



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510057031.1

[43] 公开日 2005 年 9 月 28 日

[11] 公开号 CN 1673761A

[22] 申请日 2005.4.26

[21] 申请号 200510057031.1

[71] 申请人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙正街 174 号  
重庆大学电气工程学院

[72] 发明人 唐 炬 孙才新 张晓星 魏 钢  
杜 林 李 剑 周 泉 王有元  
陈伟根

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

[54] 发明名称 气体绝缘组合电器局部放电超高频  
检测装置及方法

[57] 摘要

气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法，它由气体绝缘组合电器 1、泄漏电磁波 4、超高频超宽频带振子天线传感器 5、同轴射频电缆 6、8、放大滤波器 7、高速数字采集器 9、总线 10、计算机 11 七部分构成。本发明可有效增加气体绝缘组合电器局部放电超高频检测频带，提高气体绝缘组合电器内的局部放电信号的检测灵敏度和信噪比，从而获得更加准确的局部放电信息。它可广泛用于 SF<sub>6</sub>断路器、气体绝缘电缆等气体绝缘的高压电器设备的绝缘状态监测。



1、气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法，其检测装置由气体绝缘组合电器（1）、泄漏电磁波（4）、超高频超宽频带振子天线传感器（5）、同轴射频电缆（6，8）、放大滤波器（7）、高速数字采集器（9）、总线（10）、计算机（11）七部分构成，其特征在于：气体绝缘组合电器由外壳（1）、内导体（2）、绝缘子（3）组成，绝缘子（3）与内导体（2）采用密封连接，外壳（1）与绝缘子（3）采用密封法兰连接；当内导体（2）带高压电时，在GIS外壳（1）内有绝缘缺陷产生时将发生局部放电信号，激发高达1GHz以上的高频电流脉冲，电磁波在壳体（1）内传播，传播的电磁波经绝缘子（3）时发生折反射，产生泄漏电磁波（4）；超高频超宽频带振子天线传感器（5）的检测频带在300MHz~1000MHz之间，它由插头组件（12）、插芯内导体（13）、馈电外导体（14）、介质圈（15，16）、导体转换头（17）、主外导体（18）、主内导体（19）、隔离支撑（20）、辐射臂（21，26）、阻抗变换器（22）、双螺纹盖（23）、高频介质（24）、馈电内导体（25）、调配螺帽（27）、螺盖（28）、紧固螺帽（29）组成，辐射臂（21）通过双螺纹盖（23）与主外导体（18）连接，主外导体（18）通过导体转换头（17）与馈电外导体（14）连接，馈电外导体（14）与插头组件（12）采用螺纹连接，辐射臂（26）通过调配螺帽（27）与馈电内导体（25）采用滑配合连接，辐射臂（26）与螺盖（28）、紧固螺帽（29）采用螺纹连接，馈电内导体（25）与主内导体（19）采用螺纹连接，主内导体（19）与插芯内导体（13）采用螺纹连接，由绝缘介质组成的隔离支撑（20）与隔离辐射臂（21）、主外导体（18）紧密连接，由绝缘介质组成的高频介质（24）与辐射臂（21）、辐射臂（26）之间紧密连接，由绝缘介质组成的阻抗变换器（22）与主外导体（18）、主内导体（19）滑配合接触，介质圈（15）与插芯内导体（13）、馈电外导体（14）紧密连接，介质圈（16）与馈电外导体（14）、主外导体（18）连接，超高频超

---

宽频带振子天线传感器（5）通过插头组件（12）与同轴射频电缆（6）连接，同轴射频电缆（6）与放大滤波器（7）连接，放大滤波器（7）与同轴射频电缆（8）连接，同轴射频电缆（8）与高速数字采集器（9）连接，高速数字采集器（9）通过总线（10）与计算机（11）连接。

2、根据权利要求1所述的气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法，其特征在于，所述的方法包括：选用不对称偶极子形式，使超高频超宽频带振子天线传感器（5）的阻抗分别随频率向相反方向变化，改善超高频超宽频带振子天线传感器（5）的阻抗频带特性，增加其频带宽度，频带宽度由 $B = \frac{2\Delta f}{f_0} = 2\left|1 - \frac{2}{\pi}\right| \arctan \frac{Z_0 \sqrt{1 - |\Gamma|}}{2|\Gamma|R_d}$ 计算给出；在超高频超宽频带振子天线传感器（5）的上臂引入可调节的附加阻抗来进一步展宽天线的频带，其附加阻抗分别由 $Z_d = jX_d = jZ'_0 \tan(\frac{2\pi d_d}{\lambda_e})$ 、 $Z_k = jX_k = -jZ'_0 \cot(\frac{2\pi d_k}{\lambda_e})$ 计算给出；采用超高频超宽频带振子天线传感器（5）、放大滤波器（7）、高速数字采集器（9）、总线（10）、计算机（11）组成检测系统，提高局部放电信号检测的信噪比和灵敏度。

## 气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法

### 技术领域

本发明涉及气体绝缘组合电器（GIS）局部放电超高频检测领域，特别是涉及一种气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法。

### 背景技术

现有技术中的 GIS 局部放电信号检测，其传感器技术是一个非常关键的技术。由于 GIS 局部放电信号是时间宽度范围约为 1~数 ns 的脉冲，频率可高达 1 GHz 以上，而影响局部放电检测传感器的外部噪声的主要因素是电台或无线通讯所发射的电磁波，其频率范围从几 kHz 到几十 MHz，因此在强噪声环境中检测局部放电信号时，超高频传感器有较大优势。如日本特许公开平 3-56016 号专利，该专利公开了在气体绝缘组合电器的金属容器内设置环形天线，由该环形天线检测局部放电产生的电磁波方法。国内 GIS 产品在设计时未考虑安装内置环传感器，只考虑采用设置在 GIS 外部的超高频传感器。再如中国实用新型 CN00237978.3 公开的 GIS 故障检测装置的天线专利，它由信号接收器、阻抗变换器、屏蔽电缆组成，其特征在于，信号接收器的形状为环行体，其中间设有缝槽，屏蔽电缆与信号接收器之间接有阻抗变换器。国内外公开的 GIS 局部放电检测方法或装置，它们虽然带来了一些积极效果，但由于其检测频带较窄，灵敏度不高，抗干扰能力较差，在局部放电信号非常微弱时，特别是使用超高频外置天线传感器检测到的是通过绝缘子缝隙泄漏到 GIS 外部的超高频电磁波，此时信号有较大衰减，更加微弱。其检测方法单一、检测效果不甚理想。

### 发明内容

本发明的目的是提供一种气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法，它可有效增加气体绝缘组合电器局部放电超高频检测频带，提高气体绝缘组合电器内的局部放电信号的检测灵敏度和信噪比，从而获得更加准确的局部放电信息。

本发明可通过以下技术方案来加以实现：气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法，它由气体绝缘组合电器（1）、泄漏电磁波（4）、超高频超宽频带振子天线传感器（5）、同轴射频电缆（6，8）、放大滤波器（7）、高速数字采集器（9）、总线（10）、计算机（11）七部分构成，其特征在于：气体绝缘组合电器由外壳（1）、内导体（2）、绝缘子（3）组成，绝缘子（3）与内导体（2）采用密封连接，外壳（1）与绝缘子（3）采用密封法兰连接；当内

导体(2)带高压电时,在GIS外壳(1)内有绝缘缺陷产生时将发生局部放电信号,激发高达1GHz以上的高频电流脉冲,电磁波在壳体(1)内传播,传播的电磁波经绝缘子(3)时发生折反射,产生泄漏电磁波(4);超高频超宽频带振子天线传感器(5)的检测频带在300MHz~1000MHz之间,它由插头组件(12)、插芯内导体(13)、馈电外导体(14)、介质圈(15,16)、导体转换头(17)、主外导体(18)、主内导体(19)、隔离支撑(20)、辐射臂(21,26)、阻抗变换器(22)、双螺纹盖(23)、高频介质(24)、馈电内导体(25)、调配螺帽(27)、螺盖(28)、紧固螺帽(29)组成,辐射臂(21)通过双螺纹盖(23)与主外导体(18)连接,主外导体(18)通过导体转换头(17)与馈电外导体(14)连接,馈电外导体(14)与插头组件(12)采用螺纹连接,辐射臂(26)通过调配螺帽(27)与馈电内导体(25)采用滑配合连接,辐射臂(26)与螺盖(28)、紧固螺帽(29)采用螺纹连接,馈电内导体(25)与主内导体(19)采用螺纹连接,主内导体(19)与插芯内导体(13)采用螺纹连接,由绝缘介质组成的隔离支撑(20)与隔离辐射臂(21)、主外导体(18)紧密连接,由绝缘介质组成的高频介质(24)与辐射臂(21)、辐射臂(26)之间紧密连接,由绝缘介质组成的阻抗变换器(22)与主外导体(18)、主内导体(19)滑配合接触,介质圈(15)与插芯内导体(13)、馈电外导体(14)紧密连接,介质圈(16)与馈电外导体(14)、主外导体(18)连接,超高频超宽频带振子天线传感器(5)通过插头组件(12)与同轴射频电缆(6)连接,同轴射频电缆(6)与放大滤波器(7)连接,放大滤波器(7)与同轴射频电缆(8)连接,同轴射频电缆(8)与高速数字采集器(9)连接,高速数字采集器(9)通过总线(10)与计算机(11)连接。

所述的方法包括:选用不对称偶极子形式,使超高频超宽频带振子天线传感器(5)的阻抗分别随频率向相反方向变化,改善超高频超宽频带振子天线传感器(5)的阻抗频带特性,增加其频带宽度,频带宽度由 $B = \frac{2\Delta f}{f_0} = 2\left|1 - \frac{2}{\pi}\right| \arctan \frac{Z_0 \sqrt{1 - |\Gamma|}}{2|\Gamma|R_d}$ 计算给出;在超高频超宽频带振子天线传感器(5)的上臂引入可调节的附加阻抗来进一步展宽天线的频带,其附加阻抗分别由 $Z_d = jX_d = jZ'_0 \tan(\frac{2\pi d}{\lambda_g})$ 、 $Z_k = jX_k = -jZ'_0 \cot(\frac{2\pi k}{\lambda_g})$ 计算给出;采用超高频超宽频带振子天线传感器(5)、放大滤波器(7)、高速数字采集器(9)、总线(10)、计算机(11)组成检测系统,提高局部放电信号检测的信噪比和灵敏度。

## 附图说明

图1为气体绝缘组合电器局部放电超高频外置天线传感器装置检测示意图。

图2为气体绝缘组合电器局部放电超高频外置天线传感器装置结构示意

图。

图 3 为表示设计的超高频超宽频带振子天线传感器结构图。其中：(12) 为插头组件、(13) 为插芯内导体、(14) 为馈电外导体、(15, 16) 为介质圈、(17) 为导体转换头、(18) 为主内导体、(19) 为主外导体、(20) 为隔离支撑、(21, 26) 为辐射臂、(22) 为阻抗变换器、(23) 为双螺纹盖、(24) 为高频介质、(25) 为馈电内导体、(27) 为调配螺帽、(28) 为螺盖、(29) 为紧固螺帽。

图 4 为微波放大滤波器结构示意图。

图 5 为带通滤波器原理示意图。

## 具体实施方式

以下结合附图对本发明的技术方案做进一步描述：

气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法，它的检测原理为：超高频超宽频带振子天线传感器接受气体绝缘组合电器局部放电所激发的电磁波信号，经过放大滤波器的放大和滤波，由高速数字采集器采集信号波形并送至计算机储存处理进行局部放电故障的诊断和识别。气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置，它由气体绝缘组合电器、泄漏电磁波 (4)、超高频超宽频带振子天线传感器 (5)、同轴射频电缆 (6, 8)、放大滤波器 (7)、高速数字采集器 (9)、总线 (10)、计算机 (11) 七部分构成。当内导体 (2) 上带高压电时，在 GIS 壳体 (1) 内有绝缘缺陷时在缺陷处发生局部放电，产生高达 1 GHz 以上的高频电流脉冲，电磁波在壳体 (1) 内传播，传播的电磁波经绝缘子时发生折反射，并由绝缘子缝隙表面电流驱动的缝隙天线发射电磁波。发射的电磁波 (4) 被超高频超宽频带振子天线传感器 (5) 的上、下辐射臂 (21)、(26) 接收，感应电流沿辐射臂 (21)、(26) 的外表面传输。调配螺帽 (27) 为附加阻抗，只有电抗分量，其变化趋势正好和不对称振子的电抗变化趋势相反，起到虚部互相抵消的作用，从而展宽天线的带宽。阻抗变换器 (22) 通过改变同轴电缆两端的空气介质的位置，改变电缆的特性阻抗，从而起到阻抗变换的作用，可改善驻波特性。当电流最后通过天线座 (12) 时与射频同轴电缆连接后输入到放大滤波器 (7) 中进行信号预处理。当天线接受泄漏电磁波 (4) 时，如果检测频带较窄，就会丢失大量的放电信息，使得检测灵敏度受到一定的限制。由于检测现场干扰源多，干扰信号幅值大，而局部放电信号又非常微弱；另一方面，由于变电站背景噪声以及电晕干扰的频率通常小于 200MHz，因此，选择检测的频率在超高频段，能够有效的避开低频干扰。经现场测试，检测的频率大于 1GHz 时局部放电能量很小，因此，选择的检测频率应小于 1GHz 以下。

为了实现上述发明目的，本发明采用的超高频超宽频带振子天线传感器(5)，其检测频带在300MHz~1000MHz之间。

谐振式天线电流呈驻波分布，输入电阻及输入电抗均是其电长度(几何尺寸与波长的比值)的敏感函数。振子天线的输入阻抗随电长度而变化的剧烈程度主要取决于天线的特性阻抗。振子天线的特性阻抗又主要取决于振子的线径比(振子长度与直径之比)。所以，可使振子具有较大的截面来展宽天线带宽。在工程应用上可以用下式估算出天线的频带：

$$B = \frac{2\Delta f}{f_0} = 2\left|1 - \frac{2}{\pi}\right| \arctan \frac{Z_0 \sqrt{1 - |\Gamma|}}{2|\Gamma|R_d} \quad [1]$$

在[1]式中， $R_d$ 为天线馈线的电阻值； $\Gamma$ 为频带边缘给定的相对于中心频率阻抗的最大反射系数； $Z_0$ 为对称振子的平均特性阻抗。

根据公式[1]及天线传感器的现场检测要求，可计算出振子天线的线径比。

选用不对称偶极子形式，合理选择两辐射臂的大小，使其阻抗分别随频率向相反方向变化，可改善其阻抗频带特性，增加其频带宽度，且使天线的尺寸比通常的半波长减少很多，实现天线的小型化和实用化，以利于现场检测设备的安装与应用。

为进一步展宽天线频带，运用理论计算与实验调节相结合的方法，采用在天线上臂引入可以调节的附加阻抗(即天线加载)的结构方式，解决了振子天线在进行阻抗调节时不方便的工程难题。

天线加载实际上是利用加载短截线(包括短路线和开路线)来实现的。由传输线理论可知，短路线和开路线的阻抗分别为：

$$Z_d = jX_d = jZ'_0 \tan\left(\frac{2\pi L_d}{\lambda_g}\right) \quad [2]$$

$$Z_k = jX_k = -jZ'_0 \cot\left(\frac{2\pi L_k}{\lambda_g}\right) \quad [3]$$

这里 $L_d$ 和 $L_k$ 分别表示短路线和开路线的长度； $\lambda_g$ 为传输线导内波长。

当 $0 < L_d < \frac{\lambda_g}{4}$ 时， $0 < X_d < \infty$ ，短截线为电感元件；当 $\frac{\lambda_g}{4} < L_d < \frac{\lambda_g}{2}$ 时， $-\infty < X_d < 0$ ，短截线为电容元件。当 $0 < L_k < \frac{\lambda_g}{4}$ 时， $-\infty < X_k < 0$ ，短截线为电容元件；当 $\frac{\lambda_g}{4} < L_k < \frac{\lambda_g}{2}$ 时， $0 < X_k < \infty$ ，短截线为电感元件。

本方案设计的振子天线由于采用了同轴天线的结构形式，不仅实现了天线加载调节的方便性，而且在结构设计中将阻抗变换器设计在振子天线内部，实现了天线结构的灵巧性、紧凑性的同时使得天线与射频电缆匹配。

由于本方案设计的天线具有全向性，因此当垂直摆放于木质天线架上时，可以放置于 GIS 附近的任意地方作为 GIS 局部放电信号采集的传感器，使用时也极为方便。

对本方案设计的超高频超宽频带振子天线进行实测，其驻波比小于 2 的频率范围为 350~750MHz，中心频率为 550MHz，相对带宽达 0.73，达到超宽频带。510 MHz 的增益为 1.62dB。使用标准矢量网络分析仪测量驻波比的同时对天线的调配螺帽（27）进行调节，以拓宽天线频带，当调节好调配螺帽（27）后可使用双管胶对调配螺帽（27）进行固定。

天线传感器的有效带宽外的能量损耗并非无限大，即使在天线有效带宽外也会耦合到电磁信号。由于 GIS 局部放电检测现场条件复杂，干扰源较多，干扰强度大，且局部放电信号微弱，考虑干扰信号主要集中在低频段，因此采用放大滤波器与天线传感器共同组成超高频检测系统以增加信噪比和局部放电检测的灵敏度。

参照附图 4，放大与滤波电路的基本原理为：采用 ERA-3 低噪声高增益耦合集成放大器，放大器采用单电源供电， $C_1$ 、 $L$  和  $R_c$  起祛耦和滤波作用， $C_2$  起对输入信号的隔直作用，后接微波滤波器，形成微波滤波放大器。

微波滤波器的设计方法和低频滤波器基本相同，但是由于微波波长短，频率高，必须用分布参数元件来代替低频电路中的集总参数元件，而且必须检查由这些分布参数元件引起的寄生通带是否远离所需抑制的频率。滤波器的微波实现采用高低阻抗线来实现。由于微波的特殊性，微波电路所采用的元件在结构上和普通电路所用的元件是截然不同的。元件结构上的这种差异引起了微波滤波器的特殊性。微带线结构简单，体积较小，加工方便，又便于与微波固体器件相连成整体，容易实现微带线的小型化和集成化，因此选用微带线制造无源超高频滤波器。放大滤波器测试结果为：驻波比小于 2 的频率范围为 300~1000MHz，增益 20dB。

本发明提供的气体绝缘组合电器局部放电超高频检测装置及方法，可超宽频带高灵敏度检测气体绝缘组合电器内的局部放电。超高频超宽频带天线与微波放大滤波器的良好匹配可以增加检测灵敏度，抑制低频段干扰。该发明可广泛用于 SF<sub>6</sub>断路器、气体绝缘电缆等气体绝缘的高压电器设备的绝缘状态监测。



图 1

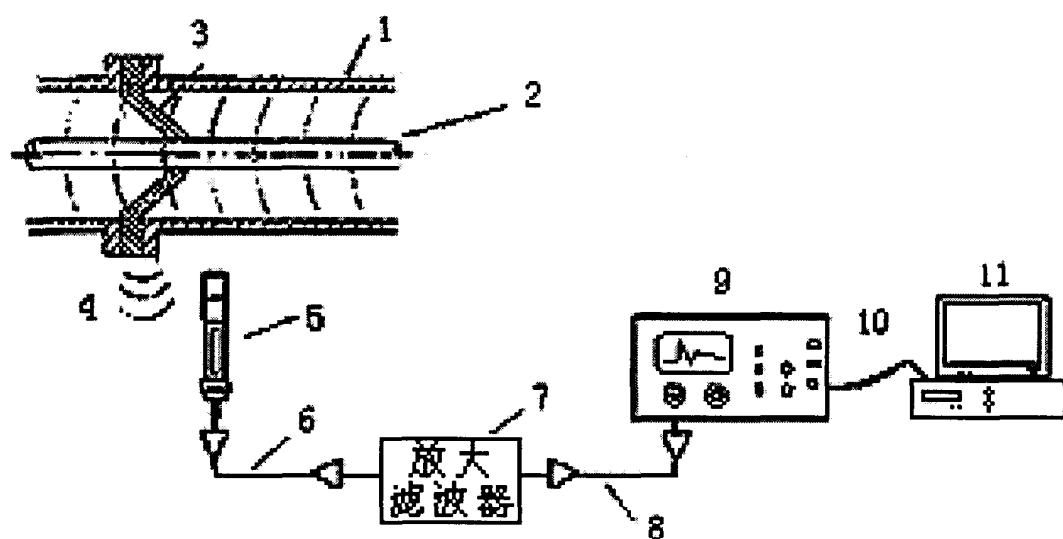


图 2

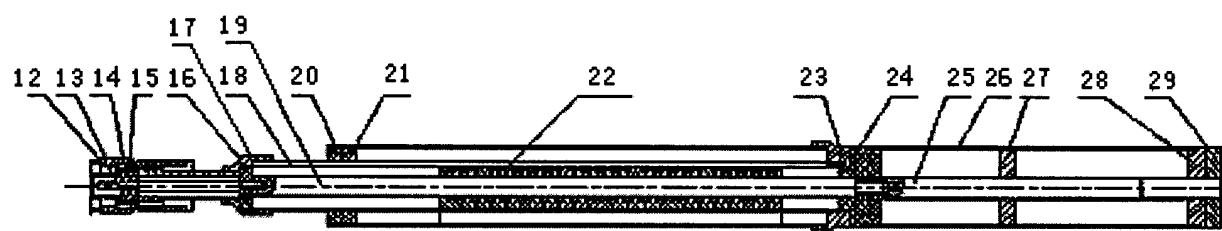


图 3

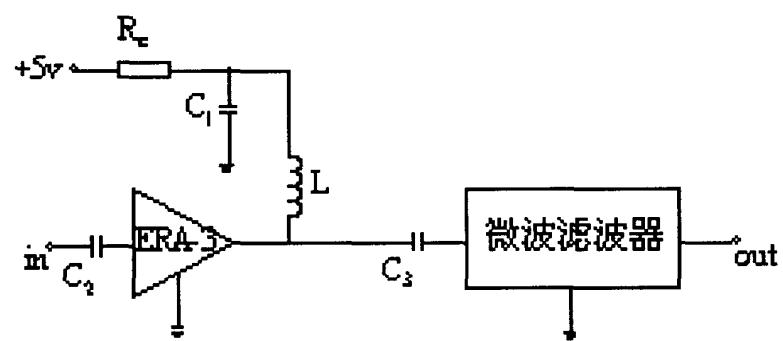


图 4

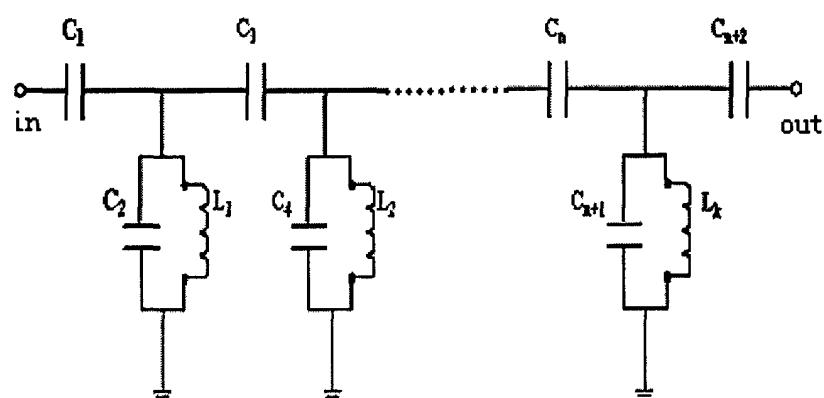


图 5