

Teoría de Onda Viajera

Ejemplo #1: Diagrama de Lattice [1]

Los diagramas de Lattice fueron introducidos por Bewley y son de gran ayuda cuando se trabaja en el cálculo de ondas viajeras. Para demostrar las aplicaciones del diagrama de Lattice, se investigara que ocurre cuando en la Figura 1, el interruptor cierra y energiza una línea sin carga en serie con un cable sin carga y un transformador sin carga.

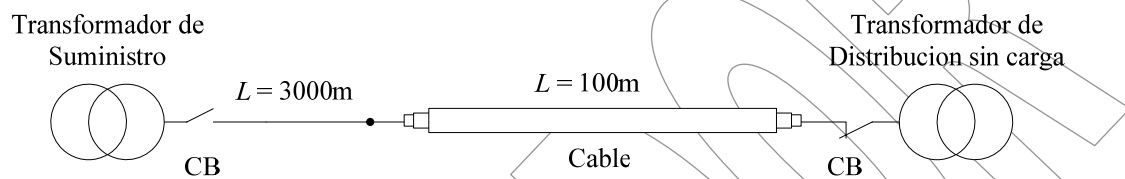


Figura 1. Diagrama Unificar de un interruptor (CB) cerrando una conexión serie de una línea sin carga, un cable sin carga y un transformador de distribución sin carga

Cuando los interruptores se cierran en $t = 0$ seg, el voltaje que suministra el transformador esta en su máximo.

Las siguientes características aplican:

- Línea de Transmisión: Impedancia característica, $Z_{line} = 400 \Omega$
 Longitud de la línea, $L_{line} = 3000$ m
 Velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas, $v_{line} = 300.000$ m/s
 Tiempo de viaje $\tau_{line} = 10 \mu s$
- Cable: Impedancia característica, $Z_{cable} = 40 \Omega$
 Longitud de la línea, $L_{cable} = 100$ m
 Velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas, $v_{cable} = 100.000$ m/s
 Tiempo de viaje $\tau_{cable} = 1 \mu s$
- Fuente de Voltaje: $v(t) = \cos(\omega t)$ por unidad, frecuencia 50 Hz.

Cuando el interruptor se cierra en $t = 0$ seg, la fuente de suministro posee un máximo valor de uno por unidad, y una onda de voltaje con una amplitud de 1 por unidad viaja a lo largo de la línea aérea. Una vez que al onda de voltaje alcanza la discontinuidad donde la línea esta conectada al cable, la onda incidente se descompone e una onda reflejada con una amplitud de $(40-400)/(40+400)=-0.818$ por unidad y una onda transmitida con amplitud de $2 \times 40 / (40+400) = 0.182$ por unidad.

La onda transmitida se propaga a lo largo del cable hasta el transformador sin carga. El transformador sin carga posee una muy alta impedancia característica comparada con el cable y puede entonces se tratado como una terminación en circuito abierto; el voltaje es duplicado debido a que la onda reflejada se suma con la onda de voltaje incidente. La onda viajera de voltaje que viene desde el transformador sin carga regresa al cable y esta se encuentra nuevamente con la discontinuidad donde la línea y el cable están conectados y la onda reflejada se regresa de nuevo al transformador, y una onda transmitida viaja hacia la fuente.

Este proceso continuo y continuo. Debido a que el fenómeno de la onda es de la escala de tiempo de los microsegundos, la fuente de voltaje puede ser asumida que permanece constante durante el proceso de reflexión y refracción de las ondas electromagnéticas. Si se construye un diagrama en donde se coloque el tiempo de viaje a lo largo del eje vertical y la distancia a lo largo del eje horizontal se está construyendo el denominado diagrama de lattice (Figura 2).

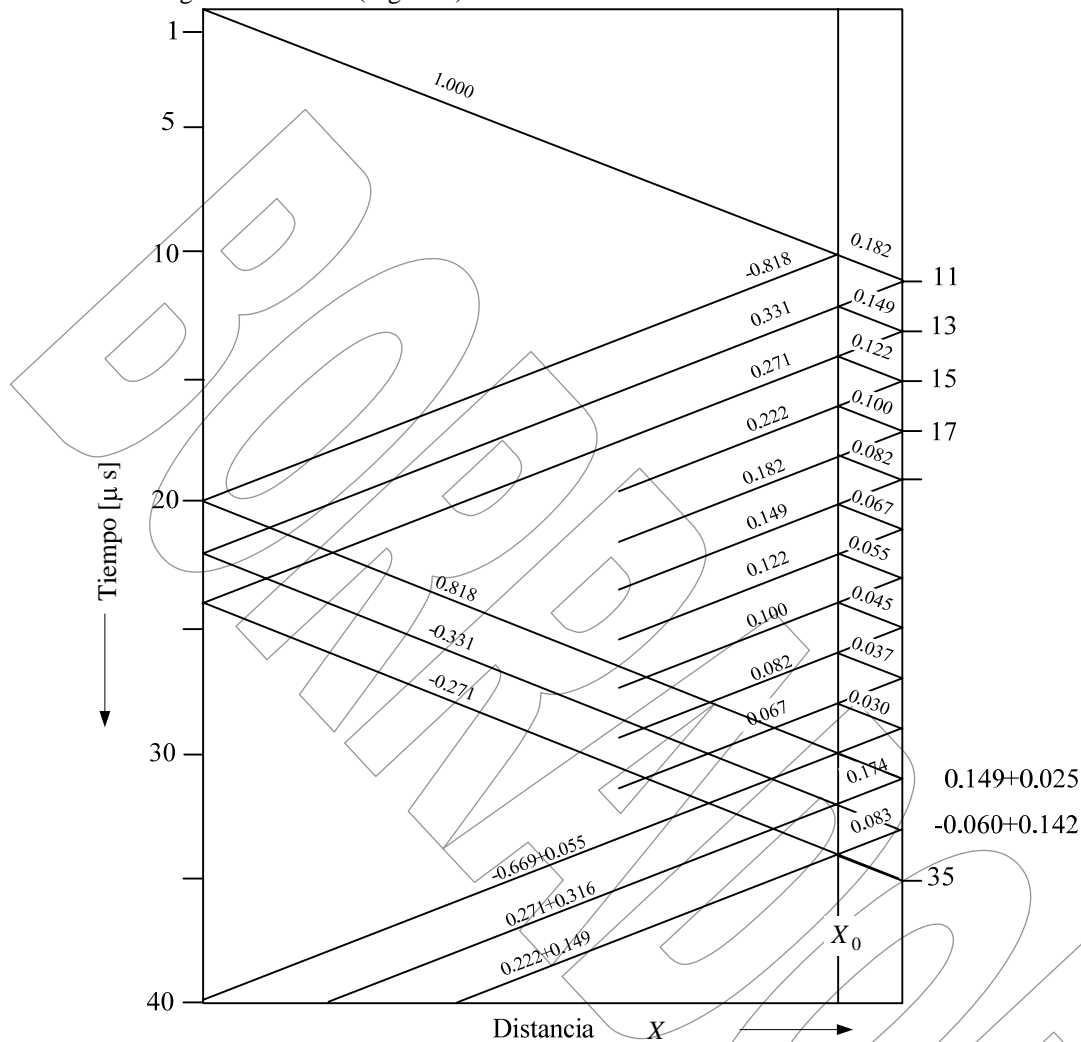


Figura 2. Diagrama de Lattice mostrando las reflexiones y refracciones de las ondas viajeras en el circuito de la Figura 1. La línea de transmisión es terminada en un cable subterráneo en X_0

En este diagrama de lattice, se puede observar como se efectúa las reflexiones y se descomponen las ondas viajeras. Cuando se comienza con una onda incidente de 1.0 p.u., las constantes de reflexión y refracción en las discontinuidades de las ondas de voltaje son también colocados en el eje horizontal, para determinar la amplitud de de la onda de voltaje en un cierto lugar a lo largo de la línea y el cable, siendo la superposición de las amplitudes de las ondas que han arribado en ese instante.

La amplitud de los voltajes en el transformador de suministro U_{start} , el lugar donde la línea y el cable se encuentra conectados U_{dis} , y en los terminales del transformador sin carga U_{end} , puede ser construido con la ayuda del diagrama de Lattice de la Figura 2, y las curvas de voltaje son mostradas en la Figura 3.

Se puede ver desde la Figura 3, que los voltajes son discontinuos en el tiempo. En la forma de de la oda de voltaje en el extremo de recepción, se reconoce la respuesta de una red de parámetros concentrados RC. Esta

es lógica debido a que la capacitancia distribuida en el cable es cargada y esto toma cierto tiempo. Cuando el interruptor cierra su valor de régimen estacionario gradualmente entonces el cable de cargado.

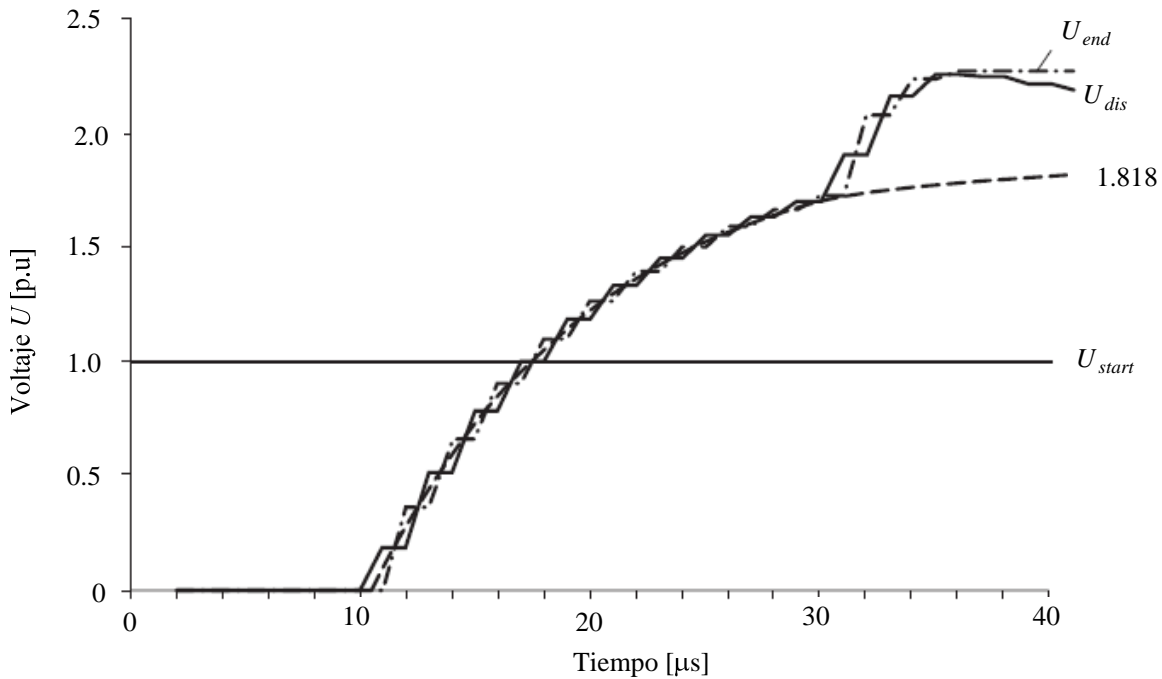


Figura 3. Forma del Voltaje Transitorio como una suma de las ondas viajeras de reflexión

Referencias Documentales

- [1] Lou van der Sluis. *Transients in Power Systems*. John Wiley & Sons Ltd. EE.UU, 2001.