

## Simulación de una Antena Lineal de Alimentación Central

### Simulation of a Center-Fed Linear Antenna

### Simulação de uma Antena Linear de Abastecimento Central

Natalia González Gómez<sup>1</sup>, Wilmar Yovany Rojas<sup>2</sup>

Grupo de Investigación BINÁ, Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.

<sup>1</sup>ngonzalez@jdc.edu.co, <sup>2</sup>wrojas@jdc.edu.co

Recibido / Received: 17/06/2015 – Aceptado / Accepted: 12/08/2015

#### Resumen

Como aproximación de una expansión multipolar eléctrica de una fuente cuya longitud es comparable con la longitud de onda, se realizó la simulación de una antena lineal de alimentación central en *Mathematica*. Conociendo la distribución de corriente por la antena, se calculan los campos electromagnéticos, el vector de polarización y la distribución de potencia media por unidad de ángulo sólido.

**Palabras clave:** Antena lineal de alimentación central, distribución de potencia media, expansión multipolar, radiación de fuentes oscilantes.

#### Abstract

As an approximation of an electric multipole expansion of a source whose length is comparable with the wavelength, the simulation of a Center-Fed Linear Antenna on *Mathematica* was performed. Knowing the voltage distribution by the antenna, electromagnetic fields, the polarization vector and the distribution of average power per solid angle unit are calculated.

**Keywords:** Center-Fed Linear Antenna, medium power distribution, multipolar expansion, oscillating radiation sources.

#### Resumo

Como uma aproximação de uma expansão multipolar elétrica de uma fonte cujo comprimento é comparável com o comprimento de onda, foi realizada a simulação de uma antena linear com abastecimento central em *Mathematica*. Conhecendo a distribuição de corrente da antena, os campos eletromagnéticos, o vetor de polarização e a distribuição de potência média por unidade de ângulo sólido são calculados.

**Palavras-chave:** antena linear de abastecimento central, distribuição de potência média, expansão multipolar, radiação de fontes oscilantes.

## I. INTRODUCCIÓN

Las antenas son un sistema de emisión de radiación por cargas y densidades de corriente localizadas. La antena lineal, es decir, un alambre recto, lleva una corriente variable en el tiempo y, por lo tanto, emite radiación electromagnética [1]. Este problema en general no es soluble exactamente, ya que la distribución de corriente depende del campo de radiación; una solución exacta necesitaría considerar el problema del valor límite del radiador y del campo, lo que es soluble en los métodos de análisis solo para determinadas geometrías idealizadas [2]-[4]. Si estamos considerando el caso ideal de un alambre recto fino alimentado por una fuente de energía en su centro, siempre y cuando la resistencia y la pérdida de radiación puedan ser despreciadas, la distribución de corriente a lo largo del alambre es la de una línea de transmisión sin pérdidas. Cada antena tiene una impedancia de entrada característica, y puede considerarse como un transductor para adaptar la línea de transmisión de alimentación o la guía de ondas a la impedancia intrínseca del medio circundante [5]. Si no hubiera una antena eficiente, la energía electromagnética estaría localizada y no sería posible la transmisión inalámbrica de información a grandes distancias [6].

## II. ANTENA LINEAL DE ALIMENTACIÓN CENTRAL

Para el análisis de las características de radiación de la antena lineal de alimentación central, se siguieron los tres pasos descritos a continuación: determinar el potencial magnético  $\mathbf{A}$  de la distribución de corriente  $\mathbf{J}$  en la antena; encontrar el campo magnético  $\mathbf{H}$  a partir del potencial magnético; y hallar la intensidad de campo eléctrico  $\mathbf{E}$  a partir de  $\mathbf{H}$ . Una vez que se conocen  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{H}$ , se puede determinar la potencia media radiada por unidad de ángulo sólido [7], [8].

### A. Campos y Radiación de Fuentes Oscilantes Localizadas

Para sistemas de cargas y corrientes variando en el tiempo, se hace un análisis de Fourier de la dependencia temporal y se maneja cada componente de Fourier separadamente. Sin embargo, para no

perder generalidad, se consideran los potenciales, los campos, y la radiación de un sistema localizado de cargas y corrientes [5] que varían en forma sinusoidal en el tiempo:

$$\rho(x, t) = \rho(x)e^{-i\omega t} \quad (1)$$

$$\mathbf{J}(x, t) = \mathbf{J}(x)e^{-i\omega t} \quad (2)$$

Los potenciales y campos electromagnéticos se asumen con la misma dependencia temporal. La solución para el potencial vector con la dependencia temporal de la ecuación (2), es:

$$\mathbf{A}(x) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \mathbf{J}(x') \frac{e^{ik|x-x'|}}{|x-x'|} d^3x' \quad (3)$$

Donde  $k = \omega/c$  es el número de onda. El campo magnético está dado por:

$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \mathbf{A} \quad (4)$$

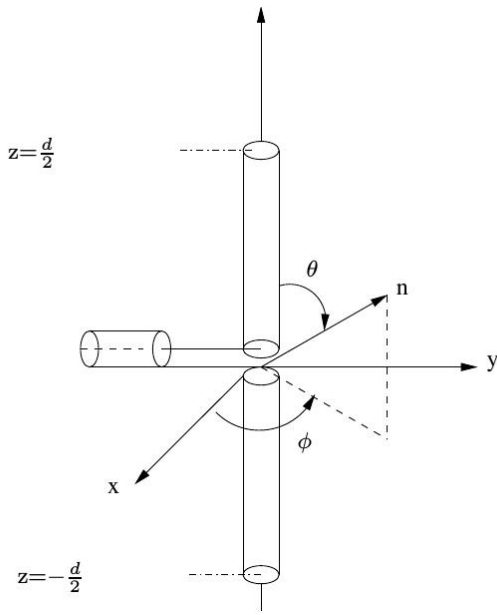
Mientras que afuera de la fuente, el campo eléctrico es:

$$\mathbf{E} = \frac{iZ_0}{k} \nabla \times \mathbf{H} \quad (5)$$

Donde  $Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$  es la impedancia del espacio libre. Dada una densidad de corriente  $\mathbf{J}(x')$  en principio, se puede determinar, por cálculo directo de la integral en la ecuación (3), los campos electromagnéticos [9].

### B. Antena Lineal Alimentada en el Centro

Como ejemplo de la aplicación de una expansión multipolar de una fuente cuyas dimensiones son comparables a una longitud de onda, se tomó en cuenta la radiación de una antena lineal alimentada en el centro. Se supone que la antena se encuentra a lo largo del eje  $z$  y se extiende desde  $z = -\frac{d}{2}$  a  $z = \frac{d}{2}$ , (ver Fig. 1).



Fuente: Los autores, 2014.

Fig. 1. Antena lineal alimentada en el centro.

La corriente que fluye a lo largo de la antena se anula en los puntos finales, y es una función par de  $z$ . Si el amortiguamiento debido a la emisión de radiación se desprecia, la corriente a lo largo de la antena puede ser tomada como sinusoidal en tiempo y espacio con  $k = \omega/c$ , y simétrica en los dos brazos de la antena. La corriente se anula en los extremos de la antena. Por lo tanto, la densidad de corriente [10] se puede escribir como:

$$J(x) = I \operatorname{sen} \left( \frac{kd}{2} - k|z| \right) \delta(x) \quad (6)$$

Para  $|z| < (d/2)$ , las funciones delta aseguran que la corriente fluye solo a lo largo del eje  $z$ .  $I$  es el valor del pico de corriente si  $kd \geq \pi$ . La corriente de la brecha es  $I_0 = I \operatorname{sen}(kd/2)$ . Con la densidad de corriente dada por la ecuación (6), el potencial vectorial está en la dirección  $z$ , y en la zona de radiación tiene la forma:

$$A(x) = \hat{z} \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{(-d/2)}^{(d/2)} \operatorname{sen} \left( \frac{kd}{2} - k|z| \right) e^{-ikz \cos \theta} dz \quad (7)$$

Integrando por partes la ecuación (7), se obtiene:

$$A(x) = \hat{z} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2Ie^{ikr}}{kr} \left[ \frac{\cos \left( \frac{kd}{2} \cos \theta \right) - \cos \left( \frac{kd}{2} \right)}{\operatorname{sen}^2 \theta} \right] \quad (8)$$

El campo magnético en la zona de radiación está dado por  $H = ikn \times A/\mu_0$ , su magnitud es  $|H| = k \operatorname{sen} \theta |A_3|/\mu_0$ . Entonces la potencia media radiada por unidad de ángulo sólido será:

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{Z_0 I^2}{8\pi^2} \left| \frac{\cos \left( \frac{kd}{2} \cos \theta \right) - \cos \left( \frac{kd}{2} \right)}{\operatorname{sen}^2 \theta} \right|^2 \quad (9)$$

El vector de polarización de la radiación se encuentra en el plano que contiene la antena y el vector radial al punto de observación. La distribución angular de la ecuación (9) depende del valor de  $kd$ . En el límite de longitud de onda larga ( $kd \ll 1$ ), la distribución de potencia se reduce a la correspondiente a un dipolo.

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{Z_0 I^2}{8\pi^2} (kd)^2 \operatorname{sen}^2 \theta \quad (10)$$

Se evaluarán dos valores particulares, cuando  $kd = \pi$  ( $2\pi$ ), correspondiente a la mitad de una longitud de onda de la corriente de oscilación a lo largo de la antena, las distribuciones angulares son:

$$\frac{dP}{d\Omega} = \begin{cases} \frac{\cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \cos \theta \right)}{\operatorname{sen}^2 \theta}, & \text{si } kd = \pi \\ \frac{4 \cos^4 \left( \frac{\pi}{2} \cos \theta \right)}{\operatorname{sen}^2 \theta}, & \text{si } kd = 2\pi \end{cases} \quad (11)$$

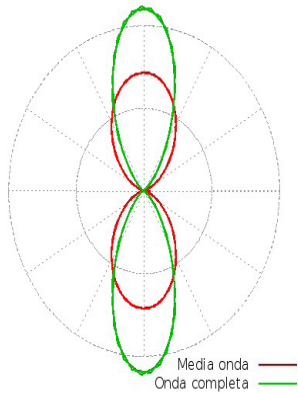
La distribución de potencia media por unidad de ángulo sólido para la antena de media onda o modo fundamental, es:

$$\frac{dP}{d\Omega} = k_1 \frac{I_0^2}{2\pi c} \left[ \frac{\cos^2(\pi/2 \cos\theta)}{\text{sen}^2\theta} \right] \quad (12)$$

La distribución de potencia media por unidad de ángulo sólido para la antena con  $d = \lambda$ , es:

$$\frac{dP}{d\Omega} = k_1 \frac{I_0^2}{2\pi c} \left[ 4 \frac{\cos^4(\pi/2 \cos\theta)}{\text{sen}^2\theta} \right] \quad (13)$$

Las distribuciones angulares de las ecuaciones (12) y (13) son mostradas en la Fig. 2 [11].



Fuente: Los autores, 2014

Fig. 2. Lóbulos de radiación de la antena de media onda y de la antena de una longitud de onda.

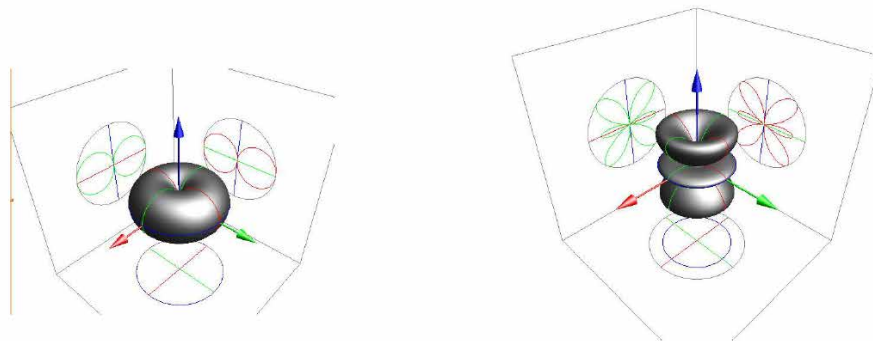
La distribución de la antena de media onda ( $\lambda/2$ ) es similar al patrón presentado por el dipolo, mientras que la distribución para la antena de onda completa es más fuerte. La distribución de onda completa puede ser considerada como debido a la superposición coherente de los campos de dos antenas de media onda, uno encima del otro, excitados en fase.

### C. Patrones de Radiación Simulados

La simulación fue realizada en *Mathematica* [12], en esta se simuló una antena lineal alimentada en el centro. El patrón de radiación normalizado para el campo eléctrico de una antena lineal, dipolar, simétrica y alimentada en el centro en dirección del eje z como la mostrada en la Fig. 1, con una distribución de corriente sinusoidal, está dado por:

$$E = \left| \frac{\cos\left(\frac{\pi L \cos\theta}{\lambda}\right) - \cos\left(\frac{\pi L}{\lambda}\right)}{\text{sen}\theta} \right| \quad (14)$$

En la simulación, se varió el ángulo desde  $0 \geq \theta \leq \pi$  para valores de la longitud total por unidad de longitud de onda del dipolo que van desde 0,  $1 \geq L/\lambda \leq 10$   $L/\lambda$ . La Fig. 3 muestra las distribuciones angulares de la potencia radiada (Ecuación 13) para la antena de media onda y onda completa.



Fuente: Los autores, 2014.

Fig. 3. Lóbulos de radiación de la antena de media onda y de la antena de una longitud de onda.

### III. CONCLUSIONES

En los patrones de radiación simulados, se puede ver que, a medida que se aumenta la longitud de onda, la distribución de potencia es menor para ángulos entre  $0$  y  $2\pi$  y se concentra a lo largo del eje  $z$ , es decir, en dirección del campo eléctrico.

Las distribuciones de corriente con dependencia armónica con el tiempo en antenas lineales delgadas con alimentación central, son ondas estacionarias aproximadamente senoidales que se anulan en los extremos, las únicas intensidades de campo lejano son debidas al campo eléctrico y magnético.

### REFERENCIAS

- [1] H. P. Williams, “Antenna Theory and Design”, in Foundations of Antenna Theory, Pittman, vol. 1. London, 1950.
- [2] K. T. McDonald, Radiation in the Near Zone of a Hertzian Dipole, 2004.
- [3] K. T. McDonald, Radiation in the Near Zone of a Small Loop Antenna, 2004.
- [4] K. T. McDonald, Radiation in the Near Zone of a Short, Center-Fed Biconical Antenna, 2004.
- [5] G. E. Albert, and J. L. Synge, “The General Problem of Antenna Radiation and the Fundamental Integral Equation, with Application to an Antenna of Revolution – Part I”, Quart. Appl. Math. , vol. 6, no. 2, pp. 117-131, 1948.
- [6] H. C Pocklington, “Electrical Oscillations in Wires”, Proc. Camb. Phil. Soc., vol. 9, p. 324, 1897.
- [7] K. T. McDonald, Currents in a Center-Fed Linear Dipole Antenna, 2007.
- [8] J. D. Jackson, Classical Electrodynamics, 3rd ed. Wiley, New York, 1999.
- [9] R. Bechmann, “Calculation of Electric and Magnetic Field Strengths of Any Oscillating Straight Conductors”, Proc. I. R. E. , vol. 19, p. 461, 1931.
- [10] J. R. Carson, “Electromagnetic Theory and the Foundations of Electric Circuit Theory”, Bell Syst. Tech. J. , vol. 6, 1927.
- [11] S. A. Schelkunoff, “Theory of Antennas of Arbitrary Shape and Size”, Proc. I. R. E. , vol. 29, p. 493, 1941.
- [12] Wolfram Demonstrations Project, Dipole Antenna Radiation Pattern. [Online]. Available: <http://demonstrations.wolfram.com/DipoleAntennaRadiationPattern/>