

LA TRAMPA DE ONDA, ESA DESCONOCIDA

Cualquier radioaficionado que se precie como tal, sabe y conoce qué es una trampa de onda insertada en las ramas de un dipolo o en un radiador vertical y para que sirve. La función, es clara. La trampa, corta eléctricamente las ramas del dipolo cuando dicha trampa resuena en la frecuencia más alta ($F1$), para que el dipolo resuene en esa frecuencia y mantiene toda la longitud física de esas ramas cuando la frecuencia de trabajo no corresponde a su resonancia y es más baja que $F1$ ($F2$).

La figura 1 muestra gráficamente lo apuntado anteriormente.

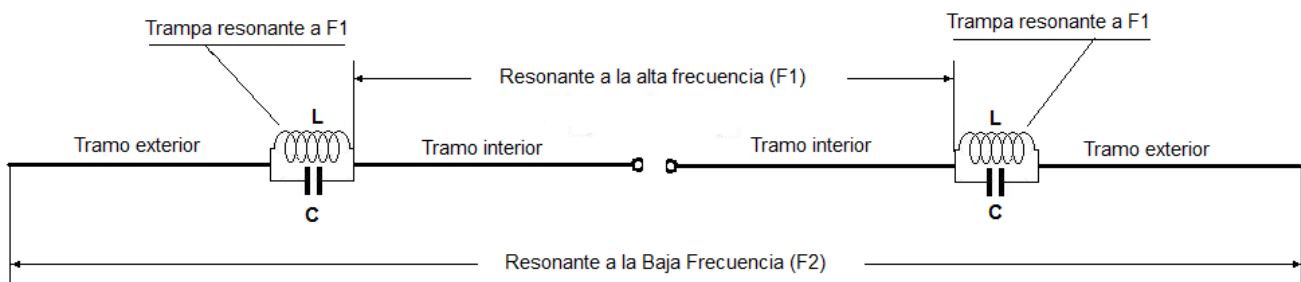


Figura 1.-Detalles de un dipolo multibanda con trampas para 2 frecuencias

Figura 1

Comentemos los matices de funcionamiento de este dipolo:

Las trampas son unos dispositivos de elementos reactivos (inductancia y capacidad) dispuestos en paralelo, e insertados a su vez en serie, en las ramas del dipolo.

Las trampas, están distantes entre sí, media onda (o múltiplos impares de media onda) correspondiente a $F1$, de tal manera que cuando alimentamos al dipolo con una frecuencia $F1$, las trampas resonarán y presentarán en el punto de su inserción, una impedancia teórica infinita que provocará el “aislamiento” de los tramos exteriores del dipolo. Tendremos un dipolo trabajando con los tramos interiores y resonante en media onda.

Si alimentamos al dipolo con la frecuencia baja ($F2$), la impedancia serie presentada por la trampa será normalmente inductiva y equivaldrá a una bobina de carga que alargará eléctricamente la longitud física de los tramos exteriores por lo que para que el conjunto resuene a la frecuencia $F2$, habrá que disminuir la longitud física de dichos tramos exteriores (como si fuera un dipolo corto, con una bobina de carga. Esta longitud se determina usando la formulación existente para este tipo de dipolos cortos cargados con una bobina. Este tema sería objeto de otro artículo por lo que desde aquí diremos que la longitud de los tramos exteriores, la determinaremos por tanteo a partir de la longitud calculada sin bobina de carga.

La impedancia en serie con la rama del dipolo que presenta la trampa en su punto de inserción es el resultante de la combinación en paralelo de dos reactancias como se estudia en teoría de circuitos eléctricos. En nuestro caso tenemos la reactancia inductiva de L (X_L), en paralelo con la reactancia capacitiva de C (X_C), y su combinada Z, valdrá

$$Z = -\frac{X_L X_C}{X_L - X_C}.$$

Así mismo, recordemos que las reactancias se determinan por:

$$X_L = 2\pi FL \Omega \text{ si ponemos F en MHz y L en } \mu\text{H}$$

$X_C = -\frac{10^6}{2\pi FC} \Omega$ si ponemos F en MHz y C en pF (aunque este valor tiene signo negativo, en la ecuación de Z obviaremos esta circunstancia dado que este signo ya se ha considerado en la misma).

Si el resultado de Z, está afectado por el signo (-), estamos ante una impedancia capacitiva, cuyo efecto sobre los tramos exteriores del dipolo es el de producir un acortamiento eléctrico de dichos tramos.

Si por el contrario, el resultado es positivo, la impedancia resultante es inductiva, alargando eléctricamente los tramos exteriores como hemos comentado anteriormente.

Hay otras variables a considerar a la hora de diseñar una trampa inserta en la rama de un dipolo. Una de ellas es el Q o ancho de banda de trabajo de la trampa y otra es la pérdida adicional que pueda introducir. Los valores de la relación L y C pueden ser infinitos. A partir de un valor de L, se determina la C resonante a la frecuencia de interés. Asimismo, a partir de C, se determina el valor de L.

La formulación simplificada, sería

$$L = \frac{25.330'3}{CF^2} \mu\text{H} \text{ (F en MHz y C en pF)}$$

$$C = \frac{25.330'3}{LF^2} \text{ pF} \text{ (F en MHz y L en } \mu\text{H)}$$

El Q de la trampa lo determina la relación de la reactancia de la bobina X_L y la resistencia óhmica del hilo del arrollamiento R_s , a la frecuencia de trabajo más la resistencia equivalente a las pérdidas producidas por la capacidad distribuida entre espiras y la deformación del campo magnético producida por los posibles elementos metálicos del entorno.

La resistencia de un hilo de cobre en estas condiciones viene determinada por la fórmula simplificada:

$$R_s = \frac{\sqrt{F}}{24a} \times l \text{ (F en MHz, } a \text{, radio del hilo en mm y } l \text{, longitud del hilo en mts.)}$$

Si el hilo es plateado,

$$R_s = \frac{\sqrt{F}}{25a} \times l$$

Estas fórmulas determinan la resistencia óhmica de un hilo recto, a la RF. Si el hilo está arrollado formando una bobina, preferentemente de entre 10 y 40 vueltas, esta resistencia aumenta 1'34 veces aproximadamente, el valor calculado por las fórmulas. Este valor ya contempla las pérdidas adicionales mencionadas anteriormente

Para optimizar una bobina, tendremos que considerar dos factores principales. Uno es obtener el Q más alto posible disminuyendo la resistencia óhmica del hilo R_s y el otro es el factor de forma que nos dice que una bobina es óptima cuando la relación diámetro de la bobina con su longitud, es 1'4 veces.

La figura 2 nos dá una idea gráfica del aspecto de esa bobina óptima

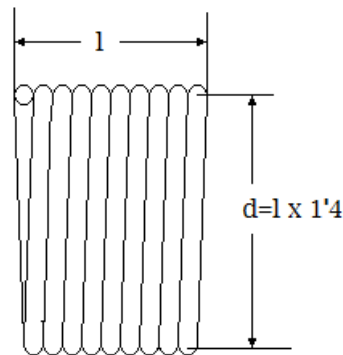


Figura 2

En cuanto a la capacidad a emplear, deberemos disponer de un condensador que además de la capacidad adecuada, soporte las altas tensiones a las que va a estar sometido, normalmente, mayor de 1000 voltios.

Ahora bien; una trampa con un alto Q significa un gran poder de aislamiento para frecuencias de resonancia, pero a costa del ancho de banda de trabajo, circunstancia ésta, que puede no sernos conveniente; pero si disminuimos el Q, el poder de aislamiento a la frecuencia de resonancia será menor y en el tramo exterior existirá cierta cantidad de corriente de F1 que producirá cierta deformación en el diagrama de radiación de F1 así que, en según qué circunstancias, tendremos que asumir una u otra situación.

De todas maneras, la pérdida introducida por una trampa, es insignificante si está bien diseñada por lo que es un tema de poca preocupación frente al objetivo de conseguir un dipolo que trabaje en dos frecuencias.

Debemos seguir unos cuantos criterios para diseñar una trampa. El principal de todos es la relación L/C (Inductancia en Henrios, frente a Capacidad en Faradios). Un alto valor de L y baja C, nos dará un alto Q y una gran impedancia resultante para la frecuencia baja , de carácter inductivo que puede suponer un gran acortamiento de los tramos exteriores del dipolo. Esto podría ser conveniente si no nos importase la estrechez de la banda de trabajo, resultante del alto Q de la trampa cuando funciona como tal en resonancia y cuando funciona como carga inductiva en la frecuencia baja F2, ya que una bobina de carga en un radiador corto también estrecha la

banda de trabajo. Disminuyendo la relación L/C , aumentaremos el ancho de banda de trabajo, la inductancia resultante para la $F2$ no será tan grande y el acortamiento eléctrico del tramo exterior u acortamiento no será tan acusado como en el caso anterior.

El mayor problema que se puede encontrar un radioaficionado que desee construir una trampa previamente diseñada, puede ser el encontrar un condensador adecuado (bajas pérdidas y alto voltaje), pero puede recurrir al aprovechamiento de tramos de cable coaxial dado que su capacidad lineal es conocida (el RG8, 213 y 58 con dieléctrico de polietileno tienen una capacidad de 100 pF/m de media, según fabricante) y soporta altos voltajes (por ejemplo, un RG58 soporta perfectamente 1400V). Para disminuir la inductancia parásita asociada a la capacidad del cable coaxial que introduciría la longitud del mismo, es conveniente disponer en paralelo varios trozos de cable cuyas longitudes sumen la necesaria. Así, si por ejemplo, deseamos construir una capacidad de 80 pF , necesitaremos 80 cm de cable coaxial. Supongamos a título ilustrativo que el cable coaxial tiene una inductancia de $2 \text{ } \mu\text{H/m}$. Ese trozo de cable, tendría en ese caso $1.6 \text{ } \mu\text{H}$ que son poco deseables para la calidad de la trampa. 4 trozos de cable de 20 cm de longitud en paralelo, teniendo 20 pF de capacidad cada uno, mantendrían los 80 pF necesarios pero esa inductancia parásita, se habría dividido por:

20 cm de cable, tendría $1.6/4 = 0.4$ y 4 trozos en paralelo, tendrían una inductancia total de $0.4/4 = 0.1$ μH que ya sería una cifra tolerable. El valor de la inductancia por metro del cable se debe hallar de los datos del fabricante o bien calcular a partir de sus dimensiones físicas. La cantidad de trozos de cable a emplear para disminuir esta inductancia parásita, depende también de consideraciones mecánicas del montaje. Este tema de la inductancia parásita del cable, se ha puntualizado para que el diseñador lo tenga en cuenta y trate de minimizar su efecto en lo posible en aras de optimizar la trampa.

Este diseño de trampas y su disposición en las ramas del dipolo, es el primero que se comprende y el más estudiado pero no es el único existente ni en ocasiones, el más adecuado.

Conocemos perfectamente el dipolo que trabaja en 40 y 80 mts que tiene inserta una trampa que resuena en 40 mts . Cuando la frecuencia de trabajo es de 7 MHz , la trampa aísla el tramo exterior y obtenemos un dipolo de media onda clásico. Cuando trabajamos en 3.5 MHz , resuena todo el conjunto como un dipolo corto cargado inductivamente. La diferencia entre antenas de distinta marca de fabricante, está en la elección por parte de sus diseñadores de la relación L/C , el modo de minimizar pérdidas y de dotar capacidad al dipolo para soportar altas potencias.

Cuando queremos que un dipolo trabaje en muchas bandas, con esta filosofía, se diseña un dipolo con múltiples trampas, cada una de ellas resonando a una de las frecuencias de trabajo que coloquialmente las denominamos "choriceras" por su aspecto de ristra de embutidos.

Pero existen otras trampas que nos desorientan ya que su forma de trabajo no corresponde a esta explicación tan simple.

Hemos visto que un dipolo con una trampa en cada rama, puede trabajar en dos frecuencias. Esto es lo clásico. Pero supongamos que esa disposición trabaja en principio, en una frecuencia $F1$ y su mitad $F2$. Tomemos como ejemplo un dipolo con una trampa para una $F1$ de 7 MHz y un tramo exterior que sirva para que el conjunto trabaje en una $F2$ de 3.5 MHz .

Seguiremos los razonamientos de diseño expuestos anteriormente y en primer lugar, construiremos un dipolo de media onda, para 7 MHz. Obtendremos dos ramas de 10'18mts (considerando un factor de acortamiento del 95%). En sus extremos instalaremos dos trampas con resonancia en 7 MHz que hemos de calcular.

Comenzaremos fijando a nuestro criterio, la reactancia que debe presentar L y C en resonancia. Pongamos 150 Ω . A partir de aquí, determinamos, $L=3'41 \mu\text{H}$ y $C= 151'6 \text{ pF}$.

Si no conseguimos una capacidad de este valor, la podemos construir, bien con porciones de cable coaxial como hemos visto antes, o por cualquier otro procedimiento que podamos idear. Recordemos que debe soportar altas tensiones (al menos 2000 V, para seguridad). También podemos variar la reactancia prefijada de 150 Ω hasta conseguir un valor práctico de C.

Para la bobina si disponemos de un tubo de PVC de 3 cm de diámetro e hilo de cobre de 1 mm. (el hilo eléctrico paralelo con funda de plástico de 1mm^2 cuyo diámetro es de 1'128 mm). Para conseguir los 3'41 μH , arrollaremos 9'14 espiras separadas 1'128 mm sobre la forma de 3 cm. Obtendremos una bobina de longitud 2'06 cm con una relación $D/l = 1'45$. La resistencia óhmica de los 1'19 mts de hilo necesarios para este arrollamiento, a esta frecuencia será de 0'3 Ω .

El Q sin carga de la trampa es de 483 y la impedancia que ofrece en resonancia es de 72.447 Ω . La relación L/C es de 22.500.

Una vez conectadas las trampas en los extremos del dipolo, prolongaremos éste con los tramos exteriores hasta completar un dipolo resonante en media onda para 3'5 MHz. En principio este tramo exterior debería ser el calculado sin considerar la trampas menos la longitud que ya disponemos correspondiente a la media onda para 7 MHz. Un dipolo de media onda para 3'5 MHz mide $75 \cdot 0'95 / 3'5 = 20'35$ mts por rama y como ya disponemos de 10'18, el tramo exterior será de 10'17 mts.

Ahora bien. La trampa que está fuera de resonancia a 3'5 MHz, presenta una disposición en paralelo de $X_L=75 \Omega$ y una $X_C= 300\Omega$ cuya impedancia combinada, supone 100 Ω inductivos insertados en serie en cada rama del dipolo, y que actuarán como carga inductiva, alargando eléctricamente el los los tramos exteriores por lo que para conseguir la resonancia del dipolo, deberemos acortarlos experimentalmente, una longitud adecuada, para conseguirlo.

También se puede determinar esta longitud con procedimiento de cálculo. Así, para el lector interesado vamos a exponer brevemente dicho procedimiento.

Consideraremos el dipolo como una línea de transmisión abierta.

El tramo interior es una línea de transmisión menor de $1/4$ de onda, terminada en una reactancia (la combinada de la trampa), cuya reactancia de entrada se determina por

$X_{\text{int}} = -jZ_0 \cdot \tan(\beta H)$ (recordemos que $\beta=2\pi/\lambda$ y H es la longitud eléctrica del tramo interior.

Esta reactancia (negativa) “sumada” a la reactancia combinada de la trampa nos dará una reactancia X todavía positiva que deberá ser compensada con la reactancia negativa que debe presentar el tramo exterior que por lo tanto será igual a -X. La reactancia total debe ser cero para estar en resonancia. A partir de esta reactancia, podemos determinar la longitud del tramo mediante la fórmula.

De la reactancia del tramo exterior que por lo tanto conocemos y que además se corresponde con la fórmula de una línea de transmisión abierta en su extremo y menor de $\frac{1}{4}$ la longitud de onda y que es:

$$X_e = -\frac{Z_o}{\tan(\beta H)}$$
 despejaremos H y la convertiremos en su longitud física correspondiente.

$$H_o = 0.95 \frac{\lambda \times a \tan \frac{Z_o}{X}}{2\pi}$$
 mts. Recordemos además que la impedancia característica de una rama, la podemos determinar por:

$$Z_o = 60 \left(\ln \frac{2H_o}{a} - 1 \right) \Omega$$

Esta longitud será teórica y un buen punto de partida para conseguir con pequeños ajustes la resonancia para los 3.5 MHz.

Bien hasta aquí hemos estudiado una trampa que hace que un dipolo resuene a una frecuencia F1 y a su mitad F2. Podemos prolongar nuestro estudio, y ver qué pasa con su frecuencia doble (F3=2F1). En el caso anterior F3 valdría 14 MHz y la trampa, a esta frecuencia, presentaría una reactancia inductiva $X_l = 300 \Omega$ en paralelo con una $X_c = 75 \Omega$ que darían una impedancia combinada en serie con la rama del dipolo de -100Ω lo que supon insertar una carga capacitiva al dipolo, que lo acortaría eléctricamente. Los 20 mts físicos que mide la rama del dipolo, se convertirán en los 15 que necesitaríamos para resonar a 14 MHz con 1.5λ . Los pequeños ajustes (si son necesarios) se consiguen con la inclusión de cierta longitud de hilo conectada al principio de cada tramo externo y que aumentan la carga capacitiva de las trampas. Esta longitud se ajusta hasta conseguir la resonancia deseada

Con esto, podemos concluir que se puede diseñar un dipolo tribanda, con una sola trampa para frecuencias 1, 0.5 y 2 de la resonancia de la trampa.

Una sola trampa, también se puede utilizar para que un dipolo resuene en dos frecuencias aunque éstas no tengan ninguna relación entre ellas. Para ello, se inserta una trampa que resuene a una frecuencia que sea la media geométrica de F1 y F2. Así, la frecuencia de resonancia F0 de esta trampa, será.

$$F_0 = \sqrt{F_1 \times F_2}$$

Así, a F1, la trampa actuará como carga inductiva, y a F2, la carga será capacitiva. Los módulos de la reactancia en las dos condiciones, será iguales y sus signos inversos. Aunque nunca actuará como trampa propiamente dicha ya que en ningún momento seccionará las ramas del dipolo porque su frecuencia de resonancia no es ninguna de las utilizables. Así por ejemplo, podemos diseñar un dipolo que trabaje en 14 y 21 MHz, insertando una “trampa” resonante en su media geométrica de 17.146 MHz

En estas circunstancias el diseño de un dipolo con este tipo de “trampas”, presenta cuatro variables que dificultan el cálculo teórico, debiendo recurrirse a la determinación experimental.

La longitud de las ramas del dipolo, la frecuencia de resonancia de la “trampa”, su punto de inserción en la rama del dipolo y el valor de la capacidad o de la inductancia de la “trampa”.

El tema es bastante arduo pero consideramos que lo expuesto anteriormente dará una idea bastante profunda del comportamiento de estos dispositivos en el funcionamiento de un dipolo que resuene en más de una frecuencia.

Un tema aparte y harto interesante es la descripción de una trampa coaxial,

Su aparición, debida a la dificultad de conseguir la capacidad con el valor y las características necesarias y diseñada por W8NX, simplifica en gran manera su construcción y diseño.

Apoyado por un pequeño programa calculador diseñado por VE6YP, de libre disposición, podemos diseñar una trampa coaxial con gran facilidad.

La disposición de los arrollamientos y conexiones, se pueden ver en la figura 3

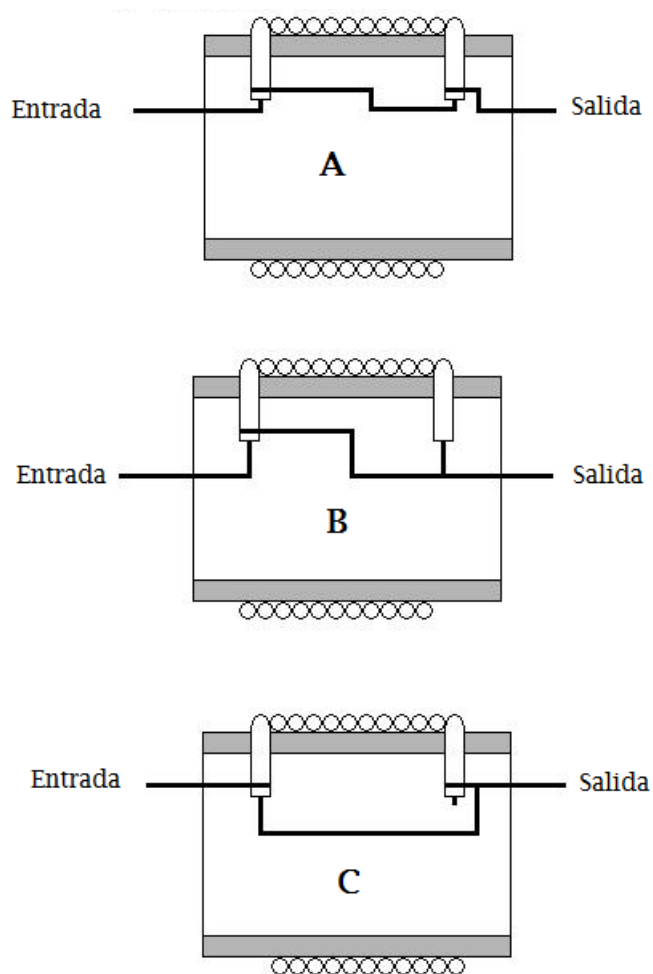


Figura 3

La disposición A presenta alta inductancia por lo que la relación L/C es alta

La disposición B presenta menor inductancia y mayor capacidad que en A por lo que la relación L/C es menor

La disposición C presenta menor inductancia y mayor capacidad que en B y la relación L/C es menor que en B.

La resonancia de diseño, permanece inalterable sea cual sea la opción de conexiones a las que optemos.

Un último apunte importante para tener en cuenta.

Las pérdidas de una trampa, son máximas a la frecuencia de diseño, por lo que esta frecuencia, debe estar algo alejada de la frecuencia de trabajo. En el mundo de la radioafición, normalmente se ajustan para que resuenen al principio de la banda a utilizar o en su defecto, unos 50 KHz por debajo de esa frecuencia.

Las trampas coaxiales, ofrecen algo más de pérdida que las compuestas por bobina y condensador vistas anteriormente.

Referencias.-

ARRL Antennas Handbook Ed 21
Cálculo de antenas 4ª Ed. Marcombo
Designing trap antennas: a new approach. W0JF
Radio Engineering Handbook. Terman. Ed 1943

Armando García
EA5ND (ex EA5BWL)