

Estudio de estructuras de banda prohibida electromagnética (EBG) para la reducción de acoplamiento mutuo entre antenas *microstrip*

Federico Luna

Facultad de Ingeniería,
Universidad de Buenos Aires

fluna@fi.uba.ar

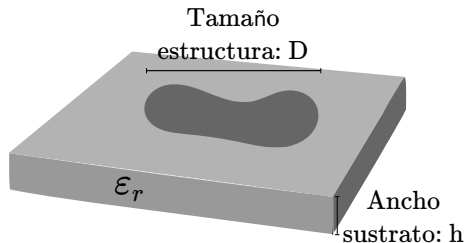
Tutores: Dr. Ing. W. Gustavo Fano y Mg. Ing. Silvina Boggi

- 1 Presentación del problema
- 2 Conceptos básicos de electromagnetismo
- 3 Fundamentos de EBGs
- 4 Modelado
- 5 Análisis y modelado de la celda de Yang
- 6 Construcción del algoritmo de simulación en el dominio del tiempo

- Propagación de ondas de superficie.
- Estructuras periódicas.
- Comportamiento de EBGs uniplanares.
- Modelo circuital equivalente de una celda unitaria.
- Programa de simulación en el dominio del tiempo.
- Introducción al uso de EBGs en antenas.

- 1873: *Maxwell*. Bases de teoría electromagnética clásica.
- 1885-1887: *Heaviside*. Simplificación de expresiones: Notación vectorial.
- 1886-1891: *Hertz*. Validación de teoría de ondas electromagnéticas. Primer antena dipolo y parabólica.
- 1897: *Rayleigh*. Propagación de ondas en guías metálicas.
- 1926: *Yagi-Uda*. Conjunto de antenas, fase fija.
- 1938-1945: Antenas de fase variable.
- 1953: *Deschamps*. Antenas *microstrip*.
- 1970': Uso en aplicaciones prácticas. Solución a problemas de dispersión y modos indeseados.

Ventajas de las estructuras *microstrip*



- Bajo costo.
- Bajo peso.
- Construcción sencilla (fotolitografía).
- Cómodas para implantación de componentes discretos.
- Alto Q (resonantes).

Aplicaciones: filtros microondas, acopladores direccionales, transformadores de impedancia, planos de tierra y redes de distribución de circuitos impresos.

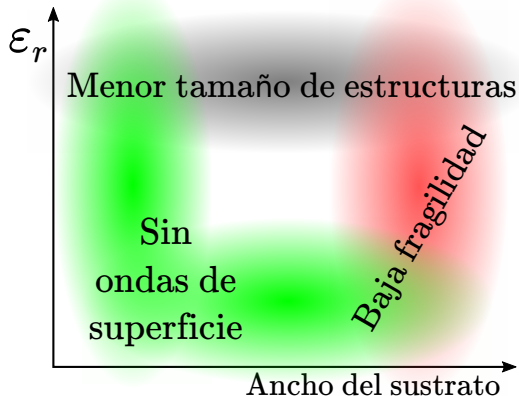
Problemas de las estructuras *microstrip*

El tamaño de las antenas y estructuras *microstrip* depende de la permitividad dieléctrica del sustrato y de la longitud de onda de trabajo.

- $\downarrow D \Rightarrow \uparrow \epsilon_r, \uparrow \text{SW}$.
- $\uparrow \epsilon_r \Rightarrow \uparrow Q, \downarrow \text{BW}$.
- $\downarrow Q \Rightarrow \uparrow h$.
- $\uparrow h \Rightarrow \uparrow \text{SW}, \uparrow \text{modos}$.

Las ondas de superficie:

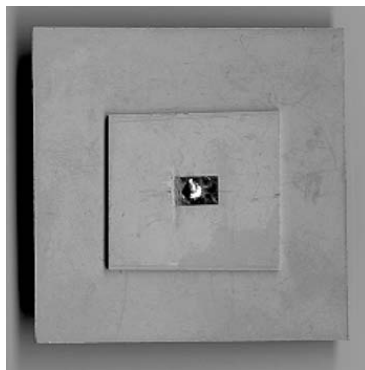
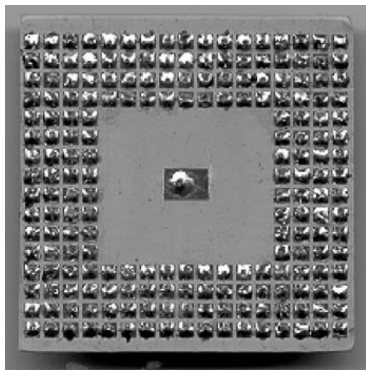
- \downarrow potencia radiada.
- \uparrow **acoplamiento**.
- Diagrama de radiación:
 \uparrow lóbulos secundarios.



SW: Ondas de superficie. BW: Ancho de banda. D : Tamaño de la estructura. h : Ancho del sustrato.

Soluciones propuestas en la literatura

- Separación del plano de tierra de las estructuras.
- Modificar la altura o la permitividad del sustrato a corta distancia.
- Estructuras periódicas: EBG, DGS.



F. Yang e Y. Rahmat-Samii, Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering, Cambridge University Press, 2009.

Conceptos básicos de electromagnetismo

- 1 Presentación del problema
- 2 Conceptos básicos de electromagnetismo
 - Ecuaciones de Maxwell
 - Ondas electromagnéticas
 - Ondas de superficie
- 3 Fundamentos de EBGs
- 4 Modelado
- 5 Análisis y modelado de la celda de Yang
- 6 Construcción del algoritmo de simulación en el dominio del tiempo

Ecuaciones de Maxwell

$$\left. \begin{array}{l} \text{Faraday} \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \mathbf{M} \\ \text{Ampère} \quad \nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \\ \text{Gauss} \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \\ \text{Gauss} \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \nabla \times \mathbf{E} = -j\omega \mathbf{B} - \mathbf{M} \\ \nabla \times \mathbf{H} = j\omega \mathbf{D} + \mathbf{J} \\ \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \end{array} \right.$$

Si:

- No hay dispersión. (ϵ y μ independientes de ω).
- Material isotrópico.
- Estudio macroscópico.
- Comportamiento armónico.
- Régimen permanente.



Campos en medios materiales

Si el medio es lineal, isotrópico y homogéneo:

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}_e = \epsilon_0(1 + \chi_e) \mathbf{E} = \epsilon \mathbf{E} = (\epsilon' - j\epsilon'') \mathbf{E} \\ \mathbf{B} &= \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{P}_m) = \mu_0(1 + \chi_m) \mathbf{H} = \mu \mathbf{H} = (\mu' - j\mu'') \mathbf{H}. \end{aligned}$$

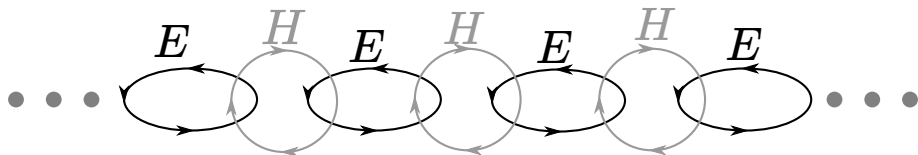
Si el material posee una conductividad σ independiente del campo eléctrico aplicado, se cumple la Ley de Ohm:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \Rightarrow \mathbf{D} = \left(\epsilon' - j\epsilon'' - j\frac{\sigma}{\omega} \right) \mathbf{E}.$$

Tangente de pérdidas

$$\tan \delta = \frac{\omega\epsilon'' + \sigma}{\omega\epsilon'}.$$

Ondas electromagnéticas (I)



En una región libre de fuentes, se pueden deducir las ecuaciones de Helmholtz para ondas monocromáticas, a partir de las ecuaciones de Maxwell.

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 \mathbf{E} + \gamma^2 \mathbf{E} &= 0 \\ \nabla^2 \mathbf{H} + \gamma^2 \mathbf{H} &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{E}(x, y, z) = \mathbf{E}_0 e^{\pm j\gamma \cdot \mathbf{r}} \\ \mathbf{H}(x, y, z) = \mathbf{H}_0 e^{\pm j\gamma \cdot \mathbf{r}} \end{cases}$$

$$\gamma = -j\alpha + \beta = j\omega \sqrt{\mu(\epsilon' - j\epsilon'')} - j\sigma\epsilon/\omega.$$

$$\gamma = \gamma_x + \gamma_y + \gamma_z.$$

Ondas electromagnéticas (II)

Para las ondas planas,

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \pm \frac{\hat{\beta} \times \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)}{\eta}.$$

Impedancia de onda

$$\eta = \frac{j\omega\mu}{\gamma}.$$

Prof. penetración

$$\delta_s = -1/\alpha = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}.$$

Velocidad de fase

$$v_p = \omega/\beta = c/\sqrt{\mu_r\epsilon_r}.$$

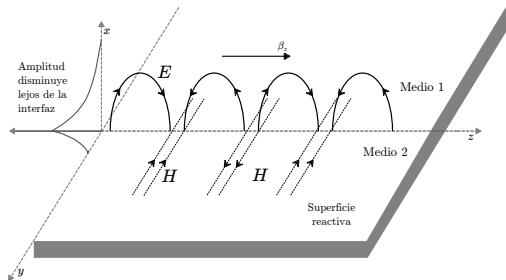
Velocidad de grupo

$$v_g = d\omega/d\beta.$$

Componentes del campo eléctrico que se desplaza en dirección z

$$E_i(z) = E_i e^{-j\gamma z} = E_i e^{-\alpha z} e^{-j\beta z}, \quad i = x, y.$$

Se propagan en un plano.
Comportamiento evanescente en la dirección normal.



Guías de ondas superficiales:

- Planos conductores.
- Planos conductores recubiertos de dieléctrico.
- Planos corrugados.
- Interfaz entre dos medios distintos.

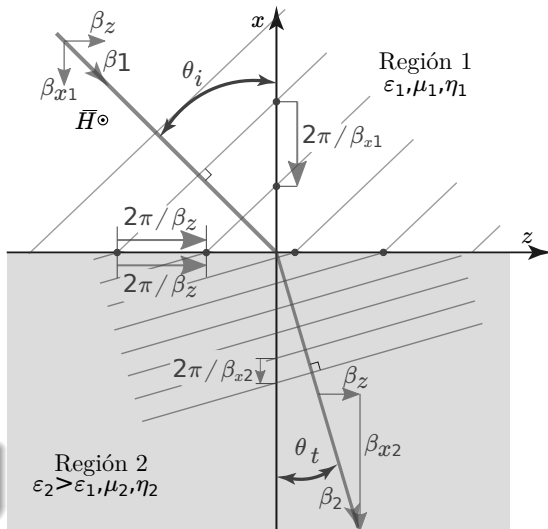
Ondas de Zenneck

- TM.
- Bajas pérdidas.
- Ángulo de Brewster:
 $Z_1 = Z_2$

$$Z_1 = \frac{E_{z1}}{H_{y1}} = \eta_0 \cos \theta_i = \frac{\gamma_{x1}}{\gamma_1} \eta_0$$

$$Z_2 = \frac{E_{z2}}{H_{y2}} = \eta_2 \cos \theta_t = \frac{\gamma_{x2}}{\gamma_2} \eta_2$$

γ a uno y otro lado de la interfaz es complejo.



Impedancia de superficie y constante de propagación (TM)

Si se asume una impedancia de superficie $Z_s = R_s + jX_s$, al igualar la impedancia de onda a la de superficie:

TM

$$\gamma_{x_1} = \gamma_1 \frac{Z_1}{\eta_0} = \gamma_1 Z_s = \gamma_1 R_s + j\gamma_1 X_s,$$

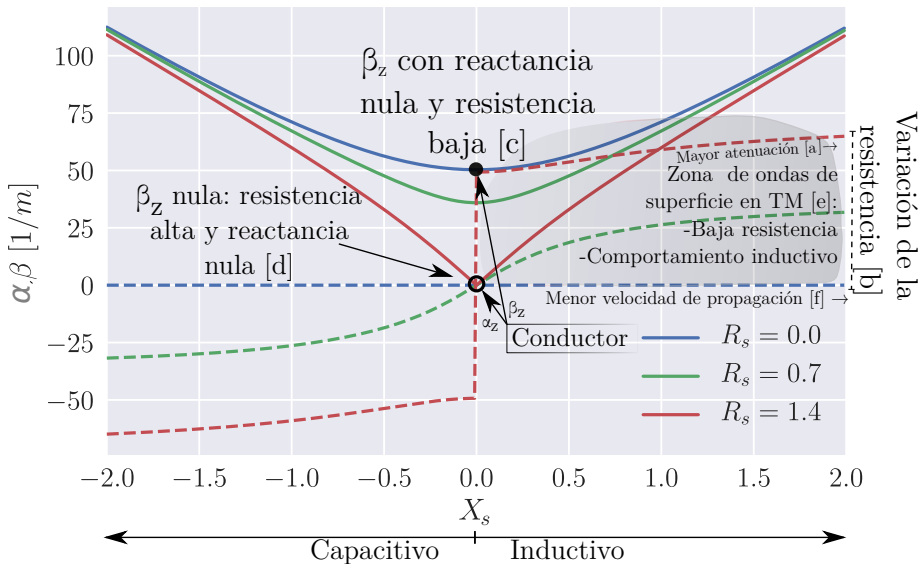
$$\gamma_z = \beta_z - j\alpha_z = \sqrt{(\gamma_1^2 - \gamma_{x_1}^2)} = \gamma_1 \sqrt{1 + X_s^2 - R_s^2 - 2jR_sX_s}$$

TE

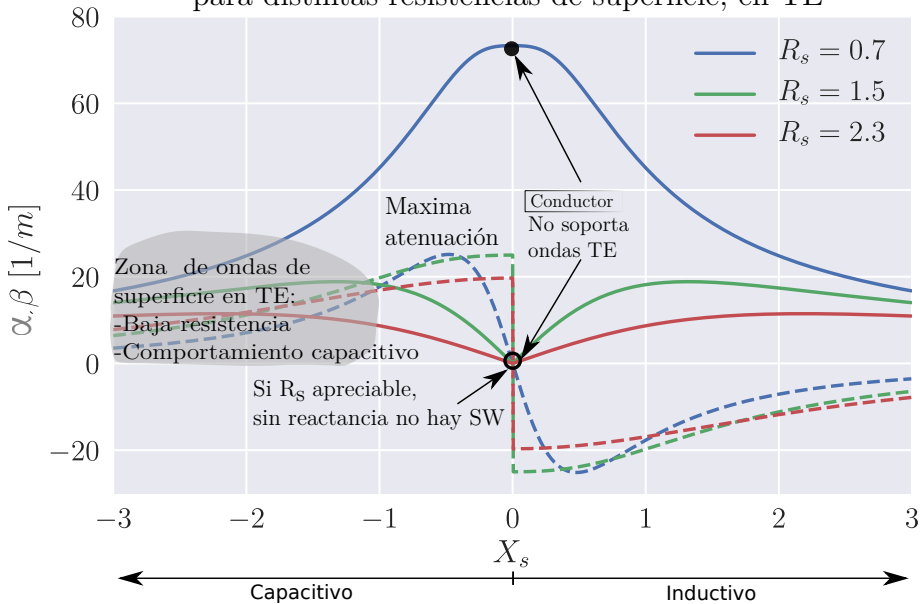
$$\gamma_{x_1} = -\frac{\gamma_1}{Z_s} = -\gamma_1 \frac{R_s}{R_s^2 + X_s^2} - j\frac{X_s}{R_s^2 + X_s^2},$$

$$\gamma_z = \beta_z - j\alpha_z = \sqrt{(\gamma_1^2 - \gamma_{x_1}^2)} = \frac{\gamma_1}{R_s^2 + X_s^2} \sqrt{1 + X_s^2 - R_s^2 + 2jR_sX_s}.$$

Valor de $\gamma_z = \beta_z - ja_z$ en función de la reactancia de superficie para distintas resistencias de superficie, en TM



Valor de $\gamma = \beta - j\alpha$ en función de la reactancia de superficie para distintas resistencias de superficie, en TE



Regiones de campo y diagrama de radiación

Conjuntos de antenas y acoplamiento mutuo

Acoplamiento mutuo entre antenas *microstrip*

Reseña histórica y tipos de ondas de superficie

Planteo matemático

Constantes de propagación y atenuación: TM

Constantes de propagación y atenuación: TE

Planteo matemático

Impedancia de superficie

El objetivo del trabajo es el estudio teórico y numérico del funcionamiento de estructuras EBG (*Electromagnetic Bandgap*).

Sed diam enim, sagittis nec condimentum sit amet, ullamcorper sit amet libero. Aliquam vel dui orci, a porta odio. Nullam id suscipit ipsum. Aenean lobortis commodo sem, ut commodo leo gravida vitae. Pellentesque vehicula ante iaculis arcu pretium rutrum eget sit amet purus. Integer ornare nulla quis neque ultrices lobortis. Vestibulum ultrices tincidunt libero, quis commodo erat ullamcorper id.

- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit
- Aliquam blandit faucibus nisi, sit amet dapibus enim tempus eu
- Nulla commodo, erat quis gravida posuere, elit lacus lobortis est, quis porttitor odio mauris at libero
- Nam cursus est eget velit posuere pellentesque
- Vestibulum faucibus velit a augue condimentum quis convallis nulla gravida

Blocks of Highlighted Text

Block 1

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer lectus nisl, ultricies in feugiat rutrum, porttitor sit amet augue. Aliquam ut tortor mauris. Sed volutpat ante purus, quis accumsan dolor.

Block 2

Pellentesque sed tellus purus. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Vestibulum quis magna at risus dictum tempor eu vitae velit.

Block 3

Suspendisse tincidunt sagittis gravida. Curabitur condimentum, enim sed venenatis rutrum, ipsum neque consectetur orci, sed blandit justo nisi ac lacus.

Heading

- ① Statement
- ② Explanation
- ③ Example

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Integer lectus nisl, ultricies in feugiat rutrum, porttitor sit amet augue. Aliquam ut tortor mauris. Sed volutpat ante purus, quis accumsan dolor.

Teorema de Bloch y armónicos espaciales

Dispersión en materiales comunes

Representación de la dispersión en 2D

Bandgap electromagnético

Treatments	Response 1	Response 2
Treatment 1	0.0003262	0.562
Treatment 2	0.0015681	0.910
Treatment 3	0.0009271	0.296

Cuadro: Table caption

Theorem

Theorem (Mass–energy equivalence)

$$E = mc^2$$

Example (Theorem Slide Code)

```
\begin{frame}  
\frametitle{Theorem}  
\begin{theorem}[Mass--energy equivalence]  
$E = mc^2$  
\end{theorem}  
\end{frame}
```

Figure

Uncomment the code on this slide to include your own image from the same directory as the template .TeX file.

An example of the `\cite` command to cite within the presentation:

This statement requires citation [Smith, 2012].



John Smith (2012)

Title of the publication

Journal Name 12(3), 45 – 678.

The End

Ecuación de dispersión partir de una línea de transmisión

Diagrama de dispersión

Resultados de simulaciones para celda sencilla

Análisis de diagrama de dispersión típico

Variación del ancho del puente

Variación del tamaño de la celda unitaria

Variación del lado del parche

Variación del ancho del sustrato

Modelo I: Resultados

Modelo II: Resultados

Modelo II: Diagrama de dispersión

Modelo III: Resultados

Modelo III: Diagrama de dispersión

Comportamiento de una fila

Comportamiento de una estructura

