

Manuel Álvarez Pulido

Materiales
adicionales en la



Transformadores

**Cálculo fácil de transformadores y autotransformadores,
monofásicos y trifásicos de baja tensión**

 **Alfaomega**

 **marcombo**
ediciones técnicas

Transformadores

**Cálculo fácil de
transformadores y autotransformadores,
monofásicos y trifásicos
de baja tensión**

Manuel Álvarez Pulido

Transformadores

**Cálculo fácil de
transformadores y autotransformadores,
monofásicos y trifásicos
de baja tensión**



Datos catalográficos
Álvarez, Manuel
Transformadores. Cálculo fácil de transformadores y autotransformadores, monofásicos y trifásicos de baja tensión
Primera Edición
Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México
ISBN: 978-607-7686-41-5
Formato: 17 x 23 cm
Páginas: 236

Transformadores. Cálculo fácil de transformadores y autotransformadores, monofásicos y trifásicos de baja tensión

Manuel Álvarez Pulido

ISBN: 978-84-267-1551-7, edición original publicada por MARCOMBO, S.A., Barcelona, España
Derechos reservados © MARCOMBO, S.A.

Primera edición: Alfaomega Grupo Editor, México, abril 2009

© 2009 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
Pitágoras 1139, Col. Del Valle, 03100, México D.F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
Registro No. 2317

Pág. Web: <http://www.alfaomega.com.mx>
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

ISBN: 978-607-7686-41-5

Derechos reservados:

Esta obra es propiedad intelectual de su autor y los derechos de publicación en lengua española han sido legalmente transferidos al editor. Prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Nota importante:

La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos, han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele.

Edición autorizada para venta en México y todo el continente americano.

Impreso en México. Printed in Mexico.

Empresas del grupo:

México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. – Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F. – C.P. 03100.
Tel.: (52-55) 5089-7740 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396
E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S.A. – Carrera 15 No. 64 A 29 – PBX (57-1) 2100122, Bogotá, Colombia, Fax: (57-1) 6068648 – E-mail: scliente@alfaomega.com.co

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A. – General del Canto 370-Providencia, Santiago, Chile
Tel.: (56-2) 235-4248 – Fax: (56-2) 235-5786 – E-mail: agechile@alfaomega.cl

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A. – Paraguay 1307 P.B. “11”, Buenos Aires, Argentina, C.P. 1057 – Tel.: (54-11) 4811-7183 / 8352, E-mail: ventas@alfaomegaeditor.com.ar

A Nuño y Jorge, los que faltaban

Índice general

Prólogo	xvii
Introducción	xix
Capítulo 1	
Generalidades	1
1.1 ¿Qué es y para que sirve un transformador?	1
1.2 Constitución	2
1.3 Circuito eléctrico	2
1.4 Circuito magnético	3
1.5 Simbología	4
1.6 Flujo de dispersión	4
1.7 Densidad de corriente	5
Capítulo 2	
Funcionamiento	9
Capítulo 3	
Chapas magnéticas	17
1.1 A tope	18
1.2 A solape	19
Capítulo 4	
Carretes de plástico	25
1.1 Devanados consecutivos	28
1.2 Devanados alternos	29
Capítulo 5	
Cálculo de transformador monofásico	31
1. Método de tablas	31
1.1 Potencia del transformador	31
1.2 Sección del núcleo	32

Transformadores

1.3	Elección de la chapa magnética	33
1.4	Número de espiras del devanado primario	34
1.5	Número de espiras del devanado secundario	35
1.6	Diámetro del hilo del devanado secundario	35
1.7	Diámetro del hilo del devanado primario	36
	Resumen	36

Capítulo 6

Cálculo práctico de un transformador monofásico **39**

1. Método de tablas **39**

1.1	Potencia del transformador	39
1.2	Sección del núcleo	40
1.3	Elección de la chapa magnética	40
1.4	Número de espiras del devanado primario	41
1.5	Número de espiras del devanado secundario	41
1.6	Diámetro del hilo del devanado secundario	42
1.7	Diámetro del hilo del devanado primario	42
1.8	Resumen de los datos calculados	43
1.9	Ajustes de los hilos calculados	43

Capítulo 7

Cálculo de transformadores monofásico **47**

1. Método analítico **47**

1.1	Datos	47
1.2	Espiras/ Voltios	47
1.3	Número de espiras del devanado primario	48
1.4	Número de espiras del devanado secundario	48
1.5	Sección del núcleo	48
1.6	Elección de la chapa magnética	48
1.7	Intensidad del devanado primario	49
1.8	Intensidad del devanado secundario	49
1.9	Sección del hilo del devanado primario	49
1.10	Sección del hilo del devanado secundario	49
1.11	Diámetro del hilo del devanado primario	49
1.12	Diámetro del hilo del devanado secundario	50
	Resumen	50

Capítulo 8

Cálculo práctico de transformador monofásico **51**

1.1	Datos	51
1.2	Espiras/ Voltios	51
1.3	Número de espiras del devanado primario	51
1.4	Número de espiras del devanado secundario	51
1.5	Sección del núcleo	52
1.6	Elección de la chapa magnética	52
1.7	Intensidad del devanado primario	53
1.8	Intensidad del devanado secundario	53
1.9	Sección del hilo del devanado primario	53
1.10	Sección del hilo del devanado secundario	53
1.11	Diámetro del hilo del devanado primario	53
1.12	Diámetro del hilo del devanado secundario	53
	Resumen	54

Capítulo 9

Transformadores con devanados múltiples	55
1.1 Devanados múltiples en circuito primario	55
1.2 Devanados múltiples en circuito secundario	56
1.3 Transformadores con devanados múltiples en el circuito primario y secundario	57
1.4 Sustitución de un transformador con devanados múltiples	57
1.5 Sustitución de un transformador con devanados múltiples y cero común	58
1.6 Cálculo de de transformadores con devanados múltiples	59
1.7 Conexión de los devanados secundarios	60

Capítulo 10

Modificación de las características de un transformador	63
--	-----------

Capítulo 11

Acoplamiento en paralelo de transformadores monofásicos	67
1. Tipos de bobinados	67
1.1 Bobinado a derecha	67
1.2 Bobinado a izquierda	68
2. Terminales homólogos	69

Capítulo 12

Transformadores de intensidad	71
--	-----------

Transformadores

1. ¿Qué son y para qué se utilizan?	71
2. Símbolo	72
3. Modificación de transformadores de intensidad	72
3.1 Modificando el bobinado primario	74
3.2 Modificando el bobinado secundario	76
4. Contratación de un transformador de intensidad modificado .	76
5. Transformador de intensidad con núcleo partido	79

Capítulo 13

Transformadores utilizados en soldadura al arco	81
1. Particularidades de los transformadores utilizados en equipos de soldadura al arco	81
2. Equipo de soldadura por flujo de dispersión	82
3. Equipo de soldadura con regulación por conmutador	84
4. Equipo de soldadura trifásica por flujo de dispersión	85
5. Equipo de soldadura con regulación electrónica	88
5.1 Transformador de soldadura	89
5.2 Conmutador de tensión	89
5.3 Triac	90
5.4 Circuito de disparo	90

Capítulo 14

Sustitución de hilo de aluminio por cobre	91
--	-----------

Capítulo 15

Cálculo de un transformador de alta intensidad	93
1.1 Datos	93
1.2 Espiras/Voltios	94
1.3 Número de espiras del devanado primario	94
1.4 Número de espiras del devanado secundario	94
1.5 Sección del núcleo	94
1.6 Intensidad del devanado primario	94
1.7 Intensidad del devanado secundario	94
1.8 Sección del hilo del devanado primario	95
1.9 Sección del hilo del devanado secundario	95
1.10 Diámetro del hilo del devanado primario	95
1.11 Diámetro del hilo del devanado secundario	95
1.12 Elección de la chapa magnética	95

Capítulo 16

Transformadores trifásicos	103
1. Cálculo de transformadores III	103
1.1 Sección de cada núcleo	104
1.2 Flujo magnético	104
1.3 Potencia del bobinado primario	104
1.4 Intensidad del bobinado primario	105
1.5 Intensidad del bobinado secundario	105
1.6 Potencia perdida en el transformador	105
1.7 Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado primario	105
1.8 Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado secundario	105
1.9 Tensión de fase primaria en triángulo	105
1.10 Tensión de fase secundaria en estrella	105
1.11 Número de espiras del bobinado primario	105
1.12 Número de espiras del bobinado secundario	105
1.13 Sección del hilo del bobinado primario	106
1.14 Diámetro del devanado primario	107
1.15 Sección del hilo del bobinado secundario	107
1.16 Diámetro del devanado secundario	107
1.17 Ajustar los hilos a las medidas del carrete	107

Capítulo 17

Cálculo práctico de un transformador trifásico	111
1.1 Sección de cada núcleo	111
1.2 Flujo magnético	111
1.3 Potencia del bobinado primario	111
1.4 Intensidad del bobinado primario	112
1.5 Intensidad del bobinado secundario	112
1.6 Potencia perdida en el transformador	112
1.7 Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado primario	112
1.8 Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado secundario	112
1.9 Tensión de fase primaria en triángulo	112
1.10 Tensión de fase secundaria en estrella	112
1.11 Número de espiras del bobinado primario	112
1.12 Número de espiras del bobinado secundario	112
1.13 Sección del hilo del bobinado primario	112
1.14 Diámetro del devanado primario	113
1.15 Sección del hilo del bobinado secundario	113
1.16 Diámetro del devanado secundario	113
1.17 Ajustar los hilos a las medidas del carrete	113

Capítulo 18

Conexiones normalizadas de los transformadores trifásicos	117
1.1 Grupo A	117
1.2 Grupo B	117
1.3 Grupo C	118
1.4 Grupo D	119

Capítulo 19

Sustitución de un transformador trifásico por tres monofásicos	121
---	------------

Capítulo 20

Autotransformadores monofásicos	125
1. Generalidades	125
2. Ventajas e inconvenientes	126
3. Autotransformador reductor	127
4. Autotransformador elevador	128

Capítulo 21

Cálculo de autotransformadores monofásicos	129
1. Proceso de cálculo	129
1.1 Datos	129
1.2 Incremento de la tensión secundaria	129
1.3 Relación de transformación	130
1.4 Espiras por voltio	130
1.5 Espiras totales	130
1.6 Espiras en el circuito secundario	130
1.7 Espiras en el circuito primario	130
1.8 Sección del núcleo	131
1.9 Intensidad del circuito secundario	131
1.10 Intensidad del circuito primario	131
1.11 Intensidad de paso	131
1.12 Sección del hilo del devanado primario	132
1.13 Sección del devanado primario	132
1.14 Diámetro del devanado primario	132
1.15 Diámetro del devanado secundario	132

Capítulo 22

Cálculo práctico de autotransformador monofásico reductor 133

1. Proceso de cálculo	133
1.1 Datos	133
1.2 Incremento de la tensión secundaria	133
1.3 Relación de transformación	134
1.4 Espiras por voltio	134
1.5 Espiras totales	134
1.6 Espiras en el circuito secundario	134
1.7 Espiras en el circuito primario	134
1.8 Sección del núcleo	134
1.9 Intensidad del circuito secundario	135
1.10 Intensidad del circuito primario	135
1.11 Intensidad de paso	135
1.12 Sección del hilo del devanado primario	135
1.13 Sección del devanado primario	135
1.14 Diámetro del devanado primario	135
1.15 Diámetro del devanado secundario	135
Resumen de los datos calculados	135

Capítulo 23

Cálculo práctico de un autotransformador elevador . . . 139

1. Proceso de cálculo	139
1.1 Datos	139
1.2 Incremento de la tensión secundaria	139
1.3 Relación de transformación	140
1.4 Espiras por voltio	140
1.5 Espiras totales	140
1.6 Espiras en el circuito secundario	140
1.7 Espiras en el circuito primario	140
1.8 Sección del núcleo	140
1.9 Intensidad del circuito secundario	140
1.10 Intensidad del circuito primario	140
1.11 Intensidad de paso	141
1.12 Sección del hilo del devanado primario	141
1.13 Sección del devanado primario	141
1.14 Diámetro del devanado primario	141
1.15 Diámetro del devanado secundario	141
Resumen de los datos calculados	142

Capítulo 24

Cálculo de autotransformadores trifásicos	143
1. Proceso de cálculo	143
1.1 Datos	143
1.2 Incremento de la tensión secundaria	143
1.3 Relación de transformación	144
1.4 Espiras por voltio	144
1.5 Espiras totales	144
1.6 Espiras del circuito secundario	144
1.7 Espiras del circuito primario	144
1.8 Sección del núcleo	144
1.9 Intensidad del circuito secundario	144
1.10 Intensidad del circuito primario	144
1.11 Intensidad de paso	144
1.12 Sección del devanado primario	144
1.13 Sección del devanado secundario	144
1.14 Diámetro del devanado primario	145
1.15 Diámetro del devanado secundario	145

Capítulo 25

Cálculo práctico de un autotransformador trifásico ...	147
1. Proceso de cálculo	147
1.1 Datos	147
1.2 Incremento de la tensión secundaria	147
1.3 Relación de transformación	147
1.4 Espiras por voltio	147
1.5 Espiras totales	147
1.6 Espiras del circuito secundario	147
1.7 Espiras del circuito primario	148
1.8 Sección del núcleo	148
1.9 Intensidad del circuito secundario	148
1.10 Intensidad del circuito primario	148
1.11 Intensidad de paso	148
1.12 Sección del devanado primario	148
1.13 Sección del devanado secundario	148
1.14 Diámetro del devanado primario	148
1.15 Diámetro del devanado secundario	148
Resumen	149

Capítulo 26

Conexión de los autotransformadores trifásicos	151
---	------------

Capítulo 27

Autotransformadores trifásicos para arranque de motores de inducción	153
---	------------

Capítulo 28

Pruebas a realizar en un transformador terminado . . .	157
---	------------

1.1 Ensayo de la chapa magnética	157
1.2 Ensayo de aislamiento. (Comprobación de derivaciones a masa) . .	158
1.3 Ensayo de aislamiento. (Comprobación de derivaciones entre devanados)	159
1.4 Relación de transformación	160
1.5 Ensayo de la relación de transformación de vacío de un transformador monofásico	161
1.6 Ensayo de la relación de transformación de vacío de un transformador trifásico	161
1.7 Ensayo de vacío (Pérdidas en el hierro)	163
1.8 Ensayo en vacío en un transformador monofásico	163
1.9 Ensayo en vacío en un transformador trifásico	164
1.10 Ensayo de la relación de transformación en carga	165
1.11 Ensayo de cortocircuito (Pérdidas en el cobre)	166
1.12 Ensayo de las pérdidas en el cobre en un transformador monofásico	167
1.13 Ensayo de las pérdidas en el cobre en un transformador trifásico .	168
1.14 Rendimiento de un transformador	168
1.15 Ensayo del rendimiento en un transformador monofásico	169
1.16 Ensayo del rendimiento en un transformador trifásico	169
1.17 Calentamiento de un transformador	169
1.18 Medida de la resistencia de los devanados	170
1.19 Medida de la resistencia de los devanados en transformadores monofásicos	171
1.20 Medida de la resistencia de los devanados en transformadores trifásicos	171
1.21 Pérdidas por corriente parásitas	172
1.22 Número de espiras del primario	172
1.23 Número de espiras del secundario	173
1.24 Corriente activa de vacío	173
1.25 Corriente magnetizante	173

Capítulo 29

Identificación de los devanados de un transformador trifásico	175
1.1 Identificación del neutro	176
1.2 Identificación de los devanados de alta tensión y baja tensión.	178
1.3 Identificación de los terminales homólogos	178

Capítulo 30

Protecciones para transformadores	181
1. Protección de transformadores mediante sondas térmicas	181
2. Protectores térmicos	181
3. Termistores y termistancias	183

Capítulo 31

Arrancador suave para transformador	187
--	------------

Capítulo 32

Tipos de transformadores	191
1.1 Transformadores para piscinas	191
1.2 Transformadores para usos clínicos	192
1.3 Transformadores para ignición de calderas	193
1.4 Transformadores toroidales	193
1.5 Transformadores de compoundaje	194
1.6 Transformadores para convertidores C.C.-C.A.	196

Capítulo 33

Proceso del bobinado de un transformador o autotransformador	199
---	------------

Capítulo 34

Instrucciones para el manejo de los programas de cálculo en Excel	203
1.1 Partes comunes	203
1.2 Programa para el cálculo de transformadores monofásicos	204
1.3 Programa para el cálculo de autotransformadores monofásicos	206
1.4 Programa para el cálculo de transformadores trifásicos	208
1.5 Programa para el cálculo de autotransformadores trifásicos	210

Prólogo

Es para mí una satisfacción prologar este libro, más aún y de manera especial si ese honor viene de un compañero con una extensa trayectoria profesional, que lleva una vida dedicada a las múltiples facetas de la técnica: Electrónica, Electricidad, Automatismos, Robótica... y que publica su sexto libro técnico.

El libro es un manual esencialmente práctico, está dedicado a los transformadores y autotransformadores de baja tensión, tanto monofásicos como trifásicos, y aunque existen en el mercado de la literatura técnica muchos libros que tratan este tema, pocos son los que lo abordan desde el punto de vista práctico eludiendo utilizar fórmulas matemáticas complejas. En este caso se simplifican los cálculos de manera extraordinaria para que los técnicos con poca base matemática puedan calcular correctamente cualquier transformador.

En este sentido hay que destacar las hojas de cálculo y las macros realizadas en Excel que facilitan los cálculos de cualquier transformador o autotransformador, monofásico y trifásico de baja tensión, por muy complejo que sea, y que puede encontrar en www.marcombo.com.

Su larga experiencia como profesor de Formación Profesional y en el mundo industrial, los numerosos cursos impartidos, tanto a técnicos de empresas, como a otros compañeros docentes, le avala como un gran didacta y esto se refleja de forma destacada en este libro, que considero será de gran ayuda para el trabajo con transformadores, para los técnicos de la industria, los profesores y alumnos.

En los años que hemos compartido experiencia docente en el IES Sáenz de Buruaga, he podido constatar el respeto y la valoración de sus alumnos, que una vez asentados en el mundo laboral agradecen su buena preparación. Por todo ello, estoy segura de que este libro será un éxito, al igual que los anteriores, que muchos profesores utilizan en la Formación Profesional como libros de texto porque simplifican temas complejos, explicándolos de manera sencilla y comprensible, amén del constante apoyo a la exposición de conceptos con numerosos ejemplos prácticos.

Ana M^a Sierra Carmona
Licenciada en Ciencias Exactas

Introducción

El transformador forma parte de nuestra vida, si miramos a nuestro alrededor pocos son los aparatos que funcionan sin transformador y sin embargo no se le da la importancia que realmente tiene, quizás sea porque lo vemos como una cosa normal, que ha dejado de ser novedad.

Actualmente la fabricación de transformadores se ha automatizado, como todo en la industria eléctrica-electrónica, hasta tal punto que los precios que éstos tienen más los descuentos que las empresas distribuidoras aplican hace que sean pocos los que calculen y fabriquen sus transformadores, sumado esto a que los equipos ya disponen de tensiones normalizadas en los que rara vez se precisa una tensión que no se encuentre entre las que se fabrican de manera general.

Ahora bien, a veces se precisan transformadores a medida con unas necesidades específicas, con una combinación de tensiones, que aunque sean estándar no se encuentran en un solo transformador. Transformadores con unas características de tensión e intensidad determinadas, sobre todo cuando se están realizando experiencias nuevas en la Universidad, en los Institutos de Formación Profesional o en las empresas.

Si bien es verdad que estos transformadores, denominados "especiales", las empresas especializadas los pueden fabricar sin dificultad técnica alguna, sí encuentran problemas para fabricar una o dos unidades, es decir, no rompen su proceso de fabricación, su cadena de montaje para vender una unidad que requiere un trabajo puramente manual. Por tanto, el plazo que da es muy grande para que al cliente no le interese y lo busque en otro fabricante.

Por todo ello, hay que fabricar el transformador como si de un traje a medida se tratara, personalizando en el transformador las necesidades de la aplicación que se precisa.

Asimismo, en Centros de Formación Profesional y Escuelas Universitarias se precisan transformadores para aprender las técnicas de conexión y funcionamiento que posteriormente se encontrarán en la industria y por tanto estos transformadores tienen que ser, a la vez que didácticos, especiales.

Este trabajo es, en realidad, un tratado práctico para poder calcular transformadores y autotransformadores monofásicos y trifásicos de Baja Tensión. Arrojan resultados muy aceptables y pueden competir sin problemas con los transformadores comerciales fabricados por empresas de reconocido prestigio.

El libro está basado principalmente en la experiencia del autor, que ha dedicado muchos años de su vida profesional a la fabricación y reparación de transformadores

utilizando los sistemas explicados en este libro y realizando posteriormente todos los protocolos citados en el libro.

Existen muchos libros dedicados a los transformadores, unos son excesivamente básicos y no aportan nada nuevo, comentan lo que ya se conoce, es decir, el funcionamiento y partes del mismo, otros, la mayoría muy buenos y con niveles muy altos, tan altos que contienen fórmulas tan sofisticadas y parámetros que en la mayoría de los casos no se precisan, porque no se pretende construir un transformador para llevarlo en una nave espacial a la luna. Por tanto, pocos son los que se dedican al cálculo de transformadores para los técnicos de a pie, para los del día a día, para los talleres electromecánicos, en definitiva, para aquellos técnicos con muy poca base matemática, que sólo precisan los cálculos básicos imprescindibles para construir un transformador para un cuadro eléctrico que va a trabajar en un proceso industrial y que tiene que funcionar con una seguridad extrema aunque se supere en un 50 % la potencia nominal durante un tiempo más que prudencial.

Se ha pretendido facilitar a los técnicos un buen manual para su quehacer diario.

Este libro será de gran ayuda a los técnicos de la industria, a los técnicos de talleres electromecánicos que se dedican a la reparación de máquinas eléctricas, a los profesores de enseñanzas técnicas, a los alumnos de Ingeniería y de Ciclos Formativos y en general a todos aquellos a quienes apasione la electricidad en cualquiera de sus facetas.

Los temas generales no son muy extensos porque se entiende que lo verdaderamente importante son los cálculos; no se han escatimado esfuerzos en éstos y están tratados ampliamente, de tal manera que se pueda abordar con éxito cualquier cálculo de transformadores o autotransformadores, sean monofásicos o trifásicos, aunque siempre de baja tensión.

Los contenidos del libro son:

- ❖ Parte teórica básica que se precisa para entender el funcionamiento del transformador y sus partes principales, como son la chapa magnética y los carretes de plásticos
- ❖ El transformador monofásico, diseño y cálculo por varios métodos. Ejemplos prácticos y reales de cálculos y tipos de transformadores monofásicos.
- ❖ Transformadores trifásicos, cálculos, ejemplos prácticos, etc.
- ❖ Autotransformadores monofásicos, cálculo, ejemplos prácticos, características, etc.
- ❖ Autotransformadores trifásicos, cálculos, ejemplos prácticos, etc.
- ❖ Ensayos a realizar en los transformadores antes de ponerlos en servicio.
- ❖ Distintos tipos de transformadores que se utilizan en la industria.

- ❖ Protecciones a instalar en los transformadores y arrancadores suaves de transformadores.
- ❖ Mecánica a seguir para construir un transformador después de calcularlo.

Por último, agradecer al equipo directivo del I.E.S. Sáenz de Buruaga de Mérida las facilidades dadas para poder realizar determinadas pruebas en sus instalaciones.

El Autor

Capítulo 1

Generalidades

1.1 ¿Qué es y para qué sirve un transformador?

Un transformador es una máquina eléctrica estática que transforma la energía eléctrica recibida en otra energía eléctrica de características distintas, bien sea de tensión, intensidad, etc. (Figura 1).

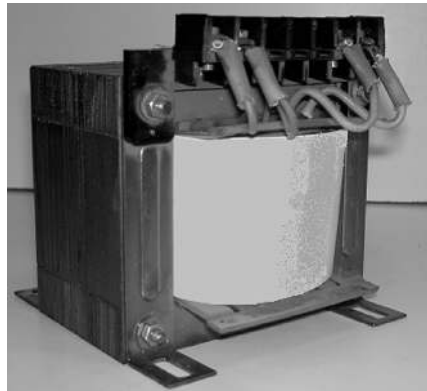


Figura 1. Aspecto físico de un transformador.

El transformador es uno de los equipos eléctricos más útiles de los utilizados en la electricidad, puede aumentar o disminuir la tensión, puede aislar un circuito de otro.

El transformador se utiliza, la mayoría de las veces, para rebajar la tensión de alimentación a valores más bajos y así poder manipular los circuitos sin riesgos para los usuarios.

El devanado primario es el que recibe la energía y el devanado secundario es el que la cede.

Un transformador, al ser una máquina estática, no tiene pérdidas mecánicas y por tanto puede alcanzar rendimientos del 98%.

Transformadores

Las únicas pérdidas son en el hierro (chapa magnética) y en el cobre (conductores de los devanados). Estas pérdidas producen caídas de tensión que modifican ligeramente la relación de transformación.

Las aplicaciones de los transformadores son innumerables. Se utilizan en cuadros de mando y control, equipos de soldadura, alumbrado de piscinas, equipos médicos, ignición de calderas, en general en todos aquellos equipos que precisan adaptar las tensiones normalizadas que suministran las compañías eléctricas a las precisadas por los equipos.

1.2 Constitución

Está constituido por dos circuitos principales:

- ❖ Circuito eléctrico
 - Devanado primario
 - Devanado secundario
- ❖ Circuito magnético
 - Chapa magnética

1.3 Circuito eléctrico

El circuito eléctrico está constituido por dos devanados, uno denominado primario y otro secundario.

Devanado primario

Está compuesto por una bobina de hilo esmaltado de cobre o aluminio que se arrolla en un carrete de plástico o cartón en la chapa magnética.

En un transformador el devanado primario es el que se conecta a la red, independientemente de que sea el que tenga mayor o menor número de espiras y, por tanto, mayor o menor tensión (figura 2).

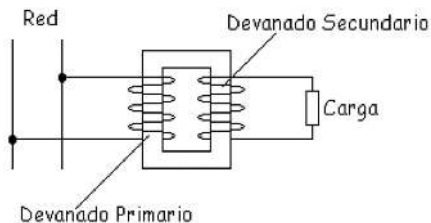


Figura 2. Devanados primario y secundario arrollados alrededor de la chapa magnética formando un transformador.

Al realizar el bobinado de un transformador, primero se arrolla el devanado de menor tensión, posteriormente una capa de cartón aislante y a continuación el bobinado de mayor tensión, que generalmente es el devanado primario.

Se debe de realizar de esta manera, para que en caso de derivación a masa sea la menor tensión la que se derive y, por tanto, el peligro sea menor.

La figura 3 muestra el devanado secundario de un transformador ya bobinado.

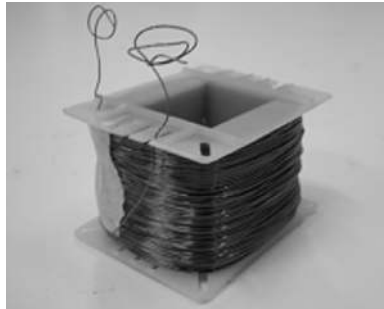


Figura 3. Detalle del arrollamiento secundario de un transformador.

Devanado secundario

También este devanado está constituido por una bobina de hilo esmaltado arrollada a través del núcleo magnético.

A este devanado se le conecta la carga para utilizar la nueva tensión obtenida.

Suele ser de mayor diámetro que el hilo del devanado primario

1.4 Circuito magnético

Está compuesto por la chapa magnética formando un empilado que será denominado, en lo sucesivo, núcleo magnético.



Figura 4. Núcleo magnético de un transformador monofásico.

Transformadores

Este circuito puede adoptar diversas formas dependiendo del tipo de transformador.

En el capítulo de chapa magnética se encuentra una información más extensa sobre el circuito magnético.

La figura 4 muestra un empilado magnético, formado por muchas chapas.

1.5 Simbología

Los símbolos más utilizados en esquemas eléctricos son los indicados en las figuras 5 y 6.

Transformadores monofásicos



Figura 5. Símbolos utilizados para identificar los transformadores monofásicos.

Transformadores trifásicos



Figura 6. Símbolos utilizados para representar los transformadores trifásicos.

1.6 Flujo de dispersión

Al circular una corriente eléctrica por el devanado primario, crea una líneas de fuerza que se cierran por el núcleo del transformador formando un flujo magnético, (la unión de todas las líneas de fuerzas), denominado flujo principal Φ .

Pero no todo el flujo magnético se cierra por el núcleo del transformador. Existen un número importante de líneas de fuerza que se dispersan a través de aire, (reluctancia constante), que es nociva para el transformador, toda vez que se manifiesta en forma de pérdidas.

Este flujo se denomina flujo de dispersión Φ_1 .

Al circular una corriente por el devanado secundario, ocurre otro tanto de lo mismo, un flujo de dispersión en el devanado secundario Φ_2 . (figura 7).

Φ = Flujo principal

Φ_1 = Flujo de dispersión en el devanado primario

Φ_2 = Flujo de dispersión en el devanado secundario

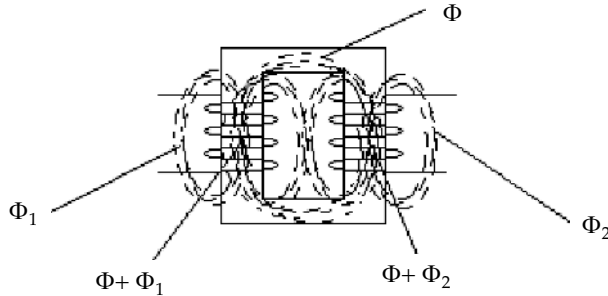


Figura 7. Detalle de los flujos de dispersión y principal.

Estos flujos de dispersión, el creado en el primario y en el secundario, se pueden considerar como reactancias de dispersión X_1 y X_2 .

1.7 Densidad de corriente

Se llama densidad de corriente a la relación que existe entre la intensidad que recorre un conductor y la sección de este en mm^2 .

S = Sección en mm^2 .

J = Densidad de corriente en A/mm^2

I = Intensidad en amperios

$$J = \frac{I}{S}$$

La densidad de corriente indica los amperios que circulan o pueden circular por un conductor sin peligro de calentamiento de éste.

La densidad de corriente en un conductor depende de muchos factores, entre ellos, del tipo de cable de la sección del conductor, al aumentar la sección del conductor la densidad admisible disminuye.

La densidad de corriente puede ser distinta en cada punto del conductor.

Ahora bien, al duplicarse la sección del conductor, no se duplica la superficie del hilo y por tanto, no puede disiparse el doble de calor.

La corriente que puede circular por el hilo no puede ser el doble, y por tanto, la densidad será menor que con la sección más pequeña.

Ejemplo

Se pretende conocer la densidad de corriente de un conductor de 4 mm de diámetro y por el que va a circular una intensidad de 10 amperios.

Los hilos de bobinar transformadores y motores eléctricos se expresan en diámetro, como la densidad de corriente J se expresa en A/mm^2 se tiene que convertir el diámetro en sección.

$$S = \sqrt{\frac{d}{0,785}} = \sqrt{\frac{4}{0,785}} = 2,3 A / mm^2$$

$$J = \frac{10}{2,3} = 4,34 A / mm^2$$

Quiere decir que circulan 4.3 amperios por cada mm² de ese conductor.

Si por este mismo conductor se hiciera pasar una intensidad de 20 amperios la densidad sería:

$$J = \frac{20}{2,3} = 8,69 A / mm^2$$

Por cada mm² circula una intensidad de 8.6 amperios.

Como el conductor sigue siendo de la misma sección, 2.3 mm², se observa que circula mucha más intensidad, concretamente el doble.

Si esos mismos 10 amperios se hicieran circular en vez de por un conductor de 4 mm. de diámetro por uno de 8 mm, la densidad de corriente, teóricamente, debería ser la mitad, 4.34 A/mm² / 2 = 2.17 A/mm², pero no es así.

$$S = \sqrt{\frac{8}{0,785}} = 3,19 A / mm^2$$

$$J = \frac{10}{3,19} = 3,13 A / mm^2$$

Se observa, que no es la mitad, 2.17 A mm², que es un valor superior a éste.

Resumen

Para una misma intensidad si la sección es pequeña la densidad es grande, si la sección es grande la densidad es pequeña.

Al circular corriente eléctrica por un conductor se produce calor, la cantidad de calor que se produce es, teniendo en cuenta la ley de Joule:

$$Q = I^2 R t 0,24$$

Este calor aumentará la temperatura del conductor hasta que la cantidad de calor que se produce sea igual a la que se disipa en él por conducción, convección y radiación.

El calor disipado depende de la intensidad, de la sección del conductor, del aislamiento de éste y del lugar donde esté alojado.

Es natural que para que el conductor no produzca más calor del que puede disipar, pues sería peligroso, la intensidad esté limitada hasta un valor máximo.

No existe una norma concreta sobre los valores recomendados para la densidad de corriente en los transformadores, pues este valor depende de muchos factores, como son: refrigeración, tipo de devanado, manera de realizar el bobinado, potencia del transformador, etc., y sobre todo juega un papel muy importante la experiencia en la construcción de transformadores.

Capítulo 2

Funcionamiento

Para comprender mejor el funcionamiento del transformador, se va a suponer que es un transformador ideal, esto es, que no tiene pérdidas ni en el cobre ni en el hierro.

Se parte de un transformador conectado a la red, en él se observa que dispone un devanado primario, es el que se ha conectado a la red y un devanado secundario, al que se conecta como carga una lámpara.

Los dos devanados están arrollados dentro del núcleo magnético (figura 8).

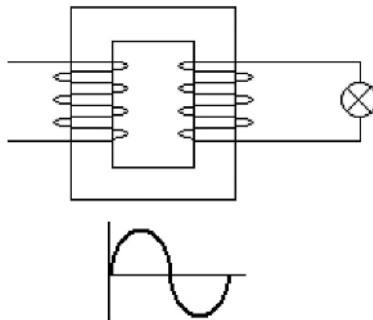


Figura 8. Transformador ideal, al que se ha conectado como carga una lámpara.

Al conectar a la red, de corriente alterna, el devanado primario del transformador, éste es recorrido por una corriente eléctrica.

El valor de esta corriente eléctrica depende de varios factores, como son el número de espiras del devanado primario, el diámetro del hilo de este bobinado, etc.

Esta intensidad de corriente crea un campo magnético, líneas de fuerzas, que en su mayoría, se cierran a través del núcleo magnético y otras se dispersan a través del aire.

Al ser la red corriente alterna, cambia de polaridad y de valor, concretamente 50 veces cada segundo, supuesta una frecuencia de la red de 50 Hz.

Transformadores

En el semiciclo positivo comienzan a crearse unas pocas líneas de fuerza, a la carga le llegan muy pocos voltios, en la figura 9 se muestra como carga una lámpara y por tanto esta iluminará muy poco en ese momento.

Estas líneas de fuerza se cierran a través del núcleo y cortan a las espiras del devanado secundario y por tanto al cortarlas generan una corriente eléctrica, (recordar que un conductor al ser cortado por líneas de fuerza genera una fuerza electromotriz).

La corriente eléctrica generada circula por el circuito secundario y hace que la lámpara, que actúa como carga, se ilumine muy poco.

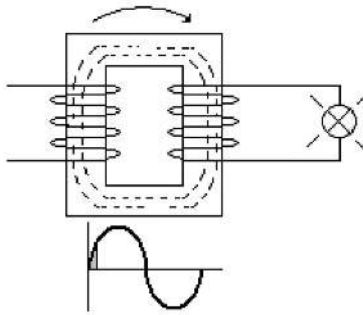


Figura 9. Transformador creando sólo unas pequeñas líneas de fuerza, la lámpara se iluminará muy poco.

Al ir aumentando el semiciclo, el valor de la tensión aumenta y también lo harán las líneas de fuerza que recorren el núcleo magnético. Estas líneas de fuerza siguen cortando al devanado secundario, pero como ahora son más numerosas la cantidad de corriente generada en el devanado secundario será mayor y por tanto la lámpara se iluminará más (figura 10).

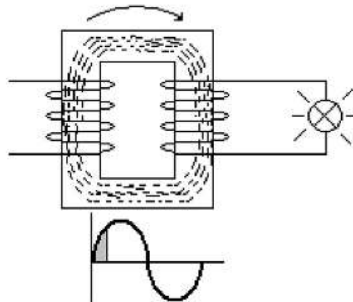


Figura 10. Transformador creando más líneas de fuerza y por tanto, generando más tensión en el devanado secundario.

Como la tensión en el devanado primario continúa aumentando hasta llegar al valor de la tensión de red, las líneas de fuerza siguen aumentando hasta llegar a un punto que ya no crecen más, porque el valor de la tensión de red tiene su valor máximo.

En este caso, se transfiere al devanado secundario el máximo valor, y por tanto, genera también su máxima tensión, valor este que depende del número de espiras que tenga el devanado, en ese momento la lámpara se iluminará al máximo brillo (figura 11).

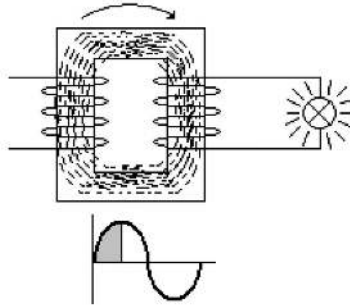


Figura 11. Transformador con el máximo de líneas de fuerza creadas al tener la máxima tensión conectada en su devanado primario.

Una vez alcanzado este valor, la tensión de entrada comienza a disminuir y como consecuencia el flujo magnético también lo hace. A partir de este momento la tensión inducida en el devanado secundario comenzará a disminuir, la lámpara comenzará a disminuir en iluminación (figura 12).

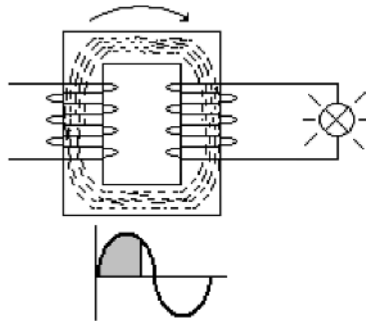


Figura 12. En este momento comienzan a disminuir las líneas de fuerza, aunque aún siguen en la misma dirección.

La tensión sigue disminuyendo y las líneas de fuerza también, como consecuencia la tensión generada en el devanado secundario disminuye.

Transformadores

Continúa disminuyendo hasta que el valor se hace cero, ausencia de líneas de fuerzas, tensión generada cero, lámpara apagada (figura 13).

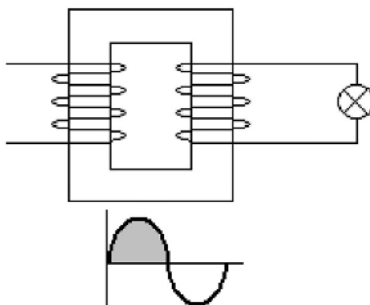


Figura 13. La tensión ha descendido hasta cero y, por tanto, no hay tensión generada en el devanado secundario, lámpara apagada.

En este momento, la polaridad cambia en el devanado primario, lo que hace que el campo magnético creado también cambie de dirección, y éstas cortan al devanado secundario en sentido contrario.

La tensión comienza a aumentar, en sentido contrario, y por tanto también las líneas de fuerzas, así como la tensión generada en el devanado secundario (figura 14).

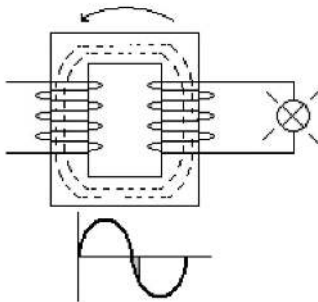


Figura 14. La tensión comienza a aumentar en el devanado primario, así como el flujo magnético.

La tensión continúa aumentando y la tensión generada en el devanado secundario aumenta, la lámpara continúa aumentando su iluminación.

La figura 15 muestra la posición en un momento determinado del semiciclo negativo.

Llega la tensión a su punto máximo y, por tanto, se obtiene la máxima tensión inducida, la lámpara iluminará en su máxima iluminación (figura 16).

A partir de este punto, la tensión de red comienza a disminuir y así mismo el flujo y como consecuencia la tensión inducida en el devanado secundario también, la lámpara comienza a disminuir su iluminación (figura 17).

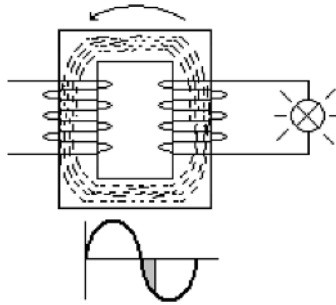


Figura 15. Aumenta la corriente generada en el devanado secundario, la lámpara se ilumina más.

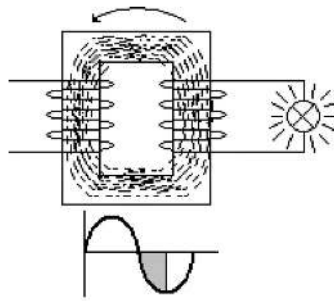


Figura 16. Máxima tensión generada, lámpara iluminada al máximo.

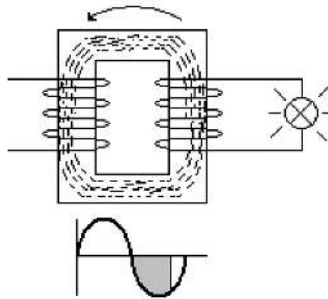


Figura 17. La tensión generada disminuye, la lámpara disminuye su brillo.

Disminuye hasta llegar a cero la tensión generada en el devanado secundario, en este momento la lámpara llega a apagarse por completo (figura 18).

Y comienza otro ciclo.

Como ya se sabe, para producir electricidad se precisa, como elementos imprescindibles, tener un conductor eléctrico, un campo magnético y un movimiento relativo entre ellos.

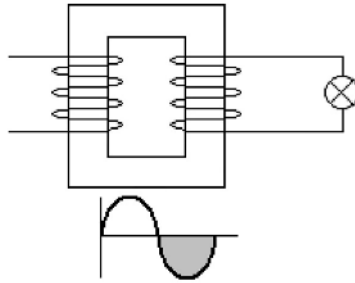


Figura 18. Lámpara apagada por ser nula la tensión generada en el devanado secundario.

¿Cómo se puede producir electricidad en un transformador, que es una máquina estática, si no existe movimiento?

La explicación está en que el transformador dispone de todos los elementos imprescindibles para producir electricidad: conductor eléctrico, los hilos de los devanados, campo magnético (el creado por los devanados), pero... ¿y el movimiento relativo entre ellos?

El movimiento relativo entre el conductor eléctrico y el campo magnético es el flujo magnético creado por la corriente alterna que cambia de dirección y de magnitud, lo hace concretamente 100 veces por segundo, supuesta una red de 50 Hz.

Este movimiento del flujo, unas veces en un dirección y otras en otra dirección (y cambiando de magnitud en cada semiciclo) es el movimiento relativo que se precisa para que se induzca una tensión en el devanado secundario.

Una cuestión a tener en cuenta, sobre todo porque a veces soluciona algunos problemas sin tener que comprar un transformador, es que todos los transformadores son reversibles.

Si un transformador se conecta a la tensión del devanado primario, se obtiene una tensión en el devanado secundario. Por el contrario, si se le conecta tensión por el devanado secundario, evidentemente a la tensión adecuada a este devanado, se obtiene en el primario la tensión de red a la que se había conectado en primer lugar, siempre de acuerdo a la relación de transformación.

Antes de ver el ejemplo siguiente, conviene aclarar que se denomina devanado primario al devanado que se conecta a la red, sea cual sea el valor de ésta y de la tensión y devanado secundario al que se conecta la carga.

Así, en un transformador con relación 400/230 V conectado a una red de 400 V el devanado primario será el de 400 V y el devanado secundario será el de 230 V.

Tenemos un transformador con la misma relación pero conectado a una red de 230 V. Para poder obtener 400 V, el devanado primario será el de 230 V, que es el se conecta a la red, y el devanado secundario será el de 400 V.

Ejemplo

Se dispone de un transformador con las siguientes características, relación 230/24 V:

Al conectar este transformador a una red de tensión de 230 V en su secundario se obtiene 24 V (figura 19).

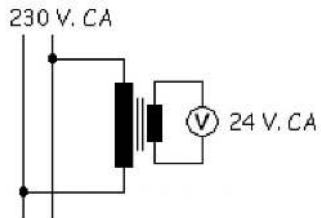


Figura 19. Transformador con relación 230/24 V, conectado a una tensión de 230 V.
En el secundario se obtienen 24 V.

Si se desconecta este transformador y se conecta a una red de 24 V corriente alterna se obtiene en el devanado secundario (antes era devanado primario), una tensión de 230V (figura 20).

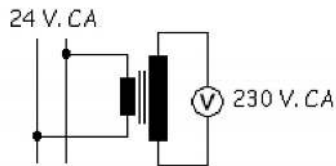


Figura 20. Transformador con relación 24/230 V, conectado a una tensión de 24 V y obteniendo en el secundario 230 V.

Capítulo 3

Chapas magnéticas

Esta chapa suele ser de aleación a base de silicio y otros materiales laminados en frío.

La chapa magnética que existe actualmente en el mercado es de grano orientado laminado en frío y se presenta en varias calidades, dependiendo de las pérdidas en vatios por Kg.

Las chapas magnéticas que más se comercializan en España son las que tiene unas pérdidas de 1,7W/Kg y 2,6 W/Kg.

El grosor de cada chapa magnética es de 0.3 mm, sea cual sea la potencia del transformador.

Pueden adoptar diferentes formas, aunque las más utilizadas son las E I. La figura 21 muestra algunas de las diferentes formas de que disponen las chapas magnéticas para transformadores monofásicos.

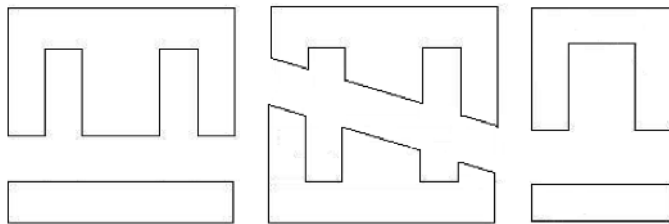


Figura 21. Diferentes formas físicas de chapas magnéticas, las más corrientes son las E I para transformadores II.

Los tipos de chapa utilizada en transformadores trifásicos tienen unas formas muy parecidas. La rama central es de la misma medida que los laterales, se muestra en la figura 22.

Las chapas magnéticas están aisladas entre sí magnéticamente, no eléctricamente.

La parte que cierra el circuito magnético se denomina Yugo.

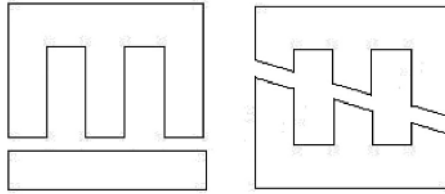


Figura 22. Chapas magnéticas utilizadas en transformadores trifásicos.

El empilado de chapas se denomina Núcleo Magnético. Existen varios tipos de núcleos magnéticos dependiendo de la forma que adopten las chapas, los más utilizados son los denominados Núcleos Acorazados, llamados también núcleo en E/I y Núcleos de Columnas, llamados también U/I (figuras 23 y 24).

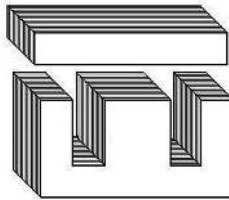


Figura 23. Núcleo Magnético Acorazado.

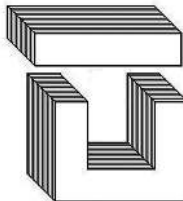


Figura 24. Núcleo Magnético de Columnas.

Las chapas se pueden unir unas a otras, para formar el empilado del transformador, de dos maneras distintas:

- ❖ A tope
- ❖ A solape

1.1 A tope

Se denomina a tope cuando todas las chapas en E y las I se apilan juntas de manera independiente, formando un empilado, como muestra la figura 25 y la figura 26.

El espacio que queda entre el empilado I y el empilado E se suelda, quedando totalmente unidos los dos empilados y formando uno solo que es el núcleo del transformador.

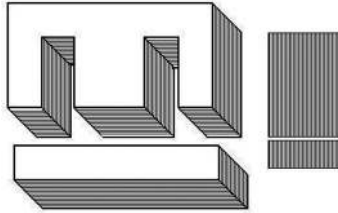


Figura 25. Empilado de chapas a tope de un transformador.

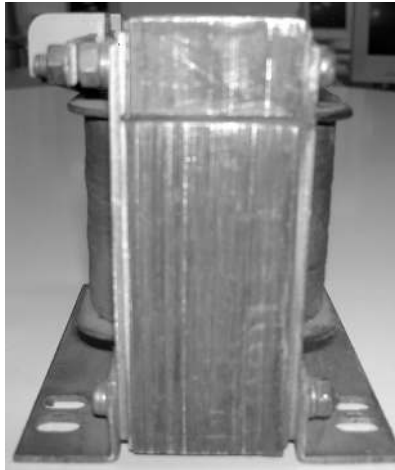


Figura 26. Aspecto físico de un transformador con chapa empilada a tope.

Es evidente, que al soldar quedan unidos los dos empilados y, por tanto, hay más pérdidas debido a la corriente de Foucault. Estas pérdidas se solucionan poniendo más chapas, haciendo que el transformador tenga más volumen que el necesario para una determinada potencia.

El costo económico que supone el aumento de chapas para solucionar el problema de las pérdidas debido a la soldadura merece la pena, porque es mucho más económico soldar el empilado con un robot en lugar de meter las chapas una a una de manera manual o automática.

1.2 A solape

Se llama a solape cuando a cada chapa E le corresponde una I y así sucesivamente. (figura 27).

Con este sistema el transformador tiene muy pocas pérdidas.

Las dimensiones de las chapas normalizadas para transformadores y autotransformadores monofásicos son las indicadas en la Tabla I.

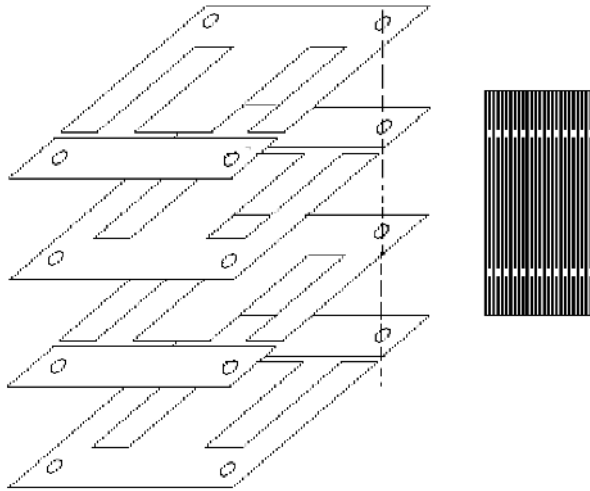


Figura 27. Empilado de chapas a solape de un transformador.

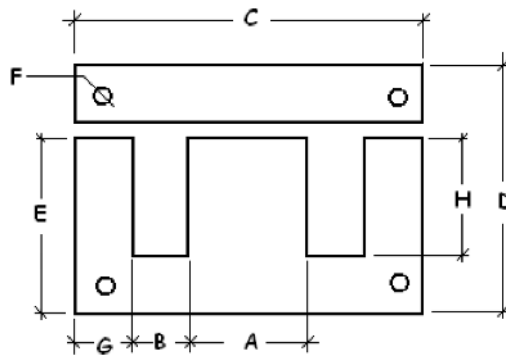


Tabla I. Dimensiones de chapa magnética normalizada en E/I
(Las medidas están expresadas en mm)

RC	A	B	C	D	E	F	G	H
RC20	20	10	60	50	40	4	10	30
RC22	22	11	61	55	44	4	11	33
RC25	25	12.5	75	62.5	50	5	12.5	37.5
RC28	28	14	84	70	56	6	14	42
RC32	32	16	96	80	64	6	16	48
RC36	36	18	108	90	72	6	18	54
RC38	38	19	114	95	76	5.5	19	57
RC40	40	20	120	100	80	7	20	60

Tabla I. Dimensiones de chapa magnética normalizada en E/I
(Las medidas están expresadas en mm)

RC42	42	21	126	105	82	6	21	63
RC50	50	25	150	125	100	8	25	75
RC60	60	30	180	150	120	9	30	90
RC64	64	32	192	160	128	9	32	96
RC70	70	186	220	190	150	11	40	150
RC80	80	220	250	215	170	11.5	45	170
RC80A	80	200	240	200	160	11	40	160
RC90	90	225	270	225	180	11	45	180
RC100	100	200	300	250	200	9	50	200

Dentro de la gama de chapa magnética en forma de E/I existen una cuyas medidas se pueden considerar especiales, se emplean en aplicaciones donde existan problemas de espacio.

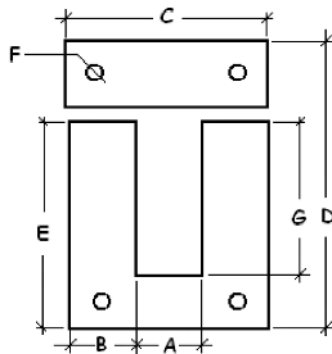
Las medidas se reflejan en la Tabla II.

Tabla II. Chapa magnética con medidas especiales en forma E/I

RC	A	B	C	D	E	F	G	H
RC64	64	160	192	256	224	9	32	224
RC70	70	186	220	300	260	11	40	260
RC80	80	220	250	340	295	11.5	45	310

Existen otros tipos de chapa magnética menos utilizada, cuya forma es U / I. Su utilización está reservada a transformadores monofásicos de potencia superior a los 500 VA.

La Tabla III proporciona las medidas principales de este tipo de chapa magnética.



Transformadores

Tabla III. Medidas normalizadas de las chapas en forma de U / I

RC	A	B	C	D	E	F	G
RC40	40	40	120	180	140	11	100
RC40A	40	40	120	200	140	11	100
RC50	50	50	150	250	200	9	150
RC60	60	60	180	300	240	13	180
RC70	70	70	210	350	280	13	210
RC80	80	80	240	400	320	15	240

En transformadores y autotransformadores trifásicos, las medidas normalizadas de chapa magnética, independientemente de la calidad de ésta, están reflejadas en la Tabla IV.

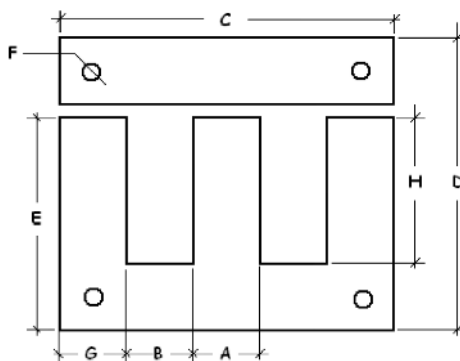


Tabla IV. Medidas Normalizadas de chapa magnética trifásica para transformadores y autotransformadores

RC	A	B	C	D	E	F	G	H
RC40	40	40	200	180	140	11	40	100
RC50	50	50	250	225	175	11	50	125
RC60	60	60	300	270	210	13	60	150
RC70	70	70	350	315	245	13	70	175
RC80	80	80	400	360	280	15	80	200
RC30A	30	30	150	150	120	8	30	90
RC40A	40	40	200	200	160	11	40	120
RC50A	50	50	250	250	200	11	50	150
RC60A	60	60	300	300	180	13	60	180
RC70A	70	70	350	350	210	13	70	210
RC80A	80	80	400	400	240	15	80	240

Como quiera que el lector de este libro sólo pretende realizar la construcción de transformadores específicos, es decir, no va a fabricar grandes series, seguramente no le merecerá la pena comprar chapa nueva, toda vez que los costos de los transportes, para estas pequeñas cantidades de chapa, disparan de manera desorbitada el costo del transformador. Por ello, se recomienda coger un transformador o autotransformador quemado o que no esté en uso y aprovechar las chapas magnéticas. Otro sistema también puede ser comprar uno viejo en una chatarrería, que esté quemado o en buen uso y aprovechar la chapa. Estos sistemas dan los mismos resultados que comprando chapa nueva.

Capítulo 4

Carretes de plástico

Como se ha comentado, la chapa que se comercializa en España es normalizada, es decir, los troqueles están perfectamente definidos, tanto en la chapa monofásica como la trifásica. Como consecuencia de esto, los fabricantes de carretes de plástico los fabrican con las medidas acordes a la chapa normalizada (figura 28).

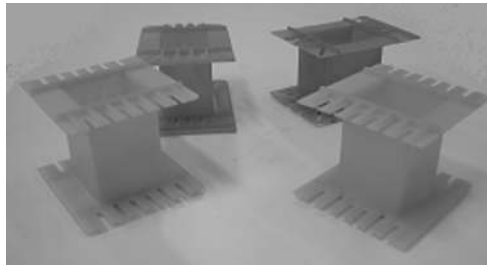


Figura 28. Carretes de plástico monofásicos.

Las medidas de los carretes de plástico se clasifican también por el hueco de la rama central, donde va a ir alojada la chapa para formar el empilado. De tal manera que una chapa tipo RC 42 se puede utilizar en carretes con medida 42 x 60, en otro de 42 x 70 y en general en cualquiera que tenga 42x (la medida del empilado de chapa), es decir, la medida que no puede cambiar para una chapa de tipo RC 42 siempre tiene que ser 42, la otra medida dependerá de la cantidad de chapa que se tenga que poner.

La figura 29 muestra una chapa monofásica introducida en un carrete de plástico. Se puede observar como la rama central de la chapa, denominada RC, se introduce en el hueco del carrete destinado a alojar el núcleo magnético, así mismo, se observan también los huecos del carrete donde van alojados los hilos de los respectivos devanados.

El hueco donde se tienen que alojar los hilos tienen unas medidas, ancho, alto y profundo, pero en el caso de los transformadores las medidas que realmente interesan son el alto y el ancho. La medida de profundidad del carrete no afecta al cálculo de la cantidad de hilos, los que verdaderamente interesan son el ancho y el alto, que van a decidir la cantidad de hilo que cabe en dicho hueco (figura 30).

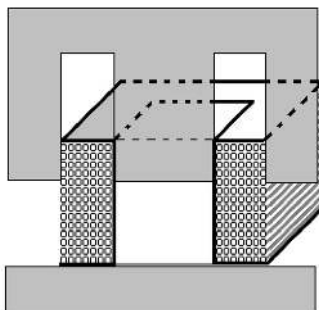


Figura 29. Sección de un carrete de plástico y chapa magnética con la rama central introducida en el carrete.



Figura 30. Chapas magnéticas introducidas en un carrete de plástico formando el Núcleo Magnético. Se puede observar que sólo faltan los devanados.

Como los carretes son normalizados en función de la chapa a utilizar, en este hueco tienen que caber todos los hilos que han resultado de los cálculos de la sección del hilo y por lo tanto del diámetro de éstos y de la cantidad de espiras, tanto del devanado primario como del secundario (figura 31).

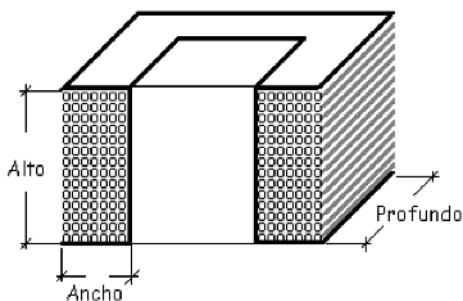


Figura 31. Carrete de plástico seccionado. Observar cómo quedan alojados los hilos de los devanados.

Las tablas V y VI muestran las medidas, aproximadas, del ancho y alto de los carretes monofásicos y trifásicos respectivamente.

Tabla V. Medidas de los huecos, alto y ancho, de los carretes de plástico para chapa monofásica

RC (Rama Central)	Alto	Ancho
20	21	8
25	34	9
28	38	11
32	43	12
36	50	14
42	58	18
50	68	21
60	80	25

Tabla VI. Medidas de los huecos, alto y ancho, de los carretes de plástico para chapa trifásica

RC (Rama Central)	Alto	Ancho
50	140	20
60	170	25
70	200	30
80	230	35
100	290	45

La figura 32 muestra los carretes de plástico para transformadores trifásicos.



Figura 32. Carretes de plástico trifásicos.

Existen en el mercado otras opciones de carretes para transformadores trifásicos que son configurables por el usuario en función de la necesidad de la aplicación específica y con el único objeto de disminuir stock de carretes de plástico.

Transformadores

La configuración sólo se puede hacer del empilado, puesto que el carrete base es común a cada tipo de chapa RC que se va a utilizar.

Por ejemplo, un carrete que utiliza chapa tipo RC 50, el carrete base está formado por dos partes exactamente iguales y sólo queda añadir el suplemento con la medida exacta para obtener el empilado de chapa deseado (figura 33).

Los suplementos se fabrican en distintos largos para obtener el empilado deseado, pero las medidas H y L del suplemento están condicionadas por la medida de los carretes base que se va a utilizar, es decir, cada medida RC tiene sus propios suplementos de distintas medidas, que sólo sirven para ese tipo de carrete base.

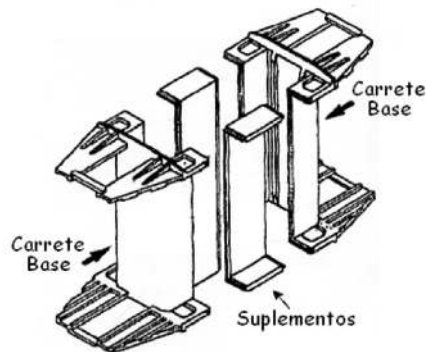


Figura 33. Carretes de plástico configurables para transformadores trifásicos.
(Cortesía TROMAG).

Los devanados se pueden arrollar en los carretes de plástico de distintas maneras, las más corrientes son:

- ♦ Devanados consecutivos
- ♦ Devanados alternos

1.1 Devanados consecutivos

Se denominan devanados consecutivos cuando éstos se arrollan alrededor de todo el núcleo. Primero se bobina el devanado secundario por ser éste el de menor tensión y en caso de derivación será menor el peligro al que está expuesto el usuario que si bobinara el devanado de alta tensión.

Posteriormente se aísla con cartón aislante específico para aislamientos de máquinas eléctricas y se procede a bobinar el devanado primario, el que se conecta a la red.

La figura 34 muestra devanados consecutivos en transformadores con distintos núcleos magnéticos.

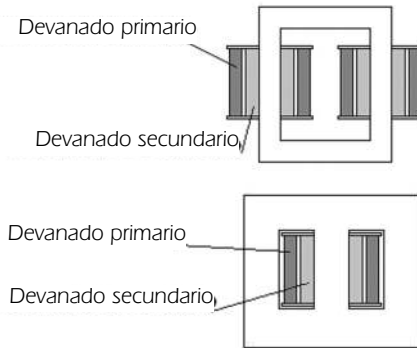


Figura 34. Disposición de los devanados en transformadores con distintos tipos de núcleos magnéticos.

1.2 Devanados alternos

Los devanados alternos se bobinan de manera independiente. Uno en la parte superior y el otro devanado en la parte inferior. Entre ellos existe un separador de plástico que el carrete lleva al efecto.

La figura 35 muestra devanados alternos en distintos tipos de núcleos magnéticos.

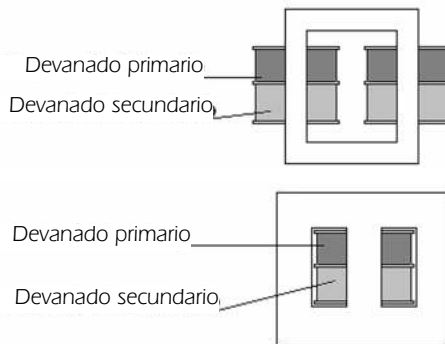


Figura 35. Devanados alternos bobinados en distintos tipos de núcleos magnéticos.

Capítulo 5

Cálculo de transformadores monofásicos

1. Método de tablas

Para calcular un transformador existen muchos métodos: analíticamente, utilizando tablas y ábacos adecuados que nadie recuerda de donde han salido, por experiencia en el trabajo con transformadores, etc. Pero todos estos métodos arrojan unos resultados muy similares y con un mínimo de error.

Para calcular un determinado transformador por el método de tablas se debe partir de las necesidades que se tienen que cubrir con él y son:

- ❖ Tensión a la que se va a conectar (tensión primaria V_1).
- ❖ Tensión que tiene que proporcionar el transformador (tensión secundaria V_2).
- ❖ Intensidad que debe de proporcionar el devanado secundario, I_2 .
- ❖ Frecuencia a la que se va a conectar (en la mayoría de los casos 50 Hz. F).

El resto de los datos para realizar el cálculo y la construcción del transformador serán elegidos unos en función del material de que se disponga y otros serán la consecuencia de los cálculos realizados que tienen como base las necesidades descritas anteriormente.

1.1 Potencia del transformador

Esta potencia se calcula en función de la tensión del secundario y de la intensidad que se necesita en el devanado secundario, (la intensidad que debe proporcionar el transformador), para ello se utiliza la siguiente fórmula:

Potencia aparente

$$P_2 = V_2 * I_2 = VA \text{ (Voltiamperios)}$$

Transformadores

P_2 = Potencia

V_2 = Tensión del devanado secundario

I_2 = Intensidad del devanado secundario

Al conectarle al devanado secundario una carga, la tensión disminuirá con respecto a la tensión de vacío. Si se continúa aumentando la carga hasta llegar a la intensidad nominal del transformador se observa que dicha tensión disminuye considerablemente debido a la caída de tensión.

Por ello, al valor de la tensión secundaria de vacío se le tiene que añadir entre el 5 y 10% para suplir esta caída de tensión.

El tanto por ciento a aplicar depende de la tensión del devanado secundario.

De tal manera que, supuesta una tensión secundaria de 24 V, los cálculos se tendrán que hacer en función de 24 V más el 10%, lo que arrojaría una tensión de 26.4 V. A partir de aquí, en todos los cálculos en los que intervenga la tensión secundaria se tiene que utilizar este nuevo valor de 26,4 V.

Por el contrario, en una tensión secundaria de 380 V el porcentaje del 10% sería excesivo y, por tanto, se tendría que aplicar un 5% que arrojaría una nueva tensión secundaria de 399 V que, al conectar la carga nominal, se estabilizará en 380 V.

1.2 Sección del núcleo

Una vez conocida la potencia que debe de tener el devanado secundario, P_2 , se está en condiciones de calcular la sección del núcleo. Para ello se consultará la Tabla VII en la que se obtiene la sección del núcleo del transformador en función de la potencia que tiene que proporcionar el devanado secundario.

Se tiene que tener en cuenta que esta tabla es para un transformador que va trabajar a una frecuencia de 50 Hz., generalmente la frecuencia a la que trabajan el 99% de los transformadores en España.

Tabla VII . Cálculo de la sección, en cm², función de la potencia

Potencia	16	40	45	50	60	65	100	200
Sección	4	6	6.6	7.5	7.8	8.4	10	14.4

Potencia	250	300	400	500	600	650	700	750
Sección	16	18	19.8	21	24	25	27	27

Potencia	800	900	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Sección	29.4	30	35	40	45	50	57	60

Potencia	4000	4500	5000	5500	6000
Sección	65	70	74	77	80

La sección real del transformador es la indicada en la figura 36.

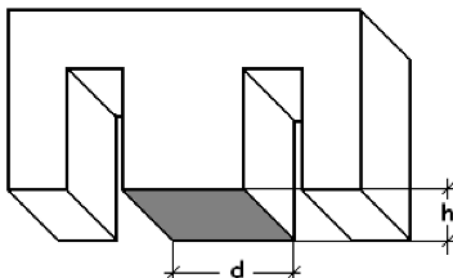


Figura 36. Sección real del empilado de chapa de un transformador.

1.3 Elección de la chapa magnética

La chapa magnética a utilizar se puede elegir de entre la amplia gama normalizada que existe en el mercado, aunque bien puede valer la chapa de un transformador inservible, independientemente de la medida que tenga el transformador, porque una determinada potencia se puede conseguir con distintos tipos de chapa magnética.

La chapa magnética se identifica por la longitud de la rama central, denominada RC, seguida de la medida en mm.

Ejemplo

Una chapa magnética cuya rama central tenga 32 mm, ($d = 32$, en la figura 35), se denominará chapa magnética RC 32.

Las dimensiones de las chapas normalizadas son las indicadas en el capítulo *Chapas magnéticas* donde se pueden consultar las medidas normalizadas.

Dentro de la gama de chapa magnética en forma de E/I existen una cuyas medidas se pueden considerar especiales, su empleo es en aplicaciones donde existan problemas de espacio.

Como quiera que para calcular la sección se utiliza la clásica fórmula:

$$S = h * d$$

En la que **d** es el ancho de chapa, llamado RC, y **h** es la altura del empilado de chapa (la cantidad de chapas).

Esto significa que una misma sección se puede conseguir con distintas medidas de ancho y alto.

Transformadores

Ejemplo

Suponiendo que se precisara un transformador cuya sección tuviera que ser de 2.500 mm², ésta se podría conseguir de varias maneras, entre ellas:

Se podría utilizar chapa RC 50 y un empilado de chapa de 50 mm.

$$S = h * d = 50 * 50 = 2.500 \text{ mm}^2$$

También se podría utilizar chapa RC 42 teniendo que poner un empilado de chapa de 60 mm.

$$S = h * d = 42 * 60 = 2.520 \text{ mm}^2$$

Asimismo, se podría conseguir utilizando chapa de RC 36, por lo que se tendría que poner un empilado de chapa de 69 mm.

$$S = h * d = 69 * 36 = 2.484 \text{ mm}^2$$

Queda demostrado que se puede utilizar la chapa de que se disponga y modificar sólo el número de éstas para conseguir el empilado adecuado.

1.4 Número de espiras del devanado primario

Para obtener el número de espiras que se tienen que dar al devanado primario se debe de consultar la Tabla VIII, en la se obtiene dicho número de espiras por voltio, (E/V). Este valor depende de la sección del núcleo. Los transformadores de pequeña y mediana potencia utilizan chapa magnética cuya inducción magnética es de 10.000 Gauss.

La tabla está calculada en función de este valor y proporciona el número de espiras por voltio que se le tiene que dar a cada devanado, de tal manera que dicho resultado, el que proporciona la tabla, se tiene que multiplicar por la tensión del devanado primario y se obtiene el número de vueltas de dicho devanado.

$$E/V * V_1 = N^\circ \text{ de Espiras del devanado primario}$$

Tabla VIII. Cálculo de las espiras por voltio en función de la sección del núcleo

Sección	4	6	6.6	7.5	7.8	8.4	10	14.4
E/V.	11	7	6.5	5.5	5.4	4.5	4.2	3
Sección	16	18	19.8	21	24	25	26	27
E/V.	2.6	2.3	2.2	1.9	1.8	1.7	1.65	1.62
Sección	29.4	30	35	40	45	50	57	60
E/V.	1.55	1.5	1.4	1.1	0.95	0.82	0.72	0.7

Sección	65	70	74	77	80
E/V.	0.65	0.6	0.56	0.53	0.5

1.5 Número de espiras del devanado secundario

Se tiene que utilizar el mismo sistema anterior, pero ya no hay necesidad de utilizar la tabla porque se tiene el dato de espiras por voltio, (E/V). Este dato es válido tanto para el devanado primario como para el secundario.

Teniendo en cuenta que se conoce el número de espiras por voltios, (E/V), basta multiplicar éste por la tensión que tiene que proporcionar el devanado secundario del transformador.

$$E/V * V_2 = N_2 \text{ (Nº de espiras del devanado secundario)}$$

1.6 Diámetro del hilo del devanado secundario

El diámetro del hilo del devanado secundario debe de estar calculado de acuerdo con la intensidad que va a circular por él. Debe de permitir el paso de la intensidad con un calentamiento *normal* del conductor de cobre.

Para ello, se utilizará la Tabla IX, que permite obtener este diámetro en función de la intensidad en amperios que va a circular por él.

La utilización de esta tabla es similar a las anteriores. Se tiene que tomar en la columna de amperios el valor que se precisa y en la misma fila obtener el diámetro en mm, que corresponde a esa cantidad de amperios.

El diámetro obtenido en la tabla no es crítico, permite aumentarlo o disminuirlo en función de la densidad de corriente y del espacio que se tenga para arrollar los hilos.

Tabla IX. Obtención del diámetro del hilo del devanado secundario

Amperios	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
Diámetro	0.15	0.2	0.25	0.3	0.3	0.35	0.4	0.45
Amperios	0.9	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Diámetro	0.5	0.5	0.6	0.75	0.8	0.9	1	1.2
Amperios	5	6	7	8	9	10	15	20
Diámetro	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.75	2	2.5
Amperios	25	30	40	50	60	70		
Diámetro	3	3.5	4	4	4.5	5		

1.7 Diámetro del hilo del devanado primario

Se debe conocer en primer lugar qué intensidad va a circular por este devanado, para ello se utilizará la fórmula de la relación de transformación.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Despejando I_1 .

$$I_1 = \frac{I_2 * N_2}{N_1}$$

También se puede utilizar la tensión primaria y secundaria, el resultado es el mismo.

$$I_1 = \frac{I_2 * V_2}{V_1}$$

Con este nuevo dato, se tiene que volver a consultar la Tabla IX, ahora deteniéndose en la casilla que corresponde al valor en amperios obtenido en el cálculo de la intensidad del devanado primario.

Efectuados todos los cálculos anteriores, se confeccionará una memoria con los datos obtenidos para comenzar a preparar el material necesario para efectuar el devanado del transformador, esto es, hilo con los diámetros obtenidos, carrete para alojar los devanados, chapa magnética, tornillos, regleta de conexiones, etc.

Resumen

Datos del devanado primario:

- Tensión
- Intensidad
- Número de espiras
- Diámetro del hilo

Datos del devanado secundario:

- Tensión
- Intensidad
- Número de espiras
- Diámetro del hilo

Datos comunes a ambos devanados:

- Potencia
- Espiras por Voltios

Frecuencia

Sección del núcleo

Tipo de chapas E/I

Medida del empilado de las chapas

Medida del carrete para alojar los devanados

Se da por supuesto que todos estos cálculos están encaminados a construir un transformador partiendo de cero, es decir, un transformador diseñado enteramente nuevo, porque tratando de reparar uno quemado no haría falta realizar cálculo alguno, sólo bastaría tomar los datos obtenidos al deshacer el quemado y realizarlo igual a éste.

-

Capítulo 6

Cálculo práctico de un transformador monofásico

1. Método de tablas

Un ejemplo real permitirá comprender mejor el cálculo de un transformador de una manera práctica.

Se precisa un transformador de cuyas características sólo se conoce:

- ❖ Tensión Primaria: 230 V.
- ❖ Tensión Secundaria: 24 V (más un 10 % = 26,4 V).

Se pretende alimentar un circuito que consume una intensidad de 15 A, por tanto $I_2 = 15$ A.

El consumo de 15 A es el nominal, quiere decir que en un momento determinado puede consumir bastantes más amperios, sobre todo si se trata de un cuadro de automatismo que contiene contactores. Éstos, cuando atraen el electroimán consumen mucho más que cuando sólo están reteniendo la armadura móvil, por ello, se tienen que prever estas subidas esporádicas de consumo.

También se debe tener en cuenta que al ser el transformador una máquina eléctrica estática se calienta y como no dispone de ventilación forzada es normal que se caliente. Esto no quiere decir que el transformador esté funcionando mal, excepto si el calentamiento es excesivo.

No hay una regla fija para este sobrecálculo del transformador, pero la intensidad nominal puede estar comprendida entre 1,2 y 1,5.

1.1 Potencia del transformador

$$\begin{aligned} \text{Potencia Aparente} \quad P_2 &= V_2 * I_2 = VA (\text{Voltiamperios}) \\ P_2 &= 26,4 * 15 = 396 \text{ VA} \end{aligned}$$

Transformadores

Se calculará para una potencia de 500 VA y de esta manera evitar problemas en momentos críticos.

Con esta nueva potencia de 500 VA la I_2 valdrá:

$$I_2 = \frac{P_2}{V_2 * \text{Cos}\alpha} = \frac{500}{26,4 * 0,85} = 22,3A$$

1.2 Sección del núcleo

Conociendo ya la potencia del transformador, se utiliza la Tabla VII y se observa que en la casilla de potencia de 500 VA le corresponde una sección de 21 cm².

Detalle de la Tabla VII. Cálculo de la sección en función de la potencia

Potencia	250	300	400	500	600	650	700	750
SECCIÓN	16	18	19.8	21	24	25	27	27

La sección real del transformador, como se ha comentado anteriormente, es la indicada en la figura 37, en la que ya se conoce que el producto $d * h$ tiene que ser 21 cm². Estas medidas dependerán de las medidas de la chapa magnética de que se disponga y también del espacio disponible donde se va a ubicar el transformador que de alguna manera va a determinar la elección de la chapa a utilizar.

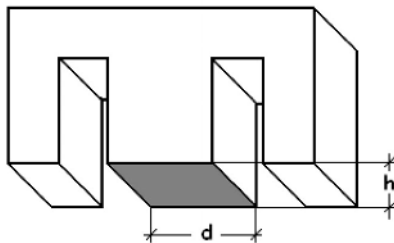


Figura 37. Sección real del empilado de chapa del transformador que se pretende calcular.

1.3 Elección de la chapa magnética

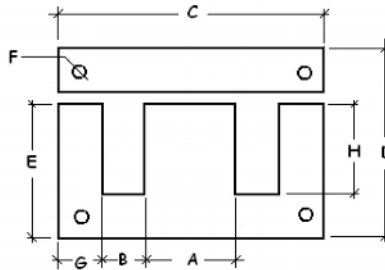
La chapa más adecuada para esta potencia de transformador es la RC 36, pero se puede utilizar la que se quiera; sólo se requiere calcular el empilado de chapa en función del tipo de chapa elegida.

Como la chapa RC 36 tiene una medida de $d = 36 \text{ mm}$ y la sección total precisada es de $S = 21 \text{ cm}^2$, se calcula el empilado de chapa h :

$$h = \frac{S}{d} = \frac{2100}{36} = 58 \text{ mm}$$

Cálculo práctico de un transformador monofásico

El empilado que se precisa será de 58 mm de chapa RC 36.



Detalle de la Tabla I. Dimensiones de la chapa magnética elegida RC 36

RC	A	B	C	D	E	F	G	H
RC36	36	18	108	90	72	6	18	54

1.4 Número de espiras del devanado primario

La Tabla VIII proporciona el número de espiras por voltios que se le tiene que dar a cada devanado. En este ejemplo, como la sección del núcleo es de 21 cm², se busca este dato en la tabla y se observa que le corresponde un valor de 1,9 espiras por cada voltio.

Detalle de la Tabla VIII. Espiras por voltio en función de la sección del núcleo magnético, en el ejemplo 1,9 espiras por cada voltio

Sección	16	18	19.8	21	24	25	26	27
E/V.	2.6	2.3	2.2	1.9	1.8	1.7	1.65	1.62

$$E/V * V_1 = N_1$$

$$N_1 = 1,9 * 230 = 437 \text{ espiras}$$

Al devanado primario se le tienen que dar 437 espiras.

1.5 Número de espiras del devanado secundario

Se tiene que utilizar el mismo sistema anterior, pero ya no hay necesidad de utilizar la tabla porque se tiene el dato de espiras por voltio (E/V) en este ejemplo 1,9 espiras por cada voltio.

$$E/V * V_2 = N_2$$

$$N_2 = 1,9 * 26,4 = 50 \text{ espiras}$$

1.6 Diámetro del hilo del devanado secundario

Para ello, se utilizará la Tabla IX, que permite obtener este diámetro en función de la intensidad en amperios que va a circular por él.

La utilización de esta tabla es similar a las anteriores. Se tiene que tomar la casilla de los amperios que van a circular por el devanado secundario, en este caso 22,2 amperios y ver qué diámetro le corresponde. Se observa que le corresponde un hilo de 2,75 mm de diámetro, se obtiene de la media de 2,5 y 3 que corresponden a 20 y 25 amperios respectivamente.

Detalle de la Tabla IX. Obtención del diámetro del hilo del devanado secundario y del devanado primario

Amperios	0,9	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Diámetro	0,5	0,5	0,6	0,75	0,8	0,9	1	1,2
Amperios	5	6	7	8	9	10	15	20
Diámetro	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,75	2	2,5
Amperios	25	30	40	50	60	70		
Diámetro	3	3,5	4	4	4,5	5		

1.7 Diámetro del hilo del devanado primario

El método a utilizar es el mismo que en el apartado anterior, conociendo la intensidad que va a circular por el devanado primario se busca en la Tabla IX y se escoge el diámetro del hilo que le corresponda.

La intensidad del hilo primario se calcula mediante la fórmula de la relación de transformación:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \qquad I_1 = \frac{N_2 * I_2}{N_1}$$

$$I_1 = \frac{50 * 22,2}{437} = 2,5 A$$

Si se despeja I_1 en función de la tensión, el resultado sería el mismo:

$$I_1 = \frac{I_2 * V_2}{V_1} \qquad I_1 = \frac{26,4 * 22,2}{230} = 2,5 A$$

Cálculo práctico de un transformador monofásico

Consultada la tabla en el apartado de 2,1 A, se observa que se puede utilizar un hilo de 0,8 mm.

Efectuados todos los cálculos anteriores, se confeccionará una memoria con los datos obtenidos para comenzar a preparar el material necesario para efectuar el devanado del transformador, esto es, hilo con los diámetros obtenidos, carrete para alojar los devanados, chapa magnética, tornillos, regleta de conexiones, etc.

1.8 Resumen de los datos calculados

Datos del devanado primario

Tensión	230 V
Intensidad	2,5 A
Número de espiras	437 espiras
Diámetro del hilo.	0,8 mm

Datos del devanado secundario

Tensión	26,4 V
Intensidad	22,2 A
Número de espiras	50 espiras
Diámetro del hilo	2,75 mm

Datos comunes a ambos devanados

Potencia	500 VA
Espiras por Voltios	1,9
Frecuencia	50 Hz
Sección del núcleo	21 cm ²
Tipo de chapas E/I	RC 36
Medida del espesor de las chapas	60
Medida del carrete	36 X 60

1.9 Ajuste de los hilos calculados

Se tiene que medir el "hueco" del carrete donde van a ir alojados los hilos para ver si éstos entran sin problemas. Toda vez que el cálculo realizado de los diámetros de los dos hilos, primario y secundario, no son críticos, son valores aproximados, permitirá aumentar o disminuir, si fuera necesario, para que entren todos estos hilos sin problema. Para ello se realizará un tanteo para ver qué hilos son los que se adaptan mejor a las necesidades específicas de este transformador y, por supuesto, a la densidad de corriente, esto es, que la intensidad circule sin calentar excesivamente el hilo de cobre.

Transformadores

Como se ha decidido utilizar chapa RC 36 con un empilado de chapa de 60 mm se tiene que utilizar un carrete de 36 x 60 (36 es la medida de la chapa y 60 es la medida en mm del empilado a utilizar).

Una vez que se disponga del carrete se mide el hueco donde van a ir alojados los devanados y las medidas son: 50 x 14 mm, (H y L). Para una mejor comprensión de estos datos observar el dibujo de la figura 38, que muestra un transformador seccionado, quedando visible claramente el carrete y los hilos de los devanados.

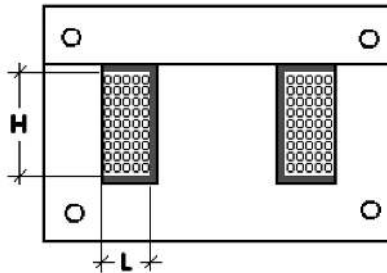


Figura 38. Transformador seccionado mostrando el hueco donde deben de ir los devanados primario y secundario.

1.9.1 Devanado primario

- a) El hilo a utilizar, provisionalmente, es de 0,8 mm. A este diámetro se le tiene que añadir el recubrimiento de esmalte que lleva todo hilo de bobinar y que por este tipo de hilo, relativamente pequeño, se puede considerar un valor de 0,05 mm que arroja un valor de 0,85 mm, recordar que este valor sólo es para este cálculo,

$$0,8 + 0,05 = 0,85 \text{ mm de diámetro}$$

- b) Cantidad de hilos que entran en H, en lo sucesivo esta cantidad de hilos se denominará CAPA.

$$N^{\circ} \text{ hilos en H} = \text{Medida de H} / \text{diámetro del hilo a utilizar.}$$

$$N^{\circ} \text{ hilos en H} = 50 / 0,85 = 58,8 \text{ hilos.}$$

Por tanto, en 1 capa entran 58 hilos (redondeando a la baja).

- c) Las capas que ocupará el devanado primario serán:

$$\text{Capas devanado primario} = N^{\circ} \text{ espiras} / N^{\circ} \text{ hilos por capa}$$

$$\text{Capas devanado primario} = 437 / 58 = 7,5 \text{ capas (redondeando 8 capas)}$$

- d) Como cada capa ocupa la medida del hilo a utilizar, en este caso 0,85 mm y se precisan 8 capas, el devanado primario ocupará en mm:

$$8 \text{ Capas} \times (0,85) \text{ diámetro del hilo} = 7 \text{ mm.}$$

El devanado primario ocupará 7 mm de los 14 mm que tiene el espacio para alojar los hilos (figura 39).

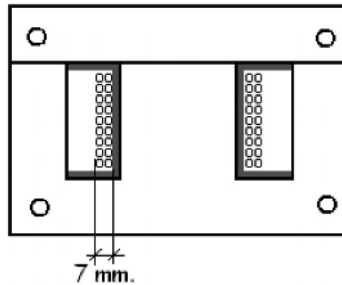


Figura 39. Espacio ocupado por el devanado primario.

1.9.2 Devanado secundario

El proceso es el mismo que el utilizado para el devanado primario. Se comienza por utilizar el hilo calculado anteriormente para el devanado secundario, 2,75 mm.

- a) Al hilo de 2,75 mm se tiene que añadir 0,1 mm, y arroja un resultado de 2,85 mm.

El añadir 0,1 en lugar de 0,05 utilizado anteriormente es porque el hilo es más grueso y queda más espacio muerto y por tanto el índice de ocupación del hilo aumenta mucho.

$$2.75 + 0,1 = 2,85 \text{ mm de diámetro}$$

- b) Se calcula cuántos hilos entran en una capa, o lo que es lo mismo, cuántos hilos entran en H.

Nº hilos en H = Medida de H / diámetro del hilo a utilizar.

$$\text{Nº hilos en H} = 50 / 2,85 = 17,5 \text{ hilos.}$$

Por tanto, en 1 capa entran 17 hilos.

- c) Las capas que ocupará el devanado secundario serán:

Capas devanado secundario = Nº espiras / Nº hilos por capa

$$\text{Capas devanado secundario} = 50 / 17 = 2,9 \text{ capas (redondeando 3 capas)}$$

- d) Como cada capa ocupa la medida del hilo a utilizar, en este caso 2,85 mm y se precisan 3 capas, el devanado primario ocupará en mm:

$$3 \text{ capas} \times (2,85) \text{ diámetro del hilo} = 8,55 \text{ mm.}$$

El devanado secundario ocupará 8,55 mm.

Como el devanado primario ocupa 7 mm y el devanado secundario ocupa 9 mm, el total de los dos devanados ocupa 16 mm y el hueco existente en el carrete de plástico es de 14 mm, por tanto, no entran todos los hilos de los dos devanados, en el carrete. Esto significa que se tiene que reducir ligeramente el diámetro de los hilos de los dos devanados y comprobar, otra vez, que entran sin problema.

Transformadores

Se tiene que tener en cuenta reservar de dos a tres milímetros para el cartón de separación entre los dos devanados y para las imperfecciones de los devanados debido a que algunas espiras se cruzan con otras y no queda un devanado con un capeado perfecto.

La figura 40 muestra cómo deberían quedar los dos devanados.

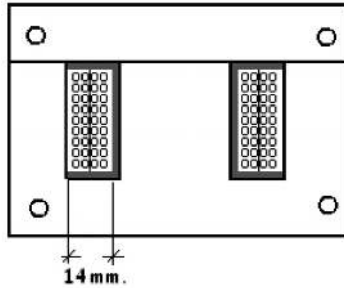


Figura 40. Sección de los devanados de un transformador.

Observar el cartón aislante que sirve de separador entre los dos devanados.

Con estos datos, una vez reducidos los hilos, comprobar que caben sin problemas en el hueco del carrete de plástico, ya se puede pasar al taller y bobinar el transformador calculado y posteriormente realizar las pruebas necesarias para certificar que los cálculos han sido correctos.

Cálculo de transformadores II

1. Método analítico I

Como siempre, se parte de los datos imprescindibles que precisa la aplicación donde se va a instalar el transformador calculado, posteriormente, con estos datos se calcularán el resto para poder efectuar la construcción del mismo.

1.1 Datos

Los datos que se precisan son:

V_1 – Tensión primaria, (devanado que se va a conectar a la red).

V_2 – Tensión secundaria, (devanado donde se va a conectar la carga).

Al valor de esta tensión se le tiene que añadir entre un 5 y un 10 % por la caída de tensión que supone el tener la carga nominal conectada al secundario.

F - Frecuencia de la red, este dato se podría considerar constante, puesto que la red en España es de 50 Hz, y salvo raras excepciones, siempre se usa este valor.

P - La potencia es otro dato que se precisa, aunque no siempre suele ser así, a veces, se proporciona la intensidad que va a circular por la carga.

En este caso se calcula la potencia en función de la intensidad del secundario mediante la fórmula:

$$P = V_2 * I_2$$

1.2 Espiras/Voltio

El número de espiras que le corresponde a cada voltio se calcula teniendo en cuenta la fórmula siguiente, en la que 34 es una constante dividida por la raíz cuadrada de la potencia del transformador:

$$E/V = \frac{34}{\sqrt{P}}$$

1.3 Número de espiras del devanado primario

El número de espiras del devanado primario se obtiene multiplicando el número de espiras por cada voltio por la tensión primaria.

$$N_1 = E/V * V_1$$

1.4 Número de espiras del devanado secundario

La mecánica a seguir es la misma que en el caso anterior, sólo cambia la utilización del valor de la tensión que se toma del devanado secundario.

$$N_2 = E/V * V_2$$

1.5 Sección del núcleo

La sección del núcleo magnético se puede calcular de dos maneras distintas, aunque las dos arrojan los mismos resultados: calculando en función de la tensión y el número de espiras primario o utilizando la tensión y número de espiras del secundario.

$$S = \frac{V_1 * 100}{2,6 * N_1} \qquad S = \frac{V_2 * 100}{2,6 * N_2}$$

Conviene realizar el cálculo de las dos maneras y comparar la igualdad de los dos resultados para comprobar que los cálculos realizados hasta este punto están bien.

Ya se conoce la sección del núcleo magnético, pero éste puede adoptar varias medidas aunque todas ellas arrojen la sección en cm² calculada. Por ello, el ancho de chapa, así como la cantidad de chapa que forma el empilado, se tiene que decidir en función de la sección calculada y de la chapa disponible.

La sección real del transformador es la indicada en la figura 41.

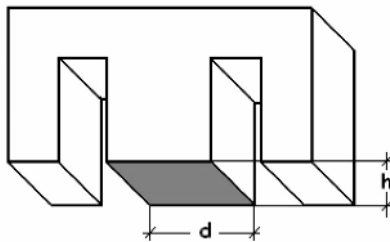


Figura 41. Sección real del empilado de chapa magnética del transformador.

1.6 Elección de la chapa magnética

Anteriormente se ha comentado que la chapa magnética se puede elegir entre las que existen en el mercado, o adaptar el cálculo a la chapa de que se disponga.

En cualquiera de los casos conviene remitir al lector a la Tabla I, al capítulo de chapa magnética que proporciona las medidas de las chapas normalizadas.

1.7 Intensidad del devanado primario

La intensidad que va a circular por el devanado primario se puede calcular dividiendo la potencia del transformador por el valor de la tensión a la que se va a conectar el devanado primario.

$$I_1 = \frac{P}{V_1}$$

1.8 Intensidad del devanado secundario

La intensidad que recorrerá el devanado secundario se obtiene del cociente entre la potencia del transformador y la tensión secundaria.

$$I_2 = \frac{P}{V_2}$$

1.9 Sección del hilo del devanado primario

Conocida la intensidad del devanado primario se divide por la densidad de corriente. Este valor dependerá de la potencia del transformador, pero se puede trabajar con valores comprendidos entre 2 y 6 en transformadores con refrigeración natural, esto es, desnudos IP 00.

$$S_1 = \frac{I_1}{J}$$

1.10 Sección del hilo del devanado secundario

La sección del hilo de este devanado se consigue utilizando una fórmula similar al anterior, pero el valor de la densidad de corriente deberá ser superior al utilizado en el devanado primario. Recordar que en el devanado secundario, generalmente, se utiliza un conductor de más diámetro que en el devanado primario por circular más intensidad, siempre que el transformador sea reductor.

$$S_2 = \frac{I_2}{J}$$

1.11 Diámetro del hilo del devanado primario

Una vez conocida la sección del conductor a utilizar se calcula el diámetro que le corresponde a esa sección, utilizando la siguiente fórmula:

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}}$$

1.12 Diámetro del hilo del devanado secundario

Para calcular el diámetro de este devanado se utiliza un procedimiento similar al empleado en el apartado anterior pero empleando como dato la S_2 .

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}}$$

Con todos los cálculos se procede a realizar un resumen que servirá de guía para realizar el transformador, ya que dicha leyenda refleja todos los datos imprescindibles para la construcción.

Resumen

Datos del devanado primario

- Tensión
- Intensidad
- Número de espiras
- Diámetro del hilo

Datos del devanado secundario

- Tensión
- Intensidad
- Número de espiras
- Diámetro del hilo

Datos comunes a ambos devanados

- Potencia
- Espiras por voltios
- Frecuencia
- Sección del núcleo
- Tipo de chapas E/I
- Medida del empilado de las chapas
- Medida del carrete para alojar los devanados

Capítulo 8

Cálculo práctico de transformador II por el método analítico

Un ejemplo práctico orientará mejor sobre la mecánica a seguir en el cálculo de un transformador para utilizarlo en la alimentación de electroválvulas en un circuito de riego por goteo.

Los datos de partida del transformador son los siguientes:

1.1 Datos

$$V_1 - 230 \text{ V.}$$

$$V_2 - 24 \text{ V} + 10\% = 26,4 \text{ V.}$$

$$F - 50 \text{ Hz.}$$

$$P - 500 \text{ VA.}$$

1.2 Espiras/Voltios

Como la potencia del transformador es de 500 VA:

$$E/V = \frac{34}{\sqrt{P}} = \frac{34}{\sqrt{500}} = 1,52 \text{ E/V}$$

1.3 Número de espiras del devanado primario

Como el número de espiras por voltio es 1,52 y la tensión del devanado primario es de 230 V:

$$N_1 = E/V * V_1 = 1,52 * 230 = 350 \text{ espiras}$$

1.4 Número de espiras del devanado secundario

La tensión que va a proporcionar el devanado secundario es de 24 V más el 10% de esta tensión, supone un valor de 26,4 V.

$$N_2 = E/V * V_2 = 1,52 * 26,4 = 40 \text{ espiras}$$

1.5 Sección del núcleo

La sección del núcleo magnético se calcula teniendo en cuenta la tensión y el número de espiras del devanado primario.

También se puede calcular en función de la tensión y número de espiras del devanado secundario y se comprueba que el resultado es el mismo o difiere muy poco:

$$S = \frac{V_1 * 100}{2,6 * N_1} = \frac{230 * 100}{2,6 * 350} = 25,2 \text{ cm}^2$$

$$S = \frac{V_2 * 100}{2,6 * N_2} = \frac{26,4 * 100}{2,6 * 40} = 25,3 \text{ cm}^2$$

Ya se conoce la sección del núcleo magnético que debe ser de 25 cm², por ello, el ancho de chapa, así como la cantidad de chapas que formarán el empilado, se tiene que decidir en función de esta sección calculada.

La sección real del transformador es la indicada en la figura 42.

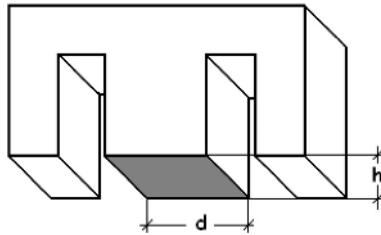


Figura 42. Sección real del empilado de chapa magnética del transformador.

1.6 Elección de la chapa magnética

Como se ha comentado anteriormente, la chapa magnética se puede elegir entre las que existen en el mercado, o adaptar el cálculo a la chapa de que se disponga.

En cualquiera de los casos conviene remitir al lector a la Tabla I del capítulo de chapa magnética, que proporciona las medidas de las chapas normalizadas, y decidir la mejor opción.

En este ejemplo particular, se decide una chapa tipo **RC36** que es el valor de " d ", por tanto, se necesita un empilado de 70 mm.

$$36 * 70 = 2.520 \text{ mm}^2$$

La elección de la chapa tipo RC36 ha sido una opción, también se podía haber elegido una chapa tipo RC 42, entonces el empilado se tendría que poner de 60 mm, (42 x 60 = 2.520 mm²).

1.7 Intensidad del devanado primario

La intensidad que recorrerá el devanado primario será:

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{500}{230} = 2,1 \text{ A}$$

1.8 Intensidad del devanado secundario

La intensidad que proporcionará el devanado secundario será:

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{500}{26,4} = 18,9 \text{ A}$$

1.9 Sección del hilo del devanado primario

Conocida la intensidad I_1 y suponiendo, en principio, una densidad de corriente de 4 A/mm², la sección del conductor será:

$$S_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{2,1}{4} = 0,52 \text{ mm}^2$$

1.10 Sección del hilo del devanado secundario

La densidad de corriente en este devanado deberá ser un poco mayor que la utilizada en el cálculo de la sección del hilo del devanado primario porque el hilo deberá ser de mayor diámetro.

$$S_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{18,9}{5} = 3,79 \text{ mm}^2$$

1.11 Diámetro del hilo del devanado primario

Conocida la sección del devanado primario, se puede calcular el diámetro del hilo del devanado primario:

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{0,52}{0,758}} = 0,85 \text{ mm}$$

1.12 Diámetro del hilo del devanado secundario

El mismo procedimiento que el utilizado anteriormente:

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{3,79}{0,758}} = 2,24 \text{ mm}$$

Como se conocen las medidas del carrete de plástico, se hace un tanteo para ver que las espiras de los dos devanados, con el diámetro calculado, caben dentro del carrete.

En caso contrario, se tendría que disminuir ligeramente el diámetro de los devanados hasta conseguir que entren, sin dificultad, en el hueco del carrete de plástico.

Transformadores

De todas maneras, conviene remitir al lector al capítulo de *Cálculo de transformadores* en el apartado *Ajustes de los hilos calculados* y seguir la mecánica explicada para conseguir que los hilos completen el hueco del carrete de plástico.

Con todos estos datos calculados se realiza un resumen para imprimir y realizar con éxito la construcción del transformador.

Resumen

Datos del devanado primario

Tensión	230 V
Intensidad	2,1 A
Número de espiras	350 espiras
Diámetro del hilo	0,85 mm

Datos del devanado secundario

Tensión	24 V. (En vacío 26,4 V)
Intensidad	18,9 A
Número de espiras	40 espiras
Diámetro del hilo	2,24 mm

Datos comunes a ambos devanados

Potencia	500 VA
Espiras por voltios	1,52 E/V
Frecuencia	50 Hz.
Sección del núcleo	25,3 cm²
Tipo de chapas E/I	RC 36
Medida del empilado de las chapas	36 x 70
Medida, en mm, del carrete para alojar los devanados	50 x 14

En los materiales adicionales al libro, que encontrará en www.marcombo.com, se incorpora el archivo *Cálculo de transformador monofásico*, en Excel, utilizándolo se evitan todas las operaciones matemáticas anteriores, que aunque sencillas, son laboriosas.

Transformadores con devanados múltiples

No siempre un transformador dispone de una sola tensión, bien de entrada o de salida, por el contrario, la mayoría de las veces se precisan varias tensiones.

Por tanto, un transformador con devanados múltiples es aquel que dispone de varios devanados y por ello, de varias tensiones, bien en el circuito primario, en el secundario o en los dos (figura 43).



Figura 43. Transformador con devanados múltiples.

Se pueden clasificar atendiendo a varios criterios, los más corrientes son los devanados que están en:

- ❖ Devanados múltiples en circuito primario
- ❖ Devanados múltiples en circuito secundario

1.1 Devanados múltiples en circuito primario

Estos transformadores disponen de varias tomas en el circuito primario, generalmente son devanados para conectar el transformador a distintas tensiones de red, las más normales son 230 V y 380 V. En la figura 44 se puede observar que dispone un 0 común, de tal manera que si se pretende conexionar a una tensión de 230 V se tiene que conectar entre el 0 y el borne indicada con 230 V. En esta conexión el transformador dispone de unas determinadas espiras. Si se dispone de una tensión de 380 V se

Transformadores

conectará entre el 0 y el borne de 380 V y el transformador tiene un devanado con muchas más espiras.

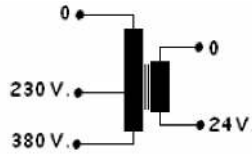


Figura 44. Transformador múltiple con distintas tomas en el circuito primario.

1.2 Devanados múltiples en circuito secundario

Los transformadores con devanados múltiples se pueden dividir en dos grandes grupos:

- ❖ Devanados múltiples con 0 común
- ❖ Devanados con comunes independientes

1.2.1 Devanados múltiples con 0 común

Son transformadores que disponen en el devanado secundario tomas intermedias y por tanto, disponen un 0 común y dos devanados de 24 V cada uno, pudiéndose obtener las tensiones de 24 V y 48 V. En el argot eléctrico, a este tipo de transformador se le conoce como un transformador de 24 + 24 (figura 45).

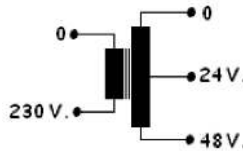


Figura 45. Transformador con devanados múltiples en el circuito secundario con 0 común.

1.2.2 Devanados con comunes independientes

Estos transformadores disponen de varios devanados independientes en el circuito secundario, por lo que se pueden utilizar distintas tensiones independientemente unas de otras. Cada devanado tiene un común diferente (figura 46).

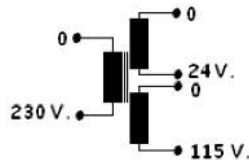


Figura 46. Transformador con devanados secundarios independientes, denominados en el argot eléctrico con 0 independientes.

1.3 Transformadores con devanados múltiples en el circuito primario y secundario

La realidad diaria demuestra que los transformadores más corrientes disponen de dos tensiones en el circuito primario, generalmente 230 V y 380 V, y en el secundario varias tensiones, las que precise la aplicación. En la figura 47 se muestra un transformador con devanados múltiples en el circuito primario y en el circuito secundario.

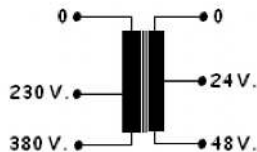


Figura 47. Transformador con devanados múltiples en el circuito primario y en el circuito secundario.

1.4 Sustitución de un transformador con devanados múltiples

Ocurre a veces, que se avería un transformador con dos salidas distintas y muy dispares una de la otra y casi siempre no se dispone de repuesto para sustituirlo. Por otro lado, la máquina donde esté instalado el transformador tiene que trabajar porque en caso contrario se pierde producción.

En estos casos, con un poco de ingenio se puede solucionar el problema y la máquina puede seguir funcionando.

Un ejemplo hará más didáctica la solución.

Ejemplo

Se dispone de un transformador cuya entrada es de 230 V y de salida tiene un devanado de 0-24 V y otro devanado de 0-115 V (figura 48).

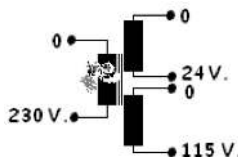


Figura 48. Transformador con dos salidas cuyo primario está quemado.

Este transformador se ha quemado y en este momento no se dispone de otro de repuesto de iguales características.

Para no tener que parar la máquina mientras se repara o compra un transformador igual se puede hacer una pequeña modificación provisional con dos transformadores de entrada 0-230 V conectando los primarios en paralelo. Los secundarios tendrían que ser de 0-24 V uno de ellos y, el otro, un secundario con una tensión de 0-115 V.

Transformadores

La figura 49 muestra el esquema de conexionado de los dos transformadores para conseguir la reparación provisional, de manera que la máquina pueda seguir funcionando en óptimas condiciones.

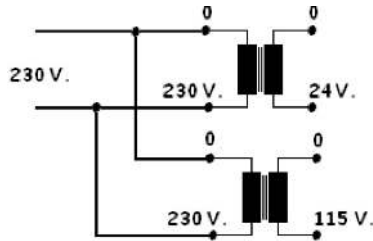


Figura 49. Esquema de conexión de dos transformadores con primario conectados en paralelo.

1.5 Sustitución de un transformador con devanados múltiples y cero común

Suponiendo un transformador quemado con un cero común en el secundario también se puede sustituir por dos transformadores independientes (figura 50).

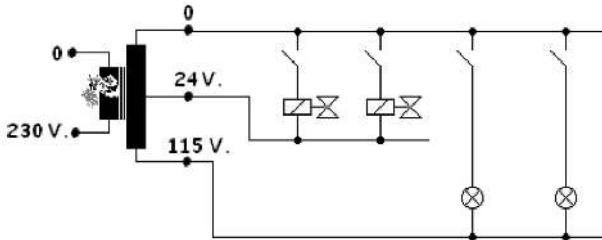


Figura 50. Transformador quemado con devanados múltiples y cero común.

Para ello, se tendrá que buscar donde se conectan los dos circuitos y separar el borne común para tener dos circuitos independientes, uno de 24 V y otro de 115 V y conectarlos a los devanados correspondientes.

La figura 51 muestra el esquema a realizar para sustituir un transformador con dos devanados con 0 común por dos transformadores independientes.

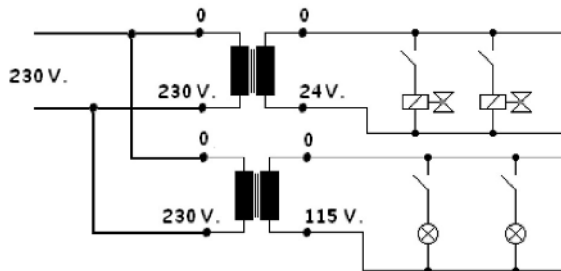


Figura 51. Conexión de dos transformadores para sustituir uno con dos devanados y cero común.

1.6 Cálculo de transformadores con devanados múltiples

El tratamiento para calcular este tipo de transformadores será el siguiente:

La potencia deberá ser la de todas las potencias de los distintos devanados que tenga el circuito secundario.

$$P_{21} = V_{21} * I_{21} = V A$$

$$P_{22} = V_{22} * I_{22} = V A$$

$$P_{23} = V_{23} * I_{23} = V A$$

$$\text{Potencia Total} = P_{21} + P_{22} + P_{23} = V A$$

P_{21} = Primera Potencia Secundaria

P_{22} = Segunda Potencia Secundaria

P_{23} = Tercera Potencia Secundaria

V_{21} = Primera Tensión Secundaria

P_{22} = Segunda Tensión Secundaria

P_{23} = Tercera Tensión Secundaria

I_{21} = Primera Intensidad Secundaria

I_{22} = Segunda Tensión Secundaria

I_{23} = Tercera Tensión Secundaria

A partir del dato de la Potencia Total, se calculará el transformador por uno de los procedimientos explicados en el capítulo de transformadores monofásicos.

Como se ha comentado anteriormente, la potencia del transformador será la que resulte de la suma de las potencias parciales. Para el cálculo de la tensión secundaria se tomará como base la tensión mayor y posteriormente, una vez conocido el número de espiras/voltios, se irá multiplicando este valor por las distintas tensiones, arrojando el número de espiras que se tiene que dar a cada devanado.

El cálculo del diámetro del hilo de los distintos devanados se hará en función de la intensidad que tenga que recorrerlos, y este dato se obtiene de la potencia parcial de cada uno de los devanados.

Ejemplo

Se precisa un transformador con un circuito secundario cuyas salidas deben ser 0 – 12 – 24 – 48.

Esto quiere decir que para obtener 12 V la carga se tiene que conectar entre el borne 0 y el borne de 12 V.

Para obtener 24 V se tiene que conectar entre el borne 0 y el borne 24 V.

Y 48 V se obtiene entre el borne 0 y el borne 48 V.

Transformadores

Al tener un 0 común, quiere decir que cuando se está utilizando la salida de 24 V los devanados que trabajan son el de 12 y otro devanado de 12 V ($12 + 12 = 24$ V).

En la figura 52 se muestra el transformador del ejemplo.

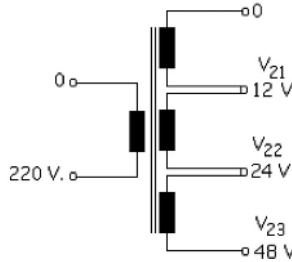


Figura 52. Transformador con devanados múltiples

$$P_{21} = V_{21} * I_{21} = 12 * 3 = 36 \text{ VA}$$

$$P_{22} = V_{22} * I_{22} = 24 * 2 = 48 \text{ VA}$$

$$P_{23} = V_{23} * I_{23} = 48 * 2 = 96 \text{ VA}$$

Potencia Total180 VA.

La potencia total arroja un resultado de 180 V A pero es conveniente realizar el cálculo en base a 200 VA.

1.7 Conexión de los devanados secundarios

La mayoría de los fabricantes de transformadores, con objeto de reducir sus stocks en los almacenes, disponen en el secundario de los transformadores de dos devanados completamente iguales para que puedan proporcionar el doble o la mitad de la tensión dentro de la gama de tensiones normalizadas que existen en el mercado.

Para ello, las tensiones que les suelen dar a los devanados secundarios son las indicadas en la figura 53.

Devanados secundarios		Tipo de conexión	
Devanado 1	Devanado 2	Serie	Paralelo
12	12	24	12
24	24	48	24
110	110	220	110

Figura 53. Tabla con las tensiones normalizadas en los devanados secundarios.

Estos devanados se pueden conectar en serie o en paralelo, pero hay que realizar las conexiones de estos devanados conectando terminales correspondientes, porque en caso contrario no se podrían obtener en el secundario las tensiones requeridas.

1.7.1 Conexión en serie de los devanados secundarios

Esta conexión se realiza cuando se pretende obtener el doble de la tensión con la misma intensidad del transformador.

En la figura 54 se muestran dos devanados de 12 V y 3 A. Cada uno, al conectarlo en serie, la tensión se duplica a 24 V con la misma intensidad, 3 A.

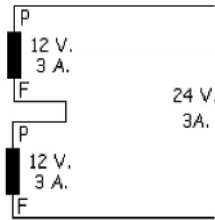


Figura 54. Conexión en serie de dos devanados de un transformador obteniendo el doble de la tensión y la misma intensidad.

Observar cómo se ha conectado el final de un devanado con el principio del otro para conseguir duplicar el valor de la tensión. Esto es muy importante, porque de no hacerlo así, la tensión resultante sería cero voltios.

La figura 55 muestra dos devanados mal conectados, conecta el principio de un devanado con el principio del otro, obteniendo una tensión de cero voltios.

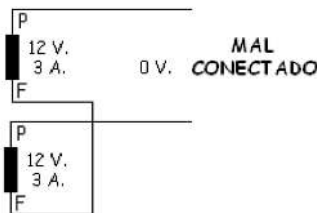


Figura 55. Devanados secundarios mal conectados, por tanto, la tensión conseguida es cero voltios.

1.7.2 Conexión en paralelo de los devanados secundarios

Cuando se pretende obtener más intensidad y la misma tensión, se tienen que conectar los dos devanados en paralelo. En el caso de la figura 56, son dos devanados, cada uno proporciona 12 V y 3 A. Al conectarlo en paralelo se obtiene una tensión de 12 V y la intensidad se duplica a 6 A.

En caso de conectar el principio de uno con el final del otro no se conseguiría tensión alguna a la salida (figura 57).

Transformadores

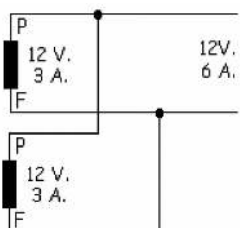


Figura 56. Conexión en paralelo del secundario de un transformador para obtener la misma tensión y más intensidad.

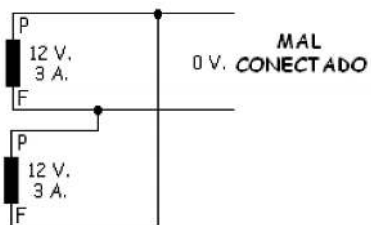


Figura 57. Devanados mal conectados, por ello no se obtiene tensión a su salida.

Capítulo 10

Modificación de las características de un transformador

El modificar sólo las características de tensión de un transformador ya bobinado no encierra dificultad si se utiliza la fórmula de la relación de transformación.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Para modificar un transformador se parte, evidentemente, de uno cuyo estado sea bueno, porque si está quemado sólo queda desmontarlo y aprovechar la chapa para otro o tomar todos los datos y rebobinarlo otra vez y utilizarlo con las características primitivas.

Ahora bien, si el estado es bueno pueden ocurrir dos cosas: que se conozcan sus características y terminales o que se desconozcan por completo todas ellas.

Por tanto, se pretende construir un transformador con características determinadas

Se comienza por desmontar el transformador anotando todos sus datos:

- ❖ Desmontar todos los tornillos y pasadores.
- ❖ Quitar las chapas magnéticas.
- ❖ Descontar las espiras del devanado primario N1.
- ❖ Descontar las espiras del devanado secundario N2.
- ❖ Medir el diámetro del hilo del devanado primario.
- ❖ Medir el diámetro del hilo del devanado secundario.
- ❖ Medir el núcleo del transformador, para ello se deben de juntar todas las chapas en E (figura 58).

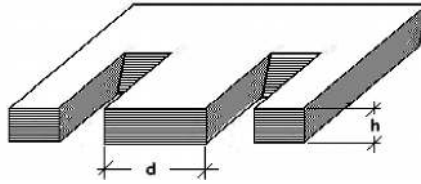


Figura 58. Detalle del núcleo del transformador que se está desmontando, con este dato se puede obtener la potencia del transformador.

Con todos estos datos se realiza un cuadrante:

V1	V2	N1	N2	Diám. 1	Diám. 2	Sección	Potencia
230	48	350	80	0.7	1.2	26	500

Conocida la tensión primaria y el número de espiras del devanado primario se pueden calcular las Espiras/Voltio.

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{230}{350} = 0,65 \text{ Espiras / Voltio}$$

También se pueden calcular dividiendo la tensión secundaria entre el número de espiras del devanado secundario y debe arrojar el mismo resultado que el anterior. La diferencia deberá ser mínima y es debida al aumento de espiras que se da al devanado secundario para paliar la caída de tensión al conectar la carga nominal al transformador.

$$\frac{V_2}{N_2} = \frac{48}{80} = 0,6 \text{ Espiras / Voltio}$$

Estos datos obtenidos son los que tenía el transformador desmontado. Ahora se pretende adaptar este transformador para obtener una salida de 14 V para utilizarlo como cargador de baterías.

Los datos de que se disponen son:

V_1 – Tensión primaria 230 V. (Procede de los datos del transformador antiguo).

N_1 – Número de espiras. (Se han contado al desmontar).

N_2 – Número de espiras. (Se han contado, pero aquí se tiene que hacer una toma para obtener los 14 V).

V_2 – Nueva tensión que se pretende obtener, 14 V.

Mediante la fórmula de la relación de transformación y con los datos de que se dispone se puede calcular el número de espiras del devanado secundario.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \qquad \frac{350}{N_2} = \frac{230}{14}$$

Modificación de las características de un transformador

$$N_2 = \frac{350 * 14}{230} = 21 \text{ Espiras}$$

Al devanado secundario que tenía 80 espiras se le tiene que hacer una salida a 21 espiras, obteniendo en esta toma 14 V. Se tiene que seguir rebobinando hasta llegar a las 80 espiras totales para obtener los 48 V.

Si se ha tenido la precaución de enrollar el hilo original en un carrete vacío, se puede aprovechar. En caso contrario se tendría que sustituir por un hilo nuevo.

El transformador quedaría como muestra la figura 59.

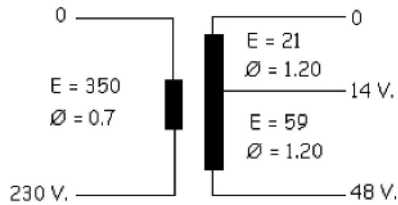


Figura 59. Esquema del transformador con todos los datos, originales y calculados, una vez modificado.

Capítulo 11

Acoplamiento en paralelo de transformadores monofásicos

No es corriente acoplar en paralelo transformadores monofásicos en baja tensión, esto se suele hacer en transformadores trifásicos de alta tensión. No obstante, a veces ocurre que se tienen que acoplar para poder dar respuesta a la demanda de carga y sobre todo a la seguridad en el suministro de energía, lo que permite que en caso de avería de uno de ellos el otro pueda suministrar energía, aunque sólo sea para unos servicios mínimos.

Para acoplar transformadores monofásicos en paralelo, se debe tener en cuenta:

- ❖ Igual relación de transformación en vacío.
- ❖ Es aconsejable que sean de la misma potencia, aunque no imprescindible.

Si no son de la misma potencia, las tensiones de cortocircuito sí lo deben ser, consiguiendo con ello un reparto más proporcional de las cargas y por tanto, un mejor funcionamiento de ambos transformadores conectados en paralelo.

1. Tipos de bobinados

Un devanado se puede realizar de dos maneras distintas:

- ❖ Bobinado a derecha
- ❖ Bobinado a izquierda

1.1 Bobinado a derecha

Un devanado está realizado a derecha cuando la bobinadora ha girado a la derecha y, por tanto, el hilo de cobre se arrolla en el sentido de las agujas de un reloj (figura 60).

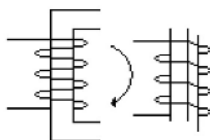


Figura 60. Devanado realizado a derecha.

1.2 Bobinado a izquierda

El arrollamiento de este bobinado sigue el sentido contrario a las agujas de un reloj (figura 61).

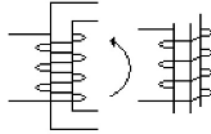


Figura 61. Devanado realizado a izquierda.

Los devanados primario y secundario se pueden arrollar en el mismo sentido o en sentido opuesto (figura 62 y 63).

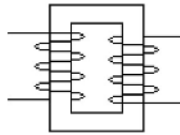


Figura 62. Transformador bobinado, los dos devanados en el mismo sentido.

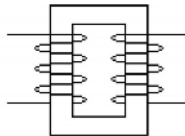


Figura 63. Transformador con los dos devanados bobinados en sentidos opuestos.

Como quiera que los devanados están, generalmente, tapados por cartón aislante, tapas protectoras, resina, etc. y, por tanto, no se puede observar el sentido de los devanados, sólo tienen visibles los terminales primarios y secundarios, se tiene que conocer cuáles son los terminales homólogos (figura 64).

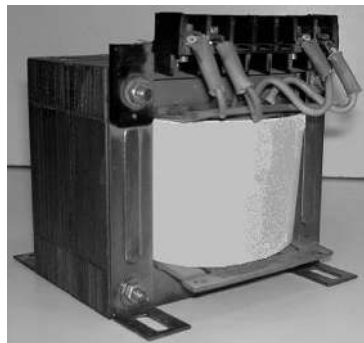


Figura 64. Transformador con terminales visibles.

2. Terminales homólogos

Para conocer los terminales homólogos se procede de la siguiente manera:

1. Se conectan, de manera arbitraria, los terminales de los devanados primarios a la red, independientemente de que sean o no terminales homólogos porque aún no se conocen (figura 65).

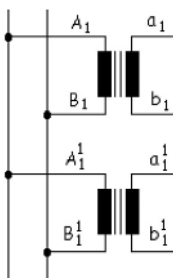


Figura 65. Conexión de los terminales de los devanados primarios a la red de manera aleatoria.

2. Se conectan los devanados secundarios en serie a un voltímetro, de manera arbitraria. Recordar que no se conocen los terminales homólogos (figura 66).

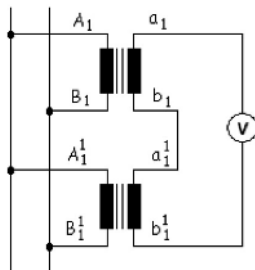


Figura 66. Conexión correcta de los devanados secundarios en serie a un voltímetro.

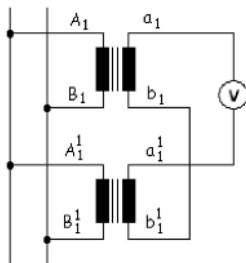


Figura 67. Conexión errónea de los devanados secundarios en serie a un voltímetro.

Transformadores

Observar la medida indicada en el voltímetro, deberá indicar el doble de la tensión nominal del secundario de los transformadores, indicando que los terminales homólogos son: $a_1 - a_1^1$ y $b_1 - b_1^1$.

Si el voltímetro midiera un valor muy próximo a 0 indicará que los terminales no son homólogos, por lo que se tendría que cambiar la conexión de manera que el voltímetro indique el doble de la tensión de un solo devanado (figura 67).

Una vez identificados los terminales homólogos, se marcan con un collarín, cinta, o cualquier otro sistema de identificación, con $a_1 - a_{11}$ y $b_1 - b_{11}$, quedando preparados para trabajar en conexión paralelo.

La figura 68 muestra la correcta conexión de dos transformadores conectados en paralelo.

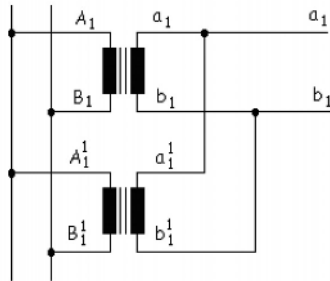


Figura 68. Conexión correcta de dos transformadores en paralelo.

Transformadores de intensidad

1. ¿Qué son y para qué se utilizan?

Son transformadores que trabajan con el mismo principio de funcionamiento que el resto de transformadores. Se utilizan para convertir una intensidad elevada en otra más pequeña o viceversa, medir la corriente eléctrica de una línea a la vez que aísla de ésta los aparatos de medidas o cualquier otro receptor conectado al secundario del transformador de intensidad.

Los más utilizados son los que convierten una intensidad elevada en una menor acorde con los valores normalizados de los equipos de medidas, en equipos electrónicos como convertidores de frecuencia, etc.

Como todo transformador, tienen los mismos elementos que el resto de los transformadores, devanado primario, devanado secundario y núcleo magnético.

Son transformadores de mucha precisión y la relación de intensidades varía muy poco con distintas cargas. Como en todo transformador, la relación de intensidades es inversamente proporcional al número de espiras entre el devanado primario y el secundario.

La intensidad nominal más estándar en el devanado secundario es 5 A, valor normalizado en los aparatos de medidas. La potencia oscila entre los 10 y 200 VA.

En el devanado primario, por el contrario, se utilizan los valores de 5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 amperios; también se pueden modificar estos valores para otras intensidades.

Como quiera que el 90 % de los transformadores de intensidad son de núcleo magnético toroidal, el diámetro de este núcleo depende de la sección del conductor del devanado primario y éste, a su vez, de la intensidad nominal primaria.

Para obtener una buena protección el secundario se debe de conectar a tierra.

Generalmente son de pequeña potencia, toda vez que las cargas que se conectan a ellos también son pequeñas: amperímetros, vatímetros, convertidores de señal, etc.

Transformadores

Las principales normas que rigen la construcción de los transformadores de intensidad son IEC-185 y UNE 21088.

2. Símbolo

El símbolo más utilizado es el indicado en la figura 69. Los asteriscos indican los terminales de entrada de cada devanado, es decir, los terminales homólogos.



Figura 69. Símbolo utilizado en los transformadores de intensidad.

3. Modificación de transformadores de intensidad

A veces ocurre que no se dispone del transformador de intensidad que se precisa, por el contrario se tiene uno cuya relación de transformación no es la adecuada a las necesidades de la aplicación.

Para modificarlo se puede recurrir a varias alternativas, dependiendo de cómo esté construido el transformador de intensidad:

1. Que el transformador de intensidad sea compacto, es decir, que no se tenga acceso directamente al bobinado secundario. Esto ocurre cuando está envuelto en una resina especial, de tal manera que sólo se ven los terminales de salida ($S1 - S2, k - l$) y los terminales del bobinado primario ($P1 - P2, K - L$).

En este caso, poco se puede hacer, porque modificar la relación de transformación sería más costoso que reemplazarlo por uno nuevo.

2. Que el transformador de intensidad no esté envuelto en resina y, por tanto, se pueda desmontar, aunque para ello se tengan que romper los remaches que cierran las dos mitades de la carcasa de plástico que aloja el núcleo y devanado y contar las espiras de que dispone el devanado secundario. Este es el tipo que más se utiliza en la industria (figuras 70 y 71).



Figura 70. Transformador de intensidad con remaches.



Figura 71. Transformador de intensidad con núcleo toroidal más grande.

Para una mejor comprensión, se resuelve un ejemplo de la modificación de un transformador de intensidad que puede servir como modelo.

Ejemplo

Se dispone de un transformador de intensidad de relación 750/5 y se pretende utilizarlo como relación 10/5.

Entre las muchas soluciones que puede tener este problema se debe de adoptar la que sea más fácil, es decir, la solución en la que intervengan los mínimos *números* y el menor tiempo de realización.

En el transformador del ejemplo se supone que el devanado primario es el conductor que atraviesa el núcleo toroidal del transformador de intensidad, por tanto este devanado tiene sólo una espira (una vuelta) (figura 72).



Figura 72. Devanados de un transformador de intensidad.

Como ya se sabe, la relación de transformación de un transformador de intensidad es:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

y la relación del transformador del ejemplo es de 750/5, disponiendo por tanto de los siguientes datos:

$N_1 = 1$ Espira (conductor que atraviesa el transformador de intensidad).

$N_2 = N^\circ$ de espiras del devanado secundario. Para conocerlo se tiene que calcular con la fórmula de relación de transformación o contar estas espiras.

Transformadores

$I_1 = 750$ Amperios

$I_2 = 5$ Amperios

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{1}{N_2} = \frac{5}{750}$$

Para calcular N_2 , se sustituirán los valores en la fórmula de la relación de transformación.

$$I_2 = \frac{750 * 1}{5} = 150 \text{ A}$$

$N_2 = 150$ espiras, se pueden contar para confirmar que el cálculo es el correcto.

Ahora bien, para calcular la nueva relación del transformador (10/5), se puede realizar de dos maneras:

1. Modificando el bobinado primario
2. Modificando el bobinado secundario

3.1 Modificando el bobinado primario

Recordar que este devanado es sólo una espira, es el conductor que atraviesa el núcleo del transformador, por tanto, se le pueden aumentar las espiras para que la relación sea menor.

La utilización de un solo conductor de gran diámetro en el devanado primario está justificada por la cantidad de amperios que tienen que circular por él, en este caso 750 amperios. Pero cuando los que tienen que circular son 10 amperios el devanado primario permite que sean varias espiras y de menor diámetro las que se puedan dar al núcleo magnético.

¿Pero, cuántas espiras más debe tener este nuevo devanado?

Considerando la relación de transformación y los datos de que se disponen:

$N_1 = N^\circ$ de espiras que se pretende calcular.

$N_2 = 150$ espiras (obtenidas por cálculo o por haberlas contado).

$I_2 = 5$ Amperios (relación del transformador que se pretende obtener).

$I_1 = 10$ Amperios (relación del transformador que se pretende obtener).

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\frac{N_1}{150} = \frac{5}{10}$$

$$N_1 = \frac{150 * 5}{10} = 75 \text{ Espiras}$$

Por tanto, al devanado primario se le deben de dar 75 espiras, arrolladas alrededor del núcleo magnético, procurando repartir estas espiras por toda la superficie del núcleo y superpuestas a las espiras del devanado secundario que no se ha tocado.

Con esta maniobra se ha conseguido obtener un transformador de intensidad con relación 10/5.

La equivalencia entre los dos transformadores, el original y el modificado, queda representada en la figura 73.

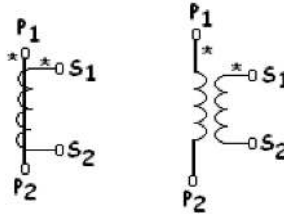


Figura 73. Representación de los dos transformadores, el original y el modificado.

Utilizando este sistema, siempre se tiene la relación de transformación original (750/5), y la nueva (10/5), según se utilice uno u otro devanado primario.

Se puede utilizar también como relación 375/5, para ello se tiene que utilizar como primario un conductor que atravesase el núcleo y como secundario el bobinado de 75 espiras.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \qquad \frac{1}{75} = \frac{5}{I_1}$$

$$I_1 = \frac{75 \cdot 5}{1} = 375. A$$

Quedando la relación 375/5, el esquema que clarifica el nuevo transformador de intensidad lo muestra la figura 74.

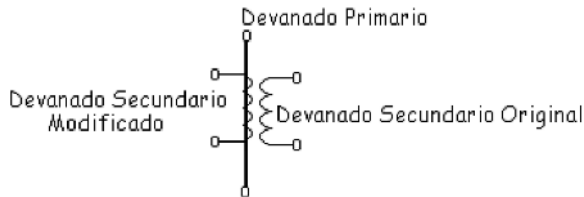


Figura 74. Transformador de intensidad con relación 375/5.

3.2 Modificando el bobinado secundario

El secundario del transformador se ha comentado que son 150 espiras devanadas alrededor del núcleo, por tanto se pueden reducir estas espiras para que la relación sea menor.

También aquí se plantea la pregunta, ¿cuántas espiras menos debe tener este nuevo devanado?

Se vuelve otra vez a la fórmula de la relación de transformación y a los datos de que se dispone:

$N_1 = 1$ espira (conductor que atraviesa el núcleo).

$N_2 = N^\circ$ de espiras que se pretende calcular.

$I_2 = 5$ amperios (relación del transformador que se pretende obtener).

$I_1 = 10$ amperios (relación del transformador que se pretende obtener).

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \qquad \frac{1}{N_2} = \frac{5}{10}$$
$$N_2 = \frac{10 * 1}{5} = 2 \text{ Espiras}$$

El nuevo devanado tendría que tener 2 espiras, por tanto se tienen que ir quitando espiras al devanado original hasta que queden sólo 2 espiras.

Con esta solución el transformador de intensidad queda modificado para una sola relación de transformación porque sólo se ha modificado el devanado secundario (figura 75).



Figura 75. Transformador de intensidad sin la carcasa protectora.

4. Contrastación de un transformador de intensidad modificado

Los cálculos realizados anteriormente, aunque son muy básicos, son muy fiables en las medidas que se tengan que efectuar. Pero cuando se pretende una muy alta precisión se tendría que calcular y no precisamente con unos cálculos tan básicos, porque

se tendrían que tener en cuenta otros parámetros, como son errores de fase, respuesta en régimen transitorio, resistencia a los cortocircuitos, etc.

No obstante, a continuación se detallan las pruebas a realizar con un transformador de intensidad modificado, sea el del ejemplo:

En primer lugar se tiene que realizar el esquema que indica la figura 76.

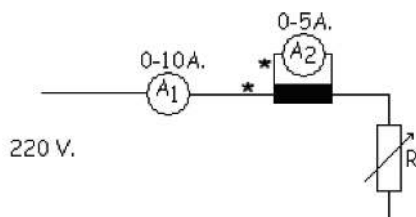


Figura 76. Esquema a realizar para contrastar la modificación en el transformador de intensidad.

A_1 – Amperímetro patrón

A_2 – Amperímetro a contrastar

A continuación se le dan valores de intensidad, de orden creciente, 1, 2, 3, ... 10 A y de orden decreciente, 10, 9, 8... 1 A, y se anotan todos estos valores de los dos amperímetros (patrón y a contrastar).

Una vez tomados todos los valores, se confecciona una tabla similar a la indicada en la figura 77. A partir de esta tabla confeccionada se calcula el error absoluto en cada medida efectuada.

A_1	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Intensidad de la carga
A_3	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	Valor que debería tener
A_2	5,1	4,49	4,2	3,6	3,1	2,59	2	1,54	1,1	0,5	Valor leído en A_2
E	+0,1	-0,1	+0,2	+0,1	+0,5	0	0	0	+0,1	0	Error absoluto

Figura 77. Tabla de errores absolutos en la contrastación de un transformador de intensidad.

Se puede construir una gráfica a partir de los errores absolutos en cada medida, sería la indicada en la figura 78 .

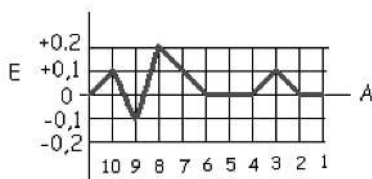


Figura 78. Gráfica representativa de los errores conseguidos en la contrastación de un transformador de intensidad.

Transformadores

Se calcula el error medio mediante la fórmula:

$$E = \frac{\text{Suma de errores Parciales}}{\text{Nº de errores}} = \frac{0,9}{10} = 0,09$$

Calculado el error medio cuando la carga es puramente resistiva arroja un resultado de + 0,09, error que se puede considerar despreciable.

La misma prueba se puede realizar con carga inductiva, posteriormente con carga inductiva-resistiva, tanto en serie como en paralelo, comprobando que los errores son despreciables, dando lugar a a un gráfico similar al conseguido con una carga resistiva, que indica que el sistema, sin ser sofisticado, es muy fiable.

Los transformadores de intensidad tienen que trabajar siempre con el devanado secundario cerrado a través de cualquier instrumento de medida, de control o con un puente que cortocircuite el devanado secundario.

La figura 79 muestra un transformador de intensidad sin conexión en el devanado secundario, ello representa un riesgo.

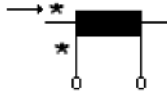


Figura 79. Transformador de intensidad sin conexión en el devanado secundario.

Si se deja abierto el devanado secundario se calentará mucho el núcleo magnético y en este devanado se producirán tensiones muy elevadas que acabarían provocando una avería en el transformador de intensidad. Esto es debido a que el flujo en el núcleo alcanza picos muy altos, induciéndose tensiones de pico muy altas cuando el devanado secundario está abierto.

Eso resulta peligroso para los operarios que están maniobrando equipos porque pueden recibir una descarga eléctrica considerable.

La forma correcta sería la indicada en la figura 80.

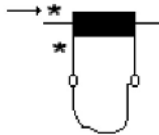


Figura 80. Transformador de intensidad cortocircuitado en el devanado secundario para que no se quemé.

5. Transformador de intensidad de núcleo partido

El principio de funcionamiento es similar al de los transformadores de intensidad comentado anteriormente, la diferencia estriba en que el núcleo magnético lo tiene dividido en dos partes que cierra y abre para poder introducir el conductor de línea (devanado primario), sin tener que interrumpir el servicio.

Este sistema es el mismo que utilizan las pinzas amperimétricas.

La figura 81 muestra transformadores de intensidad con núcleo partido.

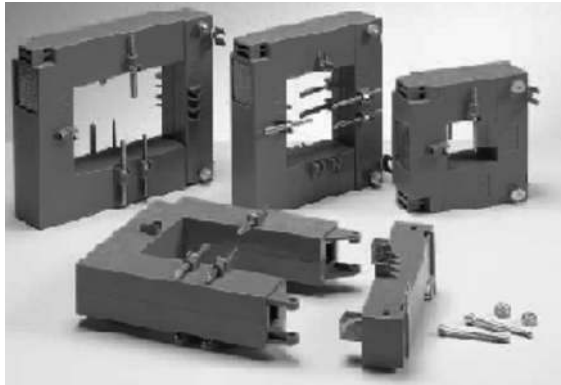


Figura 81. Transformadores de intensidad con núcleo partido (cortesía CELSA).

Transformadores utilizados en soldadura de arco

1. Particularidades de los transformadores utilizados en equipos de soldadura de arco

La impedancia nominal de un transformador es igual al valor de la tensión en carga cuando suministra la máxima potencia.

Como quiera que las tensiones primarias y secundarias son distintas, es evidente que el transformador tendrá dos impedancias también distintas.

Z_1 = Impedancia primaria (Óhmios)

V_1 = Tensión primaria (Voltios)

P_1 = Potencia primaria (Voltiamperios)

$$Z_1 = \frac{V_1}{P_1}$$

Z_2 = Impedancia secundaria (Ohmios)

V_2 = Tensión secundaria (Voltios)

P_2 = Potencia secundaria (Voltiamperios)

$$Z_2 = \frac{V_2}{P_2}$$

Los transformadores empleados en equipos de soldadura al arco son de alta impedancia. Deben tener una reactancia de dispersión alta, alcanzando valores de hasta 0,9 pu (por unidad), comparando los datos de la impedancia nominal primaria y secundaria con la impedancia resultante y tomando este valor por unidad y no en tanto por ciento, frente a los valores de los transformadores tradicionales, que están comprendidos entre 0,03 y 0,1.

En la soldadura de arco, al establecerse éste entre la pinza y la masa, aumenta la intensidad. Para mantener dicho arco de una manera uniforme, se tiene que poner en serie con el arco una impedancia.

Para obtener esa impedancia, se diseña el transformador con una gran reactancia de dispersión por ser el sistema más económico.

Transformadores

La tensión de vacío en un equipo de soldadura está comprendida entre 50 y 70 voltios. Para facilitar el arco al poner en contacto la pinza con la pieza a soldar, debemos bajar la tensión a un valor próximo a los 20 voltios, dependiendo de la intensidad de soldadura y la longitud del arco.

Las aplicaciones de estos transformadores de alta reactancia de dispersión son principalmente equipos de soldaduras al arco, transformadores para cerramiento de bolsas de plásticos y transformadores empleados en juguetes, puesto que éstos quedan a menudo en cortocircuito, teniendo una reactancia de dispersión elevada, no se sobrecalentarán, aún en caso de quedar en cortocircuito.

2. Equipo de soldadura por flujo de dispersión

El equipo más sencillo que emplea el flujo de dispersión como regulación de la intensidad de soldadura es el que consta de devanado primario conectado a la red, y un secundario para la utilización de la soldadura al arco devanado sobre un empilado de chapas magnético que tiene dos cavidades para que se introduzca otro empilado móvil de chapas dividido en dos partes iguales que entrarán y saldrán del circuito magnético. Con ello conseguiremos que, estando el empilado de chapas móvil fuera de las cavidades realizadas en el núcleo del transformador del equipo, pueda suministrar la mayor cantidad de intensidad y cuando esté totalmente introducido la intensidad de soldadura disminuirá (figura 82).

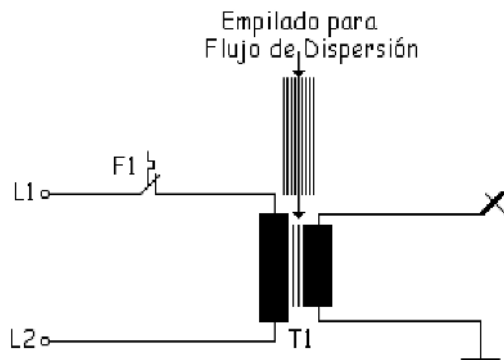


Figura 82. Esquema de soldadura con regulación por flujo de dispersión.

La figura 83 muestra el aspecto físico que adopta este tipo de transformador.

La introducción del empilado de chapas móvil se realiza mediante una maneta solidaria a un husillo que sujeta el empilado, girando dicha maneta se desplazará el empilado en uno u otro sentido, dependiendo del sentido de giro de dicha maneta.

Otros equipos dividen el devanado secundario en dos bobinas, conectadas en serie, una de ellas con más espiras que la otra.

Transformadores utilizados en soldadura al arco



Figura 83. Transformador de soldadura por flujo de dispersión.

La bobina que tiene menos espiras se sitúa encima del devanado primario para darle más refuerzo y obtener más intensidad de soldadura.

En la figura 84 se puede observar la disposición de la bobina primaria y las dos secundarias y en la figura 85 se dibuja el esquema eléctrico.

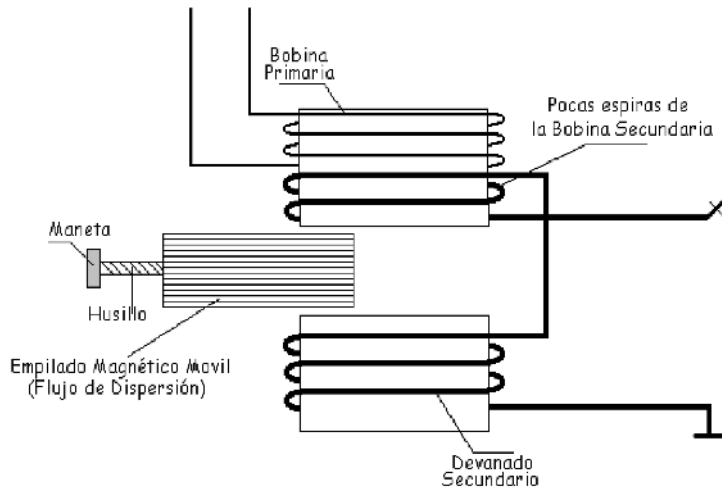


Figura 84. Disposición de los devanados en un equipo para obtener más intensidad de soldadura.

Algunas veces estos equipos se fabrican para varias tensiones, 220 - 380 V, consiguiendo esto con un devanado con más espiras en el bobinado primario y realizando las tomas adecuadas a las tensiones que se pretenden obtener.

El cambio de tensión se obtiene mediante un conmutador de levás de dos posiciones.

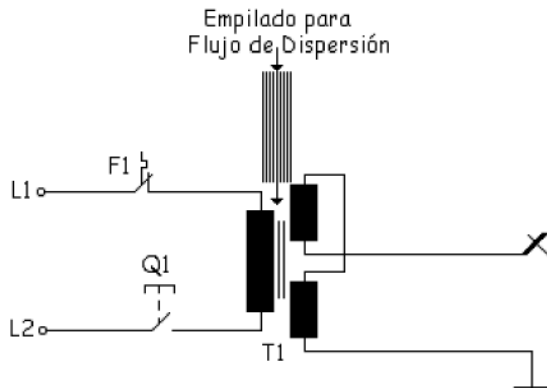


Figura 85. Esquema eléctrico de equipo de soldadura por flujo de dispersión con bobina de refuerzo.

3. Equipo de soldadura con regulación por conmutador

El equipo con regulación por conmutador es un transformador con varias tomas en su devanado primario y un conmutador que selecciona unas determinadas espiras en dicho devanado y transfiere más o menos intensidad a su devanado secundario (figura 86).

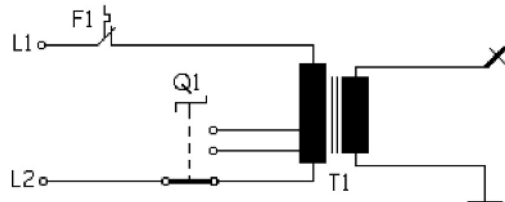


Figura 86. Equipo de soldadura con regulación por conmutador.

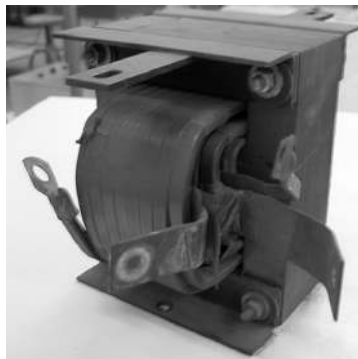


Figura 87. Transformador de soldadura, observar la sección del devanado secundario.

Se puede observar como el conmutador Q1 tiene tres posiciones. En la posición N° 1 la tensión de entrada, generalmente 220 V, recorre todas las espiras del devanado, transfiriendo una determinada tensión e intensidad en el secundario, que harán que éste, al ponerse en cortocircuito, suelde con la mínima intensidad de que dispone este equipo (figura 87).

Al pasar a la posición N°2, el conmutador Q1, se eliminan varias espiras, dependiendo del diseño del transformador.

Como quiera que la tensión de la red sigue siendo la misma, es decir 220 V, el devanado comprendido entre L1 y la posición N°2 soporta, con menos espiras, la misma tensión, transfiriendo al secundario un poco más de tensión y más intensidad de soldadura.

Al pasar a la posición N°3 se vuelven a reducir espiras del devanado primario, siendo la tensión de entrada la misma, 220 V, las espiras de dicho devanado soportan la misma tensión con menos espiras, transfiriendo aún más tensión y más intensidad en el devanado secundario y por tanto se consigue una mayor cantidad de intensidad de soldadura.

4. Equipo de soldadura trifásica por flujo de dispersión

En los equipos de soldadura trifásicos con rectificadores la regulación de la intensidad de manera continua se realiza por variación de la dispersión magnética del transformador.

Consta de un transformador con el devanado primario conectado formando una estrella (figura 88).

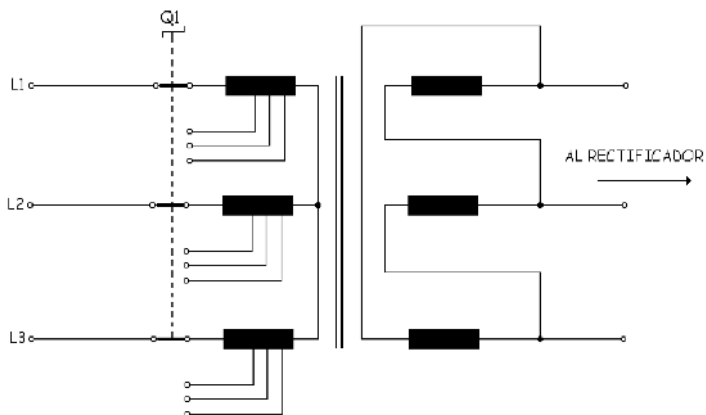


Figura 88. Transformador trifásico de soldadura en conexión Estrella-Triángulo.

Transformadores

Como quiera que este tipo de máquinas está destinado principalmente a talleres de estructuras metálicas, las tensiones de utilización de éstos difieren unos de otros, dependiendo de la zona donde estén ubicados. Asimismo, estas máquinas, al ser móviles, trabajan en distintos lugares, y lógicamente en cada uno de ellos las tensiones de la red de distribución son diferentes, generalmente 220 ó 380 V. Por ello, las máquinas disponen de un conmutador para cambiar y adaptar los devanados al valor real de la tensión de la red de distribución.

Este conmutador se encuentra siempre accesible para que sea fácilmente modificable y no tener que desmontar la máquina.

Es un conmutador que conexiona los devanados en estrella (380 V) o en triángulo, (220 V), por medio de levass que montan interiormente el conmutador (figura 89).



Figura 89. Transformador de soldadura trifásica, observar los terminales del devanado primario que se conectan al conmutador estrella-triángulo para adaptar el transformador a la tensión de red.

La figura 90 muestra la conexión del devanado primario del transformador en estrella. En él se puede observar cómo para esta conexión el conmutador cierra los contactos 1-2 / 3-4 / 5-6 que conectan a la red el devanado, y los contactos 7-8 / 9-10 que son los que conectan realmente el transformador en estrella.

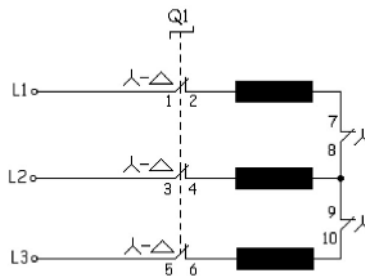


Figura 90. Esquema del primario del transformador conectado en estrella, (380 V).

Transformadores utilizados en soldadura al arco

Si queremos conectar el equipo a 220 V, conexión en triángulo, el esquema es el que muestra la figura 91, cerrando los contactos 1-2 / 3-4 / 5-6, que son los que conectan a tensión el transformador, y los contactos 11-12 / 13-14 / 15-16, que realizan la conexión en triángulo.

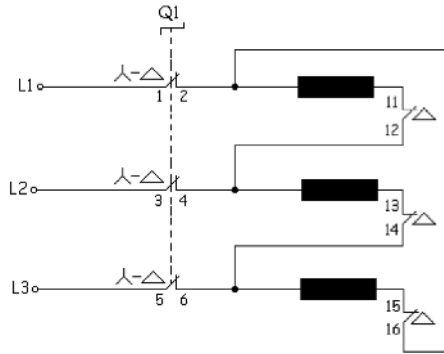


Figura 91. Esquema del primario del transformador conectado en triángulo (220 V).

La figura 92 muestra un cuadro resumen de cómo y cuando cierran los contactos, así como la numeración del conmutador de tensión, que en realidad es un conmutador de levas especial estrella-triángulo.

Contacto	380 V. (Estrella)	0	220 V. (Triángulo)
1-2	X		X
3-4	X		X
5-6	X		X
7-8	X		
9-10	X		
11-12			X
13-14			X
15-16			X

Figura 92. Cuadro resumen del conmutador estrella-triángulo del transformador.

En la posición 0 los contactos permanecen todos abiertos y el devanado primario desconectado de la red y sin conexión específica (figura 93).

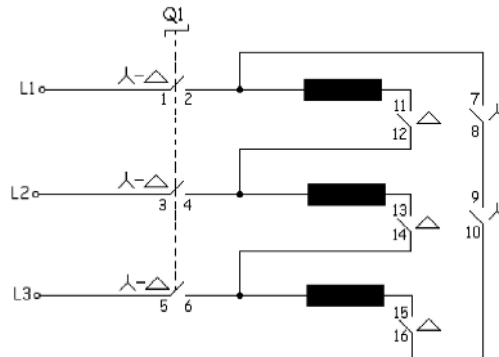


Figura 93. Esquema completo del transformador y del conmutador de tensión.

5. Equipo de soldadura con regulación electrónica

Los equipos de soldadura con regulación electrónica basan su funcionamiento en el control del ángulo de fase del bobinado primario del transformador de soldadura, por mediación de un equipo electrónico compuesto por un triac y el circuito de gobierno de éste, y maniobrado de manera manual, generalmente por potenciómetro.

Constitución del equipo

Los componentes principales de los equipos de estas características son:

- ❖ Transformador de soldadura

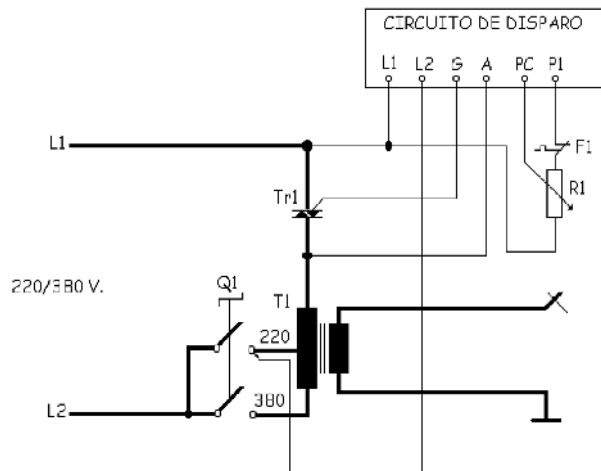


Figura 94. Esquema de conexiones de una soldadora de arco con regulación electrónica.

- ❖ Conmutador de tensiones
- ❖ Triac
- ❖ Circuito de disparo

El esquema completo de este equipo se dibuja en la figura 94, para posteriormente ir comentando los componentes que afectan al transformador.

5.1 Transformador de soldadura

El transformador empleado en este tipo de equipos es un transformador normal de equipo de soldadura de arco. Está compuesto por un devanado primario, dividido a su vez en dos partes para poder conectar dos tensiones diferentes, generalmente 220 V y 380 V.

Es evidente que el número de espiras de la toma de 380 V será superior a 1,73 de la toma de 220 V.

En un devanado secundario, bobinado con un hilo de mayor diámetro que el del devanado primario, este diámetro depende de la intensidad que tenga que suministrar el equipo.

5.2 Conmutador de tensión

El conmutador de tensiones es un conmutador de levas de dos posiciones que realiza la función de conectar una tensión determinada en una posición y otra tensión diferente en la otra, dependiendo de los contactos que cierren, dando paso a la corriente en una u otra dirección, conectando con ello el devanado de 220 V o el devanado de 380 V.

El aspecto físico que presentan los conmutadores es el que se representa en la figura 95.

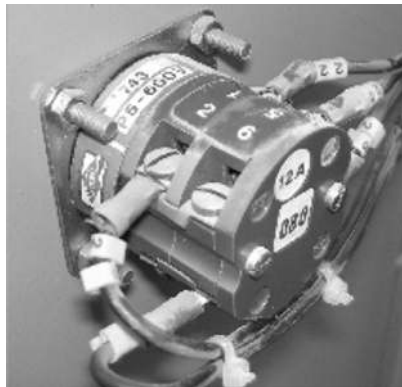


Figura 95. Conmutador de tensión utilizado en equipos de soldadura.

5.3 Triac

El triac es el elemento semiconductor encargado de regular la intensidad de soldadura (variación del valor de la tensión que le llega al devanado primario del transformador).

El tamaño del triac, así como su encapsulado, dependerá de la intensidad de soldadura que tenga que soportar, aunque los más utilizados, en este tipo de equipos, son los representados en la figura 96.

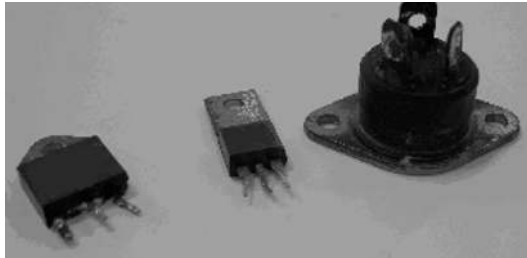


Figura 96. Aspecto que presentan los triac para regular el ángulo de fase de los transformadores.

Este tipo de triac se monta en un refrigerador de aluminio, fuera del circuito de control (placa de circuito impreso) por ser de un tamaño relativamente mayor con respecto a los demás componentes de dicha placa, conectando a ella sólo los terminales de la puerta (GATE), pasando toda la potencia necesaria para la regulación directamente por el triac.

5.4 Circuito de disparo

Es una placa de circuito impreso donde se alojan los componentes que realizan el gobierno del triac.

El circuito de disparo se alimenta siempre a 220 V, independientemente de la posición del conmutador.

Cuando el transformador está conectado a 380 V el circuito de disparo se alimenta de la toma de 220 V, comportándose el primario del transformador como un autotransformador. La figura 97 muestra un circuito de disparo electrónico.

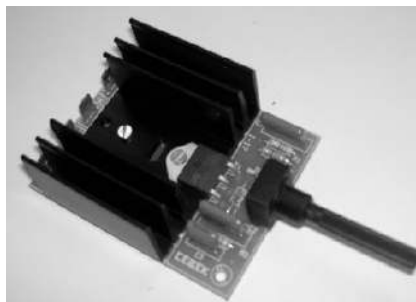


Figura 97. Circuito de disparo de un regulador de ángulo de fase. (Cortesía CEBEK)

Capítulo 14

Sustitución del hilo de cobre por hilo de aluminio

Cada vez es más frecuente encontrar transformadores bobinados con hilo de aluminio en lugar del hilo de cobre tradicional. La utilización de este tipo de hilo es debida al bajo costo del aluminio con relación al cobre.

Supuesto el caso de tener un transformador quemado y bobinado con hilo de aluminio y no disponer de este tipo de hilo, situación por otra parte bastante normal por no estar tan comercializado como el hilo de cobre, se utiliza la Tabla X que permite obtener la equivalencia entre el hilo de aluminio y el hilo de cobre.

Tabla X. Relación entre el hilo de aluminio y el hilo de cobre

Aluminio	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Cobre	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
Aluminio	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
Cobre	0,9	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5
Aluminio	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4
Cobre	1,6	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7
Aluminio	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5
Cobre	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,1
Aluminio	5,2	5,4	5,6	5,8	6	6,2	6,4	6,6
Cobre	4,3	4,4	4,6	4,7	4,9	5,1	5,3	5,4

Como quiera que no siempre se dispone de la Tabla X en el momento apropiado, se puede calcular la equivalencia dividiendo el hilo de aluminio entre 1,27, dando como resultado el hilo que corresponde en cobre.

Transformadores

Ejemplo

Sea un hilo de aluminio de 1,8 mm de diámetro, se pretende conocer su equivalente en hilo de cobre:

$$\frac{1,8}{1,27} = 1,4 \text{ mm}$$

Es decir, se tendría que poner un hilo de cobre de 1,4 mm de diámetro.

Capítulo 15

Cálculo de un transformador de alta intensidad

Los transformadores monofásicos de intensidades elevadas pueden ocasionar algunas dificultades a la hora de calcular determinados parámetros, como el diámetro del hilo. Una vez realizados los cálculos y decidida la chapa a utilizar se observa que la cantidad de espiras calculadas con ese diámetro es imposible que entren en el carrete de plástico.

Por ello, siguiendo la misma mecánica que se ha seguido en el cálculo de los transformadores monofásicos, se realizarán modificaciones específicas para este tipo de transformador, para que aún conservando sus características consuma menos intensidad. De esta forma, el hilo, cantidad de espiras y diámetro podrán entrar sin dificultad en el carrete.

En este tipo de transformadores se suelen utilizar núcleos magnéticos en forma U/I, llamados también de columnas.

Para una mejor comprensión se va a proceder a calcular un transformador de alta intensidad con características determinadas por la necesidad de la aplicación.

Ejemplo

Se pretende calcular un transformador que se tiene que conectar a una red de 590 voltios y debe de proporcionar una tensión en el devanado secundario de 400 V, la potencia del transformador debe ser de 14.000 VA.

El procedimiento a seguir, como se ha comentado anteriormente, será el mismo que el utilizado para calcular los transformadores monofásicos por el método analítico.

1.1 Datos

$$V_1 - 590 \text{ V.}$$

$$V_2 - 380 \text{ V.} + 5 \% = 400 \text{ V.}$$

$$F - 50 \text{ Hz.}$$

$$P - 14.000 \text{ VA.}$$

1.2 Espiras/Voltios

Como la potencia del transformador es de 14.000 VA:

$$E/V = \frac{34}{\sqrt{P}} = \frac{34}{\sqrt{14.000}} = 0,29 \text{ Espiras}$$

1.3 Número de espiras del devanado primario

Como el número de espiras por voltio es 0,92 y la tensión del devanado primario es de 590 Voltios:

$$N_1 = E/V * V_1 = 0,29 * 590 = 170 \text{ Espiras}$$

1.4 Número de espiras del devanado secundario

La tensión que va a proporcionar el devanado secundario es de 380 V más el 5% de esta tensión, supone un valor de 400 V.

$$N_2 = E/V * V_2 = 0,29 * 40 = 115 \text{ Espiras}$$

1.5 Sección del núcleo

Teniendo en cuenta la tensión y el número de espiras del devanado primario, o en función de la tensión y número de espiras del devanado secundario:

$$S_1 = \frac{V_1 * 100}{2,6 * N_1} = \frac{590 * 100}{2,6 * 170} = 133,8 \text{ cm}^2$$

$$S = \frac{V_2 * 100}{2,6 * N_2} = \frac{400 * 100}{2,6 * 115} = 133,8 \text{ cm}^2$$

Una vez calculada la sección del núcleo se tendría que decidir el tipo de la chapa magnética, pero como aquí intervienen muchos factores, se va a seguir calculando el resto de los datos que se precisan para posteriormente con todos ellos decidir el tipo de chapa y las medidas del carrete.

1.6 Intensidad del devanado primario

La intensidad que recorrerá el devanado primario será:

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{14.000}{590} = 23,7 \text{ A.}$$

1.7 Intensidad del devanado secundario

La intensidad que proporcionará el devanado secundario será:

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{14.000}{400} = 35 \text{ A.}$$

1.8 Sección del hilo del devanado primario

Conocida la intensidad I_1 y suponiendo, en principio, una densidad de corriente de 8 A/mm², la sección del conductor, posteriormente a la vista de los resultados se podrá modificar y será:

$$S_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{23,7}{8} = 2,96 \text{ mm}^2$$

1.9 Sección del hilo del devanado secundario

La densidad de corriente se fija, como punto de partida, en 6 A/mm².

$$S_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{35}{6} = 5,8 \text{ mm}^2$$

1.10 Diámetro del hilo del devanado primario

Conocida la sección del devanado primario se calcula el diámetro del hilo del devanado primario:

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}} = \sqrt{\frac{2,96}{0,785}} = 1,94 \text{ mm}^2$$

1.11 Diámetro del hilo del devanado secundario

El mismo procedimiento que el utilizado anteriormente:

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}} = \sqrt{\frac{5,8}{0,785}} = 2,71 \text{ mm}^2$$

Con los datos obtenidos se realiza un resumen para posteriormente comenzar a trabajar con la chapa magnética y los carretes de plástico.

Resumen de los datos obtenidos hasta este momento

Sección del Núcleo	134 cm²
N ₁	170 Espiras
N ₂	115 Espiras
∅ ₁	1.94 mm ²
∅ ₂	2.71 mm ²

Para comenzar a trabajar se puede aumentar el diámetro del hilo primario a 2 mm² y el diámetro del hilo secundario a 3 mm².

1.12 Elección de la chapa magnética

Una vez calculados todos los datos que se precisan se decide el tipo de núcleo, recordar que los datos obtenidos no son del todo vinculantes, toda vez que permiten modi-

Transformadores

ficar ligeramente algunos de ellos en función del material a utilizar y de los datos calculados. Ya se han modificado los diámetros de los hilos de los dos devanados.

Es recomendable que el núcleo a utilizar sea del tipo U/I porque permite hacer dos carretes independientes y, por tanto, aumentar la sección del núcleo magnético. La figura 98 muestra un núcleo en forma de U/I.

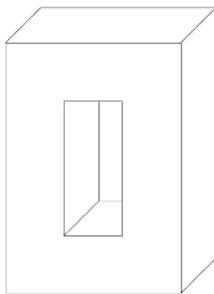


Figura 98. Núcleo magnético en forma de U/I, utilizado generalmente para los transformadores monofásicos de grandes intensidades.

La utilización de este tipo de núcleo magnético permite obtener más superficie al tener dos columnas donde alojar los carretes de plástico, por ello, la sección total del núcleo calculada se divide entre dos porque son dos las superficies útiles que se crean, cada una de ellas tendrá 67 cm^2 ($134/2$ 67) (figura 99).

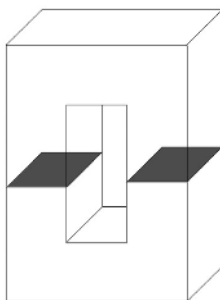


Figura 99. Sección útil en un transformador monofásico de columnas.

Como quiera que la chapa U/I no es tan corriente como la chapa E/I, en caso de no disponer del tipo U/I se puede obtener ésta modificando la chapa trifásica E/I y adaptarla a las necesidades requeridas, para ello se tienen que seguir varios pasos.

La chapa a utilizar será la del tipo RC 50 trifásica E/I y se modificará para realizar un núcleo monofásico (figura 100).

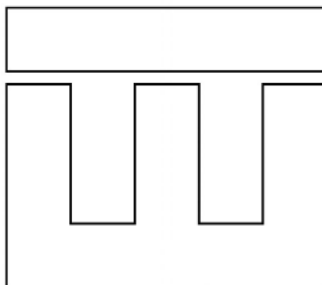


Figura 100. Chapa magnética trifásica en E/I.

Se corta la chapa como indica la figura 101.

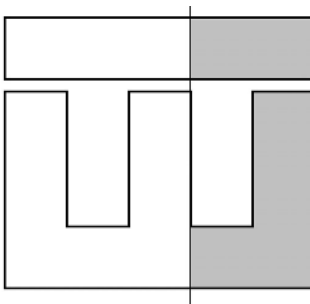


Figura 101. La parte sombreada indica donde se tiene que realizar el corte.

Una vez cortada la chapa trifásica queda como chapa del tipo U/I (figura 102).

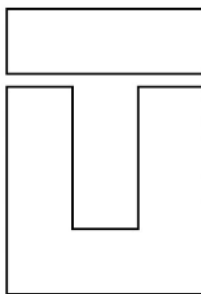


Figura 102. Ahora se dispone de un empilado de chapa magnética U/I con la misma medida de columnas que de hueco entre ellas.

Con los cortes efectuados a la chapa magnética se obtiene una medida muy concreta y puede ocurrir que las espiras con el diámetro calculado no quepan en los carretes que se van a introducir en cada columna, por ello, se va a proceder a aumentar la altura de las columnas para que, aunque la sección del núcleo magnético sea igual, se tenga más altura y, por tanto, puedan entrar los hilos calculados.

Transformadores

Para ello, se tiene que proceder a realizar el corte que indica la figura 103.

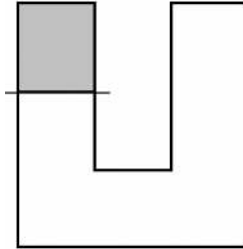


Figura 103. Corte a realizar en la chapa magnética para aumentar el largo de columna con el objeto de que puedan entrar todos los hilos de los devanados calculados.

Una vez cortada la chapa queda como indica la figura 104 .

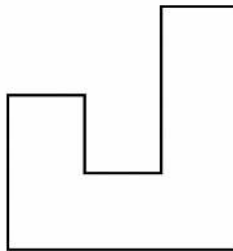


Figura 104. Chapa cortada para aumentar el alto del núcleo magnético.

Ahora se tienen que ir apilando las chapas a solape, como indica la figura 105.

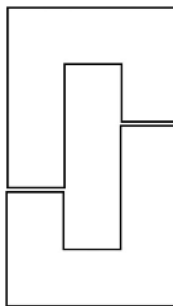


Figura 105. Chapa recortada a medida y colocada a solape.

El núcleo magnético con sus medidas está reflejado en la figura 106. Observar que la sección útil es la misma pero la altura ha aumentado considerablemente, permitiendo con ello que todos los hilos puedan entrar sin problemas.

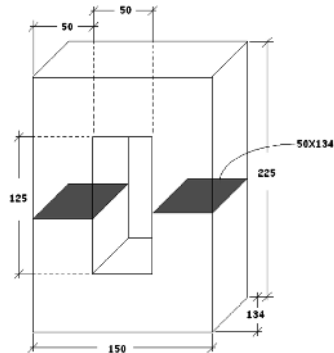


Figura 106. Núcleo magnético completo con medidas.

Como quiera que es un transformador un tanto especial, se tiene que construir el carrete a partir de alguno ya fabricado, o en su defecto construir uno nuevo con cartón aislante del utilizado en bobinados.

Teniendo en cuenta las medidas del núcleo magnético, construir dos carretes iguales para que se puedan introducir holgadamente en las dos secciones útiles (figura 107).

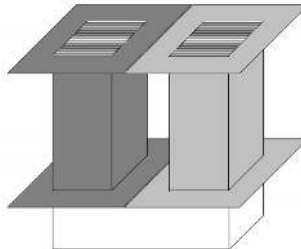


Figura 107. Carretes de plástico introducidos provisionalmente en el núcleo magnético.

En la figura 108 se observa que las medidas donde van a ir alojados los hilos de los devanados son 123 X 25, por tanto ya se puede comenzar a comprobar si todos los hilos van a caber dentro del carrete.

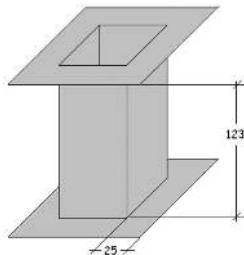


Figura 108. Carrete de plástico con las medidas del hueco donde van a ir alojados los hilos de los devanados.

Transformadores

El sistema para conocer si la cantidad de hilos de los dos devanados con sus respectivos diámetros caben en el hueco de los carretes se explicó en el apartado *Cálculo de transformadores monofásicos. Método tablas*.

Se debe de dejar un espacio entre distintas capas para que circule el aire y no se caliente el devanado. Este espacio se debe de dejar en la parte del devanado que no está en el núcleo poniendo incluso separadores aislantes, la figura 109 muestra este espacio.

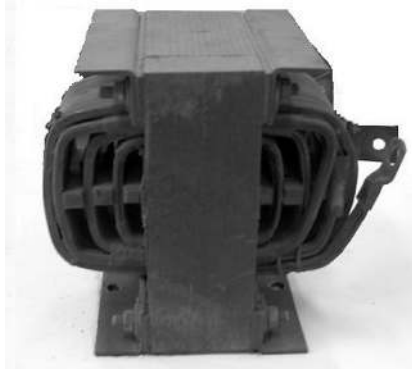


Figura 109. Detalle del espacio que se debe de dejar para ventilación de los devanados, observar los separadores entre capas.

1.12.1 Ajuste de los hilos del devanado primario

1. El hilo a utilizar, provisionalmente, es de 2 mm. A este diámetro se le tiene que añadir el recubrimiento de esmalte que todo hilo de bobinar lleva y por los huecos que se pueden generar durante el bobinado, relativamente pequeños, se puede considerar un valor de 0,20 mm. que arroja un valor de 2,20 mm. Recordar que este valor sólo es para este cálculo.

$$2 + 0,20 = 2,20 \text{ mm de diámetro}$$

2. Cantidad de hilos que entran en la altura del carrete, CAPAS.

$$\text{N}^\circ \text{ hilos que caben en la altura} = \frac{\text{Medida de la altura}}{\text{Diámetro del hilo a utilizar}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ hilos} = 123 / 2,20 = 55 \text{ hilos caben en una columna.}$$

Por tanto, en 1 capa entran 55 hilos.

3. Las capas que ocupará el devanado primario serán:

$$\text{Capas devanado primario} = \text{N}^\circ \text{ espiras} / \text{N}^\circ \text{ hilos por capa}$$

$$\text{Capas devanado primario} = 170 / 55 = 3 \text{ capas.}$$

4. Como cada capa ocupa la medida del hilo a utilizar, en este caso 2,20 mm y se precisan 3 capas, el devanado primario ocupará en mm:

Cálculo de un transformador de alta intensidad

$$3 \text{ capas} \times (2,20) \text{ Diámetro del hilo} = 7 \text{ mm.}$$

El devanado primario ocupará 7 de los 25 mm que tiene el espacio para alojar los hilos.

1.12.2 Devanado secundario

El proceso es el mismo que el utilizado para el devanado primario, se comienza por utilizar el hilo calculado anteriormente para el devanado secundario, 3 mm.

1. Al hilo de 3 mm se le tienen que añadir 0,20 mm del cartón aislante y por el índice de ocupación, arroja un resultado de 3,20 mm.

$$3 + 0,20 = 3,20 \text{ mm de diámetro}$$

2. Se calcula cuántos hilos entran en una capa o, lo que es lo mismo, cuántos hilos entran en H.

$$\text{N}^\circ \text{ hilos en cada columna} = \text{Medida de la altura del carrete} \\ / \text{Diámetro del hilo a utilizar}$$

$$\text{hilos} = 123 / 3,20 = 38 \text{ hilos}$$

Por tanto en 1 capa entran 38 hilos.

3. Las capas que ocupará el devanado secundario serán:

$$\text{Capas devanado secundario} = \text{N}^\circ \text{ espiras} / \text{N}^\circ \text{ hilos por capa}$$

$$\text{Capas devanado secundario} = 115 / 38 = 3 \text{ capas}$$

4. Como cada capa ocupa la medida del hilo a utilizar, en este caso 3,20 mm y se precisan 3 capas, el devanado primario ocupará en mm.

$$3 \text{ capas} \times (3,20) \text{ Diámetro del hilo} = 10 \text{ mm.}$$

El devanado secundario ocupará 10 mm.

La ocupación de los devanados, primario y secundario, será la suma de las medidas de los dos devanados:

$$7 + 10 = 17 \text{ mm.}$$

Como quiera que el hueco de los carretes de plástico es de 25 mm, los hilos se pueden alojar sin problema alguno.

1.12.3 Conexión de los devanados

Devanado primario

En cada carrete se tiene una bobina de 170 espiras, es decir, dos bobinas.

Cada una de las bobinas ha sido diseñada para conectar a 590 voltios, no obstante se pueden conexionar en serie y así consumirán menos intensidad.

Transformadores

Ahora se han conectado dos devanados en serie a una red de 590 voltios.

Devanado secundario

En cada carrete se tiene una bobina de 115 espiras, es decir, dos bobinas.

Como el devanado primario se ha conectado en serie, este devanado para mantener la relación de transformación se tiene que conectar también en serie y así podrá proporcionar 400 voltios.

La figura 110 muestra cómo quedan conectados los dos devanados, también muestra los datos necesarios para el devanado.

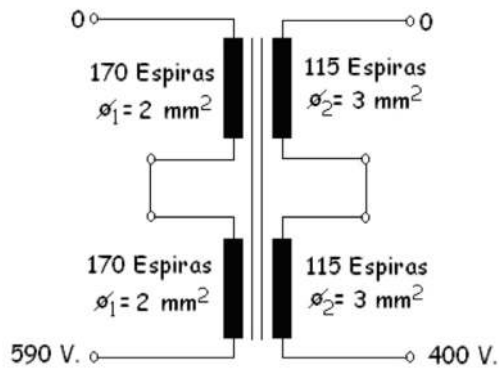


Figura 110. Devanados primario y secundario conectados y con todas sus características.

Transformadores trifásicos

Los transformadores trifásicos de baja tensión, como todos los transformadores, son utilizados para aumentar o disminuir la tensión de la red de suministro eléctrico y para aislar circuitos de la red.

Las distintas conexiones que pueden adoptar sus devanados permiten encontrar múltiples aplicaciones en la industria en general.

Un transformador III se puede conseguir de dos maneras distintas:

- ❖ Con tres trafos II conexionados adecuadamente, este sistema no es muy frecuente, sobre todo en baja tensión.
- ❖ Con un trafeo III.

Las formas constructivas de estos transformadores trifásicos son muy variadas, pero predominan aquellas cuyo núcleo magnético tiene forma de E/I con todas las columnas de la misma medida (figura 111).

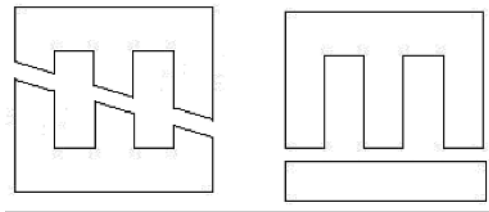


Figura 111. Chapa magnética trifásica.

En cada columna lleva dos devanados, uno primario y otro secundario, como son tres columnas arrojan un total de 6 devanados, 3 primarios y 3 secundarios.

Dependiendo de la conexión que se realice entre los devanados primario o secundario dará lugar a distintos tipos de transformadores, aunque las más importantes son las conexiones en estrella o en triángulo.

1. Cálculo de transformadores trifásicos (Método analítico)

Se parte de las necesidades que se pretenden cubrir:

- ♦ Tensión III a la que se va a conectar (V₁)
- ♦ Tensión secundaria que se precisa (V₂)
- ♦ Potencia que tiene que suministrar (P₂)
- ♦ Frecuencia a la que va a trabajar (F)

El resto de los datos, se calcularán con las siguientes fórmulas:

1.1 Sección de cada núcleo

La sección del núcleo magnético se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$S = 0,7\sqrt{P_2} = \text{cm}^2$$

Conocida la sección, se decide el tipo de chapa magnética que se va a utilizar. El modelo de chapa magnética condicionará el tipo de carrete y, por tanto, sus medidas.

Las medidas normalizadas de chapa magnética, independiente de su calidad, están reflejadas en la Tabla IV, en el capítulo de *Chapas magnéticas*.

1.2 Flujo magnético

Para calcular el flujo magnético se hace a partir de la inducción B, en Gauss, y la sección del núcleo magnético en cm².

$$\Phi = \beta * S = \text{Maxwell}$$

Para la inducción magnética se pueden utilizar unos valores comprendidos entre 10.000 y 11.000 Gauss.

1.3 Potencia del bobinado primario

La potencia del devanado primario se obtiene del cociente entre la potencia del devanado secundario (proporcionado en los datos de las necesidades de la aplicación) y el rendimiento del transformador.

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = W$$

El rendimiento del transformador se puede considerar de un 90%, por tanto se utilizará el valor de $\eta = 0,9$.

1.4. Intensidad del bobinado primario

Para calcular la intensidad del devanado primario, se utiliza la clásica fórmula de un sistema trifásico.

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} * V_1 * \text{Cos}\alpha}$$

1.5. Intensidad del bobinado secundario

La intensidad del devanado secundario se calcula utilizando una fórmula similar a la empleada en el cálculo de la intensidad del devanado primario.

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} * V_2 * \text{Cos}\alpha}$$

1.6. Potencia perdida en el transformador

El resultado es por parte y por tres devanados.

$$P_p = \frac{P_1}{100}$$

1.7. Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado primario

$$r_1 = \frac{P_p}{3I^2}$$

1.8. Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado secundario

$$r_2 = \frac{P_p}{3I^2}$$

1.9. Tensión de fase primaria en triángulo

$$E_{1\Delta} = V_1 - R_1 * I_1$$

1.10. Tensión de fase secundaria en estrella

$$V_{1Y} = \frac{V_2}{\sqrt{3}} \qquad \underline{E_2 = V_1 + r_2 * I_2}$$

1.11 Número de espiras del bobinado primario

$$N_1 = \frac{E_1 * 10^8}{2,22 * \Phi * F}$$

1.12 Número de espiras del bobinado secundario

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad N_2 = \frac{N_1 * E_2}{E_1}$$

1.13 Sección del hilo del bobinado primario

Llegados a este punto y con los parámetros que ya se conocen (sección del núcleo) se ha decidido el tipo de chapa que se va a utilizar. Por tanto, se está en condiciones de calcular la sección del hilo.

Este cálculo se puede realizar de varios modos:

- A. Calculando en función de la intensidad que va a recorrer el devanado primario y la densidad de corriente.
- B. Calculando la longitud de la espira media.

De los dos procedimientos comentados el más práctico y más fiable es el A: calcular la sección del hilo en función de la intensidad que va a recorrer el devanado primario y la densidad de corriente.

A.- En función de la intensidad que va a recorrer el devanado primario y la densidad de corriente.

Si se decide emplear este sistema se utiliza la fórmula:

$$S_1 = \frac{I_1}{J_1} = cm^2$$

La densidad de corriente puede estar comprendida entre los valores 2 y 6,5 amperios por mm², dependiendo de la potencia del transformador.

Se recomienda este sistema por ser el más fiable de todos.

B.- En función de la longitud de la espira media del devanado primario

Se dibujan, a escala, los tres carretes dentro del empilado y se mide la longitud de la espira media de cada devanado (figura 112).

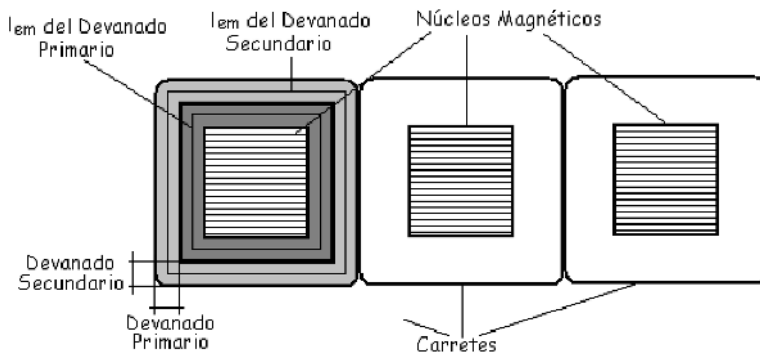


Figura 112. Representación de los carretes dentro del empilado de chapa.

Como en el carrete tienen que entrar los dos devanados, se tiene que dividir el espacio de carrete donde se alojan los hilos en aproximadamente dos partes iguales donde se alojarán los dos devanados.

Cada una de las dos partes se divide en dos, siendo esta división la longitud de la espira media de ese devanado.

Este sistema no es muy fiable, porque la medida de la longitud de la espira media no es exacta y cualquier pequeño error en esta medida puede provocar un error considerable en el resultado final de la sección del hilo y por tanto en el diámetro.

A partir de este dato se calcula la sección mediante la fórmula siguiente:

$$S_1 = \rho \frac{L}{r_1} \qquad S_1 = \rho \frac{N_1 * l_{em}}{r_1}$$

1.14 Diámetro del devanado primario

Una vez conocida la sección, se calcula el diámetro mediante la fórmula:

$$d_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}}$$

1.15 Sección del hilo del bobinado secundario

Se utiliza el mismo procedimiento que el empleado para calcular la sección del devanado primario.

En el apartado anterior se ha tenido en cuenta que el cálculo se puede efectuar de varias formas, por tanto debe de seguir con el mismo procedimiento utilizado en el cálculo de la sección del devanado primario.

Si se ha elegido el método de cálculo utilizando la intensidad y la densidad, la fórmula es la misma, pero los datos a emplear son la intensidad que va a circular por el devanado secundario y la densidad admisible y previsible en el devanado secundario

$$S_2 = \frac{I_2}{J_2} = cm^2$$

1.16 Diámetro del devanado secundario

Una vez conocida la sección, se calcula el diámetro mediante la fórmula:

$$d_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}}$$

1.17 Ajustar los hilos a las medidas del carrete

Una vez calculados los diámetros y las espiras de los dos devanados, se tiene que verificar que todos los hilos van a caber dentro del carrete de plástico.

En caso contrario, se tienen que ajustar los hilos al espacio disponible en el carrete.

Transformadores

Este ajuste se tiene que realizar aumentando o disminuyendo los diámetros de los hilos según sobre espacio en el carrete o haga falta, imposible esta posibilidad última, porque las medidas del carrete de plástico a utilizar son las que son y no se puede aumentar ni disminuir, por tanto, se tendrá que aumentar o disminuir el diámetro de los hilos.

El ajuste sólo debe ser mínimo, en caso contrario se modifican las características principales del transformador y ya no se dispondría de un transformador con la potencia prevista al inicio del cálculo.

Seguramente, se tendrán que realizar varios tanteos hasta encontrar los diámetros adecuados que entren sin problemas en el carrete de plástico y que además cumplan los objetivos propuestos de potencia, tensiones, etc.

Como ya se tiene el carrete que se va a utilizar y, por tanto, las medidas del mismo, a continuación se procede de la siguiente manera:

- a. Se toman las medidas del carrete donde van a ir alojados los hilos, la figura 113 muestra las medidas a tomar.

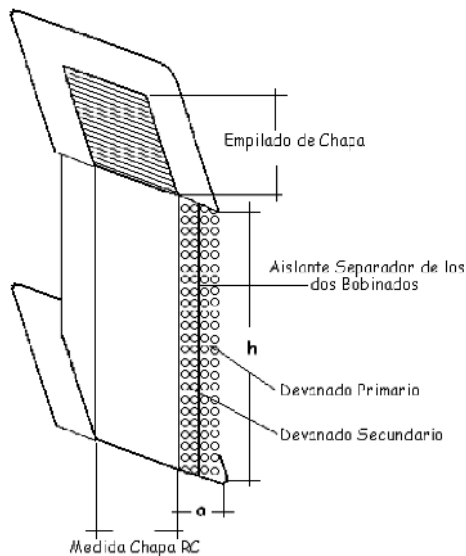


Figura 113. Detalle del carrete seccionado para observar donde van alojados los hilos de los dos devanados.

Se deben de tener en cuenta algunos factores que vinculan el resultado final, como son:

1. En un hilo de bobinar el diámetro es el del conductor de cobre real, pero si se mide se observa que es ligeramente superior a la medida que tenía que tener, esto es debido al esmalte que recubre el conductor, que suele ser de unas décimas.

Como las espiras que tiene un transformador son muchas, espiras del devanado primario más las del devanado secundario, si en el cálculo del diámetro de los hilos no se tienen en cuenta el esmalte del hilo, aunque sean décimas, si las multiplicamos por el gran número de espiras del transformador cabrían todas las espiras dentro del carrete.

Por todo ello, se debe de tener en cuenta el esmalte, de tal manera que en el cálculo, al diámetro del hilo se le deben de sumar entre 0,05 y 0,09 mm, (dependiendo del diámetro del hilo).

Ejemplo

A un transformador se le ha calculado un hilo de 1,5 mm de diámetro, entonces se le debe de sumar 0,05 mm, quedando como base para cálculos sucesivos:

$$1,5 + 0,05 = 1,55 \text{ mm de diámetro}$$

2. Otro factor a tener en cuenta es que los hilos no quedan situados de manera perfecta capeados en el carrete, por mucho cuidado que se tenga en el bobinado, y por tanto ocupan un espacio mayor que el que les correspondería. Evidentemente, se tiene que tener en cuenta también este factor a la hora de decidir el diámetro del hilo.
3. Los cartones que aíslan el devanado primario del secundario, así como el aislante final del bobinado, también ocupan espacio, poco, pero espacio.

De acuerdo con la potencia, y también la experiencia, se decide un diámetro aproximado al calculado, se hace un tanteo para posteriormente seguir probando hasta conseguir el diámetro adecuado que cumpla las dos funciones: una que sea capaz de soportar, sin problema alguno, la intensidad que va a circular y otra que entren en el carrete.

El espacio donde se tienen que alojar los hilos es un rectángulo cuyos lados son **h** y **d** (figura 114).

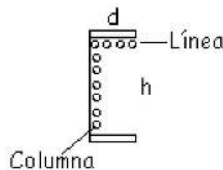


Figura 114. Detalle de Columna y Línea en un carrete.

Si los hilos caben sin problema, la solución es esta. Por el contrario, si no entran se tendrá que volver a hacer otro cálculo disminuyendo ligeramente el diámetro y observar otra vez el resultado. En el *Cálculo práctico de un transformador III* se profundiza más en la mecánica a seguir para comprobar que los hilos caben todos en el hueco del carrete de plástico.

Capítulo 17

Cálculo práctico de un transformador III

Un ejemplo práctico ayudará a comprender mejor el proceso a seguir en el cálculo de un transformador.

Se trata de calcular un transformador trifásico cuyas características son:

- ❖ Tensión Primaria = 220 V en conexión triángulo
- ❖ Tensión Secundaria = 380 V en conexión estrella
- ❖ Potencia = 2.000 VA

1. Sección de cada núcleo

$$S = 0,7\sqrt{2.000} = 31 \text{ cm}^2$$

Conocida la sección, se decide el tipo de chapa, consultar la Tabla VI del capítulo de chapa magnética, que se va a utilizar porque ello condicionará el tipo de carrete y por tanto las medidas de éste.

En este ejemplo se va a elegir la chapa magnética tipo RC 60. Esta chapa tiene una medida de 60 mm de ancho de ventana, y como el núcleo tiene que tener 31 cm², sólo queda conocer el empilado de chapa, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = h * d = 60 * 50 = 30 \text{ cm}^2$$

El valor de 30 cm² es un valor muy aproximado a 31 cm² que es el calculado para la sección, por tanto, se puede considerar bueno.

2. Flujo magnético

$$\Phi = \beta * S = 10.000 * 31 = 310.000 \text{ Maxwell}$$

3. Potencia del bobinado primario

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{2.000}{0,9} = 2.222 \text{ W}$$

4. Intensidad del bobinado primario

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} * V_1 * \text{Cos}\alpha} = \frac{2.222}{1,73 * 220 * 0,85} = 6,87 \text{ A}$$

5. Intensidad del bobinado secundario

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} * V_2 * \text{Cos}\alpha} = \frac{2.000}{1,73 * 380 * 0,85} = 3,58 \text{ A}$$

6. Potencia perdida en el transformador

$$P_p = \frac{P_1}{100} = \frac{2.222}{100} = 22,2 \text{ W}$$

El resultado es por partes y por tres devanados.

7. Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado primario

$$r_1 = \frac{P_p}{3 * I_1^2} = \frac{22,2}{3 * 6,87^2} = 0,16 \text{ } \Omega$$

8. Resistencia Óhmica de la bobina del bobinado secundario

$$r_2 = \frac{P_p}{3 * I_2^2} = \frac{22,2}{3 * 3,58^2} = 0,58 \text{ } \Omega$$

9. Tensión de fase primaria en triángulo

$$E_{1\Delta} = V_1 - R_1 * I_1 = 220 - 0,16 * 6,87 = 218,9 \text{ V}$$

10. Tensión de fase secundaria en estrella

$$V_{1\gamma} = \frac{V_2}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ V}$$

$$E_2 = V_1 + r_2 * I_2 = 220 + 0,58 * 3,58 = 221,7 \text{ V}$$

11. Número de espiras del bobinado primario

$$N_1 = \frac{E_1 * 10^8}{2,22 * \Phi * F} = \frac{218,9 * 10^8}{2,22 * 310.000 * 50} = 630 \text{ Espiras}$$

12. Número de espiras del bobinado secundario

$$N_2 = \frac{N_1 * E_2}{E_1} = \frac{630 * 221,7}{218,9} = 638 \text{ Espiras}$$

13. Sección del hilo del bobinado primario

La sección se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$S_1 = \frac{I_1}{J_1} = \frac{6,87}{4} = 1,72 \text{ mm}^2$$

La densidad de corriente puede estar comprendida entre los siguientes valores: 2 y 6,5 Amperios por mm². En este caso se recomienda utilizar el valor de 4 A/mm², tanto para el cálculo de la sección del devanado primario como para el secundario.

14. Diámetro del devanado primario

Una vez conocida la sección, se calcula el diámetro mediante la fórmula:

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}} = \sqrt{\frac{1,72}{0,785}} = 1,48 \text{ mm}$$

15. Sección del hilo del bobinado secundario

Se utiliza el mismo procedimiento que el empleado para calcular la sección del devanado primario.

$$S_2 = \frac{I_2}{J_2} = \frac{3,58}{4} = 0,89 \text{ mm}^2$$

16. Diámetro del devanado secundario

Una vez conocida la sección, se calcula el diámetro mediante la fórmula:

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,89}{0,785}} = 1,07 \text{ mm}$$

17. Ajustar los hilos a las medidas del carrete

Una vez calculados los diámetros y las espiras de los dos devanados, se tiene que verificar que todos los hilos van a caber dentro del carrete de plástico.

En caso contrario, se tienen que ajustar los hilos al espacio disponible en el carrete.

Como ya se tiene el carrete que se va a utilizar, será un carrete de 60 x 50 que tiene una medida para alojar los hilos de: alto 170 mm y ancho 25 mm (figura 115 en la página siguiente).

Ocupación del hilo del devanado primario

Al devanado primario del transformador se le ha calculado un hilo de 1,48 mm, pero el diámetro comercial más aproximado es 1,50. A este diámetro se le debe de sumar 0,05 mm, quedando entonces como base para cálculos sucesivos:

$$1,50 + 0,05 = 1,55 \text{ mm de diámetro}$$

El espacio donde se tienen que alojar los hilos es un rectángulo cuyos lados son **h** y **d**.

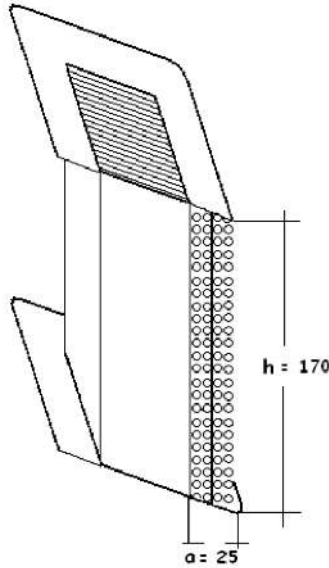


Figura 115. Detalle del carrete seccionado con las medidas del hueco para alojar los hilos.

- a) Se divide el lado h entre el diámetro del hilo que se va a utilizar y da como resultado la cantidad de hilos que entran en una columna.

$$N^{\circ} \text{ Hilos } \dots \text{ de } \dots \text{ Columna} = \frac{h}{\phi \text{ Hilo}}$$

$$N^{\circ} \text{ Hilos } \dots \text{ de } \dots \text{ Columna} = \frac{170}{1,55} = 109,6$$

- b) Se divide el número de espiras del devanado primario entre el número de hilos que caben en una columna, dando como resultado la cantidad de columnas que precisa el devanado primario.

$$N^{\circ} \text{ de columnas} = N_1 / N^{\circ} \text{ de hilos de una columna}$$

$$N^{\circ} \text{ de columnas} = 630 / 109 = 5.7$$

Se redondea a 6 columnas.

- c) Como el devanado primario ocupa 6 columnas, para conocer la medida en milímetros que precisan las 6 columnas se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{La medida que ocupa el devanado primario} = \text{Diámetro del hilo} \times N^{\circ} \text{ de columnas}$$

$$\text{La medida que ocupa el devanado primario} = 1.55 * 6 = 9.3$$

Se redondea a 10 mm, es decir, el espacio que ocupa el devanado primario es de 10 mm.

Ocupación del hilo del devanado secundario

El procedimiento a utilizar es el mismo, ahora se tiene que utilizar el diámetro del hilo secundario.

El diámetro del hilo del devanado secundario calculado es de 1,07, como este diámetro no es muy comercial se calcula con el inmediato superior, 1,10 mm.

$$1,10 + 0,05 = 1,15 \text{ mm de diámetro}$$

- a) Se divide la altura del carrete de plástico entre el diámetro del hilo, dando como resultado el número de hilos que entran en una columna.

$$N^{\circ} \text{ Hilos } \dots \text{ por } \dots \text{ Columna} = \frac{170}{1,15} = 147,8$$

- b) Se divide el número de espiras del devanado secundario entre el número de hilos que caben en una columna, dando como resultado la cantidad de columnas que precisa el devanado secundario.

$$N^{\circ} \text{ Columnas} = \frac{N_2}{N^{\circ} \text{ Hilos } \dots \text{ de } \dots 1 \dots \text{ Columna}}$$
$$N^{\circ} \text{ Columnas} = \frac{630}{148} = 4,3$$

Se redondea a 5 columnas.

- c) Como el devanado secundario ocupa 5 columnas, para conocer la medida en milímetros que precisan las 5 columnas se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Devan.} \dots \text{Pr ima.} \dots \text{ocupa} = \phi \dots \text{hilo} * N^{\circ} \text{ de Columnas}$$

$$\text{Devan.} \dots \text{Pr ima.} \dots \text{ocupa} = 1,15 * 5 = 5,75$$

Redondeando, el devanado secundario ocupará 6 mm.

Como el devanado primario ocupa 10 mm y el secundario 6 mm, el total de ocupación es 16 mm.

El espacio del carrete de plástico es 25 mm, quiere decir que sobran, $25 - 16 = 9$ mm. Este valor es aceptable, toda vez que falta el espacio que ocupan los cartones y las imperfecciones en la realización del bobinado que no siempre se capea adecuadamente y por tanto, los devanados ocupan más espacio del calculado.

Conexiones normalizadas de los transformadores trifásicos

Las conexiones que pueden adoptar los transformadores trifásicos son múltiples, aunque no todas ellas se utilizan a nivel práctico.

Existen diez posibilidades de conexiones, tanto para el primario como para el secundario y teniendo en cuenta el desfase de los devanados existen unas cien combinaciones de conexión, pero en realidad en la práctica sólo se emplean doce conexiones según las Normas VDE.

Las normas VDE concentran las conexiones de los transformadores en cuatro grupos designados por letras mayúsculas A, B, C, D; a su vez cada grupo se subdivide en tres tipos de conexiones (figuras 116, 117, 118, y 119).

1.1 Grupo A

El desfase entre las tensiones primaria y secundaria es cero.

Subgrupo A₁: está compuesto por el devanado primario conectado en triángulo y el devanado secundario conectado en triángulo.

Subgrupo A₂: el devanado primario está conectado en estrella y el devanado secundario lo está en estrella.

Subgrupo A₃: está formado por el devanado primario conectado en triángulo y el devanado secundario conectado en zig-zag. (figura 116 en la página siguiente).

1.2 Grupo B

El desfase que existe entre las tensiones de los dos devanados es de 180°.

Subgrupo B₁: está compuesto por el devanado primario conectado en triángulo y el devanado secundario conectado en triángulo invertido.

Subgrupo B₂: el devanado primario está conectado en estrella y el devanado secundario lo está en estrella invertida.

Subgrupo B₃: está formado por el devanado primario conectado en triángulo y el devanado secundario conectado en zig-zag invertida.

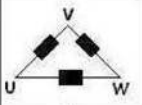
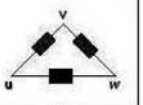
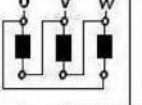
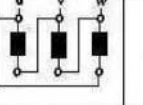


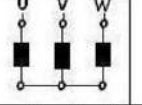
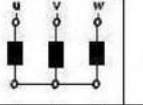
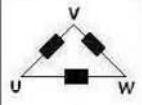
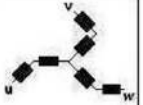
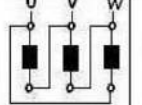
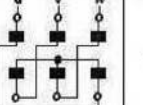
Desig. CEI	Esquema Vectorial		Esquema de Conexiones		Desig. VDE
	Alta Tensión	Baja Tensión	Alta Tensión	Baja Tensión	
Db0					A ₁
Yy0					A ₂
Dz0					A ₃

Figura 116. Conexiones normalizadas de transformadores trifásicos, Grupo A.

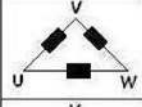
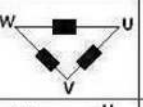
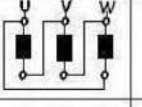
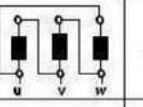
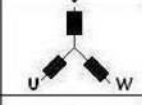
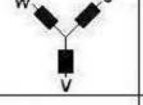
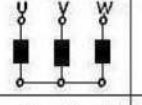
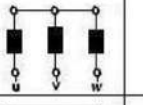

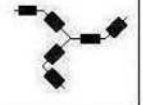
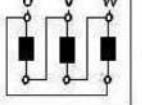
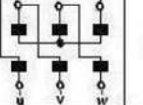
Desig. CEI	Esquema Vectorial		Esquema de Conexiones		Desig. VDE
	Alta Tensión	Baja Tensión	Alta Tensión	Baja Tensión	
Db6					B ₁
Yy6					B ₂
Dz6					B ₃

Figura 117. Conexiones normalizadas de transformadores trifásicos, Grupo B.

1.3 Grupo C

Entre las tensiones del devanado primario y secundario existe un desfase de 150° en retraso

Subgrupo C₁: está compuesto por el devanado primario conectado en triángulo y el devanado secundario conectado en estrella.

Subgrupo C₂: el devanado primario está conectado en estrella y el devanado secundario lo está en triángulo.

Subgrupo C₃: está formado por el devanado primario conectado en estrella y el devanado secundario conectado en zig-zag.

Conexiones normalizadas de los transformadores trifásicos

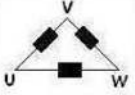

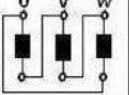
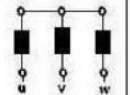

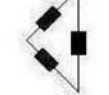
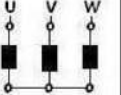
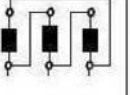


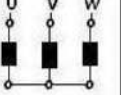
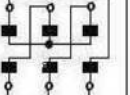
Desig. CEI	Esquema Vectorial		Esquema de Conexiones		Desig. VDE
	Alta Tensión	Baja Tensión	Alta Tensión	Baja Tensión	
Dy5					C ₁
Yd5					C ₂
Yz5					C ₃

Figura 118. Conexiones normalizadas de transformadores trifásicos, Grupo C.

1.4 Grupo D

Entre las tensiones del devanado primario y secundario existe un desfase de 330° en retraso.

Subgrupo D₁: está compuesto por el devanado primario conectado en triángulo y el devanado secundario conectado en estrella.

Subgrupo D₂: el devanado primario está conectado en estrella y el devanado secundario lo está en triángulo.

Subgrupo D₃: está formado por el devanado primario conectado en estrella y el devanado secundario conectado en zig-zag.



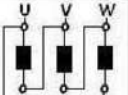
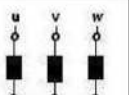


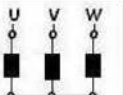
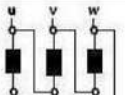

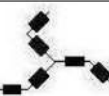
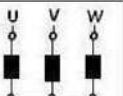
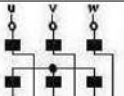
Desig. CEI	Esquema Vectorial		Esquema de Conexiones		Desig. VDE
	Alta Tensión	Baja Tensión	Alta Tensión	Baja Tensión	
Dy11					D ₁
Yd11					D ₂
Yy11					D ₃

Figura 119. Conexiones normalizadas de transformadores trifásicos, Grupo D.

Sustitución de un transformador trifásico por tres monofásicos

Cuando se quema un transformador trifásico y no se disponga de uno de repuesto para la sustitución inmediata se tiene que recurrir a medidas técnicas que solucionen el problema.

Una de estas medidas puede ser la sustitución del transformador trifásico por tres transformadores monofásicos cuyas características coincidan con la del transformador quemado trifásico.

Unos ejemplos clarificarán mejor la comprensión de lo comentado.

Ejemplo

Se dispone de un transformador trifásico con una tensión primaria de 230 voltios, una tensión secundaria de 380 voltios se ha quemado y no se tiene otro transformador trifásico con iguales características.

Solución

Disponer tres transformadores monofásicos de potencia igual a la del trifásico quemado y conectarlo, dependiendo de las tensiones primarias y secundarias de estos transformadores.

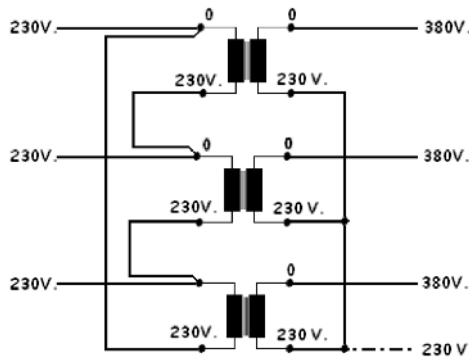


Figura 120. Tres transformadores monofásicos con relación de tensiones 230/230 voltios para sustituir uno trifásico quemado.

Transformadores

Si se dispone de tres transformadores monofásicos de 230/230 voltios, la conexión será la indicada en la figura 120.

Si se dispone de tres transformadores de 230/380 voltios, la conexión deberá ser la indicada en la figura 121.

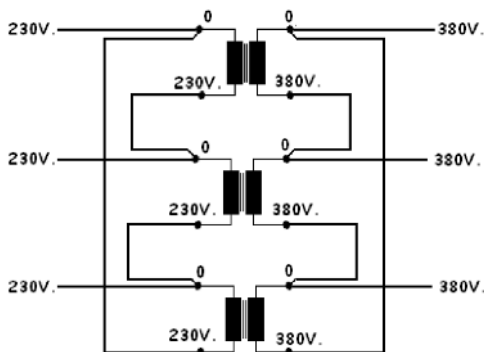


Figura 121. Conexión de tres transformadores con relación de tensiones 230/380 voltios para sustituir un transformador quemado.

Otro ejemplo clásico es disponer de un transformador conectado a una red de 380 V y que proporciona una tensión de 230 V.

Se supone que se tiene que sustituir por avería grave en sus devanados.

Se localizan tres transformadores con relación 230/230 V conectando los devanados primarios en estrella, (para conectarlos a la red de 380 V), y los devanados secundario en triángulo para que puedan proporcionar una tensión de 230 V trifásica (ver la figura 122).

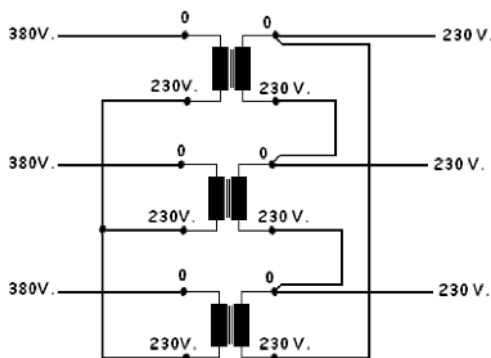


Figura 122. Conexión de tres transformadores con relación de tensiones 230/23 voltios para sustituir un transformador trifásico.

Sustitución de un transformador trifásico por tres monofásicos

Pero si se dispone de tres transformadores monofásicos con relación de tensiones de 380/230 V se tendrían que conectar los devanados primarios en triángulo y los devanados secundarios en triángulo (figura 123).

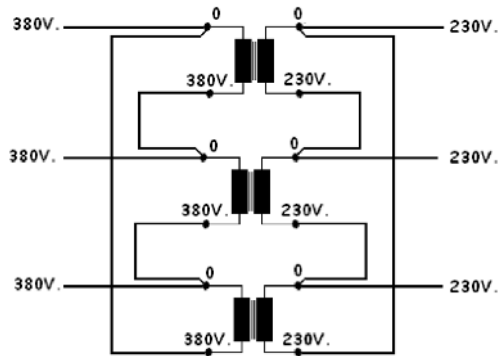


Figura 123. Conexión de tres transformadores con relación de tensiones 380/23 voltios para sustituir un transformador trifásico.

Autotransformadores monofásicos

1. Generalidades

El autotransformador nace como una necesidad económica ante el precio de los transformadores convencionales con devanados separados.

Se podría definir un autotransformador como un transformador en el que parte de las espiras son comunes tanto al circuito primario como al secundario, es decir, el devanado secundario es en realidad una parte del devanado primario, por consiguiente, los autotransformadores son siempre menos voluminosos y más ligeros que los transformadores separados de la misma potencia, ello conlleva que son también más económicos.

Al ser el mismo devanado no existe separación galvánica entre los dos circuitos, primario y secundario.

La característica principal es que es un solo devanado del que se derivan las tomas, tanto del circuito primario como del circuito secundario (ver figuras 124 y 125).

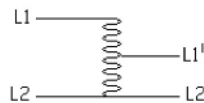


Figura 124. Autotransformador monofásico, observar la toma L1' para obtener la toma del devanado secundario.

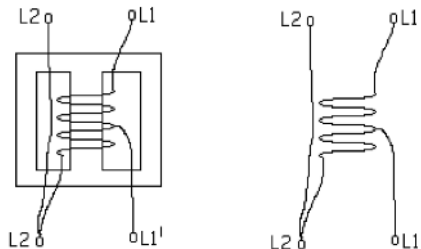


Figura 125. Devanado de autotransformador sin núcleo magnético y con núcleo magnético.

Transformadores

Se observa que el devanado primario y el secundario es el mismo, pero con tomas distintas.

Las aplicaciones principales son aquellas en las que las tensiones primaria y secundaria difieren poco una de otra, de tal manera que su uso está prohibido cuando la relación de tensiones no difieren mucho de 1, excepcionalmente la relación de transformación puede llegar a 5.

$$m = \frac{V_1}{V_2}$$

2. Ventajas e inconvenientes

En el autotransformador, la potencia es transferida al circuito secundario mediante el devanado, puesto que es el mismo, por ello, hace que transforme más potencia que un transformador separador clásico en igualdad de núcleo magnético, (empilado de chapas magnético), resultando por tanto, mucho más económico al utilizar menos materiales, chapa magnética, cobre, cartón, aislantes, etc. y, por tanto, también menos pérdidas en el hierro y en el cobre, mayor rendimiento, menor corriente de vacío.

Pero no todo son ventajas, al no tener los circuitos primario y secundario independientes no está separada la carga de la red, no aíslan de la red, lo que representa un grave inconveniente en la industria, limitando notablemente su uso.

Si se corta el devanado secundario el transformador proporciona a la salida una tensión muy próxima a la de alimentación, lo cual es un auténtico peligro para la seguridad de las personas y de los equipos del conectado que se alimentarán de una tensión muy superior a la de funcionamiento.

A veces, y por motivos puramente económicos, se utilizan, en los circuitos de mando de los cuadros eléctricos, autotransformadores, que como se ha comentado disponen de un solo devanado.

Ante una avería en el secundario, por ejemplo circuito abierto, bien sea por calentamiento u otra circunstancia, pone instantáneamente el circuito secundario, que antes era de una tensión más baja que el circuito primario, a la misma tensión que el devanado primario, con el consiguiente peligro, no sólo para la seguridad de la instalación, sino también para la integridad física de los operarios que manipulen el circuito de mando, por ejemplo la botonera.

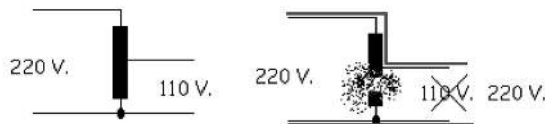


Figura 126. Posible avería en un autotransformador y el consiguiente peligro que ello encierra.

La figura 126 muestra un autotransformador de relación 220/110 V y ante una avería en el devanado el secundario queda a la misma tensión que la alimentación.

Esta medida se debe de evitar y utilizar un transformador que tiene dos devanados totalmente aislados uno de otro, y por tanto, en caso de avería en el circuito secundario lleva como consecuencia el no obtener tensión en la carga, nada más, pero no existe peligro para las personas ni para la máquina (figura 127).

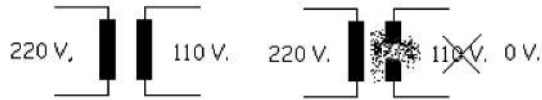


Figura 127. Transformador con avería en el devanado secundario.

Símbolo

El símbolo más utilizado es el que muestra la figura 128.

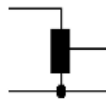


Figura 128. Símbolo utilizado en los esquemas eléctricos para representar un autotransformador.

Un transformador puede ser elevador o reductor.

3. Autotransformador reductor

Se denomina de esta manera al autotransformador del que se obtiene una tensión menor que la tensión de red (ver figura 129).

De este tipo de autotransformador se podría decir que está a caballo entre un transformador y un divisor de tensión, por aquello de que reduce la tensión de la red, indudablemente con muchas más ventajas que los divisores de tensión.

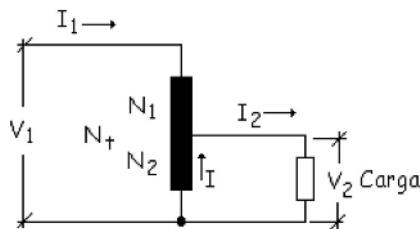


Figura 129. Autotransformador reductor.

Transformadores

En los autotransformadores reductores se cumple que:

$$N_t = N + N_2$$

$$I_1 = \frac{I_2}{m}$$

$$I_2 = \frac{P}{V_2}$$

$$I = I_2 - I_1$$

4. Autotransformador elevador

Con este tipo de autotransformador se obtiene una tensión mayor que la de red (figura 130).

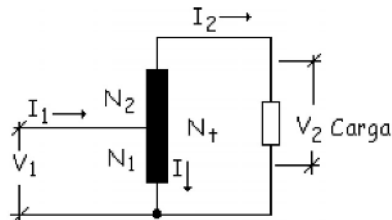


Figura 130. Autotransformador elevador.

$$N_t = N_1 + N_2$$

$$I_1 = \frac{P}{V_1}$$

$$I_2 = \frac{P}{V_2}$$

$$I = I_1 - I_2$$

Cálculo de autotransformadores monofásicos

Los cálculos desarrollados en este trabajo no obedecen a una regla fija ni a un proceso matemático definido previamente, son producto de la experiencia en el diseño y construcción de transformadores y autotransformadores durante muchos años.

Por ello, no es de extrañar que en los cálculos que siguen se encuentren fórmulas que integran números constantes que, no se sabría explicar muy bien el porqué, pero que arrojan resultados muy fiables, o por lo menos experiencias prácticas en el diseño de autotransformadores que una vez construidos cumplen todas las expectativas, no sólo del cálculo, también de seguridad.

1. Proceso de cálculo

1.1 Datos

En primer lugar se tienen que conocer las necesidades de la aplicación donde va a trabajar el autotransformador que se pretende calcular, como son:

- V₁- Tensión primaria (Tensión a la que se va a conectar el autotransformador)
- V₂- Tensión secundaria (Tensión que se pretende obtener)
- P.- Potencia del autotransformador en VA

Estos cálculos se basan en la utilización de chapa magnética normalizada, cuya inducción magnética está comprendida entre los 10.000 y 12.000 Gauss, por lo general la chapa que circula en España, y para una frecuencia de 50 Hz.

1.2 Incremento de la tensión secundaria

Al igual que en los transformadores, la tensión secundaria se ve afectada cuando se conecta al circuito secundario la carga nominal de tal manera que ésta desciende ligeramente.

Para paliar este problema se incrementan las espiras del circuito secundario, por ello, en vacío la tensión será superior a la que se obtiene cuando la carga nominal permanece conectada.

Transformadores

El tanto por ciento suele estar comprendido entre el 5% y el 10% de la tensión secundaria, a más tensión, más tanto por ciento.

$$V\% = \frac{V_2 * \%}{100} = \text{Voltios}$$

$$V_{20} = V_2 + V\%$$

1.3 Relación de transformación

Es la relación entre la tensión primaria y la secundaria.

$$m = \frac{V_1}{V_2}$$

1.4 Espiras por voltio

Corresponde a las espiras que se tienen que dar por cada voltio de tensión.

El valor de 54 es una constante.

$$E/V = \frac{54}{\sqrt{P}} = \text{Espiras por cada Voltio}$$

1.5 Espiras totales

Al calcular las espiras se debe de distinguir que el autotransformador sea reductor o elevador, dependiendo de esto se utilizará una u otra fórmula.

Reductor

$$N_t = E/V * V_1$$

Elevador

$$N_t = E/V * V_2$$

1.6 Espiras del circuito secundario

Reductor

$$N_t = E/V * V_2$$

Elevador

$$N_2 = N_t - N_1$$

1.7 Espiras del circuito primario

Reductor

$$N_1 = N_t - N_2$$

Elevador

$$N_1 = E/V * V_1$$

1.8 Sección del núcleo

Para calcular la sección del núcleo en cm² se puede utilizar cualquiera de las dos fórmulas siguientes, que arrojan el mismo resultado:

Reductor

$$S = \frac{V_1 * 10.000}{2,6 * N_1} \qquad S = \frac{V_2 * 10.000}{2,6 * N_2}$$

Elevador

$$S = \frac{V_1 * 10.000}{2,6 * N_1} \qquad S = \frac{V_2 * 10.000}{2,6 * N_2}$$

Conviene que se calcule por las dos fórmulas para verificar que los cálculos son correctos, entre los dos resultados no puede haber diferencia.

1.9 Intensidad del circuito secundario

Reductor

$$I_2 = \frac{P}{V_2}$$

Elevador

$$I_2 = \frac{P}{V_2}$$

1.10 Intensidad del circuito primario

Reductor

$$I_1 = \frac{I_2}{m}$$

Elevador

$$I_1 = \frac{P}{V_1}$$

1.11 Intensidad de paso

Reductor

$$I = I_2 - I_1$$

Elevador

$$I = I_1 - I_2$$

1.12 Sección del hilo del devanado primario

J = Densidad de corriente en A/mm²

Reductor

$$S_1 = \frac{I_1}{J}$$

Elevador

$$S_1 = \frac{I}{J}$$

1.13 Sección del devanado secundario

Reductor

$$S_2 = \frac{I}{J}$$

Elevador

$$S_2 = \frac{I_2}{J}$$

1.14 Diámetro del devanado primario

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}}$$

1.15 Diámetro del devanado secundario

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}}$$

Una vez calculados todos los datos, se puede realizar un resumen con ellos, pero sólo con los que se precisan para poder construir el autotransformador y posteriormente hacer las pruebas pertinentes para comprobar si los datos obtenidos en el cálculo coinciden con los obtenidos en la realización de las pruebas.

Capítulo 22

Cálculo práctico de autotransformador monofásico reductor

Con el objeto de poder comprender mejor los cálculos realizados anteriormente, se va a calcular un autotransformador reductor cuyas características indica la figura 131.

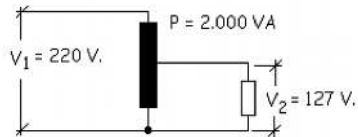


Figura 131. Autotransformador que se pretende calcular.

1. Proceso de cálculo

1.1 Datos

$$V_1 - 220 \text{ V.}$$

$$V_2 - 127 \text{ V.}$$

$$P - 2.000 \text{ VA.}$$

Como se comentó anteriormente, la chapa magnética a utilizar será la normalizada y que circula en España, cuya inducción está comprendida entre los 10.000 y 12.000 Gauss.

1.2 Incremento de la tensión secundaria

El incremento de la tensión en el circuito secundario será del 5%.

$$V_2 = \frac{V_2 \text{ Vacío} * \%}{100} = \frac{127 * 5}{100} = 6.35 \text{ Voltios}$$

$$V_2 = 6.35 + 127 = 133 \text{ Voltios}$$

1.3 Relación de transformación

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{220}{127} = 1,73$$

1.4 Espiras por voltio

El valor de 54 es una constante.

$$E/V = \frac{54}{\sqrt{P}} = \frac{54}{\sqrt{2.000}} = 1,21 \text{ Espiras por cada Voltio}$$

1.5 Espiras totales

En este caso, y tanto en el cálculo de las espiras del circuito primario como del secundario, se tendrá que aplicar la fórmula que corresponde a un autotransformador reductor que es el del ejemplo práctico.

$$N_t = E/V * V_1 = 1,21 * 220 = 266 \text{ Espiras}$$

1.6 Espiras del circuito secundario

$$N_2 = E/V * V_2 = 1,21 * 133 = 161 \text{ Espiras}$$

1.7 Espiras del circuito primario

$$N_1 = N_t - N_2 = 266 - 161 = 105 \text{ Espiras}$$

1.8 Sección del núcleo

Se utilizarán las dos fórmulas del cálculo de la sección del núcleo magnético al objeto de comprobar que los cálculos realizados hasta aquí están bien.

$$S_1 = \frac{V_1 * 10.000}{2,6 * N_t} = \frac{220 * 10.000}{2,6 * 266} = 3185 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{V_2 * 10.000}{2,6 * N_2} = \frac{133 * 10.000}{2,6 * 161} = 3185 \text{ mm}^2$$

1.9 Intensidad del circuito secundario

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{2.000}{133} = 15 \text{ Amp.}$$

1.10 Intensidad del circuito primario

$$I_1 = \frac{I_2}{m} = \frac{15}{1,73} = 8,7 \text{ Amp.}$$

1.11 Intensidad de paso

$$I = I_2 - I_1 = 15 - 8,7 = 6,3 \text{ Amp.}$$

1.12 Sección del hilo del devanado primario

Se decide, como primera medida, una densidad de corriente de 5 A/mm², posteriormente se puede aumentar o disminuir en el caso de que los hilos no quepan en el carrete de plástico.

$$S_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{8,7}{5} = 1,73 \text{ mm}^2$$

1.13 Sección del devanado secundario

$$S_2 = \frac{I}{J} = \frac{6,3}{5} = 1,27 \text{ mm}^2$$

1.14 Diámetro del devanado primario

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}} = \sqrt{\frac{1,73}{0,785}} = 1,49 \text{ mm.}$$

1.15 Diámetro del devanado secundario

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}} = \sqrt{\frac{1,27}{0,785}} = 1,27 \text{ mm}$$

Los hilos calculados para los dos circuitos primario y secundario son 1,49 mm. y 1,27 mm, respectivamente. Ahora bien, la experiencia demuestra que los hilos en los auto-transformadores son generalmente del mismo diámetro, tanto el primario como el secundario, recordar la pequeña diferencia de tensión entre los dos devanados.

Por ello, se hace una media de los dos diámetros:

Transformadores

$$\frac{[1,49+1,27]}{2} = 1,38 \text{ mm}$$

Por lo que se debe de emplear hilo de 1.38 mm. de diámetro.

No obstante, se tendrá que decidir el tipo de chapa, que como se sabe condiciona al carrete de plástico y por tanto a sus medidas. Esto quiere decir, que se tendrá que verificar que todas las espiras, con hilo de ese diámetro, entran sin problema en el carrete de plástico. En caso contrario se tendría que modificar ligeramente el diámetro hasta que quepan todos los hilos en el carrete. En el capítulo de transformadores se puede ver la mecánica a seguir para comprobar que todos los hilos caben en el carrete.

El sistema para decidir la chapa magnética, dentro de las medidas normalizadas, es el mismo que el utilizado en los transformadores, es decir, conocida la sección del núcleo magnético se escoge un tipo adecuado y se calcula el empilado de tal manera que el ancho de chapa multiplicado por la medida del empilado dé como resultado la medida de la sección del núcleo magnético.

En este ejemplo, un tipo ideal de chapa puede ser RC 50 y el empilado de chapa tiene que ser de 60 mm. ($50 \times 60 = 3.000 \text{ mm}^2$).

Una vez calculados todos los datos, se puede realizar un resumen con ellos, pero sólo los que se precisan para poder construir el transformador y posteriormente hacer las pruebas pertinentes para comprobar si los datos obtenidos en el cálculo coinciden con los obtenidos en la realización de las pruebas

Resumen de los datos calculados

V_1	220 V.
V_2	133 V. (en vacío)
P	2.000 V.A.
F	50 Hz.
S. Núcleo	31,85 cm²
E/V	1,21 espiras por cada voltio
m	1,73
I	6,3 Amp.
I_1	8,7 Amp.
I_2	15 Amp.
N_1	105 espiras
N_2	161 espiras
\varnothing_{1-2}	1,38 mm.
Tipo de chapas E/I	RC50
Medida del espesor de las chapas	60
Medidas del carrete de plástico	50X60

Cálculo práctico de autotransformador monofásico reductor

El esquema del autotransformador resultante sería el indicado en la figura 132.

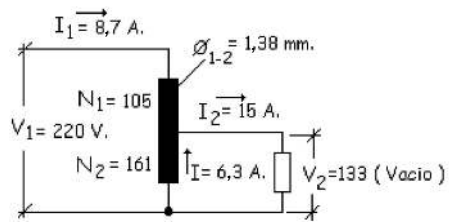


Figura 132. Autotransformador con todos los datos calculados listo para llevar al taller para construirlo.

Capítulo 23

Cálculo práctico de autotransformador elevador

Para completar el estudio de los autotransformadores, se va a calcular uno, pero esta vez será un elevador para poder conocer bien todas las modalidades de estos equipos.

El autotransformador objeto del estudio tiene las siguientes características, indicadas en la figura 133.

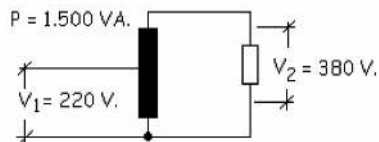


Figura 133. Autotransformador elevador que se pretende calcular.

1. Proceso de cálculo

1.1 Datos

$$V_1 - 220 \text{ V.}$$

$$V_2 - 380 \text{ V.}$$

$$P - 1.500 \text{ VA.}$$

Como en todos los casos, la chapa a utilizar será la clásica, cuyos datos se han citado anteriormente.

1.2 Incremento de la tensión secundaria

El incremento de la tensión en el circuito secundario será del 5 %.

$$V_2 = \frac{V_{2\text{vacío}} * \%}{100} = \frac{380 * 5}{100} = 19 \text{ Voltios}$$

$$V_2 = 380 + 19 = 399 \text{ Voltios}$$

1.3 Relación de transformación

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{220}{380} = 0,58$$

1.4 Espiras por voltio

Al igual que en el caso anterior, el valor 54 es una constante.

$$E/V = \frac{54}{\sqrt{P}} = \frac{54}{\sqrt{1.500}} = 1,39. \text{ Espiras por cada voltio}$$

1.5 Espiras totales

En este caso, y en el cálculo de las espiras del circuito primario y del secundario, se tendrá que aplicar la fórmula que corresponde a un autotransformador Elevador.

$$N_t = E/V * V_2 = 1,39 * 399 = 556 \text{ Espiras}$$

1.6 Espiras del circuito primario

$$N_1 = E/V * V_1 = 1,39 * 220 = 307 \text{ Espiras}$$

1.7 Espiras del circuito secundario

$$N_2 = N_t - N_1 = 556 - 307 = 250 \text{ Espiras}$$

1.8 Sección del núcleo

Al igual que en el caso anterior, se utilizarán las dos fórmulas para que sirva de confirmación a la correcta aplicación de éstas, esto es, cuando los dos resultados sean el mismo.

$$S_1 = \frac{V_1 * 10.000}{2,6 * N_1} = \frac{220 * 10.000}{2,6 * 307} = 2.75 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{V_2 * 10.000}{2,6 * N_2} = \frac{399 * 10.000}{2,6 * 556} = 2.759 \text{ mm}^2$$

1.9 Intensidad del circuito secundario

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{1.500}{399} = 3,8 \text{ A}$$

1.10 Intensidad del circuito primario

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{1.500}{220} = 6,8 \text{ A}$$

1.11 Intensidad de paso

$$I = I_1 - I_2 = 6,8 - 3,8 A$$

1.12 Sección del hilo del devanado primario

Se decide, como primera medida, una densidad de corriente de 5 A/mm², posteriormente se puede aumentar o disminuir hasta conseguir que los hilos entren sin problema en el carrete de plástico.

$$S_1 = \frac{I}{J} = \frac{3}{5} = 0,6 \text{ mm}^2$$

1.13 Sección del devanado secundario

$$S_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{3,8}{5} = 0,8 \text{ mm}^2$$

1.14 Diámetro del devanado primario

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,6}{0,785}} = 0,88 \text{ mm}^2$$

1.15 Diámetro del devanado secundario

Los hilos calculados para los dos circuitos primario y secundario son 0,88 mm y 0,98 mm, realizando una media de los dos diámetros se obtiene:

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,8}{0,785}} = 0,98 \text{ mm}$$

Por lo que se debe de emplear hilo de 0,93 mm de diámetro.

$$\frac{(0,88 + 0,98)}{2} = 0,93 \text{ mm}$$

Y como siempre, se tiene que confirmar que los hilos con ese diámetro entran en el hueco del carrete, en caso contrario se tendrá que modificar la densidad de corriente y hacer otros intentos hasta conseguir que éstos entren sin dificultad en el carrete.

El sistema para decidir la chapa magnética, dentro de las medidas normalizadas, es el mismo que el utilizado en los transformadores, es decir, conocida la sección del núcleo magnético se escoge un tipo adecuado y se calcula el empilado de tal manera que el ancho de chapa multiplicado por la medida del empilado dé como resultado la medida de la sección del núcleo magnético.

- ❖ En este ejemplo, se utilizará una chapa tipo RC50 y el empilado tiene que ser de 55 mm. (50 X 55 = 27 mm²).
- ❖ Es evidente que se puede utilizar otro tipo de chapa y por tanto, se tendría que modificar el empilado.

Transformadores

Una vez calculados todos los datos, se puede realizar un resumen con ellos.

Resumen de los datos calculados

V_1	220 V
V_2	399 V
P	1.500 V.A
F	50 Hz
S. Núcleo	27.59 cm ²
E/V	1,39 Espiras por cada Voltio
m	0,58
l	3 Amp.
I_1	6,8 Amp.
I_2	3,8 Amp.
N_1	307 Espiras
N_2	250 Espiras
\varnothing_{1-2}	0,93 mm
Tipo de Chapas E/I	RC50
Medida del espesor de las chapas	55 mm.
Medida del carrete de plástico	50X55

El dibujo, listo para llevar al taller para construir el transformador, será el indicado en la figura 134 .

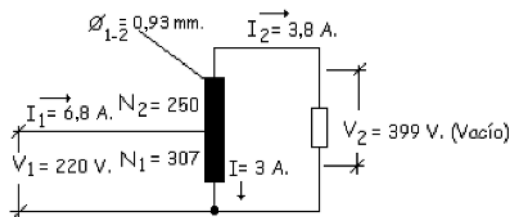


Figura 134. Dibujo de autotransformador con los datos preparados para construirlo.

Capítulo 24

Cálculo de autotransformadores trifásicos

Los autotransformadores trifásicos son los más utilizados debido a su bajo costo, permiten aumentar o disminuir la tensión en lugares donde no se precise el aislamiento de la red.

Así, una aplicación típica es la adaptación de la red a equipos actuales en fábricas con tensiones trifásicas de 230 V.

Otra aplicación típica también es el arranque de motores trifásicos de inducción.

1. Proceso de cálculo

1.1 Datos

Como siempre, se tiene que partir de las necesidades que se precisan en la aplicación para poder calcular un autotransformador trifásico, y en este caso concreto son:

V_1 - Tensión primaria (tensión a la que se va a conectar el autotransformador).

V_2 - Tensión secundaria (tensión que se pretende obtener).

P.- Potencia del autotransformador en VA.

La conexión más general de este tipo de autotransformadores trifásicos es en estrella.

Como es habitual, la chapa será la utilizada hasta ahora en todos los cálculos.

1.2 Incremento de la tensión secundaria

$$V_{\%} = \frac{V_2 * \%}{100}$$

$$V_{20} = V_2 + V_{\%}$$

1.3 Relación de transformación

$$m = \frac{V_1}{V_2}$$

1.4 Espiras por voltio

$$E / V = \frac{40}{\sqrt{P}} * 2,5 = \text{Espiras por cada voltio}$$

1.5 Espiras totales

$$N_1 = E / V * V_1 = \text{Espiras}$$

1.6 Espiras del circuito secundario

$$N_2 = E / V * V_2 = \text{Espiras}$$

1.7 Espiras del circuito primario

$$N_1 = N_1 - N_2 = \text{Espiras}$$

1.8 Sección del núcleo

$$S = \frac{V_1 * 10.000}{2,6 * N_1} = \text{mm}^2 \qquad S = \frac{V_2 * 10.000}{2,6 * N_2} = \text{mm}^2$$

1.9 Intensidad del circuito secundario

$$I_2 = \frac{P}{V_2}$$

1.10 Intensidad del circuito primario

$$I_1 = \frac{I_2}{m}$$

1.11 Intensidad de paso

$$I = I_2 - I_1$$

1.12 Sección del hilo del devanado primario

$$S_1 = \frac{I_1}{J}$$

1.13 Sección del devanado secundario

$$S_2 = \frac{I}{J}$$

1.14 Diámetro del devanado primario

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}}$$

1.15 Diámetro del devanado secundario

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}}$$

Capítulo 25

Cálculo práctico de un autotransformador trifásico

1. Datos

V_1 .- 380 V.

V_2 .- 220 V.

P.- 8.000 VA.

Conexión.- ESTRELLA

La caída de tensión, teniendo en cuenta el valor de la tensión de 220 V, valor bastante alto, se considerará de un 5 %.

2. Incremento de la tensión secundaria

$$V_{\%} = \frac{V_2 * \%}{100} = \frac{220 * 5}{100} = 11$$

$$V_{20} = V_2 + V_{\%} = 220 + 11 = 231 \text{ V}$$

3. Relación de transformación

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{380}{220} = 1,73$$

4. Espiras por voltio

$$E / V = \frac{40}{\sqrt{P}} * 2,5 = \frac{40}{\sqrt{8.000}} * 2,5 = 1,12 \text{ Espiras por cada voltio}$$

5. Espiras totales

$$N_1 = E / V * V_1 = 1,12 * 380 = 425 \text{ Espiras}$$

6. Espiras del circuito secundario

$$N_2 = E / V * V_2 = 1,12 * 231 = 258 \text{ Espiras}$$

7. Espiras del circuito primario

$$N_1 = N_t - N_2 = 425 - 258 = 167 \text{m Espiras}$$

8. Sección del núcleo

$$S = \frac{V_1 * 10.000}{2,6 * N_1} = \frac{380 * 10.000}{2,6 * 425} = 3.440 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{V_2 * 10.000}{2,6 * N_2} = \frac{231 * 10.000}{2,6 * 258} = 3.440 \text{ mm}^2$$

9. Intensidad del circuito secundario

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{8.000}{231} = 35 \text{ A}$$

10. Intensidad del circuito primario

$$I_1 = \frac{I_2}{m} = \frac{35}{1,73} = 20,1 \text{ A}$$

11. Intensidad de paso

$$I = I_2 - I_1 = 35 - 20,1 = 14,6 \text{ A}$$

12. Sección del hilo del devanado primario

Se considera, en principio, una densidad de corriente de 5 A/mm²

$$S_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{20,1}{5} = 4,01 \text{ mm}^2$$

13. Sección del devanado secundario

$$S_2 = \frac{I}{J} = \frac{14,6}{5} = 2,92 \text{ mm}^2$$

14. Diámetro del devanado primario

$$\phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0,785}} = \sqrt{\frac{4,01}{0,785}} = 2,26 \text{ mm}$$

15. Diámetro del devanado secundario

$$\phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0,785}} = \sqrt{\frac{2,92}{0,785}} = 1,93 \text{ mm}$$

Generalmente, los hilos de los devanados, primario y secundario, suelen ser del mismo diámetro toda vez que la diferencia de tensiones de estos dos devanados es

Cálculo práctico de un autotransformador trifásico

sólo 1,73, por ello, se suele hacer la media de los diámetros y poner el mismo hilo en los dos devanados.

La chapa a utilizar puede ser del tipo RC50 y el empilado debe ser de 70 mm, (se puede utilizar otro tipo de chapa y modificar el empilado en función del tipo de ésta).

Y para terminar, se hace un resumen con todos los datos calculados para llevarlos al taller donde se procederá a la construcción del autotransformador.

Resumen

V_1	380 V
V_2	220 V
P	8.000 VA
E/V	1,12
N_t	425
N_1	167
N_2	258
O_{1-2}	2 mm
Sección del Núcleo	34,40 cm²
Tipo de Chapa E/I	RC50
Medida del espesor de las chapas	70
Medida del carrete	50 X 70

La figura 135 muestra el esquema del autotransformador con los datos obtenidos y las conexiones a efectuar entre los distintos devanados para obtener la Estrella.

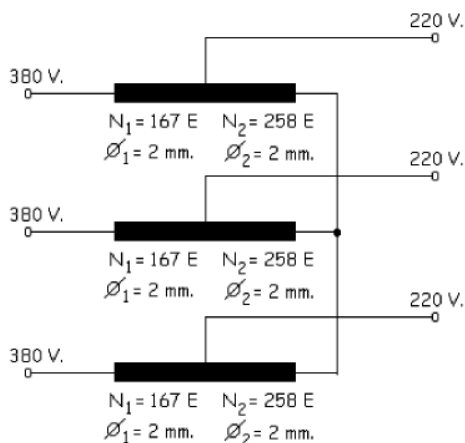


Figura 135. Conexión en Estrella de un autotransformador trifásico con los datos del bobinado.

Capítulo 26

Conexión de los autotransformadores trifásicos

Se tiene que conectar forzosamente el circuito primario y el secundario con la misma conexión, recordar que los autotransformadores disponen de un solo devanado, figuras 136 y 137.

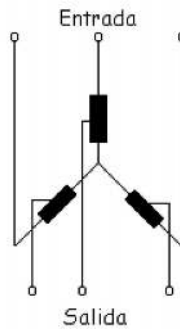


Figura 136. Conexión Estrella.

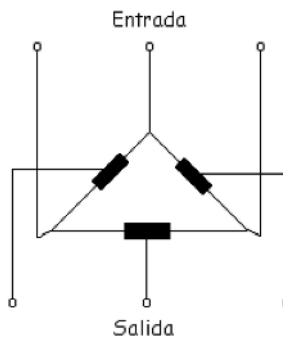


Figura 137. Conexión Triángulo.

Autotransformadores trifásicos para arranque de motores de inducción

Es sabido por todos los técnicos que existen múltiples métodos de arranque de motores trifásicos, de tal manera que el conocimiento de estos tipos de arranques se ha convertido en un clásico en la enseñanza profesional.

Uno de estos arrancadores es el llamado por autotransformador por utilizarlo para limitar la tensión en el arranque.

El autotransformador recibe, por el devanado primario, la tensión de red en su totalidad. En las tomas intermedias de que dispone se obtienen las distintas tensiones que se van a aplicar a los devanados del motor.

Al reducir la tensión que se aplica al motor en el momento del arranque se reduce la intensidad de arranque, lo que permite arrancar, de manera suave y sin grandes picos de intensidad, el motor.

Se tiene que tener en cuenta que el par de arranque disminuye en la misma proporción que con el cuadrado de la tensión que tiene el motor.

Este sistema no produce pérdidas de potencia durante el arranque.

Es más caro que otros sistemas de arranque y la conmutación de los distintos puntos de arranque no es tan suave porque existen pequeños tiempos muertos en el arranque para no cortocircuitar el autotransformador.

El autotransformador dispone de varias tomas en los devanados, de tal manera que el motor va recibiendo, de manera paulatina, más tensión hasta llegar al valor de la red de la que se desconecta el autotransformador.

En el primer punto de arranque, el motor debe de recibir, aproximadamente, el 50 % de la tensión de red. Posteriormente, según la cantidad de saltos que tenga el arrancador, irá aumentando la tensión de las distintas tomas hasta llegar al 100 % de la tensión de red, por tanto, el autotransformador sólo funciona en periodos de muy corta duración.

Transformadores

Los puntos de arranque recomendados, según el tipo de accionamiento que tenga que realizar el motor, suelen ser del 50, 65 y 80% de la tensión de red, reduciéndose la intensidad de arranque en el 25, 42, y 64% de la intensidad de arranque a plena tensión.

El paso de los puntos de arranque se realizan contactores.

La figura 138 muestra un transformador con dos puntos de arranque. Observar cómo una de las partes del autotransformador dispone un contactor para conectarlo en estrella.

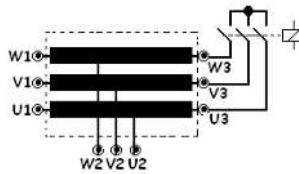


Figura 138. Autotransformador con dos puntos de arranque.

La figura 139 muestra un autotransformador con tres puntos de arranque.

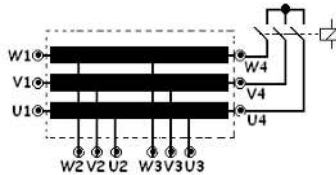


Figura 139. Autotransformador con tres puntos de arranque.

En un motor de 230 voltios, las tomas se tendrían que realizar para que proporcionen 115, 150, y 184 voltios.

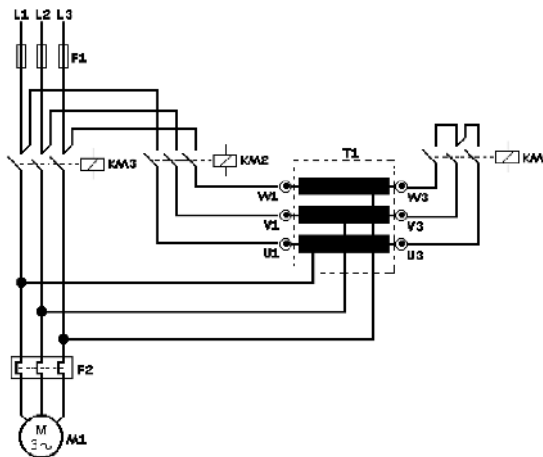


Figura 140. Arrancador mediante autotransformador con dos saltos de arranque.

En un motor de 400 voltios, las tomas se tendrían que calcular para que proporcionen 200, 260, y 320 voltios.

A título meramente informativo, se incluye en la figura 140, el esquema de fuerza de un arrancador mediante autotransformador con dos saltos de arranque con contactores.

Desde el punto de vista del cálculo del autotransformador para el arranque de motores, se utilizará el mismo procedimiento que el explicado en el capítulo *Cálculo de autotransformadores trifásicos*.

Las distintas tomas se realizarán en función de las tensiones de dichas tomas teniendo en cuenta las Espiras/Voltios calculados.

Pruebas a realizar en un transformador terminado

Una vez terminado el transformador, totalmente montado y conexionado, se tienen que hacer las pruebas siguientes:

- ❖ Ensayo de la chapa magnética.
- ❖ Ensayo de aislamiento. Comprobación de derivaciones a masas.
- ❖ Ensayo de aislamiento. Comprobación de derivaciones entre devanados.
- ❖ Relación de transformación.
- ❖ Relación de transformación en vacío en un transformador monofásico.
- ❖ Relación de transformación en vacío en un transformador trifásico.
- ❖ Ensayo de vacío.
- ❖ Ensayo de carga.
- ❖ Ensayo de cortocircuito.
- ❖ Ensayo de rendimiento.
- ❖ Ensayo de calentamiento (Termoeléctricos en el interior).
- ❖ Medida de la resistencia de los devanados.

Las pruebas a realizar en los transformadores de Baja Tensión, tanto monofásicos como trifásicos, no son tan severas como en los transformadores de Alta Tensión.

1.1 Ensayo de la chapa magnética

Este ensayo no es preciso realizarlo en el taller, entre otras razones porque la chapa magnética que se comercializa en España ya viene ensayada y, por tanto, documentada con las características que incluyen las pérdidas por W en las distintas calidades.

Estos datos, proporcionados por los fabricantes de chapas magnéticas, son los que se utilizarán en todos los cálculos, sólo cuando se precise.

1.2 Ensayo de aislamiento. Comprobación de derivaciones a masa

Como quiera que el aislante perfecto no existe, siempre existirán las llamadas *corrientes de fugas* que, aunque en algunos casos sean muy pequeñas, son corrientes circulantes que se salen de los hilos de los devanados que las transportan y se derivan hacia su entorno, generalmente a masa. Otras veces se derivan, por existir un aislamiento defectuoso, en el aislante que los recubre, pudiendo provocar incendios como consecuencia del cortocircuito que se puede producir en el transformador.

El tiempo, las vibraciones y los calentamientos excesivos envejecen los aislantes de los transformadores. Asimismo, los aislantes se deterioran por un mal almacenamiento en sitios húmedos y polvorientos, por lo que se debe de medir regularmente la resistencia de aislamiento de los transformadores, incluso cuando lleven mucho tiempo sin funcionar.

No obstante, la medida de la resistencia de aislamiento realizada en un transformador no es suficiente para diagnosticar un defecto de aislamiento, a menos que ésta sea excesivamente pronunciada. Pero si da una indicación aproximada del estado de éste, es decir, si este se encuentra en condiciones de seguir en servicio, o por el contrario, precisa una reparación.

Para comprobar el aislamiento que existe entre las partes activas de los devanados y la masa, (el núcleo magnético), se debe de utilizar un Megohmetro que aplique una tensión como mínimo de 1.000 V.

Varias normas recomiendan el valor de 1 MΩ como valor mínimo de la resistencia de aislamiento a la temperatura de trabajo del transformador; por el contrario otras dan 10 MΩ como mínimo cuando el transformador es nuevo.

A veces estos valores se pueden considerar excesivos, por tanto, es conveniente seguir las instrucciones dadas por el CEI (Comité Electrotécnico Internacional) que proporciona una fórmula genérica para conocer la resistencia mínima del aislamiento de una máquina eléctrica.

$$R_{\text{aislam.}} \geq \frac{V}{P+1.000} = M\Omega$$

Rais = Resistencia de aislamiento en MΩ

V = Tensión del devanado de mayor tensión

P = Potencia de la máquina en KW

Para considerar un transformador apto para el servicio, desde el punto de vista del aislamiento, los talleres dedicados a la reparación de transformadores utilizan la siguiente regla nemotécnica: en transformadores viejos no deben de tener menos de 0,5 MΩ y en transformadores nuevos no menos de 2 MΩ.

Pruebas a realizar en un transformador terminado

En el caso de que la medida de la resistencia de aislamiento arrojara una cantidad menor de las citadas, se tendrá que secar en el horno el transformador hasta que supere estos valores, posteriormente es conveniente impregnar de barniz otra vez los devanados y dejar secar.

Para realizar las mediciones se conectará una borna del Megger en contacto con las chapas del núcleo magnético para obtener una buena masa y el otro terminal se irá conectando, sucesivamente, en los distintos terminales de los devanados comprobando el valor de la resistencia de aislamiento (figura 141).

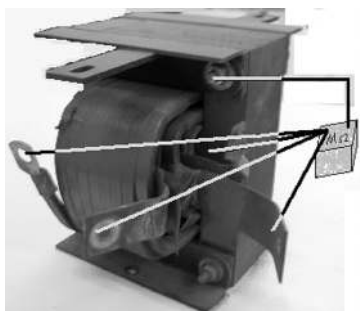


Figura 141. Medición de resistencia de aislamiento entre fases y masa en un transformador.

1.3 Ensayo de aislamiento.

Comprobación de derivaciones entre devanados

Se trata de medir la resistencia de aislamiento que existe entre los devanados de un mismo transformador, es decir, entre el devanado primario y el secundario, cuanto más resistencia exista entre ellos dos mejor aislamiento existirá entre las dos bobinas, primario y secundario.

El procedimiento a emplear para efectuar las medidas es el mismo que el utilizado en las medidas de la resistencia de aislamiento entre los devanados y masa.

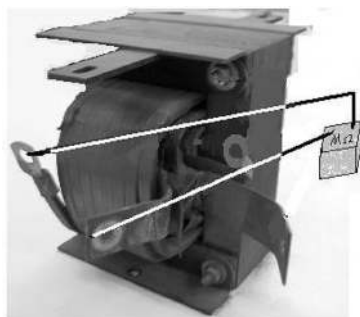


Figura 142. Medición de la resistencia de aislamiento entre los dos devanados de un transformador.

Transformadores

Un terminal del Meguer se conectará a un devanado, por ejemplo al primario, y el otro borne del Meguer se conectará al devanado secundario. Tomar la medida en $M\Omega$ y comprobar que tiene más de $0,5 M\Omega$ si el transformador es viejo, o más de $2 M\Omega$ si el transformador es nuevo (figura 142).

1.4 Relación de transformación

La relación de transformación se debe de calcular a partir del transformador en vacío por cociente entre las dos tensiones, primaria y secundaria.

$$m = \frac{V_1}{V_2}$$

Y a plena carga por cociente de las intensidades.

$$m = \frac{I_2}{I_1}$$

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

V_1 = Tensión primaria

V_2 = Tensión secundaria

N_1 = N° Espiras del devanado primario

N_2 = N° Espiras del devanado secundario

I_1 = Intensidad que recorre el devanado primario

I_2 = Intensidad que recorre el devanado secundario

Tensión inducida en el devanado primario

$$V_1 = \pi * \sqrt{2} * f * \beta * N_1 * s$$

Tensión inducida en el devanado secundario

$$V_2 = \pi * \sqrt{2} * f * \beta * N_2 * s$$

Relacionando las tensiones inducidas primaria y secundaria

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\pi * \sqrt{2} * f * \beta * N_1 * s}{\pi * \sqrt{2} * f * \beta * N_2 * s}$$

Simplificando queda:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

1.5 Ensayo de la relación de transformación en vacío de un transformador monofásico

La relación de transformación en transformadores monofásicos se denomina **m** y es la relación que existe entre la tensión primaria y la secundaria estando éste en vacío, esto es, no teniendo conectada carga alguna en el devanado secundario.

Para conocer la relación de transformación, se conecta un voltímetro en el devanado primario y otro voltímetro en el devanado secundario.

Las tensiones indicadas en los voltímetros se dividen y se obtiene la relación de transformación.

La figura 143 muestra la relación de transformación de un transformador cuyo primario se conecta a una red de 400 V y el secundario proporciona, en vacío, 230 V.

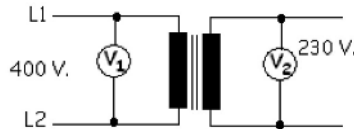


Figura 143. Medida de la relación de transformación de un transformador relación 400/230 V.

$$m = \frac{V_1}{V_2} = \frac{400}{230} = 1,73$$

1.6 Ensayo de la relación de transformación en vacío de un transformador trifásico

Para conocer la relación de transformación en un transformador trifásico (**m**), se tiene que disponer de un voltímetro conectado en el circuito primario y otro voltímetro en las mismas fases del devanado secundario y conectarlos como indica la figura 144.

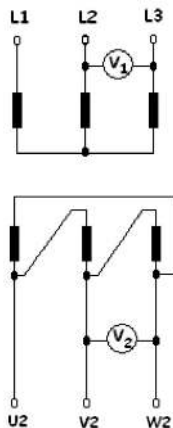


Figura 144. Disposición de los voltímetros para realizar el ensayo de la relación de transformación en vacío.

Transformadores

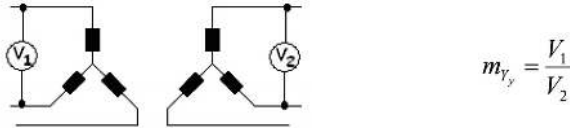
Se le suministra la tensión nominal al devanado primario, siempre de acuerdo con la conexión que tenga el transformador y que disponga los datos de la placa de características.

La relación de transformación en un transformador trifásico depende de la conexión que tengan el devanado primario y el secundario.

En todos los casos, siempre se conectan dos voltímetros entre fases, uno en el devanado primario y otro en el devanado secundario (figuras 145, 146, 147 y 148).

La relación de transformación se obtiene utilizando la fórmula correspondiente al tipo de conexión, así en una conexión:

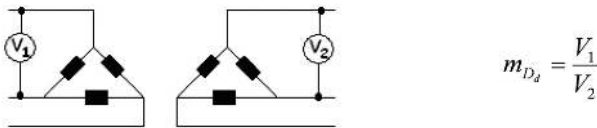
Transformador en conexión Estrella-Estrella



$$m_{y,y} = \frac{V_1}{V_2}$$

Figura 145. Relación de transformación en un transformador en conexión Estrella-Estrella.

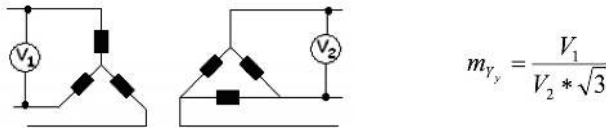
Transformador en conexión Triángulo-Triángulo



$$m_{D_d} = \frac{V_1}{V_2}$$

Figura 146. Transformador en conexión Triángulo-Triángulo.

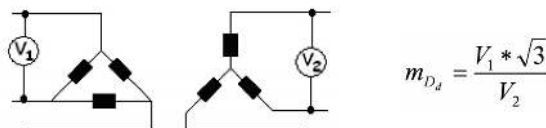
Transformador en conexión Estrella-Triángulo



$$m_{y,y} = \frac{V_1}{V_2 * \sqrt{3}}$$

Figura 147. Transformador en conexión Estrella-Triángulo.

Transformador en conexión Triángulo-Estrella



$$m_{D_d} = \frac{V_1 * \sqrt{3}}{V_2}$$

Figura 148. Transformador en conexión Triángulo-Estrella.

1.7 Ensayo en vacío (pérdidas en el hierro)

El núcleo, al ser hierro y ser atravesado por las líneas de fuerza del campo magnético variable, creará en él una corriente inducida cuya potencia se transforma en calor por no disponer de ningún canal que la transporte al exterior para aprovecharla.

Este calentamiento es nocivo para el transformador porque son pérdidas en el hierro. Para paliar en parte estas pérdidas se construye el núcleo laminado, es decir, con pequeñas chapas aisladas magnéticamente entre sí, de tal manera que la corriente inducida circulará por las chapas de manera independiente, induciéndose menor corriente y por tanto, disminuyendo la potencia inducida.

Como el hierro es siempre el mismo en un determinado transformador, las pérdidas en el hierro no dependen de la carga, estas pérdidas son constantes en un transformador determinado, sea cual sea la potencia de éste.

Para reducir las pérdidas conviene que las varillas que atraviesan el transformador no hagan contacto con la chapa magnética.

La pieza, señalada en la figura 149 con un *, es de plástico y evita que la varilla roce con la chapa, evitando así aumentar las pérdidas.

Existen piezas de plástico, denominadas en el argot eléctrico *Pasamuros*, del tamaño adecuado a cada medida de chapa.

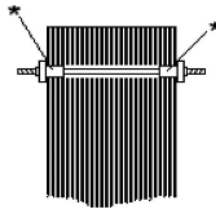


Figura 149. Pasamuros de plástico para evitar que la varilla roce con la chapa magnética.

Existen otros métodos para evitar que la varilla roce con la chapa magnética, uno de ellos es con un tubo aislante, de los utilizados para aislar las salidas de hilos de los devanados de motores y transformadores (figura 150).

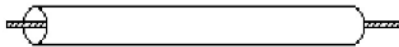


Figura 150. Tubo aislante protegiendo la varilla contra cualquier roce con la chapa.

Esta potencia perdida se puede conocer con el ensayo de vacío.

1.8 Ensayo en vacío en un transformador monofásico

En este ensayo las pérdidas en el Cobre son despreciables, aunque por el devanado circule una pequeña intensidad, denominada corriente de vacío, I_0 , por ello, a las pér-

Transformadores

didadas en el hierro se le tiene que añadir las pérdidas en cobre del devanado primario conectado a la red.

Al ser muy pequeña esta corriente de vacío, comparada con la corriente de carga, se puede despreciar. El valor de esta corriente está comprendida entre el 0,6 y el 8% de la intensidad nominal del transformador, la que está inscrita en la chapa de características.

La corriente de vacío depende de la calidad de la chapa utilizada en el circuito magnético, es decir, de las pérdidas en watios por Kg., de tal manera que, en los transformadores antiguos, la corriente de vacío suele estar comprendida entre el 4 y el 14% de la intensidad nominal del transformador. En los transformadores que se usan en la actualidad está comprendida entre el 0,6 y el 8% de la intensidad nominal del transformador.

Se tiene que montar el circuito que indica la figura 151.

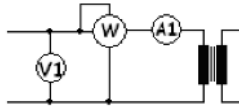


Figura 151. Montaje a realizar para el ensayo de vacío.

La potencia que marca el vatímetro serán las pérdidas totales en el hierro. Observar que el circuito secundario está abierto, no tiene carga conectada.

1.9 Ensayo en vacío en un transformador trifásico

Para realizar el ensayo de vacío se debe de realizar el montaje indicado en la figura 152.

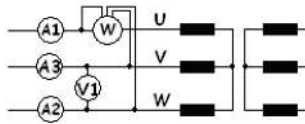


Figura 152. Esquema a montar para realizar el ensayo de vacío de un transformador trifásico.

Las corrientes de vacío serán las indicadas en los amperímetros A1, A2 y A3.

Las pérdidas totales en el hierro son las indicadas en el vatímetro trifásico instalado en el montaje a realizar.

Si se pretendiera conocer las pérdidas en el hierro por fase, se tendrían que conectar tres vatímetros monofásicos, como indica la figura 153.

En este caso, las pérdidas totales en el hierro serían la suma de las indicaciones de los tres vatímetros ($P_{fe} = W_1 + W_2 + W_3$).

Pruebas a realizar en un transformador terminado

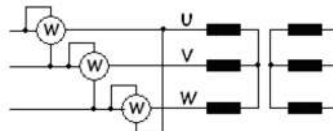


Figura 153. Medida de las pérdidas en el hierro por fase.

1.10 Ensayo en carga

Este ensayo se realiza para poder observar el comportamiento de la relación de transformación del valor y la naturaleza de la carga en el circuito secundario.

Para ello, se realiza el montaje que indican las figuras 154, 155, y 156, se le conecta carga con valores que pueden ir desde el 25%, 50%, 75% y 100% de la potencia nominal del transformador.

Para conseguir estos valores se desplaza el dial de las cargas a un cuarto del final del recorrido de éste (tanto en la carga resistiva, como en la inductiva o capacitiva).

En caso de no disponer de cargas variables resistivas, inductivas o capacitivas, se puede conseguir el mismo efecto con cargas fijas, siempre y cuando se dispongan de tres unidades iguales del mismo valor.

En las tensiones secundarias se suele admitir una diferencia del 1 al 2% con respecto a la que debería dar la relación de transformación.

Anotar todos los valores en la tabla que acompaña a cada figura.

Carga inductiva

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	A ₁	A ₂	Cosφ1	Cosφ2	m(V ₁ /V ₄)	m(V ₂ /V ₅)	m(V ₃ /V ₆)
0													
25%													
50%													
75%													
100%													

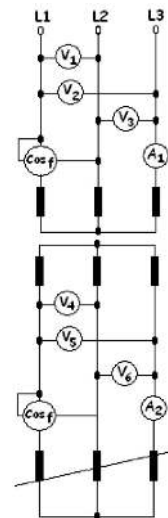


Figura 154. Ensayo de la relación de transformación con carga inductiva.

Transformadores

Carga resistiva

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	A ₁	A ₂	Cosφ1	Cosφ2	m(V ₁ /V ₄)	m(V ₂ /V ₅)	m(V ₃ /V ₆)
0													
25%													
50%													
75%													
100%													

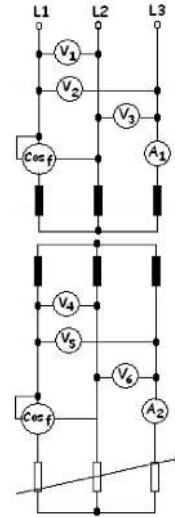


Figura 155. Ensayo de la relación de transformación con carga resistiva.

Carga capacitiva

	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	A ₁	A ₂	Cosφ1	Cosφ2	m(V ₁ /V ₄)	m(V ₂ /V ₅)	m(V ₃ /V ₆)
0													
25%													
50%													
75%													
100%													

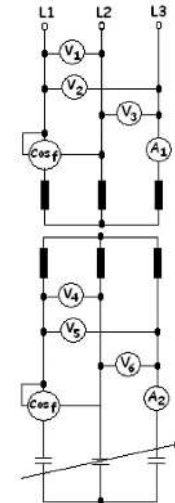


Figura 156. Ensayo de la relación de transformación con carga capacitiva.

1.11 Ensayo de cortocircuito (pérdidas en el cobre)

Los devanados están formados por conductores de cobre y éstos, dependiendo de la cantidad de espiras, tienen una determinada resistencia óhmica (R_1 y R_2 , devanados primario y secundario respectivamente).

Pruebas a realizar en un transformador terminado

Asimismo, al circular intensidad por estos devanados (I_1 e I_2) da lugar a unas pérdidas por el efecto Joule, en el caso del devanado primario será $I_1^2 * R_1$ y en el secundario será $I_2^2 * R_2$.

Las sumas de estas dos pérdidas son las llamadas pérdidas en el cobre del transformador.

$$P_{Cu} = I_1^2 * R_1 + I_2^2 * R_2$$

R_1 ó R_2 son valores constantes para un determinado transformador, puesto que depende de la cantidad de espiras y del diámetro del hilo de cada devanado, (se desprecia la variación de la resistencia en función de la variación de la temperatura).

En el caso de I_1 ó I_2 estos valores no son constantes, pues dependen de la intensidad que circule por la carga, al ser variable el valor de las intensidades, por tanto, las pérdidas en el cobre también lo serán.

1.12 Ensayo de las pérdidas en el cobre en un transformador monofásico

Para conocer las pérdidas en el cobre se utiliza el ensayo de cortocircuito, para ello se deberá montar el circuito indicado en la figura 157.

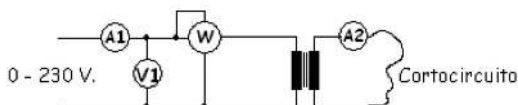


Figura 157. Circuito a realizar para conocer las pérdidas en el cobre.

Con una fuente de tensión alterna, partiendo de 0 voltios, se va aumentando la tensión de alimentación hasta llegar al punto en el que el amperímetro indique la intensidad nominal del transformador.

La tensión alcanzada en el devanado primario se denomina tensión de cortocircuito, V_{cc} .

Por el devanado secundario circulará la I_2 a muy poca tensión.

Algunos autores consideran que la potencia indicada en el vatímetro es la potencia perdida en el cobre, toda vez que la potencia perdida en el hierro es despreciable debido a que la inducción es pequeña porque las tensiones también lo son.

Un buen método, más práctico y real, será descontar del vatímetro las pérdidas en el hierro realizado en el ensayo de vacío y dará las pérdidas reales en el cobre.

$$P_p = P_{Fe} + P_{Cu}$$

$$P_{Cu} = P_p - P_{Fe}$$

En resumen, las pérdidas en el cobre dependen del valor que tome la carga.

1.13 Ensayo de las pérdidas en el cobre en un transformador trifásico

Para medir las pérdidas en el cobre en un transformador trifásico, se tiene que realizar el circuito indicado en la figura 158.

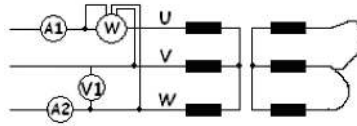


Figura 158. Circuito a realizar para conocer las pérdidas en el cobre en un transformador trifásico.

La mecánica a seguir es la misma que la utilizada en los transformadores monofásicos comentada anteriormente.

1.14 Rendimiento de un transformador

Se llama rendimiento de un transformador a la relación que existe entre la potencia útil (cedida) y la potencia absorbida de la red.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

La diferencia entre las potencias P_1 y P_2 son las pérdidas en el cobre y en el hierro.

$$P_1 - P_2 = P_{pFe} + P_{pCu}$$

$$P_2 = P_1 - (P_{pFe} + P_{pCu})$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - (P_{pFe} + P_{pCu})}{P_1} = 1 - \frac{P_{pFe} + P_{pCu}}{P_1}$$

En general, el rendimiento de los transformadores se aproxima mucho a la unidad, en realidad oscila entre el 0,9 y el 0,98 .

Se puede calcular por varios métodos:

$$\eta = \frac{P_u}{P_u + P_p} = \frac{P_u}{P_u + P_{Fe} + P_{Cu}}$$

$$P_p = P_{Fe} + P_{Cu}$$

η = Rendimiento

P_u = Potencia útil

P_p = Potencia total perdida

P_{Cu} = Potencia perdida en el cobre

P_{Fe} = Potencia perdida en el hierro

El rendimiento de un transformador depende del régimen de carga de éste y del tipo de $\cos \phi$ de la carga, (resistiva, inductiva, capacitiva o una combinación de éstas) (figura 159).

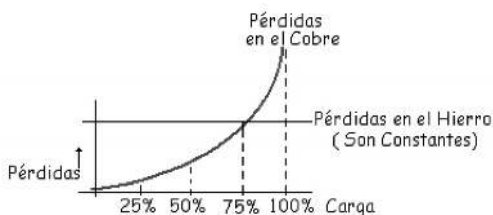


Figura 159. Curva característica del rendimiento de un transformador.

Un sistema práctico consiste en realizar el ensayo del rendimiento en un transformador.

1.15 Ensayo del rendimiento en un transformador monofásico

Aunque existen muchos métodos para conocer el rendimiento de un transformador, el más práctico es realizar el circuito de la figura 160.



$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

Figura 160. Circuito a realizar para conocer el rendimiento de un transformador monofásico.

1.16 Ensayo del rendimiento en un transformador trifásico

El circuito más práctico a realizar para conocer el rendimiento de un transformador trifásico es el indicado en la figura 161.



$$\eta = \frac{W_2}{W_1} \qquad \eta = \frac{W_2}{W_1 + P_{Fe} + P_{Cu}}$$

Figura 161. Circuito a realizar para calcular el rendimiento de un transformador trifásico.

1.17 Calentamiento de un transformador

Como quiera que los transformadores son máquinas estáticas, no disponen de ventilación, y por tanto, el calentamiento es un factor muy importante a tener en cuenta.

Un transformador, aún trabajando en vacío, se calienta.

Los transformadores trabajan, generalmente, en régimen continuo, de tal manera que la mayoría de las veces alcanzan el equilibrio térmico.

Transformadores

Hablamos de equilibrio térmico cuando la temperatura alcanzada en varias partes del transformador no varía en más de 0,5 °C en el periodo de media hora. Es a partir de aquí cuando se debe tener en cuenta la temperatura alcanzada.

La refrigeración de los transformadores de B.T. es, generalmente, por aire no forzado.

La principal causa del calentamiento son las pérdidas en el hierro y en el cobre.

Los transformadores de baja tensión se construyen en varias ejecuciones, las más corrientes son Desnudos. Los devanados están al aire, denominados ejecución IP00, en cajas metálicas con los devanados secos, en cajas metálicas bañados en aceite.

Los aceites aislantes utilizados en la refrigeración de los transformadores son derivados del petróleo.

Las características principales de este tipo de aceites son tener un punto elevado de inflamación y de combustión, tener un bajo punto de congelación, tener elevada rigidez dieléctrica.

Los aislantes utilizados en transformadores son los mismos que los utilizados en la mayoría de las máquinas eléctricas en general, aquellos que cumplen la Norma VDE 0530, y son los siguientes:

Clase O que soportan temperaturas de hasta 90 °C

Clase A que soportan temperaturas de hasta 105 °C

Clase E que soportan temperaturas de hasta 120 °C

Clase B que soportan temperaturas de hasta 130 °C

Clase F que soportan temperaturas de hasta 155 °C

Clase H que soportan temperaturas de hasta 180 °C

Clase C que soportan temperaturas de más de 180 °C

Los más utilizados son el F y el H.

1.18 Medida de la resistencia de los devanados

Hasta hace unos años, se determinaba la resistencia óhmica de los devanados de un transformador con corriente continua y se empleaban distintos métodos: Voltiamperimétrico, puente de Wheatstone, doble de Thomson, comparación, etc.

Hoy, con los aparatos de medidas digitales, que han inundado el mercado electrotécnico y que son muy precisos, no hacen falta los sistemas tradicionales de medida de la resistencia óhmica de los devanados de un transformador, pues los óhmetros digitales sí son de buena calidad, proporcionan la medida de la resistencia directamente en el display con sólo conectar el óhmetro al transformador.

1.19 Medida de la resistencias de los devanados en transformadores monofásicos

Para realizar la resistencia de los devanados en un transformador monofásico se debe realizar con un buen óhmetro y anotar los valores. La figura 162 muestra la conexión del óhmetro en un transformador monofásico.

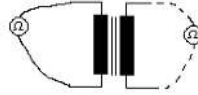


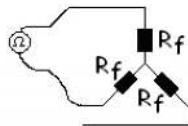
Figura 162. Medida de la resistencia de los dos devanados, primario y secundario, en un transformador monofásico.

1.20 Medida de la resistencias de los devanados en transformadores trifásicos

En un transformador trifásico la medida de la resistencia varía en función de la conexión de sus devanados (figuras 163, 164, y 165).

1.20.1 Medida de la resistencia en transformadores trifásico en conexión Estrella

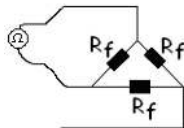
Se tiene que conectar el óhmetro como indica la figura 163. Como quiera que en esta conexión la medida abarca dos devanados, la resistencia de cada devanado será la medida realizada por el óhmetro dividida entre dos.



$$R_f = \frac{R_\Omega}{2}$$

Figura 163. Medida de la resistencia de los devanados de un transformador en conexión Estrella.

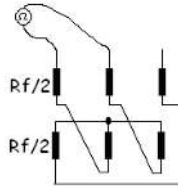
1.20.2 Medida de la resistencia en transformadores trifásico en conexión Triángulo



$$R_f = \frac{3}{2} R_\Omega$$

Figura 164. Medida de la resistencia de los devanados en un transformador trifásico en conexión Triángulo.

1.20.3 Medida de la resistencia en transformadores trifásico en conexión Zig-Zag



$$R_f = \frac{R_{\Omega}}{2}$$

Figura 165. Medida de la resistencia en un transformador trifásico en conexión Zig-Zag.

1.21 Pérdidas por corrientes parásitas

Llamadas también pérdidas por corrientes de Foucault.

Cuando un núcleo es atravesado por un campo magnético variable, se crea en él una f.e.m. inducida muy pequeña.

Esta f.e.m puede conllevar una intensidad de valor elevado siempre que la resistencia del núcleo sea pequeña, esto hace que se originen corrientes parásitas.

Los efectos de estas corrientes se oponen a los que originan la corriente de la bobina.

Una manera de reducir estas pérdidas es fraccionar el núcleo utilizando pequeñas chapas aisladas entre sí formando un empilado.

El aislante con el que se impregna a las chapas suele ser barniz, aunque bien puede valer el mismo óxido que se crea en ellas al cabo de cierto tiempo.

$$P_f = \frac{0,001645 * E^2 * f^2 * \beta^2 * V}{10.000.000}$$

Para conocer el valor de las corrientes de Foucault se utiliza la siguiente fórmula:

Pf = Pérdidas por Corriente de Foucault

E = Espesor de la chapa en mm.

f = Frecuencia en Hz

β = Inducción del Núcleo en Gauss

V = Volumen del Núcleo en cm³

Estos valores se tienen que tomar como aproximados, toda vez que es muy difícil afinar a un valor real.

1.22 Número de espiras del primario

$$N_1 = \frac{V_1 * 10^8}{4,44 * f * s * \beta}$$

N_1 = N° de espiras del primario

V_1 = Tensión del primario

f = Frecuencia de la red, 50 Hz

s = Sección en cm^2

B = Inducción magnética

1.23 Número de espiras del secundario

$$N_2 = \frac{N_1 * V_2}{V_1}$$

1.24 Corriente activa en vacío

$$I_a = \frac{P_{Fe}}{V_1} = A.$$

I_a = Corriente activa en Amperios

P_{Fe} = Pérdidas en el hierro (el valor es el que indique el watímetro en vatios)

V_1 = Tensión primaria en vacío

1.25 Corriente magnetizante

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_a^2} = A.$$

Identificación de los devanados de un transformador trifásico

Para identificar los devanados de un transformador trifásico, existen varias posibilidades:

Que el transformador sea IP00, en este caso los devanados están visibles, y por tanto, se puede ver a qué bornes se dirigen los conductores de cada devanado quedando identificados los dos devanados, primario y secundario.

El tipo de conexión de estos devanados se puede conocer siguiendo los puentes que existen entre bobinas, (puentes de conexión estrella o triángulo).

Asimismo, se puede distinguir que devanado es el secundario, que será el que tenga el hilo de mayor sección.

Ahora bien, si el transformador está encubado, en una caja metálica, y sólo tiene accesibles los bornes exteriores, se puede conocer cuáles de ellos pertenecen a un devanado y cuáles al otro.

Un ejemplo ilustrará mejor la identificación de los devanados.

Se pretende identificar transformadores de los que sólo tiene visibles los terminales, éstos pueden ser 6, 7 u 8 (figura 166).

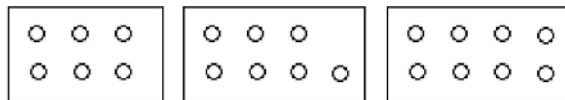


Figura 166. Posibles terminales en un transformador.

Si el transformador dispone de 6 terminales los dos devanados quedan perfectamente definidos, los terminales que estén a un lado serán los que pertenecen a un devanado y los que estén al otro pertenecen al otro devanado (figura 167).

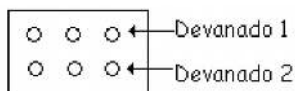


Figura 167. Transformador con seis terminales, tres pertenecen a un devanado y los tres pertenecen al otro devanado.

Transformadores

Las placas de bornes, generalmente, son como la indicada en la figura 166, porque lo que no es muy normal es encontrarse con un transformador con los 6 terminales dispuestos correlativamente, aunque puede existir, pero se repite que no es normal (figura 168).

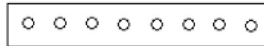


Figura 168. Disposición de los terminales de un transformador consecutivamente, esto no es muy corriente.

En este caso, con un óhmetro se comprobarían los terminales que dan continuidad entre sí y quedarían identificados los dos devanados.

Si el transformador a identificar dispone de 7 terminales, claramente se puede decir que uno de los devanados, el que tiene 4 terminales, está conectado en estrella y el neutro está visible en los terminales exteriores (figura 169).

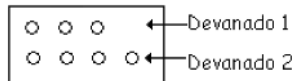


Figura 169. Transformador con siete bornas en su placa.

En el otro devanado, con tres terminales, la conexión será triángulo o estrella con neutro conectado en el interior.

Si el transformador dispone de 8 terminales, indica que los dos devanados tienen neutro visible en el exterior, evidentemente su conexión será estrella-estrella (figura 170).

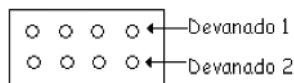


Figura 170. Transformador con ocho bornas en su placa.

Ya se tienen perfectamente identificados los dos devanados, ¿pero cuál es el primario y cuál el secundario?

1.1 Identificación del neutro

Si uno de los devanados tiene 4 bornes y el otro 3, se puede asegurar que el que tiene 4 bornes es un devanado con conexión en estrella con neutro.

¿Pero cuál de los terminales es el neutro?

Identificación del neutro en un transformador con 7 bornes

Si se ven los hilos que llegan a los bornes de conexión, se observará que a tres bornes le llega un solo hilo y que a otro borne le llegan tres hilos, esta será el borne del neutro que aglutina un hilo de cada bobina del devanado trifásico.

Pero en el caso de que no se puedan ver los hilos que le llegan a los bornes de conexión exteriores se procede de la siguiente manera:

Identificación de los devanados de un transformador trifásico

Por el devanado de tres bornes se introduce una pequeña tensión trifásica, máximo unos 30 voltios.

Se conecta un voltímetro en el devanado de 4 bornes y se miden las distintas tensiones entre los cuatro bornes.

El borne entre el que se obtenga la tensión menor será el borne del neutro, el valor de la tensión de este borne será 1,73 veces menor que las otras tres tensiones obtenidas, (tensión simple) (figura 171).

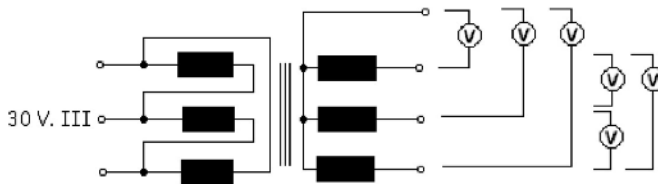


Figura 171. Conexión de voltímetro para identificar la borna del neutro.

Identificación del neutro en un transformador con 8 bornes

Si el transformador tiene 8 bornes, es decir, los dos devanados conectados en estrella con neutro accesible en el exterior, se tiene que proceder de la siguiente manera para identificar los bornes correspondientes a los dos neutros, uno de cada devanado:

Con un Óhmetro, se mide la resistencia de los distintos bornes de un devanado; el borne que arroje el valor más pequeño en Ohmios será el borne que pertenece al neutro.

El mismo sistema se empleará en el otro devanado para conocer cuál es el borne del neutro (figura 172).

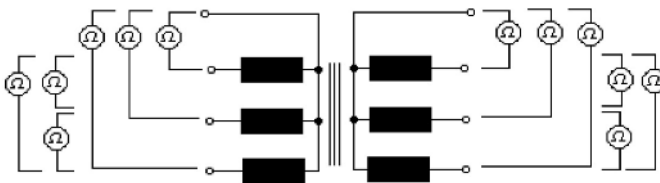


Figura 172. Identificación del borne del neutro en los dos devanados.

Antes se identificaban los bornes del neutro empleando un voltímetro y un amperímetro en una fuente de tensión continua, hoy no es necesario utilizar estos sistemas obsoletos porque los Óhmetros actuales son muy precisos en cuanto a medidas se refieren.

1.2 Identificación de los devanados de alta tensión y baja tensión

Ya se tienen identificados los dos devanados, pero, ¿cuál es el devanado de alta tensión y cuál es el de baja tensión?

Como norma general se denomina devanado primario al que se conecta a la red, independientemente de que sea el de alta o baja tensión.

En un transformador elevador el devanado de alta tensión sería el devanado secundario.

Por ello, se va a identificar el devanado de alta tensión del de baja tensión.

Con una inspección visual se puede observar que unos terminales conectados a los bornes, generalmente, unos son más gruesos que otros, los hilos más gruesos pertenecen al devanado de baja tensión y los hilos de menor diámetro pertenecen al devanado de mayor tensión.

Una vez identificados los terminales de los dos devanados, se aplica tensión a uno cualquiera de ellos, la tensión trifásica a aplicar no debe de exceder de 30 V aproximadamente.

Con un voltímetro se mide la tensión en el otro devanado y se observa si es superior o inferior a los 30 V de alimentación.

Si la tensión medida en el voltímetro es inferior a 30 V el devanado de alta tensión será el que se ha conectado la tensión de 30 V, en caso contrario será aquel al que se le ha conectado el voltímetro.

1.3 Identificación de los terminales homólogos

Para conocer los terminales homólogos de los devanados primario y secundario, el procedimiento a seguir será el mismo, cualesquiera que sean las combinaciones de conexiones entre los devanados primario y secundario.

Se van a identificar terminales homólogos en las conexiones clásicas;

- ❖ Estrella-Estrella
- ❖ Triángulo-Triángulo
- ❖ Estrella-Triángulo
- ❖ Triángulo-Estrella

En el resto de conexiones se procederá con la misma mecánica que en estas.

Transformador en conexión Estrella-Estrella

Se conecta a una red monofásica el neutro y uno cualquiera de los terminales de la estrella, a este terminal se le denominará arbitrariamente "A". Figura 173.

Identificación de los devanados de un transformador trifásico

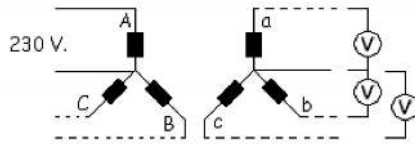


Figura 173. Conexión para conocer terminales homólogos en un transformador con conexión Estrella-Estrella.

Conectando un volímetro entre el neutro y las distintas fases se va comprobando cuál es el terminal que proporciona la tensión mayor; ése será el terminal homólogo y se denominará con la letra "a".

Ya se conoce el terminal homólogo de "A" que es "a".

Ahora se conecta el neutro a otro terminal de la estrella de los dos que quedan y se le denomina "B", se le aplica una tensión monofásica.

Conectando un volímetro en el secundario entre el neutro y las dos fases que quedan por identificar se comprueba cuál de ellas es la que proporciona más tensión, siendo ese borne el terminal homólogo de "B" que se denominará "b".

Es evidente que el otro terminal al que se denominará "c" será el homólogo de "C", no obstante, por seguridad, se comprueba también con el mismo procedimiento.

En el resto de las conexiones, el procedimiento a seguir para identificar los terminales homólogos es el mismo que el citado anteriormente. Figuras 174, 175, y 176.

Transformador en conexión Triángulo-Triángulo

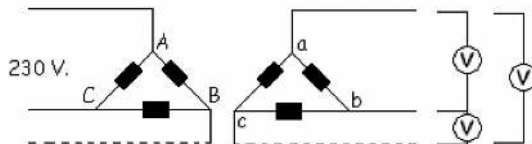


Figura 174. Identificación de los terminales homólogos en un transformador en conexión Triángulo-Triángulo.

Transformador en conexión Estrella-Triángulo

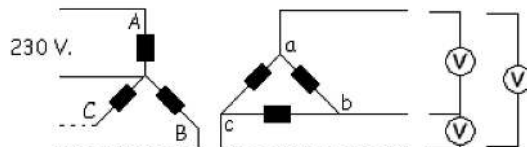


Figura 175. Identificación de los terminales homólogos en un transformador en conexión Estrella-Triángulo.

Transformadores

Transformador en conexión Triángulo-Estrella

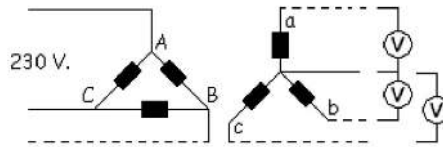


Figura 176. Identificación de los terminales homólogos en un transformador en conexión Triángulo-Estrella.

Capítulo 30

Protecciones para transformadores

Como se ha comentado en el capítulo de *Ensayo de calentamiento*, un transformador se calienta al trabajar, ahora bien, la temperatura se puede disparar hasta términos que puedan dañar los devanados o aislantes y sea la causa de averías graves.

Para detectar la máxima temperatura que puede soportar el transformador sin peligro, se emplean protectores térmicos.

1. Protección de transformadores mediante sondas térmicas

Se llaman sondas térmicas a aquellas sondas que actúan en función de la temperatura.

Existen dos grandes grupos de sondas térmicas para el empleo en la protección de los devanados de transformadores:

- * Protector térmico (Klison)
- * Termistor

El principio de funcionamiento de estos dos grupos es distinto, aunque tienen en común actuar ante elevadas temperaturas para proteger los devanados de una máquina eléctrica, pero también se utiliza con mucha frecuencia en protección de motores y alternadores.

2. Protector térmico

Es el encargado de desconectar el transformador cuando la temperatura del transformador sobrepasa los 150 °C .

El protector térmico, llamado en el argot eléctrico, Klison, es un dispositivo de protección capaz de accionar un contacto, instalado en el interior del protector, en función de la alta temperatura que toma un determinado devanado, desconectando su circuito de la red a la que está conectado, consiguiendo con ello el fin propuesto: proteger el devanado.

Transformadores

En este capítulo no se hace mención a los protectores térmicos empleados en cargadores de baterías con reenganche automático y manual, ni a los instalados en equipos frigoríficos domésticos e industriales.

Generalmente los protectores térmicos utilizados en la protección de máquinas eléctricas son de reenganche automático, es decir, una vez que han accionado debido a la alta temperatura y desconectado el circuito, desconexión de la red, el devanado de la máquina se va enfriando y al llegar a una determinada temperatura, según para la que esté diseñado el Klison utilizado, vuelve a cerrar sus contactos volviendo a funcionar la máquina.

Se montan en el interior de los devanados, estableciendo un contacto directo entre el Klison y los hilos del devanado, para que detecten el aumento anormal de temperatura de manera instantánea y éste corte automáticamente la alimentación para salvaguardar su integridad física y de esta manera evitar que se queme.

El símbolo utilizado en los esquemas es el representado en la figura 177.



Figura 177. Símbolo eléctrico utilizado, en los esquemas, para representar un protector térmico.

En su interior lleva un contacto que a determinada temperatura se abre, interrumpiendo de esta manera el funcionamiento de la máquina.

Ahora bien, el protector térmico descrito, no sólo actúa por temperatura, sino que también lo hace por exceso de intensidad, al aumentar ésta provoca que el elemento calefactor, instalado en el interior de la cápsula, desprenda calor, lo que lleva consigo un aumento de temperatura y por tanto la apertura del contacto, el aspecto físico se representa en la figura 178.

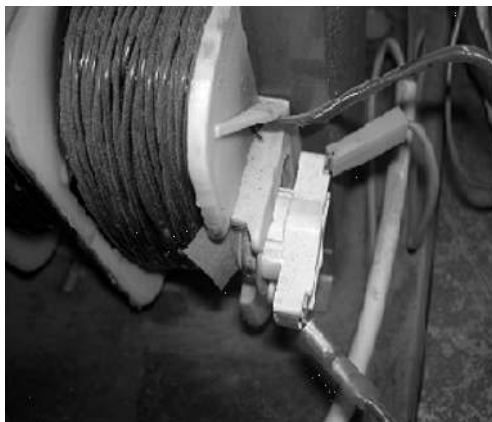


Figura 178. Aspecto físico que presentan los protectores térmicos.

La temperatura a la que los contactos realizan la apertura es variable, dependiendo del modelo utilizado, es decir, depende de los aislantes utilizados en el bobinado, aunque es fácil encontrar protectores térmicos cuya apertura, con un margen de tolerancia de un $\pm 5\%$, sea:

$$75\text{ °C} - 90\text{ °C} - 120\text{ °C} - 135\text{ °C} - 150\text{ °C}$$

Estos protectores se instalan como complemento de otras protecciones y no para reemplazarlas, como son relés térmicos, protectores electrónicos de transformadores, relés de control contra fallo de fase, etc.

En el caso de los transformadores utilizados para la soldadura al arco, transformadores más susceptibles de tomar temperaturas peligrosas, también se debe de instalar en contacto directo con el devanado y su conexión se debe de realizar en serie con el potenciómetro de control de la intensidad de soldadura si la regulación de la intensidad es electrónica, pero si es por conmutador de levas se tiene que conectar en serie con el devanado primario.

Como quiera que es un contacto que abre a una determinada temperatura, dependiendo del modelo, interrumpirá el paso de corriente, quedando el circuito abierto, por lo que el transformador no recibirá tensión hasta que no se enfríe y vuelva a cerrar el contacto del protector térmico.

3. Termistor o termistancia

Se llama termistor al dispositivo capaz de cambiar bruscamente de resistencia ante un aumento de temperatura.

Los termistores son en realidad resistencias PTC (Coeficiente de Temperatura Positivo), resistencias que aumentan su valor óhmico cuando aumenta su temperatura.

No llevan interiormente contacto eléctrico alguno, por lo que precisan de un elemento electrónico, llamado relé de disparo, que en función del valor de la resistencia del termistor actúe, conectando o desconectando el relé, pudiendo utilizar el contacto de dicho relé para desconectar el transformador máquina.

Las resistencias PTC tienen la ventaja de que al ser de volumen muy pequeño, siguen con extraordinaria rapidez las variaciones de temperatura que experimentan los devanados de la máquina donde está instalada.

El símbolo es el indicado en la figura 179, y en la figura 180 se muestra el aspecto físico de un termistor.



Figura 179. Símbolo utilizado en los esquemas eléctricos de un termistor.



Figura 180. Aspecto físico de un termistor.

El valor de respuesta de la sonda PTC o termistancia a utilizar puede variar en función de la clase de aislamiento del transformador, aunque valores normalizados son:

Temperatura de respuesta en °C	Color de los conductores	Valor de la resistencia a 25 ° C
60	Blanco-Gris	< 100
70	Blanco-Marrón	< 100
80	Blanco-Blanco	< 100
90	Verde-Verde	< 100
100	Rojo-Rojo	< 100
110	Marrón-Marrón	< 100
120	Gris-Gris	< 100
130	Azul-Azul	< 100
140	Blanco-Azul	< 100
145	Blanco-Negro	< 100
150	Negro-Negro	< 100
155	Azul-Negro	< 100
160	Azul-Rojo	< 100
170	Blanco-Verde	< 100
180	Blanco-Rojo	< 100

Al instalar sondas, generalmente tres, una por cada fase, en contacto con los devanados a proteger y conectadas éstas al circuito electrónico, (relé de disparo), queda preparado todo el sistema para proteger el transformador (figura 181).

Recordar que las termistancias están frías, o dicho de otro modo, a temperatura ambiente, por lo que se están comportando como un conductor.

Al elevarse la temperatura en el devanado de la máquina, en una o en las tres fases, la resistencia de una o de las tres termistancias aumenta tanto que se puede considerar no conductora, conectando el relé de salida E1, desconectando la máquina por quedarse desexcitado el contactor K1.

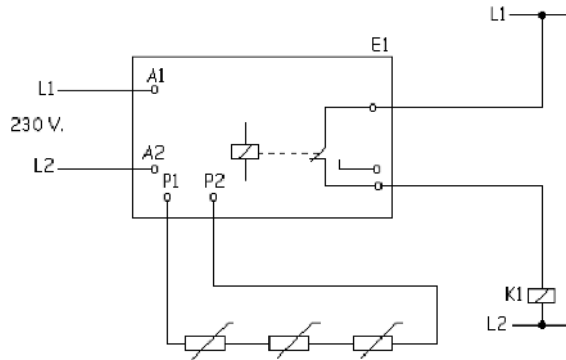


Figura 181. Conexiones de relé de disparo en una máquina eléctrica.

Cuando la temperatura descienda otra vez a un valor asequible para la PTC, el relé volverá al estado de reposo.

Estos relés detectores de temperatura se fabrican con reenganche manual o automático y para una o varias sondas de temperatura.

En la figura 182 se muestra el esquema de conexiones de un relé de temperatura.

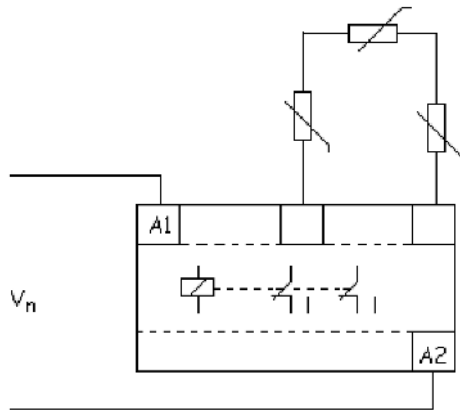


Figura 182. Esquema de conexiones de un relé detector de temperatura.

Capítulo 31

Arrancador suave para transformador

El transformador, al estar compuesto por bobinas, se produce grandes picos de corrientes en el arranque.

Para limitar la intensidad de arranque, se pueden utilizar los llamados arrancadores suaves de transformadores que son circuitos similares a los arrancadores suaves de motores, su principio de funcionamiento es el mismo.

Los arrancadores suaves de transformadores son relés electrónicos que incorporan un arranque suave eliminando los picos de intensidad durante la conexión a red de un transformador.

Existen varios sistemas para arrancar de manera suave los transformadores monofásicos:

- ❖ Con tiristores internos y un contactor o relé bypass.
- ❖ Combinación con tiristores externos, este sistema se utiliza para transformadores con grandes intensidades en el devanado primario.
- ❖ Arrancador manual.

1. Arrancador con tiristores internos y un contactor o relé bypass

A este circuito se le conecta la tensión de red como entrada y como salida el circuito primario del transformador (figura 183).

Asimismo, dispone de una entrada de activación remota que se conecta, generalmente, a una fuente de tensión continua.

Estos equipos controlan la tensión de red, y en el supuesto de que sobrepasen los valores límites de ésta, tanto por baja como por exceso de tensión, corta de manera instantánea la conexión al objeto de proteger el transformador.

Transformadores

Cuando el transformador ha arrancado y está a su tensión nominal, el circuito de control es puenteado por un relé o contactor *bypass*. Esto se realiza con el objeto de ahorrar energía y de que no trabajen los tiristores innecesariamente una vez que el transformador está trabajando en su régimen nominal, recibiendo en sus devanados toda la tensión de la red.

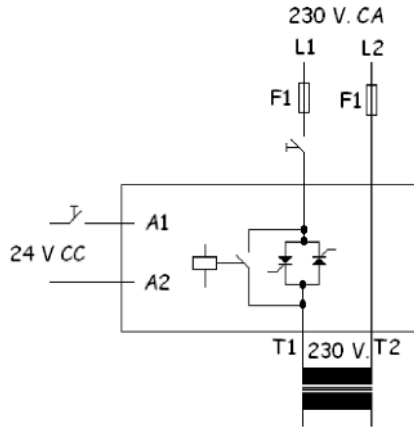


Figura 183. Conexiones de un arrancador suave de transformador con tiristores internos y circuito *bypass*.

Los fusibles a utilizar deben de ser rápidos con el amperaje adecuado, en su defecto, se pueden utilizar Interruptores Magnetotérmicos con curvas tipo B.

Supuesta una tensión menor de la nominal en la red, un diodo led de color rojo se iluminará, de manera intermitente, a una frecuencia de 1 Hz.

En caso de sobretensión, el mismo diodo led, comentado anteriormente, se iluminará a una frecuencia de 4 Hz (figura 184).



Figura 184. Arrancador suave de transformador. (Cortesía Carlo Gavazzi).

En el frontal del equipo se puede seleccionar el tipo de núcleo magnético del transformador, E I, U I, Toroidal, etc.

La utilización del equipo es independiente de la tensión que proporcione el devanado secundario.

El arranque se puede efectuar mediante un interruptor instalado en el hilo de tensión de red o mediante activación de entrada remota.

Es el propio usuario quien decide, en función de sus necesidades, el tipo de arranque que prefiere.

Cuando existe una anomalía permite, mediante un dip, decidir si se activa automáticamente el equipo tras la anomalía o, por el contrario, se tiene que desactivar el equipo y volverlo a activar. Esto se realiza como una medida de seguridad.

La anomalía puede ser de baja tensión, sobretensión u otra causa.

Como quiera que el equipo está compuesto por tiristores no existe separación galvánica entre la entrada de tensión de red (L1 y L2) y la salida (T1 y T2), por lo que se pueden producir descargas eléctricas si se tocan algunos de los terminales.

Incorpora en el frontal un led para comprobar el correcto funcionamiento y si existe alguna alarma.

2. Arrancador con tiristores externos

Para transformadores de alta intensidad en el devanado primario se utilizan los arrancadores suaves de transformadores, disponen de un módulo de tiristores exteriores, es decir, fuera del módulo de control.

Módulo de control

El módulo de control contiene el circuito de disparo de los tiristores, la alimentación se efectúa a través de la red, 230 V C.A.

Precisa de entrada de activación a través de una tensión continua de 24 V C.C.

De este módulo salen las señales de disparo de los tiristores por los bornes señalizados como G1 y G2 (Gate 1 y Gate 2), que serán los que se conecten a las puertas de los tiristores del módulo de potencia (figura 185).

Módulo de tiristores

Este módulo contiene los tiristores y, por tanto, es el llamado circuito de potencia.

Está montado sobre un disipador acorde con la intensidad que va a circular por los tiristores.

Este módulo no precisa de circuito *bypass*.

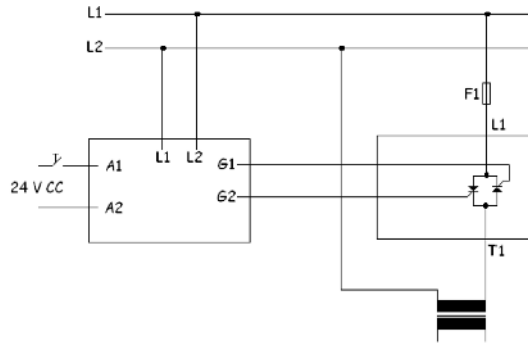


Figura 185. Conexiones de un arrancador suave de transformadores con módulo de tiristores exteriores.

3. Arrancador suave de transformador manual

Con un clásico regulador de tensión, formado por un circuito a triac, de la potencia adecuada, se puede arrancar de manera suave un transformador monofásico.

El circuito se conecta a tensión, generalmente a 230 V y en la salida del circuito regulador de tensión se obtiene una tensión variable entre 0 y 230 V regulados en función de la posición del potenciómetro que incorpora el circuito (figura 186).

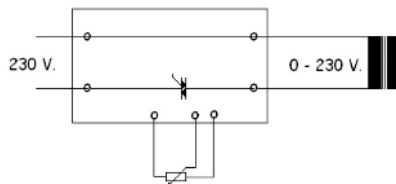


Figura 186. Circuito de tensión utilizado como arrancador suave de transformadores.

En realidad estos circuitos no proporcionan, la primera vez que se conectan, una salida de 1, 2, 3, ... voltios, y así sucesivamente. Al desplazar el potenciómetro, en realidad, comienza a proporcionar tensión a partir de 90 voltios aproximadamente, a partir de este punto comienza a aumentar la tensión proporcionalmente al desplazamiento del potenciómetro.

Una vez alcanzado este punto, si el potenciómetro se desplaza hacia el punto 0, el circuito sí puede proporcionar tensiones menores de 90 voltios, puede llegar incluso a 3 ó 4 voltios y volver a aumentar o disminuir la tensión desde 0 hasta 230 voltios o viceversa. Pero la primera vez que se conecta a tensión comienza a proporcionar tensión a partir de los 90 voltios.

Son circuitos, que aunque recomiendan no conectar a su salida cargas inductivas, proporcionan muy buenos resultados al conectar como carga el primario de un transformador.

Tipos de transformadores

Aparte de los transformadores comentados anteriormente, existen muchos más tipos. A continuación se comentarán someramente algunos de estos tipos.

El cálculo de estos tipos de transformadores se realiza con los mismos métodos utilizados anteriormente en cada capítulo.

1.1 Transformadores para piscinas

Los transformadores para uso en piscinas se utilizan para los focos de alumbrado instalados en el interior de ésta, generalmente son de 12 voltios, pueden existir otras tensiones pero no es muy normal.

El agua es un medio muy conductor y ante el peligro que representa para las personas que utilizan la piscina se tiene que disponer del máximo de seguridad ante posibles anomalías de derivaciones a masa de los devanados del transformador.

En estos transformadores, entre el devanado primario y el secundario se instala una pantalla protectora conexas a masa, denominada pantalla electrostática, de tal manera que ante una posible derivación, tanto del devanado primario como del devanado secundario, se derivará a través de esta pantalla a tierra evitando que circule la electricidad por el agua de la piscina.

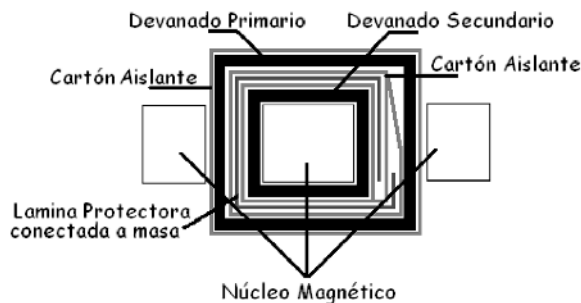


Figura 187. Pantalla electrostática formada por una lámina de cobre.

Transformadores

La pantalla suele ser una lámina pequeña de cobre cuyo extremo tiene soldado un cable que se conecta a la chapa del transformador, esta lámina no puede tocar un extremo de ella con el otro porque sería como cortocircuitar una espira y el transformador se calentaría mucho (figura 187).

Si no se dispone de una lámina de cobre, se puede bobinar un hilo de cobre sin esmalte dejando libre el principio y conectando el final del hilo a la chapa del transformador (figura 188).

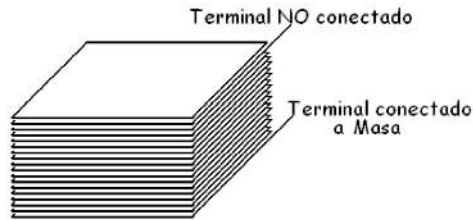


Figura 188. Pantalla electrostática, formada por un hilo de cobre pelado.

La mayoría de estos transformadores se fabrican encapsulados en resina Epoxi, aunque también los hay en ejecución IP-00.

Este tipo de transformadores se fabrican bajo las Normas UNE 20339.

Algunos montan dos pantallas electrostáticas, siendo denominados transformadores con aislamiento extra.

Para calcular un transformador de este tipo se utiliza el mismo método que para un transformador monofásico, basta tener en cuenta el espacio que ocupa la pantalla electrostática y el cartón aislante que la rodea.

1.2 Transformadores para usos clínicos

Las normas que rigen la fabricación de este tipo de transformador son las Normas UNE 20615.

Se fabrican con ejecución IP-00. Pueden montarse en el interior de cajas de protección denominados IP-54, también se pueden encontrar encapsulados, IP-20.

En cualquier caso llevan entre los devanados primario y secundario la pantalla electrostática.

Una característica especial de estos transformadores es que la corriente de fuga, del secundario a tierra, es menor de 0,5 mA.

Para calcular un transformador de este tipo se debe de utilizar la misma mecánica que la seguida en el cálculo de un transformador monofásico, y tener en cuenta el espacio que precisa la lámina de cobre y el cartón aislante que la rodea.

1.3 Transformadores para ignición de calderas

Este tipo de transformadores se utiliza en las calderas para provocar, mediante el arco que se crea en los electrodos merced a la alta tensión que proporciona el secundario del transformador, la inflamación del gas o gasoil del quemador.

Desde el punto de vista eléctrico, este transformador es similar al resto de los transformadores, la única diferencia estriba en que el secundario proporciona mucha más tensión que el resto de transformadores.

La tensión primaria suele ser de 230V y la tensión secundaria oscila entre los 4 .000 y los 8 .000 V, depende del tipo de transformador. La corriente en el devanado secundario es muy pequeña comprendida entre 15 y 30 mA.

La alimentación se realiza mediante dos conductores más uno de tierra.

Se pueden fabricar con una o dos salidas de alta tensión.

Este tipo de transformador no está preparado para servicio continuo, sólo debe de funcionar durante el arranque, unos minutos, hasta que la llama aparece, momento en que se desconecta el transformador.

La conexión desde el transformador a los electrodos se efectúa mediante uno o dos cables con conectores enchufables en éste (figuras 189 y 190).

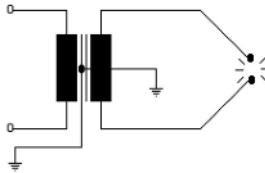


Figura 189. Transformador de ignición con secundario con dos salidas.

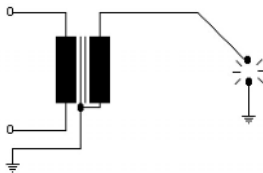


Figura 190. Transformador de ignición con una sola salida.

El cálculo es del mismo tipo que los utilizados hasta ahora. Se debe tener en cuenta en el devanado secundario, al ser de alta tensión, en cada capa de hilo poner un cartón aislante, muy fino, para evitar cortocircuitos entre espiras de distintas capas.

1.4 Transformadores toroidales

Se denominan transformadores toroidales a aquellos transformadores cuyo núcleo magnético tiene forma toroidal.

Transformadores

Al tener el núcleo esta forma ocupa menos espacio y, por tanto, tiene menos peso.

La figura 191 muestra un transformador toroidal quemado preparado para su rebobinado.

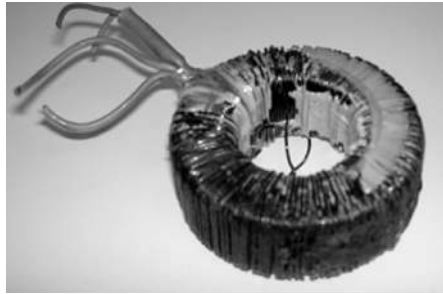


Figura 191. Transformador Toroidal quemado.

Una de las ventajas es que el campo magnético no se dispersa tanto al ser el núcleo redondo, también tiene menor ruido al no tener entrehierro y por tanto, no vibran las chapas magnéticas.

El rendimiento es mayor que en los transformadores clásicos.

El cálculo se tiene que efectuar por el mismo procedimiento que los utilizados hasta ahora.

1.5 Transformador de compoundaje

Son transformadores que actúan como reguladores automáticos de la tensión de salida, generalmente en los alternadores.

En realidad son transformadores de intensidad, transfieren más o menos intensidad dependiendo de la que recorre el devanado primario.

Algunos alternadores utilizan como transformador de compoundaje transformadores de intensidad convencionales, de los utilizados en medidas eléctricas.

Su uso está dedicado, principalmente, a los alternadores de pequeña, mediana y gran potencia.

Consta de los mismos elementos, el símbolo y el principio de funcionamiento es igual que un transformador convencional.

La chapa magnética de estos transformadores está a solape, toda vez que modificando la distancia del entrehierro, espacio que existe entre las chapas en forma de E y las chapas en forma de I, se modifica la tensión de salida del alternador (figura 192).

Cuando se tenga que rebobinar un transformador de compoundaje, es muy importante marcar todos los terminales y respetar el sentido de los distintos devanados con

objeto de que al instalarlo en el alternador no se tenga la desagradable sorpresa de observar que éste no responde ante las demandas de carga.



Figura 192. Modificando la distancia entre las dos chapas E e I en el transformador de compoundaje, se modifica la salida de tensión del alternador.

Como complemento y al objeto de entender bien el funcionamiento de los transformadores de compoundaje, la figura 193 muestra el esquema de un alternador con transformador de compoundaje y a continuación se comenta el funcionamiento de éste.

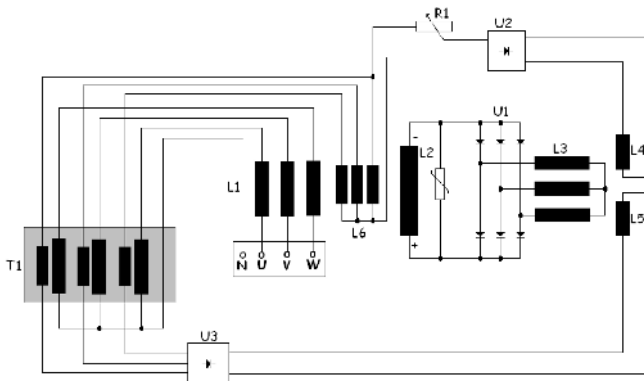


Figura 193. Esquema de alternador trifásico con transformador de compoundaje.

Funcionamiento

El primario del transformador de compoundaje (T1) está conectado en serie con el devanado del alternador principal (L1), conectado en estrella para formar el neutro, que sale a la placa de bornes.

El secundario del transformador de compoundaje está conectado en serie con el devanado auxiliar L6, se tiene que recordar que este devanado genera una tensión constante, con el rectificador U3 y con el devanado de compoundaje L5.

Por otra parte, el devanado auxiliar L6 está conectado con el rectificador U2 a través de la resistencia R1, que ajusta la tensión de salida del alternador para alimentar el devanado de excitación L4.

Transformadores

Al conectar una carga sin gran punta de arranque, la pequeña caída de tensión del alternador es compensada mediante el devanado de excitación L4.

Cuando se conecta una carga de potencia considerable, por el devanado del alternador principal L1, por el primario del transformador de compoundaje T7 circula la misma intensidad.

El devanado auxiliar genera una tensión constante, y en el secundario del transformador de compoundaje se induce una corriente intensa. Estas dos corrientes –la generada y la inducida– son rectificadas por U3, cuya salida es aplicada al devanado excitatriz de compoundaje L5, reforzando la excitación y provocando con ello un aumento de tensión en la placa de bornes, que compensa la caída de tensión producida.

En vacío no circula corriente por L1 ni por T7 y, por tanto, tampoco circula corriente por L5 y la tensión generada en el alternador principal en estas circunstancias sólo es producto del devanado de excitación L4 que, a través de U2 y R1, se alimenta del devanado auxiliar L6.

1.6 Transformadores para convertidores C.C. – C.A.

Se denomina convertidor al equipo realizado con componentes estáticos que convierten la energía eléctrica de c.c. en energía eléctrica de c.a.

En los últimos años, el incremento producido en los convertidores c.c. – c.a. ha sido tan grande que se han desarrollado una serie de circuitos cuya principal divisa es la seguridad en su funcionamiento y un elevado rendimiento.

El término más correcto es inversor, pero debido al uso, a nivel industrial, como convertidor de frecuencia, se les conoce comúnmente como convertidores.

Las aplicaciones más generales son como convertidores de frecuencia, conversión de una red de c.c. procedente de instalaciones fotovoltaicas en c.a. a valores normalizados, grupos de continuidad, etc.

La ausencia de órganos en movimiento, la seguridad y el rendimiento hacen que estos equipos estén en la primera línea de consumo a nivel industrial.

De entre todos los elementos que componen estos equipos sobresale el transformador.

El transformador, en los convertidores permite poder elevar las tensiones de 12 V – 24 V c.c. a valores normalizados, a nivel industrial, de c.a. (230 V -400 V), y obtener éstas y las potencias que los semiconductores no permiten.

La principal características de estos transformadores es que los devanados están realizados a dos hilos, esto es, se bobinan dos devanados a la vez.

La figura 194 muestra los devanados de un transformador utilizado en un equipo convertidor, en él se puede observar como los devanados están realizados a dos hilos, aunque cada uno es independiente del otro.

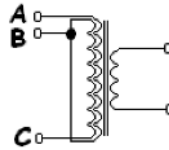


Figura 194. Transformador con dos devanados independientes bobinado a dos hilos.

En la figura 195 se dibuja el símbolo del mismo transformador. Observar los puntos negros en la entrada de los dos devanados que indican el principio de las dos bobinas. Esto es muy importante tenerlo en cuenta a la hora de conectar el transformador al circuito electrónico, porque de otro modo el convertidor no funcionará correctamente.

Esta indicación, que en el esquema es un mero punto negro, de que no haría falta señalar las entradas de los devanados porque se observan claramente, en la realidad sí es precisa, porque una vez que los hilos salen del transformador es difícil conocer cuáles son las entradas y salidas de los devanados. Por ello al iniciar el bobinado conviene hacer una marca en los hilos de tal manera que una vez terminado el transformador queden perfectamente identificados todos sus terminales y no haya sorpresas desagradables.

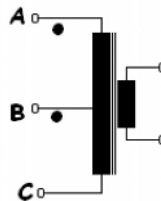


Figura 195. Símbolo de un transformador utilizado en convertidores.
Los puntos negros señalizan las entradas de los devanados.

Se tiene que ir muy en cuenta antes de bobinar las bobinas que componen el transformador, marcar los terminales de las entradas para que posteriormente no se puedan equivocar y se conecte erróneamente, lo que llevaría a que el convertidor no funcione correctamente.

Supuesto el caso de que se hubiesen marcado las dos entradas del transformador y el convertidor no funcionara, se tienen que invertir las conexiones de la base de los dos transistores.

Por lo demás, los componentes del transformador, el tratamiento a nivel de cálculo, etc. son los mismos que los explicados en los transformadores, tanto monofásicos como trifásicos, de tal manera que exteriormente no se distingue un transformador utilizado en convertidores de otro utilizado en otra aplicación.

En la figura 196 se representa un circuito básico, que aunque no son los utilizados en la actualidad sí permite hacer una idea de las distintas conexiones del transformador

Transformadores

de un convertidor, entrada 12 V C.C. y salida 240 V C.A., en él se puede observar como los distintos devanados del transformador indican la entrada del mismo.

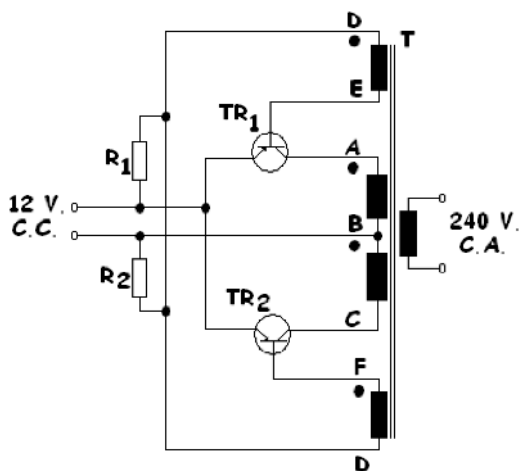


Figura 196. Esquema de un convertidor, entrada 12V C.C. y salida 240 V C.A.

Proceso del bobinado de un transformador o autotransformador

El texto que sigue sólo es una pequeña orientación de cómo se tiene que realizar el proceso del bobinado de un transformador una vez calculado, y es sólo una orientación porque se entiende que se conocen los trabajos propios de un taller de reparaciones de transformadores. No obstante, siguiendo estas pequeñas instrucciones, las figuras y un poco de sentido común se puede realizar sin problemas la construcción de un transformador una vez calculados todos sus datos.

Una vez calculado el núcleo magnético se decide la chapa a utilizar y, como la medida de la rama central vincula la medida del empilado, se obtienen las dos medidas del núcleo magnético.

Conocidas las medidas del núcleo magnético se localiza un carrete de plástico que se adapte a las medidas de la chapa magnética y se construye un núcleo de madera que entre en el hueco del carrete de plástico.

El núcleo de madera se taladra con la medida del eje de la bobinadora para poderlo montar en la misma, con el objeto de poder bobinar los devanados (figura 197).

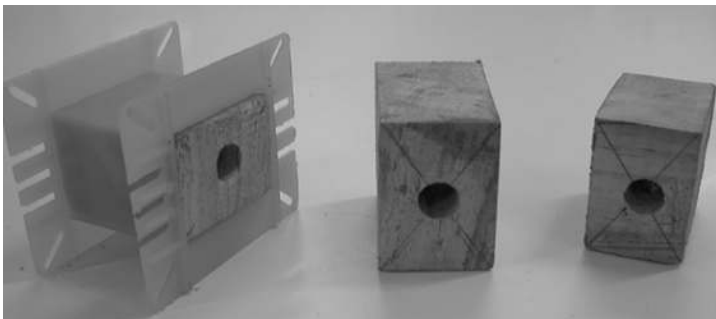


Figura 197. Núcleos de maderas taladrados.

Transformadores

Asimismo, se construyen dos tapas de madera para impedir que las paredes del carrete de plástico se deformen por la fuerza lateral que provocan los devanados (figura 198).



Figura 198. Núcleo de madera introducido en el carrete de plástico dispuesto para la bobinadora.

Una vez montado el carrete de plástico con su núcleo de madera y tapas en la bobinadora, manual o automática, se procede al bobinado del transformador (figura 199).



Figura 199. Núcleo de madera montado en la bobinadora, falta el carrete de plástico.

Se bobina en primer lugar el devanado secundario por ser el de más baja tensión. En caso de una hipotética derivación a masa, siempre será menos peligroso una derivación del devanado de menor tensión (figura 200).



Figura 200. Carrete con el devanado secundario ya bobinado.

Proceso del bobinado de un transformador ó autotransformador

Una vez terminado el devanado secundario, y sacados los terminales de principio y final del devanado, se procede a poner un cartón aislante que servirá de separación entre los dos devanados.

Terminada esta operación se procede a bobinar el devanado primario. Una vez bobinado el devanado primario se dispone un cartón aislante que servirá de defensa para que al introducir las chapas no dañen algunos de los hilos de este devanado (figura 201).



Figura 201. Carrete con los devanados ya bobinados, listos para introducir las chapas magnéticas.

Como quiera que los dos devanados están ya bobinados en el carrete de plástico, se puede proceder a introducir las chapas en el carrete, éstas, como se comentó en el capítulo de *Chapas magnéticas* se pueden montar a solape, es el sistema más generalizado, o a tope.

Se procede a poner los espárragos que sujetarán las chapas evitando que vibren y produzcan un ruido desagradable.

Posteriormente se sueldan los terminales, tanto del devanado primario como del secundario y se rotulan para evitar equivocaciones de conexión.

Se realizan las pruebas de relación de transformación y si son satisfactorias, se procede a barnizar el transformador.

El barnizado se puede realizar por inmersión en barniz, dejándolo unos minutos para que se impregne bien, después se tiene que dejar escurrir el barniz y dejar secar al aire.

Se debe de utilizar barniz de secado al aire y no un barniz de secado al horno, porque al introducir el transformador en el horno derretiría el carrete de plástico.

Una vez que el barniz se ha secado, se puede utilizar en el circuito para el que ha sido diseñado y construido.

Instrucciones para el manejo de los programas de cálculos en Excel

La mayoría de las instrucciones que siguen son comunes a todos los programas, otras son específicas de algunos determinados, por ello, se comentará individualmente cada de ellos.


Aunque los programas son fáciles de ejecutar y están protegidos contra errores involuntarios de los usuarios, se deben seguir escrupulosamente las recomendaciones indicadas.

1.1 PARTES COMUNES

INTRODUCIR DATOS

 *Celdas amarillas con letras negras*

Estas celdas son informativas, contienen los datos y las unidades de todos los parámetros que precisa el cálculo de un transformador o autotransformador. **EN ESTAS CELDAS NO SE DEBE DE ESCRIBIR BAJO NINGÚN CONCEPTO.**

 *Celdas verdes con letras marrones*

Estas celdas son los datos que debe de introducir el usuario en función de las necesidades de la aplicación. **ESTAS CELDAS SON LAS ÚNICAS QUE EL USUARIO DEBE DE CUMPLIMENTAR.**

Cumplimentar sólo las casillas coloreadas en VERDE, estos son los datos imprescindibles para que el programa realice los cálculos de manera automática.

Una vez introducidos los datos, accionar Enter, a la vista de los resultados se tiene que tener en cuenta que determinados datos, como son caída de tensión y densidad de corriente, pueden ser modificados por el usuario de manera que los hilos de los devanados se ajusten a las medidas del carrete y a la chapa que se va a utilizar.

Transformadores

Cuando los resultados obtenidos están de acuerdo con lo que se pretendía, se pueden imprimir para pasar la hoja impresa al taller y poder realizar la construcción del mismo.

RESULTADOS PRÁCTICOS

■ Celdas grises con letras azules

En estas celdas, el programa arroja los resultados de los cálculos que ha realizado. **EN ESTAS CELDAS NO SE DEBE DE ESCRIBIR BAJO NINGÚN CONCEPTO.**

RESULTADOS INFORMATIVOS

■ Celdas grises con letras azules

En estas celdas, el programa arroja los resultados de los cálculos que ha realizado y que no son imprescindibles para la construcción del transformador, pero orienta sobre los parámetros que lo constituyen. **EN ESTAS CELDAS NO SE DEBE DE ESCRIBIR BAJO NINGÚN CONCEPTO.**

Notas para el taller:

Al final del programa se deja un espacio en blanco para que se anoten las posibles peculiaridades específicas de cada transformador.

Asimismo, los programas proporcionan, a la derecha de los datos, los esquemas del transformador o autotransformador con los distintos parámetros, introducidos y obtenidos, tensiones, espiras, diámetros, tipo de chapa, medidas del carrete, etc., para que resulte más cómodo construirlo.

1.2 PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS

Introducir datos

Introducir los datos imprescindibles para calcular un transformador, estos son:

V_1 -Tensión Primaria

V_2 - Tensión Secundaria

Potencia del Transformador

Frecuencia, generalmente es de 50 Hz.

Caída de Tensión: Este dato depende del valor de la Tensión Secundaria, así, para una tensión de 24, 48 se recomienda introducir un 5%, y para tensiones a partir de 127 V un 10%.

J_1 y J_2 : Densidad de corriente, este valor depende del tipo de transformador, no obstante, una vez calculado al comprobar si los hilos caben en el carrete se puede ir modificando ligeramente.

Instrucciones para el manejo de los programas de cálculos en Excel

INTRODUCIR DATOS :		
V1	230	Voltios
V2	110	Voltios
Potencia	500	V.A.
Frecuencia	50	Hz.
J 1	5	A/mm2
J 2	5	A/mm2
C.Tensión	10	%

Al accionar ENTER, se calculan de manera automática todos los parámetros, en el símbolo del transformador aparecen los datos introducidos y calculados: tensión, espiras y diámetros, tanto del devanado primario como del secundario.

En el dibujo del núcleo magnético aparece el tipo de chapa (RC) y la medida del empilado, en la silueta del carrete aparecerán las medidas de éste.

Resultados prácticos

En los resultados prácticos aparece la sección que tiene que tener el núcleo, las espiras N1 Y N2, los diámetros el tipo de carrete, el tipo de chapa y el empilado del núcleo.

RESULTADOS PRACTICOS:		
Sección	25,3	cm2
I1	2,2	Amperios
N1	350	Espiras
Ø1	0,54	mm.
I2	4,1	Amperios
N2	184	Espiras
Ø2	0,73	mm.
Carrete	3670	
Chapa	36	RC
Empilado	70	mm.

Resultados informativos

Los resultados informativos proporcionan el número de espiras/voltios de las secciones de los hilos, (*atención, no los diámetros*), y la tensión de vacío que debe de proporcionar el devanado secundario.

RESULTADOS INFORMATIVOS		
Espiras/V.	1,52	Esp. xVol.
Sección 1	0,43	mm2
Sección 2	0,83	mm2
V.vacio	121	Voltios

Ocupación de los devanados

Otro apartado importante es el de la ocupación de los devanados. Proporciona la H y L del carrete, en mm, que ocupan los devanados primario y secundario, y la ocupación total de éstos. En función de esta ocupación y de las medidas del carrete, el programa calcula la diferencia en mm.

OCUPACIÓN DE LOS DEVANADOS		
H Carrete	49	mm.
L Carrete	14	mm.
N1 Ocupa	2,8	mm.
N2 Ocupa	2,4	mm.
Ocup. Total	5,2	mm.
Diferencia	8,8	mm.
Ajuste Ø1	-0,2	
Ajuste Ø2	-0,3	
¿Está Bien?	OK	

En las celdas **Ajuste Ø1** y **Ø2**, el usuario puede aumentar o disminuir la sección del hilo, de tal manera que si el usuario escribe en esta celda 0,1 quiere decir que al hilo calculado por el programa se le suma +0,1 y vuelve a escribir el resultado de esta suma en la celda diámetro. Por el contrario, si el usuario escribe -0,1 resta esta cantidad del diámetro calculado por el programa y escribe el nuevo resultado en la celda diámetro.

En la celda **¿Está Bien?**, el programa escribe OK si el devanado cabe en el carrete o si sobran más de 5 mm.

Escribirá **AJUSTAR** cuando la cantidad sea menor de 5 mm, es decir, que el devanado no cabe en el carrete.

1.3 PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE AUTOTRANSFORMADORES MONOFÁSICOS

Al igual que en todos los programas, se tiene que introducir los datos del autotransformador que se pretende calcular, éstos son:

V_1 – Tensión Primaria

V_2 – Tensión Secundaria

P – Potencia

Caída de tensión que puede oscilar entre el 5 y 10 %.

J – Densidad de corriente, ajustable por el usuario en función del diámetro del hilo que arroja el programa y de si cabe el hilo en el carrete, por tanto este parámetro lo puede modificar el usuario.

Instrucciones para el manejo de los programas de cálculos en Excel

INTRODUCIR DATOS :

V1	220	Voltios
V2	380	Voltios
P	500	V.A.
C.Tensión	10	%
J	3	A/mm ²

Una vez introducidos los datos, accionar ENTER y estará calculado el autotransformador. Asimismo, en el símbolo dibujado a la derecha de los datos aparecerán todos los datos introducidos y calculados. En el dibujo del núcleo magnético aparecerán las medidas de la chapa y del empilado, y finalmente en el carrete dibujado aparecen las medidas útiles de éste.

Resultados prácticos

Como quiera que los cálculos son distintos dependiendo de que el autotransformador sea Reductor o Elevador, se tendrán que utilizar las columnas correspondientes al autotransformador a calcular.

En ambos casos, los parámetros son los mismos aunque las fórmulas utilizadas sean distintas.

Este apartado arroja los siguientes resultados:

RESULTADOS PRÁCTICOS:			
	REDUCTOR	ELEVADOR	
Sección	15,9	15,9	mm ²
I1	2,1	2,3	Amperios
I2	1	1,2	Amperios
I	-0,9	1	Amperios
N1	-478	531	Espiras
N2	1009	478	Espiras
Nt	531	1009	Espiras
Ø1	0,94	0,68	mm.
Ø2	#¡NUM!	0,71	mm.
Media	#¡NUM!	0,44	mm.
Carrete	3245	3245	
Chapa	32	32	RC
Empilado	45	45	mm.

Sección del núcleo magnético, las distintas intensidades, números de espiras de cada devanado y totales, diámetros del hilo de cada devanado, y el diámetro medio que será el que se debe de utilizar, proporciona el tipo de carrete que se tiene que utilizar, así como el tipo de chapa y el grueso del empilado.

Resultados informativos

Muestra la tensión de vacío que va a proporcionar el devanado secundario, la relación de transformación, espiras/voltios y las secciones de los hilos.

Transformadores

RESULTADOS INFORMATIVOS:

	↓	↓	
V2	418	418	Voltios
m	0,58	0,58	
E/V	2,41	2,41	Espiras×V.
S1	0,69	0,4	mm ²
S2	-0,29	0,4	mm ²

Ocupación de los devanados

De manera automática, al introducir los datos muestra la H y la L del carrete y la medida en mm que ocupan los devanados, así como la diferencia, en mm, con respecto a la medida de éste.

OCUPACIÓN DE LOS DEVANADOS			
	REDUCTOR	ELEVADOR	
H Carrete	43	43	mm.
L Carrete	12	12	mm.
Dev. Ocupa	#INUM!	6	mm.
Diferencia	#INUM!	6	mm.
Ajuste Ø	-0,3	-0,25	mm.
¿Está Bien?	#INUM!	OK	

Es recomendable una diferencia próxima a los 5 mm para dar margen en la introducción de las chapas sin deteriorar los devanados.

No obstante, si esta diferencia es menor de 5 mm en la celda **¿Está bien?**, aparecerá **AJUSTAR**, esto quiere decir que se debe de modificar la celda **Ajuste Ø** y modificarla hasta conseguir que en la celda **¿Está bien?** aparezca **OK**.

1.4 PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

Introducir datos

Introducir los datos imprescindibles para calcular el transformador trifásico, éstos son:

V_1 – Tensión Primaria.

V_2 – Tensión Secundaria, la que debe de proporcionar el transformador.

P_2 – Potencia que debe de suministrar el transformador.

F – Frecuencia

B – Inducción Magnética, un valor recomendable es 10.000 Maxwell, depende del tipo de chapa.

η – Rendimiento, valor recomendable 0,85.

J_1 y J_2 – Densidad de corriente, este valor lo puede ajustar el usuario en función del diámetro del hilo que arroja el programa y de si cabe el hilo en el carrete.

Instrucciones para el manejo de los programas de cálculos en Excel

INTRODUCIR DATOS :		
V1	230	Voltios
V2	400	Voltios
P2	300	V.A.
F	50	Hz.
B	10000	Maxwell
n	0,9	
Cos fi	0,85	
J 1	4	A/mm2
J 2	4	A/mm2

Una vez introducidos los datos, accionar ENTER y el programa proporciona los resultados para poder construir el transformador.

Resultados prácticos

En los resultados prácticos aparece la sección que tiene que tener el núcleo, las espiras N_1 Y N_2 , los diámetros, y las intensidades primaria y secundaria.

RESULTADOS PRACTICOS:		
Sección	12	cm2
I1	0,99	Amperios
N1	1701	Espiras
Ø1	0,56	mm.
I2	0,51	Amperios
N2	1725	Espiras
Ø2	0,40	mm.

El tipo de chapa lo decide el usuario dependiendo del empilado que se quiera adoptar, por ello, el programa no proporciona este dato. Como orientación se proporcionan las medidas de los carretes de plástico que ayudarán a decidir el tipo de chapa.

En el símbolo del transformador de la derecha aparecerán las espiras de cada devanado, los diámetros y las tensiones primaria y secundaria.

Otro dato muy importante que proporciona el programa es la conexión que debe adoptar cada devanado en función de las tensiones primarias y secundarias.

Resultados informativos

RESULTADOS INFORMATIVOS:		
F	121244	Maxwell
P1	333	W.
Pp	3,3	W.
r1	1,14	Ohmios
r2	4,27	Ohmios
E1Trian	228,9	Voltios
VIY	231	Voltios
E2	232	Voltios
S1	0,25	mm2
S2	0,13	mm2

Transformadores

Los resultados informativos proporcionan la resistencia de cada devanado, potencia perdida, flujo magnético y secciones de los devanados.

Ocupación de los devanados

Estos datos no los proporciona el programa, puesto que el carrete lo decide el usuario en función del tipo de chapa y del empilado, no obstante, se proporciona una tabla en blanco para que el usuario pueda cumplimentar una vez decidido el tipo de chapa y carrete que va a utilizar.

1.5 PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE AUTOTRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

Introducir datos

Introducir los datos imprescindibles para calcular el autotransformador trifásico, éstos son:

V_1 – Tensión Primaria.

V_2 – Tensión Secundaria.

P – Potencia del autotransformador.

Caída de Tensión - Este dato depende del valor de la Tensión Secundaria, se recomienda introducir un valor comprendido entre un 5 y un 10%.

J – Densidad de corriente, este valor lo puede ajustar el usuario en función del diámetro del hilo que arroja el programa y de si cabe el hilo en el carrete.

INTRODUCIR DATOS :

↓

V1	380	Voltios
V2	225	Voltios
P	2000	V.A.
C.Tensión	10	%
J	4	A/mm ²

Una vez introducidos los datos, accionar ENTER y el programa proporciona los resultados para poder construir el autotransformador.

Resultados prácticos

En los resultados prácticos aparece la sección que tiene que tener el núcleo, las espiras N1 Y N2, los diámetros y las distintas intensidades.

Con los diámetros obtenidos, el programa calcula el diámetro medio que se tiene que utilizar, es decir, el mismo diámetro para el devanado primario y secundario.

El tipo de chapa lo decide el usuario dependiendo del empilado que se quiera adoptar, por ello, el programa no proporciona este dato.

Instrucciones para el manejo de los programas de cálculos en Excel

RESULTADOS PRÁCTICOS:

Sección	1720	cm2
I1	4,8	A.
I2	8	A.
I	3,3	A.
Nt	850	Espiras
N1	296	Espiras
N2	553	Espiras
Ø1	1,23	mm.
Ø2	1,02	mm.
Media	1,1	mm.

En el símbolo del autotransformador de la derecha aparecerán las espiras de cada devanado, los diámetros y las tensiones primaria y secundaria.

La conexión más utilizada en este tipo de transformador es la conexión Estrella, por ello, en el símbolo de la derecha aparece un autotransformador trifásico conexionado en Estrella.

El tipo de chapa lo decide el usuario dependiendo del empilado que se quiera adoptar, por ello, el programa no proporciona este dato, como orientación se proporcionan las medidas de los carretes de plástico que ayudarán a decidir el tipo de chapa.

Resultados informativos

En los resultados informativos, se proporcionan las espiras por cada voltio, la relación de transformación, la tensión que debe proporcionar el autotransformador en vacío y las secciones.

RESULTADOS INFORMATIVOS:

E/V	2,24	Espir. X V.
m	1,69	
V2	247,5	V.
S1	1,20	mm2.
S2	0,82	mm2.

Ocupación de los devanados

Estos datos no los proporciona el programa, puesto que el carrete lo decide el usuario en función del tipo de chapa y del empilado, no obstante, se proporciona una tabla en blanco para que el usuario pueda cumplimentar una vez decidido el tipo de chapa y carrete que va a utilizar.