

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H05K 13/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410028653.7

[45] 授权公告日 2006 年 8 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 1268194C

[22] 申请日 2004.3.5

[21] 申请号 200410028653.7

[30] 优先权

[32] 2003.3.5 [33] JP [31] 2003-059034

[32] 2003.5.9 [33] JP [31] 2003-132388

[32] 2003.10.6 [33] JP [31] 2003-347251

[71] 专利权人 株式会社村田制作所

地址 日本京都府长冈京市

[72] 发明人 神谷岳

审查员 乔东峰

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 李家麟

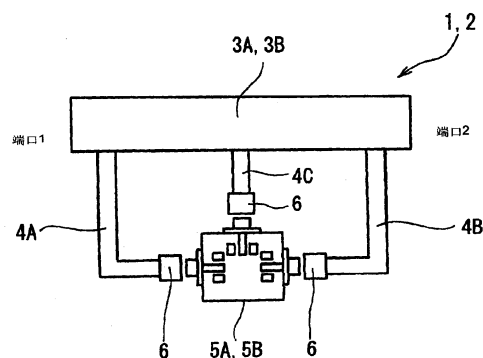
权利要求书 5 页 说明书 27 页 附图 27 页

[54] 发明名称

测量误差校正方法与电子元件特性测量装置

[57] 摘要

提出一种高度精密而多端口兼容的相对校正方法与装置，用于校正涉及非同轴电子元件端口数增多的测量误差，其中设置的一种相对校正结合器(31)由双端口网络构成，所述网络接至测量装置附近的生产测试夹(5B)的各端口。该相对校正结合器的特征在于，能把其上装有被测电子元件的生产测试夹(5B)产生的电气特性修正为由其上装有被测电子元件的标准测试夹(5A)产生的电气特性。相对校正结合器(31)的误差因子根据校正数据采集样品(11B)的标准测试夹测量值与生产测试夹测量值确定，并用该误差因子校正被测电子元件(11A)的生产测试夹测量值。这样得到的被测电子元件(11A)的标准测试夹测量值，假定是在用标准测量装置 1 测量装在标准测试夹(5A)上的被测电子元件(11A)时得到的。



1. 一种测量误差校正方法，其中当多端口被测电子元件装在生产测试夹上用测试仪测量其电气特性时，把应用生产测试夹的被测电子元件的生产测试夹测量值校正到假定得到的电气特性，所述假定得到的电气特性是在该测试仪和另一台在测量性能特性上被视为等效于该测试仪的测试仪之一测量装在标准测试夹上的该被测电子元件时所得到的，所述标准测试夹导致电子元件的电气特性测量结果不同于生产测试夹提供的该电子元件的电气特性测量结果，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

制备至少三个电气特性不同且其端口间传输系数极小的校正数据采集样件；

用测试仪和另一测试仪之一测量装在标准测试夹上的校正数据采集样件的电气特性，获取该校正数据采集样件的标准测试夹测量值；

用测试仪和另一测试仪之一测量装在生产测试夹上的校正数据采集样件的电气特性，获取该校正数据采集样件的生产测试夹测量值；

根据校正数据采集样件的标准测试夹测量值和生产测试夹测量值，确定相对校正结合器的误差因子，其中把该相对校正结合器模拟成包含接测试仪附近生产测试夹诸端口的双端口网络，而且具有将其上装有被测电子元件的生产测试夹产生的电气特性修正为其上装有被测电子元件的标准测试夹产生的电气特性的特性；

用测试仪和另一测试仪之一测量装在生产测试夹上的被测电子元件，获取其生产测试夹测量值；和

利用相对校正结合器的误差因子校正被测电子元件的生产测试夹测量值，计算被测电子元件的标准测试夹测量值，假定该测量值在测试仪和另一测试仪之一测量装在标准测试夹上的被测电子元件时得到。

2. 如权利要求 1 所述的测量误差校正法，其特征在于，校正数据采集样件的端口间传输系数等于或低于-20dB。

3. 如权利要求 1 所述的测量误差校正法，其特征在于，校正数据采集样件的端口反射系数相互不同。

4. 如权利要求 1 所述的测量误差校正法，其特征在于，按下列公式(1)执行确定相对校正结合器的误差因子的步骤：

$$\begin{aligned}
C_{100} = & \frac{(S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} \cdot S_{11T} - S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} \cdot S_{11T3} - S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11T3} + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11T2} - S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11T2})}{(S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} - S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} - S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} - S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1})} \\
C_{101} = C_{110} = & \pm \sqrt{((S_{11D2} - S_{11D1}) \cdot (S_{11D3} - S_{11D1}) \cdot (S_{11D3} - S_{11D2}) \cdot (S_{11T2} - S_{11T1}) \cdot (S_{11T3} - S_{11T1}) \cdot (S_{11T3} - S_{11T2}))} \\
& / (S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} - S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} - S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} - S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1}) \\
C_{111} = & ((S_{11D2} - S_{11D1}) \cdot S_{11T3} + (S_{11D1} - S_{11D3}) \cdot S_{11T2} + (S_{11D3} - S_{11D2}) \cdot S_{11T1}) \\
& / (S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} - S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} - S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} - S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1}) \quad \dots (1)
\end{aligned}$$

式中 C_{100} 、 C_{101} 、 C_{110} 与 C_{111} 代表相对校正结合器的误差因子， S_{11D1} 、 S_{11D2} 与 S_{11D3} 代表标准测试夹对校正数据采集样件的标准测试夹测量值，而 S_{11T1} 、 S_{11T2} 与 S_{11T3} 代表生产测试夹对校正数据采集样件的生产测试夹测量值。

5. 如权利要求 4 所述的测量误差校正法，其特征在于，按公式(2)执行被测电子元件的标准测试夹测量值计算步骤：

$$\begin{aligned}
\text{Denom0} &= 1 - C_{111} \cdot S_{11T} - C_{211} \cdot S_{22T} + C_{111} \cdot C_{211} \cdot S_{21T} \cdot S_{12T} + C_{111} \cdot C_{211} \cdot S_{11T} \cdot S_{22T} \\
S_{11D} &= C_{100} + (C_{110} \cdot C_{101} \cdot S_{11T} - C_{110} \cdot C_{101} \cdot C_{211} \cdot S_{11T} \cdot S_{22T} + C_{110} \cdot C_{211} \cdot C_{101} \cdot S_{21T} \cdot S_{12T}) / \text{Denom0} \\
S_{21D} &= C_{110} \cdot C_{201} \cdot S_{21T} / \text{Denom0} \\
\text{Denom1} &= 1 - C_{211} \cdot S_{22T} - C_{111} \cdot S_{11T} - C_{211} \cdot C_{111} \cdot S_{12T} \cdot S_{21T} + C_{211} \cdot C_{111} \cdot S_{22T} \cdot S_{11T} \\
S_{22D} &= C_{200} + (C_{210} \cdot C_{201} \cdot S_{22T} - C_{210} \cdot C_{201} \cdot C_{111} \cdot S_{22T} \cdot S_{11T} + C_{210} \cdot C_{111} \cdot C_{201} \cdot S_{12T} \cdot S_{21T}) / \text{Denom1} \\
S_{12D} &= C_{210} \cdot C_{101} \cdot S_{12T} / \text{Denom1} \quad \dots (2)
\end{aligned}$$

6. 如权利要求 1 所述的测量误差校正法，其特征在于，校正数据采集样件有一断路的端口和另一个短路或端接的端口。

7. 如权利要求 1 所述的测量误差校正法，其特征在于，校正数据采集样件有一短路的端口和另一个断路或端接的端口。

8. 如权利要求 1 所述的测量误差校正法，其特征在于，在通过各夹具对校正数据采集样件和被测电子元件之一加直流电流和直流电压之一的情况下，测量校正数据采集样件和被测电子元件之一的电气特性，使加到校正数据采集样件和被测电子元件之一的直流电流和直流电压之一的值在以下各步骤中保持不变：获取校正数据采集样件的标准测试夹测量值、获取校正数据采集样件的生产测试夹测量值和获取被测电子元件的生产测试夹测量值。

9. 如权利要求 8 所述的测量误差校正法, 其特征在于, 构成和排列校正数据采集样件, 使其至少一个端口防止直流电流通过其流通。

10. 如权利要求 8 的测量误差校正法, 其特征在于包括:

制备若干作为标准测试夹和生产测试夹的夹具, 各夹具除了其对应于校正数据采集样件和被测电子元件的端口的连接端子外, 还有至少一个接各夹具地电位的地连接端子;

作为校正数据采集样件, 制备至少一个有一端子准备接至地连接端子的样件; 和

在获取带连接地连接端子的端子的校正数据采集样件的生产测试夹测量值的步骤中, 测量该校正数据采集样件的电气特性。

11. 一种电子元件特性测量装置, 包括一在多端口被测电子元件装在生产测试夹上时测量其电气特性的测试仪, 而且把在测试仪上测试的装在生产测试夹上的电子元件的电气特性校正到假定得到的电气特性, 所述假定得到的电气特性是在该测试仪和另一测量装置之一测量装在标准测试夹上的被测电子元件时所得到的, 所述另一测量装置包括测量性能特性被视为等效于所述测试仪的测试仪, 所述标准测试夹导致电子元件的电气特性测量结果不同于生产测试夹提供的该电子元件的电气特性测量结果, 其特征在于, 所述电子元件特性测量装置包括以下装置:

控制器, 用于控制所述测试仪, 通过测量至少三个装在标准测试夹上的校正数据采集样件的电气特性, 获取该校正数据采集样件的标准测试夹测量值, 所述校正数据采集样件的电气特性不同, 其端口间的传输系数极小, 通过测量装在生产测试夹上的校正数据采集样件的电气特性, 获取该校正数据采集样件的生产测试夹测量值, 以及通过测量装在生产测试夹上的被测电子元件, 获取该被测电子元件的生产测试夹测量值;

误差因子标识装置, 用于根据校正数据采集样件的标准测试夹测量值和生产测试夹测量值, 确定相对校正结合器的误差因子, 其中相对校正结合器被模拟成包括连接测量装置附近生产测试夹端口的双端口网络, 而且具有把其上装有被测电子元件的生产测试夹产生的电气特性修正为其上装有被测电子元件的标准测试夹产生的电气特性的特性; 和

校正值计算装置, 用于利用相对校正结合器的误差因子校正被测电子元件的生产测试夹测量值, 计算被测电子元件的标准测试夹测量值, 该值假定在测

试仪和另一测量装置之一测量装在标准测试夹上的被测电子元件时得到。

12. 如权利要求 11 所述的电子元件特性测量装置, 其特征在于, 校正数据采集样件的端口间传输系数等于或低于-20dB。

13. 如权利要求 11 所述的电子元件特性测量装置, 其特征在于, 诸校正数据采集样件的端口反射系数相互不同。

14. 如权利要求 11 所述的电子元件特性测量装置, 其特征在于, 所述误差因子标识装置按下列公式确定该误差因子:

$$\begin{aligned}
 C_{100} = & \frac{-(S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T2} * S_{11T} - S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T2} * S_{11T3} - S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T1} * S_{11T3} \\
 & + S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T1} * S_{11T3} + S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T1} * S_{11T2} - S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T1} * S_{11T2})}{(S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T3} - S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T3} - S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T2} \\
 & + S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T2} + S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T1} - S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T1})} \\
 C_{101} = C_{110} = & \pm \text{Sqrt}((S_{11D2} * S_{11D1}) * (S_{11D3} * S_{11D1}) * (S_{11D3} * S_{11D2}) * (S_{11T2} * S_{11T1}) * (S_{11T3} * S_{11T1}) * (S_{11T3} * S_{11T2})) \\
 & / (S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T3} - S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T3} - S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T2} \\
 & + S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T2} + S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T1} - S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T1}) \\
 C_{111} = & ((S_{11D2} * S_{11D1}) * S_{11T3} + (S_{11D1} * S_{11D3}) * S_{11T2} + (S_{11D3} * S_{11D2}) * S_{11T1}) \\
 & / (S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T3} - S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T3} - S_{11D2} * S_{11D3} * S_{11T2} \\
 & + S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T2} + S_{11D1} * S_{11D3} * S_{11T1} - S_{11D1} * S_{11D2} * S_{11T1}) \\
 & \dots (1)
 \end{aligned}$$

式中 C_{100} 、 C_{101} 、 C_{110} 与 C_{111} 代表相对校正结合器的误差因子, S_{11D1} 、 S_{11D2} 与 S_{11D3} 代表标准测试夹对校正数据采集样件的标准测试夹测量值, 而 S_{11T1} 、 S_{11T2} 与 S_{11T3} 代表生产测试夹对校正数据采集样件的生产测试夹测量值。

15. 如权利要求 14 所述的电子元件特性测量装置, 其特征在于, 所述校正值计算装置按下列公式计算标准测试夹测量值:

$$\begin{aligned}
 \text{Denom0} = & 1 - C_{111} * S_{11T} - C_{211} * S_{22T} + C_{111} * C_{211} * S_{21T} * S_{12T} + C_{111} * C_{211} * S_{11T} * S_{22T} \\
 S_{11D} = & C_{100} + (C_{110} * C_{101} * S_{11T} - C_{110} * C_{101} * C_{211} * S_{11T} * S_{22T} + C_{110} * C_{211} * C_{101} * S_{21T} * S_{12T}) / \text{Denom0} \\
 S_{21D} = & C_{110} * C_{201} * S_{21T} / \text{Denom0} \\
 \text{Denom1} = & 1 - C_{211} * S_{22T} - C_{111} * S_{11T} - C_{211} * C_{111} * S_{12T} * S_{21T} + C_{211} * C_{111} * S_{22T} * S_{11T} \\
 S_{22D} = & C_{200} + (C_{210} * C_{201} * S_{22T} - C_{210} * C_{201} * C_{111} * S_{22T} * S_{11T} + C_{210} * C_{111} * C_{201} * S_{12T} * S_{21T}) / \text{Denom1} \\
 S_{12D} = & C_{210} * C_{101} * S_{12T} / \text{Denom1} \\
 & \dots (2)
 \end{aligned}$$

16. 如权利要求 11 所述的电子元件特性测量装置, 其特征在于, 校正数据采集样件有一个断路的端口和另一个短路或端接的端口。

17. 如权利要求 11 所述的电子元件特性测量装置, 其特征在于, 校正数据

采集样件有一短路的端口和另一个断路或端接的端口。

18. 如权利要求 11 的电子元件特性测量装置，其特征在于，还包括通过生产测试夹和标准测试夹向被测电子元件和校正数据采集样件提供直流电流的直流电源，其中所述测试仪在直流电源通过各自的夹具向校正数据采集样件和被测电子元件之一提供被视为在各种装置之间同等的电流或电压之一的情况下，测量校正数据采集样件和被测电子元件之一的电气特性。

测量误差校正方法与电子元件特性测量装置

技术领域

本发明涉及一种测量误差校正方法，其中当被测电子元件装在生产测试夹上用测量仪测量多端口被测电子元件的电气特性时，把使用生产测试夹的被测电子元件的生产测试夹测量值校正到在该测量仪和另一台测量性能特征被视为相当于该测量仪的测量仪之一测量在标准测试夹上处于安装状态的被测电子元件时可得到的电气特性，造成电子元件的电气特性测量结果不同于生产测试夹所提供的该电子元件的电气特性测量结果。本发明还涉及执行测量误差校正方法的电子元件特性测量装置。

背景技术

为从测量值中消除测量系统误差的影响，要执行 SOLT 校正法，准备一种标准器件，它具有一种事先确定的真实的电气特性物理值(如散射系数)。这里将一同轴电子元件用作标准器件，在极端极限下有一真实的电气特性物理值。把该同轴电子元件用作标准器件，原因在于相对容易在具有电气特性极端值的该元件中确定真实的电气特性物理值。在断路、短路与端接等电气状态中，该同轴电子元件真实的电气特性物理值呈现出极端值。这种同轴电子元件被用作标准器件。这里将测定诸如该同轴电子元件的电子元件的电气特性的真实物理值称为确定真实物理值。

反过来讨论 SOLT 校正。把准备的标准器件接同轴电缆的端部，电缆另一端接测量装置上的一个或多个连接端口，按这种配置法测量该标准器件的电气特性。取下标准器件，同轴电缆的端子(测量装置上的端口)相互连接(直通连接)，再测量电缆的电气特性。从接标准器件状态的电气特性中确定直到同轴电缆两端的误差因子。通过确定该误差因子，从测量的电气特性中消除误差的影响，从而计算出接同轴电缆两端的同轴电子元件的电气特性。同轴电缆的该端部用作校正平面。

算出标准器件的测量值与真实物理值之间的对应关系(确定标准器件的误差因子)。在测量实际样件的电气特性时，根据算出的对应关系校正测量值(用

计算消除误差因子的影响)。对应关系的计算和基于该对应关系的测量值校正(确定误差因子和通过计算消除误差因子)称为校正。SOLT 校正就是这类校正法之一。

不带同轴连接器的电子元件(称为非同轴电子元件),如表面装贴电子元件,要求在测量其电气特性时作上述校正。接测量装置一连接端口的同轴电缆通过夹具接非同轴电子元件。夹具的同轴连接器要接同轴电缆,该夹具与接同轴电缆的同轴连接器相接。测量装置测量装在接同轴电缆的夹具上的非同轴电子元件的电气特性。

从原理上讲,要求用标准器件校正非同轴电子元件,但实际上不能为这些非同轴电子元件生产一种标准器件,因为极难确定同轴型以外的标准器件实际的物理值。若在不用非同轴标准器件的情况下校正非同轴电子元件,校正平面就变为同轴电缆的端部,与连接同轴电缆的夹具无关。为此,将该非同轴电子元件装在应用于无校正平面的夹具上,测出非同轴电子元件的电气特性。

夹具有出现误差的可能性。确定非同轴电子元件的电气特性无须注意夹具引起的误差因子,即夹具引起的误差因子可根据夹具的物理尺度通过计算而评估。评估的夹具误差因子通过计算从测得的电气特性中消除。因此在非同轴电子元件的测量期间,注重校正的精密度(如参见 Agilent Technologies 8720 ES User' s Guide P.7—37 to P.7—51)。

在特定测量期间校正非同轴电子元件的常规技术并不一定提供高的校正精度。如上所述,测量装置(主要是网络分析仪)的校正平面被强制成为同轴表面,如同轴电缆的端部。测量装置测试通过受限制的校正平面连接的电子元件。然而,非同轴电子元件并不直接接同轴表面(校正平面)。对测量而言,非同轴电子元件通过夹具(一类传输线)接测量装置。各夹具有其自己的特性,很难使多个夹具做成均一的特性。当通过夹具测量非同轴电子元件的特性时,自然会出现各夹具独特的误差,造成测量结果的变化,劣化了校正精度。

在三端口非同轴电子元件中(如双工器),在多个夹具之间形成均一特性甚至更难,夹具不实用。

工作于高频区平衡信号而不是不平衡信号电子元件,正日益增多。平衡信号作为相位差为 180° 的两个信号被发射,而接收信号在接收机一侧作为这两个信号之差的平衡信号被接收。由于其抗扰性优于普通不平衡信号,故目前用得较多。鉴于单个信号以平衡信号模式作为双信号来发射,一个平衡端口对

应于两个不平衡端口，例如具有平衡的输入与输出的滤波器是一种双端口器件，但实际上相当于不平衡的四端口器件。其实除了接地端，平衡输入与输出的滤波器还设有四个输入与输出端子。

随着更多的电子元件变为平衡型，预期非同轴电子元件如表面装贴元件的端口数会增多。因此，要求一种适于这类电子元件工作的相对校正方法，以提供高校正精度，满足多端口要求。

发明内容

为克服上述的缺点，本发明提供一种测量误差校正方法，其中在用测试仪测量装在生产测试夹上的多端口被测电子元件的电气特性时，把应用生产测试夹得出的被测电子元件的生产测试夹测量值校正到假定在用测试仪和另一台在测量性能特性中被视为等同于该测试仪的测试仪之一测量装在标准测试夹上的被测电子元件时所得到的电气特性，而标准测试夹导致与生产测试夹提供的测量值不同的测量值。

本发明方法包括以下诸步骤：准备至少三个电气特性不同而且端口之间具有极小传输系数的校正数据采集样件；通过用测试仪和另一测试仪之一测量装在标准测试夹上的校正数据采集样件的电气特性，得到该校正数据采集样件的标准测试夹测量值；通过用测试仪和另一测试仪之一测量装在生产测试夹上的该校正数据采集样件的电气特性，得到该校正数据采集样件的生产测试夹测量值；根据校正数据采集样件的标准测试夹与生产测试夹的测量值，确定相对校正结合器的误差因子，该相对校正结合器模拟成包含一个连接测试仪附近生产测试夹诸端口的双端口网络，而且具有把其上装有被测电子元件的生产测试夹产生的电气特性修正为其上装有该被测电子元件的标准测试夹产生的电气特性的特征；通过用测试仪和另一测试仪之一测量装在生产测试夹上的被测电子元件，得到该被测电子元件的生产测试夹测量值；并且通过用相对校正结合器的误差因子校正被测电子元件的生产测试夹测量值，计算该被测电子元件的标准测试夹测量值，假定这是在用测量仪和另一测量仪之一测量装在标准测试夹上的被测电子元件时得到的。

本发明还涉及一种包含一测量仪的电子元件特性测量装置，该测量仪测量装在生产测试夹上的多端口被测电子元件的电气特性，并把测试仪上测试的装在生产测试夹上的电子元件的电气特性校正到假定在该测试仪和另一测量装

置(包括在测量性能特性上被视为相当于该测试仪的一测试仪)之一测量装在标准测试夹上的该被测电子元件时得到的电气特性,而标准测试夹导致电子元件的电气特性测量结果不同于生产测试试夹提供的该电子元件的电气特性测量结果。

本发明的电子元件特性测量装置包括:控制器,用于控制所述测试仪,通过测量至少三个装在标准测试夹上的校正数据采集样件的电气特性,获取该校正数据采集样件的标准测试夹测量值,所述校正数据采集样件的电气特性不同,其端口间的传输系数极小,通过测量装在生产测试夹上的校正数据采集样件的电气特性,获取该校正数据采集样件的生产测试夹测量值,以及通过测量装在生产测试夹上的被测电子元件,获取该被测电子元件的生产测试夹测量值;误差因子标识装置,用于根据校正数据采集样件的标准测试夹测量值和生产测试夹测量值,确定相对校正结合器的误差因子,其中相对校正结合器被模拟成包括连接测量装置附近生产测试夹端口的双端口网络,而且具有把其上装有被测电子元件的生产测试夹产生的电气特性修正为其上装有被测电子元件的标准测试夹产生的电气特性的特性;和校正值计算装置,用于利用相对校正结合器的误差因子校正被测电子元件的生产测试夹测量值,计算被测电子元件的标准测试夹测量值,该值假定在测试仪和另一测量装置之一测量装在标准测试夹上的被测电子元件时得到。

根据本发明,通过测定相对校正结合器的状态来估算标准测试夹测量值,而该接合器位于生产测试夹测量值所表示的一模型的各端口。

本发明采取相对校正结合器形式的校正方法以线性联立议程实施,其中生产测试夹测量值是一已知的常数,而标准测试夹测量值为未知的变量。线性联立议程的项数是端口数的三倍。求解该线性联立议程,可实施本发明的校正方法。

线性联立方程便于用计算机算法自动表示。通过用 LU 分解等一般方法求解线性联立方程,提供对应于任意端口数测量系统的校正方法。本方法通用于无视端口使用数量的测量系统。若注重校正处理速度,可事先用代数法求解该线性联立方程,再用该方程作校正计算。

生产测试夹测量值为已知常数而标准测试夹测量值为未知变量的线性联立方程,其解法相当于执行上述的 SOLT 校正,换言之,实施本发明的校正方法,相当于在任何端口数的测量系统中执行 SOLT 校正。

在本发明的校正方法和特性测量装置中，在每个生产测试夹与标准测试夹上测量多个校正数据采集样件，根据测量结果确定相对校正结合器。从理论上讲，要求的校正数据采集样件数为三个，与测量系统的端口数无关。不一定要确定的校正数据采集样件的真实物理值，但其传输系数必须是足够小。

本发明的校正方法不计漏泄效应(直达波)。在测量中使用隔离度低的夹具时，会出现校正误差，结合使用所谓的补偿校正可减小该误差。

实施本发明时，不平衡输入-平衡输出器件可以作为三端口的不平衡器件来测试，在通过本发明的校正法校正测试结果后，可根据不平衡信号自然确定平衡信号。根据本发明，被测平衡系统作为被测不平衡系统来测量，然后对测量结果应用本发明，由此实现相对校正。

在本发明一实施例中，校正数据采集样件和被测电子元件之一的电气特性较佳地在通过每个夹具对校正数据采集样件和被测电子元件之一施加直流电流与直流电压之一的状态下测量，使加给校正数据采集样件和被测电子元件之一的直流电流与直流电压之一的值在以下各步骤或方法中保持不变：获取校正数据采集样件的标准测试夹测量值；获取校正数据采集样件的生产测试夹测量值；和获取被测电子元件的生产测试夹测量值。在这种配置中，适用于误差校正法的本发明应用于有源电子元件，如双极型晶体管、FET 或包含这些器件的放大器。

根据施加的直流电压幅值或流通的直流电流的幅值，有源电子元件的交流特性一般有明显的变化。配在生产测试夹里用于测试有源电子元件的电路，有时包括一个电子元件，如电解电容器、高介电常数型单块陶瓷电容器或二极管等半导体器件。根据施加的电压幅值或流通的电流幅值，这些电子元件会改变交流特性。在使用配备这种具备该特征的电子元件的夹具测量校正数据采集样件或被测电子元件时，若直流电压施压状态或直流电流流动状态从测量校正数据采集样件时改变到测量有源被测电子元件时的状态，则有源电子元件和夹具二者的交流特性都会变化。

根据加到夹具的电压幅值或流通夹具的电流幅值，有源电子元件的交流特性明显变化，由于该变化由有源被测电子元件的电气特性变化造成，故难以用本发明的相对校正法校正该变化。这是因为本发明的相对校正法是一种校正测量值的方法，而测量值的变化原因在于夹具重叠于有源电子元件电气特性上的误差随电子元件保持未受扰动的电气特性而变化。

若将电流或电压的上述应用条件的改进加到本发明的误差校正方法时，显然就把配入构成夹具的电路里的电子元件的特性视为被测电子元件的特性，结果可防止有源被测电子元件的电气特性变化发生改变。

根据有源被测电子元件，基本上同样的电流会不一样。在大多数有源电子元件中，0.05 毫电压差和 0.1mA 电流差被视作基本上相同的电压与电流。

不同于交流特性，通过生产测试夹加到有源被测电子元件的直流电压和直流电流之一的值，相对容易与通过标准测试夹到有源被测电子元件的直流电压和直流电流之一的值相等。

实现该目的是：

使用稳压电源，和

电源应用有严格容差(如 15%合格)的电子元件如电阻器。直流特性不受焊到电路板的元件的安装状态的影响。

实施本发明时，校正数据采集样件的结构较佳地使其至少一个端口能防止直流电流流过。

根据本发明，校正数据采集样件可以具有断路、短路与端接的特征。然而，若将具有短路特征的校正数据采集样件装在夹具上(生产测试夹或标准测试夹)来测量有源电子元件，大的直流电流就在夹具的电极之间流通，夹具电路中的直流电压或电流就变得与测量有源被测电子元件时的情况不同，从而劣化了校正精度。若不表述为短路情况，则具有端接特征的校正数据采集样件也有类似问题。

如上讨论，若在校正数据采集样件的至少一个端口防止直流电流通过的情况下测量该校正数据采集样件的电气特性，则夹具电路的直流电压或直流电流的关系保持不变，校正精度不劣化。例如，可对校正数据采集样件的该端口接一电容器，只让交流电流通过，直流信号被阻。

当有源被测电子元件的至少一个连接端子直接接夹具电路的地电位或至少交流耦合至地电位时，可容易制出任何对地电位具有各种电气特性的校正数据采集样件。然而，若有源被测电子元件没有一个连接端子接地电位而且夹具电路的一电子元件相对地电位安置，就难以确定准备对哪一个端子测量校正数据采集样件的电气特性，无法连接校正数据采集样件。

较佳地，本发明还包括以下步骤：制备作为标准测试夹和生产测试夹的夹具，除了其对应于校正数据采集样件和被测电子元件的端口的诸连接端子外，

还有至少一个接各夹具地电位的接地连接端子；制备作为校正数据采集样件的至少一个样件，其一个端子准备接接地连接端子；以及在获取带该端子的校正数据采集样件的生产测试夹测量值的步骤中，以校正数据采集样件接至接地连接端子的端子测量该校正数据采集样件的电气特性。

即使有电子元件相对于各标准测试夹和生产测试夹中夹具电路里的地电位，也可构成校正数据采集样件，因而可实施本发明的相对校正法。接地连接端较佳地接各夹具电路的地电位。

在以上讨论中，三个端子中有一个接地的三端口放大器件被当作一个端子作为参考的双端口器件，这种器件示于图 27(a)与 27(b)。实际上有时没有一个端子能直接接地电位，图 27(c)就是这种典型的例子，必须在 FET70 的共源放大电路中对源加一电阻器才可测定漏电流或栅电压。这种工作原理要求零偏置设计，工作中，电路特性受接源的电阻器的高频特性影响。由于该元件的差异，测量值出现变化，为此必须把作为有源被测电子元件的 FET70 当作三端口器件来处理。该共源电路将作进一步讨论。

若对源接电阻器，放大器件的增益就减小。实践中，不会发生放大器件的增益在高于几 GHz 的高频区变得过大的情况。为降低源阻抗，如图 27(d)所示，把并联的电阻器 71 和电容器 72 接源，电容器 72 通常将 FET70 的源交流耦合至地电位。这里的问题是源阻抗不可避免地会因夹具(电容器)而改变。若将源阻抗即电容器 72 的阻抗设置得足够小，就可把作为有源被测电子元件的 FET70 当作双端口器件来处理。若这样设置有困难而且无法控制源阻抗，可对构成夹具(标准测试夹或生产测试夹)的夹具电路加一耦合电容器 73，得到图 27(e)的三端口夹具电路。若交流接地的耦合电容器 73 的阻抗足够小，则夹具电路端口 3 上不出现信号。但在实践中，无法实现完美的零欧姆，总会出现某种信号。在双端口测量中，由于不知道源端子的状态，无法校正夹具间的差异。在三端口测量中，可掌握源端状态，能在三端口器件中实行校正接合器型相对校正。

若源端不交流接地，就把电阻器 71 和电容器 72 接在新添的电容器 73' 与 FET70 之间，如图 27(f)所示，但此时接地面的阻抗极低。由于端口 3 看到的所有信号是反射信号，故有时实现不了足够的有效性。

通过以下参照附图对本发明诸实施例的描述，本发明的其它特征和优点就清楚了。

附图说明

图 1 是执行本发明测量误差校正法的测量装置的平面图。

图 2 是构成执行本发明测量误差校正法的测量装置的测试夹结构的平面图。

图 3 是执行测量误差校正法的测量装置结构的框图。

图 4 是构成执行本发明测量误差校正法的测量装置的校正数据采集样件和被测电子元件的背视图。

图 5 是说明本发明测量误差校正法的第一校正图。

图 6 是说明本发明测量误差校正法的第二校正图。

图 7 是说明本发明测量误差校正法的第三校正图。

图 8 是说明本发明测量误差校正法的第四校正图。

图 9 是说明本发明测量误差校正法的第五校正图。

图 10 是说明本发明测量误差校正法的第六校正图。

图 11 是说明本发明测量误差校正法的第七校正图。

图 12 是说明本发明测量误差校正法的第八校正图。

图 13 是本发明测量误差校正法的第一校正结果曲线。

图 14 示出放大的图 13 第一曲线的主要部分。

图 15 是本发明测量误差校正法的第二校正结果曲线。

图 16 示出放大的图 15 第二曲线的主要部分。

图 17 是本发明测量误差校正法的第三校正结果曲线。

图 18 是本发明测量误差校正法的第四校正结果曲线。

图 19 示出适用于本发明测量误差校正法的校正数据采集样件的结构。

图 20 是本发明一修正实施例使用的一例夹具的电路图。

图 21 是本发明该修正实施使用的校正数据采集样件的电路图。

图 22 是修正例的测量误差校正法的第五校正结果曲线。

图 23 是本发明修正实施例的测量误差校正法的第六校正结果曲线。

图 24 是说明本发明修正实施例的共射放大电路的电路图。

图 25 是按交流工作原理重画图 24 电路的电路图，假定直流电源相当于接地连接。

图 26 是按图 25 电路图编制的信号流程图。

图 27 是对各种有源被测电子元件执行本发明测量误差校正法的电路图。

具体实施方式

下面讨论本发明一实施例。本例中，表面装贴型 SAW 滤波器当作被测电子元件，包含网络分析仪的测量装置测量其电气特性。本发明的实施方法采用了校正其测量值误差的测试仪和采纳该校正法的电气特性测量装置。本发明适用于校正从具有至少两个端口尤其是三个端口的器件得到的测量结果的校正法。本发明的以下讨论聚焦于三端口测量结果的校正法和采纳该法的电气特性测量装置，但本发明同样适用于四端口测量结果校正法和采纳该法的装置，同样还适用于一端口测量结果校正法与采纳该法的装置以及双端口测量结果校正法与采纳该法的装置。

图 1 是本发明一实施例的标准特性测量装置和生产特性测量装置的结构平面图，图 2 是测试夹结构平面图，图 3 是特性测量装置的网络分析仪结构框图，图 4 是作为被测样件的电子元件与校正数据采集样件的结构底视图。

生产测量装置 2 和标准测量装置 1 被认为具有同样的测量性能特性，并由基本上同样的仪器制造。然而，只要这两种仪器具有基本上同样的测量性能特性，装置 1 和 2 的结构可以不同。用同轴标准器件作校正，可将装置 1 和 2 设定成具有同样的测量性能特性。

在将电子元件 11A 或校正数据采集样件 11B 装在标准测试夹 5A 或生产测试夹 5B 上的情况下，装置 1 和 2 测量各自有多个端口的电子元件 11A 或校正数据采集样件 11B 的电气特性。

生产测量装置 2 具有这样一种功能，即把电子元件 11A 装在生产测试夹 5B 上时从中得到的测量值校正到假定在把电子元件 11A 装到特性不同于生产测试夹 5B 的标准测试夹 5A 上时测得的电气特性。

如图 1 所示，装置 1 和 2 包括网络分析仪 3A 与 3B、同轴电缆 4A~4C 和标准测试夹 5A 与 5B，网络分析仪 3A 和标准测试夹 5A 属于标准测量装置 1，网络分析仪 3B 和生产测试夹 5B 属于生产测量装置 2。

网络分析仪 3A 和 3B 测量用于高频区的电子元件的电气特性，有多个输入与输出端口（本例为端口 1~3 共三个端口）。同轴电缆 4A~4C 分别接端口 1~3，它们的自由端分别接有同轴连接器 6。网络分析仪 3A 和 3B 是获取电子元件 11A 与校正数据采集样件 11B 的标准测试夹测量值的装置和获取电子元件 11A 与校正数据采集样件 11B 的生产测试夹测量值的装置。

如图 2 所示,测试夹 5A 和 5B 包括绝缘板 7、接线部件 8 和同轴连接器 9A~9C。接线部件 8 形成于绝缘板 7 顶面 7a,包括信号传输线 8a~8c 和地线 8d~8i。信号传输线 8a~8c 分别从绝缘板 7 边沿伸向绝缘板 7 表面 7a 的中心,端接于绝缘板 7 中心部的端部,端部间有一间距。地线 8d~8i 排列在绝缘板 7 中心部,各自的位置在各信号传输线 8a~8c 的两侧。位于传输线 8a 两侧的地线 8d 和 8e、位于传输线 8b 两侧的地线 8f 和 8g 以及位于信号线 8c 两侧的地线 8h 和 8i,都相互隔开(像信号传输线 8a~8c 那样)。

信号传输线 8a~8c 分别连接同轴连接器 9A~9C 的内导体(未示出)。地线 8d~8i 经各自的通镀孔导体 10 接绝缘板 7 背面的接地图案(未示出),再连接同轴连接器 9A~9C 的外导体(未示出)。

参照图 2,标准测量装置 1 的标准测试夹 5A 和生产测量装置 2 的生产测试夹 5B 的形状一样,但不要求它们形状相同,生产测试夹 5B 的形状可以与标准测试夹 5A 不同,可以具有适用于自动分类测量装置 2 的形状。

构成生产测量装置 2 的网络分析仪 3B 包括图 3 所示的网络分析仪主单元 20 和控制器 21,控制器 21 包括控制器主单元 22、存储器 23、误差因子确定装置 24 和校正值计算装置 25。

电子元件 11A 和校正数据采集样件 11B 都是电子元件,各有至少三个输入与输出端口(本例为三端口)。如图 4 所示,电子元件 11A 和校正数据采集样件 11B 各自在背面 11a 具有传输线端子 12a~12c 和接地端子 12d~12i。通过使各样件 11A 和 11B 的背面 11a 与各测试夹 5A 和 5B 的顶面 7a 接合,把传输线端子 12a~12c 和接地端子 12d~12i 分别压入信号传输线 8a~8c 和地线 8d~8i 而与之接触,这样就把电子元件 11A 和校正数据采集样件 11B 装在标准测试夹 5A 与 5B 上。

作为本例的校正数据采集样件 11B,制备一个在测量装置 1 和 2 执行测量操作时呈现与电子元件 11A 等效的电气特性的样件。制备三个测量装置测量出的电气特性(如反射系数)不同的校正数据采集样件 11B。校正数据采集样件 11B 在端口间的传输系数极小,较佳地,校正数据采集样件 11B 的端口间传输系数为-20dB 或更小。制备至少三个具有这类特征的此种校正数据采集样件 11B,与其连接端口无关。

下面讨论本例的测量装置 1 和 2 用于校正测量误差的校正法。在测量装置 1 和 2 的校正法(下称校正接合器型相对校正法)中,在各生产测试夹 5B 和标准

测试夹 5A 上测量三个校正数据采集样件 11B, 根据测量结果确定校正系数(相对校正适配器)。在设定校正系数期间, 要求的校正数据采集样件 11B 的数量为三个, 在原理上与端口数无关。虽然不必事先确知校正数据采集样件 11B 真实的物理值, 但是其传输系数必须足够小。

本发明校正法(校正接合器型相对校正法的目的在于, 根据生产测量装置 2 在目标装在生产测试夹 5B 上时测量的电气特性(下称生产测试夹测量值), 来估算标准测量装置 1 在被测目标(非同轴电子元件)装在标准测试夹 5A 上时测量的电气特性(下称标准测试夹测量值)。

标准测试夹 5A 是一种用其测量电子元件而得到一测量值的夹具, 然后该测量值用作该电子元件的标准测量值。如在电子元件制造商向用户担保电子元件时, 已用夹具测量了该电子元件的特性。该夹具对应于标准测试夹 5A。生产测试夹 5B 是一种实际用来测量该电子元件的夹具, 其例子就是在自动性能分类机的性能分类处理中测量电子元件电气特性的夹具。

鉴于它们的结构, 多个夹具在其测量值上相互难以以高精密度一致, 因而从生产测试夹 5B 得到的测量值与从标准测试夹 5A 得到的测量值不能不作校正而相互一致。生产测试夹 5B 与标准测试夹 5A 有这么一种关系。

标准测试夹 5A 和生产测试夹 5B 测出的测量值, 分别称为标准测试夹测量值和生产测试夹测量值。

网络分析仪被用作标准测量装置 1 和生产测量装置 2 的测试仪。若在接网络分析仪各端口的同轴电缆端部(下称同轴连接点)执行 SOLT 校正或 TRL 校正, 就可测定接该同轴连接点的任何电路真实的散射系数值。执行 SOLT 或 TRL 校正的同轴连接点称为校正平面。

在用测量装置 1 和 2 测量非同轴电子元件的电气特性时, 将标准测试夹 5A 或生产测试夹 5B 装在校正平面上, 在非同轴电子元件装在标准测试夹 5A 或生产测试夹 5B 上的情况下, 测量其电气特性。即便是标准测试夹测量值, 也不是样件的真实值。标准测试夹测量值包括样件的真实值和属于标准测试夹 5A 叠加在真实值上的测量误差。本发明的校正接合器型相对校正法根据不可能测定样件的真实值的假定而以高精密度评估标准测试夹测量值。

现参照双端口测量系统讨论本发明的校正接合器型相对校正法。这里讨论双端口测量系统便于理解本发明的校正接合器型相对校正法, 如下讨论, 该法适用于 n 端口的测量系统(n 为自然数)而不成问题。

用标准测试夹 5A 测量非同轴电子元件样件时, 难以测出样件真实的散射系数值, 但真实值肯定存在, 下面讨论时用 S_{21DUT} 、与 S_{11DUT} 等代表真实值。样件装在标准测试夹 5A 上测得的看得见的样件测量值, 包括各真实值 S_{21DUT} 与 S_{11DUT} 和标准测试夹 5A 叠加在真实值上的测量误差(下称标准测试夹误差), 这称为标准测试夹值。

图 5 示出测量系统状态。如图所示, 样件本身标为 DUT, 标准测试夹测量值用 S_{21D} 与 S_{11D} 表示, 标准测试夹误差表示为 E_{D1} (输入端)与 E_{D2} (输出端)。如图所示, 包绕各标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 的圆圈指可测量的测量值。因无法鉴别样件 S_{21DUT} 与 S_{11DUT} 的真实值, 故不能确定标准测试夹误差 E_{D1} 与 E_{D2} 。

如图 6 所示, 在模拟的测量状态中, 与图 5 一样的 DUT 装在生产测试夹 5B 上作测量。只要测量同样的 DUT, 真实值 S_{21DUT} 和 S_{11DUT} 就保持与采用标准测试夹 5A 测量的真实值不变, 但叠加在样件真实值 S_{21DUT} 与 S_{11DUT} 上的误差是由生产测试夹 5B 引起的。用生产测试夹 5B 测量的 DUT 特性的测量值称为生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} , 生产测试夹 5B 引起的误差称为生产测试夹误差 E_{T1} (输入端)与 E_{T2} (输出端)。因无法确定标准测试夹误差 E_{D1} 与 E_{D2} , 故不能确定生产测试夹误差 E_{T1} 与 E_{T2} 。

建造一种误差中和接合器 30, 其上装有带 DUT 的生产测试夹 5B。处于这种安装状态的误差中和接合器 30 接生产测量装置 2。假定该接合器 30 具有抵消生产测试夹误差 E_{T1} 与 E_{T2} 即消除误差的特征。

把误差中和接合器 30 具体假定为用双端口散射系数表示的虚拟接合器。把生产测试夹误差 E_{T1} 与 E_{T2} 的散射系数矩阵变换成传输矩阵, 并确定其逆矩阵, 再把该逆矩阵变换成散射系数矩阵。通过这种矩阵变换, 作出误差为 E_{T1}^{-1} 与 E_{T2}^{-1} 的误差中和接合器 30 的模型。尽管无法测量误差中和接合器 30 的误差 E_{T1}^{-1} 与 E_{T2}^{-1} , 但像上述那样可以模拟出来。

如图 1 所示, 其上装有带样件 DUT 的生产测试夹 5B 的误差中和接合 30 接生产测量装置 2, 建立这种状态的 DUT 特性测量模型。生产测试夹误差 E_{T1} 与 E_{T2} 被认为被误差中和接合器 30 的误差 E_{T1}^{-1} 与 E_{T2}^{-1} 抵消, 于是把 DUT 测量值视作样件的真实值 S_{21DUT} 与 S_{11DUT} 。

图 8 示出的模型假定还将该误差中和接合器 30 装在标准测试夹 5A 上, 而接合器 30 的生产测试夹 5B 上面装有 DUT。然后, 把这种状态的标准测试夹 5A 接生产测量装置 2 作测量。误差中和接合器 30 的输入和输出点的特性被认为

是样件的真实值 S_{21DUT} 与 S_{11DUT} ，标准测试夹 5A 的输入和输出点的特性被认为是标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。在连续安装了生产测试夹 5B、误差中和接合器 30 和标准测试夹 5A 的状态下测量 DUT 特性的模型，被认为等效于图 5 的模型，其中 DUT 特性是在标准测试夹 5A 装在生产测量装置 2 上的状态下测量的。

根据以上讨论，若将生产测试夹测量值 S_{21T} 和 S_{11T} 分别乘以误差中和接合器 30 的误差 E_{T1}^{-1} 与 E_{T2}^{-1} 和标准测试夹误差 E_{D1} 与 E_{D2} ，生产测量装置 2 就可估算出标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。

为了估算标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} ，必须确定样件真实值 S_{21DUT} 与 S_{11DUT} 、生产测试夹误差 E_{T1} 与 E_{T2} 、标准测试夹误差 E_{D1} 与 E_{D2} 以及误差中和接合器的误差 E_{T1}^{-1} 与 E_{T2}^{-1} 。这些参数无法确定，故本发明模拟一种新的状态。

在图 8 的测量模型中，假定把标准测试夹 5A 和误差中和接合器 30 合成为图 9 的单个接合器。经合成得到的新模拟的接合器称为相对校正结合器 31。相对校正结合器 31 引起的误差 C1 与 C2 计算如下。把标准测试夹误差 E_{D1} 与 E_{D2} 和误差中和接合器 30 误差 E_{T1}^{-1} 与 E_{T2}^{-1} 的散射系数矩阵变换成传输矩阵，确定该传输矩阵的乘积，然后把乘积变换成散射系数矩阵，由此算出相对校正结合器 31 的误差 C1 与 C2。

DUT 装在相对校正结合器 31 上，再把相对校正结合器 31 装在图 9 模型中的生产测试夹 5B 上。在图 9 的模型中，假定测量状态为生产测量装置 2 测量 DUT，按假定的测量状态测出的测量值就是标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。若采取了相对校正结合器 31，就用生产测试夹 5B 计算标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} ，而不用标准测试夹 5A。

生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 和标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 都是能通过测量得到的已知值。造成相对校正结合器 31 的误差 C1 与 C2 的误差因子数(未知数)是有限的。若用有限数量的 DUT 测定 DUT(校正数据采集样件)的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 和标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} ，就可通过计算相对校正结合器 31 中得到的误差因子而确定误差 C1 和 C2。相对校正结合器 31 的误差因子可用各种方法计算，现在讨论一个计算相对校正结合器 31 的误差因子的例子。

为了执行本发明的校正接合器型相对校正法，要求 DUT 的传输系数几可忽略(端口间的传输系数较佳为 -20dB)。

下面分析 DUT 的传输系数必须是多小。测定测试夹各端口的校正接合器时，

希望 DUT 在该端口的反射系数测量值不受另一端口的影响。现用 -AdB 代表 DUT 的传输系数，输入 DUT 一个端口的测量信号在到达另一端口时被衰减 -AdB。到达另一端口的信号的一部分从该端口反射，于是到达一个端口时被衰减了 -AdB。到达一个端口的信号在该一个端口叠加在 DUT 的反射系数上。在另一端口出现的频率为数 GHz 的反射一般高达 -20dB。DUT 的传输系数为 -20dB 时，误差信号相对 DUT 输入信号为 -60dB，所以是 DUT 输入信号的 0.1%，这种影响在大多数情况下可以忽略。这里引用的值视所需的校正精度而变化。

反过来讨论校正接合器型相对校正法，图 10 和 11 示出相对校正的状况。图 10 示出整个双端口 DUT 测量系统，图 11 示出放大的双端口 DUT 的一端口。下面讨论中，讨论多个端口中的端口 1。

从该端口(图 10 与 11 中的端口 1)观察，DUT 被视作单端口器件，因而对各端口测定误差因子 C_{100} 、 C_{110} 、 C_{111} 与 C_{101} 时，与其余端口均无关。根据互易性原理，相对校正结合器 31 的正向传输系数 C_{110} 与逆向传输系数 C_{101} 相互相等，相对校正结合器 31 的四个误差因子被减为三个独立的变量 C_{100} 、($C_{110}=C_{101}$) 和 C_{111} 。若得到三个 DUT 中每一个的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 和标准测量夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} ，就可确定相对校正结合器 31 的误差因子 C_{100} 、($C_{110}=C_{101}$) 和 C_{111} (如传输系数)。

公式(1)计算相对校正结合器 31 的误差因子，使用了对三个 DUT (校正数据采集样件 11B) 测量的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 和标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。公式(1)中，生产测试夹测量值和标准测试夹测量值诸下标的最后一个下标 1、2、3 表示这三个 DUT (校正数据采集样件 11B) 的样件号。

$$\begin{aligned}
 C_{100} = & \frac{(S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} \cdot S_{11T} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} \cdot S_{11T3} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11T3} \\
 & + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11T3} + S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11T2} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11T2})}{(S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} \\
 & + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1})} \\
 C_{101} = C_{110} = & \pm \sqrt{\frac{(S_{11D2} \cdot S_{11D1}) \cdot (S_{11D3} \cdot S_{11D1}) \cdot (S_{11D3} \cdot S_{11D2}) \cdot (S_{11T2} \cdot S_{11T1}) \cdot (S_{11T3} \cdot S_{11T1}) \cdot (S_{11T3} \cdot S_{11T2})}{(S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} \\
 & + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1})}} \\
 C_{111} = & \frac{((S_{11D2} \cdot S_{11D1}) \cdot S_{11T3} + (S_{11D1} \cdot S_{11D3}) \cdot S_{11T2} + (S_{11D3} \cdot S_{11D2}) \cdot S_{11T1})}{(S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T3} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T2} + S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T2} \\
 & + S_{11D1} \cdot S_{11D3} \cdot S_{11T1} \cdot S_{11D1} \cdot S_{11D2} \cdot S_{11T1})} \cdot \dots \cdot (1)
 \end{aligned}$$

C_{101} ($=C_{110}$) 里的符号 ($\pm S_{qrt} \dots (S_{qrt}$ 为平方根)) 不能直接确定。若夹具的电

气长度在物理上比半波长更长(或更短), 相位就沿圆周行程转 2π 。即便只观察反射波, 也不能根据原始电气长度作鉴别。符号在传输系数中很重要, 必须确定正确的符号。

在适用本发明的低达数 GHz 的频率中, 输入信号的波长一般比标准测试夹 5A 的电气长度更长。若夹具 5A 和 5B 的电气长度比该波长更长, 就接正符号, 反之接负符号, 这样做没问题。本发明的校正接合器型相对校正法便如此执行。

可同样地确定相对校正结合器 31 的端口 2 的误差因子, 并将这样确定的端口 1 和 2 的误差因子代入公式(2), 从而根据生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 估算标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。

$$\begin{aligned} \text{Denom0} &= 1 - C_{11} * S_{11T} - C_{21} * S_{22T} + C_{11} * C_{21} * S_{21T} * S_{12T} + C_{11} * C_{21} * S_{11T} * S_{22T} \\ S_{11D} &= C_{10} + (C_{10} * C_{10} * S_{11T} - C_{10} * C_{10} * C_{21} * S_{11T} * S_{22T} + C_{10} * C_{21} * C_{10} * S_{21T} * S_{12T}) / \text{Denom0} \\ S_{21D} &= C_{10} * C_{20} * S_{21T} / \text{Denom0} \\ \\ \text{Denom1} &= 1 - C_{21} * S_{22T} - C_{11} * S_{11T} - C_{21} * C_{11} * S_{12T} * S_{21T} + C_{21} * C_{11} * S_{22T} * S_{11T} \\ S_{22D} &= C_{20} + (C_{20} * C_{20} * S_{22T} - C_{20} * C_{20} * C_{11} * S_{22T} * S_{11T} + C_{20} * C_{11} * C_{20} * S_{12T} * S_{21T}) / \text{Denom1} \\ S_{12D} &= C_{20} * C_{10} * S_{12T} / \text{Denom1} \end{aligned} \quad \dots (2)$$

现在讨论在三端口或多端口测量系统中, 根据生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 估算标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 的校正法。校正接合器型相对校正法用来求解线性联立方程, 方程所含的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 为已知常数, 标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 为未知变量, 该线性联立方程的项数是端口的三倍。因此, 校正接合器型相对校正法通过求解该线性联立方程来执行。

线性联立方程容易用计算机算法自动表示。通过用一般方法如 LU 分解法(线性联立方程的一种求解算法, 所谓的直接法)求解该线性联立方程, 得出对应于任意端口数测量系统的校正接合器型相对校正法。

不管测量系统的端口数如何, 该法都适用, 但计算时间很长。若注重校正处理速度, 则可事先用代数法求解线性联立方程, 再用该公式作校正计算, 但本发明的校正接合器型相对校正法对多端口测量系统的适用性将会丢失。

求解生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 为已知常数、标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 为未知变量的线性联立方程, 等效于 SOLT 校正中的计算。在本发明的校正接合器型相对校正法中, 在多端口测量系统内执行 SOLT 校正。现在讨论三端口或多端口测量系统中的校正接合器型相对校正法。

在本发明的校正接合器型相对校正法中, 标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 的测

定如下。当作为一种双端口网络的相对校正结合器 31 接至用生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 表示的测量模型各端口时，把标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 测定为散射系数。这样，本发明的校正接合器型相对校正法就被定义为一种在将相对校正结合器 31 接至由生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 表示的测量模型时用于测定散射系数的方法。

从生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 计算标准测试夹测量值 E_{21D} 与 E_{11D} 的方法，以具有相对校正结合器 31 的假设为基础。为便于说明，讨论一双端口测量模型，但该方法可机械地扩展到多端口测量模型。

图 12 是正向信号流图，其状况是在由标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 表示的测量模型的每个端口都安排了相对校正结合器 31。图 12 的测量模型是由图 9 的模型更详细地限定的一种型式。

如图 12 所示， E_{T1} 与 E_{T2} 是指示生产测试夹 5B 各端口的误差因子的双端口网络。变成双端口网络 E_{T1} 与 E_{T2} 的误差因子的散射系数并不通过测量确定。在端口 1 侧， C_{11}^1 、 C_{12}^1 、 C_{21}^1 与 C_{22}^1 是变成相对校正结合器 31 的误差因子的系数，它们通过计算确定。 N_1^1 、 N_2^1 、 N_3^1 与 N_4^1 是相对校正结合器 31 在端口 1 侧的节点值。 C_{11}^2 、 C_{12}^2 、 C_{21}^2 与 C_{22}^2 是变成相对校正结合器 31 在端口 2 侧的误差因子的系数，它们通过计算确定。 N_1^2 、 N_2^2 、 N_3^2 与 N_4^2 是相对校正结合器 31 在端口 2 侧的节点值。 S_{11DUT} 与 S_{21DUT} 是 DUT 的散射系数，并不通过测量得到。 S_{11T} 与 S_{21T} 是生产测试夹测量值，用测量装置测得。 S_{11D} 与 S_{21D} 是标准测试夹测量值，通过校正接合器型相对校正法估算。

在图 12 的信号流图中，各节点值都是相邻节点输入的信号之和，该输入被认为是一相邻节点的节点值与信号传输线某系数的乘积。

如图所示，节点 N_3^1 接收来自节点 N_1^1 与 N_4^1 的信号，这些信号在到达节点 N_3^1 之前，分别乘以 C_{11}^1 与 C_{12}^1 。公式(3)在节点 N_{31} 成立。

$$N_3^1 = C_{11}^1 N_1^1 + C_{12}^1 N_4^1 \quad \dots(3)$$

各节点都保持类似的关系，若用公式表示出这种关系，可得到下面的方程组(4)。可对各端口机械地确定方程组(4)。很容易运用基于计算机的处理来编制类似的 n 端口方程。方程组(4)的左列对应于端口 1 的左列，方程组(4)的右列对应于端口 2 的右列。除了端口数，这两列相互相同，即使端口数增多，也可用计算机法自动地编制方程。

$$\begin{aligned}
N_2^1 &= C_{21}^1 N_1^1 + C_{22}^1 N_4^1 & N_2^2 &= C_{21}^2 N_1^2 + C_{22}^2 N_4^2 \\
N_3^1 &= C_{11}^1 N_1^1 + C_{12}^1 N_4^1 & N_3^2 &= C_{11}^2 N_1^2 + C_{12}^2 N_4^2 \\
N_4^1 &= S_{11T} N_2^1 + S_{12T} N_2^2 & N_4^2 &= S_{22T} N_2^2 + S_{21T} N_2^1
\end{aligned} \quad \dots (4)$$

下面讨论作为常数的已知量。正向测量中，端口 1 的信号源输出被视作 1，端口 2 的信号输入为 0，由此得到公式(5)表示的条件。

$$\begin{pmatrix} N_1^1 \\ N_1^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots (5)$$

公式(6)在未知数(标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D})与各节点间成立。

$$\begin{pmatrix} S_{11D} \\ S_{21D} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_3^1 \\ N_3^2 \end{pmatrix} \quad \dots (6)$$

公式(4)~(6)是线性联立方程，未知量数量等于方程数量，求解该线性联立方程，可确定未知量标准测试夹测量值 S_{11D} 与 S_{21D} 。可以应用用计算机求解线性联立方程的任一方法。因方程项数不很大，故 LU 分解等直接法很容易求解这些方程。

已讨论了正向测量中计算标准测试夹测量值 S_{11D} 与 S_{21D} 的方法。为在逆向测量中测定标准测试夹测量值 S_{11D} 与 S_{21D} ，照样应用方程组(4)，但用公式(7)和(8)代替公式(5)与(6)，计算常数条件和未知量。

$$\begin{pmatrix} N_1^1 \\ N_1^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \dots (7)$$

$$\begin{pmatrix} S_{22D} \\ S_{12D} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_3^2 \\ N_3^1 \end{pmatrix} \quad \dots (8)$$

已讨论了双端口测量系统。在 n 端口系统中，自动编制线性联立方程，再用计算机算法方便地求解，从而在多端口测量系统中执行校正接合器型相对校正法。

在上述方法中，当相对校正结合器 31 装在由生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 表示的测量模型上时，把标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 测定为散射系数。在数学上，把生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 视作已知常数，把标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 视作未知变量，来求解方程组(4)。

反之，把标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 视作已知常数，把生产测试夹测量值

S_{21T} 与 S_{11T} 视作未知变量, 求解方程组(4)。此时, 把生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 当作 DUT 的真实值, 标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 当作测量装置观察的值, 根据该观察值测定真实值。这一过程完全等同于 SOLT 校正过程, 相对校正结合器 31 对应于 SOLT 校正的误差模型。

按以上方法, SOLT 校正通过求解联立方程执行。联立方程的编法是对公式(4)应用下面的公式(9)和(10)。SOLT 校正把 S_{11T} 、 S_{21T} 、 S_{12T} 与 S_{22T} 确定为未知量。

S_{12T} 和 S_{22T} 是逆向的传输系数与反射系数的生产测试夹测量值, 尽管未示出, 它们对应于正向测量的 S_{21T} 与 S_{22T} 。

$$\begin{pmatrix} N_1^1 \\ N_3^1 \\ N_1^2 \\ N_3^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ S_{11D} \\ 0 \\ S_{21D} \end{pmatrix} \cdot \cdot \cdot (9)$$

$$\begin{pmatrix} N_1^2 \\ N_3^2 \\ N_1^1 \\ N_3^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ S_{22D} \\ 0 \\ S_{12D} \end{pmatrix} \cdot \cdot \cdot (10)$$

如上讨论, 在任意端口数的测量系统中, 这些线性联立方程很容易用计算机算法编制和求解, 从而在 n 端口测量系统中作 SOLT 校正。

SOLT 校正中的误差因子(如散射系数)确定如下。制备三个特性不同的 DUT, 各 DUT 每个端口的测量值是已知的。为校正一个端口, 确定定向性、源匹配和反射跟踪的三个误差因子(误差系数)。在校正了这个端口后, 确定另一端口的负载匹配和传输跟踪的两个误差因子(误差系数)。这样, 在 SOLT 校正中确定了这些误差因子(散射系数)。

当测量系统具有五个或更多端口时, 校正接合器型相对校正法变得有效起来, 特别在以等效不平衡端口数衡量时, 在平衡测量中当端口数明显增多时, 该方法是有用的。

现参照实际测量结果讨论本发明的校正接合器型相对校正法。主要测量条件如下:

被测电子元件 11A(DUT): 不平衡输入-平衡输出 SAW 滤波器 ($f_n=1842.5\text{MHz}$)。对 SAW 滤波器准备三只正常电子元件和两只故障电子元件作

为被测电子元件 11A。

校正数据获取件 11B：把片状元件直接焊到 SMA 连接器的基本上断路端、基本上短路端与端接端之一，从而制备了三个校正数据采集样件 11B。

标准测试夹 5A：KMM 制造的夹具，其上装有被测电子元件 11A(OUT)。

生产测试夹 5B：作为生产测试夹 5B 而制备的是上述具有将其作为误差因子的校正平面的夹具，50cm 长的同轴电缆接端口 1，30mm 长的接合器接端口 2，-3dB 的衰减器接端口 3。

标准测量装置 1 和生产测量装置 2 等装置：ADVANTEST 制造的 R3860 型 4 端口网络分析仪，频率范围达 8GHz。装置之一接标准测试夹 5A，作为标准测量装置 1，另一装置接生产测试夹 5B，作为生产测量装置 2。

频率范围：1650MHz—2050MHz

数据块数：401

中频带宽：1000Hz(不作求均处理)

测量方法：

1. 把三个校正数据采集样件 11B 分别装在标准测试夹 5A 上，后者接测量装置作测量。这里的测量装置被视作标准测量装置 1，测量值就是校正数据采集样件 11B 的标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。

2. 同样地，把三个校正数据采集样件 11B 分别装在生产测试夹 5B 上，后者接上述的测量装置。该测量装置被视作生产测量装置 2，测量值就是校正数据采集样件 11B 的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 。

3. 把校正数据采集样件 11B 的测量结果即标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 和生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 代替前述公式(1)，计算相对校正结合器 31 的误差因子。

4. 把电子元件 11A 分别装在标准测试夹 5A 上，后者再接上述测量装置作测量。该测量装置被视作标准测量装置 1，测量值就是电子元件 11A 的标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。

5. 同样地，把电子元件 11A 分别装在生产测试夹 5B 上，后者再接上述测量装置。该测量装置被视为生产测量装置，测量值就是被测电子元件 11A 的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 。

6. 把被测电子元件 11A 的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 代入前述公式(2)，估算电子元件 11A 的标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。

图 13 和 14 示出被测电子元件 11A(无缺陷)的传输系数(S_{ds21})校正结果。图 13 示出从 1650MHz 到 2050MHz 整个频率范围的响应特性,图 14 示出放大的图 13 所示响应特性的主要部分。如图所示,清晰的线条代表标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} ,测试线代表生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} ,校正线代表相对校正结果。若测试线被校正为与清晰线一致的校正线,认为校正接合器型相对校正法有效。

从图 13 和 14 明显看出,由于夹具间的误差变化的影响,生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 明显不同于标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。应用本发明的校正接合器型相对校正法对测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 的校正结果,精密地匹配标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} ,表明本发明的校正接合器型相对校正法执行了精密校正。

图 15 和 16 示出(故障)电子元件 11A 的传输系数(S_{ds21})的校正结果。图 15 示出从 1650MHz 到 2050MHz 整个频率范围内的响应特性,图 16 示出放大的图 15 所示响应特性的主要部分。只要样件的特性保持线性,就可执行本发明的校正接合器型相对校正法,无须关注样件的特性。对被测电子元件 11A(故障的)作精密校正。

图 17 示出被测电子元件 11A(无缺陷)的不平衡传输系数(S_{ss31})在通带附近的校正结果,用极坐标表示。在平衡端口两端输入两不平衡端口的差分信号,不期望只是根据信号幅值的正确校正对平衡端口作一般校正。除了幅值校正外,还须正确地校正相位。

由于衰减器接端口 3,因而与标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} (衰减 3dB)相比,测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 的幅值衰减很大。测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 因其电气长度的关系而转动相位。在校正结果中,一般重新建立幅度与相位。

图 18 示出(正常)电子元件 11A 的反射系数(S_{ss33})在通带附近的校正的结果。若执行本发明的校正接合器型相对校正法,反射系数可得到良好的校正结果。

现在讨论用于本发明的校正接合器型相对校正法的校正数据采集样件 11B。

为执行本发明的校正接合器型相对校正法,要求校正数据采集样件 11B 的端口间传输系数尽可能接近零(较佳地等于或低于-20dB)。为构成这种校正数据采集样件 11B,其端口间绝缘性必须尽可能高。为此,端口间可设屏蔽,但屏蔽造成校正数据采集样件 11B 的结构复杂,成本增高。

当校正数据采集样件 11B 由严密的容性或感性耦合作用的元件构成时, 由该样件 11B 的形状确定造成端口间漏泄的传输模式, 例如若校正数据采集样件 11B 由严密电磁耦合作用的元件构成, 就得到下面的特性。若两端口都置于短路状态, 二者的绝缘性明显降低; 若一个端口置于短路状态而另一端口处于断路状态, 因处于断路状态的端口并不磁性耦合, 故两端口间的绝缘特性保持为高。如图 19(a)与 19(b)所示, 三个校正数据采集样件 11B 中的一个设定为一个断路端与一个短路端口, 另一个设定为一个短路端口与一个断路端口。像一般执行的断路端口与断路端口+短路端口与短路端口的组合一样, 可以应用断路端口与短路端口+短路端口与断路端口的组合。如此执行本发明的校正接合器型相对校正法, 不影响校正步骤。

$50\ \Omega$ 端接可被用作校正数据采集样件 11B。此时, 若安排端接口与端接口的设置, 会降低绝缘性。若安排端接口与断路端口的设置, 则两端口间的绝缘特性保持为高。如图 19(c)与 19(d)所示, 校正数据采集样件 11B 中的一个设定为断路端口与端接口, 另一个为端接口与断路端口。像通常执行的断路端口与断路端口+端接口与端接口组合的情况一样, 可以应用断路端口与端接口+端接口与断路端口的组合。如此执行本发明的校正接合器型相对校正法, 不影响校正步骤, 但此时所需的校正数据采集样件 11B 要增加一个, 总共为四个。由于已在另一个校正数据采集样件 11B 中完成了断路端口的测量, 故这里丢弃了该断路端口的数据。在使用反射端(如 $100\ \Omega$ 或 $10\ \Omega$)而不用端接时, 也是如此。

当校正数据采集样件 11B 用多层结构电子元件(LTCC 器件)构成时, 即便容易制作断路或短路端口, 也难以制作端接($50\ \Omega$)。

此时, 可用延迟线代替电阻元件作端接。延迟线端部可以是断路端或短路端。根据插入的延迟线, 较佳地把校正数据采集样件 11B 设计成使反射波按正常相位步幅相互偏移。在这种安置中, 校正数据采集样件 11B 在特性上相互偏离, 测量很少受误差的影响。具体地说, 在要求断路和短路两种端口时, 延迟线较佳地安排成 90° 与 270° 相位。这就是对断路端口提供 0° 相位而对短路端口用 180° 相位。要求三条延迟线时, 对断路端口用 0° 相位延迟线、 120° 相位延迟线和 240° 相位延迟线较合适。

延迟线只用导体图案制作。很容易把带延迟线的校正数据采集样件 11B 制造成 LTCC 器件(低温共烧结陶瓷器件)。要求电阻元件诸如 LTCC 器件端接($50\ \Omega$)的校正数据采集样件 11B 很难制造, 即使制出, 这种校正数据采集样件 11B

很昂贵。

若对至少有两个端口的校正数据采集样件 11B 的各端口安置延迟线，绝缘性会降低。通过安置一种一端口设置延迟线而另一端口为断路或短路的结构，可防止绝缘性降低。

若如此构成校正数据采集样件 11B，端口间传输系数就变得极小，能得到端口间高度隔离的校正数据采集样件 11B，从而提高本发明校正接合器型相对校正法的校正精度。

虽然断路端口有电压变化，但是根本没有电流流通，因此电场波从断路端口传到短路端口。短路端口则有电流流通(接收到磁场波)，但电压不变(未接收到电场波)。端口之间毕竟无耦合，造成高度隔离。结构反过来也如此。

端接一般为 $50\ \Omega$ ，电场波和磁场波都到达另一端。若电场波的作用因校正数据采集样件 11B 的结构而很大，则另一端可短路；若磁场波的作用大，另一端可断路。端口间的传输系数，以这种配置最小。电阻值非 $50\ \Omega$ 的端接也如此。

制造其端口端接的与断路的校正数据采集样件 11B 和另一个其端口短路的与断路的校正数据采集样件 11B，从而安置这两个各自在端口 2 具有断路端的校正数据采集样件 11B。在该配置中，不能执行一般的相对校正。在此情况下，可以制作另一个校正数据采集样件 11B，其一个端口断路，另一端口端接。校正数据采集样件 11B 在端口 2 的测量数据防止了数据重复。三端口或多端口测量系统也是如此。

现在讨论一修正实施例。当在使用作为有源被测电子元件的双极型晶体管的共射放大器电路中测量增益时，该修正例涉及一种精密校正测量结果的方法。

图 20 是表示生产测试夹 5B' 与标准测试夹 5A' 结构的电路。如图所示，所含的双极型晶体管 50 作为有源被测电子元件。生产测试夹 5B' 和标准测试夹 5A' 都包括加直流电压而驱动双极型晶体管 50 的电路 51、与双极型晶体管 50 阻抗匹配的电路 52，以及外接电路阻断直流电压而只让交流电流通过的耦合电路 53。该修正例中，直流电源由驱动双极型晶体管 50 的电路 51 构成。

由分别安置在未图示的接夹具 5A 与 5B 的测量装置(如网络分析仪)1 和 2 上的连接同轴电缆 4A 和 4B 执行测量。图 21 是校正数据采集样件 11B' 结构的电路图，图 21(a)示出短路的样件 11B'，图 21(b)示出端接的样件 11B'，图 21(c)示出断路的样件 11B'。与有源被测电子元件一样，把校正数据采集样件

11B' 制成可装在生产测试夹 5B' 或标准测试夹 5A' 上。

下面讨论如此构成的修正例的误差校正法。三个校正数据采集样件 11B 分别装在各标准测试夹 5A' 和生产测试夹 5B' 上, 测量该样件 11B' 的标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 和生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 。测量期间, 直流电源电路 51 对各校正数据采集样件 11B 提供同电平的直流电压, 在该状态下测量标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 和生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} , 作为各校正数据采集样件 11B' 的电气特性。可用直流供流电路代替直流供压电路 51, 在测量时由直流供流电路对各校正数据采集样件 11B' 提供同样电平的直流电流。该直流电流源构成直流电流电源。直流电流电源如直流供流电路 51, 可以包含在夹具电路里, 或安置成夹具外接(如安置在各测量装置 1 和 2 中)。

根据标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 和生产夹测试值 S_{21T} 与 S_{11T} , 可识别相对校正结合器 31。相对校正结合器 31 是一种根据生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 估算标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 的接合器。前一实施例的校正法识别该相对校正结合器 31。测量有源被测电子元件 11A' 的电气特性, 有源被测电子元件 11A 装在生产测试夹 5B' 上, 直流供压电路 51 对各有源被测电子元件 11A' 提供同样电平的直流电压。

根据得到的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 和相对校正结合器 31, 计算有源被测电子元件 11A 的标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 。具体测试条件如下:

有源被测电子元件: 低频小信号处理通用 NPN 晶体管(产品 ID 号 2SC1815, Toshiba 生产)

测量频率: 1MHz—3MHz

测试仪: 8753ES(Agilent Technologies 生产)

信号源输出: -15dBm

夹具: 标准测试夹 5A' 和生产测试夹 5B' 的电路配置示于图 20。对标准测试夹 5A' 调节得增益尽可能大(调节匹配电路 62 中的扼流圈和电容器)。使电路适当偏离以上状态(拓宽扼流圈的宽度, 使 L 值略减小, 而电容器的电容值略偏离以上状态), 把生产测试夹 5B' 调节得增益略低。

校正数据采集样件: 使用三个三端子 11B', 如图 21 所示,

校正方法: 如图 20 所示, 发射极在有源被测电子元件 11A' 中直接接地。对双端口被测电子元件使用出自本发明校正方法的相对校正法。

图 22 示出正向传输系数(所谓的增益)的标准测试夹测量值 S_{21D} (清晰线)、

生产测试夹测量值 S_{21T} (测试线) 和校正结果 (校正线)。生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 的增益比标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 约低 0.5dB, 相对校正对该差值作校正。

图 23 示出极坐标的正向传输系数。如图所示, 正确地进行了包括相位校正的校正。

根据该修正例, 在有源电子元件如双极型晶体管、FET 和含这类器件的放大器中, 使生产测试夹测量值 S_{21T} 与标准测试夹测量值 S_{21D} 高度精密地一致。无需对熟练人员也费时的生产测试夹 5B' 的调节步骤, 由生产测试夹测量值 S_{21T} 高度精密地估算出标准测试夹测量值 S_{21D} 。这不仅取消了夹具调整操作, 也消除了大量生产过程中接受-拒绝阈值与向用户担保值之间的界限。一般都要求这一界限, 因为即使夹具调整后, 也得不到与标准测试夹测量值 S_{21D} 完全一致的测量结果。

下面讨论该修正例可对有源被测电子元件的测量值作高精密度校正的理由。为便于说明, 讨论用双极型晶体管构成的共射放大电路。作为 FET, 双极型晶体管是一典型的作为半导体放大器元件的基本元件。显然, 任一种适合双极型晶体管的测量方法, 都可用于测量其它复杂的有源电子元件。

图 24 示了共射放大电路, 这是应用双极型晶体管的基本放大电路。作为有源被测电子元件 (样件) 的双极型晶体管 60 放大交流信号。装在一起的还有诸电子元件, 诸如驱动双极型晶体管 60 的电路 61、与双极型晶体管 60 阻抗匹配的电路 62, 以及阻断直流电压与接外电路而只让交流信号通过的耦合电路 63, 所有这些都造成上述标准测试夹 5A' 与生产测试夹 5B' 之间的测量值之差。

考虑到直流电源等效于地连接, 图 25 是按交流电流工作原理重画的图 24 电路的另一型式。在图 25 配置中, 注意偏置电阻器的交流阻抗。如图所示, 诸元件与传输线串接, 分流元件都合成为散射系数。令 E_1 代表元件组在端口 1 一侧的散射系数和传输线的误差, E_2 代表元件组在端口 2 一侧的散射系数和传输线的误差, S_A 代表双极型晶体管 60 的散射系数, 图 25 的电路配置变成图 26 的信号流图。图 26 的信号流图等同于测量简单双端口无源器件的图。只要观察下面六个点, 本发明的相对校正法就以与无源器件一样的方式应用于该放大元件。

1. 在标准测试夹 5A' 和生产测试夹 5B' 中设置几乎一样的直流偏置状态。

为避免改变有源被测电子元件 11A' 中放大器元件的真实值和形成标准标准测试夹 5A' 与生产测试夹 5B' 的夹具电路的特性, 要求这样的设置。希望输入与输出阻抗匹配中使用的电容器和电感器没有直流电压相依特性, 但有时电源出于旁路要求而使用高介电常数型陶瓷电容器时就存在这种特性。有些场合用二极管等半导体器件来稳定偏压。根据应用的直流偏压, 夹具有高频特性有变化。测量中像在实际有源被测电子元件 11A' 中一样对夹具提供同样的电源电压, 必须控制生产测试夹安装状态的测量与标准测试夹安装状态的测量之间的夹具特性差异。该要求容易用直流稳压电源满足。

2. 对生产测试夹和标准测试夹的直流电压输入端安排足够的旁路作用

对放大元件提供直流偏压的电路, 自然允许某种程度的交流信号漏泄。若交流电流漏泄大, 测量结果就可能因直流电源到夹具 5A' 与 5B' 的布线而变化。因此, 在夹具 5A' 和 5B' 的直流电压输入端安排一只电容量足够大的旁路电容器, 使交流信号不通过直流电路从夹具漏出。与本发明无关的这一要求造成测量值可重复性的问题, 例如, 若手碰到直流电流传导线, 测量值就会变化。该要求虽与本发明无关, 但必须注意。

3. 夹具 5A' 与 5B' 之间的特性差异必须尽可能小, 否则会导致窄的动态范围。

在理论上用相对校正法校正夹具交流特性差异的影响。有些带放大元件的测量电路, 在谐振频率附近的增益极高, 而在其余频区的增益却极低。若夹具 5A' 的谐振频率与夹具 5B' 的谐振频率分得很开, 就可从生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 的低增益估算出标准测试夹测量值 S_{21D} 与 S_{11D} 的高增益, 这造成动态范围不充分。可对夹具 5A' 和 5B' 的特性作粗调, 使其谐振频率相互初步匹配, 而把调节不足度留待校正接合器型型相对校正法解决。

4. 交流耦合校正数据采集样件的输入端口。

为使校正数据采集样件 11B' 的夹具特性与有源被测电子元件 11A' 的夹具特性相同, 测量期间要对校正数据采集样件 11B' 加电压。然而, 若把校正数据采集样件 11B' 构成直流短路样件, 再装在各夹具 5A' 和 5B' 上, 直流偏压状态会变化。因此, 校正数据采集样件 11B' 的端口必须阻断直流分量。

5. 当有源被测电子元件 11A' 为放大元件(电路)时, 它必须线性地工作。

当放大元件响应于过高电平信号变成饱和时, 电路就以非线性方式工作, 或因电路的电源电压而输出被限制。相对校正法是线性校正法, 不能校正在非

线性工作时得到的特性。若有源被测电子元件 11A' 是放大器，则放大元件必须保持在期望线性工作(A类工作)的状态，如响应于低电平信号的区域。

6. 端口数在复杂器件中变得极多。

即便是简单的功率放大器如有源被测电子元件 11A'，有时也由分开供电的多级构成。在这种器件中，严格地说，不观察其所有电源端子的响应特性，就不能执行完整的校正接合器相对校正法。测量端口数明显增多。在普通放大电路中，影响其输出的电源线路有限。可以忽略对输出有界限作用的端口，例如典型的放大器包括两极电压放大器，后接一二级功率放大器。在这种配置中，造成夹具 5A' 与 5B' 测量结果差异的电源线路一般是第一电压放大级。校正器件的测量结果时，只校正该电源线路，其余电源线路可不校。

若排列在有源被测电子元件 11A' 上的至少一个连接端子直接与夹具 5A' 和 5B' 的地电位相接或至少是交流耦合，就容易制作对上述地电位具有各种电气特性的样件，如校正数据采集样件 11B'。然而，若有源被测电子元件 11A' 的连接端子都不接地电位，而且任一电气元件都相对夹具 5A' 和 5B' 里的地电位安置，则在制造校正数据采集样件 11B' 时，要对有源被测电子元件 11A' 设置用作电气特性参考的地电位。此时，不能构制校正数据采集样件 11B'。

在此情况下，要采取下列步骤：制备的每个标准测试夹 5A' 和生产测试夹 5B'，除了其对应于校正数据采集样件 11B' 和有源被测电子元件 11A' 的连接端子外，还有至少一个连接其地电位的连接端子。

作为校正数据采集样件 11B'，制备至少一个有一个端子接各夹具 5A' 和 5B' 的地连接端子的样件。

采集带上述端子的校正数据采集样件 11B' 的生产测试夹测量值 S_{21T} 与 S_{11T} 时，用连接夹具 5A' 与 5B' 的地连接端子的校正数据采集样件 11B' 的上述端子测量校正数据采集样件 11B' 的电气特性。

即使在相对构成各标准测试夹 5A' 和生产测试夹 5B' 的夹具电路中的地电位安置任一电子元件时，也实施了校正数据采集样件 11B'，从而执行了本发明的校正接合器型相对校正法。地连接端子最好接夹具电路的地电位。

根据上述实施例，在将通过用生产测量装置 2 测量装在生产测试夹 5B 上的被测电子元件 11A 得到的测量结果校正到通过用标准测量装置 1 测量装在标准测试夹 5A 上的被测电子元件 11A 得到的测量结果时，实施了本发明。标准测量装置 1 被定义为一例在通过测量同一电子元件而得到的电气特性测量结果

方面不同于生产测量装置 2 的装置。在将通过用生产测量装置 2 测量装在生产测试夹 5B 上的被测电子元件 11A 而得到的测量结果校正到通过用生产测量装置 2 测量装在标准测试夹 5A 上的有源被测电子元件 11A 所得到的测量结果时，同样可实施本发明。

如上所述，根据本发明，使生产测量装置(应用生产测试夹)得到的生产测试夹测量值与标准测量装置(应用标准测试夹)得到的标准测试夹测量值相匹配。高度精密校正所需的这类校正数据采集样件数定为最少三个。

虽然已对特定的实施例描述了本发明，但是本领域的技术人员显然明白许多其它变化与修正以及其它用法，因此本发明不受本文特定的揭示内容的限制。

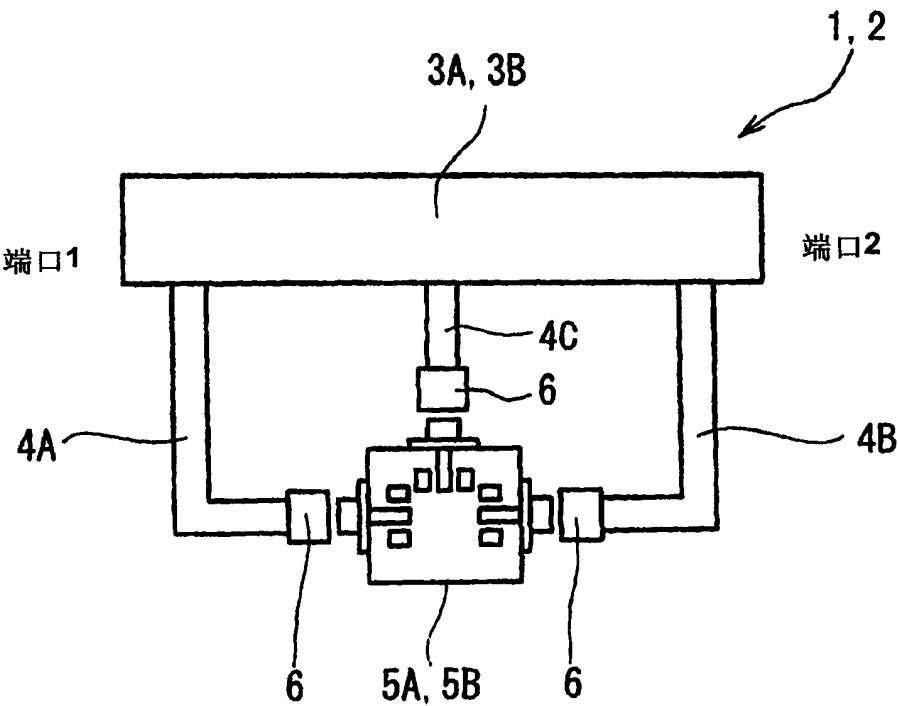


图 1

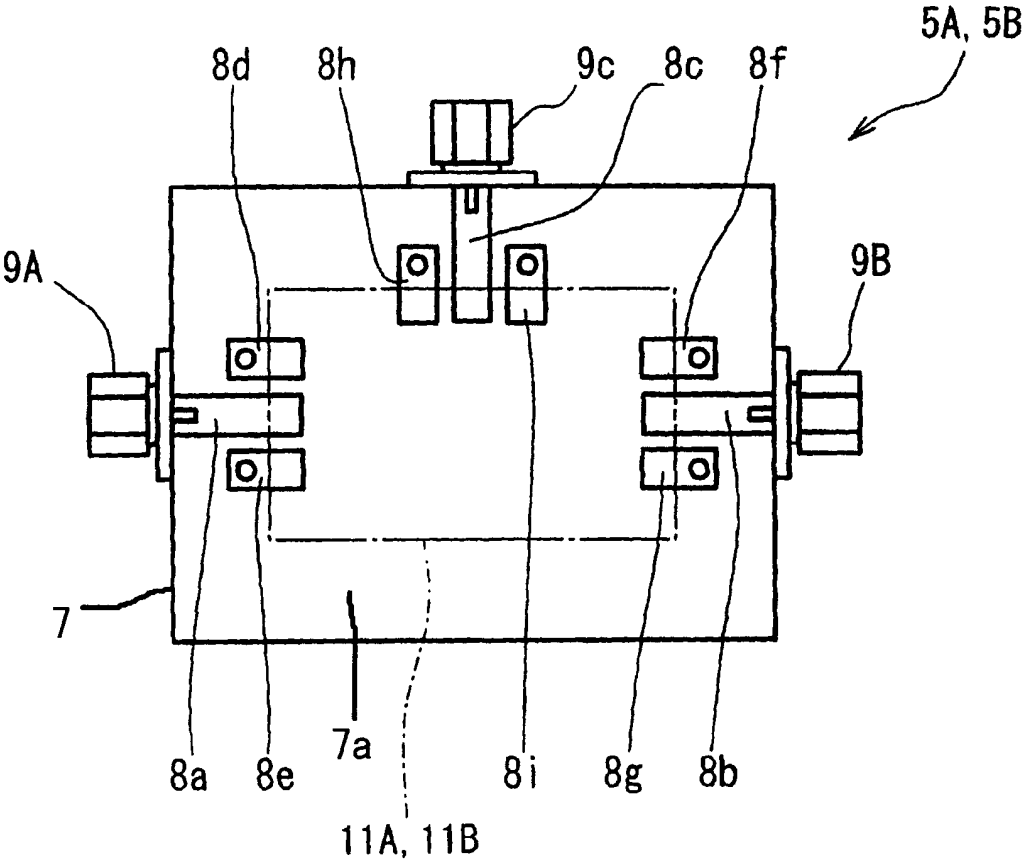


图 2

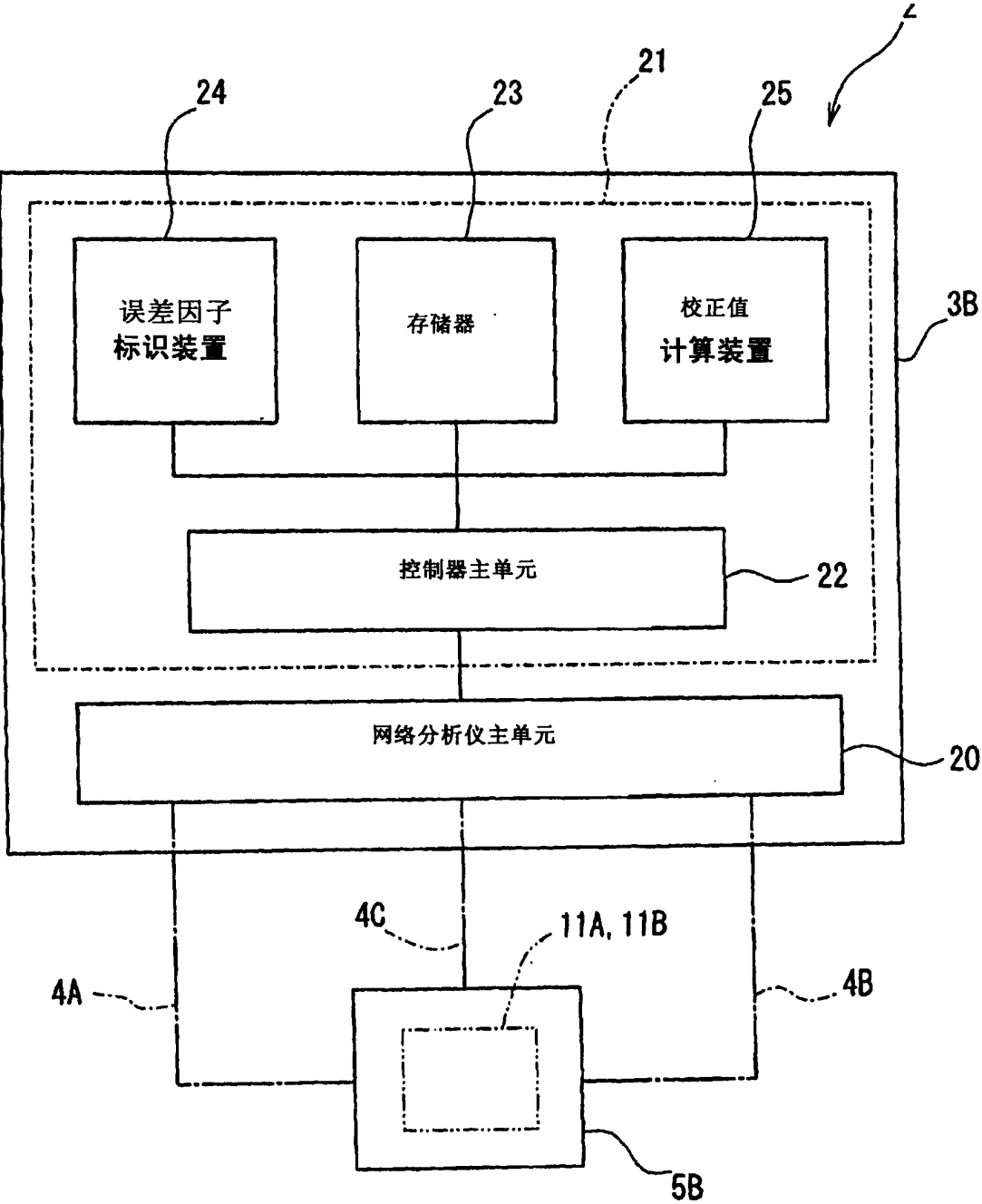


图 3

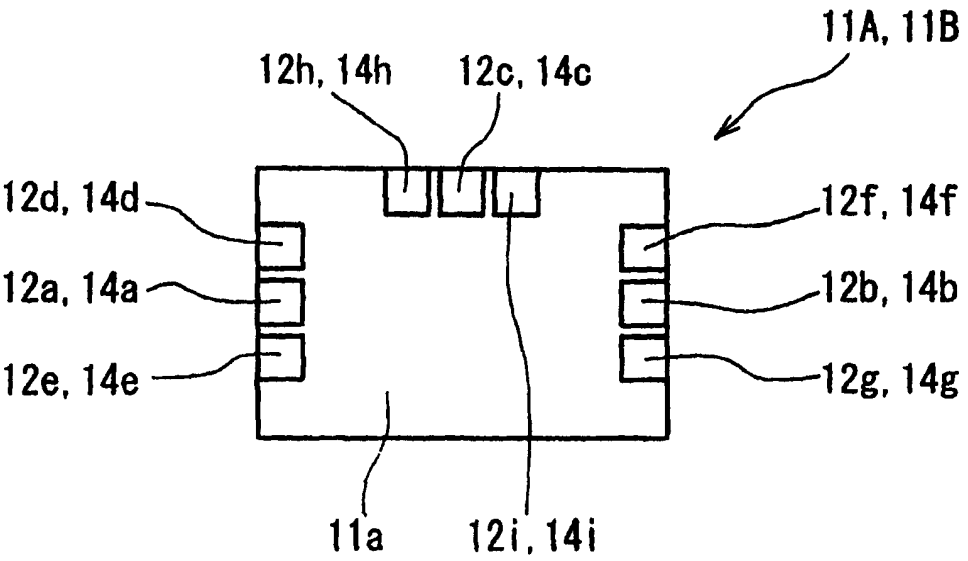


图 4

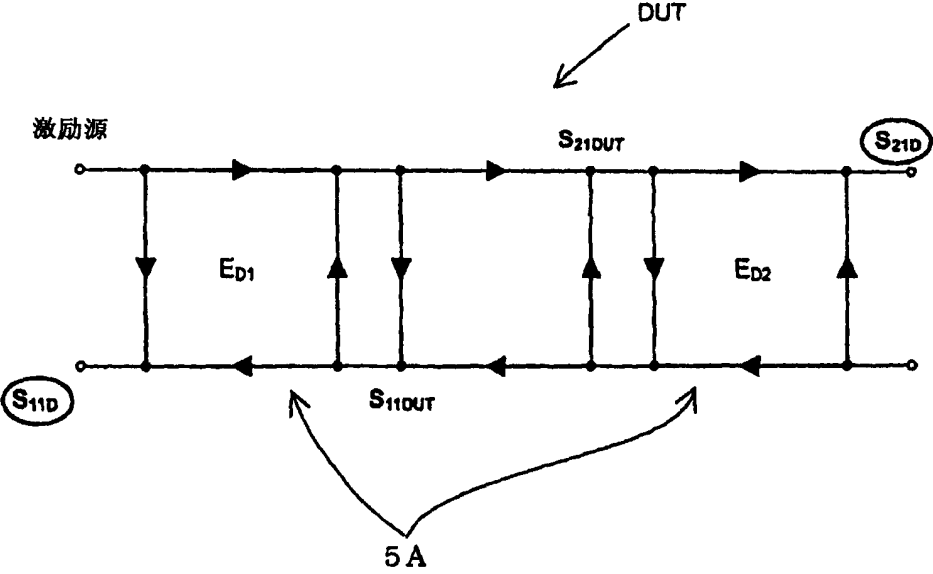


图 5

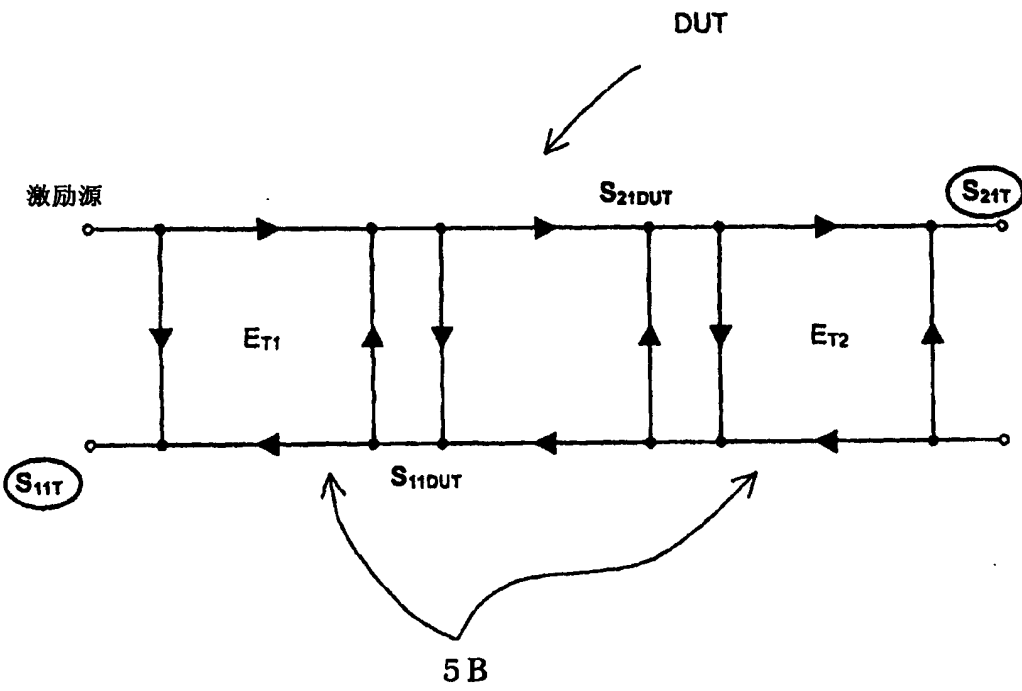


图 6

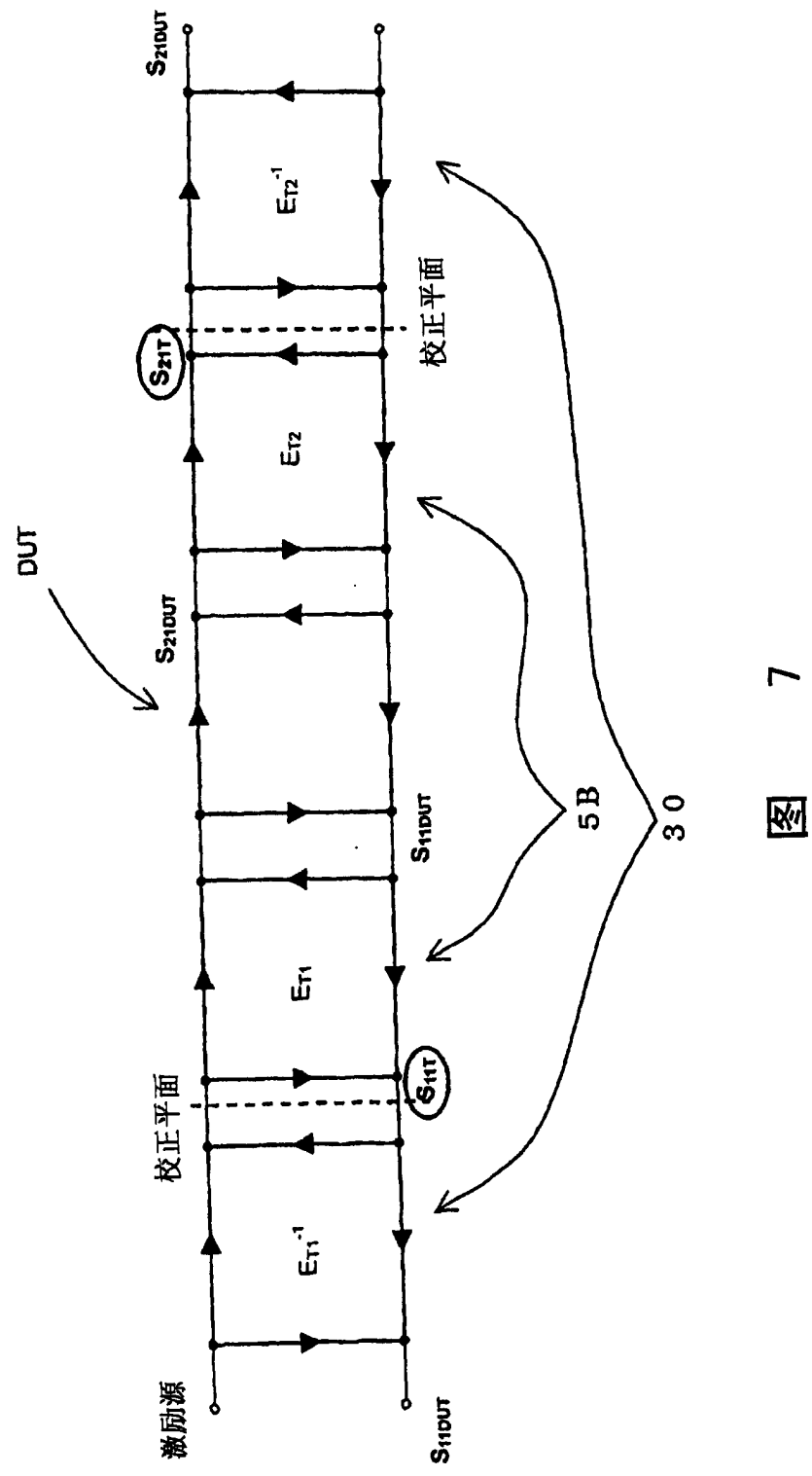
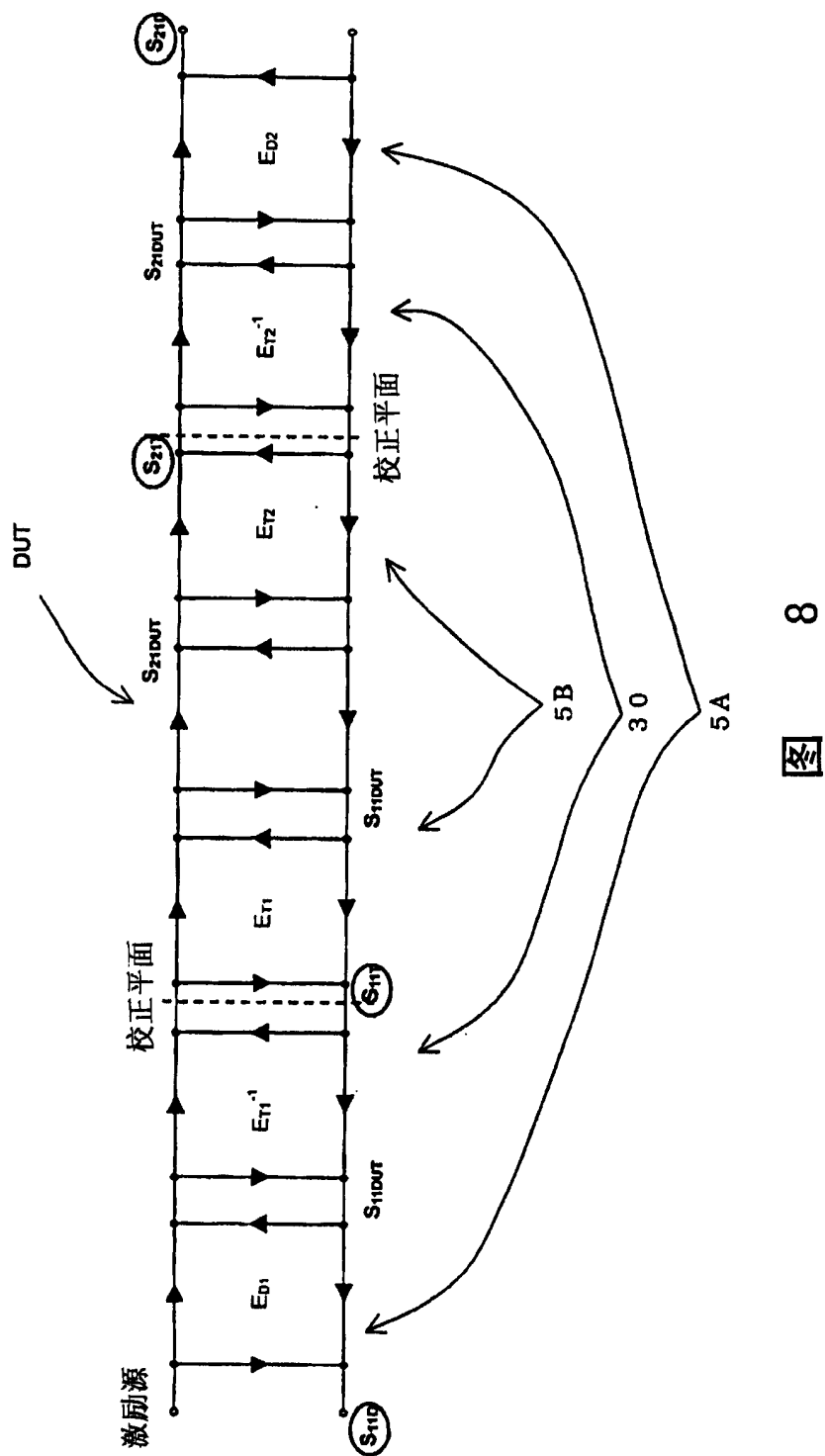
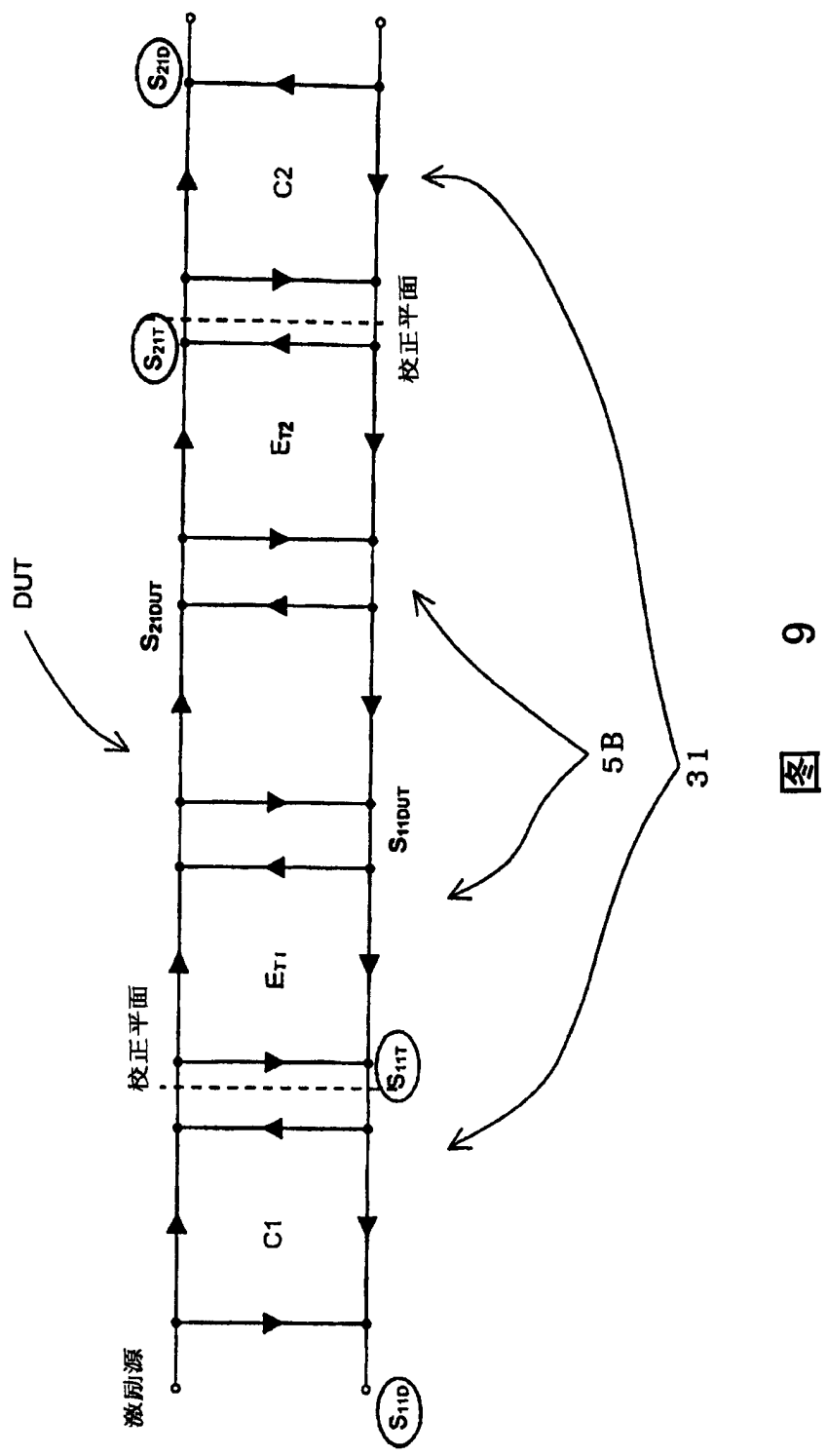


图 7





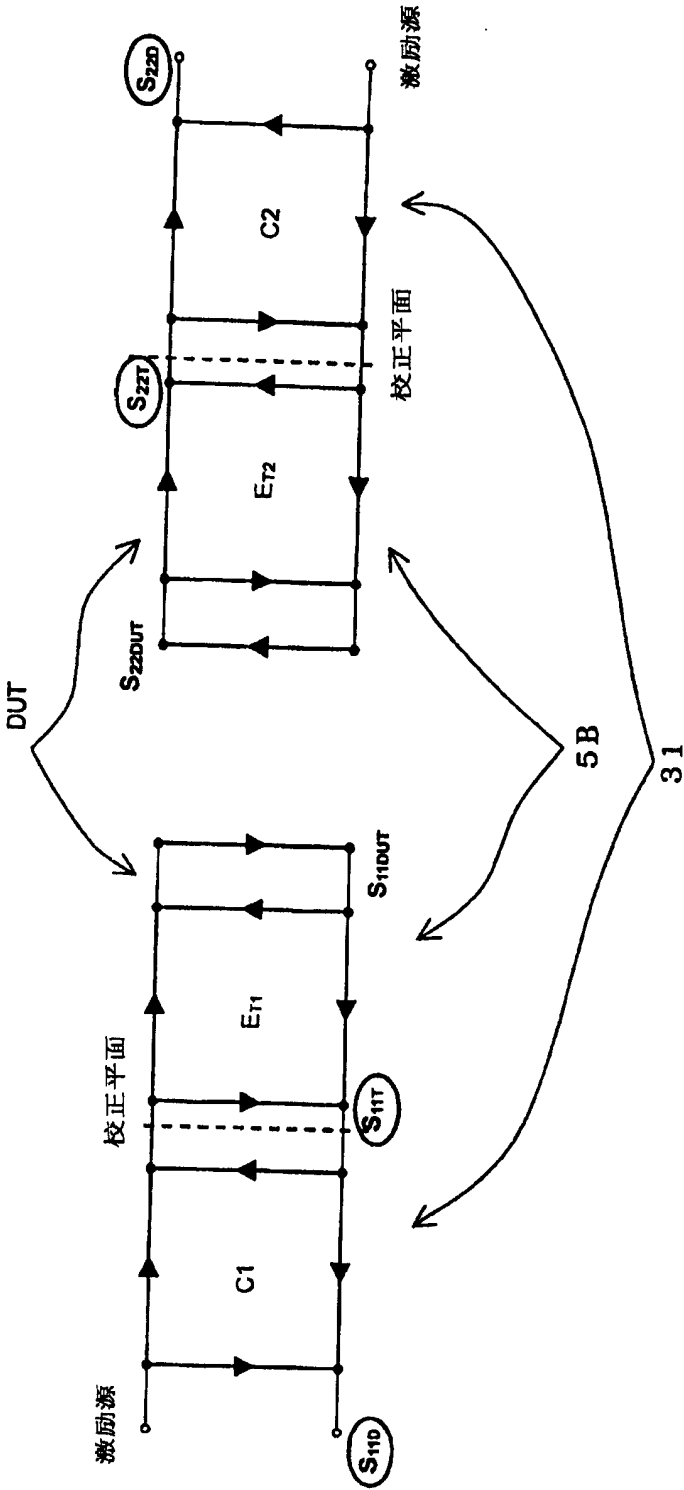


图 10

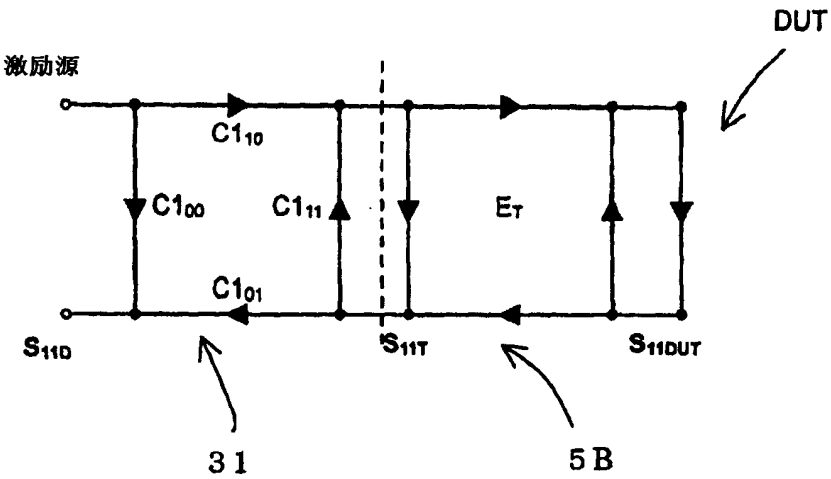


图 11

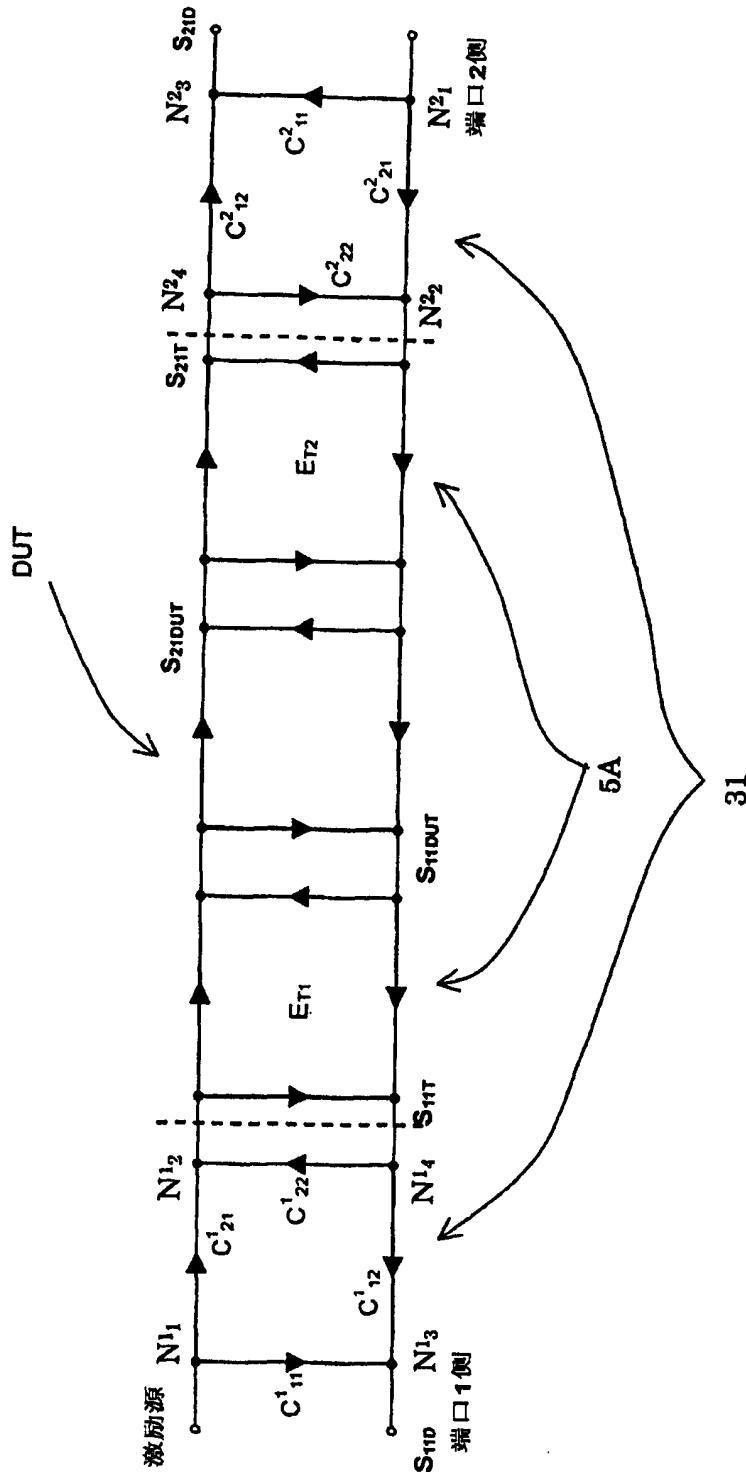


图 12

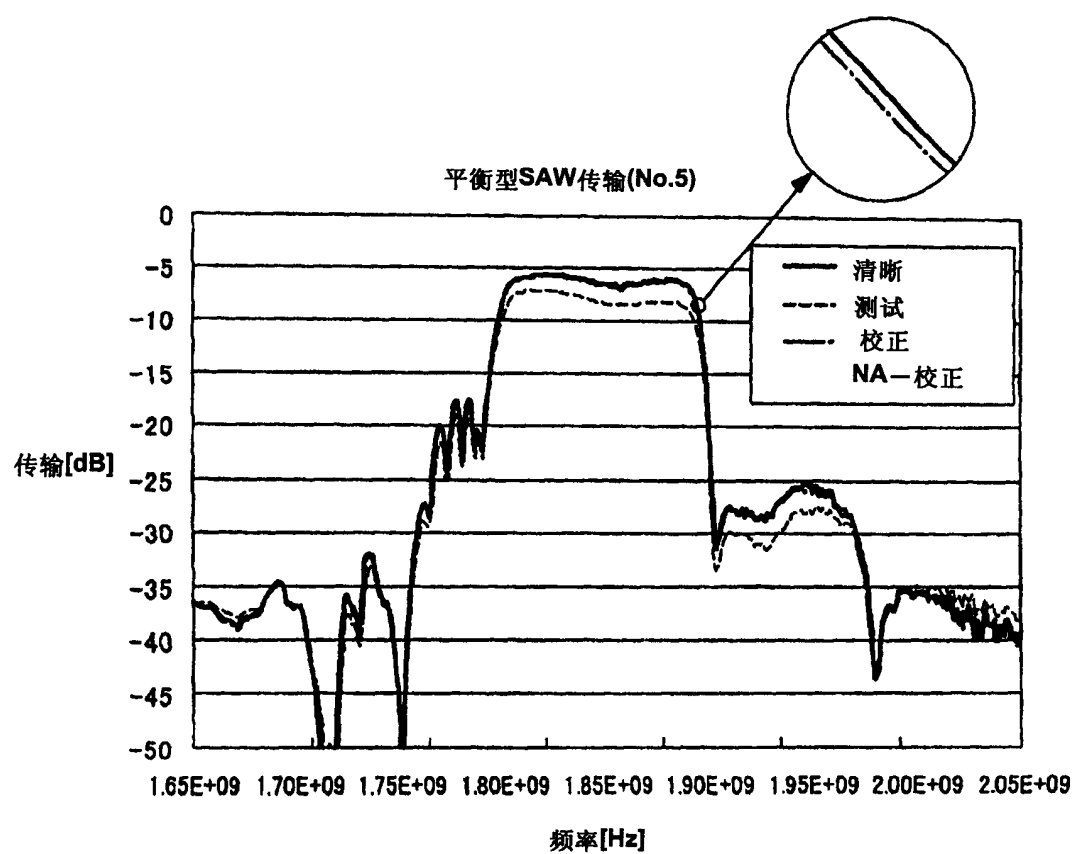


图 13

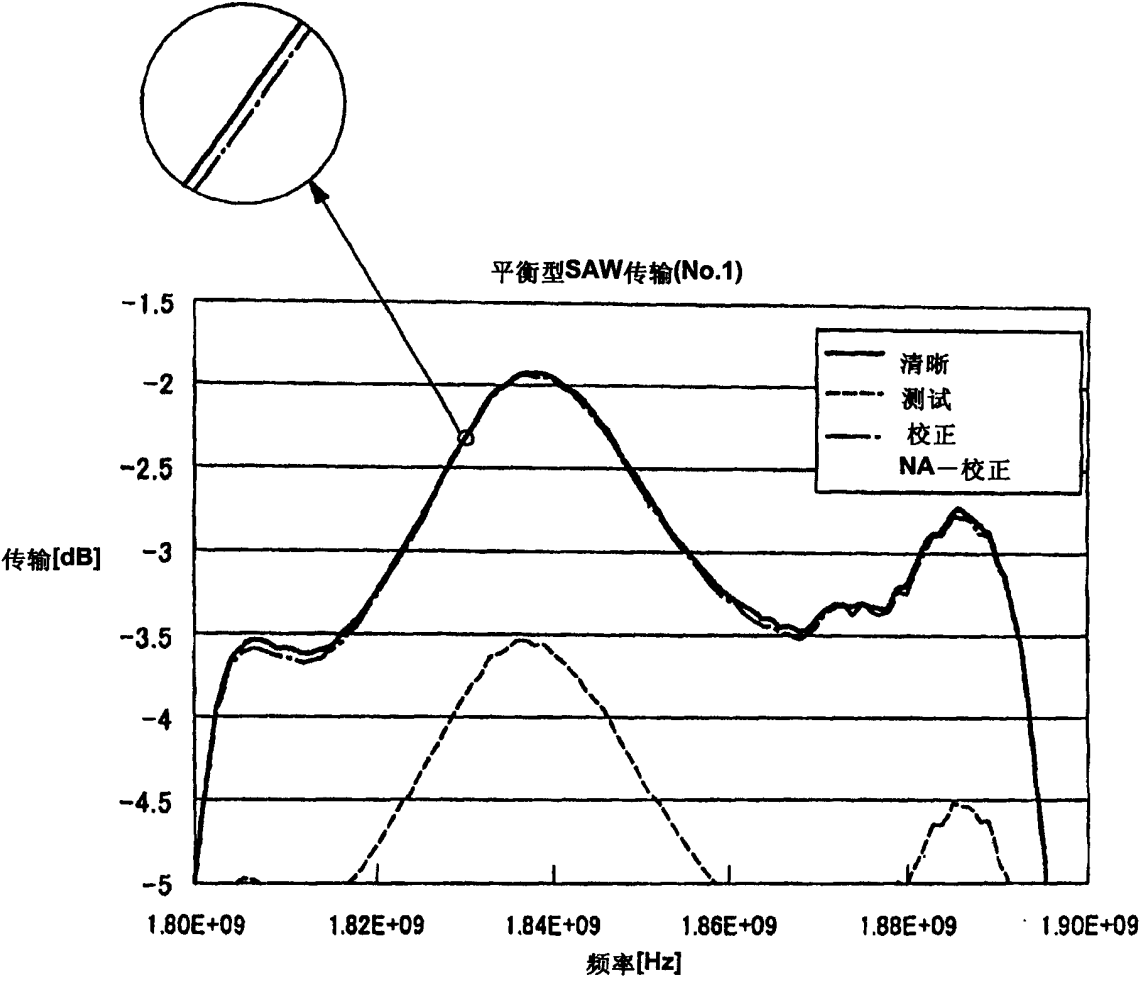


图 14

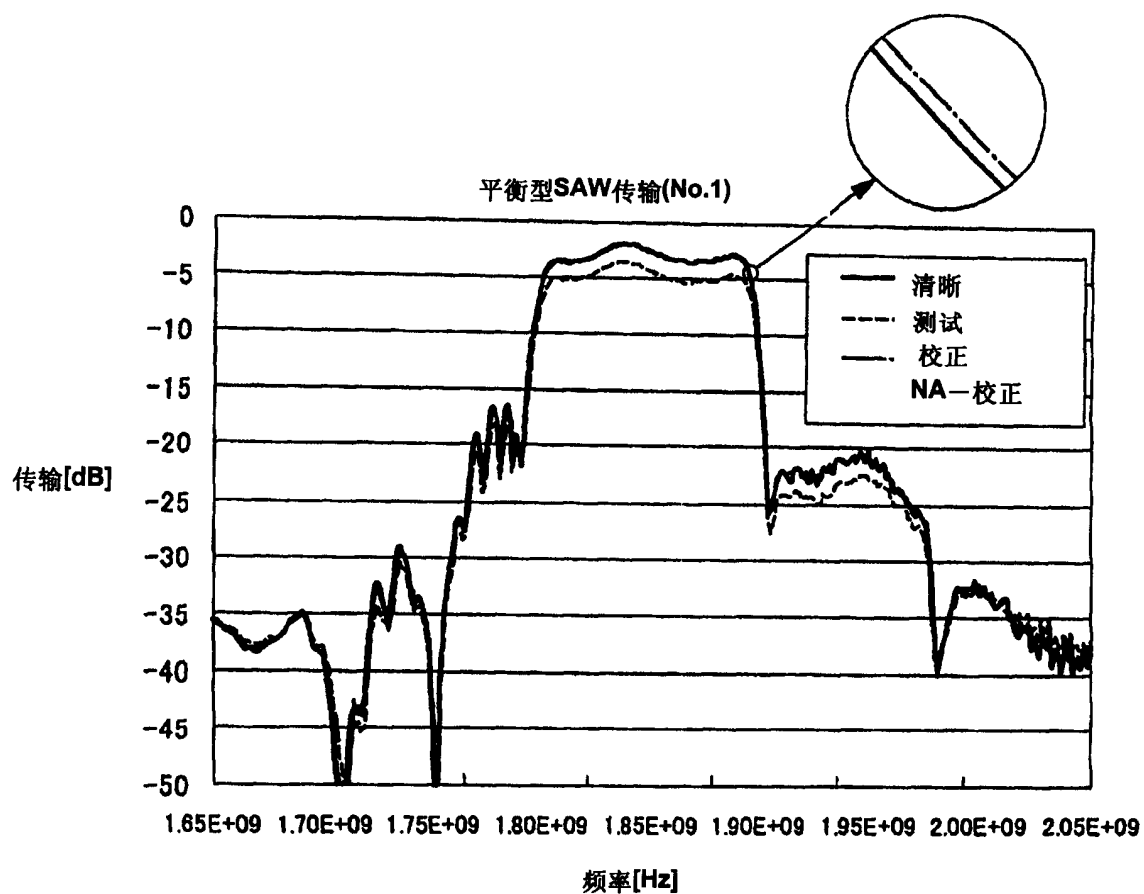


图 15

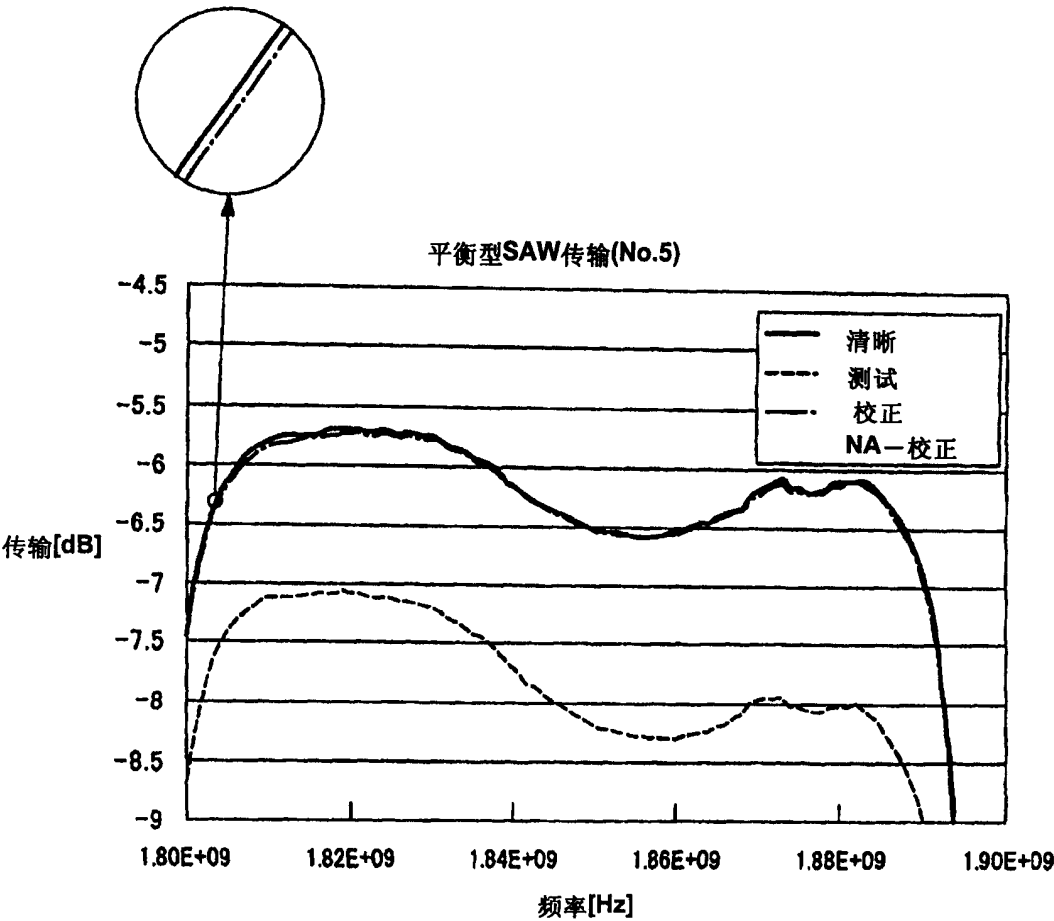


图 16

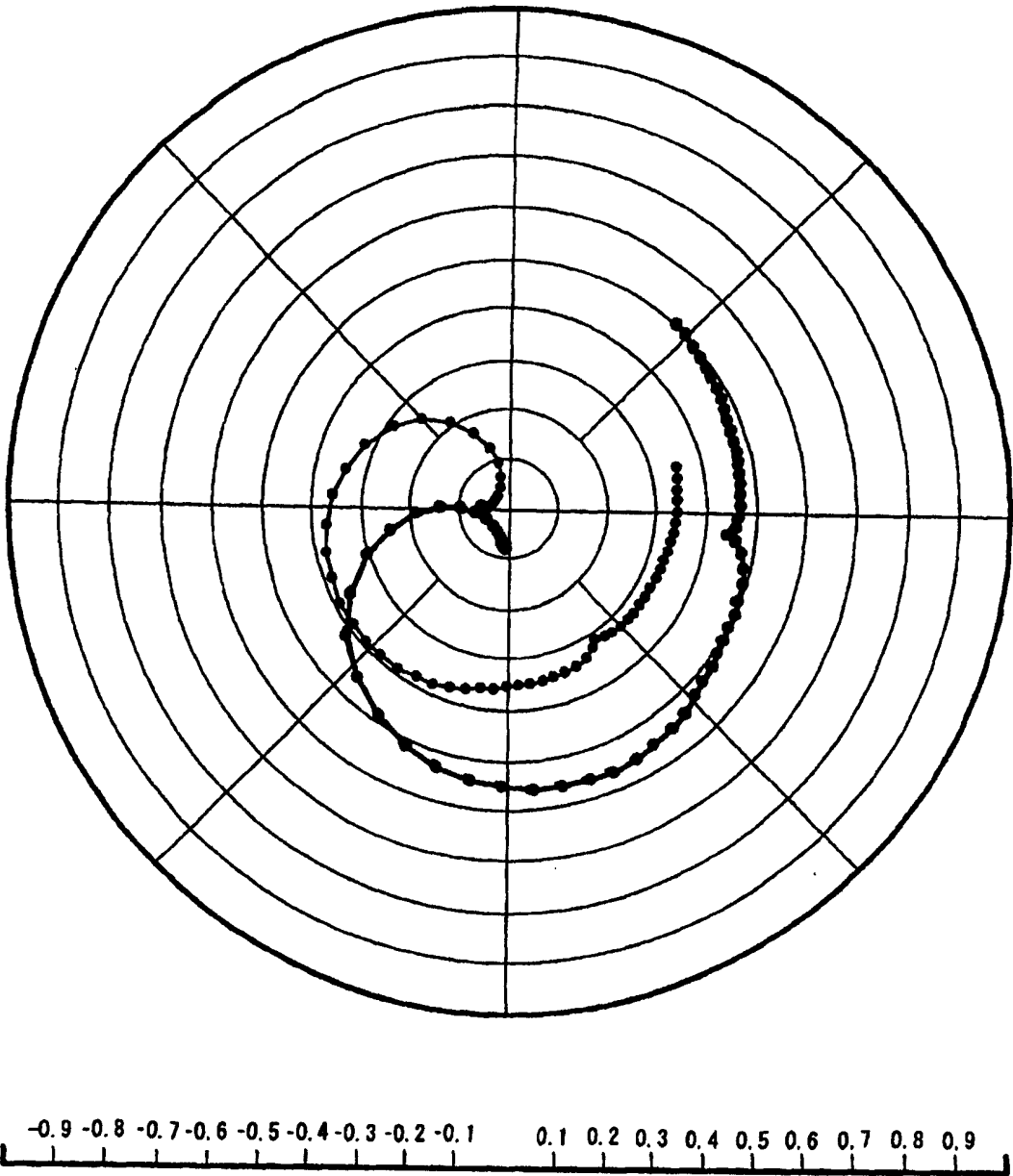


图 17

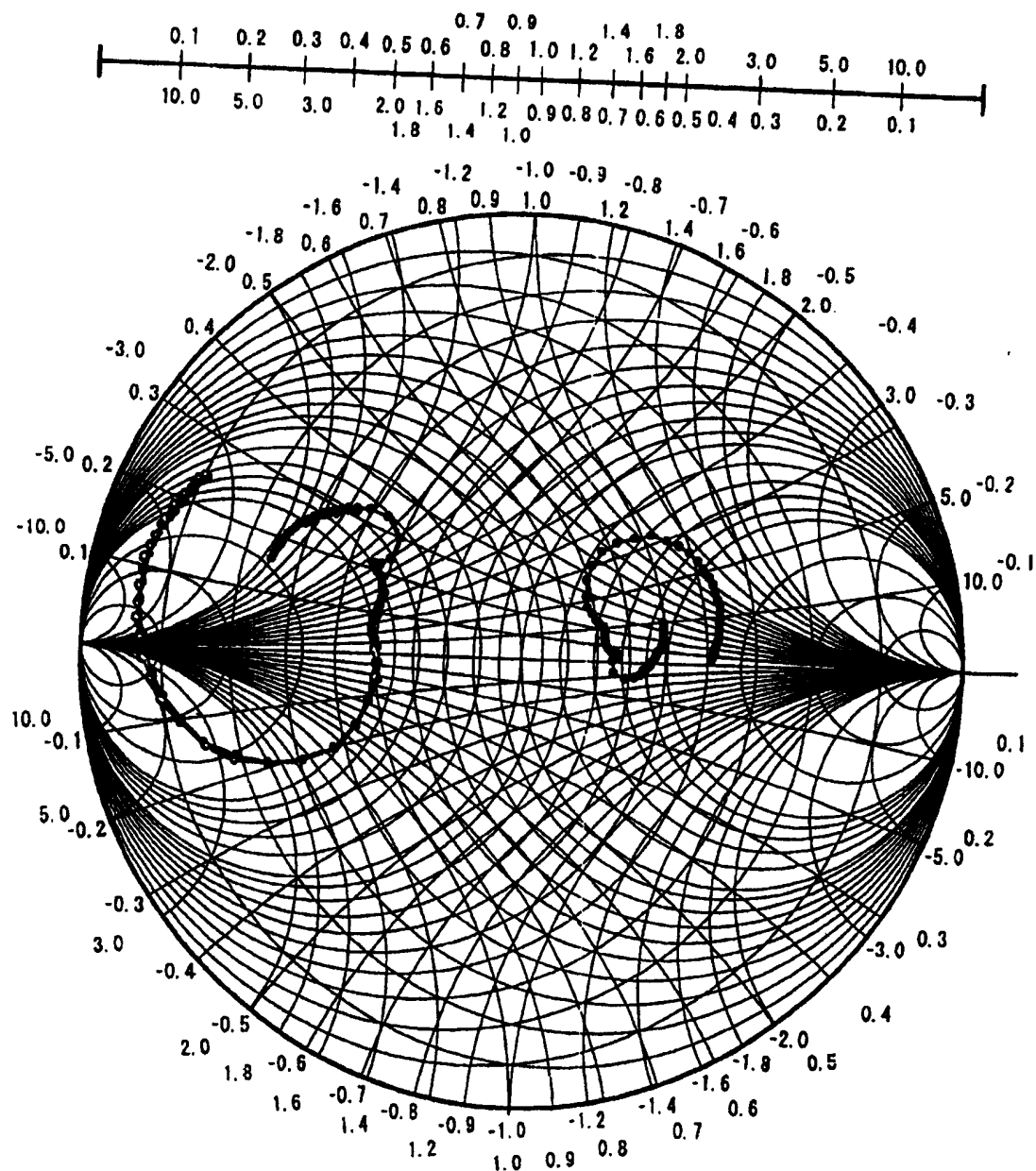


图 18

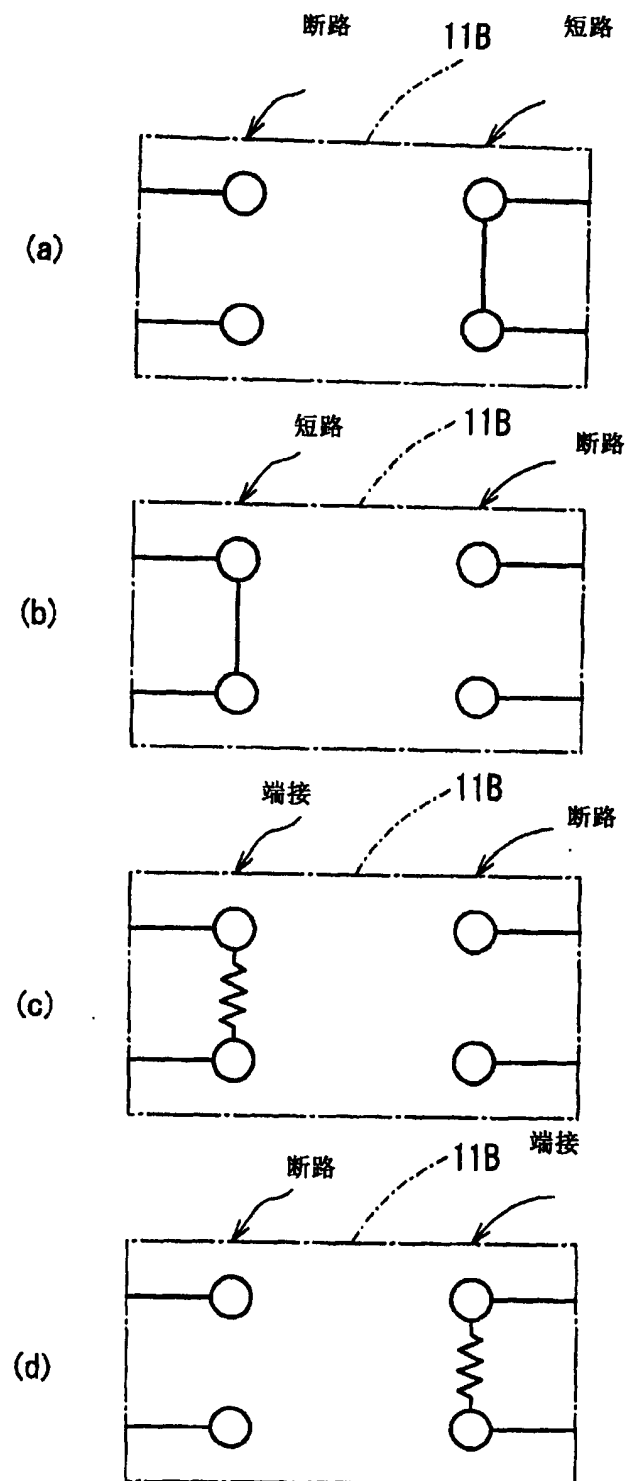


图 19

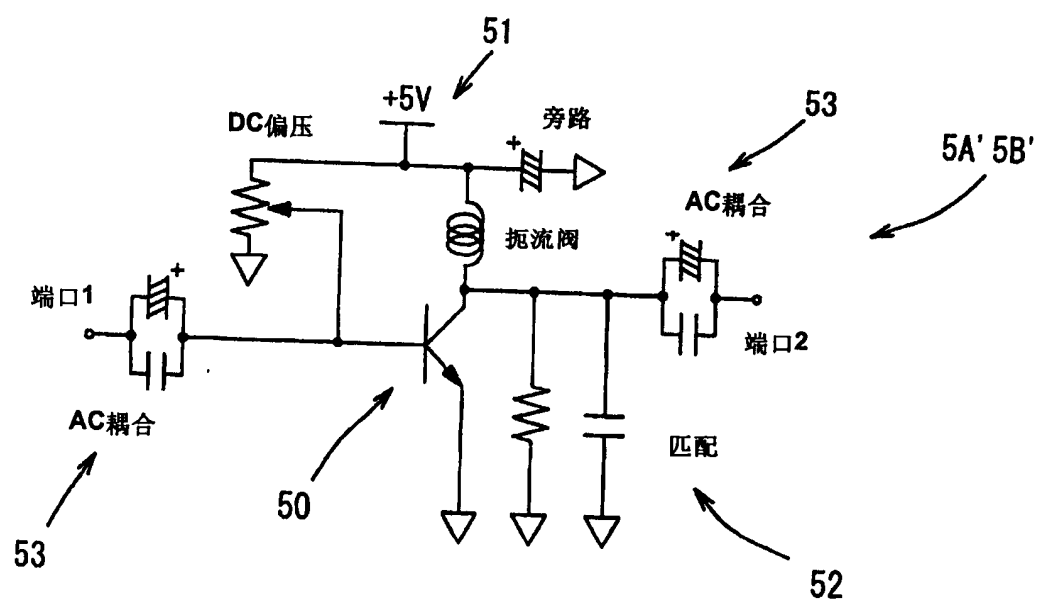


图 20

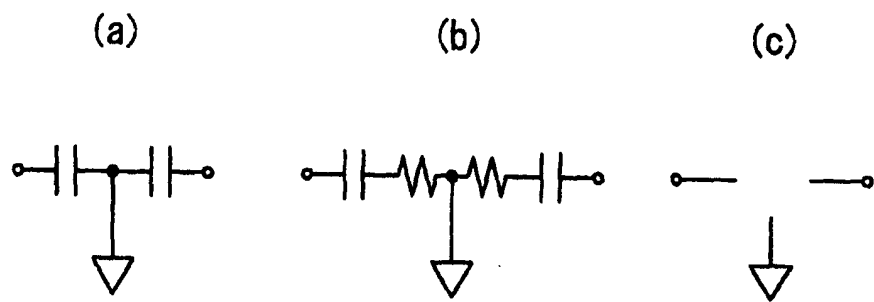


图 21

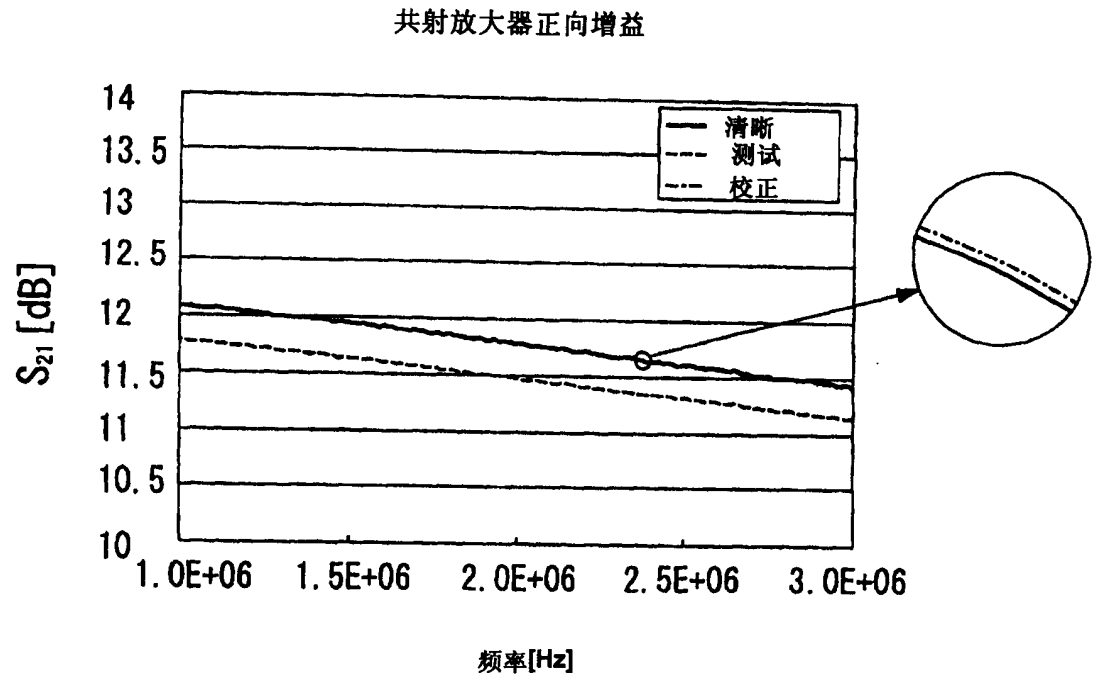


图 22

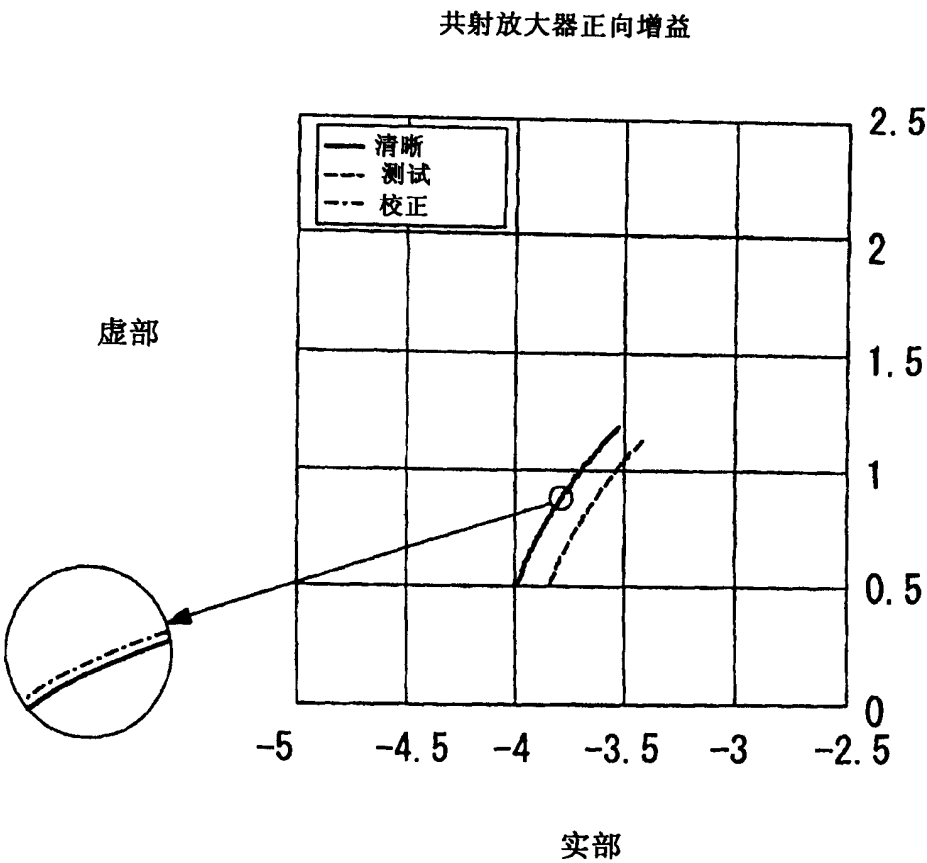


图 23

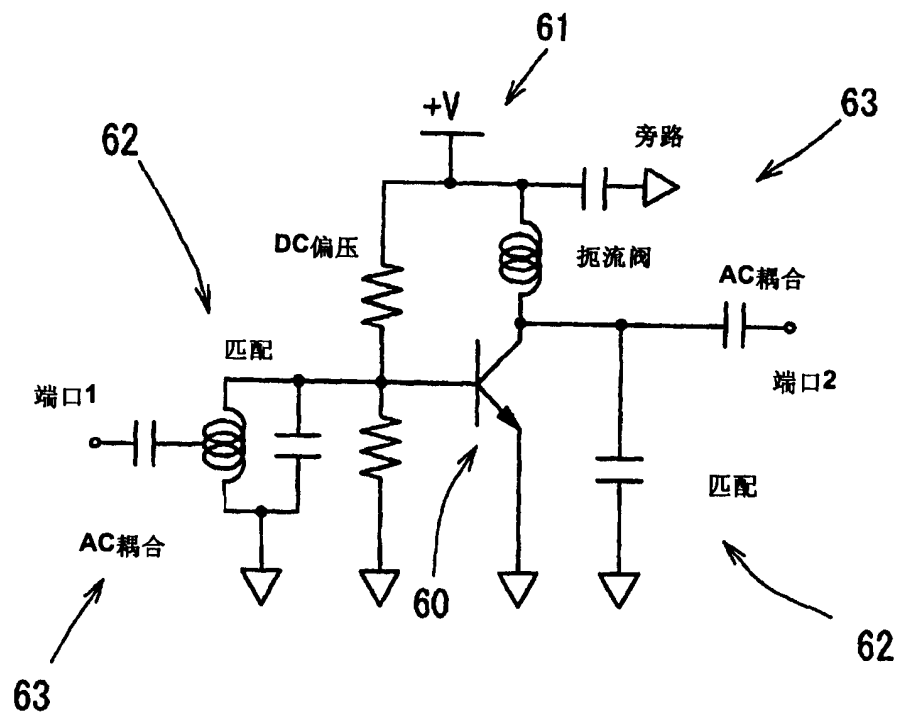


图 24

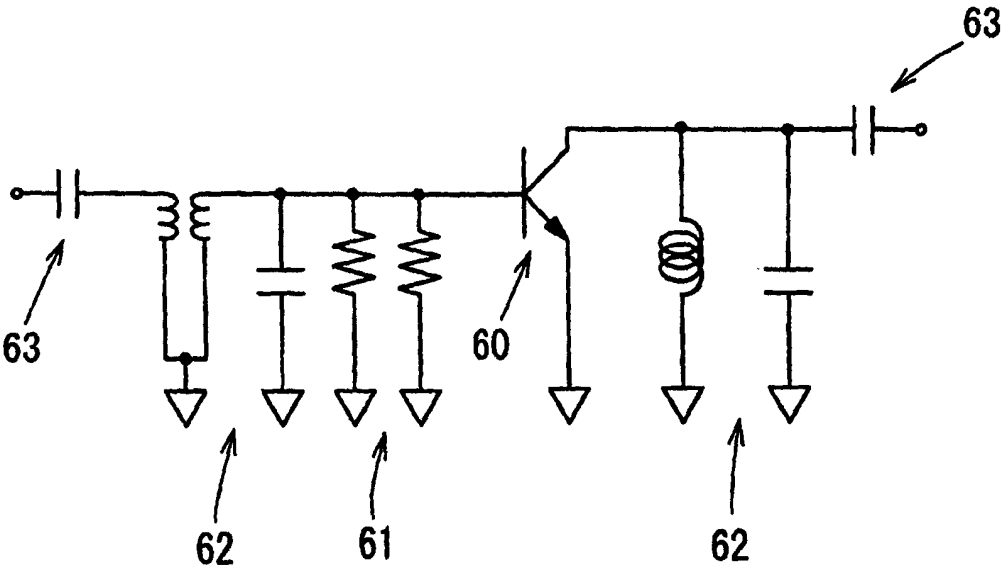


图 25

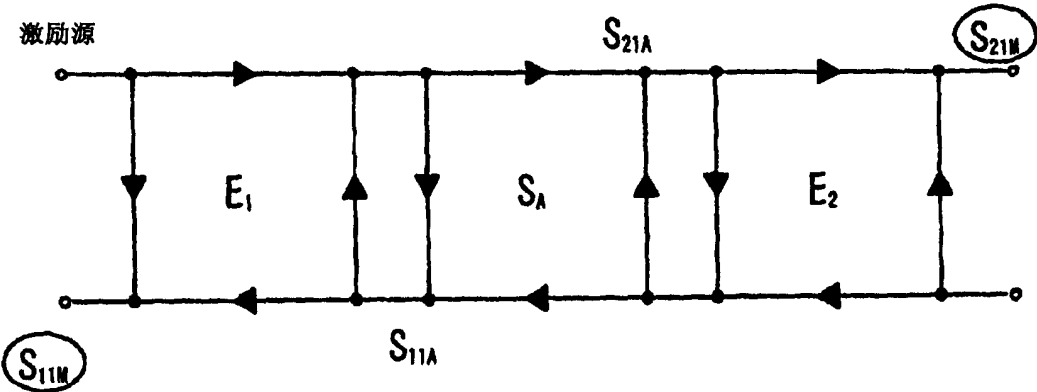


图 26

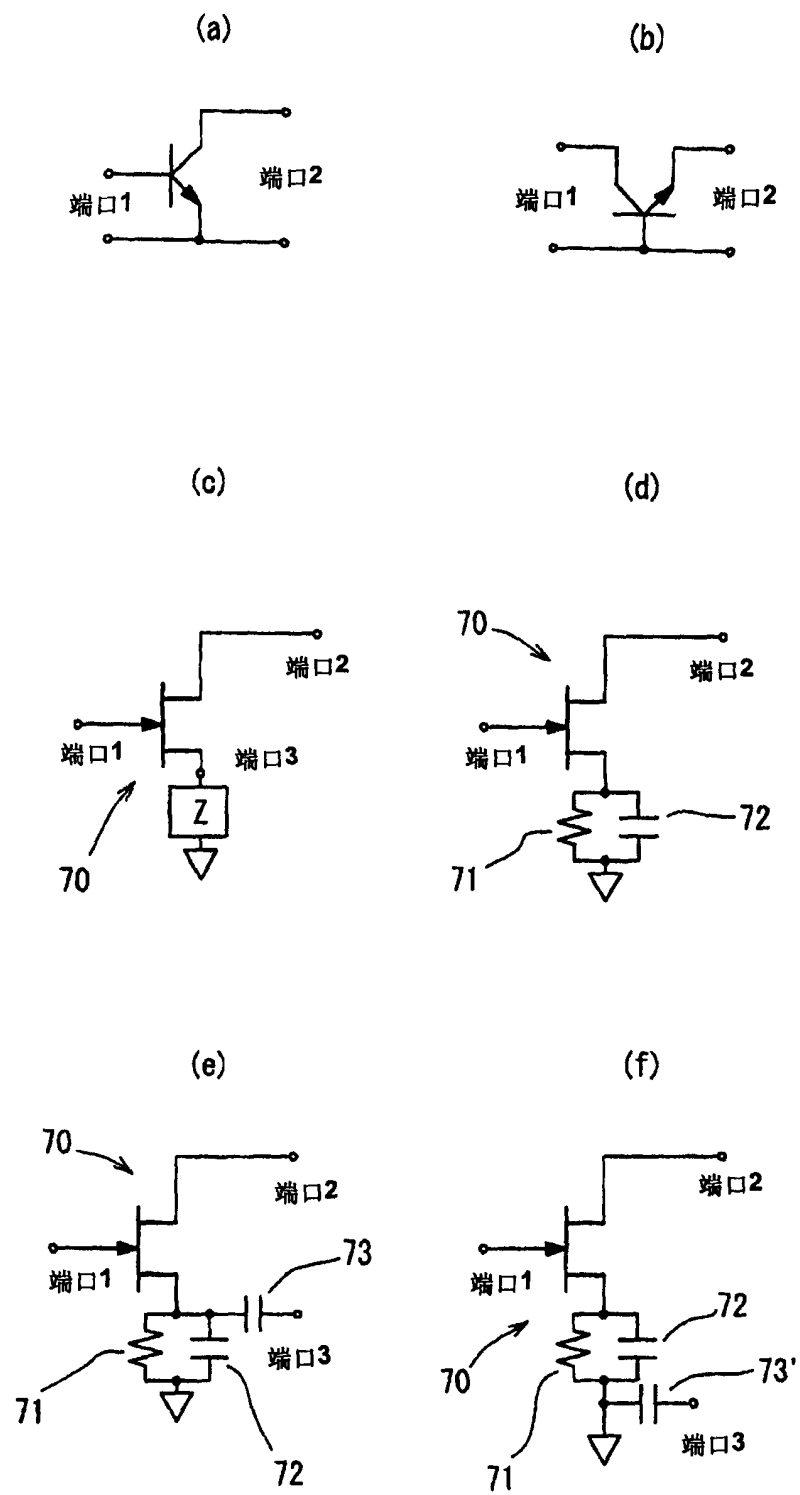


图 27