

G.- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

En esta sección se presentan los parámetros mas importantes en la definición de los Transformadores de Corriente, así como las diferentes funciones que desempeñan y sus opciones.

DEFINICIONES IMPORTANTES RELACIONADAS CON LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

a) Relación (Ratio). Es la relación de la corriente nominal de servicio del transformador y su corriente nominal en el secundario, el estándar más usado es de 5 Amps. en el secundario.

b) Precisión (Accuracy). Es la relación en porciento, de la corrección que se haría para obtener una lectura verdadera. El ANSI C57.13-1968 designa la precisión para protecciones con dos letras C y T. "C" significa que el porciento de error puede ser calculado, y esto se debe a que los devanados están uniformemente distribuidos, reduciendo el error producido por la dispersión del flujo en el núcleo.

"T" significa que debe ser determinado por medio de pruebas, ya que los devanados no están distribuidos uniformemente en el núcleo produciendo errores apreciables.

El número de clasificación indica el voltaje que se tendría en las terminales del secundario del TC para un burden definido, cuando la corriente del secundario sea 20 veces la corriente nominal, sin exceder 10% el error de relación.

c) Burden o Potencia Nominal de un Transformador de Corriente. Es la capacidad de carga que se puede conectar a un transformador, expresada en VA o en Ohms a un factor de potencia dado. El término "Burden" se utiliza para diferenciarlo de la carga de potencia del sistema eléctrico. El factor de potencia referenciado es el del burden y no el de la carga.

d) Polaridad. Las marcas de polaridad designan la dirección relativa instantánea de la corriente. En el mismo instante de tiempo que la corriente entra a la terminal de alta tensión con la marca, la corriente secundaria correspondiente esta saliendo por la terminal marcada.

e) Capacidad de Corriente Continua. Es la capacidad de corriente que el TC puede manejar constantemente sin producir sobrecalentamiento y errores apreciables. Si la corriente del secundario de un transformador de corriente esta entre 3 y 4 Amps., cuando la corriente del primario esta a plena carga, se dice que el transformador esta bien seleccionado. No se recomienda sobre dimensionar los TC's porque el error es mayor para cargas bajas.

f) Capacidad de Corriente Térmica de Corto Tiempo. Esta es la máxima capacidad de corriente simétrica RMS que el transformador puede soportar por 1 seg., con el secundario en corto, sin sobrepasar la temperatura especificada en sus devanados. En la práctica esta se calcula como:

I Térmica (KA) = Potencia de Corto Circuito (MVA)/ (1.73* Tensión (KV)).

Como la potencia de precisión varía sensiblemente con el cuadrado del número de Ampere-Vueltas del primario, para un circuito magnético dado, la precisión de los TC's hechos para resistir grandes valores de corrientes de corto circuito, disminuye considerablemente

g) Capacidad Mecánica de Tiempo Corto. Esta es la máxima corriente RMS asimétrica en el primario que el TC puede soportar sin sufrir daños, con el secundario en corto. Esta capacidad solo se requiere definir en

los TC tipo devanado. En la práctica esta corriente se calcula como:

$$I \text{ Dinámica (KA)} = 2.54 * I \text{ Térmica}$$

BASES GENERALES PARA EL DISEÑO Y SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

La función de un transformadores de corriente es la reducir a valores normales y no peligrosos, las características de corriente en un sistema eléctrico, con el fin de permitir el empleo de aparatos de medición normalizados, por consiguiente más económicos y que pueden manipularse sin peligro.

Un transformador de corriente es un transformador de medición, donde la corriente secundaria es, dentro de las condiciones normales de operación, prácticamente proporcional a la corriente primaria, y desfasada de ella un ángulo cercano a cero, para un sentido apropiado de conexiones.

El primario de dicho transformador está conectado en serie con el circuito que se desea controlar, en tanto que el secundario está conectado a los circuitos de corriente de uno o varios aparatos de medición, relevadores o aparatos análogos, conectados en serie.

Un transformador de corriente puede tener uno o varios devanados secundarios embobinados sobre uno o varios circuitos magnéticos separados.

Los factores que determinan la selección de los transformadores de corriente son:

- El tipo de Transformador de Corriente.
- El tipo de instalación.
- El tipo de aislamiento.
- La potencia nominal.
- La clase de precisión.
- El tipo de conexión.
- La Corriente Nominal Primaria.
- La Corriente Nominal Secundaria.

Tipo de Transformador de Corriente. Existen tres tipos de TC según su construcción:

- a)** Tipo devanado primario. Este como su nombre lo indica tiene mas de una vuelta en el primario. Los devanados primarios y secundarios están completamente aislados y ensamblados permanentemente a un núcleo laminado. Esta construcción permite mayor precisión para bajas relaciones.
- b)** Tipo Barra. Los devanados primarios y secundarios están completamente aislados y ensamblados permanentemente a un núcleo laminado. El devanado primario, consiste en un conductor tipo barra que pasa por la ventana de un núcleo.
- c)** Tipo Boquilla (Ventana o Bushing). El devanado secundario está completamente aislados y ensamblado permanentemente a un núcleo laminado. El conductor primario pasa a través del núcleo y actúa como

devanado primario.

Tipo de Instalación. Los aparatos pueden ser contruidos para ser usados en instalaciones interiores o exteriores. Generalmente, por razones de economía, las instalaciones de baja y media tensión, hasta 25 KV., son diseñadas para servicio interior. Las instalaciones de tipo exteriores son de tensiones desde 34.5 KV a 400 KV., salvo en los casos donde, por condiciones particulares se hacen instalaciones interiores para tensiones hasta 230 KV. Es conveniente examinar además, el tipo de TC que se pueda instalar, dependiendo de las facilidades de mantenimiento.

Tipo de Aislamiento. Los materiales que se utilizan, para el aislamiento dependen del voltaje del sistema al que se va a conectar, la tensión nominal de aislamiento debe ser al menos igual a la tensión mas elevada del sistema en que se utilice. Los tipos de aislamiento se divide en tres clases:

a) Material para baja tensión. Generalmente los TC's son contruidos con aislamiento en aire o resina sintética, suponiéndose que lo común son las instalaciones interiores.

b) Material de media tensión. Los transformadores para instalaciones interiores (tensión de 3 a 25 KV) son contruidos con aislamiento de aceite con envolvente de porcelana (diseño antiguo), o con resina sintética (diseño moderno).

Hay que hacer notar que la mayoría de los diseños actuales emplean el material seco, los aparatos con aislamiento en aceite o masa aislante (compound) se utilizan muy poco y sólo para instalaciones existentes.

Los aparatos para instalaciones exteriores son generalmente contruidos con aislamiento porcelana-aceite, aunque la técnica mas moderna está realizando ya aislamientos en seco para este tipo de transformadores.

c) Materiales para alta tensión. Los transformadores para alta tensión son aislados con papel dieléctrico, impregnados con aceite y colocados en una envolvente de porcelana.

Es importante definir la altitud de la instalación sobre el nivel del mar, ya que las propiedades dieléctricas de los materiales y del aire disminuyen con la altitud. Normalmente todos los equipos se diseñan para trabajar hasta 1000 Mts sobre el nivel del mar, si la altitud es mayor el nivel de aislamiento debe ser mayor.

Potencia Nominal. La potencia nominal que se debe seleccionar para los transformadores de medición, está en función de la utilización a que se destina el aparato.

Para escoger la potencia nominal de un transformador de corriente, se hace la suma de las potencias nominales de todos los aparatos conectados al secundario. Se debe tener en cuenta por otro lado, la impedancia de las líneas, si las distancias entre los transformadores y los instrumentos de medición, son importantes. Se escoge la potencia normal inmediata superior a la suma de las potencias. Los valores normales de las potencias de precisión y de sus factores de potencia, según ANSI, están dados en la **Tabla G.1.**

Tabla G.1						
Cargas Normalizadas para Transformadores de Corriente						
Según Normas ANSI C.57.13						
Corriente Secundaria de 5 Amps.						
	Designación de Carga	Resistencia ohms	Inductancia mHenrys	Impedancia ohms	Volt-Amperes a 5 Amps.	Factor de Potencia

	Cargas de Medición					
	B-0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
	B-0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
	B-0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
	B-0.9	0.81	1.04	0.9	22.5	0.9
	B-1.8	1.62	208	1.8	45.0	0.9
	Cargas de Protección					
	B-1	0.5	2.3	1.0	25	0.5
	B-2	1.0	4.6	2.0	50	0.5
	B-4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
	B-8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Clases de Precisión. Las clases de precisión normales para los transformadores de corriente son: 0.10, 0.02, 0.30, 0.50, 0.60, 1.20, 3.00 y 5.00 de acuerdo con las normas ANSI pero depende de las normas usadas. En las **Tablas G.2 y G.3** se tienen las diferentes clases de precisión de los instrumentos normalmente conectados y las potencias comunes de sus bobinados.

	Tabla G.2	
	Clase	Utilización
	0.10	Calibración.
	0.20-0.30	Mediciones en Laboratorios, Alimentación de Integradores para Sistemas de Potencia.
	0.50-0.60	Instrumentos de Medición e Integradores. Wathorímetros para Facturación
	1.20-3.00	Ampermetros de Tableros. Ampérmetros de Registradores. Wattmetros de Tableros. Wathorímetros Indicadores. Fasómetros Indicadores. Fasómetros Registradores Fercuencímetros de Tableros. Protecciones Diferenciales. Relevadores de Impedancia. Relevadores de Distancia, etc.
	5.00	Relevadores de Protección en general.

Tabla G.3
Consumos Propios de los Aparatos Alimentados por

Transformadores de Corriente			
	Aparatos	Modelo	Consumo Aproximado en VA para intensidad nominal.
	Wattmetros de Tablero	A Inducción	1.5–3.0
		Electrodinámico	4.0–5.0
	Wattmetros Registradores		1.5–2.0
	Wattmetros Portátiles	A Inducción	6.0–8.0
	Wattmetros de Laboratorio	Electrodinámico	1.0–4.0
		Electrodinámico	1.5–3.0
	Medidores de Desfase		6.0–16
	Fasómetros		10–18
	Watthorímetros		0.5–1.5
	Relevadores	De corriente máxima con atraso independiente	3.0–10
		Especiales de corriente máxima con atraso independiente	15–25
			1.0–10
		De máxima instantánea	1.5–10
		Direccional	
	Relevadores	Diferencial compensado	1.6–10
		Diferencial	3.0–12
		A mínima impedancia	0.5–2.0
		De distancia	6.0–20
	Reguladores	Según Modelo	10–150

El tipo de conexión. Hay tres formas en las que normalmente se conectan los secundarios de los transformadores de corriente, en circuitos trifásicos: 1) en estrella; 2) en delta abierta o V y 3) en delta.

1) Conexión en estrella. En esta conexión se colocan tres transformadores de corriente, uno en cada fase, con relevadores de fase en dos o tres de las fases para detectar fallas de fase. En sistemas aterrizados, un relevador conectado en el común de los tres TC's detecta cualquier falla a tierra o por el neutro. En sistemas no aterrizados conectados de la misma forma puede detectar fallas a tierra múltiples de diferentes alimentadores. Las corrientes en el secundario están en fase con las del primario.

2) Conexión en delta abierta. Esta conexión es básicamente la misma que la conexión en delta pero con una pierna faltante, usando solo dos TC's. Con esta conexión se puede lograr una protección contra falla entre fases, en las tres fases, pero solo ofrece protección de fallas a tierra para las fases en que se tiene TC y si el ajuste del relevador esta por debajo de la magnitud de la falla. En esta conexión las corrientes del secundario

están en fase con las del primario. Ya que, con esta conexión no es posible detectar las fallas de secuencia cero, rara vez se usa como única protección del circuito. Frecuentemente se acompaña con un TC de secuencia cero tipo dona. Este TC de secuencia cero se puede aplicar en sistemas aterrizados o flotados, y como estos transformadores y sus relevadores asociados no son sensibles a las corrientes de fase, estos pueden ser de relativa baja capacidad, por lo mismo pueden ser muy sensibles a fallas a tierra.

3) Conexión en delta. Esta configuración utiliza tres transformadores de corriente, pero a diferencia de la conexión en estrella, los secundarios se interconectan antes de conectarlos a los relevadores. Este tipo de conexión se utiliza para la protección diferencial de transformadores de potencia. La conexión en delta de los TC's se utiliza en el lado del transformador de potencia conectado en estrella, y la conexión en estrella de los TC's se usa en el lado del transformador conectado en delta.

La Corriente Nominal Primaria. Se escoge generalmente el valor normalizado superior a la corriente nominal de la instalación. La corriente nominal se calcula con la siguiente fórmula

$$I_n = \text{Potencia Aparente Trifásica} / (1.73 * \text{Voltaje de Línea})$$

En ciertos TC's se cuenta con doble o triple relación primaria, ya sea por medio de conexión serie-paralelo, o por medio de tomas en los bobinados secundarios. En la **Tabla G.4** se tiene las relaciones normales de diferentes tipos de TC's.

Tabla G.4				
Capacidad de Transformadores de Corriente de Relación Múltiple			Capacidad de Transformadores de Corriente Diferentes a los de Relación Múltiple	
Tipo Boquilla			Tipo Boquilla	
Capacidad de Corriente Amps.	Derivaciones en el Secundario	Relación Sencilla Amps.	Relación Doble con Bobinados Serie-Paralelo Amps.	Doble Relación con Derivaciones en el Secundario Amps.
600/5 50/5	X2-X3	10/5	25 X 50/5	25/50/5
100/5	X1-X2	15/5	50 X 100/5	50/100/5
150/5	X1-X3	25/5	100 X 200/5	100/200/5
200/5	X4-X5	40/5	200 X 400/5	200/400/5
250/5	X3-X4	50/5	400 X 800/5	300/600/5
300/5	X2-X4	75/5	600 X 1200/5	400/800/5
400/5	X1-X4	100/5	1000 X 2000/5	600/1200/5
450/5	X3-X5	200/5	2000 X 4000/5	1000/2000/5
500/5	X2-X5	300/5		1500/3000/5
600/5	X1-X5	400/5		2000/4000/5
1200/5 100/5	X2-X3	600/5		
200/5	X1-X2	800/5		
300/5	X1-X3	1200/5		
400/5	X4-X5	1500/5		
500/5	X3-X4	2000/5		

600/5	X2-X4	3000/5		
800/5	X1-X4	4000/5		
900/5	X3-X5	5000/5		
1000/5	X2-X5	6000/5		
1200/5	X1-X5	8000/5		
2000/5 300/5	X3-X4	12000/5		
400/5	X1-X2			
500/5	X4-X5			
800/5	X2-X3			
1100/5	X2-X4			
1200/5	X1-X3			
1500/5	X1-X4			
1600/5	X2-X5			
2000/5	X1-X5			
3000/5 1500/5	X2-X3			
2000/5	X2-X4			
3000/5	X1-X4			
4000/5 2000/5	X1-X2			
3000/5	X1-X3			
4000/5	X1-X4			
5000/5 3000/5	X1-X2			
4000/5	X1-X3			
5000/5	X1-X4			

La Corriente Nominal Secundaria. El valor normalizado es generalmente 5 Amps.; en ciertos casos, cuando el alambrado del secundario puede representar una carga importante, se puede seleccionar el valor de 1 Amp.

PARÁMETROS PRINCIPALES EN LA DEFINICIÓN DE UN TRANSFORMADOR DE CORRIENTE.

A continuación se presentan los parámetros necesarios para la especificación completa de un transformador de corriente, una descripción del parámetro y las posibles opciones de selección.

	Descripción	Vn Opción para Selección	BIL Opción para Selección	ITérmica Opción para Selección	IDinámica Opción para Selección
Vn	Voltaje Nominal de Aislamiento	Volts	KVolts	KAmps.	KAmps.
	Debe ser cuando menos igual a la tensión más elevada del sistema en que se utilice.	600	10	3	4
R	Relación de Corriente	1,200	30	6	8
	Ver Tabla G.4	2,500	45	10	12
BIL	Nivel básico de aislamiento al impulso	5,000	60	20	15
	Este parámetro es un nivel de aislamiento de voltaje de referencia expresado como el voltaje	8,700	75	25	24

	de cresta de una forma impulso estandarte no mayor de 1½ x 40 µseg.				
	I Térmica	15,000L	95	50	30
	Esta es la máxima capacidad de corriente simétrica RMS que el transformador puede soportar por 1 seg., con el secundario en corto, sin sobrepasar la temperatura especificada en sus devanados. En la práctica esta se calcula como: I Térmica (KA) = Potencia de Corto Circuito (MVA)/ (1.73* Tensión (KV)) Nota: Como la potencia de precisión varía sensiblemente con el cuadrado del número de Ampere-Vueltas primario, para un circuito magnético dado, la precisión de los TC's hechos para resistir grandes valores de corrientes de corto circuito, disminuye considerablemente.	15,000H	110	63	60
	I Dinámica	25,000	150	78	120
	Esta es la máxima corriente RMS asimétrica en el primario que el TC puede soportar sin sufrir daños, con el secundario en corto. Esta capacidad solo se requiere definir en los TC tipo devanado. En la práctica esta corriente se calcula como: I Dinámica (KA) = 2.54 * I Térmica	34,500	200	90	
		46,000	250		
		69,000	350		
		92,000	450		
		115,000	550		
		138,000	650		
		161,000	750		
		196,000	900		
		230,000	1,050		
		287,000	1,300		

	Descripción	Opción para Selección
	Clase de Precisión	
	Las clases de precisión normales para los transformadores de corriente son: 0.10, 0.20, 0.30, 0.50, 0.60, 1.20, 3.00 y 5.00 de acuerdo con las normas ANSI pero depende de las normas usadas. En las Tablas G.2 y G.3 se tienen las diferentes clases de precisión de los instrumentos normalmente conectados y las potencias comunes	

	de sus bobinados.	
	Potencia Nominal	
	Para escoger la potencia nominal de un transformador de corriente, se hace la suma de las potencias nominales de todos los aparatos conectados al secundario. Se debe tener en cuenta por otro lado, la impedancia de las líneas, si las distancias entre los transformadores y los instrumentos de medición, son importantes. Se escoge la potencia normal inmediata superior a la suma de las potencias. Los valores normales de las potencias de precisión y de sus factores de potencia, según ANSI, están dados en la Tabla G.1.	
	Tipo de Transformador de Corriente	Tipo devanado primario.
		Tipo Barra.
		Tipo Boquilla (Ventana o Bushing).
	Tipo de Aislamiento	Resina Sintética
		Aceite con Envolvente de Porcelana
		Papel Dieléctrico, Impregnados con Aceite y colocados en una Envolvente de Porcelana.