

Índice

Parte I. Transformadores

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE TRANSFORMADORES

Fundamento del transformador	19
Relaciones fundamentales del transformador	21
Objeto del transformador	24
Clasificación de los transformadores	26

CAPÍTULO 2. TEORÍA Y FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

Principio del transformador monofásico	33
Fuerza electromotriz inducida	36
Potencia nominal de un transformador monofásico	38
Funcionamiento del transformador monofásico en vacío	38
Diagrama vectorial del transformador en vacío	43
Funcionamiento del transformador monofásico en carga	47
Diagrama vectorial del transformador en carga	49
Reducción del secundario al primario y diagrama vectorial correspondiente	52
Circuito equivalente del transformador	55
Tensión de cortocircuito	60
Corriente de cortocircuito	62
Variación de la tensión secundaria de un transformador	65
Pérdidas de potencia	76
Rendimiento	77
Calentamiento	82
Ejemplo de aplicación	83

CAPÍTULO 3. TEORÍA Y FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Conceptos generales sobre los transformadores polifásicos	87
Elementos de una transformación trifásica-trifásica	88
Transformación trifásica mediante tres transformadores monofásicos	88
Transformación trifásica mediante un solo transformador trifásico	90
Transformador trifásico de columnas con culatas en estrella	91
Transformador trifásico de columnas con culatas en triángulo	93
Transformador trifásico de dobles columnas	94
Transformador trifásico acorazado, con núcleos en estrella	96
Transformador trifásico acorazado de núcleo común	96
Transformador trifásico de cinco columnas	97
Diagrama vectorial de un transformador trifásico con cargas equilibradas	98
Esquema equivalente de un transformador trifásico	99
Características nominales de los transformadores trifásicos	100
Designación de bornes de los transformadores trifásicos	105
Ejemplo de aplicación	106

CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LAS TRANSFORMACIONES TRIFÁSICAS

Generalidades	113
Relaciones entre los elementos de una transformación trifásica	113

Polaridad propia de un arrollamiento	114	Transformación trifásica-dodecafásica	191
Polaridad relativa de dos arrollamientos de una misma fase	116		
Polaridad completa del sistema de un transformador trifásico	118	CAPÍTULO 6. ACOPLAMIENTO EN PARALELO DE TRANSFORMACIONES	
Desfase entre las tensiones de una transformación trifásica	119	Conceptos generales	193
Sentido de rotación de vectores en una transformación trifásica.	128	Condiciones para el acoplamiento en paralelo de transformadores.	196
Conexiones de los transformadores trifásicos	130	Primera condición: Igual frecuencia en las redes a acoplar	197
Grupos de conexión	131	Segunda condición: Iguales desfasos secundarios respecto al primario	197
Estudio de la transformación trifásica en conexión estrella-estrella (Yy)	136	Tercera condición: Igual sentido de rotación de las fases secundarias	203
Estudio de la transformación trifásica en conexión estrella-estrella (Yy) con arrollamiento terciario	142	Cuarta condición: Iguales relaciones de transformación en vacío.	204
Estudio de la transformación trifásica en conexión triángulo-estrella (Dy)	143	Quinta condición: Iguales tensiones porcentuales de cortocircuito	205
Estudio de la transformación trifásica en conexión estrella-triángulo (Yd)	145	Sexta condición: Relación de potencias nominales no mayor de de 1 : 3	209
Estudio de la transformación trifásica en conexión estrella-zigzag (Yz)	149	Normas para comprobar la posibilidad de un acoplamiento de transformadores en paralelo	210
Estudio de la transformación trifásica en conexión triángulo-triángulo (Dd)	153	Consideraciones sobre la subdivisión de la potencia total entre varios transformadores	214
		Cálculo del reparto de corrientes y de potencias	215
CAPÍTULO 5. TRANSFORMACIONES TRIFÁSICAS ESPECIALES		Ejemplos de aplicación	216
Conceptos generales	157		
Transformación trifásica-trifásica, utilizando dos transformadores monofásicos	157	CAPÍTULO 7. TEORÍA Y FUNCIONAMIENTO DE AUTOTRANSFORMADOR	
Conceptos generales sobre la transformación trifásica-monofásica	165	Conceptos generales	221
Transformador trifásico-monofásico en conexión estrella-triángulo invertido	166	Principio del autotransformador monofásico	222
Transformador trifásico-monofásico en conexión Vv invertida	168	Ventajas e inconvenientes del autotransformador monofásico	223
Transformador trifásico-monofásico en conexión Tl	171	Funcionamiento del autotransformador monofásico	227
Transformación trifásica-bifásica.	177	Potencia de paso y potencia interna	229
Transformación trifásica-hexafásica	181	Autotransformadores trifásicos	231
		Aplicaciones de los autotransformadores	235

CAPÍTULO 8. TEORÍA Y FUNCIONAMIENTO DEL AMPLIFICADOR MAGNÉTICO

Generalidades	239
Reactancia saturable	239
Amplificador magnético de una alternancia	243
Amplificador magnético simétrico	247
Amplificador magnético de reacción positiva exterior	258
Amplificador magnético autosaturado	261
Amplificador magnético de respuesta rápida	265
Observaciones sobre el empleo de los amplificadores magnéticos	268
Ejemplos de aplicaciones de los amplificadores magnéticos	269

CAPÍTULO 9. TRANSFORMADORES DE MEDIDA

Conceptos generales	273
Transformador de intensidad	274
Transformador de tensión	287

CAPÍTULO 10. OTROS TRANSFORMADORES ESPECIALES

Conceptos generales	299
Transformador para conexión a tierra	299
Transformador de seguridad	301
Transformador de aislamiento	301
Transformadores de varios arrollamientos	303
Transformador de corriente constante	304
Transformador de corriente continua	308
Transformador adicional	309
Regulador de inducción	310
Bobinas de impedancia	321

CAPÍTULO 11. REGULACIÓN DE LA TENSIÓN EN LOS TRANSFORMADORES

Generalidades	327
Regulación en vacío de la tensión en los transformadores	328
Regulación bajo carga de la tensión en los transformadores	332

CAPÍTULO 12. DISPOSICIÓN CONSTRUCTIVA DE LOS TRANSFORMADORES

Concepción general de los transformadores	341
Conjuntos constructivos	345
Constitución general de un transformador	350
Organos magnéticos de los transformadores	351
Disposición constructiva de los arrollamientos de transformador	362
Pasatapas y terminales	388
Cuba y accesorios	395
Transformadores con aislamiento de pyraleno	402
Transformadores secos	404

CAPÍTULO 13. REFRIGERACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES

Conceptos generales	405
Sistemas de refrigeración	406
Autorefrigeración de transformadores	407
Refrigeración de transformadores por ventilación independiente	412
Refrigeración de transformadores por circulación forzada de aceite	416
Comparación de los diferentes sistemas de refrigeración de transformadores	422

Parte II. Convertidores

CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES

Definición y clasificación de los convertidores	427
Repaso general sobre los diferentes convertidores que se encuentran en la práctica	428

CAPÍTULO 2. CONVERTIDORES ROTATIVOS ALTERNA-CONTINUA

Conceptos generales	431
Grupo motor-generador	431
Conmutatrices	440

CAPÍTULO 3. CONCEPTOS GENERALES SOBRE RECTIFICADORES	
Introducción	443
Teoría elemental del rectificador.	444
Resistencia directa y resistencia inversa de un rectificador	446
Tensión inversa	447
Relaciones entre tensiones y corrientes en los rectificadores . .	448
Rendimiento	457
Índice de ondulación	458
Factor de forma	458
Cálculo de la relación existente entre el índice de ondulación y el factor de forma	458
Influencia de la carga	460
Carga inductiva	461
Carga capacitiva	463
Carga con fuerza contraelectromotriz	466
Conexión en serie y conexión en paralelo de elementos rectificadores	468
Potencia de disipación	472
Rectificación libre y rectificación controlada	473
El gobierno de los elementos rectificadores controlados	477
CAPÍTULO 4. CLASES DE RECTIFICADORES	
Introducción	483
Rectificadores monofásicos	483
Rectificadores bifásicos o de onda completa	495
Rectificador puente	503
Rectificador trifásico de media onda	508
Rectificador trifásico de onda completa	515
Rectificador hexafásico de media onda	523
Rectificador hexafásico de onda completa	529
Rectificadores controlados	535
Cualidades de los rectificadores .	551
CAPÍTULO 5. FILTRADO Y ESTABILIZACIÓN	
Constante de tiempo	557
El condensador como filtro	560
Filtro de corriente rectificadora . .	563
Filtros para rectificadores de onda completa	564
Cálculo de la bobina de filtro . . .	566
Filtrado de los armónicos	567
Factores esenciales para la estabilización	570
Estabilizadores electromagnéticos	572
Estabilización de tensión mediante tubo regulador	579
Estabilizadores de tensión de selenio	581
Estabilizador de tensión mediante diodos Zener	585
Estabilizadores con tensión de referencia	590
CAPÍTULO 6. DIODOS RECTIFICADORES	
Ionización	593
El diodo termoiónico	594
Curva característica del diodo termoiónico	597
Válvulas de gas	601
Fanotrón	602
Tiratrón	605
Tiratrón tetrodo	611
Ignitrón	612
Excitrón	615
Rectificador de óxido de cobre . . .	616
Rectificador de selenio	618
Rectificador de silicio	621
Tiristor	626
CAPÍTULO 7. REFRIGERACIÓN Y PROTECCIÓN DE RECTIFICADORES	
Generalidades sobre la protección de diodos de silicio	631
Capacidad de sobrecarga de un diodo de silicio	633
Radiadores	636
Refrigeración de diodos de silicio mediante circulación natural de aire	641
Refrigeración por circulación forzada de aire	645
Refrigeración por líquido	649
Cortocircuito	651
Cálculo de la corriente de cortocircuito en régimen permanente	653

Cálculo de la corriente de cortocircuito en régimen transitorio	659	Diseño eléctrico	717
Protección de diodos por medio de fusibles	661	Conexión de la instalación	719
Protección por cortacircuitador	669	Rectificadores	721
Protección de los rectificadores mediante disyuntor de corriente continua	672	Refrigeración	725
Protección del rectificador mediante un disyuntor de corriente alterna trifásica	676	Montaje y puesta en servicio	726
Combinación de dispositivos de protección contra las sobrecargas y cortocircuitos	676	CAPÍTULO 9. CONVERTIDORES CONTINUA-ALTERNIA	
Protección de rectificadores mediante fusible y disyuntor de corriente alterna	678	Introducción	727
Protección de rectificadores mediante fusible, cortacircuitador y disyuntor de corriente alterna	678	Clasificación de los onduladores	728
Protección de rectificadores mediante fusible, disyuntor de corriente continua y disyuntor de corriente alterna	678	Onduladores electromecánicos	729
Protección de rectificadores mediante cortacircuitador, disyuntor de corriente continua y disyuntor de corriente alterna	679	Onduladores con tiristores	733
Generalidades sobre la protección contra sobretensiones	679	Onduladores reversibles	740
Origen de las sobretensiones en los grupos rectificadores con diodos de silicio	682	Onduladores trifásicos	741
Protección contra sobretensiones	686	Filtrado de la señal procedente del mutador	746
Protección contra sobretensiones en circuitos rectificadores monofásicos	687	Teorema de Fourier	746
Protección contra sobretensiones en circuitos rectificadores trifásicos	692	Compensación de la señal producida por un ondulador	750
Resistencia en serie con el condensador de protección	699	Dispositivo de mando y regulación	751
Conclusiones	703	Aplicaciones de los onduladores no autónomos	753
Protección de diodos rectificadores de selenio	704	Aplicaciones de los onduladores autónomos	757
Protección de rectificadores de vapor de mercurio	713	CAPÍTULO 10. RECTIFICADORES DE VAPOR DE MERCURIO	
CAPÍTULO 8. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE RECTIFICADORES ESTÁTICOS		Conceptos generales	761
Introducción	715	Fundamento del rectificador de vapor de mercurio	762
Condiciones previas	715	Rectificador monofásico de vapor de mercurio	763
		Rectificador polifásico de vapor de mercurio	765
		Estudio de algunos fenómenos que suceden durante el funcionamiento de un rectificador de vapor de mercurio	768
		Excitación de los rectificadores de vapor de mercurio	774
		Relaciones de tensiones y corrientes en los rectificadores de vapor de mercurio	774
		Características de los transformadores para rectificadores de vapor de mercurio	780
		Características de caída de tensión en los rectificadores de vapor de mercurio	786

Características de rendimiento de un rectificador de vapor de mercurio	788
Influencia de la temperatura en las características de funcionamiento de un rectificador de vapor de mercurio	790
Características de factor de potencia de un rectificador de vapor de mercurio	790
Acoplamiento en paralelo de rectificadores de vapor de mercurio	792
Disposición constructiva de los rectificadores de vapor de mercurio	797
 CAPÍTULO 11. MUTADORES DE VAPOR DE MERCURIO	
Convertidor de vapor de mercurio con rejilla de control	819
Acción de la rejilla de control	819
Acción de la rejilla de control en un convertidor de vapor de mercurio	823
Características de funcionamiento como ondulator	828
Paso del funcionamiento como rectificador al funcionamiento como ondulator	829
Dispositivos para la alimentación de rejillas	834
Otras aplicaciones de los mutadores de vapor de mercurio	840
Funcionamiento del mutador de vapor de mercurio como regulador de velocidad	841
Funcionamiento del mutador de vapor de mercurio como convertidor continua-continua	845
Funcionamiento del mutador de vapor de mercurio como convertidor alterna-alterna	846
Disposición constructiva de los mutadores de vapor de mercurio	849
Mutadores monoanódicos de vapor de mercurio	851

 CAPÍTULO 12. CONVERTIDORES ALTERNA-ALterna	
Conceptos generales	865
Campo de aplicación de los convertidores de frecuencia	866
Clasificación de los convertidores de frecuencia	867
Convertidores de frecuencia rotativos	868
Convertidores de frecuencia rotativos con motor síncrono-generador síncrono	868
Convertidores de frecuencia rotativos con motor asíncrono-generador asíncrono	873
Convertidores de frecuencia rotativos con motor asíncrono-generador síncrono	880
Generalidades sobre los convertidores alterna-alterna estáticos	894
Graduadores de potencia	895
Graduadores de potencia por regulación de fase	895
Graduadores de potencia por supresión de alternancias	900
Convertidores de frecuencia estáticos	901
Convertidores de frecuencia estáticos con ondulator	902
Cicloconvertidores	903
Cicloconvertidor monofásico	904
Cicloconvertidor trifásico	906
Protecciones obligatorias para los convertidores alterna-alterna estáticos	908
Aplicaciones de los graduadores de potencia	909
Aplicaciones de los convertidores de frecuencia estática	911
 CAPÍTULO 13. CONVERTIDORES CONTINUA-CONTINUA	
Conceptos generales	913
Convertidores continua-continua rotativos	914
Convertidores continua-continua estáticos reductores de tensión	921
Convertidores continua-continua estáticos elevadores de tensión	923