

Acopladores de Antena



Fernando Gómez, EA7KJE
(1-3-2020)

Existen muchos radioaficionados que acostumbran a asumir y difundir que los acopladores son elementos que están de más en nuestras estaciones de radio. No hay nada mejor que una antena ajustada y resonante a la frecuencia en que esta va a trabajar, y usar acoplador es de “bobos” porque nos hace perder nuestra potencia de emisión.

En este artículo vamos a demostrar todo lo contrario y la fundamental labor que ejercen en nuestra estación.

(Fernando Gómez – EA7KJE)

El sintonizador de antena, el adaptador de impedancia, la “caja de fósforos” (Matchbox), el Transmatch, la Unidad de Sintonización de Antena (ATU), el acoplador de antena y el acoplador de línea de alimentación son nombres equivalentes para un dispositivo conectado entre un transmisor de radio y su antena, para mejorar la transferencia de energía entre ellos al hacer coincidir la carga especificada impedancia de la radio a la impedancia de entrada combinada de la línea de alimentación y la antena.

Los sintonizadores de antena son particularmente importantes en el uso de transmisores. Los transmisores generalmente están diseñados para alimentar energía a una carga resistiva libre de reactancia de un valor específico, muy a menudo 50 ohmios.^[1] Sin embargo, la impedancia de la antena y la línea de alimentación puede variar según la frecuencia y otros factores. Si la impedancia vista por el transmisor se aparta de la carga de diseño, la potencia de salida del transmisor se puede reducir automáticamente para proteger el equipo de las consecuencias del desajuste de impedancia.

Además de reducir la potencia radiada por la antena, la falta de coincidencia puede distorsionar la señal, y en transmisores de alta potencia puede sobrecalentar el transmisor. Debido a esto, los ATU son una parte estándar de casi todos los sistemas de transmisión de radio. Pueden ser un circuito incorporado en el transmisor o un equipo separado conectado entre el transmisor y la antena. En los sistemas de transmisión con una antena separada del transmisor y conectada a él por una línea de transmisión (línea de alimentación), puede haber otra red coincidente (o ATU) donde la línea de alimentación se conecta a la antena, para que coincida con la impedancia de la línea de transmisión a la antena.

Los transmisores con antenas incorporadas que solo cubren una banda de frecuencia estrecha, como teléfonos celulares y walkie-talkies, tienen un circuito ATU ajustable para el usuario que no está configurado para funcionar con la antena instalada. En estaciones de comunicación multifrecuencia como estaciones de radioaficionados y transmisores de alta potencia como estaciones de radiodifusión, el ATU es ajustable para adaptarse a los cambios en el sistema de transmisión. Hacer coincidir el transmisor, la línea de alimentación, la antena o su entorno mediante el ajuste de la ATU es un procedimiento importante que se realiza después de cualquier cambio en el sistema, con un instrumento llamado medidor SWR que generalmente se usa para medir el grado de coincidencia o falta de coincidencia.

Visión general

Los sintonizadores de antena son particularmente importantes en el uso de transmisores. Los transmisores están diseñados para alimentar energía a una carga resistiva de un valor específico, muy a menudo 50 ohmios.^[1] Si la impedancia vista por el transmisor se aleja de este valor de diseño, debido a un ajuste incorrecto de la línea de alimentación y la antena combinadas, puede producirse sobrecalentamiento de la etapa final del transmisor, distorsión y pérdida de potencia de salida.

Uso en transmisores

Los sintonizadores de antena se usan casi universalmente con transmisores. Sin una ATU, además de reducir la potencia radiada por la antena, la corriente reflejada puede sobrecalentar los núcleos de los transformadores y causar distorsión de la señal. En los transmisores de alta potencia, puede sobrecalentar el transmisor o hacer que los circuitos de autoprotección en el transmisor reduzcan automáticamente la potencia a niveles seguros que reduzcan aún más la potencia de la señal que sale de la antena.

Debido a esto, las ATU son una parte estándar de casi todos los sistemas de transmisión de radio. Pueden ser un circuito incorporado en el transmisor o un equipo separado conectado entre el transmisor y la antena. En los sistemas de transmisión con una antena separada del transmisor y conectada a él por una línea de transmisión (línea de alimentación), puede haber otra red coincidente (o ATU) en la antena que coincida con la impedancia de la línea de transmisión a la antena. Los transmisores con antenas incorporadas que solo cubren una banda de frecuencia estrecha, como teléfonos celulares y walkie-talkies, tienen un circuito ATU en su interior permanentemente configurado para funcionar con la antena instalada.

Los transmisores de alta potencia, como las estaciones de radiodifusión, tienen una unidad correspondiente que es ajustable para adaptarse a los cambios en la frecuencia, el transmisor, la antena o el entorno de la antena. El ajuste de la ATU para que coincida con el transmisor con la antena es un procedimiento importante que se realiza después de realizar cualquier trabajo en el transmisor o la antena. El efecto de este ajuste generalmente se mide usando un instrumento llamado medidor SWR, que indica el grado de desajuste entre una impedancia de referencia (típicamente 50 + j 0 Ohmios) y la impedancia compleja en el punto de inserción del medidor SWR.

Lo que realmente sintoniza un "sintonizador de antena"

A pesar de su nombre, un "sintonizador" de antena en realidad no sintoniza la antena. Hace coincidir la impedancia compleja del transmisor con la del extremo de entrada de la línea de alimentación. La impedancia de entrada de la línea de transmisión será diferente de la impedancia característica de la línea de alimentación si la impedancia de la antena en el otro extremo de la línea no coincide con la impedancia característica de la línea. La consecuencia del desajuste es que la impedancia de la línea (relación voltaje/corriente y fase) oscilará a lo largo de la línea, o de manera equivalente, ondas estacionarias fuera de fase de voltaje y corriente a lo largo de la línea de alimentación.

Si tanto el sintonizador como la línea de alimentación no perdieran, la sintonización en el extremo del transmisor produciría una combinación perfecta en cada punto del sistema de antena de línea de alimentación del transmisor.^[2] Sin embargo, en los sistemas prácticos, las líneas de alimentación con pérdidas limitan la capacidad del sintonizador de antena para cambiar la frecuencia de resonancia de la antena. Si la pérdida de potencia es baja en la línea que lleva la señal del transmisor a la antena, un sintonizador en el extremo del transmisor, puede producir un grado valioso de coincidencia y sintonización para la antena y la red de línea de alimentación en su conjunto.^{[3][4]} Pero con líneas de alimentación con pérdida de baja impedancia como el cable coaxial de 50 ohmios de uso común, la transferencia de potencia máxima solo se produce si la coincidencia se realiza en la antena junto con un transmisor y línea de alimentación coincidentes, produciendo una conjunción en ambos extremos de la línea.

En cualquier caso, independientemente de su ubicación, un ATU no altera la ganancia, la eficiencia o la directividad de la antena, ni cambia la impedancia compleja interna de la antena.

Eficiencia y SWR

Si todavía hay una alta relación de onda estacionaria (SWR) en la línea de alimentación más allá del ATU, cualquier pérdida en esa parte de la línea de alimentación, generalmente aumenta por las ondas transmitidas que se reflejan hacia adelante y hacia atrás entre el sintonizador y la antena, causando pérdidas resistivas en la línea de alimentación, cables y posiblemente en el aislamiento de la línea de transmisión. Incluso con una unidad coincidente en ambos extremos de la línea de alimentación (el ATU cercano que hace coincidir el transmisor con la línea de alimentación y el ATU remoto que coincide con la línea de alimentación con la antena), las pérdidas en los circuitos de los dos ATU, reducirán ligeramente la potencia entregada a la antena.

Por lo tanto, operar una antena lejos de su frecuencia de diseño y compensar con un ATU entre el transmisor y la línea de alimentación, no es tan eficiente como usar una antena resonante con una línea de alimentación de impedancia coincidente, ni tan eficiente como una línea de alimentación coincidente desde el transmisor a un sintonizador de antena con control remoto conectado directamente a la antena.

Uso en receptores

Los ATU no se usan demasiado en receptores de onda corta, y casi nunca se usan en receptores de onda media o larga. Sin embargo, son necesarios para receptores que operan en HF alta, VHF y superiores.

En un receptor, si la impedancia compleja de la antena no coincide con la impedancia de entrada compleja en el extremo de la antena de la línea de transmisión, parte de la potencia de la señal entrante se reflejará en la antena y no alcanzará receptor. Sin embargo, esto solo es importante para frecuencias en y por encima de la banda media de HF. En receptores de radio que funcionan por debajo de 20 MHz, el ruido de radio atmosférico domina la relación señal/ruido (SNR) de la señal de radio entrante, y la potencia del ruido atmosférico que llega con la señal, es mucho mayor que el ruido de radio térmico inherente generado dentro del propio circuito del receptor. Por lo tanto, el receptor puede amplificar la señal débil para compensar cualquier ineficiencia causada por la falta de coincidencia de impedancia, sin aumentar perceptiblemente el ruido en la salida.

Sin embargo, a frecuencias más altas, los receptores encuentran muy poco ruido atmosférico, y el ruido agregado por el propio amplificador frontal del receptor domina la relación señal/ruido. A frecuencias superiores a 20 MHz, el ruido del circuito interno es el factor que limita la sensibilidad del receptor para señales débiles y, a medida que aumenta la frecuencia, se vuelve cada vez más importante que la impedancia compleja de la antena se corresponda con la impedancia de entrada en el extremo de la línea de transmisión, para transferir la potencia máxima disponible de una señal débil al primer amplificador, para proporcionar una señal más fuerte que su propio ruido generado internamente. Por lo tanto, se incorporan circuitos de adaptación de impedancia en algunos receptores para la banda de HF superior como la de banda CB, y para la mayoría de los receptores de VHF y de frecuencia más alta, como los receptores de transmisión de FM, y escáneres para aeronaves y radio de seguridad pública.

Métodos de coincidencia de banda ancha

Los transformadores, autotransformadores y BALUNS a veces se incorporan en el diseño de sintonizadores de antena de banda estrecha y conexiones de cableado de antena. Por lo general, tendrán poco efecto sobre la frecuencia de resonancia de la antena o de los circuitos transmisores de banda estrecha, pero pueden ampliar el rango de impedancias que el sintonizador de antena puede igualar y/o convertir entre cableado balanceado y no balanceado cuando sea necesario.

Transformadores de ferrita

Los amplificadores de potencia de estado sólido que funcionan entre 1 y 30 MHz, suelen utilizar uno o más transformadores de banda ancha enrollados en núcleos de ferrita. Los MOSFET y los transistores de unión bipolar que se usan típicamente en los amplificadores de radiofrecuencia modernos, están diseñados para operar a baja impedancia por lo que el primario del transformador generalmente tiene una sola vuelta, mientras que el secundario de 50 ohmios tendrá de 2 a 4 vueltas. Este diseño del sistema de línea de alimentación, tiene la ventaja de reducir la afinación requerida cuando se cambia la frecuencia de operación.

Un diseño similar puede hacer coincidir una antena con una línea de transmisión: por ejemplo, muchas antenas de TV tienen una impedancia de 300 ohmios, pero transmiten la señal al televisor a través de una línea coaxial de 75 ohmios. Un pequeño transformador de núcleo de ferrita hace la transformación de impedancia de banda ancha. Este transformador no necesita, ni es capaz de realizar ajuste. Para el uso de solo recepción en un televisor, la pequeña variación de SWR no suele ser un problema importante.

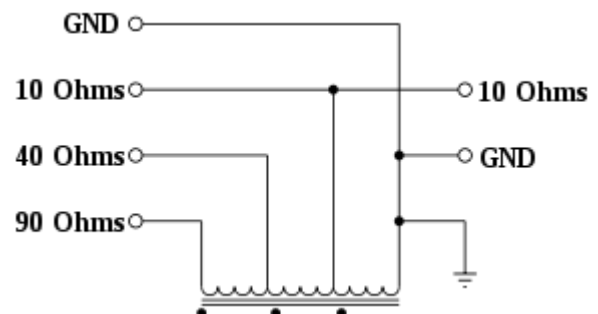
También tenga en cuenta que muchos transformadores de ferrita realizan una transformación balanceada a no balanceada además del cambio de impedancia. Cuando la función balanceada a no balanceada está presente, estos transformadores se denominan "BALUN" (y de lo contrario, "UNUN"). Los BALUNS más comunes tienen una transformación de impedancia 1:1 o 1:4.

Autotransformadores

Existen varios diseños para la adaptación de impedancias utilizando un autotransformador, que es un transformador simple de un solo cable, con diferentes puntos de conexión o tomas espaciadas a lo largo de los devanados de la bobina. Se distinguen principalmente por su relación de transformación de impedancia (1:1, 1:4, 1:9, etc. El cuadrado de la relación de devanado), y si los lados de entrada y salida comparten una tierra común, o si coinciden con un cable que está conectado a tierra en un lado (no balanceado) a un cable no conectado a tierra (generalmente balanceado). Cuando los autotransformadores conectan líneas balanceadas y no balanceadas se les llama "BALUN", al igual que los transformadores de dos devanados.

Cuando se deben conectar dos cables o circuitos con conexión a tierra diferente pero las tierras deben mantenerse independientes, se utiliza un transformador completo de dos devanados con la relación deseada.

El circuito que se muestra a la derecha tiene tres devanados idénticos envueltos en la misma dirección alrededor de un núcleo de "aire" (para frecuencias muy altas) o un núcleo de ferrita (para frecuencias medias) o un núcleo de hierro en polvo (para frecuencias muy bajas). Los tres devanados iguales que se muestran están cableados para un terreno común compartido por dos líneas desequilibradas (por lo que este diseño es UNUN), y se pueden usar como una coincidencia de impedancia 1: 1, 1:4 o 1:9, dependiendo del toque elegido.^[un]



Transformador automático 1:1, 1:4 y 1:9

Por ejemplo, si el lado derecho está conectado a una carga resistiva de 10 ohmios, el usuario puede conectar una fuente en cualquiera de los tres terminales sin conexión a tierra en el lado izquierdo del autotransformador para obtener una impedancia diferente. Observe que, en el lado izquierdo, la línea con más devanados entre el punto de toma de la línea y el toma de tierra mide una mayor impedancia para la misma carga de 10 ohmios a la derecha.

Diseño de banda estrecha

Los métodos de "banda estrecha" descritos a continuación cubren un intervalo de frecuencias mucho más pequeño, en comparación con los métodos de banda ancha descritos anteriormente.

Los métodos de adaptación de antenas que usan transformadores tienden a cubrir una amplia gama de frecuencias. Un BALUN único, típico y comercialmente disponible puede cubrir frecuencias de 3.5 a 30.0 MHz, o casi toda la banda de onda corta. Hacer coincidir una antena con un segmento cortado de la línea de transmisión (descrito a continuación) es quizás el más eficiente de todos los esquemas de coincidencia en términos de energía eléctrica, pero generalmente solo puede cubrir un rango de aproximadamente 3.5-3.7 MHz de ancho en la banda de HF, un muy de hecho, pequeño rango, en comparación con el ancho de banda de 27 MHz de un BALUN de banda ancha bien construido.

Los circuitos de acoplamiento de antena o de línea de alimentación también son de banda estrecha para cualquier configuración individual, pero pueden reajustarse más convenientemente. Sin embargo, son quizás los menos eficientes en términos de pérdida de potencia (¡aparte de no tener ninguna coincidencia de impedancia en absoluto!).

Métodos de sintonización de antena de línea de transmisión

Hay dos técnicas diferentes de coincidencia de impedancia que utilizan secciones de la línea de alimentación: o la línea de alimentación original puede tener una sección de línea deliberadamente incompatible unida en ella (llamada coincidencia de sección), o un corto trozo de línea puede ramificarse desde la línea original, con el trozo final ya sea en corto o no conectado (llamado coincidencia de código auxiliar). En ambos casos, la longitud de la sección de línea adicional y su ubicación en la línea de alimentación original requieren un ajuste cuidadoso.

Sección coincidente

Se puede usar una sección especial de línea de transmisión para hacer coincidir la línea principal con la antena, si la impedancia característica de esa sección de línea es diferente de la de la línea principal. La técnica consiste esencialmente en corregir un desajuste creando un desajuste opuesto: un segmento de línea con la impedancia y la longitud adecuadas insertado a la distancia adecuada de la antena, puede realizar efectos de coincidencia complicados con una eficiencia muy alta. El inconveniente es que la coincidencia con segmentos de línea solo funciona para un rango de frecuencia muy limitado para el cual la longitud y la posición del segmento son apropiadas.^[5]

El ejemplo más simple de este método es el transformador de impedancia de cuarto de onda formado por una sección de línea de transmisión no coincidente. Si un cable coaxial de un cuarto de longitud de onda de 75 ohmios (75Ω) está conectado a una carga de 50Ω , la SWR en la longitud de onda de 75Ω cuarto de línea puede calcularse como $75/50 \Omega = 1.5$; el cuarto de longitud de onda de la línea transforma la impedancia no coincidente en 112.5Ω ($75 \Omega \times 1.5 = 112.5 \Omega$). Por lo tanto, esta sección insertada hace coincidir una antena de 112Ω con una línea principal de 50Ω .

El transformador coaxial de $1/6$ longitudes de onda es una forma útil de combinar 50 a 75Ω utilizando el mismo método general.^{[6] [7]}

Coincidencia de trozos

Un segundo método común es el uso de un trozo: una sección de línea abierta o en corto está conectada en paralelo con la línea de alimentación principal, formando una rama sin salida de la línea principal. Con coaxial esto se hace usando un conector "T". Un trozo de menos de un cuarto de onda cuyo extremo está en cortocircuito actúa como inductor; si su extremo se deja sin conectar (abierto), el trozo actúa como un condensador; para longitudes entre un cuarto y media onda, el comportamiento reactivo es opuesto.^{[8] [b] [c]}

Se elige la longitud del trozo y su ubicación para que su reactancia sea igual y opuesta a la reactancia en ese punto de la línea, y la impedancia no reactiva restante coincidirá con la línea debajo del trozo, eliminando los efectos de la impedancia compleja o SWR de la antena.^[8]

La antena J-Pole y la antena Zepp relacionada, son ejemplos de una antena con una coincidencia de trozos incorporada.

Combinación básica de circuitos agrupados utilizando la red L

Una "L-Network" es el circuito más simple que logrará la transformación deseada; para cualquier antena y frecuencia una vez que se selecciona un circuito de las ocho configuraciones posibles (de las cuales seis se muestran en el diagrama a continuación), solo un conjunto de valores de componentes coincidirá con la impedancia de entrada con la impedancia de salida. Los sintonizadores de antena automáticos disponibles en el mercado con mayor frecuencia son "L-Networks", ya que involucran el menor número de partes y tienen una configuración única para la búsqueda de los circuitos de ajuste.

El circuito básico requerido cuando se utilizan capacitancias agrupadas e inductores se muestra en el siguiente esquema. Este circuito es importante porque muchos sintonizadores de antena automáticos lo usan, y también porque los circuitos más complicados pueden analizarse como grupos de redes L.

Este circuito se denomina red "L" no porque contenga un inductor (de hecho, algunas redes L consisten en dos condensadores), sino porque en el esquema los dos componentes están en ángulo recto entre sí, tienen la forma de una rotación. y a veces invierte la letra romana 'L'. La red 'T' ("Te") y la red "Л" ("Pi") también tienen sus partes dispuestas en una forma similar a las letras romanas y griegas que llevan su nombre.

Esta red básica puede actuar como un transformador de impedancia. Si la salida tiene una impedancia que consiste en la parte resistiva R_{carga} y la parte reactiva $j X_{carga}$, que se suman para formar un único número complejo ($j^2 = -1$). La entrada se debe conectar a una fuente que tenga una impedancia de resistencia de R_{fuente} y reactancia de $j X_{fuente}$, luego

$$X_L = \sqrt{\frac{(R_{source} + jX_{source}) \left((R_{source} + jX_{source}) - (R_{load} + jX_{load}) \right)}{y}}$$

$$X_C = (R_{load} + jX_{load}) \sqrt{\frac{(R_{source} + jX_{source})}{(R_{load} + jX_{load}) - (R_{source} + jX_{source})}}$$

En este circuito de ejemplo, X_L y X_C pueden intercambiarse. Todos los circuitos ATU a continuación crean esta red, que existe entre sistemas con diferentes impedancias.

Por ejemplo, si la fuente tiene una impedancia resistiva de 50Ω y la carga tiene una impedancia resistiva de 1000Ω :

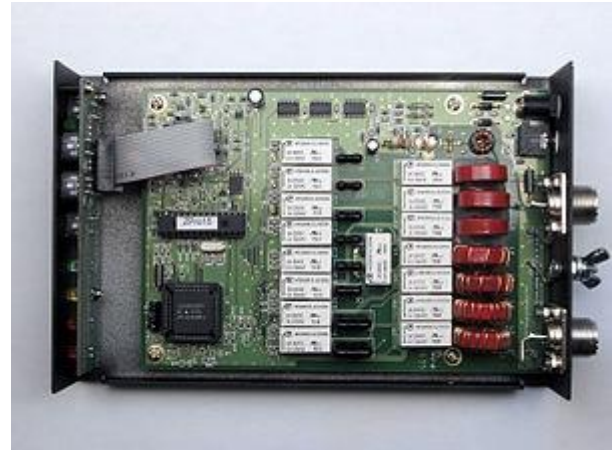
$$X_L = \sqrt{(50)(50 - 1000)} = \sqrt{(-47500)} = j 217.94 \text{ Ohms}$$

$$X_C = 1000 \sqrt{\frac{50}{(1000 - 50)}} = 1000 \times 0.2294 \text{ Ohms} = 229.4 \text{ Ohms}$$

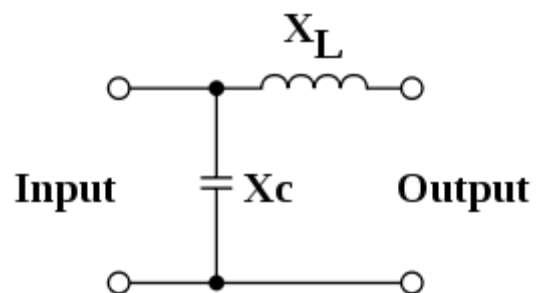
Si la frecuencia es de 28 MHz, como $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$ luego, $\frac{1}{2\pi f X_C} = C = 24.78 \text{ pF}$

Entonces, $2\pi f X_C = \frac{1}{C}$ mientras que, $X_L = 2\pi f L$

luego, $L = \frac{X_L}{2\pi f} = 1.239 \mu\text{H}$



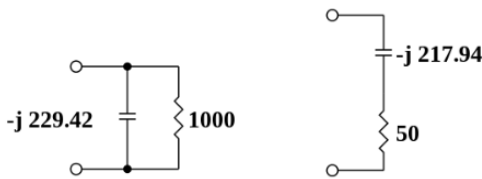
ATU automático para transceptor de radioaficionado



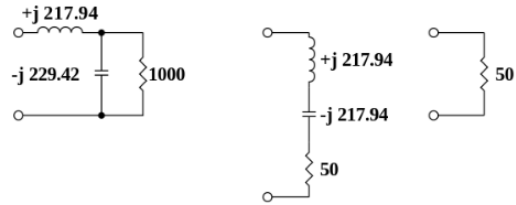
Red básica

Teoría y práctica

Una red paralela que consta de un elemento resistivo (1000Ω) y un elemento reactivo ($-j 229.415 \Omega$), tendrá la misma impedancia y factor de potencia que una red serie que consista en elementos resistivos (50Ω) y reactivos ($-j 217.94 \Omega$).



Dos redes en un circuito.
Ambas tienen la misma impedancia.



Tres redes en un circuito.
Todas con la misma impedancia.

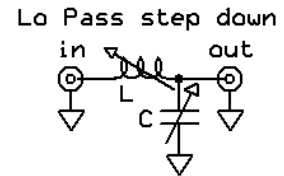
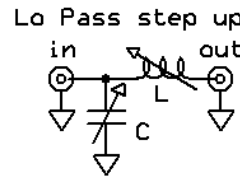
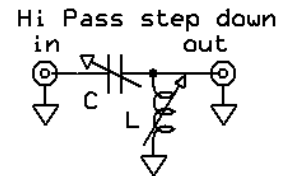
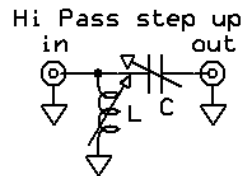
Al agregar otro elemento en serie (que tiene una impedancia reactiva de $+j 217.94 \Omega$), la impedancia es de 50Ω (resistiva).

Tipos de redes L y sus usos

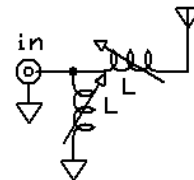
La red L puede tener ocho configuraciones diferentes, seis de las cuales se muestran en los diagramas de la derecha. Las dos configuraciones omitidas son las mismas que en la fila inferior, pero con el elemento paralelo (cables verticales) en el lado derecho del elemento en serie (cables horizontales), en lugar de en el izquierdo, como se muestra.

En la discusión de los diagramas que siguen, el conector de entrada proviene del transmisor o "fuente" a la izquierda. El conector de salida va a la antena o "carga" a la derecha. La regla general (con algunas excepciones, descritas a continuación) es que el elemento horizontal de una red L va en serie con el lado que tiene la impedancia resistiva más baja.^[9]

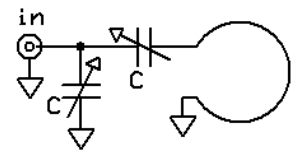
Entonces, por ejemplo, los tres circuitos en la columna izquierda y los dos en la fila inferior tienen el elemento en serie (horizontal) en el lado externo, generalmente se usan para **subir** de una entrada de baja impedancia (transmisor) a una de alta impedancia salida (antena), similar al ejemplo analizado en la sección anterior. Los dos circuitos superiores en la columna derecha, con el elemento en serie (horizontal) en el lado interno, son generalmente útiles para **bajar** de una entrada más alta a una impedancia de salida más baja.



Low R, high C



Low R, high L



La regla general solo se aplica a cargas que son principalmente resistivas, con muy poca reactancia. En los casos en que la carga es altamente reactiva, como una antena alimentada con una señal cuya frecuencia está lejos de cualquier resonancia, puede ser necesaria la configuración opuesta. Si está lejos de la resonancia, los dos circuitos inferiores **descendentes** (de entrada, alta a baja) se utilizarían para conectarse para un paso ascendente (entrada baja a salida alta, que es principalmente reactancia).^[10]

Las versiones de paso bajo y alto de los cuatro circuitos que se muestran en las dos filas superiores, usan solo un inductor y un condensador. Normalmente, se preferiría el paso bajo con un transmisor, para atenuar los armónicos, pero la configuración de paso alto se puede elegir si los componentes se obtienen más convenientemente, o si la radio ya contiene un filtro interno de paso bajo, o si es deseable la atenuación de las bajas frecuencias, por ejemplo, cuando una estación de AM local que transmite en una frecuencia media puede estar sobrecargando un receptor de alta frecuencia.

En la fila inferior, el circuito **Low R, High C** se muestra alimentando una antena vertical corta, como sería el caso de una antena móvil compacta o de otro modo en frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia natural más baja de una antena. Aquí la capacidad inherente de una antena de cable corta y aleatoria, es tan alta que la red L se realiza mejor con dos inductores, en lugar de agravar el problema mediante el uso de un condensador.

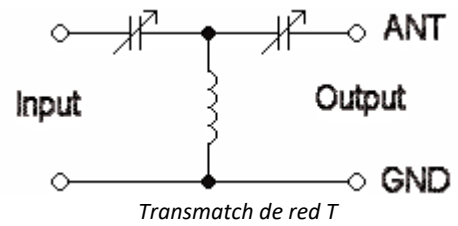
El circuito **Low R, High L** se muestra alimentando una antena de circuito pequeño. Por debajo de la resonancia, este tipo de antena tiene tanta inductancia que una mayor inductancia al agregar una bobina empeoraría la reactivancia. Por lo tanto, la red L está compuesta por dos condensadores.

Sintonizadores de línea no balanceados

A diferencia de las redes L de dos elementos, los circuitos descritos a continuación tienen tres o más componentes y, por lo tanto, tienen muchas más opciones de inductancia y capacitancia que producirán una coincidencia de impedancia. El operador de radio debe experimentar, probar y usar el juicio para elegir entre los muchos ajustes que coinciden con las mismas impedancias. Esta sección discute los diseños de circuitos para líneas no balanceadas, que a continuación es seguido por una sección que discute sintonizadores para líneas balanceadas.

Red T de paso alto

Esta configuración es popular actualmente porque es capaz de hacer coincidir un gran rango de impedancia con condensadores en tamaños comúnmente disponibles. Sin embargo, es un filtro de paso alto y no atenuará la radiación espuria por encima de la frecuencia de corte casi tan bien como otros diseños (vea la sección de red π , más abajo). Debido a sus bajas pérdidas y simplicidad, muchas ATU caseras y comerciales sintonizadas manualmente utilizan este circuito. La bobina de sintonización normalmente también es ajustable (no se muestra).



Teoría y práctica

Si una impedancia de fuente de 200Ω y una carga resistiva de 1000Ω están conectadas (a través de un condensador con una impedancia de $-j 200 \Omega$) al inductor de la coincidencia, las matemáticas vectoriales pueden transformar esto en una red paralela que consiste en una resistencia de 1040Ω y un condensador con una admitancia de 1.9231×10^{-4} Siemens ($X_C = 5200 \Omega$).

Una carga resistiva (R_L) de 1000Ω está en serie con $X_C - j 200 \Omega$. $Z = \sqrt{R_L^2 + X_C^2} = 1020 \Omega$

El ángulo de fase es $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X_C}{R_L} \right) = 11.31^\circ$ $Y = 1/Z = 9.8058 \times 10^{-4} S$

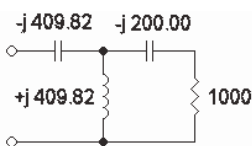
Para convertir a una red paralela

$$X'_C = \frac{1}{Y \sin \theta}$$

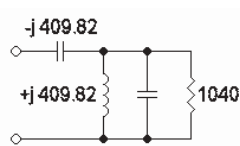
$$R'_L = \frac{1}{Y \cos \theta} = 1040 \Omega$$

Si se ignora el componente reactivo, se necesita una transformación de 1040Ω a 200Ω (de acuerdo con las ecuaciones anteriores, un inductor de $+j 507.32 \Omega$). Si se tiene en cuenta el efecto del condensador (de la red paralela), se necesita un inductor de $+j 462.23 \Omega$. El sistema se puede transformar matemáticamente en una red en serie de 199.9Ω resistiva y $+j 409.82 \Omega$ reactiva.

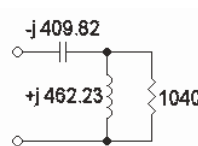
Se necesita un condensador ($-j 409.82$) para completar la red. Los pasos se muestran aquí. Pase el cursor sobre cada circuito para ver subtítulos.



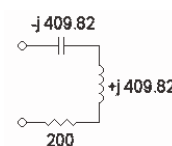
Circuito visto por el usuario.
Impedancia de piezas mostrada en el diagrama.



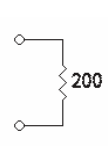
Después de la transformación (la impedancia de la parte no etiquetada es $-j 5200 \Omega$)



Después de dos transformaciones.



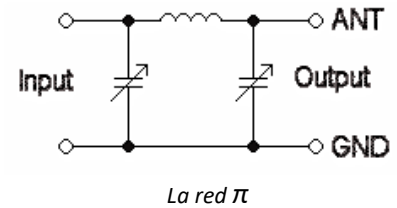
Después de tres transformaciones.



Después de cuatro transformaciones.

Red π de paso bajo

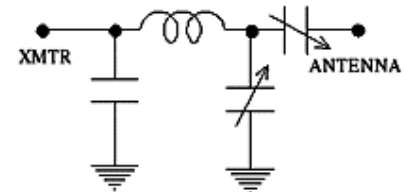
También se puede usar una red π (Pi). Este ATU tiene muy buena atenuación de armónicos y se incorporó a la etapa de salida de los transmisores 'vintage' basados en tubos y muchos amplificadores de RF modernos basados en tubos. Sin embargo, el circuito π estándar no es popular para los sintonizadores de antena multibanda independientes, ya que los condensadores variables son inconvenientemente grandes para las bandas inferiores de aficionados.



La red π

La red π modificada de Drake

Una versión modificada de la red π es más práctica, ya que utiliza un condensador de entrada fijo, que puede ser de varios miles de picofaradios, lo que permite que los dos condensadores variables sean más pequeños. Un interruptor de banda selecciona el capacitor de entrada y el inductor.^[11]

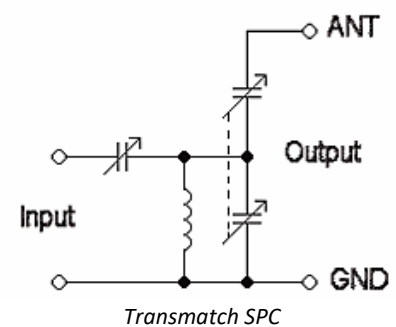


Circuito de red π modificado utilizado en sintonizadores Drake.

Este circuito se usó en sintonizadores que cubren 1.8 - 30 MHz fabricados por RL Drake Company.

Sintonizador SPC

El **condensador paralelo de serie** o el sintonizador **SPC** utiliza un circuito de paso de banda que puede servir tanto como acoplador de antena como preselector. La siguiente es una descripción simplificada del circuito SPC.^[d] En el diagrama, el capacitor superior de la derecha coincide con la impedancia de la antena, y el capacitor único de la izquierda coincide con la impedancia del transmisor. La bobina y el condensador inferior derecho forman un circuito de tanque que drena a señales de tierra desafinadas. La bobina generalmente también es ajustable (no se muestra), con el fin de ampliar o estrechar el paso de banda y para garantizar que los condensadores de la derecha agrupados puedan coincidir con la antena y sintonizar la frecuencia de funcionamiento del transceptor sin comprometer uno o el otro.^[12]

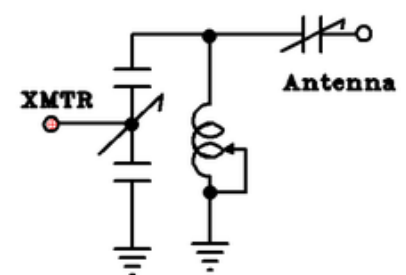


Transmatch SPC

Transmatch definitivo

Originalmente, el "Ultimate Transmatch" se promocionó como una forma de hacer que los componentes sean más manejables en las frecuencias más bajas de interés y también para obtener cierta atenuación armónica. En la ilustración a la derecha se muestra una versión de la red "Ultimate Transmatch" de McCoy.^[13]

Ahora se considera obsoleto, pero los objetivos de diseño se lograron mejor utilizando partes idénticas por la red de condensadores en serie (SPC), que se muestra arriba que fue diseñada después de que el nombre Ultimate ya se hubiera utilizado.^[12]



Sintonizadores de línea balanceados

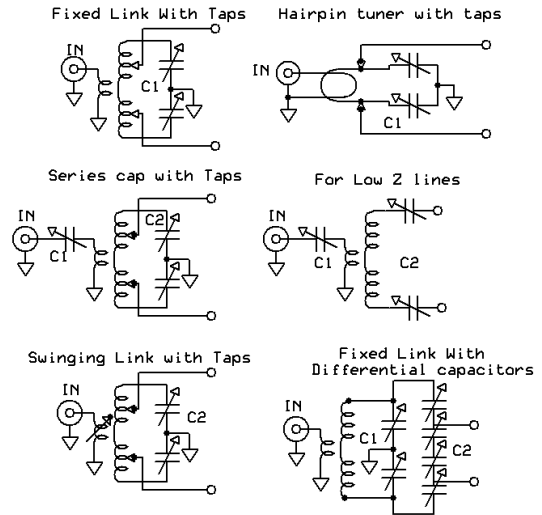
Las líneas de transmisión balanceadas (línea abierta) requieren un sintonizador que tenga dos terminales de salida "calientes", en lugar de un terminal "caliente" y tierra ("frío"). Dado que todos los transmisores modernos tienen una salida desequilibrada (coaxial), casi siempre de 50 Ω , el sistema más eficiente tiene el sintonizador que proporciona una transformación de BALUN (equilibrado a desequilibrado), así como una coincidencia de impedancia. El sintonizador generalmente incluye una bobina, y la bobina puede aceptar o producir entradas o salidas balanceadas o no balanceadas dependiendo de dónde se coloquen los puntos de derivación en la bobina.

Conexiones a tierra opcionales y obligatorias

Los siguientes tipos de circuitos balanceados ilustrados en el diagrama a continuación, se han utilizado para sintonizadores. Todos los circuitos muestran una conexión a tierra (un triángulo apuntando hacia abajo) en el lado de la antena (lado derecho). La antena de tierra a la derecha es opcional; si se usa, efectivamente fuerza un voltaje balanceado contra tierra en los dos terminales de salida.^[e] El triángulo de la izquierda representa una conexión a tierra obligatoria y está conectado a la línea de señal conectada al transmisor.^{[f] [g]}

Enlace fijo con "taps" (tomas)

El **enlace fijo con "taps"** (arriba a la izquierda en el diagrama) es el circuito más básico. El factor será casi constante y se establece por el número de vueltas relativas en el enlace de entrada. La coincidencia se encuentra ajustando el condensador y seleccionando las tomas (taps) en la bobina principal, lo que se puede hacer con un conmutador que accede a varias tomas, o moviendo físicamente los clips de una vuelta a otra. Si las vueltas en la bobina principal se cambian para moverse a una frecuencia más alta o más baja, las vueltas del enlace también deberían cambiar.



Sintonizador de horquilla

El **sintonizador de horquilla** (arriba a la derecha) tiene el mismo circuito, pero utiliza un inductor de "horquilla" (una línea de transmisión con derivación, cortocircuito en el extremo más alejado).^[14] Mover las tomas a lo largo de la horquilla permite el ajuste continuo de la transformación de impedancia, lo cual es difícil con una bobina solenoide. Es útil para longitudes de onda muy cortas de aproximadamente 10 metros a 70 cm (frecuencias de aproximadamente 30 MHz a 430 MHz) donde el inductor solenoide tendría muy pocas vueltas para permitir un ajuste fino. Estos sintonizadores suelen funcionar en un rango de frecuencia de 2:1 como máximo.

Condensadores en serie con "taps"

La ilustración muestra dos versiones de esencialmente el mismo circuito: **capacitores en serie con tomas** y una configuración alternativa **para líneas de baja Z**. El circuito en serie con derivaciones (centro izquierda) añade un condensador en serie al lado de entrada del enlace fijo con derivaciones. El condensador de entrada permite un ajuste fino con menos toques en la bobina principal. Una conexión alternativa (centro derecha) para el circuito de derivaciones en serie es útil solo para bajas impedancias, pero evita las derivaciones (**para líneas de baja Z** en la ilustración).

Enlace oscilante con "taps"

Enlace oscilante con grifos (abajo a la izquierda). Un enlace oscilante insertado en el enlace fijo con tomas también permite un ajuste fino con menos toques de bobina. El enlace oscilante es una forma de transformador variable, que mueve la bobina de entrada dentro y fuera del espacio entre vueltas en la bobina principal para cambiar su inductancia mutua. La inductancia variable hace que estos sintonizadores sean más flexibles que el circuito básico, pero a un costo complejo.

Enlace fijo con condensadores diferenciales

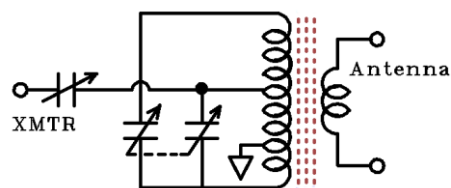
El circuito con condensadores diferenciales (abajo a la derecha), fue el diseño utilizado para los sintonizadores **Johnson Matchbox (JMB)**. Las cuatro secciones de condensadores de salida (C2) son un condensador de doble diferencial: los ejes de las cuatro secciones están conectados mecánicamente y sus placas se alinean de modo que a medida que las secciones de condensador superior e inferior aumentan de valor, las dos secciones intermedias disminuyen de valor, y viceversa. Esto proporciona un cambio suave de carga que es eléctricamente equivalente a las tomas móviles en la bobina principal. Johnson Matchbox utilizó un interruptor de banda para cambiar las vueltas en el inductor principal para cada una de las cinco bandas de frecuencia disponibles para los radioaficionados en la década de 1950. Más tarde, diseños similares también han cambiado las tomas en el inductor de enlace (entrada).

El diseño de JMB ha sido criticado, ya que los dos condensadores de sección media en C2 no son estrictamente necesarios para obtener una coincidencia. Sin embargo, las secciones intermedias limitan convenientemente la perturbación del ajuste para C1 causada por cambios en C2.

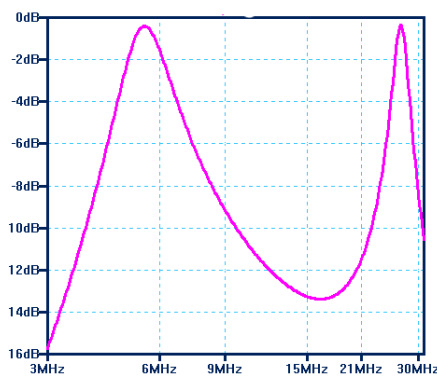
Z-Match

El Z-Match es un ATU ampliamente utilizado para radioaficionados de baja potencia que se usa comúnmente como sintonizador desequilibrado y equilibrado.^{[15][16]} La combinación Z tiene tres condensadores de sintonización, dos de los cuales están unidos con conexiones separadas a la bobina del transformador primario, produciendo dos frecuencias resonantes distintas que le permiten cubrir un amplio rango de frecuencias sin cambiar el inductor. Debido a que usa un transformador en el lado de salida, puede usarse con líneas de transmisión balanceadas o no balanceadas, sin ninguna modificación en el circuito del sintonizador. Todos los condensadores deben estar aislados de tierra.

El diseño Z-Match está limitado en su potencia de salida por el núcleo utilizado para el transformador de salida. Un núcleo de hierro en polvo o ferrita de aproximadamente 1.6 pulgadas de diámetro debe manejar 100 vatios. Un sintonizador construido para uso de baja potencia ("QRP" - típicamente 5 vatios o menos) puede usar un núcleo más pequeño.



Esquema del sintonizador de antena Z-Match



Respuesta del sintonizador Z-Match

Versiones balanceadas de circuitos de sintonizador no balanceados

Todos los circuitos de sintonizador no balanceados descritos en la sección principal anterior, se pueden convertir a un circuito balanceado equivalente, de la siguiente manera:

1. En los dibujos esquemáticos estándar que tienen la conexión a tierra como una línea a lo largo de la parte inferior, uno simplemente dibuja una copia invertida del mismo circuito, debajo del original, con su línea de tierra a lo largo de la parte superior y con los componentes en la misma orientación de izquierda a derecha.
2. En el segundo paso, ambas líneas de tierra se borran y las conexiones a tierra descendentes del circuito original se conectan a sus correspondientes conexiones a tierra ascendentes en el nuevo circuito invertido.
3. Los componentes así unidos se reemplazan con su equivalente combinado, u opcionalmente pueden tener su unión conectada a una tierra de RF.^[e] Cuando los componentes emparejados permanecen, se "agrupan" mecánicamente, de modo que un ajuste hace el mismo cambio en ambos.
4. En el paso final, la alimentación desequilibrada del transmisor se acopla al circuito hermanado a través de un BALUN. Las líneas de salida duplicadas sirven como las dos alimentaciones "calientes" a la antena balanceada.

Los sintonizadores "inherentemente balanceados" disponibles comercialmente, se fabrican como versiones balanceadas de circuitos L, T y π . Su inconveniente es que los componentes utilizados para la línea superior y la línea inferior deben combinarse y acoplarse cuidadosamente, de modo que su ajuste provoque un cambio de sintonización idéntico en ambos lados "calientes" del circuito. Por lo tanto, la mayoría de los sintonizadores "inherentemente equilibrados" son más del doble de caros que los sintonizadores desequilibrados.

Sintonizador desequilibrado y un BALUN

Otro enfoque para alimentar líneas balanceadas, es usar un sintonizador no balanceado con un BALUN en el lado de entrada (transmisor) o de salida (antena) del sintonizador. La mayoría de las veces usa el popular **circuito T de paso alto** descrito anteriormente, con un BALUN de corriente 1:1 en el lado de entrada del sintonizador no balanceado o un BALUN (típicamente 4:1) en el lado de salida. Se puede administrar, pero hacerlo de manera eficiente y segura no es fácil.

BALUN entre la antena y el ATU

Cualquier BALUN colocado en el lado de salida (antena) de un sintonizador debe construirse para resistir tensiones de alto voltaje y corriente, debido a la amplia gama de impedancias que debe manejar.^[17]

Para una amplia gama de frecuencias e impedancias, puede que no sea posible construir un BALUN robusto que sea adecuadamente eficiente. Para un rango estrecho de frecuencias, el uso de líneas de transmisión o secciones para transformaciones de impedancia (descritas anteriormente) puede ser más factible y ciertamente más eficiente.

BALUN entre el transmisor y el ATU

Las demandas impuestas al BALUN son más modestas si el este se coloca en el extremo de entrada del sintonizador, entre el sintonizador y el transmisor. Colocado en ese extremo, siempre funciona con una impedancia constante de 50Ω desde el transmisor en un lado, y tiene la red correspondiente para protegerlo de oscilaciones salvajes en la impedancia de la línea de alimentación en el otro lado. Todo para el bien. Desafortunadamente, hacer que la entrada del transmisor sea equilibrada crea problemas que deben remediarse.

Si un sintonizador desequilibrado se alimenta con una línea balanceada desde un BALUN en lugar de hacerlo directamente desde el transmisor, entonces su conexión de antena normal, el cable central de su cable coaxial de salida, proporciona la señal como siempre a un lado de la antena. Sin embargo, el lado de tierra de esa misma conexión de salida ahora debe alimentar una corriente igual y opuesta al otro lado de la antena.

El voltaje de tierra "verdadero" en la antena y el transmisor debe estar a medio camino entre las dos alimentaciones "calientes", una de las cuales es la tierra interna: dentro del ATU, el nivel de tierra "falso" del circuito correspondiente es igualmente diferente del "verdadero" a nivel del suelo, ya sea en la antena o en el transmisor, como lo está el cable "caliente" original (pero con polaridad opuesta). El cable de salida "caliente" o la "tierra" del circuito correspondiente le darán exactamente la misma descarga si lo toca.

El circuito del sintonizador debe "flotar" por encima o por debajo del nivel de tierra exterior para que la tierra del circuito del ATU (o el lado común) alimente el segundo cable caliente que anteriormente estaba conectado al cable de tierra del cable de salida: la tierra flotante del circuito debe proporcionar una diferencia de voltaje adecuada para conducir la corriente a través de un terminal de salida para hacer que la segunda salida esté "caliente".^[18]

Los altos voltajes son normales en cualquier circuito eficiente de adaptación de impedancia que puentee una gran falta de coincidencia. A menos que las tierras incompatibles se mantengan cuidadosamente separadas, los altos voltajes presentes entre esta tierra flotante interior y las tierras exteriores del transmisor y la antena pueden provocar arcos eléctricos, descarga de corona, corrientes de tierra acopladas capacitivamente y descargas eléctricas.

Mantener las instalaciones no coincidentes aparte

Para reducir la pérdida de energía y proteger al operador y al equipo, el chasis del sintonizador debe ser de doble capa: un chasis externo y un chasis interno. El chasis externo debe encerrar y aislar el circuito de sintonización y su tierra flotante desde el exterior, mientras que debe permanecer al nivel de la tierra o las tierras exteriores. Con el chasis externo protector, el chasis interno puede mantener su propio nivel incompatible de "tierra flotante", aislado de forma segura.

El chasis interno se puede reducir a nada más que una plataforma de montaje dentro del chasis externo, elevado sobre aisladores para mantener la distancia entre la "tierra flotante" y la (s) línea (s) de tierra eléctrica "verdadera" cableadas al chasis externo. El chasis de montaje metálico del circuito de sintonización interno, y en particular las varillas metálicas conectadas a las perillas de ajuste en el chasis externo, deben mantenerse separadas de la superficie tocada por el operador y del contacto eléctrico directo con la tierra del transmisor en su cable de conexión (tierra "verdadera").

El aislamiento de los controles generalmente se realiza reemplazando al menos parte de las bielas de metal entre las perillas en la superficie exterior y las partes ajustables en la plataforma interior con una varilla aislada, ya sea de cerámica resistente o de plástico que tolere altas temperaturas. Además, las partes metálicas interior y exterior deben estar suficientemente distantes para evitar fugas de corriente a través del acoplamiento capacitivo cuando los voltajes interiores son altos. Finalmente, todos estos arreglos se deben asegurar con un cuidado mayor que el habitual, para asegurar que el empuje, la presión o la expansión de calor no puedan crear un contacto entre los terrenos interior y exterior.

Sumario

El uso de un circuito inherentemente desequilibrado para un sintonizador equilibrado, impone restricciones difíciles en la construcción del sintonizador y altas demandas en la artesanía del constructor. La ventaja de tal diseño es que su circuito de coincidencia interno, inherentemente desequilibrado, siempre requiere solo un componente en el que una versión balanceada del mismo circuito a menudo requiere dos. Por lo tanto, no requiere pares idénticos de componentes para los dos extremos "calientes" de los circuitos a fin de garantizar el equilibrio a tierra dentro del ATU, y su salida está inherentemente equilibrada con respecto a la tierra "verdadera" exterior, incluso aunque el circuito interior está desequilibrado con respecto a la tierra interior "falsa".

Pérdidas del sistema de antena

Ubicación del ATU

Se puede insertar un ATU en cualquier lugar a lo largo de la línea que conecta el transmisor o receptor de radio a la antena.^[19] El punto de alimentación de la antena suele estar alto en el aire (por ejemplo, una antena dipolo) o muy lejos (por ejemplo, una antena monopolo para recibir y transmitir montada en el suelo). Una línea de transmisión, o línea de alimentación, debe transportar la señal entre el transmisor y la antena. El ATU se puede colocar en cualquier lugar a lo largo de la línea de alimentación, en la salida del transmisor, en la entrada de la antena o en cualquier punto intermedio y si se desea, se pueden colocar dos o más ATU en diferentes lugares entre la antena y el transmisor (generalmente en los dos extremos de la línea de alimentación) y sintonizados para que creen una coincidencia de impedancia en todo el sistema de antena.

La sintonización de la antena se realiza lo más cerca posible de la misma para minimizar las pérdidas, aumentar el ancho de banda y reducir el voltaje y la corriente en la línea de transmisión. Además, cuando la información que se transmite tiene componentes de frecuencia cuya longitud de onda es una fracción significativa de la longitud eléctrica de la línea de alimentación, se producirá una distorsión de la información transmitida si hay ondas estacionarias en la línea. Las transmisiones de TV analógica y estéreo FM se ven afectadas de esta manera; para esos modos, se requiere coincidencia en la antena.

Cuando sea posible, un sintonizador automático, o controlado de forma remota en una caja resistente a la intemperie en o cerca de la antena es conveniente y lo convierte en un sistema eficiente. Con un sintonizador de este tipo, es posible hacer coincidir una amplia variedad de antenas en una amplia gama de frecuencias^[20] (incluidas antenas ocultas).^[21] ^[22]

Cuando el ATU debe ubicarse cerca de la radio para un ajuste conveniente, cualquier ROE significativa aumentará la pérdida en la línea de alimentación. Por esa razón, cuando se usa un ATU en el transmisor, la línea de alimentación de baja impedancia y alta impedancia es una gran ventaja (línea de cable abierto, por ejemplo). Es aceptable un tramo corto de línea coaxial con baja pérdida, pero con líneas coaxiales más largas, las pérdidas mayores, agravadas por las SWR, se vuelven muy altas.^[23]

Es importante recordar que cuando se coloca un ATU cerca del transmisor y lejos de la antena, aunque el ATU hace coincidir el transmisor con la línea, no hay cambio en la línea más allá del ATU. Las corrientes de reacción reflejadas desde la antena son reflejadas por el ATU y, por lo tanto, son invisibles en el lado del transmisor del ATU. Las ondas individuales generalmente se reflejan entre la antena y el ATU varias veces. El resultado de las reflexiones múltiples es una pérdida compuesta, un voltaje más alto y/o corrientes más altas en la línea y en el ATU, y un ancho de banda reducido. Ninguno de estos puede ser corregido por un ATU instalado al lado del transmisor.

Las pérdidas en los sintonizadores de antena

Todos los medios de coincidencia de impedancia introducirán alguna pérdida de potencia. Esto variará desde un pequeño porcentaje para un transformador con un núcleo de ferrita, hasta un 50% o más para una ATU complicada que está mal ajustada o que funciona cerca de los límites de su rango de sintonización.^[24]

Entre los circuitos de sintonizador de banda estrecha, la red L tiene la pérdida más baja, en parte porque tiene la menor cantidad de componentes, pero principalmente porque opera necesariamente al Q más bajo posible para una transformación de impedancia dada. Con la red L, el Q cargado no es ajustable, pero se fija a medio camino entre la fuente y las impedancias de carga. Como la mayor parte de la pérdida en los sintonizadores prácticos estará en la bobina cambiar de un circuito de paso bajo a un circuito de paso alto (o viceversa) puede reducir un poco la pérdida.

La red L que usa solo condensadores tendrá la pérdida más baja, pero esta red solo funciona donde la impedancia de carga es muy inductiva, por lo que es una buena opción para una antena de bucle pequeño. La impedancia inductiva también se produce con antenas de hilo recto utilizadas a frecuencias ligeramente superiores a una frecuencia resonante donde la antena es demasiado larga, por ejemplo, entre un cuarto y media onda de largo en la frecuencia de funcionamiento, por lo tanto, uno puede construir deliberadamente una antena que es demasiado larga para todas las frecuencias de diseño con la intención de sintonizarla solo con condensadores, similar a una antena de bucle. Desafortunadamente, el problema típico encontrado en la banda de HF es que las antenas son demasiado cortas para la frecuencia en uso, y su sintonización requiere reactancia inductiva.

Con la red T de paso alto, la pérdida en el sintonizador puede variar desde un pequeño porcentaje, si se ajusta para la pérdida más baja, hasta más del 50% si el sintonizador no se ajusta correctamente. El uso de la capacidad máxima disponible dará menos pérdidas, que si uno simplemente sintoniza un ajuste sin tener en cuenta la configuración.^[25] Esto se debe a que usar más capacitancia significa usar menos vueltas del inductor, y la pérdida se debe principalmente al inductor.

Con el sintonizador SPC, las pérdidas serán algo mayores que con la red T, ya que la capacitancia adicional a través del inductor derivará alguna corriente reactiva a tierra que debe ser cancelada por una corriente adicional en el inductor.^[26] La compensación es que aumenta la inductancia efectiva de la bobina, lo que permite la operación a frecuencias más bajas de lo que de otro modo sería posible.

Sacrificar la eficiencia a cambio de la supresión armónica

Si se desea un filtrado adicional, el inductor en cualquiera de los diseños de tres elementos puede establecerse deliberadamente en valores grandes, elevando el Q del circuito y proporcionando así un efecto de paso de banda parcial.^[27] O bien el paso alto T o el paso bajo π se pueden ajustar de esta manera; El sintonizador SPC proporciona un efecto de paso de banda completo cuando se ajusta de manera similar. La atenuación adicional a frecuencias armónicas se puede aumentar significativamente con solo un pequeño porcentaje de pérdida adicional en la frecuencia sintonizada.

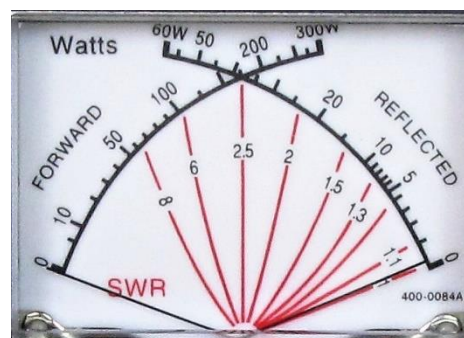
Cuando se ajusta para una pérdida mínima, el sintonizador SPC siempre tendrá un mejor rechazo armónico que el T de paso alto, ya que el diseño SPC es un circuito de paso de banda. Cualquier tipo es capaz de un buen rechazo armónico si se acepta una pequeña pérdida adicional. El paso bajo π tiene una atenuación armónica excepcional en cualquier ajuste incluida la pérdida más baja.

Relación de onda estacionaria

Es un error común pensar que una alta relación de onda estacionaria (SWR) per se causa pérdida, o que una antena debe ser resonante para transmitir bien; Tampoco es verdad.^{[3] [4] [28]} Un ATU bien ajustado que alimenta una antena a través de una línea de baja pérdida, puede tener solo un pequeño porcentaje de pérdida adicional en comparación con una antena intrínsecamente emparejada, incluso con una ROE alta (4:1 por ejemplo).^[28]

Un ATU instalada al lado del transmisor simplemente refleja la energía reflejada desde la antena ("corriente de reacción") una vez más a lo largo de la línea de alimentación a la antena ("retroreflexión").^[3] Las altas pérdidas surgen de la resistencia de la RF en la línea de alimentación y la antena, y esas reflexiones múltiples debido a la alta ROE, hacen que las pérdidas de la línea de alimentación se agraven.

El uso de una línea de alimentación de baja y alta impedancia con un ATU, resulta en muy poca pérdida incluso con múltiples reflexiones. Sin embargo, si la combinación de la línea de alimentación y la antena es 'con pérdida', entonces una SWR alta puede perder una fracción considerable de la potencia de salida del transmisor. Las líneas de alta impedancia, como la mayoría de las líneas de cables paralelos, transportan energía principalmente como alto voltaje en lugar de alta corriente, y la corriente sola determina la pérdida de energía por la resistencia de la línea. Entonces, para la misma cantidad de vatios entregados a la antena, a pesar de la alta SWR, se pierde muy poca energía en la línea de alta impedancia en comparación con la línea de baja impedancia como el cable coaxial típico. Por esa razón, los operadores de radio que usan la línea de alimentación de alta impedancia pueden ser más informales sobre el uso de sintonizadores.



Medidor SWR de aguja cruzada en sintonizador de antena

Sin un ATU, la SWR de una antena y una línea de alimentación no coincidentes, puede presentar una carga inadecuada al transmisor, causando distorsión y pérdida de potencia o eficiencia al calentar y/o quemar los componentes de la etapa de salida. Los transmisores modernos de estado sólido están diseñados para protegerse automáticamente al reducir la potencia cuando son desafiados por una SWR alta. En consecuencia, algunas etapas de potencia de estado sólido solo producen señales débiles si la SWR aumenta por encima de 1.5 a 1. Si no fuera por ese problema, incluso las pérdidas de una SWR de 2:1 podrían ser toleradas, ya que solo el 11% de la potencia transmitida será reflejada y el 89% enviado a la antena. Por lo tanto, la principal pérdida de potencia a una ROE alta se debe a que el transmisor 'retrocede' su potencia de salida cuando se enfrenta a una corriente de reacción.

Los transmisores y amplificadores de tubo generalmente tienen una red de salida ajustable que puede alimentar cargas no coincidentes de hasta quizás 3:1 SWR sin problemas. En efecto, la red π de la etapa de salida del transmisor actúa como un ATU incorporado. Además, dado que los tubos son eléctricamente robustos (aunque mecánicamente frágiles) los circuitos basados en tubos pueden reducir la corriente de reacción muy alta con impunidad y no necesitan "retroceder" automáticamente su potencia.

Aplicaciones Broadcast

Transmisores AM de radiodifusión

Una de las aplicaciones más antiguas para los acopladores de antena es en los transmisores de radiodifusión AM de onda media y onda corta.

Los transmisores de banda AM generalmente usan una antena vertical (torre) que generalmente tiene una longitud de onda de 0,20 - 0,68 de longitud. En la base de la torre (en el "cuarto de acoplamiento")^[29] se usa un ATU para hacer coincidir la antena con la línea de transmisión de 50 ohmios desde el transmisor. El circuito más utilizado es una red T de paso bajo, con dos inductores en serie y un condensador de derivación entre ellos.



ATU para una antena AM de 250 KW y 6 torres

Cuando se utilizan múltiples torres, la red de ATU también puede proporcionar un ajuste de fase, de modo que las corrientes en cada torre se pueden escalar en relación con las otras para producir una señal en la dirección deseada. Los términos de su licencia de operación, a menudo requieren estaciones para evitar señales en direcciones que podrían producir interferencia con otras estaciones. La estación transmisora también se beneficia de más potencia de señal, pagada en su factura eléctrica, que ingresa en su área objetivo asignada, en la que se basan sus ingresos publicitarios. El ajuste de los ATU en una matriz de múltiples torres, es un proceso complicado que requiere mucho tiempo y una experiencia considerable.

Transmisores de onda corta de alta potencia

Las estaciones internacionales de transmisión de onda corta de alta potencia (50 kW y superiores), cambian las frecuencias estacionalmente o incluso diariamente, para adaptarse mejor a las condiciones ionosféricas, de modo que sus señales puedan propagarse para llegar a su público objetivo. Los cambios de frecuencia de transmisión frecuentes requieren un ajuste frecuente de la correspondencia de la antena y los circuitos de fase. Los transmisores modernos de onda corta, generalmente incluyen circuitos de adaptación de impedancia incorporados para SWR de hasta 2:1 que pueden ajustarse a una nueva frecuencia y, por lo tanto, a una nueva impedancia de salida en 15 segundos.

Las redes coincidentes en los transmisores, a veces incorporan un BALUN o se puede instalar uno externo en el transmisor para alimentar una línea balanceada. Hasta la década de 1950, las líneas de transmisión equilibradas de 300 ohmios o más, eran más o menos estándar para todos los transmisores y antenas de onda corta, incluso también por los radioaficionados. La mayoría de los radiodifusores de onda corta continúan utilizando transmisiones de alta impedancia incluso después de que la coincidencia de impedancia automática se haya vuelto comúnmente disponible.

Las antenas de onda corta más utilizadas para la transmisión internacional son la antena HRS (matriz de cortina), que cubre un rango de frecuencia de 2 a 1, y la antena periódica logarítmica, que puede cubrir hasta un rango de frecuencia de 8 a 1. Dentro del rango de diseño, las SWR de la antena variará, pero estos diseños generalmente mantienen las SWR por debajo de 1.7 a 1, fácilmente dentro del rango de SWR que se puede sintonizar mediante la adaptación de antena automática incorporada en muchos transmisores modernos. Entonces, al alimentar antenas bien elegidas, un transmisor moderno podrá ajustarse según sea necesario para que coincida con la antena en cualquier frecuencia.

Notas

- a. Los mismos devanados podrían conectarse de manera diferente para hacer un BALUN en su lugar.
- b. En general, el cambio de reactancia de un trozo con la frecuencia cambiante difiere de los inductores y condensadores de componentes agrupados correspondientes.
- c. Para evitar el alto voltaje al final de un trozo abierto, a veces es mejor usar el trozo en corto entre un cuarto y media onda de longitud para el trozo capacitivo. Con aplicaciones de baja potencia, se puede elegir el trozo abierto entre un cuarto y media onda para el efecto inductivo, ya que es más fácil de recortar para obtener la mejor coincidencia.
- d. La descripción funcional de los componentes es más o menos correcta, pero demasiado simple. En la operación real, el inductor y todos los condensadores interactúan para producir el resultado general.
- e. Por lo general, no hay ningún beneficio en obligar a los dos lados de una antena a equilibrar los voltajes. Casi siempre es mejor permitir que la antena "flote" con respecto a una conexión a tierra: el rendimiento de la antena que depende del equilibrio siempre depende de corrientes equilibradas en lugar de voltajes equilibrados, y forzar el equilibrio de los voltajes puede desequilibrar las corrientes.
- f. En el caso de estos circuitos, casi siempre es una mala idea conectar la tierra del equipo a la tierra de la antena, dada la oportunidad de mantener las tierras separadas. Ver ^[e]
- g. Eliminación de la tierra opcional en el lado equilibrado (derecho) del circuito requiere que se monte el condensador variable de doble sección para que pueda "flotar" eléctricamente, con su marco y eje de sintonía aislados del chasis y la perilla de sintonización. Cuando se proporciona dicho montaje aislado, no hay razón para usar un capacitor de doble sección y puede ser reemplazado por un capacitor de una sola sección menos costoso.

Referencias

1. ["Load-pull for power devices"](#).
2. Stiles, J. ["Matching with lumped elements"](#) (PDF).
3. Maxwell, W. M. (1990). *Reflections: Transmission lines and antennas* (1st ed.). Newington, CT: American Radio Relay League. ISBN 0-87259-299-5.
4. Moore, Cecil (9 January 2014). ["Old XYL's tales in amateur radio"](#).
5. Silver, H. Ward, ed. (2011). *ARRL Antenna Book*. Newington, CT: American Radio Relay League. pp. 22–24. ISBN 978-0-87259-694-8.
6. Cathey, T. (9 May 2009). ["How to match a 50 Ohm coax to 75 Ohm coax, 35 Ohm Yaqis, etc"](#). AM Forum. amfone.net.
7. The theoretical basis is discussion by the inventor, and wider application of the method for matching with 1/6-wave co-axial lines is found here: Branham, P. (1959). ["A Convenient Transformer for matching Co-axial lines"](#) (PDF). Geneva, CH: CERN.
8. Storli, Martin (13 May 2017). ["Single stub match calculator"](#).
9. Silver, H.L., ed. (2011). *The ARRL Handbook for Radio Communications* (88th ed.). Newington, CT: American Radio Relay League.
10. Smith, Philip H. (1969). *Electronic applications of the Smith Chart*. Tucker, GA: Nobel Publishing. p. 121. ISBN 1-884932-39-8.
11. ["Drake MN-4 Users' Manual"](#) (PDF). radiomanual.info. R. L. Drake Company.
12. de Maw, Doug (W1FB) (1984). "Transmatch for balanced or unbalanced lines". In Hutchinson, Charles L. (ed.). *The ARRL Handbook for the Radio Amateur* (62nd ed.). Newington, CT: American Radio Relay League. Chapter 22 - Station setup and accessory projects: A transmatch for balanced or unbalanced lines, Figure 22.100. ISSN 0890-3565.
13. McCoy, Lewis G. (W1ICP) (July 1970). "Ultimate transmatch". *QST Magazine*. Newington, CT: American Radio Relay League. pp. 24–27, 58.
14. Silver, H. Ward, ed. (2011). *ARRL Antenna Book*. Newington, CT: American Radio Relay League. p. 24-12. ISBN 978-0-87259-694-8.
15. Salas, Phil. ["A 100 Watt compact Z-match antenna tuner"](#) (PDF).
16. ["Balanced line tuner"](#).
17. Hallas, Joel (1 September 2014). "The Doctor is In". *QST*. Newington, CT: American Radio Relay League. p. 60.
18. Silver, H. Ward, ed. (2011). *ARRL Antenna Book*. Newington, Connecticut: American Radio Relay League. p. 24-13. ISBN 978-0-87259-694-8.
19. Miller, Dave (1 August 1995). ["Back to Basics"](#) (PDF). *QST*. Archived from the original (PDF) on 22 June 2013.
20. [HF Users' Guide](#) (PDF). SGC World.
21. ["Stealth Kit"](#) (PDF). SGC World.
22. ["Smart tuners for stealth antennas"](#) (PDF). SGC World.
23. Hallas, Joel R., W1ZR (2010). *The ARRL Guide to Antenna Tuners*. Newington, CT: American Radio Relay League. p. 7-4. ISBN 978-0-87259-098-4.
24. Hallas, Joel R., W1ZR (2010). *The ARRL Guide to Antenna Tuners*. Newington, CT: American Radio Relay League. p. 4-3. ISBN 978-0-87259-098-4.
25. Silver, H. Ward, ed. (8 October 2014). *The 2015 ARRL Handbook* (92nd ed.). Newington, CT: American Radio Relay League. p. 20-16. ISBN 978-1-62595-019-2.
26. Schmidt, Kevin, W9CF. ["Estimating T-network losses at 80 and 160 meters"](#) (PDF). fermi.la.asu.edu.
27. Stanley, J. (1 September 2015). "Antenna Tuners as Preselectors". *Technical Correspondence*. *QST Magazine*. p. 61.
28. Hall, Jerry, ed. (1988). *ARRL Antenna Book*. Newington, CT: American Radio Relay League. p. 25-18 ff. ISBN 978-0-87259-206-3.
29. ["Storm silences radio"](#). *The Sun (Sydney)* (12379). New South Wales, Australia. 30 September 1949. p. 3. Retrieved 27 September 2019 – via National Library of Australia.

Vea también

- [American Radio Relay League](#)
- [Longitud eléctrica](#)
- [Puente de impedancia](#)
- [Bobina de carga](#)
- [Preselector](#)
- [Tabla de Smith](#)

Lecturas adicionales

- Wright, HC (1987). *Una introducción a la teoría de antenas*. Londres: Bernard Babani. BP198.
- Radio Society of Great Britain (1976). *The Radio Communication Handbook* (5th ed.). Bedford, Reino Unido: Radio Society of Great Britain. ISBN 0-900612-58-4.
- Rohde, Ulrich L. (1974). "Die Anpassung von kurzen Stabantennen für KW-Sender" [Emparejamiento de antenas de varilla corta para transmisores de onda corta]. *Funkschau* (en alemán) (7).
- Rohde, Ulrich L. (13 de septiembre de 1975). "Haga coincidir cualquier antena en el rango de 1,5 a 30 MHz con solo dos elementos ajustables". *Diseño electrónico*. Vol. 19)

Enlaces externos

- ["Sitio web de la American Radio Relay League"](#)
- ["Lo que hacen los sintonizadores y una mirada al interior"](#)