

# 电网相位智能识别装置的应用与研究

邓 明

广东电网有限责任公司广州供电局 广东 广州 510000

**摘要:** 电力系统对三相交流电的应用中一个重要的参数是相序。在配网线路取线、接线操作过程中;在变压器的并网运行时,如果将不同相位的交流电相接的话,将造成重大的安全事故,轻则造成停电事故的发生,重则造成设备损坏及大面积停电,给当地居民与企业带来生活上的不便与财产损失,影响了当地的经济的发展,其次给供电公司造成较大损失。另外在三相交流电机中,若通入的相序改变的话,将直接影响电机的转向。因此在对这此设备进行操作时,相序的测量变得非常重要的一个参数。目前电力行业的相序检测装置体积大且价格昂贵,极不利于安装现场使用。本项目电网相序智能识别器在配网线路取线、接线操作过程中使用,具有裸导线端子绝缘作用;相序智能识别作用。可有效防止作业过程中相线接错、线路短路、触电事故。

**关键词:** 漏电识别;相位识别;同步通信

## 前言

由于每年的降雨导致的某些地面积水会形成内涝区域的频繁出现。受制于环境以及排水能力,该区域蓄水状态可能多达数天。期间,若该区域附近电缆因自然老化或施工等原因导致漏电,则极有可能使该内涝区域存在触电隐患,在没有警示的情况下,过往行人在行进过程中,尤其是趟水行进中,极有可能引发触电事故<sup>[1]</sup>。因此,能自动感知内涝区域漏电情况,并且能及时进行现场提示,数据分享,报备的系统是保障居民生命健康的迫切需求。

## 1 研究现状

在三相电系统中,电源的相序是指三个相电压的先后顺序。正确的相序对于电气设备的正常运行至关重要。因此,为了确保三相电系统的稳定运行,相序检测成为一项必要的工作。相序是指在三相电系统中,三个相电压的先后顺序。在理想情况下,三相电的相序应为ABC序,即A相电压先于B相电压,B相电压先于C相电压。若相序错误,将会导致电气设备的异常运行,甚至损坏设备。相序检测的原理是基于对三相电压的相位关系进行观测和比较。常用的相序检测方法有以下两种,基于电压相位差的检测方法,该方法通过测量三相电压之间的相位差来判断相序。在ABC相序下,A相电压与B相电压之间的相位差约为 $120^\circ$ ,B相电压与C相电压之间的相位差也约为 $120^\circ$ 。因此,通过测量三相电压之间的相位差,可以判断相序是否正确。基于电流方向的检测方法,该方法通过测量电流的方向来判断相序。在ABC相序下,A相电流流向B相,B相电流流向C相,C相电流流向A相。因此通过测量电流的方向,可以判断相序是否正确。

为了方便进行相序检测,通常会使用相序检测设备来实现。常见的相序检测设备包括相序表、相序指示灯和相序保护器。相序表是一种用于检测和显示相序的仪表。它通常由三个指针和相序指示灯组成。当相序正常时,三个指针会按照ABC相序顺序指向相应的位置,并且相序指示灯会亮起。当相序错误时,指针和指示灯将会发生相应的变化,以提示用户相序错误。相序指示灯是一种用于指示相序状态的装置,它通常由三个指示灯组成,分别用于指示A相、B相和C相的状态。当相序正确时,三个指示灯都会亮起,表示相序正常。当相序错误时,相应的指示灯将会熄灭或闪烁,以提示用户相序错误。相序保护器是一种用于保护电气设备的装置。它通过监测三相电压的相位关系,当相序错误时,会及时切断电源,以保护电气设备免受相序错误的影响。

相序检测广泛应用于各种电气设备和电力系统中。在电机控制系统中,相序检测可用于确保电机正常运行,在电力系统中,相序检测可用于确保电源的相序正确,保护设备免受相序错误的影响。相序检测是保证三相电系统正常运行的重要手段。通过对三相电压的相位关系进行观测和比较,可以判断相序是否正确。相序检测设备如相序表、相序指示灯和相序保护器,能够方便地实现相序检测和保护。相序检测的应用范围广泛,可以用于各种电气设备和电力系统中,确保设备的正常运行和电源的稳定供应。

## 2 ABC三相相序智能判别传感器的研制

三相电相位相差 $120^\circ$ ,要想标定A、B、C相就需要已知其中一相,再对其它二相做标定。相位差的测量原理主要有三种,过零检测法:基于对信号波形的变换比

较；倍乘法：基于对傅氏级数的运算，矢量法：基于对三角函数的运算。

过零点检测法是一种将相位测量变为时间测量的方法。其原理是将基准信号的过零时刻与被测信号的过零时刻进行比较，由二者之间的时间间隔与被测信号周期的比值推算出两信号之间的相位差，这种方法的特点是电路简单，且对启动采样电路要求不高，同时还具有测量分辨率高、线性好和易数字化等优点。

倍乘法：任何一个周期函数都可以用傅氏级数表示，即用正弦函数和余弦函数构成的无穷级数来表示，倍乘法测量相位差所用的运算器是一个乘法器，2个信号是频率相同的正弦函数，相位差为 $\varphi$ ，运算结果经过一个积分电路，可以得到一个直流电压 $V = K \cos\varphi$ ，电路的输出和被测信号相位差的余弦成比例，因此其测量范围在 $45^\circ$ 以内，为使测量范围扩展到 $360^\circ$ ，需要附加功能电路才可以实现。倍乘法由于应用了积分环节，可以滤掉信号波形中的高次谐波，有效抑制了谐波对测量准确度的影响。

矢量法：任何一个正弦函数都可以用矢量来表示，如各个正弦信号幅度相等、频率相同，运算器运用减法器合成得到矢量的模 $V = 2E\sin\varphi/2$ 。矢量法用于测量小角度范围时，灵敏度较好，可行性也较高；但在 $180^\circ$ 附近灵敏度降低，读数困难且不准确。由于系统输出为一余弦或正弦函数，因此这种方法适用于较宽的频带范围。

在实际应用中，过零检测法、倍乘法、矢量法测量相位的方法各有优势，从测量范围、灵敏度、准确度、频率特性和谐波的敏感性等技术指标来看，过零检测法的输出正比于相位差的脉冲数，且易于实现数字化和自动化，本文研究采用过零检测法。日常应用中三相判别的仪表产品两种：一种为同时测量，即用三根表笔对三个相位进行同时测量，测量后的结果能判别正相与逆相序；另一种为时差测量。用同一表笔在时间差上分别测量A、B、C三相，记录第一次的波形时序，与另两次测得的比较，最终判别正相与逆相序，这两种方法均无法标定A、B、C三相的相序，只能测得正相与逆相序。如是本文提出了一个全新的方法，通过三个测点相互同步通信，已知其中一样的相序时间，从而标定A、B、C三相。

### 3 无线相位同步方法的研究

本文电网相位智能识别装置采用三个无线测点，分别对A、B、C三相进行同时测量，将测量的结果进行时间基准进行同步。在测量时，三个测点相互通信，通过软件算法计算出无线通信的延时时差。A、B、C传感器网络中，测点之间的通信是通过无线信号进行的。每个

测点一般都有自己的数据源，从而导致不同测点之间的数据可能存在差异，也就是说，数据不是完全同步的，数据同步实质上是指同步不同测点之间的数据状态，保证网络中的数据是一致的。对于数据同步的需求，主要是为了提高网络的可靠性和准确性。目前，无线传感器网络中的数据同步问题一直是一个广泛研究的热点。大量学者在这个领域取得了不俗的成果。根据数据同步的目标和需求，各种不同的数据同步技术被提出来并得到了广泛的应用。时钟同步技术是一种广泛应用于无线传感器网络中的技术。这种技术的主要目的是通过同步各个节点之间的时钟，从而保证节点间的数据同步。在具体实现中，时钟同步技术通常通过校准较稳定的节点，从而保证其他节点的时钟与之同步。时钟同步技术的缺点在于他要求对节点时钟进行必要的校准，而且时钟的精度对数据同步的质量有很大的影响。分布式算法是一种将数据同步问题分解成多个子问题来解决的技术。具体实现中，每个节点都会将部分数据同步到其他节点。这样，每个节点都可以从其他节点获得别的节点收集的数据。分布式算法的优点在于其不需要对时钟进行校准，而且可以为节点间提供高效的数据同步服务。无线传感器网络的数据同步是一项重要的技术，对无线传感器网络的可靠性和准确性具有重要意义。目前，已经有很多数据同步技术被提出和应用，比如基于时钟同步和分布式算法的技术。

通个A、B、C三个测点同时对A、B、C三相进行测量，以其中一样为参考找到波峰与波峰之间的时刻点，两个时刻点的差值为交流电正弦波周期，周期需要满足50Hz为采样有效周期。通过无线同步以其中一相波峰为时间基准，各测点测得的波峰时间，与基准时间的差值即能判别相位。如果基准时间为A相，基准时间的差值在1/3周期为B相，基准时间的差值在2/3周期为B相，在实际应用中需将交流电正弦波转换成方波，更有利于数字电路测量。

为提高A、B、C三相测量的准确性，需要在程序上对频率与通信延时上进行有效差别。如果各测点不满足50Hz的频率采集数据无效，说明采集信号存在干扰，或是测点没有电压。通信延时值，在一般情况下，收发无线通信时长相等，如延时不满足要求，采集数据无效。该两种无效数据不参与相位值运算。除此之外还需要对有效数据测得的相位时间的正确性进行差别。

如果A相位为0时刻：

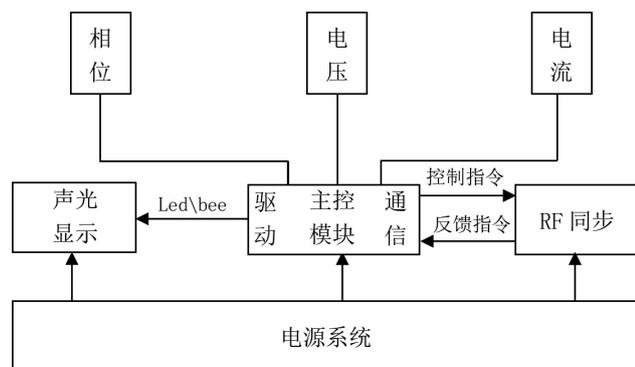
$$B\text{相位测得的时刻则为} = T_B = t_A + \frac{1}{3}T;$$

C相位测得的时刻则为  $T_C = t_A + \frac{2}{3}T$ ;

上式中  $t_A$  为无线传输时间差, 此值为固定值与无线通信模组、与通信数据包长度、通信距离有关。T为交流电周期。如果  $T_B, T_C$  不在该时刻的1%区间, 则测得的数据为无效相位值。为进一步提高其测量的准确性, 可以对其进行多次测量取平均值, 如果多次测量都为同一相位则为有效相位进行输出显示。在显上为了提高识别度, A相输出结果显示“黄灯”闪烁, B相输出结果显示“绿灯”闪烁, B相输出结果显示“红灯”闪烁, 显示的颜色正好与交流电三相线国标颜色一致。

#### 4 漏电相位终端测点的研究

电网相序智能识别器装置主要智能控制模块, 多融合传感器, RF通信模块, 电源系统等组成。智能控制模块是前端嵌入式处理的技术核心, 基于低功耗和低成本需求, 主控模块的核心微处理器选择STM32F417系列, 该处理器主频168MHz, 在此工作频率下其处理性能可达210MIPS, 而功耗仅为  $38.6\text{mA} * 3.3\text{V}$ <sup>[2]</sup>。多融合传感器主要包括感应电压传感器、感应电流传感器, 通过感应电压经过高增益放大器放大、滤波, 再将得到的交流正弦波信号转换成方波信号最终计算出相位值与频率值。RF同频模块主要用于测点之间采集时间的同步, 用于相位计算初始值的时间标定。声光显示部分用于输出显示。



将感应电压、感应电流经高增益放大器放大、滤波得到的交流正弦波信号。利用真有效值 (TRMS) 数字仪表, 可以准确、实时地测量各种波形的有效值电压, 满足大多计量设备对输入电压U进行“平方-取平均值-开平方”运算, 就能获得交流电压的有效值<sup>[3]</sup>。AD636, TLC1966均采用这种原理设计, 采用该有效值芯片可大幅简化设计, 降低功耗, 提高测量精度<sup>[4]</sup>。得到精准的感应电压值与感应电流值经过AD转换后即可实时监测到运行设置的工作电压、电流及相位。

#### 5 漏电相位识别应用特点

##### 1) 相序智能判别技术

ABC三相相序智能判别由三个微体积智能相序判别终端组成, 每个终端通过采集相线感应电压, 数字电路将正弦交流电压波形转换成数字方波, 各终端自动记录相位时间序列。三个终端将测得的相位时间序列无线通信比较, 最后计算出各自对应相位。

##### 2) 裸导线端子绝缘

相序智能识别器头部安装有自适应线夹, 相线裸导线端子插入相序智能识别器头部起到绝缘作用, 过往配电线路在安装, 检修过程中先要将裸导线端子头部用绝缘带进行缠绕。使用相序智能识别器起到绝缘作用。

##### 3) 验电

相序智能识别器具有验电功能, 可以对验电电压值大小进行设定。

##### 4) 使用便捷

相序智能识别器无任何按键, 插入导线即开始使用。当插入导线有电子设备自动启动相序判别。休眠功耗为0.1uA, 低功耗与高速采样相互矛盾, 技术难点是当测量环境发生变化后, 通过传感器技术为处理器能提供中断信号, 中断信号唤醒处理器进入高速采样。

##### 5) 远距离判别

相序智能识别器内置RF通信模块, 低功耗模式下无线通信距离为150m。

#### 6 结语

项目通过ABC三相相序智能判别传感器的研制; 可调电压大小的感应电压器模块的研制; 自适应线夹模块的研制; 无线通信模块同步测量的研制, 最终形成电网相序智能识别器装置辅助人工、对三相相序的精准差别、及对漏电点进行快速查找, 从而有效降低人身触电、线路跳闸等风险, 从而产生巨大的社会效益和经济效益。

#### 参考文献

- [1]王宝山,黄廷林,程海涛.小区域雨水径流污染物输送研究.给水排水 2010.3:128-131.
- [2]李军,刘君华.AVR单片机的特点及其应用[J].测控技术.2002,(7).DOI:10.3969/j.issn.1000-8829.2002.07.023
- [3]冯乔春.真有效值的测量及应用[J].云南电力技术,2008,36(3):14-15.DOI:10.3969/j.issn.1006-7345.2008.03.008.
- [4]史延龄,邹来智,闫志强.交流电压真有效值的测量[J].电工技术杂志,2003(5):34-35,38.DOI:10.3969/j.issn.1672-9560.2003.05.013.