



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102539527 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 19

(21) 申请号 201010607433. 5

(22) 申请日 2010. 12. 27

(73) 专利权人 湖北省电力公司电力科学研究院  
地址 430077 湖北省武汉市武昌区徐东大街  
361 号

专利权人 西安交通大学  
国家电网公司

TW 200606442 A, 2006. 02. 16, 全文 .

KR 20100029338 A, 2010. 03. 17, 全文 .

US 20060259281 A1, 2006. 11. 16, 全文 .

JP 2008-232973 A, 2008. 10. 02, 全文 .

王伟 等. 超声波法在 GIS 局部放电检测中的应用 . 《电气技术》. 2010, ( 第 7 期 ), 38-41.

审查员 戴琳

(72) 发明人 陈隽 刘文浩 陈敏 李军浩  
司文荣 袁鹏

(74) 专利代理机构 武汉楚天专利事务所 42113  
代理人 雷速

(51) Int. Cl.

G01N 29/04 (2006. 01)

G01N 29/44 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1734272 A, 2006. 02. 15, 全文 .

CN 1924595 A, 2007. 03. 07, 全文 .

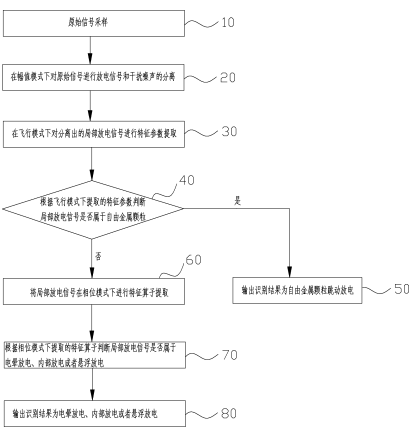
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法, 该方法首先将采样获得的信号在幅值模式下进行与 50Hz 和 100Hz 频率相关成分的提取以及放电信号和干扰噪声的分离 ; 然后, 将分离出的局部放电信号在飞行模式下进行特征参数提取并判断检测获得的信号是否来自于自由金属微粒 ; 如判断出局部放电信号不属于自由金属微粒, 则将局部放电信号在相位模式下进行特征算子提取, 进行其他放电类型模式的识别。本发明利用检测信号的不同表达形式具有识别不同缺陷的能力的优点, 进行逐级识别, 极大地提高了 GIS 中局部放电的模式识别效果。



1. 一种基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法,其特征在于:该识别方法包括以下步骤:

(a) 利用超声波传感器对 GIS 设备进行原始信号采样,所述原始信号包含局部放电信号和噪声信号;

(b) 在幅值模式下对原始信号进行 50Hz 和 100Hz 频率相关成分提取,进行放电信号和干扰噪声的分离;

(c) 将分离出的局部放电信号在飞行模式下对分离出的局部放电信号进行特征参数提取,判别检测获得的信号是否来自于自由金属微粒,如属于自由金属微粒,则输出识别结果为金属微粒放电,如不属于,则进行步骤 (d);

(d) 将局部放电信号在相位模式下进行特征算子提取,根据相位模式下提取的特征算子,输入神经网络,判断局部放电信号是否属于电晕放电、内部放电或者悬浮放电。

2. 如权利要求 1 所述的识别方法,其特征在于:所述的步骤 (b) 在幅值模式下进行频率相关成分的提取按照如下步骤进行:

①幅值模式定义为  $(q_i, t_i + 20(n-1))_n$ , 其中  $n$  为采样周期数,  $t_i$  和  $q_i$  为第  $n$  周期中第  $i$  个声波脉冲信号的采集时间和幅值;

②对原始信号序列的幅值包络线进行时间间隔为 1ms 的重采样 (采样率  $f_s = 1000\text{Hz}$ ), 得到一个新的序列;

③对新序列进行快速傅里叶变换 (FFT), 得到其频谱分布  $(Q(f_i), f_i)$ ;

④根据新序列的频谱分布函数由下式获取频率成分 F1 和 F2 的值:

$$F1 = \text{maxvalue}(Q(49 \leq f_i \leq 51))$$

$$F2 = \text{maxvalue}(Q(99 \leq f_i \leq 101))$$

式中 maxvalue 为取最大值。

3. 如权利要求 1 所述的识别方法,其特征在于:所述的步骤 (c) 中飞行模式定义为  $(t_{i+1} - t_i, q_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ,  $t_i$  和  $q_i$  为第  $i$  个声波脉冲信号的采集时间和幅值。

4. 如权利要求 1 所述的识别方法,其特征在于:所述的步骤 (c) 中利用飞行模式进行自由金属微粒判别时,利用自由金属微粒在飞行模式中所特有的单个或多个三角形分布特征,提取其等效飞行时宽、等效飞行距离及三角形个数这三个参数进行判别。

5. 如权利要求 1 所述的识别方法,其特征在于:所述的步骤 (d) 中相位模式放电谱图定义为  $(q_i, \phi_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ,  $q_i$  和  $\phi_i$  为第  $i$  个声波脉冲信号的幅值和对应的工频相位。

6. 如权利要求 1 所述的识别方法,其特征在于:所述特征算子选择有:偏斜度、突出度、局部峰个数、放电不对称度、相位不对称度、互相关因子、相位中值以及修正因子。

## 一种基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种放电检测方法,具体是一种气体绝缘组合电器 (gas insulated substation, GIS) 局部放电模式识别方法。

### 背景技术

[0002] 封闭式气体绝缘组合电器 (Gas Insulated Switchgear, GIS) 具有良好的绝缘性能,广泛应用于高压输电系统中。GIS 运行可靠性高、维护工作量小、检修周期长,但是由于其的全封闭结构特点,一旦出现事故,造成的后果比分离敞开式设备严重得多,其故障修复尤为复杂。

[0003] GIS 在制造及安装过程中容易引入缺陷,如灰尘、导电微粒、应力过高、金属尖端、内装松动等,随着 GIS 运行年限的增加,缺陷会逐渐发展严重,在过电压或操作过程等外界诱因下,就会引发击穿或闪络现象。在发生这些绝缘故障前,常伴有局部放电的现象。局部放电的出现往往说明 GIS 存在安装、制造、甚至设计方面的缺陷。

[0004] 上述局部放电现象会激发达数千兆赫兹 (GHz) 的电磁波,几百千赫兹的超声波,GIS 内部局部放电持续发展容易引发绝缘击穿故障,因而出现在停电事故,给国民经济造成损失,所以对 GIS 的局部放电进行监测及定位就显得尤为重要。

[0005] 为保证其正常运行,需对 GIS 进行在线绝缘状态检测和日常维护。现有技术采用超声波检测法,其使用固定在 GIS 外壁上的压电传感器接收其内部缺陷产生的超声波信号 (10kHz ~ 500kHz),由此来判别是否存在缺陷及其位置。由于该技术受电气干扰小,不受试品容量限制以及能够对缺陷进行有效定位,已经开始得到推广。但在定性地判断缺陷的有无和进行定位之前,需要对检测获取的超声波信号进行判别,这也是广大超声检测系统使用者目前所关注的。

[0006] GIS 典型缺陷包括自由金属颗粒、母线和筒壁尖刺、绝缘子内部缺陷以及金属件松动等。而对超声检测来说,获取的信号形式可能有:背景噪声、电晕放电、内部放电和悬浮放电以及金属自由颗粒跳动放电。进行局部放电模式识别工作一直以来都是研究的热点和重点,但目前常用的办法都是将采集原始信号进行特征提取之后直接采用智能算法进行识别,其识别效果通常较差。

### 发明内容

[0007] 本发明提供一种基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法,利用超声波法检测到的局部放电信号的不同表达形式进行分级识别,有效的提高了识别效果。

[0008] 一种基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法,包括以下步骤:

[0009] (a) 利用超声波传感器对 GIS 设备进行原始信号采样,所述原始信号包含局部放电信号和噪声信号;

[0010] (b) 在幅值模式下对原始信号进行 50Hz 和 100Hz 频率相关成分提取,进行放电信号和干扰噪声的分离;

[0011] (c) 将分离出的局部放电信号在飞行模式下对分离出的局部放电信号进行特征参数提取, 判别检测获得的信号是否来自于自由金属微粒, 如属于自由金属微粒, 则输出识别结果为金属微粒放电, 如不属于, 则进行步骤 (d);

[0012] (d) 将局部放电信号在相位模式下进行特征算子提取, 根据相位模式下提取的特征算子, 输入神经网络, 判断局部放电信号是否属于电晕放电、内部放电或者悬浮放电。

[0013] 本发明与传统的 GIS 局部放电模式识别完全基于相位模式进行识别不同, 首先利用幅值模式进行信噪分离, 再利用飞行模式进行自由金属微粒判别, 然后利用相位模式进行其他放电类型识别, 逐级识别的方法极大的提高了识别准确度, 实验室和现场检测均证明了本发明的有效性和准确性。

## 附图说明

[0014] 图 1 本发明基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法的流程示意图;

[0015] 图 2 本发明中局部放电信号基于幅值模式的频率成分分布图;

[0016] 图 3 实验室采集到的 GIS 典型缺陷局部放电对应超声信号的飞行图;

[0017] 图 4 本发明中基于飞行模式的参数提取方法描述示意图;

[0018] 图 5 实验室采集到的 GIS 典型缺陷对应的相位模式谱图。

## 具体实施方式

[0019] 下面将结合本发明中的附图, 对本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0020] 图 1 所示为本发明基于超声波检测的 GIS 局部放电模式识别方法的流程示意图, 所述方法包括如下步骤:

[0021] 步骤 10: 利用超声波传感器对 GIS 设备进行原始信号采样, 所述原始信号包含局部放电信号和噪声信号。具体的, 可在 GIS 设备相应位置设置超声波传感器, 例如 GIS 设备的外壳金属体不连续的地方。

[0022] 步骤 20: 在幅值模式下对原始信号进行放电信号和干扰噪声的分离。具体的, 将步骤 10 采样获得的原始信号在幅值模式下进行 50Hz 和 100Hz 频率相关成分提取, 进行放电信号和干扰噪声的分离。

[0023] 其中, 幅值模式定义为  $(q_i, t_i + 20(n-1))_n$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , 其中  $n$  为采样周期数,  $t_i$  和  $q_i$  为第  $n$  周期中第  $i$  个声波脉冲信号的采集时间和幅值。与高压交流电源信号相关的频率成分 F1: 50Hz 和 F2: 100Hz 两个特征参数可以从幅值模式中提取。具体方法如下:

[0024] ①对原始信号序列的幅值包络线进行时间间隔为 1ms 的重采样 (采样率  $f_s = 1000\text{Hz}$ ), 可得到一个新的序列;

[0025] ②对新序列进行快速傅里叶变换 (FFT), 得到其频谱分布  $(Q(f_i), f_i)$ ;

[0026] ③根据新序列的频谱分布由下式获取频率成分 F1 和 F2 的值:

[0027]  $F1 = \maxvalue(Q(49 \leq f_i \leq 51))$

[0028]  $F2 = \maxvalue(Q(99 \leq f_i \leq 101))$

[0029] 式中  $\maxvalue$  为取最大值。

[0030] 很显然, 频率成分 F1 和 F2 可以用于背景噪声和其它典型缺陷信号的区分, 因为背景噪声信号与工频电源信号不相关。图 2 给出了在实验室中分别从母线和筒壁毛刺 (A)、悬

浮电极 (B)、绝缘子内部缺陷 (C) 以及自由金属颗粒 (D) 采集获取的多个超声信号中提取的特征频率成分分布。由于背景噪声信号频率成分 F1 和 F2 的值均小于 0.005mV, 因此没有在图 2 上表示。

[0031] 步骤 30 : 在飞行模式下对分离出的局部放电信号进行特征参数提取。

[0032] 飞行模式定义为  $(t_{i+1}-t_i, q_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ,  $t_i$  和  $q_i$  为第  $i$  个声波脉冲信号的采集时间和幅值。该序列所表征的信号谱图, 称之为飞行图。图 3(a) ~ 3(d) 所示分别为典型背景噪声和不同 PD 缺陷类型对应超声信号的飞行图, 其均表现为随机分布, 即放电幅值与放电时间间隔之间的统计不相关性。而图 3(e) ~ 3(f) 所示分别为不同尺寸单个自由金属颗粒 (1.5mm 铜球和 3mm 铝丝) 对应超声信号的典型飞行图, 其均表现为单个或多个三角形分布。本发明从该模式中提取微粒放电所独有的三角形特征参数: 等效时宽、等效飞行距离及三角形个数。利用这三个参数判别检测获取的信号是否来自于自由金属颗粒。

[0033] 图 4 对基于飞行模式的参数提取进行了简单描述, 其中等效飞行时宽  $T_{fm}$  和等效飞行距离  $N_{fm}$  定义为:

$$[0034] \quad T_{fm} = (T_{fm1} + T_{fm2} + T_{fm3} + \dots + T_{fmi}) / i$$

$$[0035] \quad N_{fm} = i$$

[0036] 式中:  $i$  表示具有完整“三角形”的个数;  $T_{fmi}$  表示第  $i$  个“三角形”的底边。

[0037] 步骤 40 : 根据飞行模式下提取的特征参数判断局部放电信号是否属于自由金属颗粒。具体的, 如果步骤 30 中在飞行模式下提取的局部放电信号进行特征参数符合微粒放电所独有的三角形特征参数: 等效时宽、等效飞行距离及三角形个数, 则可以判断出局部放电信号属于自由金属微粒, 执行步骤 50 ; 否则, 执行步骤 60。

[0038] 步骤 50 : 输出识别结果为自由金属颗粒跳动放电。

[0039] 步骤 60 : 将局部放电信号在相位模式下进行特征算子提取。

[0040] 具体的, 在步骤 40 如果识别的结果不是自由金属颗粒跳动放电, 则继续将局部放电信号在相位模式下进行特征算子提取。如图 5 所示的相位模式, 可生成基于相位分析的放电相位模式谱图后进行数据处理, 提取特征算子, 从而判别其放电模式。其中相位模式放电谱图定义为  $(q_i, \phi_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ ,  $q_i$  和  $\phi_i$  为第  $i$  个声波脉冲信号的幅值和对应的工频相位。特征算子选择有: 偏斜度、突出度、局部峰个数、放电不对称度、相位不对称度、互相关因子、相位中值以及修正因子等, 这些统计算子表征了相位模式谱图的形状特征, 不同的放电类型具有不同的形状特征。

[0041] 步骤 70 : 根据相位模式下提取的特征算子, 输入神经网络, 判断局部放电信号是否属于电晕放电、内部放电或者悬浮放电。利用神经网络进行模式识别的过程为: 首先在实验室中获得典型缺陷局部放电的超声波信号, 提取典型缺陷局部放电信号的特征算子, 利用神经网络对典型缺陷特征算子进行训练, 形成特征数据库。其次对于未知类型的放电信号, 获得其特征算子后, 输入神经网络, 进行模式识别, 输出识别结果。

[0042] 步骤 80 : 输出识别结果为电晕放电、内部放电或者悬浮放电。

[0043] 本发明与传统的 GIS 局部放电模式识别完全基于相位模式进行识别不同, 首先利用幅值模式进行信噪分离, 再利用飞行模式进行自由金属微粒判别, 然后利用相位模式进行其他放电类型识别, 逐级识别的方法极大的提高了识别准确度, 实验室和现场检测均证明了本发明的有效性和准确性。

[0044] 以上所述, 仅为本发明的具体实施方式, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何属于本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内, 可轻易想到的变化或替换, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此, 本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

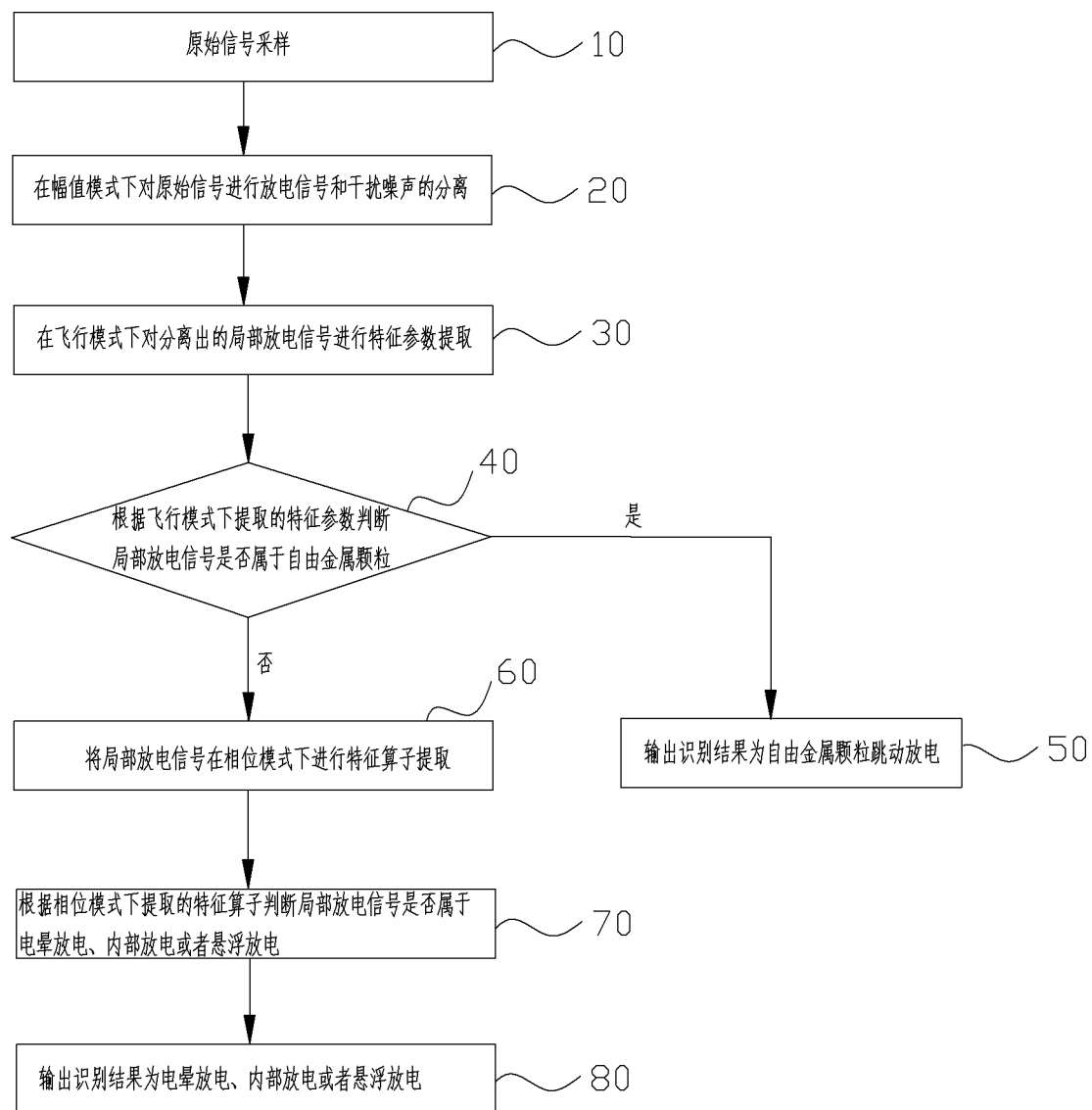
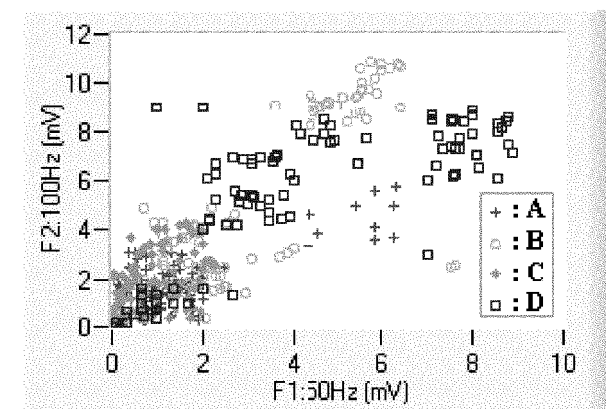


图 1



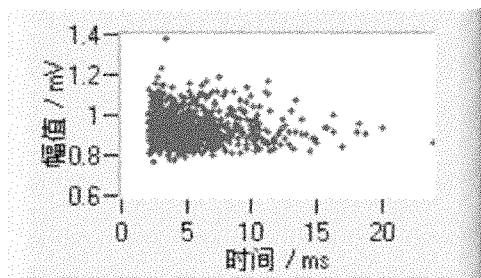
A: 母线和筒壁毛刺

B: 悬浮电极

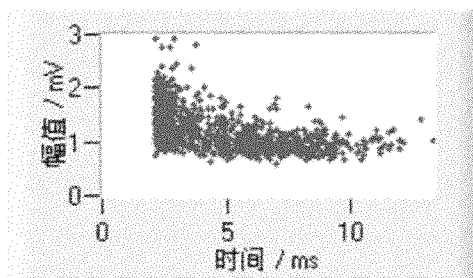
C: 绝缘子内部缺陷

D: 自由金属颗粒

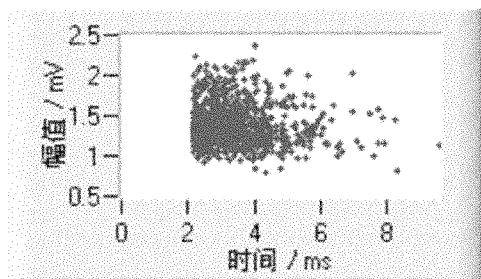
图 2



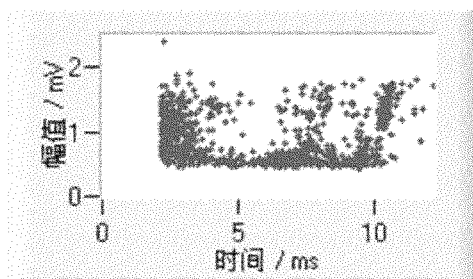
(a) 背景噪声



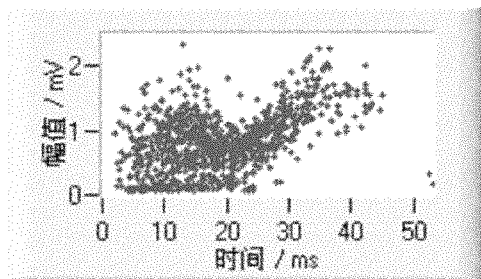
(b) 母线尖刺



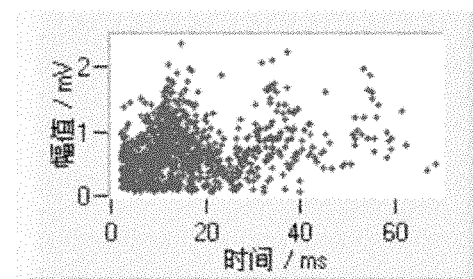
(c) 悬浮电极



(d) 绝缘子内部缺陷



(e) 1.5mm铜球



(f) 3mm铝丝

图 3



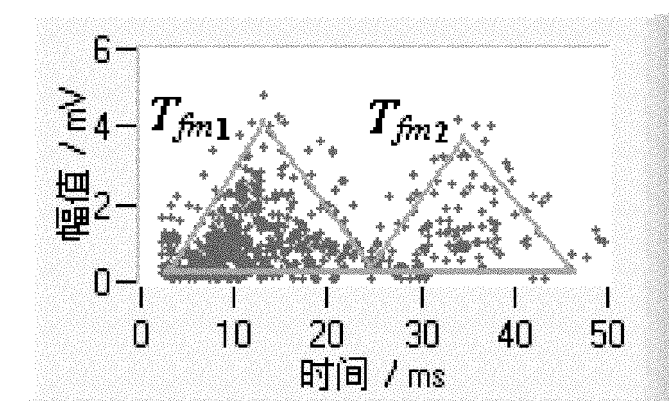
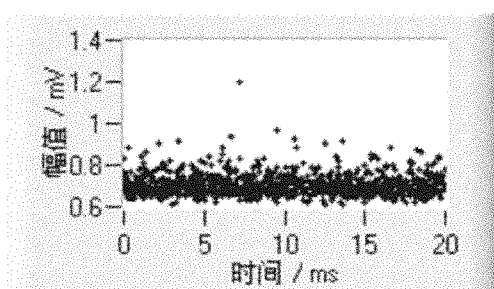
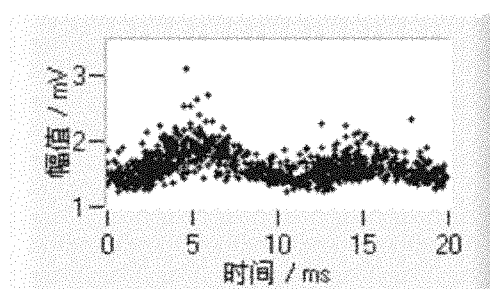


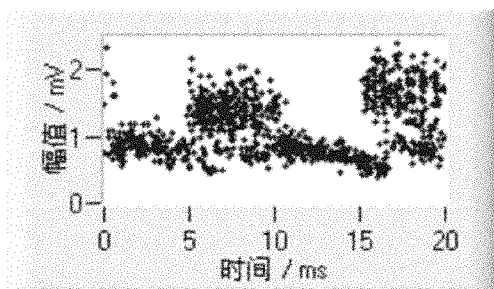
图 4



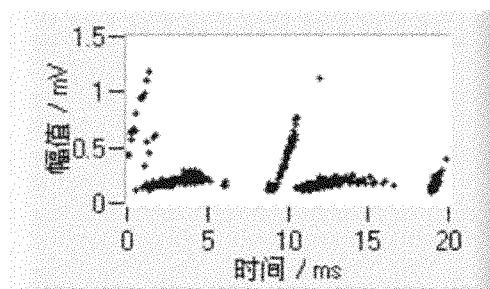
(a) 背景噪声



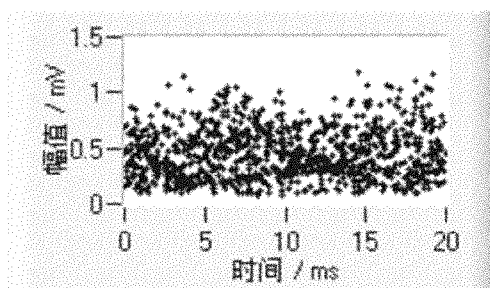
(b) 母线尖刺



(c) 悬浮电极



(d) 绝缘子内部缺陷



(e) 自由金属颗粒

图 5