新型隔离接地开关用电动机驱动机构关键技术研究

介绍了一种新型隔离接地开关用电动机驱动操动机构，该新型操动机构采用模块化结构设计，结构简单，输出特性可控，可靠性高，可实现一款机构配套多型号隔离接地开关本体，且具有3万次的超高机械寿命，充分验证了该新型电动机驱动操动机构的优越性，为下一代隔离接地开关的研制奠定了基础。

何大伟　邓　渊　苑国旗　郭东方　何保营／平高集团有限公司

何大伟／工程师

关键词／Keywords
隔离接地开关·
电动机驱动·
操动机构·

0　引言

在电网系统中，隔离接地开关是一种最为简单的高压开关，其经常与断路器配合使用，主要作用是在电路中形成断点和接地点，从而在电网检修设备时保障检修人员的生命安全[1]。目前隔离接地开关常用的操动机构有弹簧机构、电动弹簧机构和电动机构等，而这些传统的操动机构多具有结构复杂、对零部件质量要求高、生产装配一致性差以及故障多发的特点。据不完全统计，隔离接地开关现场运行中出现的故障一半以上来源于操动机构，所以提高操动机构的运行可靠性，是提高隔离接地开关运行可靠性的关键所在。

国内外在新型隔离接地开关用操动机构方面进行了很多研究。文献[2-8]就永磁电动机直接驱动隔离开关完成分合闸以及高压断路器电动机驱动技术方面分别进行了深入研究和样机试制；其研究的永磁电动机操动机构技术先进，结构简单，但使用电动机直接带动隔离开关完成分合闸操作，对电动机特性要求高（此类电动机往往为特种电动机），这就导致电动机成本高昂，不利于此项技术在工程上大面积推广。国外的西门子公司研制了以直线执行器作为主要部件的操动机构。

本文提出了一种应用于隔离接地开关的新型电动机驱动操动机构（以下简称新型机构），详细介绍了新型电动机驱动操动机构的结构及控制系统设计，并对研制的电动机驱动操动机构样机配套多型本体进行了试验研究。

1　新型机构结构设计

新型机构主要由伺服电动机、伺服驱动器、蜗轮蜗杆减速机和行星减速机组成，其系统框图如图1所示，图中点画线部分为新型机构，点画线外侧为隔离接地开关本体。

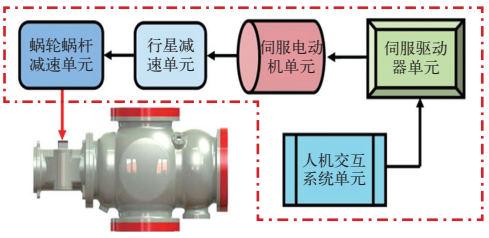

图1　新型机构系统结构框图

伺服电动机单元是新型机构的动力单元，它作为一种成熟的工业产品，其运动过程具有高度可控特性。伺服电动机与常规电动机相比具有运动过程高度可控、运行平稳、适应负载能力强及易于实现智能控制的优势特点。将伺服电动机作为新型机构的执行元件，可实现高压开关分合闸过程的高度可控，降低分合闸过程的冲击。

伺服驱动器单元是与伺服电动机单元配套使用的驱动单元，其主要功能是向伺服电动机下达动作指令、对伺服电动机的运动状态进行实时监测及向伺服电动机供电等。通过伺服驱动器可以按照需求设置伺服电动机在一个动作周期内的位移和转速，同时可以实现新型机构的多种输出速度、输出转角。

行星减速单元与蜗轮蜗杆减速单元功能相同，即可以降低电动机转速。行星减速机具有传动效率高、尺寸紧凑等优点，而蜗轮蜗杆减速机具有自锁功能，两种减速机配合使用即可实现大减速比。减速单元的使用，极大程度地降低了对伺服电动机性能的需求，同时又保留了伺服电动机的优势。

人机交互系统单元是新型机构的一个可选配置，人机交互系统在新型机构的使用过程中可以进一步提高用户的使用体验，它可以直接与伺服驱动器进行通信，并从伺服驱动器提取新型机构的操作信息，便于新型机构在智能化方向的功能扩展设计。

新型机构动作原理如下：伺服驱动器向电动机下达分闸或合闸命令，伺服电动机执行分闸或合闸操作（分别对应电动机正转或反转），伺服电动机输出的转速及扭矩经减速机传递后，转速下降、扭矩增大，最终形成新型机构的输出转速及输出扭矩，带动高压开关本体完成分合闸操作。

2 新型机构控制系统设计

新型机构控制系统主要由伺服执行系统和人机交互系统组成，其中人机交互系统又包含智能监控IED系统以及触摸屏显示系统。控制系统的布置形式为伺服执行系统就地安置于新型机构箱体内，而人机交互系统作为一个独立的模块可集成于用户后台系统，也可以单独存放于柜体内。伺服执行系统直接完成新型机构的分合闸操作；人机交互系统与伺服执行系统进行通信，实现对隔离开关运行的智能控制，并可实现操作的可视化以及机构运行过程状态的实时显示。

2.1 伺服执行系统

伺服执行系统主要由伺服电动机、伺服驱动器和旋转编码器等组成，它们主要安装在就地机构箱内。伺服电动机的主轴通过齿轮经由减速机系统带动电动机构连杆动作，通过控制伺服电动机的转子转速可调节机构的运动速度，进而对隔离开关的分合闸速度进行控制。其中旋转编码器与伺服电动机集成一体，伺服驱动器单独放置于机构箱内，伺服执行系统拓扑结构如图2所示。

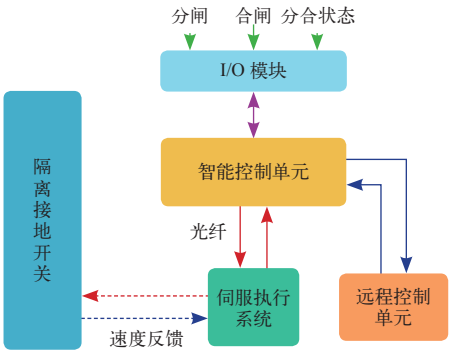

图2 新型机构伺服执行系统拓扑结构

伺服电动机及伺服驱动器作为大规模生产的工业产品，其技术已发展成熟，用市面上常用的1 kW伺服电动机及其配套驱动器作为伺服执行系统的硬件设备。项目组按照高压开关操作规律及控制策略对伺服驱动器进行深度开发和重新编程，使其满足高压开关的分合闸控制操作要求。

2.2 人机交互系统

如前所述，人机交互系统包含智能监控IED系统和触摸屏显示系统。智能监控IED负责对新型机构的运动过程进行实时监测和控制。包括：运动速度和分合闸行程的控制；运动过程中速度、电流数据的采集；速度、电流曲线的绘制；电动机运行参数的实时显示；新型机构分合闸操作的控制；以及智能告警和智能诊断[9-11]。

智能监控IED硬件平台采用研华UNO－4671A工控机，如图3所示，符合IEC 61850－3和IEEE 1613认证标准，通过中国电力科学院电力四级认证，具备电力系统应用的基础；系统采用Ubuntu11.04和Linux 2.6.38 内核，具有较好的人机交互能力。

图3　新型机构智能监控IED

智能IED软件系统由Modbus[12-15]采集平台、共享内存、智能告警分析模块和IEC 61850模块等部分组成，应用程序采用Qt开发完成。应用软件设计采用模块化的设计思想，软件程序流程如图4所示。

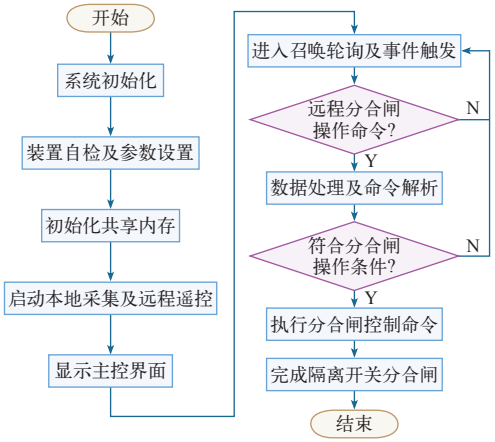

图4　新型机构智能监控IED软件程序流程

触摸屏显示系统以触摸屏技术为基础，实现隔离接地开关运动过程中分合闸行程、速度及电动机电流等参数的实时显示，实时数据监测界面如图5所示。同时，作为人机交互接口，可实现机构运行参数的远程设置及操作控制，如图6所示。

图5　实时数据监测界面

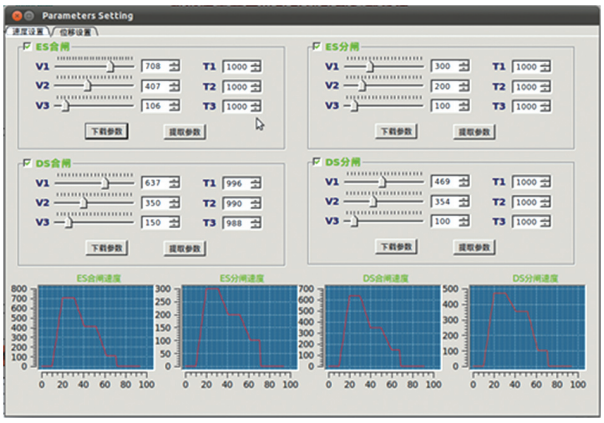

图6　参数设置界面

3　试验研究

3.1　匹配不同本体进行机械特性测试

试验目的：验证新型机构输出特性多样；一款新型机构可通过改变设置参数的方法匹配不同本体需求。

本试验将研制的新型机构与126 kV、252 kV以及1 100 kV隔离接地开关分别配套进行机械特性测试，三种产品机械特性测试使用同一台新型机构，硬件部分完全相同，区别只存在于控制系统的参数设置上，测试结果显示，新型机构可满足三种型号隔离接地开关本体技术要求，新型机构分别配套三种型号本体隔离开关合闸特性曲线如图7～图9所示。由图中可以看出曲线圆滑过渡，合闸过程中无卡滞，且运行平稳。

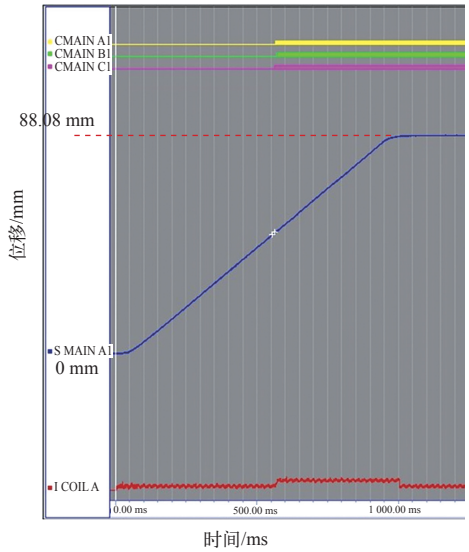

图7　新型机构配126 kV隔离开关合闸机械特性曲线

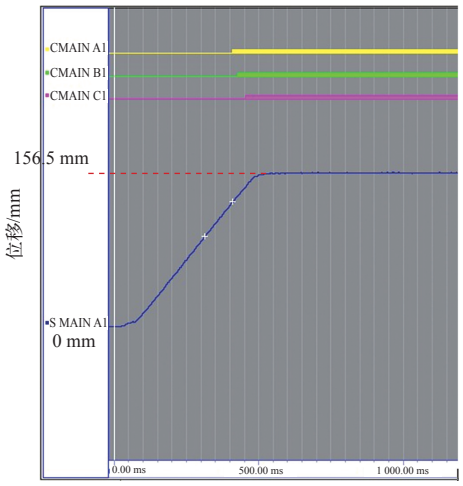

图8　新型机构配252 kV隔离开关合闸机械特性曲线

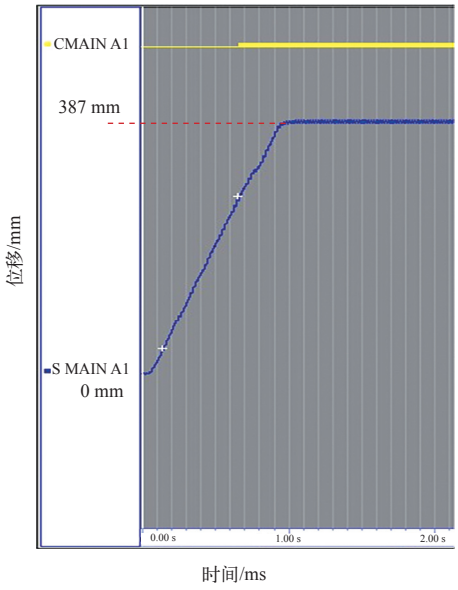

图9　新型机构配1 100 kV隔离开关合闸机械特性曲线

3.2　电磁兼容试验

试验目的：因为新型机构中使用大量电力电子元器件，所以其抗电磁干扰能力不容忽视，本试验就是考核新型机构控制系统的电磁兼容性能。

电磁兼容试验进行10项抗扰度试验以及2项发射试验，各项试验均按照标准规定的最严酷等级进行，试验现场如图10所示，最终新型机构顺利通过试验考核，取得试验报告。

3.3　机械寿命试验

试验目的：考核新型机构的机械可靠性。

新型机构配套252 kV三工位开关进行机械寿命试验，试验现场如图11所示。最终新型机构完成15 000次机械寿命操作，试验过程中每1 000次测一次机械特性，隔离接地侧各进行15 000次机械操作，试验过程中未进行任何维护。试验结束后对新型机构进行解体检查，机构各零部件运转良好，无明显损坏，可继续进行操作，充分验证了新型机构的超高机械寿命。

图10　新型机构电磁兼容试验现场

图11　新型机构机械寿命试验现场

4　结束语

本文主要进行了高压隔离接地开关系列化电动机驱动机构关键技术研究，并基于伺服控制技术研制出适用于110～1 100 kV隔离接地开关的电动机驱动操动机构样机，该操动机构实现了智能监控技术与伺服控制技术的集成，使隔离接地开关电动机驱动机构具有在线监测、人机交互和移动客户端控制等智能化功能，满足现代智能电网的要求。

参考文献

[1]　高明贵．高压隔离开关在电力系统重要性以及故

障 [J]．低碳世界，2015 (29)：44-45．
[2] 芦宇峰，孟大伟，等．SF_6高压断路器智能化操动机构的研究与优化 [J]．电机与控制学报，2013，17 (7)：94-98．
[3] 史可鉴，林莘，等．550 kV GIS隔离开关调速电机操动机构的研制 [J]．高电压技术，2015，41 (6)：1981-1988．
[4] 林莘．现代高压电器技术 [M]．北京：机械工业出版社，2011．
[5] 林莘，马跃乾，徐建源．高压断路器新型操动机构电机设计分析 [J]．沈阳工业大学学报，2008，30 (2)：129-133．
[6] 刘爱民，林莘．断路器操动机构用直线感应电机的优化设计 [J]．电机与控制学报，2009，13 (4)：528-532，540．
[7] 李昊旻，林莘，徐建源．126 kV真空断路器永磁摆角电机操动机构的设计与动态特性分析 [J]．电网技术，2014，38 (6)：1664-1669．
[8] 杨涛，黄瑜珑，李大卫，等．高压断路器电机操动机构技术的研究 [J]．清华大学学报：自然科学版，2010，50 (4)：521-524．
[9] 卢伟，孟婷，孙以泽，等．基于Modbus/TCP及FINS/TCP协议的数据采集与通信系统设计 [J]．仪表技术与传感器，2017 (1)：88-91．
[10] 卢文俊，冷杉，杨建军．基于Modbus协议的控制器远程监控系统 [J]．电力自动化设备，2003，23 (6)：54-56．
[11] 张凡，朱永利，熊海军，等．Modbus到IEC 61850-8-1映射方法及其在状态监测中的应用 [J]．电力系统自动化，2014，38 (21)：84-88．
[12] 张海源，任春梅，张冉．Modbus协议在电力系统中的应用 [J]．继电器，2007，35 (17)：31-34．
[13] 孙静，秦世引，宋永华．模糊PETRI网在电力系统故障诊断中的应用 [J]．中国电机工程学报，2004，24 (9)：74-79．
[14] 郭创新，朱传柏，曹一家，等．电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势 [J]．电力系统自动化，2006，30 (8)：98-103．
[15] 苏鹏声，王欢．电力系统设备状态监测与故障诊断技术分析 [J]．电力系统自动化，2003，27 (1)：61-65．

（收稿日期：2018－02－02）EA

(上接第34页)

的谐波作用，改善了系统稳定运行的工作性能。

4 结束语

本文通过使用SPLL技术，有效解决了电力系统工作中由于频率波动出现相位检测困难的问题。

1）通过仿真发现，SPLL技术在整流侧有功功率、无功功率、直流电压波形和逆变侧无功功率等方面均可以使系统调节至稳定运行状态。

2）该技术能够消除谐波影响，快速完成相位检测工作，性能明显优于经典PLL技术。

由于本文仿真模型建立的前提是交流侧电压平衡，而实际交流系统难以达到时刻平衡，影响了系统控制器的工作，需要进行进一步的研究。

参考文献

[1] Mike Barnes，Antony Beddard．Voltage source converter HVDC links – the state of the art and issues going forward [J]．Energy Procedia，2012，24：108-122．
[2] 张文亮，汤广福，贺之渊．先进电力电子技术在智能电网中的应用 [J]．中国电机工程学报，2010，30 (4)：1-7．
[3] Jacobson B，Jiang-hafner Y，Rey P，et al．HVDC with voltage source converters and extruded cables for up to ±300 kV and 1 000 MW [C]．CIGRE Session，2006：B4-105．
[4] 胡兆庆，毛承雄，陆继明．一种新型的直流输电技术——HVDC Light [J]．电工技术学报，2005，20 (5)：1-5．
[5] Ronström L，Hoffstein M L．The estlink HVDC Light® transmission system [C]．Security and Reliability of Electric Power Systmes，2007：1-7．

（收稿日期：2017－08－08）EA