

La rotación de Faraday

El desarrollo de materiales ferritas aptos para usar a frecuencias de microondas ha resultado en una gran cantidad de dispositivos de microondas. Un número de estos tienen propiedades no recíprocas; o sea, el coeficiente de transmisión a través del dispositivo no es igual para diferentes direcciones de propagación. El entendimiento de la operación de los dispositivos de ferritas puede lograrse al entender la naturaleza básica de la propagación de microondas en un medio ferrita. Así, una onda se propaga en un medio ferrita con un campo magnético estático polarizante B_0 presente. Dentro del medio los modos de propagación naturales en la dirección de B_0 son ondas de polarización circular a la derecha y a la izquierda y estos modos tienen diferentes constantes de propagación. Además, la permeabilidad del medio no es un constante escalar, más bien se trata de un tensor, que se puede representar como una matriz.

Las ferritas son materiales parecidas a la cerámica con resistividades específicas en el orden de 10^{14} más alto que los metales, y con constantes dieléctricas entre 10 a 15 o más. Las ferritas se obtienen al sinterizar una mezcla de óxidos metálicos y tienen una composición química general $MO \cdot Fe_2O_3$, en la cual M es un metal bivalente como manganeso, magnesio, hierro, zinc, níquel, cadmio, etc, o una mezcla de éstos. Es común encontrar una permeabilidad de varios miles. Las propiedades magnéticas de las ferritas se deben principalmente al momento dipolar magnético debido al espín del electrón. Al tratar el electrón que gira como un trompo giroscópico, se puede obtener la imagen clásica del proceso de la magnetización, y las propiedades magnéticas anisotrópicas. En particular cuando una onda se propaga a través de una muestra de ferrita con un campo magnético externo polarizante aplicado de forma adecuada, el campo electromagnético gira de forma horario o anti-horario dependiendo del campo magnético polarizante aplicado. Este efecto no-recíproco es la rotación de Faraday. Con un campo magnético polarizante aplicado, el campo gira en la misma dirección para propagación en las direcciones opuestas.

El girador

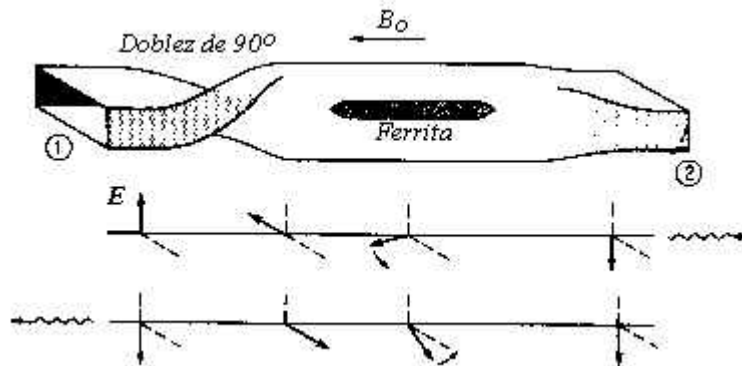


Figura 1
El girador

El girador se define como un dispositivo de 2 puertos que tiene un cambio de fase relativo de 180° para transmisión desde el puerto 1 hacia el puerto 2 comparado con el cambio de fase para transmisión desde el puerto 2 hacia el puerto 1. Se puede obtener un girador al emplear la propiedad no-recíproca de la rotación de Faraday. La figura 1 muestra

un girador típico de microondas. Consiste de una guía de onda rectangular con una sección doblada por 90° conectada a una guía de onda circular que a su vez se conecta a otra sección de guía de onda rectangular, esta vez sin doblez. Las dos GOR tienen la misma orientación en los puertos de entrada. La GOC tiene una barra cilíndrica de ferrita con sus extremos perfilados para evita reflexiones. Un campo magnético axial externo estático se aplica para producir una rotación de 90° del modo dominante TE_{11} en la GOC. Considere una onda propagándose desde la izquierda hacia la derecha. Al pasar el doblez en la primera transición GOR – GOC la polarización del campo eléctrico es rotado 90° en la dirección anti-horario. Si la ferrita produce una rotación adicional de 90° anti-horario, el ángulo total de rotación será 180° como se observa en la figura 1. Al pasar por la segunda transición la polarización no se altera. Para una onda propagándose desde la derecha hacia la izquierda, al entrar en el puerto 2, la primera transición, la polarización quede intacta hasta llegar a la ferrita. Al pasar por la ferrita, la polarización de la onda es rotado por 90° por el efecto de la rotación de Faraday en el mismo sentido que antes. Al llegar al segundo extremo de la ferrita, la polarización es ahora paralelo a la pared ancha de la GOR. Al pasar por la segunda transición (con el doblez) la polarización se rota ahora en sentido horario cancelando el efecto de la rotación de Faraday. Así. Para transmisión desde el puerto 2 hacia el puerto 1, la rotación neta de la polarización es cero. La rotación de 180° para transmisión desde el puerto 1 hacia el puerto 2 es equivalente a un cambio de fase adicional de 180° puesto que se invierte la polarización del campo. Entonces, este dispositivo satisface la definición de un girador.

Si no es inconveniente de tener las GOR de entrada y salida orientados a 90° , un girador sin la sección de 90° doblada se puede construir. Con referencia a la figura 2, se ve que si la ferrita produce una rotación de 90° y la guía de salida esta rotado por 90° relativo a la guía de entrada, la onda saliente tendrá la polarización correcta para salir del puerto de salida. Cuando la propagación es desde el puerto 2 hacia el puerto 1, la onda llegará a la guía 1 con su polarización cambiado por 180° como se muestra por la figura 2. Así el cambio de fase diferencial de 180° se produce de nuevo.

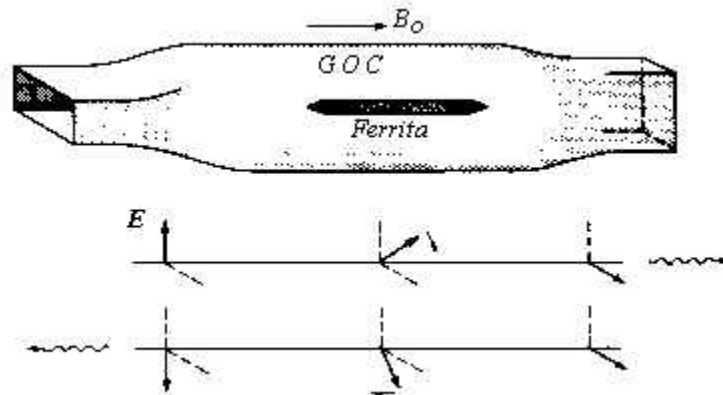


Figura 2
El girador sin doblez

El aislador

El aislador produce una transmisión no atenuada para transmisión desde el puerto 1 hacia el puerto 2 pero produce una alta atenuación para transmisión en la dirección opuesta. El aislador frecuentemente se utiliza para acoplar la señal de un generador a una carga. Tiene la gran ventaja que toda la potencia disponible se entrega a la carga, pero si desde la carga se produce reflexiones, nada llega a los terminales de salida del generador. De tal manera el generador ve una carga acoplada y se evitan los efectos de variación de potencia y cambios en la frecuencia.

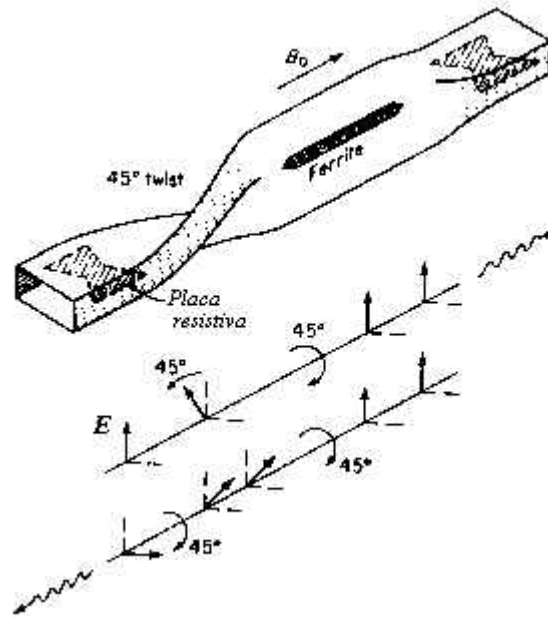


Figura 3
El aislador

El aislador, mostrado en la figura 3, es parecido al girador excepto que tiene un doblez de 45° y una sección con rotación de Faraday de 45°. Además, placas resistivas delgadas perfiladas se colocan en las guías de entrada y salida para absorber el campo con la polarización paralelo a la pared ancha de la GOR. La operación es como sigue: Una onda propagándose desde el puerto 1 hacia el puerto 2 tiene su polarización rotado 45° por el doblez y 45° por el efecto de la rotación de Faraday. Saldrá del puerto 2 con la polarización correcta para propagarse en la guía de salida. Una onda propagándose desde el puerto 2 hacia el puerto 1 tendrá su plano de polarización rotado por 90° y entra en la guía del puerto 1 con el campo eléctrico paralelo a la placa resistiva, luego a ser absorbido. Sin la placa resistiva, la onda se reflejaría del puerto 1 a causa de la polarización incorrecta, ya que no puede propagarse en la guía del puerto 1. Sin embargo reflexiones múltiples dentro del aislador conlleva a transmisión en ambos sentidos, es por esta razón que se ubican placas resistivas en las guías de los puertos entrante y saliente para lograr un desempeño satisfactorio. Típicas cifras de desempeño son una pérdida en la transmisión hacia adelante de 1 dB, y una atenuación en la dirección opuesta de 20 a 30 dB, con un ancho de banda de casi 10%.

El circulator

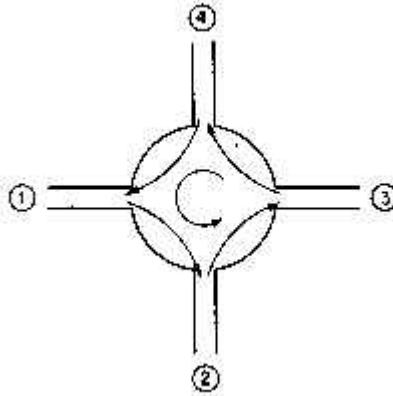


Figura 4
Un circulator de 4 puertos

El circulator es un dispositivo multipuerto que posee la propiedad (la figura 4) que una señal que entra en el puerto 1 se acopla solamente al puerto 2, una onda incidente en el puerto 2 se acopla solamente al puerto 3, etc. El circulator ideal es un dispositivo adaptado en el sentido de que con todos los puertos menos uno conectados a cargas acopladas, la impedancia de entrada del puerta restante es igual a la impedancia característica de la línea de entrada, de modo que presenta una carga acoplada.

Un circulator de 4 puertos puede construirse con dos T-mágica y un girador como se muestra en la figura 5. El girador produce un cambio de fase adicional de 180° para propagación desde a hacia b en la figura 5. Para propagación de b hacia a y también desde c hacia d o d hacia c , las longitudes eléctricas son iguales.

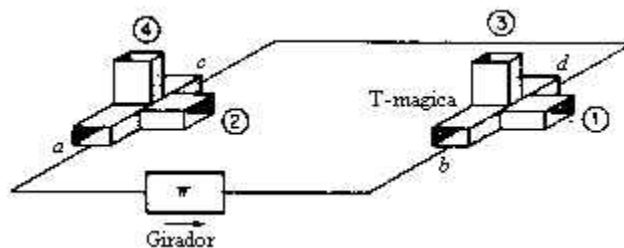


Figura 5
Un circulator de 4 puertos

Considere una onda incidente en el puerto 1. Esta onda se divide en dos partes iguales en amplitud y fase en los brazos laterales de la T-mágica. Las ondas llegan en fase a los puntos a y c , y de esta manera se suman para salir del puerto 2. Una onda incidente en el puerto 2 se divide en dos partes iguales en amplitud y en fase y sale de los brazos laterales a y c pero para transmisión desde a hacia b la onda llegará al puerto b 180° fuera de fase comparado con la onda que se transmite desde c hacia d por el efecto del girador. Estas ondas parciales tendrán sus fases relativas para combinarse y salir del puerto 3 de la T-mágica. Una onda incidente en el puerto 3 se divide en dos partes de amplitudes iguales pero 180° fuera de fase y saldrán de b y d , llegando luego a los puertos a y c sin alteración

de los 180° entre sus componentes y así tendrán sus fases correctas para combinarse y salir del puerto 4. Finalmente una onda que entra el puerto 4 saldrá de los puertos a y c con sus componentes 180° fuera de fase y para la transmisión desde a hacia b la onda que pasa por el girador estará en fase con la señal que se transmite desde c hacia d , para luego combinarse y salir del puerto 1. De esta manera el dispositivo mostrado arriba satisface las propiedades de un circulator de 4 puertos.

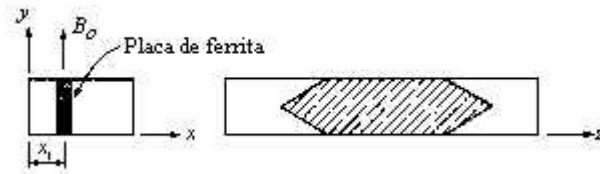


Figura 6
El desfaseador no-recíproco

Un circulator de 4 puertos más compacto puede construirse al emplear acopladores de 3-dB tipo apertura lateral y desfaseadores no-recíprocos tipo guía de onda rectangular. El desfaseador no-recíproco se describe primero. Consiste de una placa delgada de ferrita ubicado en la guía de onda rectangular en un punto donde el campo magnético a-c es polarizado de forma circular, como mostrado en la figura 6. Un campo polarizante B_0 se aplica en la dirección y . En el punto x_1 como el campo magnético a-c es de polarización circular a la derecha para propagación en una dirección y de polarización circular a la izquierda para propagación en la dirección opuesta, el efecto perturbador de la ferrita es diferente para las dos direcciones de propagación. Consecuentemente, la constante de propagación β_+ para la dirección hacia delante es diferente que la constante de propagación β_- para propagación en la dirección hacia atrás. Al escoger la longitud de la placa de manera que $(\beta_+ - \beta_-)l = \pi/2$, se puede lograr un cambio de fase diferencial de 90° para las dos direcciones de propagación.

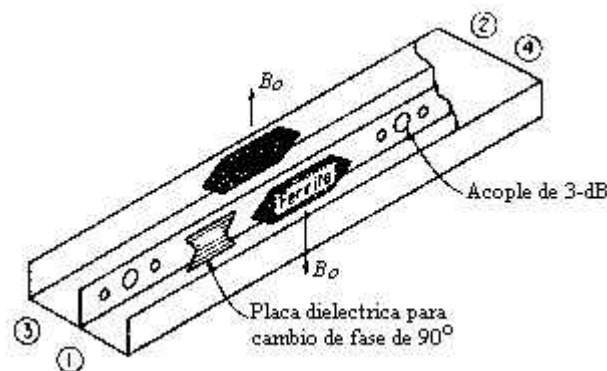


Figura 7
El circulator de 4 puertos compacto

Un circulator de 4 puertos que utiliza dos desfaseadores no-recíprocos de 90° se muestra en la figura 7. Los desfaseadores son polarizados con campos estáticos dirigidos en direcciones opuestas – una arreglo que fácilmente se logra en la práctica con imanes

permanentes como se muestra abajo en la figura 8. Una de las guías se carga con un inserte dieléctrico para proveer un adicional desfasaje recíproco de 90° . Las aperturas de acople se arreglan para lograr un acople de 3-dB. Las ondas acopladas por las aperturas sufre un cambio de fase de 90° , y este cambio de fase es importante en el funcionamiento del circulator.

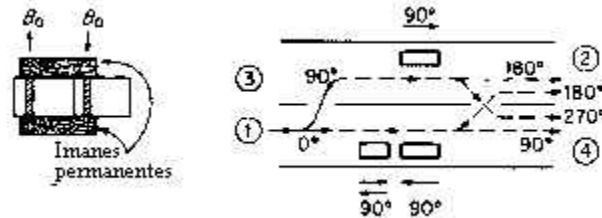


Figura 8
El circulator compacto

Considere una onda en el puerto 1. Esta onda se divide en dos ondas por el primer acoplador de 3-dB, la onda en la guía superior teniendo un cambio de fase de 90° a causa de las propiedades de transmisión de la apertura. La onda en la guía superior llegará al segundo acoplador con una fase relativa de 180° , y la onda en la guía inferior llegará al segundo acoplador con una fase relativa de 90° . El segundo acoplador divide las ondas como se muestra en la figura 8. Se observa que las ondas están fuera de fase en el puerto 4 pero en fase en el puerto 2. Así, la transmisión es del puerto 1 hacia el puerto 2. Un análisis verificará que la onda incidente en el puerto 2 sale del puerto 3, y en general, que la secuencia 1 – 2 – 3 – 4 – 1 se sigue.