

ANTENAS DE ALTA FRECUENCIA

Un sistema de antena puede considerarse como constituido por la antena propiamente dicha, la línea de alimentación y cualquier dispositivo de acoplamiento usado para transferir la energía del emisor a la línea y de ésta a la antena.

Debe tenerse presente que cualquier antena propiamente dicha puede ser usada con cualquier tipo de línea de alimentación, si se usa acoplamiento adecuado entre la antena y la línea.

Consideraciones generales sobre la elección de la antena

La elección de una antena debe realizarse tomando en cuenta el espacio disponible, el número de bandas de funcionamiento deseado y el tipo de propagación de que se hará uso más frecuente.

Lo más acertado será elegir en cada tamaño el sistema irradiante que brinde óptimos resultados. Las antenas de "compromiso" (aquellas que pueden funcionar en varias bandas y que utilizan elementos físicamente acortados) no son tan eficientes como las antenas de tamaño correcto cortadas para una sola banda de funcionamiento.

Sin embargo, muchas de las antenas de compromiso resultan adecuadas para el trabajo de DX, aun cuando no proporcionen una ganancia tan alta como otros tipos.

Definiciones

La *polarización* de un conductor rectilíneo está determinada por la posición de su campo eléctrico con respecto a tierra.

Una antena vertical irradia ondas polarizadas verticalmente, mientras que una horizontal, irradia ondas polarizadas horizontalmente en dirección lateral al conductor, excepto las de hilo largo, que lo hacen en sentido longitudinal.

El *ángulo vertical de máxima radiación* de una antena está determinado por el diagrama de radiación de la misma en el espacio libre, por su altura sobre la tierra y la naturaleza del suelo.

El ángulo se mide en el plano vertical con respecto a una tangente a tierra en ese punto, y podrá variar con el ángulo horizontal, excepto en el caso de una antena vertical simple. Se toma cuando su ganancia es -3dB con respecto a su valor máximo de ganancia.

El *ángulo horizontal de máxima radiación* de una antena está determinado por el diagrama de radiación de la antena en el espacio libre.

La *impedancia* en cualquier punto de la antena es la relación entre tensión y corriente en ese punto.

La *intensidad de campo* que produce una antena es proporcional a la corriente que circula por ella. Cuando sobre la antena se hacen presentes ondas estacionarias, las partes del conductor que conducen la corriente más elevada ejercen máximo efecto radiante.

La relación que existe entre la potencia necesaria para producir una intensidad determinada de campo con antena "de comparación" y la potencia necesaria para producir la misma intensidad con un tipo determinado de antena, recibe el nombre de *ganancia de potencia* de esta última antena.

El campo se mide en dirección óptima de la antena que se está verificando. La antena de comparación es casi siempre una de media onda que posee la misma polarización que la que se verifica y está situada a la misma altura.

La ganancia se expresa comúnmente en decibeles.

En los sistemas unidireccionales (antenas que radian sólo en una dirección) la relación adelante-atrás es la que existe entre la potencia radiada en el sentido correspondiente al máximo y la radiada en sentido opuesto. Significa igualmente una medida de la reducción en una señal recibida cuando se modifica la dirección del haz en el sentido contrario, para máxima respuesta. La relación de adelante-atrás se expresa también en decibeles.

El *ancho de banda* de una antena se refiere siempre a la gama de frecuencia dentro de la cual una determinada propiedad de la misma se mantiene dentro de límites aceptables. Para el aficionado son de interés primordial el *ancho de*

banda de ganancia, el ancho de banda de relación delantero-posterior y el ancho de banda de r.o.e.

El primero es de interés ya que cuanto más alta sea la ganancia de antena, más angosto será el ancho de banda de ganancia.

El último también interesa, pues es indicación de eficiencia de la línea de transmisión dividida por el rango útil de frecuencia de la antena.

Cuando la antena esté situada cerca de la tierra, el diagrama de radiación en el espacio libre resulta modificado por la reflexión de las ondas radiadas desde la tierra, por lo que el diagrama de radiación real es el resultante del diagrama en el espacio libre y el de las reflexiones desde la tierra. Esta resultante depende de la altura de la antena, de su posición u orientación con respecto al suelo y de las características eléctricas de la tierra.

El efecto de una tierra perfectamente reflectora es tal, que la intensidad de campo original en el espacio libre puede ser multiplicada por un factor que posea un valor máximo de 2, para refuerzo total y que tenga la totalidad de valores intermedios hasta cero, para cancelación total. Estas reflexiones afectan únicamente al diagrama de radiación en plano vertical, es decir, en direcciones hacia arriba con respecto a la superficie terrestre y no en el plano horizontal o sea las direcciones geográficas usuales.

Ángulo de radiación

El ángulo vertical o de radiación reviste primordial importancia, especialmente en las frecuencias más elevadas. Es ventajoso, por lo tanto, erigir la antena a una altura que aproveche las reflexiones terrestres de modo que refuercen la radiación en el espacio libre dentro del ángulo más deseable. Puesto que generalmente resulta más efectivo disponer de ángulos pequeños de radiación, la antena debe ser alta (por lo menos $\frac{1}{2}$, y preferiblemente $\frac{3}{4}$ o una longitud de onda en 14MHz; y por lo menos 1 longitud de onda, y preferiblemente más en 28MHz hasta la región de VHF). La altura física necesaria, para una altura determinada en longitudes de onda, disminuye a medida que aumenta la frecuencia, lo que hace difícil alcanzar en la práctica alturas razonables. Las comprendidas entre los 10,5 y 21 metros resultan suficientes para todas las bandas; se preferirán las alturas mayores, siempre que las circunstancias lo permitan.

Conviene recordar que la mayoría de las antenas sencillas polarizadas horizontalmente no presentan la máxima directividad de que son capaces, a menos que se las monte a más de $\frac{1}{2}$ longitud de onda por sobre el terreno a la frecuencia de funcionamiento. Por lo tanto, en las antenas de tipo dipolo simple no resulta importante fijar una orientación particular de la misma, a menos que esté a una altura de media longitud de onda o más del suelo.

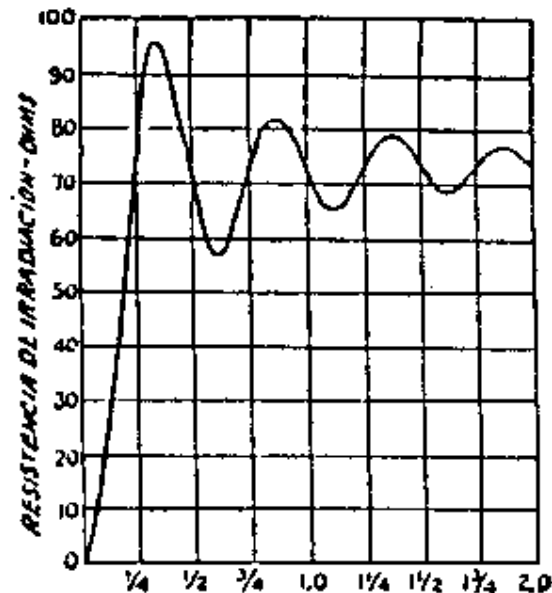
Tierra imperfecta

El efecto principal que ejerce la tierra real es introducir cierta imprecisión para los ángulos menores; resulta prácticamente imposible lograr una radiación apreciable de frecuencias altas para ángulos inferiores a pocos grados cuando la altura de la antena es menor de varias longitudes de onda. Para más de 15° , en cambio, las curvas resultan suficientemente precisas; para ángulos comprendidos entre 5° y 15° se les puede considerar como simple indicio de la clase de resultado que puede esperarse.

El plano eficaz de tierra (es decir, el plano en el cual se puede considerar que se producen las reflexiones de tierra) rara vez es la superficie propiamente dicha de la tierra, sino que se encuentra algunos metros por debajo de la misma; esto depende de las características del suelo en cada caso particular.

Impedancia

Las ondas que son reflejadas directamente hacia arriba por la tierra, al pasar por ella, inducen corriente en la antena y, de acuerdo con la altura de la misma, la relación de fase entre esta corriente inducida y la original puede ser como para reforzar en unos casos y debilitar en otros la corriente total que circula por la antena. Por lo tanto, la impedancia de la antena varía de acuerdo con la altura. La curva teórica de variación de la resistencia de radiación para una antena que se encuentre sobre un terreno perfectamente conductor es la de la figura siguiente.



La impedancia se acerca al valor que corresponde al espacio libre a medida que aumenta la altura; no obstante, puede apartarse considerablemente de ese valor cuando la altura sea baja.

Elección de la polarización

La polarización de la antena emisora carece generalmente de importancia para las frecuencias comprendidas entre 3,5 y 30MHz, cuando se trata de comunicaciones por onda espacial. No obstante, la cuestión de si se debe instalar la antena en posición horizontal o vertical merece consideración en relación a otros factores. Una antena vertical de $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{4}$ de onda, irradiará uniformemente en todas las direcciones horizontales, por lo tanto, es substancialmente no directiva en el sentido usual de la palabra. Cuando, en cambio, se la instala horizontalmente, la antena tiende a ofrecer efectos directivos y radiará mejor en direcciones a ángulos rectos o laterales con respecto al conductor. En este caso, la radiación será mínima en dirección hacia la cual apunta el conductor. El ángulo vertical de radiación se verá afectado también por la posición de la antena. Si no fuera por la tierra, en lo que atañe a las pérdidas en altas frecuencias, la antena vertical resultará preferible por la concentración horizontal de la radiación.

LA ANTENA DE MEDIA ONDA

La forma fundamental de antena se encuentra representada por un solo conductor cuya longitud es aproximadamente igual a la mitad de la longitud de onda de emisión. Representa el tipo básico del cual se derivan las formas más complejas de antenas. Se la conoce por dipolo. La longitud de una media onda en el espacio es:

$$\text{Longitud (m)} = 150 / \text{frecuencia (MHz)}$$

La longitud real de una antena de media onda no es exactamente igual a la media onda en el espacio, sino que depende del calibre del conductor en relación a la longitud de onda.

Con antenas soportadas por aisladores, se produce un efecto de acortamiento (efecto de punta) en los extremos debido a los aisladores que suman capacitancia. En condiciones medias se podrá obtener con suficiente precisión la longitud de una antena de media onda para frecuencias hasta de 30MHz mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Longitud de antena de } \frac{1}{2} \text{ onda (m)} = 142,5 / \text{frecuencia (MHz)}$$

Arriba de 30MHz, particularmente para antenas construidas con varillas o tubos, deberán utilizarse las fórmulas siguientes:

$$\text{Longitud de antena de } \frac{1}{2} \text{ onda (m)} = 150.K / \text{frecuencia (MHz)},$$

$$\text{Longitud (cm)} = 15000.K / \text{frecuencia (MHz)}$$

Donde K toma valores que se encuentran entre 0,98 y 0,92 de acuerdo a la relación entre $\frac{1}{2}$ longitud de onda y diámetro del irradiante. A continuación, se dan algunos de ellos:

Relación $\frac{1}{2} \lambda$ y diámetro irradiante	valor de k	resistencia a resonancia en ohms
10	0.92	50
20	0.94	55
50	0.955	58
100	0.965	61
200	0.97	62
1000	0.975	64
2000	0.977	64.5
10000	0.98	65

Distribución de corriente y de tensión

Cuando se alimenta potencia a una antena de este tipo, la corriente y la tensión varían a lo largo de la misma. La corriente es máxima en el centro y aproximadamente nula en los extremos; lo opuesto se aplica para la tensión. La corriente no alcanza en realidad valor cero en los nodos de corriente, debido justamente al efecto de los extremos. Tampoco es cero la tensión en su nodo debido a la resistencia propia de la antena que se encuentra compuesta por la resistencia a la C.C., la resistencia a la radiofrecuencia y la *resistencia de radiación*, que es una resistencia equivalente, concepción conveniente para indicar las propiedades de radiación de una antena. La resistencia de radiación es la equivalente que disiparía la potencia que irradie la antena, con un pasaje de corriente en la misma, igual a la corriente en la antena de un vientre de intensidad (máximo). La resistencia óhmica de una antena de media onda es usualmente lo suficientemente pequeña, comparada con la resistencia de radiación pudiendo despreciarse en la práctica.

Impedancia

La resistencia de radiación de una antena de media onda infinitamente delgada en el espacio libre es de aproximadamente 73 ohms. El valor real, en condiciones prácticas, varía de acuerdo con la altura de la antena, no obstante, se lo suele considerar como cercano a 60-70 ohms, aunque varía con la altura (fig. anterior).

Característica de radiación

La radiación de un dipolo no es uniforme en todas las direcciones, sino que varía de acuerdo al ángulo con respecto al eje del conductor. Es más intensa en direcciones que se encuentran a ángulos reducidos con respecto al conductor y nulo a lo largo de la dirección del mismo. Cuando la antena es vertical, la intensidad de campo será uniforme en todas las direcciones horizontales.

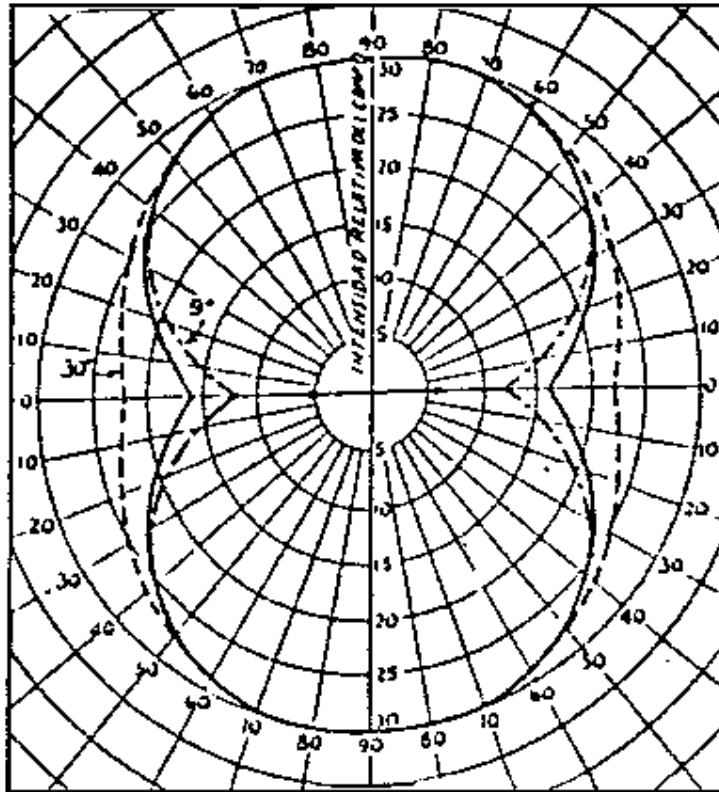
La figura siguiente muestra un diagrama horizontal de una antena horizontal de media onda para tres ángulos verticales de radiación.

La línea llena representa radiación relativa a 15° . Las líneas cortadas representan desviaciones con respecto al diagrama de 15° para ángulos de 9° y 30° .

Estos diagramas sirven únicamente para el contorno, ya que la amplitud depende de la altura de la antena con respecto al nivel del suelo y del ángulo vertical que se considera.

Se dan los diagramas para los tres ángulos en forma de adaptarlos a la misma escala; esto no significa, sin embargo, que las amplitudes máximas sean las mismas.

La flecha indica la dirección del conductor horizontal de la antena.



ALIMENTACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO

Como la impedancia en el centro de un dipolo se encuentra en las proximidades de los 70 ohms, brinda una buena adaptación para líneas de transmisión de 75 ohms. Se debería usar una línea coaxil con un transformador balún 1:1 para garantizar la simetría. También resultaría aceptable la alimentación directa (sin balún), aunque podría introducirse una leve deformación en el diagrama de radiación. La línea de transmisión deberá partir en ángulo recto con respecto a la antena, por lo menos dentro de $\frac{1}{4}$ de onda si es posible, para evitar desequilibrio de corriente en la línea causado por captaciones de la antena.

El empleo de línea de 75 ohms da por resultado una línea plana sobre la mayor parte de cualquier banda de radioaficionado. Sin embargo, si se hace que la

antena de media onda asuma forma especial denominada a *dos conductores* o *doblete plegado* con líneas de 300 ohms, se obtendrá buena adaptación, aunque aparecerán ondas estacionarias en la línea y el acoplamiento con el emisor podrá tornarse difícil para ciertas longitudes de onda.

Actualmente las salidas de los equipos comerciales se realizan con una impedancia que oscila entre los 48 y 52 ohms por la disminución del valor teórico de impedancia de antena debido a las distancias del plano de tierra, elementos parásitos y relaciones longitud diámetro del irradiante.

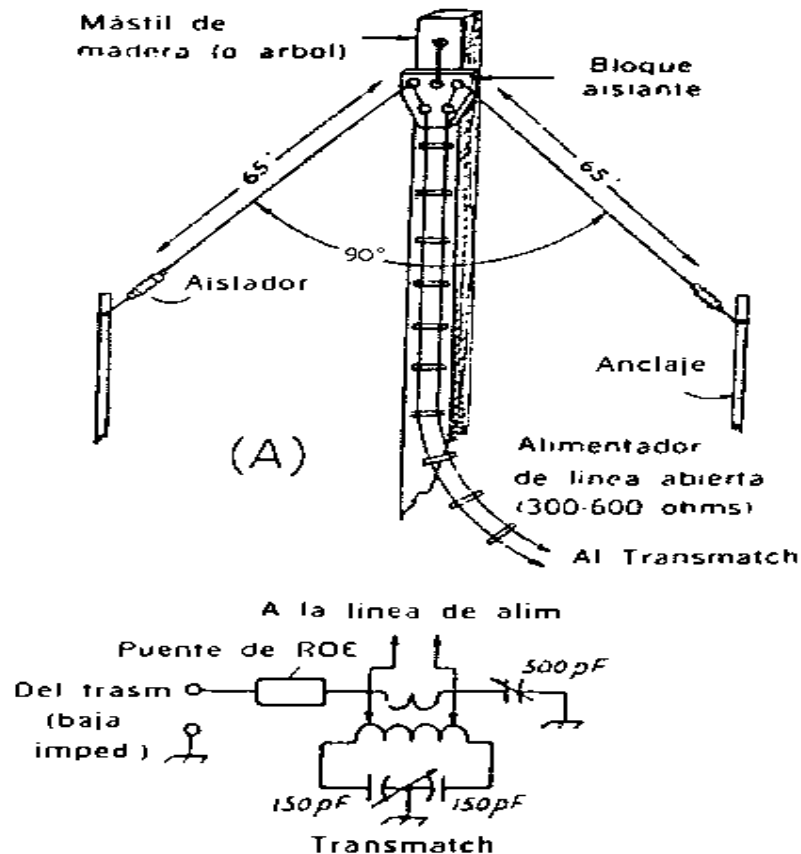
ANTENA "V INVERTIDA"

Una antena no direccional muy popular es la llamada "V invertida". Sus principales ventajas son requerir solamente un poste de soporte y presentar una característica de irradiación bastante omnidireccional en caso de estar cortada para una sola banda.

La versión multibanda de la figura siguiente es algo direccional por encima de 7MHz, pero no en sentido trasversal sino longitudinal. Este fenómeno se produce porque las ramas de la V son largas (expresadas en longitudes de onda).

Ofrece un buen compromiso entre polarización horizontal y vertical, resultando por lo tanto útil para comunicaciones locales y a larga distancia. Por otra parte, tiene un ángulo de radiación bajo en comparación con una antena vertical de cuarto de onda con plano de tierra.

Para funcionamiento en una sola banda, la V se corta del mismo largo que un dipolo común de media onda y se alimenta al centro con cable coaxil de 52 ohms. El centro (punto de alimentación) debe estar lo más elevado posible sobre el suelo, preferiblemente más de un cuarto de onda de la frecuencia de funcionamiento. El ángulo del vértice debe acercarse en lo posible a 90°, aunque en la práctica se obtendrán resultados satisfactorios con magnitudes entre 90 y 120°. Un ángulo menor de 90° provocará excesiva cancelación de la señal entre ambas ramas, lo cual debe evitarse.



Las antenas de este tipo cortadas para una sola banda y alimentadas con coaxial, requerirán normalmente ciertas manipulaciones para llevarlas a resonancia. Se recomienda la fórmula del dipolo común como punto de partida, aunque como los extremos de la antena están normalmente cerca de tierra en la realidad resultará un poco más corta de lo calculado.

No puede darse la fórmula precisa debido a la variación de las propiedades del terreno en distintos lugares. También afectarán a la resonancia la altura definitiva de montaje y la proximidad de objetos a los extremos de la antena. El mejor método es conectar un puente de ROE a la línea de alimentación y cortar el alambre de los extremos hasta obtener el mínimo valor de ondas estacionarias.

ANTENAS LARGAS

Una antena se llama "larga" solamente en cuanto se la mide en términos de longitudes de onda de la frecuencia de funcionamiento. Vale decir, que una antena no será "larga" simplemente porque esté confeccionada con un alambre de gran longitud, sino atendiendo además a la banda en que se utiliza. Si el espacio de montaje lo permite, las antenas largas resultan útiles para trabajo de DX y cuando se las monta a cierta altura sobre el terreno presentan una considerable ganancia de potencia con respecto a un dipolo convencional. Cuanto más larga sea la antena, mayor será su ganancia.

La máxima directividad se presenta en sentido longitudinal y no en sentido trasversal como podría pensarse. Una antena larga, salvo que sea terminada en el extremo remoto por su impedancia resistiva característica, es bidireccional. Un alambre largo terminado, en cambio, es unidireccional con máxima irradiación desde el extremo cargado. La antena irradia en realidad muchos lóbulos menores a distintos ángulos, tanto en sentido horizontal como en sentido vertical. Cuanto más largo es el alambre, mayores y más complejos son dichos lóbulos.

No es raro, en comunicaciones DX, que una antena de alambre largo sobrepase el funcionamiento de una direccional común, debido a que puede recibir a

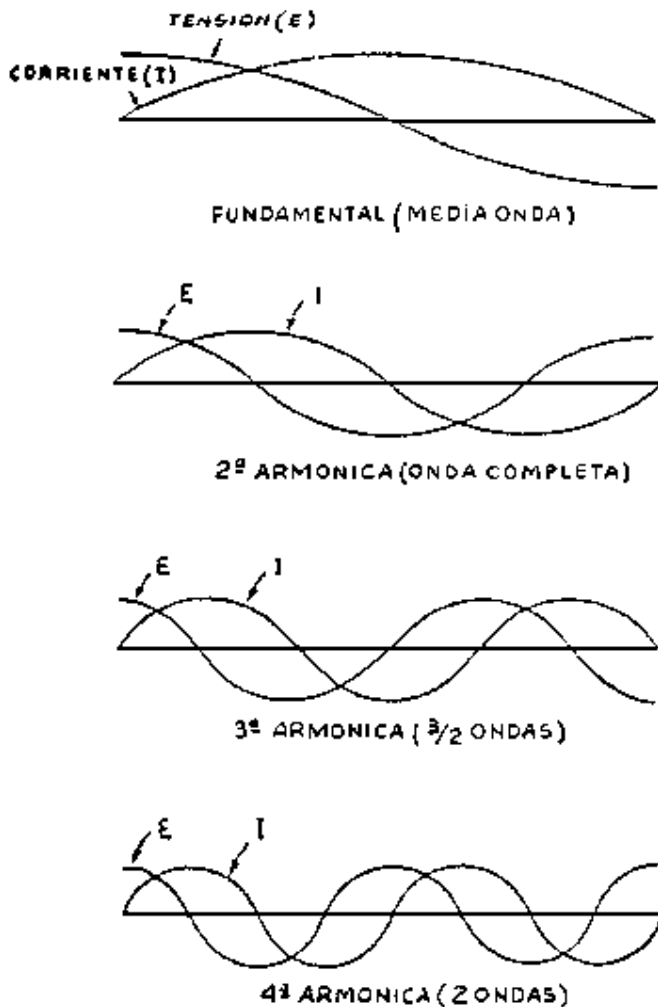
muchos ángulos distintos, e irradiar de la misma manera, caso que no se presenta en una antena direccional bien diseñada.

Características de un alambre largo

Una antena resuena a la frecuencia de funcionamiento si su largo es tal que permite acomodar un número entero de ondas estacionarias de tensión y corriente; en otras palabras, cuando su longitud es un múltiplo exacto de media onda de dicha frecuencia.

Distribución de tensión y corriente

La figura ilustra la distribución de tensión y corriente sobre un alambre en su frecuencia fundamental (en la cual su longitud es igual a la mitad de la longitud de onda), y en sus armónicas segunda, tercera y cuarta.



A Por ejemplo, si la frecuencia fundamental de la antena es 7MHz, las distribuciones de tensión y corriente serán como en A. La misma antena excitada en 14MHz tendrá una distribución del tipo ilustrado en B.

B En 21MHz, la tercera armónica de 7MHz, la distribución corresponderá al diagrama de C; a 28MHz en cambio, tendremos la distribución ilustrada en D.

C El grado de la armónica es el número de medias longitudes de onda de la frecuencia de funcionamiento contenidas en el alambre de la antena de dicha frecuencia. La polaridad de la tensión y de la corriente en cada onda estacionaria es opuesta a la polaridad de la magnitud correspondiente en la onda estacionaria adyacente. En la figura, esta característica se indica dibujando las ondas estacionarias alternadamente por encima y por debajo de la recta que representa el alambre de la antena (tomada como línea de referencia cero) para indicar que la polaridad de la corriente o de la tensión se invierten en el punto en que estas magnitudes pasan por cero.

D Se dice que las corrientes que fluyen en la misma dirección están en *fase*, mientras que las que fluyen en sentidos opuestos están en *oposición de fase*.

Longitudes físicas

La longitud de una antena de conductor largo no es un múltiplo exacto de la de una antena de media onda, debido a que los efectos de los extremos se hacen presentes solamente en las secciones terminales de la antena. Estos efectos se encuentran ausentes en las demás partes del conductor y la longitud del mismo es aproximadamente una porción equivalente de la onda en el espacio. Por lo tanto, la fórmula para calcular la longitud de una antena de conductor largo es:

$$\text{Longitud (m)} = 150 (N - 0,05) / \text{frecuencia (MHz)}$$

donde N es la cantidad de medias ondas en la antena.

Es evidente que una antena cortada en base a media onda para una frecuencia determinada, se hallará ligeramente fuera de resonancia, exactamente al doble de esa frecuencia (la 2^{da} armónica), debido a la disminución en la influencia de los efectos de punta, toda vez que la antena tenga un largo mayor de una longitud de media onda.

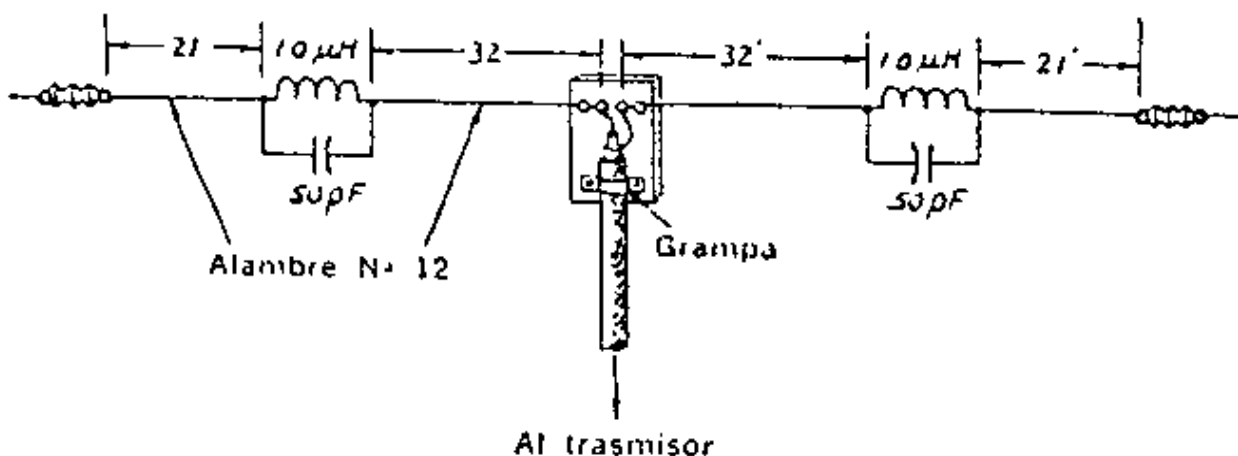
Tales efectos no son muy importantes, excepto en lo que se refiere al pequeño desequilibrio en el sistema del alimentador y en la consiguiente radiación desde la línea. Si la antena se alimenta exactamente en el centro, no se producirá desequilibrio alguno en ninguna frecuencia, pero los sistemas alimentados en un extremo ofrecerán desequilibrio en la totalidad de las bandas, excepto para aquella frecuencia a que haya sido cortada la antena.

ANTENA MULTIBANDA CON TRAMPAS

Uno de los sistemas de irradiación multibanda es conectar en cada rama de un dipolo trampas sintonizadas en paralelo. Si se las conecta en forma adecuada, a su frecuencia de resonancia las trampas “desconectan” el resto de la antena de la porción central. En las bandas más bajas las trampas actúan como inductores de carga, permitiendo que el dipolo tenga una longitud total menor que uno sin trampas.

Este criterio de diseño ha sido adoptado por muchos fabricantes de antenas multibanda tipo Yagui, dipolos multibanda y antenas verticales para varias bandas.

La antena del esquema puede resultar interesante para aficionados que no dispongan de espacio suficiente para un dipolo convencional de 80 metros. En caso necesario, los extremos pueden inclinarse ligeramente hacia abajo para ocupar aún menos lugar, sin embargo, se aconseja mantener el conjunto lo más horizontal posible.



Se alimenta con un coaxil de 52 ohms o línea balanceada de la misma impedancia. Se recomienda esta última solución o mantener el equilibrio del sistema utilizando un balún 1:1 en el punto de alimentación si se prefiere la línea coaxil.

Cada trampa se construye tomando como base un aislador del tipo “huevo”. Dentro del inductor hay espacio suficiente para instalar el aislador y el capacitor de la trampa. La cubierta protectora no es esencial, pero resulta útil para evitar los efectos de agua, hielo y nieve que podrían afectar el funcionamiento de la trampa. Eléctricamente cada trampa es un capacitor de 50pF en paralelo con un inductor de 10μHy.

Los que deseen optimizar el funcionamiento de la antena para cierta porción de la banda de 40 metros, deberán ajustar experimentalmente el número exacto de espiras para obtener resonancia en la frecuencia deseada. Similarmente pueden ajustarse las secciones terminales del dipolo para obtener mínima ROE en la sección de banda de 80 metros que más interese.

Con las dimensiones de la figura, la antena funciona correctamente entre 3,5 y 30MHz. En 80 metros la ROE mínima se produce en la mitad de la banda, en todas las demás es menor de 2:1, número aceptable y perfectamente adecuado para la mayoría de los transmisores modernos.

Ajuste de las trampas

Como paso preliminar se forman las espiras de alambre Nº 12 en uno de los aisladores tipo huevo procediendo de la manera habitual, pero cortando los alambres muy cerca de las retorceduras. Se coloca un capacitor en posición y se puentea con alambres cortos a través del aislador, soldándolo como para proveer una sustentación temporaria. La combinación se introduce luego dentro de unas diez espiras de bobina, soldando cada extremo de la bobina a uno de los puentes que van del capacitor al aislador.

Se procede a continuación a ajustar la frecuencia de resonancia con ayuda de un ondámetro dinámico, cuyo acoplamiento con la trampa debe ser muy flojo.

Se reducirá la inductancia a razón de ¼ de vuelta por vez. Si se procede con cuidado será posible fijar la frecuencia de resonancia en el valor deseado, con un error de sólo unos pocos kilociclos.

La razón por la que se aconsejó cortar los alambres sobrantes de los lazos cerca de las retorceduras y poner el aislador dentro de la bobina es evidente. La frecuencia de resonancia de la combinación de capacitor e inductor se reduce en cerca de 25KHz por cada centímetro de longitud de alambre de antena y baja en unos 375KHz por efecto de las espiras de alambre formadas en torno del aislador. Este último añade 2pF de capacitancia.

Armado

Habiendo determinado el número exacto de espiras que debe tener la bobina se desarma la trampa y se la vuelve a armar con la longitud de alambre conveniente.

La cubierta protectora se forma fácilmente arrollando dos vueltas (más una solapa de 12mm.) de chapa de poliestireno alrededor de dos discos de material plástico de 75mm de diámetro. La longitud del cilindro así formado debe ser de unos 100mm. Se aplicará entonces una muy pequeña cantidad de solvente plástico debajo del borde de la solapa y se mantendrá la junta a presión durante unos dos minutos, a fin de asegurar buena adhesión. Se sacan los discos y se pega del mismo modo el borde interior de la solapa.

Se coloca entonces la trampa dentro del cilindro y se marcan los discos para hacer el agujero por donde debe pasar el alambre de antena. Después de hechos estos agujeros, se deslizan los discos sobre los alambres, se aplican pequeñas cantidades de solvente sobre sus periferias y se introducen en el cilindro. El aire penetra en el interior por los agujeros por donde pasan los alambres, lo que impide la acumulación de humedad.

CALCULO DE MAGNITUDES ELECTRICAS EN UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El objeto de este apartado es determinar los valores de corrientes, tensiones y potencias en un sistema de transmisión cuyos valores son los siguientes:

Potencia de salida del Tx (R.M.S.)= 100 vatios

Impedancia de salida del Tx= 50 ohms

R.O.E. tomada en la salida del equipo= 1,92:1

Sabemos que $P_{Tx} = E_{Tx} \times I_{Tx}$

donde E_{Tx} : tensión eficaz en la salida del Tx (1)

I_{Tx} : corriente eficaz en la salida del Tx

A demás $P_{Tx} = I_{Tx}^2 \times |Z| = E_{Tx}^2 / |Z|$ (2)

de (2) deducimos que $I_{Tx} = \sqrt{P/|Z|}$ y que $E_{Tx} = \sqrt{P \times |Z|}$

el coeficiente de reflexión en funcion de la R.O.E es:

$$K = \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \quad (3)$$

Por lo tanto $i_{estacionaria} = K \times i_{incidente}$

$$e_{\text{estacionaria}} = k \times E_{\text{incidente}}$$

Del producto $i_{\text{estacionaria}} \times e_{\text{estacionaria}}$ tenemos $P_{\text{reflejada}}$
 O sea:

$$P_{\text{reflejada}} = i_{\text{estacionaria}} \times e_{\text{estacionaria}}$$

La potencia que irradia la antena se denomina potencia incidente y resulta:

$$P_{\text{incidente}} = P_{\text{Tx}} - P_{\text{reflejada}}$$

El valor de K para ROE 1,92:1 es $K = \frac{1,92-1}{1,92+1} = 0,315$

Entonces

$$P_{\text{reflejada}} = e \times i = E \times I \times K^2 \quad (4)$$

$$P_{\text{incidente}} = E \times I \quad (5)$$

Si hacemos el cociente entre (4) y (5) tenemos

$$\frac{P_{\text{reflejada}}}{P_{\text{incidente}}} = K^2 \text{ por ello } P_{\text{reflejada}} = K^2 \times P_{\text{incidente}}$$

$$\text{O sea, } P_{\text{reflejada}} = 0,099225 \times 100 \text{ vatios} = 9,9225 \text{ vatios}$$

En el caso del cuestionario de examen se redondea el valor al 10% de la potencia incidente.

Si deseamos calcular los valores eficaces de tensión y corriente transmitidos, y los estacionarios, aplicamos las fórmulas que se indican al comienzo y nos darán los siguientes valores:

$$I_{\text{Tx}} = \sqrt{P/IZ} = 1,41 \text{ Amperes}$$

$$E_{\text{Tx}} = \sqrt{P \times IZ} = 70 \text{ Volts}$$

$$\text{Por lo tanto, } i_{\text{estacionaria}} = K \times I_{\text{incidente}} = 0,315 \times 1,41 \text{ Amper} = 0,44 \text{ Amper}$$

$$e_{\text{estacionaria}} = k \times E_{\text{incidente}} = 0,315 \times 70 \text{ volts} = 22,27 \text{ Volts}$$

Los valores de sobretensiones y sobrecorrientes se obtienen sumando

$$E_{\text{Tx}} + e_{\text{estacionaria}} = 92,27 \text{ Volts}$$

$$I_{\text{Tx}} + i_{\text{estacionaria}} = 1,85 \text{ Amperios}$$