

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01R 31/08 (2006.01)

G01R 19/25 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910105135.3

[43] 公开日 2009年7月8日

[11] 公开号 CN 101477170A

[22] 申请日 2009.1.19

[21] 申请号 200910105135.3

[71] 申请人 哈尔滨工业大学深圳研究生院

地址 518055 广东省深圳市南山区西丽深圳  
大学城哈工大校区

[72] 发明人 张东来 邢浩江

[74] 专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事务  
所

代理人 胡吉科

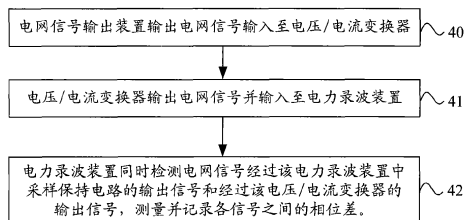
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 3 页

## [54] 发明名称

电力录波采样延时检测系统及方法

## [57] 摘要

本发明涉及电力录波采样延时检测系统，包括电网信号输出装置，与电网信号输出装置相连的电压/电流变换器，以及与电压/电流变换器相连的电力录波装置。本发明还涉及一种电力录波采样延时检测方法，包括以下步骤：电网信号输入至电压/电流变换器；电压/电流变换器输出电网信号至电力录波装置；电力录波装置同时检测电网信号经过该电力录波装置中各采样保持电路的输出信号和经过该电压/电流变换器的输出信号，测量并记录各信号之间的相位差。本发明能够精确测量电网信号进入电力录波装置之后的采样延时，从而精确地修正采样数据时标的精度，尤其是故障时刻的时标，从采集数据本身实现高精度的故障测距。



1. 一种电力录波采样延时检测系统,其特征在于:该系统包括电网信号输出装置(10)、与电网信号输出装置(10)相连的电压/电流变换器(11),以及与电压/电流变换器(11)相连的电力录波装置(12),所述电力录波装置(12)用于采集经过电压/电流变换器(11)的电网信号,同时检测电网信号经过该电力录波装置中各采样保持电路的输出信号和经过该电压/电流变换器(11)的输出信号,测量并记录各信号之间的相位差。

2. 根据权利要求1所述的电力录波采样延时检测系统,其特征在于:所述电力录波装置包括电压/电流互感器(221)、滤波电路(222)、采样保持电路(223)、第一比较器(224)、第二比较器(225)和现场可编程门阵列(226);所述电压/电流互感器(221)的一次端与第二比较器(225)相连,第二比较器(225)与现场可编程门阵列(226)相连,用于将电网信号经过第二比较器(225)后输入至现场可编程门阵列(226);所述电压/电流互感器(221)的二次端依次通过滤波电路(222)和采样保持电路(223)与第一比较器(224)相连,第一比较器(224)与现场可编程门阵列(226)相连,用于将采样保持电路(223)输出的电网信号输入至现场可编程门阵列(226);所述现场可编程门阵列(226)用于检测经过第一比较器(224)和第二比较器(225)输出的信号,测量并记录各信号之间的相位差。

3. 根据权利要求1所述的电力录波采样延时检测系统,其特征在于:所述第一比较器(224)和第二比较器(225)的性能一致。

4. 根据权利要求1所述的电力录波采样延时检测系统,其特征在于:所述电力录波装置(32)包括至少两路模拟通道的至少两个电压/电流互感器(320)、至少两个滤波电路(321)、至少两个采样保持电路(322)、第一跟随器(323)、模拟开关(324)、第二跟随器(325)、模拟信号与数字信号转换装置(326)、光耦隔离装置(327)、现场可编程门阵列(328)和数字信号处理器(329);所述第一跟随器(323)用于增加模拟开关(324)的驱动能力;所述第二跟随器(325)用于增加输入模拟信号与数字信号转换装置(326)的信号的驱动能力;所述模拟信号与数字信号转换装置(326)用于将电网模拟信号转换为数字信号;所述光耦隔离装置(327)用于模数信号隔离和电平转换;所述现场可编程门阵列(328)用于同步采集模拟信号与

数字信号转换装置(326)转换后的经光耦隔离装置(327)输出的数字信号; 所述数字信号处理器(329)用于计算现场可编程门阵列(328)采集到的各通道信号之间的相位差。

5. 根据权利要求4所述的电力录波采样延时检测系统, 其特征在于: 所述电压/电流互感器(320)、滤波电路(321)和采样保持电路(322)的数量相等。

6. 根据权利要求4所述的电力录波采样延时检测系统, 其特征在于: 所述采样保持电路(322)的控制信号与获取全球定位系统时标的控制信号同步。

7. 根据权利要求6所述的电力录波采样延时检测系统, 其特征在于: 所述电力录波装置还包含高性能处理器, 该电力录波装置可通过以太网与计算机相连。

8. 一种电力录波采样延时检测方法, 其特征在于该方法包括以下步骤:

a. 电网信号(10)输入电压/电流变换器(11);

b. 电压/电流变换器(11)输出电网信号至电力录波装置(12);

c. 电力录波装置(12)同时检测电网信号经过该电力录波装置中采样保持电路的输出信号和经过该电压/电流变换器(11)的输出信号, 测量并记录各信号之间的相位差。

9. 根据权利要求8所述的电力录波采样延时检测方法, 其特征在于: 所述电力录波装置(22)包括电压/电流互感器(221)、滤波电路(222)、采样保持电路(223)、第一比较器(224)、第二比较器(225)和现场可编程门阵列(226); 所述步骤c包括以下步骤:

c1. 电压/电流变换器(21)输出电网信号至电压/电流互感器(221)和第二比较器(225);

c2. 电压/电流互感器(221)输出电网信号, 并将电网信号依次输入滤波电路(222)、采样保持电路(223)和第一比较器(224);

c3. 第一比较器(224)和第二比较器(225)将电网信号分别输入至现场可编程门阵列(226), 现场可编程门阵列(226)检测经过第一比较器(224)和第二比较器(225)输出的信号, 测量并记录各信号之间的相位差。

10. 根据权利要求8所述的电力录波采样延时检测方法, 其特征在于: 所述电力录波装置(32)包括至少两路模拟通道的至少两个电压/电流互感器(320)、

至少两个滤波电路(321)、至少两个采样保持电路(322)、第一跟随器(323)、模拟开关(324)、第二跟随器(325)、模拟信号与数字信号转换装置(326)、光耦隔离装置(327)、现场可编程门阵列(328)和数字信号处理器(329); 所述步骤c包括以下步骤:

c1' 电压/电流变换器(31)输出电网信号至电力录波装置(32)中至少两路模拟通道的至少两个电压/电流互感器(320)、至少两个滤波电路(321)和至少两个采样保持电路(322);

c2' .采样保持电路(322)将输出信号依次通过第一跟随器(323)、模拟开关(324)、第二跟随器(325)、模拟信号与数字信号转换装置(326)和光耦隔离装置(327)输入至现场可编程门阵列(328);

c3' . 现场可编程门阵列(328)同步采集并存储模拟信号与数字信号转换装置(326)输出的经光耦隔离装置(327)输出的数字信号;

c4' . 数字信号处理器(329)读取现场可编程门阵列(328)采集的数据, 并计算现场可编程门阵列(328)采集到的各通道信号之间的相位差。

## 电力录波采样延时检测系统及方法

### 【技术领域】

本发明涉及一种电力录波采样延时检测系统及方法，特别涉及一种用于高压输电线路的电力录波采样延时检测系统及方法。

### 【背景技术】

高压输电线路是电力系统中发生故障最多的地方，极难查找。故障测距方法按测距所需信息来源分为单端量法和双端量法。单端故障测距的典型算法为单端行波法和单端阻抗法，单端行波法不能有效识别来自于故障点反射行波和来自于其它波阻抗间断点反射行波，单端阻抗法不能完全消除故障过渡电阻和对侧系统阻抗影响，因此故障测距精度不是很高。双端量法使用线路两端电气信息，测距原理上，双端测距不受过渡电阻和两侧系统阻抗等因素影响，可以大大提高测距精度，但在实际应用中，由于各种录波装置采样频率和相位偏移的影响，降低了测量精度。

目前对故障测距研究主要是基于测量或者仿真得到故障录波数据，应用各种算法进行故障定位。主要的方法包括：利用传输线分布参数模型进行故障定位；依靠采样频率，考虑寄生电容的影响，利用长线法定范围，短线法精确定位；用同步电压测量方法，避免了电流互感器误差；基于系统具有有限个传输线，且故障发生在系统传输线端；计算不同子站之间的传输线阻抗相移；利用故障前后录波数据，将故障距离、线路参数、同步误差等量作为未知量，求解故障距离。

上述故障测距算法共同点是只考虑不同子站之间的传输线的信号延时，假定录波数据真实的反映输电线路的信号量，没有精确的估计输电线路信号到达录波设备和设备给数据加时标这一传输过程中的延时（即采样延时），以及不同设备的采样延时对故障测距的影响，难以达到实质上的高精度故障测距。

### 【发明内容】

为了解决现有技术高压输电线路故障难以达到实质上的高精度故障测距的

技术问题，本发明提供了一种用于高压输电线路的电力录波采样延时检测系统及方法。

本发明解决现有技术高压输电线路故障难以达到实质上的高精度故障测距的技术问题所采用的技术方案是：提供一种电力录波采样延时检测系统包括电网信号输出装置、与电网信号输出装置相连的电压/电流变换器，以及与电压/电流变换器相连的电力录波装置，电力录波装置用于同时检测电网信号经过该电力录波装置中各采样保持电路的输出信号和经过该电压/电流变换器的输出信号，测量并记录各信号之间的相位差。

根据本发明电力录波采样延时检测系统的一优选实施例，所述电力录波装置包括电压/电流互感器、滤波电路、采样保持电路、第一比较器、第二比较器和现场可编程门阵列；所述电压/电流互感器的一次端与第二比较器相连，第二比较器与现场可编程门阵列相连，用于将电网信号经过第二比较器后输入至现场可编程门阵列；所述电压/电流互感器的二次端依次通过滤波电路和采样保持电路与第一比较器相连，第一比较器与现场可编程门阵列相连，用于将采样保持电路输出的电网信号输入至现场可编程门阵列；所述现场可编程门阵列用于检测经过第一比较器和第二比较器输出的信号，测量并记录各信号之间的相位差。

根据本发明电力录波采样延时检测系统的一优选实施例，所述第一比较器和第二比较器性能相同。

根据本发明电力录波采样延时检测系统的一优选实施例，所述电力录波装置包括至少两路模拟通道的至少两个电压/电流互感器、至少两个滤波电路、至少两个采样保持电路、第一跟随器、模拟开关、第二跟随器、模拟信号与数字信号(Analog to Digital, 以下简称 AD)转换装置、光耦隔离装置、现场可编程门阵列和数字信号处理器；所述第一跟随器用于增加模拟开关的驱动能力；所述第二跟随器用于增加输入 AD 转换装置的信号的驱动能力；所述 AD 转换装置用于将模拟电网信号转换为数字电网信号；所述现场可编程门阵列用于同步采集 AD 转换装置转换后的经光耦隔离装置输出的数字信号；所述数字信号处理器用于计算现场可编程门阵列采集到的各通道信号之间的相位差。

根据本发明电力录波采样延时检测系统的一优选实施例，所述电压/电流

互感器、滤波电路和采样保持电路的数量相等。

根据本发明电力录波采样延时检测系统的一优选实施例，经过所述采样保持电路的控制信号与获取全球定位系统(Global Positioning System，以下简称GPS)时标的控制信号同步。

根据本发明电力录波采样延时检测系统的一优选实施例，所述电力录波装置还包含高性能处理器，该电力录波装置可通过以太网与计算机相连。

本发明解决现有技术高压输电线路故障难以达到实质上的高精度故障测距的技术问题所采用的另一技术方案是：一种电力录波采样延时检测方法，该方法包括以下步骤：第一步：电网信号输入至电压/电流变换器；第二步：电压/电流变换器输出电网信号至电力录波装置；第三步：电力录波装置同时检测电网信号经过该电力录波装置中各采样保持电路的输出信号和经过该电压/电流变换器的输出信号，测量并记录各信号之间的相位差。

根据本发明电力录波采样延时检测方法的一优选实施例，所述电力录波装置包括电压/电流互感器、滤波电路、采样保持电路、第一比较器、第二比较器和现场可编程门阵列；所述第三步包括以下步骤：首先，电压/电流变换器输出电网信号至电压/电流互感器和第二比较器；其次，电压/电流互感器输出电网信号，并将电网信号依次输入滤波电路、采样保持电路和第一比较器；再次，第一比较器和第二比较器将电网信号分别输入至现场可编程门阵列，现场可编程门阵列检测经过第一比较器和第二比较器输出的信号，测量并记录各信号之间的相位差。

根据本发明电力录波采样延时检测方法的一优选实施例，所述电力录波装置包括至少两路模拟通道的至少两个电压/电流互感器、至少两个滤波电路、至少两个采样保持电路、第一跟随器、模拟开关、第二跟随器、AD转换装置、光耦隔离装置、现场可编程门阵列和数字信号处理器；所述第三步包括以下步骤：首先，电压/电流变换器输出电网信号至电力录波装置中至少两路模拟通道的至少两个电压/电流互感器、至少两个滤波电路和至少两个采样保持电路；其次，采样保持电路将输出信号依次通过第一跟随器、模拟开关、第二跟随器、AD转换装置和光耦隔离装置输入至现场可编程门阵列；再次，现场可编程门阵列同步采集并存储AD转换装置输出的经光耦隔离装置输出的数字信号；最后，数字信号处理器读取现场可编程门阵列采集的数据，并计算现场可编程门阵列采

集到的各通道信号之间的相位差。

采用上述方法测量并记录电力录波装置各通道采样延时，提供精确的带时标数据信息，克服现有各种故障测距方法中假定录波装置无延时，没有精确考虑不同录波装置采样延时对故障测距的影响，难以达到高精度故障测距的不足，从而减少故障时人工循线的工作量，给电力生产部门带来极大的社会效益。

### 【附图说明】

图 1 是本发明电力录波采样延时检测系统的结构示意图；

图 2 是本发明电力录波采样延时检测系统实施例一的结构示意图；

图 3 是本发明电力录波采样延时检测系统实施例二的结构示意图；

图 4 是本发明电力录波采样延时检测方法的流程示意图；

图 5 是本发明电力录波采样延时检测方法实施例一的流程示意图；

图 6 是本发明电力录波采样延时检测方法实施例二的流程示意图；

图 7 是本发明测量不同电力录波装置电压通道与电流通道的相位差。

### 【具体实施方式】

下面结合附图和实施例对本发明进行详细说明。

参照图 1，图 1 是本发明电力录波采样延时检测系统的结构示意图。在本实施例中，该系统包括电网信号输出装置 10、与电网信号输出装置 10 相连的电压/电流变换器 11，以及与电压/电流变换器 11 相连的电力录波装置 12，电力录波装置 12 用于同时检测经过电压/电流变换器 11 的电网信号通过该电力录波装置中各采样保持电路的输出信号和经过该电压/电流变换器 11 的输出信号，测量并记录各信号之间的相位差。

参照图 2，图 2 是本发明电力录波采样延时检测系统实施例一的结构示意图。与图 1 不同之处在于，在本实施例中，所述电力录波装置 22 包括电压/电流互感器 221、滤波电路 222、采样保持电路 223、第一比较器 224、第二比较器 225 和现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, 以下简称 FPGA)226；所述电压/电流互感器 221 的一次端与第二比较器 225 相连，第二比较器 225 与 FPGA226 相连，用于将电网信号经过第二比较器 225 后输入至 FPGA226；所述电压/电流互感器 221 的二次端依次通过滤波电路 222 和采样保持电路 223 与第



一比较器 224 相连,第一比较器 224 与 FPGA226 相连,用于将采样保持电路 223 输出的电网信号输入至 FPGA226; 所述 FPGA226 用于检测经过第一比较器 224 和第二比较器 225 输出的信号,测量并记录信号之间的相位差。所述第一比较器 224 和第二比较器 225 的性能一致,且互换比较器之后对测量结果无影响。

参照图 3,图 3 是本发明电力录波采样延时检测系统实施例二的结构示意图。与图 1 不同之处在于,在本实施例中,所述电力录波装置 32 包括至少两路模拟通道的至少两个电压/电流互感器 320、至少两个滤波电路 321、至少两个采样保持电路 322、第一跟随器 323、模拟开关 324、第二跟随器 325、AD 转换装置 326、光耦隔离装置 327、FPGA328 和数字信号处理器(Digital Signal Processing,以下简称 DSP)329; 所述第一跟随器 323 用于增加模拟开关 324 的驱动能力; 所述第二跟随器 325 用于增加输入 AD 转换装置 326 的信号的驱动能力; 所述 AD 转换装置 326 用于将模拟电网信号转换为数字电网信号; 所述光耦隔离装置 327 用于模数信号隔离和电平转换; 所述 FPGA328 用于同步采集 AD 转换装置 326 输出的经光耦隔离装置 327 输出的数字信号; 所述 DSP329 用于计算 FPGA328 采集到的各通道信号之间的相位差。所述电压/电流互感器 320、滤波电路 321 和采样保持电路 322 的数量相等。所述采样保持电路 322 的控制信号与获取 GPS 时标的控制信号同步。所述电力录波装置中还可以包含高性能处理器,该电力录波装置可通过以太网与计算机相连。

模拟信号进行 AD 转换时,从启动、转换结束到输出数字量,需要一定的转换时间。在这个转换时间内,模拟信号要基本保持不变,否则影响转换精度,特别当输入信号频率较高时,会造成很大转换误差,采样保持电路对转换精度有很大影响。

电压/电流互感器 320 的转换系数,根据出厂标称确定,采样保持电路 322 采用专用的采样保持芯片。第一跟随器 323 用于增加模拟开关的驱动能力。第二跟随器 325 用于增加输入 AD 转换装置 326 的信号的驱动能力,为了能够配合 AD 转换装置 326 进行高速的数据转换,该驱动电路必须有很高的摆率。对多通道的模拟信号进行切换的过程中,如果连续两个信号的电压差很大,相当于阶跃信号,摆率不够会使追踪时间变长,从而延长采样周期。AD 转换之后的各路模拟信号经光耦隔离,输入 FPGA328 采集数据。

参照图 4, 图 4 是本发明采用图 1 所示的电力录波采样延时检测系统进行电力录波采样延时检测方法的流程示意图。在本实施例中, 该方法包括以下步骤:

步骤 40. 电网信号输出装置 10 输出电网信号并输入至电压/电流变换器 11。

步骤 41. 电压/电流变换器 11 输出电网信号至电力录波装置 12。

步骤 42. 电力录波装置 12 同时检测电网信号经过该电力录波装置中各采样保持电路的输出信号和经过该电压/电流变换器 11 的输出信号, 测量并记录各信号之间的相位差。

参照图 5, 图 5 是本发明采用图 2 所示的电力录波采样延时检测系统进行电力录波采样延时检测方法实施例一的流程示意图。在本实施例中, 该方法包括以下步骤:

步骤 50. 电网信号输出装置 20 输出电网信号并输出至电压/电流变换器 21。

步骤 51. 电压/电流变换器 21 输出电网信号至电压/电流互感器 221 和第二比较器 225。

步骤 52. 电压/电流互感器 221 输出电网信号, 并将电网信号依次输入滤波电路 222、采样保持电路 223 和第一比较器 224。

电网信号输入电压/电流变换器, 电压/电流变换器输出接电压/电流互感器一次端, 同时经过第二比较器输出接 FPGA 一路输入, 电压/电流互感器二次端输入滤波电路, 滤波电路输出接采样保持电路, 采样保持电路输出接第一比较器, 第一比较器输出接 FPGA 另一路输入。FPGA 捕获到一个通道的信号开始计数, 直到捕获到另一个通道的信号停止。

步骤 53. 第一比较器 224 和第二比较器 225 将电网信号分别输入至 FPGA 226, FPGA 226 检测经过第一比较器 224 和第二比较器 225 输出的信号, 测量并记录各信号之间的相位差。

假设 FPGA 测量信号差的计数值为  $n$ , 计数频率为  $f$ , 则延时  $T$  为:

$$T=n/f \quad (1)$$

参照图 6, 图 6 是本发明采用图 3 所示的电力录波采样延时检测系统进行电力录波采样延时检测方法实施例二的流程示意图。在本实施例中, 该方法包括以下步骤:

步骤 60. 电网信号输出装置 30 输出电网信号并输入至电压/电流变换器 31。

步骤 61. 电压/电流变换器 31 输出电网信号至电力录波装置 32 中至少两个模拟通道的至少两个电压/电流互感器 320、至少两个滤波电路 321 和至少两个采样保持电路 322。

步骤 62. 采样保持电路 322 将输出信号依次通过第一跟随器 323、模拟开关 324、第二跟随器 325、AD 转换装置 326 和光耦隔离装置 327 输入至 FPGA328。

步骤 63. FPGA328 同步采集并存储 AD 转换装置 326 输出的经光耦隔离装置 327 输出的数字信号。

步骤 64. DSP329 读取 FPGA328 采集的数据，并计算 FPGA328 采集到的各信号之间的相位差。

参照图 7, 图 7 是本发明测试不同录波装置电压通道或者电流通道的相位差测试结果示意图, 电压通道和电流通道对应图 3 描述中的模拟通道, 即输入电压/电流互感器 320 的信号。在本实施例中, 共测试两个录波装置, 其中一个录波装置包括 10 路电压通道和 10 路电流通道的, 分别为图中横坐标中 1~10 通道和 11~20 通道, 另一个录波装置包括 10 路电压通道, 为图中横坐标中 21~30 通道, 图中纵坐标为测试第 2 通道到第 30 通道与第 1 通道的相位差, 单位为度。

实际应用中, 录波装置输入的模拟量, 包括电压/电流信号, 一般为几十路, 对每个录波装置的每一路检测, 每一路检测之后进行相位补偿, 操作过程繁琐, 易引入测试误差且时间比较长。

录波装置多通道相位测量建立在对录波装置单通道测量的基础上, 电网信号经电压/电流变换器, 输入电力录波装置。电力录波装置内部结构包括各路电压互感器, 各路互感器输出接各路滤波电路, 各路滤波电路的输出接各路采样保持电路, 采样保持电路输出接模拟开关, 模拟开关输出经 AD 转换装置, 光耦隔离装置, 输入 FPGA, DSP 访问 FPGA 获取采样数据, 其中 FPGA 同步控制采样保持电路的控制信号与取 GPS 时标的控制信号。电力录波装置中 FPGA 采样数据经 DSP 数字信号处理器, 进行相位计算, 高性能处理器将计算结果以及原始数据上传给远程计算机, 便于对各通道采样延时进行分析。

测试录波装置的单通道延时, 采用软件测试其它通道相对测试通道的延时, 提高测量效率。具体操作步骤为:

将录波装置电压通道并联, 电流通道的串联, 输入相同电网信号, 采集数据,

形成录波文件。对采集数据进行分析，分别进行  $m$  次相位测量和计算，采用离散傅立叶变换算法 (DFT)，计算各路模拟信号的相位。式(2)给出了对一个模拟量输入的离散傅立叶变换。

$$V_h = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_k e^{-jk \frac{2\pi h}{N}} \quad (2)$$

式中  $V_h$ ——输入模拟量；

$v_k$ ——第  $k$  个采样瞬时值；

$h$ ——谐波次数；

$N$ ——每周期采样点数

用正弦等效取代指数部分，可以得到式(3)。

$$V_h = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_k \left[ \cos\left(\frac{2\pi kh}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi kh}{N}\right) \right] \quad (3)$$

基波的实部和虚部的计算如式(4)和(5)，由这两式可以求出基波的有效值和相位，如式(6)和(7)所示。

$$R = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_k \cos\left(\frac{2\pi kh}{N}\right) \quad (4)$$

$$I = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} v_k \sin\left(\frac{2\pi kh}{N}\right) \quad (5)$$

$$V = \sqrt{(R^2 + I^2)} / 2 \quad (6)$$

$$\Phi = \arg \tan(R/I) \quad (7)$$

设通道  $i$  第  $n$  次相位计算值为： $\Phi_{in}$ ，其中  $n=1,2,3,\dots,m$ 。采用公式(8)计算通道  $i$  与第一通道间的相位差。

$$\delta_i = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m (\Phi_{in} - \Phi_{1n}) \quad (n=1,2,3,\dots,m) \quad (8)$$

采用上述算法，对各通道采样数据进行分析，得到各个通道与测量通道之间的相位差，对不同电力录波装置，测试电压通道与电流通道相位差结果如图 7 所示。由测量结果可知，不同录波装置模拟通道之间相位差较大，同一录波装置电压和电流通道之间相位差较大，假设第一通道为已测量过的通道，根据测

量结果对各个通道进行相位软件补偿, 主要步骤如下。

假设第一通道的延时为  $T_1$ , 第二通道与第一通道的相位差为  $\delta_2$  ( $\delta_2$  的值可为正值也可为负值), 换算为时间  $\frac{\delta_2}{360} \times \frac{1}{f}$ ,  $f$  为工频。则第二通道延时为:

$$T_2 = T_1 + \frac{\delta_2}{360} \times \frac{1}{f} \quad (9)$$

其他通道延时的计算方法类似第二通道的计算方法。

以双端行波测距方法为例, 计算由于录波设备之间的相位延时给故障测距带来的误差, 主要步骤如下:

以单相接地故障为例, 设  $t_A$ ,  $t_B$  分别为线路 A、B 两端测得信号初始峰值的时刻, 假设线路两端信号记录完全同步, 线路两端测量故障信号传输时间差为  $t_d = t_B - t_A$ , 则故障点到 A 端距离为:

$$\chi = \frac{\ell - v_m \times t_d}{2} \quad (10)$$

式中  $\ell$  —— A、B 两端线路长度;

$\chi$  —— 故障点距离 A 端距离;

$v_m$  —— 行波速度。

考虑线路两端录波装置采样数据不同步对测量结果的影响。测量得到 A 端信号采样延时为  $t_{Ad}$ , B 端信号采样延时为  $t_{Bd}$ , 则线路两端由于录波装置器件采样延时产生的时间非同步误差为:  $t_{ABd} = t_{Bd} - t_{Ad}$ , 线路两端的测量故障信号传输时间差:

$$t'_d = (t_B - t_{Bd}) - (t_A - t_{Ad}) = t_B - t_A - t_{ABd} \quad (11)$$

故障点到 A 端距离为:

$$\chi' = \frac{\ell - v_m \times t'_d}{2} \quad (12)$$

则由于线路两端的录波装置采样数据不同步产生的测距误差为:

$$\Delta\chi = |\chi' - \chi| = \frac{v_m \times |t'_d - t_d|}{2} = \frac{v_m \times t_{ABd}}{2} \quad (13)$$

根据双端量测距算法对数据同步的要求, 可分为两端数据需要同步算法和

不需要同步的算法两类。

在需要同步的算法中，采用该方法保证两端数据同步。在不需要同步算法中基本思路之一是先在计算过程中引入不同类相角差，在故障点处列写两端电压方程关系式，得到关于相角差（传输线等效阻抗引入相角差）和故障距离的两个方程，然后使用迭代法求出相角差，进而得到故障距离；或者消去相角差后，建立故障距离的二次方程求出故障距离。

上述算法引入相角差仅仅是线路传输阻抗引入的相角差，且对电压和电流引入的相角差一致，不包括由于录波装置采样过程中延时导致的相角差，没有考虑电压信号之间和电流信号之间相角差的差异。该相角影响故障起始周波的电压，电流以及由电压、电流计算得到的各序分量，进而影响最终的故障测距精度。

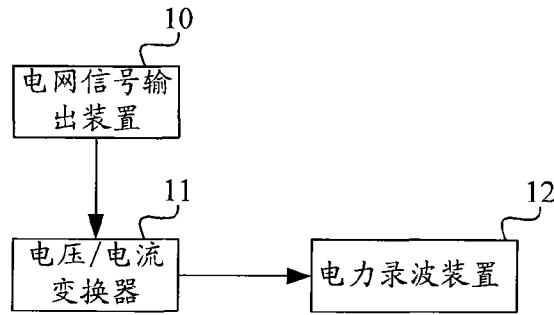


图 1

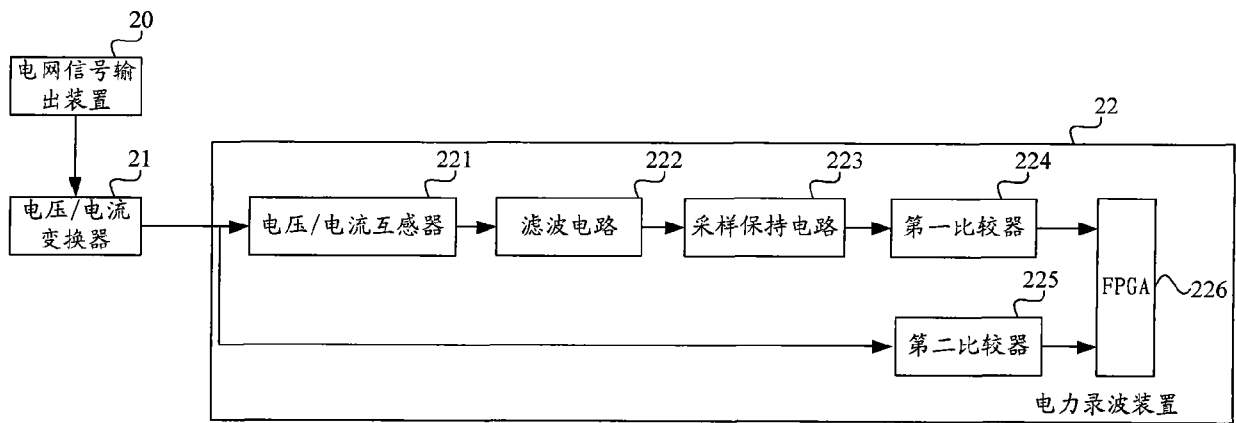


图 2

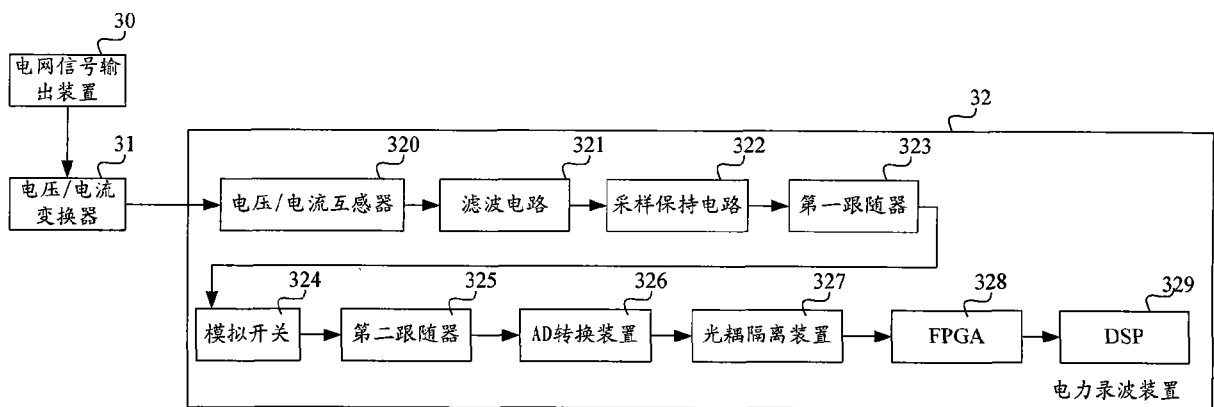


图 3

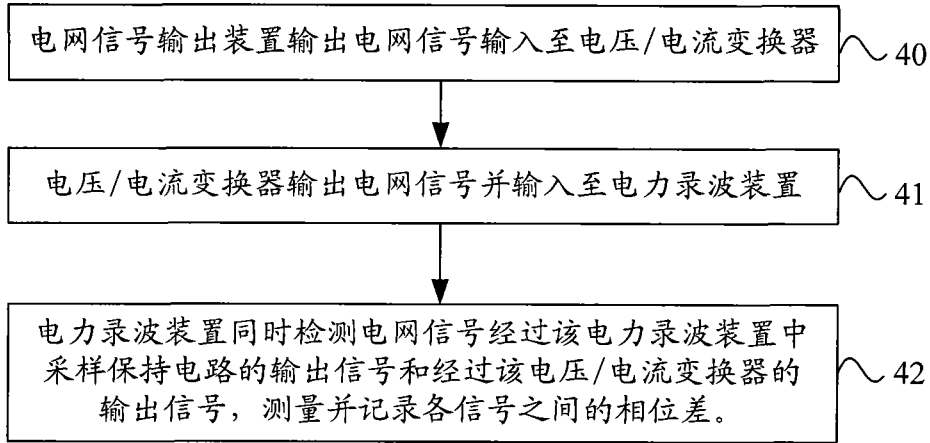


图 4

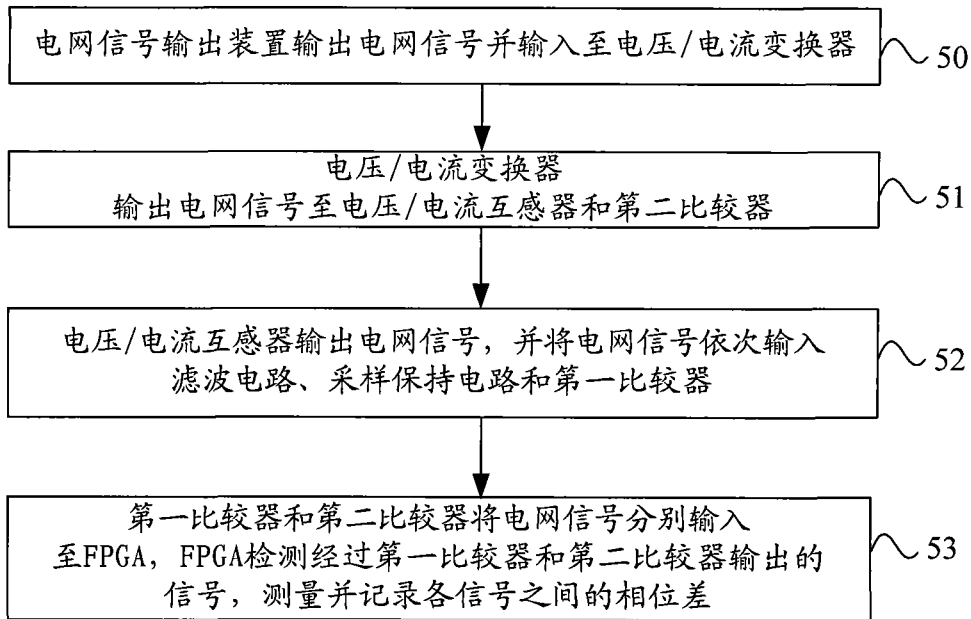


图 5



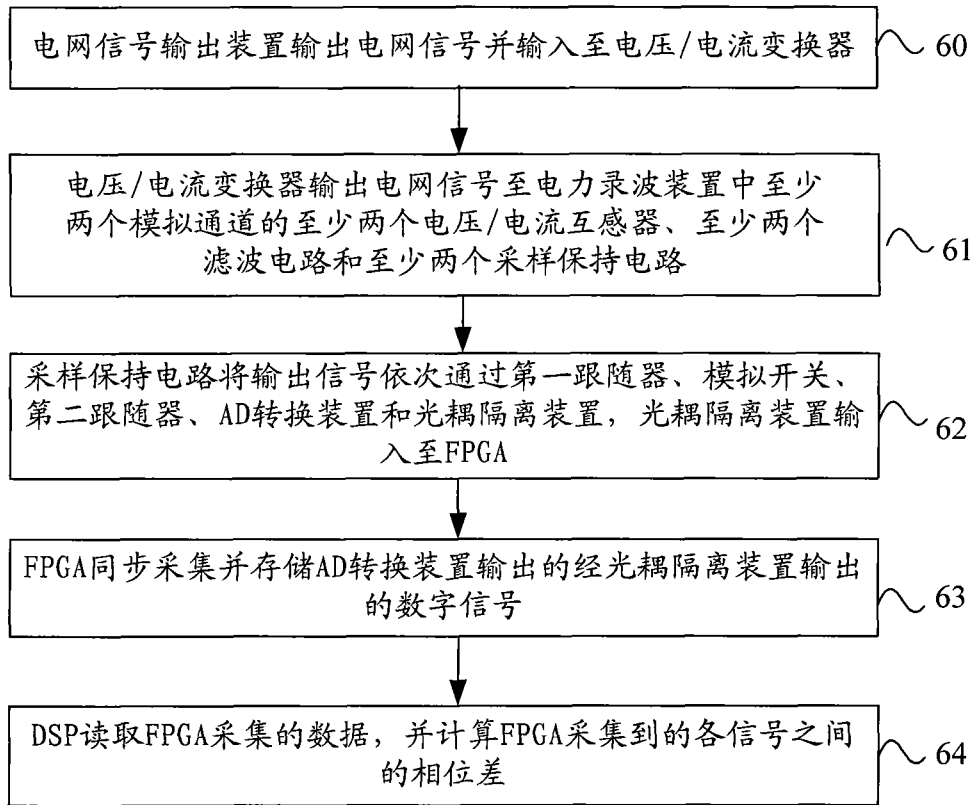


图 6

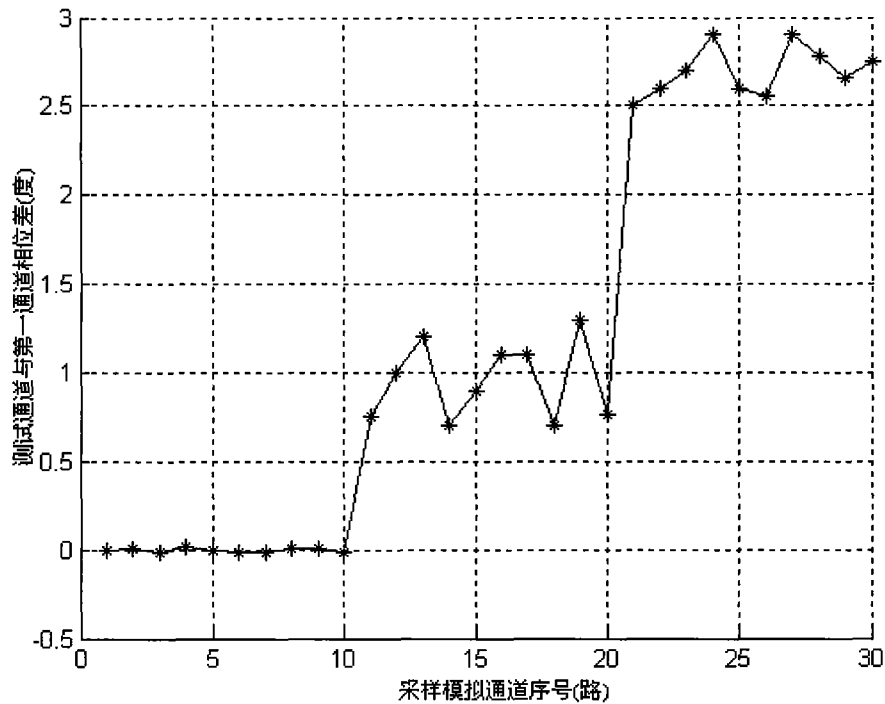


图 7