(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105911499 A
(43)申请公布日 2016.08.31

(21)申请号 201610504948.X

(22)申请日 2016.06.30

(71)申请人 国网重庆市电力公司电力科学研究院
地址 401123 重庆市渝北区北部新区黄山大道中段80号办公综合楼
申请人 国家电网公司
中国电力科学研究院

(72)发明人 梁星 侯兴哲 周孔均 吴华 周玮 周全 赵福平 陈文礼 米思蓓 李永福 王三强

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246
代理人 胡柯

(51)Int.Cl.
G01R 35/00(2006.01)

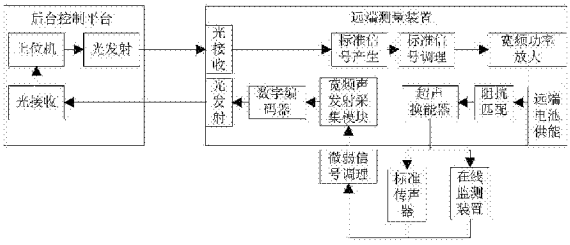
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

现场环境下超声波局部放电计量系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种现场环境下超声波局部放电计量系统，包括后台控制平台和远端测量装置；后台控制平台包括上位机和第一光发射接收模块；上位机与第一光反射接收模块连接；所述远端测量装置包括第二光发射接收模块、标准信号产生模块、标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器、超声换能器、标准传声器、宽频声发射采集模块、数字编码器和远端电池供电模块；本发明提供的现场环境下超声波局部放电计量系统，加强了对超声波局放检修测量数据准确性、可靠性的技术管控能力，可有效监督运行中的带电检测仪器和在线监测装置测量数据的可靠性，加强对超声波局放在线监测装置测量数据的准确性和可靠性的监督。



CN 105911499 A

1.现场环境下超声波局部放电计量系统，其特征在于：包括后台控制平台和远端测量装置；所述后台控制平台包括上位机和第一光发射接收模块；所述上位机与第一光反射接收模块连接；所述远端测量装置包括第二光发射接收模块、标准信号产生模块、标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器、超声换能器、标准传声器、宽频声发射采集模块、数字编码器和远端电池供电模块；

所述第二光发射接收模块通过光纤与第一光发射接收模块连接，用于接收上位机指令与发出远端测量装置的测量数据；

所述第二光发射接收模块与标准信号产生模块连接；所述标准信号产生模块依次与标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器和超声换能器连接；

所述超声换能器分别与标准传声器和线监测装置连接；

所述，并将微弱信号输入到微弱信号调理电路，并输出信号至编码器；

所述宽频声发射采集模块用于采集在线监测装置和标准传声器输出信号的差分采样信号；所述差分采样信号通过数字编码器与第二光反射接收模块连接；

所述远端电池供电模块分别与远端测量装置中的各模块连接。

2.如权利要求1所述的现场环境下超声波局部放电计量系统，其特征在于：所述宽频功率放大模块输出频率为20kHz-200kHz的信号；输出功率为20W-40W。

3.如权利要求1所述的现场环境下超声波局部放电计量系统，其特征在于：所述第一光发射接收模块包括第一光发射器和第一光接收器；所述第二光发射接收模块包括第二光发射器和第二光接收器；

所述第一光发射器分别与上位机和第二光接收器连接；

所述第一光接收器分别与上位机和第二光发射器连接；

所述第二光接收器与标准信号产生模块连接；

所述第二光发射器与数字编码器连接。

4.如权利要求1所述的现场环境下超声波局部放电计量系统，其特征在于：所述标准传声器与设置于GIS管道上的压电晶体连接；

所述在线监测装置与设置于GIS管道上的被测传感器连接；

所述标准仪器与设置于GIS管道上的标准传感器连接。

5.如权利要求1所述的现场环境下超声波局部放电计量系统，其特征在于：所述宽频声发射采集模块采用差分声发射采集卡。

6.如权利要求1所述的现场环境下超声波局部放电计量系统，其特征在于：所述超声波标准信号源包括FPGA控制器、D/A转换器、低通滤波器和电压放大器；

所述FPGA控制器一端与第二光接收器连接；所述FPGA控制器另一端与D/A转换器的输入端连接；所述D/A转换器的输出端依次与低通滤波器和电压放大器连接。

7.现场环境下超声波局部放电计量方法，其特征在于：包括以下步骤：

利用标准信号产生模块输出声源信号；

计算被测在线监测装置输出信号幅值与标准传声器输出信号幅值之比；

将幅值之比的最大值作为信号频率的主谐振频率；

将超声波信号频率调至主谐振频率；

获取设置于GIS管道上的测传感器的位置；

测量上和下限截止频率；

测量在线监测装置的灵敏度；

计算局放测试仪响应的迟滞时间；

计量标准的计量溯源。

现场环境下超声波局部放电计量系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及计量领域，特别是一种现场环境下超声波局部放电计量系系统。

背景技术

[0002] 现场环境与实验室环境有着极大的不同，如温度、湿度、电磁干扰和辐射等干扰容易引起测量误差的变化，现场环境对电气装置的影响如图1.1。目前我国在电力设备局部放电检测领域，超声波检测局部放电量法已经得到大规模的普及与应用，然而作为局部放电检测工作基础的超声波局放检测仪在“现场使用环境下”测量数据的准确性和可靠性方面，仍然存在着性能参数参差不齐、标准化程度低等诸多问题，在很大程度上影响了超声波局放检测技术的标准化、规范化、实用化发展。

[0003] 如图1所示，图1为现场环境对被试设备的影响来源示意图，超声波局放测量数据在准确性和可靠性等方面存在的问题主要表现在：

[0004] (1)测量数据的准确性差，历史数据和相邻数据无法比较；

[0005] (2)测量数据的可靠性差，由于在线监测设备的稳定差性差，导致测量结果的可靠性差；

[0006] (3)电磁兼容可靠性差，测量结果甚至基本功能在施加电磁兼容性试验环节后出现较大偏差，部分试品不能正常工作；

[0007] (4)现场条件和实验室条件差别很大，许多带电检测仪器和在线监测装置在投运前没有经过“现场使用环境下”的严格考核，设备投运后可用性低，有的甚至严重影响了一次设备的安全运行。

[0008] 超声波局部放电检测仪是通过检测超声波信号，提取包括幅值、频率、波形等特征量的方法，来判断电力设备是否发生了局部放电现象以及确定包括放电类型和放电位置在内的一系列信息的新型测量手段，随着近年来超声波在金属探伤等领域的成熟应用，超声波局部放电检测技术在电力设备状态监测和检修领域也逐渐推广开来。目前的超声波局部放电检测仪从结构上来讲，分为前端的传感头和后续的信号放大采集部分；从功能上来讲，主要包括判断局部放电的发生与否、放电量大小、放电位置和放电类型；从输入信号来看，以20kHz～200kHz范围内的小幅值、短脉冲信号为主；从输出角度来看，主要输出的是将包括灵敏度、频率、放电位置在内的数字量显示出来，其中小部分的局部放电检测仪可以将检测到的超声波信号转化为数字量后存储，并且还可以导出。然而，由于超声波局部放电检测技术起步较晚，相关技术还不够成熟，造成超声波局部放电检测仪质量良莠不齐，并且，针对超声波局部放电检测仪的相关测试方法与校准规范也还尚未建立，这就令人不得不质疑超声波局部放电检测仪测量数据的准确性和可靠性，限制了超声波局部放电检测技术在电力设备状态检修中的继续推广；目前国内在超声计量研究领域的研究成果仅限于对连续波的计量，而对超声波局放时产生的非连续的超声波信号的计量研究较少，市场上大量使用的超声波局放测试仪的计量性能无法得到有效的评估和判断。

[0009] 由于变电站低压侧母线及其分路出现故障(三相短路、相间短路等)的概率增大，

弱低压侧未安装母差保护，开关动作延迟，可能造成主变压器低压侧绕组变形烧毁，使主变压器绝缘遭到破坏，影响主变压器寿命，对电网安全稳定运行带来较大安全隐患。因此提前判断低压侧母线各分路的绝缘状况，开展开关柜局部放电在线监测工作，对判断开关柜内部的绝缘状况起到很好的辅助作用。作为电网设备的枢纽，电力变压器的运行状况直接影响电网的可靠性。据运行经验，大部分变压器故障都是由于绝缘损伤引发的。变压器的结构相对其他电力设备复杂很多，由于在设计制造上、运输安装过程中，或多或少会存在一些绝缘缺陷，这些缺陷在长期的运行中会产生局部放电并经过积累将造成严重的变压器故障。局部放电试验已成为电力设备出场试验和例行试验中衡量绝缘状况的重要手段。然而，离线试验一般都是在故障出现后或定期进行，缺乏长期有效的跟踪监督；另外，离线试验的条件也与设备运行时的状况有较大的差异，不能准确反映运行状态。局部放电的在线监测是在运行过程中对局部放电参数进行监测的一种手段，它能够实现长期跟踪监督，更能准确反映在电力设备在运行过程中的实际状况。同时在线监测大大减少了停电带来的损失。因此，在线监测具有重要的现实意义和经济价值。

[0010] 所以亟需一种超声波局放带电检测仪计量系统。

发明内容

[0011] 本发明的目的就是提供一种超声波局放带电检测仪计量系统，该系统可有效监督运行中的带电检测仪器和在线监测装置测量数据的可靠性。

[0012] 本发明的目的是通过这样的技术方案实现的：

[0013] 本发明提供的一种现场环境下超声波局部放电计量系统，包括后台控制平台和远端测量装置；所述后台控制平台包括上位机和第一光发射接收模块；所述上位机与第一光反射接收模块连接；所述远端测量装置包括第二光发射接收模块、标准信号产生模块、标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器、超声换能器、标准传声器、宽频声发射采集模块、数字编码器和远端电池供电模块；

[0014] 所述第二光发射接收模块通过光纤与第一光发射接收模块连接，用于接收上位机指令与发出远端测量装置的测量数据；

[0015] 所述第二光发射接收模块与标准信号产生模块连接；所述标准信号产生模块依次与标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器和超声换能器连接；

[0016] 所述超声换能器分别与标准传声器和线监测装置连接；

[0017] 所述，并将微弱信号输入到微弱信号调理电路，并输出信号至编码器；

[0018] 所述宽频声发射采集模块用于采集在线监测装置和标准传声器输出信号的差分采样信号；所述差分采样信号通过数字编码器与第二光反射接收模块连接；

[0019] 所述远端电池供电模块分别与远端测量装置中的各模块连接。

[0020] 进一步，所述宽频功率放大模块输出频率为20kHz-200kHz的信号；输出功率为20W-40W。

[0021] 进一步，所述第一光发射接收模块包括第一光发射器和第一光接收器；所述第二光发射接收模块包括第二光发射器和第二光接收器；

[0022] 所述第一光发射器分别与上位机和第二光接收器连接；

[0023] 所述第一光接收器分别与上位机和第二光发射器连接；

[0024] 所述第二光接收器与标准信号产生模块连接；

[0025] 所述第二光发射器与数字编码器连接。

[0026] 进一步，所述标准传声器与设置于GIS管道上的压电晶体连接；

[0027] 所述在线监测装置与设置于GIS管道上的被测传感器连接；

[0028] 所述标准仪器与设置于GIS管道上的标准传感器连接。

[0029] 进一步，所述宽频声发射采集模块采用差分声发射采集卡。

[0030] 进一步，所述超声波标准信号源包括FPGA控制器、D/A转换器、低通滤波器和电压放大器；

[0031] 所述FPGA控制器一端与第二光接收器连接；所述FPGA控制器另一端与D/A转换器的输入端连接；所述D/A转换器的输出端依次与低通滤波器和电压放大器连接。

[0032] 本发明还提供了一种现场环境下超声波局部放电计量方法，包括以下步骤：

[0033] 利用标准信号产生模块输出声源信号；

[0034] 计算被测在线监测装置输出信号幅值与标准传声器输出信号幅值之比；

[0035] 将幅值之比的最大值作为信号频率的主谐振频率；

[0036] 将超声波信号频率调至主谐振频率；

[0037] 获取设置于GIS管道上的测传感器的位置；

[0038] 测量上和下限截止频率；

[0039] 测量在线监测装置的灵敏度；

[0040] 计算局放测试仪响应的迟滞时间；

[0041] 计量标准的计量溯源。

[0042] 由于采用了上述技术方案，本发明具有如下的优点：

[0043] 本发明提供的现场环境下超声波局部放电计量方法，加强了对超声波局放检修测量数据准确性、可靠性的技术管控能力，可有效监督运行中的带电检测仪器和在线监测装置测量数据的可靠性，并有助于对入网工作进行技术把关，有效推进超声波局放检测仪器和在线监测装置的计量检测技术、计量检测装备、生产制造标准、采购订货标准、交接试验标准和周检试验标准的进步，有助促进生产行业发现产品的技术薄弱点，更加明确产品的标准化制造方向、关键技术发展方向，以更加适应电力生产部门的状态检修工作需求。加强对超声波局放在线监测装置测量数据的准确性和可靠性的监督，有效提高事故预判和排查能力，进一步提高安全生产水平和检修工作效率。

[0044] 本发明的其他优点、目标和特征在某种程度上将在随后的说明书中进行阐述，并且在某种程度上，基于对下文的考察研究对本领域技术人员而言将是显而易见的，或者可以从本发明的实践中得到教导。本发明的目标和其他优点可以通过下面的说明书来实现和获得。

附图说明

[0045] 本发明的附图说明如下。

[0046] 图1为现场环境对被试设备的影响来源示意图。

[0047] 图2为加低通滤波电路仿真图。

[0048] 图3a为R＝4.99k，C＝68nF，上限频率469Hz示意图。

[0049] 图3b为R＝4.99k,C＝4.7nF,上限频率6.78kHz示意图。

[0050] 图4为加TVS管电路仿真图。

[0051] 图5为超声波局放在线监测装置的现场计量标准原理图。

[0052] 图6为超声波标准信号源硬件结构图。

[0053] 图7为功率放大模块电路原理图。

[0054] 图8为电光转换模块原理图。

[0055] 图9为光电转换模块原理图。

[0056] 图10为接触式测量结构图。

[0057] 图11为量值传递示意图。

[0058] 图12为灵敏度的比较法校准装置框图。

[0059] 图13为电信号采集系统幅值溯源图。

[0060] 图14为电信号采集系统频率溯源图。

具体实施方式

[0061] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0062] 实施例1

[0063] 如图所示,本实施例提供的一种现场环境下超声波局部放电计量系统,包括后台控制平台和远端测量装置;所述后台控制平台包括上位机和第一光发射接收模块;所述上位机与第一光反射接收模块连接;所述远端测量装置包括第二光发射接收模块、标准信号产生模块、标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器、超声换能器、标准传声器、宽频声发射采集模块、数字编码器和远端电池供电模块;

[0064] 所述第二光发射接收模块通过光纤与第一光发射接收模块连接,用于接收上位机指令与发出远端测量装置的测量数据;

[0065] 所述第二光发射接收模块与标准信号产生模块连接;所述标准信号产生模块依次与标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器和超声换能器连接;

[0066] 所述超声换能器分别与标准传声器和线监测装置连接;

[0067] 所述,并将微弱信号输入到微弱信号调理电路,并输出信号至编码器;

[0068] 所述宽频声发射采集模块用于采集在线监测装置和标准传声器输出信号的差分采样信号;所述差分采样信号通过数字编码器与第二光反射接收模块连接;

[0069] 所述远端电池供电模块分别与远端测量装置中的各模块连接。

[0070] 所述宽频功率放大模块输出频率为20kHz-200kHz的信号;输出功率为20W-40W。

[0071] 所述第一光发射接收模块包括第一光发射器和第一光接收器;所述第二光发射接收模块包括第二光发射器和第二光接收器;

[0072] 所述第一光发射器分别与上位机和第二光接收器连接;

[0073] 所述第一光接收器分别与上位机和第二光发射器连接;

[0074] 所述第二光接收器与标准信号产生模块连接;

[0075] 所述第二光发射器与数字编码器连接。

[0076] 所述标准传声器与设置于GIS管道上的压电晶体连接;

[0077] 所述在线监测装置与设置于GIS管道上的被测传感器连接;

[0078] 所述标准仪器与设置于GIS管道上的标准传感器连接。

[0079] 所述宽频声发射采集模块采用差分声发射采集卡。

[0080] 所述超声波标准信号源包括FPGA控制器、D/A转换器、低通滤波器和电压放大器；

[0081] 所述FPGA控制器一端与第二光接收器连接；所述FPGA控制器另一端与D/A转换器的输入端连接；所述D/A转换器的输出端依次与低通滤波器和电压放大器连接。

[0082] 本实施例还提供了一种现场环境下超声波局部放电计量方法，包括以下步骤：

[0083] 利用标准信号产生模块输出声源信号；

[0084] 计算被测在线监测装置输出信号幅值与标准传声器输出信号幅值之比；

[0085] 将幅值之比的最大值作为信号频率的主谐振频率；

[0086] 将超声波信号频率调至主谐振频率；

[0087] 获取设置于GIS管道上的测传感器的位置；

[0088] 测量上和下限截止频率；

[0089] 测量在线监测装置的灵敏度；

[0090] 计算局放测试仪响应的迟滞时间；

[0091] 计量标准的计量溯源。

[0092] 实施例2

[0093] 本实施例提供的超声波局放带电检测仪计量系统，超声波在线监测设备主要由声电转换、前置放大、模数转换和信号处理显示等四个基本部分组成，电气设备发生局部放电的过程中，当发生局部放电时，放点区域的分子间将产生剧烈的碰撞，产生一连串的脉冲。利用安装在电力设备上的超声波传感器来检测局部放电发生时由电子间剧烈碰撞产生的超声波信号，通过对超声波幅值大小，相位分布以及频谱分析可实现对局部放电的检测。同时在电力设备箱壁上不同位置安装多个超声波传感器，并比较分析各信号的时延可实现局部放电源的定位。

[0094] 在实际工况下，超声波局部放电在线监测装置检测的核心量值是超声波信号的幅值和频率，根据这两个特征量，结合其内置的一系列算法，能够判断局部放电发生与否、放电类型等等信息，因此，针对超声波局部放电在线监测装置的现场计量标准也应当将这两个量值作为核心量值来进行量值溯源，本溯源体系就是以脉冲正弦波的幅值与频率作为溯源的核心量值来建立的。

[0095] 将声发射传感器和信号放大采集部分分开溯源。

[0096] 声发射传感器目前大都采用《GB/T 19801-2005无损检测声发射检测声发射传感器的二级校准》中的比较法，与中国计量院的标准声发射传感器进行溯源；

[0097] 而信号采集部分则可以采用JJG(航天)34-1999《交流数字电压表检定规程》中的校准方法，采用标准源法进行溯源。

[0098] 超声波局部放电在线监测计量标准针对的是在现场带电运行情况下的超声波局部放电在线监测装置，目的是对带电状态下的超声波局部放电在线监测装置的测量数据准确性与可靠性进行校准。

[0099] 采用的方法是以标准传声器为核心的标准表法，针对目前超声波局部放电在线监测装置所测量超声波频率与幅值这两个核心量进行校准，建立超声波局部放电在线监测装置的溯源体系，提高超声波局部放电检测仪的计量可靠性。

[0100] 分析现场环境下与实验室环境的差异性：

[0101] 相较于实验室用超声波局部放电检测仪，超声波局部放电在线监测装置所在的现场环境更加复杂，有大量的现场噪声干扰以及电磁干扰，这就要求校准装置本身需要有很强的抗干扰能力；同时，由于现场安装要求，传感器所在的远端测量装置需要安装在高压侧附近，而上位机的分析平台则需要在操作控制台附近，这之间存在物理距离，这就要求远端测量装置需要独立进行供能；超声波在SF6中的衰减为26dB/m，高于空气中的衰减强度，同时GIS管道的直径要求源与传感器之间的距离要高于实验室环境下的超声波局放检测仪计量标准中的距离，声波的衰减与传播距离呈指数关系，所以要求标准源输出功率比实验室环境下要高得多；最后，现场环境下，超声波信号可能会和环境中的噪声混叠，并且基于前述的衰减问题，超声波信号透过GIS管道后可能已经衰减的很弱，针对这样的宽频微弱信号，还需要增加前置放大器，对信号进行放大降噪处理，提高信噪比。

[0102] 本装置的目的是为了对现有的超声波局部放电在线监测装置建立相应的计量标准，目前的超声波局部放电在线监测装置主要的监测物理量是超声波的频率、幅值、波形等信息，这些特征量也是反映电力设备内部局部放电量、放电位置、放电类型等信息的关键特征量，同时结合超声波局部放电在线监测装置的监测信息，对本装置的参数指标设计如下：

[0103] 准确度：标准中对准确度的要求为通频带内误差不超过10％，根据准确度等级的要求，对计量标准装置的准确度要求则是在通频带内误差不超过3％；

[0104] 灵敏度：标准中对灵敏度的要求为峰值灵敏度不小于60dB(V/(m/s))，平均灵敏度不小于40dB(V/(m/s))，然而，根据调研结果，有一些厂家的超声波局部放电监测装置的峰值灵敏度达到了80dB(V/(m/s))，这就对计量标准的灵敏度提出了更高的要求，本装置设计目标为峰值灵敏度能够达到120dB(V/(m/s))，均值灵敏度达到60dB(V/(m/s))。对于工作于现场的超声波局部放电在线监测装置计量标准来说，高灵敏度就意味着降噪难度的增大，因此，本装置还需要考虑降噪处理环节。

[0105] 检测频带：标准对超声波局部放电在线监测装置的频带要求如下：用于SF6气体绝缘电力设备的超声波检测仪，一般在20kHz～80kHz范围内；对于充油电力设备的超声波检测仪，一般在80kHz～200kHz范围内；对于非接触方式的超声波检测仪，一般在20kHz～60kHz范围内。考虑到本装置应当具有较好的通用性，装置本身的设计频带为20kHz～200kHz，该频带范围提高了超声波信号源与电声转换的难度，需要采用一些新结构与方法来完成上述部分。

[0106] 脉冲频率误差：标准对检测仪频率测量要求规定如下：测试仪检测频率应提供在频率测量范围的测试中心频率值，在其测量范围内，准确度等级应不低于5％。根据准确度等级相关规定，本计量标准装置应当在20kHz～200kHz的测量范围内，准确度等级不低于1.5％。

[0107] 线性度误差：标准对于线性度误差要求如下：线性度误差不大于±20％，根据准确度等级相关规定，本计量标准装置的线性度误差不大于±6％。

[0108] 稳定性：标准对于稳定性要求为：局部放电超声波检测仪连续工作1小时后，注入恒定幅值和频率的正弦波信号时，其响应值的变化不应超过±20％。根据准确度等级相关规定，本计量标准装置的稳定性要求则为时间间隔为1小时的两次测量中，注入恒定幅值和频率的正弦波信号时，其响应值的变化不应超过±6％。

[0109] 时间性能：标准中并未对超声波检测仪的时间性能做相关规定，但是超声波检测仪通过多个超声探头测得的时间差，就能够对局部放电位置进行定位，因此，通过校准超声波检测仪的响应时间离散性，就能够对其定位放电位置这一测量信息的准确性进行检测。

[0110] a)加低通滤波电路：低通滤波电路可以滤除信号中的高频成分。采用RC无源低通滤波，仿真电路图如图2所示。图2为加低通滤波电路仿真图；

[0111] 仿真中通过调整滤波电路的参数来改变其上限频率值，仿真结果如图所示。图3a为R＝4.99k，C＝68nF，上限频率469Hz示意图；图3b为R＝4.99k，C＝4.7nF，上限频率6.78kHz示意图；

[0112] 加低通滤波电路可有效降低高频感应输出的幅值。图中可以看出，随着RC滤波电路上限截止频率的增大，其滤高频的效果也变差。对于设计的标准器，当RC滤波电路的上限截止频率达到6.78kHz时，经滤波电路输出的暂态电压峰值也有4V，此时已超过A/D转换器的额定输入的2倍(额定值为2V，对应的一次电流为12000A)，即使A/D转换器没有饱和，其输出的值也过大，将会导致继保设备误动作。因此，在设置低通滤波器时，应在充分考虑被测对象频率范围的前提下，适当降低滤波器的上限频率。

[0113] b)加瞬态电压抑制二极管(TVS)管：TVS管在承受一个高能量的瞬态过电压时，其工作阻抗可立即降到一个很低的导通值，允许大电流通过，并将电压钳制到预定的水平。ATP-EMTP中虽没有TVS管的模型，但可以通过其中的MOV Type 92元件构建。仿真电路图如下图所示。由于A/D转换其输出额定值为2V，峰值为2.828V，考虑TVS管要能使正常情况的电压无衰减的通过并考虑一定裕量，选取TVS管的钳位电压为5V。图4为加TVS管电路仿真图，可以看出，TVS管可以将电压值钳制在5V以下。

[0114] 设计原理和设计：测仪计量标准有着很大的区别，需要做到更高的抗干扰性能，更大的输出功率，更高的灵敏度以及应对现场实际安装情况，这就使得超声波局部放电在线监测装置计量标准的结构与实验室超声波局部放电检测仪计量标准有所区别。

[0115] 图5为超声波局放在线监测装置的现场计量标准原理图；超声波局放在线监测装置现场核查标准主要由后台控制平台和远端测量装置两部分构成。其中，后台控制平台起远距离控制和数据接收、分析与显示作用；远端测量装置主要起标准信号的产生、发射和测量信号的数字化、光发射等作用。

[0116] 从硬件结构上来说，后台控制平台主要包括上位机与光发射接收模块，上位机主要作用为发出指令，控制标准超声信号源产生对应频率与幅值的正弦信号，由于远端测量装置需要靠近被测试在线监测装置与GIS管道，为了减小外界电磁干扰、减小传输的误码率以及做好电气隔离，采用光纤传输上位机指令和接收远端测量装置传输数据，因此，还需要有光发射模块和光接收模块。

[0117] 远端测量装置主要包括光发射接收模块、标准信号产生模块、标准信号调理模块、宽频功率放大模块、阻抗匹配器、超声换能器、标准传声器、宽频声发射采集模块、数字编码器以及远端电池供电模块。光发射接收模块主要是接收上位机指令与发出远端测量装置测量结果；标准信号产生模块核心是由FPGA以及外围电路构成的，其主要作用是接收上位机指令，采用DDS方式产生对应所需频率与幅值的正弦信号的离散数字量；标准信号调理模块针对前端输入的离散数字量，通过D/A卡进行转化，产生模拟量，由于模拟量中还含有高次谐波，因此，需要采用高精度、低漂移的滤波器对其进行滤波；宽频功率放大模块是针对前

端输入的标准的小信号进行功率放大，用来驱动后续的超声换能器，频带要求较高；阻抗匹配器主要作用是匹配超声换能器阻抗，提高超声换能器接收到的功率，需要在宽频带内达到阻抗匹配，保证功率传输稳定；超声换能器目前主要为压电晶体结构，其主要作用是在宽频带范围内将电信号稳定的转化为声信号，并且在电功率稳定的前提下需要保证声信号的同样稳定；标准传声器也是采用压电晶体结构，针对现场复杂的电磁环境与噪声干扰，需要采用高灵敏度传感器；宽频声发射采集模块主要针对在线监测装置和标准传声器的输出信号进行高精度的差分采样，并输出信号至编码器；数字编码器主要将前端的并行数字信号编码后进行输出，便于后续光发射模块的电光转换。

[0118] 综上所述，用于现场在线监测装置具有以下优点：

[0119] a)宽频带强功率功放模块，由于信号源输出信号为20kHz-200kHz范围，因此，功率放大器需要能够放大20kHz-200kHz范围的信号，同时针对现场实际情况，超声波局放在线监测装置的传感头一般都附着在GIS管道上，计量装置的超声功率源需要产生足够穿透GIS管道的强度的信号，声波在SF6气体中衰减呈指数形式，其系数为26dB/m，因此在管道直径1m的情况下，仅考虑气体中衰减，需要功率是10W，考虑超声波信号在穿透两层GIS管壁过程中会有衰减，则需要功率放大器能够提供20W的功率。

[0120] b)宽频带前端放大器，由于现场的GIS对超声波强度衰减远高于实验室环境下的空气衰减，传感器输出信号为mV级，这对后续的采集显然是不匹配的，因此需要加上前端放大器，对信号进行放大后再采集，并且放大过程中还需要考虑提高信噪比的问题。

[0121] c)宽频差分声发射采集卡，由于在现场环境下标准传声器位置固定，并且声波信号在SF6中衰减远比空气中大，GIS管道的直径限制了声源与传感器之间的距离要比实验室计量装置的距离大，因此，标准传声器采集到的信号可能会很小，并且噪声也会比实验室环境下的大，为提高信噪比，除了提高传感器的灵敏度以外，还需要对传声器输出的小信号进行前端放大以及去噪处理，同时，对处理后的信号需要使用高速的差分采集卡进行采集；

[0122] d)数字编码器，由于现场远端采集卡输出信号为并行的高速率信号，采样率高达10MS/s，为了简化现场接线，只能采用一根光纤进行数据传输，因此需要对这些并行数据进行重新编码，使得其能够高速率的串行输出，并且还要保证输出的准确性。针对这样高速率高传输准确性的要求，需要研究一种数字编码协议，使得测量前端的数据能够快速准确的传输到后台。

[0123] e)光发射接收模块，由于前端的采样率高达10MS/s，所以前端数据量很大，原来应用于传统计量装置中的光发射接收系统可能无法适应这样的高速率转换，因此需要对原有的光发射接收方法进行改进。

[0124] f)供能模块，由于现场装置测量采集部分集成在远端，靠近GIS管道，故需要采用电池进行供电，考虑到实际校准时还需要进行稳定性的测试，因此，电池容量以及供能的稳定性都需要解决。

[0125] 超声波标准信号源，采用FPGA控制核心与D/A转换器实现，总体技术方案与实验室超声波局部放电计量标准一致，将20kHz～200kHz的正弦波波形数据存入FPGA中，采用上位机选择相应波形参数输出，输出数字量经由D/A数模转换器转换为模拟量，并且对模拟量进行低通滤波，滤除由于离散数字量转化为连续模拟量时产生的高次谐波，图6为超声波标准信号源硬件结构图；功放芯片选择是APEX公司的PA09芯片，该芯片可输出±38V电压，电流

最高可到2A。

[0126] 图7为功率放大模块电路原理图;阻抗匹配器的作用是在宽频带上对超声换能器进行阻抗的匹配,从而减小由于换能器本身阻抗参数导致的无功功率损失,提高能量转换的效率,稳定超声换能器的输入功率。为了使超声换能器在20kHz～200kHz的频带范围内都能获得最大的传输功率增益TPG,需要在所需的频带范围内对换能器进行宽带阻抗匹配。在进行阻抗匹配的过程中,我们要先用阻抗分析仪对超声换能器在频带范围内的阻抗特性进行测量。然后采用简化实频法进行阻抗匹配,通过最优化算法得到一个匹配网络。

[0127] 超声换能器选择PAC公司的S9208,s9208的工作谐振频率为500kHz,工作频带为20-1000kHz,峰值灵敏度为45dB/V/(m/s)。

[0128] 标准传声器选择PAC公司的D9241A和R15D共同组成,其中D9241A负责20kHz-100kHz的频带范围,R15D负责100kHz-200kHz的频带范围。D9241A的谐振频率为30kHz,峰值灵敏度为82dB/V/(m/s)。R15D的谐振频率为75kHz,峰值灵敏度为69dB/V/(m/s)。这两个超声波传感器均为差分式超声波传感器,可以在输出信号中自行滤除外界环境噪声影响。

[0129] 前端放大器选取NF公司的SA-200F3,该前端放大器工作频带为DC～700kHz范围,满足频带要求,输出信号可达到±5V,同时还能够较好的抑制噪声。

[0130] 差分声发射采集卡选取NI公司PCI-6115数据采集卡。NI PCI-6115具有每通道10MS/s的采样速率、8个±0.2V到±42V的输入范围、板载抗混叠滤波器、2路12位模拟输出、2个24位计数器/定时器和8条通用数字I/O线,适合各种应用。

[0131] 光接收发射作用是接收光信号,转化为电信号输出以及接收电信号,转化为光信号输出,其中,光发射器采用HFBR1414为核心,同时还需要一系列的外围信号调制电路;光接收器采用HFBR2412为核心,对接收到的信号还需要进行解调,才能够还原为原来的电信号。图8为电光转换模块原理图;图9为光电转换模块原理图。

[0132] 远端电池供能,由于远端测量装置功耗较大,初步估算为30W,在进行稳定性测试时需要持续工作一段时间,拟采用大容量电池进行功能。同时,由于测量装置部分需要稳定的电压,否则会影响包括A/D在内的测量装置精度,所以,供能部分对稳压提出了较高要求。

[0133] 接触式的主谐振频率与非接触式有所不同,SF6中为20kHz～80kHz,油中主谐振频率为150kHz,图10为接触式测量结构图;图11为量值传递示意图;图12为灵敏度的比较法校准装置框图;图中,1为标准传感器;2为待测传感器;3为压电晶体。

[0134] 测量方案与非接触式类似,保证声源输出信号幅值稳定,调整频率,寻找局放检测仪的主谐振频率,以被测在线监测装置输出信号幅值与标准传声器输出信号幅值之比为参考值,该值最大时,信号频率即为主谐振频率。由于GIS管道上本身已经安装好被测传感器,该传感器对准的位置即监测位置,若将其取下校准,则会在再次安装回管道时影响在线监测设备后续的正常工作,而且在带电情况下拆装难度很大,因此考虑将检测装置的信号源与标准传声器都安装在GIS管道上进行校准测试,保证被测的在线监测设备能够在后续继续稳定工作,在校准时尽量小的影响被试装置也是带电校验时应当做到的目标。标准传声器应选择在20～200kHz范围内频率响应平坦的换能器,国标中采用的是NBS锥形换能器,但该换能器在100kHz～1MHz范围内频率响应平坦,故需要挑选一款在20kHz～200kHz范围内频率响应平坦的传声器。

[0135] 接触式线性度检测:将超声波信号频率调至主谐振频率,调整输出幅值,以在线监

测装置满量程时激励信号电压值为U,从0.1U～U之间均匀取10个点,进行激励,检测在线监测装置与标准传声器输出幅值之比为参考值。

[0136] 接触式带宽检测:以主谐振频率为基准频率,在线监测装置与标准传声器输出信号幅值之比为1,在保证激励信号幅值不变的前提下,降低激励信号频率,直至在线监测装置测得信号与标准传声器测得信号之比为基准频率下的0.512,测得下限截止频率,同理可测上限截止频率。

[0137] 接触式灵敏度检测:由声源信号发生器产生一个幅值稳定、频率为主谐振频率的正弦超声波信号,由标准传声器输出来推算输出信号的声强,将被测仪器输出值与声强信号比值作为超声波局放在线监测装置的灵敏度。

[0138] 接触式平均灵敏度检测:由声源信号发生器产生一系列幅值稳定、频率以主谐振频率为基准,频率范围一定的正弦超声波信号,由标准传声器输出来推算输出信号的声强,将被测仪器输出值与声强信号比值作为超声波局放检测仪的灵敏度,计算其平均灵敏度大小。

[0139] 接触式脉冲波形检测:由声源信号发生器产生一主谐振频率信号,信号持续一个周期,观察测得信号频率以及测得信号持续时间、幅值等相关特征量,针对GIS中自由颗粒存在与否的检测。

[0140] 接触式波形迟滞检测:声源信号发生器产生一方波信号,信号持续一个周期,观测在线监测设备输出的波形,经过计算得出局放测试仪响应的迟滞时间。

[0141] 计量标准的计量溯源:本计量标准装置从量值传递的角度划分,是由电信号转声信号、声信号转电信号以及电信号测量三部分组成,根据国家计量技术规范JJF1337-2012《声发射传感器校准规范(比较法)》,声信号传感器溯源图如下:

[0142] 高电压计量站有精密脉冲幅度测量仪和频率计,这里使用标准表法,来对待测的电信号采集系统进行校准,电信号采集系统溯源如图13为电信号采集系统幅值溯源图;图14为电信号采集系统频率溯源图。

[0143] 由于超声波局放检测不仅仅是依靠单独一个传感器实现的放电量的检测,在定位的时候,需要的不仅仅是一个传感器的单独工作,需要的是一个传感器阵列的协同工作,主要是依据在不同位置的超声波传感器接收到信号的时间差来计算声源位置,

[0144] 因此,在针对超声波局放检测装置的校准中,还应当考虑超声波局放检测装置的时间性能,本计量标准将整个标准装置拆分为两部分进行溯源,最后进行不确定度的合成,声发射传感器与标准参考传感器采用比较法进行溯源,电信号的放大采集系统则与高电压计量站的精密脉冲幅度计和频率计进行溯源,解决目前超声波局部放电检测标准量具缺失的问题。

[0145] 最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本技术方案的宗旨和范围,其均应涵盖在本发明的保护范围当中。

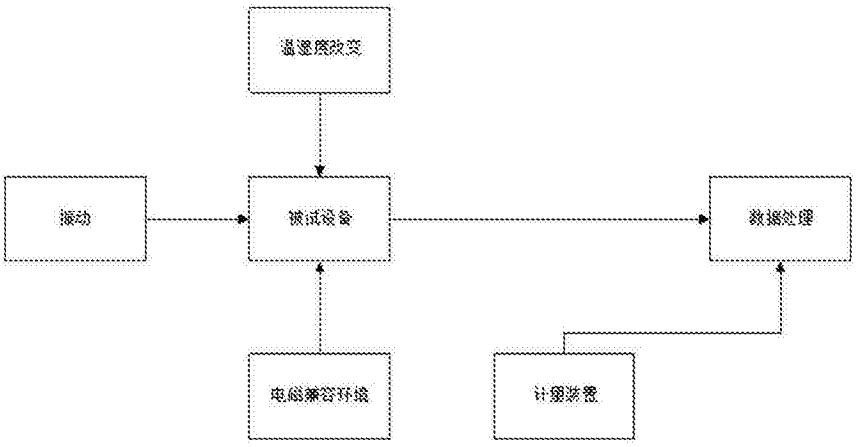


图1

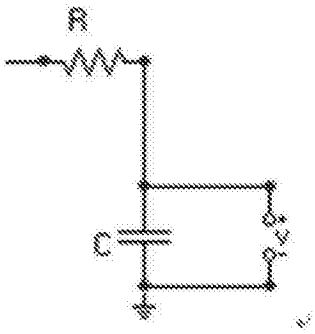


图2

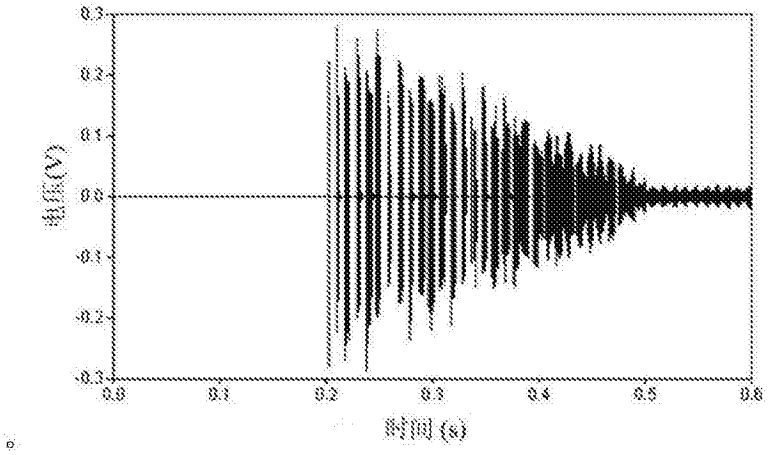


图3a

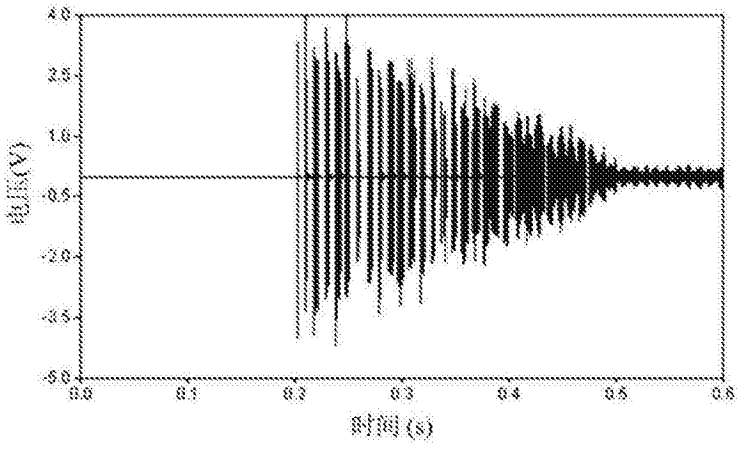


图3b

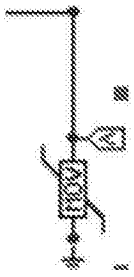


图4

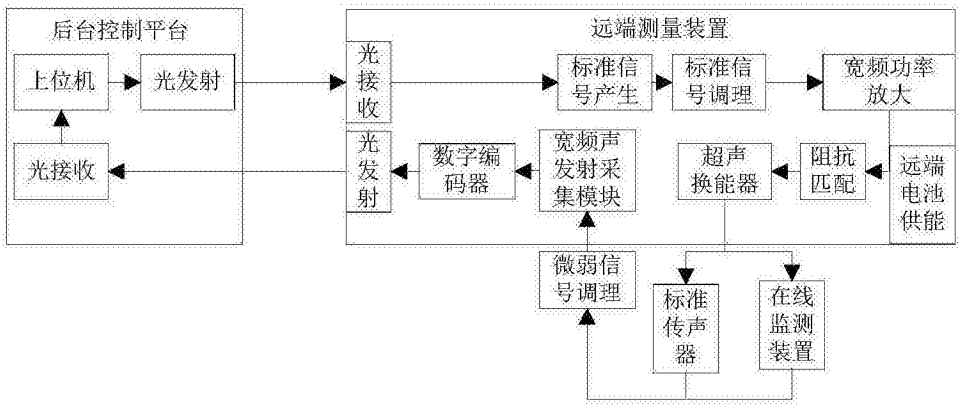

后台控制平台
上位机
光发射
光接收
远端测量装置
光接收
光发射
标准信号产生
标准信号调理
宽频功率放大
数字编码器
宽频声发射采集模块
超声换能器
阻抗匹配
远端电池供能
微弱信号调理
标准传声器
在线监测装置

图5

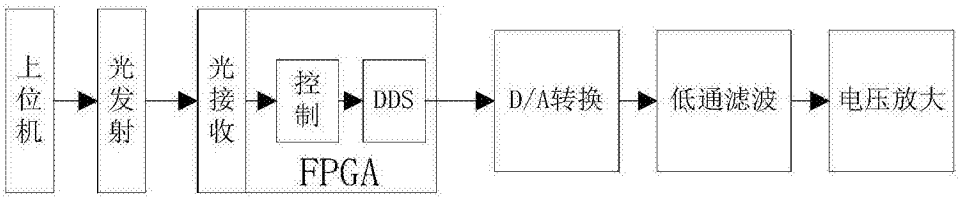

上位机
光发射
光接收
控制
DDS
FPGA
D/A转换
低通滤波
电压放大

图6

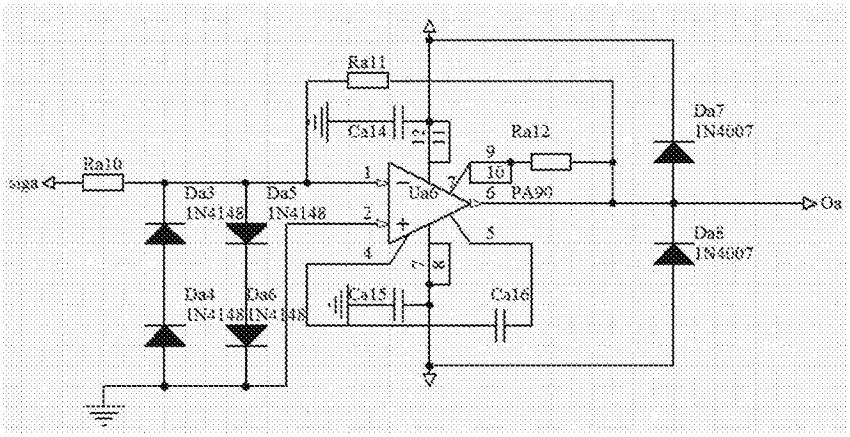

Ra11
Ca14
Ra12
Da7
IN4007
Ra10
Da3
IN4148
Da5
IN4148
Ua6
PA90
Da8
IN4007
Da4
IN4148
Da6
Ca15
Ca16

图7

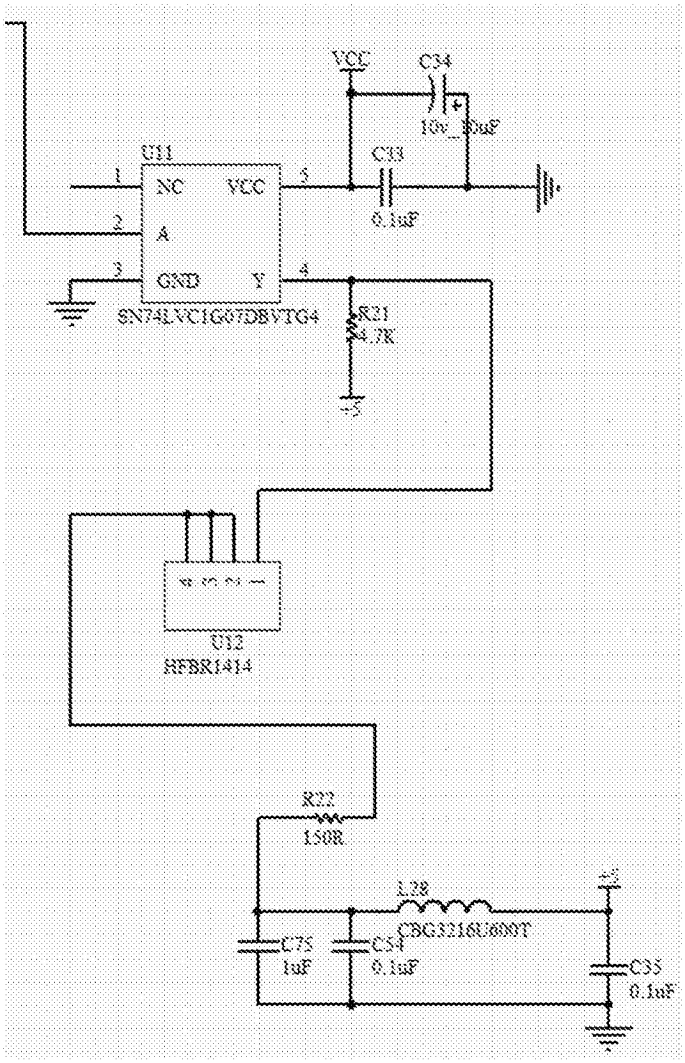

VCC
C34
U11
NC
VCC
A
GND
Y
C33
0.1uF
SN74LVC1G07DBVTG4
R21
4.7K
U12
HFBR1414
R22
150R
L28
CBG3216U600T
C75
1uF
C54
0.1uF
C35
0.1uF

图8

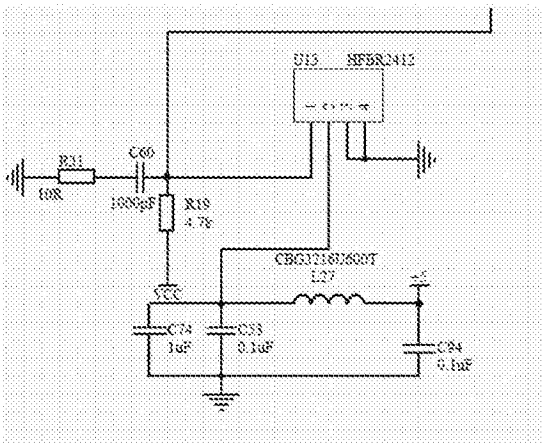

U13 HFBR2413
R31
C69
100pF
R19
4.7K
CBG3216U600T
L27
VCC
C74
1uF
C53
0.1uF
C94
0.1uF

图9

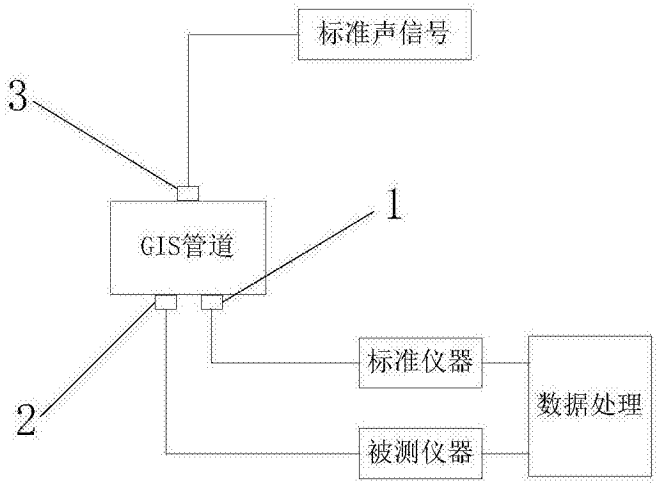

标准声信号
3
GIS管道
1
2
标准仪器
被测仪器
数据处理

图10

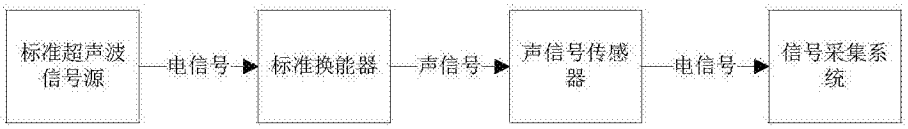


图11

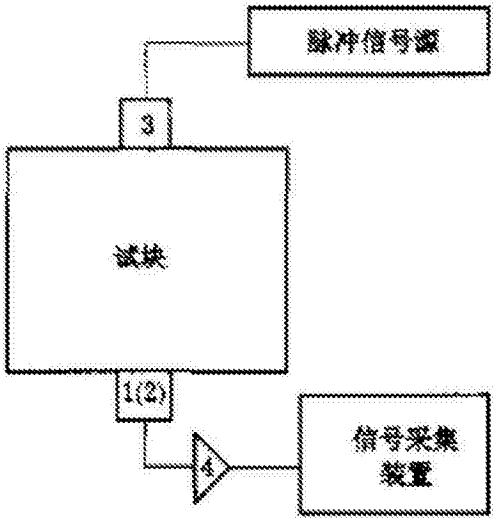


图12

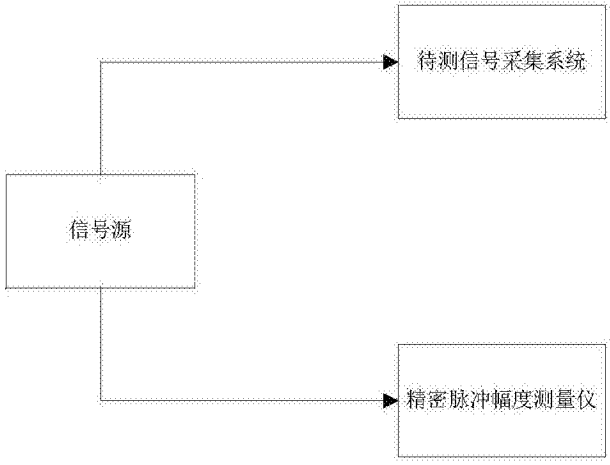


图13

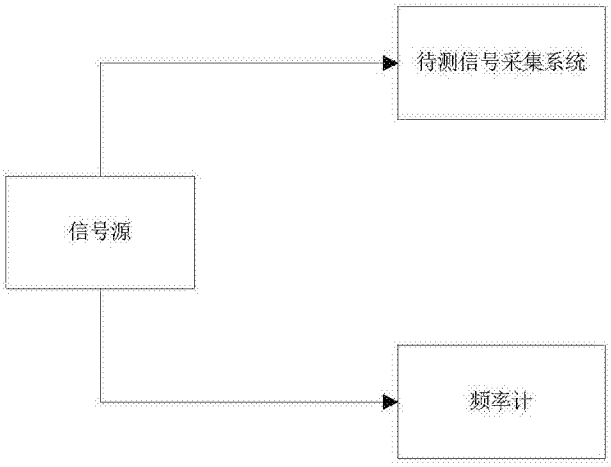


图14