UNIVERSIDAD DISTRITAL FJDC
FAC. TECNOLÓGICA
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
MEDIOS DE TRANSMISIÓN
"GUÍAS DE ONDA Y RESONADORES"

Prof. Francisco J. Zamora

Propagación de ondas electromagnéticas en guías de onda huecas:

Para la propagación de energía en el rango de las microondas a través de tubos metálicos huecos bajo ciertas condiciones, se presentan dos tipos de ondas:

1. Ondas TE: También llamadas ondas H, poseen componentes de E siempre transversales a la dirección de propagación.

2. Ondas TM: También llamadas ondas E, poseen componentes de H siempre transversales a la dirección de propagación.

Los anteriores modos se denominan también modos de orden superior. El modo TEM no se puede propagar en guías de onda, solamente en líneas de transmisión y en espacio libre.

Las soluciones de configuración de campos se caracterizan por la presencia de enteros m y n (desde 0 o 1 hasta infinito). Solamente algunos de estos modos o configuraciones pueden propagarse en una determinada guía de onda, dependiendo de sus dimensiones físicas y la frecuencia de operación.

Para cada modo existe una frecuencia de corte, por debajo de la cual la energía no puede ser propagada en la guía. Desde este punto de vista la guía exhibe características de filtro pasa-altas.

Si se supone z como la dirección de propagación, ubicando la sección transversal de la guía de onda en el plano x-y, se define una constante de propagación γ m,n. El factor para cada onda componente de campo es entonces:

$$e^{\left(j \cdot \omega \cdot t - \gamma_{m,n} \cdot z\right)}$$

Si γ m,n es real, la fase de cada componente es constante, pero su amplitud decrecerá exponencialmente con z- En este caso se dice que la propagación no se lleva a cabo. La frecuencia se considera inferior a la de corte. En realidad la propagación se lleva a cabo para una pequeña distancia, por lo que este hecho tiene aplicaciones en pequeñas secciones de guía que se emplean como atenuadores calibrados.

Cuando γ m,n es imaginario, la amplitud de cada componente permanece constante, pero la fase varía con z. Aquí la propagación si se lleva a cabo. El valor de γ m,n es imaginario solo para guías sin pérdidas. Un caso real tiene las dos componentes:

$$\gamma_{m,n} := \alpha_{m,n} + j \cdot \beta_{m,n}$$

que son la constante de atenuación α y la constante de propagación de fase β.

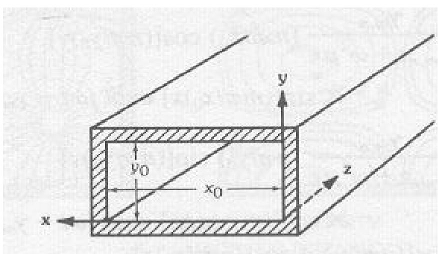
GUIAS DE ONDA RECTANGULARES

Sea un rectángulo de dimensiones x0 y y0 la sección transversal de la guía de onda, y z el eje de propagación de la energía.

Para el caso de las ondas TM m,n el campo Hz = 0. Son ε la constante dieléctrica y μ la permeabilidad del material dieléctrico (usualmente aire). En ondas E no es posible que ni m ni n sean cero en guías de onda rectangulares.

Para ondas TE m,n el campo Ez = 0. Para este caso m y n pueden asumir valores enteros desde 0 hasta infinito en guías rectangulares, excepto para m y n igual a cero simultáneamente.

El subíndice en cuestión indica el número de semilongitudes de onda de campo presentes en determinada dimensión de la guía.



Rectangular waveguide.

La propagación es posible cuando γ m,n es imaginaria:

$$\gamma_{m,n} := \sqrt{\left(\frac{m\cdot\pi}{x0}\right)^2 + \left(\frac{n\cdot\pi}{y0}\right)^2 - \omega^2\cdot\mu\cdot\varepsilon}$$

Lo anterior indica que la propagación en un modo m,n es posible si:

$$\omega^2\cdot\mu\cdot\varepsilon > \left(\frac{m\cdot\pi}{x0}\right)^2 + \left(\frac{n\cdot\pi}{y0}\right)^2$$

o en términos de f y c:

$$f > \frac{c\cdot\sqrt{\left(\frac{m\cdot\pi}{x0}\right)^2 + \left(\frac{n\cdot\pi}{y0}\right)^2}}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{\mu_1\cdot\varepsilon_1}}$$

donde $\varepsilon 1$ y $\mu 1$ son las constantes relativas del dieléctrico con respecto al vacío. La longitud de onda en la guía con aire es siempre mayore que en el espacio libre. Cuando la guía tiene dieléctrico es posible que la longitud de onda sea menor que en el vacío.

Si λ es la longitud de onda en el espacio libre y el medio tiene constante dieléctrica relativa εr,

$$\lambda g_{m,n} := \frac{\lambda}{\sqrt{\left[\varepsilon_r - \left(\frac{m\cdot\lambda}{2\cdot x0}\right)^2 - \left(\frac{n\cdot\lambda}{2\cdot y0}\right)^2\right]}} \qquad \lambda g_{m,n} := \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}}$$

donde $$\left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2 := \left(\frac{m}{2\cdot x0}\right)^2 + \left(\frac{n}{2\cdot y0}\right)^2$$

La velocidad de fase dentro de la guía es siempre mayor que la velocidad en un medio no limitado. La velocidad de fase v y la velocidad de grupo u, están relacionadas por:

$$u \cdot v := c^2$$

donde la velocidad de fase está dada por: $$v := c \cdot \frac{\lambda_g}{\lambda}$$

Para acoplar energía en las ondas se necesita comprender la configuración de las líneas de campo eléctrico y magnético características. A continuación se muestra dicha configuración para los modos TE 1,0 y TE 2,1.

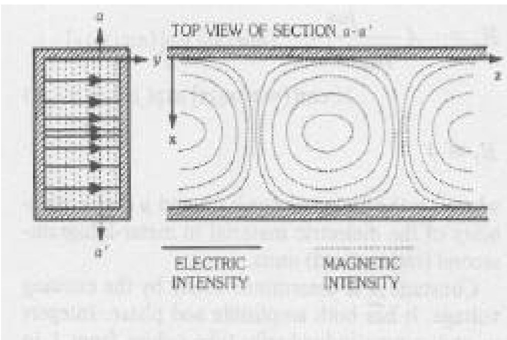


Fig. 2. Field configuration for a $TE_{1,0}$ wave.

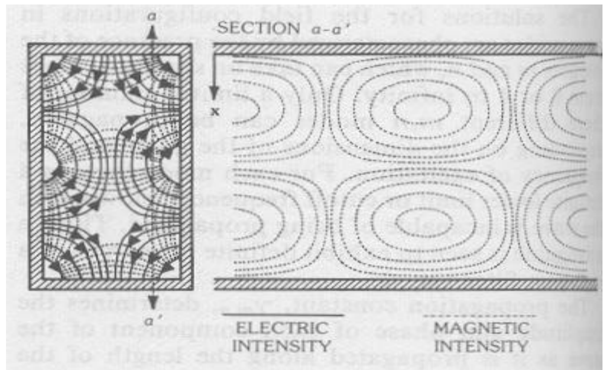
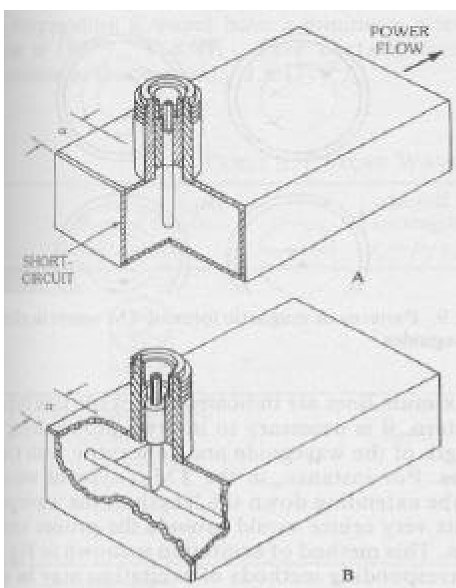


Fig. 3. Field configuration for a $TE_{2,1}$ wave.

Para excitar una guía de onda en un modo determinado es necesario introducir una punta de prueba de tal manera que coincida con la dirección de las líneas de campo eléctrico, o un lazo cerrado que enlace y oriente las líneas de campo magnético. Ejemplos se muestran a continuación.



5. Methods of coupling to $TE_{1,0}$ mode ($\alpha \approx \lambda_g/4$)

Las expresiones derivadas (se recomienda como ejercicio) para los campos en los modos TE y TM en guías rectangulares se muestran a continuación:

$$E_x = -A\,\frac{\gamma_{m,n}}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(m\pi/x_0)\sin[(n\pi/y_0)y] \times \cos[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$E_y = -A\,\frac{\gamma_{m,n}}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(n\pi/y_0)\cos[(n\pi/y_0)y] \times \sin[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$E_z = A\sin[(n\pi/y_0)y]\sin[(m\pi/x_0)x] \times \exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$H_x = -A\,\frac{j\omega\epsilon}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(n\pi/y_0)\cos[(n\pi/y_0)y] \times \sin[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$H_y = A\,\frac{j\omega\epsilon}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(m\pi/x_0)\sin[(n\pi/y_0)y] \times \cos[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$H_z \equiv 0$$

Ecuaciones de campo modo TM

$$E_x = -B\,\frac{j\omega\mu}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(n\pi/y_0)\sin[(n\pi/y_0)y] \times \cos[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$E_y = B\,\frac{j\omega\mu}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(m\pi/x_0)\cos[(n\pi/y_0)y] \times \sin[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$E_z \equiv 0$$

$$H_z = B\,\frac{\gamma_{m,n}}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(m\pi/x_0)\cos[(n\pi/y_0)y] \times \sin[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

$$H_y = B\,\frac{\gamma_{m,n}}{\gamma_{m,n}z+\omega^2\mu\epsilon}\,(n\pi/y_0)\sin[(n\pi/y_0)y] \times \cos[(m\pi/x_0)x]\exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

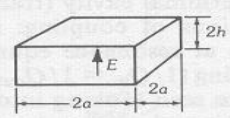
$$H_z = B\cos[(n\pi/y_0)y]\cos[(m\pi/x_0)x] \times \exp(j\omega t-\gamma_{m,n}z)$$

Ecuaciones de campo modo TE

Características de Resonadores:

CHART 1. CHARACTERISTICS OF VARIOUS TYPES OF RESONATORS

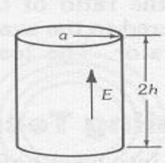
Square Prism $TE_{1,0,1}$



$\lambda_0 = 2.83a$

$Q = (0.353\lambda/\delta)[1+(0.177\lambda/h)]^{-1}$

Circular Cylinder $TM_{0,1,0}$



$\lambda_0 = 2.61a$

$Q = (0.383\lambda/\delta)[1+(0.192\lambda/h)]^{-1}$

Temas adicionales de consulta:

Es conveniente que el estudiante consulte las ecuaciones de las guías de onda circulares, la aparición de las funciones de Bessel en las expresiones de campo, las expresiones para longitud de onda de corte y los factores de atenuación según la frecuencia de excitación y las dimensiones de la guía.

Además se debe profundizar la investigación en la teoría de resonadores de cavidad, expresiones para el factor de calidad, los efectos de iris en la resonancia, lineas ranuradas y guías con aletas.

Esta información puede ser encontrada en textos como Electromagnetismo, de John D. Kraus y el Reference Data for Engineers. Más imágenes en el CD que acompaña el curso.

Ing. Francisco J. Zamora N.
Mayo de 2001.