

**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**



**FACULTAD TECNOLÓGICA
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
DOCUMENTO TUTOR:**

**ACOPLAMIENTO DE IMPEDANCIAS
(IMPEDANCE MATCHING)**

17307001

(MEDIOS DE TRANSMISIÓN)

2000-II

INSTRUCTOR: FRANCISCO JAVIER ZAMORA NAVARRO

MS en Teleinformática, Ingeniero Electrónico.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas,

Fzamora@ieee.org

<http://geocities.com/fzamora.rm/>

OBJETIVO:

Suministrar conceptos y directivas para la utilización de ayudas gráficas (diagrama de Smith electrónico, RF-Chart) para diseñar sistemas de acople de impedancias en líneas de transmisión.

REFERENCIAS:

- ☒ Rf-Chart. Reference manual. (Link para obtener el programa en la web: <http://geocities.com/fzamora.rm/lintrans/page2.html>).
- ☒ www.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/index.html .

===== O =====

PARA QUÉ ACOPLAR?

Acoplar la impedancia de una red a la impedancia de una línea de transmisión tiene dos ventajas principales. Primero, toda la potencia incidente es entregada a la red. Segundo, el generador es usualmente diseñado para trabajar con una impedancia cercana a las impedancias de las líneas de transmisión. Si se hace de esta manera, buscando un mejor comportamiento, la impedancia de carga no tiene parte reactiva la cual podría desviar la frecuencia del generador, y el VSWR de la línea sería unitario o cercano a la unidad, haciendo irrelevante la longitud de la línea (excepto por las pérdidas) y la línea que conecta el generador a la carga no sería resonante.

ACOPLE CON STUB SIMPLE

Si se mira el diagrama de Smith (DS) se encontrará un círculo de impedancia real constante $r = 1$, el cual va a través del punto de circuito abierto y el centro del diagrama. Si se ubica una impedancia arbitraria en el DS y se sigue una línea de radio constante hacia el generador, se debe cortar el círculo $r = 1$ en alguna parte. Esta transformación de radio constante representa movimiento a lo largo de la línea de transmisión LT hacia el generador. Un circuito completo en el DS representa un trayecto de media longitud de onda hacia el generador. En este punto de intersección la impedancia de carga arbitrariamente generalizada $r + jx$ se ha transformado a $1 + jx'$, de

tal manera que por lo menos la parte real de la impedancia es igual a la impedancia característica de la línea. Nótese que x' es diferente de x en general.

En este punto se puede "cortar" la línea y acoplar una reactancia pura $-jx'$. La impedancia total mirando hacia la suma de la impedancia de la línea y $-jx'$ es entonces $1 + jx' - jx = 1$, y la línea está ahora acoplada. En la Figura 1 se aprecia un ejemplo realizado con el programa RF-Chart. Se recomienda mirar el manual de referencia del programa y seguir el tutor paso a paso con el fin de familiarizarse con su operación.

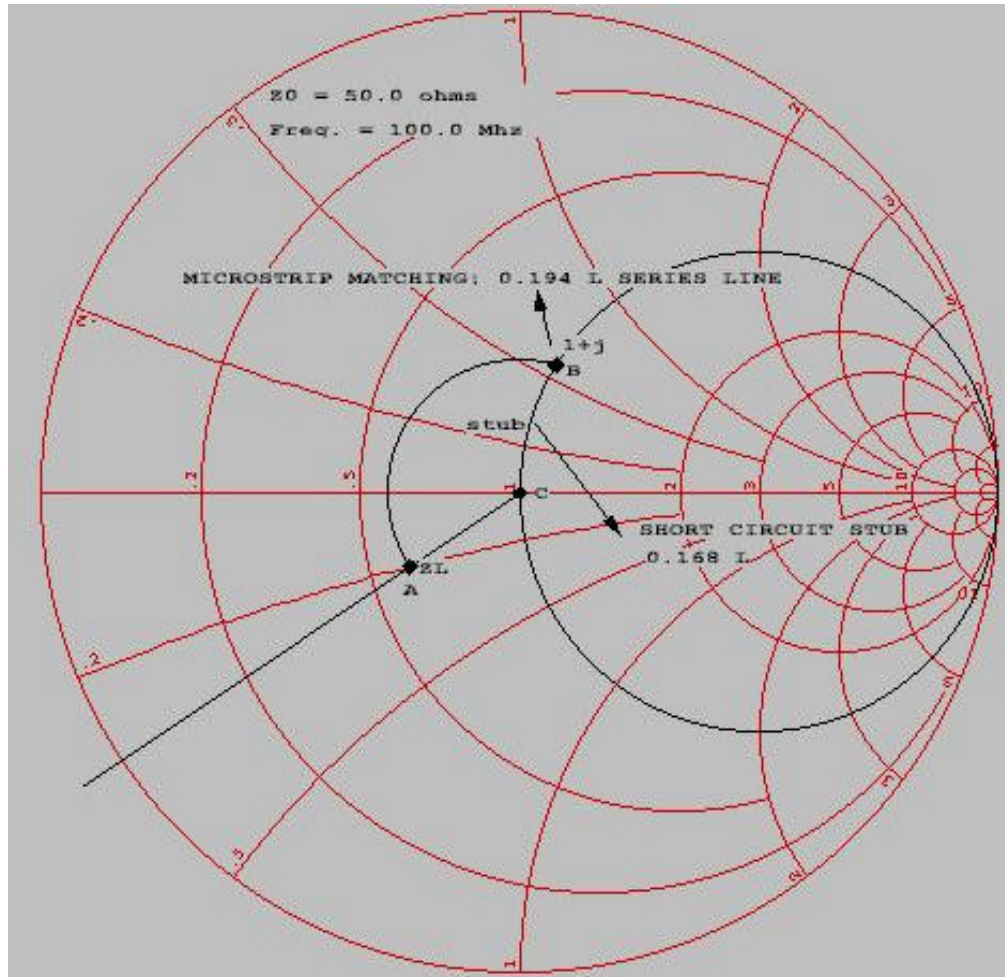


Figura 1. Acople con stub¹ simple serie en RF-CHART

Cabe anotar aquí que también es posible introducir entre la carga y la línea de transmisión una segunda línea con impedancia característica y longitud especialmente diseñadas para lograr el doble acople: La línea original apreciará una impedancia igual a Z_0 y la carga Z_L verá una impedancia hacia el generador (a través de la nueva línea) igual a su conjugado complejo Z_L^* . Desafortunadamente este caso no constituye sino un buen ejercicio de análisis y diseño, pues en la práctica no sería siempre viable construir una línea con impedancia característica no normalizada y de longitud arbitraria para cada caso particular (Ver problema 10.2.5*, Electromagnetismo, John D. Kraus, 1984).

¹ STUB, que traduce fragmento, trozo o pedazo, es una sección de LT de longitud ajustable, terminada en corto circuito o circuito abierto según necesidades. Generalmente se conecta en paralelo, por lo que los cálculos sobre el DS se deben hacer sobre puntos de admitancia y no de impedancia.

Caso similar se presenta si Z_L es real pero diferente a Z_0 , y Z_s es también real (como es el caso típico). En este caso el acople se hace introduciendo una línea especial de impedancia característica igual a la media geométrica de Z_s y Z_L , si la longitud del acople es igual a 0.25 de longitud de onda (en la línea introducida). Este caso del acople con transformador de un cuarto de longitud de onda ($\lambda/4$) se puede implementar más fácilmente con líneas de conductores paralelos, dieléctrico aire y separación ajustable con el fin de obtener una impedancia característica variable, a condición de que los acoples a la carga y la LT principal no introduzcan pérdidas apreciables, pues ello alteraría los valores de VSWR en el sistema.

POR QUÉ CON STUBS ?

Los stubs son longitudes de LT en corto circuito o circuito abierto que pretenden producir reactancias puras en el punto en que se conectan, para la frecuencia de línea de interés. Cualquier valor de reactancia puede hacerse, con la longitud del stub variando entre cero y media longitud de onda.

Obsérvese en el DS y encuéntrese el círculo más externo ($r = 0$) donde el módulo del coeficiente de reflexión es uno. Sobre este círculo se encuentran los puntos de circuito ABIERTO y CORTO circuito y todos los valores de reactancia positiva y negativa con valores de resistencia 0 en cualquier parte. Para generar una reactancia específica, se empieza en corto circuito (o tal vez circuito abierto) y se sigue alrededor hacia el generador hasta que se obtiene el valor de la reactancia (normalizada) deseada. Córtese el stub de longitud igual a este valor de longitud de onda (para la frecuencia de interés en la línea).

Es importante tratar de mantener los stubs lo más cortos posibles, si se requieren anchos de banda mayores. Cada vez que se adiciona media longitud de onda al stub la reactancia del stub vuelve al mismo valor original (recuérdese el principio del transformador de media longitud de onda), por lo que es una buena práctica de diseño mantener los valores de stub entre 0 y 0.5 longitudes de onda. Sin embargo ello podría requerir un stub imprácticamente corto, por lo que se puede hacer un stub ligeramente por encima de 0.5 longitudes de onda.

STUBS EN CORTO O ABIERTOS?

Si es posible elegir usar stubs de corto circuito o de circuito abierto a voluntad, siempre se puede mantener la longitud total del stub en el rango entre 0.0 y 0.25 longitudes de onda. Una longitud de media longitud de onda equivale a un desplazamiento de media carta de Smith y transforma un corto circuito en circuito abierto, y viceversa. En microcintas es usualmente más fácil implementar stubs de circuito abierto, por razones de construcción. En cable coaxial o paralelo un corto circuito presenta menos radiación desde los límites: es muy difícil obtener un circuito abierto perfecto no radiante debido a que siempre se presentarán efectos de borde en la línea.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Se debe conocer la impedancia de carga Z_L y la impedancia característica Z_0 de la LT. Se calcula la impedancia normalizada $z (= Z_L/Z_0)$, aunque en el programa RF-Chart no

es necesario, pues el programa acepta los valores de las impedancias y realiza sus propios cálculos internamente para trazar el punto z en cuestión. El valor de Z_L puede leerse en la parte superior derecha de la pantalla del programa (así como también el coeficiente de reflexión p en coordenadas cartesianas y polares, la admitancia Y correspondiente a Z_L , los puntos Q de relación XL/RL constante y el valor de $VSWR$). Para acceder a estos puntos en el menú "Functions" seleccione "Point Type- Plot" (remítase al manual de referencia del programa). Se conoce la frecuencia y el factor de velocidad de la línea, por lo que se debe calcular la longitud de onda en metros, centímetros o milímetros. Se sigue el círculo de radio constante ($VSWR$) en el DS hacia el generador hasta que se intercepte el círculo $r = 1$ (también conocido como $1 + j$). Se mide el número de longitudes de onda a lo largo del perímetro de DS entre el punto z originalmente localizado y el punto de intersección con $r = 1$. Esto indica que tan lejos desde la carga se debe colocar el stub.

Se lee de la intersección con $r = 1$ el valor de la reactancia x' . Comenzando desde un corto (o abierto) se sigue el círculo $r = 0$ alrededor del exterior del DS hasta llegar al punto de reactancia $-x'$. Se mide el número de longitudes de onda que este representa desde corto circuito o circuito abierto y hacia el generador. Se corta el stub de esta longitud.

El stub se coloca en serie con uno de los conductores de la línea de transmisión. En coaxial esto puede ser difícil de hacer técnicamente, por lo que un recurso frecuente es colocar los stubs en paralelo con la línea de transmisión. Es por lo tanto más fácil trabajar con admitancias. Nótese que el DS puede usarse como una carta de admitancias meramente rotándola 180 grados. La resistencia normalizada se torna conductancia normalizada; la reactancia normalizada se transforma en susceptancia normalizada. Las admitancias se suman en paralelo; el punto de corto circuito tiene admitancia infinita y el circuito abierto admitancia cero. El procedimiento de diseño es igual que para los stubs serie.

ACOPLE CON SINTONIZADOR DE DOBLE STUB.

Suponga que la impedancia de carga cambia. Ajustar un sintonizador de stub simple es muy difícil. Se tendría que remover el stub, reconectar la línea donde fue interrumpida y calcular la nueva longitud del stub y su punto de conexión.

Se pueden utilizar dos stubs permanentemente conectados a la línea en puntos fijos y sintonizarlos alterando sus longitudes. Se deben acoplar dos valores (r y x) y se tienen dos variables: la longitud de cada stub.

Como antes, el lado del generador del stub tiene reactancia $-jx'$ y se conecta a un punto donde la impedancia de línea, incluyendo el efecto del otro stub en su punto de localización fijo, es $1 + jx'$. Transformando el círculo unitario $r = 1$ hacia la carga hasta alcanzar el stub del lado de la carga, el círculo $r = 1$ se transforma en otro círculo, llamado por ejemplo "B", que toca el borde del DS y también su centro. Esta rotación del círculo $1 + j$ se hace en el RF-Chart indicando la fracción de longitudes de onda a rotarlo hacia la carga mediante la opción "Conj. Match Circle" del menú "Functions".

La impedancia de carga, cuando se transforma hacia el generador en el punto del stub, se generalizará como una impedancia Z_L' diferente de Z_L . El efecto del stub del lado

de la carga es sumar una reactancia x'' a ZL' para que el valor $ZL' + j x''$ caiga dentro del círculo "B" definido anteriormente. Se selecciona la longitud del stub para hacer que x'' tenga el valor requerido para que esto pase. Si se escribe $ZL' = r' + jx'$ entonces el efecto de sumar el stub es mover la reactancia $j(x' + x'')$ a lo largo de la curva constante r' dependiendo del valor de x'' . En la Figura 2 se puede apreciar un ejemplo de sintonizador de doble stub (página 65 del manual del programa) con el RF-Chart.

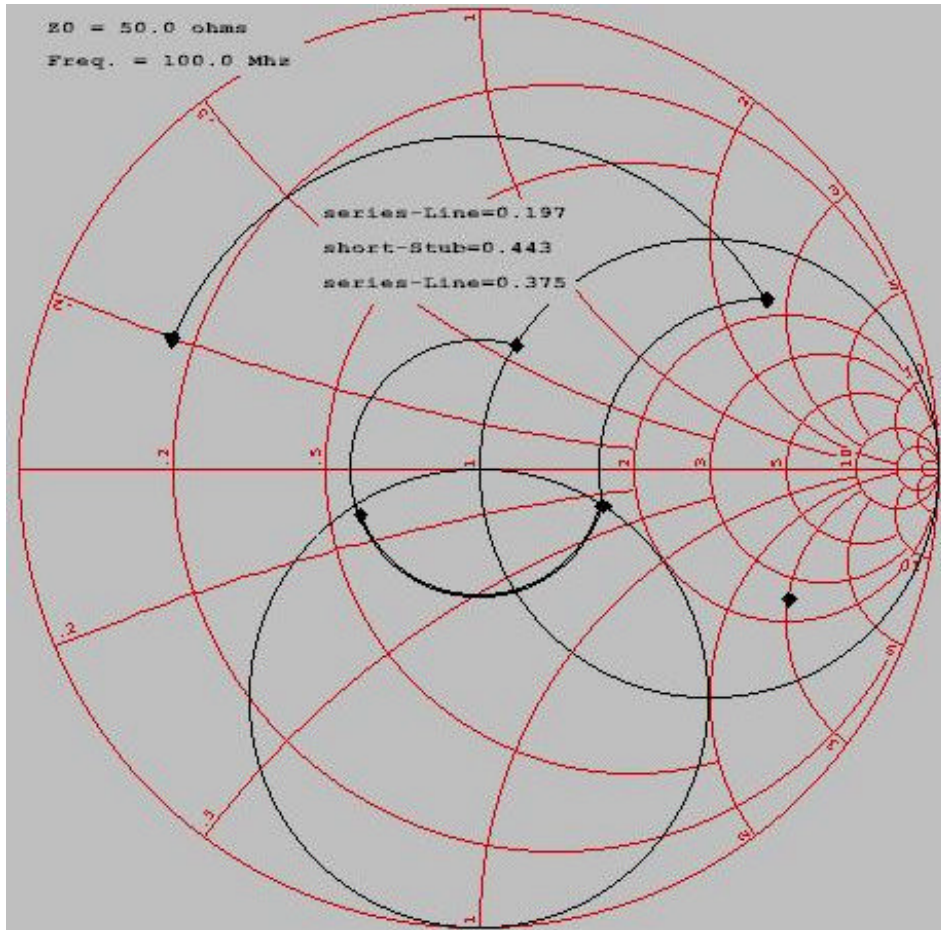


Figura 2. Sintonizador de doble stub

SINTONIZADORES DE STUB TRIPE Y E-H.

Es apenas posible que la curva r' no intersecte al círculo "B", en cuyo caso un acople de doble stub no es posible para este valor de la impedancia de carga y posiciones de stub. Entonces se emplean sintonizadores generalizados ajustables con tres stubs, que están distanciados a intervalos diferentes. Este dispositivo se denomina un sintonizador de triple stub. Cortos deslizables son fácilmente ubicables en coaxial o guías de onda.

Sólo en guías de onda, existe un tipo especial de sintonizador llamado sintonizador E-H. Este tiene brazos laterales en corto y abiertos que consisten de cortos deslizantes ubicados en el mismo punto a lo largo de la guía. No existe equivalente en una línea de transmisión de dos conductores por razones geométricas. Un sintonizador E-H puede siempre acoplar cualquier impedancia de carga.

COMENTARIOS

El acople con stubs es únicamente deseable para anchos de banda fraccionales pequeños. Para mayores anchos de banda se puede usar un transformador de cuarto de longitud de onda multiseccional o abocinados (tapered transformers). El acoplamiento de impedancias puede realizarse usando el DS para cálculos y diseños y componentes discretos en lugar de secciones de LTs. Es posible causar reflexiones indeseadas usando acoplamientos de stub incorrectos, por lo que deben tomarse especiales precauciones al aplicar stubs en altas potencias (por ejemplo, transmisores). Siempre es aconsejable medir el acoplamiento antes de aplicar potencia de entrada significativa. En situaciones de acoples de antenas el desacople significativo puede provenir de alteraciones en la región del campo cercano de la antena con el tiempo. Por lo que si una nueva antena se agrega al sistema en un mástil existente, siempre es aconsejable verificar los acoples de las antenas pre-existentes.

Existen dificultades prácticas en longitudes de onda milimétricas, por ejemplo en microcintas por encima de 20 GHz. Aquí la precisión del ajuste de las longitudes de onda de los stubs necesita ser de +/- 0.01 de longitud de onda para un acople de buena calidad. En longitudes de onda de 5 mm esta precisión equivale a +/- 50 micras. También hay dificultades prácticas con los valores altos de gamma (magnitud del coeficiente de reflexión de tensión). Aquí el propósito de los stubs es generar una reflexión igual y opuesta para cancelar la reflexión de la carga cercana completamente desacoplada. Claramente, para conseguir una cancelación efectiva, los stubs deben ser precisamente seleccionados y construidos, y los efectos de campos oscilantes hasta el punto de que pueden predominar en el diseño. Un cálculo con la carta de Smith (DS) es de singular efectividad en estos casos.

El RF-Chart y el Acoplador de impedancias de Motorola (mimp.zip o mimp.exe, <http://mot-sps.com/rf/designtds/software.html>) son programas interesantes para visualizar trazados de parámetros S de sistemas y dispositivos amplificadores discretos, y para realizar cálculos de acoples de impedancias.

===== O =====