

LABORATORIO II

Adaptación de Impedancia en Guía de Onda Rectangular

BERCIC, JERÓNIMO

ROQUETA, MATÍAS DANIEL

Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica

Resumen

Introducción

Una guía de ondas electromagnéticas es un dispositivo que se utiliza para restringir la energía de una onda, y que ésta sea propagada en una dirección deseada. De esta manera se puede aprovechar dicha energía de manera más eficiente. Su utilidad es evidente, por ejemplo, en la fabricación de antenas, donde se busca que la propagación sea en una dirección específica y que las pérdidas de información sean mínimas. En la Figura 1 se muestra una guía de ondas electromagnéticas rectangular.



Figura 1: Guía de ondas electromagnéticas rectangular.

Dentro del contexto de éste tipo de guía de ondas, se encuentran los que se conocen como modos TE_{mn} (Transverse Electric Field) y TM_{mn} (Transverse Magnetic Field), que se refieren a si la onda transversal a la dirección de propagación es la eléctrica o la magnética, respectivamente, m es el número de medias-ondas a lo largo de la guía, y n es el número de medias-ondas a lo alto de la guía. En la Figura 2 se presenta un esquema de una guía de ondas cuyo modo es el TE_{10} .

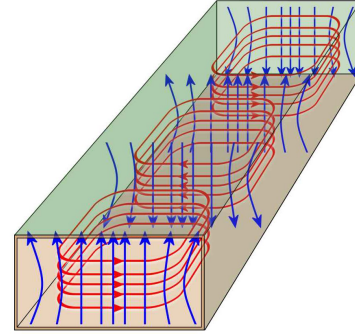


Figura 2: Guía de ondas electromagnéticas con modo TE_{10} .

El modo de propagación dependerá tanto de las dimensiones de la guía, así como de la frecuencia de la onda propagada.

Para poder caracterizar la guía de ondas, se puede pensar en ella como una línea de transmisión, o sea, una cascada de cuadripolos (Figura 3) distribuidos a lo largo de la línea.

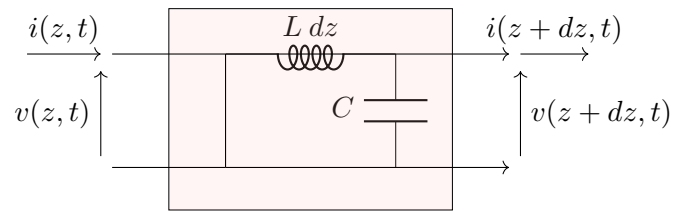


Figura 3: Esquema del modelo de los cuadripolos a disponer en cascada.

Al igual que una línea de transmisión, las guías de ondas cuentan con una impedancia característica Z_0 , la cual se puede calcular sabiendo la frecuencia f a la que se propaga la onda, de la siguiente forma

$$Z_0 = \frac{Z_{\text{vacío}}}{\lambda_{\text{vacío}}} = Z_{\text{vacío}} \frac{f}{c} \quad (1)$$

Donde $Z_{\text{vacío}}$ es la impedancia característica del vacío, igual a $376,6 \Omega$, $\lambda_{\text{vacío}}$ es la longitud de la onda propagada si ésta se propagase en el vacío, y c es la velocidad

de la luz.

Sabiendo la impedancia característica de la guía de ondas, se puede adaptar a la impedancia del plano de carga Z_L , y así poder aprovechar de manera más eficiente la energía transmitida. Éste será el caso si Z_0 es igual a Z_L . Para saber si la guía está adaptada se utiliza el **coeficiente de reflexión** Γ ,

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2)$$

el cual vale $\Gamma = -1$ para un corto circuito, $\Gamma = 1$ para un circuito abierto, y $\Gamma = 0$ para la guía adaptada.

Otra forma de verificar si la guía está adaptada, es analizando la onda estacionaria que se forma debido a la reflexión de la onda en el plano de carga (Figura 4). Para ello se define el ROE (razón de onda estacionaria) como

$$\text{ROE} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3)$$

Este número también se puede calcular haciendo el cociente entre las amplitudes máxima y mínima de la onda estacionaria, y tiene un rango de

$$1 < \text{ROE} < \infty$$

Cuanto se quiere adaptar la guía, el ROE debe tender a 1.

En este laboratorio, se busca medir las propiedades de la onda estacionaria que se forma bajo distintas condiciones del plano de carga. Además, se busca adaptar la impedancia para ciertas condiciones.

Adaptación de Impedancia

Suponer que se cuenta con una línea de transmisión semi-infinita terminada con una impedancia de carga normalizada z_L . De la ecuación 2 se valida que la impedancia está adaptada en $Z_L = Z_0 \rightarrow z_L = 1$.

La impedancia de carga varía en función de la distancia desde plano de carga hacia el generador x según la expresión

$$z(x) = \frac{1 + \Gamma e^{-j2kx}}{1 - \Gamma e^{-j2kx}}$$

Es equivalente trabajar con la admitancia normalizada

$$y(x) = \frac{1}{z(x)} = \frac{1 - \Gamma e^{-j2kx}}{1 + \Gamma e^{-j2kx}}$$

La expresión de la admitancia normalizada permite calcular la admitancia de carga de dos guías en paralelo

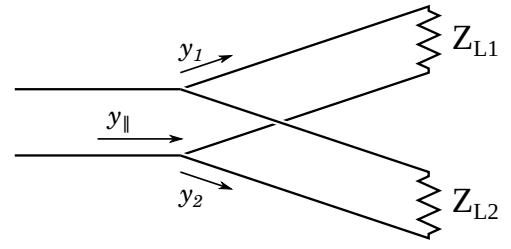


Figura 3: Paralelo de dos guías de onda, la admitancia de entrada del paralelo cumple $y_{||} = y_1 + y_2$.

El método de adaptación de impedancia con stub en paralelo consiste en.

1. Encontrar en la guía un punto $x = \ell$ tal que la resistencia en ℓ esté normalizada: $y_1(\ell) = 1 + jb$.
2. Colocar en $x = \ell$ una admitancia en paralelo puramente reactiva, de valor $y_a = -jb$.

De esta forma se genera a la entrada del paralelo un nuevo plano de carga con admitancia adaptada

$$y'_L = y(\ell) + y_a = 1$$

Métodos para encontrar los valores de ℓ y y_a se pueden hacer de forma analítica, numérica, o usando el diagrama de Smith.

Método Experimental

Primero se determina la frecuencia de emisión del diodo emisor f , se construye una línea de transmisión con guía de onda rectangular conectando en cascada los siguientes elementos, ilustrada en la figura 4

- | | |
|---------------------|------------------------|
| I Emisor Diodo Gunn | IV Cavity Resonante |
| II Aislador | V Antena Detectora |
| III Atenuador 3 dB | VI Cortocircuito Móvil |

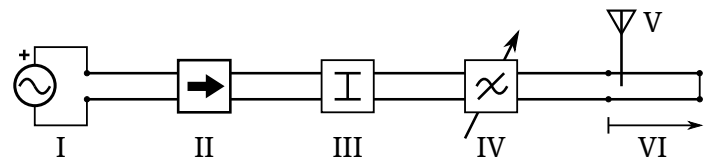


Figura 4: Línea de transmisión para medir frecuencia de emisión. La cavidad resonante actúa como filtro, absorbiendo su frecuencia de resonancia y dejando pasar otras frecuencias.

Se ajusta el cortocircuito móvil hasta detectar un máximo de onda estacionaria con la antena detectora, y se procede a ajustar la frecuencia de resonancia de la cavidad hasta que esta coincida con la frecuencia de emisión del diodo Gunn.

Conociendo la frecuencia de operación del emisor, se procede a caracterizar la longitud de onda dentro de la guía λ_g y su impedancia intrínseca Z_0 .

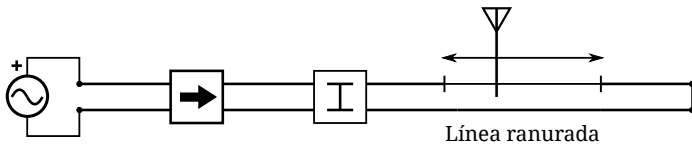


Figura 5: Línea de transmisión para medir longitud de onda. La terminación en cortocircuito provoca una onda estacionaria en la guía, la onda estacionaria se mide con una antena detectora en una línea ranurada.

Una vez conocidas λ_g y Z_0 se pueden adaptar impedancias. Se construye la línea de transmisión correspondiente a la figura 6.

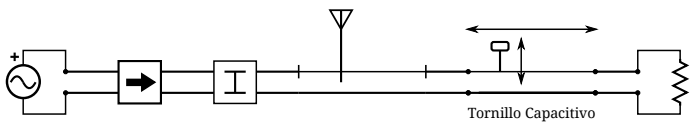


Figura 6: Sistema de adaptación de impedancias para una impedancia de carga Z_L , un tornillo capacitivo actúa como stub en paralelo.

Se sigue el siguiente procedimiento para la adaptación de impedancia

1. Se mide la onda estacionaria con Z_L en cortocircuito, referenciando el plano de carga a un mínimo de onda estacionaria.
2. Se cambia Z_L por una impedancia arbitraria y se mide la onda estacionaria. Se calculan la ROE y el desplazamiento del plano de carga.
3. Usando la ROE y el desplazamiento del plano de carga para calcular la posición del adaptado ℓ y su admitancia y_a . Estos cálculos se hacen con el diagrama de Smith¹ y numéricamente con un script Python².

4. Se ajusta la posición y admitancia del adaptador, se mide la onda estacionaria validando la disminución de la ROE ante impedancia adaptada.

Este método de adaptación de impedancia se usa para adaptar un sistema de comunicaciones transmisor-receptor, representado en la figura 7

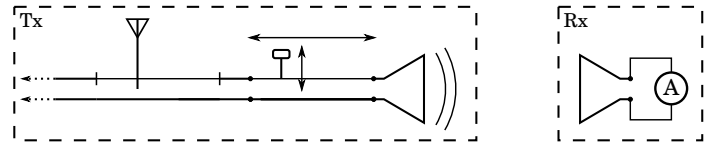


Figura 7: Sistema transmisor-receptor. Tx: línea de la figura 6 con antena de bocina en Z_L . Rx: detector de señal adaptado con una antena de bocina.

El sistema se adapta con el siguiente procedimiento

1. Se retira el módulo Rx y se mide la ROE, validando que la antena de bocina adapta la impedancia de la guía a la impedancia del espacio libre.
2. Se ubica el módulo Rx a 10 cm del módulo Tx. Se mide la ROE, observando el incremento de la misma respecto a la medición anterior.
3. Se realiza el procedimiento de adaptación de impedancia en presencia del módulo Rx.

Se registra la intensidad de señal medida por Rx antes y después de adaptar impedancias, verificando la pérdida en potencia transmitida por impedancia desadaptada.

Resultados

Discusión

Conclusiones

¹Apéndice 1

²Apéndice 2

Apéndices

Apéndice 1 -