
Prácticas 1 y 2

Línea de transmisión en régimen transitorio y estacionario

Alejandro José Florido Tomé
Gea Pignotti

21 septiembre 2022 - 5 octubre 2022

Índice

1. Resumen	3
2. Práctica 1: Línea de transmisión en régimen transitorio	3
2.1. Introducción	3
2.2. Metodología	3
2.3. Fundamento teórico	5
2.4. Resultados y cuestiones	6
2.5. Conclusión	9
3. Práctica 2: Línea de transmisión en régimen estacionario	11
3.1. Introducción	11
3.2. Metodología	11
3.3. Fundamento teórico	13
3.4. Resultados y cuestiones	15
3.5. Conclusión	19
4. Bibliografía	20
5. Cuadernos de laboratorios.	21
5.1. Gea.	21
5.2. Alejandro.	25

1. Resumen

En el siguiente trabajo se va a presentar lo que se hizo en el laboratorio, donde estuvimos trabajando con una línea de transmisión en dos regímenes distintos: el transitorio y el estacionario.

En el primero, se buscaba determinar los distintos comportamientos de la línea cambiando el valor de la impedancia en la carga.

En la segunda, colocamos un corto en la carga, para poder observar la forma de la onda estacionaria.

Es importante el estudio de las líneas porque permiten la transmisión de información y energía de un punto a otro.

2. Práctica 1: Línea de transmisión en régimen transitorio

2.1. Introducción

En la presente práctica se estudiará la propagación de un pulso de voltaje e intensidad de forma aproximadamente gaussiana a través de una línea de transmisión. En esta condición se puede hablar de régimen transitorio, porque la corta duración del pulso solo da lugar a interferencias en los instantes en que se produce la coincidencia en el espacio de los pulsos incidente y reflejado.

Según vayamos cambiando la forma de la carga, se verá como se comporta el circuito, con lo que se podrá hallar la velocidad de grupo, la constante de atenuación y el coeficiente de reflexión.

2.2. Metodología

Para poder realizar la práctica necesitamos un generador de tensión (que produce una tensión $V_g = (15,0 \pm 0,1)V$, y con una resistencia interna de $Z'_g = (50 \pm 1) \text{ ohmios}$), un generador de pulsos de frecuencia $f = (125 \pm 1) \text{ kHz}$ (alimentado por el generador de tensión), una línea de transmisión de longitud $l = (100 \pm 1) \text{ m}$ e impedancia característica $Z_0 = (75 \pm 1) \text{ ohmios}$ (es un medio confinado por el que se propagará el pulso), un osciloscopio (con la que se verá la forma de los pulsos y con la que se puede calcular sus frecuencias y amplitudes, entre otras), cuatro resistencias de $(100 \pm 1) \text{ ohmios}$ cada una (se colocan en paralelo al principio del cable coaxial para que equivalgan a una resistencia de $(25,00 \pm 0,25) \text{ ohmios}$ en serie a Z'_g) (véase la Figura 2) y, al final de la línea, colocamos distintas impedancias (necesitamos una resistencia $Z_L = (100 \pm 1) \text{ ohmios}$, y tres

condensadores de capacitancias $C_1 = (10,0 \pm 0,01) \text{ nF}$, $C_2 = (22,0 \pm 0,01) \text{ pF}$ y $C_3 = (1,000 \pm 0,001) \text{ nF}$.

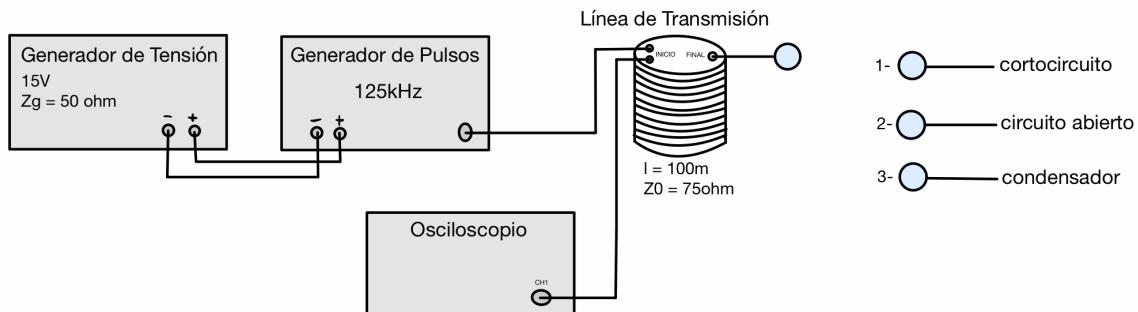


Figura 1. Montaje experimental del circuito de la práctica 1, donde se aprecia como se deben conectar los distintos instrumentos que se van a usar.

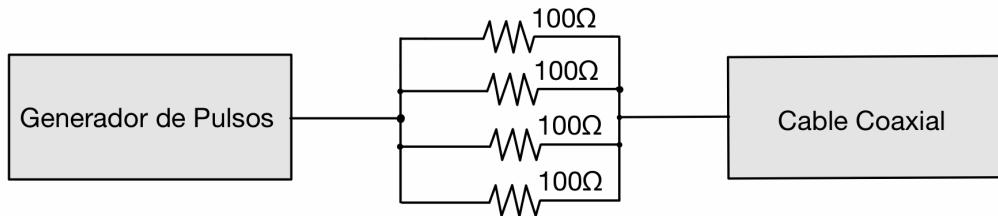


Figura 2. Representación gráfica de la disposición de las resistencias situadas al comienzo del cable coaxial, que se encuentra en serie con el generador de pulsos.

En la Figura 1 viene representado lo explicado en el párrafo anterior, donde se aprecia que debemos colocar el osciloscopio al principio de la línea para poder medir la onda incidente y reflejada que se propagan por ella.

Con el montaje listo, procederemos a calcular el coeficiente de atenuación y la velocidad de grupo, para lo que colocaremos al final de la línea un cortocircuito y un circuito abierto; también hallaremos el coeficiente de reflexión colocando cargas resistivas al final de la línea; y, por último, evaluaremos el comportamiento de la línea al colocar en su final condensadores de distintas capacitancias.

Precauciones especiales:

-Recordar que, en el osciloscopio, hay un factor 10 a tener en cuenta que multiplica a todos los valores de la tensión (en esta relación ya se ha tenido en cuenta).

-A la hora de poner o quitar los conectores BNC, hay que tener precaución y presionar a través de la rosca metálica para no romperlos.

-Se fija la tensión del generador de tal manera que el osciloscopio siempre esté conectado directamente al generador (con la línea de transmisión no conectada).

-Las medidas con los cursores (que se mueven manualmente) tienen pequeños errores de paralaje. Estas tipologías de errores ocurren al observar la medida desde una posición alejada de la vertical de la muesca que se observa.

2.3. Fundamento teórico

1) Circuito abierto: En este primer caso, conocemos los valores de la impedancia de carga, $Z_L = \infty$ ohmios, y, por ende, como el coeficiente de reflexión se define como:

$$\Gamma_L = \frac{V(z = l)^-}{V(z = l)^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (1)$$

Donde $V(z = l)^-$ es el valor del voltaje reflejado al final de la línea, y $V(z = l)^+$ el voltaje incidente al final de la línea. Tendremos, sustituyendo todo lo que conocemos en (1), que el valor del coeficiente de reflexión es $\Gamma_L = 1$, lo que nos indica que las amplitudes de los voltajes del pulso incidente y reflejado tendrán el mismo signo (es decir, si una es positiva, la otra también lo será).

Como se comprobará en el siguiente apartado, la onda reflejada se encuentra atenuada respecto a la incidente. Para ello, nos ayudaremos de la relación existente entre el voltaje reflejado, V_r , en función del voltaje incidente, V_i . Para un punto cualquiera de la línea, el voltaje vendrá dada por la combinación lineal del voltaje incidente y reflejado y, admitiendo que la línea tiene pérdidas, dicha relación será:

$$V_r = V_i \cdot \Gamma_L \cdot e^{-2\alpha l} \quad (2)$$

Con α el coeficiente de atenuación, que es lo que buscamos. Para hallarla, tomaremos los valores de los voltajes en valor absoluto, tal que los hallaremos con ayuda de los cursores verticales del osciloscopio.

Con el circuito en abierto, aprovecharemos y hallaremos también la velocidad de grupo v_g , que no es más que la velocidad del pulso (del paquete de ondas) que se propaga por la linea. Cabe destacar que es la velocidad de grupo la que tiene sentido físico, mientras que la de fase no lo tiene, ya que es la velocidad asociada a la envolvente.

Para calcularla, mediremos con ayuda de los cursores horizontales del osciloscopio la diferencia de tiempo entre lo que tarda la onda incidente y reflejada, Δt , tal que en ese intervalo la onda habrá recorrido la línea ida y vuelta, siendo un total de $l_T = (200 \pm 2) \text{ m}$. Por tanto, la velocidad de grupo vendrá dada por:

$$v_g = \frac{l_T}{\Delta t} \quad (3)$$

2) Cortocircuito: En segundo lugar, cortocircuitaremos la carga que está al final de la línea, con lo que $Z_L = 0$ y, sustituyendo en (1), $\Gamma_L = -1$, lo que nos indica que los voltajes de las ondas incidente y reflejada tienen distinto signo. De nuevo, con los cursores verticales, tomaremos los valores de los voltajes, y con ayuda de la ecuación (2), hallamos el coeficiente de atenuación, que debería de darnos el mismo valor que el hallado para el circuito abierto ya que la onda tendrá la misma frecuencia (cabe destacar esto porque $\alpha(\omega)$).

En este caso, no nos preocupamos por el signo que obtengamos de la ecuación (2), porque, al ser uno de los voltajes negativo, y $\Gamma_L = -1$, acabaremos obteniendo un número positivo.

3) Carga resistiva: A continuación, colocaremos al final de la línea una carga resistiva de impedancia de carga $Z_L = (100 \pm 1) \text{ ohmios}$, y nuestro objetivo será hallar el coeficiente de reflexión teórica (con la ecuación (1)) y experimentalmente (con la ecuación (2), donde usaremos como valor de α el obtenido en los apartados 1) y / ó 2)). Si obtenemos el mismo valor, podremos verificar que el valor obtenido del coeficiente de atenuación es correcto.

4) Carga capacitiva: Por último, colocaremos como carga un condensador de capacitancia C e impedancia $Z_L = \frac{1}{j\omega C}$, donde ω será la frecuencia angular de la onda que se transmite por la línea, y que intentará cargarlo (al condensador).

Por tanto, con ayuda de la ecuación (1), evaluemos teóricamente qué ocurrirá con el condensador para los distintos valores de las capacitancias:

-Si $C_1 = (10,0 \pm 0,01) \text{ nF}$, es una capacidad grande en comparación con los valores estándar de las capacitancias, por lo que podemos aproximar la impedancia $Z_L \rightarrow \frac{1}{j\omega\infty} \rightarrow 0$. Es decir, que la carga contenida en el pulso no debería de ser capaz de cargar el condensador, y deberíamos de observar algo análogo, según (1), a un cortocircuito ($\Gamma_L = -1$).

-Si $C_2 = (22,0 \pm 0,01) \text{ pF}$, será una capacidad pequeña en comparación con los valores estándar de las capacitancias, conque, análogamente al caso anterior, podemos aproximar la impedancia por $Z_L \rightarrow \frac{1}{j\omega 0} \rightarrow \infty$. Esto nos indica que el condensador se cargaría con facilidad, y que, según (1), se comportaría como un circuito abierto ($\Gamma_L = 1$).

-Si $C_3 = (1,00 \pm 0,01) \text{ nF}$, estaremos en un caso intermedio entre los dos anteriores. Esto nos lleva a que el condensador se comportaría como un cortocircuito mientras se carga, y una vez cargado, como un circuito abierto.

En el laboratorio, nos dedicaremos a colocar las distintas capacitancias al final de la línea, y a ver la forma de la onda incidente y reflejada, para evaluar el comportamiento del condensador en los distintos casos recién explicados.

2.4. Resultados y cuestiones

1) Circuito abierto: Al colocarlo al final de la línea, en el osciloscopio observamos lo que presentamos en la Imagen 1: una onda incidente y una reflejada atenuada (con menor amplitud de que la incidente), lo que nos indica claramente que estamos ante una línea con pérdidas (debidas al efecto Joule ya que el medio tiene una conductividad finita, cosa que afectará a toda la práctica).

Si nos fijamos en la parte inferior de la Imagen 1, bajo las ondas, tenemos los valores de pico de las tensiones de las ondas incidentes y reflejadas (halladas gracias a los cursores verticales, Y1 e Y2), dadas por $|V_r| = (1,90 \pm 0,01) \text{ V}$ y $|V_i| = (2,91 \pm 0,01) \text{ V}$, y de la

diferencia de tiempos entre ambas (con ayuda de los cursores horizontales, ΔX), $\Delta t = (782 \pm 1) \text{ ns}$ (hemos decidido tomar unos errores tan grandes en comparación con los datos por el osciloscopio porque, en la práctica, nos era imposible ser tan precisos con los cursores, por lo que hemos decidido plasmarlo en los errores de las magnitudes directas tomadas).

Por ende, tenemos lo necesario para hallar la velocidad de grupo y el coeficiente de atenuación, que, con ayuda de las ecuaciones (2) y (3), obtendremos:

$$\alpha = (0,00213 \pm 0,00004) \text{ Np/m}$$

$$v_g = (2,5 \pm 0,3) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

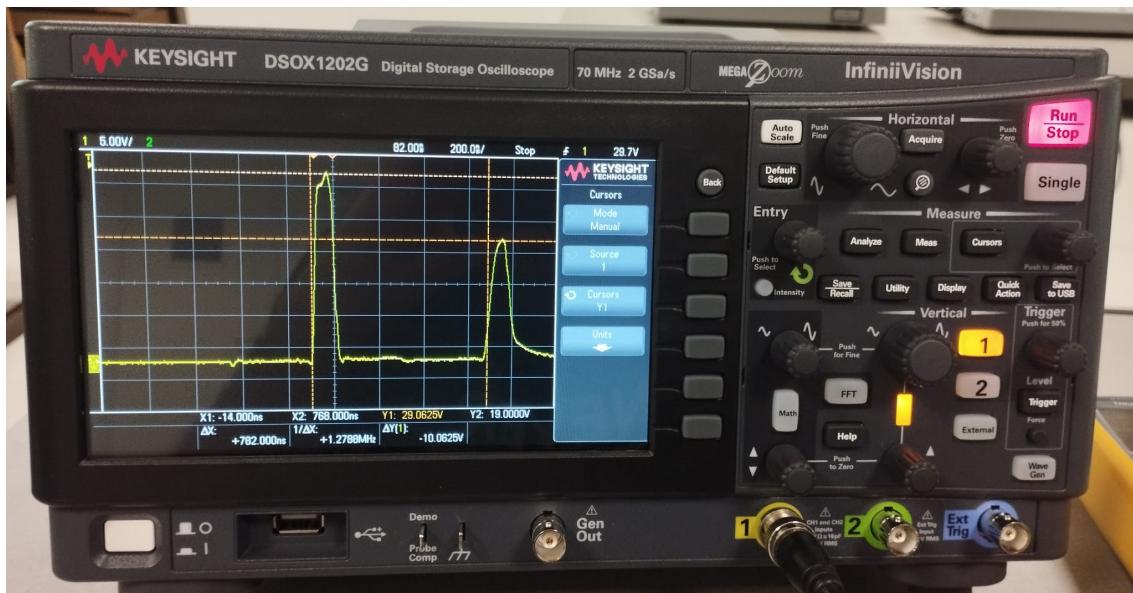


Imagen 1. Onda incidente y la reflejada para el circuito abierto.

Con los cursores se resaltan los valores máximos de las amplitudes de ambas ondas (Y1 e Y2), y la diferencia de tiempo entre ellas (ΔX).

2) Cortocircuito: Al cortocircuitar la carga, en el osciloscopio observamos lo que se presenta en la Imagen 2, una onda reflejada atenuada y amplitud negativa respecto a la incidente.

De la Imagen 2 extraemos los siguientes datos: $V_i = (2,90 \pm 0,01) \text{ V}$ y $V_r = (-1,90 \pm 0,01) \text{ V}$. Con estos valores, y con la ecuación (2) (recordar que, en el cortocircuito, $\Gamma_L = -1$), obtenemos el siguiente valor de α :

$$\alpha = (0,002114 \pm 0,000020) \text{ Np/m}$$

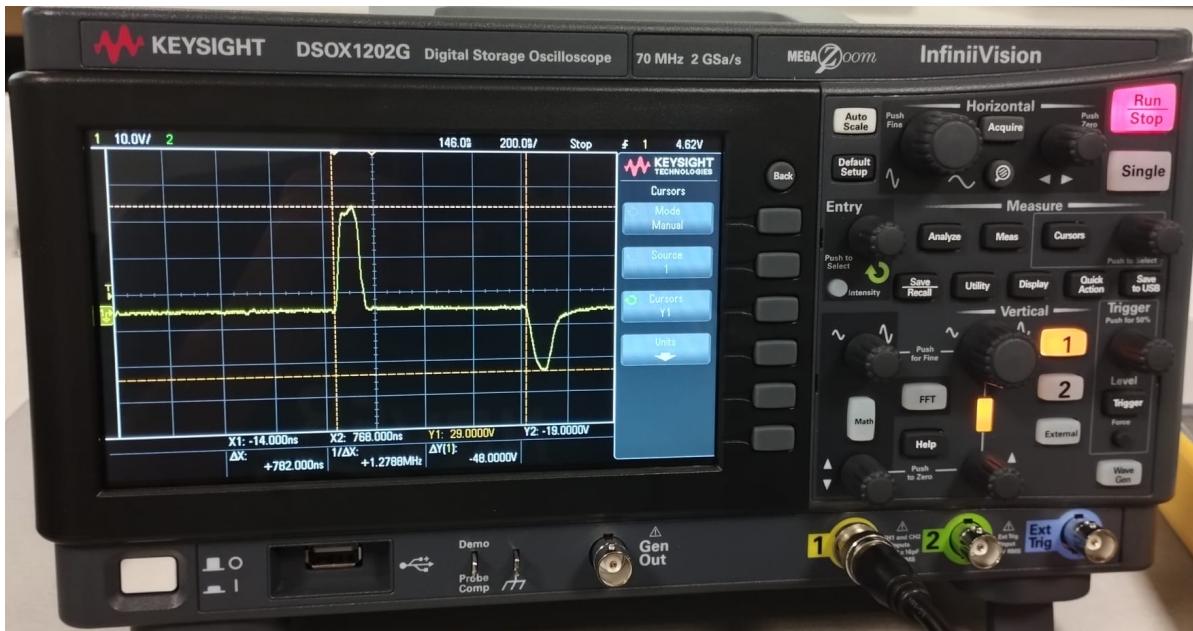


Imagen 2. Onda incidente y la reflejada para el cortocircuito, observadas en el osciloscopio.

3) Carga resistiva: Cuando tenemos una carga resistiva al final de la línea de $Z_L = (100 \pm 1)$ ohmios, y recordando que $Z_0 = (75 \pm 1)$ ohmios, con (1) obtenemos un valor teórico del coeficiente de reflexión de $\Gamma_{Lteo} = (0,143 \pm 0,009)$.

En el laboratorio, con el osciloscopio, observamos lo que se presenta en la Imagen 3, de donde extraemos que $V_r = (0,16 \pm 0,01)$ V y $V_i = (2,91 \pm 0,01)$ V, conque obtendremos el valor experimental de Γ_L despejando de (2) (usaremos el valor de α obtenido para el circuito abierto porque tiene un error más grande, y abarca un mayor rango de valores), obteniendo $\Gamma_{Lexp} = (0,085 \pm 0,006)$.

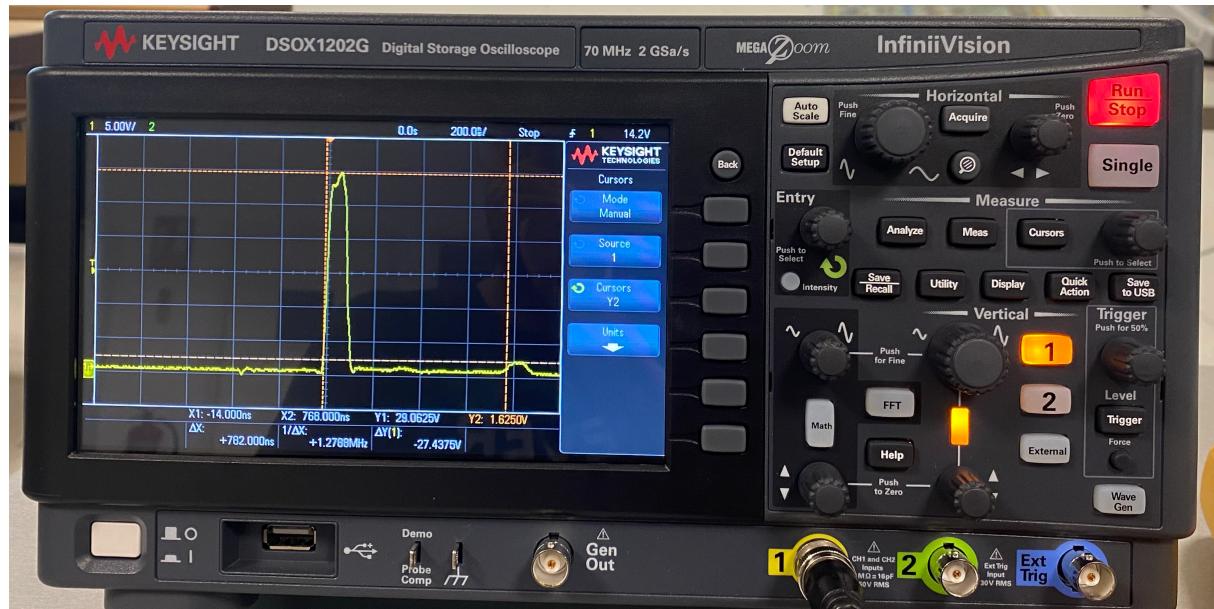


Imagen 3. Onda incidente y reflejada para la carga resistiva observadas en el osciloscopio.

4) Carga capacitiva: Finalmente, se puede comprobar en el laboratorio que, al colocar un condensador de capacitancias $C_1 = (10,0 \pm 0,01) \text{ nF}$ y $C_2 = (22,0 \pm 0,01) \text{ pF}$, se observa el mismo comportamiento que un cortocircuito (onda reflejada atenuada y con amplitud del mismo signo que la onda incidente) y que un circuito abierto (onda reflejada atenuada y con amplitud de signo opuesto a la onda incidente), respectivamente.

Si se quiere ver la forma de las ondas, véase las Imágenes 1 (asociado a C_1) y 2 (asociado a C_2), ya que se observa el mismo comportamiento.

El caso interesante lo encontramos para la capacitancia intermedia de $C_3 = (1,00 \pm 0,01) \text{ nF}$. Lo observado con el osciloscopio lo presentamos en la Imagen 4.

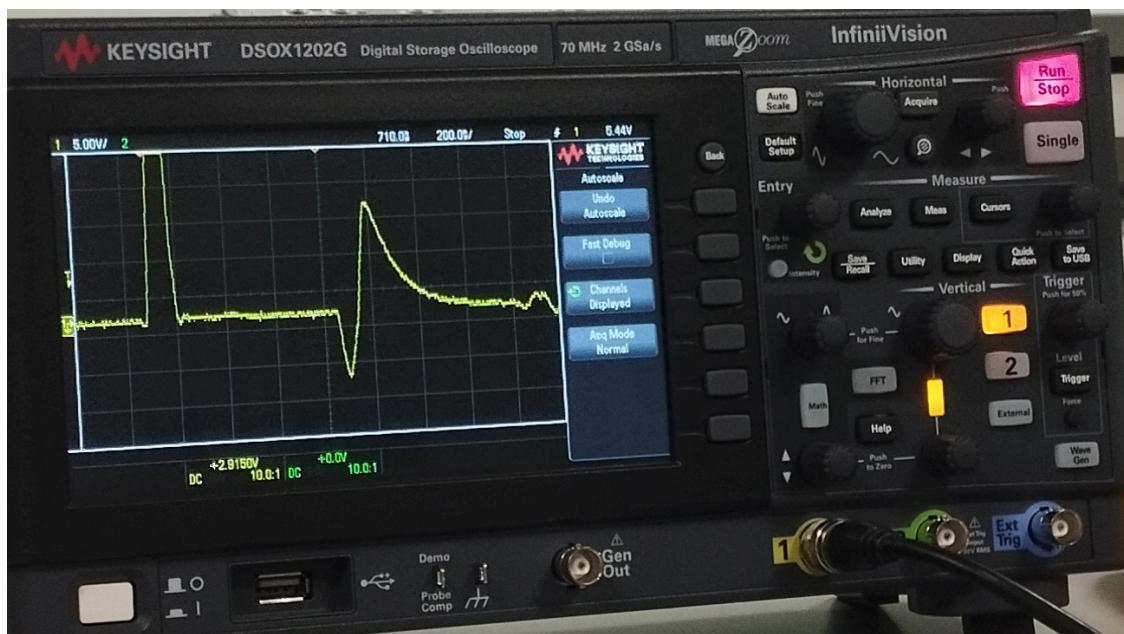


Imagen 4. Onda incidente y reflejada para la carga capacitiva $C_3 = (1,00 \pm 0,01) \text{ nF}$.

Tal y como se observa en la Imagen 4, tenemos una onda incidente de voltaje positivo (se trata de la que se encuentra a la izquierda), y una onda reflejada (derecha), que, mirando de izquierda a derecha, tiene una amplitud negativa debido a que el condensador se está cargando, comportándose como un cortocircuito, hasta que el condensador se cargue, momento en el que se comenzará a comportar como un circuito abierto, y por ello comienza a tener un voltaje positivo.

2.5. Conclusión

Con todo lo anterior, hemos podido ver los distintos comportamientos de la línea de transmisión cuando se le van colocando distintas cargas al final de ella.

Comencemos comentando el valor de la velocidad de grupo:

$$v_g = (2,5 \pm 0,3) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Dicho valor nos sale algo coherente físicamente, ya que debe ser menor que la velocidad de la luz $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, y no es más que la velocidad con la que se mueve el pulso que se propaga por la línea en toda la práctica. Además, podemos calcularla porque

el medio es poco dispersivo (observando todas las imágenes anteriores, se ve que la onda reflejada se encuentra un poco más dispersada que la incidente, pero no lo suficiente como para admitir que el medio es muy dispersivo).

También hemos calculado el valor del coeficiente de atenuación al sustituir la carga por un circuito abierto y por un cortocircuito, obteniendo:

$$\alpha_{abier} = (0,00213 \pm 0,00004) \text{ Np/m}$$

$$\alpha_{cort} = (0,002114 \pm 0,000020) \text{ Np/m}$$

El error relativo entre las magnitudes es del 0,8%. Esto nos indica que ambos valores son prácticamente iguales, tal como se puede observar a simple vista. Se diferencia en la quinta cifra significativa, pero gracias a sus respectivos errores, coinciden en todos sus valores (en específico, α_{abier} abarca todos los valores de α_{cort}).

Así, podemos afirmar que la línea presenta unas pérdidas que atenuarán todas las ondas de la práctica, con una constante de atenuación prácticamente igual para la carga en abierto y corto.

Al colocar la carga resistiva Z_0 , obtuvimos los siguientes valores del coeficiente de reflexión:

$$\Gamma_{Lteo} = (0,143 \pm 0,009)$$

$$\Gamma_{Lexp} = (0,085 \pm 0,006)$$

Ambos valores nos salen bastante distintos, seguramente a algún fallo en la lectura, que haya un error en la medida. Se tendría que volver a hacer esta parte en el laboratorio para ver que son efectivamente iguales.

En último lugar, pudimos observar satisfactoriamente cómo se comporta el circuito al colocar al final de la línea una carga capacitiva: lo que intuimos teóricamente, se pudo ver experimentalmente. Esto último es muy curioso porque, con un condensador, podemos obtener el comportamiento de un cortocircuito, de un circuito abierto o de un híbrido entre ambos, solo cambiando el valor de su capacitancia. Es decir, con un solo elemento eléctrico, podemos tener tres situaciones completamente distintas entre sí.

3. Práctica 2: Línea de transmisión en régimen estacionario

3.1. Introducción

En esta segunda práctica, se habla sobre las líneas de transmisión en régimen estacionario, que no es más que la superposición de la onda incidente y reflejada, donde la línea de transmisión será alimentada con una señal con variación armónica.

Se mide la velocidad de fase de la onda que se propaga por la línea (es decir la velocidad a la que habría que desplazarse por la línea para que la fase de la onda sea constante), la resistencia de los conductores del cable coaxial, y se observa la forma de la onda estacionaria al cortocircuitar la carga.

3.2. Metodología

Para esta práctica, se nos presenta lo mismo que para la práctica 1 (véase la Figura 1), con la diferencia de que en lugar del generador de pulsos tenemos un generador de señales con variación armónica. La tensión proporcionada por el generador esta vez será de $V_g = (10,0 \pm 0,1)V_{pp}$, y al final de la línea solo tendremos un cortocircuito. Para conseguir esta tensión, conectaremos el generador de tensión solo al osciloscopio, y una vez tengamos la tensión deseada, lo conectamos al resto del circuito de la misma forma que en la práctica 1. Necesitaremos también un multímetro.

El montaje experimental de forma esquemática se puede ver en la Figura 3, donde mostramos donde hay que colocar el osciloscopio (al principio y al final de la línea), y la resistencia equivalente de las cuatro resistencias en paralelo de 100 ohmios.

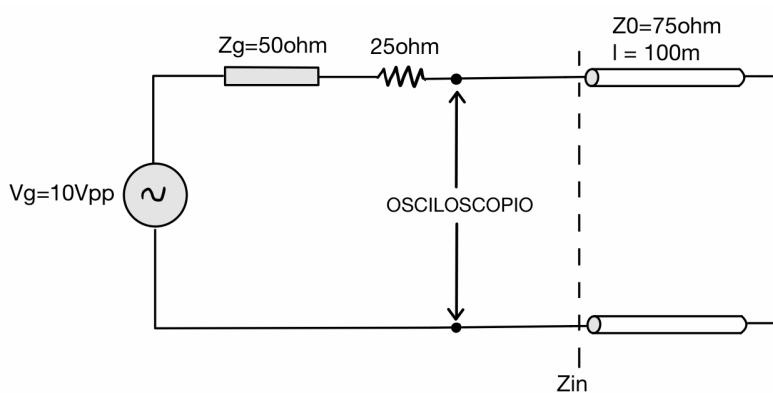


Figura 3. Montaje experimental de la práctica 2, donde se muestra donde hay que colocar en el osciloscopio, y los valores de la impedancia del generador (y su tensión), la asociada a las cuatro resistencias en paralelo de 100 ohmios, y la de la línea, junto a la longitud de la última.

Con el montaje listo, nos podemos preguntar cómo se verá la onda en los puntos en lo que hemos colocado las sondas del osciloscopio. El resultado lo presentamos en la

Imagen 5, apreciándose una onda estacionaria, que era lo que queríamos tener. Es decir, se puede decir que vamos por buen camino.

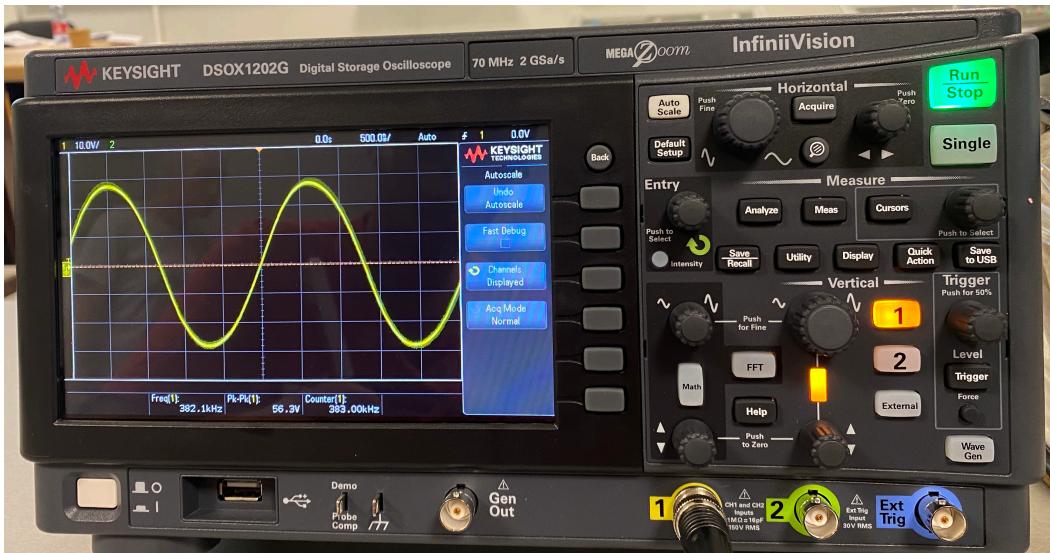


Imagen 4. Tensión y frecuencia medidas al principio de la línea (los valores están debajo de la forma de la onda) cuando conectamos el generador con 10Vpp al resto del circuito. Se ve que estamos ante una onda estacionaria.

Lo primero que buscaremos será una frecuencia mínima para lo que ocurre lo que explicamos a continuación. Ayudándonos con el osciloscopio, vemos los valores de los voltajes de las ondas estacionarias. Entonces, partiendo desde bajas frecuencias, irá aumentando los valores de los voltajes, por lo que la forma de la onda se verá más grande, hasta llegar a una frecuencia “máxima”. A partir de dicho punto, la forma de la onda y las amplitudes de los voltajes irán disminuyendo, siempre aumentando la frecuencia, hasta volver a llegar a otro punto de inflexión en que se alcanzará la frecuencia mínima que se busca, tal que, a partir de ella, los voltajes de la onda volverán a aumentar.

A partir de la frecuencia mínima y del voltaje mínimo que tendrá asociado, podemos hallar la velocidad de fase de la onda y la impedancia a la entrada de la línea.

Experimentalmente (que sería una medida directa), podemos hallar la resistencia de los conductores que se encuentran en el interior del cable coaxial. Para ello, nos ayudamos con el multímetro, y mediremos la resistencia directamente al principio de la línea. Para obtener el valor correcto, tendremos que desconectar después (o antes, no importa el orden) el generador y el osciloscopio de la línea, y conectar el multímetro al principio de la misma debido a que habrá un error cero presente (es decir, el circuito sin generador ni osciloscopio presenta una resistencia no nula que habrá que tener en cuenta).

Al final, partiendo desde los 200 kHz hasta los 1600 kHz subiendo de 100 en 100, tomaremos los valores asociados de la tensión a la entrada de la línea, para una tensión del generador de $V_g = (10,2 \pm 0,1) V_{pp}$.

3.3. Fundamento teórico

Al cortocircuitar la carga al final de la línea, se produce una onda estacionaria en la línea, que no es más que la superposición de la onda incidente y reflejada (no hay más ondas porque la resistencia equivalente del generador es la suya más la resistencia que tiene en serie, siendo de $Z_g = (75 \pm 2)$ ohmios, y como la línea tiene una impedancia de $Z_0 = (75 \pm 1)$ ohmios, el coeficiente de reflexión en el generador será nulo, $\Gamma_g = \frac{Z_g - Z_0}{Z_g + Z_0} = 0$).

Asociada a la frecuencia mínima que buscaremos con ayuda del osciloscopio, hay un voltaje mínimo. Con la primera, calcularemos la velocidad de fase de la onda:

$$v_f = \lambda \cdot f_{min} \quad (4)$$

Donde λ es la longitud de onda de la onda.

Y, con el voltaje mínimo $|V(z=0)|$ (es la tensión en $z=0$ porque tenemos conectado el osciloscopio al principio de la línea), podemos determinar la impedancia a la entrada (que al estar en corto, será resistiva), dada por (se usa teoría de circuitos para hallar la fórmula):

$$|V(z=0)| = \frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_g} |V_g| \quad (5)$$

Con estos datos, podemos calcular el coeficiente de atenuación a partir de la expresión del coeficiente de reflexión al principio de la línea:

$$\Gamma(z' = l) = \Gamma_L e^{-2\gamma l} = \frac{R_{in} - R_0}{R_{in} + R_0} \quad (6)$$

Como estamos en corto, $\Gamma_L = -1$, y donde $\gamma = \alpha + j\beta$ es la constante de propagación, $j\beta$ la constante de fase.

Sabemos que en el corto hay un mínimo, y que la distancia hasta el siguiente mínimo es, por definición de onda estacionaria en la que hay una periodicidad, media longitud de onda, $\lambda/2$. Entonces, esta coincidirá con la longitud de la línea (porque el primer mínimo está al principio de la línea, a una distancia l de la carga). Es decir, $\lambda/2 = l$.

Por tanto, la condición de mínimo nos lleva a la siguiente expresión (usaremos la expresión por la que se define la constante de fase, $\beta = 2\pi/\lambda$):

$$\beta l = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \pi \quad (7)$$

Entonces, sustituyendo todo lo que sabemos en (6), obtendremos:

$$-e^{-2\alpha l} = \frac{R_{in} - R_0}{R_{in} + R_0} \quad (8)$$

De la que podemos calcular el coeficiente de atenuación.

A continuación, determinemos la resistencia que tienen los cables conductores (el cable interno y el cable externo de apantallamiento) que componen el cable coaxial. Este valor, como ya hemos comentado, se puede obtener experimentalmente, pero también teóricamente. Para ello, recurramos al modelo de un trozo infinitesimal de una línea de transmisión con pérdidas (véase la Figura 4).

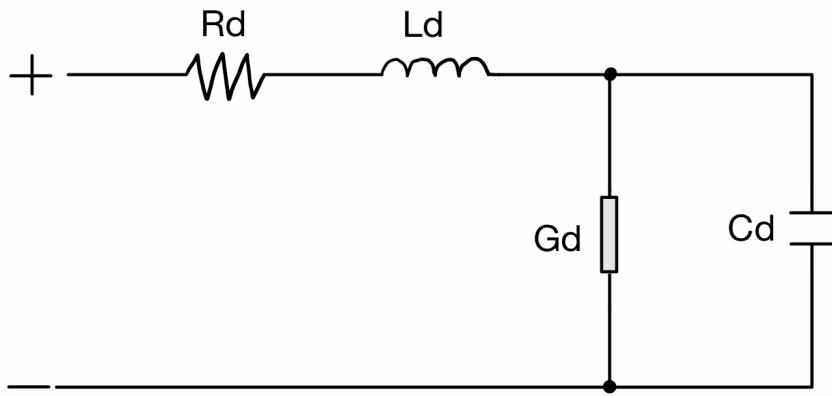


Figura 4. Modelo de un trozo infinitesimal de una línea de transmisión con pérdidas.

Trabajaremos con frecuencias pequeñas ($f \rightarrow 0$), por lo que la impedancia de la bobina, dada por $Z_{Ld} = j\omega L$, se puede aproximar por cero ($\omega = 2\pi f \rightarrow 0$), pudiéndolo sustituir por un cortocircuito. Para el condensador, que tiene una impedancia de $Z_{Cd} = \frac{1}{j\omega C}$, que será infinita, sustituyéndola por un circuito abierto. Además, admitiremos que la conductancia Gd , debida al imperfecto aislamiento de los conductores, se puede aproximar por cero porque hay pérdidas pequeñas.

Entonces, el modelo equivalente de la línea será simplemente como una resistencia Rc (resistencia del cable coaxial), y nuestro montaje será similar al de la Figura 3, pero sustituyendo la línea de transmisión por la resistencia recién mencionada, que es el valor que buscamos (véase la Figura 5).

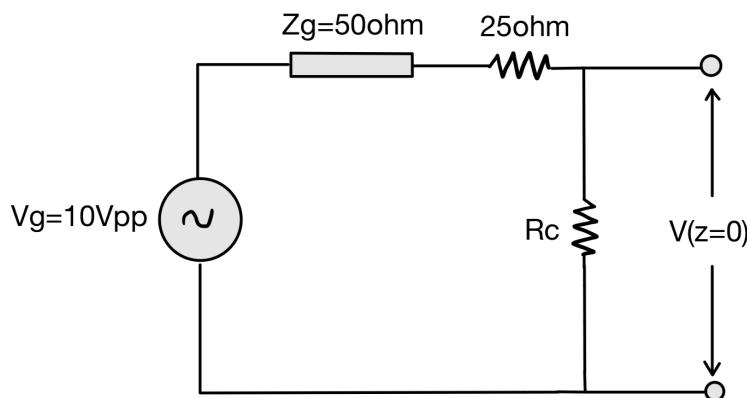


Figura 5. Montaje análogo al de la Figura 3, pero donde hemos sustituido la línea de transmisión por una resistencia R_c debido a que trabajaremos con bajas frecuencias, y hemos aproximado la conductancia por cero.

Basándonos en la Figura 5, la tensión en la entrada, que la sabremos gracias al osciloscopio, será como un divisor de tensión:

$$|V(z=0)| = \frac{R_c}{R_c + R_g} |V_g| \quad (9)$$

De la que calcularemos R_c .

En último lugar, queremos representar el voltaje a la entrada de la línea frente a la longitud eléctrica, dada por:

$$l_e = \frac{l}{\lambda} = \frac{l}{v_f} \cdot f \quad (10)$$

En la que la frecuencia la obtendremos con ayuda del osciloscopio.

Para hallar el voltaje a la entrada de la línea, partiremos de la siguiente expresión:

$$|V(z=0)| = V_{in} = \frac{|Z_{in}|}{|Z_{in}| + Z_g} |V_g| \quad (11)$$

Donde Z_{in} es la impedancia a la entrada de la línea que, por definición, se calcula con:

$$Z_{in} = Z_0 \cdot \frac{Z_L + Z_0 j \tan(2\pi l_e)}{Z_0 + Z_L j \tan(2\pi l_e)} \quad (12)$$

Como la línea está en corto ($Z_L = 0$), la expresión (12) se reduce a:

$$|Z_{in}| = Z_0 \cdot \tan(2\pi l_e) \quad (13)$$

Así, tenemos totalmente determinadas, a partir de la frecuencia de la onda, la longitud eléctrica, y la impedancia y el voltaje a la entrada de la línea.

3.4. Resultados y cuestiones

Comencemos con los cálculos para la línea en régimen estacionario, en la que empezamos obteniendo una frecuencia mínima de $f_{min} = (1,250 \pm 0,001) \text{ MHz}$, con un valor de la tensión asociada de $V(z=0) = (0,84 \pm 0,01) \text{ V}$.

Con la frecuencia, y recordando que $\lambda = 2l$, podemos hallar la velocidad de fase con (4):

$$v_f = (2,50 \pm 0,03) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Y, con la tensión al principio de la línea y el valor de la tensión del generador, $V_g = (5,00 \pm 0,01) \text{ V}$, podemos hallar el valor de la resistencia a la entrada con la ecuación (5) (recordar que $R_g = (50 \pm 1) \text{ ohmios}$):

$$R_{in} = (10,09 \pm 0,21) \text{ ohmios}$$

Así que tenemos lo necesario para despejar y obtener de la ecuación (8) el coeficiente de atenuación:

$$\alpha = (0,00135 \pm 0,00005) \text{ Np/m}$$

Este coeficiente de atenuación nos sale bastante distinto al hallado en la práctica 1, pero tiene sentido porque este depende de la frecuencia, y estamos trabajando a distintas frecuencias.

A continuación, para unas frecuencias de 2 kHz, obtendremos dos valores de la resistencia de los conductores del cable coaxial:

-Experimentalmente, con ayuda del multímetro, encontramos un error de cero de $(0,4 \pm 0,1) \text{ ohmios}$. Esto es una magnitud que habrá que restar a todas las resistencias que tomemos de esta manera. Entonces, al medir la resistencia al principio de la línea, obtenemos un valor de:

$$R_{cexp} = (13,7 \pm 0,2) \text{ ohmios}$$

-Teóricamente, teniendo en cuenta que la resistencia interna del generador es ahora $Z_g = (75 \pm 2) \text{ ohmios}$, sustituymos en (9):

$$R_{cteo} = (15,1 \pm 0,3) \text{ ohmios}$$

En último lugar, obtendremos las frecuencias y voltajes experimentales directamente con ayuda del osciloscopio, tal que obtendremos la longitud eléctrica con la ecuación (10). Para ver los resultados, véase la Tabla 1.

Para hallar sus valores teóricos, partiremos de los 200 kHz, e iremos sumando 100 kHz hasta llegar a los 1600. Con esto, somos capaces de hallar la longitud eléctrica con (10), la impedancia a la entrada de la línea con (13), y el voltaje teórico al comienzo de la línea con (11). Para ver sus valores, véase la Tabla 2.

Entonces, con las valores de las Tabla 1 y 2, representemos el voltaje teórico y experimental al comienzo de la línea frente a la longitud eléctrica (véase la Gráfica 1).

Remarcamos que hemos representado los voltajes pico-pico, cosa que es irrelevante ya que lo que se quiere es observar la forma de la onda, y se verá igual ya sea usando V_{pp} o su mitad, solo cambiaría la amplitud de la onda, pero no los lugares en los que se localizan los máximos o mínimos de la misma.

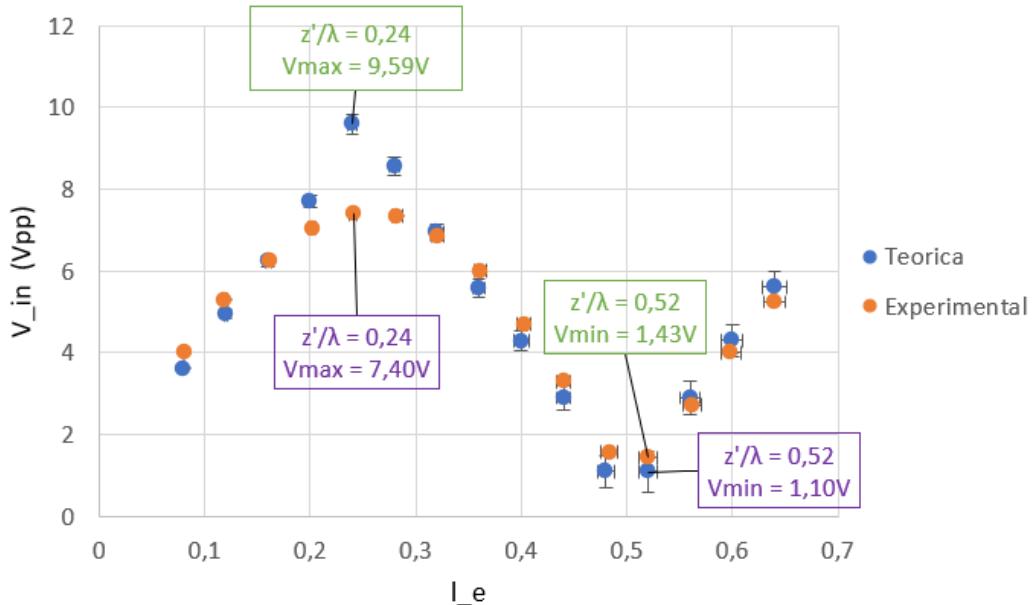
f (KHz)	V_{in} ($\pm 0,01$ Vpp)	$l_e (\cdot 1000)$
$200,82 \pm 0,01$	4,00	$80,3 \pm 1,3$
$297,71 \pm 0,01$	5,30	$119,1 \pm 1,9$
$404,9 \pm 0,1$	6,25	162 ± 3
$504,3 \pm 0,1$	7,05	202 ± 4
$601,9 \pm 0,1$	7,40	241 ± 4
$706,0 \pm 0,1$	7,35	282 ± 5
$802,3 \pm 0,1$	6,85	321 ± 6
$902,5 \pm 0,1$	6,00	361 ± 6
$1006,5 \pm 0,1$	4,70	403 ± 7
$1100,3 \pm 0,1$	3,30	440 ± 7
1209 ± 1	1,57	484 ± 8
1300 ± 1	1,43	520 ± 9
1405 ± 1	2,72	562 ± 9
1497 ± 1	4,00	599 ± 10
1599 ± 1	5,25	640 ± 10

Tabla 1. Se muestran los valores experimentales, de izquierda a derecha, de la frecuencia y del voltaje tomados con ayuda del osciloscopio (al ir variando la frecuencia, tenemos distintos valores de la tensión), y de la longitud eléctrica (multiplicada por un factor 1000 para no hacer la tabla muy engorrosa) hallada con la ecuación (10).

f (± 1 KHz)	$l_e (\cdot 1000)$	$ Z_{in} $ (ohmios)	V_{in} (Vpp)
200	$80,0 \pm 1,4$	$41,2 \pm 1,0$	$3,62 \pm 0,01$
300	$120,0 \pm 2,0$	$70,4 \pm 2,0$	$4,94 \pm 0,11$
400	160 ± 3	118 ± 5	$6,24 \pm 0,13$
500	200 ± 4	231 ± 16	$7,70 \pm 0,16$
600	240 ± 4	1200 ± 500	$9,59 \pm 0,24$
700	280 ± 5	390 ± 60	$8,56 \pm 0,23$
800	320 ± 6	159 ± 14	$6,94 \pm 0,21$
900	360 ± 6	91 ± 7	$5,58 \pm 0,21$
1000	400 ± 7	54 ± 5	$4,29 \pm 0,23$
1100	440 ± 7	30 ± 4	$2,9 \pm 0,3$
1200	480 ± 8	9 ± 4	$1,1 \pm 0,4$
1300	520 ± 9	9 ± 4	$1,1 \pm 0,5$
1400	560 ± 9	30 ± 5	$2,9 \pm 0,4$
1500	600 ± 10	55 ± 7	$4,3 \pm 0,4$
1600	640 ± 11	91 ± 12	$5,6 \pm 0,4$

Tabla 2. Se muestran los valores teóricos, de izquierda a derecha, de la frecuencia, de la longitud eléctrica (multiplicada por 1000 para que la tabla no sea muy engorrosa) calculada con la ecuación (10), la impedancia a la entrada de la línea hallada con (13), y el voltaje asociado al comienzo de la línea, obtenida con (11).

V_in frente l_e



Gráfica 1. Se ha representado los valores de las tensiones a la entrada de la línea, V_{in} , frente a la longitud eléctrica, l_e . Los valores tomados corresponden a los que se presentan en las Tablas 1 y 2. Como viene en la leyenda, la curva teórica es de color azul, y la curva experimental, naranja.

Se observa en la Gráfica 1 como, al aumentar la frecuencia desde los 200 kHz (recordar que, según (10), la longitud eléctrica y la frecuencia son directamente proporcionales, por lo que es equivalente decir que aumente una o otra: si una lo hace, ambas aumentarán), va aumentando la tensión a la entrada de la línea, hasta alcanzar un máximo para una longitud eléctrica de 0,24 (aproximadamente, véase su valor exacto en las Tablas 1 y 2). A continuación, seguimos aumentando la frecuencia, donde ahora la tensión va disminuyendo, hasta alcanzar un mínimo en una longitud eléctrica de 0,52 (aproximadamente, valor exacto en las Tablas 1 y 2).

Es decir, que la distancia entre el mínimo y máximo es la diferencia entre ellas, cuyos valores son $\Delta l_{e,teo} = (0,260 \pm 0,013)$ teóricamente, y $\Delta l_{e,exp} = (0,259 \pm 0,013)$ experimentalmente. Recordando que la longitud eléctrica se define como $l_e = \frac{l}{\lambda}$, podemos concluir que la distancia entre un máximo y un mínimo consecutivos es de $\lambda/4$, un comportamiento que presentan las ondas estacionarias como la que se observa en la Gráfica 1.

3.5. Conclusión

En primer lugar, lo que queríamos obtener era la velocidad fase, de donde obtuvimos un valor de:

$$v_f = (2,50 \pm 0,03) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Que es la velocidad a la que nos tendríamos que desplazar por la línea para que la fase de la onda fuese constante. Si recordamos el valor obtenido de la velocidad de grupo de la práctica 1:

$$v_g = (2,5 \pm 0,3) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Ambos valores nos salen iguales, incluso sin tener en cuenta el error. La información que esto nos transmite es que la línea se comporta como un dieléctrico y que, por ende, la onda se propague bien por ella.

No se ha dicho que sea un buen dieléctrico porque la velocidad de grupo tiene un error bastante grande, dando cuenta de la dispersión presente en la línea, y que impide admitir que ambas velocidades sean estrictamente iguales.

A continuación, se halló el coeficiente de atenuación de la línea:

$$\alpha = (0,00135 \pm 0,00005) \text{ Np/m}$$

Si comparamos este valor con los obtenidos en la práctica 1:

$$\alpha_{abierto} = (0,00213 \pm 0,00004) \text{ Np/m}$$

$$\alpha_{corto} = (0,002114 \pm 0,000020) \text{ Np/m}$$

Se ve que son bastante distintos los valores obtenidos para las distintas prácticas. Esto se debe a que, como recién hemos mencionado, nos encontramos ante un dieléctrico, donde la constante de atenuación depende de la frecuencia (si fuese un buen dieléctrico, sería independiente de la frecuencia y deberían de ser iguales), por lo que es totalmente lógico que sean diferentes.

Por otro lado, los valores teórico y experimental de la resistencia de los cables conductores que componen el cable coaxial son:

$$R_{cexp} = (13,7 \pm 0,2) \text{ ohmios}$$

$$R_{cteo} = (15,1 \pm 0,3) \text{ ohmios}$$

Ambos valores son salen distintos. Es verdad que salen del mismo orden, pero ni teniendo en cuenta el error coinciden. Para mejorar esta medida, volvería a medir con precisión y cautela el error de cero de la resistencia medida con el multímetro y la resistencia y la tensión al principio de la línea. También se puede deber a la simplificación que hemos hecho para frecuencias pequeñas, y que haya en realidad una conductancia y e impedancia de la bobina no nulas, y una impedancia del condensador no tan grande, por lo que la ecuación (9) sería incorrecta.

Por último, viendo la Gráfica 1, se ve claramente la forma de la onda estacionaria al representar la tensión al principio de la línea (teórica y experimental) frente a la longitud eléctrica, donde la distancia entre el máximo y mínimo consecutivos es de:

$$\Delta l_{e,teo} = (0,260 \pm 0,013)$$

$$\Delta l_{e,exp} = (0,259 \pm 0,013)$$

Que es equivalente a decir que la distancia es de $\lambda/4$, como es de esperar en las ondas estacionarias. Hay que destacar que algunos valores teóricos y experimentales de la tensión nos salen distintos, sobre todo en el punto en el que el voltaje a la entrada de la línea es máxima. Esto ocurre se calcula la impedancia al comienzo de la línea con (13), tal

que, para la tensión teórica máxima, hay un valor de la longitud eléctrica igual a $(0,240 \pm 0,004)$, dando un argumento de la tangente de 86,4 grados. Como es un ángulo cercano a 90 grados, en la que la tangente presenta una divergencia ($\tan(\pi/2)/\cos(\pi/2) = \infty$), se obtiene una impedancia al comienzo de la línea muy grande (véase la Tabla 2). Sustituyendo un valor tan grande en (11), se obtiene un número cercano a uno por la tensión del generador.

Es por ello que sale un valor tan distinto comparado con el valor experimental: debido a la divergencia que presenta el cálculo teórico del la impedancia al comienzo de la línea.

A parte del punto recién mencionado, el resto coinciden con total exactitud gracias a las barras de error, confirmando que el procedimiento teórico y experimental seguido ha sido correcto.

4. Bibliografía

- [1] Sadiku, M.N.O, Elements of Electromagnetics., 5 international ed. Oxford University Press 2011.
- [2] Hayt Jr, W. H., Buck J.A., Engineering Electromagnetics. 8 international ed. McGraw-Hill. 2012.

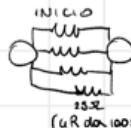
5. Cuadernos de laboratorios.

5.1. Gea.

LAB 21 - SETT

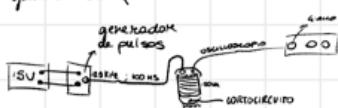
Linee di trasm. → cavo coassiale

200 - 100 m



$50\Omega \rightarrow$ Caratteristica del generatore
 $75\Omega \rightarrow$ Caratteristica della linea

generatore di impulso va alimentato col generatore da 15V (continua)



In base all'onda carico onda riflessa + onda re

$$R_L = \frac{Z_L \cdot Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \text{se } \begin{cases} Z_L = \infty & R_L = Z_0 \\ Z_L = 0 & R_L = Z_0 \end{cases}$$

$$R_L = \frac{V_o}{V_s} \Big|_{Z_L = Z_0}$$

quando è rifi. $R_L < Z_0 \rightarrow$ abbiano la V negativa

velocità in cui si muove l'impulso sulla linea

lo vediamo nell'oscilloscopio

$$\Delta t = 782 \text{ ns} \rightarrow r = \frac{z \cdot l}{\Delta t} = \frac{200}{782 \cdot 10^{-9}} =$$

differenza n. f. = piccolo = negativo

allungo aperto $Z_L = \infty$

$\Delta t = 782 \text{ ns}$

dispersione → onda riflessa + spessa ma + bassa
 impulso attenuato e disperso

grazie alla perdita o soffitto del conduttore conduttore finito

confluenza
di alternazione

I grande → inc. propaga. anche onda
 $V_o = e^{-\alpha z}$

verifichiamo V_i iniz. e $V_{refl.}$
 con la formula $\frac{|V_r|}{|V_i|} = e^{-\alpha z}$

$$V_i = 29,06 \text{ V}$$

$$V_r = 19,00 \text{ V}$$

$$0,65 = e^{-\alpha z}$$

$$\ln(0,65) = -\alpha z$$

$$\alpha = \frac{-0,65}{200} = 0,0032 \text{ dB/m} \rightarrow \text{in dB} + (4,656 - 0,0022) = 0,019 \text{ dB/m}$$

(al conto: piccola differenza)

$$V_i = 29$$

$$V_r = 19$$

la somma dell'onda alternata + onda, lo moltiplica per 10

valore di onda + valore di propagata circa

valore di risposta

al oscilloscopio → crescita (io interpreto solo sta, non è un problema dell'oscilloscopio)

con $Z_L = 100 \Omega$

$$I_L = \frac{2.5}{175} = 0.14 A$$

$$V_T = V_i R \cdot e^{j\omega t}$$

$$R = 100 \Omega$$

$$I_L = ? \quad \text{è della linea, indipendente dalla carica}$$

$$I_L = \frac{V_T}{V_i} \cdot e^{j\omega t}$$

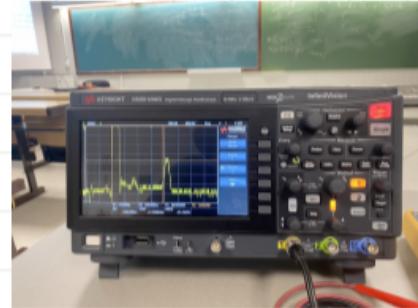
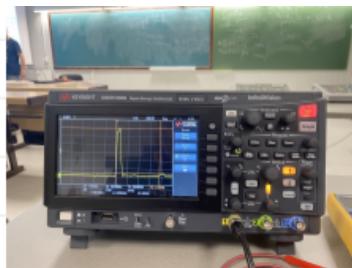
$$V_T = 1.63 V$$

$$V_i = 29.06 V$$

$$I_L = \frac{1.63}{29.06} \cdot e^{j\omega t}$$

$$I_L = 0.056 \cdot e^{j\omega t} = 0.055 \quad \text{ma a causa delle interferenze}$$

0.14 instead.



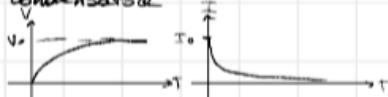
con condensatore

un impulso di:
pacchetto d'onda al r. frequenze } \rightarrow questo pacchetto di velocità al gruppo

come calcolare la frequenza?

trasform. di FOURIER

calcola e scarica del
condensatore



$C > (<) \Rightarrow$ circuito aperto ; $C < (>) \Rightarrow$ circuito chiuso

prendo $C = 10 \mu F$:

ampiezza negativa
" corto

C assorbe tutto il carico

prendo $C = 22 \mu F$:

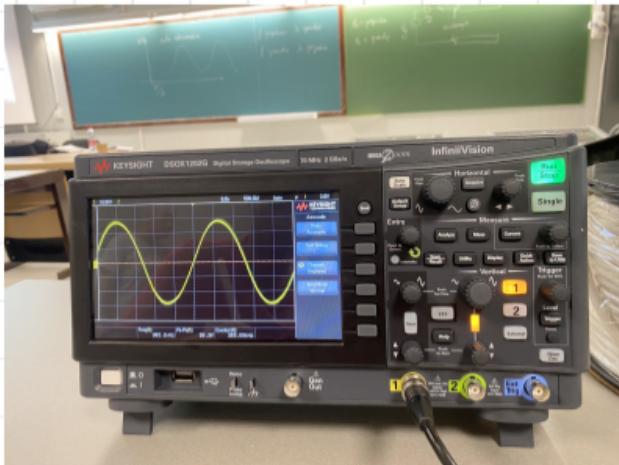
ampiezza positiva
" aperto
C

prendo $C = 4 \mu F \Rightarrow$ situazione intermedia pag. 12 del libro

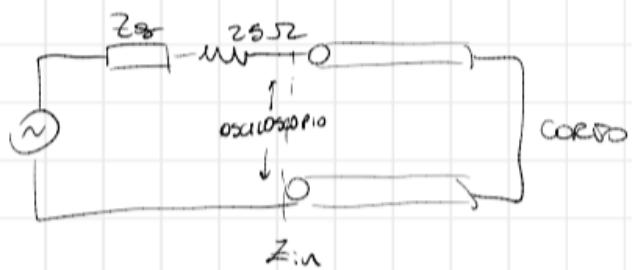
carico $\rightarrow C_C$ } onda negl. \rightarrow s.p. negativa
scarcia $\rightarrow C_L$

100 V pico pico \rightarrow $\times 10$ l'oscilloscopio multiplica $\times 10$
 383 KHz \Rightarrow f

PRACTICA 1 \rightarrow medido velocidad de grupo y λ
 ahora velocidad de fase



Línea corto al círcuito \Rightarrow onda estacionaria



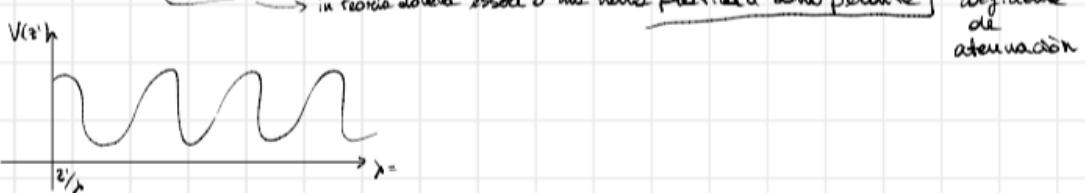
$$V(z=0) \quad Z_{in} = Z_0 \frac{Z_0 + j 2 \pi f \rho L}{Z_0 + j 2 \pi f \rho L} = Z_0 j \tan \beta L$$

Voltage min { al principio del generador
 en el nodo \rightarrow
 carga \rightarrow zero}

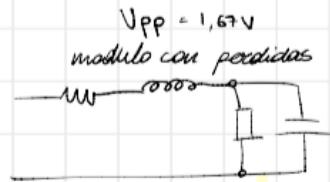
impedancia de la parte terminal

$$\beta L = 2\pi \frac{L}{\lambda} = \pi$$

$$\frac{L}{\lambda} = 0.5 \Rightarrow L = 0.5\lambda$$



1 f piccola \rightarrow 2 kHz



(jwl) \rightarrow f pequeña \rightarrow $jwl \approx 0$
 $\frac{1}{j\omega C} \approx \infty$

MOD EQ con f piccola
como se fosse la R de la linea



$$V(z=0) = 1,67 \text{ V}$$

$$V(z=0) = \frac{R_c}{R_c + R_0} V_g$$

$$1,67 = \frac{R_c}{R_c + 75} \cdot 10$$

$$(R_c + 75) / 10,167 = R_c$$

$$0,167 R_c + 12,53 = R_c$$

$$12,53 = 0,833 R_c$$

$$R_c = 15,04 \Omega$$

$Z_0 \rightarrow$ senza perdite

con perdite piccole

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$$

R \rightarrow conduttori

G \rightarrow DIELETTRICO (considerato perfetto)

PROX VOLTA \Rightarrow Determinar el valor onda estacionaria \rightarrow varios f \rightarrow vario le

2.5. Onda estacionaria

Vamos a estudiar la onda estacionaria formada en la linea con una impedancia de carga $Z_L = 25 \Omega$. Para ello medimos el valor del voltaje a la entrada de la linea para un rango de frecuencias de 100 kHz a 800 kHz, con un incremento de 50 kHz para las lineas de 200 m y de 200 kHz a 1600 kHz, con un incremento de 100 kHz para las lineas de 100 m. Hacer la representación gráfica del módulo del voltaje frente a la distancia a la carga y comparar con la curva teórica.

$$f = 200 \text{ KHz} : V_{in} = 8 V_{pp}$$



5.2. Alejandro.

- TECNICAS GENERADOR CON SALIDA DE 50Ω .
 - PARA ADAPTAR GENERADOR A IMPEDANCIA CARACTERISTICA DE LINEA, AMBAS DEBEN TENER 75Ω .
- Onda estacionaria real es una onda estacionaria (incidente + reflejada) más "ruidosa".
 - Medirémos en cada punto linea entrando con Z'/λ , que es distancia normalizada a la longitud de onda.

• Sea $Z' = l - z$

\uparrow DISTANCIA A GENERADOR
DISTANCIA A CARGA

$$\Rightarrow \text{LONGITUD EFECTIVA } l_e = \frac{l}{\lambda} \leftarrow 100 \text{ m}$$

$\lambda \leftarrow \frac{V_{\text{FASE}}}{\text{FRECUENCIA}}$

$$\Rightarrow l_e = \frac{l}{V_F} \cdot f ; \text{CAMBIANDO FRECUENCIA, VARIA LONGITUD ELECTRICA.}$$

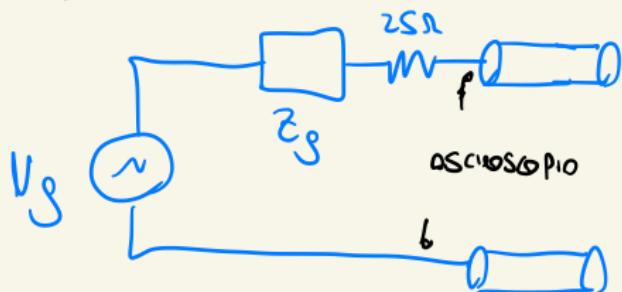
• A \downarrow FRECUENCIA, $\uparrow \lambda \Rightarrow l_e$ PEQUEÑA

• A \uparrow FRECUENCIA, $\downarrow \lambda \Rightarrow l_e$ GRANDE

2º VOLVIENDO AL V_{pp}

→ 1º HECHOS PUERTO FRECUENCIA DE 384 MHz, Y EN EL GENERADOR HECHOS MODULADA LA AMPLITUD PARA TENER $10\% (100 \pm 1)V_{pp}$ (es $10 \cdot 10$)

• 2º QUE TENEMOS:



→ CUANDO CONECTAMOS LAS LINEAS, EROS $10V_{pp}$ VARIAN

CONECTAMOS PRINCIPALMENTE A GENERADOR Y A OSCILLOSCOPIO → AFIRMA MEDIMOS $V_{pp} = 56,3 \pm 0,5 V$

• AFIRMA MEDIMOS V_F Y \checkmark (ESTA EN DOMINIO FRECUENCIA,
VELOCIDAD CONSTANTE) CONSTANTE STENACION

$$A) V_F = \lambda \cdot f$$

→ AL DISMINUIR LA FRECUENCIA,
SUMERA LA AMPLITUD.

• CONOCIENDO LA LONGITUD Y AFIRMA

ABAJO (BAJAS FRECUENCIAS) SUMERA AMPARO, DISTORSIONES,

2 de 7 LLEGA A UN PUNTO DE ROTOGRESA.

⇒ FRECUENCIA 1.270 MHz, MINIMO $V_{pp} (16,17 V)$

• Se tiene líneas coaxiales, teniendo ondas estacionarias puras.

$$\rightarrow \text{Al principio, tensiones } V_{\Sigma'} = 1 = \frac{10V_{pp}}{2} = 5V.$$

Ser

$$Z_{in} = Z_0 \cdot \frac{Z_L + j \cdot Z_0 \cdot \operatorname{tg}(\beta l)}{Z_0 + j \cdot Z_L \cdot \operatorname{tg}(\beta l)} = Z_0 \cdot j \cdot \operatorname{tg}(\beta l)$$

$Z_L = 0$, ESTÁ
COAXIAL

Como $\operatorname{tg}(\beta l)$ es una función periódica se obt

$$\beta \cdot l = 2\pi \frac{l}{\lambda}$$

• Tendrá un valor mínimo en cada
cortocircuitado, al serlo, es el principio de
la linea (tendrá punto mínimo V_{pp})



Como se repite conforme crece, se cumplen que

$$\beta \cdot l = 2\pi \frac{l}{\lambda} = \pi \Rightarrow \frac{l}{\lambda} = 0,5 \Rightarrow \underbrace{l = 0,5\lambda}_{\text{longitud límite}}$$

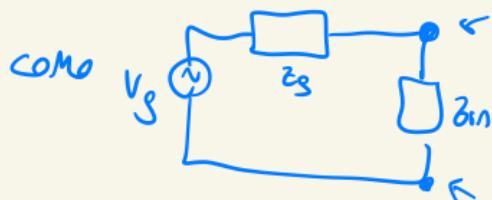
Entonces

$$V_{FAST} = \lambda \cdot f_{mínimo} = (2 \cdot l) \cdot \underbrace{f_{mínimo}}_{1,250 \text{ MHz}} =$$

$$\lambda = 2 \cdot 100 = 200 \text{ m en NUEVO caso}$$

$$\Rightarrow V_{FAST} \approx 2,5 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- IMPEDANCIA ONDA, A PRINCIPIO LÍNEA DEBERÍA SER CERO PERO, A $\lambda/2$, EN TEORÍA, TENEMOS IMPEDANCIA NULA EN CARGA \Rightarrow NO ES CERO AL PRINCIPIO PQ LÍNEA REAL TIENE PÉRDIDAS PEQUEÑAS \Rightarrow VA ASOCIADO A UN COEFICIENTE DE ATENCIÓN α



ENTONCES, $|V(z=0)| = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_g} |V_g|$

DERIBADO 1 OUT
HAY PÉRDIDAS

$$\Rightarrow T(z=l) (= T(z=0)) = T_L \cdot e^{-2j\beta l} \cdot e^{-2l\alpha}$$

COEF. REFLEXIÓN EN CARGA
 \Downarrow
como ya en condición, $T_L = -1$

$$\cdot \beta l = \gamma \Rightarrow T(z=l) = \underbrace{T_L}_{-1} \cdot \underbrace{1}_{e^{-2\alpha l}} \cdot e^{-2\alpha l} = -e^{-2\alpha l}$$

$$e^{-2j\gamma} = \underbrace{\cos(-2\gamma)}_1 + i \underbrace{\sin(-2\gamma)}_0$$

ENTONCES: $\frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} = -e^{-2\alpha l}$

• $Z_0 = R_0 = 75\Omega$

• $Z_{in} = R_{in} =$
 T

VOLVIENDO A ESTIMAR, CON V_{pp} MINIMA, ES $V_{pp} = \frac{(16 \pm 1)V}{10} \approx 1,7V$

ENTONCES, $\underbrace{|V(z=0)|}_{1,7} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_g} \underbrace{|V_g|}_{SV}$
 \Downarrow
RESPESTAMOS R_{in}

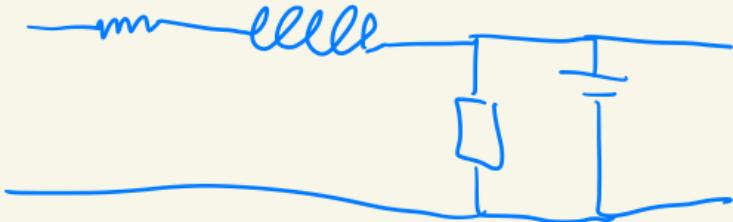
• MEDIDAS LA RESISTENCIA LINEA:

1') OBTENEMOS FRECUENCIAS PEQUEÑAS, DE $f=2 \text{ kHz}$, Y TENDREMOS

$$u \quad V_{pp} = \frac{16,8 \text{ V}}{10} = 1,7 \text{ V}$$

TENDREMOS LIMA AL POCO TIEMPO

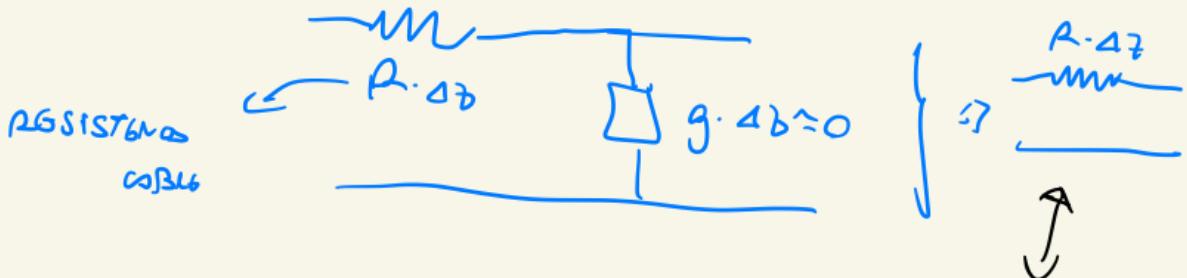
MEDIR EN PÓRTAMOS



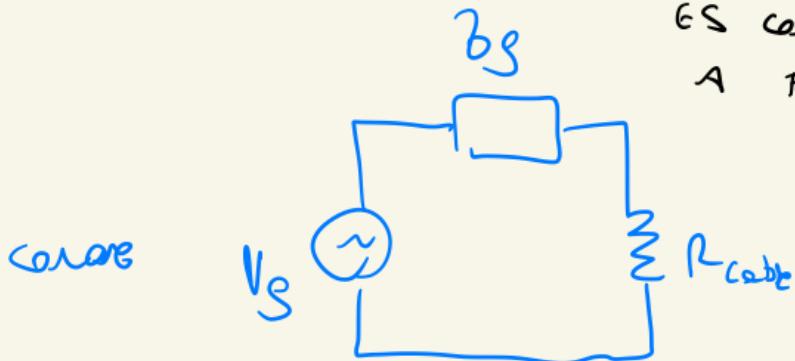
IMPEDANCIA OBRAVA ES $j\omega L$ / A FRECUENCIAS PEQUEÑAS $j\omega L \approx 0$

• IMPEDANCIA CAPACITIVA $\frac{1}{j\omega C} \approx \infty$

\Rightarrow MEDIR SERÁ



MEDIR EQUIVALENTE SERÁ
ES COMO UNA RESISTENCIA LINEAL
A FRECUENCIAS BAJAS



Grande $|V(z=0)| = \frac{R_c}{R_c + R_g} |V_g|$ IL CIRCUITO
 $V_{pp} = 1,6; 1,7 V$ 75\Omega
 $V_{pp} = 1,67 V$ \Downarrow

$$R_c |V_g| = R_c |V(z=0)| + R_g |V(z=0)|$$

$$\Rightarrow R_c = \frac{R_g \cdot |V(z=0)|}{|V_g| - |V(z=0)|} = \frac{75 \cdot 1,7 V}{10 - 1,7} = 15,36 \Omega$$

• A HOMO DESCONOCIMOS G GENERA Y FRECUENCIAS DESCONOCIDAS, Y CON ESTAS EL MATERIAS

→ VALOR CERO ES 0,4 $\Omega \Rightarrow$ OBTENEMOS 14,1 Ω

• 14,1 - 0,4 = EN ~~OTRO~~ PARA ESTA OSCILACION

• UNO AL PRINCIPIO Y LOS FINES: 6,9 Ω - 0,04

como $Z_0 = \sqrt{\frac{R + jWL}{g + jWC}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$, DONDE R ESTÁ TRASNO
1 GOLDBERGS
PÉRDIDA PREDIM \Downarrow

NO TIENE NADA QUE VER CON LOS 75 Ω .

ÚLTIMA PARTE (ONDA ESTACIONARIA)

TENIMOS 102 V PICO-PICO [EN REALES $10,2$ POR FACTOR 10]
MEDIMOS EN CORTO EN VTE DE UN 25Ω

- LÍNEA 100 M



MEDIMOS DE 200 A 1600 MHz SUBIENDO DE 100 EN 100 kHz.

kHz	V_{ph-ph} (HAY QUE DIVIDIR)
200 ± 1	80 ± 1
300 ± 1	105 ± 1
:	: