



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103605024 B

(45)授权公告日 2017.02.15

(21)申请号 201310587156.X

(22)申请日 2013.11.15

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103605024 A

(43)申请公布日 2014.02.26

(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 孙宏军 孙朋德 刘敬坤 张海洋 马世敏 王星 姜信诚

(51)Int.Cl.

G01R 31/00(2006.01)

G01R 35/00(2006.01)

审查员 王晓媛

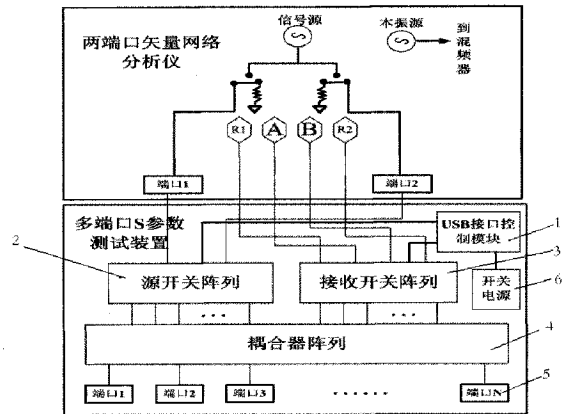
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种基于USB接口的多端口S参数测试装置

(57)摘要

本发明属于信号测试技术领域,涉及一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,包括:USB接口控制模块、源开关阵列、接收开关阵列、耦合器阵列,其中,USB接口控制模块分别与源开关阵列、接收开关阵列连接,源开关阵列和接收开关阵列分别与耦合器阵列连接。本发明能够在成本很低的情况下以两端口网络分析仪为主机扩展成多端口网络分析仪,用于各种多端口、多功能组件和模块的测量,且结构简单,稳定性高。



1. 一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,其特征在于,包括:USB接口控制模块(1)、源开关阵列(2)、接收开关阵列(3)、耦合器阵列(4),其中,所述USB接口控制模块(1)分别与所述源开关阵列(2)、接收开关阵列(3)连接,所述源开关阵列(2)和接收开关阵列(3)分别与所述耦合器阵列(4)连接;

所述USB接口控制模块(1)包括CPU及控制电路(11)、源开关阵列控制模块(12)、接收开关阵列控制模块(13)、USB接口(14)、电源启动电路(15)、电源接口(16)、开关模块电源偏置(17)、源指示灯(18)和电源指示灯接口(19),其中,所述CPU及控制电路(11)分别连接所述源开关阵列控制模块(12)、接收开关阵列控制模块(13)、USB接口(14)、电源启动电路(15)、源指示灯(18)和电源指示灯接口(19),所述电源启动电路(15)分别连接所述电源接口(16)和开关模块电源偏置(17),所述开关模块电源偏置(17)分别连接所述源开关阵列控制模块(12)、接收开关阵列控制模块(13)、源指示灯(18)和电源指示灯接口(19)。

2. 如权利要求1所述的一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,其特征在于,还包括与所述USB接口控制模块(1)相连接的开关电源(6)。

3. 如权利要求1所述的一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,其特征在于,所述USB接口控制模块(1)通过USB接口与两端口矢量网络分析仪主机通讯,解析主机的命令,控制开关模块,控制指示灯的显示,完成电源的开启、关闭,为开关模块提供电源偏置,所述开关模块包括源开关阵列控制模块(12)和接收开关阵列控制模块(13);所述源开关阵列(2)和接收开关阵列(3)由射频开关组成,根据当前测量参数将主机输出的源信号切换到正确的测量端口,所述耦合器阵列(4)提取多端口被测件的测量响应信号,两端口矢量网络分析仪主机和测试装置提取的测量响应信号首先输入到所述接收开关阵列(3),通过所述接收开关阵列(3)分时复用主机中的两个测量接收机,完成多路响应信号的分时接收。

4. 如权利要求1所述的一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,其特征在于,所述CPU及控制电路(11)包括USB接口芯片(111)、CPLD(112)、EEPROM(113)以及晶振(114),其中,所述CPLD(112)、EEPROM(113)以及晶振(114)分别与所述USB接口芯片(111)连接,所述USB接口芯片(111)中包括微处理器。

5. 如权利要求1所述的一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,其特征在于,所述源开关阵列(2)和接收开关阵列(3)采用微波方式实现串并混合阵列结构。

6. 如权利要求1所述的一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,其特征在于,该装置还包括机箱,整个机箱包括机头、机框和机箱外壳,所述机箱外壳采用套筒结构,并采用铝合金冷轧板折弯成型后铆接,套筒的侧面和底部设有通风孔,套筒从机框的后端拆装,其前端插入机头的型材零件的凹槽内,通过后面4个底脚固定。

7. 一种具有权利要求1至6任一项的多端口S参数测试装置的矢量网络分析仪的校准方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一,通过单端口校准确定方向性、源匹配和反射跟踪误差;

步骤二,通过隔离校准确定串扰误差;

步骤三,通过直通校准确定负载匹配和传输跟踪误差。

8. 如权利要求7所述的校准方法,其特征在于,省去所述步骤二的隔离校准,忽略串扰误差,通过已知的误差项直接计算出其他未知误差,而不必通过校准获得。

一种基于USB接口的多端口S参数测试装置

技术领域

[0001] 本发明涉及端口参数测试技术,尤其涉及一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,属于信号测试技术领域。

背景技术

[0002] 当前,多通道波束功率合成和多通道相干接收技术是现代电子技术的重要特征,随着对发射输出功率和接收灵敏度要求越来越高,通道的数量和规模呈现出快速增长的态势,由几十个通道发展到成百上千个通道。装备整机体制和结构体系的变化促使电子技术产业各层次产品发生变化,各种多端口、多功能组件和模块纷纷出现,如功率合成网络、多个T/R组件组成的T/R单元、各种馈电网络等,并具有系统集成时需求量大的显著特征。唯有使用多端口矢量网络分析仪才能很好地满足对大数量多端口组件进行多功能、多参数快速精确测试的要求。

[0003] 目前使用的矢量网络分析仪多以两端口为主,要得到完整的多端口被测网络的散射参数矩阵,需要进行多次测量,由于匹配负载不可能是理想的,而且匹配负载要在多个端口间变换位置,多次接入也造成了误差,使得测量结果误差较大;对于各端口需要同时调试的被测器件,不能同时得到全部测量结果,整体调试比较困难;而且连接被测件所用时间远多于实际测量时间,测量过程繁琐,测量结果不够清晰直观,极易发生误连接而降低测量的可信性。

[0004] 申请号为201020504581的专利申请公开了一种矢量网络分析仪时分复用扩展端口设备,矢量网络分析仪的激励信号输出端口连接的射频开关具有两个射频开关激励信号输出端口,与矢量网络分析仪的测试信号输入端口连接的射频开关具有两个射频开关测试信号输入端口,该装置使一台矢量网络分析仪可以对应两个或两个以上的用户,同时不影响正常使用速度,可大大降低生产设备的使用成本。虽然其可以对两端口矢量网络分析仪端口进行扩展,但是该申请的侧重点在于两个或两个以上的用户可以同时使用一台矢量网络分析仪,却无法完成对多端口被测件全部S参数的测试,也克服不了上面所述的其它缺陷。

[0005] 现有技术中完成多端口器件全部S参数测试的多端口网络分析仪的实现方式还存在着以四端口矢量网络分析仪为主机的方式,虽然较之两端口矢量网络分析仪其测量效率和连接复杂性有较大改观,但带来的问题是:目前大部分用户拥有的矢量网络分析仪以两端口为主,购买四端口网络分析仪和多端口扩展装置成本较高,且造成了资源的浪费。

[0006] 因此,能否设计一种新型的多端口网络分析仪以克服上述缺陷,成为本领域技术人员有待解决的技术难题。

发明内容

[0007] 有鉴于现有技术的上述缺陷,本发明旨在提供一种基于USB接口的多端口S参数测试装置,可以在成本很低的情况下以两端口网络分析仪为主机扩展成多端口网络分析仪,

用于各种多端口、多功能组件和模块的测量,且结构简单,稳定性高。

[0008] 本发明是这样实现的,该基于USB接口的多端口S参数测试装置包括:USB接口控制模块、源开关阵列、接收开关阵列、耦合器阵列,其中,USB接口控制模块分别与源开关阵列、接收开关阵列连接,源开关阵列和接收开关阵列分别与耦合器阵列连接。

[0009] 在一些技术方案中,USB接口控制模块包括CPU及控制电路、源开关阵列控制模块、接收开关阵列控制模块、USB接口、电源启动电路、电源接口、开关模块电源偏置、源指示灯和电源指示灯接口,其中,CPU及控制电路分别连接源开关阵列控制模块、接收开关阵列控制模块、USB接口、电源启动电路、源指示灯和电源指示灯接口,电源启动电路分别连接电源接口和开关模块电源偏置,开关模块电源偏置分别连接源开关阵列控制模块、接收开关阵列控制模块、源指示灯和电源指示灯接口。

[0010] 在一些技术方案中,还包括与USB接口控制模块相连接的开关电源。

[0011] 在一些技术方案中,USB接口控制模块通过USB接口与两端口矢量网络分析仪主机通讯,解析主机的命令,控制开关模块、指示灯的显示,完成电源的开启、关闭,为开关模块提供电源偏置;源开关阵列和接收开关阵列由射频开关组成,根据当前测量参数将主机输出的源信号切换到正确的测量端口,耦合器阵列提取多端口被测件的测量响应信号,两端口矢量网络分析仪主机和测试装置提取的测量响应信号首先输入到接收开关阵列,通过接收开关阵列分时复用主机中的两个测量接收机,完成多路响应信号的分时接收。

[0012] 在一些技术方案中,CPU及控制电路包括USB接口芯片、CPLD、EEPROM以及晶振,其中,CPLD、EEPROM以及晶振分别与USB接口芯片连接,USB接口芯片中包括微处理器。

[0013] 在一些技术方案中,源开关阵列和接收开关阵列采用微波方式实现串并混合阵列结构。

[0014] 在一些技术方案中,该装置包括机箱,整个机箱包括机头、机框和机箱外壳,机箱外壳采用套筒结构,并采用铝合金冷轧板折弯成型后铆接,套筒的侧面和底部设有通风孔,套筒从整机框架的后端拆装,其前端插入机头的型材零件的凹槽内,通过后面4个底脚固定。

[0015] 在一些技术方案中,机箱采用上下两层结构,上机箱用于安装射频开关阵列电路,并采用隔舱结构减小不同通道间的串扰,下机箱安装开关电源和数字接口控制电路,在机箱的空间分隔上做到干扰源与易受干扰的微波电路隔离。

[0016] 本发明还公开了一种具有该多端口S参数测试装置的矢量网络分析仪的校准方法,包括如下步骤:

[0017] 步骤一,通过单端口校准确定方向性、源匹配和反射跟踪误差;

[0018] 步骤二,通过隔离校准确定串扰误差;

[0019] 步骤三,通过直通校准确定负载匹配和传输跟踪误差。

[0020] 在一些技术方案中,可省去步骤二的隔离校准,忽略串扰误差,通过已知的误差项直接计算出其他未知误差,而不必通过校准获得。

[0021] 与现有技术相比,本发明的有益效果如下:

[0022] 1.实现了多端口S参数测试,提高了测试效率,

[0023] 2.使用两端口矢量网络分析仪的用户可以很方便地升级为多端口矢量网络分析仪,降低了成本;

[0024] 3.采用射频电路板方案,低成本设计,提高了该装置进行实用化推广的优势;

[0025] 4.结构简单、稳定性高,易于维护;

[0026] 5.优化了校准方法,提高了效率。

[0027] 以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明,以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

附图说明

[0028] 图1为本发明的基于USB接口的多端口S参数测试装置的结构示意及其与两端口矢量网络分析仪的连接关系图。

[0029] 图2为图1中USB接口控制模块1的结构示意图。

[0030] 图3为图2中CPU及控制电路11的结构示意图。

[0031] 图4为图1中源开关阵列2和接收开关阵列3采用串并混合阵列时的结构示意图。

[0032] 图5为i端口激励j端口接收时的全二端口误差修正模型。

[0033] 符号说明

[0034] 1 USB接口控制模块

[0035] 11 CPU及控制电路

[0036] 111 USB接口芯片

[0037] 112 CPLD

[0038] 113 EEPROM

[0039] 114 晶振

[0040] 12 源开关阵列控制模块

[0041] 13 接收开关阵列控制模块

[0042] 14 USB接口

[0043] 15 电源启动电路

[0044] 16 电源接口

[0045] 17 开关模块电源偏置

[0046] 18 源指示灯

[0047] 19 电源指示灯接口

[0048] 2 源开关阵列

[0049] 3 接收开关阵列

[0050] 4 耦合器阵列

[0051] 5 端口

[0052] 6 开关电源

具体实施方式

[0053] 如图1所示为本发明一具体实施方式,该基于USB接口的多端口S参数测试装置主要包括:USB接口控制模块1、源开关阵列2、接收开关阵列3、耦合器阵列4,其中,USB接口控制模块1分别与源开关阵列2、接收开关阵列3连接,源开关阵列2和接收开关阵列3分别与耦合器阵列4连接。

[0054] 在一较佳实施方式中,耦合器阵列4还与若干端口5一体形成,实现与被测件的连接。

[0055] 如图2所示为USB接口控制模块1的结构示意图,其主要包括CPU及控制电路11、源开关阵列控制模块12、接收开关阵列控制模块13、USB接口14、电源启动电路15、电源接口16、开关模块电源偏置17、源指示灯18、电源指示灯接口19,其中,CPU及控制电路11分别连接源开关阵列控制模块12、接收开关阵列控制模块13、USB接口14、电源启动电路15、源指示灯18和电源指示灯接口19,电源启动电路15分别连接电源接口16和开关模块电源偏置17,开关模块电源偏置17分别连接源开关阵列控制模块12、接收开关阵列控制模块13、源指示灯18和电源指示灯接口19。

[0056] 在一较佳实施方式中,该装置还包括开关电源6,与USB接口控制模块1相连接。

[0057] 在采用该基于USB接口的多端口S参数测试装置与两端口矢量网络分析仪主机构成多端口矢量网络分析仪时,将两端口矢量网络分析仪的第一端口(端口1)和第二端口(端口2)分别连接到源开关阵列2,将两端口矢量网络分析仪的R1端口、R2端口、A端口、B端口分别连接到接收开关阵列3,如图1所示。

[0058] USB接口控制模块1主要完成与两端口矢量网络分析仪主机直接的USB接口通信,解析主机的命令,控制微波开关模块、指示灯的显示,完成电源的开启、关闭,为微波开关模块提供电源偏置。

[0059] USB接口控制模块1通过USB接口与两端口矢量网络分析仪主机通讯,接受主机的命令实现开关切换、状态指示等功能。源开关阵列2由射频开关组成,根据当前测量参数将主机输出的源信号切换到正确的测量端口。耦合器阵列4用于提取多端口被测件的测量响应信号,两端口矢量网络分析仪主机和测试装置提取的测量响应信号首先输入到接收开关阵列3,因为主机中只有两个测量通道,因此通过接收开关阵列3分时复用主机中的两个测量接收机,完成多路响应信号的分时接收。

[0060] 如图3所示,在一较佳实施方式中,CPU及控制电路11例如包括USB接口芯片111、CPLD112、EEPROM113以及晶振114,其中,CPLD112、EEPROM113以及晶振114分别与USB接口芯片111连接,USB接口芯片111中包括微处理器。

[0061] 在一较佳实施方式中,晶振频率为24MHz,EEPROM最少需要8字节,CPLD可根据实际需要自选型号。

[0062] CPU及控制电路11工作时,电路加电后,USB接口芯片111首先从EEPROM113的首字节中读取数据,如果数据为“C0”或“C2”,则再从EEPROM113中读取6个字节的数据作为USB设备的厂商号(VID),产品号(PID)和设备号;两端口矢量网络分析仪主机将根据VID和PID来识别USB设备并加载驱动程序;如果首字节为“C2”,USB接口芯片111继续读取EEPROM113内存储的固件程序;如果首字节不是“C0”或“C2”,则USB接口芯片111以默认设备加载。

[0063] 在一较佳实施方式中,本发明采用首字节为“C0”的方式,主机首先根据从EEPROM113读取的VID和PID来识别设备,加载相应的驱动程序。在一较佳实施方式中,USB接口芯片111可采用型号为CY7C68013A的芯片,可以让驱动程序自动下载固件程序到USB接口芯片111,等到程序下载完成后,USB接口芯片111会自动与主机断开连接再重新连接,这时主机将根据下载的固件程序中的VID和PID重新识别设备,加载另一个驱动程序。这是CY7C68013A所特有的重枚举功能,不需要物理上的重连接。这个功能使固件程序的下载全

自动完成,使固件程序的更新升级非常容易,不需要硬件的任何改动,只要更新主机驱动程序即可。

[0064] 在固件程序中,配置USB接口芯片111,使之工作在48MHz,包括一个控制端点和两个块传输端点(一个输入,一个输出)并且与CPLD112以8位数据总线连接。块传输端点主要用来传输大量的数据,控制端点主要用于控制USB接口。在一较佳实施方式中,可以只采用控制端点,它能够满足一定的速率要求,并且有很好的传输保护机制,能够保证命令和数据的正确性。USB接口芯片111的微控制器(CPU)解析收到的命令,完成一些较简单的命令,将相对复杂的命令通过8位的数据总线传递给CPLD112,由CPLD112来完成。

[0065] 源开关阵列2和接收开关阵列3,主要采用集成射频开关,完全射频电路板方式实现,可大大降低成本,且通道间具有很高的隔离度以及良好的端口匹配性能。

[0066] 在一较佳实施方式中,源开关阵列2和接收开关阵列3还可以采用微波方式实现串并混合阵列结构,如图4所示。优选PIN二极管,并使用仿真软件对二极管阵列分布结构、传输线形式、同轴至微带的过渡结构进行优化设计,设计出符合整机要求的宽带高性能电子开关。

[0067] 在一较佳实施方式中,该多端口S参数测试装置还包括机箱,整个机箱包括机头、机框和机箱外壳,并带有前把手、侧提带和底脚等附件,便于仪器搬运。机箱外壳采用套筒结构,并采用铝合金冷轧板折弯成型后铆接,套筒的侧面和底部设有通风孔,套筒从整机框架的后端拆装,其前端插入机头的型材零件的凹槽内,通过后面4个底脚固定。多端口S参数测试装置的端口耦合器及开关状态指示电路安装在机头上。

[0068] 在一较佳实施方式中,机箱采用上下两层结构,上机箱用于安装各种射频开关阵列电路,并采用隔舱结构减小不同通道间的串扰,下机箱安装开关电源和数字接口控制电路,在机箱的空间分隔上做到干扰源与易受干扰的微波电路隔离。内部布局上做到配重均匀,方便拆装,并兼顾热设计和电磁兼容设计要求。

[0069] 采用本发明的多端口S参数测试装置以及二端口矢量网络分析仪构成矢量网络分析仪,连接方式如图1所示。由于矢量网络分析仪本身硬件电路不可避免地存在一些非理想特性,因此测量结果必然存在一定的测量误差。通过对矢量网络分析仪本身硬件非理性特性的分析,其内部的系统误差可以分为匹配误差、串扰误差和跟踪误差三类,必须建立相应的误差模型对存在的误差进行描述,并要对提取误差的校准方法和去除误差的修正方法进行研究。根据矢量网络分析仪的误差理论,多端口矢量网络分析仪的系统误差项随测量端口数按平方律规律增加,N端口矢量网络分析仪的系统误差项个数为 $3N^2$,即在四端口矢量网络分析仪中有48项误差需要确定,而两端口矢量网络分析仪中只有12项误差需要确定,因此四端口矢量网络分析仪的校准将非常复杂。另外误差修正公式的复杂度也按平方率规律增加,而且需要求解从三端口到四端口共2种不同的误差修正公式,本发明在研制过程中通过对多端口校准模块的研究,去除多端口校准过程中的冗余测量连接,简化多端口校准过程,在误差修正方面建立多端口矢量网络分析仪通用的多端口误差修正公式,以简化误差修正的实现。

[0070] 确定误差模型中误差项的过程称为误差校准,其基本原理是通过对一组测量值已知的校准件进行测量,根据多端口矢量误差修正模型,得到一组由校准件的测量值、已知值和误差项组成的方程组,求解这个方程组就可以得到全部的误差项。对于N端口矢量网络分

析仪误差修正模型,共有 $3N^2$ 项误差需要确定,因此对十六端口矢量网络分析仪来说有768项误差需要确定,在校准过程中分三步来求解出误差模型中的全部误差项。

[0071] a.通过单端口校准确定方向性、源匹配和反射跟踪误差。校准时分别在每个测量端口连接开路器、短路器和负载(也可是其他三个互异已知的校准件),根据的误差模型,校准件的测量值(S_{iim})、真实值(S_{ii})和误差项间满足如下等式:

$$S_{iim} = \frac{E_{Di} - (E_{Di}E_{Si} - E_{Ri}) \cdot S_{ii}}{1 - E_{Si} \cdot S_{ii}} \quad (1)$$

[0072] 这样每个端口都得到由三个测量方程组成的方程组,求解这个方程组可以得到每个端口的 E_{Di} 、 E_{Si} 和 E_{Ri} 共3项误差, N 个端口分别完成单端口校准后可以确定 $3N$ 项误差。

[0073] b.通过隔离校准确定串扰误差。校准时在所有端口连接负载,当考虑任意两个端口 i, j 间的串扰误差时,多端口误差模型可以简化为全二端口误差模型,如图5所示。

[0074] 根据误差模型,当 i 端口激励 j 端口接收时,被测件的测量值 S_{jim} 、真实值 S_{ii} 和误差项间满足如下等式:

$$S_{jim} = \frac{E_{Tji}}{1 - E_{Lji}S_{jj} - E_{Si}S_{ii} - E_{Lji}E_{Si}S_{ji}S_{ij} + E_{Lji}E_{Si}S_{ii}S_{jj}} S_{ji} + E_{Xji} \quad (2)$$

[0076] 同理 j 端口激励 i 端口接收时可以得到如下等式:

$$S_{ijm} = \frac{E_{Tij}}{1 - E_{Lij}S_{ii} - E_{Sj}S_{jj} - E_{Lij}E_{Sj}S_{ji}S_{ij} + E_{Lij}E_{Sj}S_{ii}S_{jj}} S_{ij} + E_{Xij} \quad (3)$$

[0078] 因为端口连接负载,负载 S 参数的定义为: $S_{ij} = S_{ji} = S_{ii} = S_{jj} = 0$,根据等式(2)和(3)求得 $E_{Xij} = S_{ijm}$, $E_{Xji} = S_{jim}$,这样在任意两个端口间进行隔离校准,测量对应两个端口间的传输参数,可以确定全部的 $N(N-1)$ 项串扰误差。

[0079] c.通过直通校准确定负载匹配和传输跟踪误差。任意两个端口间直通,此时用图5所示的两端口误差模型进行分析,此时被测件的两个反射测量值、真实值和误差项间的关系满足如下等式:

$$S_{iim} = E_{Di} + \frac{(1 - E_{Lji}S_{jj})S_{ii} + E_{Lji}S_{ij}S_{ji}}{1 - E_{Lji}S_{jj} - E_{Si}S_{ii} - E_{Lji}E_{Si}S_{ij}S_{ji} + E_{Lji}E_{Si}S_{ii}S_{jj}} E_{Ri} \quad (4)$$

$$S_{jjm} = E_{Dj} + \frac{(1 - E_{Lij}S_{ii})S_{jj} + E_{Lij}S_{ij}S_{ji}}{1 - E_{Lij}S_{ii} - E_{Sj}S_{jj} - E_{Lij}E_{Sj}S_{ij}S_{ji} + E_{Lij}E_{Sj}S_{ii}S_{jj}} E_{Rj} \quad (5)$$

[0082] 因为两个端口间进行的是理想直通,因此校准件的传输系数 $S_{ij} = S_{ji} = 1$,反射系数 $S_{ii} = S_{jj} = 0$,并且等式(4)和(5)中的其他误差项已知,因此可以求解出端口 i 和端口 j 之间的负载匹配误差 E_{Lij} 和 E_{Lji} ,根据等式(2)和(3)可以求解出两个端口间的传输跟踪误差 E_{Tij} 和 E_{Tji} 。

[0083] 多端口校准过程非常复杂,以全十六端口校准为例,完成整个校准过程需要进行48次反射校准连接、240次隔离校准测量和120次直通校准连接,因此需要在减少冗余校准连接技术方面展开研究,简化多端口校准过程,方法如下:

[0084] 在实际测量中串扰误差很小,完全淹没在本机的噪声中,因此可以忽略串扰误差,认为其等于0,这样就可以省去隔离校准步骤。在忽略串扰误差后对误差模型进一步进行变

换会发现模型中的误差项并不是彼此独立的,误差项间满足一定的关系等式,因此可以通过一些已知的误差项直接计算出其他未知误差,而不必通过校准获得。以十六端口误差校准为例,模型中所有的误差项如表1所示。通过48次反射校准可以获得所有的反射误差项,端口1和其他所有端口分别进行直通校准,可以得到相关的直通误差项,即表格中第一行和第一列中的直通误差项,其他端口间的直通误差项可以通过如等式(6)所示的方法得到:

$$E_{ij} = \frac{E_{i1}E_{1j}}{E_1} \tag{6}$$

[0085] 这样十六端口的校准过程由需要进行48次反射校准、240次隔离校准和120次直通校准简化为只需进行48次反射校准和15次直通校准。

[0086] 表1十六端口模型中所有的误差项

[0087]

		激励端口				
		1	2	3	16
接收端口		E_{D1}	$E_{L1,2}$	$E_{L1,3}$		$E_{L1,16}$
		E_{R1}	$E_{T1,2}$	$E_{T1,3}$...	$E_{T1,16}$
		E_{S1}	$E_{X1,2}$	$E_{X1,3}$		$E_{X1,16}$
		$E_{L2,1}$	E_{D2}	$E_{L2,3}$		$E_{L2,16}$
		$E_{T2,1}$	E_{R2}	$E_{T2,3}$...	$E_{T2,16}$
		$E_{X2,1}$	E_{S2}	$E_{X2,3}$		$E_{X2,16}$
		$E_{L3,1}$	$E_{L3,2}$	E_{D3}		$E_{L2,16}$
		$E_{T3,1}$	$E_{T3,2}$	E_{R3}	...	$E_{T2,16}$
		$E_{X2,1}$	$E_{X2,2}$	E_{S3}		$E_{X2,16}$
		

[0088]

6	$E_{L16,1}$	$E_{L16,2}$	$E_{L16,3}$		E_{D16}
	$E_{T16,1}$	$E_{T16,2}$	$E_{T6,3}$...	E_{R16}
	$E_{X16,1}$	$E_{X16,2}$	$E_{X16,3}$		E_{S16}

[0089] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解,本领域普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此,凡本领域技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案,皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

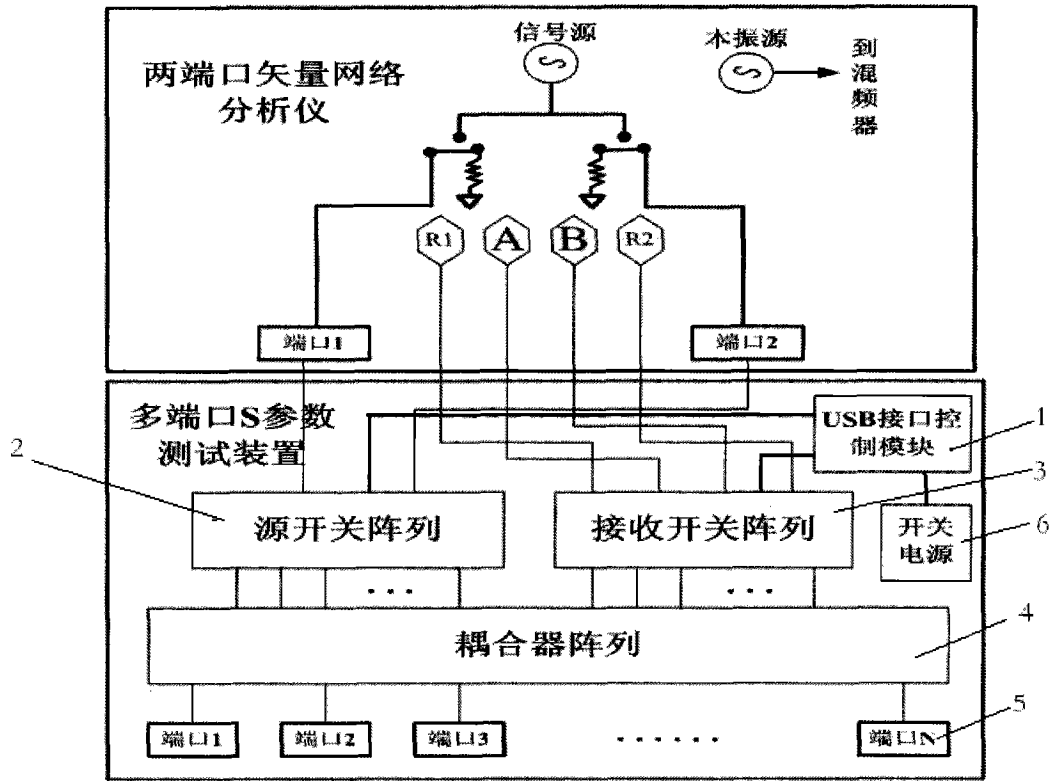


图1

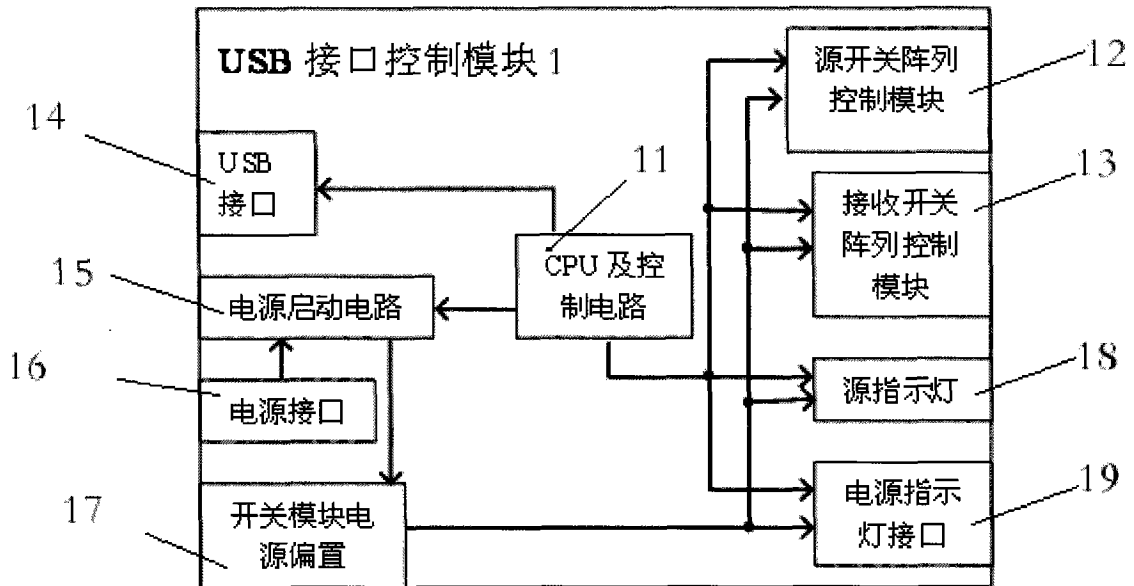


图2

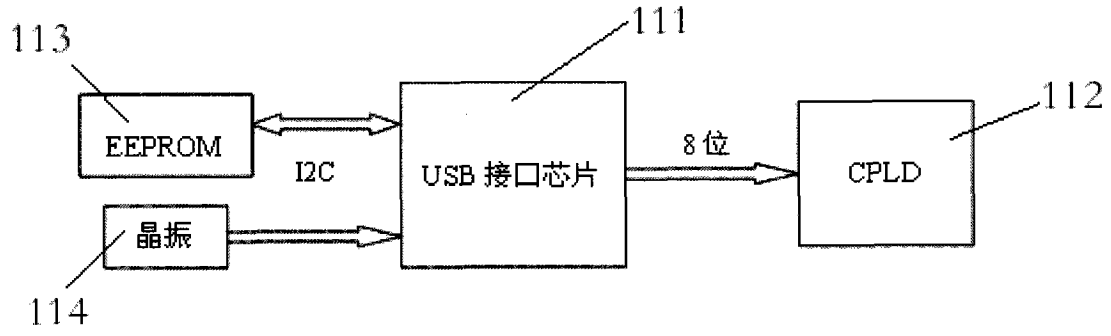


图3

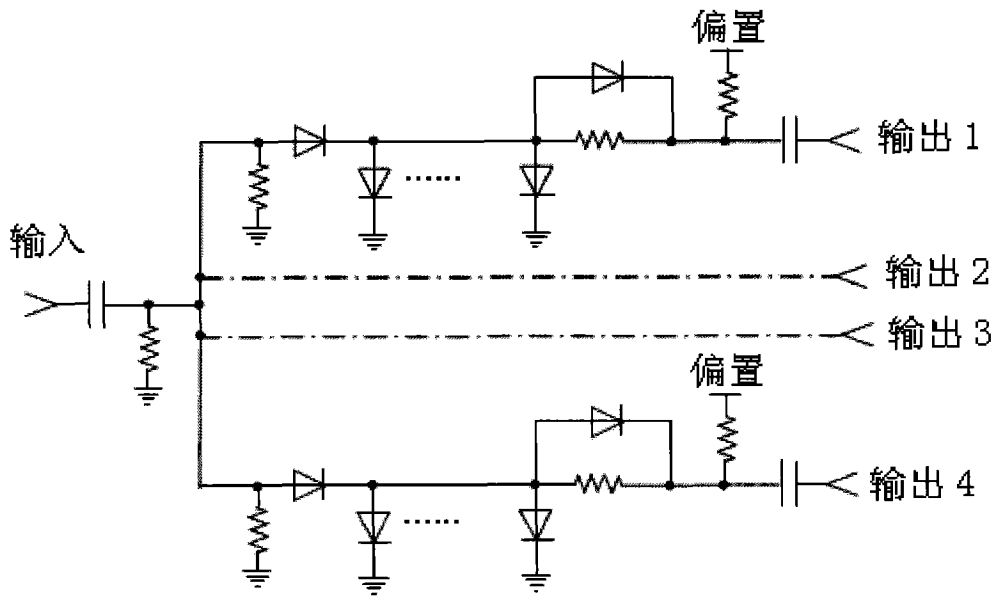


图4

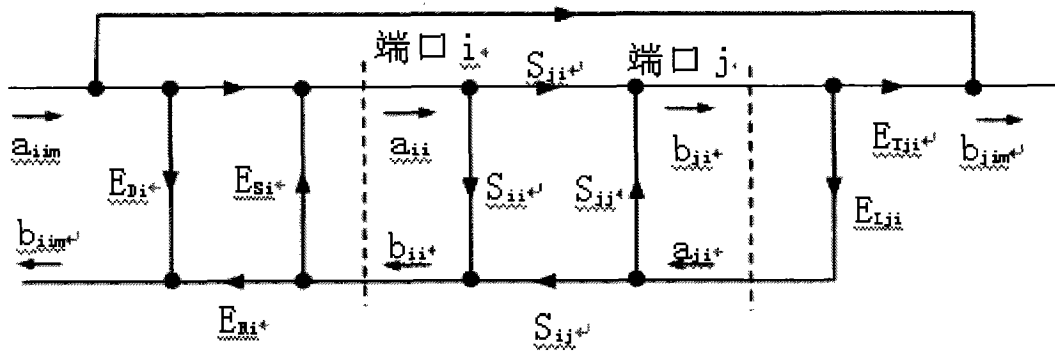


图5