

Teoría de las líneas de dos conductores

- Una línea telefónica de uso interior, para efectuar la conexión de la caja del teléfono a la red exterior, consiste de dos conductores paralelos de cobre con diámetro de 0.60 mm. La separación entre los centros de los conductores es de 2.5 mm y el material aislante entre ambos es polietileno. Calcule los parámetros L, C, R y G por unidad de longitud a una frecuencia de 3 kHz. Utilizamos las ecuaciones para una Línea bifilar de Bajas frecuencias.

Datos

$f = 3 \text{ kHz}$ Bajas frecuencias

Para el cobre

$$\mu_r = 1$$

$$\sigma_c = 5.8 \times 10^7 \frac{\text{S}}{\text{m}}$$

Para el polietileno

$$\varepsilon_r = 2.26$$

$$\tan(\delta) = 0.2 \times 10^{-3}$$

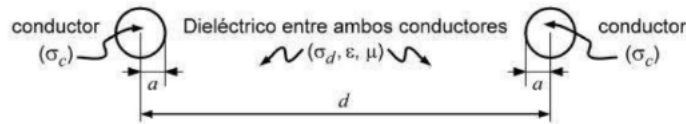
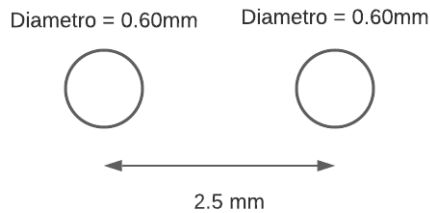


Fig. 2-8 Geometría de una línea bifilar y parámetros de sus materiales.

Bajas frecuencias

$$L = \frac{\mu}{\pi} \left[\frac{1}{4} + \cosh^{-1}(d/2a) \right] \quad R = \frac{2}{\sigma_c \pi a^2}$$

$$C = \frac{\pi \varepsilon}{\cosh^{-1}(d/2a)} \quad G = \frac{\pi \sigma_d}{\cosh^{-1}(d/2a)}$$



Despejamos de la fórmula la conductividad del dieléctrico:

$$\tan(\delta) = \frac{\sigma_{\text{dieléctrico}}}{\omega \varepsilon} = \frac{\sigma_d}{\omega \varepsilon_r \varepsilon_0}$$

$$\sigma_d \approx (2\pi \cdot 3 \times 10^3)(2.26)(8.85 \times 10^{-12})(0.2 \times 10^{-3}) \approx 7.54 \times 10^{-11}$$

Calculamos profundidad de penetración l y la conductividad del dieléctrico. Por lo tanto:

$$l = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} = \sqrt{\frac{2}{(2\pi \cdot 3)(4\pi \times 10^{-7})(5.8 \times 10^7)}} = \frac{0.066}{\sqrt{3 \times 10^3}} = 1.20 \times 10^{-3} \text{ m}$$

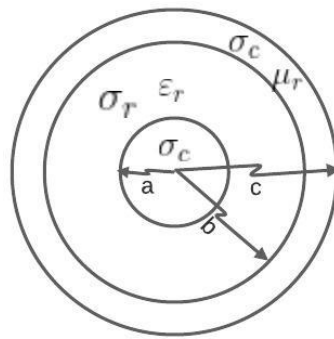
Calculamos la inductancia, capacitancia, resistencia y conductancia.

$$L = \frac{\mu}{\pi} \left[\frac{1}{4} + \cosh^{-1}\left(\frac{d}{2a}\right) \right] = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{\pi} \left[\frac{1}{4} + \cosh^{-1}\left(\frac{2.5}{0.6}\right) \right] = 942 \text{ nH/m}$$

$$C = \frac{\pi \varepsilon}{\cosh^{-1} \left(\frac{d}{2a} \right)} = \frac{\pi \varepsilon_r \varepsilon_0}{\cosh^{-1} \left(\frac{2.5}{0.6} \right)} = \frac{\pi (2.26) (8.85 * 10^{-12})}{\cosh^{-1} \left(\frac{2.5}{0.6} \right)} = 29.8 p \frac{F}{m}$$

$$R = \frac{2}{\sigma_c \pi a^2} = \frac{2}{(5.8 * 10^7) \pi (0.3^2)} = 122 m \frac{\Omega}{m} \quad G = \frac{\pi \sigma_d}{\cosh^{-1} \left(\frac{d}{2a} \right)} = \frac{\pi (7.54 * 10^{-11})}{\cosh^{-1} \left(\frac{2.5}{0.6} \right)} = 112.56 p \frac{S}{m}$$

- Un cable coaxial utilizado en sistemas de VHF , UHF y microondas tiene conductores de cobre aislados entre sí con polietileno. El radio del conductor interno es de 1.5 mm y el del externo es de 4.8 mm. Obtenga los parámetros L, C, R y G por unidad de longitud a 100 MHz y a 1 GHz.



Datos

$$\begin{aligned} f_1 &= 100 \text{ MHz} \\ f_2 &= 16 \text{ Hz} \\ a &= 1.5 \text{ mm} \\ b &= 4.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Para el cobre

$$\begin{aligned} \mu_r &= 1 \\ \sigma_c &= 5.8 * 10^7 \frac{S}{m} \end{aligned}$$

Para el polietileno

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= 2.26 \\ \tan(\delta) &= 0.2 * 10^{-3} \end{aligned}$$

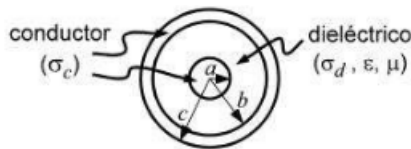
Calculamos profundidad de penetración l y la conductividad del dieléctrico. Con 100 Mhz:

$$l = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} = \sqrt{\frac{2}{(2\pi f)(4\pi * 10^{-7})(5.8 * 10^7)}} = \frac{0.066}{100 * 10^6} = 0.0066$$

Despejamos de la formula la conductividad del dieléctrico. $\tan(\delta) = \frac{\sigma_{dielectrico}}{\omega \varepsilon} = \frac{\sigma_d}{\omega \varepsilon_r \varepsilon_0}$

$$\sigma_d \approx (2\pi * 100 * 10^6)(2.26)(8.85 * 10^{-12})(0.2 * 10^{-3}) \approx 2.5146 * 10^{-6}$$

Altas frecuencias



$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln(b/a)$$

$$R = \frac{1}{2\pi l \sigma_c} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

$$C = \frac{2\pi \varepsilon}{\ln(b/a)}$$

$$G = \frac{2\pi \sigma_d}{\ln(b/a)}$$

Calculamos la inductancia, capacitancia, resistencia y conductancia.

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right) = \frac{4\pi * 10^{-7}}{2\pi} \ln \left(\frac{4.8}{1.5} \right) \approx 232.6n \frac{H}{m}$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \left| \frac{b}{a} \right|} = \frac{(2\pi)(2.26)(8.85 * 10^{-12})}{\ln \left| \frac{4.8}{1.5} \right|} \approx 108p \frac{F}{m} \quad R = \frac{1}{(2\pi)l(\sigma_c)} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

$$R = \frac{1}{(2\pi)(6.6 * 10^{-6})(5.8 * 10^7)} \left(\frac{1}{4.5 * 10^{-3}} + \frac{1}{4.8 * 10^{-3}} \right) = 363.79m \frac{\Omega}{m}$$

$$G = \frac{2\pi\sigma_d}{\ln \left| \frac{b}{a} \right|} = \frac{2\pi(2.5146 * 10^{-6})}{\ln \left| \frac{4.8}{1.5} \right|} = 13.584m \frac{S}{m}$$

Calculamos profundidad de penetración l y la conductividad del dieléctrico. Con 16 hz:

$$l = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\frac{2}{(2\pi f)(4\pi * 10^{-7})(5.8 * 10^7)}} = \frac{0.066}{16} = 2.087 * 10^{-6}$$

Despejamos de la formula la conductividad del dieléctrico. $\tan(\delta) = \frac{\sigma_{dielectrico}}{\omega\epsilon} = \frac{\sigma_d}{\omega\epsilon_r\epsilon_0}$

$$\sigma_d \approx (2\pi * 16)(2.26)(8.85 * 10^{-12})(0.2 * 10^{-3}) \approx 2.5146 * 10^{-5}$$

Calculamos la inductancia, capacitancia, resistencia y conductancia.

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right) = \frac{4\pi * 10^{-7}}{2\pi} \ln \left(\frac{4.8}{1.5} \right) \approx 232.6n \frac{H}{m}$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \left| \frac{b}{a} \right|} = \frac{(2\pi)(2.26)(8.85 * 10^{-12})}{\ln \left| \frac{4.8}{1.5} \right|} \approx 108p \frac{F}{m} \quad R = \frac{1}{(2\pi)l(\sigma_c)} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$$

$$R = \frac{1}{(2\pi)(2.087 * 10^{-6})(5.8 * 10^7)} \left(\frac{1}{4.5 * 10^{-3}} + \frac{1}{4.8 * 10^{-3}} \right) = 1.15 \frac{\Omega}{m}$$

$$G = \frac{2\pi\sigma_d}{\ln \left| \frac{b}{a} \right|} = \frac{2\pi(2.5146 * 10^{-5})}{\ln \left| \frac{4.8}{1.5} \right|} = 135.84\mu \frac{S}{m}$$

- Un cable coaxial empleado para transmitir potencias elevadas en VHF, UHF y microondas está formado por dos conductores de cobre aislados con aire. El conductor interno permanece centrado gracias a una fina y rígida hélice vertebral de polietileno. El radio del conductor interno es de 10 mm y el del externo es de 36 mm. Ignore la hélice de polietileno y suponga que todo el volumen entre los dos conductores está relleno de aire. Para este cable grueso de alta potencia, calcule los parámetros L , C , R y G por unidad de longitud a 100 MHz y a 1 GHz.
- Una línea de transmisión formada por dos placas paralelas de níquel (fig. 2-10) tiene las dimensiones $a = 0.25$ mm, $b = 6$ mm. El grosor de las placas es de 50μ m. Determine los parámetros L , C , R y G por unidad de longitud a 10 GHz, suponiendo que el dieléctrico entre las placas es cuarzo.
- Las constantes primarias de una línea telefónica bifilar abierta son: $R = 6 * 10^{-3} \Omega/m$, $L = 2 * 10^{-6} H/m$, $C = 5 * 10^{-12} F/m$ y $G = 0.3 * 10^{-9} S/m$. Calcule la impedancia característica de la línea y la constante de propagación a una frecuencia de 10 kHz.
- Utilizando los mismos datos del problema 2.18.1, suponga que al final de la línea hay un aparato receptor que presenta una impedancia de entrada de 600Ω . Obtenga el coeficiente de reflexión en la carga.
- Un cable coaxial tiene los siguientes parámetros a 10 MHz: $R = 3 \times 10^{-3} \Omega/m$, $L = 0.3 \times 10^{-6} H/m$, $C = 9 \times 10^{-12} F/m$ y $G = 3.5 \times 10^{-9} S/m$. De termine su constante de atenuación en dB/m, su impedancia característica, y la relación de onda estacionaria cuando al final del cable se conecta una carga con impedancia de $60 + j40$.
- Usando los mismos datos del problema 2.18.3, suponga que el cable mide 10 km. En el extremo transmisor hay un generador con voltaje interno de 10 V e impedancia interna de 50Ω , a una frecuencia de 100 MHz. Las características de la carga permiten considerar que la línea está acoplada. Obtenga la eficiencia de la línea, tomando en cuenta las pérdidas de la misma.
- Un cable coaxial con impedancia característica de 75Ω termina en una carga resistiva de 100Ω , a una frecuencia de 600 MHz. Diga cuánto vale la impedancia vista en los puntos siguientes sobre la línea: a) en la carga, b) a 10 cm antes de la carga, c) a $\lambda/4$ antes de la carga, d) a $\lambda/2$ antes de la carga, y e) a $3\lambda/2$ antes de la carga.
- Considere una línea sin pérdidas con 2 m de longitud, que a cierta frecuencia de medición es menor que $\lambda/4$. Las mediciones al terminar la línea en cortocircuito y en circuito abierto dieron impedancias de entrada de $j110 \Omega$ y $j52 \Omega$, respectivamente. Evalúe la constante de fase y la impedancia característica de la línea.
- En cierta línea de transmisión sin pérdidas, con impedancia característica $Z_0 = 50 \Omega$, se midió en el laboratorio un VSWR de 3.20, y se encontró un mínimo de voltaje a una distancia de 2.6 longitudes de onda, medido desde la carga hacia el generador. Use la carta de Smith y encuentre el valor de la impedancia de la carga.
- Al final de una línea con $Z_0 = 75 \Omega$ se conecta una carga con impedancia de $75 + j25 \Omega$. La longitud de onda de la onda incidente en la línea mide 1 m. Con la carta de Smith encuentre: a) el VSWR, y b) la posición del primer mínimo a la izquierda de la carga.

- Una línea de transmisión sin pérdidas tiene una impedancia característica de 100Ω y está terminada con una carga compleja de $120 + j80 \Omega$. Se desea acoplar esta línea con un tramo de $\lambda/4$ en serie. Encuentre: a) la distancia necesaria entre el acoplador y la carga y b) la impedancia característica del acoplador.
- Use la carta de Smith para encontrar la impedancia que debe tener la carga (Z_L) de una línea, cuya impedancia característica es Z_0 , de tal forma que el ROE o VSWR tenga los valores especificados a continuación, a una frecuencia de 3 GHz.
- Una línea sin pérdidas con impedancia característica de 75Ω termina en una carga con $Z_L = 15 + j75 \Omega$. Se desea usar un equilibrador reactivo con el fin de acoplar la línea. Encuentre la posición y la susceptancia capacitiva normalizada que debe tener el “stub” en el punto de conexión con la línea principal.
- Un cable coaxial relleno de polietileno ($\epsilon_r = 2.26$) tiene una impedancia característica de 50Ω y una longitud de 25 m. El cable se utiliza para alimentar a una carga compleja de $75 + j30 \Omega$ a 600 MHz. Calcule: a) el coeficiente de reflexión de voltajes en la carga (magnitud y fase), b) la distancia, en metros, entre la carga y el primer mínimo de voltaje de la onda estacionaria y c) el valor del VSWR. Resuelva el problema usando dos métodos diferentes: 1) analíticamente, 2) con la carta de Smith.
- Para el mismo cable del problema anterior, encuentre las características de un acoplador de impedancias para eliminar la reflexión en la carga. Dé dos opciones: a) línea de $\lambda/4$ en serie, b) línea terminada en corto circuito (1λ “stub”), en paralelo con el cable. Resuelva las dos opciones de este problema apoyándose en la carta de Smith.
- Se tiene un cable con una impedancia característica de 50Ω . En el extremo final del cable hay una carga con impedancia desconocida, pero se sabe que la relación de onda estacionaria es igual a 2. También se sabe que la distancia entre puntos adyacentes de voltaje mínimo es igual a 30 cm. Además, se sabe que si se retira la carga desconocida y se le sustituye por un corto circuito, entonces todos los puntos de voltaje mínimo se mueven 7.5 cm hacia el generador. ¿Cuál es el valor de la carga desconocida, en ohms?
- Se tiene una línea con pérdidas. La línea mide 1.5λ , su impedancia característica es de 50Ω , y las pérdidas totales en la longitud de la línea son de 3 dB. Si en el extremo final de la línea se pone una carga de 100Ω , ¿cuánto vale la impedancia de entrada de la línea?
- Se tiene un cable coaxial cuya impedancia característica es igual a 150Ω . El cable termina en una carga desconocida y tampoco se conoce la longitud total del cable. Suponiendo que con la carta de Smith se calculó que a una distancia de 5λ antes de llegar a la carga la impedancia normalizada de entrada vale $0.4 - j0.2$, ¿cuánto vale la impedancia vista por la señal que viaja hacia la carga precisamente dos longitudes de onda antes de llegar a la carga? ¿Cuánto vale la admitancia a 0.15λ antes de llegar a la carga?
- Una línea sin pérdidas con $Z_0 = 100 \Omega$ termina en una carga con $Z_L = 200 - j300 \Omega$. Use la carta de Smith y calcule la impedancia de entrada de la línea, si ésta mide: a) 0.125λ , b) 0.5λ , c) 0.8λ . También obtenga el coeficiente de reflexión en la carga y el VSWR de la línea.
- Una línea de transmisión con $Z_0 = 50 \Omega$ opera a una frecuencia de 1.875 GHz. El valor de la impedancia de la carga se desconoce, pero se sabe que el VSWR vale 2 y que la distancia

entre máximos adyacentes de voltaje de la onda estacionaria es de 8 cm. También se sabe que el primer mínimo de voltaje está a 1.5 cm a la izquierda de la carga. ¿Cuánto vale Z_L ? Considere aire como dieléctrico en la línea.

- Se tiene una línea de transmisión sin pérdidas y desacoplada, como se indica en la figura. Se desea acoplarla con dos “stubs”, colocados en los puntos mostrados. Use la carta de Smith y encuentre la longitud mínima que deben tener los “stubs”.
- Una línea sin pérdidas con admitancia característica de 0.01 termina en una carga con admitancia $Y_L = 0.004 + j0.006$. Calcule la posición y la longitud de un equilibrador reactivo que permita acoplar a la línea.
- Una línea de transmisión con $Z_0 = 50$ tiene una carga con $Z_L = 60 + j80$. Se necesita acoplarla con dos “stubs”, separados $\lambda/8$ entre sí. Como requisito, el primer “stub” debe ir conectado en el mismo punto donde está la carga. Encuentre la longitud de cada “stub”.