamiento para una máquina de extracción para mina 872
Funcionamiento de un motor eléctrico con volante, con carga dinámica 882
Funcionamiento de un motor asíncrono con un regulador de deslizamiento 886

Parte III. Elementos de maniobras, mando y regulación

CAPÍTULO I. INTERRUPTORES PARA BAJA TENSIÓN

Definición y clasificación de los interruptores 895
Seccionadores de baja tensión . 898
Interruptores para maniobra en carga 901
Interruptores para motores . . 908
Interruptores de potencia . . . 913
Disposición constructiva de los interruptores de potencia . . 916
Dispositivos de desenganche de los interruptores de potencia . 919
Dispositivos de accionamiento de los interruptores de potencia . 921
Ventajas de los interruptores de potencia 924
Interruptores y conmutadores para viviendas 925

CAPÍTULO 2. CONTACTORES

Generalidades 937
Definiciones y características generales de los contactores . . 939
Disposiciones prácticas de contactores electromagnéticos . . 947

Circuito magnético del contactor 950
Entrehierro permanente 959
Materiales empleados en el circuito magnético de los contactores 963
Pérdidas por histéresis magnética 964
Pérdidas por corriente parásitas 965
Espira de sombra 968
La bobina del contactor 974
Límites de tensión en las bobinas de contactores 979
Aspectos constructivos de las bobinas de contactores 980
Contactos principales de los contactores 983
Principios de extinción de los arcos de ruptura en los contactores 985
Extinción del arco de ruptura de los contactores por subdivisión del arco 987
Extinción del arco de ruptura de los contactores por alargamiento del arco 989
Corte de corrientes alternas . . 993
Corte de corrientes continuas . 996
Contactos auxiliares de los contactores 997
Normas para la utilización de contactores 1001
Fundamentos para la normalización de los contactores . . 1002
Calentamiento y corriente de servicios de los contactores . . . 1003
Duración y clase de servicio de los contactores 1005
Poderes de ruptura y conexión y categorías de servicio de los contactores 1008
Categorías de servicio para corriente alterna 1008
Categorías de servicio para corriente continua 1013
Cualidades dieléctricas y tensión de servicio de los contactores. 1015
Consideraciones generales para la elección de un contactor . 1018
Consideraciones sobre el arranque de los motores trifásicos asíncronos 1018
Coeficientes de servicio según las cadencias de funcionamiento . 1026
Coeficientes de servicio según las categorías de servicio . . 1027
Consideraciones sobre el empleo de contactores para cortocircuito automático de las resistencias de arranque 1028
Consideraciones sobre el empleo de contactores en corriente continua 1028
Ejemplos prácticos de elección de contactores 1029
Instalación y mantenimiento de contactores 1042
Localización y reparación de averías en los contactores . . . 1046

CAPÍTULO 3. MANDO DE CONTACTORES

Generalidades 1053
Mando de contactores por señal permanente 1053
Mando por contactores por impulsos 1061
Mando de contactores provistos de elementos de protección . 1077
Mando de contactores provistos de elementos de temporización 1088

CAPÍTULO 4. RELÉS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Definición y clasificación de los relés 1083
Relés de mando 1087
Normas para la elección de un relé de mando 1089
Características de los electroimanes para los relés de mando . 1089
Características de los contactos de los relés de mando . . . 1090
Dimensionado de los relés de mando 1091
Fiabilidad de los relés de mando 1092
Temporización de los relés de mando 1094
Características comunes a todos los sistemas de temporización. 1095