

The LONELI

El medidor universal de LONGitud Eléctrica de Línea

Por J.Moldes -EB1HBK- para www.cacharreo.es

-12/06/09-

b.2 texto corregido el 30/06/09

En el presente artículo se describe como establecer con gran exactitud el coeficiente real de velocidad de una determinada línea de transmisión. Esto nos permitirá determinar la longitud práctica de tramos de 1/2 onda o de 1/4 onda y sus correspondientes múltiplos, a la hora de acometer sistemas de adaptación y enfase de antenas.

Antecedentes

La técnica que se describe a continuación es consecuencia del desarrollo y construcción de la antena "Séventis", concebida para experimentar en la banda de 70 MHz por la estación EE1URO durante el período de autorización especial desde Noviembre/2008 hasta Abril/2009. Para ello se diseñó y optimizó una antena tipo Yagui de tres elementos, fácilmente desmontable y con alimentación en T. Este tipo de construcción precisa que el elemento excitado de la antena se alimente en dos puntos equidistantes del centro con dos señales iguales en magnitud y fase opuesta. Para obtener la segunda señal desfasada 180° con la primera se recurre a una sección de coaxial con una longitud eléctrica exacta de 1/2 onda.

Llegados a este punto, nos preguntamos cuanto de acertado tiene el factor de velocidad típico que proporcionan los manuales para el cable RG-58, con el que realizamos la línea de 1/2 onda. Para el caso que nos ocupa el valor medio que se nos ofrece es de 0,66 y este es el factor de corrección a aplicar para obtener la longitud real de línea de enfase. No obstante, no debemos olvidar que este dato corresponde a un valor medio, el valor real exacto puede diferir entre diferentes lotes de cable, diferentes fabricantes o debido al envejecimiento del dieléctrico del cable. La consecuencia práctica de esto es que al final no tendremos realmente una longitud de media onda eléctrica en el tramo de línea que hayamos cortado. Si el cable no tiene media onda eléctrica la onda que viaja a través de él no estará en la fase adecuada cuando llegue al extremo del mismo. Podrá estar adelantada o retrasada, según el cable haya quedado corto o largo, pero ya no se cumplirá la condición requerida de disponer de dos señales iguales (misma amplitud pero fase opuesta) para alimentar correctamente la antena.

Objetivo

Lo que se buscaba, aparte de realizar la media onda de enfase con exactitud para construir la antena, era poder realizarlo de una manera simple, reproducible y con un instrumental mínimo. Así hemos desarrollado una técnica de medida muy sencilla pero extraordinariamente precisa que solo necesita de un medidor de ROE y una resistencia de carga de la impedancia adecuada. De hecho la precisión obtenida dependerá de la precisión de estos dos elementos. Este instrumental es de uso extendido entre todos los radioaficionados, al menos el medidor de ROE, la resistencia de carga de 50 Ohm casi seguro será preciso construirla. De hecho si vamos a trabajar en VHF, UHF o SHF será preferible hacerlo así, a no ser que ya dispongamos de una resistencia de carga específica para estas frecuencias. La idea no ofrece mayor complicación y se basa en el principio de la balanza. Equilibramos la balanza, producimos un desequilibrio, y finalmente volvemos a equilibrarla, es así de simple. Ahora veremos como.

El método

En la edición nº 19 del ARRL Antenna Book se cita un artículo de Charlie Michaels, W7XC, publicado en el número de Septiembre de 1985 de la revista QST (¡hace ya 24 años!). En este artículo se describe una técnica para obtener con precisión secciones de línea de transmisión de $1/4$ o de $1/2$ onda, o en su caso el factor de velocidad real de la línea, ayudándose de un circuito resonante paralelo. El inconveniente es que emplea para ello un medidor de DIP o DIP-Meter. Esto no es un problema en si mismo, el problema es que este excepcional aparato de medida es un rara-avis entre los radioaficionados, de hecho incluso no pocos lo desconocen por completo. Y personalmente no recuerdo haber visto ningún modelo comercial asequible que sea utilizable mas allá de la VHF.

Allá por el año 1.999 aproximadamente elaboré un artículo para la página web "Taller de Radio" en el cual se describía una técnica muy precisa para la elaboración de circuitos resonantes, elementos imprescindibles a la hora de construir filtros o trampas de onda. El instrumental necesario consistía tan solo en un medidor de ROE y una resistencia de carga, ayudándose de un circuito resonante serie. Se ha incluido una copia de este artículo en el apéndice, al final del presente documento.

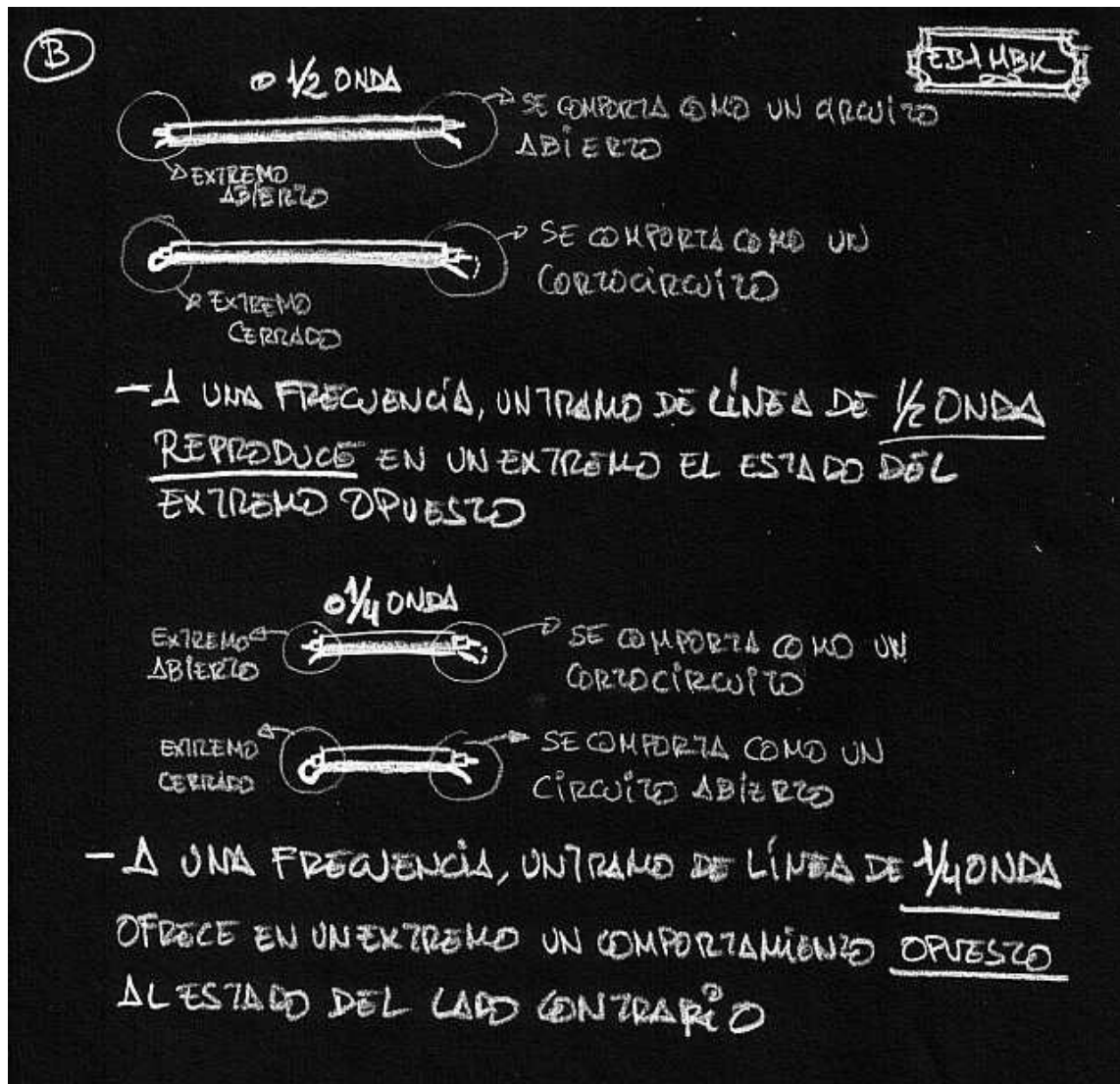


Teoría de funcionamiento

Observando las ilustraciones apreciamos que el sistema consiste en intercalar entre el generador, o TX, y la resistencia de carga un circuito compuesto por una bobina y un condensador conectados en serie. Los valores de estos elementos no son críticos y pueden determinarse por tanteo. De lo que se trata es de que compongan un conjunto resonante a la frecuencia de operación.

En resonancia la reactancia inductiva X_L iguala en valor absoluto a la reactancia capacitiva X_C y ambas se neutralizan. Entonces, idealmente, el circuito resonante serie se comporta como un cortocircuito (o un filtro "pasobanda") y el TX solo "ve" la resistencia de carga de 50 Ohm y en consecuencia el medidor de ROE indicara un valor de 1:1 o muy próximo.

Vamos a recordar el comportamiento de una línea de transmisión en dos casos particulares, las secciones de $1/4$ y $1/2$ onda eléctrica. Sin entrar en detalles teóricos que lo expliquen, para ello existen ya numerosas fuentes de consulta, vamos a centrarnos en el comportamiento práctico de cada una de las dos secciones.



- caso de 1/4 de onda.

A una determinada frecuencia, una línea de transmisión con una longitud eléctrica de $\frac{1}{4}$ de onda o sus múltiplos impares, con un cortocircuito en su extremo, se comporta como un circuito abierto en el extremo opuesto.

En cambio si el extremo se deja abierto, en el extremo opuesto se comportará como un cortocircuito. Como simplificación podríamos decir que el $\frac{1}{4}$ de onda (o sus múltiplos impares) presenta en un extremo un comportamiento opuesto al estado del otro extremo.

- caso de 1/2 onda.

A una determinada frecuencia, una línea de transmisión con una longitud eléctrica de $\frac{1}{2}$ onda, o cualquiera de sus múltiplos, reproduce en un extremo el comportamiento del extremo opuesto. Si el extremo opuesto está cortocircuitado, se comportará como un cortocircuito, y si el extremo opuesto está abierto se comportará también como un circuito abierto. Para simplificar podemos decir que la sección de $\frac{1}{2}$ onda se comporta como un espejo que reproduce en un extremo el estado del extremo opuesto.

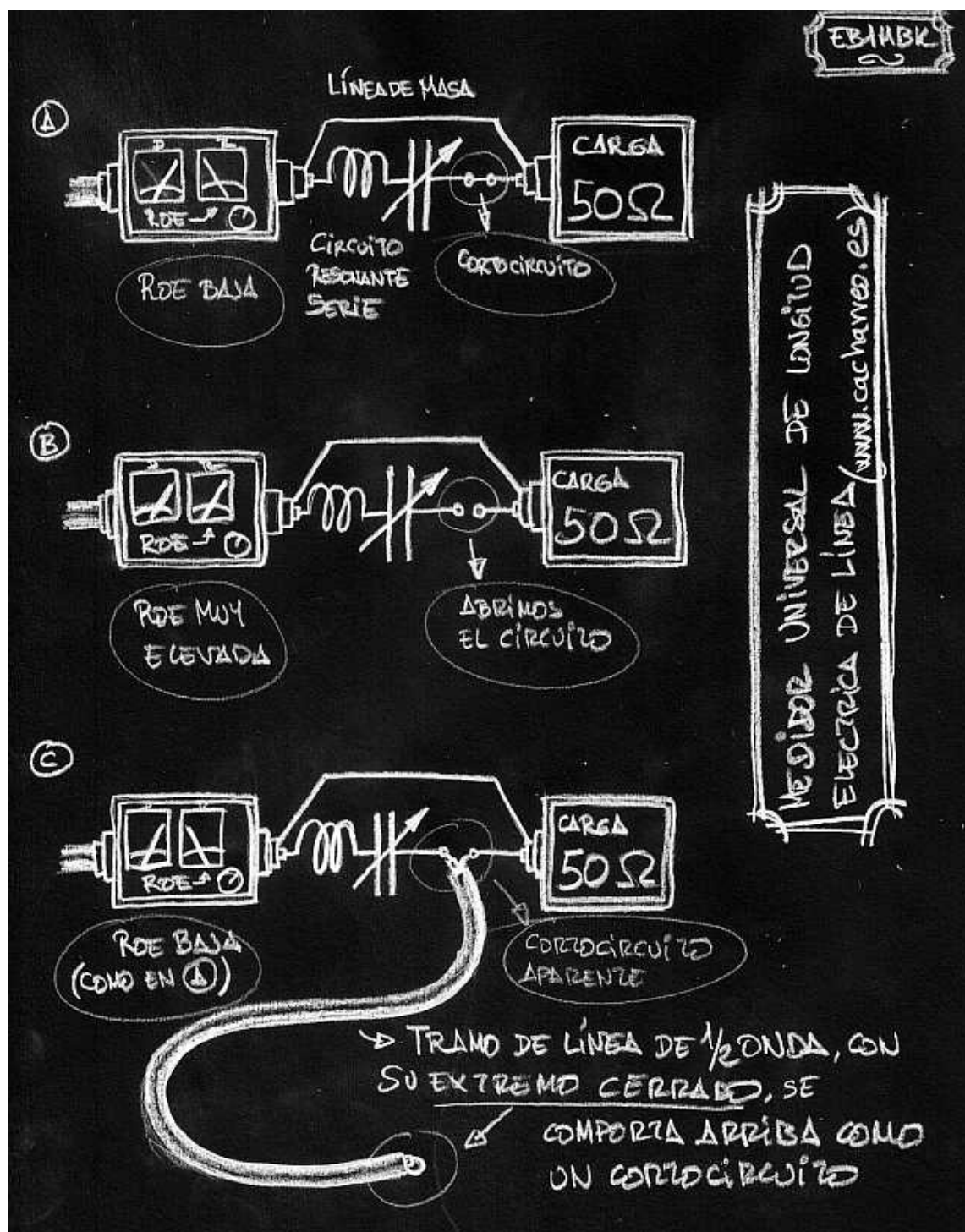
EL LONELI

Lo que hemos desarrollado es una técnica mixta entre las dos anteriores y con ella podemos obtener resultados de gran exactitud empleando tan solo un medidor de ROE y una resistencia de carga de 50 Ohm. Además obtenemos una indicación visual inconfundible cuando el cable tiene la longitud exacta de $1/4$ o $1/2$ onda eléctrica requerida. La frecuencia límite superior a la que este técnica resulte útil dependerá de mantener las conexiones lo mas cortas posibles y manteniendo las inductancias parásitas al mínimo. Por ello en UHF y superiores no debiera descartarse el implementar este sistema de medida mediante técnicas de microstrip.

En la práctica la manera mas cómoda de trabajar es con una sección de $1/4$ de onda o un múltiplo impar de esta. Ello nos permitirá averiguar exactamente la factor de velocidad de la línea de alimentación, y partiendo de ahí podemos cortar la longitud necesaria de cable, en tramos de $1/2$ onda, sus múltiplos o fracciones.

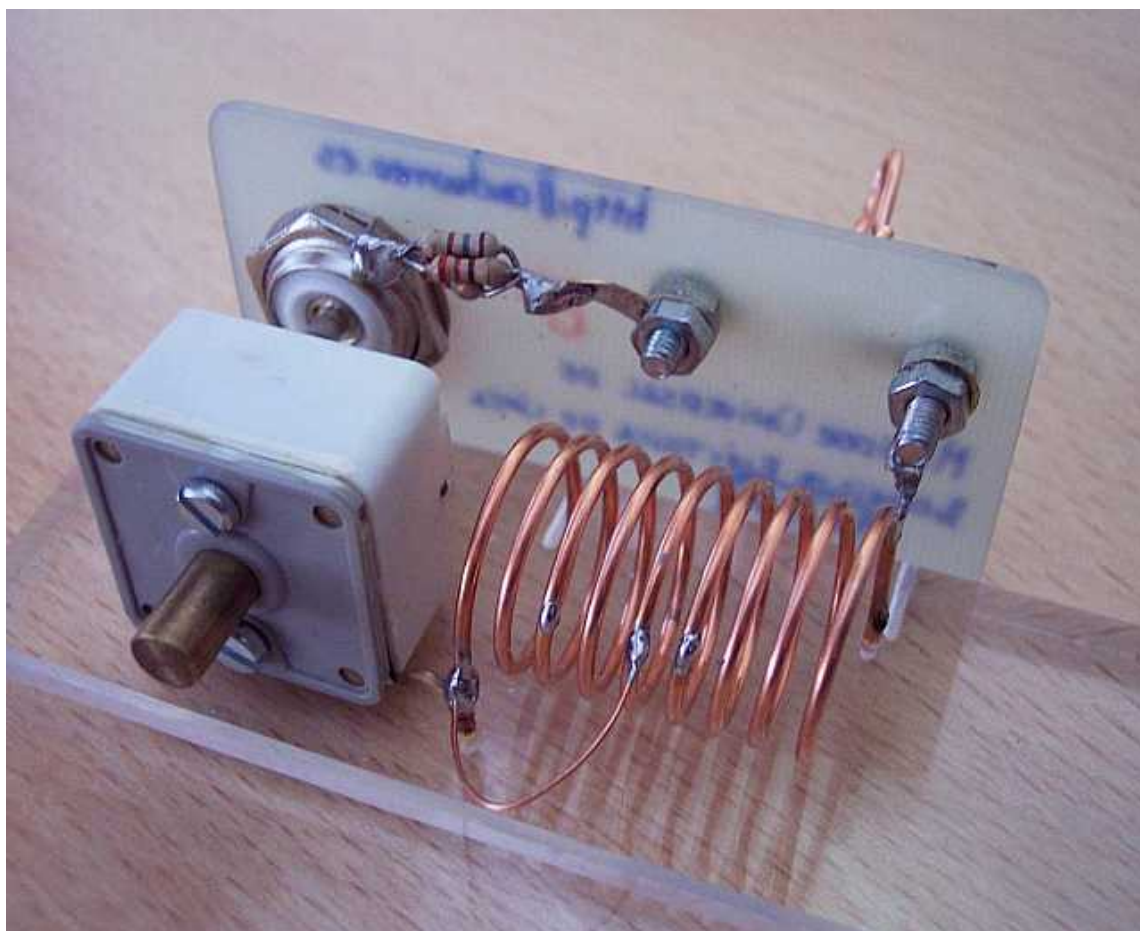
Para ello tomamos como valor inicial el factor de velocidad medio que ofrecen los fabricantes para ese tipo de línea. Aplicando este valor cortamos una sección de línea ligeramente mayor de la que correspondería a $1/4$ de onda. Conectamos un extremo al medidor, el vivo a un lado y la malla al otro si usamos coaxial, y el otro extremo queda abierto. Por la propiedad del $1/4$ de onda en resonancia, en donde hemos conectado el trozo de línea al medidor se comportará como si hubiese un cortocircuito solo cuando el trozo de línea tenga una longitud eléctrica exacta de $1/4$ de onda. Ahora solo tenemos que ir cortando a pequeños trozos al extremo de la línea que se dejó abierto, hasta que el valor del medidor de ROE vuelva a indicar el valor inicial próximo a 1:1 cuando teníamos realmente puenteados los dos bornes del LONELI. Y eso es todo.

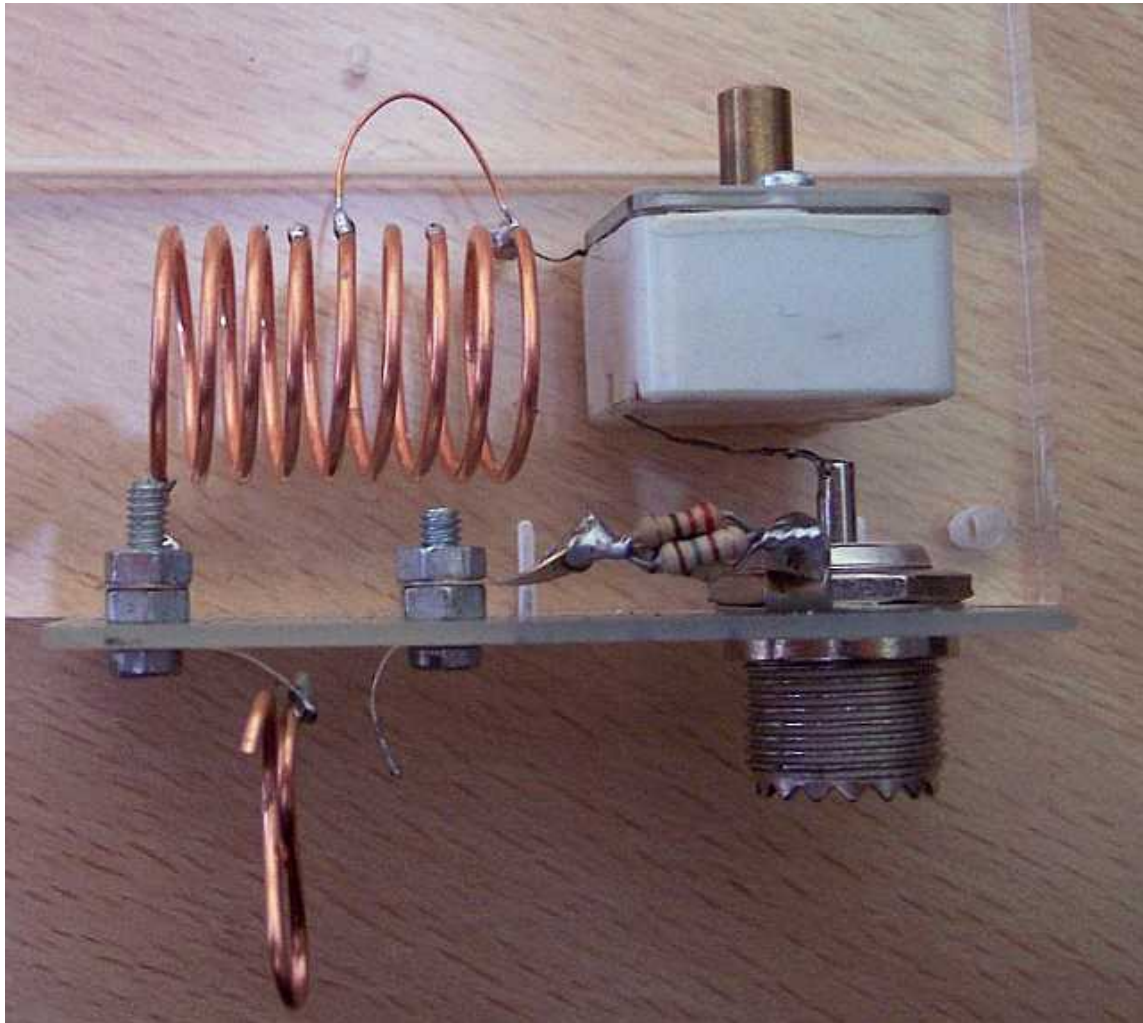
En la siguiente lámina se muestra como funciona en la práctica el sistema LONELI.



Aunque en la lámina se muestra una sección de coaxial de $\frac{1}{2}$ onda con su extremo en cortocircuito, podemos trabajar con una sección de $\frac{1}{4}$ de onda y el extremo se dejaría abierto. En ambos casos, en el punto de conexión al LONELI, el comportamiento es el de un cortocircuito aparente.

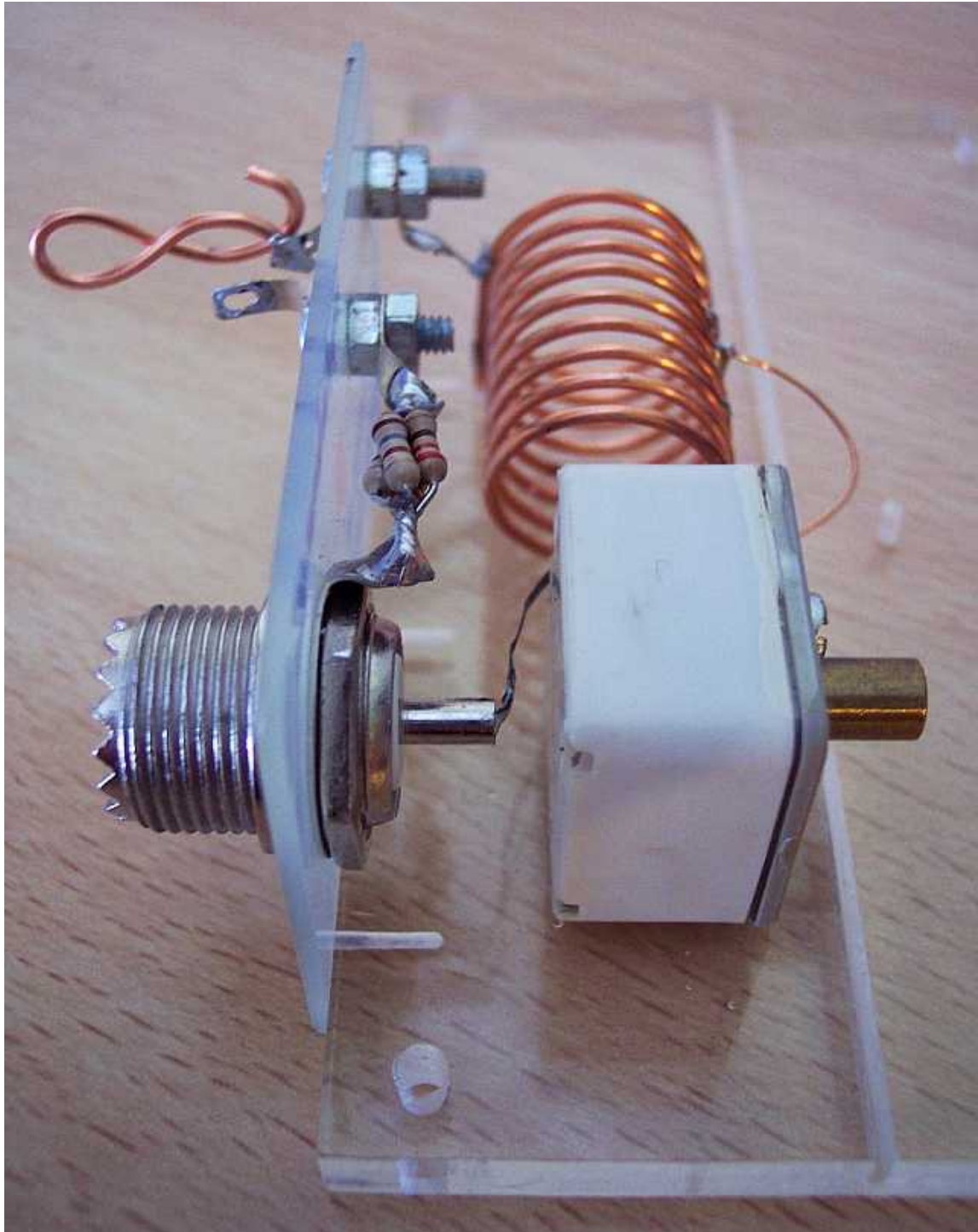
Prototipo de LONELI construido sobre una placa de metacrilato, adecuado para 70 MHz. Empleado para construir el sistema de alimentación de la antena Séventis.





En este prototipo, como la bobina construida se reveló excesiva para esta frecuencia, se cortocircuitaron algunas de sus espiras con un cablecillo, para lograr una adecuada resonancia en conjunto con el condensador utilizado.

Para el ajuste inicial se puentean los dos terminales, posteriormente se retira el puente y se sujeta en su lugar el tramo de línea eléctrica que se va medir, cortando el extremo hasta obtener de nuevo el valor de ROE próximo a 1:1 inicial.

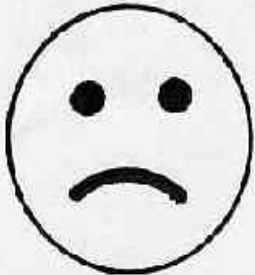


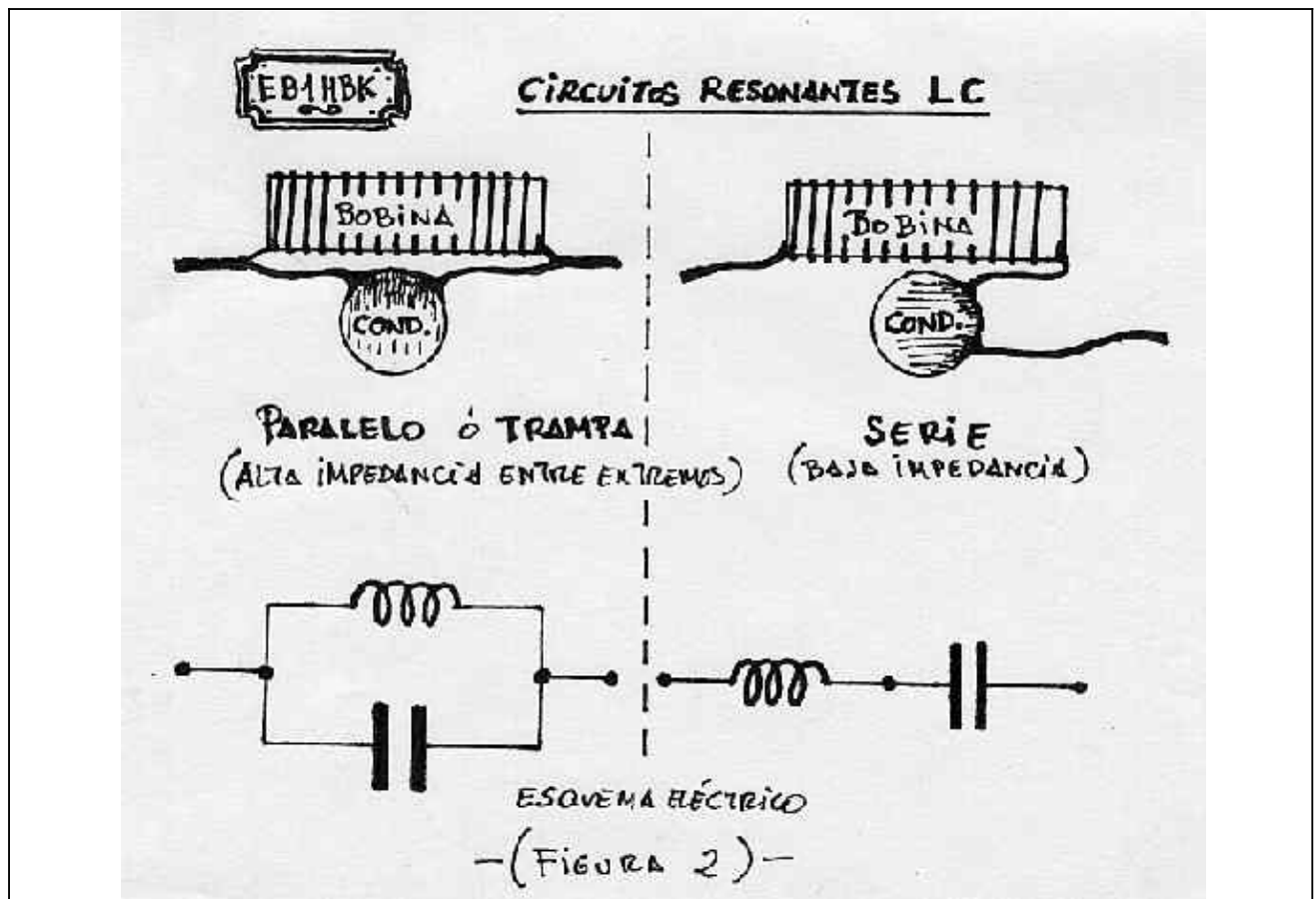
Vista lateral donde se aprecia el conjunto de resistencias empleado para obtener una carga de 50 Ohms, suficientes debido al bajo nivel de potencia empleado. No obstante estas resistencias deben dimensionarse adecuadamente según la potencia que vayan a disipar.

APÉNDICE

Reproducción del artículo "Construcción de Trampas", publicado en la web Taller de Radio.

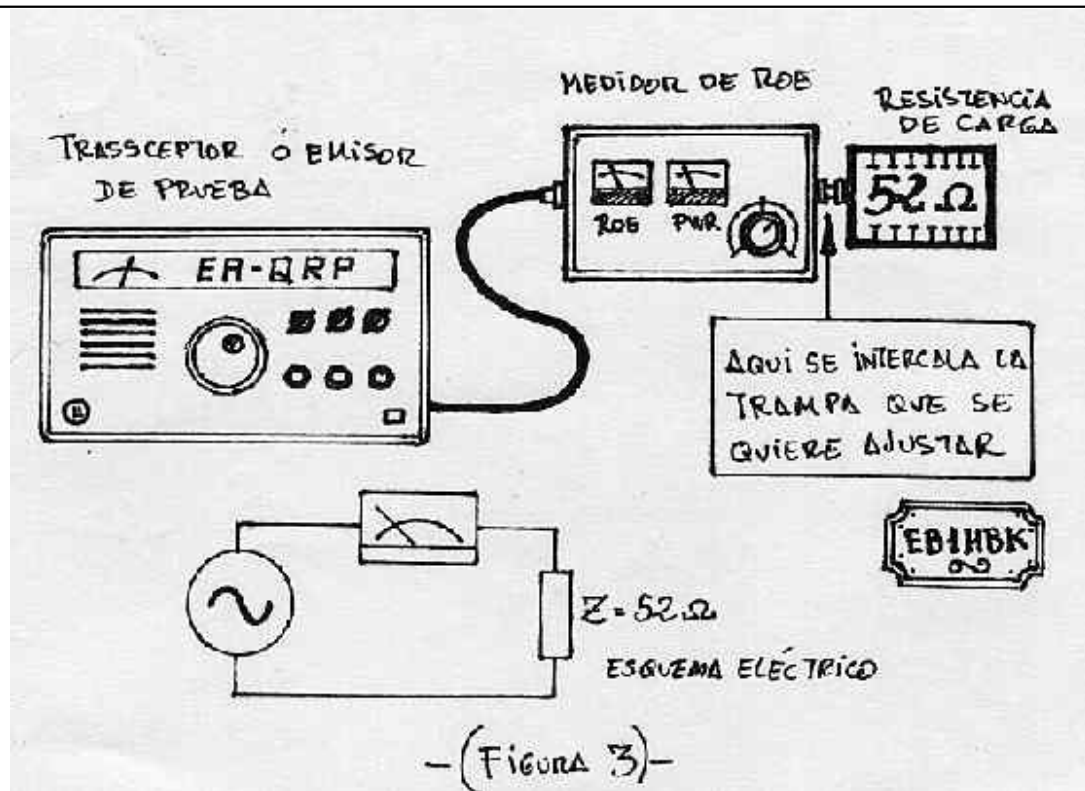
Trampas sin esfuerzo

 <p>LAS TRAMPAS DE ONDA SON UN ROLLO, LO MEJOR ES COMPRARLAS. POR QUE ADEMÁS, SI NO DISPONES DE UN CARÍSIMO ANALIZADOR DE RAYOS CÓSMICOS ES IMPOSIBLE EL PODER SINTONIZARLAS BIEN...</p> <p>— (FIGURA 1) —</p>	<p>COMO HACER TRAMPAS Y NO PERECER EN EL INTENTO</p> <p>Javier Moldes Magdalena - EB1HBK</p> <p>¿Quien dijo que el buen radioaficionado jamas hace trampas?...no será por ganas. Pues a eso vamos, a trampear de lo lindo y que no se diga.(figura 1)</p>
--	---



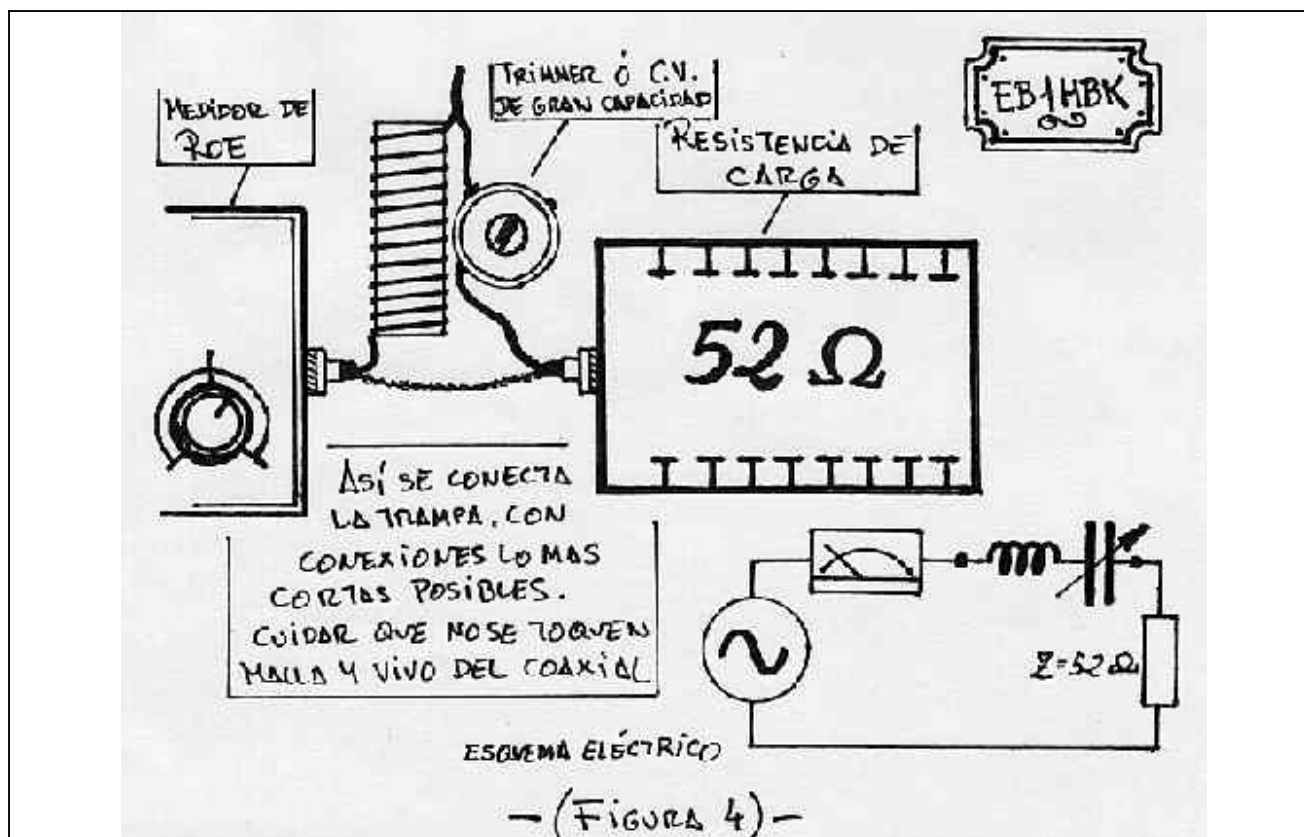
Una trampa es un circuito resonante constituido por una bobina y un condensador conectados en paralelo. Según sus respectivos valores, habrá una frecuencia a la cual la trampa resonará. Para ese valor de frecuencia y sus valores próximos, la trampa bloquea o limita el paso de una señal, dejando pasar las señales de frecuencia distinta a la de resonancia. La frecuencia en que resuena la trampa puede modificarse actuando sobre el valor de condensador o sobre el de la bobina. Hay múltiples combinaciones de bobina y condensador que harán resonar la trampa en una frecuencia concreta, pero según escojamos una u otra la trampa se mostrará mas o menos selectiva (cambia el factor de calidad). Una trampa poco selectiva dejará pasar señales dentro de un amplio margen de frecuencias alrededor de la frecuencia de resonancia. Repasando lo dicho, una trampa esta formada por una bobina y un condensador conectados en paralelo, o sea, es un circuito resonante paralelo. La frecuencia de resonancia está determinada por los valores de la bobina y del condensador, las señales cuya frecuencia coincide con la frecuencia de resonancia de la trampa se encuentran en su camino con un gran obstáculo y resultan muy atenuadas al atravesarla.(figura 2)

¿Que ocurre si tomamos una trampa y modificamos las conexiones entre bobina y condensador para conectarlos en serie y no en paralelo?. También en este caso tendremos un circuito resonante, y a la misma frecuencia de antes, pero será un circuito resonante serie y su comportamiento difiere bastante del que tenía siendo paralelo. Si un circuito resonante paralelo "bloquea" el paso de las señales cuya frecuencia coincide con la de resonancia y deja pasar las demas, un circuito resonante serie hace lo contrario: deja pasar las señales cuya frecuencia coincide con la de resonancia y "bloquea" el resto. En resonancia el circuito paralelo presenta una impedancia muy alta mientras que su equivalente en serie presenta una impedancia muy baja.



Para obtener los valores de bobina y condensador que deben resonar a una frecuencia concreta puede recurrirse a los consabidos cálculos y a la posterior realización práctica del circuito, que probablemente no coincidirá en su funcionamiento con lo que esperábamos. O puede realizarse enteramente de manera practica y con la ayuda de elementos fácilmente asequibles. Se precisa para ello un medidor de ROE, una resistencia de carga, un buen condensador variable y algo que genere señal en el margen de frecuencias en que se vaya a sintonizar la resonancia del circuito, por ejemplo un transceptor. Sería muy útil disponer de un capacímetro (ahora los hay a precios muy asequibles) aunque tampoco es imprescindible.(figura 3)

Si lo que queremos es hacer una trampa para una antena, primero construiremos la bobina sobre el soporte tal y como hayamos proyectado. ¿De cuantas vueltas?... es igual, las que nos parezca. Ni muchas ni pocas. A esta bobina conectaremos provisionalmente el condensador variable de manera que quede en serie con ella.



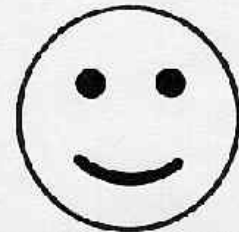
Si durante el ajuste de la trampa no obtenemos en ningún punto del condensador variable una disminución de la ROE, es por que hemos tenido la mala suerte de que esa combinación de bobina y condensador no resuena en la frecuencia deseada. Solo cabe modificar la bobina aumentando o reduciendo sus espiras y repetir todos los pasos. Cuando me ocurre esto comienzo por puentear la mitad de la bobina (mitad de espiras), si tampoco funciona pruebo entonces a doblar el numero de espiras, de un modo u otro obtengo la resonancia deseada. A continuación, y a ojo de buen cubero, evaluamos el factor de calidad del circuito. Con un valor de capacidad grande (placas del condensador muy cerradas) el factor de calidad será bajo y se obtiene una ROE baja en un amplio margen de frecuencias. Con un valor de capacidad bajo (placas del condensador poco cerradas) el factor de calidad es grande. El circuito muestra una resonancia mas aguda y la ROE sube mucho a poco que se modifique la frecuencia de la señal.

Este sistema puede emplearse también para realizar el circuito tanque (que al igual que la trampa, también es un circuito resonante paralelo) de un oscilador LC, circuitos de paso de banda, o lo que se nos ocurra. Es una manera muy sencilla y precisa de determinar el punto de resonancia, pero es imprescindible que el circuito a medir este conectado inmediatamente a la salida del medidor de ROE, ya que de utilizar un latiguillo de coaxial las medidas no serán fiables.

En el extremo alto de HF y en VHF es preciso tener en cuenta que cualquier longitud de conductor entre el medidor de ROE y la resistencia de carga puede ofrecer una reactancia apreciable, que será preciso cancelar antes de realizar las medidas. Para asegurarnos que las conexiones de cable no influyen en las medidas, desconectaremos provisionalmente el vivo de uno de los extremos de la trampa y puentearemos directamente el vivo de salida del medidor de ROE con el vivo de la resistencia de carga. SI la ROE baja a 1:1 todo va bien, si no ocurre esto y la ROE es mas alta, es que los conductores producen un efecto de "bobina" que debemos neutralizar. Para ello es suficiente con intercalar en serie con la resistencia de carga un condensador "trimmer" que ajustaremos hasta obtener 1:1 de ROE. Hecho esto desconectamos el cablecillo, volvemos a conectar la trampa y procedemos a ajustarla como se ha dicho. Esta operación del trimmer es imprescindible hacerla en el margen de UHF, en donde una conexión de 3 ó 4 cms. de hilo causa que el medidor de ROE no "vea" ya los 50 ohms. de la resistencia de carga e indica un valor erróneo que hará inútil cualquier intento de ajuste sobre la trampa.

Esta es una manera muy sencilla y fiable de determinar con precision que bobina y condensador necesitamos para construir un circuito resonante, saltandonos los cálculos y sin necesidad de herramientas o aparatos especiales. Podemos comprobar por ejemplo la exactitud obtenida en las trampas relizadas con cable coaxial, en las que el condensador está formado por la separación entre vivo y malla. Incluso permite, dentro de los límites de frecuencia del transmisor, averiguar la frecuencia de autorresonancia de una bobina o un choque de radiofrecuencia. Cualquier bobina presenta cierta capacidad que está distribuida entre sus espiras, el valor total de esa capacidad y la inductancia de la bobina son la causa de que se produzca la resonancia a una reterminada frecuencia, sin necesidad de conectarle condensador externo alguno.

Con esto es facil trampear a diestro y siniestro, se abre un abanico de posibilidades a la experimentación: choques, filtros, antenas multibanda, colineales...todo es cuestión de ponerse.



AHORA DISFRUTO CONSTRUYENDO MIS
 PROPIAS TRAMPAS DE ONDA. ES MUY
 GRATIFICANTE Y ME APRENDIDO MUCHAS
 COSAS. PUEDO HACER ANTENAS Y
 FILTROS CON PRECISIÓN SUÍZA.
 ¡PERO SI ES TAN FACIL COMO LA
 TELEGRAFÍA...!

—(Figura 5)—