

LAS ANTENAS EH

Introducción

Las denominadas antenas EH son un concepto nuevo en el mundo de las antenas, que las aparta de las antenas tradicionales, denominadas genéricamente antenas de Hertz.

Este documento da una explicación técnica sobre este tipo de antenas, y muestra los detalles de construcción de una antena de este tipo.

Una antena tradicional de cualquier tipo, se comporta como un circuito resonante (si está operando a frecuencia de resonancia), en el que la corriente que circula por ella está desfasada 90 grados respecto a la tensión aplicada (como se puede ver en los diagramas de distribución de corrientes y tensiones en una antena resonante). Aunque la alimentación de la antena aplique la tensión y la corriente en fase, en la antena la tensión y la corriente mantienen este desfase de 90 grados.

Dado que la tensión aplicada a la antena por el generador de RF es la responsable del campo eléctrico E generado por la antena y la corriente que circula por ella es la responsable del campo magnético H generado por ésta, en las cercanías de la antena ambos campos no mantienen una relación de fase adecuada, no están en fase, y por tanto no se propagan conjuntamente como un campo electromagnético, sino como campos individuales de inducción, denominados "campos próximos". Sí es cierto que a partir de una cierta distancia a la antena, denominada "distancia de Rayleigh", y por un extraño fenómeno de la naturaleza, ambos campos se enfazan y se propagan conjuntamente constituyendo un campo electromagnético, que es el que se propaga a distancia en forma de ondas electromagnéticas (de radio). Por ello este tipo de campo se denomina también "campo lejano" de la antena.

La distancia de Rayleigh depende del cuadrado de la máxima dimensión de la estructura irradiante y es inversamente proporcional a la longitud de onda, pero no es una distancia fija, sino de referencia, ya que la transición de campos próximos (de inducción) a campos lejanos (electromagnético) es gradual y el límite entre ambos tipos de campos no puede establecerse con exactitud. Esta distancia de transición entre campos próximos y campos lejanos es del orden de $1/3$ de la longitud de onda.

El campo lejano consiste totalmente en energía irradiada en forma de ondas electromagnéticas que ya ha escapado definitivamente de la antena, y que avanzan por el espacio con una polarización (referida al campo eléctrico) igual a la polarización eléctrica de la antena transmisora.

Un campo electromagnético se caracteriza por cumplir las siguientes condiciones (condiciones de Poynting):

Los campos eléctrico E y magnético H han de coexistir en el mismo volumen del espacio.

Ambos campos han de ser ortogonales entre ellos (sus líneas de fuerza deberán ser perpendiculares: sus planos de vibración son perpendiculares).

La relación matemática entre E y H es de 377. Este valor es la denominada impedancia del espacio frente a la propagación de la energía electromagnética.

Los campos E y H han de vibrar (variar) de forma exactamente igual.

Los campos E y H han de estar en fase.

A la distancia de Rayleigh es cuando los campos eléctrico y magnético generados por una antena de tipo Hertz comienzan a enfasarse y cumplir las condiciones de Poynting que definen a un campo electromagnético.

El hecho que en la antena la corriente esté desfasada 90 grados con respecto a la tensión aplicada (está adelantada respecto a la tensión), implica que ésta genera campos próximos eléctricos y magnéticos importantes, y por otro lado, que la potencia total radiada por la antena no sea la máxima posible, pues como es sabido, la potencia disipada por una corriente alterna sobre una carga es máxima cuando la tensión y la corriente están en fase (cosa que no ocurre en una antena convencional, donde este desfase podría interpretarse como una especie de "factor de corrección" de corriente alterna). La energía radiada como campos próximos se puede perder en parte al ser disipada en forma de corrientes inducidas por el campo magnético H cercano en objetos ferromagnéticos muy próximos a la antena, o por absorción del campo eléctrico E cercano por fluorescentes y otros elementos muy próximos a la antena. Estas pérdidas de energía debilitan los campos próximos, y ello da lugar a que se debilite también el campo electromagnético radiado, que es la que va a alcanzar antenas distantes, ya que éste surge por el posterior enfasamiento de los campos E y H cercanos a partir de la distancia de Rayleigh. Por ello, en una antena convencional o de Hertz, parte de la energía entregada por el transmisor o generador de RF se pierde a través de los campos próximos y el resto se propaga en forma de ondas electromagnéticas: el rendimiento real de la antena no es completo.

Por otro lado los campos eléctricos y magnéticos próximos son los responsables de la mayoría de las interferencias electromagnéticas (EMI) en las proximidades de la antena, así como en recepción, de la inducción de ruidos en la antena y por tanto, de la aparición de ruidos de origen local en el receptor de radio.

También afectan a la resistencia de radiación de la antena por la interacción del campo eléctrico con el suelo o la tierra. Es sabido que en el caso de las antenas polarizadas horizontalmente, como puede ser una antena dipolo horizontal, su resistencia de radiación es función de la altura de la antena sobre el suelo cuando está a baja altura, siendo el efecto cada vez menor a medida que la antena está más alta, siendo poco significativo a partir de media onda de altura. Sin embargo, el efecto de tierra apenas tiene efecto en una antena elevada sobre el suelo polarizada verticalmente. Esto da a entender que es el campo eléctrico E cercano de la antena el que al interaccionar con el

suelo (que es más o menos conductor), modifica la resistencia de radiación de la antena.

Las antenas EH

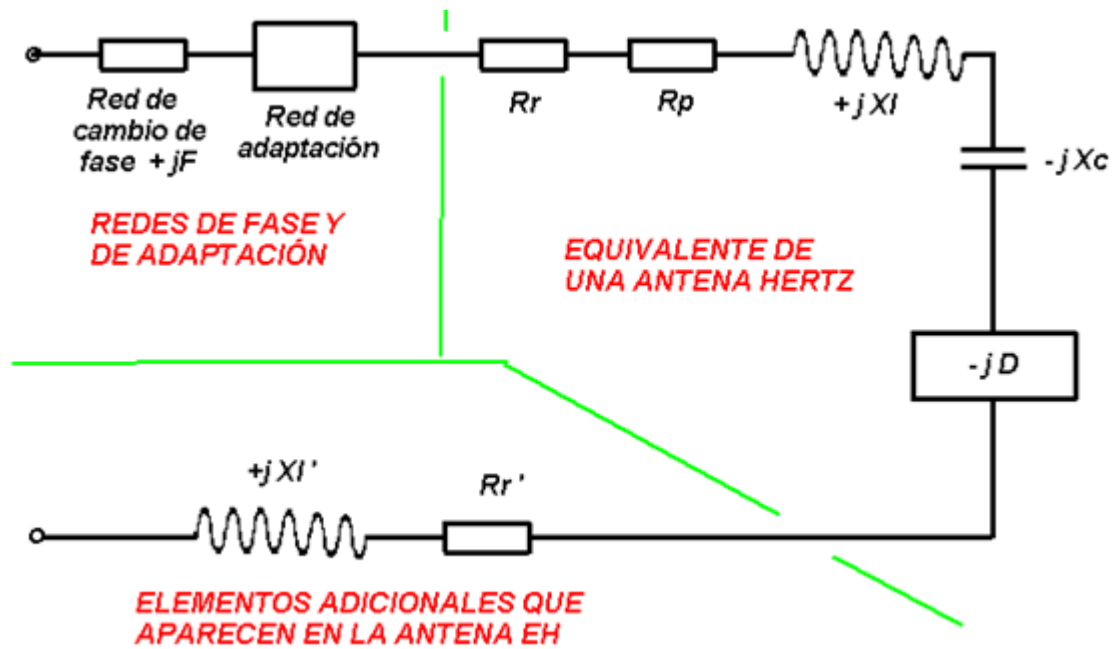
La antena EH fue inventada y patentada por el veterano radioaficionado norteamericano Ted Hart (W5QJR), a finales de los años 80, y se basa en un concepto distinto al que emplean las antenas clásicas de Hertz. En este tipo de antena se fuerza un desfase de la corriente que circula por la antena para enfazarla con la tensión, de modo que el campo magnético H que genere pase a estar en fase con el campo eléctrico E generado por la antena en las proximidades de ésta, y por tanto la potencia transmitida por la antena en forma de ondas electromagnéticas sea máxima. Esto implica un diseño mecánico de la antena totalmente distinto al de cualquier antena convencional, y de hecho las antenas EH son antenas con tamaños muy inferiores a las antenas convencionales, siendo antenas verticales con tamaños del orden de $1/20$ de longitud de onda, pero con un elevado rendimiento (a diferencia de las antenas de Hertz o convencionales, que cuanto más cortas son, peor es su rendimiento). Pueden realizarse antenas EH de menor tamaño, pero ello reduce entonces el ancho de banda de la antena.

Su denominación como "antenas EH" hace referencia al enfasado de los campos eléctrico E y magnético H radiados por la antena. Las denominadas Antenas de Campo Cruzado (CFA, Crossed Field Antenna) tienen un comportamiento parecido a las antenas EH, y su denominación hace referencia al hecho de que este tipo de antena generan los campos magnético y eléctrico separadamente, pero son combinados adecuadamente (en fase) gracias a su método de construcción. Las antenas EH generan los campos E y H de forma distinta a las antenas CFA.

Inicialmente se desarrollaron para la recepción de la Onda Media, pero pronto se desarrollaron prototipos para HF, y actualmente ya se comercian este tipo de antenas para las bandas de radioaficionados en HF, donde presentan la ventaja de un buen rendimiento con un tamaño pequeño (algo muy deseable en las bandas más bajas, donde las antenas convencionales son de gran tamaño a causa de la gran longitud de onda), aunque son omnidireccionales.

Básicamente una antena EH es una antena de tipo Hertz (convencional) que funciona con una red de cambio de fase seguida de una red de adaptación. La función de esta última es la de proporcionar una impedancia conjugada de adaptación a la antena.

El circuito equivalente de una antena EH es el siguiente:



En estas antenas se fuerza el enfasado de los campos magnético y eléctrico en la propia antena, generando campo electromagnético radiado en la propia antena, y ello da lugar al confinamiento de los campos próximos a la esfera física de la propia antena, además de ser reducidos de magnitud. Y dado el pequeño tamaño de una antena EH, ello significa que el riesgo de interferencias electromagnéticas (EMI) por energía radiada como campo próximo, y la recepción de ruidos de origen local queda prácticamente eliminado. Como ejemplos de ruidos electromagnéticos de tipo local a los que son bastante insensibles las antenas EH están los generados por las chispas de los motores, las fugas en las líneas eléctricas (chisporroteos), los generados por el encendido de las luces nocturnas, etc., que son ruidos que se propagan principalmente como campos eléctricos o magnéticos. Éstos pueden inducir tensiones en las antenas normales, que son llevadas al receptor y percibidas como ruidos, pero que en el caso de las antenas EH son rechazados, y éstas sólo recibirán los componentes radiados como energía electromagnética por estas fuentes de ruido. También el pequeño tamaño de los campos eléctrico y magnético cercanos hace que cuando una antena EH sea instalada sobre el suelo, su resistencia de radiación no varíe significativamente por la presencia del suelo próximo, incluso aunque sea tendida con polarización horizontal.

Caso de una antena Hertz

El circuito equivalente de una antena Hertz o convencional incluye:

*La resistencia de radiación, R_r , término que representa la capacidad de disipación de potencia de RF mediante radiación al espacio, y que puede ser equiparado a una resistencia óhmica disipadora de potencia.

*Las resistencias de pérdidas, R_p , que disipan potencia en forma de calor, y que por tanto no es radiada al espacio: resistencia óhmica de los conductores, por efecto pelicular, etc...

*Las reactancias capacitivas e inductivas de la antena, de valores $-jX_c$ y $+jX_l$ respectivamente, debidas a la inductancia L de los conductores que forman la antena y la capacidad C respecto al plano de tierra o contraantena.

*Un elemento desfasador ficticio, indicado como $-jD$, que sería el responsable del desfase de 90 grados que hay en la antena entre la tensión aplicada y la corriente que circula por ella. La corriente está adelantada 90 grados respecto a la tensión, por lo que el campo H está adelantado 90 grados respecto al campo E en la misma antena.

En una antena Hertz su forma y características físicas de la antena definen los valores de los distintos parámetros mencionados (salvo el último).

Las reactancias inductivas y capacitivas son responsables en los circuitos eléctricos de corriente alterna de pérdidas de potencia en forma de "pérdidas reactivas de potencia", que no disipan calor, pero que están ahí. Sin embargo, a la frecuencia de resonancia de una antena (o de cualquier circuito de corriente alterna), ambas reactancias son de igual valor absoluto, por lo que al ser de distinto signo (en su valor expresado en números complejos), se cancelan, y no hay pérdidas reactivas de potencia, por lo que la antena pasa a disipar toda la potencia que recibe entre su resistencia de radiación R_r y sus resistencias de pérdidas R_p . Conviene que las resistencias de pérdidas sean lo más bajas posibles para que el rendimiento de la antena sea máximo.

En el caso de antenas cortas (comparadas con las antenas dipolos o cuartos de onda), éstas pueden radiar igual de bien que una antena normal, siempre que sea correctamente alimentada. Pero en el caso de las antenas cortas, su menor tamaño tiene unos efectos desfavorables: a menor tamaño, su resistencia de radiación disminuye, así como su capacidad y su inductancia propias. De hecho, en una antena corta, su inductancia natural L es muy baja, y su reactancia es mayormente capacitiva (sobre todo si los elementos que la constituyen son de grueso diámetro), aunque su capacidad propia C también es menor. Por ello, para llevar una antena corta a la frecuencia de resonancia hay que añadir una inductancia adicional adecuada (una "bobina de carga") para aumentar el valor de la reactancia inductiva de la antena lo suficiente para cancelar la reactancia capacitiva. Si se aumenta la longitud de los elementos, aumentan también la inductancia y la capacidad de la antena, hasta llegar a la condición de resonancia, momento en que las reactancias inductiva y capacitiva se igualan, y ello ocurre en el caso de un elemento de cuarto de onda eléctrico.

El problema de las bobinas de carga para las antenas cortas es que si son de gran tamaño (como las necesarias para llevar a resonancia una antena muy corta), pueden introducir una resistencia óhmica (contando el efecto pelicular) que puede ser incluso bastante mayor que la baja resistencia de radiación de la antena, por lo que perjudica notablemente su eficiencia (pues gran parte de la energía se va a perder disipada como calor en estas resistencias óhmicas), no siendo radiada. Puede mejorarse la eficiencia de la antena aumentando el diámetro de los elementos que la constituyen, ya que ello aumenta la capacidad natural de la antena y por tanto precisa una bobina de carga menor para llevarla a resonancia y por tanto con menos pérdidas óhmicas. Pero aun así, la resistencia de radiación seguirá siendo baja y por tanto la eficiencia de la antena baja. Como ejemplo, una antena de móvil de 2,5 metros de longitud, cargada con una gran bobina de carga en su centro, sintonizada para su uso en las bandas de 75-80 metros (cuarto de onda: 18-20 metros), tiene una eficiencia del orden del 3% comparada con una antena resonante de cuarto de onda, y una resistencia de radiación del orden de $0,4\Omega$.

Cuando se habla de resonancia en un circuito eléctrico de corriente alterna a la frecuencia de operación, la tensión aplicada y la corriente que genera y circula a través del circuito están en fase, y entonces la disipación de potencia es máxima. Ello no es precisamente lo que ocurre en una antena resonante, donde es conocido que la corriente que circula por la antena está desfasada en 90 grados ($\pi/2$ radianes) respecto a la tensión aplicada a la antena, de ahí que en el circuito equivalente de cualquier antena Hertz se deba incluir el desfasador ficticio $-jD$ como causante de este desfase. Los desfases tienen lugar a causa del desplazamiento de la corriente de RF impulsada por la tensión aplicada a lo largo de la capacidad natural de la antena, que afecta a su propagación, y del efecto de la inductancia de la antena sobre la circulación de la corriente por ésta. Ambos desfases son de sentido contrario, provocando el desfase de 90 grados entre tensión y corriente.

Este desfase entre tensión y corriente es el responsable del desfase entre el campo eléctrico E radiado por la antena (debido a la tensión) y el campo magnético H radiado (debido a la corriente) en las proximidades de la antena.

En cuanto a la resistencia de radiación de la antena, ésta disminuye a medida que la antena se hace físicamente más corta respecto al cuarto de onda. Para el caso de una antena corta de hilo o varilla, el cálculo de la resistencia de radiación R_r del hilo o varilla se puede realizar de forma aproximada con la siguiente fórmula empírica:

$$\begin{aligned} R_r &= 273 \cdot (L \cdot F)^2 \cdot 10^{-8} && (L \text{ en pulgadas, } F \text{ en MHz}) \\ &= 42,315 \cdot (L \cdot F)^2 \cdot 10^{-4} && (L \text{ en metros, } F \text{ en MHz}) \end{aligned}$$

Así, una antena de 15 pulgadas de longitud (38,1 cm) presenta a 14,2 MHz una resistencia de radiación de $0,124\Omega$.

Caso de las antenas EH

Las antenas EH resuelven los problemas de las antenas cortas de tipo Hertz, ya que son antenas muy cortas, sintonizadas, y con una resistencia de radiación no baja, lo que aumenta mucho la eficiencia de este tipo de antena. Y además son antenas que no generan prácticamente campos próximos, lo que significa que irradian toda la energía en forma de ondas electromagnéticas, reduciendo enormemente las EMI (interferencias electromagnéticas) y reduciendo mucho la recepción de ruidos electromagnéticos de origen local.

En el caso de las antenas EH su diseño básico parte de una antena tipo Hertz (convencional) bastante corta, y cuyo modelo eléctrico ya conocemos, y que sabemos que se trata de una antena muy capacitiva (por ser muy corta). Esta antena se lleva a resonancia, y se le añade una red de desfase, representada en el modelo anterior por $+jF$, cuya función es introducir un desfase adicional entre la tensión aplicada a la antena de Hertz y la corriente que circula por ella de 90 grados, pero opuesto al que tiene lugar de forma natural en la antena de Hertz (debido a $-jD$). Las redes empleadas retrasan la corriente entregada por el transmisor o fuente de RF en 90 grados, y además tienen otra función: adaptar en impedancias la antena a la línea de transmisión.

Esto produce que se cancele el desfase entre corriente y tensión en la antena (al ser anulada $-jD$), y por tanto que la corriente y la tensión estén en fase en la antena, y por tanto los campos radiados eléctrico E y magnético H estén en fase. La antena apenas irradia campos E y H próximos, y prácticamente toda la energía aplicada a la antena por el transmisor es radiada directamente como campo electromagnético desde la propia antena. No hay desperdicio de potencia radiada en forma de campos cercanos.

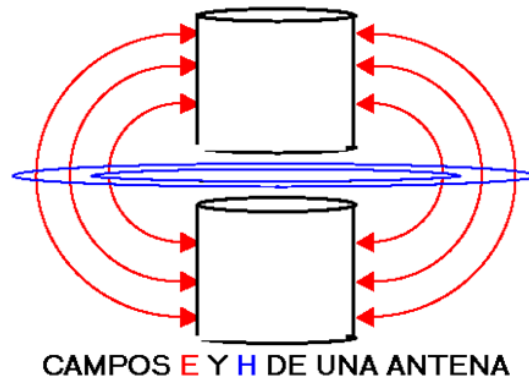
La cancelación del desfase de la antena (debido a $-jD$) por la red de desfase $+jF$ trae también como consecuencia que aparezcan dos nuevos componentes en la antena: una resistencia de radiación adicional, R_r' , y una reactancia inductiva adicional X_L' debida al desplazamiento natural de la corriente a través de la capacidad de la antena. La resistencia de radiación adicional R_r' aumenta notablemente la resistencia de radiación de la antena, y ello mejora mucho su eficiencia (pues aumenta la resistencia de radiación total de la antena, sin aumentar significativamente las resistencias de pérdidas), y mejora su ancho de banda.

La reactancia inductiva adicional da lugar a un aumento de la capacidad de la antena (ya que esta reactancia inductiva cancela parte de la reactancia capacitiva X_c de la antena, lo que equivale a aumentar la capacidad de la antena), y esto permite reducir la inductancia de sintonía necesaria en la red adaptadora para llevar

la antena a resonancia, disminuyendo las pérdidas en esta inductancia y disminuyendo el factor Q de la antena (aumenta su ancho de banda). El aumento de la capacidad de la antena por este factor es del orden de 1,4 (raíz cuadrada de 2) para antenas EH muy cortas (sin apenas inductancia).

Los valores de estos dos nuevos componentes es función de la configuración física de la antena Hertz sobre la que se construye la antena EH.

Para comprender más el funcionamiento de las antenas EH, hay que considerar el comportamiento de los campos eléctrico E y magnético H en una antena Hertz. El campo eléctrico E es generado por la tensión de RF aplicada a los elementos de la antena, y se manifiesta mediante líneas de fuerza que salen y entran perpendicularmente a la superficie de los conductores de la antena. El campo magnético es debido a la circulación de la corriente por la capacidad natural de la antena, es decir, en el dieléctrico que separa los elementos de la antena, y genera líneas de fuerza que son perpendiculares y concéntricas a los conductores de la antena (ver la siguiente figura).

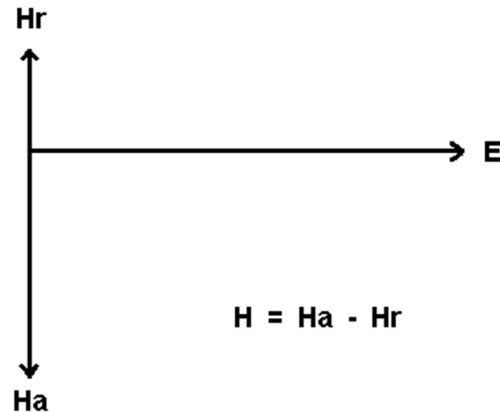


Un campo magnético H se genera cuando circula una corriente variable por un conductor, pero también cuando hay un cambio en un campo eléctrico variable E en un dieléctrico, lo que puede interpretarse como un cambio virtual de corriente eléctrica, que es conocido como "corrientes de desplazamiento" en el dieléctrico.

Pero el campo magnético H está desfasado en 90 grados respecto al campo eléctrico E, debido al desfase de 90 grados que existe en la antena entre la tensión aplicada y las corrientes generadas que circulan por ella. La circulación de las corrientes en la antena se encuentra condicionada por la inductancia de la antena, que la retrasa 90 grados respecto a la tensión, y por la capacidad natural de la antena, que la adelanta 90 grados respecto a la tensión.

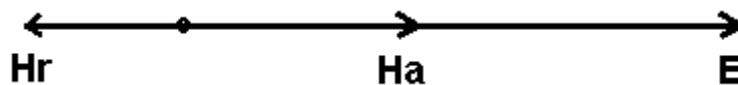
Por tanto, podemos considerar que el campo magnético H de la antena es la suma de dos componentes de campo magnético,

desfasadas 180 grados entre sí, y 90 grados respecto al campo eléctrico. Una componente, H_a , está adelantada 90 grados respecto al campo eléctrico (debida a la capacidad de la antena), y la otra, H_r , está retrasada 90 grados (debido a la inductancia de la antena). En un gráfico vectorial sería lo siguiente (se toma el movimiento de las fases de los campos citados en el sentido de las agujas del reloj):



En el caso de una antena Hertz muy corta, su comportamiento eléctrico es capacitivo, y apenas muestra inductancia alguna, por lo que la componente H_r es prácticamente cero, y el campo magnético total radiado prácticamente es el debido a la componente H_a .

En el caso de una antena EH el campo magnético total H y el eléctrico E han de estar en fase, y si la antena es muy corta, esto equivale a decir que el campo H_a ha de estar en fase con el campo eléctrico E :



En este caso, que es el típico de una antena EH, la red de cambio de fase ($+jF$) que se introduce ha de dar lugar a un retraso de fase de la corriente de 90 grados para que la componente H_a quede en fase con el campo eléctrico E . La componente H_r quedará en oposición de fase, pero al tratarse de una antena muy corta, esta componente es prácticamente despreciable.

Rendimientos de las antenas EH

Una antena EH es una antena físicamente muy corta, comparada con la longitud de onda a la frecuencia de resonancia, y realizada con tubos de bastante diámetro. Por ello éstos tienen resistencias de pérdidas insignificantes. Las pérdidas tienen mayormente lugar en la red de adaptación, y si están bien diseñadas, también son bajas (una pequeña fracción de un decibelio). Y dado que los campos

magnético y eléctrico están en fase en la antena, toda la potencia transferida a ésta se radia en forma de campo electromagnético (no se pierde potencia en forma de campos cercanos), por lo que la eficiencia de una antena EH es alta, a pesar de ser una antena corta. Así, por ejemplo, una antena dipolo EH realizada con elementos de sólo 0,005 longitudes de onda (dipolo de 0,01 longitud de onda) y de diámetro 1/3 de la longitud de cada elemento, son capaces de radiar niveles de campo electromagnéticos mayores que los radiados por una antena dipolo convencional (Hertz) de media onda (de tamaño 25 veces mayor).

Por otro lado, las antenas EH manifiestan un menor nivel de ruido que una antena Hertz. En efecto:

- En una antena Hertz o convencional, cuando ésta recibe señales electromagnéticas (campos E y H simultáneos), genera una tensión y una corriente en la antena que son transferidos como señal útil al receptor. Pero cuando recibe un campo eléctrico E o un campo magnético H aislado, como son los ruidos de origen eléctrico o magnético, generan una corriente inducida en la antena que es transferida al receptor: el campo eléctrico induce una tensión a lo largo de la antena que es aplicada al receptor, mientras que un campo magnético crea una corriente inducida en la antena que es aplicada al receptor. En ambos casos, el receptor recibe ruido eléctrico o magnético.

- En una antena EH, cuando esta recibe una señal electromagnética, genera una tensión y una corriente variables con las fases adecuadas como para ser aplicadas a la entrada del receptor como señal útil. Pero cuando la antena recibe campos eléctricos o magnéticos aislados, éstos crearán tensiones o corrientes respectivamente en cada uno de los dos elementos de la antena, y al ser la antena EH de pequeño tamaño, las tensiones o corrientes generadas en ambos elementos de la antena son prácticamente iguales en amplitud y fase, por lo que prácticamente se cancelarán a la entrada del receptor: los ruidos eléctricos y magnéticos son prácticamente suprimidos por las antenas EH.

Frente a ruidos puramente eléctricos o magnéticos, las antenas EH son unos 30dB más silenciosas que una antena dipolo convencional. Esto permite que en determinadas ubicaciones, donde hay mucho ruido de naturaleza eléctrica, las antenas EH puedan recibir bien señales que serían completamente tapadas por el ruido local si se usara una antena hertz.

Red de desfase para una antena EH

Ahora que sabemos cómo funciona una antena EH, podemos pasar a ver cómo realizar una.

Como se ha dicho anteriormente, una antena EH es una antena corta de Hertz sintonizada, típicamente de tipo dipolo, constituido por dos cilindros cortos de grueso diámetro, a la que se han añadido una red de desfase que introduzca un desfase adecuado a la corriente eléctrica para enfazarla con la tensión, lo que provoca que en la misma antena, campo eléctrico E y campo magnético H

estén enfasados, y la antena irradie prácticamente toda la potencia ya directamente como radiación electromagnética (y no como campos próximos).

Partiendo de un par de conductores cortos y gruesos, para formar un dipolo corto con gran componente capacitiva, para construir una antena EH será necesario:

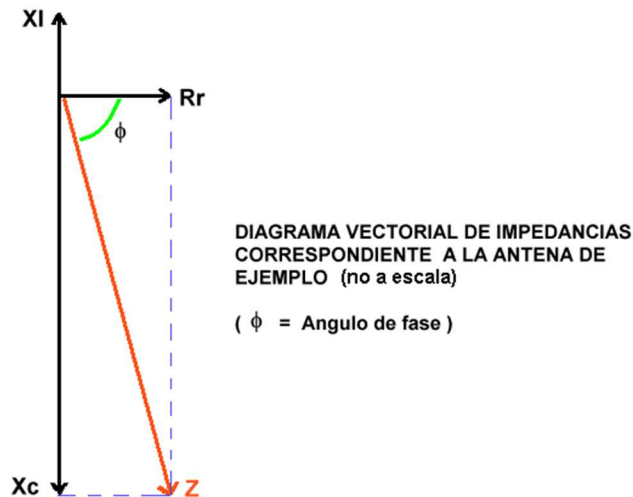
- 1: Llevar la antena corta a sintonía a la frecuencia de uso.
- 2: Enfasar la corriente y la tensión en la antena.
- 3: Adaptar la impedancia de la antena (al estar sintonizada, será su resistencia de radiación) a la impedancia de la línea de alimentación.

Consideremos el caso de una antena dipolo corta y gruesa que la queremos hacer trabajar en la banda de 40 metros (7MHz), y que esta antena presenta una resistencia de radiación R_r de unos 20Ω , y una capacidad natural de unos 10pF . Debido a que la inductancia de tal antena es prácticamente despreciable, la reactancia de la antena será prácticamente capacitiva, y el valor de ésta será la reactancia que muestran esos 10pF a la frecuencia de 7MHz, que son unos 2.274Ω .

Por tanto, la impedancia de tal antena, en expresión compleja, será:

$$Z = R_r - X_c = 20 - 2274j$$

y el ángulo de fase de la impedancia será de $-89,5$ grados (en un diagrama vectorial de impedancias, es el ángulo entre el vector impedancia y el eje que soporta las resistencias no complejas, como es la resistencia de radiación):

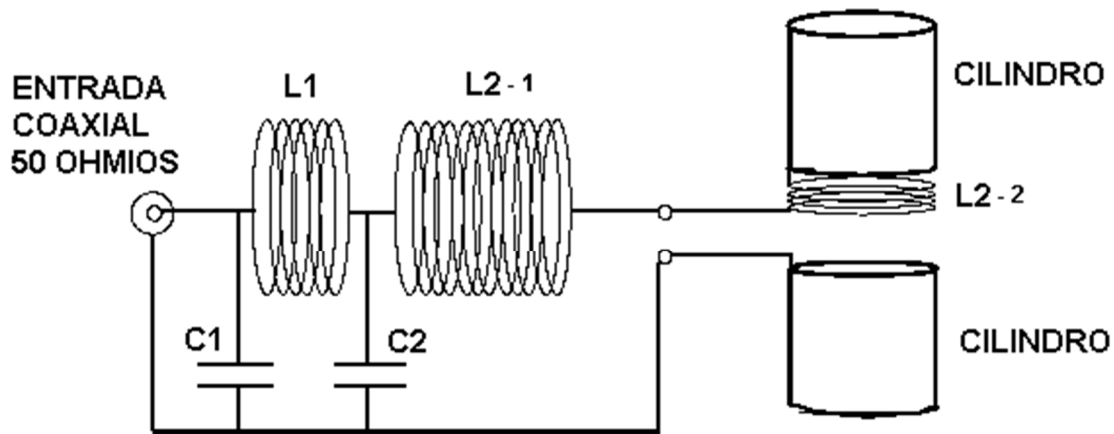


Por tanto, para compensar este ángulo de desfase de la impedancia se deberá añadir una reactancia inductiva X_l que compense la reactancia capacitiva X_c de la antena para llevarla a resonancia ($-X_c = X_l$, $Z = R_r$), lo que significa introducir un desfase de $+89,5$ grados en el diagrama de impedancias, lo que hace resonante a la antena a la frecuencia de operación, y además deberemos

añadir un desfase adicional de $+90$ grados, para que en la antena la corriente se enfase con la tensión. Esto supone introducir un desfase total de $89,5 + 90 = 179,5$ grados. Y además, debe adaptarse la impedancia de la antena resultante, que será su resistencia de radiación de 20Ω (al ser resonante) a la impedancia de la línea de transmisión, típicamente 50Ω .

Una red de adaptación que pueda hacer todo esto sería por ejemplo una red L+T, esto es, una red compuesta por una red en L seguida de una red en T, y es lo que se muestra en la figura que sigue. La red L permite la adaptación de impedancias de la línea (50Ω) a la antena (20Ω), y esta adaptación de impedancias concreta introduce un desfase de 45 grados. La red T deberá entonces introducir los $134,5$ grados restantes de desfase para conseguir que la red L+T completa introduzca el desfase total de $179,5$ grados requeridos para construir la antena EH de este ejemplo.

Los datos mencionados son para este ejemplo. En ayuda del radiotécnico y del radioaficionado existen programas que permiten calcular resistencias de radiación de antenas cortas (nos puede servir para ello la fórmula empírica mencionada anteriormente), capacidades e inductancias naturales de las antenas, y para el cálculo de redes de desfase para RF, que nos facilitarán el cálculo y desarrollo de una antena EH.



ANTENA EH CON RED DE ENFASADO L+T

Figura 2

En el caso de usar una red L+T para que una antena corta Hertz sea convertida en una antena EH, similar a la mostrada en la figura anterior, hay que decir que la red en L está compuesta por C1 y L1, mientras que la red en T está compuesta por L1, L2 y C2. La bobina L1, pues, participa de ambas redes, y ello se hace para reducir el tamaño de la red total L+T a dos bobinas (y dos condensadores).

Pero además la bobina L2 ha sido dividida en dos partes, donde una de ellas se ubica entre los dos elementos del dipolo. Ello obedece a dos razones: por un lado, si la conexión entre la red de desfase y los dos elementos del dipolo se realizara directamente por dos hilos de alimentación, y éstos están adecuadamente enfasados para que la antena irradie, los hilos de alimentación también van a radiar, lo que es un efecto indeseable. Y por otro lado, al dividir la bobina L2 en dos partes conectadas a través de los hilos de alimentación, se reduce la aparición de altas tensiones de RF en dichos hilos. Y es que a través de L2 se desarrollan altas tensiones de RF.

En efecto, la corriente de RF que circula por la antena para una potencia de transmisión P dada se puede calcular por la fórmula:

$$P = I^2 * R_r$$

mientras que la tensión de RF que se desarrolla a través de la antena será:

$$V = I * Z = I * (R_r + j (X_l - X_c))$$

En nuestro caso tenemos que la resistencia de radiación R_r es baja, por lo que la intensidad I será alta, y como la capacidad natural de la antena es baja, lo que implica una reactancia capacitiva alta, da lugar a tensiones altas. Esto justifica también el uso de una red L+T, ya que permite el uso de condensadores de baja tensión, aunque capaces de soportar el paso de altas corrientes, y las altas tensiones se desarrollan a través de la bobina L2.

En nuestro ejemplo no se ha tenido en cuenta la inductancia natural de la antena, sólo se ha considerado la capacidad y la resistencia de radiación. Si se considera la inductancia natural de la antena, que es muy baja, su reactancia inductiva tiene un valor bajo, que cancela parte de la reactancia capacitiva, y esto equivale a considerar que la antena tiene una capacidad virtual natural mayor que la real. A efectos de cálculos, considerar la inductancia de la antena es aproximadamente lo mismo que considerar que la antena tiene una capacidad natural 1,4 veces la capacidad natural real, que en nuestro ejemplo sería una capacidad de 14pF. Y volviendo a recalcular la antena EH con este nuevo valor de capacidad, se obtiene un modelo de antena EH más preciso.

Con los programas de cálculos de redes adecuados es relativamente fácil para el aficionado calcular una red L+T para diseñar una antena EH, y usando para ello materiales de bajo coste. Para el caso de una antena EH estándar, el espaciado entre los dos elementos del dipolo es igual al diámetro de la sección de cada elemento, lo que implica una capacidad natural entre elementos de aproximadamente 7pF (margen de 7pF a 10pF), y la longitud de cada elemento es pi veces (3,14159) el diámetro de cada elemento (es decir, es igual a la longitud de la circunferencia de la sección de cada elemento).

Existe otro tipo de red de desfase para la construcción de las antenas EH, la red L+L, que emplea condensadores de valor más bajo y de mayor tensión. Es una red L+L, constituida básicamente por dos bobinas iguales y dos condensadores del mismo valor, aunque los valores de las bobinas y de los condensadores pueden variar algo en el ajuste final de la antena.

Este tipo de red es de menor coste que una red L+T, pero más difícil de ajustar para un radioaficionado medio, y es el tipo de red que emplean las antenas EH comerciales que se están fabricando en la factoría de Stefano Galastri (IK5IRR) en Florencia (Italia) (Arno Elettronica, www.eheuroantenna.com). La figura 3 muestra el esquema de una antena EH con una red L+L con datos para las bandas de 40 y 20 metros, y la figura 4 muestra el esquema de este tipo de red, donde se ha tomado como modelo equivalente de la antena corta de Hertz una reactancia capacitiva X_c en paralelo con una resistencia de radiación R_a , según el modelo empleado por Lloyd Butler (VK5BR).

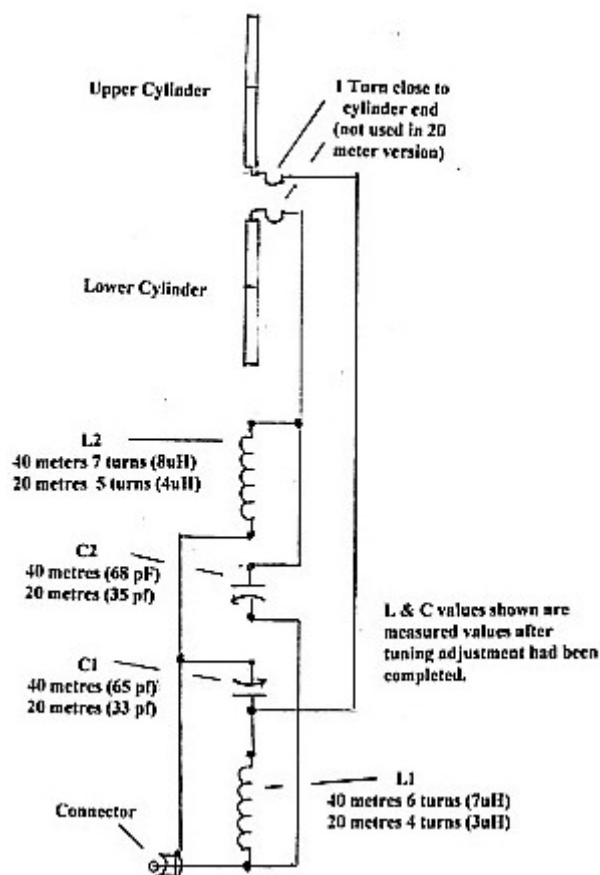


Figura 3

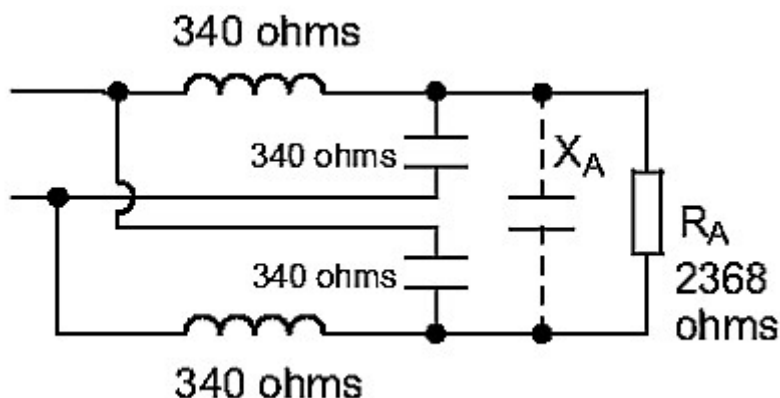


Figura 4

En este modelo R_A tiene un valor igual a $2 \cdot \pi$ veces el valor de la impedancia radioeléctrica del aire o vacío (376Ω), esto es, 2368Ω , para el caso de una antena EH estándar (elementos de longitud π veces el diámetro de cada cilindro, y separación entre cilindros igual al diámetro de éstos). La red adapta la impedancia de la línea de alimentación (50Ω típicamente) a la resistencia de radiación paralela R_A de la antena, llevándola a resonancia, cosa que se podría hacer también con una única red adaptadora en L (constituida por una bobina en serie y un condensador en paralelo con la antena), pero el uso de una red L+L además simetriza la alimentación del dipolo y realiza los cambios de fase requeridos para convertir la antena corta de Hertz en una antena EH. Cada elemento reactivo de ambas redes L tiene una reactancia igual a la raíz cuadrada de 50 veces el valor de R_A (2368Ω), lo que es un valor de 340Ω (para adaptar la antena a 50Ω). Hay que tener en cuenta que la reactancia capacitiva de cada red L está constituida por el condensador de la red y la capacitancia X_A de la antena, ambas en paralelo (de ahí que en la figura 4 sólo se muestre la presencia de X_A en el modelo de antena, ya que X_A está reflejada y embebida en los 340Ω de la reactancia capacitiva de cada una de las dos redes L).

Llevado a la práctica, estos valores de reactancias para los cuatro componentes de la red L+L, y teniendo en cuenta que la capacidad natural de la antena es de 7pF a 10pF , en la banda de 20 metros (14MHz) implica usar bobinas de $4\mu\text{H}$ y condensadores de 33pF (incluye la capacidad reflejada del dipolo, en paralelo). Estos valores deberán reajustarse a la práctica en una de las dos redes L al realizar el ajuste fino de desfases y resonancia de la antena.

Ejemplo práctico: antena EH para 20 metros

Este ejemplo práctico de desarrollo de una antena dipolo para la banda de 20 metros ha sido realizado y publicado por el propio Ted Hart, W5QJR, descubridor y desarrollador del concepto de las

antenas EH y propietario de la firma norteamericana "EH Antenna Systems".



Ted Hart (W5QJR) y la antena EH para 20 metros.
Detalle de la antena.

Figura 5

La antena presentada es una antena dipolo compacta realizada sobre una pieza de tubo plástico de una pulgada de diámetro externo, donde cada elemento se realiza arrollando sobre el tubo de plástico hoja de papel de aluminio o una lámina de cobre. La longitud de cada elemento del dipolo es de sólo 7,5 pulgadas, esto es, 19cm. Usa una red de desfase L+T como la descrita en la figura 2. La figura 5 muestra a Ted Hart con una antena de este tipo.

1- Hágase con hojas de papel de aluminio o de cobre (o de cualquier otro material conductor) y de un tubo plástico de una pulgada (2,54cm) de diámetro externo. Para éste último puede usar tubería plástica usada para conducciones de agua, de diámetro interno de 3/4 de pulgada, lo que corresponde a un diámetro externo de una pulgada.

Arrolle las hojas de aluminio o de cobre alrededor del tubo plástico para formar los dos elementos del dipolo. Espacie ambos elementos el diámetro del tubo, esto es, una pulgada. Puede usar cola o cinta adhesiva para fijar adecuadamente el material conductor al tubo plástico. La longitud de cada elemento cilíndrico del dipolo será de 7,5 pulgadas (19cm).

Puede usar en lugar de lo anterior, tubería de cobre de una pulgada de diámetro para construir los cilindros del dipolo, y usar un espaciador plástico para separar ambos cilindros. Estos materiales se pueden encontrar sin problemas en cualquier fontanería.

2- Mida la capacidad entre ambos cilindros del dipolo. Si no dispone de instrumental adecuado para ello, le anticipamos que su valor es de aproximadamente 7pF.

3- Calcule la resistencia de radiación de la antena. Resultará ser unos 30Ω.

4- Con estos datos, y usando un programa de cálculo de redes para RF, calcule los valores de los componentes de la red L+T necesaria para esta antena. Éstos resultarán ser los siguientes:

C1: 225pF, y deberá ser capaz de aguantar corrientes de RF de 1,4A a 71Vrms, para una potencia de transmisión de 100W.

C2: 291pF, y deberá ser capaz de aguantar corrientes de RF de 3,4A a 133Vrms, para una potencia de transmisión de 100W.

L1: 0,92μH, que se puede realizar arrollando 2,5 espiras de hilo de calibre 16 en el tubo de plástico. Mantenga las espiras separadas y ubíquelas debajo de L2, tal como se ve en la figura 5.

L2: 13,61μH, que se puede realizar arrollando 21 espiras de hilo de calibre 16 esmaltado en el tubo de plástico a espiras casi juntas, más 4 espiras adicionales arrolladas a espiras espaciadas en el tubo plástico en el espacio de separación entre los dos elementos del dipolo. Las 21 espiras ubíquelas en la parte interior de la antena, manteniendo un espacio de separación respecto al extremo del elemento inferior del dipolo igual al diámetro del tubo. Debido a la capacidad parásita entre este arrollamiento y el elemento inferior del dipolo, se reducirá algo el ancho de banda de esta antena.

Para los condensadores a emplear, cualquier condensador cerámico permite la operación con bajas potencias de transmisión, pero para operar con potencias de hasta 100W, son adecuados los condensadores de mica ajustables mediante tornillo de compresión.

5- Para ajustar la antena se requiere ajustar la inductancia total necesaria para hacer resonante la antena. Ello viene determinado por el número de espiras de las bobinas, y por la separación entre espiras. Modifique la separación entre espiras para un ajuste fino. Como alternativa, suelde un muy corto hilo metálico en el extremo inferior del cilindro inferior del dipolo, y ubíquelo en el espacio de separación entre el extremo del cilindro y la bobina L2. Curvando este hilo en dicho espacio, se puede ajustar el punto de resonancia de la antena en varios cientos de KHz.

6- Para ajustar la antena a mínima ROE, es necesario ajustar el valor del condensador de la red T, condensador C2, así como su punto de conexión a las bobinas. No es necesario ajustar C1, por lo que éste puede ser un condensador de valor fijo, aunque si fuera variable, permitiría resintonizaciones finas de la antena debidas a pequeñas variaciones en la inductancia de las bobinas. Para C2 use un condensador de mica ajustable.

Para realizar estos ajustes, puede usar un generador de RF variable, un sencillo medidor de campo a diodo, y un medidor de

ROE de puente de resistencias para bajas señales. Con el generador de señal puede inyectar una señal a la antena en torno a los 14MHz, e ir variando, y con el medidor de campo puede observar entonces la intensidad relativa radiada por la antena. Ello le permitirá observar a qué frecuencia irradia la antena con mayor intensidad. Regule C2 hasta que la antena irradie con mayor intensidad en la frecuencia deseada.

Ajuste ahora finamente la antena a mínima ROE ajustando el espaciado entre espiras de L1 y retocando el ajuste de C2.

Una vez ajustada la antena a mínima ROE, puede usar la antena dentro de un buen rango de frecuencias sin apenas variar la ROE.

7- Compruebe el ancho de banda de la antena. Los resultados que obtendrá serán:

245KHz para un ROE máximo de 2:1

390KHz para un ancho de banda de $\pm 3\text{dB}$.

Este ancho de banda a $\pm 3\text{dB}$ es el mismo que el de un dipolo completo para esta banda (20 metros), y ello corresponde a un Q de 36,4. Dado que $Q = X_L/R$, y $X_L = 1296\Omega$, entonces $R = 35,6\Omega$. La resistencia a la RF de las bobinas es de unos $2,18\Omega$, por lo que la resistencia de radiación de la antena será $35,6 - 2,18 = 33,43\Omega$, muy superior a los $0,124\Omega$ que tendría la correspondiente antena corta de Hertz. La eficiencia de nuestra antena será del 94% (= Resistencia de radiación entre resistencia total).

8- Otros cálculos sobre esta antena:

Corriente de RF que circula por la antena:

$$I = \sqrt{P/R} \text{ pues } P = I^2 \cdot R$$

Para 100W, $I = 2,8\text{A}$; para 5W, $I = 0,14\text{A}$

Tensiones de RF a través de la antena:

$$V = I \cdot Z \text{ con } Z = R + jX_c = 33,4 + j1144$$

Para 100W, $V = 3204\text{Vrms}$; para 5W, $V = 160\text{Vrms}$.

Cuidado al manipular la antena, a causa de las altas tensiones que se presentan en transmisión, incluso con bajas potencias, en el centro de la antena.

Construcción de una antena para 40 metros (7MHz)

Descrita por Stefano Galastri (K5IRR) en abril de 2002.

Esta antena para la banda de 7MHz tiene un buen compromiso entre el diámetro de los cilindros, grande para permitir su fácil construcción, y su tamaño, lo suficientemente pequeño como para construirla en la mesa de nuestro cuarto de radio. La información aquí descrita sirve para construir una antena EH para cualquier otra banda de radioaficionados distinta a la de 40 metros.

La antena usa una red de cambio de fase L+L, y su diseño obedece al mostrado en la figura 3. La figura 6 muestra una antena de este tipo.



Figura 6

Materiales necesarios

Un tubo de PVC (típicamente de los usados para conducciones de agua) de 4 pulgadas de diámetro (10cm) y unos 3 pies de longitud (1 metro). La versión comercial de la antena usa tubo de fibra de vidrio.

Unas hojas finas de cobre, de latón, o papel de aluminio (sirve el empleado para las cocinas).

Hilo de cobre de calibre 12 AWG, plastificado, como el empleado para las instalaciones eléctricas de las viviendas.

Dos condensadores variables al aire de 50pF máximo, con un espaciado entre placas mínimo de 0,04 pulgadas (1mm) para una potencia de transmisión de 100W. Para operación con muy pocos vatios cualquier trimmer variable sirve. Para operación a mayores potencias, use espaciados entre placas de los condensadores variables de 0,02 e incluso 0,01 pulgadas.

NOTA: para antenas para frecuencias de 7MHz o inferiores, la mejor relación longitud/diámetro para los cilindros es de 1,5:1. Para frecuencias de 10MHz y superiores, la mejor relación es de 3,14:1 (esto es, π :1). Así, para nuestra antena de 7MHz, la longitud de cada cilindro deberá ser de $4 \times 1,5 = 6$ pulgadas (15cm).

El diagrama de radiación de las antenas EH cambia con la mencionada relación longitud/diámetro de los cilindros. Para frecuencias de 10MHz y superiores interesa un ángulo vertical de radiación bajo, lo que es excelente para los enlaces a largas distancias (DX), y ello se consigue aumentando dicha relación (cilindros más largos). Por contra, para comunicaciones a menores distancias, típicas en las bandas más bajas, puede usarse mejor la relación 1,5:1, pero esta relación aumenta la impedancia Z de la antena y ello da lugar a tensiones de RF más elevadas en los condensadores (pues $P=V^2/Z$), esto hay que tenerlo en cuenta: deberá emplear condensadores variables con mayor espaciado entre placas.

Debido a la mayor impedancia de la antena para la relación 1,5:1, los condensadores empleados serán de valor la mitad que los empleados para la relación 3,14:1, y las bobinas deberán ser de mayor impedancia (de más espiras). Si para la relación 3,14:1 se emplean condensadores de 63pF para esta antena (banda de 7MHz), para la relación de 1,5:1 serán de 30pF y de mayor tensión.

Montaje de la antena

Realice los dos cilindros en el tubo de PVC con las siguientes medidas:

Longitud de cilindro: diámetro x 1,5 = 4" x 1,5 = 6 pulgadas.

Separación entre cilindros = diámetro = 4 pulgadas.

Y eso es todo. La antena ya está físicamente construida.

Sobre la conexión a la antena

A considerar previamente varias cosas sobre el conexionado de la red L+L empleada. La ubicación de la red de desfase es en el tubo de PVC de soporte debajo del cilindro inferior, y se conectará a los cilindros de la antena mediante dos hilos paralelos que transcurren por el interior del tubo de PVC de soporte.

- El hilo que alimenta el cilindro superior deberá pasar cerca del centro del tubo soporte de PVC de la antena.
- El hilo que alimenta el cilindro inferior deberá pasar cerca de la pared del cilindro inferior por el interior del tubo.
- El hilo que se conecta al cilindro superior, se conectará a éste en su borde inferior.
- El hilo que se conecta al cilindro inferior, se conectará a éste en su borde superior, y posicionado a 180 grados del punto de conexión del otro cilindro.

Prácticamente, el punto de alimentación de los dos cilindros es en el centro de la antena, igual que en cualquier dipolo.

Al decir el borde de un cilindro, realmente significa el borde. Se puede hacer un agujero entre el tubo de PVC de soporte y la lámina de cobre, pasar el extremo del hilo, y cuando vaya a soldarlo al borde del cilindro, usted puede doblarlo para dejarlo justamente en el borde del cilindro, y después puede cortar y eliminar el trozo de hilo sobrante.

Para que los dos hilos pasen a través del interior del tubo, se pueden usar hilos de cobre rígido. Ello permitirá, una vez doblados adecuadamente, mantenerlos en el interior del tubo en sus posiciones adecuadas.

Adición de dos pequeñas bobinas

Se añadirán dos pequeñas bobinas realizadas con dos espiras cada una en serie con los cilindros. A estas bobinas nos vamos a referir de momento como "bobinas de aislamiento".

Cuando se genera la radiación en los dos cilindros, los hilos que transportan la energía de RF internamente a éstos desde la red irradian algo. Ello da lugar a algunas pérdidas. Por ello se realizan dos bobinas de dos espiras en el tubo de soporte junto al borde de cada cilindro (en el espacio de separación entre cilindros). Técnicamente el objeto de esto es generar algún pequeño retardo en las corrientes de RF que alimentan los cilindros. Haciendo esto, sólo los dos cilindros mantendrán la fase correcta.

Las dos bobinas se conectarán en serie entre los hilos de alimentación que vienen por el interior del tubo y el borde del respectivo cilindro. La separación entre cada bobina y el respectivo cilindro no es crítica, 0,01 o 0,02 pulgadas (2-5mm) es suficiente.

En general, la disposición constructiva (en vertical) para la antena será (en este orden, de arriba a abajo):

- cilindro superior
- bobina de aislamiento de dos espiras
- espacio
- bobina de aislamiento de dos espiras
- cilindro inferior
- L2
- C2
- C1
- L1
- Coaxial de alimentación

El espacio entre los dos cilindros debe mantenerse igual al diámetro de los cilindros. La distancia entre L2 y el borde inferior del cilindro inferior es de unas 2 pulgadas (5cm), no es crítico. Las dos bobinas de aislamiento pueden realizarse y ubicarse en el interior o en el exterior del tubo.

Realización y ajuste de la red L+L

Recomendamos mucho que emplee condensadores variables de aire para iniciar los ajustes. Después usted podrá usar condensadores de fabricación casera cuando ya tenga práctica en el ajuste de la antena prototipo y vaya a realizar la versión final de la antena. Para realizar las bobinas de la red L+L emplee hilos aislados de los empleados para las instalaciones eléctricas del hogar.

Posteriormente, cuando tenga usted práctica suficiente, puede emplear en su lugar hilo de cobre esmaltado, al realizar la versión final de la antena. Arrolle 13 espiras juntas en el tubo para L2 y 12 espiras para L1. Es muy importante que L2 tenga una espira de más que L1. Mantenga una separación entre L2 y L1 de unas 6 pulgadas (15cm), no es un valor crítico. Se recomienda arrollar todas las bobinas de la misma manera. Con separaciones inferiores entre L1 y L2 disminuye el ancho de banda de la antena. Fije las bobinas lo mejor que pueda para que no se muevan ni se deformen. Puede emplear goma de pegar, etc... Y ya tendrá el prototipo de la antena. Siguiendo este procedimiento, no necesitará conocer los valores de la inductancia de ambas bobinas para realizar la antena.

Sintonía de la antena

Esto es lo que tiene que hacer: hágase con un generador de RF portátil a batería, mejor si su caja de chasis es metálica, y conéctelo directamente al conector de su antena EH, sin ningún alargado de cable coaxial por medio. Utilice un medidor de campo a diodo situado cerca de la antena, y ponga el generador en marcha. Ajuste los condensadores de la red L+L de la antena a máxima indicación de señal en el medidor de campo. Una vez conseguido, aumente la potencia del generador o transmisor, para el posterior ajuste de los condensadores a mínima indicación de ROE. Si no dispone de un generador de éstos, use un transceptor de HF de baja potencia, o ajustado a mínima potencia, y mantenga la antena alejada del transmisor. Conecte un medidor de ROE directamente al conector de la antena, sin ningún alargado de coaxial por medio. Ahora sí puede conectar el transmisor de HF de baja potencia al medidor de ROE mediante una línea coaxial, y reajuste los condensadores a mínima indicación de ROE en el medidor. El generador ha de ser sintonizado sobre los 7MHz, y se recomienda se mantenga en posición estable durante los ajustes. Su caja ha de ser metálica y no de plástico, ya que lo blindará de la potente radiación generada por la antena, que puede dar lugar a errores en el ajuste de la frecuencia de sintonía correcta de la antena si la caja del generador no es metálica. Y el generador ha de ser alimentado con pilas internas, ya que de usar una alimentación externa, los cables de conexión a la fuente de alimentación externa pueden influenciar en el ajuste de la sintonía de la antena, y el punto de ajuste obtenido entonces luego puede no coincidir con el real cuando se conecte la antena al cable coaxial de alimentación para su empleo normal. Al ajustar C1 y C2 a mínima ROE, hágalo cada vez realizando muy pequeñas variaciones en el ajuste de estos condensadores, hasta obtener la ROE de 1:1. En este punto no es muy importante la frecuencia exacta del generador, que deberá ser sobre los 7MHz, lo importante es ajustar los condensadores a la ROE de 1:1. Una vez conseguido, ya puede

pasar a sintonizar y ajustar la antena a la frecuencia de operación deseada.

Notas

Con el fin de compensar la variación de frecuencia debido al efecto de acoplamiento capacitivo de la antena con el suelo (como ocurre normalmente con cualquier antena), se sugiere realizar la sintonía de la antena a una frecuencia algo mayor a la de uso.

El medidor de campo debe estar colocado a la altura del centro de la antena, esto es, a la misma altura que el área que separa los dos cilindros. Ello es así porque dicha zona de la antena es la zona de máxima radiación de ésta. Y tenga el medidor siempre a la vista durante los ajustes.

Intente obtener la ROE de 1:1 para la máxima indicación de señal en el medidor de campo.

Compruebe el ancho de banda de la antena para una ROE de 2:1, y anótelos.

Elimine una espira de cada bobina de la red y repita de nuevo los pasos de ajuste anteriores (mantenga siempre una espira de diferencia entre L1 y L2). Es conveniente eliminar las espiras en exceso.

Realice el proceso anterior las veces que sean necesarias hasta obtener la máxima indicación de señal en el medidor de campo (siempre sin moverlo de su posición inicial), entonces deberá también haber obtenido el mayor ancho de banda a ROE 2:1, y por tanto la máxima eficiencia para la antena. Entonces la red L+L estará ajustada correctamente. Las bobinas entonces tendrán entre 10 y 12 espiras.

Ya puede conectar la línea de alimentación coaxial y usar la antena.

Una vez conecte la línea coaxial a la antena, el punto de resonancia de ésta variará algo. Varíe la frecuencia de operación para buscar la frecuencia a la que la antena muestra la ROE de 1:1. Si esta frecuencia está demasiado apartada del valor a la que fue ajustada, tome nota de la diferencia de frecuencia de sintonía, conecte de nuevo el generador a la antena (con el cable coaxial ya conectado) y retoque la sintonía de la antena para corregir esa diferencia de frecuencia.

Pero si no obtiene la ROE de 1:1, deberá realizar de nuevo el proceso de sintonización de la antena. Es muy importante obtener una ROE de 1:1 con la línea coaxial conectada usando un generador de RF de muy baja potencia. Si la antena es alimentada con 1 o más vatios, puede ser imposible obtener una lectura de ROE de 1:1, y esto no es debido en sí a la antena, sino que se está procediendo a realizar los ajustes de la antena con una potencia del generador que está afectando a las indicaciones que muestra el medidor de campo, ubicado en las proximidades de la antena, y que está dando lugar a medidas erróneas que están falseando el ajuste de la sintonía de la antena. Para evitarlo, deberá situar el medidor de campo a una distancia de la antena no inferior a la longitud de uno de los cilindros. Tenga en cuenta que no está trabajando con

una antena tipo Hertz, sino con un tipo de antena de concepción distinta.

La lógica de la sintonización de la antena es la siguiente:

- Si la inductancia de L1 se reduce, el valor de C1 deberá aumentarse.

- Si la capacidad de C1 se aumenta, deberá reducirse la capacidad de C2.

O bien:

- Si la inductancia de L2 se reduce, el valor de C2 deberá aumentarse.

- Si la capacidad de C2 se aumenta, deberá reducirse la capacidad de C1.

Recuerde que L2 siempre ha de tener al menos una espira de más que L1.

Esto deberá conducir al ajuste correcto de las dos bobinas. Cuando lo consiga, los dos condensadores, C1 y C2, deberán tener prácticamente el mismo valor ($\pm 3\text{pF}$).

Entonces la red L+L estará bien balanceada y la antena tendrá sus mejores prestaciones. Cualquier efecto del intenso campo radiado por la antena sobre el transceptor será minimizado.

Consideraciones sobre acoplamientos de la antena a la línea

Por su modo de funcionamiento, las antenas EH generan una cantidad de energía radioeléctrica igual o mayor a la que genera una antena dipolo clásica y en un espacio muy reducido, debido al pequeño tamaño de este tipo de antenas. Ello implica que alrededor de una antena EH hay un campo radiado muy intenso, mucho mayor que el que se genera alrededor de un dipolo, y por tanto la malla del cable coaxial de alimentación de la antena estará inmersa en este intenso campo radiado, por lo que se inducirán en la malla corrientes de RF que se dirigirán a través de la malla del coaxial hacia el transceptor, provocando un aumento de la ROE, y aumentando el riesgo de quemaduras por RF. Por ello se sugieren varias cosas:

a) La más importante: tienda el cable coaxial hacia el transmisor paralelo al eje del tubo de la antena, evitando que el cable esté tendido alrededor de la antena.

b) Lo ideal es colocar la antena por encima del transceptor y no al lado de éste, pero si ello no es posible, deberá disponer de una buena tierra de RF en la estación.

c) Si no dispone de esta tierra de RF, puede usar un alargo de hilo con un circuito resonante LC serie insertado conectado a la masa del transceptor. Este circuito deberá ser sintonizado para entregar la máxima corriente de RF a la frecuencia deseada. Así se consigue tener una tierra de RF virtual que le evitará incrementos en la ROE.

d) En caso de operar en salidas de campo, la línea coaxial deberá estar tendida sobre la tierra, hierba o suelo al menos 15 pies (4,5 a 5 metros). La capacidad entre la malla del coaxial y el suelo a que ello da lugar es suficiente para descargar

suficientemente las corrientes de RF inducidas en la malla a tierra.

Y si es posible, lo mejor es colocar la antena a al menos 3 o 4 metros por encima de la estación.

La línea coaxial no irradia ni su longitud afecta a las características de la antena. Si cambia la longitud de la línea coaxial, no deben ser afectadas las características de la antena, incluso aunque reduzca la longitud de la línea coaxial a 1 metro, o inserte choques o balunes coaxiales en la línea.

Por todas las razones anteriores se aconseja no operar con la antena demasiado cerca a usted.

Polarización de la antena

La antena EH estándar (con la relación 3.14:1) tiene ganancia si se compara con el dipolo, pero enteramente distribuida en 360°. La antena EH estándar tiene un lóbulo de radiación de forma muy aplastada, por ello es muy importante la correcta colocación de la antena, siendo lo más adecuado ubicarla en posición vertical.

El diagrama de radiación de la antena EH es muy adecuado para tener una gran eficiencia para señales locales y DX (lejanas) en las frecuencias de uso respectivas de acuerdo con la relación longitud/diámetro empleado. El diagrama de radiación muestra el citado lóbulo con un máximo de radiación horizontal hasta los 30 a 60 grados de elevación vertical (según el valor de dicha relación: la relación mayor, esto es, 3,15:1, da lugar a lóbulo de radiación más aplastado que para la relación menor, 1,5:1, que tiene un lóbulo de radiación más ancho en el plano vertical).

Autor: Fernando Fernández de Villegas (EB3EMD)