



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03120290. X

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100401090C

[22] 申请日 2003. 3. 5 [21] 申请号 03120290. X

[30] 优先权

[32] 2002. 3. 5 [33] US [31] 10/093171

[73] 专利权人 特克特朗尼克公司

地址 美国俄勒冈州

[72] 发明人 T·C·希尔 X·陈

S·J·马托斯 L·J·维尔曼

K·L·贝尔纳德 L·F·古姆

[56] 参考文献

US5587934A 1996. 12. 24

CN2128386Y 1993. 3. 17

US4746879A 1988. 5. 24

CN1170876A 1998. 1. 21

US4215308A 1980. 7. 29

审查员 赵景焕

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 杨凯 张志醒

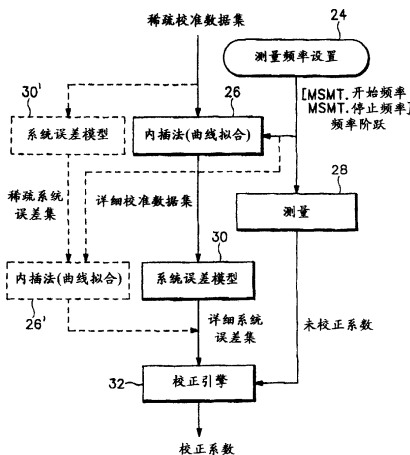
权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

矢量网络分析器的改进校准方法

[57] 摘要

矢量网络分析器的改进校准方法存储稀疏校准数据，利用从矢量网络分析器进行的每个测量的稀疏校准数据进行内插得到系统误差数据，以及从每个测量频率上的系统误差数据和未校正测量数据创建校准的测量数据。可通过测量大于指定测量频率范围的校准频率范围上每第 N 个频率步长，或者通过测量校准频率范围上的每个频率步长并压缩所得到的测量数据，从而产生稀疏校准数据。可通过使用诸如参数多项式曲线拟合算法的曲线拟合算法实现内插。



1. 一种校准下述类型的矢量网络分析器的改进方法，所述矢量网络分析器在小于所述矢量网络分析器的总频率范围的用户指定测量频率范围上以离散频率步长进行测量，并采用从参考阻抗产生的校准数据来校正所述测量，所述方法包括以下步骤：

将所述矢量网络分析器的校准频率范围上的稀疏校准数据存储为所述校准数据，所述校准频率范围大于所述用户指定测量频率范围；

对于所述矢量网络分析器进行的每个测量，利用所述稀疏校准数据进行内插得到详细系统误差数据；以及

采用所述详细系统误差数据校正每个测量，以便提供校准的测量。

2. 如权利要求 1 所述的改进方法，其特征在于所述存储步骤包括以下步骤：获取在所述校准频率范围上所述矢量网络分析器的每第 N 个离散频率步长上从所述参考阻抗产生的测量，作为所述稀疏校准数据。

3. 如权利要求 1 所述的改进方法，其特征在于所述存储步骤包括以下步骤：

获取所述校准频率范围内所述矢量网络分析器的每个离散频率步长的校准数据；以及

压缩所述校准数据以产生所述稀疏校准数据。

4. 如权利要求 1、2 或 3 所述的改进方法，其特征在于所述内插步骤包括以下步骤：

将曲线拟合算法应用于所述稀疏校准数据，以便获得每个测量频率的详细校准数据；以及

从所述详细校准数据产生所述详细系统误差数据。

5. 如权利要求 4 所述的改进方法，其特征在于所述校准频率范

围等于所述总频率范围。

6. 如权利要求 4 所述的改进方法，其特征在于所述曲线拟合算法是参数多项式曲线拟合算法。

7. 如权利要求 1、2 或 3 所述的改进方法，其特征在于所述内插步骤包括以下步骤：

从所述稀疏校准数据产生稀疏系统误差数据；以及

将曲线拟合算法应用于所述稀疏系统误差数据，以便获得所述详细系统误差数据。

8. 一种校准下述类型的矢量网络分析器的改进方法，所述矢量网络分析器在小于所述矢量网络分析器的总频率范围的用户指定测量频率范围上以离散频率步长进行测量，并采用从参考阻抗产生的校准数据来校正所述测量，所述方法包括以下步骤：

将所述总频率范围上的稀疏校准数据的原始集合存储为所述校准数据；

将校准频率范围上的稀疏校准数据的精炼集合存储为所述校准数据，所述校准频率范围大于所述用户指定测量频率范围但小于所述总频率范围；

对于所述矢量网络分析器进行的每个测量，利用稀疏校准数据的所述原始集合和稀疏校准数据的所述精炼集合中所选的一个进行内插得到详细系统误差数据；以及

采用所述详细系统误差数据来校正每个测量，以便提供校准的测量。

9. 如权利要求 8 所述的改进方法，其特征在于所述存储步骤均包括以下步骤：获取在稀疏校准数据的所述原始集合的所述总频率范围上以及稀疏校准数据的所述精炼集合的所述校准频率范围上所述矢量网络分析器的每第  $N$  个离散频率步长上从所述参考阻抗产生的测量。

10. 如权利要求 8 所述的改进方法，其特征在于所述存储步骤均

包括以下步骤:

获取稀疏校准数据的所述原始集合的所述总频率范围中以及稀疏校准数据的所述精炼集合的所述校准频率范围中所述矢量网络分析器的每个离散频率步长上的校准数据; 以及

压缩所述校准数据以产生所述稀疏校准数据。

11. 如权利要求 8、9 或 10 所述的改进方法, 其特征在于所述内插步骤包括以下步骤:

将曲线拟合算法应用于所述稀疏校准数据中所述所选的一个, 以获得每个测量频率的详细校准数据; 以及

从所述详细校准数据产生所述详细系统误差数据。

12. 如权利要求 11 所述的改进方法, 其特征在于所述曲线拟合算法是参数多项式曲线拟合算法。

13. 如权利要求 8、9 或 10 所述的改进方法, 其特征在于所述内插步骤包括以下步骤:

从所述稀疏校准数据中所述所选的一个产生稀疏系统误差数据; 以及

将曲线拟合算法应用于所述稀疏系统误差数据, 以便获得所述详细系统误差数据。

## 矢量网络分析器的改进校准方法

### 技术领域

本发明涉及矢量网络分析器，更具体地说，涉及用于矢量网络分析器的改进校准方法。

### 背景技术

为了获得准确的结果，矢量网络分析器的用户通过测量三个已知的阻抗标准来校准仪器，这三个阻抗标准对单端口测量通常为短路、开路及特性阻抗 ( $Z_0$ ) 负载。对于双端口测量，采用端口之间的无连接和直通连接来进行三个附加测量。采用这些测量的测量结果，以数学方法来校正矢量网络分析器的系统误差，从而获得极佳的测量精确度。测量包括连续频率上的多个步进式测量，其中，当用户正在测量测试件 (DUT) 时，好像“扫过”这些连续频率。每个测量点都具有在校准程序中所取的“校准”数据，它们被存储并用于校正特定的测量点。

问题在于：尽管矢量网络分析器提供极佳的结果，但校准是对测量中所用的每个准确的频率步长进行的。例如，如果矢量网络分析器具有从 25 MHz 至 2500MHz 的可能频率测量范围，其中以 100 kHz 为频率步长，那么要收集每个频率步长的校准数据则需要  $3 \times 24751 = 74253$  次校准测量，这还没有考虑用于噪声降低的多次测量。如此之大的测量数量需要过长的时间用于校准步骤。因此，取而代之的是在指定的测量范围、例如 500.5 MHz 至 1011.5 MHz 上来进行校准，这样仅需要  $3 \times 5110 = 15330$  次校准测量。不过，当诸如起始频率、停止频率、频率点数量、频率分辨率等任何频率参数被用户改变时，必须重新校准矢量网络分析器。许多用户不需要极精确的

测量，并且对于每次频率变量改变、哪怕是细微改变都要重新校准矢量网络分析器，他们感到极为麻烦且费时。因此，用户可在没有任何校准的情况下进行操作或者选择付出时间和精力来得到极佳的校准之间进行选择。

同时，先有的矢量网络分析器要求低相位噪声和低幅度噪声测量，尤其是对于校准测量。如果存在任何有效噪声，例如矢量网络分析器中的低成本硬件可能出现的情况，则要进行大量测量，并且大量地求平均以降低噪声的影响，在需要进行的校准测量数量上又增加了另一个乘数。

需要一种矢量网络分析器，它提供精确度以及操作的便捷性，即使在使用低成本硬件的情况下也是如此。

## 发明内容

因此，本发明提供一种用于矢量网络分析器的改进校准方法，它在矢量网络分析器的频率范围上、或者至少大于指定测量频率范围的范围上采集稀疏的校准数据。可通过测量矢量网络分析器的每第  $N$  个频率步长、或者通过测量矢量网络分析器的每个频率步长并对结果进行压缩，来获取稀疏校准数据。然后，对于矢量网络分析器的每个测量频率，从稀疏校准数据适当地内插某个校正值，以提供校准误差数据。然后，校准误差数据被用来校正测量数据，以提供精确的结果。

通过结合所附权利要求书及附图来阅读以下详细说明，本发明的目的、优点及其它新颖特性将会显而易见。

## 附图说明

图 1 是具有根据本发明的改进校准的矢量网络分析器的简易方框图。

图 2 是采用根据本发明的稀疏校准数据集进行的测量过程的流

程图。

#### 具体实施方式

现在参照图 1 说明矢量网络分析器 10 的最简易形式，矢量网络分析器 10 具有内部信号源 12、回程损耗桥 14、接收机 16 以及控制处理器 18。校准期间，将校准阻抗 20 有选择地应用于回程损耗桥 14 的测试端口 22。校准阻抗 20 一般包括开路、短路以及特性参考阻抗。对于每个参考阻抗，响应于来自内部信号源 12 的正向路径信号而存储一组校准测量，其来自测试端口的反射由接收机 16 作为返回数据进行处理，以便产生复数 (I,Q) 反射系数形式的校准测量数据。然后，矢量网络分析器 10 再连接到被测装置或系统上进行测量，以便获得这种装置或系统的反射系数。所测量的反射系数通过相应频率的所存储校准反射系数进行校正，这是本领域中众所周知的，以便产生被测装置或系统的校正测量反射系数。（参见 G.A.Bryant 所著的“微波校准原理”（Peter Peregrinons Ltd 代表 the Institution of Electrical Engineers, Rev. Ed. 1993, pages 40-41））。

校准期间，在矢量网络分析器 10 可调谐到的每个频率点上，例如 25 MHz 至 2500 MHz 范围上 100 kHz 的步长，可能对诸如短路、开路及特性阻抗等若干参考阻抗中的每一个取得并记录返回数据——幅度和相位。它会使大量的校准数据存储于矢量网络分析器 10 中，如上所述，并且需要大量时间来收集数据。以下公开的改进校准方法的优点在于：在整个可调谐范围或者至少大于矢量网络分析器 10 的一组特定测量所希望的范围上，使用稀疏校准数据，也就是说，减少了所要求存储的数据量并极大地减少了校准所需的时间，同时仍提供极佳的测量结果。可以仅通过在校准期间测量较少的频率点、例如每第 N 个频率步长（例如 5 MHz 步长，得到  $3 \times 496 = 1488$  个校准数据点），或者通过采用众所周知的技术对每个矢量网络分析器频率点上的测量的校准数据进行压缩——对缓慢变化的数据尤为有

效，从而实现这个方法。

然后，可利用内插法从稀疏校准数据中重新创建校正任何给定测量频率步长的测量结果所需的详细校准数据，所用的内插法与获取稀疏校准数据的方法一致。它极大地减少了执行“校准”时需要保存的校准数据量，从而也减少了时间。更为重要的是，时间节省不仅仅因为减少的数据，还因为大大减少了调谐和设置时间，因为需要的频率点减少了。众多内插法之一是用于重新创建更精确校准数据的基于多项式模型的内插法和最小二乘方估算，下面将会更详细的说明。

也可使用不同精确度的校准：“工厂校准”是半永久存储的一组校准数据，在矢量网络分析器的制造过程中产生；以及“用户校准”，它或者在每次使用执行，或者从最近现场执行的校准中保存。每种测量结果校准都可使用从稀疏校准测量中产生的内插数据。工厂校准提供适当的精确度，而用户校准则提供良好到极佳的精确度。

如图 2 所示，测量过程包括测量频率设置步骤 24，在其中建立测量参数，例如起始频率、停止频率以及频率步长。这些测量参数与稀疏校准数据一起被输入诸如曲线拟合算法的内插步骤 26，其中，稀疏校准数据可覆盖仪器的整个频率宽度，并且至少包括测量参数所建立的频率范围，以便产生测量频率范围的详细校准数据集。测量参数还被输入到测量步骤 28，在这个步骤中获得被测装置或系统的测量，以便产生未校正的测量系数。来自内插步骤 26 的详细校准数据集被输入到本领域中众所周知的系统误差模型步骤 30，以便产生详细的系统误差集。详细系统误差集和未校正测量系数被输入到本领域众所周知的校正引擎步骤 32，以便提供校正的测量系数。

或者，内插步骤 26'也可移动到系统模型误差步骤 30'之后，在这种情况下，系统模型误差步骤提供应用了曲线拟合算法的稀疏系统误差集，以便获得输入到校正引擎步骤 32 的详细系统误差集。

对于诸如测试端口和传输端口之间的双端口测量，稀疏校准数



数据集具有六个校准测量结果，与单端口测量的三个校准测量结果相对。

使用来自稀疏校准数据的内插详细校准数据允许用户进行的任何校准自动扩展以覆盖大于即时所需的频率范围，并可包含矢量网络分析器 10 的整个范围，如上所述。如果用户在这种校准之后改变任何测量参数，矢量网络分析器 10 不需要重新校准，因此它在改变频率设置时保持在校准状态。它为用户提供了一种矢量网络分析器 10，这种矢量网络分析器 10 在它被用于现场时所需的校准少得多。

当低成本测量硬件用于矢量网络分析器 10 时，以下所述内插的曲线拟合法产生精确的结果，即使在因噪声校准测量而存在大量随机误差的情况下也是如此。已经表明，得到的校准避免了随机误差，就像在每个频率点进行了多次测量并对其进行了平均一样。即使在所有可能的频率点而不仅仅是稀疏频率点上得到被比较的“未平均噪声校准”数据并将其压缩以得到稀疏校准数据，仍能达到这种改善。所得到的由用户进行的测量仍包含出现在测量中的噪声，但是结果没有被噪声校准数据进一步损害。

参数多项式曲线拟合方案可用于稀疏数据点的内插，如上所述。假定遵循以下多项式模型：

$$P(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+\dots+a_kx^k$$

$$\text{对于 } N \text{ 个观察点 } \{P(x_1)P(x_2)\dots P(x_N)\}=P$$

$$P=DA$$

其中，D 是数据点  $\{(1x_1\dots x_1^k)(1x_2\dots x_2^k)\dots(1x_N\dots x_N^k)\}$  的集合以及 A 是系数  $\{a_0a_1\dots a_k\}$  的集合。通常  $k=3$  以及  $N=(k+1)+2k$ 。

多项式模型的最小最小二乘方解为

$$A=(D'D)^{-1}D'P$$

对于均匀分隔的计算数据  $\{x_1x_2\dots x_N\}$ ，其中  $x_m=m$

$$D=\{(1\ 1\dots 1^k)(1\ 2\dots 2^k)\dots(1\ N\dots N^k)\}$$

因此可预先计算  $R=(D'D)^{-1}D'$ ，从而多项式矢量 A 可以简单地表示为：

$$A=RP$$

所推导的多项式参数矢量  $A$  最适合计算范围 $[x_{i+k} \ x_{i+2k}]$ 中的内插数据，其中， $x_{i+k}$  和  $x_{i+2k}$  是稀疏校准数据点的频率指数。为了密切跟踪数据变化，每隔 $(k+1)$ 个内插单位对矢量  $A$  进行更新。在频率  $y$  上，其中  $x_{i+k} \leq y \leq x_{i+2k}$ ，任何数据均可计算为：

$$x=(y-x_i)/U+1 \quad \text{其中 } U=x_{i+1}-x_i$$

$$P(x)=[1 \ x \ x^2 \ \dots \ x^k]A$$

这样，本发明通过获取矢量网络分析器所覆盖的宽频率范围上的稀疏校准数据，通过在较小指定测量频率范围上进行测量，通过利用来自每个测量频率的稀疏校准数据进行内插得到详细系统误差数据，以及通过用相应的详细系统误差数据来校正测量，从而提供矢量网络分析器的改进校准。

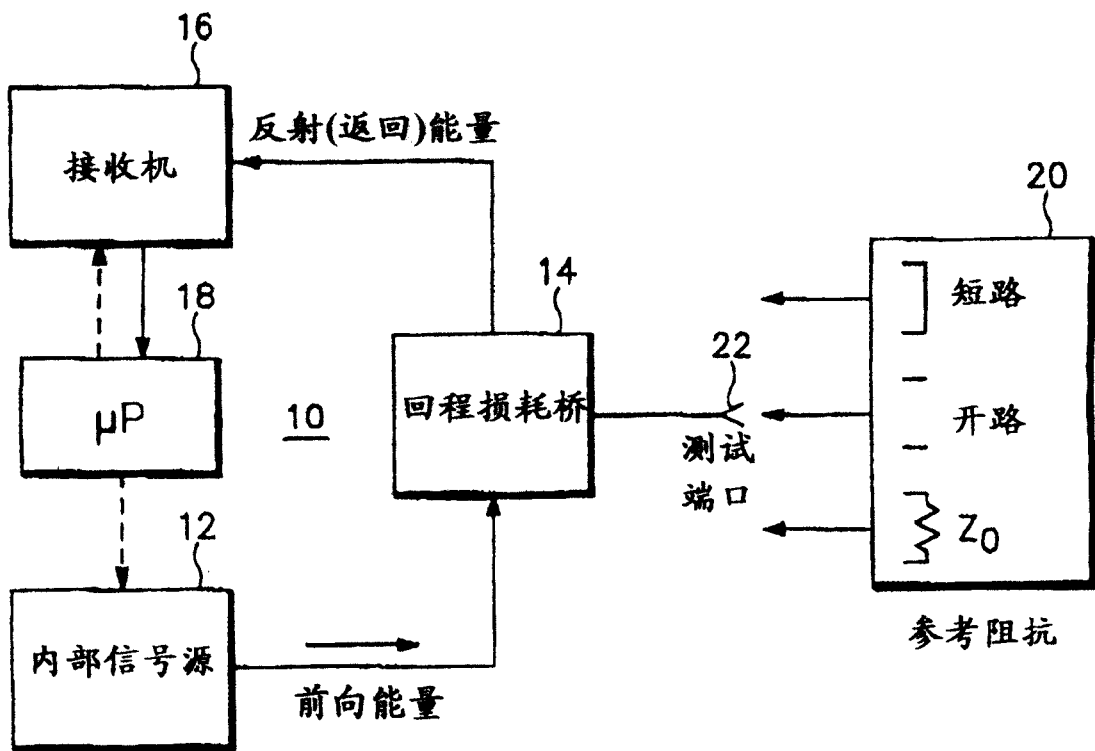


图 1

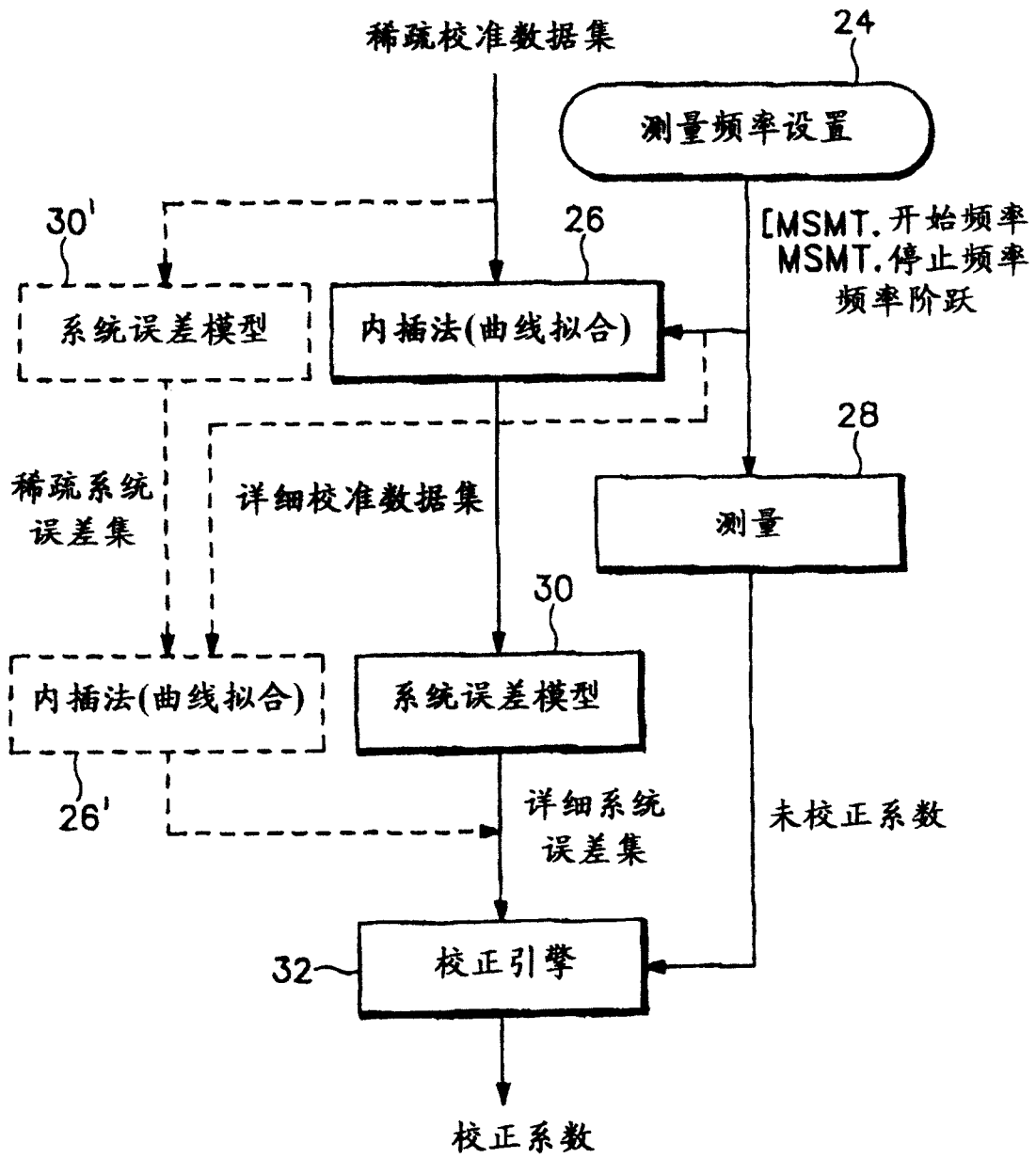


图 2