

基于暂态电压的故障定位系统研制与应用

研制了一种基于暂态电压的高准确度故障定位系统,该系统采用专用的行波传感器模块,无需高速采集系统,采用硬件提取故障行波波头,启动、记录GPS时间,进行故障定位,并实时统一地在互联电网变电站的定位装置之间进行通信,形成故障定位系统,完成基于整个电网的所有线路的故障定位。同时,设计了对母线三相电压波形进行方波化,实时测量三相电压波形过零点绝对时间,由线路两端测量的时间差进行相角计算。该故障定位系统已经在110 kV以上输电电路上投入运行。结果表明,该系统测量准确度高,运行稳定可靠。

黄金¹ 聂云根² 刘小兰¹ 赵忠² 董继民³/1.广西电网有限责任公司贺州供电局 2.深圳市双合电气股份有限公司 3.西安交通大学陕西省智能电网重点实验室

0 引言

输电网故障时的行波快速精确定位是迅速切除故障、提高系统暂态稳定性的重要保证,也是电力系统最为关切的研究问题之一,而故障行波定位的关键是精确地捕捉行波波头的突变时刻与时差的标定,这要求行波传感器具有可靠的传变行波信号能力及GPS有精确的时间测量。实际上故障行波波头含有广域频带的暂态分量,会在变电站产生广泛的电磁暂态扰动^[1],包括空间电位的分布、地电位的分布、电感以及电容元件上感应的电压和电流。文献[2-4]分别设计了行波高频测量传感器,并给出了基于行波传感器的定位方法;文献[5]提出了一种新的电压行波信号提取方法;文献[6-7]分别提出了利用故障回路电流主导波头到达时差和基于整个电网的行波时差的故障定位测距方法;文献[8]提出了基于多端行波的配电网单相接地

故障定位方法。虽然各方法有所不同,但其目的都是利用GPS同步时钟,直接测量输电线路故障时行波波头到达的准确时差,从而对故障进行准确的定位。基于上述对输电网故障进行准确定位的目的,本文研制了一种新型电力线路故障定位系统,该系统采用专用的行波传感器模块,无需高速采集系统,采用硬件提取故障行波波头,启动、记录GPS时间,进行故障定位,并实时统一地进行互联电网变电站的定位装置之间的通信,形成故障定位系统,完成基于整个电网的所有线路的故障定位。同时,设计了对母线三相电压波形进行方波化,实时测量三相电压波形过零点绝对时间,由线路两端测量的时间差进行相角计算。该故障定位系统已经在110 kV以上输电电路上投入运行,结果显示该系统运行稳定、可靠,性价比高,相电压波形过零点绝对时间测量误差小于1 μ s,相角测量误差小于0.018°,输电线路故障定位距离小于120 m,表明该电网故障定位系统不但可以精确地定位故障,同时可以实现高准确度的相角测量。

1 输电线路故障行波定位的基本原理

设输电线路mn全长为 l ,在F点发生故障,如图1所示。



图1 输电线路故障示意图

发生故障时,故障点产生的暂态电



黄金/工程师

关键词/Keywords

输电网·
故障定位·
行波传感器·
行波定位系统·

压和电流行波将以接近光速 v 的速度向输电线路两端传播，并在波阻抗不连续的地方发生反射和折射，如行波第一次到达 m 、 n 端的时间分别为 t_1 和 t'_1 ，则故障点距 m 端和距离 n 的距离分别为

$$D_{mF} = (t_1 - t'_1)v/2 + l/2 \quad (1)$$

$$D_{nF} = (t'_1 - t_1)v/2 + l/2 \quad (2)$$

根据式(1)、式(2)，装设于 m 、 n 端的故障定位测距装置即可准确地计算出故障点到安装点的距离，达到对故障点的定位。

2 互联电力网故障行波定位系统的原理结构

在互联的电力网中，其示意图如图2所示，只需在每个变电站安装一套故障行波定位装置，记录任一输电线路故障产生的行波到达每个变电站的准确时间，由故障线路两端各任一变电站所记录的准确时间就可以实现故障点位置的精确计算，完成整个电网故障行波的定位。

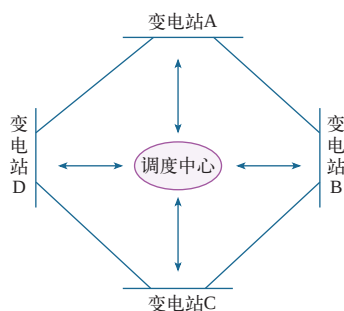


图2 互联电力网示意图

基于互联网同一时钟下的电网故障行波定位系统结构如图3所示。

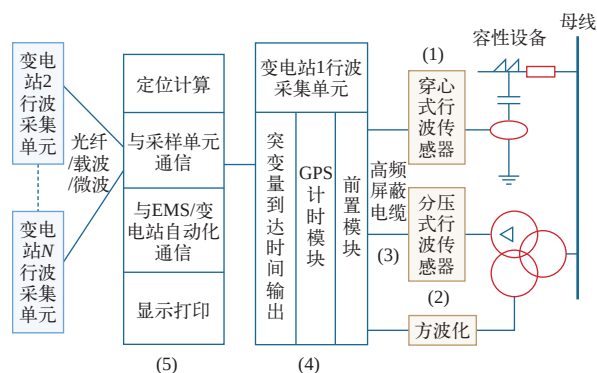


图3 故障行波定位系统的原理结构图

图3中，该系统由穿芯式行波传感器(1)、分压式行波传感器(2)、高频屏蔽电缆(3)、行波采样单元(4)和故障行波定位主机(5)等组成。

套接在电容性设备接地线上的穿芯式行波传感器(1)把故障行波波头准确、无时延地变换成10~500 V以下的信号，经高频屏蔽电缆(3)送至行波采样单元(4)的前置模块；同时连接在电压互感器开口三角形绕组的分压式行波传感器(2)也把故障行波波头准确、无时延地变换成10~500 V以下的信号，经高频屏蔽电缆(3)送至行波采样单元(4)的前置模块；前置模块进行突变信号检测，测量信号的变化陡度和大小，把故障行波信号的波头变成一个一定幅值、一定宽度的脉冲信号，输出到行波采样单元(4)的高精度计时模块，锁定脉冲信号突变时刻的绝对时间；行波到达时间由通信网络送至故障行波定位主机(5)，定位主机完成故障定位计算、显示及打印等功能；行波采样单元和故障定位主机之间的数据交换可以通过光纤/微波/载波/电话线中任一方式来实现，完成故障时的准确定位。

3 故障定位系统关键模块的研制

3.1 电压行波传感器模块的研制

电压行波传感器结构如图4所示。

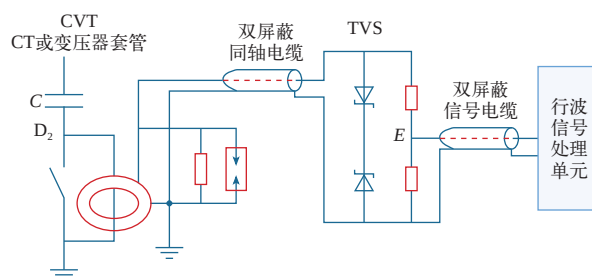


图4 行波传感器模块

传感器模块由罗柯夫斯基线圈（也称磁位计）、TVS（暂态电压抑制器）电路、分压电路、保护用避雷器、信号电缆及行波信号处理单元组成。磁位计主要是传变高频暂态信号，抑制低频信号，为行波波头检测电路提供准确信号。TVS电

路、分压电路及保护用避雷器主要是起到过电压保护的作用，避免过电压信号窜入，将电压信号降低到行波波头检测电路所要求的电平水平。行波信号处理单元如图5所示。

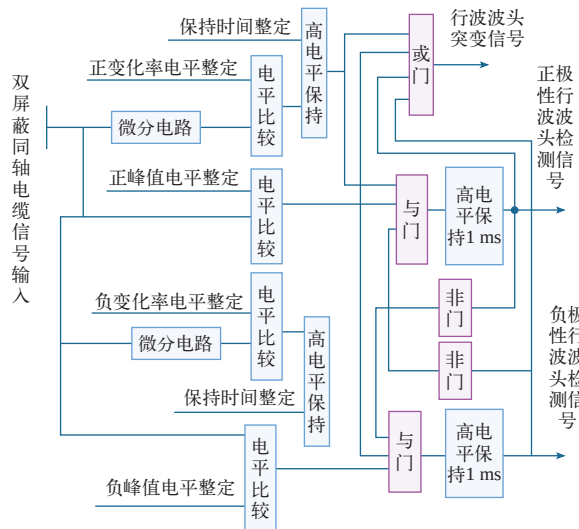


图5 行波信号处理模块

该单元对行波波头进行检测、辨识。采用行波的变化率、上升或下降时间和波头的幅值进行判断，检测行波波头到达的最初时刻。

对行波的正、负极性波头分别采用两个并行的回路进行检测。通常整定设置为：变化率电平为0.3 V，上升时间为10 μs，峰值电平为1 V。对于正极性行波，当行波变化率电平高于0.3 V，产生行波波头突变信号，保持10 μs，在此10 μs期间，如果有大于1 V的行波波头出现，则确定为故障行波，产生正极性行波波头检测信号，并保持行波波头突变信号和行波波头检测信号1 ms，以防止反射和折射行波的多次触发。对于负极性行波，采用同样的原理。此外，该行波波头检测回路能对行波波头极性进行检测，可进一步用于行波保护。

3.2 高准确度时钟模块的研制

行波波头能准确捕捉后，其定位的关键就需要高准确度的同一时钟，为此设计了专用GPS高准确度计时模块，如图6所示。

为产生高准确度时钟信号，采用计数器和比较器对高准确度晶振进行分频，产生晶振秒时钟

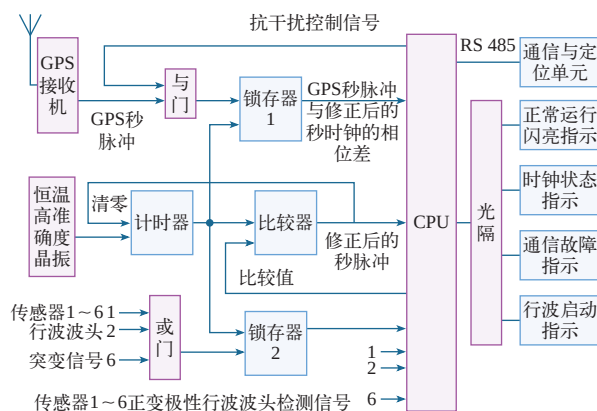


图6 GPS计时模块

信号（见图6）。并由CPU对比较值进行修正，产生修正后的秒时钟。通过锁存器1锁存GPS秒时钟的到达时刻，即修正后的秒时钟与GPS秒时钟的相位差。通过对该相位差和比较值的修正值分析，产生GPS秒时钟和晶振秒时钟的偏差序列。该偏差包括GPS时钟的随机漂移误差和晶振的累计误差；采用一元二次回归分析模型对两种误差进行估计，分离出各自误差；并对晶振累计误差进行修正，构造出一种简便的高准确度时钟发生装置。比较值每秒设置一次，由前n次测量的GPS秒时钟误差和前n次设置的比较值历史数据计算本次将要设置的比较值。

将图5中产生的行波波头突变信号送入图6，触发锁存器2锁存GPS同步高准确度守时钟的此时刻的时间值。图5中产生的行波波头检测信号也送入图6中的CPU，启动CPU把锁存器数据读入计算机内存。这样能够对行波波头到达的最初时刻和行波波头的极性进行快速记录。

行波到达时刻的记录由大规模可编程逻辑实现，用1片PFGA实现高准确度时钟的产生和行波波头到达时间的记录，实现硬件电路的软件设计，简化装置结构，提高了抗干扰能力。

4 故障定位软件的开发

故障定位系统要求收集不同变电站测量到的故障行波波头到达时间，进行故障定位计算。该软件采用模块化设计，其数据流程框图如图7所示。当GPS行波采样单元收到故障数据后，就向相

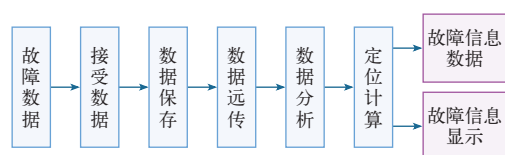


图7 故障定位系统软件流程框图

应的故障定位主机发送。故障定位主机收到数据之后，就将数据存盘。然后判断是否远传，若需要远传则拨号，然后传数。若不需要远传，则等对端数据传来之后，进行数据分析和定位计算，最后上报故障信息和显示。

故障定位软件采用技术成熟的C++Builder语言进行编程，提出了一种可靠、准确和完整的算法，稳定可靠。

5 故障定位系统的现场实验测试

故障行波的测量技术难以在实验室进行试验验证。为此，某电业局精心安排了一条110 kV线路（浦临线）进行现场短路试验，如图8所示。在两个不同的短路点上分别进行金属性短路接地和高阻接地试验，并组织行业部门和专家对本故障定位系统进行工业现场的测试和实践验证。

穿芯式行波传感器套接在电容性设备接地线上，分压式行波传感器连接在母线电压互感器开口三角形绕组上，对线路进行高阻接地故障的试验（见图8）。

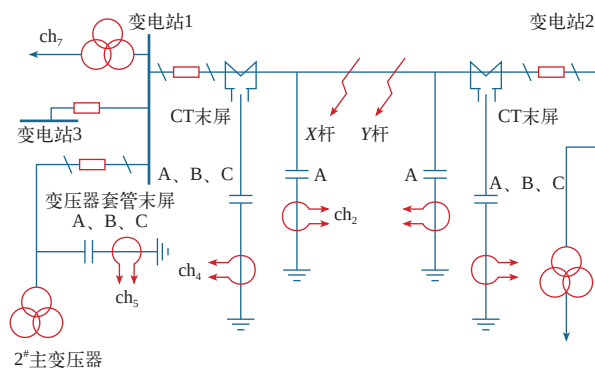


图8 电网故障行波定位系统现场试验接线图

在该电网故障接地试验中，安排了两个故障点（图8中的X点和Y点）进行试验测试，分别测量了高阻接地故障和低阻接地故障。其中一组试验测试波形如图9所示。图9中，单位纵坐标5 V/

每格，横坐标2 μ s/每格；ch₂为电容式电压互感器CVT A相地线上套接的穿芯式行波传感器输出波形；ch₄为B相电流互感器CT末屏地线上套接的穿芯式行波传感器输出波形；ch₅为变压器A相电流互感器CT末屏地线上套接的穿芯式行波传感器输出波形。图9中，穿芯式行波传感器输出波形均能反映故障行波波头到达变电站的突变信号，且故障相（A）测量的波形要大于非故障相（B）波形；由于CVT对地电容大于变压器套管对地电容和电容式电流互感器CT套管对地电容，故电容式电压互感器CVT地线上测量的波形突变最大，最易于测量；分压式行波传感器输出的波形也具有较大的幅值，便于测量，且分压式传感器制作和安装方便，在设计故障行波定位网络中，应优先选择安装分压式行波传感器。

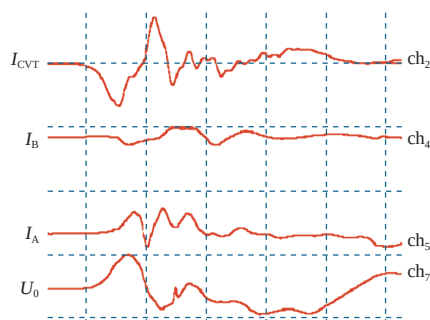


图9 高阻接地故障实验行波传感器输出波形

故障试验结果显示定位误差均小于120 m，行波传感器测量波形显示接地故障电阻对暂态行波信号影响较小。故障行波定位系统能够对短路、接地和断线等各种类型故障进行定位。

由于电网突变信号很少出现，为了实时检测故障定位系统运行是否正常，设计了一装置监测回路，对母线三相电压波形进行方波化，实时测量三相电压波形过零点绝对时间，由线路两端测量的时间差进行相角计算，亦可以推广到相角计算中。

6 结束语

该故障定位装置已经在110 kV以上电压等级输电线路运行，现场试验与运行结果显示该系统故障测距误差小于120 m，相电压波形过零点绝

对时间测量误差小于为1 μs ，相角测量误差小于0.018°，系统运行稳定、可靠，性价比高。

参考文献

- [1] Gale P F. The use of GPS for precise time tagging of power system disturbances and in overhead line fault location [J]. Developments in the Use of Global Positioning Systems, 1994, 2 (8) : 51-52.
- [2] 李泽文, 刘伯罕, 范彩兄, 等. 基于Rogowski线圈的新型电压行波传感器 [J]. 电力系统及其自动化, 2016, 40 (9) : 94-99.
- [3] 何浩华, 周书民, 汪志成, 等. 行波故障测距中高频行波传感器的设计 [C]. 江西省电机工程学会年会论文集, 2012.
- [4] 曾祥君, 尹项根, 林福昌, 等. 基于行波传感器的输电线路故障定位方法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (6) : 42-46.
- [5] 邹贵彬, 高原磊, 许明, 等. 一种高压电网电压行波信号的提取方法 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (2) : 71-74.
- [6] 张广斌, 束洪春, 于继来, 等. 基于回路电流故障主导波头到达时差的输电线路故障测距 [J]. 中国电机工程学报, 2013, 33 (28) : 137-145.
- [7] 李泽文, 姚建刚, 曾祥君, 等. 基于整个电网行波时差的故障定位方法 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29 (4) : 60-64.
- [8] 贾惠彬, 赵海峰, 方强华, 等. 基于多端行波的配电网单相接地故障定位方法 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (2) : 96-100.

(收稿日期: 2016-12-13) EA

广告 | AD



Weidmüller

魏德米勒Energy Meter电力参数测量仪 —— 高效透明的生产电能监测

魏德米勒Energy Meter电力参数测量仪不仅能监测电能的消耗，它还能监测电能质量的基本参数和分析来自不同导体的电流的细微差别，使电力行业用户能够快速地了解生产设备中电能参数的变化情况，保证其稳定和高效率地使用。具有综合功能的Energy Meter电力参数测量仪使您可以将生产点的能源网络分块测量，尽可能精确地进行监测，配备有一体的液晶显示屏，重要的监测数据如电压、电流、功率和能耗都能一目了然。

扫一扫，关注魏德米勒官方微信



Let's connect.