

GENERADORES DE IMPULSOS DE TENSION SU APLICACIÓN EN ENSAYOS DE TRANSFORMADORES

PARTE 1: ASPECTOS FUNDAMENTALES (TOTAL 3 PARTES)

INTRODUCCION:

Los generadores de Impulsos permiten realizar una prueba de aptitud de las aislaciones eléctricas, evaluando su comportamiento frente a la recepción de Impulsos o transitorios con frente brusco, de origen tanto atmosférico, como de maniobra.



GENERADOR DE IMPULSO DE TENSION

El esquema básico de los generadores de impulsos, fue originalmente propuesto por E. Marx en 1924, constituyendo hasta la actualidad, la manera más común de generar impulsos de alta tensión, para realizar aquellas pruebas en donde el nivel requerido, es mucho más alto que el disponible en la fuente base.

Consiste en un cierto grupo de capacitores que se cargan en paralelo por medio de rectificadores de alta tensión, a través de resistencias de carga. La descarga de estos capacitores se realiza a través de espinterómetros de esferas, en un circuito serie que incluye resistencias amortiguadoras de las oscilaciones.

La carga de los capacitores, y en consecuencia la tensión total del generador, dependerá de la tensión sobre el rectificador, y su polaridad, de la posición del mismo.

El método más utilizado para provocar la descarga del generador, consiste en aplicar, por medio de una fuente auxiliar, un breve impulso de tensión al electrodo central de un espinterómetro de ignición, ubicado entre el primer y segundo grupo. Iniciada la descarga, ésta se propagará a todos los espinterómetros de la cadena.

La base para la detección de anomalías sobre una muestra bajo ensayo, realizada mediante el análisis comparativo de los registros en osciloscopios, se fundamenta en que cuando un aislamiento falla al ser sometido a impulsos de tensión - como en el caso de las pruebas a transformadores, cambiará también su impedancia.

Este cambio causará variaciones en la corriente de impulso que fluye a través del devanado, y en la tensión media a través del mismo.

Debido a la complicada naturaleza del ensayo de impulso, y a las diferentes formas de constructivas de los transformadores, los fabricantes han desarrollado a través de los años, las mas apropiadas técnicas de pruebas.

El propósito de ensayar un transformador con tensión de impulso, es el de simular su uso en campo, y en el ensayo muchas veces se deben tener en cuenta los efectos de las líneas, cables, generadores, pararrayos, etc. Más difícil aun, es determinar que clase de descarga atmosférica va a recibir, y como esta descarga tenderá a comportar en el sistema de distribución o de transmisión.



ESPINTEROMETROS DE ESFERAS

Para uniformar estos criterios, ciertas formas de ondas se han normalizado; en la actualidad, la onda para transformadores es la denominada 1.2/50 μ s;

I
PRINCIPIO BASICO DEL GENERADOR DE IMPULSOS (GI) :

Los años de investigación han determinado que una sobre-tensión atmosférica se puede representar como un impulso unidireccional de tensión, y obtenerse a partir de los circuitos mostrados en la Figura A y B:

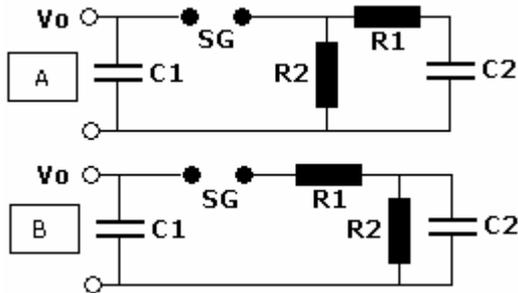


Figura 1. Circuitos básicos de un GI.

Analizando cualquiera de los dos circuitos, se obtiene que inicialmente el capacitor **C1** (que representa al GI), es cargado con tensión continua **Vo**, y luego es súbitamente descargado en un circuito formado por el capacitor **C2** y las resistencias **R1** y **R2**.

Este proceso de descarga se inicia en el instante en cual se establece un arco eléctrico entre las esferas del espinterómetro **SG**, y la tensión es transferida a **C2**, que representa al objeto bajo prueba.

La tensión de impulso en **C2** tiene la forma:

$$(1) \quad v_{C_2}(t) = V_o \cdot K \cdot (e^{-at} - e^{-\beta t})$$

Donde **Vo** es la tensión de carga de **C1**, **K** una constante que depende del circuito seleccionado, y **a** y **β** las raíces de la ecuación característica del sistema, cuyos inversos son las constantes de tiempo del mismo.

Si los parámetros *resistivos* y *capacitivos* de la Figura 1 son constantes, y los valores de **a** y **β** de la expresión (1) son relativamente diferentes entre sí, entonces se pueden analizar separadamente en dos circuitos:

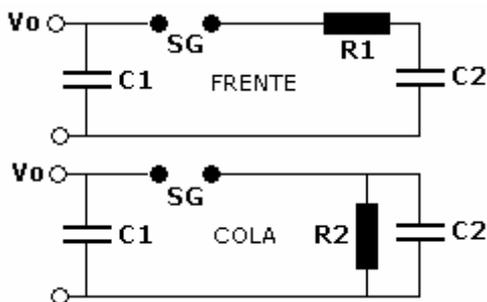


Figura 2. Circuitos para el estudio de un GI

1º El del **frente de onda**,

2º El de la **cola de onda**,

Ambos se se muestran en la Figura 2:



Considerando el **circuito del frente** de onda en el momento en que ocurre la descarga entre las esferas del espinterómetro **SG**, el condensador **C2** se carga con la constante de tiempo **T1**:

$$2) \quad -\frac{1}{\beta} = T_1 = R_1 \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

definida como el producto de la resistencia de frente **R1** con la capacidad equivalente serie de los dos condensadores **C1** y **C2**. Generalmente, se asume que $C_1 \gg C_2$ por lo que la relación se puede simplificar a:

$$3) \quad T_1 \cong R_1 \cdot C_2$$

que indica que la duración del frente de la onda de tensión en el condensador **C2**, es directamente proporcional a la resistencia de frente **R1**, y a la capacidad del objeto de prueba **C2**.

Haciendo un proceso análogo en el **circuito de cola**, en el instante en el cual la transferencia de carga de **C1** a **C2** es cero (debido a una redistribución de la carga eléctrica entre ambos), los condensadores se descargan en la resistencia **R2**, con una constante de tiempo **T2** igual a:

$$4) \quad -\frac{1}{\alpha} = T_2 = R_2 (C_1 + C_2)$$

y simplificando con la suposición $C_1 \gg C_2$, se tiene:

$$5) \quad T_2 \cong R_2 \cdot C_1$$

que depende proporcionalmente de la resistencia de cola **R2** y la capacidad **C1**.

I

Es importante señalar que conociendo los valores de C_1 , C_2 , T_1 y T_2 es posible establecer en una primera aproximación, los valores necesarios de R_1 y R_2 , para obtener la forma de onda de tensión de impulso en el objeto bajo prueba, Igualmente, existen otras ecuaciones validas que permiten determinar de manera muy aproximada los tiempos de frente y cola..



Entonces siguiendo el análisis del circuito B de la Figura 1, podemos señalar que el tiempo (tiempo de frente) que tarda en cargar C_2 a través de R_1 será aproximadamente:

$$t_1 = 3.R_1 \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2} = 3.R_1 C_e$$

Donde:
$$C_e = \frac{C_1.C_2}{C_1 + C_2}$$

si R_1 esta expresada en ohms y C_e en microfarads, t_1 se obtiene en microseg.

De igual manera para determinar el tiempo de cola tenemos que tanto la capacitancia C_1 y C_2 son descargadas a través de R_1 y R_2 por lo que tenemos que el tiempo al 50% de la descarga es aproximadamente:

$$t_2 = 0.7(R_1 + R_2)(C_1 + C_2)$$



FORMA DE ONDA NORMALIZADA DE LA TENSION DE IMPULSO

Aunque las formas de onda de las sobretensiones atmosféricas poseen gran variedad, se han estandarizado algunas de ellas para efectuar pruebas de impulso en equipos y máquinas eléctricas.

Una onda normalizada de tensión impulsiva es aquella que posee unas características bien definidas respecto a la duración y amplitud de la misma, y para el caso de la sobretensión atmosférica la Norma ANSI/IEEE Standard 4-1995 establece las siguientes:

- **Valor pico V :** es la máxima amplitud de la onda, medida desde la referencia de tensión, con una tolerancia de $\pm 5\%$
- **Tiempo de frente T_1 :** es el primer tiempo que, medido desde un tiempo virtual TO_1 , transcurre entre el 30% y el 90% del valor pico, multiplicado por 1,67. La duración del lapso será

$$T_1 = 1,2 \pm 30\% \mu s$$

$$0,8 \leq T_1 \leq 1,6 \mu s$$

- **Tiempo de cola T_2 :** es el mayor tiempo que transcurre hasta alcanzar el 50% del máximo valor pico. Su valor es

$$T_2 = 50 \pm 20\% \mu s$$

$$40 \leq T_2 \leq 60 \mu s$$

La Figura 3 muestra la onda plena de impulso normalizado tipo atmosférico 1,2/50 μs .

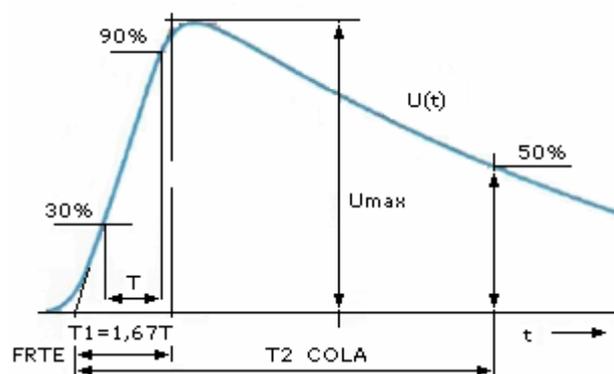


Figura 3. Forma de onda plena del impulso normalizado 1,2/50 μs [7]

I

EL FACTOR RENDIMIENTO.

El factor de utilidad, aprovechamiento o rendimiento de la tensión, se entiende como el cociente entre la tensión pico V_{peak} del impulso, y el valor de la tensión continua a la cual está cargado el capacitor C_1 :

$$\eta = \frac{\hat{V}}{V_o}$$

Además, si $T_2 \gg T_1$ se pueden hacer las siguientes aproximaciones para los circuitos de la Figura 1:

Para el circuito (A), el rendimiento queda definido como:

$$\eta \cong \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1}}$$

y para el circuito (B):

$$\eta \cong \frac{R_2}{R_2 + R_1} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{1}{\left[1 + \frac{R_1}{R_2}\right] \cdot \left[1 + \frac{C_2}{C_1}\right]}$$

Se evidencia que el rendimiento dependerá de la relación C_2/C_1 , es decir de la capacidad del generador y la del circuito externo.



La configuración (A) presenta un mejor rendimiento, obteniéndose un máximo a un valor de $C_2/C_1=0,05$, por lo que resulta conveniente en la práctica que la capacidad C_1 del generador sea muy superior a la del circuito externo, y en particular a la del objeto de prueba C_2 . Por lo general $C_1 \approx 20 \times C_2$.

También debemos considerar que si los elementos bajo prueba, presentan cierta inductancia L , al tomar esta un valor de decenas de μH , podría modificar en gran medida las características del sistema.

EL CIRCUITO DE CARGA

Un GI de tensión, se alimenta de una fuente de CC, de valor nominal relativamente bajo (algunos kilovoltios). El circuito rectificador empleado para obtener esta alimentación, es el siguiente:

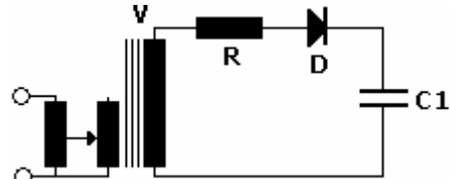


Fig 4: Circuito de carga de un generador de impulsos

La tensión CC aplicada en C_1 , es generada por la rectificación de la salida secundaria del transformador de AT, y controlada por un variador de tensión ubicado en el primario del mismo.

La resistencia R cumple dos funciones: limitar la corriente de carga del generador, y desacoplarlo del circuito alimentador en el momento en que se produzca el impulso.

Para generar mayores tensiones ($>100Kv$), se suele recurrir a un circuito multiplicador:

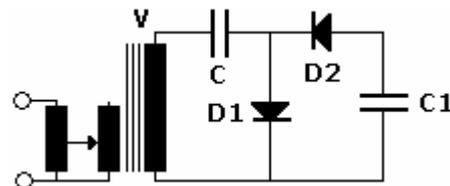


Fig 5: Circuito duplicador de tensión tipo Greinacher

El multiplicador de Greinacher, compuesto por un capacitor C serie y un diodo D_1 , produce la carga de C en un semiciclo de onda, y permite la contribución "transformador + condensador" en el siguiente semiciclo, lo que da origen a una onda de tensión del doble de magnitud respecto a los terminales del transformador de alimentación.

Finalmente, esta onda obtenida es rectificadada por D_2 (media onda), y la tensión CC resultante proporciona el nivel de carga del capacitor de etapa C_1 . Siendo V_o la tensión RMS en el secundario del transformador, la tensión en C_1 (en régimen permanente) resultará en: $V_o = 2 \cdot \hat{V}$

