

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 10 月 27 日 (27.10.2005)

PCT

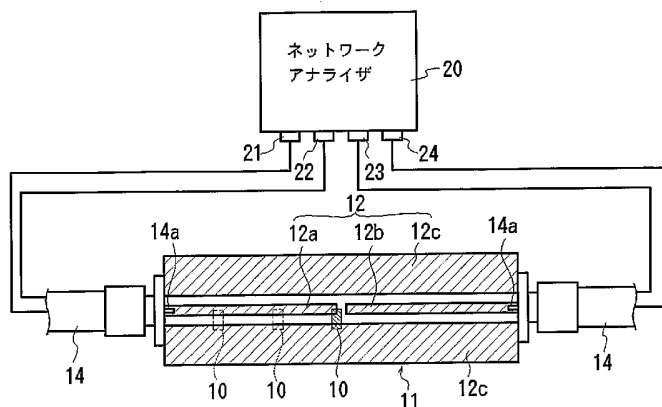
(10) 国際公開番号
WO 2005/101037 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G01R 27/28 2 丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/004882
- (22) 国際出願日: 2004 年 4 月 2 日 (02.04.2004) (74) 代理人: 筒井 秀隆 (TSUTSUI, Hidetaka); 〒6308115 奈良県奈良市大宮町 7 丁目 2 - 5 田村ビル Nara (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社村田製作所 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 神谷 岳 (KAMI-TANI, Gaku) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

/ 続葉有 /

(54) Title: HIGH FREQUENCY ELECTRIC CHARACTERISTICS MEASURING METHOD AND EQUIPMENT FOR ELECTRONIC COMPONENT

(54) 発明の名称: 電子部品の高周波電気特性測定方法および装置



20... NETWORK ANALYZER

(57) Abstract: A plurality of signal conductors (12a, 12b) having known electric characteristics per unit length and ground conductors (12c) are connected, respectively, with the measuring ports of a network analyzer (20), each signal conductor is shunted with short chips (10) at least three points in the longitudinal direction and electric characteristics are measured, a through chip (13) is connected in series between the signal conductors and electric characteristics are measured, and then error factors of the measuring system including the transmission line are calculated. Electric characteristics are measured while connecting an electronic component (17) to be measured between the signal conductors or between the signal conductors and between the ground conductors, error factors of the measuring system are removed from the measurements of the electronic component (17) to be measured, thus determining the true values of the electric characteristics of the electronic component (17) to be measured. A high-precision high frequency electric characteristics measuring method insusceptible to a variation in connection can thereby be realized.

(57) 要約: 単位長さ当たりの電気特性が既知の複数の信号導体 12a, 12b と接地導体 12c とをネットワークアナライザ 20 の測定ポートにそれぞれ接続し、各信号導体の長さ方向の少なくとも 3 箇所においてショートチップ 10 をシャント接続して電気特性を測定し、信号導体間にスルーチップ 13 をシリーズ接続して電

/ 続葉有 /



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

気特性を測定し、伝送路を含む測定系の誤差要因を計算する。信号導体間あるいは信号導体間および接地導体の間に被測定電子部品17を接続して電気特性を測定し、被測定電子部品17の測定値から測定系の誤差要因を除去し、被測定電子部品17の電気特性の真値を求める。そのため、接続ばらつきの影響を受けない高精度な高周波電気特性測定方法を実現できる。

明 細 書

電子部品の高周波電気特性測定方法および装置

技術分野

本発明は、フィルタやカプラ、バランのような電子部品、またはチップインダクタ、チップコンデンサ等のようなインピーダンス素子の高周波電気特性の測定方法に関する。より詳しくは、ネットワークアナライザなどの測定器によって前記電子部品の散乱係数やインピーダンス値を測定する際の測定誤差の補正方法に関する。

背景技術

ネットワークアナライザを用いて、表面実装タイプのフィルタやカプラ、またはチップインダクタ等のインピーダンス素子の高周波電気特性を測定する場合、これらの電子部品に直接同軸ケーブル等を接続することは不可能であるため、通常はネットワークアナライザに同軸ケーブルを介して平面伝送路（マイクロストリップラインやコプレーナウェーブガイドなど）を接続し、この平面伝送路上に電子部品を接触させて測定する。この場合、被検体であるインピーダンス素子の散乱係数行列の真値を得るためには、測定系の誤差要因を同定して測定結果から誤差要因の影響を取り除かなければならない。これを補正または校正（キャリブレーション）という。

ネットワークアナライザによる測定において、測定系の誤差を除去する従来技術として、Application Note 1287-9; In-Fixture Measurements Using Vector Network Analyzers ((C) 1999 Hewlett-Packard Company)に示されるように、TRL (Through-Reflection-Load) 補正やSOLT (Short-Open-Load-Through) 補正が知られている。

図1 a, 図1 bに、ネットワークアナライザを用いた測定系と、SOLT補正、TRL補正で使用される各誤差モデルとを示す。

被検体である電子部品1は、測定治具2の上面に形成された伝送路上に接続される。測定治具2の伝送路の両端は同軸ケーブル3を介して図示しないネットワークアナライザの測定ポートに接続されている。

SOLT補正の誤差モデルにおいて、 $S_{11A} \sim S_{22A}$ は被検体を含む伝送路の散乱係数、 E_{DF} , E_{RF} , E_{SF} は一方の測定ポート側の散乱係数、 E_{LF} , E_{TF} は他方の測定ポート側の散乱係数である。

TRL補正の誤差モデルにおいて、 $S_{11A} \sim S_{22A}$ は被検体の散乱係数、 e_o

s_{11} は一方の測定ポート側の散乱係数、 s_{22} は他方の測定ポート側の散乱係数である。

誤差要因を同定するためには、被検体測定面に少なくとも3種類の散乱係数が既知のデバイス（標準器）を取りつけて測定を行わなければならない。伝統的に開放（OPEN）、短絡（SHORT）、終端（LOAD=50Ω）が使用されることが多く、同軸環境であればこのような標準器を実現できるため、この方法は広く使用されており、SOLT補正と呼ばれる。SOLT補正では、図2に示すように、短絡（0Ω）と開放（∞Ω）と終端（50Ω）の3種類のコネクタ4を使用するとともに、ポート間を直結してスルー（Through）状態としている。

しかし、SOLT補正の場合、同軸環境以外ではこのような標準器の実現は極めて困難であり、補正に必要な標準器をチップデバイス形状で実現することができない。例えば表面実装部品を測定する際に用いられる平面伝送路は、導波管や同軸伝送路とは異なり、良好な「開放」や「終端」を得ることができず、現実的にSOLT補正を実施することができない。また、一般的に測定によって得られる測定値は、被検体1そのものではなく、被検体1と被検体を接続した測定治具2とを合成した特性となり、被検体単体の特性を測定することができない。

TRL補正とは、実現の難しいデバイス形状の標準器に代えて、図3に示すように、ポート間直結状態（Through）の伝送路5a、全反射（Reflection=通常短絡）の伝送路5b、及び長さが異なる数種類の伝送路（Line）5c、5dを標準器として使用するものである。伝送路5a～5dは、比較的散乱係数が既知のものを製作しやすく、また全反射も短絡であれば、比較的簡単にその特性を予想できることから、伝送路のみで補正を可能としたものである。そのため、原理的には被検体1単体の特性を測定することができる。

この例では、スルー伝送路5aはいわゆる Zero-through である。被検体の測定時には、スルー伝送路5aより被検体の大きさだけ長さを長くした測定治具5eに被検体をシリーズ接続して測定する。

ところが、被検体である表面実装型デバイスにTRL補正を適用しようとすると、以下のような課題を生じる。

1) 標準器である伝送路（Line 数種類と Reflection と Through）5a～5dにおいて、同軸コネクタ3と伝送路5a～5dとの接続部に生じる誤差要因が全て等しくなければならない。しかし、たとえ各標準器で同じ種類のコネクタを使用しても、各標準器を測定器に接続する際に特性バラツキが非常に大きくなり、補正誤差を生じ、ミリ波帯に近づくと事実上実施不可能となる。

2) 前記課題を解決するため、同軸コネクタ 3 を共通とし、その同軸ピンを標準器である伝送路と接触接続することでコネクタ測定の変動の影響を回避しようという工夫もされている。しかし、同軸ピンが破損するなど、構造上接触部に十分な押しつけ荷重を確保することが難しく、接触が安定しないために補正が不安定になることが多い。また、測定周波数が高くなると一般に伝送路も同軸ピンも細くなるので、これらの位置決め再現性による測定変動が大きくなってしまう。

3) 補正時の測定が正常であるかどうかを補正作業中に判断することが困難であるので、手間のかかる補正作業を終えて実際に被検体を測定して初めて、補正時の接触不良などの事故に気づくといった無駄を生じる。

特開平 6-34686 号公報には、ストリップ線路を経由して被検体に接続される 2 つの試験端子を有するネットワークアナライザを校正する方法が開示されている。すなわち、最初の校正測定においては、伝送と反射のパラメータを、伝搬定数が未知の線路上で、前記 2 つの試験端子間で無反射の仕方で接続されたストリップ線路上で測定し、同じ線路を使用してさらなる 3 回の校正測定を、前記線路上の 3 つの異なる位置において挿入された反射対称でかつ相反的な不連続部により実現された 3 つの校正標準器で実施するものである。

つまり、伝送路の状態を 3 つの状態に変化させることで、3 種類の標準器を実現し、標準器の接続を 1 回のみとするものである。この方法であれば、TRL 補正に比べて、標準器の接続回数を減らすことができ、校正作業における測定誤差を少なくできる。

しかし、実際に被検体の測定を行う場合には、標準器として使用したストリップ線路を取り外し、被検体を接続できるストリップ線路（治具）を再度接続しなければならない。当然、再接続した際の接続部の特性は変化するので、測定誤差になってしまう。

また、2 つの試験端子間にストリップ線路を無反射の仕方で接続することは、実際上難しく、試験端子とストリップ線路との接続部での反射係数が誤差要因となる。

さらに、被検体を接続して得られる測定値は、被検体だけでなく、被検体と被検体を接続したストリップ線路とを合成した特性となり、被検体単体の特性を測定することができない。

そこで、本発明の目的は、TRL 補正や SOLT 補正における問題点を解消するとともに、接続部の特性ばらつきの影響を受けない高精度な電子部品の高周波電気特性測定方法を提供することにある。

また、高精度な電子部品の高周波電気特性測定装置を提供することにある。

発明の開示

前記目的を達成するため、請求項 1 に記載の発明は、電子部品の高周波電気特性を測定する方法において、互いに離間して配置された複数の信号導体と、少なくとも 1 つの接地導体とを持ち、単位長さ当たりの電気特性が既知の伝送路を準備するステップと、前記各信号導体と前記接地導体とを測定器の測定ポートにそれぞれ接続するステップと、前記各信号導体の長さ方向の少なくとも 3 箇所において、全反射状態にして電気特性を測定するステップと、前記信号導体間を相互にスルー状態にして電気特性を測定するステップと、前記全反射状態での測定値及びスルー状態での測定値から、前記伝送路を含む測定系の誤差要因を計算するステップと、前記信号導体間あるいは前記信号導体間と前記接地導体との間に、被測定電子部品を接続して電気特性を測定するステップと、前記被測定電子部品の測定値から前記測定系の誤差要因を除去し、被測定電子部品の電気特性の真値を求めるステップと、を含むことを特徴とする電子部品の高周波電気特性測定方法を提供する。

本発明は、測定治具である伝送路の信号導体と接地導体との間に被検体をシリーズ接続するか、あるいは信号導体間と接地導体との間に接続して、その反射および伝達係数などを測定し、これからインピーダンス値や品質係数等の電気特性を求める方法において、伝送路その他の測定系の誤差を除去する手法である。本発明は、測定系の誤差を測定する際、伝送路の電気特性は物理的真値が既知であるものを製作しやすいこと、伝送路の全反射（短絡）状態は良質なものを容易に実現できること、という知見に基づいてなされたものである。

本発明では、長さ方向に一樣な電気特性を有する複数の信号導体を持つ伝送路上の少なくとも 3 箇所において、伝送路を全反射状態とすることで、測定系の誤差要因を同定する。全反射状態とするため、例えばショートチップやナイフエッジなどをシャント接続し、伝送路の信号導体と接地導体とを短絡状態にする。さらに、信号導体間を相互にスルー状態にして測定系の誤差要因を同定する。スルー状態を得るために、例えば伝達係数に方向性がないスルーチップをシリーズ接続する。

以下、本発明による補正（以下、RRRR補正と呼ぶ）の原理について説明する。

－RRRR補正の仮定－

1) 測定治具として使用する伝送路は単位長さあたりの電気特性が既知であるこ

と。

具体的には、単位長さあたりの損失と電気長、特性インピーダンスが既知である必要がある。これらはシミュレーションにより予測する、または同じ材質の基板を用いて数種類の長さの同じ構造の伝送路を製作し、これの電気特性の実測結果から推定することができる。単位長さ当たりの電気特性が既知の平面伝送路は、例えば公知のプリント基板の製造技術を用いれば、容易に実現できる。

2) 伝送路にショートチップをシャント接続した際のショートチップの電気特性が既知であること。

ここでショートチップとは、電氣的に短絡状態の部品一般を指し、チップ部品に限らず、金属片や工具などでもよい。望ましくは、ナイフエッジのような伝送路の長さ方向の接触長さが短いものがよい。ショートチップが理想的であれば、反射係数が -1 の値になるが、実際にはショートチップといえどもある程度のインダクタンスを持つので、インダクタンス値が既知である必要があるということである。通常、マイクロ波帯では、オープン状態と比較してショート状態は比較的容易に理想に近い状態を得られる。高い測定精度が要求される場合には、簡単なシミュレーション等によってショートチップのインダクタンスを求めれば良い。

3) ポート間を接続するスルーチップに方向性がないこと。

シリーズ法による測定が可能なRRRR補正では、ポート間をスルー接続する必要がある。このとき、スルーチップの特性は既知でなくても良く、例えば抵抗値が未知のチップ抵抗でも良いが、方向性はあってはならない。なお、アイソレータやサーキュレータ（直流磁界下の磁性体を使用した特殊な素子）、または半導体アンプのような能動素子を除き、信号伝達に方向性を有するデバイスは作れない（相反定理）ので、この仮定は事実上自動的に満たされる。スルーチップとは、チップ部品に限らず、信号伝達に方向性がない部品であれば、いかなる部品でもよい。

— RRRR補正の標準器 —

RRRR補正では、測定すべき標準器は全て同じショートチップ10であり、これを図4に示すように測定治具11に形成された伝送路12上の3箇所以上で測定する。ここではポート1（コネクタ11a）側の補正について説明するが、ポート2（コネクタ11b）側についても同じ操作が必要である。

測定治具11として、ここではコプレーナウエーブガイドを例にして説明する。コプレーナウエーブガイドは、2つの信号導体12a、12bが一直線上にかつ一端が間隔をあけて配置され、他端がコネクタ11a、11bにそれぞれ接続されている。信号導体12a、12bの幅方向両側に間隔をあけて接地導体12cが配置されており、信号導体12a、12bと接地導体12cとが治具基板上の同一平面上に形成されている。コネクタ11a、12aには同軸ケーブルが

接続される。

まず、被検体の測定時に一方の電極を接続する箇所（図4中の測定点1、以下「被検体測定箇所」という）にショートチップ10をシャント接続して測定を行い、この時の測定結果を S_{11M1} とする。この際、測定箇所における反射係数の真値を Γ_{A1} とする。 Γ_{A1} はショートチップの真値であるが、これはショートチップ10の伝送路12の長さ方向の大きさが測定信号波長と比較して十分に小さければ-1とすればよく、そうでなければその真値の予想値をシミュレーション等で求めておくべきものである。

次に、被検体測定箇所よりポート1側に L (m) だけ離れた信号導体12a上の位置（測定点2）にショートチップ10をシャント接続して測定を行い、この時の測定結果を S_{11M2} とする。この際、測定点2におけるショートチップ10の反射係数の真値はもちろん Γ_{A1} であるが、被検体測定箇所を基準面にとると、反射係数の真値は数式1のように変換される。ポート1側より入射した電磁波は、ショートチップ10で全反射するため、被検体測定箇所にショートチップ10を接続した場合と比較して往復分 $2L$ だけ伝送路を伝達する距離が短いからである。ここで、 α は単位長さあたりの伝送路の伝達度、 β は伝送路の位相定数であり、 Γ_{A2} は被検体測定箇所を基準面とした場合の測定点2に接続されたショートチップ10の真値である。

〔数式1〕

$$\Gamma_{A2} = \Gamma_{A1} \alpha^{-2L} \exp(j2\beta L)$$

続けて、被検体測定箇所よりポート1側に $2L$ (m) だけ離れた信号導体12a上の位置（測定点3）にショートチップ10をシャント接続して測定を行い、この時の測定結果を S_{11M3} とする。測定点2の場合と同様に被検体測定箇所を基準面にとると、反射係数の真値は数式2のようになる。

〔数式2〕

$$\Gamma_{A3} = \Gamma_{A1} \alpha^{-4L} \exp(j4\beta L)$$

なお、数式1、数式2は伝送路の伝達度の負の冪になっていることから明らかなように、 Γ_{A2} 、 Γ_{A3} はその大きさが1を越えることがある。通常であれば、反射係数の大きさが1を超えるショートチップなど存在し得ないが、これはあくまでも数式1、数式2が基準面を被検体測定箇所を取っているために発生している状態であり、異常ではない。

さらに、図5に示すようにスルー（ポート間直結）状態での測定を行う。ポ

ート間を接続するために適当なデバイス（以下、スルーチップという）13を信号導体12a, 12b間にシリーズ接続する。測定値は、反射係数が S_{11MT} 、 S_{22MT} で、伝達係数は S_{21MT} 、 S_{12MT} とする。なお、後述するが、スルーチップ13の電気特性は未知で良く、例えば抵抗値が分からないチップ抵抗などでも良いが、伝達係数に方向性があつてはならない。伝達係数は、直流磁界下のフェライトなどの特殊な材料を使用しない限り、相反定理により方向性を持たないので、通常この条件は自動的に満足される。

－RRRR補正の誤差モデルの誤差係数の導出－

RRRR補正の誤差モデルを図6に示す。これは特に新規なものではなく、従来から使用されているTRL補正の誤差モデルと同じものである。図中の S_{11M} 、 S_{21M} は反射係数及び伝達係数の測定値であり、 S_{11A} 、 S_{21A} 等は被検体の散乱係数である。また、誤差係数 E_{xx} 、 F_{xx} は8個あるが、散乱係数測定は比測定であるので、このうち7個の誤差要因を定められれば良い。具体的には、 $E_{21} = 1$ と置けば良い。

さて、前述のRRRR補正の標準器の測定結果から、図6中の各誤差係数を求めなければならないが、まず、 E_{11} 、 $(E_{21} \cdot E_{12})$ 、 E_{22} 、 F_{11} 、 $(F_{21} \cdot F_{12})$ 、 F_{22} は次式で求められる。なお、 F_{xx} は E_{xx} と同様のため、 E_x とのみ記載する。この段階では $(E_{21} \cdot E_{12})$ については、2つの誤差係数 E_{21} 、 E_{12} の積は求められるが、これらを別個独立に求めることはできない。なお、 D_1 は中間変数である。

〔数式3〕

$$D_1 = \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M2} + \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M2} \\ + \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M1}$$

$$E_{11} = -(\Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M2} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M2} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M3} \\ + \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M3} + \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M2} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M2}) / D_1$$

$$(E_{21} \cdot E_{12}) = \frac{(\Gamma_{A2} - \Gamma_{A1}) \cdot (\Gamma_{A3} - \Gamma_{A1}) \cdot (\Gamma_{A3} - \Gamma_{A2}) \cdot (S_{11M2} - S_{11M1}) \cdot (S_{11M3} - S_{11M1}) \cdot (S_{11M3} - S_{11M2})}{D_1^2}$$

$$E_{22} = \frac{\Gamma_{A2} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A1} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A3} \cdot S_{11M2} + \Gamma_{A1} \cdot S_{11M2} + \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} - \Gamma_{A2} \cdot S_{11M1}}{D_1}$$

次に、スルーチップの順方向および逆方向の伝達係数の測定結果 S_{21MT} 、 S_{12MT} は、図6の誤差要因を用いて次式のように書ける。ただし、スルーチップの散乱係数の真値を仮に S_{11A} 、 S_{21A} 、 S_{12A} 、 S_{22A} としておく。

〔数式4〕

$$S_{21MT} = \frac{E_{21} \cdot S_{21A} \cdot F_{12}}{E_{22} \cdot F_{22} \cdot S_{11A} \cdot S_{22A} - E_{22} \cdot F_{22} \cdot S_{21A} \cdot S_{12A} - F_{22} \cdot S_{22A} - E_{22} \cdot S_{11A} + 1}$$

$$S_{12MT} = \frac{E_{12} \cdot S_{12A} \cdot F_{21}}{E_{22} \cdot F_{22} \cdot S_{11A} \cdot S_{22A} - E_{22} \cdot F_{22} \cdot S_{21A} \cdot S_{12A} - F_{22} \cdot S_{22A} - E_{22} \cdot S_{11A} + 1}$$

ここで、 S_{21MT} 、 S_{12MT} の比を考える。数式4をもとに、スルーチップの正逆方向の伝達係数が等しい ($S_{21A} = S_{12A}$) ことに注意しつつ整理すると、次式が得られる。ここで注目すべきは、スルーチップの散乱係数 S_{11A} 、 S_{21A} 、 S_{12A} 、 S_{22A} は除算ですべて消滅してしまう点である。つまり、スルーチップの散乱係数真値が不明であっても、スルーチップに方向性がない場合は S_{21MT} 、 S_{12MT} (これは測定可能量である) の比さえ分かれば、誤差係数の関係が決まるという事である。

〔数式5〕

$$\frac{S_{21MT}}{S_{12MT}} = \frac{E_{21} \cdot F_{12}}{E_{12} \cdot F_{21}}$$

数式3と数式5をもとに、次式の通り全誤差係数を決定できる。ここで、 $E_{21} = 1$ とおいた。

〔数式6〕

$$E_{21} = 1$$

$$E_{12} = (E_{21} \cdot E_{12}) / E_{21}$$

$$F_{12} = \sqrt{\{(E_{21} \cdot E_{12}) \cdot (F_{21} \cdot F_{12}) \cdot S_{21MT} / S_{12MT}\}}$$

$$F_{21} = (F_{21} \cdot F_{12}) / F_{12}$$

以上で、全ての誤差係数を決定する事ができた。以上はポート1側からポート2側へ信号を印加した場合 (順方向) の議論であるが、逆方向については $E_{21} = 1$ とする代わりに $F_{21} = 1$ とすれば導出できる。

－RRRR補正の実施－

誤差係数が求まれば、RRRR補正の誤差モデルはTRL補正の誤差モデルと同じものであるから、実際の被検体測定結果から誤差の影響を除去するにはTRL補正と同様の計算を行えば良く、誤差の影響を除去する数式を以下に記載しておく。なお、誤差要因の影響を除去するには、本式は2ポート測定の場合の反射係数をもとに計算する式であるが、ネットワークアナライザの4つのレシーバ出力から計算してもよい。また、3ポート以上の場合にも、本式と同様の式を使

用してもよいし、あるいは回路シミュレーション手法を用いて誤差要因の影響を除去しても良い。要するに、どのような公知技術を選択しても良い。なお、数式7において、 D_2 は中間変数である。

[数式7]

$$D_2 = \left\{ \frac{E_{22} \cdot (S_{11M} - E_{11})}{E_{12}} + 1 \right\} \cdot \left\{ \frac{F_{22} \cdot (S_{22M} - F_{11})}{F_{12}} + 1 \right\} - \frac{F_{22} \cdot F_{11} \cdot (S_{12M} - E_{XR}) \cdot S_{21M}}{F_{12} \cdot E_{12}}$$

$$S_{11A} = \frac{(S_{11M} - E_{11}) \cdot \{F_{22} \cdot (S_{22M} - F_{11}) / F_{12} + 1\} / E_{12} - F_{22} \cdot S_{12M} \cdot (S_{21M} - E_{XF}) / (F_{12} \cdot E_{12})}{D_2}$$

$$S_{21A} = \frac{S_{21M} / F_{12} \cdot \{(E_{22} - F_{22}) \cdot (S_{22M} - F_{11}) / F_{12} + 1\}}{D_2}$$

なお、数式7における E_{XR} と E_{XF} はいわゆるリーク信号で、前者はポート1から被検体を介さずに直接ポート2に飛び込む信号、後者はその逆を示す。通常、SOLT補正やTRL補正では十分アイソレーションが高い（すなわちリークが少ない）測定系を対象とするので、 $E_{XR} = E_{XF} = 0$ とみなすことができる。

図7は、上記RRRR補正方法の一例のフローチャート図である。

補正を開始すると、まず測定器と測定治具とを同軸ケーブルを介して接続する（ステップ1）。次に、第1の位置でショートチップにより信号導体12aと接地導体12cとを短絡する（ステップ2）。第1の位置とは被検体測定位置近傍でもよいし、他の位置でもよい。ショートチップを接続した状態で、ポート1側の反射係数（ S_{11M1} ）を測定する（ステップ3）。

次に、第2の位置でショートチップにより信号導体と接地導体とを短絡し（ステップ4）、ポート1側の反射係数（ S_{11M2} ）を測定する（ステップ5）。続いて、第3の位置でショートチップにより信号導体と接地導体とを短絡し（ステップ6）、ポート1側の反射係数（ S_{11M3} ）を測定する（ステップ7）。

次に、第4の位置でショートチップにより信号導体12bと接地導体12cとを短絡する（ステップ8）。第4の位置とは被検体測定位置近傍でもよいし、他の位置でもよい。ショートチップを接続した状態で、ポート2側の反射係数（ S_{11M1} ）を測定する（ステップ9）。

次に、第5の位置でショートチップにより信号導体と接地導体とを短絡し（ステップ10）、ポート2側の反射係数（ S_{11M2} ）を測定する（ステップ11）。続いて、第6の位置でショートチップにより信号導体と接地導体とを短絡し（ステップ12）、ポート2側の反射係数（ S_{11M3} ）を測定する（ステップ13）。次に、スルーチップ13を信号導体12a、12b間にシリーズ接続し（ステップ14）、伝達係数（ S_{21MT} 、 S_{12MT} ）を測定する（ステップ15）。

その後、測定した反射係数、伝達係数を用いて、数式3～数式6により誤差係数を計算する（ステップ16）。

誤差係数を計算した後、測定治具に被検体を接続し（ステップ17）、被検体の順方向・逆方向の反射係数および伝達係数（ S_{11M} 、 S_{21M} 、 S_{12M} 、 S_{22M} ）を測定する（ステップ18）。次に、数式7で誤差の影響を除去し（ステップ19）、誤差除去結果（被検体の真値）のディスプレイなどへの表示や被検体の選別等を実施する（ステップ20）。その後、全ての被検体の測定が完了するまでステップ9～12を繰り返し（ステップ21）、全ての被検体の測定が完了すれば、RRRR補正を終了する。

ーオープン補正ー

上記補正では、被検体測定位置までの誤差要因を除去できるが、被検体測定位置間の誤差、例えば2ポートの場合なら各ポートの被検体電極の接触点間の誤差要因は未考慮である。このような誤差のなかで最大のものは、信号導体間に存在する浮遊容量である。浮遊容量があると、被検体を測定したとき、浮遊容量を含んだ値を測定することになり、誤差要因となる。

そこで、信号導体に何も接続しない状態（オープン状態）の電気特性を測定し、その測定結果から浮遊アドミタンスを求め、被検体の測定結果から浮遊アドミタンスの影響を数学的に除去すれば、浮遊容量による誤差を解消できる。

ー接触不良検出ー

ショートチップを用いた補正測定時には、被検体測定位置に適当なスルーチップを接続しておく、何らかの原因で接触不良が発生している場合には、ポート間の伝達係数が大きくなることで、これを検出できる。このように、補正手順中に測定ミスを検出できるため、後に被検体を測定した時点で補正に失敗していたと判明するような無駄を防げる。

ースルーチップを用いない誤差補正方法ー

前述の説明では、伝達係数に方向性のないスルーチップを信号導体間にシリーズ接続して、順方向および逆方向の伝達係数 S_{21MT} 、 S_{12MT} を測定し、その比 S_{21MT}/S_{12MT} を求めることで誤差係数の関係を決定したが、被検体に方向性がない場合には、スルーチップ測定に代えて被検体測定で誤差係数を決定することが可能である。

例えば、被検体がフィルタ、カプラ、バラン、コンデンサ、抵抗およびコイルなどの殆どのデバイスでは、被検体に方向性がないので、被検体も一種のスルーチップとみなすことができる。そのため、被検体の測定結果から伝達係数の比 S_{21MT}/S_{12MT} を求めれば、数式5から誤差係数の関係を決定できる。

この場合、被検体は2端子に限らず、各ポート間に方向性がなければ3端子以上の電子部品でも適用可能である。

本発明の伝送路としては、信号導体と接地導体とが同一平面上に形成された伝送路を用いるのがよい。ショートチップを用いた補正作業や被検体を用いた測定作業において、ショートチップや被検体を、信号導体と接地導体とに同時に接続しやすいからである。しかも、補正測定時のショートチップや被検体の押し付けを伝送路に対して垂直に行えるので、十分な押しつけ荷重を確保することが容易で、接触が安定しやすい。

具体的な伝送路としては、コプレーナウエーブガイドやスロット線路を用いることができる。コプレーナウエーブガイドは信号導体とこの信号導体を間にし、その両側に接地導体を有し、前記信号導体と接地導体とが同一平面上に形成されたものであり、10GHzまでの高周波特性の測定に適している。

一方、スロット線路は、信号導体と接地導体とが同一平面上に間隔をあけて設けられたものであり、10GHz以上の高周波特性の測定に適している。

ショートチップを接続する複数の位置の相互距離は、測定したい周波数によって望ましい位置が決まるものであり、測定周波数の信号波長の $1/16 \sim 3/16$ および $5/16 \sim 7/16$ 以下とするのが望ましい。

補正を高精度に行うためには、補正データが相互にできるだけ離れていることが望ましく、ショートチップの反射の位相によって異なる補正データを得るRRRR補正では、補正に必要なデータがお互いに 120° 離れていることが理想である。ただし、この条件は特定の周波数でしか成立しないので、広帯域測定を行う場合には様々な距離だけ離れた点でショートチップ測定を行っておき、適宜これらデータを選択して使用するとよい。この際、各データの位相差が 120° に近くなるようにしたいので、被検体測定位置から電気長で $1/16 \sim 3/16$ および $5/16 \sim 7/16$ 程度離れた点にショートチップを接続することが最適である。

図面の簡単な説明

図1aは従来のネットワークアナライザを用いた測定系およびSOLT補正の誤差モデルを示す図である。

図1bは従来のネットワークアナライザを用いた測定系およびTRL補正の誤差モデルを示す図である。

図2はSOLT補正法を示す図である。

図3はTRL補正法を示す図である。

図4は本発明にかかる反射測定における図である。

図 5 は本発明にかかるスルー測定における図である。

図 6 は本発明にかかる補正法で使用する誤差モデル図である。

図 7 は本発明にかかる補正法の一例のフローチャート図である。

図 8 は本発明にかかる高周波電気特性測定装置の補正時における平面図である。

図 9 は図 8 に示す高周波電気特性測定装置の補正時における正面図である。

図 10 は本発明にかかる高周波電気特性測定装置の被検体の測定時における正面図である。

図 11 は伝送路間に発生する浮遊容量の影響を示す図である。

図 12 は本発明にかかる高周波電気特性測定装置を用いて測定したチップ抵抗の高周波特性図である。

図 13 は本発明にかかる高周波電気特性測定装置を用いて測定したチップインダクタの高周波特性図である。

図 14 はショートチップと伝送路との間で直列共振させる例を示す図である。

図 15 は 3 ポートを持つ伝送路の例を示す平面図である。

図 16 は伝送路としてスロット線路を用いた例の平面図である。

図 17 は 1 ポートを持つ伝送路の例を示す平面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明の実施例を図面を参照して説明する。

一実施例 1

RRRR 補正の有効性を確かめるために、次のような実験装置を製作して実験を行った。ここでは、実験結果を示すとともに、RRRR 補正の仕方を理解しやすくするため、実験の様子を順を追って説明する。

RRRR 補正には、周波数帯域幅に応じた長さの伝送路を備えた測定治具が必要である。ここでは、図 8、図 9 に示すとおり、測定治具 11 として、表面に伝送路 12 を持ち、裏面に接地導体 12d を持つコプレーナウエーブガイド（以下、CPW と呼ぶ）を用いた。シリーズ法に対応するため伝送路 12 の信号導体 12a、12b が中央部で途切れているものを製作した。また、RRRR 補正では被検体の測定位置以外でも伝送路 12 上のいくつかの位置でショートチップ 10 を測定しなければならない。このため、図 9 に示すようにショートチップ 10 を伝送路 12 に押し付けるプッシャ 15 と、プッシャ 15 を伝送路 12 に沿って自由に移動できる機構 16 とを設けた。

伝送路 12 は、信号導体 12a、12b とその幅方向両側に接地導体 12c とを有し、伝送路 12 の両端は同軸ケーブル 14 を介してネットワークアナライ

ザ 20 の測定ポート 21 ～ 24 に接続されている。同軸ケーブル 14 の信号線 14 a は、接続ばらつきを解消するため信号導体 12 a, 12 b に半田付けや溶接等によって固定されている。測定ポート 21, 24 は同軸ケーブル 14 を介して信号導体 12 a, 12 b と接続され、測定ポート 22, 23 は同軸ケーブル 14 を介して接地導体 12 c, 12 d と接続される。

なお、伝送路 12 の特性は既知でなければならない。今回は、CPW 製作技術上の都合から特性インピーダンスを $75\ \Omega$ で設計した。

ー補正作業ー

RRRR 補正の補正作業は、伝送路 12 中の数カ所でショートチップ 10 を測定することで行う。まず、被検体測定位置でショートチップ 10 を伝送路 12 の信号導体 12 a と接地導体 12 c との間にシャント接続し、電気特性を測定する。次に、この位置から一定距離はなれた位置で同じショートチップ 10 を測定する。今回は、高周波領域用に距離 4 mm 及び 8 mm とした位置での測定を行ったが、広い周波数範囲での測定が必要な場合は、測定位置を適宜増やすことが望ましい。

ショートチップ 2 の測定位置をどのように選択するべきかについて説明する。伝送路 12 の被検体測定箇所と、ここから 5 mm 離れた点でショートチップ 2 を測定したとする。伝送路 12 の損失が大きいとすると、この 2 点の測定結果の違いは位相だけである。ここで、波長が 30 mm (真空中での 1 GHz の電磁波の波長) であるとする。5 mm 位置の違いは、往復で 10 mm の位置の違いに相当するので、測定データは $(10\text{ mm} \div 30\text{ mm}) \times 360^\circ = 120^\circ$ の位相差があると期待できる。ところが、波長が 10 mm (真空中での 3 GHz の電磁波の波長) であったとすると、同じく往復 10 mm の位置の違いが生み出す位相差は $10\text{ mm} \div 10\text{ mm} \times 360^\circ = 360^\circ$ であり、結局位相の差が生じない。このため、5 mm の位置の違いでは、波長 10 mm の周波数では補正を正常に行えない。

補正を高精度に行うためには、補正データが相互にできるだけ離れていることが望ましく、ショートチップの反射の位相によって異なる補正データを得る RRRR 補正では、補正に必要なデータがお互いに 120° 離れていることが理想である。ただし、この条件は特定の周波数でしか成立しないので、広帯域測定を行う場合には様々な距離だけ離れた点でショートチップ測定を行っておき、適宜これらデータを選択して使用するとよい。この際、各データの位相差が 120° に近くなるようにしたいので、被検体測定位置から電気長で $1/16 \sim 3/16$ 及び、 $5/16 \sim 7/16$ 程度離れた点にショートチップを接続することが最適

である。

なお、ショートチップ測定時には、被検体測定位置に適当なスルーチップを接続しておく、何らかの原因で接触不良が発生している場合には、ポート間の伝達係数が大きくなることで、接触不良を検出できる。このように、補正手順中に測定ミスを検出できるため、後に被検体を測定した時点で補正に失敗していたと判明するような無駄を防げる。

－スルー測定－

次に、スルー測定を行う。すなわち、図5に示すように信号導体12a、12b間にスルーチップ13をシリーズ接続し、その伝達係数(S_{21MT} , S_{12MT})を測定する。スルーチップ13は、その電気特性が未知の素子でもよく、伝達係数に方向性がなければよい。

－被検体の測定－

次に、被検体17を伝送路に接続し、その特性を測定する。例えばチップマウンタなどを用いて被検体17を吸着し、この被検体17を測定治具11の被検体測定位置へ接触させて測定すればよい。なお、被検体17が2端子の場合には、図10の(a)のように信号導体12a、12b間にシリーズ接続すればよいが、3端子または4端子の場合には、図10の(b)のように信号導体12a、12bおよび接地導体12cの間に接続すればよい。したがって、本発明による測定方法は、2端子の電子部品その他、フィルタのような3端子以上の電子部品にも適用できる。

－オープン補正－

RRRR補正では、被検体測定位置までの誤差要因を除去できるが、被検体測定位置間の誤差、例えば2ポートの場合なら各ポートの被検体電極の接触点間の誤差要因は未考慮である。このような誤差の中で最大のものは、図11に示すようなポート間の浮遊容量(信号導体12a、12b間の浮遊容量 C_s)である。つまり、コプレーナウェーブガイドをTEM伝送してきた信号は、高インピーダンスの被検体17に阻まれて反射するが、一部がTM波として伝達してしまうという誤差要因が存在する。RRRR法が属するシリーズ法は、高いアイソレーションの測定治具を使用すれば高いインピーダンスの測定に対応できるはずのものであるが、ガラスエポキシ材等の誘電率の高い材料の治具を使用したり、あるいは治具の厚みが例えば1.6mm等と厚いものを使用すると、ポート間の浮遊容量が大きくなり、アイソレーションが低くなってしまう。テフロン(登録商標)のように誘電率が低い材料で、薄い治具を作成すればこの問題は低減する。しか

し、これでも十分でない場合、あるいは、コスト等の問題で満足できる特性の治具を使用できない場合（テフロン基板は一般的に高価である）には、数学的にこの誤差を補正できる。

つまり、測定治具単体（オープン状態）の測定結果から、測定結果の浮遊アドミタンスを求め、被検体測定結果から浮遊アドミタンスの影響を数学的に除去するのである。測定治具単体をRRRR補正してインピーダンスを求めたものを Z_C 、被検体測定結果をRRRR補正してインピーダンスを求めたものを Z_M とすると、前記数学処理（オープン補正）後のインピーダンス Z_L は次式で求められる。あまりに Z_C が大きいと測定系のダイナミックレンジが狭くなり、測定バラツキが大きくなるなどの問題が生じる可能性があるので、あまりにアイソレーションが低い治具を使用するべきではないが、通常は以上の処理で十分な結果を得られる。

〔数式 8〕

$$Z_L = \frac{Z_C Z_M}{Z_C - Z_M}$$

RRRR法の説明は主に散乱係数で議論してきているが、オープン補正についてはインピーダンスを用いて議論している。インピーダンスと散乱係数は相互変換可能な物理量で、伝送路の特性インピーダンスを Z_0 、散乱係数の反射係数を S_{11} 、伝達係数を S_{21} とすると、散乱係数とインピーダンス Z は次式で変換できる。2つの式を載せているが、どちらの式を用いても原理的には同じ結果を与える。

〔数式 9〕

$$Z = -\frac{2Z_0 S_{11}}{S_{11} - 1}, \quad Z = -\frac{2Z_0 (S_{21} - 1)}{S_{21}}$$

－測定結果－

以上のRRRR補正およびオープン補正を用いて、いくつかのインピーダンス素子を1GHz～8GHzの範囲で測定した結果が図12、図13である。測定した素子は、1mm×0.5mmサイズのチップ抵抗及び数種類のチップインダクタ（巻線チップコイル）である。

図13から分かるように、インダクタの一般的なインピーダンス特性カーブが得られている。つまり、自己共振周波数までは周波数上昇に比例してインピーダンスが上昇し、自己共振周波数以降は周波数上昇に反比例してインピーダンスが低下している。参考のため、図13には、理想インダクタのインピーダンスの理論計算値をプロットしている（SIMの接頭語がついている系列）。

以上のとおり、RRRR補正により被検体真値を測定できることが確かめら

れた。

既に述べた通り、RRRR補正は誤差係数の求め方にその特徴がある手法であり、誤差モデルはTRL補正と同じものを使用している。このため、TRL補正に近い特徴を有している。以下、これら特徴について述べる。

1) 補正・測定は全て同一の1つの伝送路上で行う。

従って、伝送路やコネクタの特性バラツキの影響は受けない。TRL補正では、いくつもの長さの伝送路が標準器として必要で、かつこれらと同軸コネクタの接続部の電気特性が全て等しい必要がある。

2) 被検体は伝送路に直列に挿入して測定する。

従って、2端子素子のシリーズ法による測定はもちろん、通常の2ポート以上の電子部品（3端子以上の電子部品）の測定も問題なく行うことができる。

3) 測定治具に必要な伝送路の長さは、測定したい周波数の下限によって決まる。

低周波数に対応するには長い伝送路が必要であり、高周波数に対応するには短い伝送路で足りる。

4) 補正のための測定は、伝送路上の数カ所でのショートチップ測定と適当なデバイスによるスルー測定を行うことで行う。

被検体の測定位置からどれだけ離れた位置で何ヶ所のショートチップ測定をすべきかは、測定周波数帯域幅と周波数上限によって決定する。また、スルーチップは方向性さえなければ、その散乱係数は未知でよい。

5) 補正測定の失敗（接触不良）を伝達係数の測定結果から検出できる。

ショートチップ測定時に被検体測定箇所に適当なスルーチップを接続しておく事で、伝達係数の大小で接触不良などを検出できる。また、補正測定時のショートチップの押しつけを伝送路に垂直に行えるので、十分な押しつけ荷重を確保することが容易で、そもそも接触が安定しやすい。

6) TRL補正と同じく、伝送路の特性インピーダンス等は既知である必要がある。

これは、伝送路を標準器として利用していることから当然の制約である。

－実施例2－

RRRR補正は、単体で行えば測定系全体の誤差を補正できる。一方、治具基板を接続する同軸コネクタまでをSOLT補正等の手法で補正した上で、RRRR補正を行うと、得られる誤差係数は治具基板の誤差係数になる。つまり、RRRR補正を治具の誤差要因の同定手法として利用できる。

最近のネットワークアナライザには、治具などの誤差係数を与えれば、測定結果から与えた誤差の影響を自動的に除去してくれる機能（ディエンベディング機能）がある。しかし、治具の誤差を求める方法がないために、実際にはあまり

使われない機能である。本発明にかかるRRRR補正の手法と組み合わせると、これは非常に便利な機能になる。

なお、ディエンベディングとは、既知の誤差要因を数学的に除去する手法であり、伝送行列を用いると簡単に実施できる。得られた治具の誤差要因の散乱係数行列を伝送行列に変換して逆行列にしたものを、ポート1側、ポート2側それぞれ E^{-1} 、 F^{-1} とする。このとき、治具の各ポートの誤差要因の伝送行列が E 、 F である。さらに、デバイスの伝送行列を A とする。この時、同軸ケーブル先端まで校正したネットワークアナライザで治具ごとデバイスを測定した測定結果は、デバイスに各ポートの誤差が重畳されたものであるから

$$E \cdot A \cdot F$$

が測定されているはずである。そこで、左右からそれぞれ E^{-1} 、 F^{-1} をかける

$$E^{-1} \cdot E \cdot A \cdot F \cdot F^{-1} = A$$

となり、デバイスの特性を得ることができる。

ディエンベディング手法を用いると、高い精度でのショートチップの位置決め等が必要なRRRR補正手順は研究室的な環境で行い、各治具の誤差要因を高精度に定めておき、量産工程では誤差要因が既に分かっている治具を使用して量産することができる。勿論、治具の誤差は研究室で求めた誤差要因をディエンベディングすることで除去する。

このようにすることで、各工程で高い精度でのショートチップ位置決め手段等を準備することなくRRRR法を運用でき、コスト的・工程管理的に有利である。

－実施例3－

測定器に計算機と専用ソフトウェアを備え、ショートチップの残留インダクタンス及び伝送路のパラメータ（位相定数 β [rad/Hz]及び伝達損失 δ [dB/Hz]）とショートチップの接触位置を入力すると、各位置における標準器特性を数式1、数式2に基づいて自動的に算出し、これを数式3～数式6の補正計算に使用することもできる。要するに、ネットワークアナライザが自動的に標準器の値を予想してRRRR補正をすることもできる。

量産工場のデバイスの検査工程において、標準器の値をオペレータ等が計算する必要がなくなり、また測定器単体でRRRR補正が行えるため、工程が簡素化する。

－実施例4－

周波数が高いなどのためにショートチップの残留インダクタンスの影響が大

きく、ショートチップを伝送路にシャント接続しても、十分に短絡に近くならない場合（ポート間を信号が通過してしまい、全反射が得られない場合）がある。

この場合には、図14の（a）のようにショートチップ10を伝送路12から浮かして、伝送路とショートチップの間に発生する容量C[F]とショートチップの残留インダクタンスL[H]を直列共振状態とするのがよい。この場合 $C = 1 / (2\pi f \sqrt{L})$ となるように設定する。

なお、ショートチップと伝送路の間の浮遊容量を利用する方法に代えて、図14の（b）のようにショートチップ10を伝送路12に接触させて直列共振させることもできる。この場合のショートチップは微小容量のコンデンサを用いればよい。

直列共振状態では、ショートチップ接続部のインピーダンスは0Ω、つまり理想の短絡状態になる。つまり、良いショートチップが得られない高い周波数においても良いショートチップを使用したのと同じ効果が得られる。

－実施例5－

図15は3ポートを持つ測定治具の例を示す。

図において、30は治具基板、31～33は治具基板30の上面に形成された3本の信号導体、34は同じく治具基板30の上面に信号導体31～33の両側を挟むように形成された接地導体、35～37は治具基板30の端部に設けられたコネクタである。信号導体31～33の一端は3方から互いに近接して対向しており、他端がコネクタ35～37にそれぞれ接続されている。各信号導体31～33と接地導体34との間にそれぞれショートチップを接続し、補正を行った後、信号導体31～33間、または信号導体31～33と接地導体32との間に被検体38を接続し、電気特性を測定する。

このように3端子以上の被検体38の電気特性を測定することもできる。

－実施例6－

前記実施例では、伝送路としてCPWを用いた例を示したが、図16のようなスロット線路40を用いることもできる。スロット線路40は、信号導体41、42と接地導体43とが同一平面上に隙間をあけて設けられたものである。この場合は、被検体44を信号導体41、42間、あるいは信号導体41、42と接地導体43との間に接続して電気特性を測定する。

－実施例7－

これまで、シリーズ法を実現するための補正手法としてRRRR補正の説明を行ったが、1ポートだけを同様の手法で補正すれば、反射法による測定が実現できる。図17は反射法に使用する治具の一例を示す。

図17において、50は治具基板、51は1つの信号導体、52は信号導体51の両側に設けられた接地導体、53は治具基板50の一端部に設けられたコネクタである。信号導体51と接地導体52は治具基板50上の同一平面上に形成されている。信号導体51の一端は開放端であり、他端がコネクタ53に接続されている。信号導体51と接地導体52との間にショートチップをシャント接続し、補正を行った後、同じく信号導体51と接地導体52との間に被検体54を接続し、電気特性を測定する。

反射法とは、一方のポート（コネクタ53）から被検体54に入射した電磁波のどれだけの割合が反射するかを観測して、これからインピーダンス等を求める手法で、1ポートであるから誤差要因も E_{11} 、 $(E_{21} \cdot E_{12})$ 、 E_{22} しかない。因みに、 E_{21} 、 E_{12} を分離して求める必要もない。これら誤差要因を求めると、次式で被検体の反射係数 S_{11A} が求められる。 S_{11M} は反射係数測定値である。この場合には、スルー測定は不要である。

〔数式10〕

$$S_{11A} = \frac{S_{11M} - E_{11}}{E_{22}S_{11M} + E_{21}E_{12} - E_{11}E_{22}}$$

伝送路の特性インピーダンスに近いインピーダンス素子の測定を行う場合には、反射法でも比較的良い測定精度が得られる。この場合、補正手順を1ポートについてのみ行えば良いので、補正の手間が少なくて済む。

なお、1ポート測定方法においても、図14に示すショートチップの直列共振を用いてもよい。

本発明にかかる高周波電気特性測定方法は、前記実施例に限定されるものではない。

本発明における測定器としては、ネットワークアナライザに限らず、高周波電気特性を測定できるものであれば、使用可能である。

被検体測定位置でショートチップを測定したが、被検体測定位置でショートチップを測定する必要はなく、その場合、3回のショートチップ測定が全て数式1のような形で表される。

伝送路は、平面伝送路に限るものではなく、ショートチップをシャント接続でき、スルーチップをシリーズ接続でき、かつ被検体を信号導体間あるいは複数の信号導体と接地導体との間に接続できるものであれば、任意の構造のものを用いることができる。

1ポート～3ポートを持つ測定治具を用いた例について説明したが、4ポート以上の測定治具を用いることもできる。この場合も、同様の補正と測定とを実施できる。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかる高周波電気特性測定方法は次のような効果を有する。

- 1) 補正に使用する伝送路と被検体測定に使用する伝送路は同じものであるから、伝送路のバラツキの影響を受けにくい。また、伝送路と測定器との接続も、補正および実測定において固定であり、再接続の必要がないので、伝送路の接触不良等による補正失敗等の事故も起こらない。
- 2) 被検体の部品単体の特性を高精度に測定可能であり、治具等の誤差の影響を受けない。
- 3) 被検体は2端子だけでなく、3端子以上の電子部品でも測定できる。従って、本発明は高周波電気特性測定装置によりフィルタやカプラ、バランのような電子部品、またはチップインダクタ、チップコンデンサなどのようなインピーダンス素子の散乱係数やインピーダンス値を精度良く測定するためには非常に有効な方法である。

請求の範囲

1. 電子部品の高周波電気特性を測定する方法において、

互いに離間して配置された複数の信号導体と、少なくとも1つの接地導体とを持ち、単位長さ当たりの電気特性が既知の伝送路を準備するステップと、

前記各信号導体と前記接地導体とを測定器の測定ポートにそれぞれ接続するステップと、

前記各信号導体の長さ方向の少なくとも3箇所において、全反射状態にして電気特性を測定するステップと、

前記信号導体間を相互にスルー状態にして電気特性を測定するステップと、

前記全反射状態での測定値及びスルー状態での測定値から、前記伝送路を含む測定系の誤差要因を計算するステップと、

前記信号導体間あるいは前記信号導体間と前記接地導体との間に、被測定電子部品を接続して電気特性を測定するステップと、

前記被測定電子部品の測定値から前記測定系の誤差要因を除去し、被測定電子部品の電気特性の真値を求めるステップと、を含むことを特徴とする電子部品の高周波電気特性測定方法。

2. 電子部品の高周波電気特性を測定する方法において、

互いに離間して配置された2つの信号導体と、少なくとも1つの接地導体とを持ち、単位長さ当たりの電気特性が既知の伝送路を準備するステップと、

前記各信号導体と前記接地導体とを測定器の測定ポートにそれぞれ接続するステップと、

前記各信号導体の長さ方向の少なくとも3箇所において、全反射状態にして電気特性を測定するステップと、

前記信号導体間あるいは前記信号導体間と前記接地導体との間に、被測定電子部品を接続して電気特性を測定するステップと、

前記全反射状態での測定値および前記被測定電子部品を接続して測定された測定値から、前記伝送路を含む測定系の誤差要因を計算するステップと、

前記被測定電子部品の測定値から前記測定系の誤差要因を除去し、被測定電子部品の電気特性の真値を求めるステップと、を含むことを特徴とする電子部品の高周波電気特性測定方法。

3. 前記全反射状態とするため、前記伝送路の信号導体と接地導体とを短絡状態とすることを特徴とする請求項1または2に記載の高周波電気特性測定方法。

4. 前記全反射状態とするため、電気特性が既知の短絡したショートチップまたは部材をシャント接続することを特徴とする請求項1または2に記載の高周波電気特性測定方法。

5. 前記電気特性が既知の短絡したショートチップまたは部材をシャント接続したとき、前記信号導体間にスルーチップを接続した状態で伝達係数を測定し、測定した伝達係数を所定値と比較することで、前記ショートチップまたは部材の接触不良を検出するステップを含むことを特徴とする請求項4に記載の高周波電気特性測定方法。

6. 前記全反射状態とするため、電気特性が既知のデバイスを前記信号導体と接地導体とに対して接触または近接させ、前記デバイス内の容量または前記デバイスと伝送路の間の容量と前記デバイスの残留インダクタンスとで直列共振させることを特徴とする請求項1または2に記載の高周波電気特性測定方法。

7. 前記スルー状態とするため、前記信号導体間に伝達係数に方向性がないスルーチップをシリーズ接続することを特徴とする請求項1に記載の高周波電気特性測定方法。

8. 前記測定系の誤差要因を計算するために、前記全反射状態およびスルー状態での測定値のほかに、前記伝送路をオープン状態として測定した測定値を用いることを特徴とする請求項1に記載の高周波電気特性測定方法。

9. 前記伝送路を含む測定系の誤差要因を計算するステップは、次式により実行されることを特徴とする請求項7に記載の高周波電気特性測定方法。

[数式3]

$$D_1 = \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M2} + \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M2} \\ + \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M1}$$

$$E_{11} = -(\Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M2} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M2} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M3} \\ + \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A2} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M3} + \Gamma_{A2} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M2} - \Gamma_{A1} \cdot \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} \cdot S_{11M2}) / D_1$$

$$(E_{21} \cdot E_{12}) = \frac{(\Gamma_{A2} - \Gamma_{A1}) \cdot (\Gamma_{A3} - \Gamma_{A1}) \cdot (\Gamma_{A3} - \Gamma_{A2}) \cdot (S_{11M2} - S_{11M1}) \cdot (S_{11M3} - S_{11M1}) \cdot (S_{11M3} - S_{11M2})}{D_1^2}$$

$$E_{22} = \frac{\Gamma_{A2} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A1} \cdot S_{11M3} - \Gamma_{A3} \cdot S_{11M2} + \Gamma_{A1} \cdot S_{11M2} + \Gamma_{A3} \cdot S_{11M1} - \Gamma_{A2} \cdot S_{11M1}}{D_1}$$

上式において、 Γ_{A1} ：第1の測定位置における反射係数、 Γ_{A2} ：第2の測定位置における反射係数、 Γ_{A3} ：第3の測定位置における反射係数、 S_{11M1} ：第1の測定位置における測定値、 S_{11M2} ：第2の測定位置における測定値、 S_{11M3} ：第3の測定位置における測定値、

M_3 : 第 3 の測定位置における測定値、 S_{11MT} : スルー状態での反射係数、 S_{21MT} : スルー状態での伝達係数、 E_{DF} , E_{RF} , E_{SF} , E_{LF} , E_{TF} : 測定系の誤差要因。

10. 前記被測定電子部品の測定値から前記測定系の誤差要因を除去するステップは、次式により実行されることを特徴とする請求項 9 に記載の電子部品の高周波電気特性測定方法。

[数式 7]

$$D_2 = \left\{ \frac{E_{22} \cdot (S_{11M} - E_{11})}{E_{12}} + 1 \right\} \cdot \left\{ \frac{F_{22} \cdot (S_{22M} - F_{11})}{F_{12}} + 1 \right\} - \frac{F_{22} \cdot F_{11} \cdot (S_{12M} - E_{XR}) \cdot S_{21M}}{F_{12} \cdot E_{12}}$$

$$S_{11A} = \frac{(S_{11M} - E_{11}) \cdot \{F_{22} \cdot (S_{22M} - F_{11}) / F_{12} + 1\} / E_{12} - F_{22} \cdot S_{12M} \cdot (S_{21M} - E_{XF}) / (F_{12} \cdot E_{12})}{D_2}$$

$$S_{21A} = \frac{S_{21M} / F_{12} \cdot \{(E_{22} - F_{22}) \cdot (S_{22M} - F_{11}) / F_{12} + 1\}}{D_2}$$

上式において、 S_{11A} : 被測定電子部品の反射係数、 S_{21A} : 被測定電子部品の伝達係数、 E_{XR} , E_{XF} : リーク信号。

11. 前記伝送路は、信号導体と接地導体とが同一平面上に形成された伝送路であることを特徴とする請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載の高周波電気特性測定方法。

12. 前記伝送路は、信号導体とこの信号導体を間にしてその両側に接地導体を有するコプレーナウエーブガイドであることを特徴とする請求項 11 に記載の高周波電気特性測定方法。

13. 前記伝送路は、信号導体と接地導体とが間隔をあけて設けられたスロット線路であることを特徴とする請求項 11 に記載の高周波電気特性測定方法。

14. 前記全反射状態にして電気特性を測定する各位置は、測定周波数における信号の波長の $1/16 \sim 3/16$ および $5/16 \sim 7/16$ だけ相互に離れていることを特徴とする請求項 1 ないし 13 のいずれかに記載の高周波電気特性測定方法。

15. 電子部品の高周波電気特性を測定する方法において、

一端が開放端である信号導体と接地導体とを有し、単位長さ当たりの電気特性が既知の伝送路を準備するステップと、

前記信号導体の他端と前記接地導体とを測定器の測定ポートにそれぞれ接続す

るステップと、

前記信号導体の長さ方向の少なくとも3箇所において、全反射状態にして電気特性を測定するステップと、

前記全反射状態での測定値から、前記伝送路を含む測定系の誤差要因を計算するステップと、

前記信号導体の前記開放端と前記接地導体との間に被測定電子部品を接続して電気特性を測定するステップと、

前記被測定電子部品の測定値から前記測定系の誤差要因を除去し、被測定電子部品の電気特性の真値を求めるステップと、を含むことを特徴とする電子部品の高周波電気特性測定方法。

16. 電子部品の高周波電気特性を測定する装置において、

互いに離間して配置された複数の信号導体と、少なくとも1つの接地導体とを持ち、単位長さ当たりの電気特性が既知の伝送路と、

前記各信号導体に接続された測定ポートと、前記接地導体に接続された測定ポートとを有し、高周波電気特性を測定可能な測定器と、

前記各信号導体の長さ方向の少なくとも3箇所において、全反射状態を得るための手段と、

前記信号導体間を相互にスルー状態にする手段と、

前記全反射状態での測定値及びスルー状態での測定値から、前記伝送路を含む測定系の誤差要因を計算する手段と、

前記信号導体間あるいは前記信号導体間と前記接地導体との間に、被測定電子部品を接続する手段と、

前記被測定電子部品を前記信号導体間あるいは前記信号導体間と前記接地導体との間に接続して測定される測定値から前記測定系の誤差要因を除去し、被測定電子部品の電気特性の真値を求める手段と、を含むことを特徴とする電子部品の高周波電気特性測定装置。

17. 前記全反射状態を得るための手段は、電気特性が既知の短絡したショートチップまたは部材と、このショートチップまたは部材を伝送路にシャント接続する手段とで構成されることを特徴とする請求項16に記載の高周波電気特性測定装置。

18. 前記スルー状態にする手段は、伝達係数に方向性がないスルーチップと、このスルーチップを伝送路にシリーズ接続する手段とで構成されることを特徴とする請求項16または17に記載の高周波電気特性測定装置。

19. 電子部品の高周波電気特性を測定する装置において、
- 一端が開放端である信号導体と接地導体とを有し、単位長さ当たりの電気特性が既知の伝送路と、
 - 前記信号導体の他端に接続された測定ポートと、前記接地導体に接続された測定ポートとを有し、高周波電気特性を測定可能な測定器と、
 - 前記信号導体の長さ方向の少なくとも3箇所において、全反射状態を得るための手段と、
 - 前記全反射状態での測定値から、前記伝送路を含む測定系の誤差要因を計算する手段と、
 - 前記信号導体の前記開放端と前記接地導体との間に被測定電子部品を接続する手段と、
 - 前記被測定電子部品を前記信号導体の前記開放端と前記接地導体との間に接続して測定される測定値から前記測定系の誤差要因を除去し、被測定電子部品の電気特性の真値を求める手段と、を含むことを特徴とする電子部品の高周波電気特性測定装置。

図1a

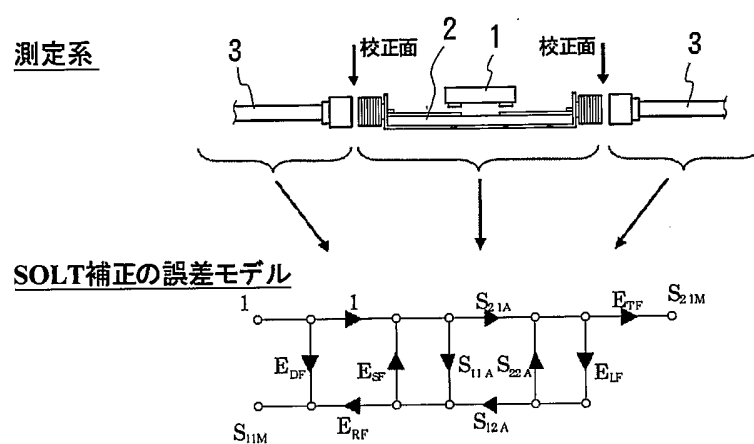


図1b

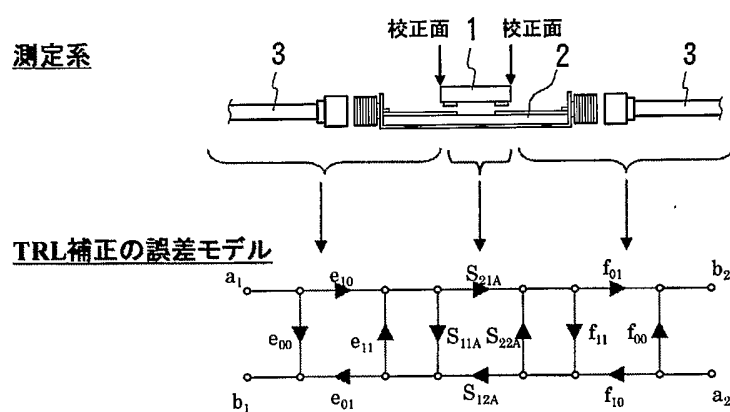


図2

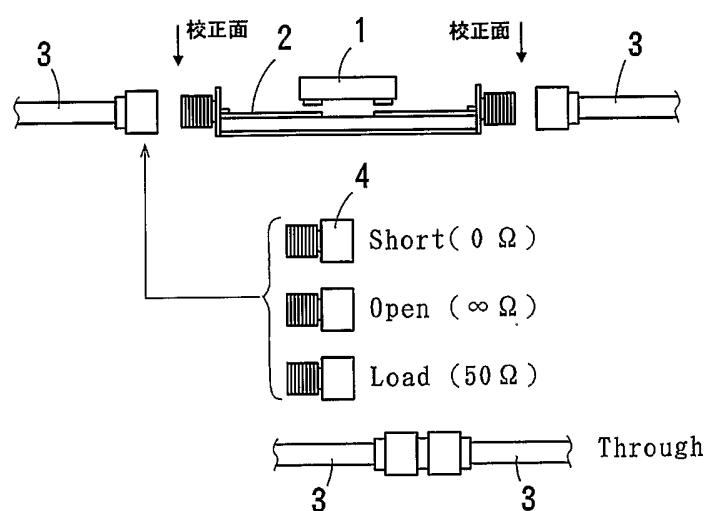


图3

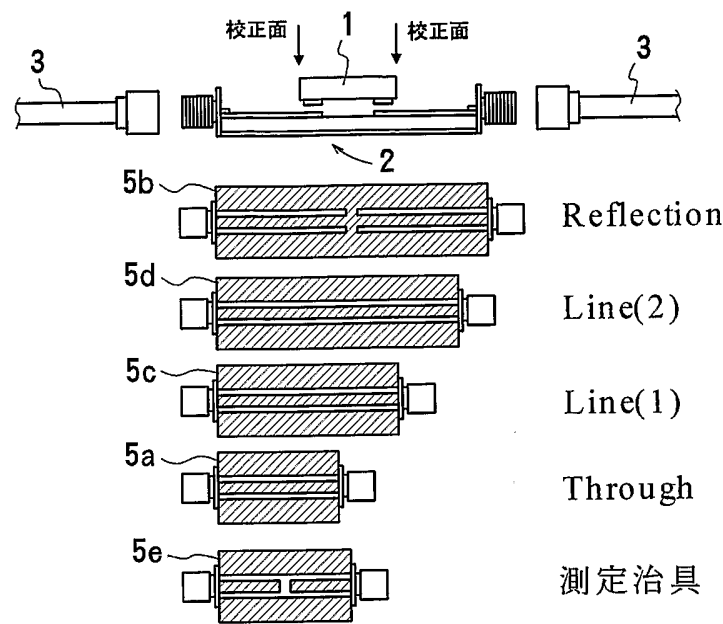


图4

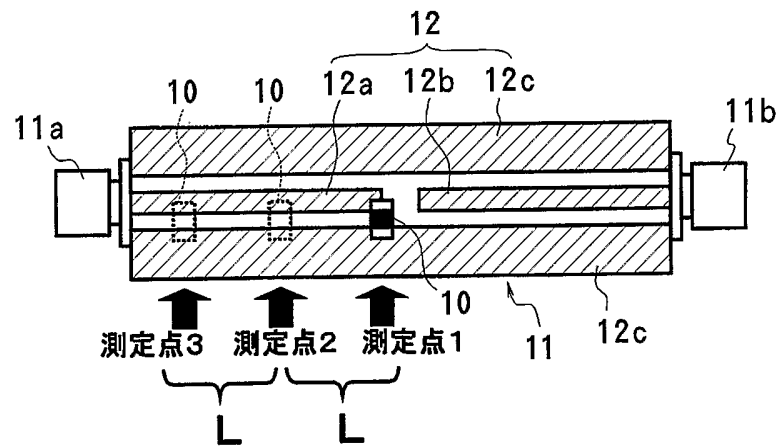


图5

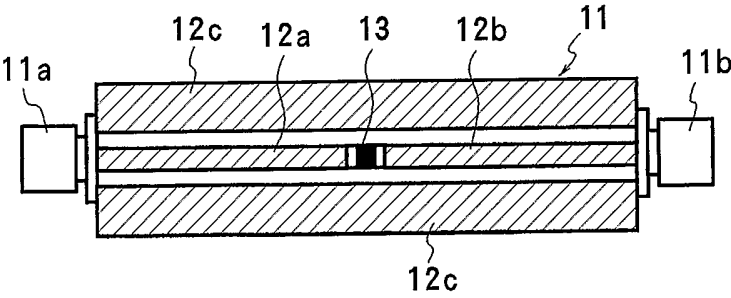


图6

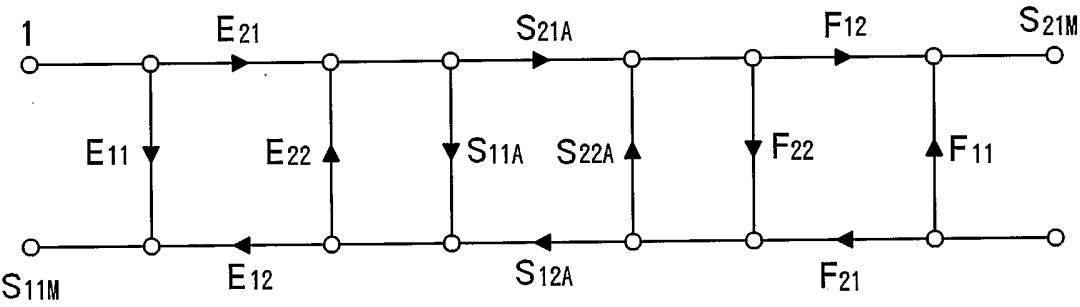


図7

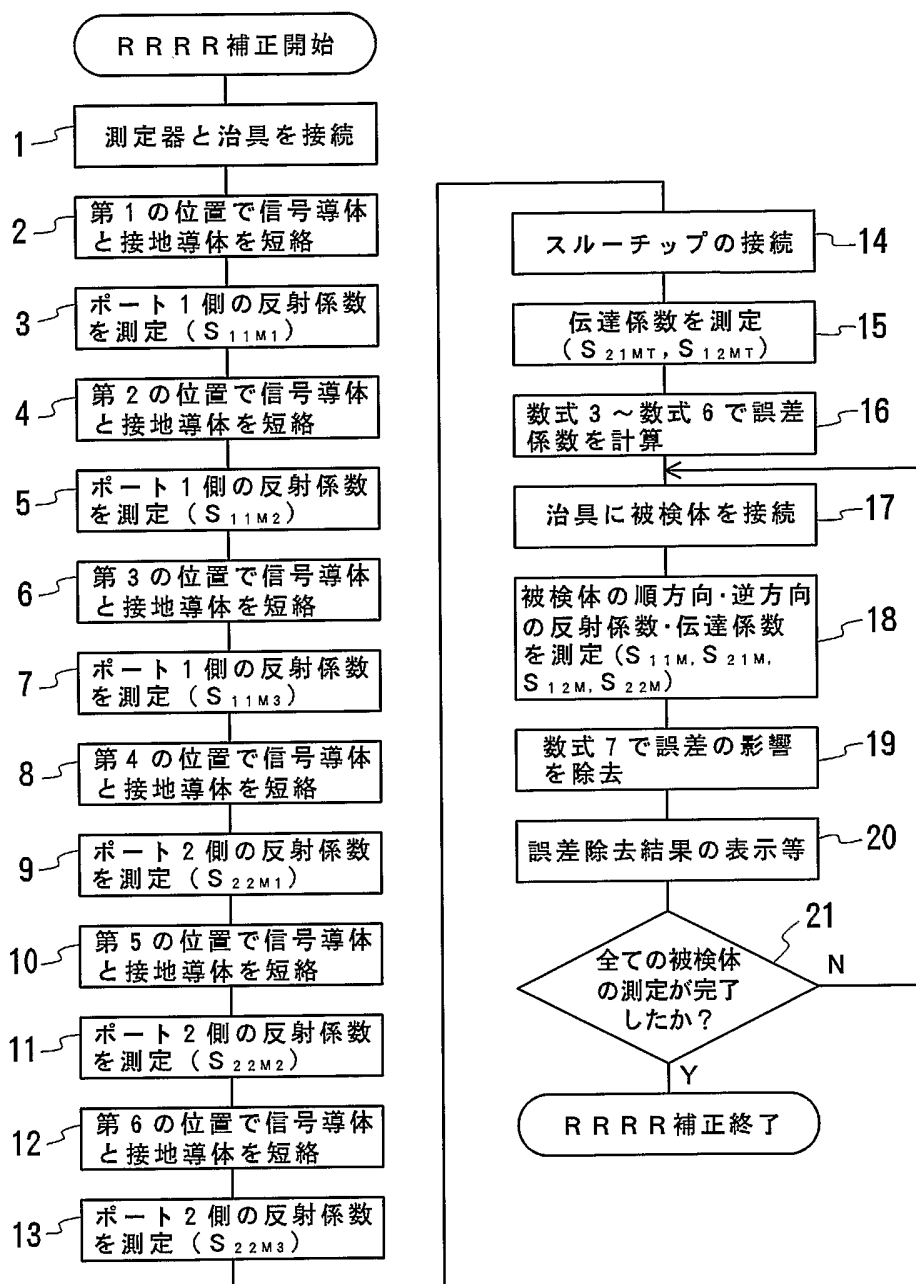


図8

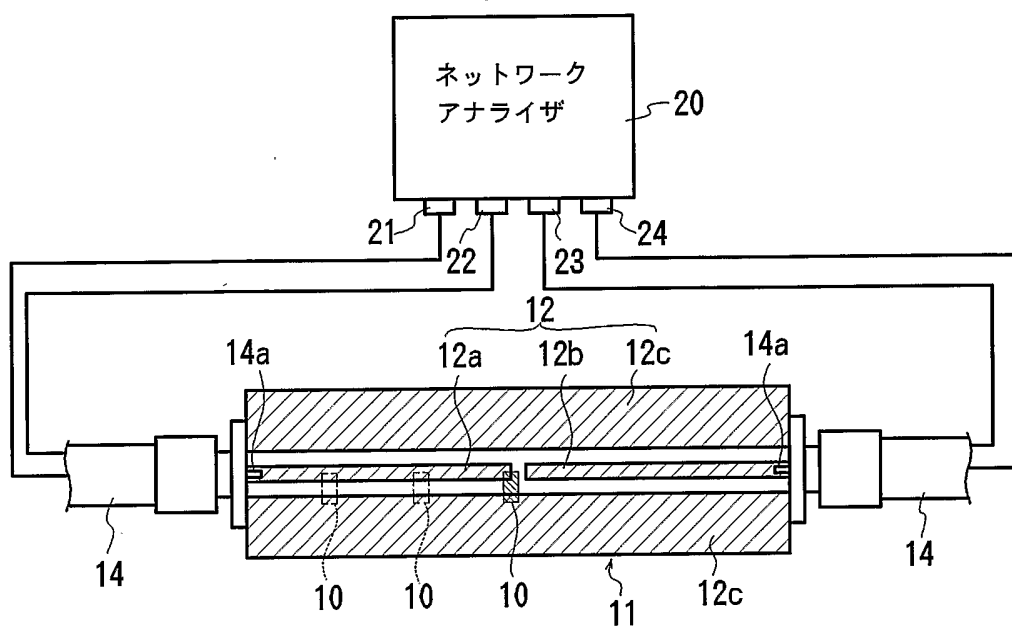


図9

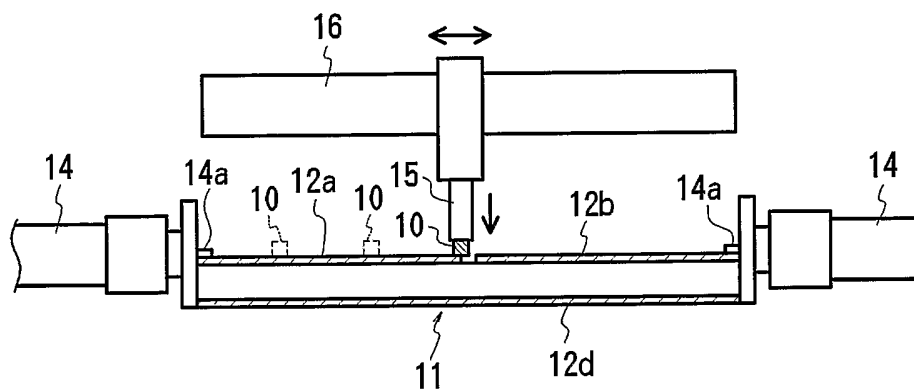


図 10

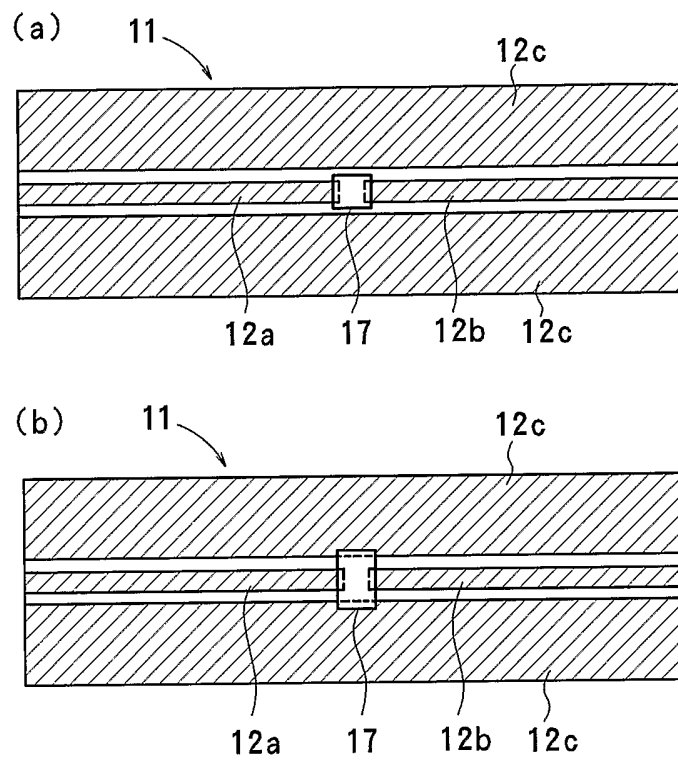


図 11

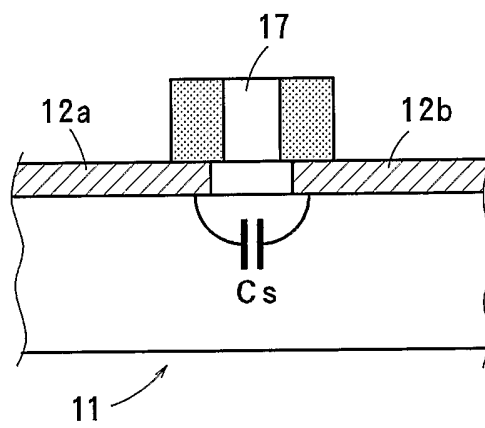


図 1 2

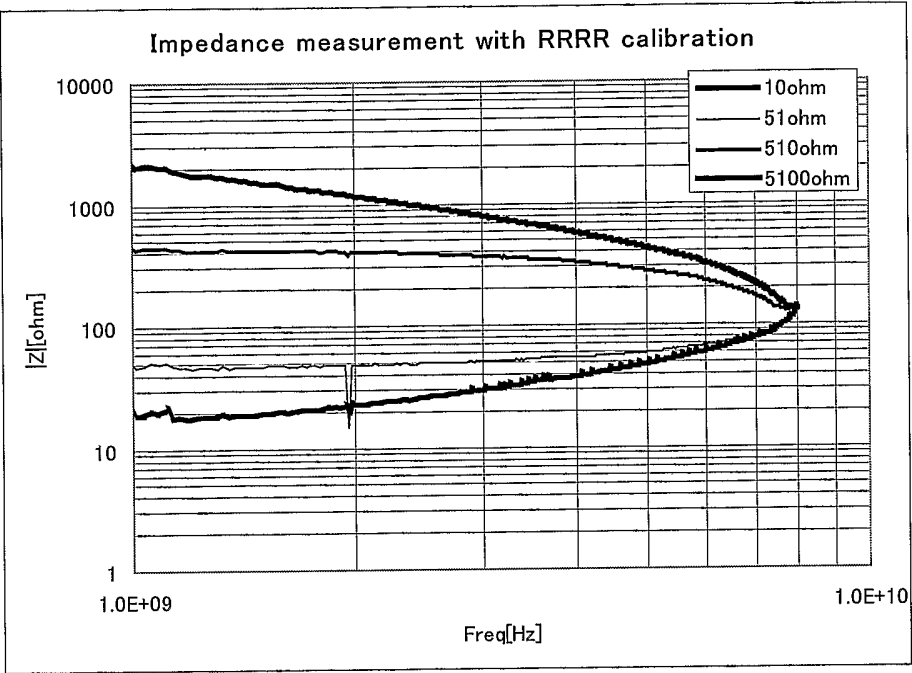


図 1 3

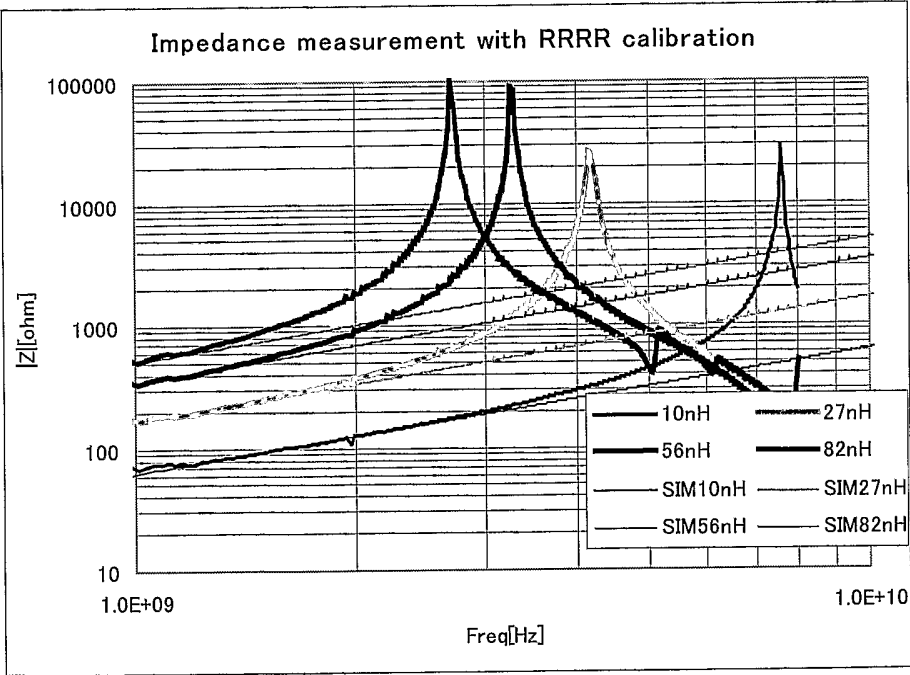


図14

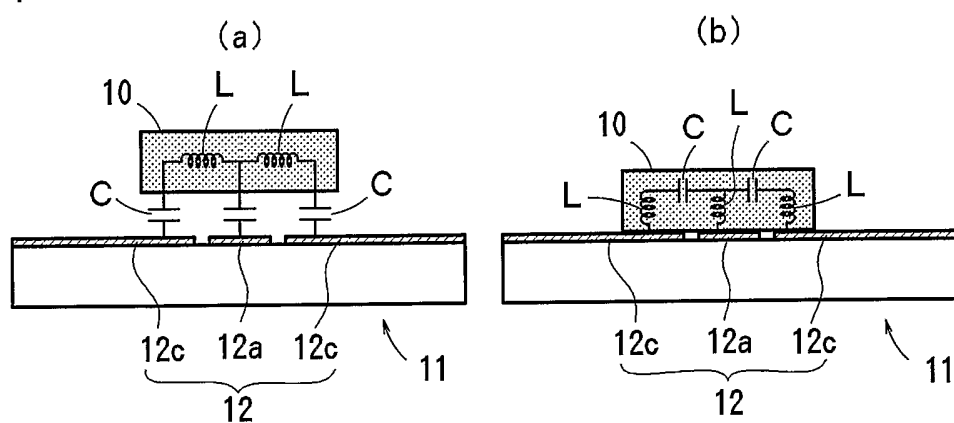


図15

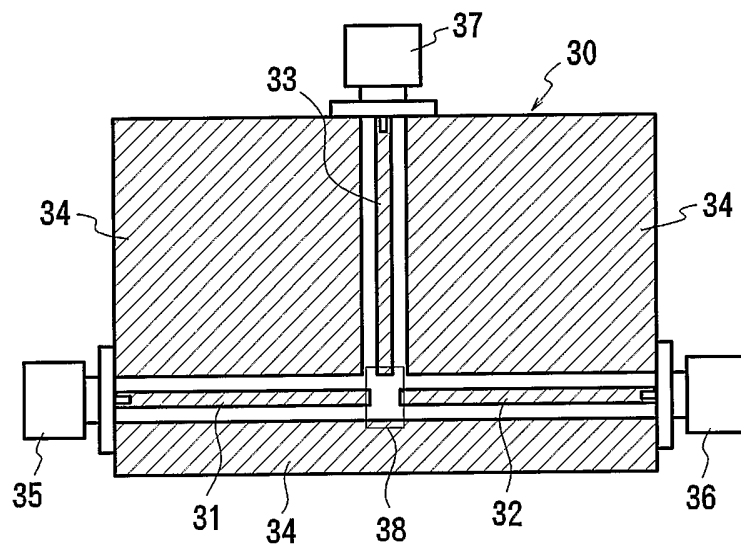


図16

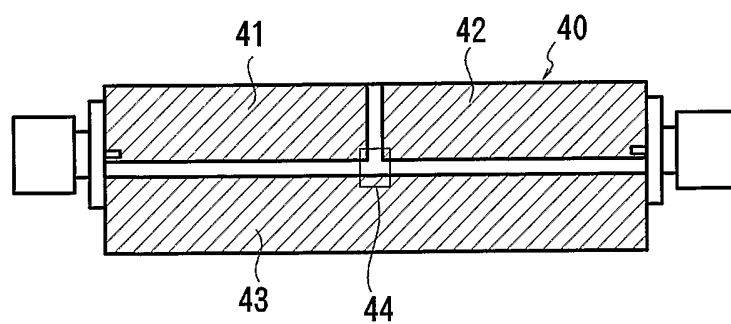
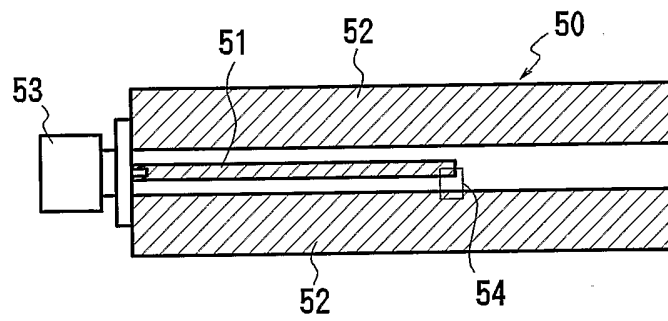


図 17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004882

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ G01R27/28		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ G01R27/00-27/32		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 4313705 A (Rohde & Schwarz GmbH. & Co. KG.), 04 November, 1993 (04.11.93), Full text; Figs. 1 to 5 & EP 568889 A2 & JP 06-34686 A & US 5440236 A1	1-19
A	JP 11-211766 A (Advantest Corp.), 06 August, 1999 (06.08.99), Full text; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-19
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 06 July, 2004 (06.07.04)		Date of mailing of the international search report 27 July, 2004 (27.07.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01R27/28

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01R27/00-27/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	DE 4313705 A (Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG) 1993. 11. 04 全文, Fig. 1-5 &EP 568889 A2 &JP 06-34686 A &US 5440236 A1	1-19
A	JP 11-211766 A (株式会社アドバンテスト) 1999. 08. 06 全文, 図1-5 (ファミリーなし)	1-19

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06. 07. 2004

国際調査報告の発送日

27. 7. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中村 直行

2 S

9 2 1 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3258