

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES
REDES ELÉCTRICAS III

Línea de Transmisión Bifilar

Docente:
Caropresse, Gerlis

Integrantes:
Br. Alas, Félix. C.I: 28.282.974
Br. Santana, Ricardo. C.I: 29.571.461
Br. Marciano, Jefferson. C.I:
27.454.772

Caracas, 3 de octubre de 2024

1. Introducción

En el presente trabajo se aborda el diseño de una línea de transmisión bifilar, un tipo de conductor eléctrico compuesto por dos hilos paralelos separados por un dieléctrico. Este tipo de línea es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones de telecomunicaciones debido a sus características particulares.

El objetivo principal de este estudio es desarrollar un diseño que cumpla con un conjunto específico de requisitos, incluyendo una impedancia característica, una capacitancia por unidad de longitud, una atenuación nominal y una velocidad de propagación del 98 % de la velocidad de la luz en el vacío.

La importancia de este diseño radica en la necesidad de transmitir señales electromagnéticas de manera eficiente y con mínimas pérdidas en aplicaciones donde estas especificaciones son fundamentales. A través de este trabajo, se busca analizar los factores que influyen en el rendimiento de una línea de transmisión bifilar y proponer una solución óptima que satisfaga los requerimientos establecidos.

En las siguientes secciones se presentarán los fundamentos teóricos de las líneas de transmisión, el procedimiento de diseño seguido y los resultados obtenidos. Finalmente, se discutirán las posibles aplicaciones de este diseño y se propondrán líneas futuras de investigación.

2. Problema planteado

Se desea diseñar una línea de transmisión bifilar, con las siguientes características:

- Impedancia Característica: 300Ω .
- Capacitancia por unidad de longitud: $10pF/m$.
- Atenuación nominal: $1,9dB/m$, a $100MHz$.
- Velocidad de propagación nominal: 98 %.

Se definirá posteriormente el dieléctrico a utilizar, el tipo de conductor y dimensiones (diámetros de los conductores, separación entre conductores, etc).

3. Descripción teórica

3.1. Línea de transmisión bifilar

Una línea de transmisión bifilar es un tipo de conductor eléctrico compuesto por dos hilos paralelos separados por un dieléctrico. Este tipo de línea es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones de telecomunicaciones debido a su simplicidad constructiva y sus características de transmisión.

3.2. Impedancia Característica

Uno de los parámetros más importantes de una línea de transmisión es la impedancia característica (Z_o). Esta representa la relación entre el voltaje y la corriente que se propaga a lo largo de la línea en modo transversal electromagnético (TEM). La impedancia característica de una línea bifilar depende de la geometría de los conductores (diámetros y separación) y de las propiedades del dieléctrico (permitividad relativa).

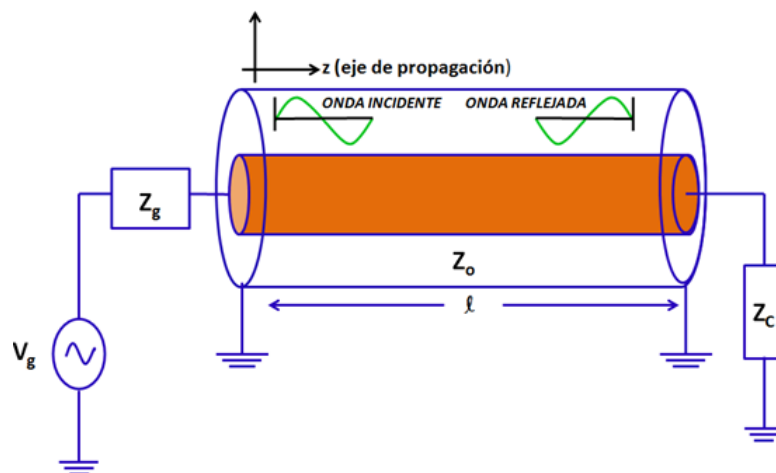


Figura 3.1: Modelo esquemático de una línea de transmisión conectada

3.3. Velocidad de Propagación

La velocidad de propagación de una onda electromagnética a lo largo de una línea de transmisión es menor que la velocidad de la luz en el vacío y depende de la permitividad relativa del dieléctrico. Esta velocidad se relaciona con la longitud de onda de la señal y el período de la misma.

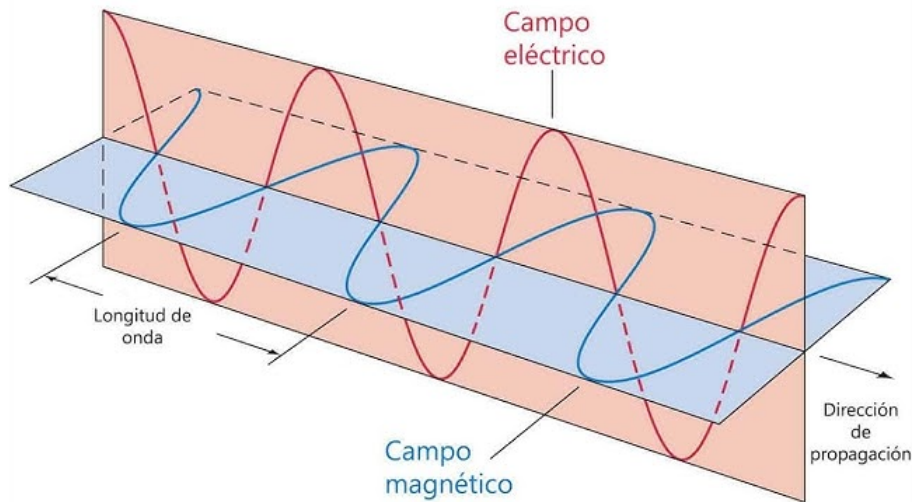


Figura 3.2: Propagación de una onda electromagnética

3.4. Atenuación

La atenuación representa la pérdida de potencia de la señal a medida que se propaga a lo largo de la línea. Esta pérdida se debe a varios factores, como la resistencia óhmica de los conductores, las pérdidas dieléctricas y las pérdidas por radiación. La atenuación se expresa en decibelios por unidad de longitud (dB/m).

3.5. Capacitancia y Inductancia en una línea de transmisión bifilar

Una línea de transmisión bifilar puede ser modelada como una sucesión infinita de elementos infinitesimales, cada uno compuesto por una inductancia y una capacitancia. La capacitancia se debe a la presencia del campo eléctrico entre los conductores, mientras que la inductancia se debe al campo magnético generado por la corriente que circula por los conductores.

3.6. Modelo de Línea de Transmisión

Para analizar el comportamiento de una línea de transmisión, se utiliza el modelo de línea de transmisión distribuida, que considera la distribución continua de los parámetros a lo largo de la línea. Este modelo permite obtener las ecuaciones de telegrafistas, que relacionan el voltaje y la corriente en cualquier punto de la línea.

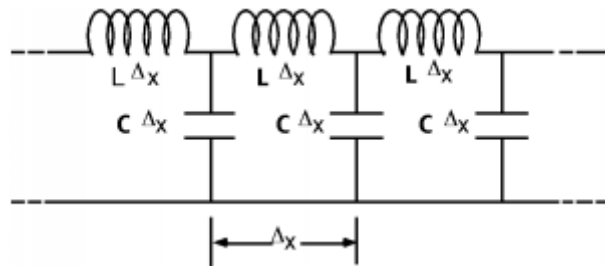


Figura 3.3: Modelo de parámetros distribuidos

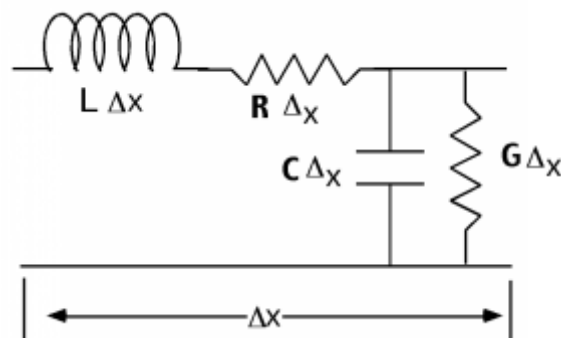


Figura 3.4: Modelo distribuido completo

4. Propuesta de diseño y esquemas

Basándose en el libro de *Teoría Electromagnética* para lienas bifilares:

Bajas frecuencias:

$$L = \frac{\mu}{\pi} \left(\frac{1}{4} + \operatorname{arccosh} \left(\frac{d}{2a} \right) \right) \quad (4.1)$$

$$R = \frac{2}{\sigma_c \pi a^2} \quad (4.2)$$

$$C = \frac{\pi \epsilon}{\operatorname{arccosh} \left(\frac{d}{2a} \right)} \quad (4.3)$$

$$G = \frac{\pi \sigma_d}{\cosh^{-1} \left(\frac{d}{2a} \right)} \quad (4.4)$$

Altas frecuencias:

$$L = \frac{\mu}{\pi} \operatorname{arccosh} \left(\frac{d}{2a} \right) \approx \frac{\mu}{\pi} \ln \left(\frac{d}{a} \right); \quad a \ll d \quad (4.5)$$

$$C = \frac{\pi \epsilon}{\operatorname{arccosh} \left(\frac{d}{2a} \right)} \approx \frac{\pi \epsilon}{\ln \left(\frac{d}{a} \right)}; \quad a \ll d \quad (4.6)$$

$$R = \frac{1}{\pi a l \sigma_c} \quad (4.7)$$

Si l es comparable o mayor que el radio del conductor " a " se utilizan las expresiones para bajas frecuencias

$\operatorname{tg}(\delta)$ se asume constante en f , σ no varia linealmente con respecto a f

$$l \left[\frac{dB}{m} \right] = 20 \log(e) \alpha \left[\frac{Np}{m} \right] \quad (4.8)$$
$$\alpha = 0,2187 \frac{Np}{m}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (4.9)$$

$$Z_o = 300\Omega \text{ (antenas receptoras de TV o FM)}$$

$$V_p = \frac{w}{\beta} = \frac{2\pi f}{\beta} \quad (4.10)$$

$$\beta = \frac{2\pi f}{V_p} \quad (4.11)$$

$$\beta = \frac{2\pi 10 \text{ Mhz}}{0,98 \cdot C}$$

$$\beta = 2,1386 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = 0,986$$

$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = 0,98$$

$$\epsilon_r = 1,0412 \therefore \text{aire}$$

$$\epsilon = \epsilon_o \cdot \epsilon_r \quad (4.12)$$

$$\epsilon = 9,2193 \times 10^{-12}$$

$$\mu = \mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = 0,2187 + j2,1386 \quad (4.13)$$

$$\gamma = \sqrt{(R - j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (4.14)$$

si $\alpha = 0 \Rightarrow \gamma = 2,0959j$ por aire $\sigma = 0$ si

$$G = \frac{\pi \sigma_d}{\cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right)} = 0 \quad (4.15)$$

Para la ecuación 4.14 y 4.9 se busca R y L con $G = 0, Z_o = 300\Omega, \gamma = 0,2187 + j2,1386$

$$\frac{d}{2a} = \cosh\left(\frac{\pi \epsilon}{C}\right) = 8,1036; \text{ si } \frac{d}{2a} = e^{\frac{\pi \epsilon}{C}} = 8,0726 \quad (4.16)$$

si conductor cobre:

$$l = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu_o \sigma_c}} \quad (4.17)$$

$l = 6,6085 \times 10^{-6} = 0,066mm$; $l \ll a$ se utiliza expresiones para alta frecuencia

$$\mu = 0,999994 ; \sigma_c = 4,8 \times 10^7$$

Ya que $Z_o \in \mathbb{R}, R \rightarrow 0$ para que esto se cumpla, por tanto:

$$Z_o = \sqrt{L/C} \quad (4.18)$$

Sabiendo que para altas frecuencias, los valores de L y C corresponden a las ecuaciones (4.5) y (??). Además sustituyendo en la en la ecuación anterior.

$$\begin{aligned} Z_o &= \sqrt{\frac{\frac{\mu}{\pi} \ln\left(\frac{d}{a}\right)}{\frac{\pi \epsilon}{\ln(d/a)}}} \\ Z_o &= \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon} \frac{1}{\pi} \ln\left(\frac{d}{a}\right)} \\ \ln\left(\frac{d}{a}\right) &= Z_o \pi \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \\ \frac{d}{a} &= e^{Z_o \pi \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}}} \\ \frac{d}{a} &= e^{Z_o \pi \sqrt{\frac{\epsilon_o}{\mu_o}}} = 12,2 > 10 \\ d &= 12,2a \end{aligned} \quad (4.19)$$

Basándose en (4.7) mientras mayor sea el diámetro del conductor mejor será nuestras aproximaciones, se considera un límite inferior donde $R = 1\Omega$, por tanto

$$a > \frac{1}{\pi l \sigma_c} = 0,8mm$$

Se tomará un valor poco mayor, para aumentar eficiencia y disminuir costos en cobre, entonces:

$$a = 1mm$$

Además utilizando (4.19)

$$d = 12,2a = 12,2mm$$

Se especificarán posteriormente los datos de la linea de transmisión diseñada.

5. Valores de dispositivos o elementos

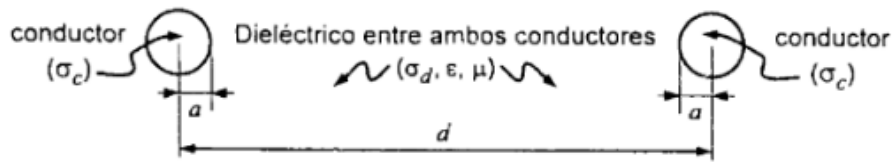


Figura 5.1: Esquema de líneas bifilares

- $C = 11 \frac{pF}{m}$
- $L = 1 \frac{\mu H}{m}$
- $G = 0 \frac{S}{m}$
- $R = 0.8 \Omega$
- $a = 1mm$
- $d = 12mm$
- $\beta = 2,1386 \frac{rad}{m}$
- $\epsilon_r = 1,0412$ (material del dieléctrico es aire)
- $\sigma_c = 4,8 \times 10^7$

6. Conclusiones y posibles aplicaciones

En este trabajo se ha llevado a cabo el diseño de una línea de transmisión bifilar, cumpliendo con las especificaciones establecidas para impedancia característica, capacitancia, atenuación y velocidad de propagación. Se ha obtenido un diseño óptimo que minimiza las pérdidas y maximiza la eficiencia de la transmisión.

Una de las aplicaciones más prometedoras de esta línea de transmisión bifilar es en el campo de las antenas dipolo. Al utilizar esta línea como alimentador de una antena dipolo, se puede lograr una mejor adaptación de impedancias, reduciendo las pérdidas por reflexión y mejorando la eficiencia de radiación. Además, la baja atenuación de la línea permite transmitir señales a mayores distancias sin una degradación significativa de la señal.

El diseño de una línea de transmisión bifilar es un tema de gran relevancia en el campo de las telecomunicaciones. Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran la viabilidad de diseñar líneas de transmisión personalizadas para aplicaciones específicas, como las antenas dipolo, antenas de radio, TV, etc.

7. Referencias Bibliográficas

- Neri Vela, R. (1999). Líneas de transmisión (1.^a ed.). México: McGraw-Hill.
- Hayt, W. H., Jr., & Buck, J. A. (2006). Teoría electromagnética (7^a ed.). México: McGraw-Hill.