



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 270 967**

51 Int. Cl.:
H04B 3/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01400832 .0**

86 Fecha de presentación : **02.04.2001**

87 Número de publicación de la solicitud: **1248383**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **09.10.2002**

54 Título: **Método y aparato para la identificación de una red de acceso a través de mediciones de 1-puerto.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.04.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.04.2007

73 Titular/es: **ALCATEL**
54, rue La Boétie
75008 Paris, FR

72 Inventor/es: **Bostoën, Tom;**
Pollet, Thierry;
Boets, Patrick Jan Maria;
Zekri, Mohammed y
Van Biesen, Leonard Pierre

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 270 967 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 270 967 T3

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para la identificación de una red de acceso a través de mediciones de 1-puerto.

5 La presente invención se refiere a métodos de simulación para redes de telecomunicaciones y a las propias redes de telecomunicaciones que tienen un receptor y un transmisor conectados por alguna forma de canal de comunicaciones. La presente invención es especialmente útil para la predicción de parámetros de red tal como una capacidad de la red y, en particular, redes xDSL.

10 Antecedentes técnicos

El acrónimo xDSL significa la familia de tecnologías DSL (Digital Subscriber Line = Línea Digital de Abonado) que permiten acceso de alta velocidad a Internet y a servicios multimedia por el bucle local (de abonado), que conecta el local de cliente (CP: customer premises) a la central telefónica pública (CO: central office), que es por cables de pares trenzados sencillos. Un transceptor xDSL en la central telefónica pública comunica con un transceptor xDSL en el local de cliente por el bucle local.

20 Durante décadas, el bucle local, que es una línea de transmisión compuesta por dos hilos de cobre trenzados, también denominado par trenzado sin apantallar, ha proporcionado al cliente acceso al Servicio Telefónico Antiguo Sencillo (POTS: Plain Old Telephony Service). La señal POTS, transmitida por el bucle local, es analógica y está contenida en la banda de frecuencias hasta 4 kHz que corresponde al contenido espectral de la voz.

xDSL aprovecha la banda de frecuencias por encima de 4 kHz hasta varios MHz, que no es usada por POTS. Sin embargo, como los bucles locales heredados han sido diseñados para transmisión de banda vocal, no hay garantías sobre la calidad del bucle local con respecto a la transmisión en esta banda de frecuencias superiores. Por consiguiente, es preferible si cada bucle está calificado para xDSL.

La calidad de un bucle es expresada por su capacidad teórica de canal que es equivalente al límite superior de la velocidad obtenible de bits. La capacidad depende de la relación señal/ruido (S/R) en función de la frecuencia en el receptor en el local de cliente, la central telefónica pública respectivamente, para la transmisión corriente abajo (desde la central telefónica pública al local de cliente), la transmisión corriente arriba respectivamente (desde el local de cliente a la central telefónica pública). La relación señal/ruido en el receptor en el local de cliente, la central telefónica pública respectivamente, es determinada en función de la frecuencia por la función de transferencia del bucle entre la central telefónica pública y el local de cliente y la densidad espectral de potencia de ruido en el local de cliente, la central telefónica pública respectivamente, dada la densidad espectral de potencia de ruido de la señal transmitida en la central telefónica pública, el local de cliente respectivamente.

$$C = \int_0^W \log_2 \left(1 + \frac{P(f)}{N(f)} \right) df \quad (1)$$

$$P(f) = |H(f)|^2 S(f) \quad (2)$$

45 En general, el bucle local consiste en una red de líneas de transmisión. Cada línea en la red es un par trenzado sin apantallar caracterizado por su longitud y su tipo. El tipo de línea especifica las dimensiones geométricas en corte transversal tal como el diámetro de hilo (también denominado calibre de hilo) y las constantes físicas de materiales tal como la constante dieléctrica (permitividad eléctrica) del dieléctrico que separa los dos hilos de cobre. Los diámetros de hilo más usados son 0,4 mm, 0,5 mm y 0,6 mm. El polietileno es el aislante más frecuente pero también son usados otros materiales tales como papel y poli(cloruro de vinilo) (PVC).

La topología de red del bucle local está limitada a una estructura en árbol. La topología más sencilla es una línea única. La magnitud de la función de transferencia refleja la atenuación de la línea que empeora con la frecuencia y la longitud de línea crecientes. Otra topología que existe para bucles largos en una serie de dos o más líneas con diámetro creciente de hilo desde la central telefónica pública al local de cliente. Para esta topología, son causadas reflexiones por el cambio del diámetro de hilo en los empalmes que conectan dos líneas. Una topología que también es encontrada frecuentemente, especialmente en los EE.UU., es un bucle con una, dos o más tomas en derivación. Una toma en derivación es una línea de extremo abierto empalmada a la línea principal. Para esta topología, aparecen reflexiones en el empalme que conecta la toma en derivación al bucle y en el extremo abierto de la toma en derivación. 60 Las reflexiones tienen una influencia negativa en la función de transferencia porque interfieren con la señal que se propaga a lo largo del trayecto directo. Para las frecuencias para las que la interferencia es destructiva, la magnitud de la función de transferencia se reduce. Tales reducciones aparecen raramente en la banda vocal porque las tomas en derivación no son usualmente demasiado largas.

65 Para mejorar la transmisión de banda vocal para bucles muy largos, una práctica común ha sido instalar bobinas de carga, que son inductores de 88 mH típicamente, insertadas en serie en el bucle. Típicamente, la primera bobina de carga está a 900 m de la central telefónica pública y Las bobinas de carga subsiguientes están separadas 1.800 m entre

ES 2 270 967 T3

sí. Estas bobinas de carga actúan como filtros de paso bajo con frecuencia de corte de 4 kHz, lo que tiene un efecto tan malo sobre la función de transferencia por encima de 4 kHz que xDSL no puede funcionar.

5 Como los pares trenzados que constituyen el bucle local no están apantallados, ondas electromagnéticas externas pueden acoplarse al bucle y propagarse hacia la central telefónica pública y el local de cliente, causando ruido en el receptor. El acoplamiento electromagnético es reducido por el trenzado de los dos hilos porque los segmentos adyacentes del par trenzado experimentan ondas electromagnéticas con polaridad opuesta. Además, el trazado mejora el equilibrio de la línea. Una línea está equilibrada cuando los dos conductores tienen una impedancia igual respecto a tierra. El equilibrado de la línea impide que una señal en modo común se transforme en una señal en modo diferencial. 10 En el caso de una señal en modo común, los dos hilos transportan corrientes eléctricas iguales y el trayecto de retorno de la corriente es la tierra. Para una señal en modo diferencial, los dos hilos transportan corrientes opuestas (corrientes desfasadas). Ondas electromagnéticas pueden acoplarse a la línea debido al trenzado imperfecto y la señal en modo común que causan puede transformarse en una señal en modo diferencial debido al equilibrado imperfecto que está correlacionado con el trenzado. El equilibrio disminuye con la frecuencia creciente.

15 El ruido está dividido en dos tipos diferentes según el origen de las ondas electromagnéticas externas que se acoplan al bucle. El primer tipo de ruido es la diafonía que es el acoplamiento electromagnético entre pares trenzados en el mismo cable. Los cables que salen de la central telefónica pública contienen miles de pares trenzados. Cuando más cerca del local del cliente, hay menos pares presentes en un cable. Se distingue entre paradiafonía y telediafonía. Los transmisores en la central telefónica pública, el local de cliente respectivamente, son la fuente de paradiafonía para los receptores de extremo próximo en la central telefónica pública, el local de cliente respectivamente, y son la fuente de telediafonía para los receptores de extremo lejano en el local de cliente, la central telefónica pública respectivamente. En general, la diafonía empeora con la frecuencia creciente.

25 Un segundo tipo de ruido es la interferencia de radiofrecuencia que es causada por las ondas de radio que se acoplan al bucle local, que actúa como una antena, especialmente si hay líneas aéreas. Hay dos fuentes principales de ondas de radio en la banda de frecuencias de xDSL, a saber, radio modulada en amplitud (AM) y radio para aficionados.

30 Por tanto, el bucle local tiene varias deficiencias para transmisión en la banda de frecuencias de xDSL, que no están presentes en la transmisión de banda vocal. Los sistemas existentes de ensayo de líneas metálicas para POTS no son capaces de calificar precisamente los bucles para xDSL. Los operadores de telecomunicación necesitan una herramienta de calificación fiable para el despliegue de xDSL.

35 Por ejemplo, si un cliente solicita un cierto servicio xDSL, el operador tiene que ser capaz de estimar la velocidad obtenible de bits para el bucle que conecta el local de cliente de ese cliente con la central telefónica pública, especialmente cuando ha de ser garantizada una calidad de servicio especificada precisamente en términos de velocidad de bits. Si la velocidad obtenible de bits es subestimada, existe el riesgo de negocio perdido. Si la velocidad de bits es sobreestimada, el operador de telecomunicación se arriesga a terminar con un cliente insatisfecho y una instalación inútil así como costes de localización de averías. Como los riesgos últimos son los más importantes, el operador de telecomunicación restará un margen de seguridad de la velocidad calculada de bits. De este modo, el riesgo de perder clientes y tener costes no reembolsados es reducido a costa de incrementar el riesgo de negocio perdido. Cuanto más exacta es la estimación de la velocidad de bits, menor puede ser el margen de seguridad y menor el negocio perdido. Por tanto, existe una necesidad de una estimación de la velocidad de bits que debería ser lo más exacta posible pero sin incurrir en grandes costes adicionales.

45 Actualmente hay sistemas disponibles en el mercado para ensayo de bucles xDSL, pero requieren mediciones en la central telefónica pública y en el local de cliente. Así que un técnico tiene que visitar el local de cliente así como la central telefónica pública. Además, la interpretación de los resultados de mediciones, que requiere muchos conocimientos técnicos, es dejada principalmente al técnico. Esto hace que la calificación de bucles precise mucha mano de obra y, por tanto, sea demasiado cara en general. Los operadores de telecomunicación no están ansiosos en usar este tipo de esquema de calificación en una gran escala. El modo en el que la calificación de bucles es manejada realmente depende del operador. Si hay una base de datos disponible que contiene información sobre los bucles en la red de acceso, este conocimiento puede ser usado para la calificación de bucles. Si la topología y las longitudes y los tipos de las secciones individuales de líneas de los bucles están disponibles, entonces las funciones de transferencia de los bucles pueden ser computadas. Para determinar la capacidad teórica de canal, todavía falta la densidad espectral de potencia de ruido en la central telefónica pública y en el local de cliente pero la función de transferencia ya es muy informativa. Sin embargo, no todos los operadores de telecomunicaciones mantienen tal base de datos. Además, si la base de datos existe, contiene frecuentemente muchos errores porque es difícil mantenerla actualizada. Sin una base de datos, un operador de telecomunicaciones tiene que arreglárselas con reglas empíricas. Por ejemplo, la distancia desde el local de cliente a la central telefónica pública puede ser usada como un criterio muy grosero para calificación de bucles. La conclusión es que los operadores de telecomunicaciones necesitan un sistema completamente automatizado de calificación de bucles xDSL que realice mediciones en el extremo de central telefónica pública de un bucle y pueda interpretar los resultados para estimar la velocidad obtenible de bits del bucle lo más exactamente posible. Cuando la calificación de bucles ha sido finalizada, el sistema puede ser usado como un sistema de ensayo de bucles xDSL con fines de mantenimiento.

65 Para determinar la velocidad obtenible de bits de un bucle, la función de transferencia del bucle y la densidad espectral de potencia de ruido en el local de cliente, la central telefónica pública respectivamente, son necesarias para

la transmisión corriente abajo, corriente arriba respectivamente. Estas cantidades han de ser medidas desde el extremo de central telefónica pública del bucle. Esto es trivial para la densidad espectral de potencia de ruido en la central telefónica pública. La función de transferencia de bucle y la densidad espectral de potencia de ruido en el local de cliente no pueden ser medidas directamente en la central telefónica pública.

5 La cantidad que es directamente medible en la central telefónica pública, que es denominado puerto 1, es el parámetro S_{11} de dispersión que es la relación de la onda reflejada a la onda incidente en el puerto 1. La onda reflejada es denominada también un reflectograma y el procedimiento de medición es denominado reflectometría, más específicamente reflectometría en el dominio de tiempo si las ondas son medidas en el dominio de tiempo. Como el bucle es considerado como de un 1-puerto, el parámetro S_{11} de dispersión es igual al factor de reflexión y el bucle es caracterizado completamente. Sin embargo, como el bucle está diseñado para transmisión entre una central telefónica pública y un local de cliente, tiene que se considerado como de 2-puertos con la central telefónica pública como puerto 1 y el local de cliente como puerto 2. Entonces, el bucle es identificado completamente por sus cuatro parámetros de dispersión S_{11} , S_{21} , S_{12} y S_{22} . La función de transferencia está relacionada con el parámetro S_{21} de dispersión. 10 La reflectometría en el dominio de tiempo es una técnica de medición bien conocida que ha sido aplicada desde hace unas pocas décadas en dominios diferentes tal como la localización de averías en cables. Desde el principio del despliegue de xDSL, la reflectometría en el dominio de tiempo ha sido considerada como una tecnología candidata para resolver el problema de calificación de bucles. Ahora hay sistemas de ensayo de bucles xDSL disponibles con un medidor integrado de reflectometría en el dominio de tiempo pero la interpretación del reflectograma medido es dejada al técnico. La calificación de bucles realizada con estos sistemas pretende la detección, localización y eliminación de deficiencias de bucles locales tales como tomas en derivación y bobinas de carga. Por ejemplo, un sistema de ensayo de bucles basado en reflectometría en extremo único es descrito en la Solicitud de Patente Internacional WO 01/01158 titulada "Método y sistema de medición en extremo único para determinar la constitución de bucles de abonados". Como es ilustrado por la Figura 7A de esta solicitud de patente, el sistema descrito pretende la detección de deficiencias de bucles tales como bobinas de carga, presencia de ruido, ecos, etc., pero no se efectúa el modelado paramétrico automatizado de bucles. 15 20 25

Recientemente, se han hecho intentos de procesar el reflectograma para estimar la capacidad teórica de canal del bucle. Este procesamiento se efectúa por medio de una red neural artificial (ANN: artificial neural network) que transforma un número de entradas en un número de salidas pro medio de algunas operaciones matemáticas elementales tales como suma o multiplicación con funciones escalares y/o no lineales. Estas operaciones están estructuradas de un modo que se parece a una red neural real. La estructura específica y los valores de las funciones escalares multiplicadoras, denominadas factores de ponderación, determinan el comportamiento de entrada/salida de la red neural artificial. 30 35

Algunas características del reflectograma tales como la posición y la altura de los picos, correspondientes a los impulsos reflejados, son usadas como entradas y algunos parámetros interesantes del bucle son usados como salidas tales como la atenuación del bucle en un número de frecuencias.

40 Hay un número de desventajas relacionadas con el uso de una red neural artificial. La red neural artificial tiene que ser entrenada, o sea, su estructura ha de ser definida y los factores de ponderación han de ser sintonizados, usando un gran número de conjuntos de entradas y salidas correspondientes. El procedimiento de entrenamiento tiene que incluir todas las combinaciones de tipos de bucles y ruidos presentes en la red, La extrapolación con respecto al conjunto de entrenamiento no es fiable. Por ejemplo, si el entrenamiento ha sido efectuado para bucles de hasta 2 km, entonces la red neural proporcionará una salida imprevisible para un bucle de 3 km. Solo la interpolación es permitida pero la validación es necesaria. Debido a la complejidad creciente de la red neural artificial con un número creciente de argumentos de entrada y salida, el número de entradas y salidas de la red neural artificial ha que ser limitado. Esto significa que no es usada toda la información presente en el reflectograma y esto tiene una influencia negativa sobre la precisión. Además, solo pueden ser predichos unos pocos parámetros relacionados con el bucle. Una red neural artificial es un modelo de caja negra. No permite la inclusión de algún conocimiento previo sobre el bucle que está disponible, por ejemplo, el hecho de que un bucle consiste en una red de líneas de transmisión. Esto reduce la precisión. 45 50

Sumario de la invención

55 Un aspecto de la presente invención puede ser descrito como un método y aparato para la determinación de un modelo de un sistema de 2-puertos basada en una medición de 1-puerto y una optimización de un modelo paramétrico de 1-puerto usando la medición. Los parámetros optimizados son usados en un modelo paramétrico de 2-puertos del sistema para determinar características útiles del sistema tal como la capacidad de transmisión entre los dos puertos.

60 La presente invención también proporciona un método y aparato para determinar la capacidad prevista de una línea de transmisión usando solo la medición del parámetro S_{11} de dispersión para la que la línea de transmisión es considerada como de 1-puerto, y la medición de la densidad espectral de potencia de ruido en un extremo de la línea de transmisión, por ejemplo en una central telefónica pública. La estimación de capacidad solo es una aplicación posible de la presente invención. 65

Otro aspecto de la presente invención es la estimación de la función de transferencia de extremo a extremo de al menos una línea de transmisión basada solamente en mediciones en una posición de terminación de ella. No es posible obtener la función de transferencia directamente a partir de tales mediciones en un extremo único. Sin em-

ES 2 270 967 T3

bargo, las mediciones en extremo del bucle permiten la caracterización del bucle completamente. El resultado de la caracterización es un modelo de la línea de transmisión que puede ser usado para predecir la función de transferencia.

5 Para caracterizar la línea de transmisión, una señal de excitación es generada en una posición de terminación de ella, por ejemplo en un extremo de central telefónica pública de un bucle local, y la señal de respuesta es medida en la misma posición. La señal de excitación corresponde a la onda incidente y la señal de respuesta a la onda reflejada. La última también es denominada reflectograma. Este procedimiento de medición es denominado reflectometría (reflectometría en el dominio de tiempo si las señales son medidas en el dominio de tiempo). La relación de la onda reflejada a la onda incidente es definida como el parámetro S_{11} de dispersión (también denominado factor de reflexión en el caso de 10 1-puerto). Así que el parámetro S_{11} de dispersión de una cierta línea de transmisión describe como esa línea responde en términos de una onda reflejada si es excitada con una cierta onda incidente. Es notable que sea posible modelar completamente tal línea de transmisión, incluyendo su función de transferencia, midiendo solo el parámetro S_{11} de dispersión. El modelo completo de la línea considerada como una de 2-puertos consiste en los cuatro parámetros de dispersión S_{11} , S_{21} , S_{12} y S_{22} . La función de transferencia está relacionada con el parámetro S_{21} de dispersión.

15 En un aspecto, la presente invención utiliza un modelo paramétrico de 1-puerto de al menos una línea de transmisión además de la medición del parámetro S_{11} de dispersión para determinar un modelo paramétrico de 2-puertos de al menos una línea de transmisión. Un bucle de transmisión, por ejemplo un bucle local, consiste usualmente en una red de líneas de transmisión que conectan el local de cliente con la central telefónica pública. La topología de red está limitada a una estructura en árbol. Cada línea en la red está caracterizada por su longitud y tipo. El tipo de línea especifica las dimensiones geométricas en corte transversal y las constantes de materiales.

20 La presente invención puede proporcionar un método para modelar una representación de una red de al menos una línea de transmisión, comprendiendo dicho método los pasos de:

25 - generar y enviar por dicha al menos una línea de transmisión una señal de excitación desde un extremo de dicha al menos una línea de transmisión; y

30 - recibir en un extremo de dicha al menos una línea de transmisión un reflectograma y procesar posteriormente dicho reflectograma para formar un reflectograma en el dominio de frecuencia;

en el que dicho procesamiento posterior incluye los pasos de:

35 - generar un reflectograma modelado en el dominio de frecuencia usando un modelo paramétrico en el dominio de frecuencia de dicha al menos una línea de transmisión, que tiene parámetros adaptables;

- cuantificar la diferencia entre dicho reflectograma modelado en el dominio de frecuencia y dicho reflectograma medido en el dominio de frecuencia; y

40 - reducir la diferencia adaptando valores de parámetros de dicho reflectograma modelado en el dominio de frecuencia.

El método también puede comprender el paso de:

45 - transformar por Fourier dicho reflectograma medido en dicho reflectograma medido en el dominio de frecuencia.

La presente invención también puede proporcionar un método para modelar una representación de al menos una línea de transmisión, comprendiendo dicho método los pasos de:

50 - generar y enviar por dicha al menos una línea de transmisión una señal de excitación desde un extremo de dicha al menos una línea de transmisión; y

55 - recibir en un extremo de dicha al menos una línea de transmisión un reflectograma en el dominio de tiempo y procesar posteriormente el reflectograma;

en el que dicho procesamiento posterior incluye los pasos de:

60 - generar un reflectograma modelado en el dominio de tiempo usando un modelo paramétrico en el dominio de frecuencia de dicha al menos una línea de transmisión, que tiene parámetros adaptables;

- cuantificar la diferencia entre dicho reflectograma modelado en el dominio de tiempo y dicho reflectograma medido en el dominio de tiempo; y

65 - reducir la diferencia adaptando valores de parámetros de dicho modelo paramétrico en el dominio de frecuencia.

En los métodos anteriores, el paso de procesamiento posterior puede incluir estimar una función de transferencia de dicha al menos una línea de transmisión.

ES 2 270 967 T3

El paso de generar un reflectograma modelado en el dominio de tiempo en los métodos anteriores puede incluir:

- generar el modelo paramétrico en el dominio de frecuencia para dicha al menos una línea de transmisión;

5 - transformar dicho modelo paramétrico en el dominio de frecuencia en el reflectograma modelado en el dominio de frecuencia.

Los métodos anteriores pueden incluir un paso de reducir la diferencia que incluye:

10 - cuantificar dicha diferencia como una función de coste; y

- minimizar iterativamente dicha función de coste adaptando valores de parámetros de dicho modelo paramétrico en el dominio de frecuencia. La función de coste puede ser un estimador de probabilidad máxima o un estimador de Bayes.

15 La salida de cualquiera de los métodos anteriores puede ser al menos uno de:

- un conjunto de parámetros optimizados para el modelo que minimiza la diferencia

20 - una función de transferencia de al menos una línea de transmisión

- un reflectograma estimado basado en el modelo paramétrico optimizado

25 - una comparación entre un reflectograma optimizado y el reflectograma medido

- una capacidad estimada para la al menos una línea de transmisión

- una respuesta si/no o una probabilidad de que la al menos una línea de transmisión pueda soportar una capacidad superior o inferior a una capacidad objetivo predeterminada

30 - un mensaje de que la al menos una línea de transmisión no puede ser modelada dentro de una precisión predeterminada

- una longitud de la al menos una línea de transmisión que puede soportar una capacidad predeterminada.

35 En los métodos anteriores, la al menos una línea de transmisión puede ser un bucle local de una red de acceso.

La presente invención también puede proporcionar un sistema para modelar una representación de al menos una línea de transmisión, comprendiendo:

40 - medios para generar y enviar una señal de excitación por dicha al menos una línea de transmisión desde un extremo de ella; y

45 - medios para recibir un reflectograma en un extremo de dicha al menos una línea de transmisión y medios para procesar posteriormente el reflectograma a un reflectograma en el dominio de frecuencia,

en el que dichos medios para procesar posteriormente dicho reflectograma comprenden:

50 - medios para generar un reflectograma modelado en el dominio de frecuencia usando un modelo paramétrico en el dominio de frecuencia de dicha al menos una línea de transmisión, que tiene parámetros adaptables;

- medios para cuantificar la diferencia entre dicho reflectograma modelado en el dominio de frecuencia y dicho reflectograma medido en el dominio de frecuencia; y

55 - medios para reducir la diferencia adaptando valores de parámetros de dicho reflectograma modelado en el dominio de frecuencia.

La presente invención también puede proporcionar una sistema para modelar una representación de al menos una línea de transmisión, comprendiendo:

60 - medios para generar y enviar una señal de excitación por dicha al menos una línea de transmisión desde un extremo de dicha al menos una línea de transmisión; y

65 - recibir un reflectograma en el dominio de tiempo en un extremo de dicha al menos una línea de transmisión y procesar posteriormente el reflectograma;

ES 2 270 967 T3

en el que dichos medios para procesamiento posterior incluyen:

- medios para generar un reflectograma modelado en el dominio de tiempo usando un modelo paramétrico en el dominio de frecuencia de dicha al menos una línea de transmisión, que tiene parámetros adaptables;

5

- medios para cuantificar la diferencia entre dicho reflectograma modelado en el dominio de tiempo y dicho reflectograma medido en el dominio de tiempo; y

10

- medios para reducir la diferencia adaptando valores de parámetros de dicho modelo paramétrico en el dominio de frecuencia.

Los medios para generar un reflectograma modelado en el dominio de frecuencia pueden comprender:

15

- medios para generar el modelo paramétrico en el dominio de frecuencia para dicha al menos una línea de transmisión;

- medios para transformar dicho modelo paramétrico en el dominio de frecuencia en un reflectograma modelado en el dominio de frecuencia; y

20

- medios de transformación de Fourier para transformar dicho reflectograma medido en el dominio de tiempo en un reflectograma medido en el dominio de frecuencia.

En los sistemas anteriores, los medios de procesamiento pueden incluir medios para calcular una función de transferencia de dicha al menos una línea de transmisión.

25

En los sistemas anteriores, los medios para reducir la diferencia pueden incluir:

- medios para cuantificar dicha diferencia como una función de coste; y

30

- medios para minimizar iterativamente dicha función de coste adaptando valores de parámetros de dicho modelo paramétrico en el dominio de frecuencia.

Los sistemas anteriores pueden incluir medios para producir al menos uno de:

35

- un conjunto de parámetros optimizados para el modelo que minimiza la diferencia

- una función de transferencia de la al menos una línea de transmisión

40

- un reflectograma estimado basado en el modelo paramétrico optimizado

- una comparación entre un reflectograma optimizado y el reflectograma medido

- una capacidad estimada para la al menos una línea de transmisión.

45

- una respuesta si/no o una probabilidad de que la al menos una línea de transmisión pueda soportar una capacidad superior o inferior a una capacidad objetivo predeterminada

- un mensaje de que la al menos una línea de transmisión no puede ser modelada dentro de una precisión predeterminada

50

- una longitud de la al menos una línea de transmisión que puede soportar una capacidad predeterminada.

En los sistemas anteriores, la al menos una línea de transmisión puede ser un bucle local de una red de acceso.

55

Los sistemas anteriores para modelar pueden estar incluidos en un sistema de central telefónica pública de una red de telecomunicaciones.

La presente invención también incluye un soporte portador de datos que soporta uno o más segmentos de código legibles por ordenador para controlar un dispositivo de procesamiento para llevar a cabo cualquier método de acuerdo con la presente invención.

60

La presente invención también incluye un producto de programa de ordenador para ejecución de cualquiera de los métodos de acuerdo con la presente invención en un sistema de ordenador.

65

La presente invención también incluye un método para modelar una representación de red, comprendiendo dicho método:

ES 2 270 967 T3

transmitir una descripción de la red desde una posición próxima a un sistema computador remoto por vía de una red de telecomunicaciones,

ejecutar en el sistema computador remoto cualquiera de los métodos de la presente invención, y

transmitir a una posición próxima información relativa a la respuesta de la red a una señal de excitación.

La presente invención será descrita ahora con referencia a los dibujos siguientes.

10 Descripción breve de los dibujos

La Figura 1 muestra un modelo de línea de transmisión de un bucle único.

La Figura 2 muestra un modelo de línea de transmisión de un bucle con toma en derivación.

La Figura 3 muestra un modelo de línea de transmisión de un bucle de dos líneas en serie.

La Figura 4 muestra mediciones y valores estimados del parámetro S_{11} de dispersión en función de la frecuencia, usando realizaciones de la presente invención para una línea única.

La Figura 5 muestra mediciones y valores estimados de la función H de transferencia con respecto a la frecuencia, usando realizaciones de la presente invención para una línea única.

La Figura 6 muestra mediciones y valores estimados s del parámetro S_{11} de dispersión en función de la frecuencia, usando realizaciones de la presente invención para dos líneas en serie.

La Figura 7 muestra mediciones y valores estimados de la función H de transferencia con respecto a la frecuencia, usando realizaciones de la presente invención para dos líneas en serie.

La Figura 8 muestra mediciones y valores estimados del parámetro S_{11} de dispersión en función de la frecuencia, usando realizaciones de la presente invención para una línea con toma en derivación.

La Figura 9 muestra mediciones y valores estimados de la función H de transferencia con respecto a la frecuencia, usando realizaciones de la presente invención para una línea con toma en derivación.

La Figura 10 es una representación esquemática de un dispositivo computador que puede ser usado con la presente invención.

La Figura 11 es una representación esquemática de un organigrama del método de una realización de la presente invención.

Descripción de las realizaciones detalladas

La presente invención será descrita con referencia a ciertas realizaciones y dibujos pero la presente invención no está limitada a ellos sino solo por las reivindicaciones. En lo siguiente, realizaciones de la presente invención serán descritas por un modelo paramétrico detallado para un número limitado de topologías de red pero esto no limita la aplicabilidad de la invención. La persona experta apreciará que la presente invención puede ser ampliada a otras topologías y a otros materiales una vez que los principios de la presente invención han sido comprendidos. Todas tales topologías adicionales están incluidas dentro del alcance de la presente invención. En la descripción también se proporciona un modelo de línea de transmisión de par trenzado. Sin embargo, la invención no está limitada a este modelo y no está limitada a cables de pares trenzados como líneas de transmisión. La aplicación de la presente invención no está limitada en este aspecto y puede ser usada para líneas simétricas o asimétricas, por ejemplo en el caso de cables coaxiales, fibras ópticas, etc., e incluso en el caso de una red general de 2-puertos.

Las referencias siguientes pueden ser halladas útiles para comprender la presente invención.

[1] "Identificación en el dominio de frecuencia de líneas de transmisión a partir de mediciones en el dominio de tiempo" de P. **Boets**, Tesis de Doctor en Filosofía (Ph-D.), Vrije Universiteit Brussel, Dept. ELEC, Pleinlaan 2, 1050 Bruselas, Junio de 1.997. Este documento es incorporado por referencia en su totalidad.

[2] "Sobre la identificación de cables para redes metálicas de acceso" de P. **Boets**, M. **Zekri**, I. Van **Biesen**, T. **Bostoen** y T. **Pollet**, en Memorias IMTC, 2.001, incorporado por referencia en su totalidad.

[3] "Ingeniería de microondas" de D.M. **Pozar**, segunda edición, Nueva York: John Wiley & Sons, 1.998. "Comprendiendo la tecnología de líneas digitales de abonados" de T. **Starr**, J.M **Cioffi** y P.J. **Silverman**.

De acuerdo con una realización de la presente invención, dada una topología de red especificada o supuesta, un modelo paramétrico de 1-puerto para el parámetro S_{11} de dispersión de la red es obtenido de los modelos para secciones

de líneas individuales de la red o basado en un modelo supuesto. En un modelo de parámetro S_{11} de dispersión, los parámetros de las líneas individuales aparecen como parámetros independientemente identificables. Entonces, es posible modelar el bucle completamente midiendo solo el parámetro S_{11} de dispersión. Los parámetros desconocidos han de ser estimados por una rutina de optimización adicional. Los parámetros optimizados son usados en un modelo de 2-puertos de la red para análisis adicional de la red.

Por consiguiente, cada línea en una red está caracterizada completamente por un modelo paramétrico que consiste en la impedancia característica y la función de transferencia de la línea en función de la frecuencia y en un número de parámetros desconocidos. Varios modelos de línea están disponibles. Un modelo basado en la teoría electromagnética es uno de los más útiles para la caracterización de línea. Este modelo está basado en los cuatro parámetros primarios de línea de transmisión, que son la resistencia, la inductancia, la conductancia y la capacidad en función de la frecuencia, y en un número de parámetros relacionados con las dimensiones geométricas en corte transversal y las constantes de materiales. Estos últimos parámetros son considerados desconocidos. En lo siguiente se supondrá que la línea de transmisión comprende cables de pares trenzados. Para otros tipos de cables, pueden seleccionarse modelos equivalentes. Para cable de par trenzado, el modelo electromagnético supone que el hilo para el bucle local comprende dos conductores cilíndricos con el mismo diámetro sumergidos en un dieléctrico homogéneo. Tiene en cuenta el efecto pelicular y el efecto de proximidad (hasta 2 términos en la solución de serie de Fourier). Contiene cinco parámetros independientemente identificables que están relacionados con las dimensiones geométricas en corte transversal y las constantes de materiales de los componentes de los cables de pares trenzados. Se considera que la constante dieléctrica (permitividad eléctrica) del dieléctrico es independiente de la frecuencia en este modelo y la conductancia es despreciada, que son aproximaciones buenas para el polietileno. Este modelo de línea será denominado VUB1.

La estimación de parámetros es una parte importante de la caracterización de un bucle de acuerdo con la presente invención. De acuerdo con una realización de la presente invención, la diferencia entre los valores medidos para un bucle y los valores modelados para el mismo bucle es reducida por selección/determinación apropiada de los parámetros desconocidos. Por ejemplo, puede ser introducida una función de coste que cuantifique la desviación entre los valores medidos (reflectograma) y el resultado de modelos el parámetro S_{11} de dispersión del bucle en función de los parámetros de modelo. Para hacer coincidir el modelo lo mejor posible con los valores medidos, la función de coste es minimizada en función de los parámetros de modelo. Los valores de los parámetros de modelo correspondientes a este mínimo son los valores estimados de los parámetros. El límite inferior de la varianza de los parámetros estimados puede ser dado por cualquier método adecuado, por ejemplo por el límite inferior Cramer-Rao. La función de coste también es denominada un estimador porque determina completamente la estimación de parámetros. Varios estimadores están disponibles. El estimador de probabilidad máxima es preferido porque es consistente, no polarizado asintóticamente, distribuido de modo asintóticamente normal y asintóticamente eficiente bajo ciertos supuestos de ruido. Además es robusto. Tiene tales propiedades buenas porque tiene en cuenta el ruido en la medición. Por supuesto, esto significa que este ruido ha de ser medido. La caracterización es realizada típicamente en el dominio de frecuencia y la medición en el dominio de tiempo, pero la presente invención no está limitada a ello. Las mediciones y la caracterización pueden ser realizadas en el dominio de tiempo o en el dominio de frecuencia.

El mínimo de la función de coste en función de los parámetros de modelo es hallado por medio de un algoritmo de optimización. Típicamente, este algoritmo de optimización será iterativo. Hay varias rutinas de optimización conocidas que pueden ser usadas. El método Levenberg-Marquardt (LM) es preferido. Combina los procedimientos Gauss-Newton y de descenso de gradiente. El método Gauss-Newton es muy rápido porque utiliza derivadas de segundo orden pero no siempre converge. Este problema de convergencia es resuelto en el algoritmo Levenberg-Marquardt por adición del método de descenso de gradiente. El algoritmo Levenberg-Marquardt solo busca un mínimo local. Para hallar el mínimo global, los valores iniciales de los parámetros de modelo son elegidos preferiblemente para estar suficientemente próximos a los valores exactos, que corresponden al mínimo global de la función de coste de modo que la optimización no resulte atrapada en un mínimo local. Como los parámetros estimados están disponibles para todas las líneas individuales, el bucle es completamente modelado y la función de transferencia estimada puede ser calculada.

De acuerdo con una realización de la presente invención, una optimización adecuada está basada en una medición de parámetro S_{11} de dispersión, una función de coste de estimador de probabilidad máxima y un algoritmo de optimización Levenberg-Marquardt. El modelo de parámetro S_{11} de dispersión depende de la topología de red y del modelo para las secciones de líneas individuales. Para cada topología de red y modelo de línea diferentes hay un modelo diferente de parámetro S_{11} de dispersión. Este modelo ha de ser calculado. Independientemente, parámetros identificables han de ser determinados. Las derivadas del modelo respecto a sus parámetros han de ser computadas porque son necesarias para el determinante jacobiano en el algoritmo de optimización Levenberg-Marquardt.

Esto ha sido ilustrado para tres topologías de bucle diferentes: una línea única, una serie de dos líneas y un bucle con una derivación, también denominado toma en derivación, pero la persona experta apreciará, después de haber comprendido la presente invención, que puede ser ampliada a otras topologías. Para todas estas topologías de bucle, se ha hecho la hipótesis de que el bucle está abierto en el extremo de local de cliente, lo que es una aproximación buena de un teléfono que está colgado. Para el bucle con una toma en derivación, una hipótesis adicional es que todas las líneas individuales son del mismo tipo. Estas tres topologías de bucle han sido elegidas para incluir todas las causas diferentes de reflexiones en un bucle: el desajuste entre la impedancia de generador y la impedancia característica de la línea conectada a ella, el desajuste entre la impedancia de carga y la impedancia característica de la línea conectada

a ella, el desajuste entre dos líneas con impedancias características diferentes conectadas entre sí, y el desajuste debido a la conexión de una derivación.

5 Cuando la topología de un bucle es desconocida, un método alternativo de acuerdo con una realización de la presente invención prueba cada una de una serie de topologías bien conocidas y efectúa una optimización de los parámetros desconocidos para cada topología por comparación con el reflectograma. La topología que parece proporcionar el ajuste óptimo con el reflectograma puede ser tomada entonces como la topología de ajuste óptimo para el cálculo de la capacidad de red.

10 Una metodología básica de acuerdo con la presente invención será descrita con referencia a la Figura 11. Primero, un modelo paramétrico 2 de 1-puerto, que tiene un número finito de coeficientes cuyos valores necesitan ser optimizados, es generado en el paso 1 para una red basado en una topología real o supuesta 3 para la red. Después, una medición 4 de 1-puerto es realizada en el paso 5 en la red a ser analizada. Por ejemplo, una medición del parámetro S_{11} de dispersión puede ser llevada a cabo pero la presente invención no está limitada a ella, la impedancia Z_{in} de entrada podría ser usada igualmente bien. Esta medición es usada para efectuar la optimización de parámetros del modelo 6 de 1-puerto de la red en el paso 7. Después, estos parámetros estimados 9 pueden ser incluidos dentro de un modelo paramétrico 10 de 2-puertos para la red de acceso basados en un modelo de línea de transmisión para cada segundo de línea para computar la función H de transferencia estimada en el paso 8. Con fines de validación, solo esta función de transferencia de extremo a extremo puede ser validada con la función de transferencia medida y la función de transferencia estimada directamente por medio de la medición de función de transferencia, sin embargo, esto es solo con fines de validación.

25 El modelo de 2-puertos de la red puede ser usado entonces con fines de análisis, por ejemplo para el cálculo de capacidad.

La presente invención no está limitada a redes de acceso de redes telefónicas, puede ser usado para cualquier medio usado para transmisión donde hay una estructura de transmisor-medio-receptor. Para identificar el medio, mediciones de 1 puerto en el lado de transmisor o receptor pueden ser efectuadas y estas ser usadas para optimizar un modelo paramétrico de 1-puerto para el medio. El modelo paramétrico tiene preferiblemente un conjunto limitado de parámetros. 30 Los parámetros del modelo de medio de transmisión son optimizados y después usados para determinar un modelo de 2-puertos para la red. Este modelo de 2-puertos puede ser usado para análisis de características de transmisión. El medio de transmisión podría ser uno cualquiera adecuado para un sistema de comunicaciones, por ejemplo una red de líneas de pares trenzados, líneas coaxiales, fibras ópticas o la interfaz con el aire de una red de telecomunicaciones móviles.

35 I. Modelos

De acuerdo con realizaciones de la presente invención, una línea de transmisión o una combinación o red de líneas de transmisión es modelada por un modelo paramétrico que tiene un número finito de coeficientes a ser determinados, 40 por ejemplo 5 coeficientes a_1 a a_5 para cada "línea básica de transmisión" o unidad primitiva de línea de transmisión. Tal unidad primitiva de línea de transmisión puede comprender un cable de par trenzado tal como es usado convencionalmente para el bucle local de un sistema telefónico público o, por ejemplo, una conexión de par trenzado entre dos dispositivos de red en una red de área local. Para modelar una red de líneas de transmisión, cada unidad primitiva de línea de transmisión es representada por el modelo paramétrico anterior, o sea, la red es modelada por un conjunto de 45 modelos paramétricos individuales, uno de cada unidad primitiva de línea de transmisión y teniendo cada uno un número finito de coeficientes a ser determinados. Algunos de los coeficientes (por ejemplo a_1 a a_5) pueden ser estimados inicialmente calculando un valor inicial basado en características de la línea de transmisión pertinente, por ejemplo constantes físicas de materiales usados en el cable de conexión que forma la línea de transmisión. Otros coeficientes pueden ser seleccionados, por ejemplo a_4 , sin embargo es preferido si estos coeficientes también son determinados a fin de llevar el modelo próximo al modelo optimizado. El conocimiento de la topografía real de la red, o de un número 50 finito de topologías que puede tener la red, puede ser usado para establecer el modelo paramétrico.

En un paso adicional, el reflectograma de la red es medido experimentalmente desde un punto de acceso o "puerto" de la red. Para registrar el reflectograma, una onda o impulso adecuado de ensayo es introducido en el puerto pertinente 55 y las ondas reflejadas son medidas en el puerto. Este reflectograma es almacenado preferiblemente de una manera que permite la manipulación del reflectograma dentro de un dispositivo computador digital, por ejemplo el reflectograma puede ser convertido en señales digitales usando un convertidor analógico/digital. En un paso siguiente, el número finito de coeficientes del modelo paramétrico son optimizados a fin de proporcionar una aproximación (o al menos un ajuste más próximo que los valores iniciales) entre una característica de la red como es modelada y el reflectograma. Esta comparación puede ser efectuada en el dominio de tiempo o en el dominio de frecuencia. En lo siguiente, solo se describirá una comparación en el dominio de frecuencia. Por ejemplo, una rutina de optimización puede ser usada para optimizar los coeficientes del modelo paramétrico. La optimización puede ser efectuada con respecto a una función de 60 coste. Es decir, la bondad del ajuste entre el reflectograma y los resultados predichos por el modelo paramétrico (por ejemplo una diferencia) puede ser representada como un valor cuantitativo y los coeficientes pueden ser optimizados con referencia a este valor. Por ejemplo, este valor puede ser maximizado o minimizado dependiendo de si el valor elegido es un valor grande o pequeño, respectivamente, cuando hay un buen ajuste.

Un problema de tal optimización es que la rutina puede parar en un mínimo o máximo local y no en uno absoluto. Para evitar o reducir la frecuencia de este problema, la presente invención utiliza un modelo casi realista de la red de modo que hay alguna correlación entre al menos ciertos coeficientes del modelo paramétrico y constantes físicas de la red. Por este medio, al menos algunos de los valores iniciales de los parámetros deberían estar próximos a sus valores optimizados finales y, por tanto, hay menos posibilidad de que la rutina de optimización caiga en un mínimo local. Esta es una ventaja significativa de la presente invención comparada con los modelos completamente heurísticos o pragmáticos para los que los valores iniciales no pueden ser calculados fiablemente a partir de materiales y topologías de red.

Finalmente, los parámetros optimizados pueden ser usados en un modelo paramétrico de 2-puertos de la red para determinar características de ella, por ejemplo una capacidad de la red, más específicamente una capacidad que proporciona una cierta calidad de servicio tal como una relación señal/ruido de umbral, tasa de errores de bits (BER: Bit Error Rate), tasa de errores de símbolos (SER: Symbol Error Rate), tasa de errores de cuadros (FER: Frame Error Rate) o similar como es conocido por la persona experta. Una densidad espectral de potencia de ruido en los extremos de la red, por ejemplo el local de cliente y la central telefónica pública, es requerida para estos cálculos (véase la fórmula basada en la teoría de Shannon dada como ecuación 1 anterior para determinación de capacidad en bits por segundo). Generalmente, siempre es posible medir el ruido en una posición o puerto. El ruido en la otra posición o puerto ha de ser estimado o un modelo ha de ser usado.

En lo siguiente serán descritos un número no limitativo de modelos de topologías útiles para bucles locales de sistemas telefónicos.

A. Función H de transferencia e impedancia característica Z_0 de una línea de transmisión de par trenzado sin apantallar

Las ecuaciones siguientes pueden ser usadas para describir un modelo paramétrico básico de acuerdo con una realización de la presente invención para una línea de transmisión de par trenzado sin apantallar. Este modelo paramétrico básico será usado para construir modelos más complejos de redes que pueden ser descritos por una combinación de modelos paramétricos básicos.

$$\gamma l = \sqrt{z_s y_p l^2} = \sqrt{a_4 s^2 + a_1 s \sqrt{-s} \frac{J_0}{J_1} + \frac{a_1 a_3}{2} s^2 \Psi} \quad (3)$$

que representa la constante de propagación de la línea por su longitud.

$$\Psi = \frac{3a_2^3 J_3 J_2 + 2a_2 J_1 J_2 + a_2^2 J_0 J_3}{a_2^3 J_2 J_3 + a_2 J_1 J_2 + 3a_2^2 J_0 J_3 + J_0 J_1} \quad (4)$$

que define una función auxiliar usada en los cálculos.

$$J_i = J_i(a_3 \sqrt{-s}) \text{ con } i = 0, 1, 2, 3 (J = \text{función de Bessel}) \quad (5)$$

$$H = e^{-\gamma l} \quad (6)$$

que representa la función de transferencia de una sección de línea de transmisión primitiva

$$y_p l = a_5 s \quad (7)$$

donde y_p representa la admitancia en paralelo por unidad de longitud de la línea de transmisión

$$Z_0 = \frac{\gamma l}{y_p l} \quad (8)$$

donde Z_0 representa la impedancia característica de la línea.

ES 2 270 967 T3

En este modelo hay cinco coeficientes que necesitan ser optimizados con respecto a un reflectograma medido. Los coeficientes a ser determinados (a_1 a a_5) pueden recibir valores iniciales de acuerdo con:

$$a_1 = \frac{1}{a\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\sigma}} Cl^2 \quad (9)$$

$$a_2 = \left(\frac{a}{D}\right)^2 \quad (10)$$

$$a_3 = a \sqrt{\mu\sigma} \quad (11)$$

$a_4 = \frac{a_1 a_3}{\ln(1/\sqrt{a_2})}$, el valor inicial de a_4 es elegido preferiblemente como una combinación de valores iniciales de a_1 , a_2 y a_3 como se explica en la referencia 1 que es incorporada junto con esto por referencia.

$$a_5 = Cl \quad (12)$$

Introduciendo el parámetro a_4 , no debería confiarse en el significado físico de los parámetros. Sin embargo, los valores iniciales de los parámetros todavía deberían tener preferiblemente el orden de magnitud predicho por las fórmulas anteriores de modo que es más probable que la optimización de modelo paramétrico determine un mínimo absoluto y no un mínimo local.

Este modelo de línea de transmisión para par trenzado está basado en la teoría electromagnética así que es un modelo físico de caja blanca (como opuesta a caja negra) que contiene tanto conocimiento previo como sea posible. El modelo incluye el efecto pelicular y el efecto de proximidad (hasta 2 términos de la solución en serie) y se considera que es adecuado para el modo óptimo de funcionamiento de la presente invención para cables de pares trenzados. Sin embargo, la presente invención no está limitada a este método.

B. Parámetro S_{11} de dispersión y función H de transferencia de la red de acceso

En lo siguiente se describirá el uso del modelo paramétrico básico con referencia a un número limitado de topologías útiles de red.

1) Línea única

La Figura 1 representa un circuito eléctrico equivalente de una red de acceso que consiste en una línea única. Los valores iniciales de los cinco parámetros a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 del modelo paramétrico básico precisan ser determinados y después optimizados. El objetivo del ejercicio de modelar es obtener una expresión para S_{11} (modelo de 1-puerto usado para la estimación de parámetros) y H , la función de transferencia (modelo de 2-puertos necesario para estimación y validación de capacidad).

$$\rho_g = \frac{Z_g - Z_{01}}{Z_g + Z_{01}} \quad (13)$$

$$\rho_l = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} \quad (14)$$

$$V_i^\pm = \frac{V_i \pm Z_{\text{ref}} I_i}{2} \quad \text{con } i = 1, 2 \quad (15)$$

Tratando la línea de transmisión como un puerto único produce:

$Z_i = \infty$, $\rho_l = 1$ (hipótesis de un extremo en circuito abierto de la línea de transmisión, por ejemplo en el local de cliente de un bucle local)

$$Z_{\text{ref}} = Z_g = 100\Omega$$

ES 2 270 967 T3

La ecuación siguiente define el parámetro S_{11} de dispersión para un modelo de 1-puerto:

$$S_{11} = \left. \frac{V_1^-}{V_1^+} \right|_{V_2^+=0} \quad (16)$$

$$S_{11} = \frac{-\rho_g + e^{-2\gamma l}}{1 - \rho_g e^{-2\gamma l}} \quad (17)$$

$$H = \frac{V_2}{V_1} \quad (18)$$

$$Z_g = 0, \quad \rho_g = -1, \quad \tau_g = 2$$

$$H = \frac{\tau_1 e^{-\gamma l}}{1 + \rho_1 e^{-2\gamma l}} \quad (19)$$

La función de transferencia que se considera empieza al principio de la línea y termina en la carga (sin generador), la máscara de densidad espectral de potencia de transmisión es definida en la posición de V_1 en la Figura 1, no en la Posición de V_g .

2) Bucle homogéneo con una toma en derivación

La Figura 2 representa un circuito eléctrico equivalente de una red de acceso que consiste en un bucle con una toma en derivación. Los valores iniciales de siete parámetros a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7 del modelo paramétrico precisan ser determinados y después optimizados. El objetivo del ejercicio de modelar es obtener una expresión para S_{11} , la función de dispersión, y para H , la función de transferencia.

$$a_6 = \frac{l_2}{l_1} \quad (20)$$

$$a_7 = \frac{l_3}{l_1} \quad (21)$$

$Z_l = \infty$, $\rho_l = 1$ (hipótesis de circuito abierto en el extremo). La ecuación siguiente define el parámetro S_{11} de dispersión para un modelo de 1-puerto:

$$S_{11} = \frac{-3\rho_g - e^{-2\gamma l_1} - \rho_g e^{-2\gamma l_2} - \rho_g e^{-2\gamma l_3} + e^{-2\gamma(l_1+l_2)} + e^{2\gamma(l_1+l_3)} + \rho_g e^{-2\gamma(l_2+l_3)} + 3e^{-2\gamma(l_1+l_2+l_3)}}{3 + \rho_g e^{-2\gamma l_1} + e^{-2\gamma l_2} + e^{-2\gamma l_3} - \rho_g e^{-2\gamma(l_1+l_2)} - \rho_g e^{-2\gamma(l_1+l_3)} - e^{-2\gamma(l_2+l_3)} - 3\rho_g e^{-2\gamma(l_1+l_2+l_3)}} \quad (22)$$

$Z_g = 0$, $\rho_g = -1$, $\tau_g = 2$ (hipótesis de máscara de densidad espectral de potencia definida en V_1)

modelos de 2-puertos: función H de transferencia

$$H = \frac{2\tau_l (e^{-\gamma(l_1+l_2)} + e^{-\gamma(l_1+l_2+l_3)})}{3 - e^{-2\gamma l_1} + \rho_l e^{-\gamma l_2} + e^{-2\gamma l_3} + \rho_l e^{2\gamma(l_1+l_2)} + e^{-2\gamma(l_1+l_3)} - \rho_l e^{-2\gamma(l_2+l_3)} + 3\rho_l e^{-2\gamma(l_1+l_2+l_3)}} \quad (23)$$

3. Serie de dos secciones de líneas

La Figura 3 representa un circuito eléctrico equivalente de una red de acceso que consiste en una serie de dos líneas. Los valores iniciales de diez parámetros a_{11} a_{21} a_{31} a_{41} a_{51} a_{12} a_{22} a_{32} a_{42} a_{52} del modelo paramétrico precisan ser determinados y después optimizados. El objetivo del ejercicio de modelar es obtener una expresión para S_{11} , la función de dispersión, y H , la función de transferencia.

$Z_i = \infty, \rho_i = 1$ (hipótesis de circuito abierto en el extremo)

$$S_{11} = \frac{-\rho_g + \rho_2 e^{-2\gamma l_1} - \rho_g \rho_2 e^{-2\gamma l_2} + e^{-2(\gamma l_1 + \gamma l_2)}}{1 - \rho_g \rho_2 e^{-2\gamma l_1} + \rho_2 e^{-2\gamma l_2} - \rho_g e^{-2(\gamma l_1 + \gamma l_2)}} \quad (24)$$

$$Z_g = 0, \quad \rho_g = -1, \quad \tau_g = 2$$

$$H = \frac{\tau_2 \tau_1 e^{-(\gamma l_1 + \gamma l_2)}}{1 + \rho_2 e^{-2\gamma l_1} + \rho_2 \rho_1 e^{-2\gamma l_2} + \rho_1 e^{-2(\gamma l_1 + \gamma l_2)}} \quad (25)$$

II. Estimadores

A. Función de coste

En lo siguiente será descrita una función de coste para uso en optimizar los parámetros del modelo paramétrico, pero la presente invención no está limitado a ello. Es denominada probabilidad máxima para el modelo de errores de salida. Este tipo de función de coste tiene propiedades útiles tal como el hecho de que los parámetros estimados no están polarizados,

$$V(\theta_1, \dots, \theta_N) = \sum_{k=1}^M \frac{|S_{11}^{\text{modelo}}(f_k, \theta_1, \dots, \theta_N) - S_{11,k}^{\text{medición}}|^2}{\sigma_{S_{11},k}^2} \quad (26)$$

M = número de muestras de frecuencia

N = número de parámetros

Esta primera función de coste en S_{11} es importante para el método general de acuerdo con la presente invención. La segunda función de coste siguiente en H es usada solamente con fines de validación.

$$V(\theta_1, \dots, \theta_N) = \sum_{k=1}^N \frac{|H^{\text{modelo}}(f_k, \theta_1, \dots, \theta_N) - H_k^{\text{medición}}|^2}{\sigma_{H,k}^2} \quad (27)$$

B. Minimizador

La optimización de parámetros es llevada a cabo minimizando una diferencia representada por la función de coste. El minimizador preferido es de Levenbergh-Marquardt pero la presente invención no está limitada a este tipo de algoritmo de optimización ni a ningunos valores particulares para los valores de inicio.

Como un ejemplo, pueden ser seleccionados los valores de inicio siguientes:

$$a = 0,25 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$D = 1 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\sigma = 5,8 \times 10^7 \text{ S/m supuesta para conductores de cobre}$$

$$\mu = \mu_0 \text{ para cables aislados por polietileno}$$

$$\varepsilon = 2,26 \varepsilon_0 \text{ para cables aislados por polietileno}$$

$$L_{\text{ext}} = \mu / (2 \cdot \pi) \cdot \log(D^2 / \text{radio}^2);$$

$$C = 1 / L_{\text{ext}} \cdot \varepsilon \cdot \mu;$$

ES 2 270 967 T3

El mínimo de la función de coste en función de los parámetros de modelo puede ser hallado por medio de un algoritmo de optimización iterativo. Hay una gran variedad de rutinas de optimización disponibles que son conocidas por las personas expertas. El método Levenberg-Marquardt (LM) es uno de los preferidos. Combina los procedimientos Gauss-Newton y de descenso de gradiente. El método Gauss-Newton es rápido porque utiliza derivadas de segundo orden pero no siempre converge. Este problema de convergencia es resuelto en el algoritmo Levenberg-Marquardt por adición del método de descenso de gradiente. El algoritmo Levenberg-Marquardt solo busca un mínimo local. Para hallar el mínimo global, los valores iniciales de los parámetros de modelo han de estar suficientemente próximos a los valores exactos que corresponden al mínimo global de la función de coste. De acuerdo con un aspecto de la presente invención, conseguir el mínimo absoluto de la función de coste es asistido seleccionando un modelo paramétrico que sea al menos casi realista de modo que puedan ser estimados valores iniciales fiables para al menos algunos de los coeficientes. Preferiblemente, el modelo paramétrico debería ser elegido tal que una mayoría de los coeficientes (más del 50%, más preferiblemente el 60% o más y lo más preferiblemente el 70% o más) puedan ser estimados basados en características físicas de la red a ser calificada.

III. Mediciones

A. Configuración de mediciones

Estos son los ajustes usados para las mediciones de analizador de red para determinar S_{11} (para la estimación) y H (para la validación).

En el paso de medición, el reflectograma de la red es medido para una señal de excitación específica. Un Analizador de Red de Hewlett Packard tipo HP4195A fue usado con una frecuencia de inicio de $3 \times 4,3125 = 12,9375$ kHz (tono 3) y una frecuencia de parada de 1,104000 MHz (tono 256). La anchura de banda de resolución (RBW: resolution band width) fue 100 Hz, el tiempo de barrido 2 minutos y 401 puntos fueron registrados. Fueron realizadas cuatro mediciones de S_{11} y H en cada caso para poder computar valores de media y varianza. Estos últimos valores son usados como factores de ponderación en la función de coste de estimador de probabilidad máxima (véase la ecuación 26).

Las líneas de transmisión usadas eran cables, por ejemplo como los suministrados por Belgacom (Bélgica) que tienen un diámetro de conductor de 0,5 mm, un aislamiento de polietileno y 20 pares en forma de cuadretes; como los suministrados por BT (Reino Unido) que tienen un diámetro de conductor de 0,5 mm, aislamiento de polietileno, 20 pares; como los suministrados por FT (Francia) que tienen un diámetro de conductor de 0,4 mm, aislamiento de polietileno, 8 pares en cuadretes, el equilibrio North Hill fue 50Ω a 135Ω .

B. Resultados

Solo la magnitud es mostrada aunque la fase también ha sido calculada. Sin embargo, la magnitud es lo más importante para la estimación de capacidad.

Los resultados son mostrados para tres topologías pero la patente no está limitada a estas tres topologías.

La Leyenda para los gráficos en las Figuras 4, 6, 8, que muestra S_{11} en el eje y, es:

- (línea de puntos): valores medidos como se muestra en la porción superior de las figuras
- (línea continua): estimación como se muestra en la porción superior de las figuras
- x- (línea continua, x): error como se muestra en el medio de las figuras
- +- (línea continua para las Figuras 6 y 8 solamente, +): límite de confianza del 95% como se muestra en la porción inferior de las figuras.

Observación: en el caso de que solo haya errores estocásticos presentes, el error debería estar por debajo del límite de confianza del 95%. Donde este no es el caso, esto significa que hay errores de modelo presentes.

La Leyenda para los gráficos en las Figuras 5, 7, 9, que tienen H como el eje y, es:

- (línea de puntos): valores medidos como se muestra en la porción superior de las figuras
- (línea continua): estimación por medio de S_{11} (generalmente, tan próxima a los puntos que no puede ser distinguida de estos en esta escala)

ES 2 270 967 T3

- (línea de trazos en las Figuras 7 y 9): estimación por medio de H (generalmente tan próxima a los puntos que no puede ser distinguida de estos en esta escala)
- x- (línea continua, x): error en la estimación por medio de S_{11} en el medio de las figuras
- o- (línea de trazos en la Figura 5, línea continua en las Figuras 7 y 9, o): error en la estimación por medio de H en el medio de las Figuras
- +- (línea continua solo en las Figuras 7 y 9, +): límite de confianza del 95% en la porción inferior de las figuras.

1) Línea única

En la Figura 4 son mostrados los resultados para el factor S_{11} de dispersión, tanto modelo como medición, y en la Figura 5 son mostrados los resultados para la función H de transferencia para una línea única, tanto medición como modelo.

2) Bucle con una toma en derivación

En la Figura 6 son mostrados los resultados para el factor S_{11} de dispersión, tanto modelo como medición, y en la Figura 7 para la función H de transferencia, tanto medición como modelo.

Todos los segmentos de cable eran cable BT con diámetro 0,5 mm de conductor, el primer segmento era de 900 m, el segundo segmento de 700 m y la toma en derivación de 200 m.

3) Serie de dos líneas

En la Figura 8 son mostrados los resultados para el factor S_{11} de de dispersión, tanto modelo como medición, y en la Figura 9 para la función H de transferencia, tanto medición como modelo.

Un cable BT de 500 m y diámetro 0,5 mm de conductor fue puesto en serie con un cable FT de 400 m con un diámetro 0,4 mm de conductor.

Para todas las tres topologías, resulta claro que las tres funciones de transferencia (medida, estimada por medio de medición S_{11} de 1-puerto, estimada por medio de una medición H de 2-puertos) coinciden muy bien.

IV. Estimación de capacidad

La estimación de capacidad es efectuada usando la fórmula basada en la teoría de Shannon dada como ecuación 1 anterior y en la función H de transferencia estimada. La densidad espectral de potencia de ruido precisa ser determinada, por ejemplo por medición. En un extremo de la línea de transmisión, por ejemplo en la central telefónica pública para una red de acceso, la densidad espectral de potencia de ruido (para la capacidad corriente arriba) puede ser medida. En el otro extremo de la línea, por ejemplo el local de cliente en una red de acceso, la densidad espectral de potencia de ruido puede ser estimada, por ejemplo, usando un modelo para la densidad espectral de potencia de ruido en este extremo (para la capacidad corriente abajo).

V. Implementación

La presente invención puede ser implementada en un dispositivo computador, por ejemplo un ordenador personal o un puesto de trabajo que tiene un dispositivo de entrada para cargar los detalles de la red cuya capacidad ha de ser estimada, por ejemplo su topología así como cualesquier otros parámetros requeridos por los diversos modelos y métodos definidos anteriormente en la descripción así como en las reivindicaciones adjuntas. El dispositivo computador puede tener la forma de un microprocesador montado en tarjeta que puede ser enchufado en una ranura de tarjeta de red de un elemento de red de telecomunicaciones tal como el Multiplexor de Acceso de Abonado DSL 7300 Alcatel suministrado por Alcatel NV, Antwerp, Bélgica. También podría estar integrado en un dispositivo de ensayo manual usado por un técnico *in situ* o por equipo de ensayo próximo al Multiplexor de Acceso de Abonado. El dispositivo computador está adaptado para ejecutar software que lleva a cabo cualquier de los métodos de acuerdo con la presente invención. Alternativamente, el ordenador puede ser un servidor que está conectado a unos medios de transmisión de comunicaciones de datos tales como Internet, una Red de Área local o una Red de Área Extendida. Un archivo de guión, que incluye por ejemplo los detalles de la topología de la red y/o constantes físicas relativas a los materiales usados en la construcción de la(s) línea(s) de transmisión, puede ser enviado desde una posición próxima, por ejemplo terminal, a una posición remota, o sea segunda posición, en la que reside el servidor. Además, detalles del reflectograma para la red pertinente pueden ser enviados al servidor desde la misma posición próxima o desde otra posición. El servidor recibe todos estos datos y lleva a cabo un método de acuerdo con la presente invención y extrae de vuelta a lo largo de la línea de comunicaciones datos útiles a un terminal próximo, por ejemplo uno o más coeficientes optimizados de un modelo de línea de transmisión, una función de transferencia de la red, una cifra de capacidad o una respuesta si/no respecto a si la capacidad de la red es mayor o menor que una cifra objetivo predeterminada.

ES 2 270 967 T3

La Figura 10 es una representación esquemática de un sistema computador que puede ser utilizado de acuerdo con los métodos y sistemas de la presente invención. Se representa un ordenador 10 que puede incluir un terminal 14 de presentación de video, unos medios de entrada de datos tal como un teclado 16 y unos medios indicadores de interfaz gráfica de usuario o puntero tal como un ratón 18. El ordenador 10 puede ser implementado como un ordenador de aplicación general.

El ordenador 10 incluye una unidad central de procesamiento (UCP) 15 tal como un microprocesador convencional del que un procesador Pentium III suministrado por Intel Corp., EE.UU. de América, es solo un ejemplo, y un número de otras unidades interconectadas por vía del bus 22 de sistema. El ordenador 10 incluye al menos una memoria. La memoria puede incluir cualquiera de varios dispositivos de almacenamiento de datos conocidos por las personas expertas tales como memoria RAM de acceso aleatorio, memoria ROM de solo lectura, memoria no volátil de lectura/escritura tal como un disco duro como es conocido por las personas expertas. Por ejemplo, el ordenador 10 puede incluir además la memoria RAM 24 de acceso aleatorio, la memoria ROM 26 de solo lectura así como el adaptador opcional 27 de presentación visual para conectar el bus 22 de sistema a un terminal opcional 14 de presentación de video, y un adaptador opcional 29 de entrada/salida para conectar dispositivos periféricos (por ejemplo, unidades 23 de disco y cinta tal como por ejemplo un lector de CD-ROM) al bus 22 de sistema. El terminal 14 de presentación de video puede ser la salida visual del ordenador 10, que puede ser cualquier dispositivo adecuado de presentación visual tal como una pantalla de video basada en tubo de rayos catódicos bien conocida en la técnica del hardware de ordenador. Sin embargo, con un ordenador portátil o de bolsillo, el terminal 14 de presentación de video puede ser sustituido por una pantalla plana de cristal líquido o de plasma de gas. El ordenador 10 incluye además el adaptador 30 de interfaz de usuario para conectar un teclado 16, ratón 18, altavoz opcional 36 así como permitir entradas opcionales de valores físicos desde dispositivos 40 de captación de valores físicos de un sistema externo 20. Los dispositivos 40 pueden ser cualquier equipo adecuado para captar parámetros físicos de la red o parámetros de los diversos modelos requeridos en la ejecución de la presente invención. Estos dispositivos de captación también pueden incluir un estímulo y un dispositivo de medición para introducir una onda de ensayo y para medir la respuesta de una red o partes de ella, por ejemplo un reflectograma. Dispositivos adicionales o alternativos 41 para captar parámetros físicos de un sistema externo 21 adicional o alternativo también pueden estar conectados al bus 22 por vía de un adaptador 39 de comunicación que conecta el ordenador 10 a una red de datos tal como Internet, una Intranet, una red de área local o extendida o una red de área de controlador (CAN: controller area network). La expresión “dispositivo de captación de valores físicos” también pueden incluir dispositivos que proporcionan valores de parámetros de una red o redes, por ejemplo topologías, o por ejemplo una biblioteca de redes candidatas o topologías de redes candidatas.

El ordenador 10 también incluye una interfaz gráfica de usuario que reside dentro de un soporte legible por máquina para dirigir el funcionamiento del ordenador 10. Cualquier soporte adecuado legible por máquina puede retener la interfaz gráfica de usuario, tal como una memoria RAM 24 de acceso aleatorio, una memoria ROM 26 de solo lectura, un disquete magnético, cinta magnética o disco óptico (estando los tres últimos situados en unidades 23 de disco y cinta). Cualquier sistema operativo adecuado e interfaz gráfica de usuario asociada (por ejemplo, Windows de Microsoft) pueden dirigir la UCP 15. Además, el ordenador 10 incluye un programa 51 de control que reside dentro del almacenamiento 52 en memoria de ordenador. El programa 51 de control contiene instrucciones que, cuando son ejecutadas en la UCP 15, llevan a cabo las operaciones descritas con respecto a los métodos de la presente invención. Las instituciones pueden ser obtenidas escribiendo un programa de ordenador en un lenguaje adecuado tal como C o C++ para ejecución de cualquiera de los métodos de acuerdo con la presente invención y compilando después el programa de modo que se ejecute en un dispositivo computador.

Los expertos en la técnica apreciarán que el hardware representado en la Figura 10 puede variar para aplicaciones específicas. Por ejemplo, otros dispositivos periféricos tales como soportes en disco óptico, adaptadores de audio o dispositivos de programación en chip, tales como dispositivos de programación de lógica de matrices programables (PAL: programmable array logic) o memoria EPROM de solo lectura programable y borrable bien conocidos en la técnica de hardware de ordenador, etc., pueden ser utilizados además o en lugar del hardware ya descrito.

En el ejemplo representado en la Figura 10, un producto de programa de ordenador (o sea, el programa 51 de control para ejecutar métodos de acuerdo con la presente invención que comprende medios de instrucción de acuerdo con la presente invención) puede residir en el almacenamiento 52 de ordenador. Las instrucciones (por ejemplo, segmentos de código legibles por ordenador en el almacenamiento 52) pueden ser leídas desde el almacenamiento al interior de la memoria RAM 24. La ejecución de secuencias de instrucciones contenidas en la memoria RAM 24 causa que la UCP 15 realice los pasos de proceso descritas aquí. En realizaciones alternativas, circuitos cableados pueden ser usados en lugar de, o en combinación con, instrucciones de software para implementar la invención. Así, las realizaciones de la invención no están limitadas a ninguna combinación específica de circuitos de hardware y software. Por consiguiente, la presente invención puede adoptar la forma de una realización totalmente en hardware, una realización totalmente en software o una realización que combina aspectos de software y hardware.

Además, la presente invención puede adoptar la forma de un soporte portador de datos (por ejemplo, un producto de programa de ordenador en un soporte de almacenamiento legible por ordenador) que soporta segmentos de código de programa legibles por ordenador materializados en el soporte. Las expresiones “soporte portador” y “soporte legible por ordenador” como se usan aquí se refieren a cualquier soporte que participe en proporcionar instrucciones a un procesador tal como la UCP 15 para ejecución. Tal soporte puede adoptar muchas formas incluyendo, pero no limitadas a, soportes no volátiles, soportes volátiles y medios (soportes) de transmisión. Los soportes no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos o magnéticos tales como un CD-ROM o un dispositivo de almacenamiento que es parte de

almacenamiento de gran capacidad. Los soportes volátiles incluyen memoria dinámica tal como la memoria RAM 24. Los medios (soportes) de transmisión incluyen cables coaxiales, hilos de cobre y fibras ópticas, incluyendo los hilos que componen un bus dentro de un ordenador, tal como el bus 22. Los medios de transmisión también pueden adoptar la forma de ondas acústicas o luminosas tales como las generadas durante comunicaciones de datos por ondas de radio e infrarrojos.

Formas corrientes de soportes legibles por ordenador incluyen, por ejemplo, un disco blando, un disco flexible, un disco duro, cinta magnética o cualquier otro soporte magnético, un CD-ROM, cualquier otro soporte óptico, tarjetas perforadas, cintas de papel, cualquier otro soporte físico con configuraciones de agujeros, una memoria RAM de acceso aleatorio, una memoria PROM de solo lectura programable, una memoria EPROM de solo lectura programable y borrable, una memoria FLASH-EPROM, cualquier otro chip o cartucho de memoria, una onda portadora como se describe en lo sucesivo, o cualquier otro soporte del que puede leer un ordenador.

Estas diversas formas de soportes legibles por ordenador pueden estar implicadas en transportar una o más secuencias de una o más instrucciones al procesador 15 para ejecución. Por ejemplo, las instrucciones pueden ser soportadas inicialmente en un disco magnético de un ordenador remoto. El ordenador remoto puede cargar las instrucciones en su memoria dinámica y enviar las instrucciones por una línea telefónica usando un módem. Un módem localizado en el sistema de ordenador puede recibir los datos por la línea telefónica y usar un transmisor de señal infrarroja para convertir los datos en una señal de radiación infrarroja. Un detector de señal infrarroja acoplado a un bus puede recibir los datos transportados en la señal de radiación infrarroja y situar los datos en el bus. El bus transporta datos a la memoria principal, de la que un procesador recupera y ejecuta las instrucciones. Las instrucciones recibidas por la memoria principal pueden ser almacenadas opcionalmente en un dispositivo de almacenamiento antes o después de la ejecución por un procesador. Las instrucciones también pueden ser transmitidas por medio de una onda portadora en una red, tal como una red de área local, una red de área extendida o Internet. Sin embargo, es importante que los expertos en la técnica aprecien que los métodos de la presente invención son capaces de ser distribuidos como un producto de programa en diversas formas y que la presente invención se aplica igualmente con independencia del tipo particular de soporte portador de señales usado para llevar a cabo realmente la distribución. Ejemplos de soportes portadores de señales legibles por ordenador incluyen: soportes de tipo grabable tales como discos blandos y CD ROMs y medios de tipos de transmisión tales como enlaces de comunicaciones digitales y analógicas que pueden ser usados para descargar el producto de programa de ordenador.

VI. Método

Un método de acuerdo con la presente invención será descrito con referencia a un ordenador personal. Un programa de ordenador escrito para llevar a cabo los métodos de la presente invención es iniciado del modo usual. Por ejemplo, aparece un mensaje emergente que proporciona una forma de entrada para especificar la topología de red a ser utilizada. Alternativa o adicionalmente, la posibilidad de usar topologías predefinidas pueden ser proporcionadas, por ejemplo, permitiendo la selección desde un menú descendente. Alternativa o adicionalmente, puede proporcionarse una opción cuando la topología no es conocida. En este caso, el programa utilizará un conjunto de topologías típicas predefinidas e intentará ajustar un reflectograma medido con cada uno de los modelos. Se supone que el ajuste óptimo representa una topología que está próxima a la topología real y es usada para la estimación de capacidad.

Después de haber introducido los datos necesarios, por ejemplo la topología de red, los materiales aislantes y conductores de un cable de pares trenzados, la separación entre conductores del cable, etc., puede ser introducido el reflectograma para la red. Esto puede efectuarse cargando desde un dispositivo periférico, por ejemplo desde un CD-ROM leído por un lector de CD-ROM, o descargándolo desde el almacenamiento de gran capacidad, por ejemplo desde un servidor situado en una red de área local o por vía de Internet. Alternativamente, el ordenador puede estar conectado a un dispositivo adecuado de captación de reflectograma, por ejemplo por vía de una interfaz USB (Universal Serial Bus = bus en serie universal), para medición directa y carga del reflectograma. El reflectograma puede ser obtenido desde una sola posición en la red, por ejemplo desde el punto de conexión de un bucle local a una central telefónica pública. El reflectograma estará generalmente en forma analógica y es convertido en señales digitales por un convertidor analógico/digital. Entonces, el programa optimiza los coeficientes del modelo paramétrico, por ejemplo minimizando una función de coste relativa a la diferencia entre el reflectograma medido y una función de transparencia computada para el modelo. Usando el modelo paramétrico optimizado, se determina una función de transferencia de la red. A partir de esta función de transferencia, puede ser estimada una capacidad para la red.

La salida del programa de ordenador puede ser cualesquiera o todos de los siguientes:

- un conjunto de parámetros optimizados y/o una topología de red que proporciona el ajuste óptimo
- una función de transferencia de la red
- un reflectograma estimado basado en el modelo paramétrico optimizado
- una comparación entre el reflectograma optimizado y el reflectograma medido
- una capacidad estimada para la red

ES 2 270 967 T3

- una respuesta si/no o una probabilidad de que la red soportará una capacidad superior o inferior a una cierta capacidad objetivo.
- un mensaje de que el reflectograma no puede ser modelado con una precisión razonable (debido a topología inusual, materiales inusuales)
- una longitud de la red que puede soportar una cierta capacidad o una variedad de longitudes para una variedad de capacidades.

10 Lista de símbolos

| | |
|---------------------|---|
| C | = capacidad de canal |
| P | = densidad espectral de potencia recibida |
| 15 S | = densidad espectral de potencia transmitida o matriz de dispersión |
| N | = densidad espectral de potencia de ruido |
| 20 H | = función de transferencia |
| γ | = constante de propagación |
| Z_0 | = impedancia característica |
| 25 l | = longitud |
| σ | = conductividad eléctrica o desviación típica |
| μ | = permeabilidad magnética |
| 30 ϵ | = constante dieléctrica (permitividad eléctrica) |
| D | = distancia entre centros de conductores |
| 35 a | = radio de conductores |
| a_t | = parámetro de modelo físico |
| s | = frecuencia de Laplace |
| 40 ω | = frecuencia angular |
| z_s | = impedancia en serie por unidad de longitud |
| y_p | = admitancia en paralelo por unidad de longitud |
| 45 Ψ | = función auxiliar |
| J_t | = función de Bessel |
| 50 V_t | = tensión |
| I_t | = intensidad de corriente eléctrica |
| V_t^\pm | = onda de tensión desplazándose hacia delante (+) y hacia atrás (-) |
| 55 Z_{ref} | = impedancia de referencia |
| ρ_t | = coeficiente de reflexión |
| τ_t | = coeficiente de transmisión |
| 60 S_{ij} | = parámetros de dispersión |
| T | = matriz de transmisión (ABCD) |
| 65 A,B,C,D | = elementos de matriz ABCD |
| Z_{in} | = impedancia de entrada. |

REIVINDICACIONES

1. Un método para modelar una red, que comprende los pasos de:

5 llevar a cabo una medición de 1-puerto en la red introduciendo una señal de excitación en un puerto de la red y registrando los resultados en el puerto;

Caracterizado porque dicho método comprende además los pasos de:

10 generar un modelo paramétrico de 1-puerto de la red;

optimizar los valores de los parámetros del modelo paramétrico de 1-puerto reduciendo la diferencia entre los resultados del paso de medición y los resultados calculados usando el modelo paramétrico de 1-puerto y la señal de excitación; y

15 generar un modelo paramétrico de 2-puertos usando los valores optimizados de parámetros para proporcionar un modelo de 2-puertos de la red.

20 2. El método según la reivindicación 1, en el que el paso de reducir es llevado a cabo minimizando una función de coste adaptando los valores de los parámetros del modelo paramétrico de 1-puerto, representando la función de coste una cuantificación de la diferencia.

25 3. El método según la reivindicación 1, comprendiendo además el paso de limitar el modelo de 2-puertos a la función de transferencia.

4. El método según la reivindicación 3, comprendiendo además los pasos de:

30 medir una primera densidad espectral de potencia de ruido en un puerto de la red y estimar o medir una segunda densidad espectral de potencia de ruido en el otro puerto; y

usar la función de transferencia y las densidades espectrales primera y segunda de potencia de ruido para estimar la capacidad de la red.

35 5. Un sistema para modelar una red, que comprende:

medios para llevar a cabo una medición de 1-puerto en la red introduciendo una señal de excitación en un puerto de la red y registrando los resultados en el puerto;

40 **Caracterizado** porque dicho sistema comprende además:

medios para generar un modelo paramétrico de 1-puerto de la red;

45 medios para optimizar los valores de los parámetros del modelo paramétrico de 1-puerto reduciendo la diferencia entre los resultados del paso de medición y los resultados calculados usando el modelo paramétrico de 1-puerto y la señal de excitación; y

medios para generar un modelo paramétrico de 2-puertos usando los valores optimizados de parámetros para proporcionar un modelo de 2-puertos de la red.

50 6. El sistema según la reivindicación 5, en el que los medios para reducir comprenden medios para minimizar una función de coste adaptando los valores de los parámetros del modelo paramétrico de 1-puerto, representando la función de coste una cuantificación de la diferencia.

55 7. El sistema según la reivindicación 5, comprendiendo además:

medios para limitar el modelo de 2-puertos a la función de transferencia.

8. El sistema según la reivindicación 7, comprendiendo además:

60 medios para medir una primera densidad espectral de potencia de ruido en un puerto de la red y estimar o medir una segunda densidad espectral de potencia de ruido en el otro puerto; y

65 medios para usar la función de transferencia y las densidades espectrales primera y segunda de potencia de ruido para estimar la capacidad de la red.

9. Un soporte portador de datos que soporta uno o más segmentos de código legibles por ordenador para controlar un dispositivo de procesamiento para llevar a cabo un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

ES 2 270 967 T3

10. Un producto de programa de ordenador para ejecución de cualquiera de los métodos de acuerdo con cualquiera de las reivindicación 1 a 4 en un sistema de ordenador.

11. Un método para modelar una representación de red, comprendiendo dicho método:

5

transmitir una descripción de la red desde una posición próxima a un sistema computador remoto por vía de una red de telecomunicaciones,

10

ejecutar en el sistema computador remoto cualquiera de los métodos de las reivindicaciones 1 a 4, y transmitir a una posición próxima la información relativa a la respuesta de la red a una señal de excitación.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

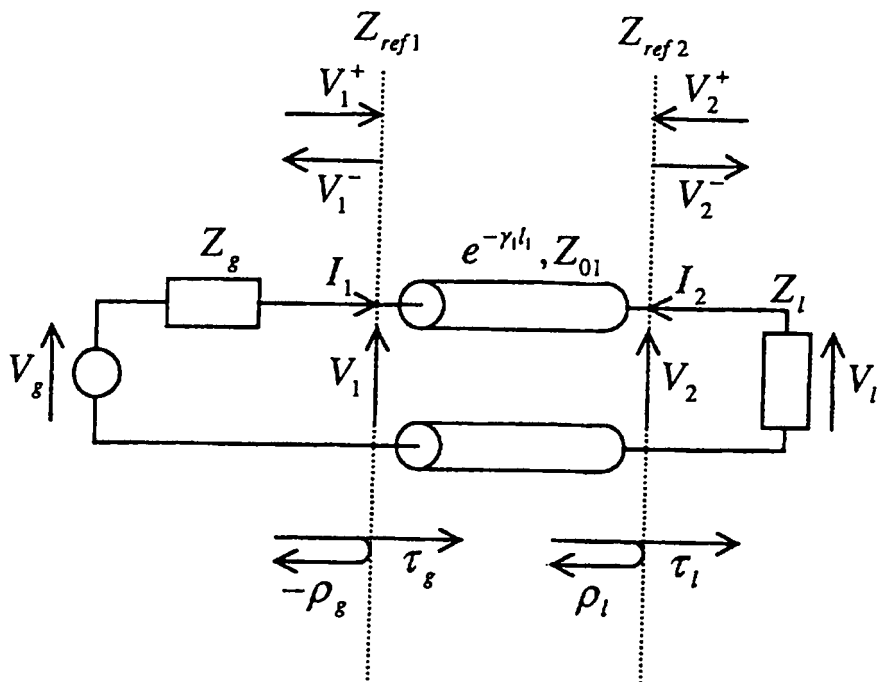


Fig. 1

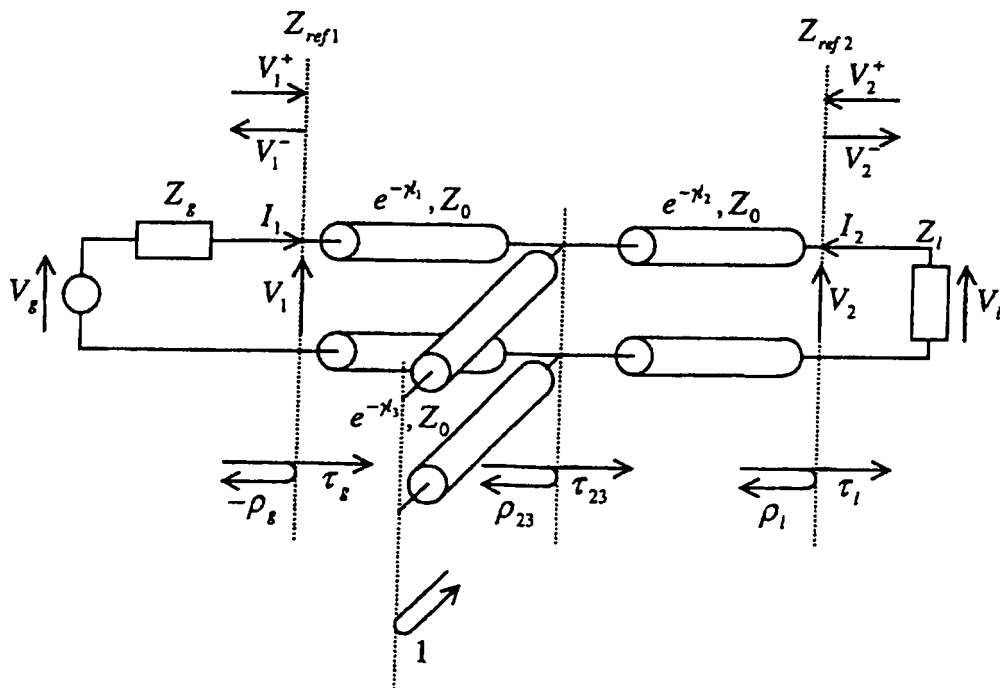


Fig. 2

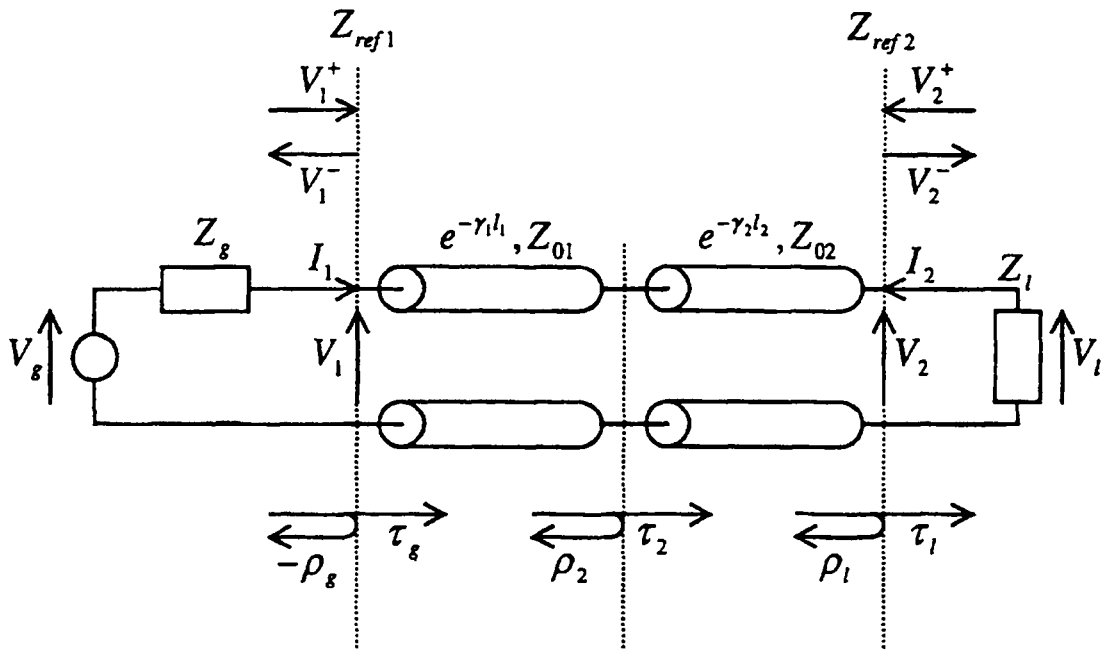


Fig. 3

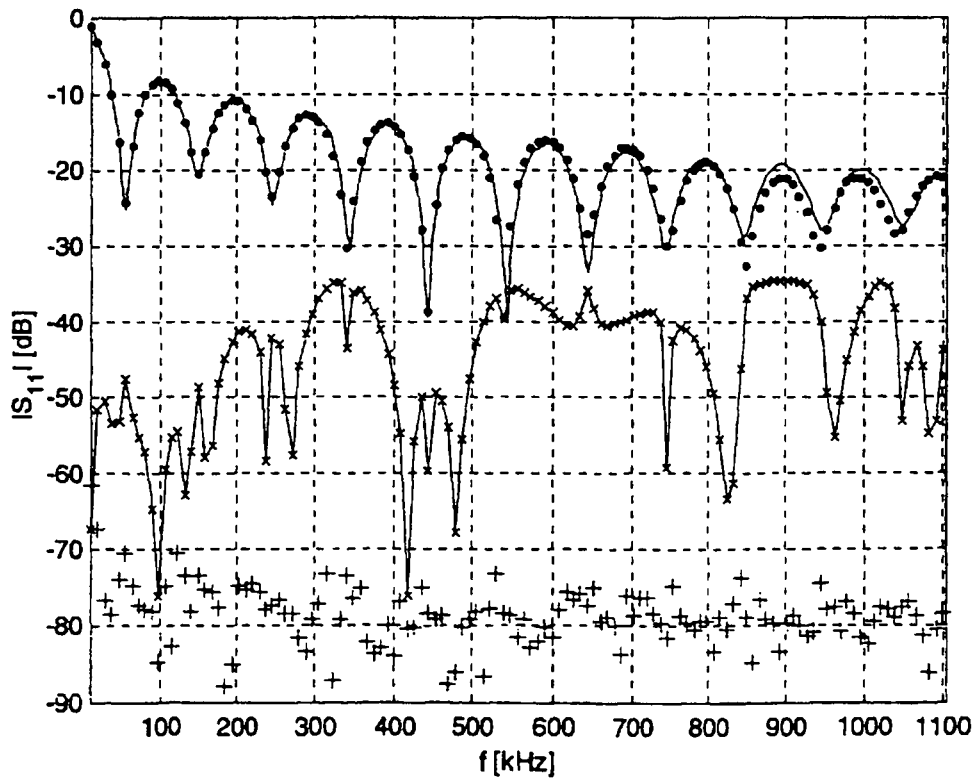


Fig. 4

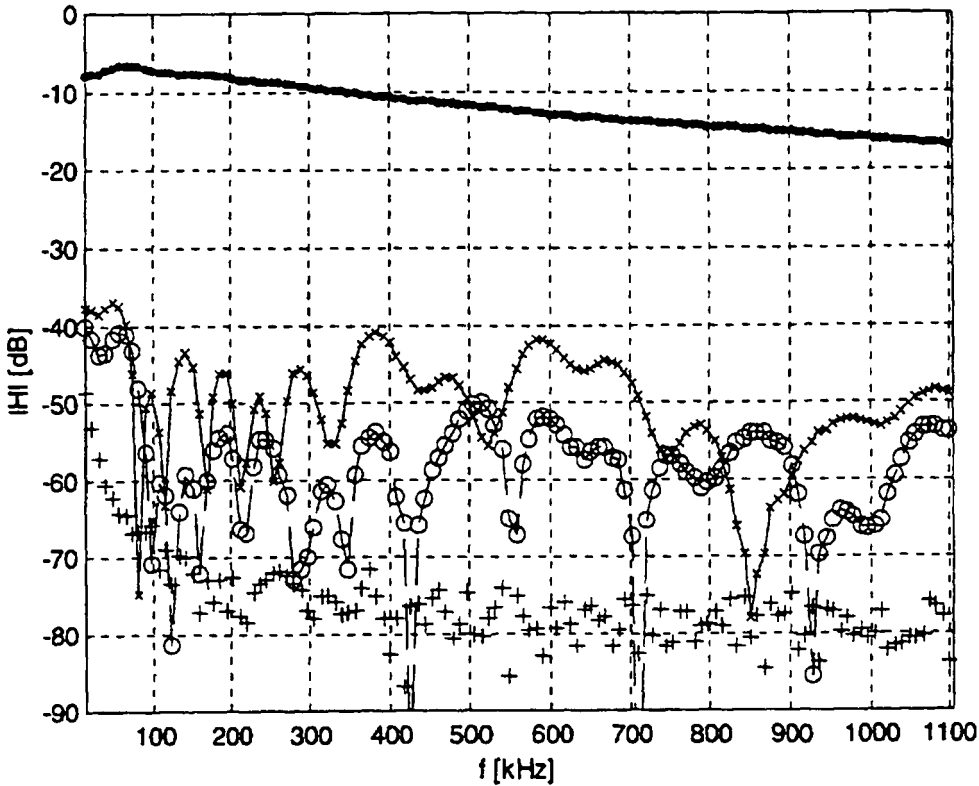


Fig. 5

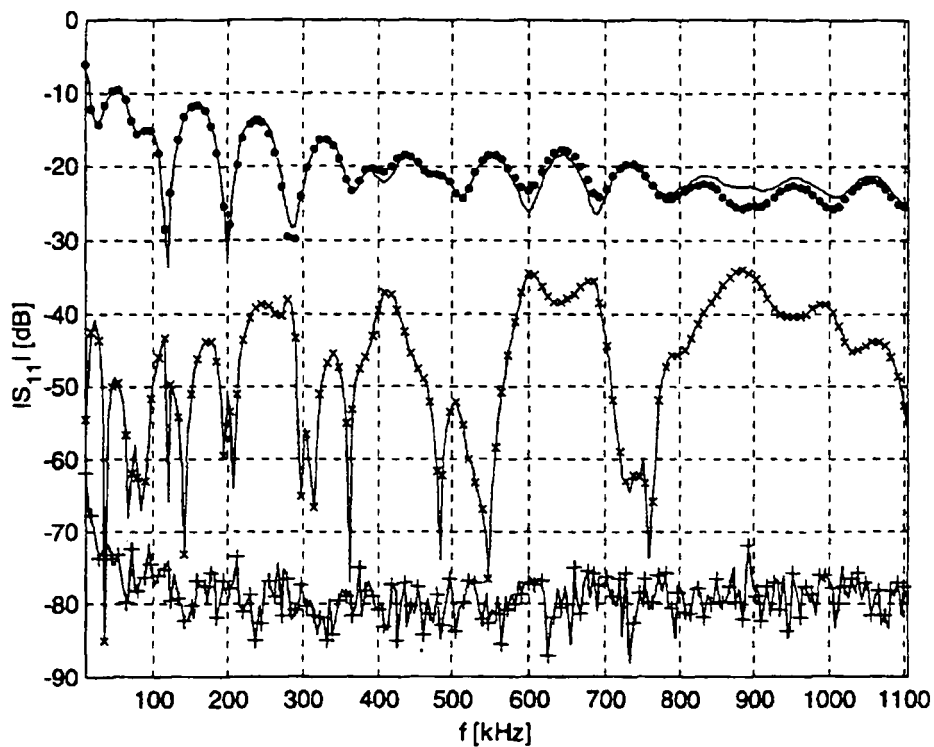


Fig. 6

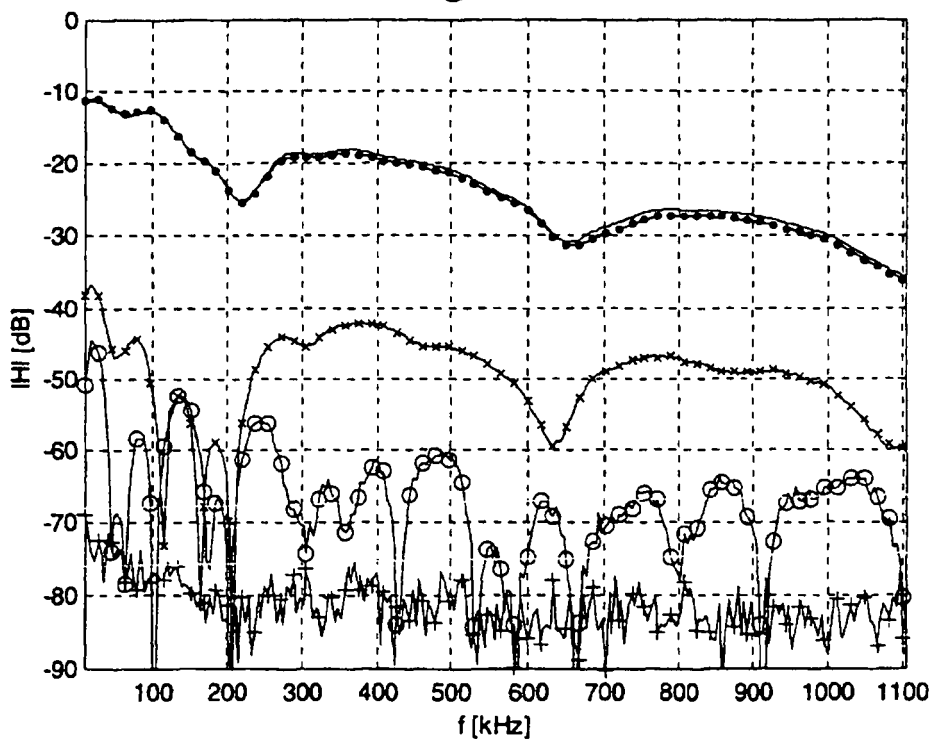


Fig. 7

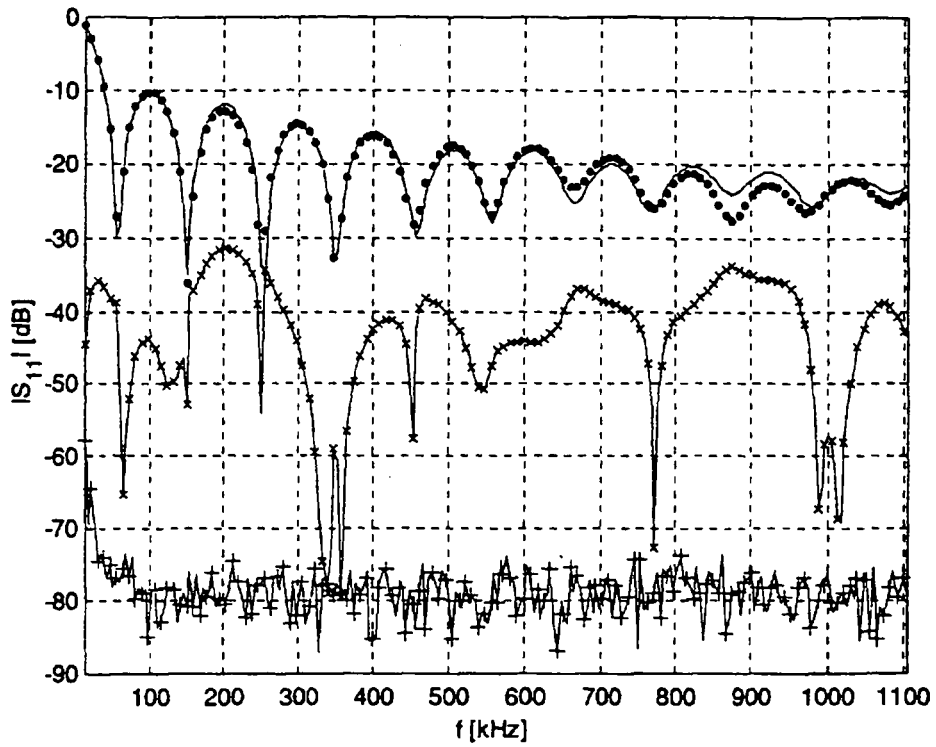


Fig. 8

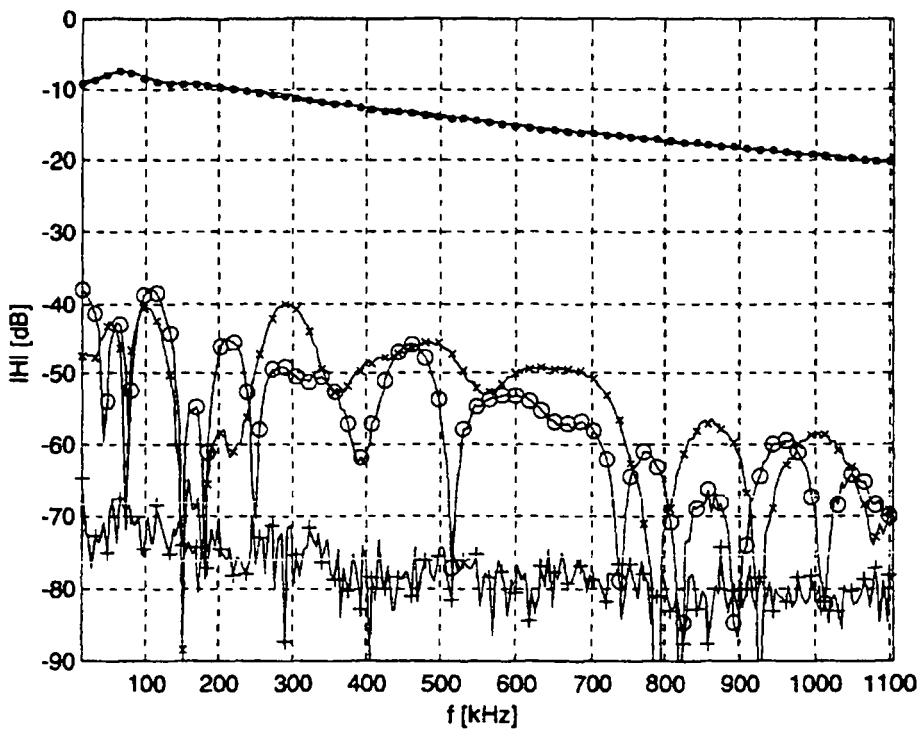


Fig. 9

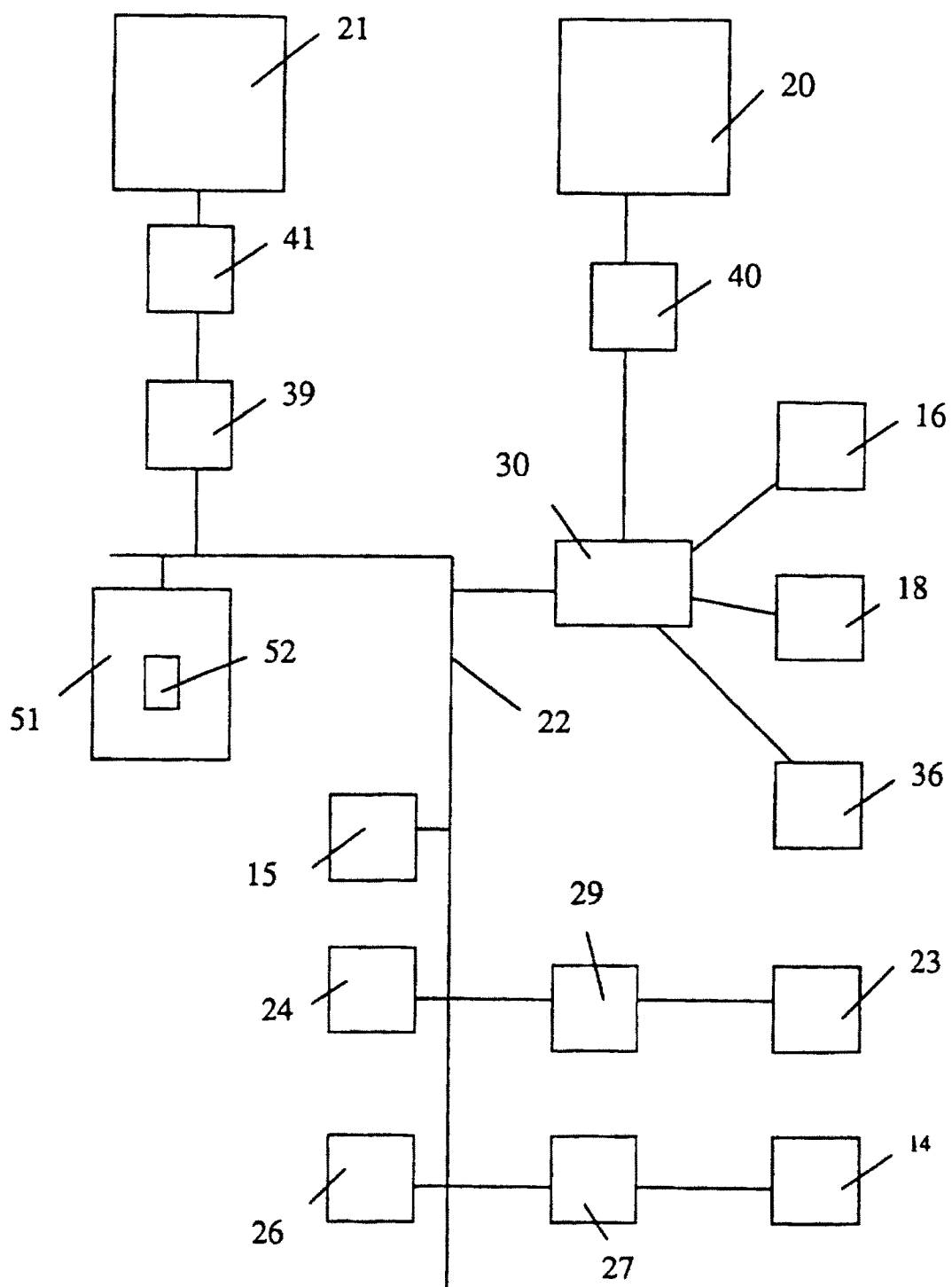


Fig. 10

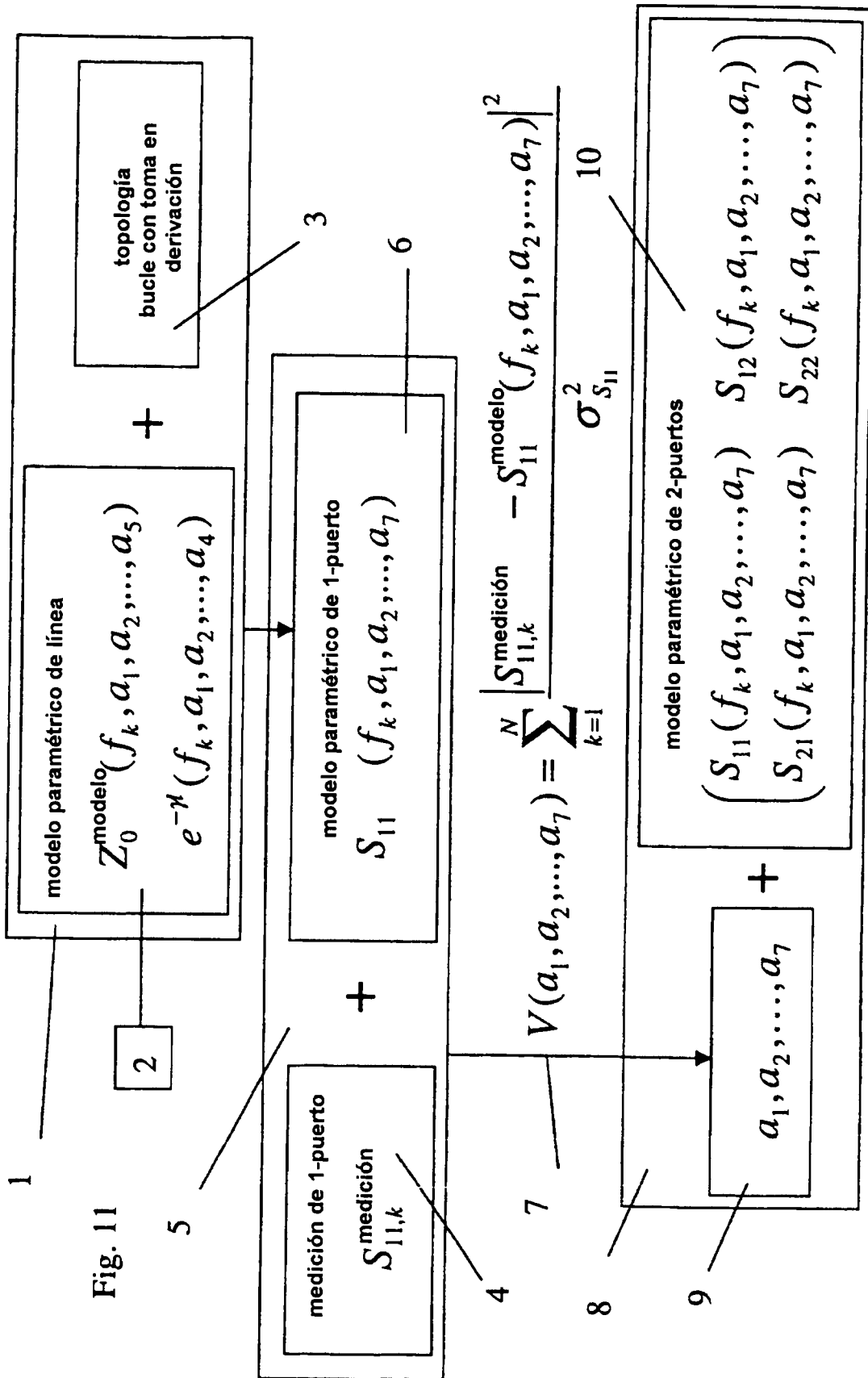


Fig. 11