



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102445641 A

(43) 申请公布日 2012. 05. 09

(21) 申请号 201110339543. 2

(22) 申请日 2011. 11. 01

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 盛戈皞 侯慧娟 胡岳 刘亚东  
叶海峰 张天辰 司良齐 江秀臣

(74) 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司  
31213

代理人 张泽纯

(51) Int. Cl.

G01R 31/12(2006. 01)

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

移动式变电站电力设备局部放电检测装置和定位方法

(57) 摘要

一种移动式变电站电力设备局部放电检测装置和定位方法,该装置安装在移动设备上,该装置由天线矩阵、超高速数据采集单元和数据处理单元构成,方法是所述的超高频(UHF)天线接收待测变电站电力设备局部放电所产生的超高频电磁波,经所述的前置宽带放大器放大和滤波处理后由所述的超高速数据采集单元同步采集,送所述的数据处理单元对四路信号进行数据处理,在显示屏上显示局部放电源的位置和预警信息。本发明能对变电站内所有设备进行全方位的局部放电检测和定位,大大降低了变电站设备局部放电检测的成本,有助于巡检变电站设备时提前发现缺陷,减少停电事故的发生,从而提高变电站的智能化水平。具有对待测变电站全站局部放电的检测和定位快、成本低,效率高的特点。

1. 一种移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置,特征在于该装置安装在移动设备上,该装置由天线矩阵、超高速数据采样单元和数据处理单元构成,所述的天线矩阵是带宽为 200M-2GHz 的 4 通道 UHF 超高频全向天线接收放大模块,每个通道的采样频率  $> 5G$  sps ;所述的 UHF 超高频全向天线接收放大模块是 4 个全向高增益天线及其前置宽带放大器的集成体,所述的前置宽带放大器的带宽为 2GHz,增益为 30dB,所述的 UHF 天线接收待测变电站电力设备局部放电所产生的超高频电磁波,经所述的前置宽带放大器放大和滤波处理后由所述的超高速数据采样单元同步采集,送所述的数据处理单元对四路信号进行数据处理,在显示屏上显示局部放电源的位置和预警信息。

2. 根据权利要求 1 所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置,其特征在于所述的数据处理单元为便携式电脑。

3. 根据权利要求 1 所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置,其特征在于所述的移动设备为汽车或其他运动载物台。

4. 根据权利要求 1 所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置,其特征在于所述的超高速数据采样单元为  $> 5G$  sps 的高速示波器。

5. 利用权利要求 1 所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置进行局部放电检测定位方法,其特征在于该方法包括下列步骤:

①所述的四路超高频信号同步采集:

将所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置置于所述的移动设备上,在待测的变电站周围某一位置停下后,所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置启动后,所述的四通道 UHF 天线接收变电站全站电力设备因局部放电产生的超高频电磁波信号,经所述的前置宽带放大器放大和滤波处理后由所述的超高速数据采样单元进行同步采集,送所述的数据处理单元对四路信号进行数据处理;

②、确定信号起始时刻

各路信号累积能量  $X$  的计算公式为  $X_j = \sum_{k=0}^j u_k^2$ ,其中  $u_k$  为信号波形上第  $k$  个点的电压值; $j$  为每路波形记录的点数,当局部放电发生时,放电源将辐射出一个脉冲,该脉冲的幅值远大于背景噪声,经过能量积累,局部放电起始点将在信号累积能量图上对应为一个拐点,  $dt_1$ 、 $dt_2$ 、 $dt_3$ 、 $dt_4$  为对应曲线的拐点时刻,即超高频电磁波传播至传感器的时刻;

③、利用时延计算放电源点的位置:

拐点对应的时刻是超高频信号的起始时刻,因此信号到达的时间差分别为:

$$\begin{aligned} \Delta T_2 &= dt_2 - dt_1 \\ \Delta T_3 &= dt_3 - dt_1 \\ \Delta T_4 &= dt_4 - dt_1 \end{aligned} \quad (1)$$

假设四根天线的空间位置坐标分别为  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $(x_3, y_3, z_3)$  和  $(x_4, y_4, z_4)$ ,放电点位置为  $(x, y, z)$ ,放电点到四根天线的距离分别为  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ ,故时间差的方程组为:

$$\begin{aligned} d_2 - d_1 &= v \Delta T_2 \\ d_3 - d_1 &= v \Delta T_3 \\ d_4 - d_1 &= v \Delta T_4 \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $d_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}$ ,

$i = 1, 2, 3, 4$ ;

$v = c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s}$  为电磁波传播速度;

④利用逐层网格搜索方法对局部放电源进行定位。

6. 根据权利要求 5 所述的局部放电检测定位方法, 其特征在于所述的逐层网格搜索方法如下:

首先在  $(x, y, z) \in [-30, 30] \times [-30, 30] \times [-5, 20] \text{m}$  内以 1m 为间隔搜索  $\|\vec{F}(X)\|$  的最小值, 假设最小值点的位置为  $(x_1, y_1, z_1)$ ,

然后在  $(x, y, z) \in [x_1-1, x_1+1] \times [y_1-1, y_1+1] \times [z_1-1, z_1+1] \text{m}$  范围内以 6cm 为间隔搜索  $\|\vec{F}(X)\|$  的最小值,  $\|\vec{F}(X)\|$  最小值的  $(x, y, z)$  即为局部放电源的置,

$$\text{其中, } \vec{F}(X) = \begin{pmatrix} d_2 - d_1 - v\Delta T_2 \\ d_3 - d_1 - v\Delta T_3 \\ d_4 - d_1 - v\Delta T_4 \end{pmatrix} \triangleq \begin{pmatrix} f_1(X) \\ f_2(X) \\ f_3(X) \end{pmatrix}.$$

## 移动式变电站电力设备局部放电检测装置和定位方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统高电压与绝缘技术,特别是一种移动式变电站电力设备局部放电检测装置和定位方法。

### 背景技术

[0002] 绝缘故障是电力设备在运行中最主要的可能故障之一,电力设备发生绝缘故障前,一般都会有一个逐渐发展的局部放电过程,最终导致绝缘击穿。如果在这个过程中能够对运行设备进行局部放电监测和诊断,及时发现局部放电信号,提前对缺陷进行处理,就能有效避免绝缘击穿故障的发生。对局部放电位置的定位,也有助于制定更有针对性的检修处理方案,减少停电时间,提高检修效率。

[0003] 局部放电可通过超声波、电气参数常量和超高频电磁波等多种方法检测。这些方法都可用来做局放定位。超高频(UHF)电磁波法是局部放电检测的一种新方法,该方法通过UHF天线传感器接收当电力设备内发生局部放电过程辐射的电磁波中的超高频段(300~3000MHz)信号来检测局部放电。超高频电磁波检测的优点为:检测频段较高,可以有效地避开常规局部放电测量中的电晕、开关操作等多种电气干扰;检测频带宽,所以其检测灵敏度很高,且电磁波在空气中的传播速度近似光速,可以用来计算局放的放电位置。

[0004] 国内外现有的对电力设备的局部放电进行监测及定位的方法基本都是针对单个变电站设备(GIS、变压器、容性设备等)的局部放电进行检测,并依据采集到的声信号和电信号进行定位。这种监测思路存在以下缺陷:变电站中的任何高压电力设备均可能会发生局部放电故障,要想对全站的一次电气设备实施监测,就需要在每一个设备上安装局部放电监测装置,这需要耗费大量的时间,财力进行设备采购,安装;测试时需携带多套不同类型仪器,操作不便;众多监测装置的维护和管理也需耗费大量的时间和人力。这种监测形式难以适应今后智能变电站远程管理及少人值守。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于改变以往对单个设备安装在线监测装置的常规做法,提供一种移动式变电站电力设备局部放电检测装置和定位方法,该装置和方法能对变电站内所有设备进行全方位的局部放电检测和定位,大大降低了变电站设备局部放电检测的成本,有助于巡检变电站设备时提前发现缺陷,减少停电事故的发生,从而提高变电站的智能化水平。具有对待测变电站全站局部放电的检测和定位快、成本低,效率高的特点。

[0006] 本发明的技术解决方案如下:

[0007] 一种移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置,特点在于该装置安装在移动设备上,该装置由天线矩阵、超高速数据采样单元和数据处理单元构成,所述的天线矩阵是带宽为200M-2GHz的4通道UHF超高频全向天线接收放大模块,每个通道的采样频率>5G sps;所述的UHF超高频全向天线接收放大模块是4个全向高增益天线及其前置宽带放大器的集成体,所述的前置宽带放大器的带宽为2GHz,增益为30dB,所述的UHF天线接收待

测全变电站电力设备局部放电所产生的超高频电磁波,经所述的前置宽带放大器放大和滤波处理后由所述的超高速数据采集单元同步采集,送所述的数据处理单元对四路信号进行数据处理,在显示屏上显示局部放电源所述的数据处理单元为便携式电脑。

[0008] 所述的移动设备为汽车或其他运动载物台。

[0009] 所述的超高速数据采集单元为 > 5Gps 的高速示波器。

[0010] 利用所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置进行局部放电检测定位方法,该方法包括下列步骤:

[0011] ①所述的四路超高频信号同步采集:

[0012] 将所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置置于所述的移动设备上,在待测的变电站周围某一位置停下后,所述的移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置启动后,所述的四通道 UHF 天线接收变电站全站电力设备因局部放电产生的超高频电磁波信号,经所述的前置宽带放大器放大和滤波处理后由所述的超高速数据采集单元进行同步采集,送所述的数据处理单元对四路信号进行数据处理;

[0013] ②、确定信号起始时刻

[0014] 各路信号累积能量 X 的计算公式为  $X_j = \sum_{k=0}^j u_k^2$ , 其中  $u_k$  为信号波形上第 k 个点的电压值; j 为每路波形记录的点数,当局部放电发生时,放电源将辐射出一个脉冲,该脉冲的幅值远大于背景噪声,经过能量积累,局部放电起始点将在信号累积能量图上对应为一个拐点, dt1、dt2、dt3、dt4 为对应曲线的拐点时刻,即超高频电磁波传播至传感器的时刻;

[0015] ③、利用时延计算放电源点的位置:

[0016] 拐点对应的时刻是超高频信号的起始时刻,因此信号到达的时间差分别为:

$$[0017] \quad \Delta T_2 = dt2 - dt1$$

$$[0018] \quad \Delta T_3 = dt3 - dt1 \quad (1)$$

$$[0019] \quad \Delta T_4 = dt4 - dt1$$

[0020] 假设四根天线的空间位置坐标分别为  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $(x_3, y_3, z_3)$  和  $(x_4, y_4, z_4)$ , 放电点位置为  $(x, y, z)$ , 放电点到四根天线的距离分别为  $d_1, d_2, d_3, d_4$ , 故时间差的方程组为:

$$[0021] \quad d_2 - d_1 = v \Delta T_2$$

$$[0022] \quad d_3 - d_1 = v \Delta T_3 \quad (2)$$

$$[0023] \quad d_4 - d_1 = v \Delta T_4$$

$$[0024] \quad \text{其中, } d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2};$$

$$[0025] \quad i = 1, 2, 3, 4;$$

$$[0026] \quad v = c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s 为电磁波传播速度};$$

[0027] ④利用逐层网格搜索方法对局部放电源进行定位。

[0028] 所述的逐层网格搜索方法如下:

[0029] 首先在  $(x, y, z) \in [-30, 30] \times [-30, 30] \times [-5, 20]$  m 内以 1m 为间隔搜索  $\|\bar{F}(x)\|$  的最小值,假设最小值点的位置为  $(x_1, y_1, z_1)$ ,

[0030] 然后在  $(x, y, z) \in [x_1 - 1, x_1 + 1] \times [y_1 - 1, y_1 + 1] \times [z_1 - 1, z_1 + 1]$  m 范围内以 6cm 为间隔搜索  $\|\bar{F}(x)\|$  的最小值,  $\|\bar{F}(x)\|$  最小值的  $(x, y, z)$  即为局部放电源的置,

[0031] 其中,  $\vec{F}(X) = \begin{pmatrix} d_2 - d_1 - v\Delta T_2 \\ d_3 - d_1 - v\Delta T_3 \\ d_4 - d_1 - v\Delta T_4 \end{pmatrix} \triangleq \begin{pmatrix} f_1(X) \\ f_2(X) \\ f_3(X) \end{pmatrix}$ 。

[0032] 本发明的技术效果如下：

[0033] 1、本发明移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置具有灵活机动、检测快速方便的特点。

[0034] 2、该装置和方法能对变电站内所有设备进行全方位的局部放电检测和定位,大大降低了变电站设备局部放电检测的成本,有助于巡检变电站设备时提前发现缺陷,减少停电事故的发生,从而提高变电站的智能化水平。

[0035] 3、本发明通过该装置首先粗选有缺陷的设备或设备部件,确定设备或设备部件有了缺陷和故障风险后再进行深入分析和定位,具有对待测变电站全站局部放电的检测和定位快、成本低,效率高的特点。

### 附图说明

[0036] 图 1 是本发明移动式变电站电力设备的局部放电检测装置示意图。

[0037] 图 2 可移动式变电站电力设备的局部放电检测装置实现原理框图。

[0038] 图 3 超高频电磁波信号采集。

[0039] 图 4 超高频信号的能量积累曲线。

[0040] 图 5 实验室仿真天线摆放位置示意图 (单位 :m)。

[0041] 图 6 现场应用场景。

[0042] 图 7 现场应用天线坐标系 (单位 :m)。

### 具体实施方式

[0043] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明,但不应以此限制本发明的保护范围。

[0044] 先请参阅图 1,图 1 移动式变电站电力设备的局部放电检测装置示意图,本发明移动式变电站全站电力设备的局部放电检测装置,该装置安装在移动设备上,该装置由天线矩阵、超高速数据采集单元和数据处理单元构成,所述的天线矩阵是带宽为 200M-2GHz 的 4 通道 UHF 超高频全向天线接收放大模块,每个通道的采样频率 > 5Gsp/s;所述的 UHF 超高频全向天线接收放大模块是 4 个全向高增益天线及其前置宽带放大器的集成体,所述的前置宽带放大器的带宽为 2GHz,增益为 30dB,所述的 UHF 天线接收待测全变电站电力设备局部放电所产生的超高频电磁波,经所述的前置宽带放大器放大和滤波处理后由所述的超高速数据采集单元同步采集,送所述的数据处理单元对四路信号进行数据处理,在显示屏上显示局部放电源所述的数据处理单元为便携式电脑。

[0045] 本发明装置在移动到变电站现场固定在某个位置后开始工作,根据四个超高频 (UHF) 天线接收到的局放电磁波信号信息,对变电站中各类输变电一次设备,包括 GIS 出线套管、变压器高压套管、SF6 断路器、互感器、电容器、避雷器和绝缘子等出现绝缘故障前产生的局部放电信号,进行带电状态下的试验检测和研究分析,实现放电检测和放电定位的目标。

[0046] 图 2 是可移动式变电站电力设备的局部放电检测装置实现原理框图,通过实时计算四个 UHF 天线接收到同一放电源辐射出超高频信号的起始时刻,基于接收到的信号时间差,列出方程组,求解放电信号的位置。

[0047] 本发明的工作流程图如下:

[0048] 1、四路超高频信号同步采集

[0049] 四通道 UHF 天线同时接收设备局部放电产生电磁波信号,基于超高速数据采样单元(例如高速示波器:带宽> 2GHz,采集频率> 5Gps),通过每通道> 5Gps 以上速度的同步高速采样,波形如图 3 所示。

[0050] 2、确定信号起始时刻

[0051] 各路信号累积能量 X 的计算公式为  $X_j = \sum_{k=0}^j u_k^2$ ,其中  $u_k^2$  为信号波形上第 k 个点的电压值;j 为每路波形记录的点数。当局部放电发生时,放电源将辐射出一个脉冲,该脉冲的幅值远大于背景噪声,经过能量积累,局部放电起始点将在信号累积能量图上对应为一个拐点,如图 4 所示。图中 dt1、dt2、dt3、dt4 为对应曲线的拐点时刻,由能量积累原理,该拐点时刻为信号的起始时刻,即超高频电磁波传播至传感器的时刻。

[0052] 3、利用时延计算放电点位置

[0053] 拐点对应的时刻可以认为是超高频信号的起始时刻,因此信号到达的时间差为:

$$[0054] \quad \Delta T_2 = dt2 - dt1$$

$$[0055] \quad \Delta T_3 = dt3 - dt1 \quad (1)$$

$$[0056] \quad \Delta T_4 = dt4 - dt1$$

[0057] 假设四根天线的空间位置坐标分别为  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ 、 $(x_3, y_3, z_3)$  和  $(x_4, y_4, z_4)$ ,放电点位置为  $(x, y, z)$ ,放电点到四根天线的距离分别为  $d_1, d_2, d_3, d_4$ ,建立基于时间差的非线性方程组:

$$[0058] \quad d_2 - d_1 = v \Delta T_2$$

$$[0059] \quad d_3 - d_1 = v \Delta T_3 \quad (2)$$

$$[0060] \quad d_4 - d_1 = v \Delta T_4$$

[0061] 其中,  $d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ ;  $v = c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s}$  为电磁波传播速度。 $(x, y, z)$  即为待定的放电点位置坐标。

[0062] 4、逐层网格搜索的求解方法:

[0063] 1) 牛顿法求解非线性方程组原理

[0064] 关于放电位置  $(x, y, z)$  的非线性方程组 (2) 写成  $\vec{F}(X) = 0$  的形式,其中  $X = (x, y, z)^T$ ,

$$[0065] \quad \vec{F}(X) = \begin{pmatrix} d_2 - d_1 - v\Delta T_2 \\ d_3 - d_1 - v\Delta T_3 \\ d_4 - d_1 - v\Delta T_4 \end{pmatrix} \triangleq \begin{pmatrix} f_1(X) \\ f_2(X) \\ f_3(X) \end{pmatrix} \quad (3)$$

[0066] 设  $X_k = (x_k, y_k, z_k)^T$  为方程组的一个近似解,则对  $i = 1, 2, 3$  有

$$[0067] \quad f_i(X) \approx f_i(X_k) + \frac{\partial f_i(X_k)}{\partial x_k} (x - x_k) + \frac{\partial f_i(X_k)}{\partial y_k} (y - y_k) + \frac{\partial f_i(X_k)}{\partial z_k} (z - z_k) \quad (4)$$

[0068] 写成向量形式为

$$[0069] \quad \vec{F}(X) \approx \vec{F}(X_k) + \vec{F}'(X_k)(X - X_k) \quad (5)$$

[0070] 其中 $\bar{F}'(x_k)$ 为 $\bar{F}$ 的 Jacobi 矩阵在 $x_k$ 处的值。若 $X$ 取值为方程组(3)的根 $x^*$ ,即 $\bar{F}(x^*) = 0$ ,故把使得式(5)右端为0的向量 $X$ 作为新的近似值,记为 $x_{k+1}$ ,即有:

$$[0071] \quad x_{k+1} = x_k - (\bar{F}'(x_k))^{-1} \bar{F}(x_k) \quad (6)$$

[0072] 式(6)即为牛顿法求解非线性方程组的迭代公式。

[0073] 2) 逐层网格搜索法求解非线性方程组

[0074] 牛顿法求解非线性方程组迭代收敛的条件较强,即算法要求 $\bar{F}(x)$ 在 $x^*$ 的开邻域上连续可导,且 $\bar{F}'(x^*)$ 可逆。而在实际的放电测量计算中,由于干扰噪声、测量误差等因素的影响,导致方程组(3)的解不存在或者不唯一,此时利用牛顿法迭代不能收敛。在牛顿法迭代不收敛的情况下,采用网格搜索法求解关于放电位置的非线性方程组。

[0075] 逐层网格搜索法的思路如下:

[0076] 首先在 $(x, y, z) \in [-30, 30] \times [-30, 30] \times [-5, 20]$ m内以1m为间隔搜索 $\|\bar{F}(x)\|$ 的最小值,假设最小值点的位置为 $(x_1, y_1, z_1)$ ,然后在 $(x, y, z) \in [x_1-1, x_1+1] \times [y_1-1, y_1+1] \times [z_1-1, z_1+1]$ m范围内以0.06m为间隔搜索 $\|\bar{F}(x)\|$ 的最小值。(因实际应用中,使用采样率为 $> 5G$  sps的高速示波器进行信号采集,所以最小分辨率为6cm,为便于计算,最小间隔选为6cm)。

[0077] 实施例1:实验室测试和验证

[0078] 实验室仿真验证定位算法天线摆放空间位置如图5中的坐标点A、B、C、D所示,天线在同一平面,摆放在长方形的四个顶点上;模拟放电源P点位置为(0.35, 3.86, 2.28)m,使用带宽为2GHz,采样率为10G sps的高速数字示波器进行信号采集,使用天线的带宽为200M-2GHz。应用上述定位算法,得到的定位结果如表1所示。

[0079] 表1 定位结果

[0080]

x(m)	0.36	0.32	0.36	0.36	0.36	0.36
y(m)	4.00	4.10	4.00	4.00	4.00	4.00
z(m)	2.40	2.52	2.46	2.40	2.40	2.40

[0081] 表1中6组定位结果的平均位置为(0.35, 4.02, 2.43)m,而实际的模拟放电源P点位置为(0.35, 3.86, 2.28)m,绝对误差为(0.00, 0.16, 0.15)m,考虑天线半径、背景噪声、已知位置测量时差计算等误差产生原因,定位结果满足对局放设备进行定位的要求。

[0082] 实施例2:现场应用验证

[0083] 为验证系统在现场强干扰环境下运行的效果,在某500kV变电站进行了系统的测试试验,现场测试场景如图5所示,UHF天线安装在可移动的支架上,安装后天线的坐标如图6所示,并制造模拟放电源进行验证。示波器采集到放电源发出的超高频电磁波信号数据,经系统处理分析和定位算法计算,结果定位放电源在现场坐标为(5.46, 0.68, 0.58)m,而实际模拟放电源的真实位置大概在(5.3, 0.7, 0.6)m左右,误差在2%以内,满足变电站全站局部放电定位精度的要求。

[0084] 经实验表明,本发明能对变电站内所有设备进行全方位的局部放电检测和定位,大大降低了变电站设备局部放电检测的成本,有助于巡检变电站设备时提前发现缺陷,减少停电事故的发生,从而提高变电站的智能化水平。具有对待测变电站全站局部放电的检测和定位快、成本低,效率高的特点。

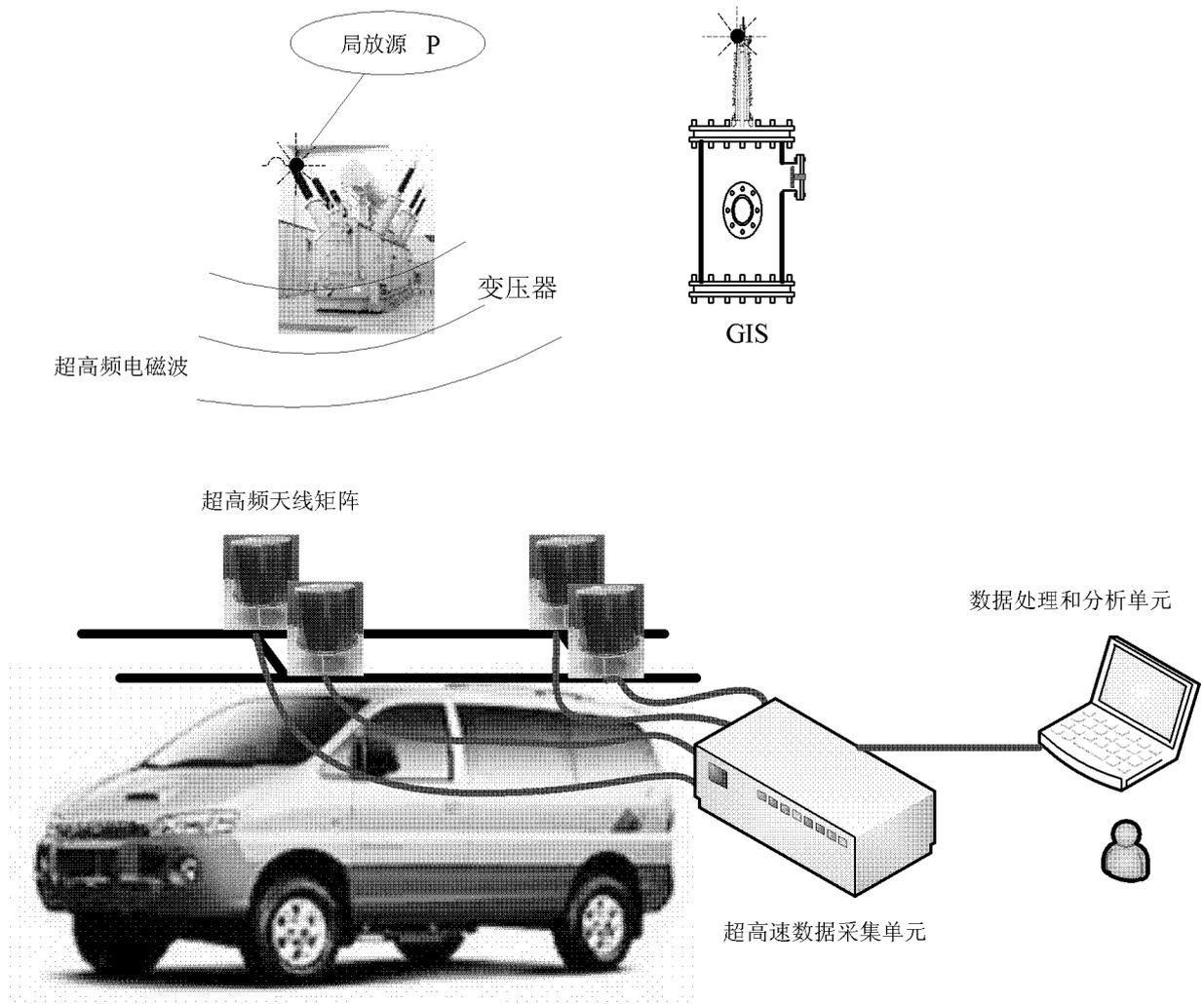


图 1

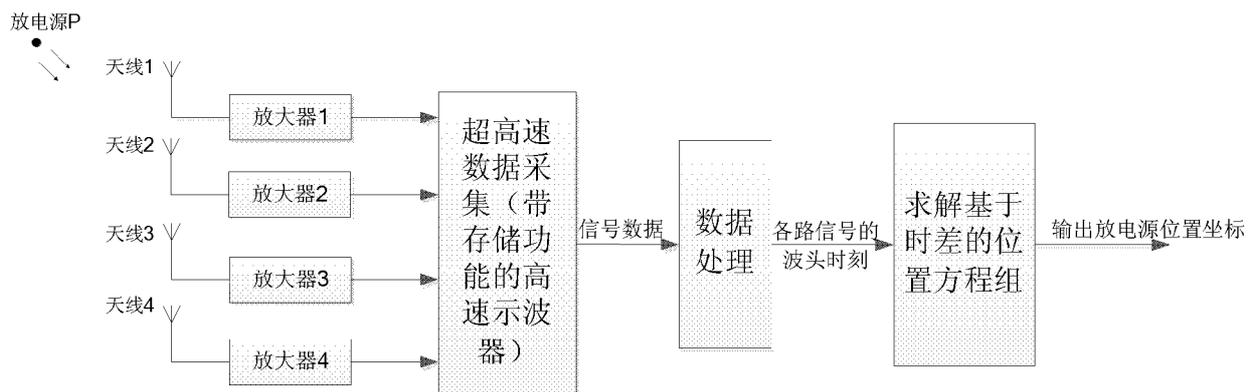


图 2

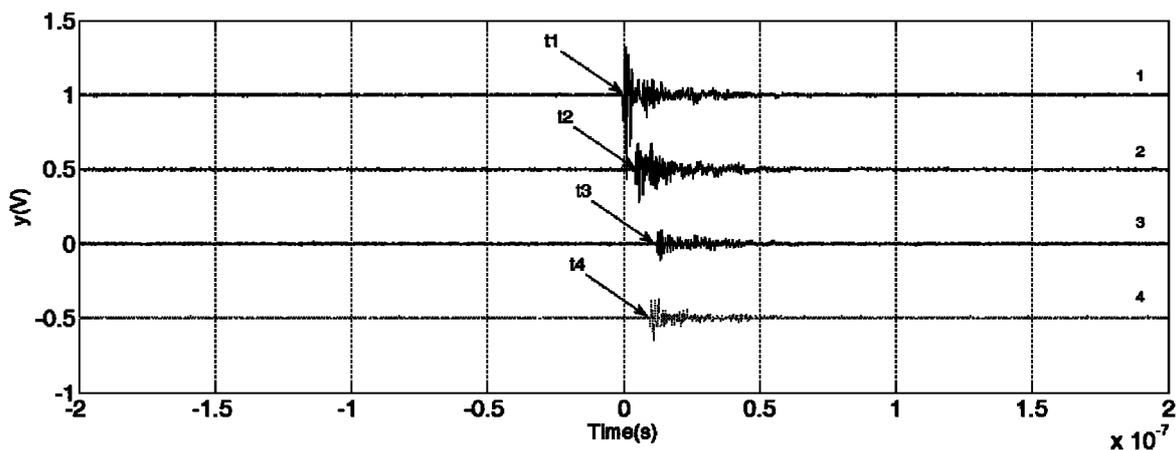


图 3

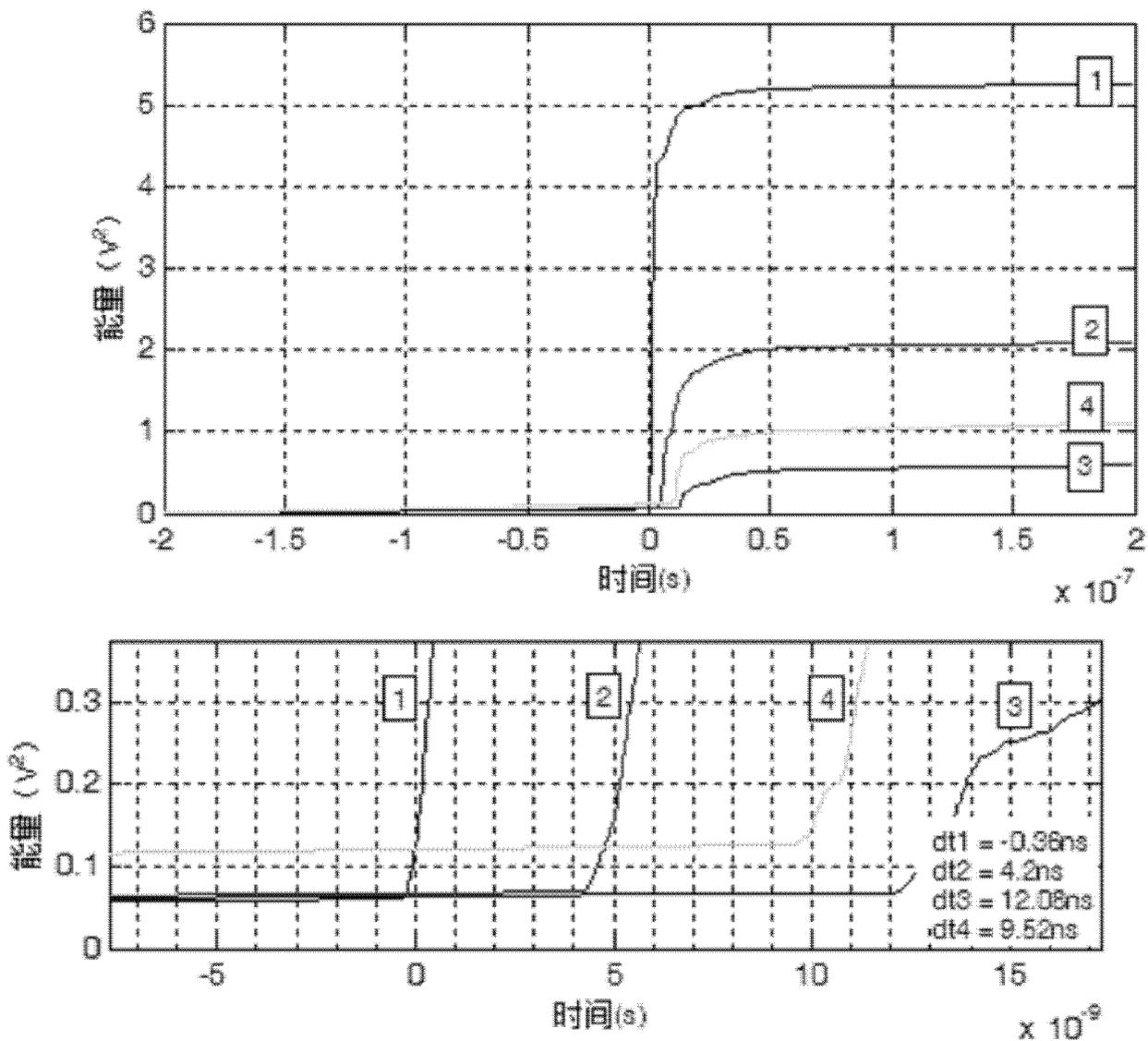


图 4

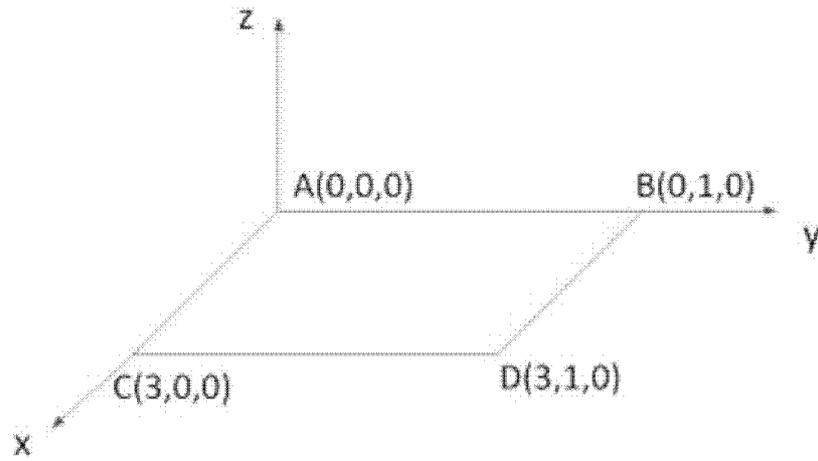


图 5



图 6

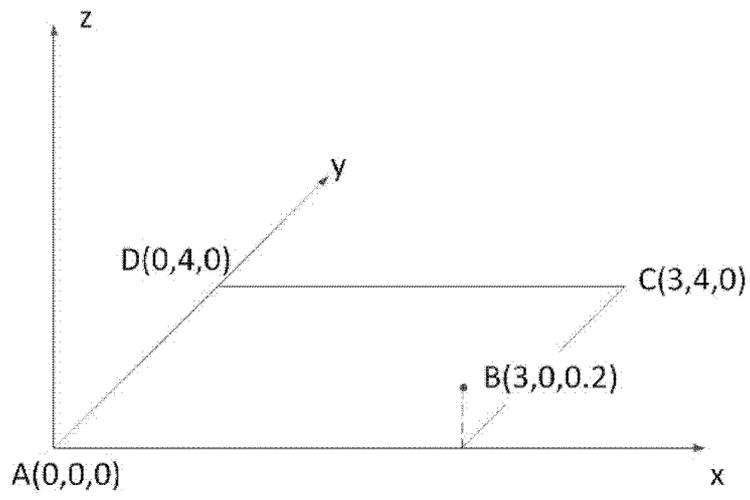


图 7