



INTRODUCCION A LOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

**INTRODUCTION TO
INSTRUMENT TRANSFORMERS**

INDICE / INDEX

1. Transformadores de medida / Instrument Transformers

1.1. Definiciones / Definitions	1
1.2. Objetivos básicos / Basic Aims	1
1.3. Generalidades sobre los transformadores de intensidad / General Points Concerning Current Transformers	2
1.4. Generalidades sobre los transformadores de tensión / General Points Concerning Voltage Transformers	3

2. Teoría del transformador de medida / Theory of Instrument Transformers

2.1. Fundamentos / Basics	4
2.2. Transformador equivalente / Equivalent Transformer	6
2.3. Esquema equivalente del transformador / Equivalent Transformer circuit Diagram	7

3. El transformador de intensidad / Current Transformers

3.1. Ecuaciones generales / General Equations	7
3.2. Diagrama vectorial / Vectorial Diagram	8
3.3. Errores de intensidad y de fase / Current & Phase Errors	8
3.4. Transformadores de intensidad para medida / Current Transformers for Measuring	12
3.5. Transformadores de intensidad para protección / Current Transformers for Protection	14
3.6. Transformadores de intensidad para protección en los que es esencial la respuesta en régimen transitorio / Current Transformers for Protection which Require Transient Regime Response	16
3.7. Carga / Burden	18
3.8. Resistencia a los cortocircuitos / Resistance to Short-circuits	20
3.9. Funcionamiento de un TI a circuito abierto / Operation of an Open Circuit Current Transformer	21
3.10. Transformadores de intensidad de realización especial / Special Versions of Current Transformers	22
3.11. Elección del transformador de intensidad / Choosing a Current Transformer.....	23

4. El transformador de tensión / Voltage Transformers

4.1. Ecuaciones generales / General Equations	23
4.2. Diagrama vectorial / Vectorial Diagram	24
4.3. Errores de tensión y fase / Voltage & Phase Errors	25
4.4. Transformadores de tensión para medida / Voltage Transformers for Measuring	26
4.5. Transformadores de tensión para protección / Voltage Transformers for Protection	26
4.6. Carga / Burden	27
4.7. Transformadores de tensión de realización especial / Special Versions of Voltage Transformers	28
4.8. Transformadores de tensión para descarga de líneas / Line Discharge Voltage Transformers	29
4.9. Sobretensiones / Overvoltages	31
4.10. Funcionamiento del TT con el secundario en cortocircuito / Operation of voltage Transformers with Short-circuited Secondaries	33
4.11. Elección del transformador de tensión / Choosing a voltage Transformer	33

5. Otros transformadores de medida / Other Instrument Transformers

5.1. Transformadores combinados de medida / Combined Instrument Transformers	34
5.2. Transformadores de tensión capacitivos TTC / Capacitive Voltage Transformers (CVT)	34
5.3. Transformadores de medida electrónicos / Electronic Instrument Transformers	35
5.4. Transformadores de medida para subestaciones blindadas / Instrument Transformers for SF6 metal housing Substations	37

6. El problema dieléctrico / The dielectric Problem

6.1. Evolución del transformador de medida / Development of Instrument Transformers	38
6.2. Ensayos de control de aislamiento / Insulation Testing	39

7. Instalación del transformador de medida / Installing Instrument transformers

7.1. Error en la medida de la potencia / Error in Power Measurement	41
7.2. Conexiones / Connections	43

8. Normas / Standards

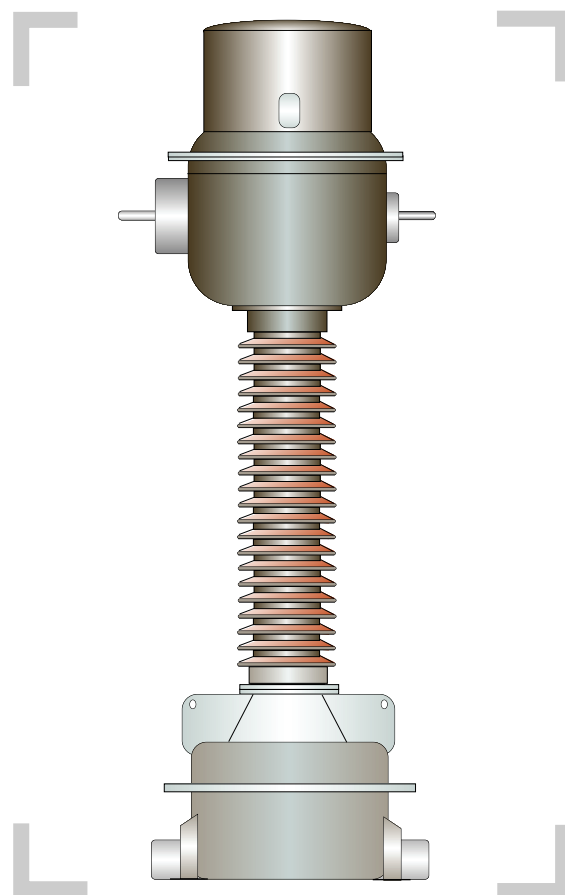
8.1. Normas consultadas / Standards Consulted	44
8.2. Condiciones ambientales / Environmental Conditions	45
8.3. Niveles de aislamiento / Insulation Levels	45
8.4. Transformadores de intensidad / Current Transformers	45
8.5. Transformadores de tensión / Voltage Transformers	54

Introducción a los transformadores de medida.

Introduction to instrument transformers.

BERROSTEGUIETA, JAIME
Electrotécnica Artech Hnos., S.A. - Mungia.

Ultima revisión/Last revision: ENZUNZA, ANGEL



1. TRANSFORMADORES DE MEDIDA

1.1. DEFINICIONES

Transformadores de medida TM son los transformadores destinados a alimentar instrumentos de medida, contadores, relés y otros aparatos análogos.

Hay dos clases de transformadores de medida:

- Transformadores de intensidad, en los cuales la intensidad secundaria es, en las condiciones normales de uso, prácticamente proporcional a la intensidad primaria y desfasada con relación a la misma un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de las conexiones.
- Transformadores de tensión, en los cuales la tensión secundaria es, en las condiciones normales de uso, prácticamente proporcional a la tensión primaria y desfasada con relación a la misma un ángulo próximo a cero, para un sentido apropiado de las conexiones

1.2. OBJETIVOS BASICOS

La función de los transformadores de medida, es reducir a valores no peligrosos y normalizados, las características de tensión e intensidad de una red eléctrica.

1. INSTRUMENT TRANSFORMERS

1.1. DEFINITIONS

Instrument transformers (ITs) are transformers designed to supply measuring instruments, meters, relays and other similar devices.

There are two types of instrument transformer:

- Current transformers, in which the secondary current is, under normal working conditions, practically proportional to the primary current and phase shifted from it by an angle close to zero in the appropriate direction for connections; and
- Voltage transformers, in which the secondary voltage is, under normal working conditions, practically proportional to the primary voltage and phase shifted from it by an angle close to zero in the appropriate direction for connections.

1.2. BASIC AIMS

The purpose of instrument transformers is to reduce the voltage and current of an electrical network to standardized, non hazardous levels.

De esta manera, se evita la conexión directa entre los instrumentos y los circuitos de alta tensión, que sería peligroso para los operarios y requeriría cuadros de instrumentos con aislamiento especial. También se evita utilizar instrumentos especiales y caros, cuando se quieren medir corrientes intensas.

En la figura 1.1 vemos un esquema sencillo en el que aparecen un transformador de intensidad TI y dos transformadores de tensión TT, uno de los cuales está conectado entre fases, y el otro entre fase y tierra.

1.3. GENERALIDADES SOBRE LOS TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

El primario de un transformador de intensidad consta de una o varias espiras, que se conectan en serie, con el circuito cuya intensidad se desea medir. El secundario alimenta los circuitos de intensidad de uno o varios aparatos de medida, conectados en serie.

El arrollamiento primario puede tener una, dos, o cuatro secciones, permitiendo una, dos o tres intensidades primarias nominales, mediante el adecuado acoplamiento de las mismas.

En la fig. 1.3 se representa un TI de doble relación primaria: 50-100/5A.

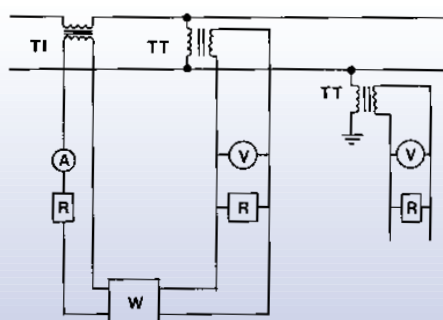


Fig. 1.1

$K_n = 100/5/5$

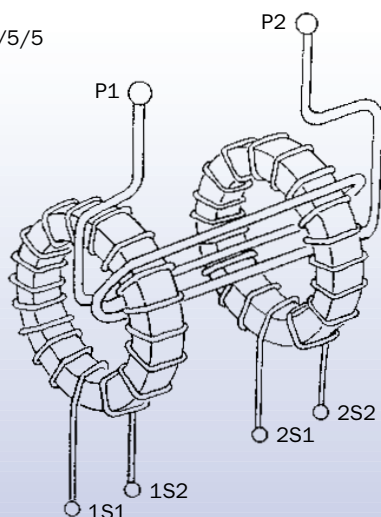
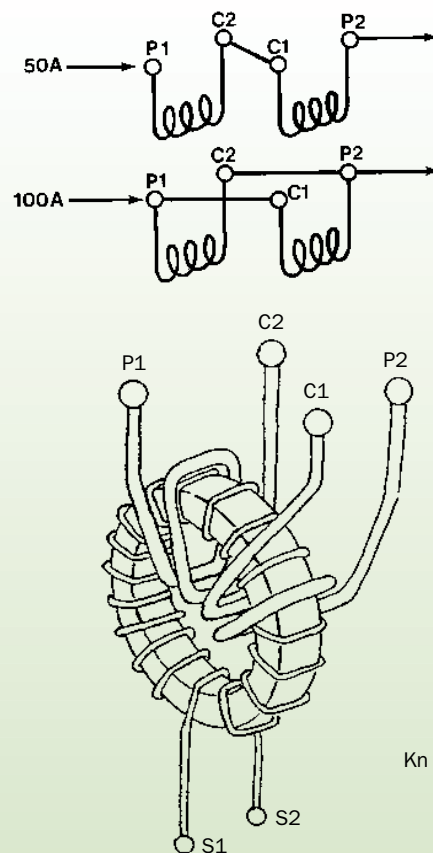


Fig. 1.2



$K_n = 50 - 100/5$

Fig. 1.3

They prevent any direct connection between instruments and high voltage circuits which would be dangerous to operators and would need instrument panels with special insulation. They also do away with the need for expensive special instruments when high currents have to be measured.

Figure 1.1 shows a simple circuit diagram in which one current transformer (CT) and two voltage transformers (VTs) are included. One of the latter is connected between phases and the other between phase and earth.

1.3. GENERAL POINTS CONCERNING CURRENT TRANSFORMERS

The primary of a current transformer is made up of one or more coils connected in series with the circuit whose current is to be measured. The secondary supplies the current circuits of one or more measuring apparatus, which are connected in series.

The primary winding may have one, two or four sections, allowing for one, two or three rated primary currents depending on how they are connected.

Fig. 1.3 shows a CT with a double primary ratio: 50-100/5A.

Puede haber también, uno o varios arrollamientos secundarios, bobinados cada uno sobre su circuito magnético. De esta manera no existe influencia de un secundario sobre el otro. En la fig. 1.2 vemos un TI con dos secundarios independientes.

El núcleo de los TI, normalmente, es de forma toroidal con el secundario uniformemente repartido, para reducir al mínimo el flujo de dispersión.

El primario consta de una o varias espiras que se conectan en serie con la línea. También existen TI en los que no está incorporado el primario. En este caso, el aislamiento principal puede estar en el primario (cables, pasamuros, etc.) o en el propio transformador. En la fig. 1.4, vemos diversos tipos de TI.

1.4. GENERALIDADES SOBRE LOS TRANSFORMADORES DE TENSION

El primario de un transformador de tensión, se conecta a los bornes, entre los cuales se desea medir la tensión y el secundario se conecta a los circuitos de tensión de uno o varios aparatos de medida conectados en paralelo.

El transformador de tensión difiere menos de transformador de potencia, que el transformador de intensidad.

Por razones constructivas y de aislamiento, los TT se fabrican normalmente con núcleo rectangular y los secundarios (si hay más de uno) se bobinan sobre el mismo núcleo. No existe por lo tanto independencia entre ellos, a diferencia de lo que ocurre en los TI, y la carga de un secundario influye en la precisión del otro.

The secondary windings may also be one or more in number, with each wound on its own magnetic circuit. In this way one secondary does not influence the other. Fig. 1.2 shows a CT with two independent secondaries.

The core of a CT is normally ring-type, with the secondary evenly distributed to minimize the secondary flux losses.

The primary consists of one or more coils connected in series with the line. There are also CTs in which the primary is not incorporated; in this case the main insulation may be in the primary (cables, bushings etc.) or in the transformer itself. Figure 1.4 shows various types of CT.

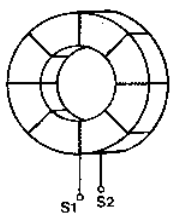
1.4. GENERAL POINTS CONCERNING VOLTAGE TRANSFORMERS

The primary of a voltage transformer is connected to the terminals between which the voltage is to be measured, and the secondary is connected to the voltage circuits of one or more measuring devices, connected in parallel.

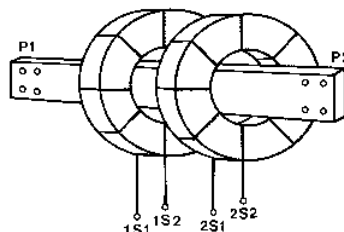
Voltage transformers are more like power transformers than current transformers are.

For reasons of construction and insulation, VTs are normally made with a rectangular core and the secondaries (if there is more than one) are wound on the same core. Unlike CTs, they are therefore not independent, and the load of one secondary influences the accuracy of the other.

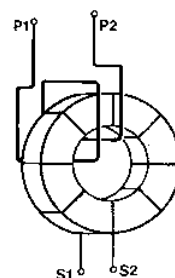
Fig. 1.4



TI sin primario incorporado
CT without primary incorporated



TI con una espira primaria
CT with one primary coil



TI con varias espiras primarias
CT with several primary coils

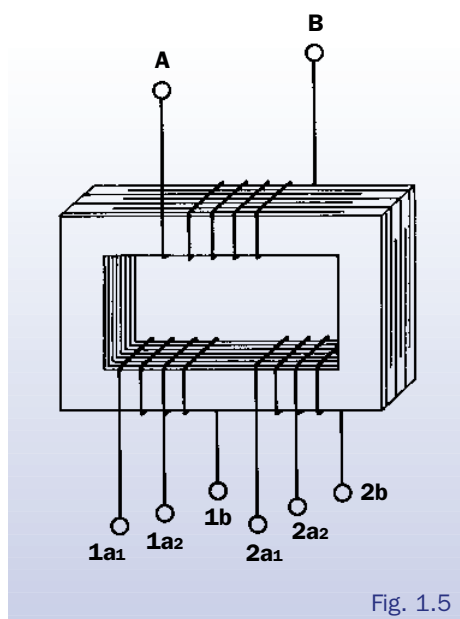


Fig. 1.5

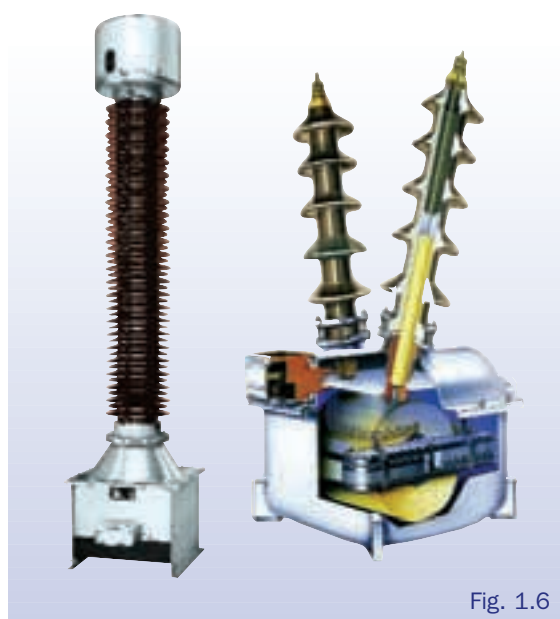


Fig. 1.6

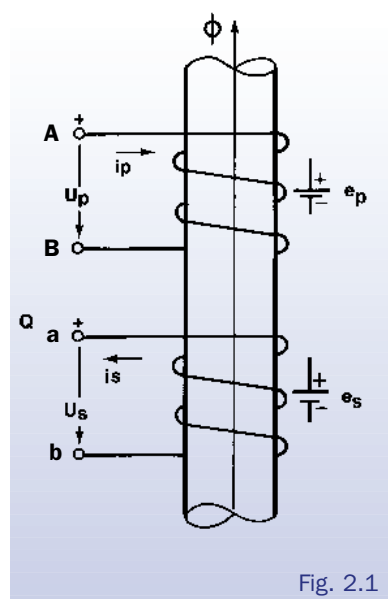


Fig. 2.1

En la fig. 1.5 vemos un transformador de tensión con dos secundarios y toma en cada uno de ellos.

Los TT pueden estar destinados a medir la tensión entre fases o entre fase y tierra. En este caso, uno de los terminales primarios está conectado a tierra, interna o externamente al transformador. En la fig. 1.6 vemos los dos tipos de TTA partir de cierta tensión (unos 72,5 kV) todos los TT son del tipo fase-tierra.

2. TEORIA DEL TRANSFORMADOR DE MEDIDA

2.1. FUNDAMENTOS

Un transformador se compone de dos arrollamientos bobinados sobre un núcleo magnético. El primario es alimentado por la tensión u_p absorbiendo la intensidad i_p .

El secundario suministra a la carga exterior la intensidad i_s con una tensión u_s . (Ver fig. 2.1)

Si los bornes secundarios están libres, el primario actúa como una autoinducción, sobre núcleo de hierro, absorbiendo la corriente de excitación i_{p0} , que consta de una componente magnetizante $i_{p\mu}$, y de una componente de pérdidas en la chapa i_{pw} .

Si todo el flujo ϕ , creado por el primario, es recogido por el secundario, podemos establecer:

$$e_p = N_p \frac{d\phi}{dt} \quad e_s = N_s \frac{d\phi}{dt}$$

Aplicando la ley de Ohm, y despreciando la resistencia del bobinado primario, resulta:

$$\left. \begin{aligned} u_p - e_p &= 0; u_p = e_p = N_p \frac{d\phi}{dt} \\ u_s - e_s &= 0; u_s = e_s = N_s \frac{d\phi}{dt} \end{aligned} \right\} \frac{u_p}{u_s} = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} = K$$

Fig. 1.5 shows a VT with two secondaries and a tap in each.

VTs may be used to measure the voltage between phases or between a phase and earth. In this case one end of its primary winding will be directly earthed, inside or outside the transformer. Fig. 1.6 shows two types of VT. Beyond around 72.5 kV, all VTs are phase/earth type.

2. THEORY OF INSTRUMENT TRANSFORMERS

2.1. BASICS

A transformer is made up of two windings wound onto a magnetic core. The primary is powered by the voltage u_p and absorbs the current i_p .

The secondary supplies the current i_s to the outside load, with voltage u_s . (see fig. 2.1)

If the secondary terminals are open, the primary acts as an auto-induction on the iron core, absorbing the excitation current i_{p0} , which comprises a magnetizing component $i_{p\mu}$ and a loss component i_{pw} .

If the whole flux ϕ created by the primary is picked up by the secondary, we can establish:

$$e_p = N_p \frac{d\phi}{dt} \quad e_s = N_s \frac{d\phi}{dt}$$

Applying Ohm's law and disregarding the resistance of the primary winding, we have:

$$\left. \begin{aligned} u_p - e_p &= 0; u_p = e_p = N_p \frac{d\phi}{dt} \\ u_s - e_s &= 0; u_s = e_s = N_s \frac{d\phi}{dt} \end{aligned} \right\} \frac{u_p}{u_s} = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} = K$$

siendo K , la relación de transformación.

Al conectar una carga a los bornes secundarios, aparece la corriente secundaria i_s , que origina un flujo en oposición al creado por i_p . Para mantener constante u_p , la intensidad primaria aumenta de valor, cumpliéndose:

$$\frac{N_p i_p - N_s i_s}{\mathcal{R}} = \phi$$

y por lo tanto como $F = \phi \cdot \mathcal{R} = N_p \cdot i_{p0}$, queda $N_p \cdot i_p = N_s \cdot i_s + N_p \cdot i_{p0}$

En un transformador perfecto, $N_p \cdot i_{p0}$ es despreciable, y por tanto,

$$N_p i_p = N_s i_s \quad \frac{i_p}{i_s} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{1}{K}$$

Si la carga el secundario es Z_s , se cumple:

$$i_s = \frac{U_s}{Z_s} \quad , \text{ y por lo tanto:}$$

$$i_p = \frac{i_s}{K} = \frac{U_s}{K Z_s} = \frac{U_p}{K^2 Z_s}$$

donde vemos que el efecto es similar a colocar una carga $K^2 Z_s$ en el primario.

En el transformador real, debemos tener en cuenta, además de la intensidad de excitación i_{p0} , las resistencias R_p y R_s de los arrollamientos, y los flujos de fuga ϕ_p y ϕ_s , según vemos en la fig. 2.2.

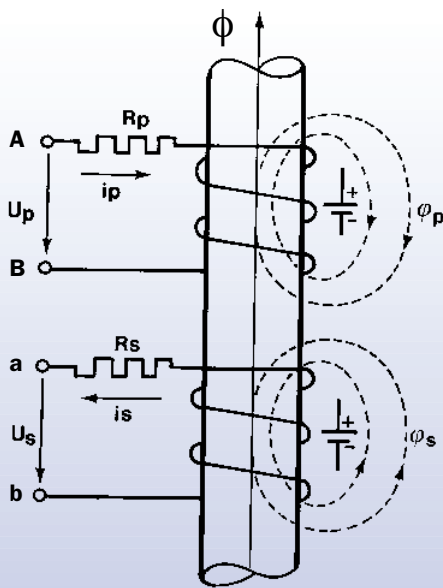


Fig. 2.2

Teniendo en cuenta que

$$N \cdot \phi = i \cdot \mathcal{L}$$

where K is the transformer ratio.

When a load is connected to the secondary terminals, secondary current i_s appears. This gives rise to a flux opposed to that created by i_p . To maintain u_p constant the primary current increases so that:

$$\frac{N_p i_p - N_s i_s}{\mathcal{R}} = \phi$$

Therefore, since $F = \phi \cdot \mathcal{R} = N_p \cdot i_{p0}$,

what is left is $N_p \cdot i_p = N_s \cdot i_s + N_p \cdot i_{p0}$

In a perfect transformer, $N_p \cdot i_{p0}$ is negligible, and therefore:

$$N_p i_p = N_s i_s \quad \frac{i_p}{i_s} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{1}{K}$$

If the secondary load is Z_s we have:

$$i_s = \frac{U_s}{Z_s} \quad \text{and therefore;}$$

$$i_p = \frac{i_s}{K} = \frac{U_s}{K Z_s} = \frac{U_p}{K^2 Z_s}$$

where it can be seen that the effect is similar to placing a load $K^2 Z_s$ on the primary.

On a real transformer we must have in mind not only the excitation current i_{p0} , but also the resistances R_p and R_s of the windings and the leakage flux ϕ_p and ϕ_s , as shown in fig. 2.2.

Bearing in mind that

$$N \cdot \phi = i \cdot \mathcal{L}$$

the general equations for the transformer are:

$$\begin{aligned} U_p &= N_p \frac{d\phi}{dt} + R_p i_p + \mathcal{L}_p \frac{di_p}{dt} \\ U_s &= N_s \frac{d\phi}{dt} - R_s i_s - \mathcal{L}_s \frac{di_s}{dt} \\ N_p i_p &= N_s i_s + N_p i_{p0} \end{aligned} \quad [2.1]$$

And for sine wave sizes:

$$\begin{aligned} \bar{U}_p &= \bar{N}_p \bar{E} + \bar{R}_p \bar{I}_p + j \bar{X}_p \bar{I}_p \\ \bar{U}_s &= \bar{N}_s \bar{E} - \bar{R}_s \bar{I}_s - j \bar{X}_s \bar{I}_s \\ N_p \bar{I}_p &= N_s \bar{I}_s + N_p \bar{I}_{p0} \end{aligned} \quad [2.2]$$

where E is the electromotive force induced in a coil.

2.2. EQUIVALENT TRANSFORMER

To study instrument transformers it is of interest to refer to the secondary, whose rated values vary little in general.

Las ecuaciones generales del transformador son:

$$\begin{aligned} U_p &= N_p \frac{d\phi}{dt} + R_p i_p + \mathcal{E}_p \frac{di_p}{dt} \\ U_s &= N_s \frac{d\phi}{dt} - R_s i_s - \mathcal{E}_s \frac{di_s}{dt} \\ N_p i_p &= N_s i_s + N_p i_{po} \end{aligned} \quad [2.1]$$

Y para magnitudes senoidales:

$$\begin{aligned} \bar{U}_p &= N_p \bar{E} + R_p \bar{I}_p + jX_p \bar{I}_p \\ \bar{U}_s &= N_s \bar{E} - R_s \bar{I}_s - jX_s \bar{I}_s \\ N_p \bar{I}_p &= N_s \bar{I}_s + N_p \bar{I}_{po} \end{aligned} \quad [2.2]$$

Donde E es la fuerza electromotriz inducida en una espira.

2.2. TRANSFORMADOR EQUIVALENTE

Para el estudio de los transformadores de medida, resulta interesante referirse al secundario, cuyos valores nominales varían poco en general.

Veamos la forma de reflejar en el secundario las magnitudes primarias.

De [2.2]:

$$N_p \bar{I}_p = N_s \bar{I}_s + N_p \bar{I}_{po}$$

dividiendo por N_s :

$$\frac{N_p}{N_s} \bar{I}_p = \bar{I}_s + \frac{N_p}{N_s} \bar{I}_{po}; \quad K \bar{I}_p = \bar{I}_s + K \bar{I}_{po}$$

donde $K \bar{I}_{po}$ es la intensidad de excitación que absorbe el transformador, si se aplica al secundario la tensión U_p/K .

En adelante, llamaremos $\bar{I}_o$ a $K \bar{I}_{po}$.

Por tanto, $K \bar{I}_p = \bar{I}_s + \bar{I}_o$

Del mismo modo, de las ecuaciones [2.2]:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{U}_p}{K} &= \frac{N_p}{N_s} \bar{E} + \frac{R_p}{K} \bar{I}_p + j \frac{X_p}{K} \bar{I}_p, \text{ de donde:} \\ \frac{\bar{U}_p}{K} &= \bar{E} \bar{N}_s + \frac{R_p}{K^2} (\bar{I}_s + \bar{I}_o) + j \frac{X_p}{K^2} (\bar{I}_s + \bar{I}_o) \end{aligned}$$

Vemos que R_p/K^2 y X_p/K^2 son la resistencia y la reactancia del primario vistas desde el secundario.

Por tanto, haciendo:

$$\frac{\bar{U}_p}{K} = \bar{U}'_p; \quad \bar{I}_p K = \bar{I}'_p; \quad \frac{R_p}{K^2} = R'_p \text{ y } \frac{X_p}{K^2} = X'_p$$

Let us look at how primary magnitudes are reflected in the secondary.

From [2.2]:

$$N_p \bar{I}_p = N_s \bar{I}_s + N_p \bar{I}_{po}$$

Dividing by N_s :

$$\frac{N_p}{N_s} \bar{I}_p = \bar{I}_s + \frac{N_p}{N_s} \bar{I}_{po}; \quad K \bar{I}_p = \bar{I}_s + K \bar{I}_{po}$$

Where $K \bar{I}_{po}$ is the excitation current absorbed by the transformer if the voltage applied to the secondary is U_p/K .

$K \bar{I}_{po}$ will henceforth be called $\bar{I}_o$.

Therefore, $K \bar{I}_p = \bar{I}_s + \bar{I}_o$

In the same way, from equations [2.2]:

$$\begin{aligned} \frac{\bar{U}_p}{K} &= \frac{N_p}{N_s} \bar{E} + \frac{R_p}{K} \bar{I}_p + j \frac{X_p}{K} \bar{I}_p, \quad \text{from which:} \\ \frac{\bar{U}_p}{K} &= N_s \bar{E} + \frac{R_p}{K^2} (\bar{I}_s + \bar{I}_o) + j \frac{X_p}{K^2} (\bar{I}_s + \bar{I}_o) \end{aligned}$$

We can see that R_p/K^2 and X_p/K^2 are the resistance and the reactance of the primary, seen from the secondary.

Therefore by doing as follows:

$$\frac{\bar{U}_p}{K} = \bar{U}'_p; \quad \bar{I}_p K = \bar{I}'_p; \quad \frac{R_p}{K^2} = R'_p \text{ y } \frac{X_p}{K^2} = X'_p$$

equations [2.2.] are transformed into:

$$\begin{aligned} \bar{U}'_p &= N_s \bar{E} + (R'_p + jX'_p) \bar{I}'_p \\ \bar{U}_s &= N_s \bar{E} - (R_s + jX_s) \bar{I}_s \\ \bar{I}'_p &= \bar{I}_s + \bar{I}_o \end{aligned} \quad [2.3]$$

2.3. EQUIVALENT TRANSFORMER CIRCUIT DIAGRAM

From equations [2.3.] we can obtain the equivalent circuit diagram of the transformer. This is shown in fig. 2.3.

3. CURRENT TRANSFORMERS

3.1. GENERAL EQUATIONS

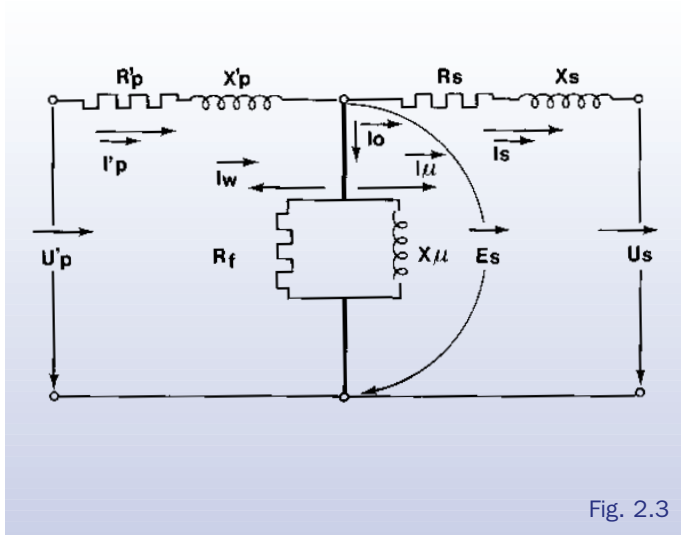
From fig. 2.3, when the outside load Z is applied, we obtain fig. 3.1.

Bearing in mind equations [2.3] we can write:

$$\begin{aligned} \bar{E}_s &= \bar{U}_s + \bar{Z}_L \bar{I}_s \\ \bar{I}'_p &= \bar{I}_s + \bar{I}_o \end{aligned}$$

las ecuaciones [2.2] se transforman en:

$$\begin{aligned}\bar{U}_p &= N_s \bar{E} + (R_p + jX_p) \bar{I}_p \\ \bar{U}_s &= N_s \bar{E} - (R_s + jX_s) \bar{I}_s \\ \bar{I}_p &= \bar{I}_s + \bar{I}_0\end{aligned}\quad [2.3]$$



2.3. ESQUEMA EQUIVALENTE DEL TRANSFORMADOR

A partir de las ecuaciones [2.3] podemos obtener el esquema equivalente del transformador, que aparece en la fig. 2.3.

3. EL TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD

3.1. ECUACIONES GENERALES

De la fig. 2.3, al colocar la carga exterior, Z, obtenemos la fig. 3.1.

Teniendo en cuenta las ecuaciones [2.3] podemos escribir:

$$\begin{aligned}\bar{E}_s &= \bar{U}_s + \bar{Z}_s \bar{I}_s \\ \bar{I}_p &= \bar{I}_s + \bar{I}_0\end{aligned}$$

siendo $\bar{E}_s = N_s \bar{E}$, y como

$$\begin{aligned}\bar{U}_s &= \bar{Z} \bar{I}_s, \text{ resulta:} \\ \bar{E}_s &= (\bar{Z} + \bar{Z}_s) \bar{I}_s = \bar{Z}_t \bar{I}_s\end{aligned}$$

Recordando la fórmula de Boucherot:

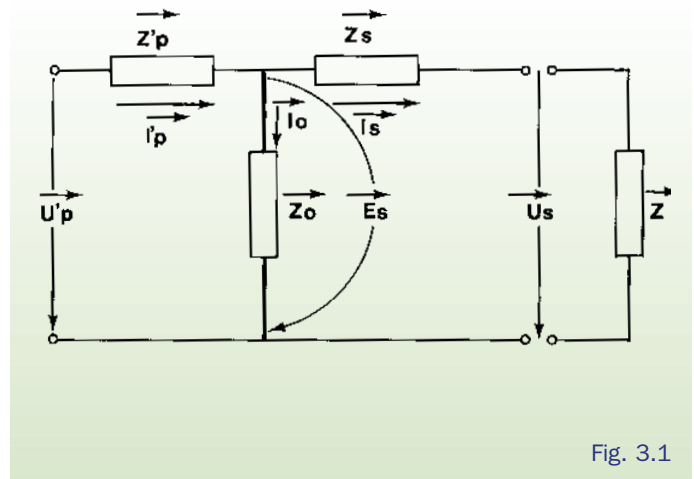
$$\bar{E}_{\text{eff}} = 2,22 \frac{f}{50} N \bar{B}_{\text{max}} S \cdot 10^{-6} \text{ Voltios}$$

válida para corrientes senoidales, si hacemos $f = 50 \text{ Hz}$, resulta:

$$\begin{aligned}\bar{E} &= 2,22 N \bar{B}_{\text{max}} S \times 10^{-6}, \\ \text{siendo: } \bar{E} &= \text{Tensión en Voltios.} \\ S &= \text{Sección neta en cm}^2 \\ \bar{B}_{\text{max}} &= \text{Inducción en Gauss.} \\ N &= \text{Número de espiras.}\end{aligned}$$

where $\bar{E}_s = N_s \bar{E}$, and as

$\bar{U}_s = \bar{Z} \bar{I}_s$, it results that: $\bar{E}_s = (\bar{Z} + \bar{Z}_s) \bar{I}_s = \bar{Z}_t \bar{I}_s$



Reminding Boucherot's formula:

$$\bar{E}_{\text{eff}} = 2,22 \frac{f}{50} N \bar{B}_{\text{max}} S \cdot 10^{-6} \text{ Volts}$$

which is valid for sine wave currents, if we make $f = 50 \text{ Hz}$, the following results:

$$\bar{E} = 2,22 N \bar{B}_{\text{max}} S \times 10^{-6},$$

where E = Voltage in volts.

S = Net cross section in cm^2

B_{max} = Induction in Gauss.

N = Number of turns.

The induction required in the core of the current transformer to power external load Z is therefore:

$$\bar{B} = \frac{(\bar{Z} + \bar{Z}_s) \bar{I}_s}{2,22 N_s S} \times 10^6 \text{ Gauss}$$

from which the following conclusions may be drawn:

- If impedance is fixed, induction is proportional to the secondary current.
- If the secondary current is fixed, induction is proportional to the total secondary load.

3.2. VECTORIAL DIAGRAM

Bearing in mind equations [2.3], from I_s we can obtain the vectorial diagram of a current transformer.

To obtain I_0 we must use the magnetizing curves of the plate used for the core, finding H_μ and H_w from B (Fig. 3.2)

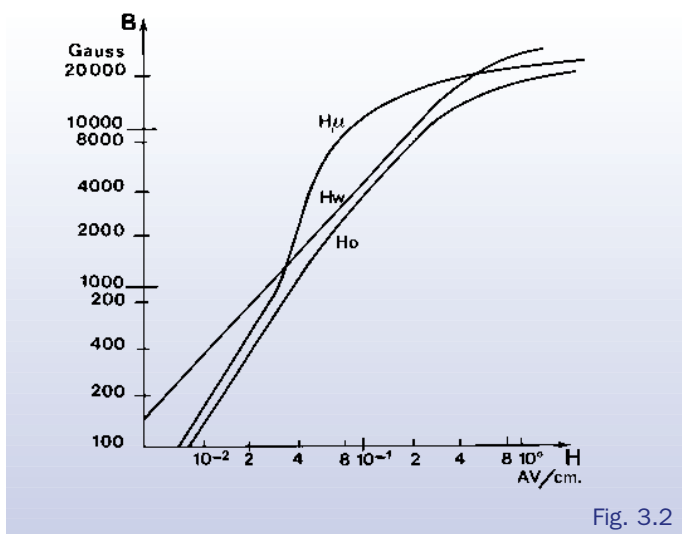


Fig. 3.2

Por tanto, la inducción necesaria, en el núcleo del transformador de intensidad, para alimentar la carga exterior Z es:

$$\bar{B} = \frac{(Z + Z_s) \bar{I}_s}{2,22 N_s S} \times 10^6 \text{ Gauss}$$

de donde obtenemos las conclusiones:

- Si la impedancia permanece fija, la inducción es proporcional a la intensidad secundaria.
- Si la intensidad secundaria permanece fija, la inducción es proporcional a la carga secundaria total.

3.2. Diagrama vectorial

A partir de I_s , y teniendo en cuenta las ecuaciones [2.3] obtenemos el diagrama vectorial del transformador de intensidad.

Para obtener I_0 , debemos utilizar las curvas de magnetización de la chapa utilizada para el núcleo, hallando H_μ y H_w a partir de B. (Fig. 3.2)

Así tenemos:

$$I_\mu = \frac{H_\mu L}{N_s} \quad I_w = \frac{H_w L}{N_s}$$

siendo L la longitud del circuito magnético.

Finalmente, en la fig. 3.3 se indica el diagrama vectorial del TI.

3.3. Errores de intensidad y de fase

Error de intensidad, ϵ_i , es el error que el transformador introduce en la medida de la intensidad, y que proviene de que su relación de transformación no es igual a la relación nominal. El error de intensidad ϵ_i , expresado en tanto por ciento, viene dado por la fórmula,

This gives:

$$I_\mu = \frac{H_\mu L}{N_s}$$

$$I_w = \frac{H_w L}{N_s}$$

where L is the length of the magnetic circuit.

Finally, Fig. 3.3 indicates the vectorial diagram of the CT.

3.3. Current and phase errors

The current error ϵ_i is the error which the transformer introduces into current measurements. It stems from the fact that its transformation ratio is not exactly as rated. Current error ϵ_i , expressed as a percentage, is given by the following formula:

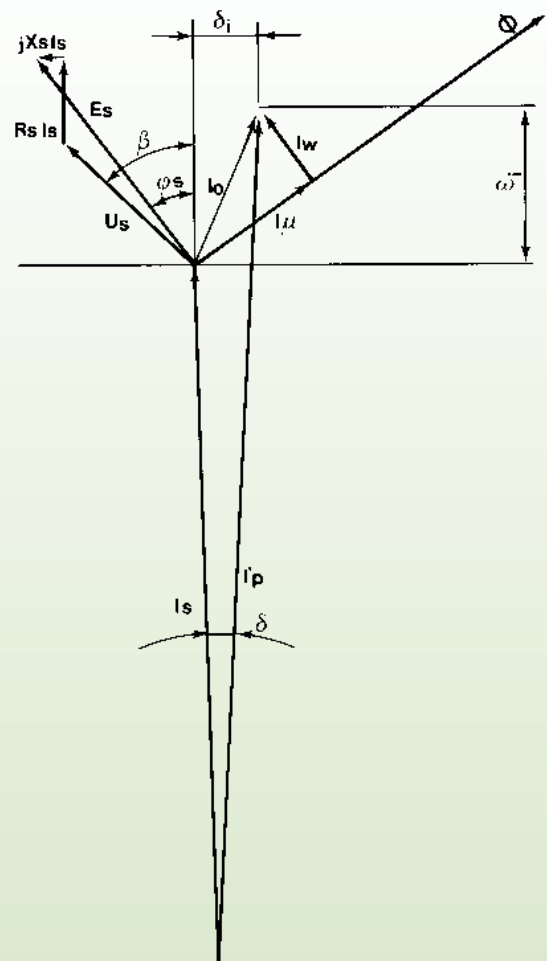


Fig. 3.3

$$\epsilon_i (\%) = \frac{(K_n I_s - I_p)}{I_p} \times 100$$

donde:

K_n = Relación de transformación nominal.

I_p = Intensidad primaria real.

I_s = Intensidad secundaria real.

Desfase o error de fase de un transformador de intensidad, δ_i , es la diferencia de la fase entre los vectores de las intensidades primaria y secundaria, elegidos los sentidos de los vectores, de forma que el ángulo sea nulo para un transformador perfecto.

En la práctica, para cargas con $\cos \beta = 0,8$, el desfase no constituye un factor limitativo, por lo que se calcula el transformador para el máximo error de relación, es decir, cuando I_s e I_o están en fase.

En este caso:
$$\epsilon_i = \frac{N_s I_o}{N_p I_p} \approx \frac{N_s I_o}{N_s I_s}$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones:

- Fórmula de Boucherot,

$$E_s = 2,22 N_s B_{max} S 10^{-6}$$

- Ley de Maxwell-Ampere,

$$H = N_s I_o / L$$

- Ley de Ohm,

$$I_s = E_s / Z_t$$

obtenemos:

$$\epsilon_i (\%) = 450000 \frac{L Z_t}{N_s^2 S \mu} \quad [3.1]$$

donde:

L = Longitud media del circuito magnético [cm].

Z_t = Impedancia total del secundario (interior más carga) [Ω].

N_s = Nº espiras de la bobina secundaria.

S = Sección del núcleo magnético [cm²].

$\mu = B/H$ = Permeabilidad de la chapa magnética [Gauss / AV / cm].

La fórmula [3.1] obtenida, ilustra los diversos factores que intervienen en el error de un transformador de intensidad, y llegamos por tanto a las siguientes conclusiones:

1) Bajo el punto de vista de las chapas:

En la fig. 3.4, vemos las curvas de magnetización de diversas chapas.

La curva I, es la de una chapa antigua de alto porcentaje de silicio trazada a título comparativo; la curva II representa una chapa de alto índice de saturación; y la curva

$$\epsilon_i (\%) = \frac{(K_n I_s - I_p)}{I_p} \times 100$$

where

K_n = rated transformation ratio

I_p = actual primary current

I_s = actual secondary current

The phase shift or phase error of a current transformer, δ_i , is the phase difference between the vectors of the primary and secondary currents, with vector directions being chosen so that the angle is zero for a perfect transformer.

In practice, for loads with $\cos \beta = 0.8$, phase shift is not a limiting factor, so transformers are calculated for the maximum ratio error, i.e. when I_s and I_o are in phase.

In this case:

$$\epsilon_i = \frac{N_s I_o}{N_p I_p} \approx \frac{N_s I_o}{N_s I_s}$$

Bearing in mind the following equations:

- Boucherot's formula:

$$E_s = 2.22 N_s B_{max} S 10^{-6}$$

- The Maxwell-Ampere law:

$$H = N_s I_o / L$$

- Ohm's Law:

$$I_s = E_s / Z_t$$

we obtain the following:

$$\epsilon_i (\%) = 450000 \frac{L Z_t}{N_s^2 S \mu} \quad [3.1]$$

where:

L = Average length of the magnetic circuit [cm].

Z_t = Total impedance of the secondary (internal plus load) [in ohms]

N_s = Nº of turns on the secondary winding.

S = Cross section of the magnetic core [cm²].

$\mu = B/H$ = Permeability of the magnetic core [Gauss / AV / cm].

Once formula [3.1] is obtained, it shows the various factors involved in current transformer errors, and allows the following conclusions to be drawn:

1) As regards core material:

Figure 3.4 shows the magnetizing curves of various materials.

Curve I is for an old material with a high silicon content, and is shown for the sake of comparison. Curve II represents a material with a high saturation rate, and curve III

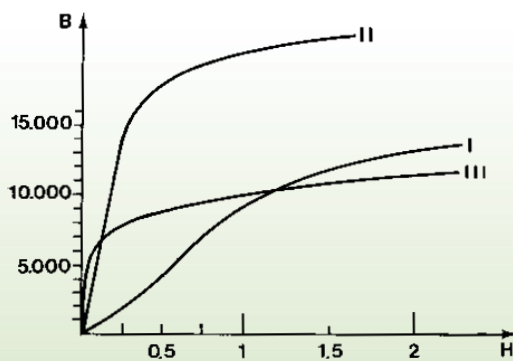


Fig. 3.4

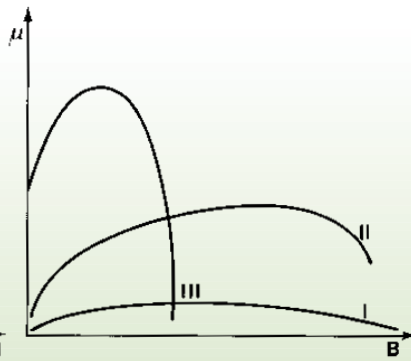


Fig. 3.5

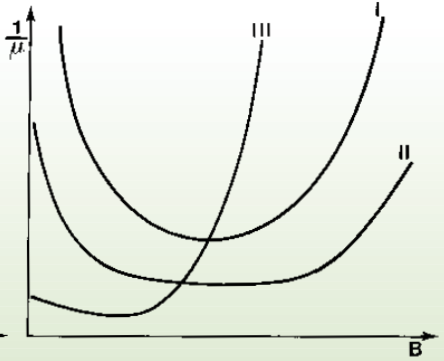


Fig. 3.6

III nos muestra un débil poder de saturación, pero por el contrario, muy alta permeabilidad a baja inducción.

En las figuras 3.5 y 3.6, vemos los valores μ y $1/\mu$, de estas chapas.

Vemos por tanto, que para un error mínimo, debemos utilizar el valor mínimo de $1/\mu$, y por tanto la chapa I no es de interés.

La curva II, correspondiente a chapa de grano orientado, es interesante cuando el número de amperivoltas sea suficiente para realizar la precisión con una pequeña sección de hierro o cuando interese un factor de saturación elevado.

La curva III, corresponde a chapa de tipo Mumetal, que permite una inducción elevada con pocos amperivoltas, y un bajo factor de seguridad.

La chapa a elegir dependerá por tanto de las diversas exigencias de tipo técnico y económico.

En la fig. 3.7, vemos cómo varía el error, al variar I_s manteniendo Z_t constante. Esta curva refleja la variación de μ al variar B, que se mantiene proporcional a I_s .

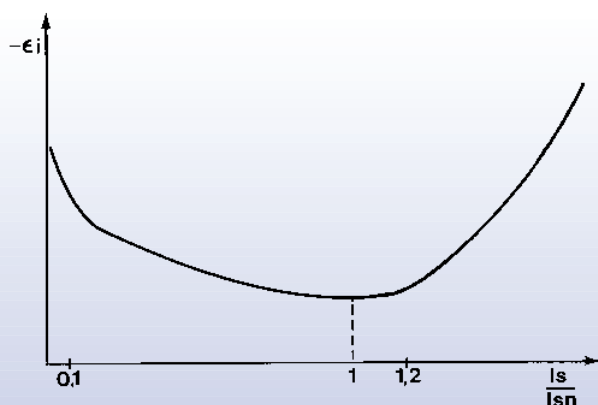


Fig. 3.7

one with a low saturation rate but high permeability at low induction.

Figures 3.5 and 3.6 show the values μ and $1/\mu$ for these materials.

We can see that for a minimum error we must use the minimum value of $1/\mu$, so plate I is of no interest.

Curve II, for oriented grain material, is of interest when the number of ampere-turns is high enough to reach the accuracy with a small cross section of iron or when a high saturation factor is sought.

Curve III is for Mumetal type material, which allows high induction at a low number of ampere-turns, and a low safety factor.

The choice of material will depend on various technical and economic requirements.

Fig. 3.7 shows how the error varies when I_s varies but Z_t remains constant. This curve shows the variation in μ in the face of a variation in B, which remains proportional to I_s .

2) As regards apparent power:

The apparent power is practically proportional to the total impedance, as $Z_s \ll Z_t$, and therefore the error is directly proportional to the apparent power.

The core cross section must be made proportional to the apparent power to keep the error within permitted limits, taking into account that if the average line is increased, cross section must be increased to cancel out the effect.

It is interesting to note that if a current transformer is designed to work with maximum μ at rated current and load, when it works with a load $Z_t/4$ the error is reduced to one quarter if μ remains constant, i.e. for $4 I_{sn}$. This is shown in fig. 3.8.

2) Con relación a la potencia aparente:

La potencia aparente es prácticamente proporcional a la impedancia total, pues $Z_s \ll Z_t$ y por lo tanto, el error es directamente proporcional a la potencia aparente.

Debemos realizar una sección de núcleo proporcional a la potencia aparente, para mantener el error dentro de los límites permitidos, teniendo en cuenta que si aumentamos la línea media, debemos aumentar de nuevo la sección, para anular su efecto.

Es interesante hacer notar, que si un transformador de intensidad está proyectado de forma que trabaje con μ máximo a la intensidad y carga nominales, al funcionar con una carga $Z_t/4$ reduciremos el error a la cuarta parte, si μ permanece constante, es decir, para $4 I_{sn}$, como vemos en la fig. 3.8

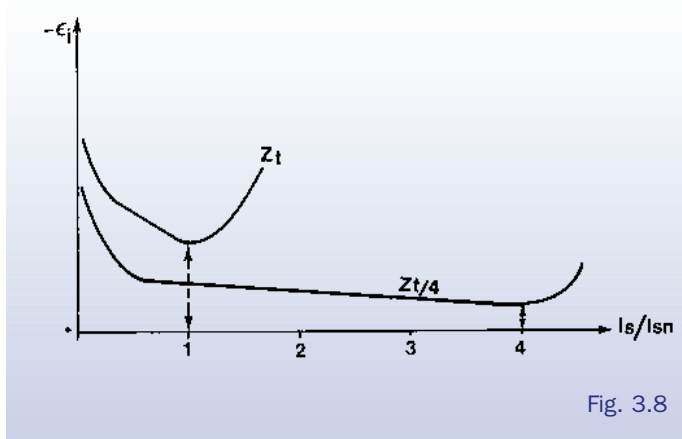


Fig. 3.8

Debido a que el error es siempre negativo, en la práctica se "centra" esta curva, respecto al eje de abscisas, dando un avance positivo igual o menor que el error. Esto se logra modificando la relación de espiras. En la fig. 3.9 vemos un caso real.

3) Según el número de amperivuelas:

Si mantenemos $I_s = 5A$, el número de amperivuelas es directamente proporcional a N_s , y por tanto, el error es inversamente proporcional al cuadrado del número de amperivuelas del secundario.

Es interesante, por tanto, elevar el número de amperivuelas, pero nos vemos limitados por las condiciones térmicas y dinámicas, que obligan a aumentar la línea media del circuito de hierro, y a disminuir por esta causa la precisión.

Por otra parte, el aumento de espiras secundarias, eleva la impedancia total y por tanto, también hace aumentar el error.

Since the error is always negative, in practice this curve is centred on the x-axis, giving a positive advance equal to or less than the error. This is achieved by modifying the turns ratio. Fig. 3.9 shows an actual case.

3) As regards the number of ampere-turns:

If we maintain $I_s = 5A$ the number of ampere-turns is directly proportional to N_s , and therefore the error is inversely proportional to the square of the number of ampere-turns of the secondary.

It is therefore of interest to raise the number of ampere-turns, though there are limits imposed by thermal and dynamic conditions which force the average line of the iron circuit to be increased, which causes a loss of precision.

Furthermore, the increase in the number of turns of the secondary raises the overall impedance and therefore also increases the error.

3.4. CURRENT TRANSFORMERS FOR MEASURING

3.4.1. Definitions

These are current transformers designed to power measuring devices, counters and similar apparatuses.

To protect apparatuses powered by the transformer against short-circuits in the network into which the primary is inserted, the "rated safety factor" is taken into account. This is calculated as follows:

$$F_s = I_{ps}/I_{pn}$$

Where I_{ps} is the "rated safety current" and I_{pn} is the "rated primary current"

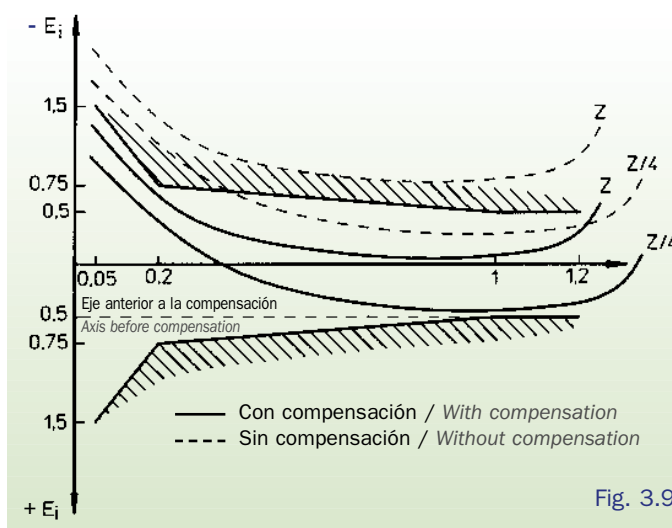


Fig. 3.9

3.4. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD PARA MEDIDA

3.4.1. Definiciones

Son los transformadores de intensidad destinados a alimentar los aparatos de medida, contadores y otros aparatos análogos.

Para proteger los aparatos alimentados por el transformador, en caso de corto-circuito en la red en la cual está intercalado el primario, se tiene en cuenta el "Factor nominal de seguridad", que se define como:

$$F_s = I_{ps}/I_{pn}$$

donde, I_{ps} es la "intensidad nominal de seguridad"
 I_{pn} es la "intensidad primaria nominal"

La intensidad nominal de seguridad, es la intensidad primaria, para la que, el transformador ha comenzado a saturarse. En este momento, la intensidad secundaria multiplicada por la relación de transformación nominal, debe ser menor o igual a 0,9 veces la intensidad primaria. Se puede escribir entonces:

$$K_{nlss} < 0,9 I_{ps}$$

En la fig. 3.10 vemos la relación entre las intensidades primaria y secundaria, para $F_s \leq 5$.

Para que un transformador de intensidad pueda realizar una clase de precisión elevada con un factor nominal de seguridad bajo, es necesario utilizar en la construcción del núcleo, chapa magnética de gran permeabilidad y de saturación rápida. Esto se logra normalmente, aunque no siempre es posible, con chapa de alto porcentaje de níquel (por ejemplo: Mumetal), de elevado coste.

Por ello, antes de escoger F_s , debemos comprobar si es necesaria su aplicación, y en caso afirmativo consultar con el fabricante la posible modificación del precio del transformador.

3.4.2. Clase de precisión

La clase de precisión de un transformador de intensidad para medida, está caracterizada por un número (índice de clase) que es el límite del error de relación, expresado en tanto por ciento para la intensidad nominal primaria estando alimentando el transformador la "carga de precisión".

Las clases de precisión de los transformadores de intensidad para medida son: 0,1, 0,2, 0,5, 1 y 3.

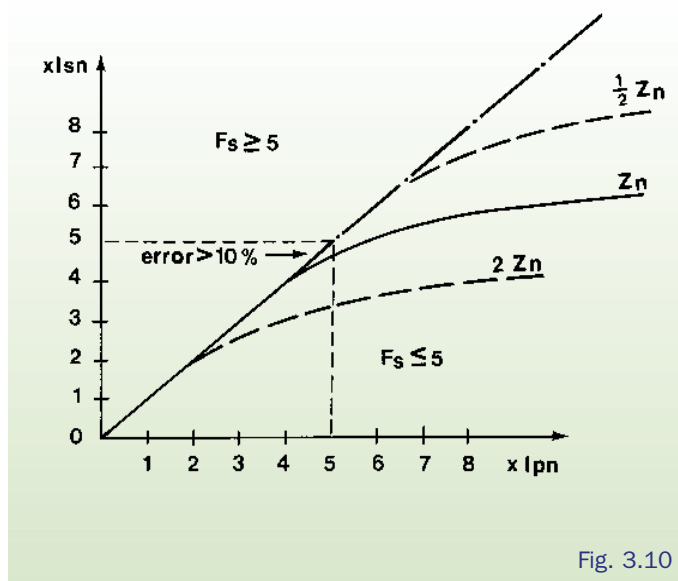


Fig. 3.10

The rated safety current is the primary current at which the transformer begins to saturate. At that point the secondary current multiplied by the rated transformation ratio should be 0.9 or less times the primary current. This means that we can write:

$$K_{nlss} < 0.9 I_{ps}$$

Fig. 3.10 shows the ratio between the primary and secondary currents for $F_s \leq 5$.

For a current transformer to be able to reach a high accuracy rate with a low rated safety factor, highly permeable, fast saturating magnetic plate must be used to construct the core. This is normally achieved, though it is not always possible, using expensive high nickel content plate (e.g. Mumetal).

Therefore before selecting F_s we must check if it really needs to be applied. If so, the manufacturer must be consulted concerning possible increases in transformer prices.

3.4.2. Accuracy class

The accuracy class of a current transformer for measuring is given by a number (class rate) representing the ratio error limit expressed as a percentage of the rated primary current when the transformer is running at its "accuracy load".

Accuracy classes for current transformers for measuring are 0.1, 0.2, 0.5, 1 and 3.

Guía de aplicación:

Clase 0,1 - Laboratorio.

Clase 0,2 - Laboratorio, patrones portátiles, contadores de gran precisión.

Clase 0,5 - Contadores normales y aparatos de medida.

Clase 1 - Aparatos de cuadro.

Clase 3 - Para usos en los que no se requiere una mayor precisión.

3.4.3. Transformadores de gama extendida

Son transformadores de intensidad para medida, cuyas características de precisión y calentamiento se extienden a valores de la intensidad primaria, superiores al 120% de la nominal.

Es normal considerar como límite de la gama el 150% y el 200% de la intensidad primaria nominal.

Para aplicaciones especiales, en los TI de clase 0,2 y 0,5 con $I_{sn} = 5A$ puede extenderse la precisión hasta el 1% de I_{pn} , pasando las clases a denominarse 0,2S y 0,5S.

3.4.4. Verificación

La verificación de la clase en los transformadores de intensidad para medida, consiste en medir su relación de transformación con una precisión que debe ser necesariamente del orden de 0,01%.

La realización de este ensayo, en forma absoluta, solamente es posible en laboratorios especializados. Afortunadamente, utilizando transformadores patrones, debidamente contrastados, es posible obtener, por comparación, en puentes de verificación, los errores de cualquier transformador, con la precisión necesaria.

Para verificar el factor de seguridad, podemos utilizar dos métodos:

- Alimentando el arrollamiento primario con la intensidad nominal de seguridad, verificando que el error en el secundario, con su carga de precisión, es mayor o igual al 10%.
- Excitar el transformador a través del arrollamiento secundario hasta obtener en bornes secundarios:
 $U_o = F_s I_{sn} Z_t$, y comprobando que $I_o \geq 0,1 F_s I_{sn}$.

Es importante recordar que el factor de seguridad depende de la carga secundaria, aumentando su valor, en la misma proporción en que la carga total disminuye.

Nota: Si bien en algunas normas (UNE, CEI, etc.) se admiten los dos métodos de ensayo indicados, hay que tener en cuenta que en el método directo se mide el error de relación y en el

Practical guide:

Class 0.1 - Laboratory

Class 0.2 - Laboratory, portable reference patterns, high-precision counters.

Class 0.5 - Normal counters and meters.

Class 1 - Panel apparatuses

Class 3 - Uses where great precision is not required.

3.4.3. Extended current ratings

These are current transformers for measuring whose precision and heating characteristics extend to more than 120% of the rated primary current.

150-200% of the rated primary current is usually considered as the limit of the range.

For special applications in CT with class 0.2 and 0.5 with $I_{sn} = 5A$, accuracy may be extended to 1% of I_{pn} . In this case the classes are denominated 0,2S and 0,5S.

3.4.4. Testing

Checking the class of a measuring current transformer for consists in the measure of its transformation ratio with a precision of 0.01%.

This test can be performed only in specialized laboratories. However, comparison with properly calibrated reference transformers via checking bridges will show the errors in transformers to a high enough standard of accuracy.

To check the rated safety factor two methods can be used:

- Powering the primary winding at the rated safety current and checking that the error in the secondary at its precision load is 10% or more;*
- Exciting the transformer via the secondary winding until $U_o = F_s I_{sn} Z_t$ is obtained at the secondary terminals and checking that $I_o \geq 0.1 F_s I_{sn}$.*

It is important to recall that the safety factor depends on the secondary load, and increases proportionally to the reduction in total load.

Note: Some standards (UNE, IEC, etc.) admit both these test methods, but it must be borne in mind that the direct method measures the ratio error and the indirect the compound error.

indirecto el error compuesto. No obstante los valores de F_s obtenidos en ambos métodos difieren muy poco y la fácil aplicación del método indirecto justifica plenamente su utilización.

3.5. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD PARA PROTECCION

3.5.1. Definiciones

Son los transformadores de intensidad destinados a alimentar relés de protección. Deben, por tanto, asegurar una precisión suficiente para intensidades de valor igual a varias veces la intensidad nominal.

Para estas intensidades, el error a considerar es el "Error compuesto", que se define como el valor eficaz de la diferencia integrada sobre un período entre los valores, instantáneos de la intensidad primaria y el producto de la relación de transformación nominal por los valores instantáneos de la intensidad secundaria real. En tanto por ciento, viene dado por la fórmula:

$$\Sigma_c (\%) = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n \cdot i_s - i_p)^2 dt}$$

Si i_p e i_s son senoidales, el error compuesto es la suma vectorial del error de relación y del error de fase. En este caso, la fórmula anterior se transforma en:

$$\Sigma_c = \sqrt{\epsilon_i^2 + \delta_i^2}$$

"Intensidad límite de precisión nominal" es el valor más elevado de la intensidad primaria, para la cual, el transformador, con la carga de precisión, responde a los límites exigidos del error compuesto.

"Factor límite de precisión nominal" es la relación entre la intensidad límite de precisión nominal y la intensidad nominal primaria.

Debe tenerse en cuenta, que el factor límite de precisión depende de la carga, y si ésta es superior a la carga de precisión, el factor límite de precisión es inferior al nominal.

El "Factor de seguridad" y el "Factor límite de precisión" son conceptualmente similares, pues indican para qué múltiplo de I_{pn} comienza la saturación del TI con la carga nominal. Para calcular el nuevo factor (tanto el de seguridad como el límite de precisión) puede aplicarse la siguiente fórmula:

$$F = \frac{A}{Z_n + Z}$$

donde A es una constante que puede obtenerse de los valores nominales de F y Z. (Ver fig. 3.10)

However the figures for F_s obtained by the two methods differ very little, and the ease of application of the indirect method is reason enough for using it.

3.5. CURRENT TRANSFORMERS FOR PROTECTION

3.5.1. Definitions

These are current transformers intended to power protective relays. They must therefore guarantee sufficient precision for current levels several times higher than the rated current.

At these currents the error to be considered is the "compound error", which is defined as the effective figure for the integrated difference over a period between the instantaneous primary current and the product of the rated transformation ratio by the actual instantaneous secondary currents. In percentage terms this is given by the following formula:

$$\Sigma_c (\%) = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_n \cdot i_s - i_p)^2 dt}$$

If i_p and i_s are sine wave in shape, the compound error is the vectorial sum of the ratio error and the phase error. In this case the above formula changes to:

$$\Sigma_c = \sqrt{\epsilon_i^2 + \delta_i^2}$$

The "rated precision limit current" is the highest primary current for which the transformer, with the precision load, meets the required limits for the compound error.

The "rated precision limit factor" is the ratio of the rated precision limit current to the rated primary current.

It must be recalled that the precision limit factor depends on the load, and if this is higher than the precision load the precision limit factor is lower than rated.

The "safety factor" and the "precision limit factor" are similar in concept, as they indicate the multiple of I_{pn} at which the CT begins to saturate at its rated load. The following formula can be used to calculate both these new factors:

$$F = \frac{A}{Z_n + Z}$$

where A is a constant which can be obtained from the rated figures for F and Z. (see fig. 3.10)

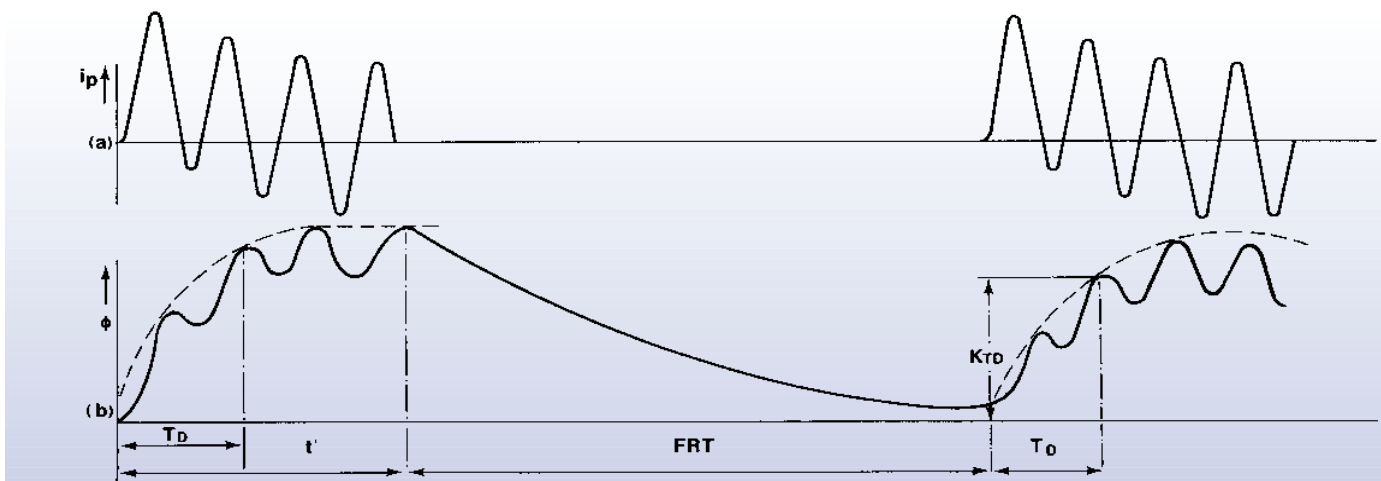


Fig. 3.11

3.5.2. Clase de precisión

La clase de precisión de un transformador de intensidad para protección, está caracterizada por un número (índice de clase) y la letra "P" (inicial de protección).

El índice de clase indica el límite superior del error compuesto para la intensidad límite de precisión nominal y la carga de precisión. Después de la letra "P", figura el factor límite de precisión nominal.

Las clases de precisión normales son:

5P y 10P

Para sistemas de protección, en los que las características del transformador son parte integrante del sistema (por ejemplo, dispositivos de protección diferencial de acción rápida) existen las clases de protección PR y PX.

La clase PR se refiere a transformadores que deben asegurar la protección como un factor de remanencia (relación entre flujo remanente y el flujo de saturación) limitado para los que, en algunos casos, puede especificarse un valor de la constante de tiempo del bucle secundario y/o un valor máximo de la resistencia del arrollamiento secundario.

Las clases PX se aplican a los transformadores de baja inductancia de fuga (sin entrehierro) para los que el conocimiento de la curva de excitación del secundario, de la resistencia del arrollamiento secundario, de la resistencia de la carga secundaria y de la relación del número de espiras es suficiente para determinar su comportamiento en el sistema de protección al que está conectado.

Nota 1.- Si bien hemos diferenciado netamente el transformador de intensidad para medida, del transformador de intensidad para protección, es usual que un mismo aparato cumpla ambas funciones, mediante dos o más núcleos independientes.

3.5.2. Accuracy class

The accuracy class of a current transformer for protection is given by a number (class rate) and the letter "P" (standing for "protection").

The class rate indicates the upper limit of the compound error for the rated precision limit current and the precision load. After the letter "P" the rated precision limit factor is shown.

The normal precision classes are:

5P and 10P

For protection systems in which the characteristics of the transformer are an integral part of the system (such as fast acting differential protection devices) there are protection classes PR and PX.

Class PR refers to transformers which must guarantee protection as a limited remanence factor (remanent flux to saturation flux ratio) for which, in some cases, a value for the time constant of the secondary loop and/or a maximum value for the secondary winding resistance can be specified.

Class PX is applied to low leakage inductance transformers (without air gap) for which knowing the secondary excitation curve, the secondary winding resistance, the secondary load resistance and the turns ratio is enough to determine their performance in the protection system to which they are connected.

Note 1: We have differentiated clearly between current transformers for measuring and those for protection, but the two tasks can often be performed by the same unit via two or more independent cores.

3.5.3. Verificación

En los transformadores de intensidad para protección, hay que verificar la precisión para la corriente nominal, y para ello se utiliza el mismo sistema que en los transformadores para medida.

La verificación del error compuesto, para la intensidad límite de precisión, se puede realizar de dos maneras:

- Haciendo pasar por el arrollamiento primario una intensidad prácticamente sinusoidal, igual en valor eficaz a la intensidad límite de precisión.
- Determinando la intensidad de excitación para la frecuencia nominal y una tensión prácticamente sinusoidal de valor eficaz igual al de la fuerza electromotriz límite secundaria.

El primer método es de difícil aplicación, excepto para transformadores de pequeña intensidad primaria y bajo factor límite de precisión nominal. Se puede utilizar en los ensayos de tipo.

Para los ensayos individuales, el único método aplicable es el de excitación.

3.6. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD PARA PROTECCION EN LOS QUE ES ESENCIAL LA RESPUESTA EN REGIMEN TRANSITORIO

3.6.1. Generalidades

Si es necesario que el TI para protección responda correctamente durante los primeros ciclos de un cortocircuito, es necesario sobredimensionar el núcleo para que no se sature con la componente aperiódica.

El valor inicial de esta componente aperiódica, dependiendo del valor de la tensión en el momento de producirse el cortocircuito y de las características de la línea, oscila entre 0 y $\sqrt{2} I_{cc}$, siendo I_{cc} el valor eficaz de la intensidad de cortocircuito simétrica.

Si consideramos este valor máximo, la intensidad de cortocircuito transitoria es:

$$i_{cc} = \sqrt{2} I_{cc} (e^{-t/T_1} - \cos \omega t)$$

donde $T_1 = L/R$ es la constante de tiempo de la línea.

Si consideramos que la carga secundaria es resistiva, el flujo necesario en el TI para que no se sature es:

$$\phi_T = \phi_A \left[\frac{w T_1 T_2}{T_1 - T_2} \left(e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) - \sin \omega t \right] \quad [3.2]$$

3.5.3. Checking

In current transformers for protection the precision must be checked for the rated current, using the same system as in measuring transformers.

The compound error can be checked for the precision limit current in two ways:

- By running a practically sine-wave type current through the primary winding at an effective level equal to the precision limit current.*
- By determining the excitation current for the rated frequency and a practically sine-wave type voltage with an effective level equal to the secondary limit electromotive force.*

The first of these methods is hard to apply, except in transformers with low primary currents and a low rated precision limit factor. It can be used in type testing.

For individual tests the excitation method is the only one applicable.

3.6. CURRENT TRANSFORMERS FOR PROTECTION WHICH REQUIRE TRANSIENT REGIME RESPONSE

3.6.1. General points

If a CT for protection is required to respond correctly during the early cycles of a short-circuit, the core must be oversized so that it does not saturate with the non-cyclic component.

The initial level of the non-cyclic component varies (depending on the voltage when the short circuit occurs and on the characteristics of the line) between 0 and $\sqrt{2} I_{cc}$, where I_{cc} is the effective symmetrical short-circuit current.

If we consider this maximum level, the transient short circuit current is:

$$i_{cc} = \sqrt{2} I_{cc} (e^{-t/T_1} - \cos \omega t)$$

where $T_1 = L/R$ is the time constant of the line.

If we consider that the secondary load is resistive, the flow required to prevent the CT from saturating is:

$$\phi_T = \phi_A \left[\frac{w T_1 T_2}{T_1 - T_2} \left(e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}} \right) - \sin \omega t \right] \quad [3.2]$$

donde: T_2 = Constante de tiempo del transformador.
 ϕ_A = Valor de cresta de la componente sinusoidal del flujo.

Para simplificar esta fórmula, se puede tomar $\sin wt = -1$

Si $T_2 \gg T_1$ (lo que ocurre con los TI normales), resulta:

$$\phi_T = \phi_A (w T_1 + 1)$$

Normalmente, en líneas de alta tensión, hay que tener en cuenta que tras el primer cortocircuito, existe un reenganche rápido que incrementa el flujo remanente del TI. En la fig. 3.11 se indica i_{cc} (a) y el flujo del TI (b). El coeficiente de sobredimensionamiento del núcleo del TI (K_{TD}), es la relación entre ϕ_T y ϕ_A . A partir de la fórmula [3.2] y teniendo en cuenta el reenganche, resulta:

$$K_{TD} = \left[\frac{w T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left(e^{-\frac{t'}{T_2}} - e^{-\frac{t'}{T_1}} \right) + 1 \right] e^{-\frac{(FRT + T_D)}{T_2}} + \left[\frac{w T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left(e^{-\frac{T_2}{T_2}} - e^{-\frac{T_2}{T_1}} \right) + 1 \right] \quad [3.3]$$

donde: T_1 = Constante de tiempo de la línea.
 T_2 = Constante de tiempo del TI.
 t' = Duración del primer corto.
 FRT = Tiempo de repetición del defecto (tiempo muerto).
 T_D = Tiempo a partir del cual, se admite la saturación del TI.

Si deseamos conocer el sobredimensionamiento que tiene un TI de protección normal, para estudiar su comportamiento durante el período transitorio, podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$K'_{TD} = \frac{F_n (R_s + Z_n)}{K_{SSC} (R_s + R)}$$

donde: F_n = Factor límite de precisión nominal.
 R_s = Resistencia del arrollamiento secundario.
 Z_n = Impedancia de la carga nominal.
 K_{SSC} = Relación entre la intensidad simétrica de corto (I_{cc}) y la intensidad primaria nominal.
 R = Resistencia secundaria real.

Si la carga real no es resistiva, puede tenerse en cuenta, sustituyendo en la fórmula [3.3] el sumando 1 por $1/\cos \beta$ donde, para calcular " β " interviene también R_s .

3.6.2. Clasificación de los TI

Se consideran tres clases de TI:

TPX: TI con el núcleo sin entrehierros, pero de sección suficiente para responder correctamente durante el período transitorio. Refleja bien la componente aperiódica. El valor de T_2 es grande, comparado con el de T_1 .

where T_2 is the transformer time constant
and ϕ_A is the peak level of the sine-wave component of the flux.

To simplify this formula, sine wt can be taken as -1.

If $T_2 \gg T_1$ (as is normally the case in CTs), it results that:

$$\phi_T = \phi_A (w T_1 + 1)$$

In high voltage lines it must normally be taken into account that after the first short circuit there is a rapid reconnection which increases the residual flow in the CT. Figura 3.11 shows i_{cc} (a) and CT flow (b). The oversizing coefficient of the core of the CT (K_{TD}) is the ratio between ϕ_T and ϕ_A . From formula [3.2], bearing the reconnection in mind, it results that:

$$K_{TD} = \left[\frac{w T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left(e^{-\frac{t'}{T_2}} - e^{-\frac{t'}{T_1}} \right) + 1 \right] e^{-\frac{(FRT + T_D)}{T_2}} + \left[\frac{w T_1 T_2}{T_2 - T_1} \left(e^{-\frac{T_2}{T_2}} - e^{-\frac{T_2}{T_1}} \right) + 1 \right] \quad [3]$$

where T_1 is the time constant of the line.
 T_2 is the time constant of the CT.
 t' is the duration of the first short circuit.
 FRT is the fault repetition time (dead time).
 T_D is the time from which CT saturation is admitted.

To learn how oversized a normal protection CT is, so that its behaviour during the transient period can be studied, the following formula can be used:

$$K'_{TD} = \frac{F_n (R_s + Z_n)}{K_{SSC} (R_s + R)}$$

where F_n is the rated precision limit factor.
 R_s is the secondary winding resistance.
 Z_n is the rated load impedance.
 K_{SSC} is the ratio between the symmetrical short-circuit current (I_{cc}) and the rated primary current.
 R is the actual secondary resistance.

If the actual load is not resistive, addend $n^\circ 1$ in formula [3.3] can be replaced by $1/\cos \beta$ where R_s also intervenes in the calculation of β .

3.6.2. Classification of CTs

CTs are classed in three types:

TPX: CTs with no gap in the core, but with sufficient cross section to respond correctly during the transient period. They reflect the non-cyclic component well. T_2 is large in comparison to T_1 .

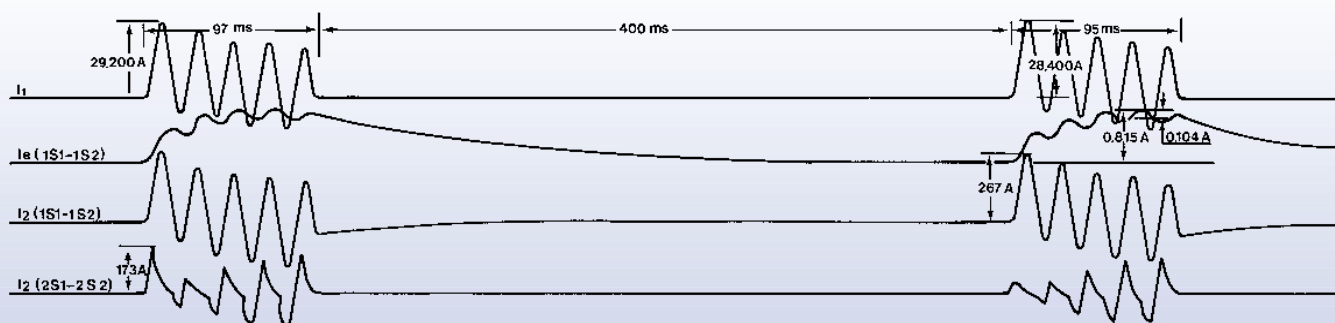


Fig. 3.12

TPY: TI con pequeños entrehierros en el núcleo, para reducir la inducción remanente. Refleja bastante bien la componente aperiódica. El valor de T_2 depende de las exigencias de precisión (como orientación, puede oscilar entre 0,3 y 1 segundos).

TPZ: TI con entrehierros superiores a los del TPY. Refleja bien la componente alterna, pero no la aperiódica. El valor de T_2 , es del orden de 0,07 segundos. Debido a los entrehierros, no es posible obtener mucha precisión a I_n .

Ejemplo: Veamos los factores de sobredimensionamiento de cada clase de TI, para $T_1 = 0,1s$, $t' = 0,08s$, $T_D = 0,035s$, $FRT = 0,5s$, $f = 50$ Hz.

- a) TPX. Consideramos $T_2 = 10s$
 $K_{TD} = 26,4.$
- b) TPY sea $T_2 = 0,5s$
 $K_{TD} = 14,7.$
- c) TPZ sea $T_2 = 0,07s$
 $K_{TD} = 7,6.$

En la fig. 3.12 se ve cómo responden ante una intensidad primaria totalmente desplazada, un secundario TPZ (1S1-1S2) y un secundario de protección normal (2S1-2S2).

3.7. CARGA

Es la impedancia del circuito exterior alimentado por el arrollamiento secundario, expresada en Ohmios, con indicación de su factor de potencia. Puede ser indicada también por su factor de potencia y la potencia aparente en voltio-amperios, que absorbe para la intensidad secundaria nominal. Por ejemplo: Potencia de precisión 30VA para $I_{sn} = 5$ A

$$Z = \frac{30}{5^2} = 1,2 \text{ Ohmios}$$

TPY: CTs with small gaps in the core to reduce residual induction. They reflect the non-cyclic component fairly well. T_2 depends on the degree of precision required (as a guideline, it can vary between 0.3 and 1 second).

TPZ: CTs with larger gaps than in TPY. They reflect the alternating component well, but not the non-cyclic component. T_2 is around 0.07 second. Due to the gaps, a high degree of precision cannot be obtained at I_n .

Example: consider the oversizing factors of each type of CT, for $T_1 = 0.1s$, $t' = 0.08s$, $T_D = 0.035s$, $FRT = 0.5s$ and $f = 50$ Hz.

- a) TPX: Consider $T_2 = 10s$
 $K_{TD} = 26.4$
- b) TPY $T_2 = 0.5s$
 $K_{TD} = 14.7$
- c) TPZ $T_2 = 0.07s$
 $K_{TD} = 7.6$

Fig. 3.12 shows how a TPZ secondary (1S1-1S2) and a secondary with normal protection (2S1-2S2) respond to a totally shifted primary current.

3.7. BURDEN

This is the impedance in the outside circuit connected to the secondary winding, expressed in Ohms, with an indication of its power factor. It may also be indicated by its power factor and the apparent burden in volt-amperes absorbed for the rated secondary current. For instance: 30VA precision burden for $I_{sn} = 5$ A

$$Z = \frac{30}{5^2} = 1,2 \text{ Ohmios}$$

Al calcular la carga secundaria, hay que añadir a la carga de los aparatos de medida, la carga de los cables de conexión. En la fig. 3.13 vemos un gráfico del consumo en VA de los cables normalmente utilizados.

Veamos a continuación la tabla 3.1, en la que se indican los consumos en VA, de bobinas amperimétricas usuales.

Tabla 3.1

Consumo de algunos aparatos alimentadores por TI

Aparato	VA a In.
Amperímetros	
Indicadores	0,25 a 2
Registradores	1,5 a 9
Contadores	0,5 a 3
Vatímetros	
Indicadores	1 a 3
Registradores	1,5 a 8
Fasímetros	
Indicadores	2 a 6
Registradores	6 a 12
Maxímetros	3
Convertidores de potencia	3 a 6
Relés	
de sobreintensidad, de tiempo inver.	5 a 8
de sobreintensidad, temporizados	1 a 5
de sobreintensidad, instantáneos	1 a 10
direccionales	1,5 a 10
de potencia, temporizados	1,5 a 3
diferenciales	3 a 12
de distancia	6 a 20
Reguladores	10 a 150

En los TI clase "TP", debe solicitarse justamente la potencia necesaria y evitar que el consumo en los cables sea importante. De esta manera se compensará parcialmente el sobredimensionamiento del núcleo respecto de los TI de protección normales.

When secondary loads are calculated the load of the connecting cables must be added to that of the measuring apparatuses. Fig. 3.13 is a graph of consumption in VA for the cables normally used.

Table 3.1 below indicated consumption in VA of normal amperometric coils.

Table 3.1

Consumption of some Apparatuses Powered by CTs

Apparatus	VA at In.
Ammeters	
Indicators	0,25 a 2
Recorders	1,5 a 9
Counters	0,5 a 3
Wattmeters	
Indicators	1 a 3
Recorders	1,5 a 8
Phase meters	
Indicators	2 a 6
Recorders	6 a 12
Maximeters	3
Power converters	3 a 6
Relays	
Overcurrent, inv. time	5 a 8
Overcurrent, timed	1 a 5
Overcurrent, instantaneous	1 a 10
Directional	1,5 a 10
Power, timed	1,5 a 3
Trip switch	3 a 12
Distance	6 a 20
Regulators	10 a 150

In TP type CTs only just the power needed must be called for, and consumption in cables must be kept low. This will make up in part for the oversizing of the core in comparison with CTs with normal protection.

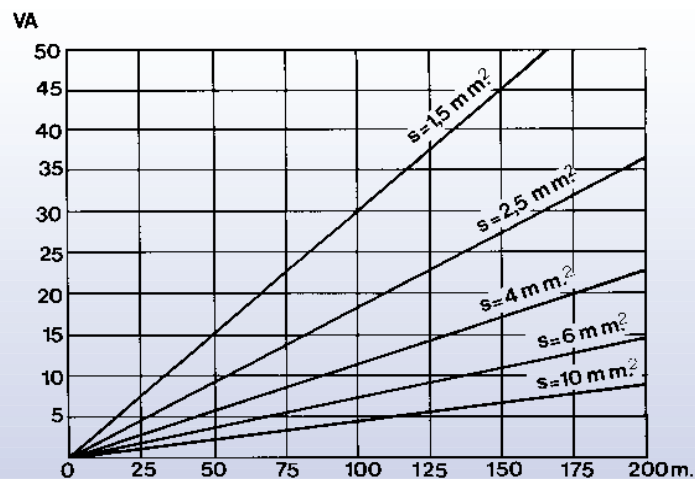


Fig. 3.13

3.8. RESISTENCIA A LOS CORTOCIRCUITOS

Por estar conectados en serie a las líneas de alimentación, los transformadores de intensidad están sometidos a las mismas sobretensiones y sobreintensidades que éstas.

En general, estas sobreintensidades son muy superiores a las intensidades nominales de los TI y originan efectos térmicos y dinámicos que pueden dañar el transformador.

Los efectos térmicos obligan a dimensionar adecuadamente el primario del TI. Se considera que todo el calor producido queda almacenado en el conductor primario, cuyo calentamiento máximo se determina en cada norma.

Para evitar que el transformador se rompa por los esfuerzos dinámicos que se producen en el primario, es necesario adecuar una sujeción mecánica en dicho primario. Estos esfuerzos mecánicos, son función del valor máximo de cresta de la intensidad de cortocircuito.

Conocida la potencia máxima de cortocircuito de la línea en la que está colocado el TI, podemos calcular la intensidad térmica con la fórmula:

$$I_{\text{tér}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V}$$

donde $I_{\text{tér}}$ = Intensidad térmica de cortocircuito (kA ef.)
 P = Potencia de cortocircuito (MVA)
 V = Tensión compuesta (kV)

La intensidad dinámica de corto se obtiene a partir de la térmica, teniendo en cuenta que ésta viene dada en valor eficaz y aquélla en valor de cresta máximo. El coeficiente debido a la componente aperiódica, se considera normalmente 1,8 (normas CEI, UNE, etc.). Por tanto:

$$I_{\text{din}} = 1,8 \sqrt{2} I_{\text{tér}} = 2,5 I_{\text{tér}}$$

donde: I_{din} = Intensidad dinámica de cortocircuito (kA cr.)

La resistencia a los cortocircuitos de los transformadores de intensidad, se determina por las intensidades límite térmica y dinámica.

3.8.1. Intensidad límite térmica ($I_{\text{tér}}$)

Es el valor eficaz más elevado de la intensidad primaria, que el transformador puede soportar al efecto Joule durante un segundo sin sufrir deterioro, estando el circuito secundario conectado en cortocircuito.

Se expresa en kA eficaces.

Si la duración del cortocircuito es diferente de 1 segundo (entre 0,5 y 5) debe indicarse esta duración a continuación de $I_{\text{tér}}$. La relación que liga los tiempos y las intensidades es:

3.8. RESISTANCE TO SHORT CIRCUITS

Being connected in series to power lines, current transformers are subject to the same current and voltage overloads as the lines themselves.

In general these overcurrents are far higher than the rated currents of the CTs, and have thermal and dynamic effects which may damage transformers.

Thermal effects make it necessary to size the CT's primary correctly. All the heat produced is considered as being stored in the primary conductor, the maximum heating of which is laid down in each standard.

To prevent transformers from breaking under the dynamic stresses caused in the primary, a suitable mechanical attachment must be ensured in the primary. These mechanical stresses are a function of the peak short-circuit current.

Once the maximum short-circuit power in the line where the CT is fitted is known, the thermal current can be calculated using the following formula:

$$I_{\text{tér}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V}$$

Where $I_{\text{tér}}$ is the thermal short-circuit current (kA rms)
 P is the short circuit power (MVA), and
 V is the compound voltage (kV)

The dynamic short-circuit current is obtained from the thermal current, taking into account that the latter is given in terms of effective level and the former in terms of peak level. The coefficient due to the non-cyclic component is normally taken to be 1.8 (IEC, UNE and other standards). Therefore:

$$I_{\text{din}} = 1,8 \sqrt{2} I_{\text{tér}} = 2,5 I_{\text{tér}}$$

where I_{din} is the dynamic short circuit current (kAp).

The resistance to short circuits in current transformers is determined by the thermal and dynamic limit currents.

3.8.1. Thermal limit current ($I_{\text{tér}}$)

This is the highest effective primary current at which the transformer can withstand the Joule effect for one second without damage, with the secondary circuit shorted.

It is expressed in effective kA.

If the short-circuit duration is other than 1 second (between 0.5 and 5) the duration should be indicated after $I_{\text{tér}}$. The ratio of times to currents is as follows:

$$I_{term1} \times \sqrt{t_1} = I_{term2} \times \sqrt{t_2}$$

Para los transformadores de clase térmica A, se puede admitir una densidad de corriente de 180 A/mm² en los conductores de cobre, lo que corresponde a un incremento de temperatura de 235 °C. (La norma IEEE/ANSI es algo más severa en este aspecto).

Salvo indicación contraria, los TI se construyen con $I_{term} = 80 \text{ In}$ pero puede fabricarse incluso con $I_{term} = 1000 \text{ In}$. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en este caso se reducen la potencia y clase de precisión que puede suministrar un determinado tipo de aparato al disminuir los amperivoltajes nominales. (Ver 3.3)

3.8.2. Intensidad límite dinámica (I_{din})

Es el valor de cresta de la primera amplitud de la intensidad que puede soportar un transformador sin sufrir deterioro, cuando el circuito secundario está conectado en cortocircuito.

Se expresa en KA amplitud.

Como anteriormente se ha indicado, en diversas normas $I_{din} = 2,5 I_{term}$. Sin embargo, en la norma IEEE/ANSI, ambas intensidades se definen por separado y la intensidad límite dinámica se expresa en kA ef. con una corriente totalmente desplazada. Es decir:

$$I_{cresta} = 2 \times \sqrt{2} \times I_{din} = 2,83 I_{din}$$

donde I_{din} = Intensidad dinámica nominal. (kA ef.)

3.9. FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD A CIRCUITO ABIERTO

Supongamos que hemos realizado un transformador de intensidad, de relación 1.000/1, con un núcleo toroidal de longitud de línea media 35 cm cuya chapa magnética se puede considerar saturada con 1 AV/cm. Al funcionar con el circuito secundario abierto, a partir de $I_p = 35\text{A} = 0,035 I_{pn}$, el núcleo está saturado.

A partir de $0,1 I_{pn}$, la pendiente del flujo aumenta rápidamente y, asimismo, la tensión en los bornes secundarios, cuyo valor de cresta es proporcional a $\sqrt{I_p}$. También, las pérdidas en el núcleo aumentan, llegando a producir una elevación de temperatura inadmisibles.

Este problema es realmente importante en los transformadores para protección, debido a la dimensiones del núcleo, por lo que, a veces, se limita la tensión de cresta en los bornes del secundario a 4 u 8 kV, y se determina el tiempo máximo de funcionamiento del transformador en estas condiciones de común acuerdo cliente-fabricante, pues en principio los transformadores de intensidad no están garantizados para su funcionamiento con el secundario abierto si la tensión es superior a 3,5 kV cresta.

$$I_{term1} \times \sqrt{t_1} = I_{term2} \times \sqrt{t_2}$$

For thermal class A transformers a current density of 180 A/mm² is admissible in copper wires, corresponding to a temperature increase of 235 °C (the IEEE/ANSI standard is somewhat more severe in this respect).

Unless otherwise indicated, CT's are constructed with $I_{term} = 80 \text{ In}$, though they may be built up to $I_{term} = 1000 \text{ In}$. However it must be borne in mind that in this case the power and precision class which can be supplied by a particular type of apparatus will be reduced, as the rated ampere-turns will be lower (see 3.3).

3.8.2 Dynamic limit current (I_{din})

This is the peak of the first amplitude of the current which a transformer can withstand without damage when the secondary circuit is shorted.

It is expressed in amplitude KA.

As indicated above, in several standards I_{din} is given as $2,5 I_{term}$. However, in the IEEE/ANSI standard the two currents are defined separately and the dynamic limit current is expressed in effective kA with a fully shifted current, i.e.:

$$I_{peak} = 2 \times \sqrt{2} \times I_{din} = 2,83 I_{din}$$

where I_{din} is the rated dynamic current (effective kA)

3.9. OPERATION OF AN OPEN CIRCUIT CURRENT TRANSFORMER

Let us assume that a current transformer has been built with a ratio of 1000:1 and a torus type core with an average line length of 35 cm whose magnetic plate may be considered as saturated with 1 AV/cm. Operating with the secondary circuit open, as from $I_p = 35\text{A} = 0.035 I_{pn}$ the core is saturated.

As from $0.1 I_{pn}$ the flow slope increases rapidly, as does the voltage in the secondary terminals, whose peak level is proportional to $\sqrt{I_p}$. Losses in the core also increase, and raise the temperature to unacceptable levels.

This problem is really significant in transformers for protection because of the size of the core, so the peak voltage in the secondary terminals is sometimes limited to 4 or 8 kV and the maximum operating time of the transformer in these conditions is determined by mutual agreement between customer and manufacturer, as in principle current transformers are not guaranteed to operate with the secondary open if the peak voltage is more than 3.5 kV peak.

3.10. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD DE REALIZACION ESPECIAL

3.10.1. Transformadores con varios núcleos

En realidad, podríamos decir que es una realización normal, pues la mayor parte de los transformadores se realizan con un núcleo para medida y otro (u otros) para protección.

Pueden realizarse tantos núcleos como se desee, siempre que las dimensiones totales permitan una ejecución económica.

3.10.2. Transformadores en cascada

Se realizan para tensiones elevadas, dividiendo en varios escalones la tensión total.

Dieléctricamente, resulta una solución interesante, pero desde el punto de vista de la precisión, hay que tener en cuenta que el núcleo superior debe suministrar la potencia de todos los secundarios.

Por ello, resulta difícil conjugar un secundario de medida de gran precisión y un secundario de protección, con un factor límite de precisión nominal elevado.

3.10.3. Transformadores de gran intensidad primaria

En estos transformadores, aparecen fenómenos de saturación local, debidos al descentrado de la barra primaria, a su forma, y principalmente a la proximidad de otras barras que dificultan la obtención de una elevada clase de precisión.

Para anular estos defectos, es necesario realizar bobinados de compensación, que aseguren la constancia del flujo a todo lo largo del núcleo.

En la fig. 3.14 vemos un núcleo de un TI con arrollamiento de compensación. De esta manera hemos realizado transformadores para laboratorio de relación $K_n = 25.000/5$ 30VA clase 0,1.

3.10. SPECIAL VERSIONS OF CURRENT TRANSFORMERS

3.10.1. Transformers with several cores

This could almost be called a normal variant, as most transformers are built with one core for measuring and at least one other for protection.

As many cores as desired may be built, provided the overall dimensions allow for economic manufacture.

3.10.2. Cascade transformers

These are built for high voltages, and divide the overall voltage into several steps.

Dielectrically, this is an interesting method, but from the point of view of precision it must be taken into account that the top core must supply the power for all the secondaries.

It is therefore difficult to make up a highly precise measuring secondary of a protection secondary with a high rated precision limit factor.

3.10.3. Transformers with high primary currents

There is local saturation in these transformers due to the off-centre position and shape of the primary bar and principally to the proximity of other bars which prevent high precision from being obtained.

To cancel out these defects, compensation windings must be introduced which ensure constant flow over the whole length of the core.

Fig. 3.14 shows a CT core with a compensation winding. Using this method we have made laboratory transformers with ratios of $K_n = 25,000/5$ and 30 VA, class 0.1.

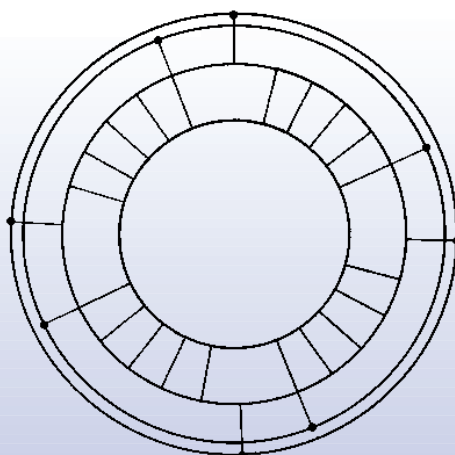


Fig. 3.14

3.11. ELECCION DEL TRANSFORMADOR DE INTENSIDAD

Para el correcto funcionamiento de una instalación, es conveniente estudiar con detalle la elección del transformador de intensidad, recordando los siguientes puntos:

- 1º Tipo de instalación, interior o intemperie. Se debe tener en cuenta la altitud, para valores superiores a 1.000 m. sobre el nivel del mar.
- 2º Nivel de aislamiento. Recomendamos elegir los valores indicados en las diversas normas. (Ver capítulo 8.3).
- 3º Relación de transformación nominal, recordando que se puede recurrir a la doble o triple relación y a la gama extendida, en caso necesario.
- 4º Clase de precisión, de acuerdo con las diversas normas. (Ver capítulo 8.4.10). (Transformadores para medida).
- 5º Potencia nominal, de acuerdo con las diversas normas. (Ver capítulo 8.4.6.) Recomendando no elegir una potencia excesiva. Si hay mucha diferencia entre la potencia nominal y la potencia del aparato a instalar, se puede colocar una resistencia en serie.
- 6º Factor nominal de seguridad (en caso necesario).
- 7º Factor límite de precisión nominal. (Transformadores para protección).
- 8º Intensidades límites térmica y dinámica. No conviene excederse, pues en ciertas circunstancias estas exigencias pueden encarecer mucho el transformador.
- 9º Frecuencia nominal.
- 10º Número de secundarios (núcleos).
- 11º Detalles constructivos.

Si existen secundarios de protección de tipo "TP" hay que tener en cuenta también:

- 12º Constante de tiempo de la línea (T_1).
- 13º Características del cortocircuito (t' , FRT, T_D).
- 14º Precisión necesaria a I_n .
- 15º Precisión necesaria durante el período transitorio. Puede referirse solamente a la componente simétrica (TPZ) o también a la componente aperiódica (TPX, TPY).

4. EL TRANSFORMADOR DE TENSION

4.1. ECUACIONES GENERALES

Ver fig. 2.3 y 3.1.

$$\begin{aligned}\bar{U}_s &= \bar{E}_s - R_s \bar{I}_s - jX_s \bar{I}_s \\ \bar{U}_p &= \bar{E}_s + R_p \bar{I}_p + jX_p \bar{I}_p\end{aligned}$$

3.11. CHOOSING A CURRENT TRANSFORMER

To ensure that a facility runs properly the current transformer must be chosen carefully, bearing the following points in mind:

1. Type of facility: indoor or outdoor. If it is greater than 1000 m above sea-level, altitude is also a factor to be taken into account.
2. Insulation level: we recommend choosing as per the various standards (see section 8.3).
3. Rated transformation ratio: remember that double or triple ratios can be used and the range can be extended if necessary.
4. Precision class as per the various standards (see section 8.4.10) (measuring transformers).
5. Rated power as per the various standards (see section 8.4.6). We recommend not choosing too high a power level. If there is a big difference between the rated power and the power of the apparatus to be installed, a resistor in series can be fitted.
6. Rated safety factor (if necessary).
7. Rated precision limit factor (protection transformers).
8. Thermal and dynamic limit currents. These should not be set too high, as this could make the transformer much more expensive.
9. Rated frequency.
10. Number of secondaries (cores).
11. Construction details.

If there are TP type protection secondaries, the following should also be taken into consideration:

12. Line time constant (T_1).
13. Short circuit characteristics (t' , FRT, T_D).
14. Precision needed at I_n .
15. Precision needed during the transient period. This may refer only to the symmetrical component (TPZ) or also to the non-cyclic component (TPX, TPY).

4. VOLTAGE TRANSFORMERS

4.1. GENERAL EQUATIONS

See fig. 2.3 and 3.1.

$$\begin{aligned}\bar{U}_s &= \bar{E}_s - R_s \bar{I}_s - jX_s \bar{I}_s \\ \bar{U}_p &= \bar{E}_s + R_p \bar{I}_p + jX_p \bar{I}_p\end{aligned}$$

y teniendo en cuenta que:

$$\bar{I}_p = \bar{I}_s + \bar{I}_{0s}$$

resulta:

$$\begin{aligned} \bar{U}_p - \bar{U}_s &= (R_p' + jX_p') (\bar{I}_s + \bar{I}_0) + (R_s + jX_s) \bar{I}_s = \\ &= (R_p' + jX_p') \bar{I}_s + [(R_p' + R_s) + j(X_p' + X_s)] \bar{I}_s \end{aligned} \quad [4.1]$$

Vemos por tanto, que el error de un transformador de tensión en carga, es debido a:

- el error en vacío,
- el error debido a la intensidad secundaria a través de la impedancia de cortocircuito.

Sabemos por la fórmula de Boucherot, que:

$$E_s = 2,22 N_s B S \times 10^{-6} \text{ Voltios}$$

y como el error es pequeño:

$$U_p \simeq U_s \simeq E_s$$

por lo que, si U_p permanece constante, el transformador de tensión trabaja a inducción constante, aunque varíe la carga secundaria dentro de los valores admisibles.

4.2. DIAGRAMA VECTORIAL

De la ecuación [4.1] obtenemos sin dificultad el diagrama vectorial del transformador de tensión, según vemos en la fig. 4.1.

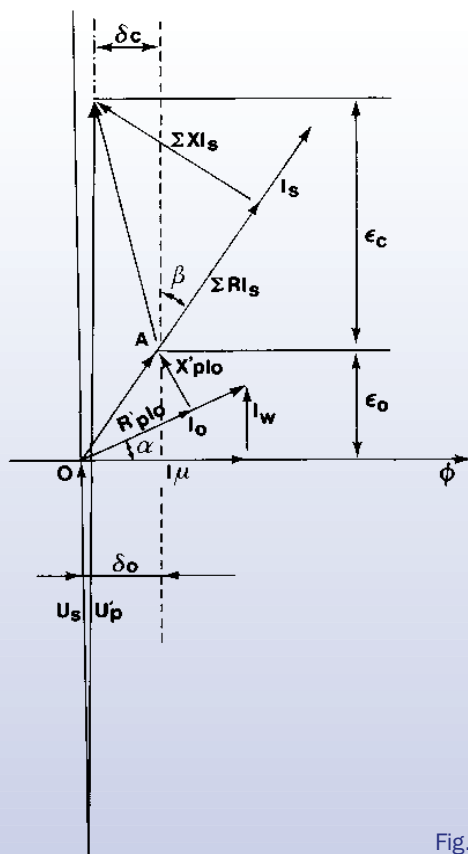


Fig. 4.1

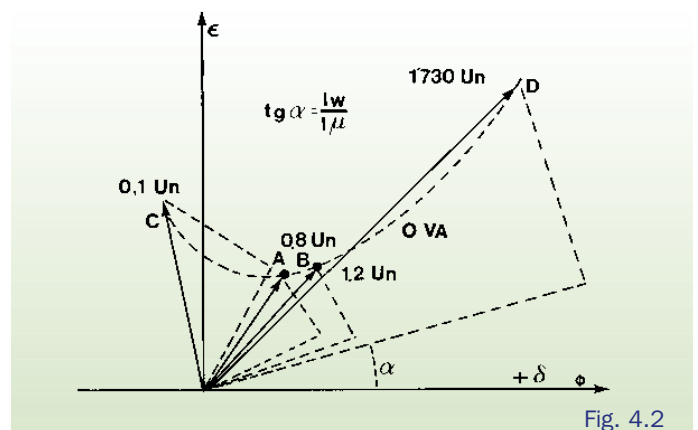


Fig. 4.2

and bearing in mind that:

$$\bar{I}_p = \bar{I}_s + \bar{I}_0$$

it results that:

$$\begin{aligned} \bar{U}_p - \bar{U}_s &= (R_p' + jX_p') (\bar{I}_s + \bar{I}_0) + (R_s + jX_s) \bar{I}_s = \\ &= (R_p' + jX_p') \bar{I}_s + [(R_p' + R_s) + j(X_p' + X_s)] \bar{I}_s \end{aligned} \quad [4.1]$$

Therefore voltage transformer errors in load are due to:

- unloaded errors.
- errors due to the secondary current through the short circuit impedance.

From Boucherot's formula we know that:

$$E_s = 2,22 N_s B S \times 10^{-6} \text{ volts}$$

and since the error is small:

$$U_p \approx U_s \approx E_s$$

so if U_p remains constant a voltage transformer will work at constant induction, even if the secondary load varies within admissible limits.

4.2. VECTORIAL DIAGRAM

From equation [4.1] the vectorial diagram of a voltage transformer can easily be obtained, as shown in fig. 4.1.

Starting from U_s , and as it is shown in the vectorial diagram of current transformers, we obtain the I_0 of the magnetizing curves of the plate.

4.3. VOLTAGE AND PHASE ERRORS

A voltage error is an error introduced by the transformer in a voltage measurement, resulting from its transformation ratio not being exactly as the rated one.

The voltage error ϵ_u is expressed as a percentage, and is given by the formula:

$$\epsilon_u \% = \frac{(K_u U_s - U_p) 100}{U_p}$$

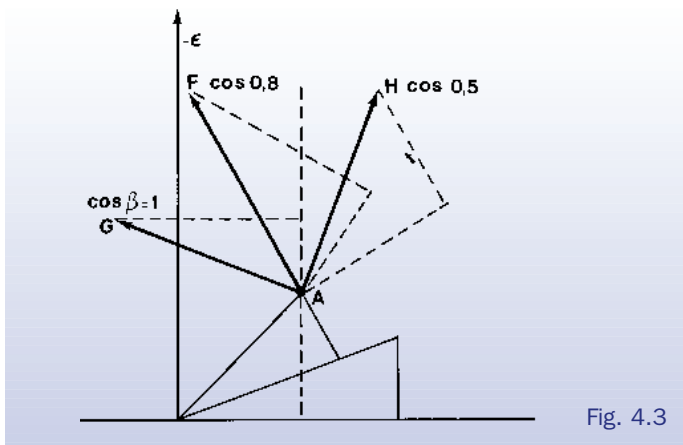


Fig. 4.3

Partimos de U_s y como en el diagrama vectorial del transformador de intensidad, obtenemos lo de las curvas de magnetización de la chapa.

4.3. ERRORES DE TENSION Y DE FASE

Error de tensión es el error que un transformador introduce en la medida de una tensión y que proviene de que su relación de transformación no es igual a la relación nominal.

El error de tensión ϵ_u , expresado en el tanto por ciento, está dado por la fórmula:

$$\epsilon_u \% = \frac{(K_n U_s - U_p) 100}{U_p}$$

donde, K_n = relación de transformación nominal.

U_p = tensión primaria real.

U_s = tensión secundaria correspondiente a U_p en las condiciones de la medida.

Desfase, o error de fase de un transformador de tensión δ_u , es la diferencia de fase entre los vectores de las tensiones primaria y secundaria, elegidos los sentidos de los vectores de forma que el ángulo sea nulo para un transformador perfecto.

Tanto el error de relación como el error de fase, se componen del error en vacío y el error en carga según vemos en la fig. 4.1.

En la fig. 4.2 vemos los triángulos de vacío, que varían en función de U_p .

El margen de funcionamiento del transformador, en las normas UNE, CEI, etc., es entre $0,8 U_{pn}$ y $1,2 U_{pn}$.

En la fig. 4.3, vemos los errores dados por el diagrama de Kapp, en función del $\cos \beta$ partiendo del triángulo de vacío a $0,8 U_{pn}$.

Para obtener el diagrama de Kapp a $1,2 U_{pn}$, hay que partir del punto B de la fig. 4.2, etc.

Si ahora tenemos en cuenta la variación de la carga, obte-

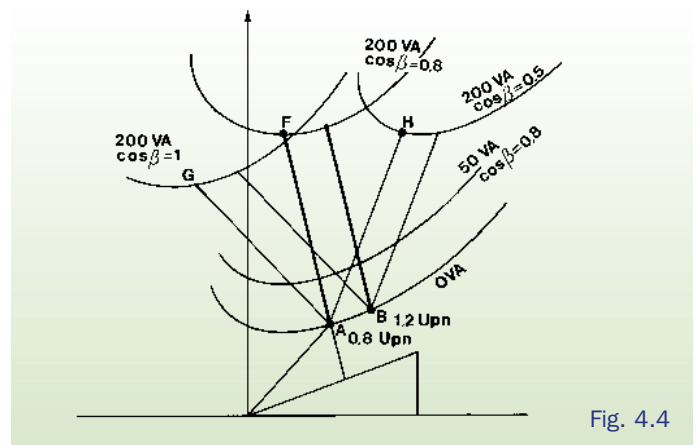


Fig. 4.4

where K_n is the rated transformation ratio

U_p is the actual primary voltage; and

U_s is the secondary voltage corresponding to U_p under measuring conditions.

The phase error of a voltage transformer ϵ_u is the phase difference between the vectors of the primary and secondary voltage.

Both, the ratio error and the phase error are made up of the unloaded error plus the load error, as shown in fig. 4.1.

Fig. 4.2. shows the no-load triangles, which vary according to U_p .

The operating margin of the transformer in UNE, IEC and other standards is between 0.8 and $1.2 U_{pn}$.

Fig. 4.3 shows the errors given by the Kapp diagram according to $\cos \beta$, starting from the unloaded triangle at $0.8 U_{pn}$.

To obtain the Kapp diagram at $1.2 U_{pn}$, we have to start from point B on fig. 4.2, etc.

If the variation in load is taken into account, we get figure 4.4, where it can be seen how errors vary according to voltage, to load and to $\cos \beta$ of the load.

Load errors are parallel lines whose angle depends on $\cos \beta$ of the load, as shown in fig. 4.4.

Since ratio error is negative, for a number of turns equal to the rated transformation ratio, the error is usually centred by means of a correction in the ratio of the number of turns in order to make the best use of the core.

Fig. 4.5. shows how VT errors appear when the transformation ratio is correctly modified.

nemos la fig. 4.4., en la que vemos cómo varían los errores en función de la tensión, de la carga y del $\cos \beta$ de ésta.

Los errores en carga son rectas paralelas, cuyo ángulo depende del $\cos \beta$ de la carga, como se ve en la fig. 4.4.

Como el error de relación es negativo, para una relación del número de espiras igual a la relación nominal de transformación, se suele “centrar” el error mediante una corrección en la relación del número de espiras para obtener el máximo aprovechamiento del núcleo.

En la fig. 4.5 se ve cómo quedan los errores del TT al modificar debidamente la relación de transformación.

4.4. TRANSFORMADORES DE TENSION PARA MEDIDA

4.4.1. Definición

Son los transformadores de tensión destinados a alimentar los aparatos de medida, contadores y otros aparatos análogos.

4.4.2. Clase de precisión

La clase de precisión de un transformador de tensión para medida, está caracterizada por un número (índice de clase) que es el límite del error de relación, expresado en tanto por ciento, para la tensión nominal primaria estando alimentado el transformador con la “carga de precisión”.

Esta precisión debe mantenerse para una tensión comprendida entre el 80% y el 120% de la tensión nominal con una carga comprendida entre el 25% y el 100% de la carga de precisión.

Las clases de precisión para los transformadores de tensión son: 0,1, 0,2, 0,5, 1 y 3.

Guía de aplicación:

Clase 0,1 - Laboratorio.

Clase 0,2 - Laboratorio, patrones portátiles y contadores de precisión.

Clase 0,5 - Contadores normales, aparatos de medida.

Clase 1 - Aparatos para cuadro.

Clase 3 - Para usos en los que no se requiera una mayor precisión.

4.5. TRANSFORMADORES DE TENSION PARA PROTECCION

4.5.1. Definiciones

Son los transformadores de tensión destinados a alimentar relés de protección.

Si un TT va a ser utilizado para medida y para protección, normalmente no es necesario que existan dos arrollamientos separados como en los TI salvo que se desee una separación galvánica. Por ello, en la norma CEI, a los TT para protección se les exige también que cumplan una

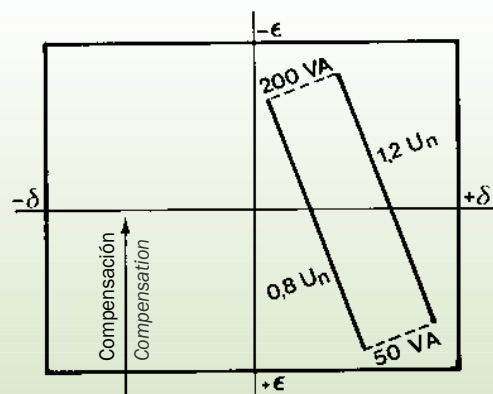


Fig. 4.5

4.4. VOLTAGE TRANSFORMERS FOR MEASURING

4.4.1. Definitions

These are voltage transformers designed to power measuring devices, counters and similar equipment.

4.4.2. Precision class

The precision class of a measuring voltage transformer is given by a number (class rate), representing the ratio error limit expressed as a percentage of the rated primary current, when the transformer is running at its "precision load".

This precision must be maintained for voltages between 80 and 120% of the rated level, with loads between 25 and 100% of the precision load.

Precision classes for voltage transformers are 0.1, 0.2, 0.5, 1 and 3.

Guide to applications:

Class 0.1 - laboratory.

Class 0.2 - laboratory, portable reference patterns, high-precision counters.

Class 0.5 - normal counters and meters.

Class 1 - panel apparatuses.

Class 3 - uses where great precision is not required.

4.5. VOLTAGE TRANSFORMERS FOR PROTECTION

4.5.1. Definitions

These are voltage transformers for power protective relays.

If a VT is going to be used for both measuring and protection, two separate windings are not normally necessary as in the case of CTs, unless galvanic separation is required. therefore in IEC standards VTs for protection are required

clase de precisión como TT para medida.

Para un mismo modelo de TT, la potencia de precisión, cuando sólo existe un secundario, es superior a la suma de las potencias de precisión de cada secundario, cuando existen dos, pues hay que tener en cuenta el espacio destinado a aislar entre sí ambos secundarios.

Se llama “arrollamiento de tensión residual”, al destinado a formar un triángulo abierto (junto con los correspondientes arrollamientos de otros dos transformadores monofásicos), para suministrar una tensión residual en el caso de falta a tierra.

Debido a la interdependencia existente entre los secundarios de un TT, es necesario especificar si las potencias de precisión son simultáneas o no, pues si uno de los secundarios está cargado solamente durante cortos períodos de tiempo, puede admitirse que las cargas no son simultáneas.

4.5.2. Clase de precisión

Los TT para protección, salvo los arrollamientos de tensión residual, deben especificarse también como TT para medida.

La clase de precisión, como TT para protección, está caracterizada por un número que indica el error máximo, expresado en tanto por ciento al 5% de la tensión nominal. (Ver 8.5.5). Este número va seguido de la letra “P”.

Las clases de precisión normales son: 3P y 6P.

4.6. CARGA

Se define de la misma manera que en el transformador de intensidad. (Ver capítulo 3.7)

Indicamos en la Tabla 4.1 los consumos normales de las bobinas voltimétricas de los aparatos alimentados por los transformadores de tensión:

to have a precision class, the same way as VTs for measuring.

On the same type of VT, precision power is greater when there is a single secondary than the sum of the precision power of each secondary if there are two, as the space given over to insulation of the two secondaries from each other must be taken into account.

The "residual voltage winding" is a winding intended to form an open triangle (together with the relevant windings of two other single-phase transformers) to supply residual voltage if there is a fault to earth.

Since the secondaries of a VT are inter-dependent, it must be specified whether the precision powers are simultaneous or not, as if one of the secondaries is under load only for short periods of time, then loads can be taken as non-simultaneous.

4.5.2. Accuracy class

Except for residual voltage windings, VTs for protection must also be specified as VTs for measuring.

Accuracy class for protection VTs is given by a number that indicates the maximum error expressed in percentage. 5% of the rated voltage (see 8.5.5). This number is followed by the letter "P".

The usual accuracy classes are 3P and 6P.

4.6. BURDEN

It is defined at the same way as for current transformers (see section 3.7).

Table 4.1 indicates the normal consumption of the voltmeter coils, of devices powered by voltage transformers.

Tabla 4.1.
Consumo de algunos aparatos alimentados por TT

Aparatos	Consumo aproximado en VA.
Voltímetros	
indicadores	2 - 6
registradores	10 - 25
de nulo	5 - 20
Vatímetros	
indicadores	1 - 4
registradores	3 - 15
Fasímetros	
indicadores	4 - 5
registradores	15 - 20
Contadores	3 - 5

Aparatos	Consumo aproximado en VA.
Frecuencímetros	
indicadores	1 - 5
registradores	10 - 15
Relés	
de máxima tensión	10 - 15
temporizados de máxima tensión o de intensidad	25 - 35
selectivos	2 - 10
direccionales	25 - 40
de mínima tensión	5 - 15
de contacto a tierra	10 - 30
de distancia	10 - 30
Sincronoscopios	6 - 15
Reguladores de tensión	30 - 50

Table 4.1.
Consumption of some devices connected to VTs

Apparatuses	Approx. Consumption in VA
Voltmeters	2 - 6
Indicators	10 - 25
Recorders	5 - 20
Zero meters	
Wattmeters	1 - 4
Indicators	3 - 15
Recorders	
Phase meters	4 - 5
Indicators	15 - 20
Recorders	3 - 5

Apparatuses	Approx. Consumption in VA
Frequency meters	1 - 5
Indicators	10 - 15
Recorders	
Relays	10 - 15
Maximum voltage	
Timed maximum voltage	25 - 35
or current	2 - 10
Selective	25 - 40
Directional	5 - 15
Minimum voltage	
Earth contact	10 - 30
Distance	10 - 30
Synchronoscopes	6 - 15
Voltage regulators	30 - 50

4.7. TRANSFORMADORES DE TENSION DE REALIZACION ESPECIAL

4.7.1. Transformadores con varias tensiones primarias nominales

Estos transformadores se pueden realizar de cuatro maneras:

- acoplamiento serie-paralelo en el primario,
- bobinado primario con tomas,
- acoplamiento serie-paralelo en el secundario,
- bobinado secundario con tomas,

En los dos primeros, existen problemas de aislamiento y de aprovechamiento del núcleo, que limitan prácticamente su campo a la baja tensión, principalmente patrones.

La realización serie-paralelo en el secundario, solamente se utiliza si las dos secciones del bobinado secundario tienen el mismo número de espiras, pues de no ser así, aparece una corriente de circulación interna, absorbiendo potencia. También hay que tener en cuenta, que ambas secciones deben aislarse entre sí, al menos a 2 kV.

Por último, la realización por toma en el secundario, es interesante, principalmente cuando no es posible la realización serie-paralelo o cuando la potencia exigida es la misma para las dos realizaciones, con lo que el aprovechamiento del núcleo es máximo.

Antes de elegir un transformador con estas características, es conveniente consultar con el fabricante para que estudie la solución más económica.

4.7.2. Transformadores con varias tensiones secundarias nominales

Estos se realizan de dos maneras:

- acoplamiento serie-paralelo en el secundario,
- bobinado secundario con toma.

4.7. SPECIAL VERSIONS OF VOLTAGE TRANSFORMERS

4.7.1. Transformers with several rated primary voltages

These transformers can be made in four ways:

- series-parallel coupling in the primary;
- primary coil with taps;
- series-parallel coupling in the secondary; and
- secondary coil with taps.

In the first two ways there are problems with insulation and with the use of the core, which limit their use basically to low voltage work, mainly reference patterns.

The secondary series-parallel system is used only if the two sections of the secondary winding have the same number of turns, otherwise there is an internal circulation current which absorbs power. The two sections must be insulated between them to at least 2 kV.

The secondary with taps system is very interesting specially when series-parallel systems are not possible or when the power requirements are the same for both versions:

Before choosing a transformer with these characteristics, it is better to consult the manufacturer in order to study the most economical system.

4.7.2. Transformers with several rated secondary voltages

These can be made in two ways:

- series-parallel coupling in the secondary;
- secondary winding with taps.

El acoplamiento serie-paralelo en el secundario, sólo es utilizable para la relación 2 a 1, y conserva todas las características del transformador normal en cuanto a sus posibilidades.

La realización con toma en el secundario, se utiliza normalmente cuando la relación de tensiones no es 2 a 1.

4.7.3. Transformadores en cascada

Cuando la tensión nominal de aislamiento del transformador de tensión es elevada, resulta difícil su realización en una sola bobina.

La construcción en cascada, consiste en repartir el arrollamiento primario en varias bobinas, estando él o los secundarios, únicamente sobre la última bobina. Esta construcción en cascada, permite que cada bobina sufra solamente una fracción de la tensión total.

El transformador en cascada se compone de uno o varios núcleos, cada uno de los cuáles tiene dos bobinas. El núcleo, de forma rectangular, se pone al potencial medio de las dos bobinas.

Entre otras ventajas del transformador de tensión en cascada, conviene mencionar que los errores en vacío son muy pequeños, gracias a la reducción de la impedancia del arrollamiento primario.

En la fig. 4.6, vemos el esquema de un transformador en cascada con dos núcleos y cuatro bobinas.

4.7.4. Transformadores con varios arrollamientos secundarios

Se pueden construir transformadores de tensión con varios arrollamientos secundarios sobre el mismo núcleo, pues si bien la carga de uno de ellos afecta a los restantes, no existen en cambio las limitaciones del transformador de intensidad, debidas a los factores de seguridad y de saturación.

En los transformadores de tensión, con el P2 a tierra, que vayan a instalarse en redes sin neutro a tierra, es conveniente realizar un terciario (segundo secundario) para proteger al transformador, si aparece el fenómeno de ferorresonancia. (ver punto 4.9)

El incremento que este secundario introduce en el coste del transformador es generalmente pequeño.

4.8. TRANSFORMADORES DE TENSION PARA DESCARGA DE LINEAS

Cuando una línea de alta tensión queda aislada por la apertura de los interruptores, la energía capacitiva almacenada en ella puede ser causa de sobretensiones al producirse un reenganche.

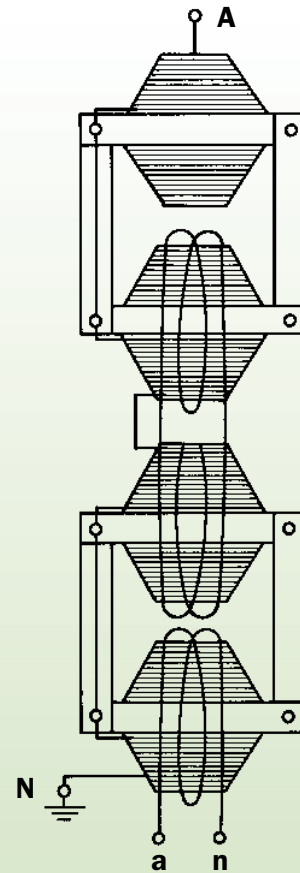


Fig. 4.6

The series-parallel coupling in the secondary can only be used when the ratio is 2:1. It retains all the characteristics of a normal transformer regarding its possibilities.

When the voltage ratio is not 2:1, normally, the more used system is the secondary with taps.

4.7.3. Cascade Transformers

When the rated insulation voltage of a voltage transformer is high, it is difficult to achieve it with a single coil.

Cascade construction involves the distribution of the primary winding in several coils, with the secondary or secondaries on the last coil. This cascade construction means that each coil only has to withstand a fraction of the total voltage.

A cascade transformer is made up of one or more cores with 2 coils each. The core is rectangular shaped, and set to the potential average of the two coils.

The advantages of cascade voltage transformers include very small errors under no load, thanks to the reduction of the impedance in the primary winding.

Fig. 4.6 shows the circuit diagram of a cascade transformer with two cores and four coils.

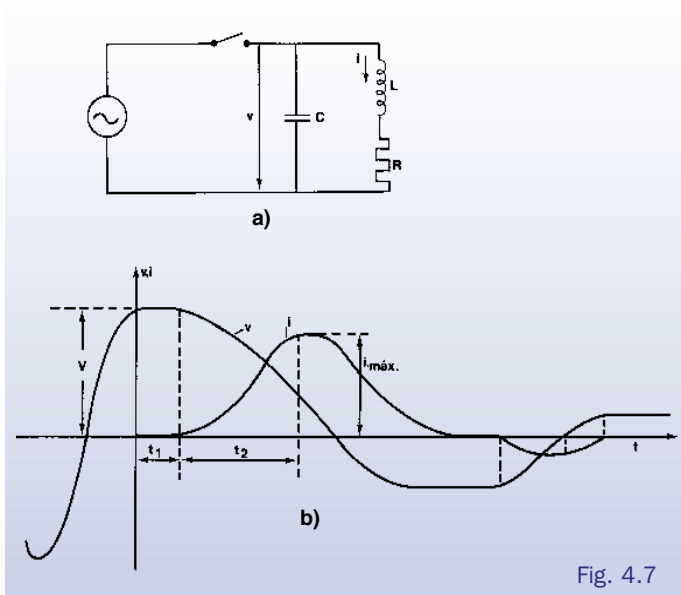


Fig. 4.7

Existen diversos procedimientos para la descarga de líneas, pero la experiencia ha demostrado que los TT dan buenos resultados si están correctamente dimensionados. En caso contrario, puede suceder que la descarga no sea suficientemente rápida o que los TT se deterioren por calentamiento o por efectos dinámicos.

En un estudio simplificado del problema se puede suponer que cuando el TT no está saturado, la intensidad de descarga es despreciable, y la tensión de la línea permanece constante. Cuando se satura, la reactancia decrece al valor del arrollamiento primario en el aire, L . En este caso el circuito a considerar es el de la figura 4.7.a, donde C es la capacidad de la línea y R la resistencia del arrollamiento primario del TT.

Si $R^2 C > 4L$, la descarga es aperiódica y lenta.

Si $R^2 C < 4L$, la descarga es oscilante, como se indica en la fig. 4.7b.

A efectos del calentamiento, se considera que toda la energía almacenada en la línea se invierte en calentar el cobre del primario del TT. Esta energía es:

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

donde V es la tensión de la línea en el momento de la apertura.

A efectos de los esfuerzos mecánicos, hay que tener en cuenta el valor máximo de la intensidad de descarga. Para el caso oscilante, es:

$$i_{max} = \frac{V}{Lw_1} e^{-\frac{\pi x}{4Lw_1}}$$

4.7.4. Transformers with several secondary windings

Voltage transformers can be built with several secondary windings on the same core. Although the load on each one will affect the others, the limitations found in current transformers do not apply here because of the safety and saturation factors.

In voltage transformers, with P2 to earth, which are to be installed in networks with no neutral to earth, it is advisable to fit a tertiary (i.e. a second secondary) to protect the transformer against ferro-resonance (see point 4.9).

The increase in the cost of the transformer due to this secondary is generally small.

4.8. LINE DISCHARGE VOLTAGE TRANSFORMERS

When a high voltage line is isolated by opening the circuit breakers, the capacitive energy stored in it may cause voltage overloads on reconnection.

There are several procedures for discharging lines, but experience has shown that VTs do this job well if they are sized properly. If not, discharging may not be fast enough or the VTs may be damaged by heat or dynamic effects.

In a simplified study of this problem, considering that when the VT is not saturated, the discharge current is insignificant and the line voltage is constant. When saturation takes place, the reactance decreases to the value of the primary winding in air, L . In this case the circuit to be considered is shown in figure 4.7.a, where C is the line capacity and R the resistance of the primary winding of the VT.

If $R^2 C > 4L$ discharge is non-cyclic and slow.

If $R^2 C < 4L$ discharge oscillates, as indicated in fig. 4.7b.

As regards heating, it is considered that all the energy stored in the line goes to heating the copper of the VT primary. This energy is:

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

where V is the line voltage on opening.

As regards mechanical stress, the maximum discharge current must be taken into account. In the oscillation case this is:

$$i_{max} = \frac{V}{Lw_1} e^{-\frac{\pi x}{4Lw_1}}$$

donde $\omega_1 = \frac{\sqrt{4L - R^2 C}}{2LC}$ es la pulsación natural del circuito.

Para calcular los tiempos t_1 (saturación del TT) y t_2 , podemos utilizar las siguientes fórmulas:

$$t_1 = \frac{B_{sat} \times N_1 \times S}{V} \times 10^{-8} \quad [s]$$

$$t_2 = \frac{\pi}{2\omega_1} \quad [s]$$

donde: B_{sat} = Inducción de saturación [Gauss].

N_1 = Número de espiras del arrollamiento primario.

S = Sección del núcleo (cm²).

V = Tensión inicial de descarga (V).

4.9. SOBRETENSIONES

El transformador de tensión se encuentra sometido, como el resto de los aparatos instalados en el lado de alta tensión, una serie de sobretensiones que debe soportar sin que se altere su aislamiento. Recordemos que todo transformador (tanto de tensión como de intensidad) se ensaya durante un minuto a la tensión de ensayo a frecuencia industrial, y está capacitado para soportar la tensión de ensayo con onda de choque correspondiente a su nivel de aislamiento.

Como ejemplo, un transformador de medida, de tensión nominal de aislamiento 72,5 kV eficaces, que tienen en servicio una tensión $U_s = 72,5 / \sqrt{3} = 42$ kV eficaces, se ensaya a 140 kV eficaces (3,3 U_s) durante un minuto y soporta 325 kV cresta (5,5 U_s) de impulso tipo rayo.

Sin embargo, en los transformadores de tensión, aparece con cierta frecuencia el fenómeno de ferorresonancia serie o paralelo, en función de las características red-transformador.

Este fenómeno es complejo ya que puede ser de tipo monofásico o trifásico, y a frecuencia fundamental, armónica o subarmónica. Por ello, vamos a ver brevemente en qué consisten las ferorresonancias serie y paralelo.

4.9.1. Ferorresonancia serie

Supongamos que en el circuito de la fig. 4.8a, donde están en serie la capacidad C y la inductancia saturable del TT, el valor de C es tal, que la recta $I/\omega C$ corta a U_L en el punto M. (fig. 4.8b)

Si la tensión nominal es U_1 , el punto de funcionamiento es A con una intensidad I_1 . Al producirse una sobretensión superior a U_2 , del punto A pasamos al D, a través de B y C, y al bajar de nuevo la tensión a U_1 , el nuevo punto de equilibrio es el E, donde $I'_1 \gg I_1$. Si el tiempo que dura esta nueva situación es grande el TT se calienta excesivamente, pudiendo llegar a quemarse.

where $\omega_1 = \frac{\sqrt{4L - R^2 C}}{2LC}$ is the natural pulse of the circuit.

To calculate the times t_1 (saturation of the VT) and t_2 the following formulae may be used:

$$[Sec.] \quad t_1 = \frac{B_{sat} \times N_1 \times S}{V} \times 10^{-8}$$

$$[Sec.] \quad t_2 = \frac{\pi}{2\omega_1}$$

where B_{sat} is the saturation induction (Gauss)

N_1 is the number of turns in the primary winding

S is the core cross section (cm²)

V is the initial discharge voltage (V)

4.9. OVERVOLTAGES

Like other devices installed on the high voltage side, voltage transformers are subjected to a series of overvoltages. It must withstand these without damaging its insulation. Remember that all transformers (both voltage and current) are tested for one minute at the test voltage and at industrial frequency, and are able to withstand the test voltage with shock wave, that corresponds to their level of insulation.

As an example, a measuring transformer with a rated insulation voltage of 72.5 kV rms and with a working voltage of $U_s = 72.5 / \sqrt{3} = 42$ kV rms, is tested at 140 kV rms (3,3 U_s) for one minute, and has to withstand 325 kV peak (5.5 U_s) of lighting impulse.

However, in voltage transformers, series or parallel ferroresonance (depending on the network-transformer characteristics) is not an uncommon phenomenon.

This is a complex phenomenon, as it may be single or three-phase, and may occur at the fundamental, harmonic or sub-harmonic frequencies. Let us see what series and parallel ferro-resonances are.

4.9.1. Series ferro-resonance

Assuming that in the circuit in fig. 4.8a, where the capacity C and the saturable inductance of the VT are in series, C is such that the straight line $I/\omega C$ cuts U_L at point M. (fig. 4.8b)

If the rated voltage is U_1 , the point of operation is A with a current of I_1 . When there is an overvoltage, greater than U_2 , we go from point A through B and C to D. When the voltage drops again to U_1 , the new point of equilibrium is E, where $I'_1 \gg I_1$. If this new situation lasts for a long time the VT overheats, and it may even burn.

Para volver al punto de equilibrio A, es necesario reducir la tensión de la red o cargar el TT para que se amortigüe la ferorresonancia.

Este fenómeno se produce en los transformadores de tensión capacitivos. También puede aparecer en una red trifásica con neutro a tierra con una fase abierta, si la capacidad es elevada (p. e., disyuntor con condensador de reparto).

4.9.2. Ferorresonancia paralelo

En la fig. 4.9a se representa un circuito paralelo. La fig. 4.9b es similar a la fig. 4.8b cambiando I por U y viceversa.

Al analizar ahora la ferorresonancia, suponemos que el equilibrio se establece para $I = I_1$. Debido a una sobretensión o sobreintensidad pasamos como en el caso serie al punto D y luego al E, donde $U'_1 \gg U_1$ y se produce una sobretensión permanente.

Para que en un red trifásica se produzca este fenómeno, es necesario que el neutro esté aislado. El desplazamiento del neutro respecto a tierra provoca en uno o dos TT una sobretensión que puede ser superior a la compuesta.

Para evitar o amortiguar este fenómeno, es necesario colocar una resistencia de valor adecuado en el triángulo abierto de los terciarios de los TT como se indica en la fig. 4.10. Un valor normal está comprendido entre 25Ω y 50Ω .

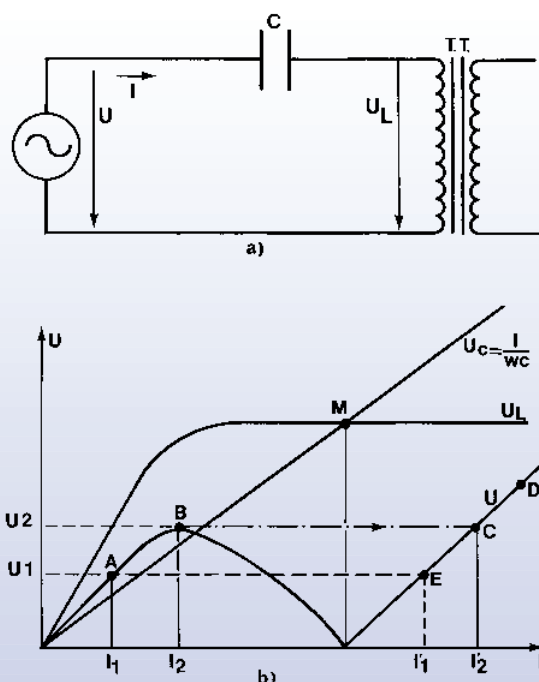


Fig. 4.8

To return to point of equilibrium A the voltage in the network must be reduced or the VT must be loaded so that the ferro-resonance is damped.

This phenomenon arises in capacitive voltage transformers. It may also arise in a 3-phase network with neutral to earth with one phase open if the capacity is high (e.g. a circuit breaker with a distribution capacitor).

4.9.2. Parallel ferro-resonance

Fig. 4.9a shows a parallel circuit. Fig. 4.9b is similar to fig. 4.8b, with I and U swapped.

Now, when ferro-resonance is analyzed, we assume that equilibrium is established for $I = I_1$. Due to overvoltage or overcurrent we go, as in the series case, to point D and then E, where $U'_1 \gg U_1$ and there is a permanent overvoltage.

If we want this to happen in a 3-phase network, the neutral must be insulated. The shift of the neutral, respect to earth, causes an overvoltage in one or two VTs which may be greater than the compound voltage.

To avoid or dampen this phenomenon, it is necessary to place a suitable resistor in the open triangle of the tertiary of the VTs, as shown in fig. 4.10. Between 25Ω and 50Ω is an usual value.

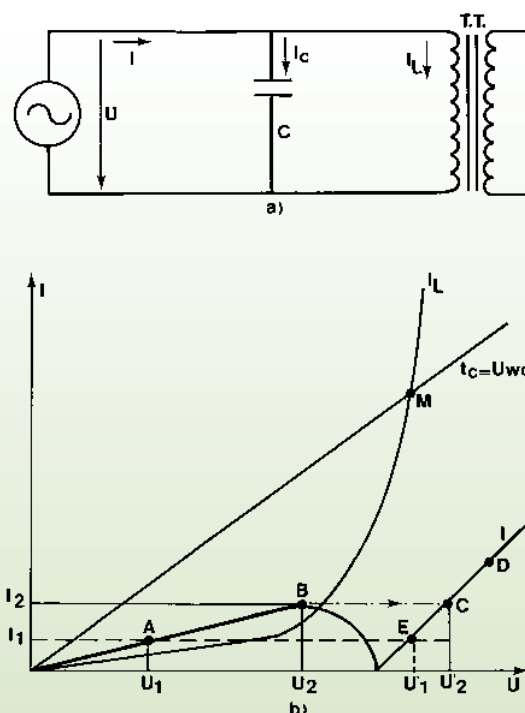


Fig. 4.9

4.10. FUNCIONAMIENTO DEL TT CON EL SECUNDARIO EN CORTOCIRCUITO

Se llama "potencia de calentamiento" de un TT a la máxima potencia que puede suministrar en régimen permanente, sin que se excedan los límites de calentamiento, cuando la tensión secundaria es la nominal.

Si la carga secundaria es superior a la correspondiente a la potencia de calentamiento, el TT puede deteriorarse si no se limita el tiempo de funcionamiento.

Cuando el circuito secundario está en cortocircuito, la intensidad secundaria está limitada solamente por la impedancia interna del TT, por lo que el tiempo que el TT puede funcionar en estas condiciones es muy breve. En algunas normas (UNE, IEEE/ANSI, p. e.) se exige que este tiempo sea como mínimo 1 segundo.

Se puede proteger el TT, colocando fusibles o disyuntores en el circuito secundario, pero hay que tener en cuenta que un fallo de estos dispositivos puede dar lugar al funcionamiento intempestivo del sistema de protección de la subestación.

Como gran parte de los fallos de los TT por cortocircuito secundario se producen por un mal conexionado de este cortocircuito, resulta práctico colocar fusibles de forma provisional, hasta comprobar que la instalación es correcta.

4.11. ELECCION DEL TRANSFORMADOR DE TENSION

Al realizar la elección del transformador de tensión, debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1º Tipo de instalación, interior o intemperie. Se debe tener en cuenta la altitud, para valores superiores a 1.000 m sobre el nivel del mar.
- 2º Nivel de aislamiento (ver capítulo 8.3).
- 3º Relación de transformación nominal (ver 8.5.3).
- 4º Clase de precisión (ver 8.5.12).
- 5º Potencia de precisión (ver 8.5.4).
- 6º Factor de tensión.
- 7º Frecuencia nominal.
- 8º Número de secundarios.
- 9º Detalles constructivos.

4.10. OPERATION OF VOLTAGE TRANSFORMERS WITH SHORT-CIRCUITED SECONDARIES

The "rated thermal burden" of a VT is the maximum power which can be supplied on a permanent basis without the heating limits being exceeded, when the secondary voltage is the rated one.

If the secondary load is higher than the rated thermal burden, the VT may be damaged, unless operating time is limited.

When the secondary circuit is shorted, the secondary current is only limited by the internal impedance of the VT.

The VT can only operate for very short periods in these conditions. Some standards (e.g. UNE and IEEE/ANSI) require this time to be at least 1 second.

The VT can be protected by placing fuses or circuit breakers in the secondary circuit, but it must be borne in mind that if these devices

fail, the substation protection system may operate incorrectly.

Since most VT failures, involving secondary short circuits, are caused by incorrect connection of this circuit, it is very practical to fit provisional fuses until it can be checked that installation is correct.

4.11. CHOOSING A VOLTAGE TRANSFORMER

By choosing a voltage transformer, bear the following points must be considered:

1. Type of service: indoor or outdoor. Altitude is also a factor to be considered, when it is higher than 1.000 m above sea level.
2. Insulation level (see section 8.3).
3. Rated transformation ratio (see 8.5.3).
4. Precision class (see 8.5.12).
5. Precision power (see 8.5.4).
6. Voltage factor.
7. Rated frequency.
8. Number of secondaries.
9. Construction details.

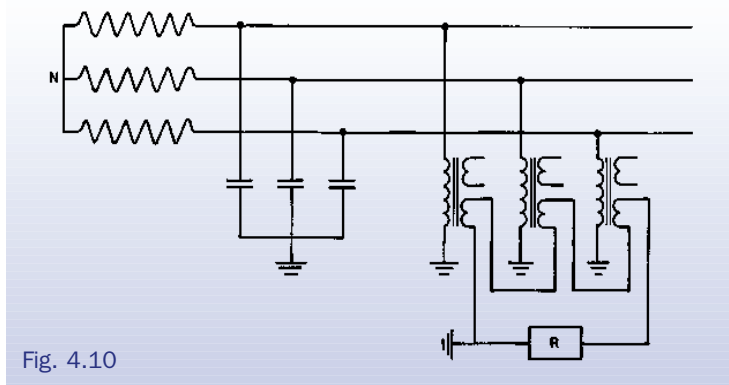


Fig. 4.10

5. OTROS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

5.1. TRANSFORMADORES COMBINADOS DE MEDIDA

Son los aparatos, que dentro de una misma envoltente contienen un transformador de tensión y un transformador de intensidad.

Esta construcción tiene ciertas ventajas económicas, especialmente en alta tensión, donde la porcelana juega un papel importante en el costo del transformador de medida. También tiene importancia en ciertos casos el menor espacio ocupado en la subestación.

En el diseño de los combinados, hay que tener en cuenta la influencia del TI sobre los errores del TT y viceversa. Dicha influencia está tipificada en la norma CEI para transformadores combinados.

5.2. TRANSFORMADORES DE TENSION CAPACITIVOS (TTC)

5.2.1. Definiciones

Son los transformadores de tensión formados por un divisor capacitivo y un elemento electromagnético.

El divisor capacitivo (DC) consta de dos condensadores, C_1 y C_2 conectados en serie como se indica en la fig. 5.1, con el fin de obtener un borne de tensión intermedia, al que se conecta una inductancia L_1 y un transformador de tensión intermedia (TTI) de tipo inductivo.

5.2.2. Funcionamiento del TTC

En la fig. 5.2 se representa el esquema equivalente de un TTC. Este esquema es similar al de la fig. 2.3 teniendo en cuenta que ahora R'_p , representa la resistencia de los

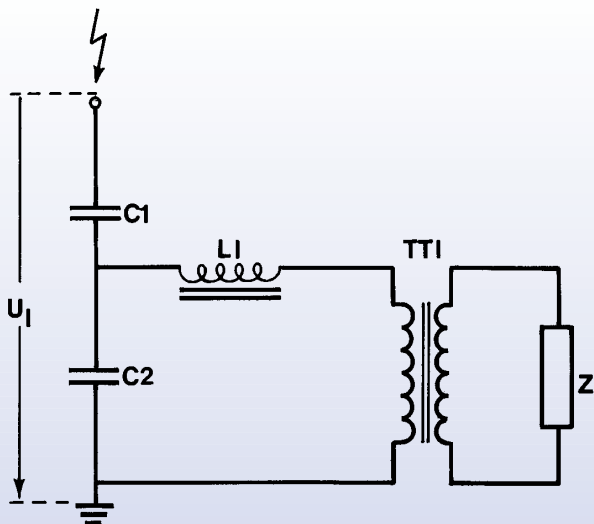


Fig. 5.1

5. OTHER INSTRUMENT TRANSFORMERS

5.1. COMBINED INSTRUMENT TRANSFORMERS

These are units which contain a voltage transformer and a current transformer in the same casing.

This system has certain economic advantages, especially for high voltage units where porcelain accounts for much of the cost of instrument transformers. It is also important for cases where as little space as possible needs to be occupied at the sub-station.

When designing combined units, the influence of CTs on the errors in VTs and vice versa must be considered. There is an IEC standard now being prepared on combined instrument units. This standard will give the maximum admissible levels of influence.

5.2 CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMERS (CVTs)

5.2.1. Definitions

These are voltage transformers made up of a capacitance divider and a electro-magnetic element.

The capacitance divider (CD) is made up of two capacitors, C_1 and C_2 , connected in series as shown in fig. 5.1 to obtain an intermediate voltage terminal. An inductance L_1 is connected to this terminal, along with an inductive intermediate voltage transformer (IVT).

5.2.2. CVT Operation

Fig. 5.2 shows the equivalent circuit diagram of a CVT. The diagram is similar to fig. 2.3, bearing in mind that R'_p now represents the resistance of the windings of the IVT and the

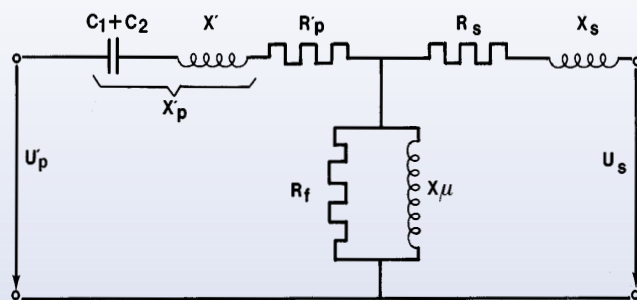


Fig. 5.2

arrollamientos del TTI y de la inductancia L_1 , las pérdidas en el hierro de L_1 , y las pérdidas en el dieléctrico de C_1 y C_2 y X'_p representa la reactancia debido a la capacidad $C_1 + C_2$, a la inductancia L_1 y al primario del TTI. Asimismo,

$$U_p = U_i \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

De esta manera, podemos analizar el TTC de forma similar al TT inductivo (Cap. 4). Sin embargo, ahora hay que tener en cuenta también otros factores, que afectan a la precisión, como son: variaciones de frecuencia, variaciones de temperatura y estabilidad en el tiempo.

La respuesta de un TTC en régimen transitorio, no es tan rápida como la de un TT inductivo, y en ciertos casos, las exigencias de las protecciones rápidas no permiten la utilización de TTC.

Sin embargo, los TTC, además de su utilización para medida y protección, permiten utilizar la línea alta tensión para comunicación mediante corriente portadora de alta frecuencia.

5.3. TRANSFORMADORES DE MEDIDA ELECTRONICOS

El coste de un transformador de medida de alta tensión y especialmente de muy alta tensión de tipo convencional, se debe en su mayor parte al aislamiento dieléctrico entre alta tensión y tierra. Por ello, desde hace varios años, se están desarrollando TM cuya característica común es que del lado de alta tensión únicamente reciben información y no potencia, como ocurre en un TM convencional. En los TM electrónicos, la potencia suministrada al circuito secundario proviene de una fuente de alimentación exterior, de baja tensión.

La característica común de estos TM es que están constituidos en gran parte por dispositivos electrónicos (p. e., amplificadores operacionales), por lo que se les llama Transformadores de Medida Electrónicos. (TME)

Conviene distinguir dentro de los TME, los que tienen dispositivos electrónicos en el lado de alta tensión de los que solamente tienen estos dispositivos en el lado de baja tensión. La ventaja de éstos reside en la posibilidad de reparar cualquier avería de los componentes electrónicos, sin quitar la tensión en la línea. No obstante, esta ventaja pierde importancia a medida que los dispositivos electrónicos son más fiables.

5.3.1. Transformadores de intensidad electrónicos

En el transformador esquematizado en la fig. 5.3, mediante un transformador de intensidad de baja tensión se obtiene una tensión proporcional a la intensidad primaria. Un convertidor tensión/frecuencia transforma esta señal analógica en digital que pasa a un fotodiodo para su transmisión al lado de baja tensión.

La transmisión de la señal desde el lado alta tensión al de baja tensión se hace a través de una fibra óptica, dentro de un medio aislante (normalmente gas).

inductance L_1 , the iron losses of L_1 and the dielectric losses of C_1 and C_2 and X'_p represents the reactance due to the capacitance C_1+C_2 , to the inductance L_1 and to the IVT primary. Furthermore:

$$U_p = U_i \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

In this way we can analyze a CVT in a similar way to an inductive VT (section 4). However, other factors affecting accuracy must also be taken into account: variations in frequency, temperature and stability over time.

The response of a CVT in transient state is not as fast as that of an inductive VT, and in some cases fast protection requirements mean that CVTs cannot be used.

However, apart from their measuring and protection uses, CVTs also enable high voltage lines to be used for communication via high frequency carrier currents.

5.3. ELECTRONIC INSTRUMENT TRANSFORMERS

The cost of a conventional high voltage instrument transformer, and especially of a extra high voltage unit is based mostly from the dielectric insulation between high voltage and earth. For several years therefore, development work has been progressing on instrument transformers whose

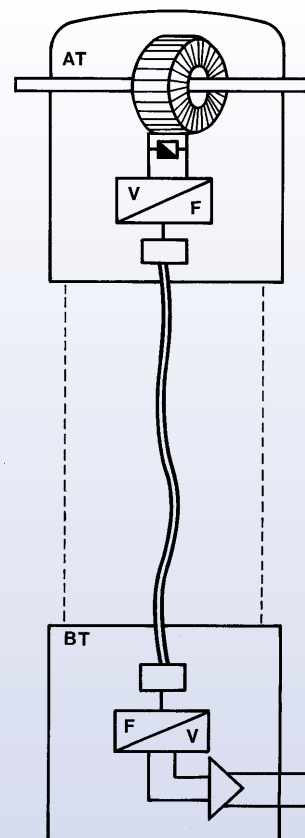


Fig. 5.3

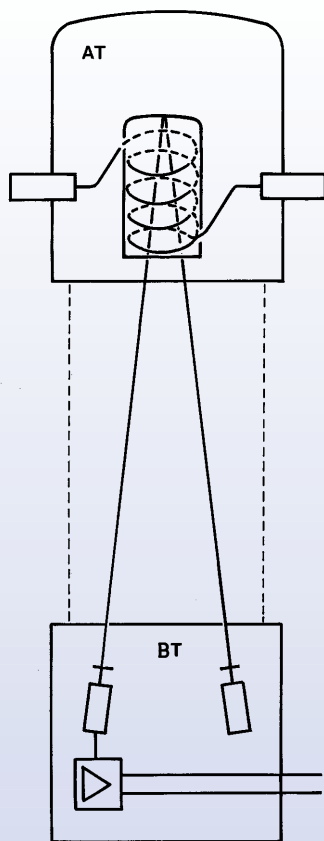


Fig. 5.4

La señal recibida en el lado de baja tensión, podría aprovecharse directamente si el sistema de protección actuase con señales digitales, pero con las protecciones actuales, es necesario transformar de nuevo en señal analógica mediante un convertidor frecuencia/tensión y finalmente esta señal se amplifica. Este es uno de los principales problemas de los transformadores de intensidad electrónicos, pues, por ejemplo, una carga de 10 W a 1n representa 4 kW a 20 In.

De acuerdo con el efecto Faraday, cuando un haz luminoso polarizado atraviesa un campo magnético con una dirección paralela a éste, sufre un giro en su plano de polarización, proporcional a la intensidad de campo magnético. Basado en este principio, en la fig. 5.4 se representa esquemáticamente un transformador de intensidad electrónico.

En el lado de alta tensión, hay un cristal sometido a un campo magnético vertical, proporcional a la intensidad primaria. Desde el lado de baja tensión se emite un haz de luz polarizada, que tras girar su plano de polarización en el cristal, vuelve al lado de baja tensión donde se analiza cuánto ha girado dicho plano. Todos los dispositivos electrónicos están en el lado de baja tensión. Como en el caso anterior el amplificador es uno de los principales inconvenientes, para conseguir un TI para protección.

high voltage side receives only information and not power, as occurs in a conventional instrument transformer. In electronic instrument transformers the power supplied to the secondary circuit comes from an external low voltage power source.

A common characteristic of these instrument transformers is that they are made up largely of electronic devices (e.g. operational amplifiers). They are therefore known as "electronic instrument transformers" (EITs).

A distinction must be drawn between those EITs which have electronic devices on the high voltage side and those which have them only on the low voltage side. The advantage of the latter lies in the possibility of repairing malfunctions in the electronic components without disconnecting the power from the line. However this advantage is less important if the electronic devices are highly reliable.

5.3.1. Electronic current transformers

The transformer shown in fig. 5.3 uses a low voltage current transformer to obtain a voltage proportional to the primary current. A voltage/frequency converter converts this analog signal into a digital one, which passes to a photo-diode and is transferred to the low voltage side.

The signal is transmitted from the high voltage to the low voltage side via an optical fibre (usually insulated in gas).

The signal received on the low voltage side could be used directly if the protection system works with digital signals, but with today's protections it must be converted back to analog via a frequency/voltage converter and finally amplified. This is one of the main problems of electronic current transformers, as a load of 10 W at 1n. represents 4 kW at 20 In.

The Faraday effect states that when a polarized light beam crosses a magnetic field in a direction parallel to that field, its plane of polarization is turned in proportion

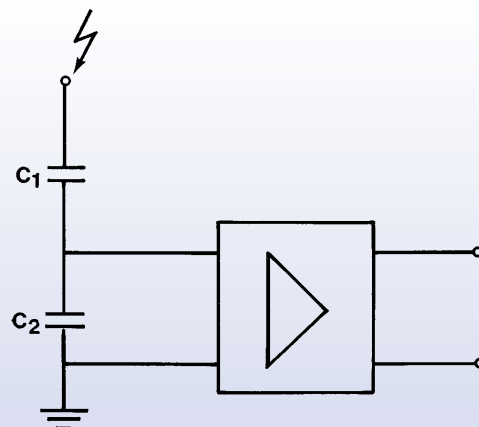


Fig. 5.5

5.3.2. Transformadores de tensión electrónicos

Pueden incluirse dentro de este grupo, los transformadores de tensión formados por un divisor capacitivo de pequeña capacidad y un amplificador operacional (fig. 5.5). De esta manera, se reduce sensiblemente el coste del divisor capacitivo.

También puede aplicarse este procedimiento a las subestaciones blindadas, donde la capacidad alta tensión es la existente entre el conductor y parte de la carcasa que se aísla para obtener el divisor. (Ver fig. 5.6)

Hemos visto anteriormente que el efecto Faraday, función del campo magnético, se utiliza en ciertos TME de intensidad. En el caso de los transformadores de tensión pueden utilizarse los efectos Kerr y Pockels, que son función del campo eléctrico.

Según el efecto Kerr, ciertos líquidos (dipolos), isotropos, se vuelven activos ópticamente al ser sometidos a un campo eléctrico. Si se hace pasar una luz polarizada a través de una célula Kerr se puede medir la tensión entre placas de la célula en función de la señal luminosa recibida.

Se llama efecto Pockels, al cambio del índice de refracción que se produce en los cristales debido al campo eléctrico. Mediante este efecto, se puede modular en amplitud un haz luminoso que atraviese una célula Pockels en función de la tensión aplicada a ésta.

5.4. TRANSFORMADORES DE MEDIDA PARA SUBESTACIONES BLINDADAS

El TI para las subestaciones blindadas es un transformador toroidal de baja tensión que se sitúa directamente en los cables aislados de alta tensión o en la carcasa metálica. En este caso, la superficie del TI enfrentada al conductor de alta tensión debe ser diseñada de tal manera que se eviten gradientes elevados.

El TT normalmente está aislado con papel y gas SF₆ a la presión de funcionamiento de la subestación.

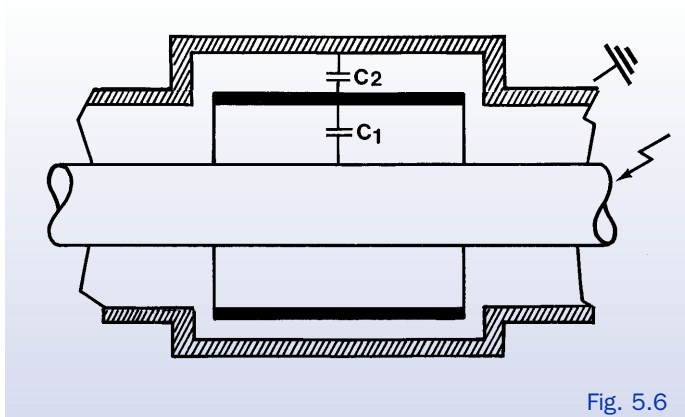


Fig. 5.6

to the valve of the magnetic field. Fig. 5.4 is a sketch of an electronic current transformer based on this principle.

On the HV side there is a crystal subject to a vertical magnetic field proportional to the primary current. A polarized light beam is emitted from the LV side, and after its plane of polarization is turned in the crystal it returns to the LV side, where the extent of the turn is determined. All the electronic devices are on the LV side. As in the previous case, one of the main drawbacks of the system is the need for an amplifier to obtain a current transformer for protection.

5.3.2. Electronic voltage transformers

This group includes voltage transformers made up of a small capacitance divider and an operational amplifier (fig. 5.5). This system considerably reduces the cost of the capacitance divider.

The procedure can also be applied to SF₆ metal housing substations, where the HV capacity is that which exists between the conductor and part of the housing which is insulated to obtain the divider (see fig. 5.6).

As mentioned above, the Faraday effect, which is a function of a magnetic field, is used in some current EITs. In voltage transformers the Kerr and Pockels effects, which are functions of an electrical field, can be used.

The Kerr effect states that certain isotropic liquids (dipoles) become optically active when subjected to an electrical field. If a polarized light is shone through a Kerr cell the voltage between plates in the cell can be measured as a function of the light signal received.

The Pockels effect is the change in the refraction index in crystals due to electrical fields. This effect can be used to modulate the amplitude of a light beam passing through a Pockels cell according to the voltage applied to the cell.

5.4. INSTRUMENT TRANSFORMERS FOR SF₆ METAL HOUSING SUBSTATIONS

CTs for SF₆ substations are toroidal type low voltage transformers located directly in insulated HV cables or in the metal housing. In the latter case the surface area of the CT opposite the HV conductor must be designed so that high gradients are avoided.

VTs are normally insulated with paper and SF₆ gas at the operating pressure of the sub-station.

6. EL PROBLEMA DIELECTRICO

6.1. EVOLUCION DEL TRANSFORMADOR DE MEDIDA

Desde el punto de vista dieléctrico, el transformador de medida, como cualquier máquina eléctrica, evoluciona en función de los nuevos materiales y de las nuevas exigencias. Para analizar brevemente el estado actual de los TM vamos a considerar 3 casos: a) baja tensión; b) media tensión y c) alta y muy alta tensión.

En baja tensión, el problema dieléctrico es mínimo. Los aislantes utilizados dependen de otras exigencias como: clase térmica, resistencia mecánica, etc. Podemos citar como materiales modernos, cintas aislantes (p. e., Mylar), resinas epoxi y poliuretano para TM moldeados, materiales termoplásticos (ABS, etc.) y termoendurecibles (resinas fenólicas, etc.) para carcasas, etc.

En media tensión (p. e., hasta 72,5 kV) en servicio interior, las resinas sintéticas han permitido reducir notablemente el tamaño de los TM al cumplir la doble misión de aislar el primario, del núcleo y del secundario y de constituir la superficie aislante entre alta tensión y baja tensión en contacto con el aire.

Para servicio intemperie, las resinas cicloalifáticas han sustituido parcialmente a la porcelana, debido a su elevada resistencia a las corrientes superficiales y a la posibilidad de conseguir gran línea de fuga. La experiencia ha mostrado que estas resinas son adecuadas para el servicio intemperie, salvo en los casos de fuerte polución atmosférica de tipo conductor.

En el caso de utilizar como aislante exterior la porcelana, en los TI el aislamiento interior, normalmente es de resina epoxi.

En los TT en parte se sigue utilizando aceite mineral como aislante interior, debido a la excelente impregnación de las bobinas. En el caso de utilizar resina como aislante exterior, se utiliza gas aislante (p. e., SF₆) para impregnar las bobinas. Hay que tener en cuenta que para evitar las descargas parciales (DP) el aislamiento principal debe carecer de poros, lo que resulta difícil en las bobinas de los TT si la impregnación no es adecuada.

En alta y muy alta tensión el aislamiento externo es bien de porcelana o bien de un aislante compuesto de fibra de vidrio y aletas de silicona, y el aislamiento interno es de papel-aceite o gas SF₆.

Un aspecto importante, en el aislamiento papel-aceite, es el secado del papel y la impregnación de aceite. En la fig. 6.1 vemos la instalación dedicada a este proceso. Durante el secado, se mantiene un vacío de unos 10⁻² Torr, con lo que se llega a un porcentaje de humedad en el papel inferior al 0,2%. Posteriormente sin perder el vacío, se impregna con aceite mineral, secado previamente también bajo vacío. De esta manera, se consiguen niveles de DP muy por debajo de lo exigido en las normas, y el valor de Tg δ es menor que 0,3%.

6. THE DIELECTRIC PROBLEM

6.1. DEVELOPMENT OF INSTRUMENT TRANSFORMERS

From a dielectric point of view, the instrument transformer, like all electric machines, develop as new materials and new requirements appear. In our brief analysis of the state of the art of instrument transformers (ITs) we shall consider three cases: a) low voltage; b) medium voltage; and c) high and very high voltage.

In low voltage the dielectric problem is minimal. The insulations used depend on other requirements, such as: thermal class, mechanical resistance, etc. Modern materials can be used, include insulating band (e.g. Mylar), epoxy and polyurethane resins for moulded ITs, thermoplastics (ABS, etc) and thermosetting plastics (phenolic resins, etc.) for housing.

In medium voltage (e.g. up to 72,5 kV) for indoor use synthetic resins have enabled the size of ITs to be reduced considerably as they both insulate the primary from the core and the secondary and provide an insulating surface between HV and LV in air.

For outdoor use, cyclo-aliphatic resins have come to replace porcelain in some cases due to their high resistance to surface currents and the possibility of obtaining large leakage paths. Experience has shown that these resins are suitable for outdoor service, except in heavy conductive atmospheric pollution.

Instead of using porcelain as external isolator, epoxy resin is to be used for internal isolator.

In VTs mineral oil is still used to some extent as an inside insulator due to the excellent impregnation of coils obtained.

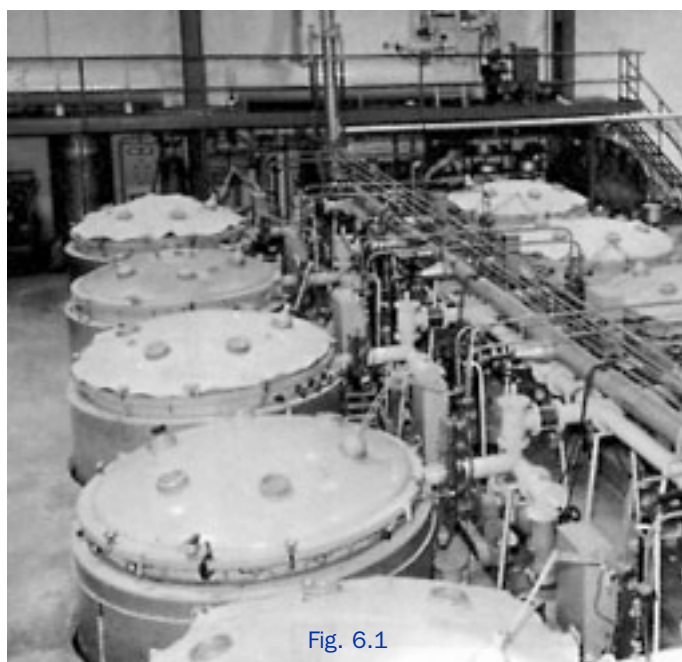


Fig. 6.1

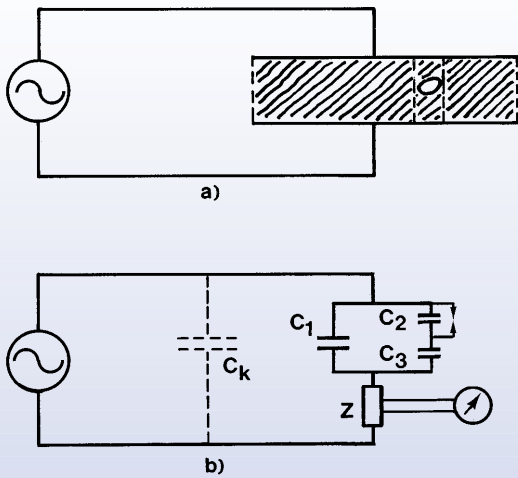


Fig. 6.2

Para lograr el máximo aprovechamiento de este dieléctrico hay que estudiar cuidadosamente el campo eléctrico evitando zonas de gradiente elevado. El método de cargas p. e., (mediante ordenador) resulta especialmente adaptable al estudio de los TI.

6.2. ENSAYOS DE CONTROL DEL AISLAMIENTO

Para asegurar su correcto funcionamiento, en servicio, todos los transformadores se someten a diversos ensayos antes de salir de fábrica.

Refiriéndonos al problema dieléctrico, los ensayos pueden ser individuales, de tipo o especiales.

En los ensayos de tipo, se verifica el diseño del transformador en general y pueden ser evitados, con la conformidad del cliente, si el fabricante presenta certificados de ensayo de transformadores del mismo modelo o similar.

En los ensayos individuales, se verifica el aislamiento de cada uno de los transformadores, pudiendo distinguir:

- 1º Ensayo dieléctrico a frecuencia industrial entre alta tensión y baja tensión.
- 2º Ensayos de descargas parciales (DP), y tangente del ángulo de pérdidas.
- 3º Diversos ensayos dieléctricos a frecuencia industrial, entre elementos aislados próximos.

El primer ensayo, consiste en someter el aislamiento entre alta y baja tensión, a gradientes de tensión muy superiores a los que va a tener en servicio, durante un breve período de tiempo, generalmente un minuto. Este ensayo es clásico y permite garantizar un cierto coeficiente de seguridad en el aislamiento. Sin embargo, sucede a menudo que un transformador que haya soportado este ensayo, tenga una vida activa inferior a la prevista.

ned. If resin is used as an outside insulator insulating gas (e.g. SF6) is used to impregnate the coils. To prevent partial discharges the main insulator must be without pores. This is hard to achieve in VT coils if impregnation is not suitable.

In high and very high voltage, either porcelain or an insulator consisting of fibre glass and silicon sheds is used for external insulation and paper-oil or SF6 gas for internal insulation.

An important point in oil paper insulation is the drying of the paper and its impregnation with oil. Fig. 6.1 shows the facility which performs this task. During drying a vacuum of around 10^{-2} Torr. is maintained, which brings the moisture content of the paper to below 0.2%. Without losing the vacuum, the paper is then impregnated with mineral oil which has also been dried in a vacuum. This makes for partial discharge levels well below the limits set by standards. $Tg \delta$ is less than 0.3%.

To improve the use of this dielectric, the electrical field must be studied carefully, avoiding areas with high gradients. The load method, for instance (using a computer), is particularly suitable for studying CTs.

6.2. INSULATION TESTING

To ensure correct operation all transformers are subjected to various tests before leaving the factory.

Those concerned with the dielectric problem may be individual tests, type tests or special tests.

In type tests the design of the transformer in general is checked out. These tests can be avoided (with the agreement of the customer) if the manufacturer presents a test certificate for transformers of the same or similar model.

In individual tests the insulation of each transformer is tested. These tests may feature the following:

1. Dielectric test at industrial frequency between high voltage and low voltage.
2. Partial discharge test and tangent of loss angle.
3. Various dielectric tests at industrial frequency between nearby insulated elements.

The first test consists of subjecting the insulation between HV and LV to voltage gradients far higher than those it will encounter in service for a short time (generally one minute). This is a classic test which enables a certain safety coefficient to be guaranteed in the insulation. However transformers which have been subjected to this test often have shorter lifetimes than expected. This may be due to small faults in the insulation which could not be

Esto puede ocurrir por pequeños defectos en el aislamiento, que no han podido ser detectados y que han provocado su envejecimiento prematuro.

Ante este importante problema, se vienen realizando con éxito los ensayos de verificación de descargas parciales.

En el segundo grupo de ensayos, tenemos primero el ensayo de descargas parciales, que consiste en detectar las pequeñas descargas que se producen entre las paredes de las cavidades que existen en el aislamiento cuando es defectuoso.

En la fig. 6.2a, se representa un dieléctrico defectuoso sometido a tensión alterna. La tensión entre las paredes opuestas de la cavidad es superior a la del aislante contiguo, debido a la menor constante dieléctrica del gas. Asimismo, la rigidez de éste, es inferior a la del resto del aislante, especialmente si existe cierto grado de vacío (ley de Paschen). Por todo ello, se producen descargas entre los extremos de la cavidad, a una tensión de servicio muy inferior a la de rigidez del aislante, que alteran el mismo poco a poco.

Estas descargas son de alta frecuencia y pueden detectarse como se indica en la fig. 6.2b, donde C_1 es la capacidad del dieléctrico en paralelo con la cavidad, C_2 es la capacidad de la cavidad y C_3 la del dieléctrico en serie con ella. La capacidad C_k (de acoplamiento) sirve para detectar más fácilmente la DP (aparente) en la impedancia Z .

Existen diversos procedimientos, según la Publicación CEI-270, pero el más adecuado para los TM es la medida de la descarga aparente en pC. En ARTECHE se miden las DP de los transformadores desde hace más de 30 años.

Este ensayo no es destructivo, y por lo tanto, permite verificar las posibles mejoras del aislamiento, en función del tratamiento realizado.

También permite verificar si el ensayo dieléctrico a frecuencia industrial ha dañado el aislamiento, contrastando el nivel de las descargas parciales antes y después de dicho ensayo.

El ensayo de la tangente del ángulo de pérdidas ($Tg\delta$) sólo es aplicable a los TI, pues en los TT mide el aislamiento entre P2 y tierra. Es un excelente indicador de la calidad del tratamiento en los transformadores de papel-aceite y permite conocer la evolución del aislamiento en servicio.

En el tercer grupo de ensayos, podemos incluir los realizados para verificar el aislamiento entre bobinados aislados de un mismo arrollamiento, entre secundarios, etc.

detected, and which cause premature aging.

Success in dealing with this major problem has been achieved by performing partial discharge tests.

The main test in the second group is the partial discharge test, consisting of detecting the small discharges which occur between the walls of the cavities in the insulation when it is faulty.

Fig. 6.2a shows a faulty dielectric subjected to A/C voltage. The voltage between the opposing walls of the cavity is greater than that of the contiguous insulator, due to the lower dielectric constant of the gas. Furthermore its rigidity is lower than that of the rest of the insulator, especially if there is some degree of vacuum (Paschen's law). This results in discharges between the ends of the cavity at a working voltage well below that of the rigidity of the insulator, which discharges gradually damage the insulator.

These are high frequency discharges, and can be detected as indicated in fig. 6.2b, where C_1 is the capacitance of the dielectric in parallel with the cavity, C_2 is the capacitance of the cavity and C_3 is that of the dielectric in series with it. Capacitance C_k (coupling) serves to detect the apparent partial discharge in impedance Z more easily.

There are various procedures set down in IEC publication 270, but the most suitable for ITs is the measuring of the apparent discharge in pC. At ARTECHE, we have been measuring partial discharges in transformers for 30 years.

This is a non-destructive test, so improvements in insulation as treatments are given can be checked out.

This test also enables us to check whether the dielectric test at industrial frequency has damaged the insulation, by comparing the level of partial discharges before and after that test.

The tangent of angle of loss test ($Tg\delta$) is applicable only to CTs, as in VTs it measures the insulation between P2 and earth. It is an excellent indicator of treatment quality in oil paper transformers, and reveals any changes in insulation during service.

The third group of tests includes tests to check insulation between insulated coils on the same winding, between secondaries, etc.

Finalmente, conviene citar el análisis cromatográfico de los gases disueltos en el aceite, para los transformadores de alta tensión que llevan cierto tiempo en servicio. Mediante este ensayo puede detectarse cualquier anomalía, bien sea de tipo térmico, DP, etc., antes de que se produzca el fallo total del aislamiento, pero sólo puede realizarse en laboratorios especializados y su coste es elevado.

7. INSTALACION DEL TRANSFORMADOR DE MEDIDA

7.1. ERROR EN LA MEDIDA DE LA POTENCIA

7.1.1. Medida monofásica

Al medir la potencia monofásica con un vatímetro instalado según la fig. 7.1a), a través de un transformador de intensidad y otro de tensión, se comete un error debido a los errores de ambos transformadores.

A partir de la fig. 7.1b), y teniendo en cuenta que los errores de relación son positivos cuando el vector secundario es mayor que el primario, y los desfases son positivos cuando el vector secundario está en avance sobre el vector primario, resulta:

$$\begin{aligned} P_{\text{real}} &= U_p \cdot I_p \cdot \cos \varphi \\ P_{\text{medid.}} &= U_s \cdot K_{nu} \cdot I_s \cdot K_{ni} \cdot \cos (\varphi - \delta_i + \delta_u). \end{aligned}$$

Por lo tanto, el error en la medida de la potencia, en tanto por ciento, es:

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{pot}} (\%) &= \frac{P_{\text{medid.}} - P_{\text{real}}}{P_{\text{real}}} \times 100 = \\ &= \frac{U_s K_{nu} I_s K_{ni} \cos (\varphi - \delta_i + \delta_u) - U_p I_p \cos \varphi}{U_p I_p \cos \varphi} \times 100 \end{aligned}$$

y teniendo en cuenta que δ_i y δ_u son muy pequeños, expresando en radianes resulta:

$$\cos (\delta_u - \delta_i) \simeq 1 \quad \text{y} \quad \sin (\delta_i - \delta_u) \simeq \delta_i - \delta_u$$

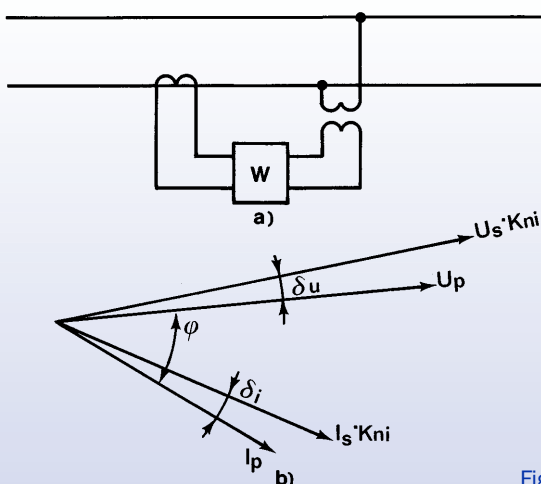


Fig. 7.1

Finally, chromatic analysis of the gases dissolved in oils can be carried out on high voltage transformers which have been in service for some time. This test can pick up any thermal, partial discharge or other anomaly before the insulation fails completely. However it can only be performed in specialist laboratories and is expensive.

7. INSTALLING INSTRUMENT TRANSFORMERS

7.1. ERROR IN POWER MEASUREMENT

7.1.1. Single Phase Measuring

When single phase power is measured with a wattmeter installed as per fig. 7.1a through one current transformer and one voltage transformer, an error is committed due to the errors in both transformers.

As per fig. 7.1b, bearing in mind that these ratio errors are positive, when the secondary vector is greater than the primary and the phase shifts are positive when the secondary vector is in advance of the primary vector, it results that:

$$\begin{aligned} P_{\text{real}} &= U_p \cdot I_p \cdot \cos \varphi \\ P_{\text{means}} &= U_s \cdot K_{nu} \cdot I_s \cdot K_{ni} \cdot \cos (\varphi - \delta_i + \delta_u). \end{aligned}$$

In percentage terms, the power measuring error is therefore:

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{pot}} (\%) &= \frac{P_{\text{medid.}} - P_{\text{real}}}{P_{\text{real}}} \times 100 = \\ &= \frac{U_s K_{nu} I_s K_{ni} \cos (\varphi - \delta_i + \delta_u) - U_p I_p \cos \varphi}{U_p I_p \cos \varphi} \times 100 \end{aligned}$$

and bearing in mind that δ_i and δ_u are very small, the expression resulting in radians is:

$$\cos (\delta_u - \delta_i) \simeq 1 \quad \text{and} \quad \sin (\delta_i - \delta_u) \simeq \delta_i - \delta_u$$

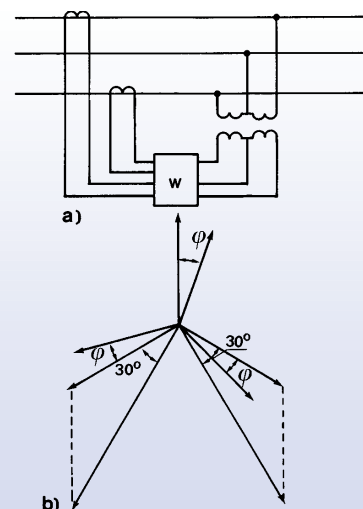


Fig. 7.2

Por tanto:

$$\varepsilon_{pot}(\%) = \frac{U_s K_{nu} I_s K_{ni} [\cos \varphi + (\delta_i - \delta_u) \sin \varphi] - U_p I_p \cos \varphi}{U_p I_p \cos \varphi} \times 100$$

operando y teniendo en cuenta que ε_u y ε_i son muy pequeños, por lo que podemos despreciar los términos de segundo grado, resulta:

$$\varepsilon_{pot}(\%) = \varepsilon_i + \varepsilon_u + (\delta_i - \delta_u) \operatorname{tg} \varphi$$

donde δ_i y δ_u están expresados en centiradianes.

7.1.2. Medida trifásica con 3 hilos y carga equilibrada

En la fig. 7.2 se representa esquemáticamente este caso. Si V es la tensión compuesta, la potencia real es:

$$P_{\text{real}} = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

La potencia medida según el método de los dos vatímetros es:

$$P_{\text{medida}} = P_1 + P_3, \text{ donde:}$$

$$P_1 = V_{12s} \cdot K_{nu} \cdot I_{1s} \cdot K_{ni} \cdot \cos (\varphi + 30 - \delta_{1i} + \delta_{1u})$$

$$P_3 = V_{32s} \cdot K_{nu} \cdot I_{3s} \cdot K_{ni} \cdot \cos (\varphi - 30 - \delta_{3i} + \delta_{3u})$$

Operando como en el caso anterior, llegamos al siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pot}(\%) = & \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} + \frac{\delta_1 + \delta_3}{2} \times \operatorname{tg} \varphi + \\ & + \frac{\delta_1 - \delta_3}{3,46} + \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{3,46} \times \operatorname{tg} \varphi \end{aligned}$$

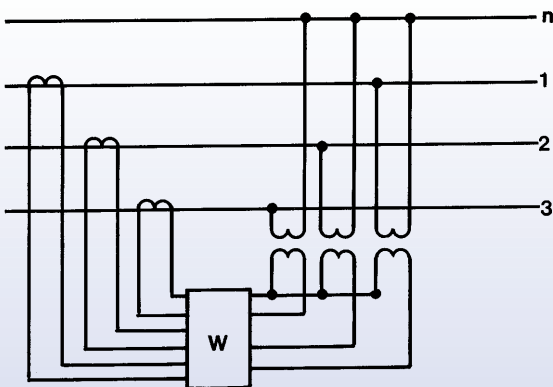


Fig. 7.3

Therefore:

$$\varepsilon_{pot}(\%) = \frac{U_s K_{nu} I_s K_{ni} [\cos \varphi + (\delta_i - \delta_u) \sin \varphi] - U_p I_p \cos \varphi}{U_p I_p \cos \varphi} \times 100$$

operating and considering that ε_u and ε_i are very small, so that the second degree terms can be disregarded, it results that:

$$\varepsilon_{pot}(\%) = \varepsilon_i + \varepsilon_u + (\delta_i - \delta_u) \operatorname{tg} \varphi$$

where δ_i and δ_u are expressed in hundredths of a radian.

7.1.2. Three-phase measuring with 3 wires and balanced load

Fig.7.2 is a schema of this case. If V is the compound voltage, the actual power is:

$$P_{\text{real}} = \sqrt{3} V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

The measured power, using the two wattmeter method, is:

$$P_{\text{means}} = P_1 + P_3, \text{ where}$$

$$P_1 = V_{12s} \cdot K_{nu} \cdot I_{1s} \cdot K_{ni} \cdot \cos (\varphi + 30 - \delta_{1i} + \delta_{1u})$$

$$P_3 = V_{32s} \cdot K_{nu} \cdot I_{3s} \cdot K_{ni} \cdot \cos (\varphi - 30 - \delta_{3i} + \delta_{3u})$$

Operating as in the previous case, the following result is reached:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pot}(\%) = & \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} + \frac{\delta_1 + \delta_3}{2} \times \operatorname{tg} \varphi + \\ & + \frac{\delta_1 - \delta_3}{3,46} + \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{3,46} \times \operatorname{tg} \varphi \end{aligned}$$

where $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1i} + \varepsilon_{1u}$ expressed in %

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_{3i} + \varepsilon_{3u}$$

$$\delta_1 = \delta_{1u} + \delta_{1i}$$

$$\delta_3 = \delta_{3i} + \delta_{3u}$$

expressed in hundredths of a radian.

7.1.3. Three-phase measuring with 4 wires an balanced load

Fig. 7.3 shows a simplified example of this case.

The total error is:

$$\varepsilon_{pot}(\%) = \frac{1}{3} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) + (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) \operatorname{tg} \varphi$$

where, as above:

$$\varepsilon_j = \varepsilon_{ji} + \varepsilon_{ju} \quad \text{and} \quad \delta_j = \delta_{ji} + \delta_{ju}$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \varepsilon_{1i} + \varepsilon_{1u} \\ \varepsilon_3 &= \varepsilon_{3i} + \varepsilon_{3u} \end{aligned} \right\} \text{ expresados en \%}$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \delta_{1i} - \delta_{1u} \\ \delta_3 &= \delta_{3i} - \delta_{3u} \end{aligned} \right\} \text{ expresados en centirradia\u00f1es}$$

7.1.3. Medida trif\u00e1sica con 4 hilos y carga equilibrada

En la fig. 7.3 vemos de forma simplificada este caso.

El error total es:

$$\varepsilon_{\text{tot}} (\%) = \frac{1}{3} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) + (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) \operatorname{tg} \varphi$$

donde, como antes:

$$\varepsilon_j = \varepsilon_{ji} + \varepsilon_{ju} \quad \text{y} \quad \delta_j = \delta_{ji} - \delta_{ju}$$

7.2. CONEXIONES

Las aplicaciones de los transformadores de medida son de una gran diversidad, dependiendo del tipo de medida o protecci\u00f3n que deseemos realizar. Veamos algunos ejemplos:

En la fig. 7.4 tenemos una l\u00ednea monof\u00e1sica, con dos cargas, midiendo en un vat\u00edmetro el consumo de una de ellas y en otro vat\u00edmetro el consumo total. Tambi\u00e9n est\u00e1n instalados un volt\u00edmetro y un amper\u00edmetro.

En la fig. 7.5 vemos el esquema del principio de una protecci\u00f3n diferencial.

En la fig. 7.6 tenemos una protecci\u00f3n t\u00edpica de motor, con un rel\u00e9 para m\u00ednima tensi\u00f3n y disequilibrio.

7.2. CONNECTIONS

Instrument transformers have a wide range of applications, depending on the type of measurement or protection to be made. Some examples follow.

Fig. 7.4 shows a single phase line with two loads, where one wattmeter measures the consumption of one load and the other measures total consumption. A voltmeter and an ammeter are also installed.

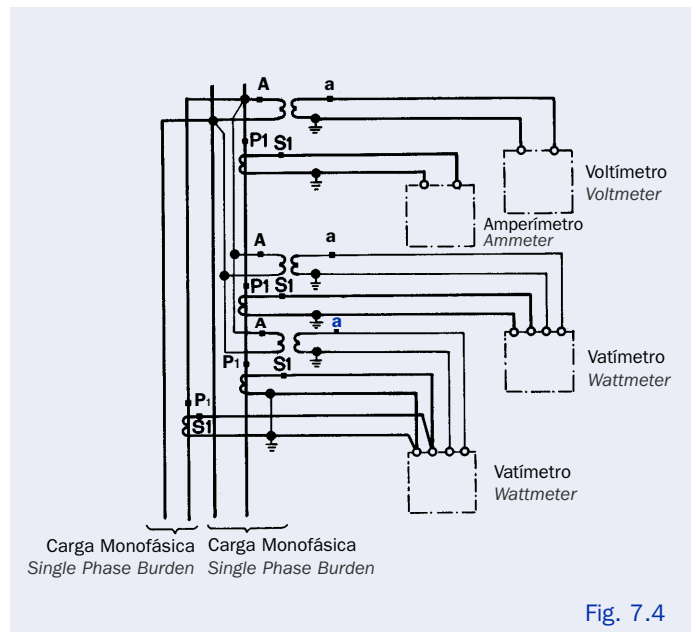


Fig. 7.4

Fig. 7.5 shows a circuit diagram of the beginning of a differential (trip switch) protection system.

Fig. 7.6 shows a typical motor protector with one relay for minimum voltage and unbalance.

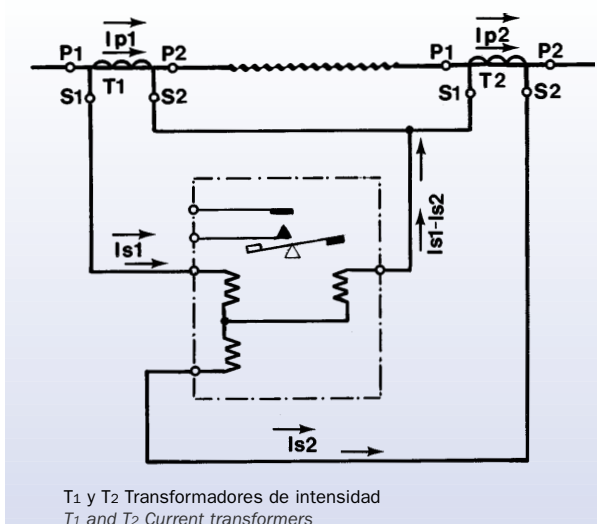


Fig. 7.5

Protecci\u00f3n de m\u00ednima tensi\u00f3n - disequilibrio
Protection relay of minimum voltage - unbalance

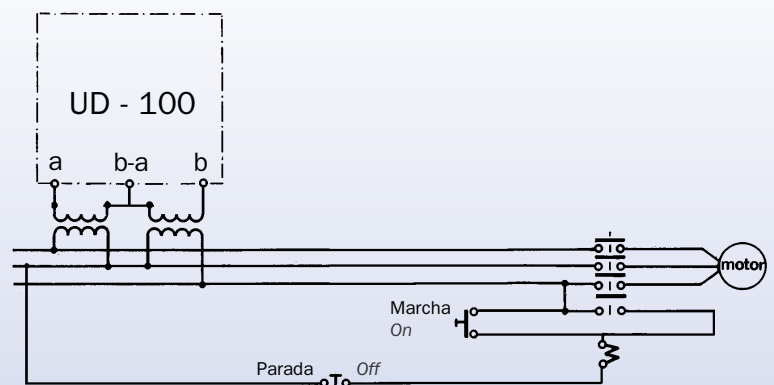


Fig. 7.6

8. NORMAS

8.1. NORMAS CONSULTADAS

Las normas consultadas son:

UNE-EN 60044-1 (2004)	Transformadores de medida. Parte 1: Transformadores de intensidad.
UNE-EN 60044-2 (2001)	Transformadores de medida . Parte 2: Transformadores de tensión inductivos.
CEI 60044-1 (2003)	Transformadores de medida Parte 1: Transformadores de intensidad.
CEI 60044-2 (2003)	Transformadores de medida. Parte 2: Transformadores de tensión inductivos.
IEEE / ANSI C57.13 (1993)	Transformadores de medida.

8. STANDARDS

8.1. STANDARDS CONSULTED

UNE-EN 60044-1 (2004)	Measuring & Protection Transformers: Current Transformers.
UNE-EN 60044-2 (2001)	Measuring & Protection Transformers: Voltage Transformers.
IEC 60044-1 (2003)	Instrument Transformers. Part1: Current Transformers.
IEC 60044-2 (2003)	Instrument Transformers. Part2: Inductive Voltage Transformers.
IEEE / ANSI C57.13 (1993)	Instrument Transformers

Tabla 8.1 / Table 8.1

UNE & CEI / UNE & IEC				IEEE			
Tensión de aislamiento kV _{ef}	Ensayo frecuencia industrial kV _{ef}	Ensayo impulso tipo rayo kV _{pico}	Ensayo impulso tipo maniobra kV _{pico}	Tensión de aislamiento kV _{ef}	Ensayo frecuencia industrial kV _{ef}	Ensayo impulso tipo rayo kV _{pico}	Ensayo impulso tipo maniobra kV _{pico}
Highest voltage kV _{rms}	Power-frequency test kV _{rms}	Lightning impulse test (BIL) kV _{peak}	Switching impulse test kV _{peak}	Nominal voltage kV _{rms}	Power-frequency test kV _{rms}	Lightning impulse test (BIL) kV _{peak}	Switching impulse test kV _{peak}
0,72	3	–	–	0,6	4	10	–
1,2	6	–	–	1,2	10	30	–
3,6	10	20 / 40	–	2,4	15	45	–
7,2	20	40 / 60	–	5	19	60	–
12	28	60 / 75	–	8,7	26	75	–
17,5	38	75 / 95	–	15	34	95 / 110	–
24	50	95 / 125	–	25	40 / 50	125 / 150	–
36	70	145 / 170	–	34,5	70	200	–
52	95	250	–	46	95	250	–
72,5	140	325	–	69	140	350	–
100	185	450	–				
123	185 / 230	450 / 550	–	115	185 / 230	450 / 550	–
145	230 / 275	550 / 650	–	138	275	650	–
170	275 / 325	650 / 750	–	161	325	750	–
245	395/460	950/1050	–	230	395 / 460	900 / 1050	–
300	395 / 460	950 / 1050	750 / 850				
362	460 / 510	1050 / 1175	850 / 950				
420	570/630	1300/1425	1050/1050	345	575	1300	825
525	630 / 680	1425 / 1550	1050/1175	500	750 / 800	1675 / 1800	1175

Tabla 8.2

Nivel de contaminación	Mínima línea de fuga específica nominal entre fase y tierra (mm/kV entre fases)
I Ligero	16
II Medio	20
III Fuerte	25
IV Muy fuerte	31

8.2. CONDICIONES AMBIENTALES

En normas UNE y CEI las temperaturas extremas normales para servicio intemperie varían desde -40°C hasta $+40^{\circ}\text{C}$ (categorías $-40/40$; $-25/40$; $-5/40$) aunque como especiales se contemplan también desde -50°C hasta $+50^{\circ}\text{C}$ (categorías $-50/40$; $-5/50$).

En la IEEE las temperaturas extremas normales varían desde -30°C hasta $+55^{\circ}\text{C}$ aunque también indican que puede haber otras como condición especial.

En ambas normas la altitud normal es inferior a 1000 m. Si fuera superior se ha de aumentar el aislamiento externo.

8.3. NIVELES DE AISLAMIENTO

En la tabla 8.1. vemos los niveles de aislamiento según las diversas normas.

La tensión de impulso tipo rayo corresponde a la onda 1,2/50 μs y la de tipo maniobra a la de 250/2500 μs . Estos ensayos son de tipo. Algunas normas incluyen también ondas de impulso tipo rayo cortadas y ensayos bajo lluvia.

En cuanto a línea de fuga, en la tabla 8.2 se indican los valores mínimos.

8.4. TRANSFORMADORES DE INTENSIDAD

8.4.1. Intensidades primarias asignadas

Según CEI y UNE

a) Transformadores con una sola relación de transformación:

10 - 12,5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75

y sus múltiplos y submúltiplos decimales. Los valores subrayados son preferentes.

b) Transformadores con varias relaciones de transformación:

Los valores normales indicados en a) se aplican a la menor intensidad primaria asignada.

Table 8.2

Pollution level	Minimum nominal specific creepage distance (mm/kV between phases)
I Light	16
II Medium	20
III Heavy	25
IV Very heavy	31

8.2. ENVIRONMENTAL CONDITIONS

In UNE & IEC standards normal temperature limits for outdoor service go from -40°C to $+40^{\circ}\text{C}$ ($-40/40$; $-25/40$; $-5/40$ categories) although it is also possible, as special condition, reaching from -50°C to $+50^{\circ}\text{C}$ ($-50/40$; $-5/50$ categories).

In the IEEE the normal limits for the temperature are -30°C and $+50^{\circ}\text{C}$ although it is also possible another values as special conditions.

In both cases the normal altitude is below 1000 m. For higher altitudes external insulation must be increased.

8.3. INSULATION LEVELS

Table 8.1 shows the insulation levels according to the different standards.

Lightning impulse voltage is for a wave of 1.2/50 μs and switching impulse is for 250/2500 μs . These are type tests. Some standards also include chopped lighting impulse waves and tests in wet conditions.

Table 8.2 gives the minimum levels for the creepage distance.

8.4. CURRENT TRANSFORMERS

8.4.1. Rated primary currents

As per IEC and UNE

a) Single ratio transformers:

10 - 12.5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75

and their multiples or decimal sub-multiples. The preferential figures are underlined.

b) Multiratio transformers:

The standard values given in a) refer to the lowest values of rated primary current.

8.4.2. Intensidades secundarias asignadas

En general se consideran 1 y 5A, con preferencia de este último valor.

También se admiten otros valores, especialmente 2A y, en los TI destinados a ser conectados en triángulo, los valores anteriores divididos por $\sqrt{3}$.

8.4.3. Intensidades de calentamiento

El transformador de intensidad debe soportar su intensidad de calentamiento nominal, sin que la temperatura de los arrollamientos sobrepase el valor admisible, según la clase térmica del aislamiento.

Tabla 8.3 / Table 8.3

Gamas extendidas nominales	Extended current ratings
UNE & IEC	IEEE/ANSI
1	1 - 1,33
1,2 - 1,5 - 2	1,5 - 2
	3 - 4

En las normas CEI y UNE, se admiten tantos límites de calentamiento como clases de aislamiento. En la norma IEEE/ANSI sólo se admiten dos tipos de transformadores desde el punto de vista de calentamiento: los de 55 y 65 °C de elevación de temperatura, tanto para temperaturas ambiente de 30 y 55 °C. Por ello existen cuatro límites distintos.

En la tabla 8.3 se indican los valores de la intensidad nominal de calentamiento según diversas normas, expresados como un número de veces la In.

En la norma IEEE/ANSI se especifica además la variación de la intensidad límite térmica (RF), en función de la temperatura ambiente.

8.4.4. Potencias de precisión

Según UNE-CEI, se admiten las siguientes potencias nominales expresadas en voltiamperios:

2,5 - 5 - 10 - 15 - 30 y mayores

Factor de potencia $\cos \beta = 0,8$

La norma IEEE/ANSI difiere en la forma de expresar la potencia. Las cargas son:

B-0,1, B-0,2, B-0,5, B-0,9, B-1,8, B-1, B-2, B-4 y B-8

donde el número que aparece después en la letra B (Burden), indica el valor de la impedancia en ohmios a 60 Hz. Las cargas B-0,1, B-0,2, B-0,5, B-0,9 y B-1,8, se utilizan para medida con $\cos \beta = 0,9$, y las cargas B-1, B-2, B-4 y B-8, se utilizan para protección con $\cos \beta = 0,5$.

La tabla 8.4 muestra las equivalencias aproximadas entre las cargas CEI y IEEE/ANSI.

8.4.2 Rated secondary currents

In general 1 and 5 A are considered, with the last one being the preferential level.

Also other levels are admitted, especially 2A. and, in CTs which are to be connected in triangle, the above levels may be divided by $\sqrt{3}$.

8.4.3 Continuous thermal currents

The current transformer must withstand its rated continuous thermal current without exceeding in the winding the admissible temperature for the relevant thermal class of the insulation.

IEC and UNE standards admit as many heating limits as classes of insulation are. IEEE/ANSI admits only two types of transformers from the temperature rise point of view: the 55 and 65 °C temperature rise type in both 30 and 55 °C ambient temperature. Therefore four different limits exist.

Table 8.3 shows continuous thermal rated heating current rating factors according to different standards expressed as number of times the rated current.

IEEE/ANSI also specifies the variation in thermal limit current (RF) according to ambient temperature.

8.4.4 Standard burdens

UNE and IEC standards admit the following rated burdens expressed in volt-amperes:

2.5, 5, 10, 15, 30 and greater.

Power factor $\cos \beta = 0.8$.

The IEEE/ANSI standard expresses the burdens in a different way. They are

B-0.1, B-0.2, B-0.5, B-0.9, B-1.8, B-1, B-2, B-4 and B-8,

where the number appearing after the letter B (burden) indicates the impedance in Ohms at 60 Hz. Burdens B-0.1, B-0.2, B-0.5, B-0.9 and B-1.8 are used for measuring with $\cos \beta = 0.9$, and B-1, B-2, B-4 and B-8 are used for protection with $\cos \beta = 0.5$.

Table 8.4 shows the approximate equivalence between IEC and IEEE/ANSI burdens.

Tabla 8.4 / Table 8.4

Equivalencia de cargas CEI y IEEE/ANSI
Equivalence of IEC and IEEE/ANSI burdens

CEI / IEC	IEEE/ANSI
2,5 VA	B-0,1
5 VA	B-0,2
15 VA	B-0,5 ($\approx 12,5$ VA)
20 VA	B-0,9 ($\approx 22,5$ VA)
30 VA	B-1 (≈ 25 VA)
40 VA	B-1,8 (≈ 45 VA)
50 VA	B-2
100 VA	B-4
200 VA	B-8

8.4.5. Intensidades de cortocircuito

La corriente que circula durante un cortocircuito en la línea crea problemas térmicos y dinámicos en el transformador.

Si I_{cc} es la intensidad de cortocircuito de la red y t su duración máxima en segundos (entre 0,5 y 5 seg), la intensidad límite térmica del transformador (expresada para 1 segundo) debe ser tal que se cumpla la condición:

$$I_{term} \geq I_{cc} \sqrt{t}$$

I_{term} e I_{cc} en valor eficaz.

El efecto dinámico se debe a la máxima amplitud de la onda de la corriente de cortocircuito. Por ello, algunas normas relacionan los valores de las intensidades térmica y dinámica.

En el peor de los casos UNE y CEI, fijan que:

$$I_{din} \geq 2,5 I_{term}$$

En IEEE/ANSI la intensidad dinámica se expresa como el valor de pico de la componente simétrica de una onda totalmente desplazada. Por tanto,

$$I_{din} = 2 \times \sqrt{2} \times I_{term} = 2,83 I_{term}$$

8.4.6. Designación y marcado de bornes

Los bornes deberán estar marcados de una forma clara e indeleble sobre su superficie o en su proximidad inmediata.

La designación de los bornes varía de unas normas a otras. Recopilamos en la tabla 8.5 algunos ejemplos.

Según la norma IEEE/ANSI se debe utilizar la letra H para el primario y la letra X para el secundario. Si existen varios secundarios, se pueden utilizar las letras Y, Z, V, etc. La polaridad viene indicada por un número después de cada letra: por ejemplo, H1, H2, X1, X2, etc., correspondiendo los números impares a los bornes que son de la misma polaridad.

8.4.7. Datos que deben consignarse en la placa de características

Según la norma UNE, todos los transformadores de intensidad deben indicar, por lo menos, los siguientes datos:

- El nombre del fabricante o una indicación que permita fácilmente su identificación.
- El número de serie o el tipo de aparato. En la numeración ARTECHE las dos primeras cifras corresponden a las dos últimas del año de fabricación.

8.4.5 Short circuit currents

Network short circuit currents cause thermal and dynamic problems in transformers.

If I_{cc} is the short circuit current of the network and t its maximum duration in seconds (between 0.5 and 5 sec.), the thermal limit current of the transformer expressed for 1 sec. must met the following condition:

$$I_{th} \geq I_{cc} \sqrt{t}$$

I_{th} and I_{cc} are rms values.

The dynamic effect is due to the maximum amplitude of the short circuit current wave. Some standards therefore link the thermal and dynamic currents in the worst case.

UNE and IEC require:

$$I_{dyn} \geq 2.5 I_{th}$$

In IEEE/ANSI standard current is expressed as the peak level of the symmetrical component of a fully shifted wave. Therefore:

$$I_{dyn} = 2 \times \sqrt{2} \times I_{th} = 2.83 I_{th}$$

8.4.6 Terminal markings and designation

Terminals must be marked clearly and indelibly on the surface or in their immediate proximity.

Terminal designation varies from one standard to another. Table 8.5 shows some examples.

The IEEE/ANSI standard requires the letter H to be used for the primary and X for the secondary. If there are several secondaries Y, Z, V, etc. may be used. Polarity is indicated by a number after each letter, e.g. H1, H2, X1, X2, etc. with the odd numbers representing terminals of the same polarity.

8.4.7 Data to be shown on the rating plate

UNE standards require all current transformers to show at least the following data:

- Manufacturer's name or an indication enabling the manufacturer to be easily identified.
- Serial number or type of apparatus. In ARTECHE numbering the first two figures represent the year of manufacture.

d) La relación de transformación nominal en la forma:

$$K_n = I_{pn} / I_{sn} \text{ (ejemplo: } K_n = 100/5 \text{)}$$

e) La frecuencia asignada. (Hz)

f) Las potencias de precisión, las clases de precisión y la designación de los bornes correspondiente a cada arrollamiento.

g) La tensión más elevada para el material y su nivel de aislamiento.

h) Las intensidades de cortocircuito térmica y dinámica nominales en kA.

En los transformadores de baja tensión, no son obligatorias las indicaciones g) y h).

Los transformadores de intensidad para medida deberán indicar además, si procede, el factor límite de seguridad (en la forma $F_s \leq x$), correspondiente a la carga de precisión indicada.

Para los transformadores de gama extendida, se anotará el grado de extensión a continuación de la clase de precisión. (Ejemplo: 15 VA clase 0,5 extensión 150%).

Los transformadores de intensidad para protección también deberán indicar el factor límite de precisión (ejemplo: 30 VA clase 5P10).

d) Rated transformation ratio in the following form:

$$K_n = I_{pn} / I_{sn} \text{ (e.g.: } K_n = 100/5 \text{)}$$

e) Rated frequency. (Hz)

f) Rated output, accuracy class and corresponding terminal designation for each winding.

g) Highest voltage for equipment and its rated insulation level.

h) Rated short-circuit thermal and dynamic currents in kA.

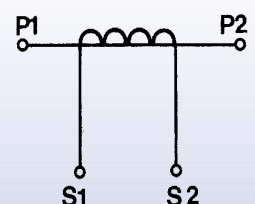
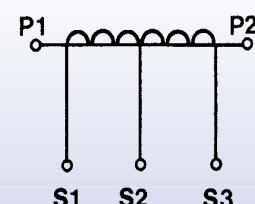
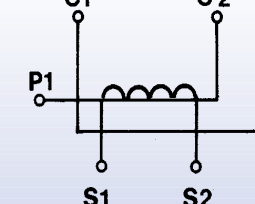
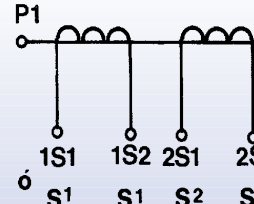
In low voltage transformers g) and h) are not obligatory.

Current transformers for measuring must also indicate, if relevant, the instrument security factor (in the form $F_s \leq x$) for the indicated burden.

Extended range transformers must show the continuous thermal current rating factor after the accuracy class (e.g. 15VA class 0.5 extension 150%).

Current transformers for protection must also show the accuracy limit factor (e.g. 30VA class 5P10).

Tabla 8.5 / Table 8.5

UNE				
CEI				

8.4.8. Ensayos individuales o de rutina

Son los ensayos a los que se someten todos los transformadores.

Las normas UNE y CEI consideran los siguientes ensayos como de rutina:

a) Verificación del marcado de los bornes. Consiste en verificar que las marcas de los bornes son correctas.

b) Ensayo dieléctrico a frecuencia industrial del arrollamiento primario. El aislamiento debe soportar, durante 1

8.4.8. Individual or routine test

These are tests to which all transformers are subject.

UNE and IEC standards consider the following as routine tests:

a) Checking of terminal markings. This consists of checking that the terminals are correctly marked.

b) Power frequency withstand test on the primary winding. The insulation must withstand the power frequency voltage corresponding to its insulation level for one

minuto, la tensión de ensayo a frecuencia industrial correspondiente a su nivel de aislamiento, aplicada entre el primario y el o los arrollamientos secundarios conectados a tierra (Ver tabla 8.1).

Si el arrollamiento primario está subdividido en dos o más secciones, cada sección debe soportar durante 1 minuto una tensión de valor eficaz 3kV, entre ella y todas las demás secciones.

c) Ensayo dieléctrico a frecuencia industrial de los arrollamientos secundarios. Cada arrollamiento secundario debe soportar, durante 1 minuto, una tensión de valor eficaz 3kV, entre sí y los restantes arrollamientos secundarios puestos a tierra.

d) Ensayo de sobretensión entre espiras. Se verifica cada arrollamiento secundario durante 1 minuto a la tensión inducida (si es menor que 4,5 kV de cresta), alimentando el arrollamiento primario con su intensidad nominal, estando el secundario abierto o viceversa. Si la tensión que aparece en los bornes del secundario es superior a 4,5kV de cresta, se ensaya con esta tensión.

e) Ensayos concernientes a la precisión. En los transformadores de intensidad para medida y para protección, se realizan los ensayos destinados a comprobar su conformidad con las indicaciones de las tablas de las normas correspondientes.

En los transformadores de intensidad para protección, los ensayos relativos al error compuesto se deben efectuar según el método de excitación, que consiste en determinar la intensidad de excitación (para la frecuencia nominal), aplicando al secundario una tensión prácticamente sinusoidal de valor eficaz igual al producto del factor límite de precisión por la intensidad secundaria nominal y por la suma vectorial de la impedancia de la carga y de la impedancia del arrollamiento secundario del transformador.

f) Descargas parciales.

Este ensayo se debe realizar siempre y cuando la U_m no sea menor de 7,2 kV.

En la tabla 8.6 se muestran los valores límites en la norma CEl para el nivel de descargas parciales (en pC) que no deben superarse a los niveles de tensión indicados después de un precondicionamiento realizado con un nivel de tensión que equivalga al 100 u 80% de la tensión de ensayo dieléctrico a frecuencia industrial.

La norma IEEE no incluye el ensayo de descargas parciales pero sí el de medida del nivel de radio interferencias (RIV) en μV (en vez de pC).

minute. This voltage is applied between the primary and the secondary winding(s) connected to earth (see Table 8.1).

If the primary winding is subdivided into two or more sections, each section must withstand a rms voltage of 3kV between itself and all the other sections for one minute.

c) Power frequency withstand test on secondary windings. Each secondary winding must withstand a rms voltage of 3kV between itself and the other secondary windings connected to earth, for one minute.

d) Inter-turn Overvoltage test. This involves checking the secondary winding(s) for one minute at the induced voltage (if its peak value is less than 4.5 kV), supplying the primary winding at its rated current and with the secondary open, or vice versa. If the voltage appearing in the secondary terminals is greater than 4.5 kV peak this voltage is used for the test.

e) Accuracy tests. In current transformers for metering and relaying the tests are run to check compliance with the relevant standards.

In current transformers for protection, compound error tests must be run using the excitation method, which consists of determining the excitation current (for the rated frequency), applying a practically sinusoidal voltage to the secondary at a level equal to the product of the accuracy limit factor by the rated secondary current and by the vectorial sum of the burden impedance and the transformer secondary winding impedance.

f) Partial discharges.

This requirement is applicable to current transformers having U_m not less than 7,2 kV.

Table 8.6 shows the IEC limits of partial discharge level (in pC) that must not be exceeded at the voltage indicated after a prestressing of 100 or 80% of the power-frequency withstand voltage.

The IEEE standard does not include a partial discharge test, but it talks about the RIV measurement in μV (instead of pC).

Tabla 8.6 / Table 8.6

Tipo de transformador y conexión <i>Type of transformer and connection</i>	Tipo de conexión a tierra <i>Type of earthing of the system</i>	Tensión de medida descargas parciales (kV ef) <i>PD test voltage (kV rms)</i>	Nivel admisible de DP/pC <i>Permissible PD level/pC</i>	
			Tipo de aislamiento / <i>Type of insulation</i>	
			Líquido / <i>Liquid</i>	Sólido / <i>Solid</i>
Transformadores de tensión fase-tierra y de intensidad <i>Phase-to-earth voltage and current transformers</i>	Neutro puesto a tierra <i>Earthed neutral system</i>	U_m	10	50
		$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20
	Neutro aislado o no efectivamente a tierra <i>Isolated or non-effectively earthed</i>	$1,2 U_m$	10	50
		$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20
Transformadores de tensión fase-fase <i>Phase-to-phase voltage transformers</i>	Neutro puesto a tierra <i>Earthed neutral system</i>	$1,2 U_m$	5	20
	Neutro aislado o no efectivamente a tierra <i>Isolated or non-effectively earthed</i>	$1,2 U_m$	5	20

8.4.9. Ensayos de tipo

Son los ensayos a los cuales se somete un solo transformador de cada modelo. Estos ensayos podrán ser evitados si el fabricante presenta certificados de ensayo de transformadores de modelos similares que sean aceptados por el comprador.

Según las normas CEI-UNE, son los siguientes:

a) Ensayo de cortocircuito. Consiste en verificar la resistencia de los transformadores a las intensidades límite térmicas y dinámicas nominales.

Como la realización de estos ensayos es siempre muy costosa, en general se suele dar por cumplido el aspecto térmico si la densidad adoptada por el constructor no es superior a 180 A/mm² para cobre y 120 A/mm² para aluminio, y en el aspecto dinámico, si el constructor posee ensayos de otros modelos de configuración dimensional y fijación mecánica similares a los del aparato en cuestión.

b) Ensayo de calentamiento. El transformador debe soportar en permanencia, sin exceder los límites de calenta-

8.4.9. Type tests

These are tests to which only one transformer, of each model are subjected. These tests need not be performed if the manufacturer submits test certificates for similar transformers which are acceptable to the purchaser.

According to IEC and UNE standards these tests are the following:

a) Short-time current test. This consists of checking the resistance of transformers to the rated thermal and dynamic currents.

These tests are always expensive to perform. So, they are generally taken as passed in thermal aspect if the density adopted by the manufacturer is no higher than 180 A/mm², if copper and 120 A/mm² if aluminium, and in dynamic aspect if the manufacturer has tests for other models of similar size and mechanical attachment to those in question.

b) Temperature rise test. The transformer must withstand a primary current equivalent to its continuous thermal

miento, una intensidad primaria igual a su intensidad de calentamiento, indicada en 8.4.3, en las condiciones normales de funcionamiento.

c) Ensayos de impulso tipo rayo y tipo maniobra.

Normalmente, en tipo rayo se aplican 15 impulsos consecutivos de polaridad positiva y negativa con ondas planas de 1,2/50 μ s y en tipo maniobra, 15 impulsos positivos planos de 250/2500 μ s. aunque cuando la tensión más elevada del material es 300 Kv tan solo son 3 impulsos de cada polaridad para la modalidad tipo rayo.

d) Ensayos bajo lluvia para los transformadores de servicio intemperie. Son ensayos destinados a verificar la validez del aislamiento externo.

Se aplica al ensayo dieléctrico a frecuencia industrial o el de impulso tipo maniobra, en función de la tensión más elevada del material.

e) Medida de la tensión de radiointerferencia. Son pruebas destinadas a la aparición de efecto corona (descargas externas) y su limitación en orden a no perturbar las transmisiones radioeléctricas.

f) Ensayos concernientes a la precisión. En los transformadores de intensidad para medida, puede considerarse como ensayo de tipo la verificación de la clase de precisión en todos los valores indicados en la tabla correspondiente.

Además se debe demostrar que cumple con el factor de seguridad utilizando el método de sobreintensidad o el de excitación de forma similar al factor límite de precisión de los transformadores para protección.

En los transformadores de intensidad para protección, se admiten como ensayo de tipo la verificación del error compuesto por el método de sobreintensidad primaria, además del método de excitación.

8.4.10. Clases de precisión en los transformadores de intensidad para medida

A continuación reproducimos las tablas 8.7, 8.8, 8.9 y las figuras 8.1 y 8.2 de los errores máximos admitidos en las normas IEEE/ANSI, CEI y UNE.

current as per 8.4.3 permanently, without exceeding its temperature rise limits, under normal operating conditions.

c) *Lightning and switching impulse test.*

Normally, for lightning impulse test, 15 consecutive pulses of positive and negative polarity with full waves of 1.2/50 μ s are applied and, for switching impulse test, 15 full positive pulses of 250/2500 μ s. Although, when the highest voltage of the material is $\geq$ 300 Kv only 3 pulses of both polarities are necessary in the lightning impulse test.

d) *Wet tests for outdoor type transformers. These tests are aimed at checking the validity of the external insulation.*

According to the highest voltage of the material, power frequency or switching impulse test are applied.

e) *Radio interference voltage measurement. Test for the appearance of the corona effect (external discharges) and its limitation so as not to disrupt radioelectric transmissions.*

f) *Accuracy tests. In current transformers for measuring the checking of the accuracy class at all the levels indicated in the relevant table may be taken as a type test.*

Also it must be checked that the transformer met the instrument security factor using the overcurrent or excitation methods in a similar way to the accuracy limit factor of protective transformers.

In current transformers for protection the checking of compound error by the primary overcurrent method or by the excitation method is admitted as a type test.

8.4.10. Accuracy classes for measuring current transformers

Tables 8.7, 8.8, 8.9 and figures 8.1 and 8.2 show the maximum errors admitted by IEEE/ANSI, IEC and UNE standards.

Tabla 8.7 Normas IEEE/ANSI / Table 8.7 IEEE/ANSI standards.

Clase de precisión <i>Accuracy class</i>	Error de relación en %, para los valores de la intensidad expresados en % de la intensidad nominal (*) $\pm \epsilon_i$ % <i>$\pm$ Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below</i>		Error de fase para los valores de la intensidad expresados en % de la intensidad nominal (*) $\pm \delta_i$ % (minutos) <i>$\pm$ Phase displacement at percentage of rated current shown below</i>	
	100 (**)	10	100 (**)	10
0,3	0,3	0,6	15	30
0,6	0,6	1,2	30	60
1,2	1,2	2,4	60	120

(*) Existe una interdependencia entre los errores permitidos en relación y en fase. Con los datos del cuadro, hay que realizar un gráfico como el de la fig. 8.2a, admitiendo solamente los errores dentro del paralelogramo.

(**) Estos valores deben cumplirse también para el RF (Ver 8.4.3).

El valor del factor de potencia puede variar entre 0,6 y 1.

(*) The permitted ratio and phase errors are inter-dependent. With the data in the table a graph must be made up along the lines of fig. 8.2a, and only those errors within the parallelogram must be admitted.

(**) These figures must be complied with also for RF (see 8.4.3).

The power factor may vary between 0.6 and 1.

Tabla 8.8 Normas CEI-UNE / Table 8.8 IEC and UNE standards.

Clase de precisión Accuracy class	Error de relación en %, para los valores de la intensidad expresados en % de la intensidad nominal $\pm \epsilon_i$ % $\pm$ Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below				Error de fase para los valores de la intensidad expresados en % de la intensidad nominal $\pm \delta_i$ % $\pm$ Phase displacement at percentage of rated current shown below							
					Minutos / Minutes				Centirradiaes / Centiradians			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1,0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Tabla 8.9 Normas CEI-UNE (Gama extendida) / Table 8.9 IEC and UNE standards. (Extended range).

Clase de precisión Accuracy class	Error de relación en %, para los valores de la intensidad expresados en % de la intensidad nominal $\pm \epsilon_i$ % $\pm$ Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below					Error de fase para los valores de la intensidad expresados en % de la intensidad nominal $\pm \delta_i$ % $\pm$ Phase displacement at percentage of rated current shown below									
						Minutos / Minutes					Centirradiaes / Centiradians				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Únicamente aplicable a aparatos con intensidad secundaria nominal de 5A. /

Applicable only to transformers having a rated secondary current of 5A.

8.4.11. Clases de precisión en los transformadores de intensidad para protección

Las normas CEI y UNE, admiten las clases y errores que se indican en la tabla 8.10. Los secundarios deben ser cargados con su potencia nominal de precisión.

8.4.11 Precision classes in current transformers for protection.

IEC and UNE standards admit the classes and errors indicated in Table 8.10. Secondaries must be loaded to their rated precision power.

Tabla 8.10 Norma CEI-UNE / Table 8.10 IEC & UNE standard

Clase de precisión Accuracy class	Error de relación para la intensidad nominal $\pm \epsilon_i$ % Current error at rated primary current %	Error de fase para la intensidad nominal $\pm \delta_i$ Phase displacement at rated primary current		Error compuesto para la intensidad límite de precisión $\Sigma\%$ Composite error at rated accuracy limit primary current %
		Minutos / Minutes	Centirradiaes / Centiradians	
5P	± 1	± 60	$\pm 1,8$	5
10P	± 3	—	—	10

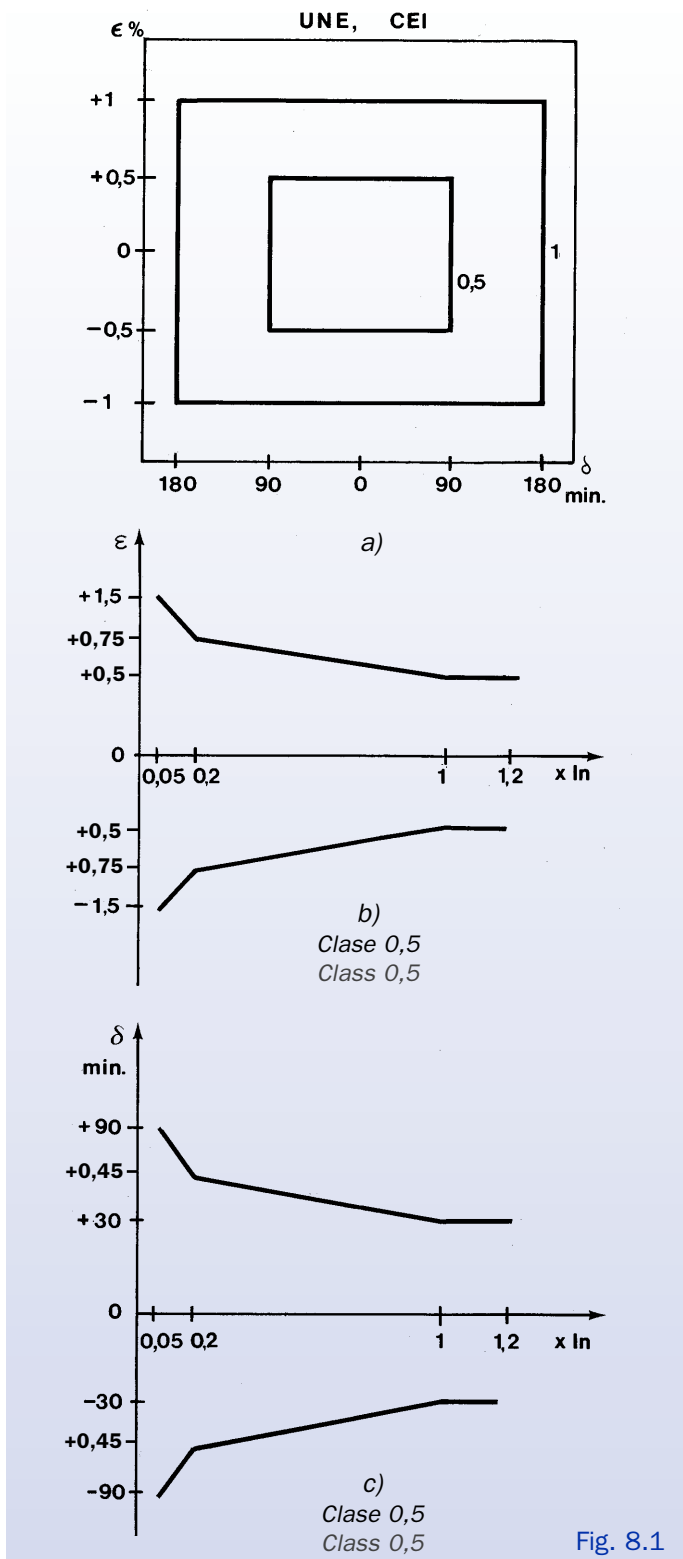


Fig. 8.1

La norma IEEE/ANSI admite las clases C, K y T para los transformadores de intensidad para protección. Los transformadores clase C y K, son aquellos cuyo bobinado está uniformemente repartido y por tanto, las pérdidas de flujo son despreciables. Los errores de estos transformadores pueden verificarse mediante cálculo. Los de clase K incluyen además una restricción en su curva de saturación.

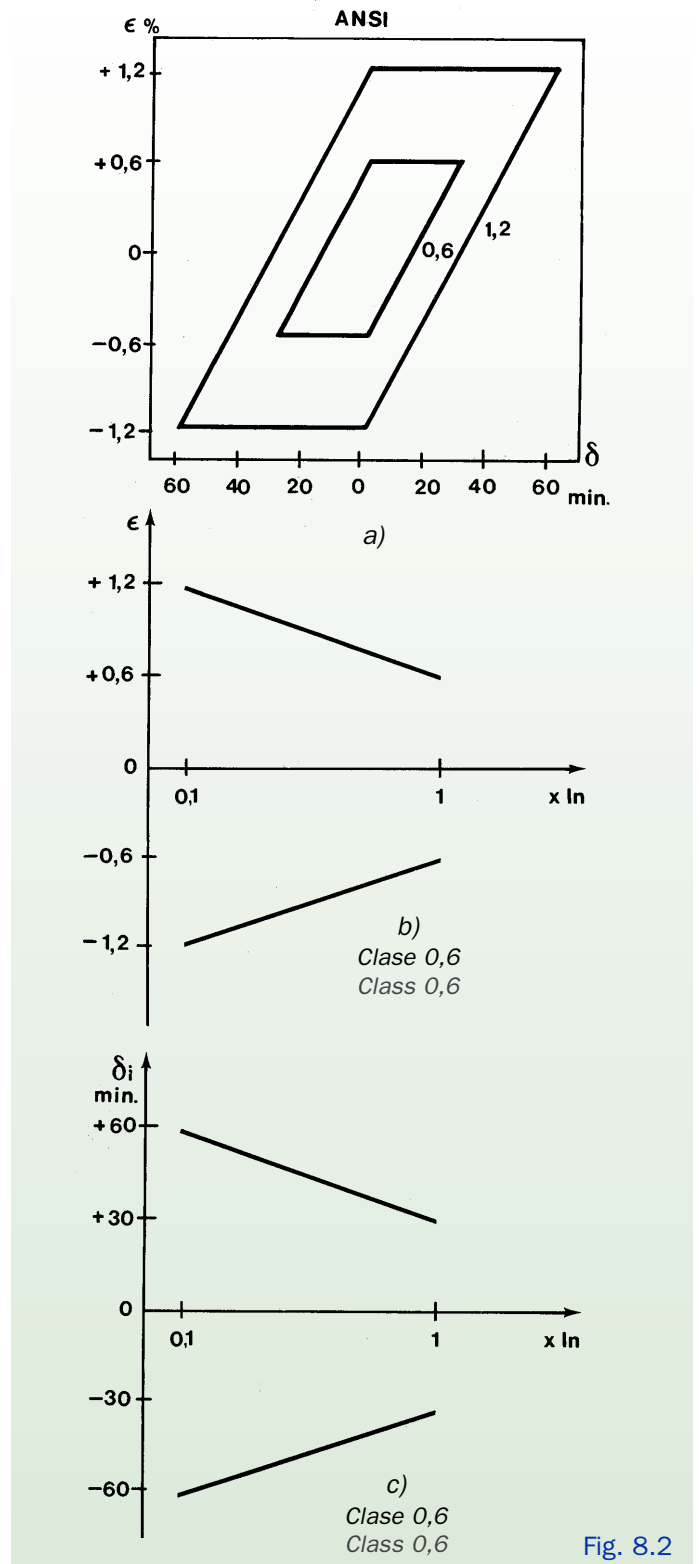


Fig. 8.2

The IEEE/ANSI standard admits classes C, K and T for current transformers for protection. Class C and K transformers are those whose coils are evenly distributed, and therefore have negligible flow losses. The errors of these transformers can be determined by calculation. K classification shall have a condition in its Knee-point voltage. All (classes C, K and T) transformers must have ratio

Todos los transformadores (clases C, K y T), deben tener un error de relación menor de 10% a 20 In. La designación se realiza indicando la letra C, K o T, seguida de una cifra igual a la tensión que corresponde al secundario en régimen de sobreintensidad. Por ejemplo: la clase C100 expresa que a 20 Isn = 20 x 5 = 100A, la tensión en los bornes secundarios es 100 V (por tanto, la carga es de 1 Ohm).

8.4.12. Ensayos especiales

Son ensayos que deben acordarse entre fabricante y comprador, habitualmente muy costosos. Son ensayos de diseño que justifican el comportamiento de una determinada familia de transformadores.

Según las normas CEI-UNE, son los siguientes:

a) Impulso cortado tipo rayo. En combinación con el ensayo de impulso tipo rayo de polaridad negativa, se intercalan dos ondas cortadas.

b) Ensayos mecánicos. Los transformadores deben soportar esfuerzos mecánicos estáticos (tabla 8.11) que comprenden solicitaciones en servicio incluidos los debidos al viento y al hielo.

c) Múltiples impulsos cortados. Ensayo destinado a verificar el comportamiento adecuado de las pantallas de reparto de campo eléctrico ante las ondas de alta frecuencia derivadas de maniobras de seccionadores. Se aplican 600 impulsos cortados de valor reducido (60%) y de polaridad negativa con ensayo de gases disueltos en el aceite antes y después de la aplicación de los mismos. El criterio para evaluar la validez o no del diseño son los incrementos de las concentraciones de gas.

d) Sobretensiones transferidas a los secundarios. Ensayo que indica la compatibilidad electromagnética de un transformador. Aplicando un impulso escalón en la parte de alta tensión, se verifica qué porcentaje del mismo pasa a la parte de baja tensión.

Tabla 8.11 - Cargas de ensayo estáticas soportadas
Table 8.11 - Static withstand test loads

Tensión más elevada para el material U_m Highest voltage for the equipment U_m kV	Carga de ensayo estática soportada F_R Static withstand test load F_R N	
	Carga Clase I Load Class I	Carga Clase II Load Class II
72,5 a 100	1.250	2.500
123 a 170	2.000	3.000
245 a 362	2.500	4.000
≥ 420	4.000	6.000

errors of less than 10% at 20 In. They are designated by a C, K or T followed by a figure representing the secondary voltage in overcurrent operation. For instance C100 indicates that at 20 Isn = 20x5 = 100A, the voltage in the secondary terminals is 100V (so, the burden is therefore 1 Ohm).

Tabla 8.12 - Norma UNE / Table 8.12 UNE Standard

Tensiones nominales de aislamiento kV Insulation rated voltage	Tensiones primarias asignadas V Rated primary voltage
0,6	110- 220-385-440
3,6	2.200- 3.300
7,2	5.500- 6.600
12	11.000
17,5	13.200-16.500
24	22.000
36	27.500-33.000
52	44.000
72,5	55.000-66.000
123	110.000
145	132.000
245	220.000
420	596.000

8.4.12. Special tests

Tests which must be arranged by the manufacturer and the buyer and are usually quite expensive. They are designer tests which justify the behaviour of a certain transformer family.

According to CEI-UNE standards, they are the following:

a) Chopped lightning impulse. Two chopped waves are inserted in combination with the negative polarity lightning impulse test.

b) Mechanical tests. The transformers must withstand static mechanical stresses (table 8.12) which comprise service demands including those due to wind and ice.

c) Multiple chopped impulses. A test which verifies the appropriate behaviour of electric field distribution screens before high-frequency waves derived from disconnector operations. 600 reduced value (60%) negative polarity chopped impulses are applied with gas dissolved in oil testing before and after their application. The criterion to assess if the design is valid or not is the in gas concentrations.

d) Overvoltage transferred to secondaries. This test indicates the electromagnetic compatibility of a transformer. By applying a step impulse in the high voltage part it is possible to verify which percentage passes to the low voltage part.

8.5. TRANSFORMADORES DE TENSION

8.5.1 Tensiones primarias asignadas

De las normas CEI-UNE, se obtiene la tabla 8.12, aunque también se admiten más posibilidades.

En los transformadores de tensión monofásicos que no puedan ser conectados más que entre fase y tierra, se considerarán como tensiones primarias asignadas normalizadas, los valores indicados divididos por $\sqrt{3}$.

En las normas, IEEE/ANSI se indican otros valores, existiendo 5 grupos de transformadores de tensión:

Grupo 1: Transformadores que pueden instalarse entre fases en una red de tensión U_p , o entre fase y tierra en una red de tensión $\sqrt{3}U_p$.

Grupo 2: Transformadores que pueden instalarse entre fases o entre fase y tierra, ambos en una red de tensión U_p .

Grupo 3-4-5: Transformadores que sólo pueden instalarse entre fase y tierra.

8.5.2. Tensiones secundarias asignadas

En casi todas las normas se admiten valores idénticos. La CEI los agrupa como sigue:

Para los transformadores monofásicos utilizados en redes monofásicas, o entre fases de redes trifásicas:

- Basado en la práctica de un grupo de países europeos:
100V y 110V
200V para los circuitos secundarios extendidos.
- Basado en la práctica de los Estados Unidos y Canadá:

Tabla 8.13 / Table 8.13

Designación Designation	Voltiamperios Voltamp.	Factor de pot. Power factor
W	12,5	0,10
X	25	0,70
Y	75	0,85
Z	200	0,85
ZZ	400	0,85
M	35	0,20

8.5. VOLTAGE TRANSFORMERS

8.5.1. Rated primary voltages

Table 8.12 is obtained from the IEC-UNE standard, although many other values are possible.

In single phase voltage transformers which can only be connected between phase and earth the standardized allocated primary voltages are taken to be the figures indicated divided by $\sqrt{3}$.

In IEEE/ANSI standard other figures are given, and 5 groups of voltage transformers exist:

Group 1: Transformers which can be connected line-to-line in a system with voltage U_p , or line-to-ground in a system with voltage $\sqrt{3}U_p$.

Group 2: Transformers which can be connected line-to-line or line-to-ground, both in a system with voltage U_p .

Group 3-4-5: Transformers which can be only for line-to-ground connection.

8.5.2. Allocated secondary voltages.

The UNE standard admits the following:
110V in single phase transformers which are to be mounted on a single phase network or between phases on a 3-phase network.

Many standards admit the same figures. IEC groups them as follows:

For single phase transformers used in single phase networks or between phases of 3-phases networks:

- Based on usual practice in a group of European countries:
100 V and 110 V
200 V for extended secondary circuits

- Based on usual practice in the USA and Canada:
120 V for distribution systems.
115 V for transmission systems.
230 V for extended secondary circuits.

For single phase transformers to be used phase-to-earth in 3-phase systems where the rated primary voltage is a number divided by $\sqrt{3}$, the rated secondary voltage should be one of the figures indicated divided by $\sqrt{3}$, thus retaining the rated transformation ratio.

Tabla 8.14 / Table 8.14
Valores normales del factor de tensión asignado / Standard values of rated voltage factors

Factor de tensión <i>Rated voltage factor</i>	Tiempo asignado <i>Rated time</i>	Modo de conectar el arrollamiento primario y condiciones de puesta a tierra de la red <i>Method of connecting the primary winding and system earthing conditions</i>
1,2	Continuo <i>Continuous</i>	Entre fases, en cualquier red Entre el punto neutro de los transformadores en estrella y tierra, en cualquier red <i>Between phases in any network</i> <i>Between transformer star-point and earth in any network</i>
1,2	Continuo <i>Continuous</i>	Entre fase y tierra en una red con neutro efectivamente puesto a tierra (apartado 4.23 a) <i>Between phase and earth in an effectively earthed neutral system (Sub-clause 4.23 a)</i>
1,5	30 s	
1,2	Continuo <i>Continuous</i>	Entre fase y tierra, en una red con neutro no efectivamente puesto a tierra (apartado 4.23 b) con eliminación automática del defecto a tierra <i>Between phase and earth in a non-effectively earthed neutral system (Sub-clause 4.23 b) with automatic earth fault tripping</i>
1,9	30 s	
1,2	Continuo <i>Continuous</i>	Entre fase y tierra en una red con neutro aislado (apartado 4.20), sin eliminación automática del defecto a tierra, o en una red compensada por bobina de extinción (apartado 4.21), sin eliminación automática del defecto a tierra <i>Between phase and earth in an isolated neutral system without automatic earth fault tripping (Sub-clause 4.20) or in a resonant earthed system (Sub-clause 4.21) without automatic earth fault tripping</i>
1,9	8 h	

120V para redes de distribución.
115V para redes de transporte.
230V para los circuitos secundarios extendidos.

Para los transformadores monofásicos destinados a ser montados entre fase y tierra en las redes trifásicas para las que la tensión primaria nominal es un número dividido por $\sqrt{3}$, la tensión secundaria nominal debe ser uno de los valores mencionados, dividido por $\sqrt{3}$, conservando así el valor de la relación nominal de transformación.

8.5.3. Relaciones de transformación

En todas las normas, se pretende que la relación de transformación tenga un valor entero. Por ello, las normas CEI-UNE aconsejan que la relación nominal de transformación sea uno de los siguientes valores:

10-12-15-20-25-30-40-50-60-80
y sus múltiplos decimales.

La norma UNE incluye también la relación 36 para el nivel 420kV.

8.5.4. Potencia de precisión

Según las normas CEI y UNE, los valores de la potencia de precisión para un factor de potencia 0,8 (circuito induc-

8.5.3. Transformation ratios

All the standards aim to give a simple value for transformation ratio. IEC and UNE therefore recommend that the rated transformation ratio be one of the following:

10-12-15-20-25-30-40-50-60-80
and their decimal multiples.

UNE also includes a ratio of 36 for 420 kV.

8.5.4. Rated output

IEC and UNE give the following rated output for a power factor of 0.8 lagging, expressed in volt-amperes:

10-15-25-30-50-75-100-150-200-300-400-500
The preferential figures are underlined.

IEEE/ANSI admits the standard levels indicated in Table 8.13

8.5.5. Rated Voltage factor

This is the factor by which the rated primary voltage must be multiplied to determine the maximum voltage for which the transformer must comply with heating specifications, during the indicated time, and the accuracy specifications. Table 8.13 shows the standardized figures for the voltage factor admitted by UNE-IEC standards.

tivo), expresados en voltiamperios, son:

10-15-25-30-50-75-100-150-200-300-400-500

Los valores subrayados son preferentes.

La norma IEEE/ANSI admite las cargas de precisión indicadas en la tabla 8.13.

8.5.5. Factor de tensión

Es el factor por el que hay que multiplicar la tensión primaria asignada, para determinar la tensión máxima para la que el transformador debe responder a las especificaciones de calentamiento, durante el tiempo indicado, y la precisión.

En la tabla 8.13 se indican los valores normalizados del factor de tensión admitidos por las normas UNE-CEI.

La norma IEEE/ANSI indica un factor de tensión 1,1 para todos los transformadores de tensión en general, en lo que respecta al calentamiento y a la precisión. Para los transformadores de los Grupos 1 y 3, se llegan a valores de factor de tensión de 1,25 en servicio continuo y 1,73 durante 1 minuto respectivamente, bajo ciertas condiciones de temperatura y de carga.

8.5.6. Límite de calentamiento

En las normas CEI y UNE el calentamiento del transformador en régimen permanente no deberá sobrepasar los valores correspondientes a su clase de aislamiento para un factor de tensión 1,2. Si corresponde además a un factor de tensión 1,5 ó 1,9, deberán ser ensayados a la tensión resultante durante el tiempo indicado, tabla 8.14, partiendo de las condiciones térmicas estables alcanzadas a 1,2 veces la tensión primaria asignada, sin sobrepasar en 10 °C el aumento de temperatura admisible.

8.5.7. Designación de los bornes

En la tabla 8.15 se han recopilado algunos ejemplos de designación de los bornes según UNE - CEI.

La designación indicada en 8.4.6 para los transformadores de intensidad, según la norma IEEE/ANSI, es aplicable también a los transformadores de tensión.

IEEE/ANSI gives a voltage factor f_o 1.1 for all voltage transformers in general, as far as precision and heating problems are concerned. For group 1 and 3 transformers voltage factors of 1.25 are reached in continuous service and 1.73 for 1 minute, under certain temperature and load conditions.

8.5.6. Temperature-rise limit

In IEC and UNE standards the temperature-rise of a transformer in continuous service should not exceed the levels indicated for the relevant insulation class for a voltage factor of 1.2. If the voltage factor is 1.5 or 1.9 they must be tested at the resulting voltage for the time indicated in Table 8.14, starting from stable thermal conditions attained at 1.2 times the allocated primary voltage and without exceeding the admissible temperature increase by more than 10 °C.

8.5.7. Terminal markings

Table 8.15 shows some examples of terminal markings as per UNE - IEC.

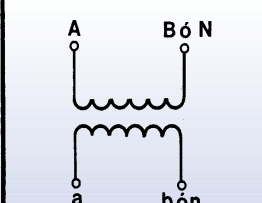
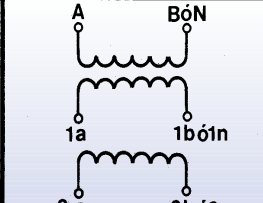
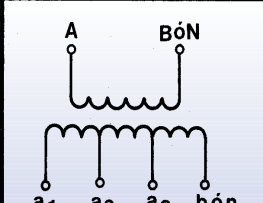
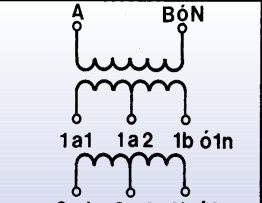
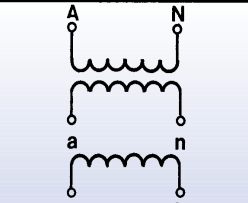
The designation indicated in 8.4.6 for current transformers under IEEE/ANSI also applies to voltage transformers.

8.5.8. Data to be shown on the ID plate

UNE-IEC standards require to show the following data:

- Manufacturer's name or an indication enabling the manufacturer to be easily identified.
- Serial number. The first two figures in ARTECHE's number represent the year of manufacture.
- Type of apparatus.
- Rated primary and secondary voltages.
- Rated frequency.
- Rated output, the corresponding accuracy class and terminal marking for each winding.

Tabla 8.15 / Table 8.15

UNE CEI					
------------	---	---	---	--	---

8.5.8. Datos que deberán consignarse en la placa de características

Según las normas UNE-CEI, deben consignarse los siguientes datos:

- a) El nombre del fabricante o una indicación que permita fácilmente su identificación.
- b) El número de serie. En la numeración ARTECHE las dos primeras cifras corresponden a las dos últimas del año de fabricación.
- c) El tipo de aparato.
- d) Las tensiones primarias y secundarias asignadas.
- e) La frecuencia asignada.
- f) Las potencias de precisión, las clases de precisión y la designación de los bornes correspondientes a cada arrollamiento.
- g) La tensión más elevada para el material y su nivel de aislamiento asignado, separados por trazos oblicuos.
- h) El factor de tensión asignado y duración asignada, si es necesario.
- i) La clase de aislamiento, si es diferente de la clase A.

8.5.9. Resistencia de los transformadores de tensión a los cortocircuitos

Cuando se produce un cortocircuito en los bornes secundarios el transformador sufre esfuerzos mecánicos y térmicos.

En las normas UNE, CEI e IEEE/ANSI se especifica que todo transformador de tensión debe soportar, sin exceder ciertos límites de temperatura, un cortocircuito secundario durante 1 segundo, cuando esté alimentado con la tensión asignada.

8.5.10. Ensayos individuales o de rutina

En las normas UNE-CEI se consideran los siguientes:

- a) Verificación del marcado de los bornes.
- b) Ensayos dieléctricos a frecuencia industrial de los arrollamientos primarios. Consiste en verificar, como en los transformadores de intensidad, que el aislamiento primario soporta durante 1 minuto la tensión de ensayo a frecuencia industrial correspondiente a su nivel de aislamiento.

Al realizar este ensayo, hay que distinguir los transformadores para conexión entre fases y entre fase y tierra.

Los transformadores conectados entre fases deben soportar un ensayo de tensión aplicada entre los dos bornes primarios, unidos entre sí, y los arrollamientos secundarios

g) Highest system voltage for the material and its rated insulation level, separated by diagonal strokes.

h) Rated voltage factor, and corresponding rated time if necessary.

i) Insulation class if different from class A.

8.5.9. Resistance of voltage transformers to short circuits

When there is a short circuit in the secondary terminals transformers suffer mechanical and thermal stress.

UNE, IEC and IEEE/ANSI standards specify that all voltage transformers must be able to withstand a secondary short circuit for one second without exceeding temperature limits when energized at rated voltage.

8.5.10. Individual or routine tests

UNE-IEC standards envisage the following:

- a) Verification of terminal markings.
- b) Power frequency withstand test on the primary windings. As in the case of current transformers, the insulation of the primary windings must withstand the power frequency voltage corresponding to its insulation level for one minute.

For this test, a distinction must be made between transformers for phase-phase connection and those for phase-earth connection.

Transformers between phases must withstand a test involving voltage applied between the two primary terminals, joined together, and the secondary windings connected to earth, and two further tests with induced voltage.

The two latter tests may be performed by applying voltage through the secondary or through the primary. In both cases the voltage measured on the high voltage side must be the same as the specified test voltage. During this test one terminal of the secondary winding should be joined to one terminal of the primary winding, and both should be earthed.

Transformers connected between phase and earth are tested only via this second method, taking care that the primary terminal which is to be connected to earth during service (N) is the one which is connected to earth during the test. Also, N terminal must be tested as if another secondary was.

- c) Power frequency withstand test on secondary windings and sections. Each secondary winding or section must withstand an effective voltage of 3 kV with all the other windings and sections connected to each other and to earth.

unidos a tierra, y otros dos ensayos con tensión inducida.

Estos dos últimos ensayos se pueden realizar aplicando tensión por el secundario o por el primario. En ambos casos la tensión medida en el lado de alta tensión debe ser igual a la tensión de ensayo especificada. Durante este ensayo un borne del arrollamiento secundario estará unido a un borne del arrollamiento primario y ambos puestos a tierra.

Los transformadores conectados entre fase y tierra se ensayan con este segundo método, teniendo cuidado de que el borne primario que va a ser conectado a tierra durante el servicio (N) sea el que se conecte a tierra durante el ensayo. Por otro lado, el borne N se ensayará como si de otro secundario se tratara.

c) Ensayo de tensión soportada a frecuencia industrial de los arrollamientos secundarios y entre secciones. Cada arrollamiento o sección secundaria, debe ser ensayado con una tensión de 3kV (valor eficaz) estando todos los demás arrollamientos y secciones unidos entre sí y a tierra.

d) Descargas parciales.

En general sirve lo comentado en 8.4.8 f) para transformadores de intensidad.

Cuando la tensión de funcionamiento es muy inferior al nivel de aislamiento especificado, puede haber dificultades en este ensayo debido a la saturación del núcleo. Por ello, es necesario un acuerdo entre fabricante y usuario.

e) Ensayos concernientes a la precisión. Se verifica la conformidad con los errores máximos admisibles, pudiendo realizarse con un número reducido de tensiones y cargas.

8.5.11. Ensayos de tipo

En las normas UNE-CEI se consideran los siguientes:

a) Ensayo de calentamiento. Consiste en verificar que el transformador cumple lo indicado en 8.5.5.

b) Ensayos de impulso tipo rayo y tipo maniobra. Se aplican 3 ó 15 impulsos consecutivos de polaridad positiva y negativa con ondas plenas de 1,2/50 μ s para tipo rayo y 15 positivas de 250/2500 μ s para tipo maniobra, dependiendo de la tensión más elevada del material.

c) Ensayos bajo lluvia para los transformadores de servicio intemperie.

Son ensayos destinados a verificar la validez del aislamiento externo. Se aplican ondas tanto de frecuencia industrial como de impulso, en función de la tensión más elevada del material.

d) Ensayo de cortocircuito. Consiste en verificar que el transformador cumple lo especificado en 8.5.9.

d) Partial discharges.

In general the comments above 8.4.8 f) concerning current transformers apply here also.

When the operating voltage is well below the specified insulation level there may be difficulties in performing this test due to saturation of the core. An agreement between manufacturer and user is required.

e) Accuracy tests. Check that the maximum admissible errors are not exceeded. This can be done with a low number of voltages and burdens.

8.5.11. Type tests

UNE-IEC envisages the following:

a) Temperature-rise test. Consists of checking that the transformer meets the requirements of 8.5.5 above.

b) Lightning and switching impulse test. 3 or 15 consecutive pulses are applied with positive and negative polarity, with full waves of 1.2/50 μ s for lightning impulse and 15 positive pulses of 250/2500 μ s for switching impulse test, depending on the highest voltage of the material.

c) Wet tests for outdoor transformers. These tests are aimed for checking the validity of the external insulation.

Both power frequency and impulse waves are applied, according to the highest voltage of the material.

d) Short circuit test. Consists of checking that the transformer meets the requirements of 8.5.9. above.

e) Radio interference voltage measurement. Tests for the appearance of the corona effect (external discharges) and its limitation so as not to disrupt radioelectric transmissions.

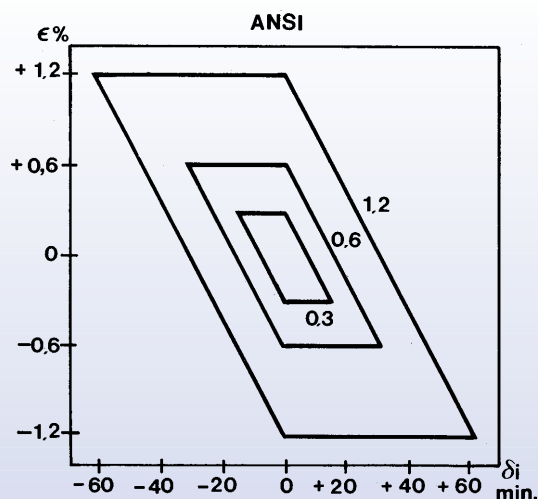


Fig. 8.3

e) Medida de la tensión de radiointerferencia. Son pruebas destinadas a la aparición de efecto corona (descargas externas) y su limitación en orden a no perturbar las transmisiones radioeléctricas.

f) Ensayos concernientes a la precisión. Debe verificarse la conformidad con los errores máximos admisibles indicados en la tabla 8.16.

8.5.12. Clases de precisión en los transformadores de tensión para medida

Según las normas UNE y CEI la clase de precisión de un transformador de tensión debe cumplirse a la frecuencia asignada en cualquier tensión comprendida entre el 80 y 120% de la tensión asignada y para todas las cargas comprendidas entre 25 y 100% de la de precisión, bajo un factor de potencia de 0,8 inductivo.

En la tabla 8.16 vemos los límites de error de relación y de fase en función de la clase de precisión.

Tabla 8.16 / Table 8.16

Límites de error de relación y de fase
Limits of voltage error and phase displacement

Clase de precisión Class	Error de relación $\pm$ % Percentage voltage (ratio) error $\pm$	Desfase $\pm$ min. Phase displacement $\pm$
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1	1,0	40
3	3,0	No especificado Not specified

Los errores máximos admisibles en la norma IEEE/ANSI corresponden a los puntos situados dentro de los paralelogramos de la fig. 8.3 que deben cumplirse para todas las cargas, desde 0 hasta la nominal, y para las tensiones comprendidas entre 0,9 y 1,1 U_n , con un factor de potencia que puede variar entre 0,6 inductivo y 1.

En la figura 8.4 aparecen gráficamente los límites de error de las normas UNE y CEI, para las clases de precisión 0,5 y 1.

8.5.13 Clases de precisión en los transformadores de tensión para protección

Las normas UNE y CEI, admiten las clases y límites de la tabla 8.17. Los errores no deben sobrepasar los valores de la tabla al 5% de la tensión asignada, y al producto del

f) Accuracy tests to check that the maximum admissible errors given in table 8.16 are not exceeded.

8.5.12. Accuracy classes for measuring voltage transformers

Under UNE and IEC standards voltage transformers must meet their accuracy class requirements for any voltage between 80 and 120% of rated voltage and with burdens between 25 and 100% of the rated burden at a power factor of 0.8 lagging.

Table 8.16 shows the limits of voltage error and phase displacement according to accuracy class.

The maximum admissible errors under the IEEE/ANSI standard are for points within the parallelograms of fig. 8.3. This requirement must be met for burdens from zero to rated burden and for voltages from 0.9 to 1.1 U_n , with a power factor between 0.6 lagging and 1.

Fig. 8.4 shows the limits of error under UNE and IEC standards for precision classes 0.5 and 1.

8.5.13. Precision classes in voltage transformers for protection

UNE and IEC standards admit the classes and limits shown in Table 8.17. Errors must not exceed the levels in the table at 5% of the rated voltage and at the product of the rated voltage by the voltage factor (1.2, 1.5 or 1.9) for any load between 25 and 100% of the rated load with a factor of 0.8 inductive.

At 2% of rated voltage, the error limits will be twice as high as those indicated in table 8.17, with the same burden conditions.

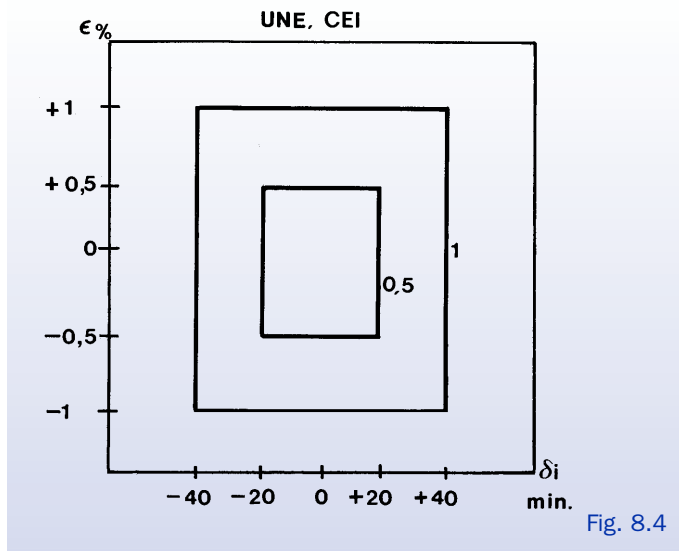


Fig. 8.4

valor asignado por el factor de tensión (1,2; 1,5 ó 1,9) para cualquier carga comprendida entre el 25 y 100% de la carga nominal con un factor 0,8 inductivo.

Al 2% de la tensión asignada, los límites permitidos son el doble de los indicados en la tabla 8.17, bajo las mismas condiciones de carga.

Tabla 8.17 / Table 8.17

Límites de error de relación y de fase
Limits of voltage error and phase displacement

Clase de precisión <i>Class</i>	Error de relación ± % <i>Percentage voltage (ratio) error ±</i>	Desfase ± min. <i>Phase displacement ± min.</i>
3 P	3.0	120
6 P	6.0	240

8.5.14 Ensayos especiales

Se aplican las mismas pruebas que a los TI salvo el de múltiples implusos cortados que no aplica. Los esfuerzos mecánicos que debe soportar un TT están en la tabla 8.18.

8.5.14. Special tests

The tests which are applied are the same as for TI, except for the multiple chopped impulses, which is not applied. The mechanical stress which a TI must withstand is shown in Table 8.18.

Tabla 8.18 - Cargas de ensayo estáticas soportada
Table 8.18 - Static withstand test loads

Tensión más elevada para el material U_m <i>Highest voltage for equipment U_m</i> kV	Carga de ensayo estática soportada F_R <i>Static withstand test load F_R</i> N			
	Transformadores de tensión con: <i>Voltage transformers with:</i>			
	Bornes de tensión <i>Voltage terminals</i>	Bornes de corriente pasante <i>Through current terminals</i>		
		Carga Clase I <i>Load Class I</i>	Carga Clase II <i>Load Class II</i>	
72,5 a 100	500	1.250	2.500	
123 a 170	1.000	2.000	3.000	
245 a 362	1.250	2.500	4.000	
≥ 420	1.500	4.000	5.000	



DA-223-EI-A0

