

智能选相开关技术研究

低压电网三相负荷不平衡使线损增大并带来末端单相负荷“低电压”，因此研究治理三相负荷不平衡技术很有必要性。研制了一种智能选相开关，介绍了其工作原理、工作过程、试验及应用。经过试验，该装置与传统的三相负荷不平衡治理方案相比效果更明显，更具实用推广价值。

韩俊玉¹ 赵东元² 马维青¹ / 1. 国网山西省电力公司阳泉供电公司 2. 国网智能电网研究院

0 引言

低压电网三相负荷不平衡是长期客观存在的问题。低压配电网通常采用三相四线制供电模式，用户多为单相负荷或单相与三相混和负荷。无论是城市配网的居民小区、写字楼，还是农网的照明、水泵及机电等负荷，都呈现出较大的用电离散性。低压电网的三相负荷不平衡导致线损增大、末端单相负荷出现“低电压”。而且随着分布式新能源的

大规模接入，尤其是220 V单相新能源的接入，配电网负荷不平衡问题将会更加突出^[1]。因此，本文提出利用智能选相开关进行低压配电网负荷不平衡治理的技术。

1 智能选相开关工作原理

配电网负荷不平衡智能控制装置主要由一台安装于台区变压器的智能配电变压器控制终端和安装于电缆分接箱的多台智能选相开关组成，如图1所示。

智能配电变压器控制终端是利用现代数字信号处理技术，能够实现配电变压器状态监测、负荷不平衡控制策略、无功补偿控制、报表、计量以及远方系统通信的高集成度、高智能化控制器，其主要作用：①检测配电变压器出线处的三相电压和电流；②通过电力载波收



韩俊玉/高级工程师

关键词/Keywords

三相负荷不平衡 ·
智能选相开关 ·
低电压 ·

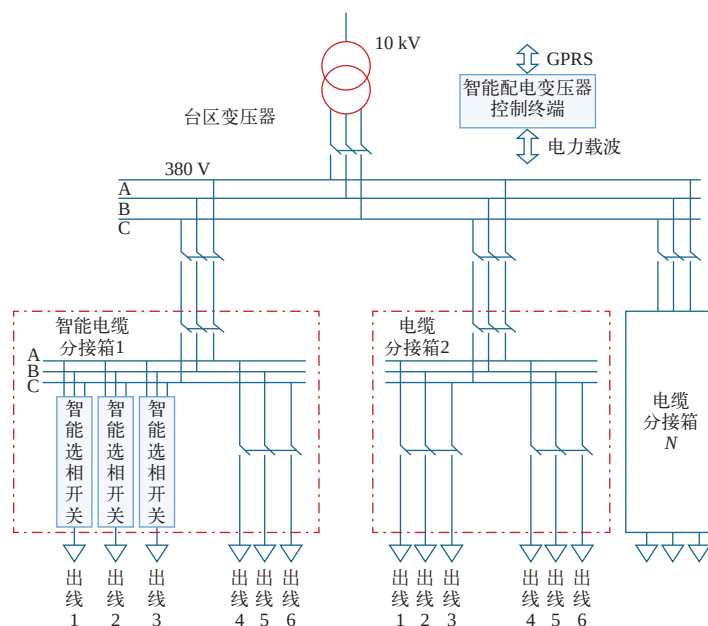


图1 配电网负荷平衡智能控制系统

集台区内各电缆分接箱的每一条出线的电流以及开关状态；③根据不平衡调整策略判断做出各出线选相开关的换相命令。目前，配电变压器控制终端技术十分成熟，因此本文不多讨论控制终端的实现形式^[2]。

电缆分接箱（内安装有智能选相开关箱）的主要作用：①检测当前负荷所在的相别和电流大小相位；②数据上传智能配电变压器控制终端；③接收智能配电变压器控制终端下发的命令，根据本地实际状况决定执行选相操作。智能选相开关是配电网负荷不平衡智能控制装置的核心技术。

2 智能选相开关工作过程

智能选相开关安装在电缆分接箱，可以替换现有低压开关，很容易实现对常规电缆分接箱的智能化改造，如图2所示。

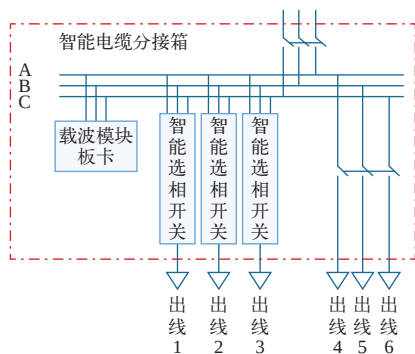


图2 电缆分接箱电气结构

一个标准的智能选相开关，主要由控制电路SCU、接触器（ K_{J1} 、 K_{J3} 和 K_{J5} ）、辅助继电器（ K_{J2} 、 K_{J4} 和 K_{J6} ）、二极管（ VD_1 、 VD_2 和 VD_3 ）及电流互感器TA等组成模块化一体结构，如图3所示。

换相的工作过程一般为：首先智能配电变压器控制终端根据负荷平衡原则和优化控制算法进行计算处理后，产生台区内各个选相开关的状态切换命令，并通过电力载波下发。其次，智能选相开关控制电路SCU通过电力载波通信模块接收下发的选相切换命令，然后结合电流互感器TA检测负荷电流，进行系统状态判断。控制电路SCU产生

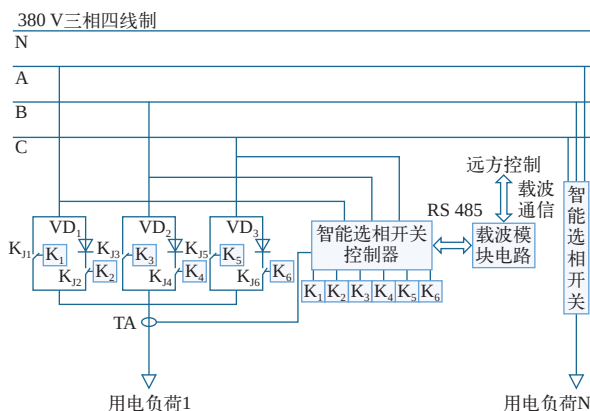


图3 智能选相开关结构

控制信号对接触器和辅助继电器进行操作，并配合二极管的自然导通关断特性，最后实现选相操作。

以从A相切换到B相为例，说明智能选相开关的控制电路通过接收到的选相切换命令从一相切换到另一相的过程。

1) 智能选相开关控制从A相切除。控制电路将切换命令转换为继电器驱动模块和接触器驱动模块输出相应的开关信号，通过开关信号 K_2 控制闭合辅助继电器 K_{J2} ，由于接触器 K_{J1} 处于闭合状态，辅助继电器 K_{J2} 闭合后没有电流通过。在A相电压为正半周时，开关信号 K_1 控制接触器 K_{J1} 断电，随着接触器 K_{J1} 的触头距离的增加，触头两端的电压也增加，当电压超过二极管 VD_1 的导通电压0.7 V时，二极管 VD_1 导通，并把接触器 K_{J1} 触头分离过程中触头承受的电压钳位在0.7 V以下，接触器 K_{J1} 触头在A相电压正半周内完全断开。当A相电压为负半周期时，开关信号 K_2 控制辅助继电器 K_{J2} 断开，在A相电压的负半周期，二极管 VD_1 反向偏置不导通，没有电流通过负荷，辅助继电器 K_{J2} 完成断开，即智能选相开关完成了从A相切除过程。

2) 智能选相开关控制接入B相。控制电路将切换命令转换为继电器驱动模块和接触器驱动模块输出相应的开关信号，通过开关信号 K_4 控制继电器 K_{J4} 在B相电压的负半周通电，继电器触点在B相电压负半周的时候稳定闭合，由于二极管 VD_2 反向偏置，触点闭合过程中没有电流通过，智能选相开关还处于断开状态；当B相电压过零后，二极管 VD_2 迅速导通，负荷开始有电流流过，同时开关

信号 K_3 控制接触器 K_{J3} 通电，接触器 K_{J3} 的触头在二极管 VD_2 正向导通期间完成稳定闭合，即完成了智能选相开关接入B相过程。

在智能选相开关接入B相时，接触器 K_{J3} 触头闭合的过程中，触头之间的距离从断开的最大距离到完全闭合期间，触头承受的电压仅为二极管 VD_2 的正向电压0.7 V，因此不会产生浪涌电流或起弧。

智能选相开关使用二极管、接触器和固态继电器组合作为电力电子开关。在开关闭合过程中，二极管正向电压大于0.7 V即可导通，无须附加的触发信号，简化了控制电路，同时也提高了设备可靠性。二极管仅在开关接通和断开的瞬间工作，在开关断开状态由辅助继电器承受耐压，在开关闭合状态由接触器承受电流，所以损耗极低，无须附加散热电路。在整个切换过程中，二极管起到保护辅助继电器触点和接触器触头的双重作用，辅助继电器和接触器可以互相保护，实现了无弧切换，可以极大地延长接触器和辅助继电器的寿命。而且与晶闸管或复合开关相比，二极管的成本和体积占据明显的优势。

3 试验及分析

为了验证智能换相开关技术的可行性，本文研制了电气原理如图2所示的低压智能换相开关样机，样机安装于电缆分接箱内，如图4所示。

图4中安装了两台智能换相开关，每台的参数



图4 安装有智能选相开关的电缆分接箱

为：1路三相380 V输入，3路单相220 V输出，每路输出额定电流200 A，可无弧频繁切换，切换时间低于20 ms，满足普通低压供电用户。

在实际低压供电环境下进行了换相试验，试验波形如图5所示。

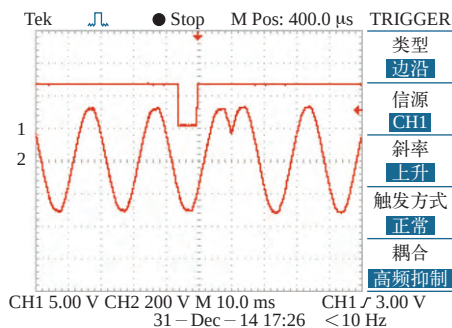


图5 试验波形

图5中，波形1为智能换相开关发出的切换控制命令，波形2为切换过程中的负荷电压。试验结果显示，智能换相开关可以5 ms内快速实现换相切换操作，在保障负荷可靠连续供电的前提下，调整了三相负荷间的平衡性，具有低损耗、瞬时切换等优点，而且成本低利于推广，是解决低压配电网负荷不平衡问题的有效方法之一。

4 结束语

本文提出了利用智能选相开关进行低压配电网负荷不平衡治理的技术。研究的智能选相开关使用二极管作为电力电子开关，简化了控制电路，同时也提高了设备可靠性，损耗极低，无须附加散热电路，真正实现了无弧切换，可以极大地延长接触器和辅助继电器的寿命，供电系统相间切换时间短。利用智能选相开关构建的配电网负荷不平衡智能控制装置，可以从网络拓扑的根本层面上治理不平衡，具有一定的推广价值。

参考文献

- [1] 程利军. 智能配电网 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [2] Q/GDW 615—2011 农网智能配变终端功能规范和技术条件 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.

(收稿日期: 2015-11-03) EA