ÍNDICE

Págs.

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I. — **Transformadores**

1. Generalidades 3
2. Pérdidas de los transformadores 3
3. Diagrama del funcionamiento del transformador 4
   - Funcionamiento en vacío 8
   - Tensión de cortocircuito y caída de tensión 9
4. Rendimiento de un transformador 13
5. Estudio económico de los transformadores 14
6. Acoplamiento de los bobinados de los transformadores 19
7. Cargas desequilibradas en las líneas servidas por transformadores 21
   - Conexión en estrella-zigzag 22
   - Conexión en triángulo-estrella 25
   - Conexiones en triángulo-zigzag 25
   - Conexiones en estrella-estrella 26
8. Armónicas de orden superior 28
   - Corriente de imanación 28
   - Influencia de la clase de acoplamiento sobre la forma de las curvas 29
9. Autotransformadores 33
10. Funcionamiento en paralelo de los transformadores 34
    - Condiciones necesarias 34
    - Modo de proceder para comprobar la posibilidad de acoplamiento en paralelo 37
11. Ensayos de los transformadores 39
    - Relación de transformación en vacío 40
    - Pérdidas en el hierro 40
    - Pérdidas en los arrollamientos 41
    - Temperatura que alcanzará el transformador 42
    - Aislamiento de los arrollamientos entre sí y con relación a la masa 43
    - Ensayo de sobretensión 43
    - Ensayo de ondas de frente escarpado 44
    - Tensión de cortocircuito 48
    - Aislamiento de los conductores contiguos de los arrollamientos 49
12. Pedidos de transformadores y placas de características 51
13. Temperaturas de trabajo de los transformadores 52
    - Aumento de temperatura admisible sobre la del ambiente 52
    - Sistemas de evacuación del calor desprendido por el núcleo y arrollamientos 53
    - Enfriamiento natural 53

Págs.

Enfriamiento por radiadores ventilados 56
Enfriamiento por circulación de aceite y ventilación forzada 56
Enfriamiento por circulación de aceite en un refrigerante separado con agua 57
Reducción de las dimensianes de los transformadores reforzando la ventilación 58
14. Subdivisión de la potencia total de las estaciones transformadoras 58
15. Arrollamientos 59
16. Núcleos 67
17. Transporte de los transformadores 71
18. Prescripciones reglamentarias 73

CAPÍTULO II. — **Interruptores**

1. Objeto y funcionamiento del interruptor 75
2. Proceso de interrupción y magnitudes características 77
Tensión nominal de la línea 79
Corriente de ruptura 79
Corriente de cortocircuito inicial 79
Capacidad de ruptura 79
Tensión de restablecimiento 80
Ciclo de trabajo 82
3. Prestación de los interruptores 82
Interrupción de circuitos atravesados por pequeñas corrientes inductivas 83
Apertura del circuito con líneas en vacío 84
Ruptura de cortocircuitos en oposición de fase 86
4. Reenganche rápido 87
5. Interruptores en baño de aceite 89
Mandos indirectos 96
Mando a distancia por electroimán 97
Acumulador de fuerza 98
Aparatos auxiliares 99
6. Interruptores de reducido volumen de aceite 100
Construcción de los interruptores de reducido volumen de aceite 102
Comportamiento de los disyuntores de reducido volumen de aceite en los diferentes procesos de su trabajo 105
a) Interrupción en caso de cortocircuito 105
b) Interrupción de corrientes inductivas de reducido valor (transformadores en vacío) 106
c) Desconexión de líneas que funcionan en vacío 106
d) Desconexión del disyuntor con oposición de fase 107
e) Reenganche rápido 108
f) Ensayo indirecto de la potencia de ruptura 108
g) Ensayos directos de la capacidad de ruptura 110
7. Interruptores neumáticos 111
Consideraciones relativas a su funcionamiento 111
Consideraciones de orden neumático y mecánico 131
Instalación de aire comprimido 132
8. Interruptores de expansión 135
9. Conclusiones 139

Págs.

10. Pruebas de los interruptores 142
Prueba de prestación 142
Prueba de sobrecarga 142
Prueba de temperatura 142
Prueba de aislamiento 143
Prueba de resistencia mecánica 143
Prueba de presión 143
Prueba de funcionamiento 144
Control de tipo 144
Placa de características 144
Prescripciones varias 144
11. Pedido de interruptores 144
12. Prescripciones del reglamento 145

CAPÍTULO III. — **Cálculo de las corrientes de cortocircuito**

1. Método de la caída porcentual de tensión 149
2. Cortocircuito tripolar 151
Cálculo de la impedancia 151
Cálculo de la corriente de cortocircuito 153
Corriente de cortocircuito permanente 153
Corriente de cortocircuito inicial 153
Corrientes de cortocircuito bipolar y unipolar 153
Ejemplo I 156
Ejemplo II 162
3. Determinación práctica de las corrientes de cortocircuito 164
4. Bobinas de reactancia 165
5. Efectos de las corrientes de cortocircuito 167
Calentamiento 167
Fuerza electromagnética entre conductores paralelos 168

CAPÍTULO IV. — **Relés**

1. Clases de relés 171
2. Relé directo, electromagnético, de máxima intensidad con retardo que depende de la corriente 171
3. Relé indirecto de máxima intensidad, con retardo que depende de la corriente 173
4. Relé directo de máxima intensidad y con retardo independiente de la corriente 175
5. Relé secundario de máxima intensidad con retardo que no depende de la corriente 177
6. Relé de retorno de energía 178
7. Modos de efectuar la desconexión de los relés secundarios 182
8. Relé de Buchholz 185
9. Protección diferencial 189
10. Protección contra las sobrecargas 195
Disposición de imagen térmica 196
Relés térmicos directos 198
Aplicaciones 201
Relés térmicos secundarios 202
11. Relé de distancia y de mínima impedancia 204
12. Relé de distancia rápido 213
13. Protección de las redes de distribución 220

Págs.

14. Observaciones relativas a los transformadores para el servicio de los relés 226
Transformadores de intensidad 226
Transformadores de tensión 227
Corrientes de cortocircuito 227
Control de los relés 228
15. Prescripciones reglamentarias 228

CAPÍTULO V. — **Conexiones. Seccionadores. Fusibles. Interruptores para baja tensión. Tomas de tierra**

1. Conexiones 229
Conductores 229
Prescripciones reglamentarias referentes a los conductores 232
Empalmes 237
Derivaciones 238
Terminales 239
Aisladores-soportes 240
Pasamuros 241
Distancias entre conductores, y entre éstos y tierra 241
2. Seccionadores 241
3. Fusibles 252
Fusibles para alta tensión 253
Microfusibles 256
Fusibles para baja tensión 257
4. Interruptores de baja tensión 259
Interruptores de palanca 259
Interruptores automáticos 260
5. Tomas de tierra 262
Prescripciones del reglamento 267

CAPÍTULO VI. — **Cuadros de distribución. Transformadores de medida**

A. Cuadros de distribución 277
1. Aparatos 277
Amperímetros 277
Voltímetros 280
Frecuencímetros 281
Fasímetros 282
Vatímetros 284
Contadores 286
Aparatos de perfil 290
Montura 290
Esquemas de conexiones 294
2. Paneles y armazones para cuadros de distribución. Señalización 294
3. Prescripciones del reglamento 304
B. Transformadores de medida 305
1. Objeto de estos transformadores 305
Transformadores de tensión 305
Transformadores de intensidad 306
2. Errores debidos a los transformadores de medida 306
Límites de errores 307

Págs.

Transformadores de intensidad 308
Transformadores de tensión 309
3. Potencia nominal de los transformadores de medida 309
4. Disposición en la instalación de los transformadores de medida 311
5. Comprobaciones 313
Comprobación de los bornes 313
Comprobación de las conexiones entre los transformadores y los aparatos 314
6. Ensayos a que se someten los transformadores de medida 316
Pruebas de rigidez dieléctrica (aislamiento externo) 316
Transformadores monofásicos 317
Transformadores trifásicos 317
7. Placas de características de los transformadores de medida 317
8. Tipos de transformadores de medida 317
9. Transformadores de medida aislados con aire comprimido 322

CAPÍTULO VII. — **Protección contra las sobretensiones**

A. Sobretensiones 327
1. Generalidades 327
2. Origen de las sobretensiones 328
3. Impedancia de onda 328
4. Ondas de frente escarpado 329
5. Sobretensiones de origen atmosférico 330
Descargas atmosféricas entre nubes y líneas aéreas 330
Rayos indirectos 332
a) Por descarga entre línea y tierra 332
b) Ondas de frente escarpado por causa del efecto de pantalla de los edificios 334
Rayos directos 334
6. Sobretensiones de origen interno 338
Sobretensiones a la frecuencia de servicio 338
Sobretensiones debidas a la apertura de los interruptores 338
Sobretensiones de puesta a tierra 339
Sobretensiones de puesta en servicio de una línea 340
Sobretensiones por cambio de características del circuito 340
7. Efecto de un cable sobre el frente de onda: aplanamiento de las ondas de sobretensión 341
B. Pararrayos 342
1. Estudio general de los pararrayos 342
Pararrayos de efecto autovalvular 347
Proceso de funcionamiento del pararrayos 347
Algunos tipos de pararrayos autovalvulares 349
Aplanamiento de las ondas de sobretensión 351
2. Consideraciones diversas sobre los pararrayos autovalvulares 352
Tensión nominal del pararrayos 352
Poder de descarga del pararrayos 353
Radio de acción de los pararrayos y lugar de su emplazamiento 354
Exigencias en la fabricación de los pararrayos 357
Características de las resistencias 361
Conexión a tierra de los pararrayos 362

Págs.

3. Pararrayos de baja tensión 362
4. Instalación de los pararrayos 365
5. Prescripciones reglamentarias 367
C. Coordinación del aislamiento 368
1. Resistencia de los aislantes a las diferentes clases de sobretensiones 368
2. Coordinación del aislamiento en las estaciones transformadoras 371
3. Coordinación del aislamiento entre líneas y estaciones transformadoras 374
4. Conclusiones 376

CAPÍTULO VIII. — **Puesta a tierra del neutro de la instalación**

1. Instalación con neutro aislado 379
2. Instalación con neutro a tierra por intermedio de una bobina de inductancia 382
Influencia de las pérdidas a tierra por defecto de aislamiento y por otra clase de resistencias 385
Resonancia y disonancia 386
Duración de la carga 388
Regulación de la bobina de inductancia 388
Instalación de las bobinas de inductancia 394
Fórmulas para el cálculo de la corriente de tierra 394
Cálculo de la potencia de la bobina 396
3. Neutro de la instalación unido directamente a tierra 397
4. Conclusiones 399

CAPÍTULO IX. — **Elementos de que constan las estaciones transformadoras y distribuidoras y su disposición en las mismas**

A. Esquema de conexiones 401
1. Barras ómnibus, transformadores, interruptores, seccionadores y pararrayos. 401
2. Relés de protección 406
3. Aparatos de medida 416
B. Disposición de los aparatos en los edificios (instalación interior) 426
1. Edificios 426
2. Pasamuros 428
3. Celdas 430
Prescripciones reglamentarias relativas a las celdas 441
4. Batería de acumuladores 446
5. Alumbrado de las subestaciones 449
6. Canalizaciones 449
7. Dispositivos contra incendios 450
8. Condensadores síncronos 451
9. Ejemplos de instalaciones 451
Estaciones transformadoras instaladas en cavernas 466
10. Cabinas subterráneas 469
11. Prescripciones del reglamento 475
C. Instalaciones a la intemperie 478
1. Instalaciones a la intemperie 478
2. Estructuras 487
3. Barras y conexiones 488
4. Edificios 493

Págs.

5. Torre de montaje y talleres 495
6. Canalizaciones 498
7. Alumbrado 499
8. Cierres 499
9. Otros ejemplos de instalaciones de transformación a la intemperie 499
10. Prescripciones reglamentarias 510
11. Proyectos 511
12. Tramitación de los proyectos 513

CAPÍTULO X. — **Ventilación**

1. Ventilación de los edificios para estaciones transformadoras 517
Cantidad de aire necesaria 518
Fuerza ascensional del aire caliente 520
Sección necesaria de los canales 521
Caso en que no es suficiente la circulación natural 527
2. Tipos de cabinas de superficie 529
3. Cabinas subterráneas 531

CAPÍTULO XI. — **Aceites**

1. Propiedades de los aceites 537
2. Métodos para comprobar el aceite 538
3. Prescripciones para los aceites 547
4. Instrucciones para la toma de muestras (Normas C.E.I.) 548

CAPÍTULO XII. — **Puesta en servicio de los transformadores. Entretenimiento del aceite en la explotación**

A. Puesta en servicio de los transformadores 553
1. Desecación previa 553
2. Calentamiento con resistencias metálicas 553
3. Calentamiento de los transformadores fuera del baño de aceite 555
4. Filtro-prensa 555
5. Filtrado con aparatos centrífugos 557
6. Secado del aceite y de los núcleos por el vacío 561
B. Entretenimiento del aceite en la explotación 567
Instrucciones para la conservación del aceite 567