

CAPÍTULO

# 14

## Medida de intensidades y tensiones

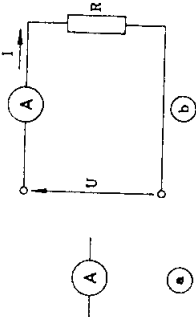


Figura 14.1. Símbolo y conexión de un amperímetro.

sintetativo de esta conexión es el indicado en la Figura 14.1b. Mide según Ley Ohm.  $I = U/R$ .

En corriente alterna el amperímetro no tiene polaridad, pero en corriente continua es necesario que la corriente entre por el borne positivo (+) del amperímetro y que salga por el negativo (-), a menos que el amperímetro esté provisto de la posibilidad de indicar valores negativos, como es el caso de los aparatos de medida digitales y de

cuando se conectan de forma directa, es decir, sin ningún tipo de adaptador, externo al aparato de medida, que amplíe su alcance de indicación.

En corriente continua se utilizan fundamentalmente los sistemas magnetoelectrónicos y digitales.

En corriente alterna se utilizan los sistemas de medida electromagnéticos, electrotérmicos, electrodinámicos y digitales; también, y mediante la incorporación de un rectificador o de un termoelemento, se suelen utilizar aparatos de medida con sistema magnetoeléctrico en corriente alterna en la construcción de multimetros (polímetros).

El amperímetro, cuyo símbolo representativo podemos ver en la Figura 14.1a, se conecta en serie con el receptor de la corriente que se desea medir, para ello, se intercala en el conductor que transporta la mencionada corriente. El esquema repre-

### 14.1. AMPERÍMETROS. MEDIDA DE INTENSIDADES. MÉTODO DE LECTURA DIRECTA

Recibe la denominación de **amperímetro** cualquier aparato de medida destinado a medir, mediante lectura directa, la intensidad de una corriente eléctrica.

Por lo general, la escala de medida está graduada directamente en amperios. En aquellas ocasiones en las que el amperímetro se destina a medir corrientes muy fuertes o muy débiles, la escala puede estar graduada en múltiplos o submúltiplos del amperio, como pueden ser kA (kiloamperios) o mA (miliamperios).

En la fabricación de amperímetros se utilizan los sistemas de medida magnetoeléctricos, electromagnéticos, electrodinámicos, electrotérmicos y digitales. Las características más representativas de estos aparatos son las indicadas en la Tabla 14.1. En esta tabla se indican los alcances de indicación de cada uno de los sistemas de medida,

Tabla 14.1. Características de los sistemas de medida en los amperímetros

Sistema de medida	Alcances de indicación	Clases
Magnetoelectrónicos	0,1 mA a 100 mA	0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 1,5
Electromagnéticos	0,5 a 100 A	0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5
Electrodinámicos	0,5 a 10 A	0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5
Digitales	Menos de 1 $\mu$ A a 10 A	Menos de 0,1-0,1-0,2-0,5-1-1,5-2,5
Electrotérmicos		2,5 - 5

aquellos analógicos con el cero en el centro de la escala.

Un amperímetro ideal debería tener una resistencia interna nula, puesto que si su resistencia interna es comparable con la resistencia del circuito, al conectar el amperímetro aumenta la resistencia total y en consecuencia la intensidad que se mide es distinta de la que se mediría sin conectar el amperímetro. Normalmente, la resistencia interna de los amperímetros es prácticamente nula y casi no influye en la medida.

Aunque, como puede verse en la Tabla 14.1, los alcances de los diferentes sistemas de medida que se pueden conseguir son bastante amplios, los fabricantes suelen construir únicamente sistemas de medida para determinados alcances normalizados y a continuación, para diversificar la oferta de alcances, se recurre a ampliar la escala de estos modelos normalizados, utilizando para ello dos sistemas diferentes en función del tipo de corriente: el shunt o resistencia en paralelo, en cc, y el transformador de intensidad en ca.

### 14.2. AMPLIACIÓN DE LA ESCALA DE UN AMPERÍMETRO MEDIANTE SHUNT

El shunt (palabra inglesa que significa derivar) es una resistencia de precisión calibrada de un valor resistivo muy pequeño. Se conecta en paralelo con el sistema de medida del aparato, de manera que la mayor parte de la intensidad se desvía a través del shunt y sólo una pequeña parte pasa por el sistema medidor.

Suponemos que disponemos de un amperímetro que tiene una resistencia interna  $R_A$ , y que admite una intensidad máxima  $I_A$  (alcanse de indicación) y queremos conectarlo en un circuito donde la intensidad máxima a medir es  $I$ . Para conseguir esto utilizaremos el esquema de la Figura 14.2, donde  $R_S$  es la resistencia en paralelo o shunt que tenemos que calcular. Veamos cómo se realiza.

Llamamos  $m$  a la relación entre la intensidad máxima que queremos medir,  $I$ , y la intensidad máxima del alcance de medida del amperímetro  $I_A$

$$m = \frac{I}{I_A} \quad [14.1]$$

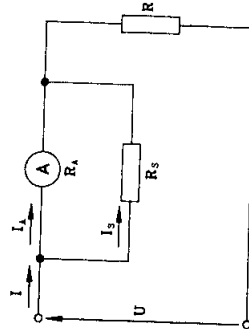


Figura 14.2. Esquema de conexiones de un shunt.

La tensión en el amperímetro es la misma que en el shunt, luego se cumple

$$I_A \cdot R_A = I_S \cdot R_S \quad [14.2]$$

También se cumple que

$$I = I_A + I_S \quad [14.3]$$

Despejando  $I_S$  de esta ecuación y sustituyendo en la anterior, tenemos

$$I_A \cdot R_A = (I - I_A) \cdot R_S \quad [14.4]$$

dividiendo los dos miembros de la igualdad por  $I_A$ , se obtiene

$$\frac{I_A \cdot R_A}{I_A} = \frac{I - I_A}{I_A} \cdot R_S \quad [14.5]$$

sustituyendo el cociente  $I/I_A$  por  $m$  tenemos

$$R_A = (m - 1) \cdot R_S \quad [14.6]$$

y despejando  $R_S$

$$R_S = \frac{R_A}{m - 1} \quad [14.7]$$

También se debe calcular la potencia máxima que tiene que disipar el shunt, siendo ésta

$$P_S = R_S \cdot (I - I_A)^2 \quad [14.8]$$

**EJEMPLO 1**

Queremos ampliar la escala de un aparato de medida magnetoelectrico de bobina móvil, que tiene una resistencia interna de  $30 \Omega$  y admite una intensidad a fin de escala de  $2 \text{ mA}$ , para medir intensidades de hasta  $10 \text{ A}$ .

**Solución:**

En primer lugar calculamos la relación entre la intensidad que queremos medir y la máxima soportada por el aparato (intensidad máxima del alcance de medida).

$$m = \frac{I}{I_A} = \frac{10}{0,002} = 5000$$

A continuación, calculamos la resistencia del shunt

$$R_S = \frac{R_A}{m - 1} = \frac{30}{5000 - 1} = 6 \text{ m}\Omega$$

La potencia máxima que deberá disipar el shunt, en ausencia de sobrecargas, es

$$P_S = R_S \cdot (I - I_A)^2 = 0,006 \cdot (10 - 0,002)^2 = 0,6 \text{ W}$$

**14.3. VOLTÍMETROS. MEDIDA DE TENSIONES. MÉTODO DE LECTURA DIRECTA**

Un voltímetro es cualquier aparato de medida destinado a medir, mediante lectura directa, la tensión entre dos puntos de un circuito.

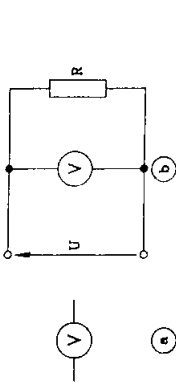


Figura 14.4. Símbolo y conexión de un voltímetro.

manera apreciable en las medidas que se efectúen, puesto que la resistencia total del circuito se modifica al conectar el voltímetro y la lectura de la tensión será de un valor distinto al valor de la tensión cuando el voltímetro no está conectado. Por este motivo, el voltímetro ideal debería tener una resistencia interna de valor infinito, cosa que no sucede nunca.

Como ejemplo, los voltímetros de clase de precisión 1 suelen tener una resistencia interna superior a  $4.000 \Omega/V$ .

Como ocurría con los amperímetros, y por los mismos motivos, los fabricantes suelen construir únicamente sistemas de medida para determinados alcances normalizados y a continuación, para diversificar la oferta de alcances, se recurre a ampliar la escala de estos modelos normalizados, utilizando para ello dos sistemas diferentes: la resistencia en serie o adicional, en cc y en ca para tensiones de hasta  $1.000 \text{ V}$ , y el transformador de tensión en corriente alterna, fundamentalmente en alta tensión (más de  $1.000 \text{ V}$ ).

grandes o muy pequeñas, donde la escala puede estar graduada en múltiplos o submúltiplos del voltio, como pueden ser kV (kilovoltios) o mV (milivoltios).

En la fabricación de voltímetros se utilizan fundamentalmente los sistemas de medida magnetoelectrónica y digitales, para corriente continua, y electro-magnéticos, electrostáticos, electrodinámicos y digitales, en corriente alterna.

Las características más representativas de estos aparatos son las indicadas en la Tabla 14.2. Se señalan los alcances de indicación de cada uno de los sistemas de medida, cuando se conectan de forma directa, es decir, sin ningún tipo de adaptador, externo al aparato de medida, que amplíe su alcance.

El voltímetro, cuyo símbolo representativo podemos ver en la Figura 14.4a, se conecta a los puntos entre los que se encuentra la diferencia de potencial a medir. El esquema representativo de esta conexión es el indicado en la Figura 14.4b.

En corriente alterna el voltímetro no tiene polaridad, pero en corriente continua hay que conectar el borne positivo (+) al punto de mayor potencial y el borne negativo (-) al punto de menor potencial, para que el elemento indicador actúe correctamente. Si el aparato de medida tiene la posibilidad de indicaciones negativas, como es el caso de casi todos los voltímetros digitales, no es necesario tomar ninguna precaución en este sentido.

En aquellos circuitos que tengan una resistencia de valor comparable con la del voltímetro, el consumo interno del aparato de medida va a influir de

Tabla 14.2. Características de los sistemas de medida en los voltímetros

Sistema de medida	Alcances de indicación	Clases
Magnetoelectrónicos	10mV a 1.000 V	0,1 - 0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5
Electromagnéticos	5 a 1.000 V	0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5
Electrodinámicos	5 a 1.000 V	0,2 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2,5 - 5
Digitales	1 $\mu\text{V}$ a 1.000 V	Menos de 0,1-0,1-0,2-0,5-1-1,5-2,5
Electrostáticos	1 V a 1.000 kV	1 - 1,5 - 2,5

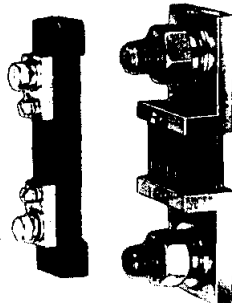


Figura 14.3. Shunts. (Por cortesía y autorización expresa de SACEI.)

En general, la escala de un voltímetro está graduada en voltios, excepto en aquellos casos en los que el voltímetro se destina a medir tensiones muy

### 14.4. AMPLIACIÓN DE LA ESCALA DE UN VOLTIMETRO MEDIANTE RESISTENCIA ADICIONAL

La resistencia adicional es una resistencia de precisión calibrada, que se conecta en serie con el sistema de medida del voltímetro, de manera que una parte de la tensión a medir cae en la resistencia y el resto en el sistema de medida del voltímetro.

Estas resistencias se fabrican con aleaciones que presentan poca variación de su valor óhmico con la temperatura, como la **manganina** (cobre, manganeso y níquel) o el constantán (cobre y níquel). La resistencia adicional puede ser interior o exterior al aparato de medida, según la cantidad de potencia que tenga que disipar.

Supongamos que tenemos un voltímetro que tiene una resistencia interna,  $R_V$ , y que tiene un alcance de indicación de  $U_V$  voltios, y queremos conectarlo en un circuito donde la tensión máxima a medir es  $U$ . Para conseguir esto utilizamos el esquema de la Figura 14.5, donde  $R_a$  es la resistencia adicional, conectada en serie con el voltímetro, que tenemos que calcular. Veamos cómo.

Llamamos  $m$  a la relación entre la tensión máxima que queremos medir,  $U$ , y la tensión máxima que admite el voltímetro,  $U_V$ .

$$m = \frac{U}{U_V} \quad [14.9]$$

La tensión  $U$  es igual a la suma de las tensiones en el voltímetro y en la resistencia adicional

$$U = U_V + U_A \quad [14.10]$$

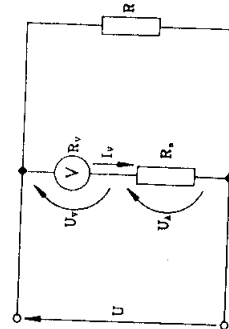


Figura 14.5. Esquema de voltímetro con resistencia adicional.

si dividimos esta igualdad por  $U_V$ , tenemos

$$\frac{U}{U_V} = 1 + \frac{U_A}{U_V} \quad [14.11]$$

sustituyendo el cociente  $U/U_V$  por la constante  $m$ , tenemos

$$m = 1 + \frac{U_A}{U_V} \quad [14.12]$$

Como están en serie, la intensidad,  $I_V$ , que pasa por el voltímetro es la misma que pasa por la resistencia adicional, luego podemos decir que

$$U_A = R_a \cdot I_V \quad [14.13]$$

$$U_V = R_V \cdot I_V \quad [14.14]$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación que nos daba el valor de  $m$ , tenemos

$$m = 1 + \frac{R_a \cdot I_V}{R_V \cdot I_V} \quad [14.15]$$

con lo que nos queda

$$m = 1 + \frac{R_a}{R_V} \quad [14.16]$$

y despejando  $R_a$

$$R_a = (m - 1) \cdot R_V \quad [14.17]$$

La potencia máxima que tendría que disipar la resistencia sería

$$P_a = \frac{(U - U_V)^2}{R_a} \quad [14.18]$$

#### EJEMPLO 2

Queremos ampliar la escala de un voltímetro electromagnético, que tiene una resistencia interna de 250 kΩ y un alcance de indicación de 0 a 15 V, para medir tensiones de hasta 150 V.

#### Solución:

En primer lugar, calculamos la relación entre la tensión que queremos medir y la máxima admitida por el voltímetro

$$m = \frac{U}{U_V} = \frac{150}{15} = 10$$

A continuación, calculamos el valor óhmico de la resistencia adicional necesaria

$$R_a = (m - 1) \cdot R_V = (10 - 1) \cdot 250 = 2250 \Omega$$

La potencia máxima que tendría que disipar la resistencia adicional sería

$$P_a = \frac{(U - U_V)^2}{R_a} = \frac{(150 - 15)^2}{2250} = 8,1 \text{ W}$$

La constante  $m$  nos sirve para calcular el valor de la tensión que estamos midiendo en cada momento, por ejemplo, si el voltímetro indica 12 V, la tensión que estamos midiendo es

$$U = m \cdot U_V = 10 \cdot 12 = 120 \text{ V}$$

### 14.5. TRANSFORMADORES DE MEDIDA

Cuando se quieren realizar medidas de tensión, intensidad, potencia, etc., en circuitos y líneas de alta tensión y medidas de intensidades grandes en baja tensión, se utilizan transformadores de medida para conectar los aparatos de medida a los circuitos a medir.

#### 14.5.1. Principio de funcionamiento del transformador

Un transformador se compone de dos arrollamientos aislados eléctricamente entre sí y devanados sobre un mismo núcleo de hierro (Fig. 14.6). Una corriente alterna que circule por uno de los arrollamientos crea en el núcleo un campo magnético alterno. La mayor parte de este flujo atraviesa el otro arrollamiento e induce en él una fuerza electromotriz (fem) alterna. La potencia es transmitida así de un arrollamiento a otro por medio del flujo magnético del núcleo. El arrollamiento al

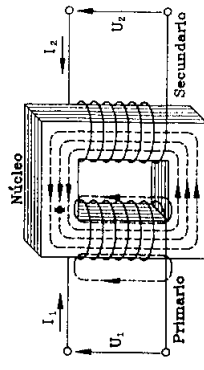


Figura 14.6. Transformador eléctrico.

que se suministra potencia se denomina **primario** y el que cede potencia es el **secundario**.

En un transformador real, las líneas del flujo magnético no están confinadas enteramente en el hierro, sino que algunas de ellas se cierran a través del aire. La parte del flujo que atraviesa los dos arrollamientos se denomina **flujo común** o útil. La parte del flujo que se cierra a través del aire se denomina **flujo de dispersión**.

La potencia obtenida de un transformador es inferior a la potencia suministrada al mismo, a causa de las pérdidas en forma de calor, que se producen en el arrollamiento primario y secundario (llamadas pérdidas en el cobre) y las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault en el núcleo (llamadas pérdidas en el hierro). La histéresis se reduce al mínimo utilizando hierro que tenga un ciclo de histéresis estrecho, y las corrientes de Foucault se reducen construyendo el núcleo con láminas muy finas apiladas y aisladas entre sí.

Para simplificar su estudio, consideremos un transformador ideal en el que no haya pérdidas ni fugas de flujo. Supongamos que el circuito del secundario está abierto, es decir, sin carga. El arrollamiento primario se comportará entonces como una autoinducción. La corriente en el primario, que es pequeña, está retrasada 90° respecto a la tensión del primario y se denomina corriente magnetizante  $i_m$ .

El flujo del núcleo está en fase con la corriente del primario. Puesto que el mismo flujo atraviesa tanto el primario como el secundario, la fem inducida por espira es la misma en ambos. La relación entre la fem inducida en el secundario y la fem

inducida en el primario es igual, por consiguiente a la relación entre el número de espiras del secundario y el número de espiras del primario, es decir

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad [14.19]$$

En el caso ideal que estamos suponiendo, las fem inducidas  $e_1$  y  $e_2$  son numéricamente iguales a las tensiones correspondientes,  $U_1$  y  $U_2$  en los bornes del transformador. Por consiguiente, eligiendo adecuadamente la relación entre los números de espiras  $N_2/N_1$ , puede obtenerse en el secundario cualquier tensión que se desee, partiendo de una tensión dada en el primario.

El diagrama vectorial de un transformador ideal está representado en la Figura 14.7. Las fem inducidas, tanto en el primario,  $e_1$ , como en el secundario,  $e_2$ , siendo proporcionales y de signo opuesto a la derivada del flujo, estarán retrasadas  $90^\circ$  respecto a éste, pero puesto que la fem inducida en el primario,  $e_1$ , es una fuerza contraelectromotriz (fem), la tensión  $U_1$  en los bornes del primario es opuesta a ella en fase, es decir,  $U_1 = -e_1$ .

Vamos a ver ahora el efecto producido al cerrar el secundario, es decir, a trabajar en carga. La corriente  $i_2$  en el secundario y su fase  $\varphi_2$  dependerán lógicamente de la naturaleza del circuito secundario. Supongamos que la carga es inductiva y, por tanto,  $i_2$  está retrasada respecto a  $U_2$ .

Tan pronto como se cierra el circuito secundario, éste ha de suministrar cierta potencia (excepto si  $\varphi_2 = 90^\circ$ ) y, en virtud de consideraciones energéticas, ha de suministrarse una cantidad igual de potencia al primario.

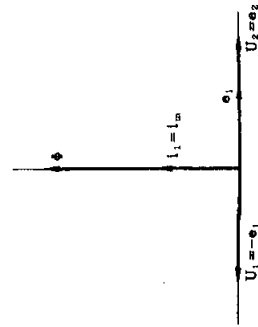


Figura 14.7. Diagrama vectorial de un transformador ideal.

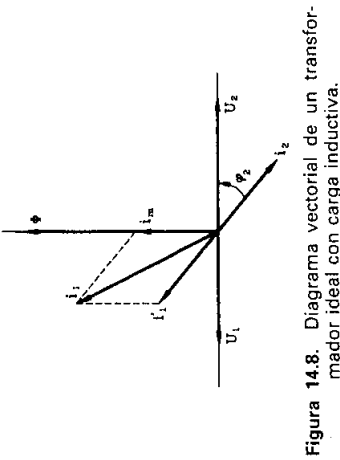


Figura 14.8. Diagrama vectorial de un transformador ideal con carga inductiva.

El proceso por el cual el transformador es capaz de absorber la potencia necesaria es como sigue: cuando el circuito secundario está abierto, el flujo del núcleo sólo es producido por la corriente del primario, pero cuando se cierra el secundario, tanto la corriente del primario como la del secundario crean flujo en el núcleo. Según la ley de Lenz, la corriente del secundario tiende a debilitar el flujo de núcleo y, por consiguiente, a disminuir la fuerza contraelectromotriz (fem) en el primario. Como en ausencia de pérdidas, la fem en el primario ha de ser igual a la tensión en bornes del primario, que suponemos constante, la corriente en el primario aumenta, por tanto, hasta que el flujo del núcleo se restablece en su valor inicial (sin carga). El vector  $i_1$  de la Figura 14.8 representa la variación que tiene lugar en la corriente del primario cuando el secundario suministra la intensidad  $i_2$ . Esta variación está en oposición de fase con la intensidad  $i_2$  del secundario y es de valor tal, que su fuerza magnetomotriz ( $N_1 \cdot i_1$ ) es igual y opuesta a la fuerza magnetomotriz ( $N_2 \cdot i_2$ ) de la corriente en el secundario. Es decir

$$-N_2 \cdot i_2 = N_1 \cdot i_1 \quad [14.20]$$

y despejando

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad [14.21]$$

La intensidad resultante en el primario  $i_1$ , es la suma vectorial de  $i_1$  y de la corriente magnetizante  $i_m$ . Pero en la práctica, la corriente magnetizante

no es nunca superior a un tanto por ciento pequeño de la corriente de plena carga. En consecuencia,  $i_1$  e  $i_1$  son casi iguales y se puede escribir de manera aproximada que

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad [14.22]$$

Es decir, las corrientes del primario y del secundario son inversamente proporcionales a los números de espiras de los arrollamientos primario y secundario.

### 14.5.2. Transformadores de medida

Son los que se utilizan para la alimentación de los circuitos de medida de los aparatos medidores. Según su uso y construcción, los transformadores de medida pueden ser: transformadores de intensidad o transformadores de tensión.

Los transformadores de medida se basan en la relación que hay entre la intensidad en el arrollamiento primario y la intensidad en el arrollamiento secundario (transformadores de intensidad) o entre la tensión del primario y la tensión del secundario (transformadores de tensión). Es decir, al medir la intensidad en el secundario se determina la del primario por la relación de transformación del transformador de intensidad, e igualmente al medir la tensión secundaria se determina la tensión primaria por la relación de transformación del transformador de tensión.

Los transformadores de medida sirven para:

- Medir altas tensiones y altas intensidades con aparatos de bajo alcance.
- Separar eléctricamente del circuito medido a los aparatos de medida, permitiendo la realización de medidas en alta tensión con aparatos de baja tensión.
- Poder instalar aparatos de medida en lugares distintos a los del circuito medido. De esta forma se evitan interferencias provocadas por los campos magnéticos externos en el funcionamiento de los aparatos de medida, se aumenta la seguridad del personal y permite la ubicación de los aparatos de medida en los lugares más convenientes.

### 14.5.3. El transformador de intensidad

El transformador de intensidad se conecta en serie con el receptor de la misma manera que se conecta un amperímetro (Fig. 14.9).

La relación entre la corriente primaria  $I_1$  y la corriente secundaria  $I_2$  se denomina relación de transformación del transformador de intensidad

$$K = \frac{I_1}{I_2} \quad [14.23]$$

El arrollamiento secundario está continuamente trabajando en cortocircuito debido a las bajas impedancias de los amperímetros o de las bobinas de intensidad de los aparatos de medida conectados. Esta característica es la que principalmente hace diferente al transformador de intensidad de los transformadores de tensión y de potencia.

Entre los bornes  $P_1$  y  $P_2$  del arrollamiento primario, por estar en serie con el circuito que se mide, no aparece una tensión de valor apreciable y también, lo que es muy importante, la corriente secundaria no influye en el valor de la corriente primaria.

Dado que el transformador de intensidad permanece conectado al circuito a medir, si se desconecta el circuito de medida, abriéndose el circuito secundario, pueden aparecer tensiones peligrosas en el mismo, tensiones que pueden deteriorar el transformador o, lo que es peor, poner en peligro la vida de las personas. Por este motivo, si es necesario desconectar el circuito secundario, previamente se debe cortocircuitar el mismo en los bornes de salida del transformador de intensidad.

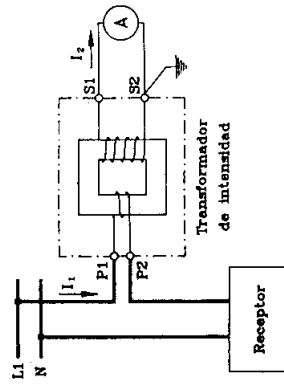


Figura 14.9. Transformador de intensidad.

También, como norma de seguridad, se debe conectar a tierra uno de los bornes del secundario, con el fin de evitar la aparición de tensiones peligrosas, en el caso de un fallo de aislamiento entre el primario y el secundario.

Los valores de las intensidades nominales del primario y secundario deben figurar en la placa de características del transformador y se expresan en forma de fracción: Intensidad primaria/Intensidad secundaria. Por ejemplo, 200/5 A, indica una intensidad nominal primaria de 200 A y una intensidad nominal secundaria de 5 A.

La intensidad nominal secundaria está normalizada en 5 A para todos los transformadores. Solo en aquellos casos en los que la distancia entre el transformador y el aparato de medida es muy grande se utilizan transformadores con intensidad nominal secundaria de 1 A.

Los valores normalizados para la intensidad primaria son: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1.000, 1.200, 1.500, 2.000, 3.000, 4.000, 6.000, 10.000 A.

Sobre la placa de características también se indica el valor de la tensión máxima admisible en el circuito de medida.

Otra característica a tener en cuenta en un

Tabla 14.3. Consumos de aparatos de medida y protección, de intensidad, analógicos

Aparatos	Tipos	Consumo en VA para la intensidad nominal (frecuencia 50 Hz)
Amperímetros	Indicadores	1 a 2
	Registradores	2 a 5
Contadores	De inducción	0,5 a 1,5
	Electrodinámicos	1,5 a 3
Vatímetros portátiles	Electrodinámicos	6 a 8
	Electrodinámicos	1 a 4
Vatímetros de laboratorio		1,5 a 3
		6 a 16
Fasímetros de montaje en cuadro		10 a 18
Fasímetros registradores		3 a 10
Relés	De máxima intensidad, retardo independiente	15 a 25
	Especiales, de máxima intensidad, con retardo independiente	1,5 a 10
	Direccionales	1,5 a 3
	De potencia, temporizados	1,6 a 3
Reguladores	Diferenciales compensados	3 a 12
	Diferenciales	0,5 a 2
	De mínima impedancia	6 a 20
	De distancia	10 a 150

transformador de intensidad es su potencia nominal, que se define como la potencia aparente, expresada en voltamperios, VA, que el transformador proporciona al circuito secundario con la carga e intensidad nominales. La carga nominal, expresada en ohmios, es aquella para la cual se cumplen los errores máximos de la clase de precisión del transformador. Las potencias nominales normalizadas son: 5, 10, 15, 30, 50, 75 y 100 VA.

A la hora de determinar la potencia que debe tener un transformador de intensidad, es necesario conocer los valores de potencia consumida por los diferentes aparatos de medida que se van a conectar. Para ello, se puede utilizar la Tabla 14.3, que muestra los valores más frecuentes de potencia consumida por diferentes dispositivos medidores y de protección. Estos datos son aproximados y pueden utilizarse siempre que no se tengan otros más precisos, obtenidos de las informaciones técnicas de los aparatos a conectar.

Los aparatos de medida y protección, de intensidad, electrónicos y digitales tienen unos consumos muy inferiores a los indicados en la tabla (valores inferiores a 0,5 VA). Además de los aparatos conectados al transformador de intensidad, no debe olvidarse que los conductores que unen estos elementos tienen su propio consumo, que habrá que sumar al de los aparatos. Para ello, se puede consultar la Tabla 14.4, donde se indican los consumos por metro de conductor de cobre para intensidades secundarias de 5 a 1 A. (Estos datos se han obtenido simplemente multiplicando la resistencia de un metro de conductor de cobre de la sección correspondiente por el cuadrado de la intensidad secundaria.)

Tabla 14.4. Potencia consumida por metro de conductor de cobre

Sección (mm <sup>2</sup> )	Intensidad secundaria = 5 A (VA/m)	Intensidad secundaria = 1 A (VA/m)
2,5	0,18	0,007
4	0,11	0,0044
6	0,07	0,0029
10	0,044	0,00175

EJEMPLO 3

Determinar la potencia nominal de un transformador de intensidad de relación 100/5 A, que tiene conectado un amperímetro registrador, un amperímetro indicador y una bobina de intensidad de un contador de energía activa. La longitud de los cables de conexión es de 30 m, y su sección 2,5 mm<sup>2</sup>.

Solución:

Potencia de los aparatos de medida en el caso más desfavorable y según la Tabla 14.3:

- Amperímetro indicador = 2 VA
- Amperímetro registrador = 5 VA
- Bobina de intensidad del contador = 1,5 VA

Potencia de los conductores de conexión para una intensidad secundaria de 5 A (Tabla 14.4):

$$30 \text{ m} \cdot 0,18 \text{ VA/m} = 5,4 \text{ VA}$$

Luego la potencia nominal del transformador tendrá que ser igual o superior a la suma de todas las potencias de consumo obtenidas:

$$P = 2 + 5 + 1,5 + 5,4 = 13,9 \text{ VA}$$

Por tanto, la potencia nominal normalizada más próxima, por exceso, a este valor es 15 VA.

Por último, se designa la clase de precisión de un transformador de intensidad, por un número igual al error máximo de intensidad admisible, expresado en forma de porcentaje, para la intensidad nominal primaria y la carga nominal. Los valores normalizados de clases de precisión y su utilización son:

Tabla 14.5. Clases de precisión normalizadas

Clase	Utilización
0,1	Medidas de precisión en laboratorios
0,2-0,5	Medidas de potencia y energía para facturación
1	Medidas para servicios industriales y para protecciones
3	Medidas de poca precisión y protecciones

### 14.5.4. Tipos, símbolos y esquemas de conexión de transformadores de intensidad

Fundamentalmente existen dos tipos de transformadores según su construcción: transformador de barra pasante (Fig. 14.10a) y transformador con primario devanado (Fig. 14.10b).

En los transformadores de barra pasante, el primario (1) lo forma el propio conductor (pletina o cable), que transporta la corriente que se quiere medir. El núcleo magnético (2), formado por chapas magnéticas, rodea al conductor que forma el primario, siendo el secundario (3) una bobina arrollada sobre el mencionado núcleo.

En los transformadores con primario devanado se sustituye el conductor del primario por una bobina (1) arrollada sobre la bobina del secundario (3) y montadas, a su vez, las dos bobinas sobre el núcleo magnético (2).

Los transformadores de primario devanado se construyen para intensidades primarias de 1 a 100 A, y los de barra pasante desde 50 a 10.000 A.

Los transformadores de barra pasante pueden utilizarse hasta aproximadamente 200 A de intensidad, como transformador de paso múltiple de conductor, en intensidades más elevadas no es conveniente ni práctico, a causa de la sección del conductor primario. Por medio de la sección del conductor primario se consiguen diferentes relaciones de transformación para un mismo transformador. Además, se consiguen mayores potencias nominales allí donde se tienen bajas intensidades primarias. Veamos un ejemplo (Fig. 14.11): un transformador de relación 150/5 A se puede convertir en otro de 75/5 A, o de 50/5 A, sin más que pasar por su interior dos o tres veces el conductor primario. Se deduce al aplicar la fórmula [14.22].

Los símbolos normalizados más utilizados para los transformadores de intensidad son los indica-

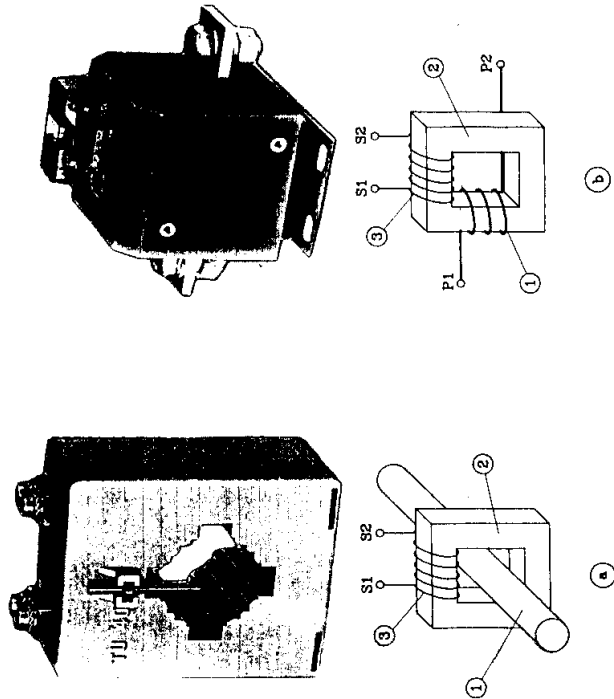


Figura 14.10. Tipos constructivos de transformadores de intensidad. (Fotografías por cortesía y autorización expresa de SACI.)

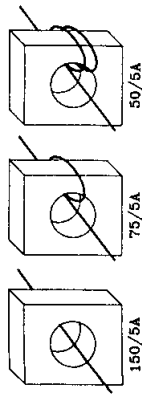


Figura 14.11. Transformador de intensidad de paso múltiple de conductor.

dos en la Figura 14.12. Los símbolos *a* y *b* se utilizan en esquemas de conexión y los símbolos *c* y *d* en esquema unifilares. La denominación normalizada de bornes es: P1 y P2 para los bornes de entrada y salida del primario, respectivamente; y S1 y S2 para los bornes correspondientes del secundario.

Figura 14.12. Símbolos normalizados de transformadores de intensidad.

Los esquemas más usuales de conexionado de transformadores de intensidad son los indicados en la Figura 14.13. El esquema de la Figura 14.13a se utiliza en sistemas monofásicos y el esquema de la Figura 14.13b en sistemas trifásicos. Obsérvese

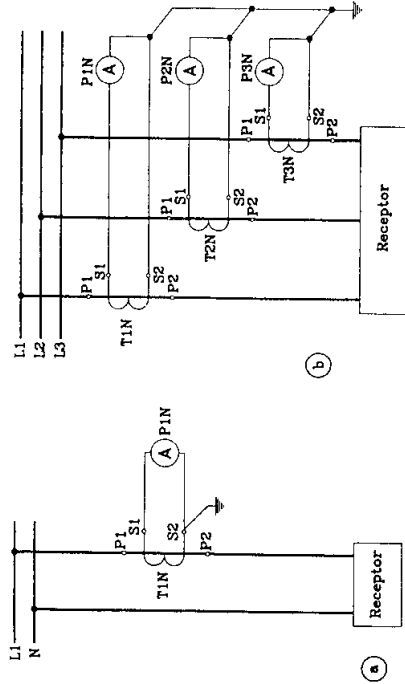


Figura 14.13. Esquemas de conexión de transformadores de intensidad.

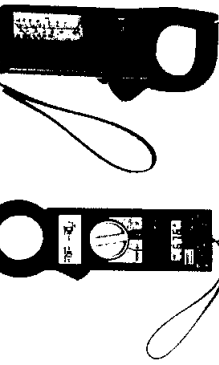


Figura 14.14. Pinza amperimétrica.

cómo los secundarios de los transformadores están todos ellos conectados a tierra.

Un tipo de amperímetro muy utilizado en la industria es el que se puede ver en la Figura 14.14. Este aparato dispone de un transformador de intensidad incorporado. El transformador dispone de un núcleo magnético que se puede abrir a voluntad, de manera que el conductor que transporta la intensidad que se quiere medir se pueda alojar en su interior, no siendo necesario interrumpir el circuito.

**14.5.5. El transformador de tensión**

El transformador de tensión se conecta en paralelo con el receptor de la misma manera que se conecta un voltímetro (Fig. 14.15).

Se denomina relación de transformación a la relación entre la tensión primaria  $U_1$  y la tensión secundaria  $U_2$ . Esta relación es proporcional a la relación entre el número de espiras del primario  $N_1$  y el número de espiras del secundario  $N_2$ :

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad [14.24]$$

*El transformador de tensión trabaja prácticamente en vacío puesto que los voltímetros y bobinas voltmétricas que se conectan en el secundario tienen impedancias muy grandes.*

Al igual que en los transformadores de intensidad, se debe conectar a tierra uno de los bornes del secundario, con el fin de evitar la aparición de tensiones peligrosas, en el caso de un fallo de aislamiento entre el primario y el secundario.

Los valores de las tensiones nominales del primario y del secundario deben figurar en la placa de características del transformador, expresadas en forma de fracción: Tensión primaria/Tensión secundaria. Por ejemplo, 11.000/110 V, indica una tensión nominal primaria de 11.000 V y una tensión nominal secundaria de 110 V.

La tensión nominal secundaria está normalizada en 110 V en los transformadores que van a ser conectados a una red monofásica o entre fases de una red trifásica.

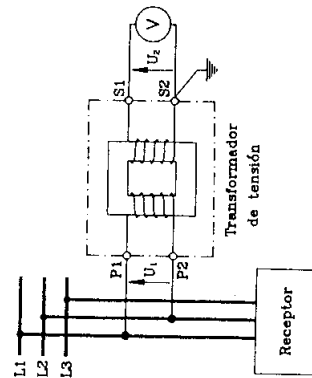


Figura 14.15. Transformador de tensión.

Los valores normalizados para la tensión primaria son: 110, 220, 380, 440, 2.200, 3.300, 5.500, 6.600, 11.000 V, y 13,2; 16,5; 22; 27,5; 33; 44; 55; 66; 110; 132; 220 y 396 kV.

Dado que los transformadores de tensión se utilizan fundamentalmente en las medidas de alta tensión, es frecuente que se utilicen transformadores monofásicos que sólo pueden conectarse entre una fase y tierra. En este caso se consideran las tensiones primaria y secundaria normalizadas, los valores anteriores divididos por  $\sqrt{3}$ . Por ejemplo,  $22.000/\sqrt{3}$ ;  $110/\sqrt{3}$  V.

Sobre la placa de características también se indica el valor de la tensión máxima admisible en el circuito de medida o tensión nominal de aislamiento.

Como ocurría con los transformadores de intensidad, es necesario tener en cuenta la potencia nominal, que se define como la potencia aparente (expresada en voltamperios) que el transformador proporciona al circuito secundario a la tensión nominal, dentro de los límites de error máximos que tenga un factor de potencia 0,8. Las potencias nominales normalizadas son: 10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 VA.

La Tabla 14.6 proporciona datos aproximados de potencia consumida por diferentes tipos de aparatos de medida y dispositivos de protección. Esta tabla se puede utilizar para determinar la potencia nominal del transformador de tensión, siempre que no se tengan datos más precisos obtenidos de las informaciones técnicas de los aparatos a conectar.

Los aparatos de medida y protección, de tensión, electrónicos y digitales, tienen unos consumos muy inferiores a los indicados en la tabla (valores inferiores a 1 VA).

Las clases de precisión normalizadas y su ámbito de utilización, de los transformadores de tensión, coinciden con las de los transformadores de intensidad que se daban en la Tabla 14.5.

**14.5.6. Símbolos y esquemas de conexión de transformadores de tensión**

Los símbolos normalizados más utilizados para los transformadores de tensión son los indicados en la Figura 14.16. Los símbolos a y b se utilizan

Tabla 14.6. Consumos de aparatos de medida y protección, de tensión, analógicos

Aparatos	Tipos	Consumo en VA para la tensión nominal (frecuencia 50 Hz)
Voltímetros	Indicadores	3,5 a 15
	Registradores	15 a 25
Contadores		3 a 5
Vanímetros	Indicadores	6 a 10
	Registradores	5 a 12
Fasímetros	Indicadores	7 a 20
	Registradores	15 a 20
Frecuencímetros	Indicadores	1 a 5
	Registradores	7 a 15
Relés	De máxima tensión	10 a 15
	Temporizados de máxima tensión	25 a 35
	Direccionales	25 a 40
	Selectivos	2 a 10
	De mínima tensión	5 a 15
	De contacto a tierra	10 a 30
Sincronoscopios	De distancia	10 a 30
		6 a 25
Reguladores de tensión		30 a 250

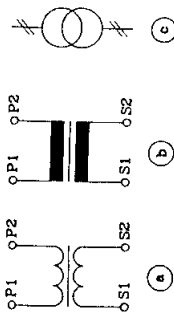


Figura 14.16. Símbolos normalizados de transformadores de tensión.

en esquemas de conexión y el símbolo c en esquemas unifilares.

La denominación normalizada es idéntica a la de los transformadores de intensidad: P1 y P2 para los bornes de entrada y salida del primario, respectivamente, y S1 y S2 para los bornes correspondientes del secundario.

Los esquemas más usuales de conexionado de transformadores de tensión son los indicados en la Figura 14.17. El esquema de la Figura 14.17a se

**EJERCICIOS Y PROBLEMAS**

1. Con un amperímetro magnetoelectrónico de alcance 0,2 A y resistencia interna de 1  $\Omega$ , se quiere medir la intensidad de salida de un rectificador, sabiendo que puede suministrar hasta 3 kW a una tensión de 110 V. Calcula la resistencia y la potencia del shunt necesario.
2. Se quiere construir un amperímetro de 30 A para un cargador de baterías y para ello se dispone de un amperímetro de 5 A y 0,2  $\Omega$  de resistencia interna. Determina el shunt necesario.
3. Disponemos de un amperímetro con un alcance de 1 A y una resistencia interna de 0,1  $\Omega$ . Se quiere construir un aparato de medida con los siguientes alcances: 1 A, 10 A, 50 A, 100 A. Averigua la resistencia y la potencia de los shunts necesarios. Dibuja el esquema de conexiones.
4. Halla la máxima intensidad que se puede medir con un milivoltímetro de alcance 150 mV y resistencia interna de 3  $\Omega$ , que está conectado en paralelo con un shunt de 3,003 m $\Omega$  de resistencia.
5. Calcula la resistencia adicional necesaria para medir una tensión máxima de 50 V, con un voltímetro de alcance 5 V y resistencia interna 15.000  $\Omega$ . Una vez conectada, ¿qué potencia disipa la mencionada resistencia cuando el voltímetro indica 3 V?
6. Se dispone de un voltímetro de 500  $\Omega$  de resistencia interna, un alcance de medida de 3 V y una escala con 30 divisiones. Se quiere construir otro voltímetro que tenga una constante de escala de 10 voltios/división. Halla el nuevo alcance de medida y la resistencia adicional necesaria.
7. Determina la máxima tensión que se puede medir con un voltímetro de alcance 1 V y resistencia interna de 2,5  $\Omega$ , que está conectado en serie con una resistencia adicional de 310 k $\Omega$  de resistencia. ¿Cuál sería la potencia máxima que tendría que disipar la resistencia adicional?
8. Halla las resistencias adicionales necesarias para conseguir alcances de 150 V, 300 V, 450 V con un voltímetro que tiene una resistencia interna de 10  $\Omega$  y que absorbe una intensidad de 10 mA cuando su aguja indicadora está en su desviación máxima. Calcula también la constante de cada alcance, sabiendo

- que la escala del aparato tiene 150 divisiones. Dibuja el esquema de conexiones.
9. Necesitamos medir la intensidad absorbida por un motor de corriente alterna cuya intensidad nominal es de 44 A. Disponemos para ello de un amperímetro de 5 A. Indica la intensidad nominal primaria que debe tener el transformador de intensidad y la intensidad del motor cuando el amperímetro indica 4,2 A.
10. Un transformador de intensidad de 15 VA, de potencia nominal, tiene conectados un amperímetro indicador y un amperímetro registrador. Sabiendo que los conductores de conexión empleados son de cobre, de 2,5 mm<sup>2</sup> de sección, calcula la máxima distancia que puede haber entre los aparatos de medida y el transformador de intensidad, si la intensidad secundaria es de 5 A. Repite el cálculo para una intensidad secundaria de 1 A.
11. Determina la intensidad nominal primaria y la potencia nominal de un transformador de intensidad, de relación X/5 A, al que hay que conectar un amperímetro indicador, un contador de energía activa, un contador de energía reactiva y un vatímetro electrodinámico de montaje en cuadro, sabiendo que la distancia desde el transformador a los aparatos de medida es de 20 m y que el cable utilizado para las conexiones es de cobre, de 4 mm<sup>2</sup> de sección. La línea donde se quiere instalar el equipo de medida alimenta un motor trifásico de 60 CV y 85 por 100 de rendimiento, con una tensión de 380 V y un factor de potencia de 0,65.
12. Una línea de alta tensión dispone de un equipo de medida que tiene un transformador de tensión de 6.600/110 V y un voltímetro con un alcance de 110 V. Averigua la relación de transformación del transformador y la tensión que habría en la línea cuando el voltímetro indicase 100 V.
13. Halla la tensión nominal primaria, la relación de transformación y la potencia nominal que debería tener un transformador de tensión al que se pretenda conectar un equipo de medida formado por un voltímetro indicador, un vatímetro indicador y un contador de energía, sabiendo que la tensión nominal de la línea es de 15 kV.

medida de las tensiones compuestas de una línea trifásica. Por último, el esquema de la Figura 14.17d utiliza tres transformadores de aislamiento unipolar para medir las tensiones de fase de una línea trifásica.

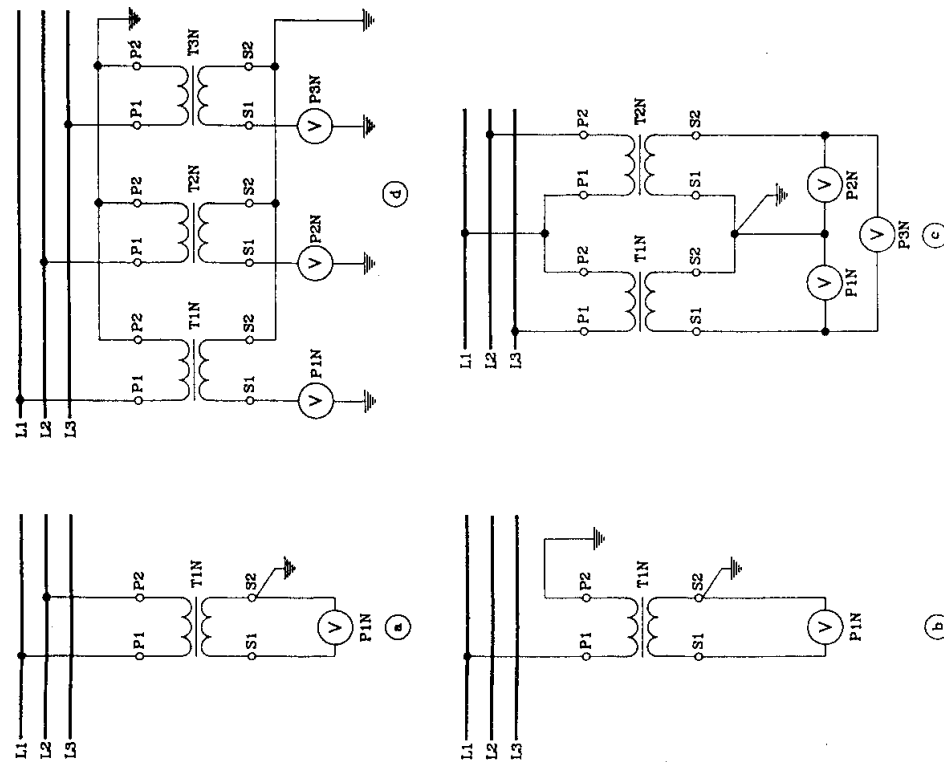


Figura 14.17. Esquemas de conexión de transformadores de tensión.

utiliza para medida de tensiones compuestas con un transformador de aislamiento bipolar. El esquema de la Figura 14.17b emplea un transformador de aislamiento unipolar, para medir la tensión de fase. El esquema de la Figura 14.17c utiliza dos transformadores con aislamiento bipolar para la