

GENERADOR DE IMPULSO DE VOLTAJE TIPO RAYO

*Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Tecnología en sistemas eléctricos de media y baja tensión*

Los generadores de impulso de voltaje son empleados para estudiar el comportamiento de los equipos y de aislamientos ante sobretensiones [2]. El generador de impulsos de tensión tipo Marx es uno de los más básicos, creado por el ingeniero Erwin Otto Marx en 1924, y es de las maneras más fáciles para producir ondas eléctricas que simulen la curva que se tiene en un impulsos de alta tensión, facilitando realizar las pruebas de aislamiento eléctrico al momento de analizar el comportamiento de las señales de onda tipo impulso normalizada, ya sea tipo maniobra o tipo rayo [1].

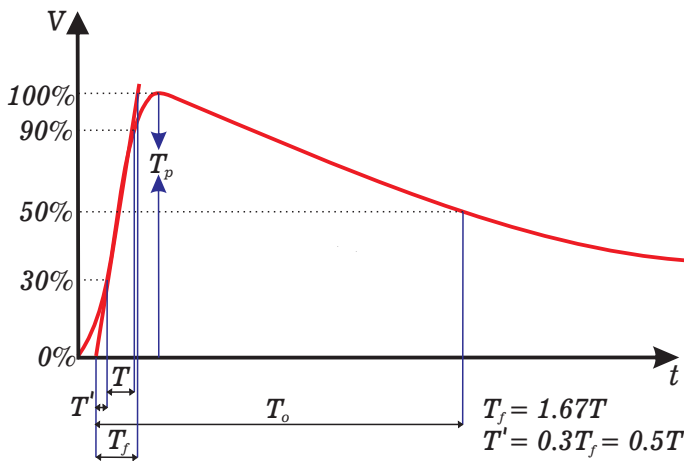


Figura 1: Curva característica del impulso tipo rayo

Según la *Norma American Estándar, C68.1-1968 Measurement of Voltage in Dielectric Test*, un impulso normalizado tipo rayo se caracteriza por tener un tiempo frontal de $1.2 \mu s$ y un tiempo a valor medio de $50 \mu s$, se define como un impulso positivo o negativo cuya amplitud máxima establecida fluctúa en un rango de $\pm 3\%$, registrando tiempos de frente que transcurre entre el 30% y el 90% de su valor máximo en el rango de $1.2 \mu s \pm 30\%$ y de cola en el rango de $50 \mu s \pm 20\%$ cuando la tensión desciende al 50% de su valor pico, se lo describe como un impulso 1,2/50 [1]. Los impulsos tipo rayo, que tratan de volver a generar las sobretensiones atmosféricas producidas por caídas de rayos sobre las líneas de transmisión eléctrica, se caracterizan por un frente rápido (entre $0.1 \mu s$ y $20 \mu s$). En la *Norma IEC 60060-1*, la forma definida curva que tiene un impulso rayo normalizado se puede apreciar en la figura 1 [3].

La forma de onda de impulso tipo rayo se define convencionalmente por su valor de cresta o amplitud V_{max} en kilovoltios (kV) y por sus duraciones de frente (T_f), y de cola (T_o), las dos expresadas en microsegundos (μs) y medidas a partir de su origen convencional de la recta que pasa por los valores del 30% y 90% de V_{max} con respecto al tiempo [2]. El tiempo de frente es determinado por el intervalo de tiempo medido en el flanco ascendente entre los instantes de tiempo en que se alcanza el 30% y el 90% de la tensión pico (T), y por un factor de 1.67. El tiempo de cola, es medido desde el origen de la recta, hasta cuando la tensión alcanza el 50% de la tensión nominal de la onda en el flanco descendente [1].

Circuito equivalente

Los generadores impulso de una etapa son circuitos simples los cuales se componen de dos funciones exponenciales que se obtienen mediante un circuito donde estén dos elementos almacenadores de energía, es decir, un circuito de segundo orden, como se ve en la figura 2. El método más utilizado por este tipo de generadores es el circuito denominado *explosor de esferas (gaps)* o conocido como interruptor de aire y que de igual manera actúa como un limitador de tensión al romper la rigidez dieléctrica del aire [1].

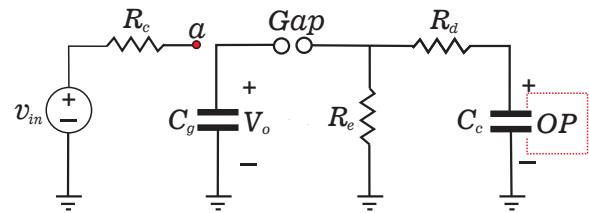


Figura 2: Circuito equivalente de un generador de impulso.

El principio de funcionamiento radica en que el capacitor C_g se carga a un valor de tensión (V_o), por una fuente de tensión externa al conectarse el nodo a al circuito equivalente. Al accionar el Gap, el condensador C_g previamente cargado hace que se cargue el condensador C_c por medio de la resistencia R_d , por tanto es necesario que $R_d \ll R_e$. En esta sección se determina el tiempo de frente o de crecimiento, una vez C_c se halla cargado. Al empezar a descargarse

los capacitores a través de la resistencia R_e la señal decrece y se forma el tiempo de cola [2]. En cuanto a la resistencia limitadora R_c , una vez conectada al circuito, es la encargada de disminuir la corriente que fluye al resto del circuito, con el fin de proteger los equipos y los operarios [3], para ello, es necesario que el valor de la resistencia sea en el orden de los megaohmios ($M\Omega$).

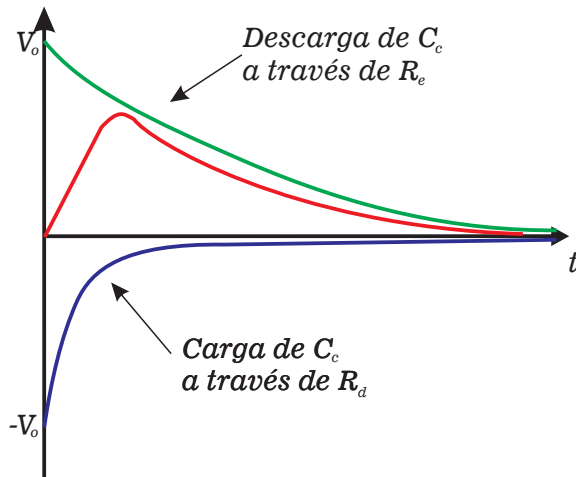


Figura 3: Conformación de la onda de impulso positivo.

Los dos procesos de carga y descarga del condensador C_c , corresponden a dos señales exponenciales superpuestas que al sumarse, da como resultado la curva de impulso de tensión tipo rayo como se observa en la figura 3 [2].

La curva de color azul, corresponde a la carga del condensador y su expresión matemática es:

$$V_{car} = -V_o e^{-\beta t} \text{ [V]}$$

La curva de color verde, corresponde a la descarga del condensador y su expresión matemática es:

$$V_{des} = V_o e^{-\alpha t} \text{ [V]}$$

Al sumar la expresión de la carga y la descarga, da como resultado la expresión matemática del impulso de voltaje estándar.

$$V = V_o (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \text{ [V]}$$

Donde:

V_o es la tensión para carga del capacitor C_g .

α y β son las raíces de la ecuación que caracterizan al sistema [1].

Teniendo la curva de impulso de voltaje tipo rayo, se aplica sobre él un objeto de prueba (OP) como se observa en la figura 2, el cual se debería conectar en paralelo, un divisor de voltaje con el fin de reducir la tensión alta a valores tolerables por los equipos de medida, tales como osciloscopios, voltímetros o un espinterómetro [3].

Proyecto

Se desea obtener en Simscape de Simulink una curva que simule una onda tipo rayo. Para ellos es necesario que a partir del circuito de la figura 2 los valores de las resistencias y los capacitores sean los adecuados. Se recomienda seguir con las indicaciones presentadas en este documento. Adicionalmente plantear la ecuación característica del circuito y verificar los resultados con los simulados.

Referencias

- [1] Bryan Omar Yazán Basantes. “SIMULACIÓN DE UN GENERADOR DE IMPULSOS DE VOLTAJE, PARA PRUEBAS DE AISLAMIENTO DE MATERIALES DIELECTRICOS Y DISPOSITIVOS”. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas Carrera De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico. Ecuador 2022.
- [2] Diego Fernando García G. & Diego Fernando Rincón C.. “Diseño y construcción de un generador de impulso de voltaje de 10 KV”. Revista de la Universidad Distrital Tecnura. Enero de 2009.
- [3] Saúl Ernesto Jaime G. & Carlos Eduardo Ramírez Z. “DESARROLLO DE UNA NORMA DE PRUEBAS EN ALTA TENSION BASADA EN EL GENERADOR DE IMPULSOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR”. Universidad de El Salvador. Noviembre de 2009.