



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103364751 B

(45)授权公告日 2016.09.07

(21)申请号 201310302961.3

(22)申请日 2013.07.11

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103364751 A

(43)申请公布日 2013.10.23

(73)专利权人 中国电子科技集团公司第四十一研究所

地址 266555 山东省青岛市经济技术开发区香江路98号

(72)发明人 韩晓东 朱伟

(51)Int.Cl.

G01R 35/00(2006.01)

(56)对比文件

JP 2001153904 A,2001.06.08,全文.

US 2003171886 A1,2003.09.11,全文.

CN 1588114 A,2005.03.02,全文.

JP 2005526250 A,2005.09.02,全文.

CN 201163296 Y,2008.12.10,全文.

US 2009234610 A1,2009.09.17,全文.

KR 20110070902 A,2011.06.24,全文.

黄斌等.矢量网络分析仪十二项误差校正模型理论推导.《测试与测量》.2009,(第176期),10-13页.

张广求等.现代微波网络分析中的几项新技术.《信息工程大学学报》.2002,第3卷(第2期),50-53页.

朱伟等.矢量网络分析仪中的电子校准技术.《理论与方法》.2010,第29卷(第8期),20-22页.

刘宏.矢量网络分析仪的校准方法.《电子质量》.2011,(第7期),72页.

审查员 时鹏

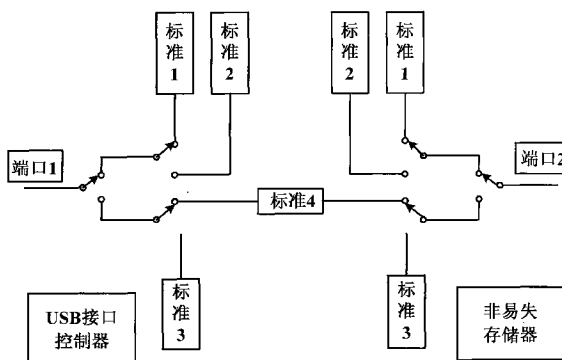
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种矢量网络分析仪电子校准件及校准方法

(57)摘要

本发明提出了一种矢量网络分析仪电子校准件,其电子标准集成在单片微波集成电路上,包括:独立的6个反射标准和一个传输标准,计算机控制多选开关对标准进行选择,组合实现18个标准;非易失存储器,存储定值数据;USB接口控制器,对外传输非易失存储器中存储的数据。本发明的矢量网络分析仪电子校准件和电子校准方法,减小了插值误差和部分“坏标准”的影响,有效提高矢量网络分析仪电子校准精度。



1. 一种电子校准方法,适用于一种矢量网络分析仪电子校准件,电子标准集成在单片微波集成电路上,所述矢量网络分析仪电子校准件包括:独立的6个反射标准和一个传输标准,计算机控制多选开关对所述7个标准进行选择,组合实现18个标准;非易失存储器,存储定值数据;USB接口控制器,对外传输非易失存储器中存储的数据,其特征在于,包括以下步骤:

步骤(a),由计算机控制定值过程,根据电子标准在不同频率下的变化趋势,自动调整频率间隔;

步骤(b),根据电子标准定值数据,判断定值不确定度,并赋予不同的加权系数;

步骤(c),将定值数据存储到电子校准件的非易失存储器中;

步骤(d),根据式(6)计算矢量网络分析仪的反射误差系数项:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1(f)\Gamma_1(f) & \varepsilon_1(f) & -\varepsilon_1(f)\Gamma_1(f)\Gamma_{m1}(f) \\ \varepsilon_2(f)\Gamma_2(f) & \varepsilon_2(f) & -\varepsilon_2(f)\Gamma_2(f)\Gamma_{m2}(f) \\ \varepsilon_3(f)\Gamma_3(f) & \varepsilon_3(f) & -\varepsilon_3(f)\Gamma_3(f)\Gamma_{m3}(f) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varepsilon_N(f)\Gamma_N(f) & \varepsilon_N(f) & -\varepsilon_N(f)\Gamma_N(f)\Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r - E_s E_d \\ E_d \\ E_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1(f)\Gamma_{m1}(f) \\ \varepsilon_2(f)\Gamma_{m2}(f) \\ \varepsilon_3(f)\Gamma_{m3}(f) \\ \vdots \\ \varepsilon_N(f)\Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \quad (6)$$

步骤(e),读取电子校准件直通标准的定值数据 S_{11} 、 S_{21} 、 S_{12} 、 S_{22} ,测量电子校准件直通标准得到测量值 S_{11M} 、 S_{21M} 、 S_{12M} 、 S_{22M} ,通过公式(2)-(5):

$$S_{11M} = E_{DF} + \frac{E_{RF}[S_{11}(1-S_{22}E_{LF}) + S_{21}S_{12}E_{LF}]}{1-S_{11}E_{SF} - S_{21}S_{12}E_{SF}E_{LF} - S_{22}E_{LF} + S_{11}S_{22}E_{SF}E_{LF}} \quad (2)$$

$$S_{21M} = \frac{E_{TF}S_{21}}{1-S_{11}E_{SF} - S_{21}S_{12}E_{SF}E_{LF} - S_{22}E_{LF} + S_{11}S_{22}E_{SF}E_{LF}} \quad (3)$$

$$S_{12M} = \frac{E_{TR}S_{12}}{1-S_{11}E_{LR} - S_{21}S_{12}E_{SR}E_{LR} - S_{22}E_{SR} + S_{11}S_{22}E_{SR}E_{LR}} \quad (4)$$

$$S_{22M} = E_{DR} + \frac{E_{RR}[S_{22}(1-S_{11}E_{LR}) + S_{21}S_{12}E_{LR}]}{1-S_{11}E_{LR} - S_{21}S_{12}E_{SR}E_{LR} - S_{22}E_{SR} + S_{11}S_{22}E_{SR}E_{LR}} \quad (5)$$

求解得到传输误差系数 E_{LF} 、 E_{LR} 、 E_{TF} 、 E_{TR} 。

2. 如权利要求1所述的电子校准方法,其特征在于,步骤(a)中,自动调整频率间隔具体为:变化平缓的频段频率间隔大,变化剧烈的频段频率间隔小。

3. 如权利要求1所述的电子校准方法,其特征在于,步骤(b)中,赋予不同的加权系数具体为:定值不确定度大的电子标准权重小。

一种矢量网络分析仪电子校准件及校准方法

技术领域

[0001] 本发明涉及测量技术领域,特别涉及一种矢量网络分析仪电子校准件,还涉及一种电子校准方法。

背景技术

[0002] 矢量网络分析仪采用校准和矢量误差修正提高测量精度,基于电子校准件的电子校准应用日趋广泛。在电子校准中,电子校准件中每个电子标准的定值精度和基于电子校准件的矢量误差修正是决定最终矢量网络分析仪测量精度的关键。

[0003] 对电子校准件的每个电子标准进行测量定值在出厂前进行。目前,对电子标准定值通常是在其工作频段内按一定频率间隔均匀的进行定值,定值结果以数据文件形式保存在电子校准件内部非易失存储器内,数据文件主要包含频率、定值数据等信息。定值频点间采用插值法计算得到相关数据。

[0004] 如图1所示,电子校准件内部包含若干个反射标准和至少一个传输标准,电子标准通过定值获取其参数,用于后面对矢量网络分析仪的校准。采用溯源至国家标准的参考矢量网络分析系统对电子标准定值。通常起始频率 F ,频率间隔 ΔF ,频率点数 N ,参考矢量网络分析系统在均匀分布的 N 个频率点上测量每个标准的参数,并将测量得到的数据以文件格式存储在电子校准件内部非易失存储器内,完成对电子校准件的定值。定值数据的存储格式如图2所示。

[0005] 图3为矢量网络分析仪的误差模型,其中,矢量网络分析仪的反射误差系数有6项:

[0006] E_{DF}, E_{DR} :方向性误差;

[0007] E_{SF}, E_{SR} :源匹配误差;

[0008] E_{RF}, E_{RR} :反射跟踪误差;

[0009] 矢量网络分析仪的传输误差系数有4项(不包括串扰误差):

[0010] E_{LF}, E_{LR} :负载匹配误差;

[0011] E_{TE}, E_{TR} :传输跟踪误差。

[0012] 利用电子校准件对矢量网络分析仪进行校准的原理和过程如下:

[0013] 1、获取反射误差系数:

[0014] 读取(或读取后通过插值算法计算)电子标准1至 N 的定值数据 $\Gamma_1(f)$ 、 $\Gamma_2(f)$ 、 $\Gamma_3(f)$ …… $\Gamma_N(f)$;

[0015] 测量电子标准1至 N 得到测量值 $\Gamma_{m1}(f)$ 、 $\Gamma_{m2}(f)$ 、 $\Gamma_{m3}(f)$ …… $\Gamma_{mN}(f)$

[0016] 根据图3所示的误差模型可以得到以下矩阵:

$$[0017] \begin{bmatrix} \Gamma_1(f) & 1 & -\Gamma_1(f)\Gamma_{m1}(f) \\ \Gamma_2(f) & 1 & -\Gamma_2(f)\Gamma_{m2}(f) \\ \Gamma_3(f) & 1 & -\Gamma_3(f)\Gamma_{m3}(f) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \Gamma_N(f) & 1 & -\Gamma_N(f)\Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r - E_s E_d \\ E_d \\ E_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma_{m1}(f) \\ \Gamma_{m2}(f) \\ \Gamma_{m3}(f) \\ \vdots \\ \Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0018] 公式(1)通过矩阵运算即可得到矢量网络分析仪的反射误差系数。

[0019] 2、获取传输误差系数：

[0020] 读取(或读取后通过插值算法计算)电子校准件直通标准的定值数据 S_{11} 、 S_{21} 、 S_{12} 、 S_{22} ；

[0021] 测量电子校准件直通标准得到测量值 S_{11M} 、 S_{21M} 、 S_{12M} 、 S_{22M} ；

[0022] 通过公式(2)-(5)求解即可得到传输误差系数 E_{LF} 、 E_{LR} 、 E_{TF} 、 E_{TR} ；

$$[0023] \quad S_{11M} = E_{DF} + \frac{E_{RF} [S_{11} (1 - S_{22} E_{LF}) + S_{21} S_{12} E_{LF}]}{1 - S_{11} E_{SF} - S_{21} S_{12} E_{SF} E_{LF} - S_{22} E_{LF} + S_{11} S_{22} E_{SF} E_{LF}} \quad (2)$$

$$[0024] \quad S_{21M} = \frac{E_{TF} S_{21}}{1 - S_{11} E_{SF} - S_{21} S_{12} E_{SF} E_{LF} - S_{22} E_{LF} + S_{11} S_{22} E_{SF} E_{LF}} \quad (3)$$

$$[0025] \quad S_{12M} = \frac{E_{TR} S_{12}}{1 - S_{11} E_{LR} - S_{21} S_{12} E_{SR} E_{LR} - S_{22} E_{SR} + S_{11} S_{22} E_{SR} E_{LR}} \quad (4)$$

$$[0026] \quad S_{22M} = E_{DR} + \frac{E_{RR} [S_{22} (1 - S_{11} E_{LR}) + S_{21} S_{12} E_{LR}]}{1 - S_{11} E_{LR} - S_{21} S_{12} E_{SR} E_{LR} - S_{22} E_{SR} + S_{11} S_{22} E_{SR} E_{LR}} \quad (5)$$

[0027] 电子校准件中每个电子标准的特性都不相同,而且每个电子标准在不同频段下的特性相差比较大,在某些频段曲线平滑、变化缓慢,某些频段曲线陡峭、变化剧烈。现有的定值方式和校准方法具有以下不足：

[0028] 1. 固定频率间隔,在特性变化剧烈的频段,插值法会带来较大的误差,从而造成校准精度降低。如图4所示,在频率A、B之间由于电子标准特性变化快,定值频点之间的数据难以精确的用插值法得到。但一味的减小定值频率间隔 ΔF ,会使定值数据过多,定值工作量过大；

[0029] 2. 电子标准的特性不同,定值精度也不同,定值不确定度大的标准(“坏标准”)会影响并降低最终的校准精度。

发明内容

[0030] 为解决上述问题,本发明提出一种矢量网络分析仪电子校准件及电子校准方法。

[0031] 本发明的技术方案是这样实现的：

[0032] 一种矢量网络分析仪电子校准件,其电子标准集成在单片微波集成电路上,包括：独立的6个反射标准和一个传输标准,计算机控制多选开关对所述7个标准进行选择,组合实现18个标准；非易失存储器,存储定值数据；USB接口控制器,对外传输非易失存储器中存储的数据。

[0033] 本发明还提供了一种电子校准方法,适用于上述的矢量网络分析仪电子校准件,包括以下步骤：

[0034] 步骤(a),由计算机控制定值过程,根据电子标准在不同频率下的变化趋势,自动调整频率间隔；

[0035] 步骤(b),根据电子标准定值数据,判断定值不确定度,并赋予不同的加权系数；

[0036] 步骤(c),将定值数据存储到电子校准件的非易失存储器中；

[0037] 步骤(d),根据式(6)计算矢量网络分析仪的反射误差系数项：

[0038]

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1(f)\Gamma_1(f) & \varepsilon_1(f) & -\varepsilon_1(f)\Gamma_1(f)\Gamma_{m1}(f) \\ \varepsilon_2(f)\Gamma_2(f) & \varepsilon_2(f) & -\varepsilon_2(f)\Gamma_2(f)\Gamma_{m2}(f) \\ \varepsilon_3(f)\Gamma_3(f) & \varepsilon_3(f) & -\varepsilon_3(f)\Gamma_3(f)\Gamma_{m3}(f) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varepsilon_N(f)\Gamma_N(f) & \varepsilon_N(f) & -\varepsilon_N(f)\Gamma_N(f)\Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r - E_s E_d \\ E_d \\ E_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1(f)\Gamma_{m1}(f) \\ \varepsilon_2(f)\Gamma_{m2}(f) \\ \varepsilon_3(f)\Gamma_{m3}(f) \\ \vdots \\ \varepsilon_N(f)\Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0039] 步骤(e),读取电子校准件直通标准的定值数据 S_{11} 、 S_{21} 、 S_{12} 、 S_{22} ,测量电子校准件直通标准得到测量值 S_{11M} 、 S_{21M} 、 S_{12M} 、 S_{22M} ,通过公式(2)-(5):

$$[0040] \quad S_{11M} = E_{DF} + \frac{E_{RF} [S_{11}(1-S_{22}E_{LF}) + S_{21}S_{12}E_{LF}]}{1-S_{11}E_{SF} - S_{21}S_{12}E_{SF}E_{LF} - S_{22}E_{LF} + S_{11}S_{22}E_{SF}E_{LF}} \quad (2)$$

$$[0041] \quad S_{21M} = \frac{E_{TF}S_{21}}{1-S_{11}E_{SF} - S_{21}S_{12}E_{SF}E_{LF} - S_{22}E_{LF} + S_{11}S_{22}E_{SF}E_{LF}} \quad (3)$$

$$[0042] \quad S_{12M} = \frac{E_{TR}S_{12}}{1-S_{11}E_{LR} - S_{21}S_{12}E_{SR}E_{LR} - S_{22}E_{SR} + S_{11}S_{22}E_{SR}E_{LR}} \quad (4)$$

$$[0043] \quad S_{22M} = E_{DR} + \frac{E_{RR} [S_{22}(1-S_{11}E_{LR}) + S_{21}S_{12}E_{LR}]}{1-S_{11}E_{LR} - S_{21}S_{12}E_{SR}E_{LR} - S_{22}E_{SR} + S_{11}S_{22}E_{SR}E_{LR}} \quad (5)$$

[0044] 求解得到传输误差系数 E_{LF} 、 E_{LR} 、 E_{TF} 、 E_{TR} 。

[0045] 可选地,步骤(a)中,自动调整频率间隔具体为:变化平缓的频段频率间隔大,变化剧烈的频段频率间隔小。

[0046] 可选地,步骤(b)中,赋予不同的加权系数具体为:定值不确定度大的电子标准权重小。

[0047] 本发明的有益效果是:

[0048] (1)减小了插值误差和部分“坏标准”的影响;

[0049] (2)有效提高矢量网络分析仪电子校准精度。

附图说明

[0050] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0051] 图1为现有的电子校准件的电子标准结构示意图;

[0052] 图2为现有的电子校准件的定值数据的存储格式示意图;

[0053] 图3为矢量网络分析仪的误差模型;

[0054] 图4为现有的电子校准件插值方法的定值示意图;

[0055] 图5为本发明的电子校准件的结构示意图;

[0056] 图6为本发明的电子校准方法的流程图;

[0057] 图7为本发明电子校准件的非易失存储器的存储格式示意图。

具体实施方式

[0058] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0059] 如图5所示,本发明的矢量网络分析仪电子校准件采用单片微波集成电路MMIC技术,在单片上实现了独立的6个反射标准和一个传输标准,计算机控制多选开关对上述7个标准进行选择,可实现共计18个标准;非易失存储器,存储定值数据;USB接口控制器,对外传输非易失存储器中存储的数据。

[0060] 本发明的电子校准方法,基于图5中的电子校准件,如图6所示,包括以下步骤:步骤(a),由计算机控制定值过程,根据电子标准在不同频率下的变化趋势,自动调整频率间隔,变化平缓的频段频率间隔大,变化剧烈的频段频率间隔小,即变化剧烈的频段定值密度大,变化缓慢的频段定值密度小,减小了定值频点间的插值误差,同时不会过多的增加定值频点数量;步骤(b),根据电子标准定值数据,判断定值不确定度,并赋予不同的加权系数,定值不确定度大的电子标准权重小,由于加入权重因子,减小了“坏标准”对最终校准精度的影响;步骤(c),将定值数据存储到电子校准件的非易失存储器中,还可以通过USB接口控制器将定值数据输出,存储格式如图7所示;步骤(d),根据式(6)计算矢量网络分析仪的反射误差系数项:

[0061]

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1(f)\Gamma_1(f) & \varepsilon_1(f) & -\varepsilon_1(f)\Gamma_1(f)\Gamma_{m1}(f) \\ \varepsilon_2(f)\Gamma_2(f) & \varepsilon_2(f) & -\varepsilon_2(f)\Gamma_2(f)\Gamma_{m2}(f) \\ \varepsilon_3(f)\Gamma_3(f) & \varepsilon_3(f) & -\varepsilon_3(f)\Gamma_3(f)\Gamma_{m3}(f) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \varepsilon_N(f)\Gamma_N(f) & \varepsilon_N(f) & -\varepsilon_N(f)\Gamma_N(f)\Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_r - E_s E_d \\ E_d \\ E_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1(f)\Gamma_{m1}(f) \\ \varepsilon_2(f)\Gamma_{m2}(f) \\ \varepsilon_3(f)\Gamma_{m3}(f) \\ \vdots \\ \varepsilon_N(f)\Gamma_{mN}(f) \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0062] 步骤(e),读取电子校准件直通标准的定值数据 S_{11} 、 S_{21} 、 S_{12} 、 S_{22} ,测量电子校准件直通标准得到测量值 S_{11M} 、 S_{21M} 、 S_{12M} 、 S_{22M} ,通过公式(2)-(5)求解得到传输误差系数 E_{LF} 、 E_{LR} 、 E_{TF} 、 E_{TR} :

$$[0063] \quad S_{11M} = E_{DF} + \frac{E_{RF} [S_{11} (1 - S_{22} E_{LF}) + S_{21} S_{12} E_{LF}]}{1 - S_{11} E_{SF} - S_{21} S_{12} E_{SF} E_{LF} - S_{22} E_{LF} + S_{11} S_{22} E_{SF} E_{LF}} \quad (2)$$

$$[0064] \quad S_{21M} = \frac{E_{TF} S_{21}}{1 - S_{11} E_{SF} - S_{21} S_{12} E_{SF} E_{LF} - S_{22} E_{LF} + S_{11} S_{22} E_{SF} E_{LF}} \quad (3)$$

$$[0065] \quad S_{12M} = \frac{E_{TR} S_{12}}{1 - S_{11} E_{LR} - S_{21} S_{12} E_{SR} E_{LR} - S_{22} E_{SR} + S_{11} S_{22} E_{SR} E_{LR}} \quad (4)$$

$$[0066] \quad S_{22M} = E_{DR} + \frac{E_{RR} [S_{22} (1 - S_{11} E_{LR}) + S_{21} S_{12} E_{LR}]}{1 - S_{11} E_{LR} - S_{21} S_{12} E_{SR} E_{LR} - S_{22} E_{SR} + S_{11} S_{22} E_{SR} E_{LR}} \quad (5)$$

[0067] 本发明的矢量网络分析仪电子校准件和电子校准方法,通过定值频率间隔自适应定值、定值加权和加权校准,减小了插值误差和部分“坏标准”的影响,有效提高矢量网络分

析仪电子校准精度。

[0068] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

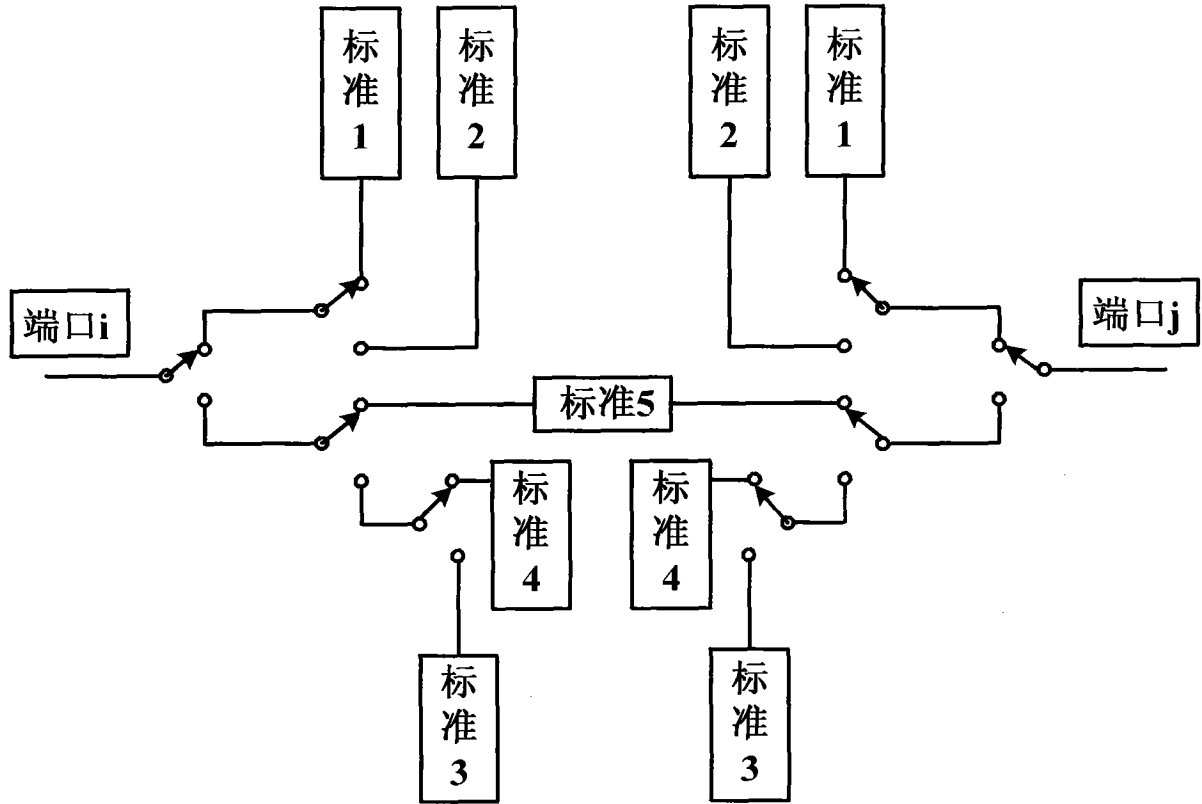


图1

文件头 定值点数: N 起始频率: F 频率间隔: ΔF
电子标准 1: 定值数据 1.....定值数据 N
电子标准 2: 定值数据 1.....定值数据 N
电子标准 3: 定值数据 1.....定值数据 N

图2

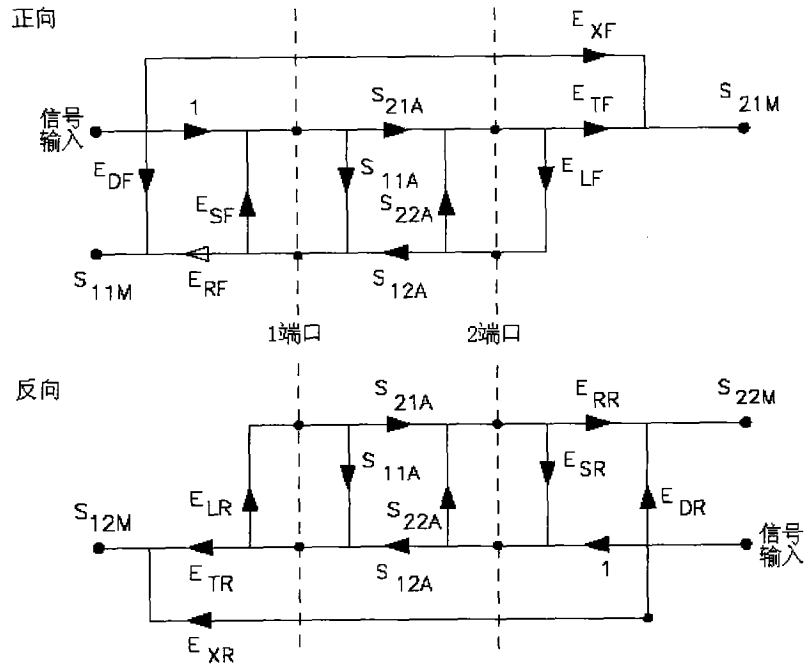


图3

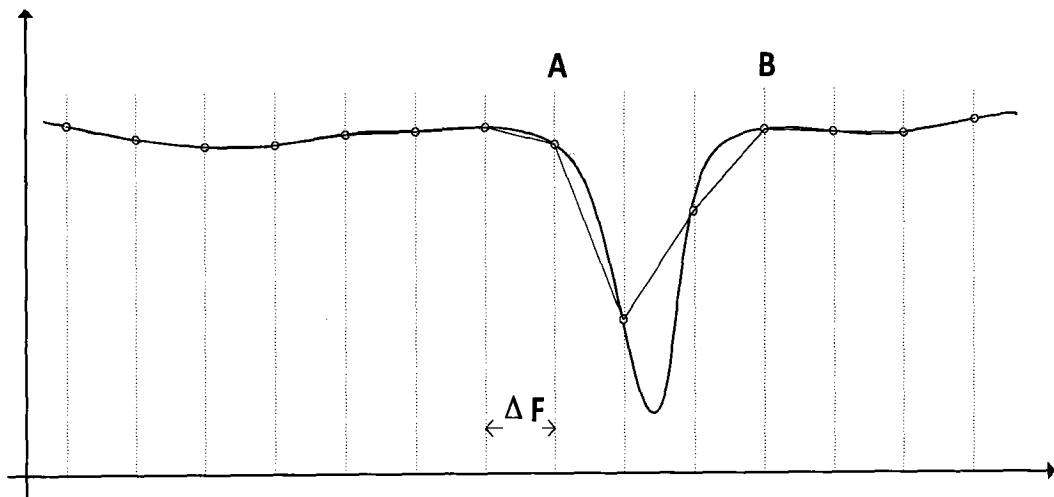


图4

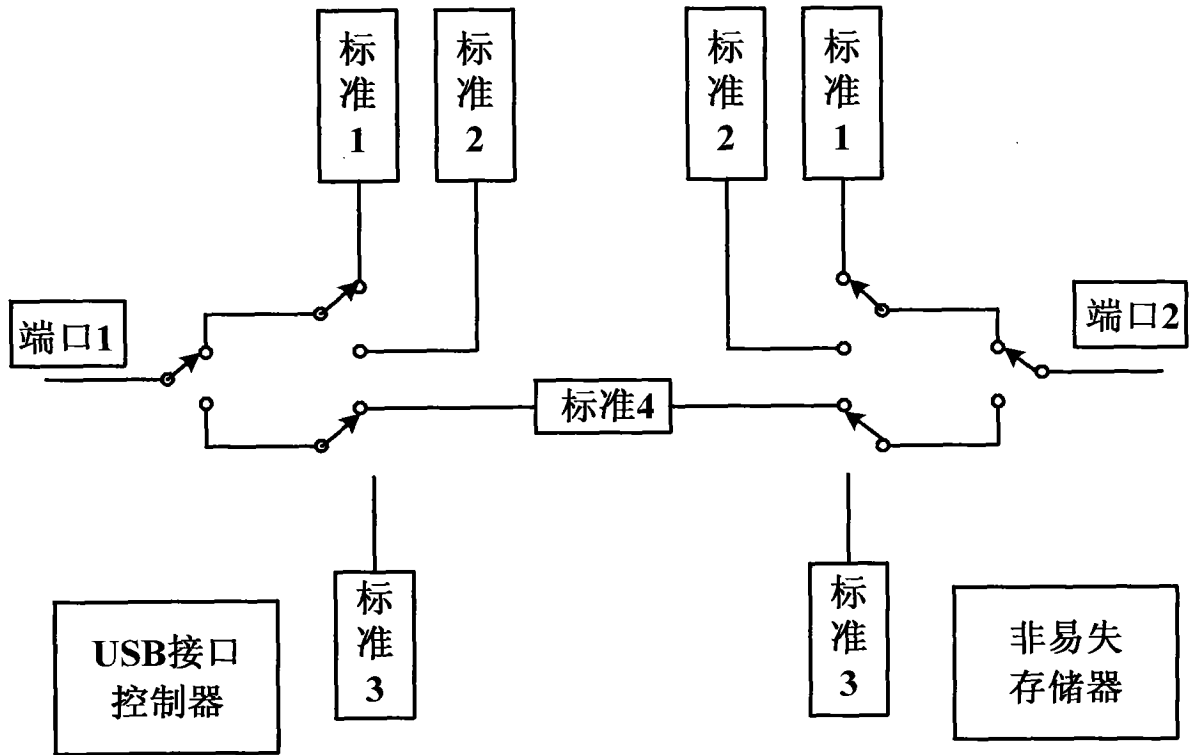


图5

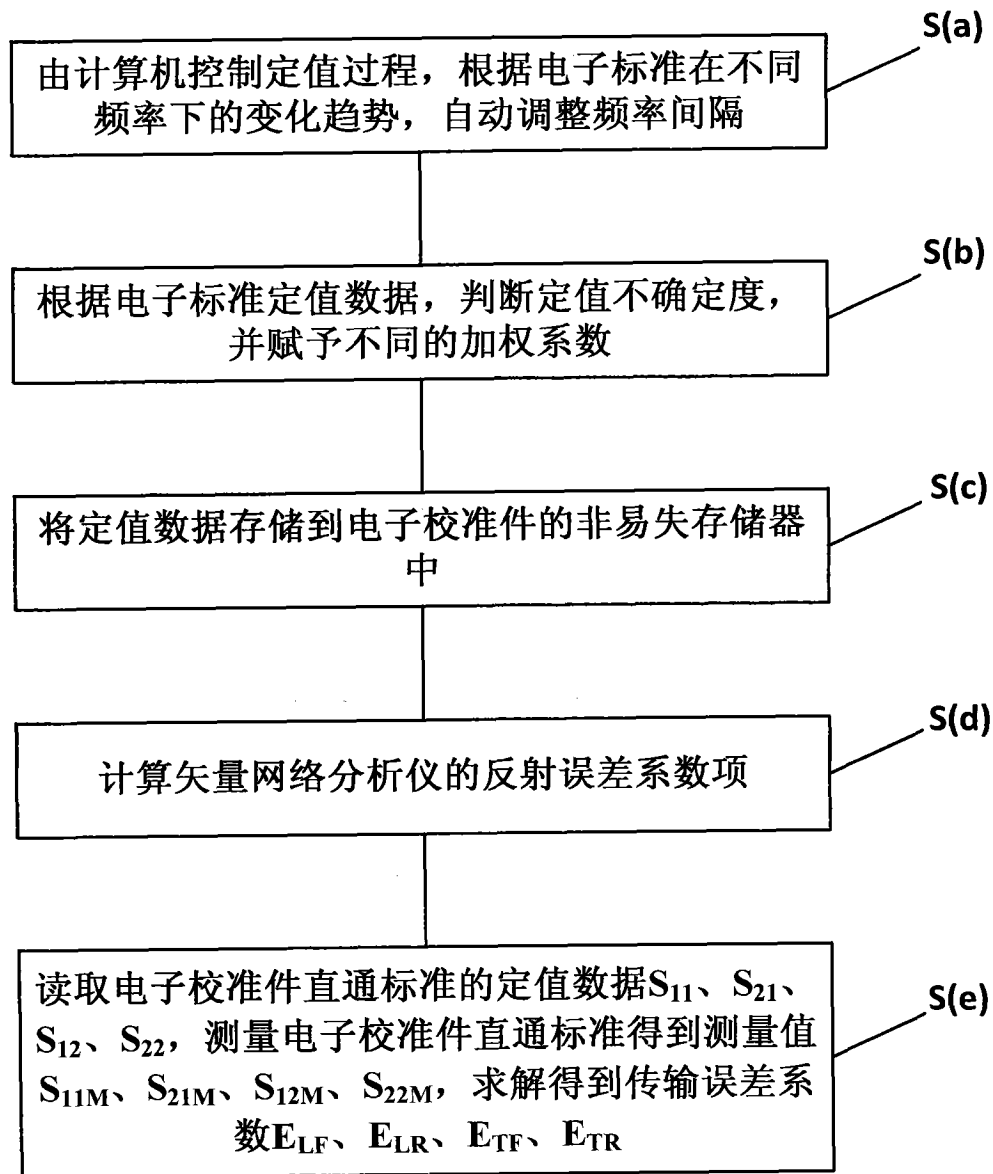


图6

<p>电子标准 1</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>定值点 0 频率、定值数据、准确度: f_0、$\Gamma(f_0)$、$\varepsilon(f_0)$ 定值点 1 频率、定值数据、准确度: f_1、$\Gamma(f_1)$、$\varepsilon(f_1)$ 定值点 N 频率、定值数据、准确度: f_N、$\Gamma(f_N)$、$\varepsilon(f_N)$</p>
<p>电子标准 2</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>定值点 0 频率、定值数据、准确度: f_0、$\Gamma(f_0)$、$\varepsilon(f_0)$ 定值点 1 频率、定值数据、准确度: f_1、$\Gamma(f_1)$、$\varepsilon(f_1)$ 定值点 N 频率、定值数据、准确度: f_N、$\Gamma(f_N)$、$\varepsilon(f_N)$</p>
<p>.....</p>
<p>电子标准 N</p> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <p>定值点 0 频率、定值数据、准确度: f_0、$\Gamma(f_0)$、$\varepsilon(f_0)$ 定值点 1 频率、定值数据、准确度: f_1、$\Gamma(f_1)$、$\varepsilon(f_1)$ 定值点 N 频率、定值数据、准确度: f_N、$\Gamma(f_N)$、$\varepsilon(f_N)$</p>

图7