

Determinación de la longitud de las líneas de transmisión

Francisco Román Campos.
Profesor asociado U.N. MSC. I.E.
Universidad Nacional

David Palomá Parra
Ingeniero Electricista
Universidad Nacional.

Jorge Guarín Benítez.
ingeniero Electricista
Universidad Nacional

Mauricio González Kindermann
Ingeniero Electricista
Universidad Nacional

Resumen

En este artículo se muestra un nuevo método llamado "Método de la onda reflejada" que sirve para determinar la longitud de líneas de transmisión o distribución aéreas desenergizadas.

El método permite calcular estas dimensiones de los conductores con errores inferiores al 1%, siendo el error dependiente de la capacidad de almacenamiento del osciloscopio digital.

Introducción

Emplear métodos topográficos tradicionales de medición de los conductores de líneas de transmisión se vuelve un trabajo dispendioso y de larga duración, por la movilización que implica de personal –cuadrilla de topografía- y transporte de equipos.

Las cuadrillas compuestas esencialmente de un topógrafo, dos cadeneros y un conductor, pueden medir cerca de 10 km diarios en zonas planas y de fácil acceso, siempre que empleen sofisticados equipos electrónicos de topografía tales como los que utilizan la diferencia en tiempo que tarda una onda lumínica en ir y regresar a los espejos reflectores.

El presente artículo describe el método de la onda reflejada ya probado en el proyecto "LEER" Línea Experimental para el Estudio de los Rayos¹¹, el cual ofrece gran exactitud en la medición, pues el medio de transporte de la onda son los conductores que se desean medir; permitiendo calcular las cantidades de conductor empleadas en cada fase. Igualmente, el método permite comprobar el estado de los aislamientos de las fases de la línea, si se emplea una señal de tensión del valor nominal de la tensión de la línea.

El método de la onda reflejada se basa en la teoría de las ondas viajeras que se describe a continuación.

1. Teoría de las ondas viajeras

En una línea de transmisión el cambio de estructura geométrica y medio produce una variación en las relaciones que gobiernan el viaje de la energía de la onda electromagnética. Cuantitativamente estas variaciones se traducen en un cambio de la impedancia característica Z_c que es una relación entre las características geométricas del medio, inductancia "L" y capacidad "C" de la línea.

Cualquier variación geométrica significa cambio en las ondas viajeras, en las formas de la corriente y voltaje, acentuando unas y deprimiendo otras.

Las ecuaciones que gobiernan las ondas que se transmiten y se reflejan se explican a continuación.

En una línea de transmisión el cambio de medio desde la impedancia característica Z_c a la impedancia de carga Z_1 , observado por una onda viajera, produce una onda reflejada V_R y una onda transmitida V_T que es así:

$$V_R = V_I \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c}$$

$$V_T = V_I \frac{2Z_L}{Z_L + Z_c}$$

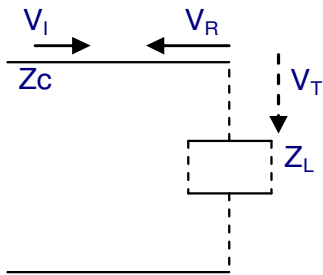
Donde:

V_I Onda incidente o generada

V_R Onda reflejada

V_T Onda transmitida a la carga

¹¹ Román, F.; González, M.; Palomá, D.; Guarín, J.; (1992) "Línea experimental para el estudio de los rayos". Jornadas Nacionales de Energía ACIEM, Bogotá (Boletín No. 19 Electroporcelana Gamma S.A.)

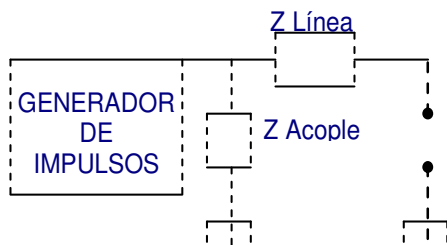


De acuerdo con lo anterior se observan tres casos típicos que son:

- Circuito abierto ($Z_L = \infty$): en este caso la tensión se refleja totalmente y en la carga se presenta el doble de la tensión incidente.
- Corto circuito ($Z_L = 0$): aquí se presenta una reflexión total sin inversión de polaridad y en la carga no se presenta tensión.
- Impedancia de acople ($Z_L = Z_c$): este caso no presenta reflexiones ni la tensión se transmite totalmente a la carga.

2. Modelo para la aplicación de la onda reflejada

De acuerdo con la teoría de ondas se plantea el siguiente modelo:



Se acopla el generador de impulsos (GI) a la línea (Z_L) y se observa en el modelo que un impulso generado viaja a través de la línea, reflejándose en el extremo abierto y de regreso encuentra una impedancia de acople que evita la producción de nuevas reflexiones, debido a que la impedancia de acople es igual a Z_L .

El tiempo (t) transcurrido entre el impulso generado y el reflejado es el que gasta la onda en ir y volver a la velocidad de la luz (c).

A partir de los valores ya conocidos de tiempo y de velocidad se calcula la longitud (L) de la línea así:

$$L = \frac{c * t}{2} \quad (m)$$

Donde:

- L Longitud de la línea (m)
- c Velocidad de la luz (km/s)
- t Tiempo (s)

3. Cálculo de la impedancia característica

La impedancia característica de la onda (Z_c), se define como la relación entre la tensión y la corriente que viajan a través de una línea. El método de cálculo empleado para encontrar Z_c es el descrito en el artículo "Transmission Lines Reference Book 34.5 and above" con el cual se llega a la siguiente expresión:

$$Z_c = 60 \ln \frac{ZH}{r} \quad (\Omega)$$

Donde:

- H Distancia del conductor a tierra [m]
- r Radio del conductor [m]

4. Parámetro generales de la línea

Los siguientes son los parámetros generales de la línea experimental:

- Tensión de la línea: 34.2 kV
- Número de conductores de fase: 3
- Número de cables de guarda: 1
- Tipo de conductor de fase: ACSR calibre 2/0
- Tipo de cable de guarda: Acero de 1/4 "
- Resistencia del conductor de fase: 0.580 Ω/m .
- Tipo de estructuras: a lo largo de toda la línea se utilizan estructuras de retención y de suspensión.

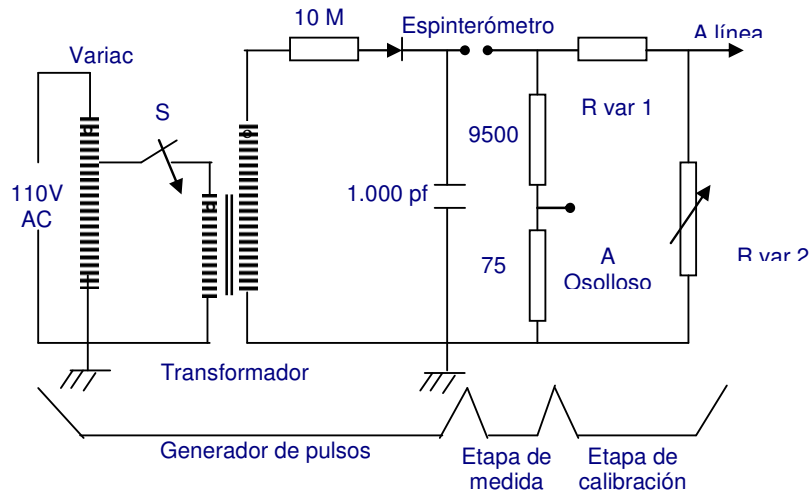


Fig. 1 Diagrama de conexiones

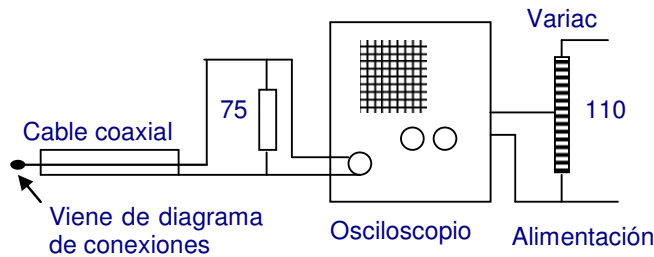


Fig. 2 Diagrama de medida

5. Descripción del montaje

El circuito que describe el montaje es el que se presenta en las figuras 1 y 2.

• Generador de pulsos de alta tensión (AT)

- ❖ **Transformador:** Se alimenta por baja con tensión controlada por un variac; no se requiere que sea de gran potencia y para fines prácticos se utiliza uno monofásico de distribución.
- ❖ **Resistencia, diodo y condensador:** Estos elementos están diseñados para trabajar con A.T. y tienen las siguientes características:
 - Resistencia de agua de 10 MΩ
 - Diodo
 - Condensador de 6000 pf
- ❖ **Espinterómetro:** Con este dispositivo se regula la tensión a la cual ocurre el pulso, controlando la distancia de separación entre sus esferas (electrodos). Para 1cm se presenta disrupción a 30 kV en condiciones normalizadas.

• Circuito de medida

Se usó un divisor resistivo de 53 kΩ, al impulso, en serie con una resistencia de 75 Ω que hace que el acople con el cable coaxial, el cual lleva la señal al osciloscopio.

No se recomienda el uso de divisores capacitivos para la medida.

Es necesario contar con un osciloscopio que tenga un buen ancho de banda. Para este montaje se utilizó un osciloscopio digital Tektronix 2430A con un ancho de banda de 40 MHz para señales de impulso.

- **Circuito de acople:** Lo conforman el divisor resistivo y dos resistencia variables, las cuales se ajustan hasta encontrar un valor donde no se presenten reflexiones de onda. Este valor corresponde a la impedancia de acople que es igual a la de la línea ZL.
- **Línea de prueba:** La medición se hace en una de sus fases, el cable de guarda y los otros conductores se comportan como una guía de onda.

6 Procedimiento

Se generó un impulso sin acoplar la línea con las siguientes características: polaridad positiva, magnitud 17 kV y tiempo de duración 4 μ s (gráfico 1). Acoplando una fase al generador de impulsos (Fig. 3) se generó un pulso; se observó en el osciloscopio la onda generada y con un retardo de 87.9 μ s la onda reflejada (gráfico 2), ésta última encuentra una impedancia característica que evita nuevas reflexiones

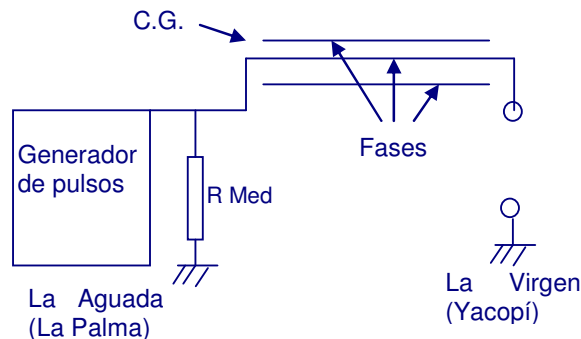


Fig. 3 Generador de pulsos acoplado a una fase de la línea

Para calcular la longitud de la línea se dispone de dos datos que son: El tiempo de ida y vuelta de la onda (t) y la velocidad de propagación, que se toma igual a la velocidad de la luz (c). Por lo tanto la longitud estará dada por:

$$L = \frac{c * t}{2}$$

$$L = \frac{300.000 * 10^3 \text{ m/s} * 89.7 * 10^{-6} \text{ s}}{2}$$

$$= 13455 \text{ m}$$

7. Contraste con otros métodos

El método usado tradicionalmente se basa en la taquimetría y se emplean los distanciómetros, teodolitos o la fotografía aérea.

La E.E.B. para medir las líneas en zona rural cafetera tiene un promedio de 4 Km x día de topógrafo, con el método propuesto se empleó un día para medir 13.5 Kms.

Recomendaciones.

- Como fue un montaje experimental, conformado por elementos del laboratorio de alta tensión de la Universidad Nacional, el volumen, peso, cantidad y la fragilidad dificultan el transporte hasta el punto de medición, por lo tanto se hace necesario contar con un equipo compacto y robusto que sea fácil de transportar.
- Se necesita una fuente de alimentación con un bajo nivel de ruido para que no se afecten las medidas hechas con el osciloscopio.
- Es necesario que exista en sitio una buena puesta a tierra para garantizar la seguridad del personal y del equipo a utilizar.
- Es indispensable trabajar en tiempo seco y sin actividad atmosférica, pues la línea se comporta como una antena en la que se pueden presentar descargas directas o inducidas.
- El segmento o línea a medir se debe abrir del circuito al cual pertenezca y asegurarse que esté desenergizada.
- A mayor longitud de la línea se debe aumentar el nivel de tensión del pulso por la atenuación de la onda en la línea, pero teniendo cuidado de no sobrepasar el BIL de los aisladores.
- Se deben cumplir todas las normas de seguridad con las que se trabaja en un laboratorio de alta tensión.

Si desea cambiar su dirección electrónica, suscribir a un colega, solicitar ediciones anteriores o borrarse de la lista de distribución, envíenos un mensaje a:

carango@gamma.com.co

Atn Ing. Claudia Arango Botero.

Visítenos en nuestra página Web: <http://www.gamma.com.co> o www.corona.com.co