

Los medidores de ROE te hacen estúpido o línea abierta hasta la eternidad

Posiblemente ya se te ha ocurrido que podría ser deseable instalar tu antena de radioaficionado a alguna distancia de tu transmisor y/o receptor. De hecho, a menos que estés dispuesto a operar tu estación de radioaficionado desde lo alto de un árbol o de una torre, es muy posible que estés empleando algún tipo de línea de transmisión. El propósito de una línea de transmisión es llevar la energía de radiofrecuencia desde un equipo de radio hasta una antena, o vice versa, de la manera menos complicada posible. Podés pensar en una línea de transmisión como un alargue¹ para la RF. De hecho, para las regiones mas bajas del espectro radioeléctrico, un verdadero alargue puede servir a este propósito razonablemente bien, para distancias razonables.

Como otros aspectos de la Radioafición, la línea de transmisión parece que ha tomado vida propia, acumulando una vasta, pegajosa y confusa bola de nieve de desinformación en el proceso. Todo esto es muy innecesario. Una línea de transmisión es un medio para un fin, nunca un fin en sí misma. Y no dejes que nadie te diga otra cosa.

Un poco de historia

En los tempranos años de la radio, no había una clara demarcación entre la línea de transmisión y la antena. De hecho, veamos una muy típica antena de radioaficionado de los días pasados. Consistía en un conjunto de cables paralelos, o "techo plano" (flat-top) como si fuera un tendedero de ropa, y un SOLO HILO desde el "techo plano" hasta el transmisor. Esta línea de transmisión de un único alambre típicamente irradiaba tanta señal como la antena de "techo plano" en sí, lo cual no era necesariamente malo. Cualquier cosa que pudieras colgar allá afuera en el espacio y que irradiara una señal ayudaba.

Incontables cientos de miles de contactos de larga distancia por radio fueron hechos con semejantes armatostes.

Si no está roto, arreglalo igual

A pesar de la incuestionable efectividad de semejante artefacto por tan largo período de la historia de la radioafición, por alguna misteriosa razón, en algún momento sobre el final de la Primera Guerra que Sería el Fin de Todas las Guerras, fue decidido que la vida no debería ser tan simple. Este bizarro concepto de "especialización" comenzó a infiltrar la vida en el Planeta Tierra. Los Nazis de la especialización decidieron que una antena debería radiar pero una línea de transmisión no. Se descubrió que se podía evitar que una línea de transmisión de un solo hilo irradiase colocando otro hilo al lado del primero, y conectando el extremo inferior de aquel (el del lado del transmisor) a tierra. Agregaron el doble de cobre para desactivar la mitad de la antena... que negocio! Parece un proyecto del gobierno, no?

Bueno, este es un concepto del que, por cierto, no se puede culpar al gobierno. Fueron ciertamente radioaficionados quienes surgieron con esta "idea". El producto final de esto fue llamado antena "Zepp", porque era usada en los Zeppelins.

En realidad, no deberíamos ser tan duros. La idea de una línea de transmisión no radiante fue motivada por

¹ Alargue para la energía eléctrica. Cable de extensión. (N. del T.)

la necesidad de mover una fuente de alta tensión de RF de la proximidad inmediata de un globo del tamaño de Milwaukee lleno de hidrógeno. Por alguna particular razón, ciertos personajes de smoking blanco estaban un poco nerviosos por la bolsa de gas del tamaño de Milwaukee llena de hidrógeno al lado de una fuente de alta tensión de RF. Como las radios de abordó en aquella época eran transmisores de chispa, probablemente no era tan mala idea mantener este hecho bajo consideración después de todo. Al final terminamos con el desastre del Hindenberg, pero por lo menos no fue causado por la radio de abordó! (Por lo menos hasta donde sabemos).

Cuando los radioaficionados reactivaron sus operaciones después de la guerra, y tuvieron mejores cosas a que dedicar sus habilidades que prevenir que los dirigibles se encendieran en llamas, descubrieron que la antena Zepp funcionaba bastante bien en tierra también. (Bueno, en realidad unos metros SOBRE la tierra, pero se entiende la idea).

Ahora bien, para mantener las dos mitades de la línea de transmisión de la Zepp bien paralelas, en la condición en que producen la menor cantidad de radiación, los dos hilos eran mantenidos juntos (o separados) con aisladores uniformemente espaciados, dando a la línea de transmisión el aspecto de una escalera. Extrañamente, se la terminó llamando línea escalera. Obviamente, una vez mas, no pudieron dejarla tranquila. Algún genio en alguna parte se imaginó que el extremo superior del segundo hilo tenía que ir a algún lado. En la configuración convencional de la Zepp no iba a ninguna parte. Solo terminaba ahí. Esto molestaba a alguna gente. El hecho de que realmente funcionara no importaba. Alguna gente odia cosas como las antenas asimétricas y el número Pi, sin importar que tan bien funcionen. Por lo tanto, una vez mas, trataron de arreglar algo que no estaba roto.

Después de mucho reflexionar sobre a DONDE exactamente el extremo libre de la línea escalera debería ir, uno de los antedichos algunos decidió que si iba a otro hilo de antena, entonces las cosas serían mas simétricas.

Y así nació la antena "Doble Zepp", en realidad dos antenas Zepp alimentadas con una sola línea de transmisión. Los dioses de la simetría fueron satisfechos. Y para ser honestos, la antena realmente funcionaba algo mejor que la encarnación original. Pero, tal vez mas significativamente, las funciones de la antena y de la línea de transmisión fueron entonces entidades completamente separadas. Todo era maravilloso.

En realidad, no. Nuestros problemas recién empezaban.

No intenten esto en casa

Con muy raras excepciones, la improvisada estación del radioaficionados primitivo usualmente no tenía nada ni siquiera parecido a los equipos de medición actuales. De hecho, la mayor parte de los equipos de diagnóstico que los radioaficionados modernos dan por sentados, no estaba disponible a ningún precio por la mayor parte de la existencia de la radioafición. Esto fue en realidad bueno, por dos cosas:

El desempeño de la estación del radioaficionado estaba basado estrictamente en... bueno... desempeño. La única indicación de que las cosas estaban funcionando como deberían era el hecho de que uno estaba haciendo un montón de contactos. La falta de equipos de pruebas mantenía el objetivo bien en la mira.

La radioafición era mas barata. Para que usar un costoso medidor de corriente de placa cuando vos podías verificar la sintonía de tu transmisor viendo que tan largo era el arco de RF entre el capuchón de placa de la válvula de salida y la punta de un lápiz que tenías en la mano? ¡SI! Los radioaficionados HACÍAN esto... y la mayoría vivió para contarlo. ¿Gabinete? ¿Que gabinete?

Era posible que vos hicieras algún descubrimiento accidental de vez en cuando. La teoría es importante... hasta cierto punto. Ayuda a explicar lo que vos ya descubriste por accidente, pero no siempre te lleva a nuevos descubrimientos por si misma. Vos necesitás una patada en el traste cada tanto y quemarte las pestañas para realmente entender la radio. (No le cuentes a la Secretaría de Seguridad Laboral que yo dije esto, por cierto).

El punto a destacar es que teniendo un montón de "herramientas" a mano usualmente obtenés mas información de la que necesitás saber, y a menos que sepas como USAR toda esa información, puede ser peor que la ignorancia, como veremos en breve.

En algún momento entre las dos Guerras que terminarían con todas las guerras, los radioaficionados descubrieron que podés hacer que una línea de transmisión irradie casi NADA si mantenés las corrientes en cada pata de la escalera precisamente iguales en magnitud, y EN OPOSICIÓN DE FASE. Esto permitía que la antena se comportara como una antena pura, y la línea de transmisión como una línea de transmisión pura. La Zepp original fue medio paso en esa dirección, pero la Doble Zepp completó el trabajo. Los radioaficionados comenzaron a preocuparse mucho por el balance de la corriente... pudieran pagárselo o no. Si vos eras tacaño y/o pobre, el instrumento elegido era un par de lámparas incandescentes, una en cada pata de la escalerita. Si vos eras realmente gente bien, entonces vos ponías un verdadero amperímetro de RF en cada pata. (Es posible ver estos instrumentos en un montón de viejas fotos de estaciones de radioaficionados antiguas; eran del tamaño de un medidor de Watt/hora²). Si las corrientes eran iguales en cada pata, significaba que tu antena estaba produciendo la mayor parte de la radiación, y la línea de transmisión no, lo que era generalmente bueno. Pero con un pequeño problemita.

Los medidores de corriente, ya fueran simplemente un par de lamparitas o buenos amperímetros de RF, no te decían nada sobre la fase relativa entre ambas patas. Sin embargo, era generalmente asumido que si tu Doble Zepp era FÍSICAMENTE simétrica, y tu escalerita relativamente perpendicular a la antedicha Doble Zepp, las fases de las corrientes DEBÍAN, en efecto, ser iguales y opuestas. Entonces, aunque no científicamente rigurosos, el par de amperímetros de RF resultaban muy prácticos. Como mínimo, sintonizando para MÁXIMA corriente de RF siempre resultaba en la mas fuerte señal irradiada. En el caso de las lamparitas, vos sintonizabas para máximo brillo, y todo estaba bien en el mundo. Por un tiempo, al menos.

Sin embargo, los radioaficionados, siendo quienes eran, no estaban contentos a menos que tuvieran algo de que preocuparse. En este punto, tenemos que hacer una pequeña digresión, y presentar otro Radioaficionado Muerto, el oscuro ingeniero eléctrico alemán con el nombre de Ernst Lecher. El vivió a comienzos de siglo... del siglo XX, eso. Su trabajo ya hubo sido, mayormente, aprendido y olvidado para la mitad del siglo por buena parte del mundo de la radio. El pobre Ernst hizo gran parte de su trabajo antes que nadie tuviera un uso para la radio. El estuvo bien adelantado a su tiempo. Desafortunadamente, si buscás a Ernst Lecher en Internet, te verás inundado por un verdadero montón de "información" de lo mas bizarra sobre cosas como la energía psíquica y los zahoríes, por favor!

Permítaseme poner esto en claro en nombre del pobre Ernst, que indudablemente se está revolcando en su tumba y es incapaz de defenderse por si mismo de estos descerebrados "discípulos" y otros varios paranoicos. Ernst Lecher no tiene ABSOLUTAMENTE NADA que ver con la metafísica, los zahoríes, la energía psíquica, ni ningún otro tipo de pseudo ciencia de la Nueva Era. El fue un VERDADERO científico, un VERDADERO ingeniero, y obtuvo resultados VERDADEROS en un VERDADERO laboratorio. Yo pronuncio una maldición sobre aquellos que desacreditan su nombre con esas infames habladurías y basura.

Veamos, en cambio, su VERDADERA contribución al conocimiento de la radio, la Línea Lecher (también conocida como Hilo Lecher).

Una Línea Lecher es un instrumento fabulosamente simple y revelador. Te permite medir el largo de onda de una señal de radio directamente... el primer instrumento que existió para permitirte hacer esto. Consiste nada mas que de un par de varillas de cobre paralelas, de un par de largos de onda mas o menos en la frecuencia de interés, con un metro colocado a lo largo de la línea. También tenés un detector de tensión móvil para que puedas medir la tensión de RF a lo largo de la línea en cualquier punto. (Yo fabriqué una verdaderamente hermosa para mi clase de electrónica que siempre genera un montón de ¡ooohs! y ¡ahhs! en mis alumnos).

Necesitás una pequeña cantidad de RF entrando por un extremo de la línea, que establece ONDAS ESTACIONARIAS a lo largo de la línea. A medida que movés el detector de tensión a lo largo de la línea, la tensión va variando entre un máximo y un cero cada media longitud de onda. Vos medís la distancia entre

2 Medidor de consumo de energía eléctrica, "medidor de luz". (N. del T.)

dos puntos de tensión cero, y voilá, tenés exactamente medio largo de onda. Bueno, casi exactamente, ya que hay una pequeña demora en una onda que se propaga en la Línea Lecher respecto a una que se propaga en espacio libre. Solo un pequeño porcentaje de demora adicional para un típico para de hilos con una separación de 7.5cm (3") entre ellos. (También podés medir la distancia entre puntos de MÁXIMA tensión, pero estos son mucho menos definidos, mientras los CEROS o NULOS son extremadamente agudos).

En cualquier caso, es un instrumento muy sensible y preciso... de hecho, hasta los años 1950s la Línea Lecher era el método mas preciso conocido para medir señales de UHF. Los frecuencímetros no existían.

La Línea Lecher también sirve como un circuito de alto Q (selectivo) en amplificadores y filtros de UHF. Variaciones de la Línea Lecher (Líneas Lecher cargadas) que son algo mas chicas que las versiones de tamaño completo también han sido utilizadas. La mayoría de los transmisores de emisoras comerciales de FM todavía usan alguna variación de la Línea Lecher en el circuito sintonizado de placa.

Adicionalmente, dispositivos tales como el sintonizador de sección (stub) en corto, prácticamente universal en la industria de las microondas, está basado en la Línea Lecher. De hecho, como cualquier ingeniero en microondas te puede decir, CUALQUIER impedancia se puede adaptar a CUALQUIER OTRA impedancia usando solo dos sintonizadores de sección (stub). Todo por Ernst Lecher y su fabulosas ONDAS ESTACIONARIAS amaestradas.

Tan simple, tan educativo, tan elegante, y tan increíblemente útil. Y, aún, lamentablemente, otra fuente de póstumo tormento para Ernst.

Ya que, en los años recientes, las ONDAS ESTACIONARIAS han venido a ser vistas como algo que es necesario evitar como el virus Ébola. Esto, mas que ninguna otra confusión, ha resultado ser la mayor fuente de Intercambio de Estupidez de la Radioafición (IER). Por alguna inexplicable razón que probablemente nunca conoceremos, seres presumiblemente inteligentes, racionales, se convierten en el idiota del pueblo ni bien el término ONDA ESTACIONARIA es pronunciado; estrechan sus colectivas manos, palpitando al unísono e hiperventilando de horror.

El hecho en este asunto es que alrededor del 95% de lo que hace que la radio funcione después de todo es la aplicación de algún tipo de ONDA ESTACIONARIA. Las ondas estacionarias son como el agua. Solo porque algún Cro-Magnon se las arregle para ahogarse en una bañera no es motivo para que el resto de nosotros tenga que vivir de una dieta de arena seca. ¡La radioafición NECESITA las ondas estacionarias para sobrevivir!

Ahora bien, puede haber unos pocos lectores que nunca hayan encontrado el término relación de onda estacionaria, o ROE. Si vos sos unos de esos individuos, podés considerarte bendito. No vas a tener que "desaprender" nada. Sos una hoja en blanco, despojado de incontables siglos-hombre de ignorancia colectiva acumulada acerca de esta materia.

¿Estás listo?

¡Perfecto! Empecemos.

Uno de los mejores hábitos que podés adquirir como nuevo radioaficionado es el hábito de MEDIR todo. Vos NUNCA querrás tomar la palabra de otro sobre lo que ocurre en la electrónica de la radioafición (o cualquier otro tema, para el caso), aún de una fuente infalible y confiable (¡o de mí mismo!). Este hábito por si mismo, si se lo sigue religiosamente, podría eliminar 99% del IER, tal como ha sido definido arriba. El hecho en este asunto es que realizar experimentos reales da un poco de trabajo... pero repetir la ignorancia no. Bueno, tal vez mover un poco la lengua queme una o dos calorías, pero eso es todo.

Este es otro gran principio, directo del laboratorio de física: si querés saber que está pasando, seguí el calor.

Que significa esto? Muy simple, en realidad, pero tiene algunas sutiles connotaciones. Cuando vos generás una cierta cantidad de energía de radiofrecuencia, esta puede ir solo a dos lugares. Puede ser radiada en el

espacio. O puede hacer que algo se caliente. No hay otras opciones.

Veremos por que esto es de importancia crucial a medida que avancemos.

Sin final a la vista

Echemos una mirada a una línea de transmisión que sea infinitamente larga... nuestra Línea Escalera a la Eternidad. En el lejano extremo de la escalerita, pongamos una lamparita de 100 watts. (Por supuesto, te va a llevar un buen rato caminar hasta allá y conectar la lamparita, y luego caminar de vuelta para completar el experimento, pero seguí con nosotros un momento). Ahora, conectemos un radio transmisor de 100 watts en el extremo de entrada de nuestra línea de transmisión infinita. Encendamos el radio transmisor por precisamente un segundo, y apaguémoslo de nuevo. Ahora, hagamos un poco de café, y mientras se posa, o se cuela, o se recalienta en el microondas, revolbamos el armario para encontrar los viejos largavistas. Agarramos el café y nos sentamos en el pasto apuntando nuestros largavistas hacia el extremo de nuestra línea de transmisión de largo infinito. (Podría ser ventajoso realizar este experimento de noche, como podrás imaginarte). En realidad, le tomaría una cantidad de tiempo infinito a la ráfaga de RF de un segundo llegar hasta la lamparita, y OTRO tiempo infinito tomará ver el resultado en la lamparita.

Lo mas probable, es que este experimento falle, a menos que vos vivas hasta una MUY, MUY, MUY avanzada edad. Pero no importa; aún los experimentos fallidos son educativos.

Modifiquemos un poco nuestro experimento, para que tenga un poco mas de probabilidad de éxito. Usemos una línea de transmisión que tenga una longitud de un minuto-luz. Eso serán unos meros 17.86 millones de kilómetros de largo, mas algún centavo; una figura MUCHO mas manejable.

De nuevo, encendamos el transmisor por un segundo, y apaguémoslo otra vez. Tendremos que apuntar nuestros largavistas a la lamparita a solo 17.86 millones de kilómetros de distancia. Después de DOS minutos, veremos que la lamparita brilla encendida durante un segundo exacto. (Nuevamente, teniendo en cuenta que a la luz le toma un minuto viajar desde la lamparita hasta nuestros ojos).

¿No es asombroso?

A riesgo de complicar las cosas, agregaremos unos pocos detalles menores. Uno debería saber que una lamparita incandescente convencional es horriblemente ineficiente. Si tenés suerte, alrededor del 2.5% de la energía es convertida en luz; el 97.5% restante, tal como adivinaste, es CALOR. También tiene una resistencia que cambia dramáticamente con la potencia aplicada, lo cual es aún mas relevante cuando se usa una lamparita como indicador de RF. Pero tenemos un largo recorrido que hacer en esta lección antes de que estos factores se tornen importantes.

El aspecto importante a tener en cuenta en esto es que TODA la energía que enviamos por la línea de transmisión, (100 watt-segundo en este caso, para ser precisos) es disipada, esto es, nunca sabremos mas de ella. Es energía PERDIDA. La energía de radiofrecuencia radiada por una antena también es es energía PERDIDA. Por supuesto, puede que sea un poco extraño filosóficamente llamar energía "perdida" a la energía radiada por una antena porque este es el único propósito de la antena en primer lugar. Pero nosotros no podemos traer esa energía de vuelta, lo cual es el punto importante.

Ahora, si vos estuviste realmente prestando atención, posiblemente hayas pensado para vos mismo, "¿Que pasa en esos 59 segundos previos a que la energía alcance la lamparita? ¿Como podemos definir POTENCIA o ENERGÍA? ¿No hace falta algún tipo de CARGA? ¡Hasta que la ráfaga de un segundo no llega a la lamparita, NO HAY carga! ¿Estamos violando la ley de Ohm, o algo así?

Todas excelentes preguntas. Y son centrales para esta discusión.

Acá es donde encontramos una misteriosa entidad denominada "Impedancia Característica". La impedancia característica puede ser pensada como la RESISTENCIA EQUIVALENTE a la entrada de una línea de transmisión de longitud infinita. Su valor es independiente del largo de la línea. Es una función de la separación entre los conductores, y del diámetro de los mismos. Hay una fórmula que no es para nada complicada, pero que no necesitás memorizar. Lo único que tenés que saber es que la impedancia

característica es BAJA para conductores gruesos poco espaciados, y ALTA para delgados conductores bien espaciados. Para la línea comercial típica es de aproximadamente 450 ohms. En días de antaño, la línea escalerita casera generalmente andaba alrededor de los 600 ohms.

Ahora, acá es donde llegamos a la parte buena.

Desde el punto de vista de tu transmisor, la impedancia característica de una línea infinita aparece como una resistencia REAL. Vos podés calcular potencia generada tal como si en los terminales de salida del transmisor hubiera una resistencia REAL de carne y hueso (o por lo menos, de CARBÓN).

Y además... hasta que la señal transmitida ALCANCE el extremo lejano de la línea de transmisión Y vuelva (hablaremos de ondas reflejadas en seguida) la impedancia de entrada es también igual a la impedancia característica de la línea de transmisión. En otras palabras, la impedancia que un transmisor ve para una RÁFAGA es siempre igual a la impedancia característica de la línea, sin importar que es lo que esté colgando en el extremo lejano de la línea. (Veremos que para señales de radio de ESTADO CONSTANTE la situación puede ser muy diferente). Podemos ver también que EN EL INSTANTE del disparo podemos usar la impedancia característica de la línea para calcular la potencia y energía de cualquier señal transmitida, usando tensión y corriente, tal como si se tratase de un resistor físico real.

Ahora, si SACAMOS la lamparita del extremo de la línea, y repetimos el experimento, no va a haber gran diferencia en cuanto a lo que a nuestro transmisor le importa... al menos por dos minutos... después de los cuales tampoco va a importar mucho de todas maneras, porque para ese momento el transmisor llevará largo tiempo apagado! Nuestro transmisor no tiene forma de saber (o que le importe) que hay en el extremo lejano de la línea de transmisión, en condiciones instantáneas (ráfagas cortas).

Yo pienso que vos vas a estar de acuerdo en que la descripción del comportamiento con ráfagas de una línea de transmisión es bastante trivial... no vale la pena elaborar mas.

Donde las cosas se ponen interesantes (y mas complicadas), sin embargo, es cuando tenemos ondas INCIDENTE y REFLEJADA simultáneamente presentes. Pero quedate tranquilo, no tenemos que meternos con esto por ahora.

Volvamos a nuestra configuración sin la lamparita. ¿Que ES lo que pasa con la ráfaga de 100 watt-segundo cuando se encuentra con la condición de "puente derrumbado"?

Curiosamente, la energía de RF no se esfuma desde el extremo de la línea de transmisión hacia el espacio. Si PUDIERA hacer esto, no habría mucha necesidad de una antena al fin de cuentas. De hecho, si vos pudieras hacer que una línea de transmisión impulse la energía de RF directamente en el espacio, serías realmente muy rico.

En cambio, lo que ocurre es que la ráfaga de RF es COMPLETAMENTE REFLEJADA de vuelta hacia la fuente. La energía tiene que ir a algún lado, y si no puede ser convertida en calor, o irradiada en el espacio como una señal de radio, tiene que encontrar algún lugar donde PUEDA hacer una cosa o la otra.

Bueno, para ser honesto, TIENE otra opción. Puede quedarse rebotando de un lado para el otro para siempre. Hablaremos de esta opción dentro de poco.

Pero primero, modifiquemos una vez mas nuestra configuración de pruebas. Dejemos el extremo lejano de la línea de transmisión flameando al viento. (Hmm... sospecho que a 17.86 millones de kilómetros en el espacio exterior, no debe haber mucho viento que digamos). De todos modos... tenemos una línea ABIERTA allá lejos.

En el extremo CERCANO pongamos una llave inversora doble, de forma tal que convenientemente podamos conectar el transmisor o la lamparita a la línea de transmisión.

Ahora, pongamos la llave del lado del transmisor y enviemos una ráfaga de RF de un segundo de duración. Inmediatamente, apaguemos el transmisor y pasemos la llave del lado de la lamparita, y esperemos un par de minutos. (En realidad, un minuto y 59 segundos).

Voilà! En el instante mencionado, la lamparita brilla por un segundo. ¿No estás asombrado? ¿Que hemos aprendido?

Bueno, un par de cosas, por lo menos. En primer lugar que la energía REFLEJADA es energía REAL. Somos capaces de encender la lamparita con la energía que fue reflejada desde el extremo lejano de la línea de transmisión abierta.

En segundo lugar, aprendimos que la línea de transmisión tiene 17.86 millones de kilómetros de longitud. Bueno, ya sabíamos nosotros esto cuando la pusimos ahí, no es así? Pero, en caso de que no lo supiéramos, lo podríamos haber determinado midiendo cuidadosamente el tiempo de viaje ida y vuelta, sabiendo que las corrientes viajan a través de la línea de transmisión a una velocidad de aproximadamente 297.600 kilómetros por segundo, mas alguna monedita.

De hecho, la gente de las telecomunicaciones usa en la práctica este método para localizar discontinuidades en líneas de transmisión que son inaccesibles. Este método es denominado medición de RDT (Reflexión en el Dominio del Tiempo). Como podrás sospechar, en la vida real, no tenemos líneas de transmisión de 17.86 millones de kilómetros de largo. Las mediciones RDT verdaderas usan ráfagas mucho mas cortas... generalmente en el orden de los nanosegundos... lo cual te permite medir líneas de transmisión de unas meras decenas de metros de largo. Mientras el pulso que envías cese antes de que el pulso reflejado llegue de vuelta, vos podés hacer mediciones RDT. (Vos tampoco vas a usar lamparitas como detector RDT, usarás mejor un osciloscopio).

Ahora, hablemos un poco sobre las discontinuidades mencionadas en el párrafo previo. No necesitás que la línea de transmisión esté completamente en corto o abierta para que la energía sea reflejada. Es que en esas dos condiciones lo que tenemos es que TODA la energía es reflejada. (También tendrás una reflexión total si la terminación es una reactancia pura, o sea, un capacitor perfecto o un inductor perfecto... pero nos ocuparemos de esto luego).

En cualquier caso, una discontinuidad es cualquier cambio brusco de la impedancia característica de la línea de transmisión, tal como si los hilos de la línea en algún punto son apretados juntos o separados entre sí. (Un doblez en ángulo recto también causará una pequeña discontinuidad). Una ráfaga de RF será parcialmente reflejada desde cualquier discontinuidad en una línea de transmisión. Parte de la energía retornará hacia el emisor; parte será enviada hacia la terminación. Cambios muy graduales en la impedancia de la línea no producirán discontinuidad. De hecho, líneas de transmisión "graduales"(tapered) fueron usadas universalmente en las estaciones de radiodifusión y de radioaficionados por un buen período de la temprana historia de la radio. (Hay una antigua emisora local de AM en Fairbanks (Alaska) que hasta hace un par de años usaba una torre puesta a tierra con alimentación de hilo inclinado (slant-wire feed). Yo tuve el dudoso honor de trabajar en esa cosa una vez).

Bueno, ¿en donde estábamos? Ah, si... discontinuidades y reflexiones parciales. ¡Necesitamos dejar claro acá mismo esto diciendo que estas no son necesariamente malas! Podemos USAR las reflexiones en una línea de transmisión para hacer toda clase de cosas útiles y maravillosas. No podemos solo IGNORARLAS, pero ¡no necesitamos rasgarnos las vestiduras por ellas tampoco! Las cosas son generalmente MAS SIMPLES cuando no hay reflexiones con las que lidiar; pero esto de ningún modo sugiere que una línea de transmisión ADAPTADA es necesariamente mejor que una DESADAPTADA. Hablaremos acerca de la ADAPTACIÓN CONJUGADA dentro de poco. Como un preludio a este tema, modifiquemos una vez mas nuestro experimento.

Saquemos la lamparita de nuestra llave inversora doble, y conectemos una barra de cortocircuito a través de esos dos terminales en lugar de aquella. Pasemos la llave a la posición del transmisor. Enviemos una ráfaga de un segundo, apaguemos el transmisor, y pasemos la llave hacia al lado del cortocircuito. ¿Que pasará cuando la ráfaga vuelva de tierras distantes y se encuentre el cortocircuito? Porque, ¡es TOTALMENTE REFLEJADA otra vez hacia el extremo lejano de la línea! De hecho, se quedará rebotando ida y vuelta entre los dos extremos de la línea para siempre... un extremo ABIERTO es igual de reflectivo que un extremo en CORTOCIRCUITO. Mientras haya RESISTENCIA NULA (cero o infinita) en la terminación, la reflexión es total.

Ahora, esperemos que hayas entendido que toda la discusión previa presupone una línea de transmisión IDEAL. Nosotros siempre estudiamos componentes ideales para poder entender las ediciones del mundo real después. Líneas de transmisión verdaderas, prácticas, tienen pérdidas resistivas que complican las cosas un poco más. En realidad, una ráfaga de RF nunca podría ni siquiera alcanzar el extremo de una línea de 17.86 millones de kilómetros de largo, (ok, en realidad podría, ¡pero la señal sería menos intensa que el ruido cósmico para cuando llegue tan lejos!). En realidad, las señales de radio de HF empiezan a tener problemas después de unos kilómetros, aún en las mejores líneas humanamente realizables. (Entiendo que alguien logró que la Ethernet funcione sobre un par de alambres de púa oxidados, pero esto no es realmente recomendable).

Ahora la parte divertida

Esperemos que hayas sido capaz de seguir y DISFRUTAR un poco de este asunto de la línea de transmisión, porque recién estamos listos para entrar en lo jugoso.

Hemos separado intencionalmente nuestras señales INCIDENTE y REFLEJADA para toda la discusión previa. Esto es fácil de hacer con ráfagas cortas, por (espero) bien obvias razones.

Sin embargo, las transmisiones de radioaficionado NO consisten en esa clase de cortas ráfagas de RF (relativas al largo de la línea de transmisión, eso es. Un "dit" de CW es mucho más corto que un segundo... ¡pero la típica línea de transmisión de un radioaficionado es MUCHÍSIMO más corta que 17.86 millones de kilómetros de largo!). En servicios típicos de comunicaciones (en contraste con el RADAR), cualquier señal reflejada en una línea de transmisión es casi seguro que va a coincidir con, o superponerse con, la señal incidente. Esto abre un conjunto COMPLETAMENTE nuevo de fenómenos... y potencial para la confusión.

Cuando dos señales eléctricas se superponen una sobre la otra en un conductor, existe el potencial de que ocurra una interferencia. Si vos recordás nuestro artículo sobre fundamentos de la antena, recordarás que las interferencias pueden ser constructivas o destructivas. Las interferencias pueden ocurrir en un cable, tal como pueden ocurrir en el espacio libre, con muy similares resultados.

Permitime presentar otro término más que nos va a ayudar a ordenar todo esto: el Teorema de Superposición.

El Teorema de Superposición es una de esas perogrulladas de la física que parecen tan obvias que no debería haber necesidad de mencionarlas, pero tiene profundas connotaciones. Puesto de modo simple, es esto:

En cualquier punto en el tiempo, cualquier posición de un cable debe tener una y solo una tensión.

Parece muy obvio, ¿no? O, para decirlo más estúpidamente: Vos no podés tener dos tensiones al mismo tiempo en un mismo punto.

¿Como afecta esto la vida en la Tierra tal como la conocemos?

Si tenemos dos ondas viajando por un cable... una yendo al Este y otra yendo al Oeste... en CUALQUIER punto del cable, las ondas DEBEN sumarse o DEBEN restarse. No hay otras posibilidades.

Ahora, el hecho de que se SUMEN o se RESTEN depende de su fase relativa. Para el caso de la reflexión total, hay pocas opciones. Una línea de transmisión sin terminación (ABIERTA) va a retornar una señal de radio reflejada EN FASE con la onda incidente. Las dos señales van a SUPERPONERSE, o SUMARSE en el punto de reflexión. Como las amplitudes de las señales directas y reflejadas son iguales, la TENSIÓN en el punto de terminación debe ser el doble que cuando no existe reflexión. Vos podés ver realmente esto en una Línea Lecher. ¿Te acordás de la Línea Lecher al comienzo del artículo? Vos SABÍAS que íbamos a volver a ella tarde o temprano, ¿no? ¡Bueno, acá estamos!

¿Y que pasa en el caso de la terminación en cortocircuito?

De nuevo, tenemos una reflexión total, pero la onda reflejada está 180° FUERA DE FASE con la onda incidente. Ahora la tensión SUPERPUESTA es la DIFERENCIA entre la señal directa y la señal reflejada, las cuales son, como dijimos antes, EXACTAMENTE iguales (pero opuestas). La tensión resultante en ese punto va a ser cero, tal como predice el Teorema de Superposición. Pero nosotros ya sabíamos eso, ¡porque SIEMPRE tiene que haber cero volts a través de un cortocircuito! Entonces, ya sea que tratemos nuestra línea de transmisión como una "constante concentrada" (Ley de Ohm) o como un dispositivo "distribuido" (ondas), ¡obtenemos la misma respuesta!

Lo cual nos ofrece otra PROFUNDA verdad sobre la física. Nuestro Universo es asombrosamente consistente. Si no podemos arribar PRECISAMENTE a la misma solución de un problema con dos aproximaciones diferentes, algo estamos haciendo MAL! Vos SIEMPRE podés realizar dobles pruebas de estas cosas. No me creas a mí. ¡MEDILO vos mismo!

Este proceso de superponer una onda que viaja hacia el Este con otra onda que viaja hacia el Oeste en un par de cables es lo que se conoce como ONDA ESTACIONARIA. Es bien obvio por que la llaman así; los valores relativos de la tensión (la TENSIÓN SUPERPUESTA) permanecen estacionarios en relación a su posición a lo largo de la línea. Se pueden observar ondas estacionarias mecánicas en un objeto vibrante, tocando la cuerda de una guitarra, por ejemplo. O podés mover un cable espiralado de teléfono y generar una linda onda estacionaria (¡si es que encontrás algún teléfono con cable en estos días!). Se pueden medir fácilmente las ondas estacionarias eléctricas con una Línea Lecher... de hecho, esa es su principal función.

Ahora acá tenemos algo muy interesante e importante.

¿Recordás que demostramos que la onda INCIDENTE en movimiento (onda viajera) tenía energía real? Encendimos la lamparita con ella. ¿Te acordás de que demostramos que la onda viajera REFLEJADA tenía energía real? Pudimos encender la lamparita también con ella.

Pero adiviná que: ¡una onda estacionaria no tiene energía! Es una construcción puramente matemática. Es análoga a las isobaras en un mapa del clima. INDICAN que las variaciones de la presión del aire ocurren, PERO NO SON la presión del aire por sí mismas.

Un sistema que SOPORTA ondas estacionarias por cierto almacena energía. Pero esa energía está en la forma de ondas incidente y reflejada que son ondas de energía REAL. La onda ESTACIONARIA es la manifestación visible, pero sin potencia, de la existencia de las ondas viajeras.

Y este punto es donde se produce el máximo Intercambio de Estupidez entre Radioaficionados. Una onda estacionaria por si misma no puede hacer NADA bueno o malo a ningún aparato de radio. Echarle la culpa a las "ondas estacionarias" por un transmisor dañado o cualquier otro problema es como echarle la culpa al número Pi porque la rueda de un camión te pasó por arriba del pie. Si, Pi describe el diámetro y la circunferencia de la rueda del camión, ¡pero Pi NO ES la rueda del camión!

¿Esto significa que tenemos que ignorar las ondas estacionarias? ¡De ningún modo! Pero tenemos que entender que las ondas estacionarias son una INDICACIÓN... no el HECHO EN SÍ. Con la INTERPRETACIÓN ADECUADA, nos pueden decir un par de cosas. Desafortunadamente, la mayoría de los aficionados no tiene idea que como interpretar apropiadamente las ondas estacionarias.

Afortunadamente, ¡no NECESITAMOS hacerlo! Hay otros MUCHO mas significativos indicadores que la onda estacionaria que podemos usar para saber que está realmente ocurriendo. Cosas REALES con efectos REALES.

Derechos conyugales³

El Teorema de Superposición nos permite hacer algunas cosas realmente asombrosas con una línea de transmisión. Pero para entender esto es necesario que tengas ABSOLUTA FÉ en la Ley de Ohm. Ya

3 "Conjugal rights" en el original. El autor realiza un intraducible juego de palabras entre las expresiones "conjugal rights" (derechos conyugales) y "conjugate match" (adaptación conjugada). (N. del T.)

hemos visto que nuestro universo físico es consistente. Vos no podés violar las leyes de la física... las leyes de la física te violan a VOS. Se aplican en TODAS PARTES, desde todo punto de vista.

Hemos hablado brevemente sobre la impedancia característica de una línea de transmisión... como está incorporada en la construcción física de la línea... como es que resulta totalmente independiente del largo de la línea... como es que no le importa que es lo que hay conectado en el extremo distante.

Sin embargo, a pesar de esta aparente rigidez, el Teorema de Superposición nos permite ALTERAR la impedancia de la línea de transmisión en diferentes lugares, usando la magia de la interferencia de ondas.

Veamos como funciona.

Volvamos al caso de una línea de transmisión con un cortocircuito como terminación. Sabemos que las ondas incidente y reflejada son iguales, pero las tensiones están exactamente en oposición de fase (para el obsesivo de la ROE, tenemos ROE infinita en esta línea). Ahora, moviéndonos hacia ATRÁS en la onda desde la terminación, podemos observar algo interesante. 90° desde la terminación hacia el principio de la línea, la onda reflejada tiene un retraso de 90° adicional respecto de la incidente, que a su vez está adelantada 90° con respecto a la terminación, es decir, la onda incidente todavía tiene que recorrer 90° (un cuarto de onda) para llegar a la terminación, y la onda reflejada ha recorrido 90° desde que llegó a la terminación y fue reflejada. En total, sumando los 180° de inversión de fase en la terminación (terminación en cortocircuito) y estas dos distancias de 90° , tenemos un desfase total de 360° en un punto que está ubicado un cuarto de onda desde la terminación, lo que es lo mismo que 0° . En otras palabras, las tensiones en ese punto están EN FASE, por lo tanto se suman.

Ahora tenemos un punto de máxima tensión. Pero cuando miramos la POTENCIA, algo no se sumó. ¿O sí?

¿Cuanta potencia es enviada a la carga? Bueno, un cortocircuito no puede disipar potencia NINGUNA, así que la respuesta es cero. ¿Cuanta potencia fue reflejada? Toda. En cualquier punto de la línea, la potencia reflejada es igual a la potencia incidente, o sea que la potencia TOTAL tiene que ser igual a cero. Pero estamos midiendo el una GRAN onda de tensión volviendo desde la terminación. ¿Como reconciamos una gran tensión y nada de potencia? La respuesta es la Ley de Ohm. ¿Que condición del circuito nos permite una alta tensión en combinación con nada de potencia? ¡Resistencia infinita! Eso es. Un cuarto de onda volviendo desde la terminación, tenemos una carga de resistencia infinita. Físicamente, es un pedazo de línea de transmisión. Eléctricamente, es un pedazo de aire. Muy asombroso, ¿no es así?

¿Y que pasa si volvemos media onda desde la terminación? Bueno, tenemos un desfase adicional de 180° entre las tensiones de las ondas incidente y reflejada. Las tensiones incidente y reflejada se cancelan, y tenemos un cero. Repitamos la prueba: cero volts sobre cero ohms ¿es cuanta potencia? ¡Cero!

Las líneas de transmisión REPITEN la impedancia de carga cada media onda, e INVIERTEN la impedancia cada cuarto de onda. Y también cada múltiplo IMPAR de un cuarto de onda. Sin embargo, si tenemos una terminación abierta o en cortocircuito, la potencia total es cero.

Si insertamos un transmisor en cualquier punto de la línea de transmisión, ¿cuanta potencia el transmisor enviará? ¡Cero!

¿Que herejía es esta?! ¡La potencia de SALIDA de un transmisor es determinada por la impedancia de CARGA! ¿Estamos locos?

Bueno, ¿vos creés en la Ley de Ohm o no? Según como respondas a las siguientes dos preguntas revelará quien es el VERDADERO hereje.

¿Cuanta potencia puede transferir un transmisor a un cortocircuito?

(Respuesta: cero).

¿Cuanta potencia puede transferir un transmisor a un circuito abierto?

(Respuesta: cero).

Vos NO PODÉS violar la Ley de Ohm. Ella te viola a vos si tratás de hacerlo.

Frecuentemente escucho afirmaciones como "Si tenés una gran desadaptación, toda la potencia reflejada vuelve y termina quemando el transmisor".

Imposible. Absolutamente imposible... por lo menos es este mundo. Y seguramente en el próximo también. Toda esa potencia reflejada, como demostramos claramente, ¡impide que el transmisor genere la potencia en primer lugar!

Grabate esto en el lado interior de tus párpados:

DONDE EXISTE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN, LA POTENCIA GENERADA POR CUALQUIER RADIO TRANSMISOR ES IGUAL A LA POTENCIA INCIDENTE MENOS LA POTENCIA REFLEJADA EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN. SIEMPRE.

Es importante notar la cláusula "cuando existe una línea de transmisión", porque, como hemos mencionado bien al comienzo del artículo, esto está lejos de ser siempre el caso. Pensá en todas esas radios portátiles con una colita de chanco saliendo directamente de la radio.

¿Estamos diciendo que es imposible dañar un radio transmisor por tener una "mala" carga? No, nada de eso. Vos podés quemar casi cualquier transmisor poniendo un cortocircuito como carga. Y vos podés freír casi cualquier radio moderna dejando un circuito abierto como carga, también, mayormente por sobretensión en los transistores finales. ¡Pero esto no significa que la ROE sea la que produce el daño! NUNCA NUNCA NUNCA. Un transmisor siempre ve una IMPEDANCIA; jamás ve una ROE. Y nunca te olvides de esto.

Hablamos sobre reflexiones. Hablamos sobre MÚLTIPLES reflexiones. Y es en este aspecto sobre múltiples reflexiones que las cosas se vuelven realmente útiles e inteligentes.

El teorema de la adaptación conjugada nos dice que la máxima potencia va a ser transferida entre un generador (transmisor) y una carga cuando la impedancia de carga sea la CONJUGADA COMPLEJA de la impedancia de la fuente. Esto es algo bueno para saber. Sin entrar en un montón de matemática esotérica, lo que el teorema de la adaptación conjugada nos dice es que nosotros podemos adaptar CUALQUIER COSA a CUALQUIER OTRA COSA con solo dos componentes, uno en paralelo y otro en serie. Y a veces menos, si tenemos suerte.

Cuando se trata de líneas de transmisión, se traduce a lo siguiente: cualquier reflexión en una línea de transmisión puede ser compensada por otra reflexión igual y opuesta en alguna otra parte de la línea.

Deberíamos, para ser honestos, agregar una pequeña advertencia a esto: la impedancia de carga debe tener un valor de resistencia real menor a infinito y mayor a cero. Esto significa que NO ES POSIBLE adaptar sobre un cortocircuito o sobre un circuito abierto... pero se puede llegar muy muy muy cerca, si los componentes de la adaptación son suficientemente grandes. El punto importante es que solo se necesitan DOS componentes.

Veamos un ejemplo práctico para demostrar esto. Digamos que tenemos una antena dipolo que tiene una resistencia de radiación de 50 ohms. Para mantener las cosas simples, digamos que la antena es perfectamente resonante. (Las terminaciones con reactancia en una línea de transmisión pueden ser muy difíciles de analizar). Queremos alimentar esta antena con línea abierta de 450ohm. Sabemos que tendremos una desadaptación de impedancias de 9:1 en el extremo de la línea conectado a la antena. (Si nuestra línea es de muy buena calidad, tendremos una desadaptación parecida en el extremo de ENTRADA también). Una vez, como deferencia a los preocupados de la ROE, tenemos una ROE de 9:1. Ahora, hay un caso donde saber este valor de ROE viene bien. Esto nos dice que tenemos un AMPLIO RANGO de impedancias para elegir, dependiendo del largo de la línea de transmisión. Sabemos que si tomamos un múltiplo de media onda, nuestra línea va a repetir la impedancia de carga. O sea que si cortamos la línea para que mida un largo de onda completo, por ejemplo, tendremos 50 ohms, lo cual hará felices a la mayoría de los transmisores así nomás. ¿Que pasa si elegimos un largo de línea de un cuarto de onda?

Sabemos que la impedancia en un cuarto de onda se invierte. La línea de un cuarto de onda es muy útil en algunos casos. Si la carga es resistiva (que en este caso lo es, porque la antena es resonante), la impedancia de entrada es igual al cuadrado de la impedancia característica de la línea, dividida por la impedancia de la carga. (Esto se llama la "media geométrica"). O sea que esto nos da 450 al cuadrado dividido $50 = 202.500/50 = 4050$ ohms.

Bueno, no demasiados transmisores van a ser muy felices con una carga de 4050 ohms... ¡aún cuando sea puramente resistiva! O sea que esta no sería una elección muy inteligente de largo de línea.

Por otro lado, ¿que pasa si reemplazamos nuestro dipolo por la venerable Doble Zepp, mencionada en el comienzo de este artículo? Resulta que la impedancia en el centro de la Doble Zepp está en el orden de los 2500 - 3000 ohms en la frecuencia de resonancia. Usemos un valor de 2500 ohms solo para probar. Si la conectamos a una línea de 450 ohms de un cuarto de onda, ¿que esperaríamos ver en el extremo de entrada? Usando la misma fórmula de la media geométrica, tendríamos 450 al cuadrado dividido 2500 , lo cual da una impedancia de 81 ohms en la entrada de la línea. ¡Ah, felicidad, felicidad! Este valor está dentro del rango "feliz" de un transmisor de aficionado típico. Sin otro tipo de ajuste, nuestro transmisor transferirá el 96% de la potencia que transferiría a una carga de 50 ohms. (Tengo que admitir que hice trampa para obtener la respuesta... el venerable Antenna Handbook de la ARRL tiene toda clase de útiles gráficos para determinar pérdida de potencia vs. desadaptación de impedancias y cosas así. Está bien usar estos gráficos y las computadoras mientras no los uses como sustitutos del proceso de pensar).

¿Que hemos hecho con la inversión de impedancia en la línea de un cuarto de onda? Realizamos una adaptación conjugada. La impedancia mirando hacia EL TRANSMISOR en la línea de cuarto de onda es la CONJUGADA COMPLEJA de la impedancia de la antena.

Ahora bien, secciones de línea de transmisión no son la única forma de hacer adaptaciones conjugadas. De hecho, usando "secciones en serie" como la descrita arriba se ha convertido en un poco en un arte perdido para el radioaficionado moderno. La práctica normal ahora es usar "constantes concentradas" en un sintonizador de antena, usando una o mas bobinas y capacitores para realizar la adaptación conjugada. Como dijimos antes, NO existen diferencias entre constantes concentradas y componentes distribuidos en lo que a la física se refiere. Cualquier combinación de constante concentrada y distribuida puede ser usada para obtener una adaptación conjugada. En el ejemplo reciente, podría ser práctico usar constantes concentradas (sintonizador de antena) para mover los 81 ohms a 50 ohms si sos un verdadero obsesivo. En el caso mas común, el sintonizador de constante concentrada va a ser utilizado para anular las REACTANCIAS a medida que la antena es operada algo lejos de su frecuencia de resonancia.

Debería ser destacado que NINGUNA maniobra en el extremo de entrada de una línea de transmisión tiene algún efecto sobre la relación de onda estacionaria en la línea. La ROE es determinada solamente por la impedancia de carga en la terminación de la línea. El sintonizador de antena solo ajusta la impedancia que el transmisor ve.

Ahora bien, este hecho trae otra cuestión interesante. Digamos que tenemos un transmisor de 100 watts, diseñado para una carga de 50 ohms. Tenemos un sintonizador de antena de amplio rango inmediatamente después del transmisor. Mas allá de eso, tenemos una longitud de línea de transmisión, terminada en una desadaptación severa. Usemos nuestro primer ejemplo, con línea de 450 ohms y antena de 50 ohms. Tenemos una ROE de $9:1$ en la línea. Echando un vistazo a otro de los gráficos del Antenna Handbook de la ARRL, vemos que tenemos unos 60 watts de potencia reflejada en la línea de transmisión.

Ahora, ¿te acordás lo que te dije que te grabes en el interior de tus párpados? La potencia transmitida es igual a la incidente menos la reflejada.

Ahora, si ajustamos el sintonizador de forma que el transmisor vea 50 ohms, sabemos que el transmisor está sacando 100 watts. En el lado opuesto del sintonizador (no el lado del transmisor) vemos 60 watts de potencia reflejada volviendo desde la antena. ¿Algo se ve raro? ¿Está el transmisor poniendo solo 40 watts? No... el transmisor ve 50 ohms... así que sabemos que está poniendo 100 watts (asumiendo que el transmisor funciona bien). Ahora veamos la potencia INCIDENTE en la línea de transmisión. ¡Es de 160 watts! Bueno, ¿como es esto? Ahora la matemática trabaja... ¿de donde vienen esos 60 watts extra? Si nuestro transmisor puede solo poner 100 watts, ¿que se nos está escapando?

Es simple. Hay una reflexión DOBLE. Los 60 watts de potencia REFLEJADA son RE-REFLEJADOS desde el sintonizador hacia la carga... EN FASE con la potencia incidente original. ¿Pero POR QUE la doble reflexión?

Sin SABERLO... cuando ajustamos el sintonizador para que nuestro transmisor fuera "feliz" creamos una adaptación conjugada en el lado opuesto del sintonizador. Eso es realmente una grosera desadaptación mirando desde la línea hacia el transmisor... ¡pero esa grosera desadaptación es exactamente la Conjugada Compleja de la impedancia mirando al revés!

En realidad, en este ejemplo, tenemos DOS pares de conjugadas complejas... uno en la unión del transmisor y la entrada del sintonizador... y otro en la unión de la salida del sintonizador con todo lo que viene después.

De nuevo, estas son cosas que se pueden DEMOSTRAR CONSISTENTEMENTE en el banco de trabajo. Yo siempre disfruto cuando demuestro ante una sala llena de escépticos "gurúes de la ROE" que la potencia incidente en la salida del sintonizador EXCEDE la capacidad de potencia del transmisor.

Bueno, supongo que podría seguir dale y dale con este asunto completamente intrigante, pero en lugar de eso voy a referir un par de libros que son lectura obligatoria:

"Mi línea de transmisión sintoniza mi antena", de Byron Goodman, W1DX (sk). Originalmente publicado en QST en 1956, ha sido reimpreso varias veces desde entonces. Es un genuino clásico, y un fino ejemplo de pensamiento analítico claro... una rareza en el mundo de la radioafición actual.

"Reflexiones" de Walt Maxwell, W2DU. Este es el mas elocuente y detallado trabajo sobre el tema jamás escrito. La mayor parte del material de este artículo fué robado, no en prosa pero si en principio, del libro de Walt. Este originalmente apareció como una serie de artículos en QST en los '70, pero han sido consolidados en un par de libros excelentes, Reflexiones I y Reflexiones II. Entiendo que hay un Reflexiones III listo para salir pronto.