

DISEÑO DE UNA RECTENA DE ONDA COMPLETA DE TRIPLE FRECUENCIA

J. Morcillo Sánchez⁽¹⁾, V. González Posadas⁽²⁾, M. Midrio⁽³⁾ y D. Segovia Vargas⁽¹⁾.

⁽¹⁾ dani@tsc.uc3m.es

⁽¹⁾ Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones . Universidad Carlos III de Madrid.
Avenida de la Universidad 30, 28911, Leganés, Madrid, Spain

⁽²⁾ Dpto. de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones . Universidad Politécnica de Madrid

⁽³⁾ Dpto di Ingegneria Elettrica, Gestionale e Meccanica . Università degli Studi di Udine

Resumen- Modern communication systems use multifrequency or broadband antennas in order to provide multiple communication services. One of the biggest problems associated to all these systems comes from their batteries life cycle. Nowadays, great efforts are being undertaken in order to harvest energy from as many places as possible. In addition, if the two cycles of the corresponding wave could be used, it would be good in order to increase the RF-DC power conversion. This paper presents a multifrequency and full wave-rectifying antenna for microwave application.

I. INTRODUCCIÓN

La rectificación de señales de microondas que proporcionen potencia mediante transmisión inalámbrica se lleva estudiando desde mucho tiempo. La necesidad de suministrar potencia DC a los dispositivos inalámbricos se ha incrementado considerablemente. De hecho, todos los dispositivos nuevos de comunicación necesitan potencia DC con la que alimentar sus propias baterías. Dicha necesidad surge del intento de alargar el ciclo de vida de las baterías correspondientes. Durante los últimos años, se han propuesto muchas aplicaciones para las rectenas. Una de ellas [1] se basa en un array de rectenas de banda ancha que proporciona potencia DC. En otro ejemplo se presenta un completo análisis para el diseño de una antena rectificadora de medio ciclo. Posteriormente, se propuso en [2] varias rectenas de ciclo completo trabajando a una única frecuencia. La rectificación completa en una banda ancha o multifrecuencia es una idea muy atractiva desde el punto de vista del incremento de potencia DC y alargamiento del ciclo de vida de las baterías.

Dado que la mayoría de los dispositivos inalámbricos trabajan a múltiples frecuencias, siempre se tratará de disponer rectenas que obtengan potencia DC para todas las frecuencias de funcionamiento de un dispositivo inalámbrico simultáneamente. El presente artículo muestra el análisis de una rectena de onda completa de triple frecuencia, que consigue trabajar en tres valores típicos de frecuencia para comunicaciones móviles y Wi-Fi. El sistema completo se muestra en la Fig. 1, donde se observa un diagrama de bloques básico de la rectena.

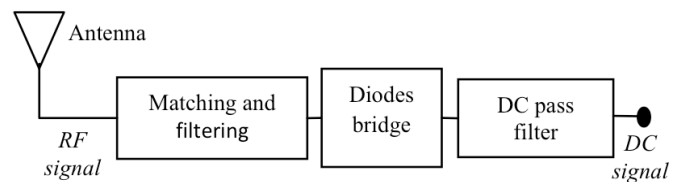


Fig. 1. Diagrama de bloques de la rectena

La rectena de triple frecuencia se basa en un modelo inicial de diodo, el rectificador de onda completa (ambos bloques desarrollados mediante el programa Microwave Office v.8.06) y la antena multifrecuencia (desarrollada con el programa CST Studio 2010). Se observa que la antena multifrecuencia o de banda ancha se conecta a la red de adaptación y al correspondiente puente de diodos.

II. DISEÑO DEL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA

El tipo de diodo más utilizado en el campo de la radiofrecuencia es el diodo de barrera Schottky. El principal motivo es que se trata de un dispositivo semiconductor, por lo que es un orden de magnitud más rápido que los diodos de unión PN. Su principal inconveniente es su corriente inversa relativamente elevada que, para el presente estudio, no se trata de un factor determinante. Se puede elegir entre las dos siguientes series de componentes: la HSMS-282x y la MA4E131x. La primera de ellas es más sencilla de soldar debido a sus mayores dimensiones. Pero la segunda ofrece mejores resultados, que se mostrarán las secciones siguientes.

Modelo Spice. El modelo Spice de un diodo de barrera Schottky incluye una fuente de corriente que se aproxima utilizando la siguiente expresión:

$$I_{forward} = I_S e^{V_j / 2NV_t} \quad (1)$$

donde V_j indica la tensión a través de la unión, V_t indica el valor de voltaje térmico ($=kT/q$) y N está típicamente comprendido entre 1,04 y 1,08. Los parámetros del diodo de la Fig. 2 se obtienen de la curva V-I de la Fig. 3. Se necesitan dos medidas para este modelo: la corriente a través del diodo y la tensión en los terminales del diodo.

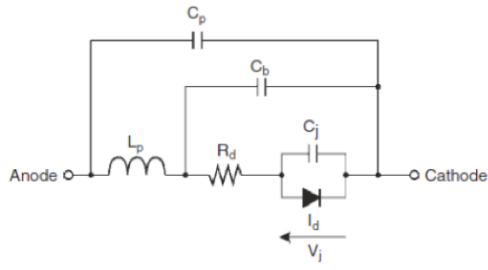


Fig. 2. Circuito equivalente del diodo [2]

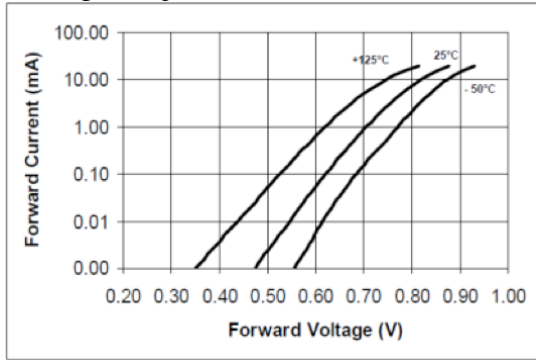


Fig. 3. Curva V-I en función de la temperatura [3]

El rectificador de media onda es más sencillo que el rectificador de onda completa pero desaprovecha los semiciclos negativos de la señal. Al utilizar los rectificadores de onda completa en lugar de los de media onda, este problema se subsana a cambio de dificultar la fabricación del rectificador.

La primera opción para el diseño de rectificadores de onda completa se basa en la configuración de dos diodos. En este tipo de rectificadores sólo existe una referencia de voltaje común tras los dos diodos, de forma que presentan masa flotante en el transformador. El esquemático propuesto se muestra en la siguiente figura:

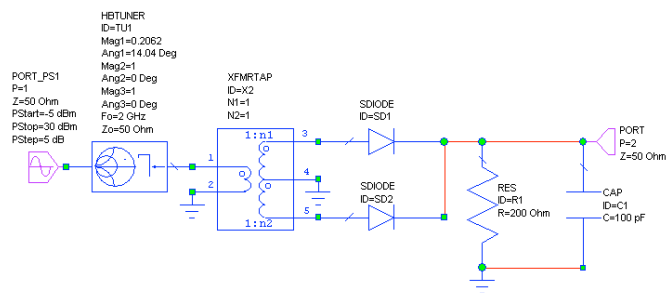


Fig. 4. Esquemático del rectificador de onda completa

La configuración se completa una vez que se obtiene la extracción de los parámetros. La principal característica de este circuito es que se necesita usar un transformador de masa común entre el puerto de entrada y los diodos. Por tanto, el voltaje de entrada al transformador es diferencial, como se muestra en la Fig. 4.

Esta configuración se basa en un transformador simple para la tensión diferencial a la entrada, los dos diodos y el integrador final, que obtiene la señal DC. A la entrada se coloca un elemento de barrido de potencia, y a la salida basta con un puerto básico para tomar las medidas necesarias. El bloque situado entre el puerto de entrada y el transformador se utiliza para las simulaciones Load-Pull. Antes de implementar y fabricar el circuito, se necesitan realizar las simulaciones Load-Pull para calcular el valor óptimo del

coeficiente de reflexión a la entrada, con el que se obtiene la tasa de conversión potencia-voltaje máxima. Este valor se corresponde con el valor óptimo de la carga de la antena que evita tener que colocar redes de adaptación entre ambos elementos. En la Fig. 5 se muestra el resultado de las simulaciones Load-Pull, obteniéndose un valor del coeficiente de reflexión de $0,2062_{14,04^\circ}$.

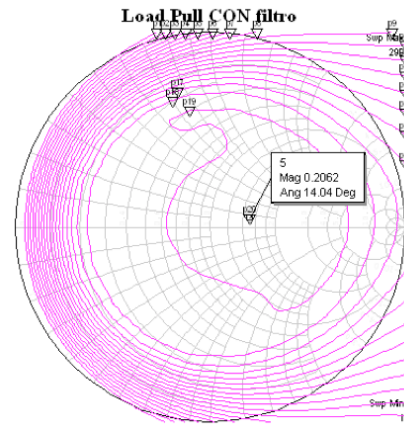


Fig. 5. Curvas Load-Pull para el rectificador de onda completa

El rectificador se ha fabricado sobre un sustrato de tipo FR4 ($\epsilon_r=4.5$, $H=0.5\text{mm}$). Se han utilizado dos diodos HSMS2820, y se han implementado resistencias y condensadores de la serie 0805. En la Fig. 6 se muestra el esquemático fabricado del correspondiente circuito.

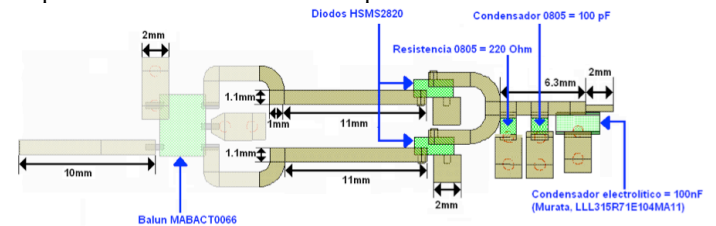
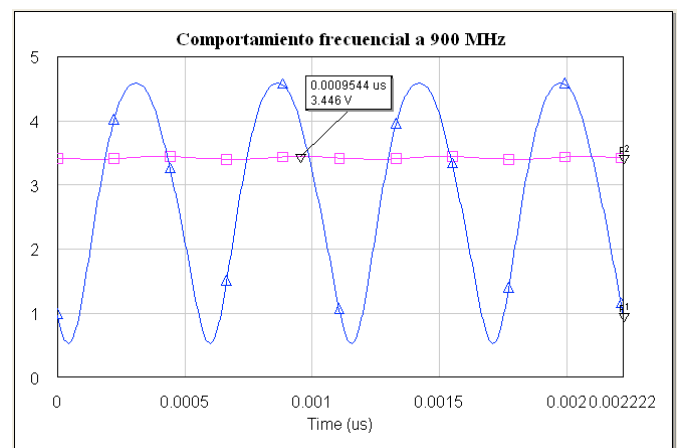


Fig. 6. Esquemático del rectificador de onda completa

Las curvas rectificadas para los tres valores de frecuencia se muestran en las siguientes gráficas.



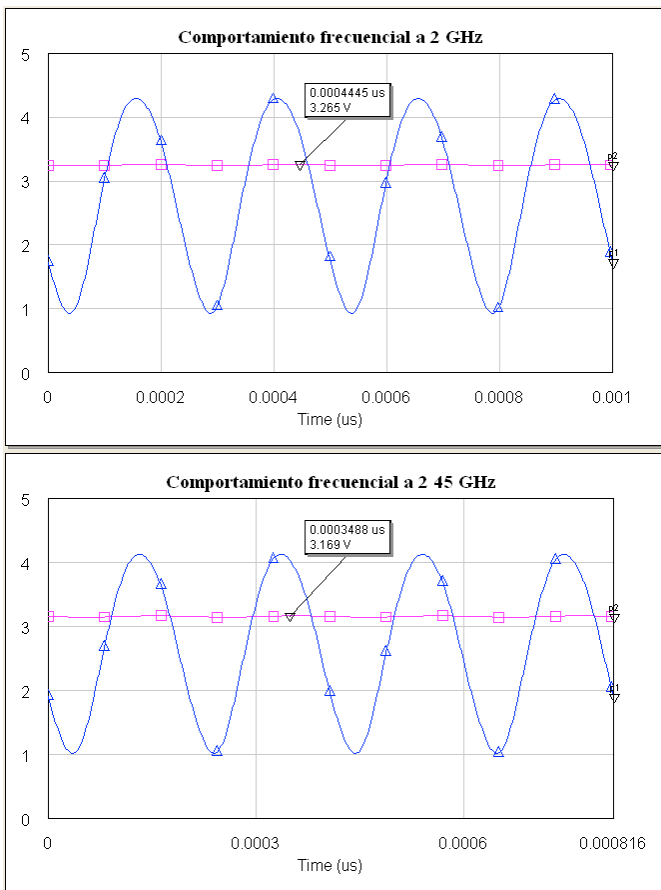


Fig. 7. Curvas rectificadas a 900 MHz, 2 GHz y 2,45 GHz

La otra configuración más típica para los circuitos rectificadores se basa en el denominado puente de diodos. En este caso, se colocan cuatro diodos en una topología de puente para evitar la presencia de transformadores. El precio a pagar ahora será la existencia de masas flotantes y de todos los voltajes diferenciales. El esquemático del circuito propuesto se muestra en la siguiente figura, en donde se han incluido dos transformadores para poder realizar las medidas de Load-Pull.

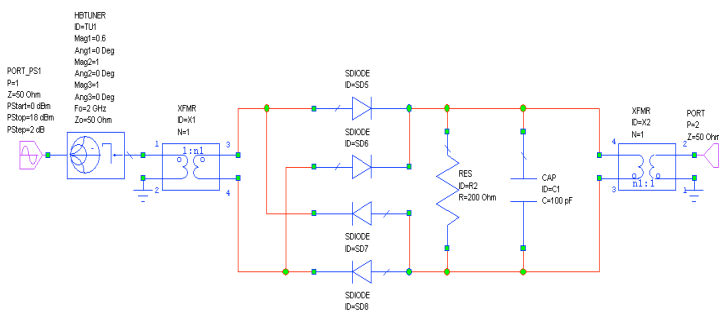


Fig. 8. Rectificador de onda completa de puente de diodos

El procedimiento anterior se ha repetido para encontrar el valor óptimo de la impedancia en la carga. Las curvas Load-Pull obtenidas se muestran en la Fig. 9, con un coeficiente de reflexión situado de $0,6_{0^\circ}$.

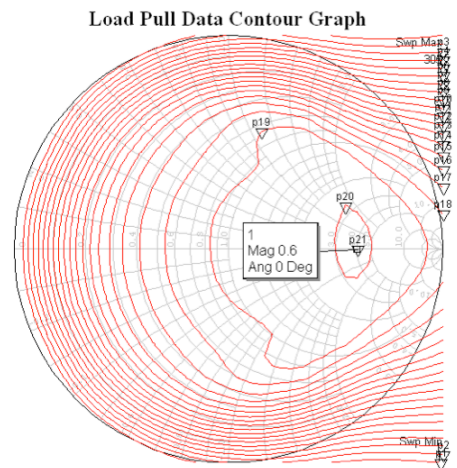


Fig. 9. Curvas Load-Pull para el rectificador de onda completa de diodos

Las formas de onda rectificadas se muestran en la Fig. 10: la salida inicial con su valor de DC, y la salida tras utilizar el bloque Load-Pull con su correspondiente valor de DC. Se observa que la red Load-Pull influye en la forma de onda, pero asegura la tasa de conversión óptima.

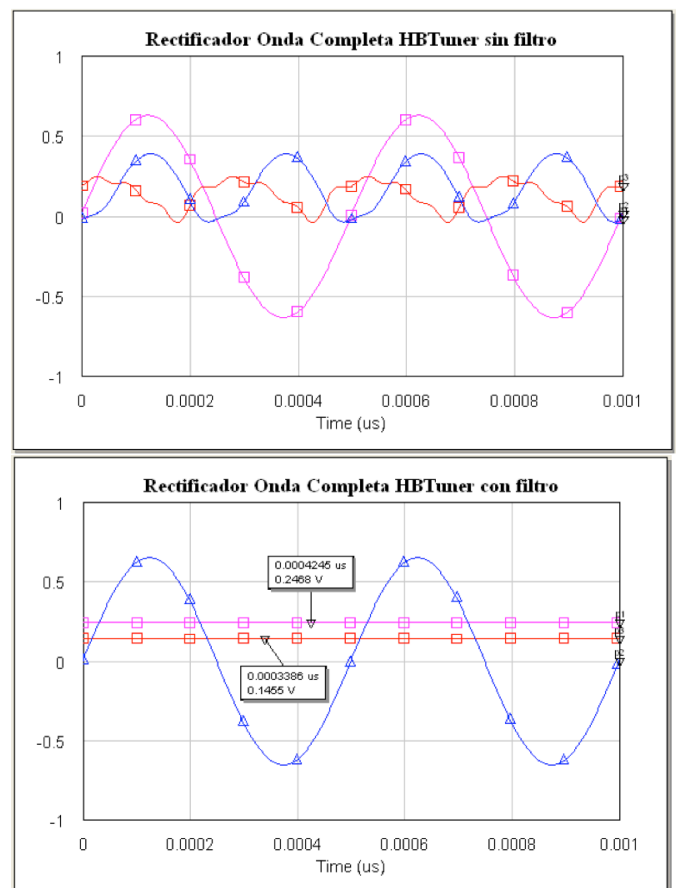


Fig. 10. Ondas rectificadas obtenidas del rectificador de onda completa de puente de diodos (arriba sin filtro, abajo con filtro)

Una vez que se han diseñado los rectificadores, deben integrarse en la antena multifrecuencia o de banda ancha, que se presentan en la siguiente sección.

III. DISEÑO DE LA ANTENA

Se pueden desarrollar dos tipos de tipos de antenas: el primero sería el de antenas multifrecuencia, y el segundo el

de antenas de banda ancha. Para el primero de ellos, se propone una antena que recoja la energía procedente de las comunicaciones móviles, pudiendo trabajar a los valores de frecuencia de 900 MHz, 2 GHz y 2,45 GHz. El factor determinante en el caso del diseño de uno u otro tipo de antena será la facilidad de fabricación.

La antena elegida en este estudio trabaja simultáneamente a tres valores de frecuencia diferentes: 900 MHz y 2 GHz (valores típicos de comunicaciones móviles), y a 2,45 GHz (Wi-Fi). El procedimiento se basa en apilar dos parches con dos SRRs (*Split Ring Resonators*, o Resonadores de apertura en anillo). Para conseguir el correcto funcionamiento de la antena de triple frecuencia se proponen las dos siguientes opciones.

Antenas de parche: se han diseñado tres parches diferentes, cada uno trabajando a una frecuencia diferente: el primero a 900 MHz, el segundo a 2 GHz y el tercero a 2,45 GHz. Todos ellos están alimentados por coaxial.

SRRs: el mismo procedimiento se ha desarrollado para las tres diferentes opciones con SRRs. Se ha diseñado una pareja de SRRs para cada valor de frecuencia. Dado que el circuito equivalente de un SRR es una inductancia y una capacitancia en paralelo, el elemento resonará a una cierta frecuencia dependiendo de sus dimensiones [4]. En la Fig. 11 (a) se muestra el diseño del SRR básico.

Diseño final: la decisión final se ha tomado a la vista de los resultados de las diferentes configuraciones posibles. Inicialmente, se parte de las tres opciones resultado de combinar los parches y los SRRs para las tres frecuencias: 1) parche a 900 MHz y dos SRRs a 2 GHz y 2,45 GHz, 2) parche a 2 GHz con dos SRRs a 900 MHz y 2,45 GHz, y 3) parche a 2,45 GHz con dos SRRs a 900 MHz y 2 GHz. El diseño con el que se obtuvieron los mejores resultados fue una combinación de dos parches con dos SRRs. Concretamente, dos antenas de parches a 900 MHz y 2 GHz fueron apiladas. Sobre el sustrato de la segunda de ellas se colocó un par de SRRs resonando a 2,45 GHz, como se observa en la Fig. 11 (b). El sustrato seleccionado fue polipropileno ($\epsilon_r=2.4$, $H=10\text{mm}$), obteniéndose como primera aproximación de su parámetro s_{11} el mostrado en la Fig. 11 (c). Nótese que la segunda resonancia no influye en el correcto funcionamiento de la antena completa, ya que su dirección en el diagrama de radiación es completamente distinta al resto. Ello se debe a que la segunda resonancia se corresponde con el segundo armónico de la primera resonancia. Por último, sólo destacar que se observa en la gráfica del parámetro s_{11} que la antena se adapta a las dos primeras frecuencias de 900 MHz y 2 GHz correctamente, pero no así a la tercera frecuencia de 2,45 GHz. Es por ello por lo que se ha continuado trabajando con una antena de banda ancha como continuación del presente artículo.

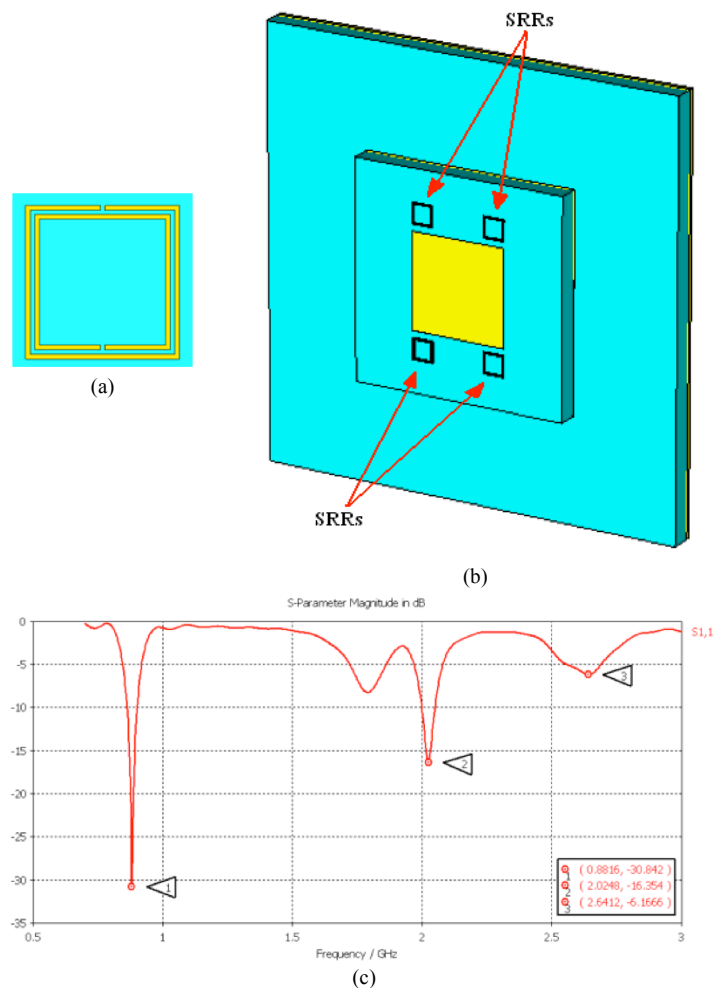


Fig. 11. Antena multifrecuencia basada en elementos de metamateriales

IV. CONCLUSIONES

Se han presentado rectenas multifrecuencia basadas en rectificadores de onda completa. El objetivo es recoger tanta energía como sea posible; por ese motivo se ha mostrado un rectificador de onda completa integrado en una antena de triple frecuencia para aprovechar todos los recursos posibles.

Se han propuesto varios ejemplos dependiendo de los valores de frecuencia elegidos.

REFERENCIAS

- [1] J. A. Hagerty, F. B. Helmbrecht, W. H. McCalpin, R. Zane and Z. B. Popovic, "Recycling Ambient Microwave Energy with Broad-Band Rectenna Arrays", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 52-3, pp. 1014-1024, march 2004
- [2] Y. J. Ren and K. Chang, "5.8 GHz Circularly Polarized Dual-Diode Rectenna and Rectenna Array for microwave power transmission", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54-4, pp. 1495-1502, march 2004.
- [3] Radio-Electronics.com, *The Schottky barrier diode*. <http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/schottky_diode/schottky_barrier_diode.php>.
- [4] George D. Vendelin, Anthony M. Pavio, Ulrich L. Rhode. *Microwave Circuit Design Using Linear and Non Linear Techniques*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2005.
- [5] Macom Technology Solutions, GaAs Flip Chip Schottky Barrier Diodes, Data Sheets, MA4E131x Series.
- [6] Ricardo Marqués, Ferran Martín and Mario Sorolla. *Metamaterials with Negative Parameters*. Wiley-Interscience, 2008.