

[高压断路器]

基于电动机驱动高压断路器装备技术

文/平高集团有限公司 张国跃 朱苛蒗

介绍了高压断路器的电动机驱动技术的应用前景及其研究的必要性，此技术在国内同行中处于先进水平；高压断路器电动机驱动技术智能化水平高，符合智能化开关设备的发展前景；阐述了高压断路器电动机驱动技术的系统组成和硬件，电动机驱动技术以传动结构简单、可靠性高、智能化程度高、可控性强和运动精度高等优点引领断路器进入数字时代。

断路器电动机驱动技术结合现代电力电子、电动机控制技术、微计算机技术和机械设计技术等多个学科技术，综合运用于高压开关操作控制中。数字化驱动技术具有组成元件少、运动过程可控、响应速度快、动作时间分散性小和微机控制等特点，有助于提升高压开关智能化水平和电网装备数字化水平。

国内外研究现状

断路器电动机驱动技术是将伺服电动机直接与高压断路器传动轴连接，直接驱动断路器动触头分合闸操作。配有电动操动机构的高压断路器产品，ABB公司已有成套产品（LTB-D系列72.5-17 kV单相操动或者三相机械联动断路器）投放市场。ABB公司从2000年起应用于单相操作和三相操作鼓形绝缘子式断路器、罐式断路器、PASS紧凑型开关设备、GIS及发电机断路器。截至2005年，已有100多台配电动机操动机构的高压断路器在瑞典、丹麦、意大利、澳大利、新西兰和阿根廷等17个国家投入使用。

2007年，泰国购买了一台ABB生产的配电动机操动机构的高压断路器，这是亚洲应用的第一台电

动机驱动高压断路器。

国内目前对40.5 kV电压等级电动机驱动断路器开展研究，126 kV及更高电压等级可供应用的电动机尚处于研究阶段，只是在电动机模型仿真、三相永磁同步电动机直接驱动断路器技术方面进行了基础技术的前期调研和研究工作（大多在高校开展），研究成果均处于试验阶段，国内尚无进入工程实际生产应用的案例。

高压断路器电动机驱动技术的优势

高压电动机驱动技术是把现代电力电子、电动机控制技术、微计算机技术和机械设计技术等多个学科技术综合运用于高压开关操作控制中。伺服电动机操动机构的可控性强，可以克服传统操动机构在分合闸起动后运动状态不可控制的缺点。只需改变控制器和电动机的参数，一款伺服电动机操动机构使用于多型号高压开关中，并与之匹配，简化高压开关操动机构序列，减少机构种类；伺服系统可实时反馈开关动作特性参数，实现高压开关驱动系统故障检测、故障报警和故障诊断，改变传统高压开关智能程度低的现状。

1) 采用伺服控制，克服传统操动机构行程曲线

不可控的缺点。

2) 可设定多条运动曲线, 和不同本体匹配性好, 机构移植性强。

3) 无分合闸脱扣装置, 响应时间短, 减小电力系统的故障响应时间。

4) 动作分散性小, 易于实现选相控制。

5) 易于实现开关状态监测, 真正实现一次电力设备智能化。

高压断路器电动机驱动系统

永磁电动机直接驱动高压开关替代了传统断路器用弹簧操动机构, 由电动机转子直接驱动高压开关驱动轴实现开关触头分合闸操作。断路器操动机

构运动部件只有一个, 结构简单, 大大减少了机械故障, 保证了断路器操作高可靠性; 同时永磁电动机采用伺服控制技术, 实现断路器的智能操作, 满足现代智能电网的要求。

近年来, 机械制造工艺水平不断提高, 电力电子技术发展迅猛, 电动机的制造以及输出转角、转速和能量的精确控制都已经能够实现, 为应用于高压开关的新型电动机操动机构奠定了基础。

伺服电动机驱动断路器设备主要由三相永磁同步电动机(PMSM)、储能电容器、伺服驱动器、伺服控制器、传感器单元以及断路器本体组成, 如图1所示。

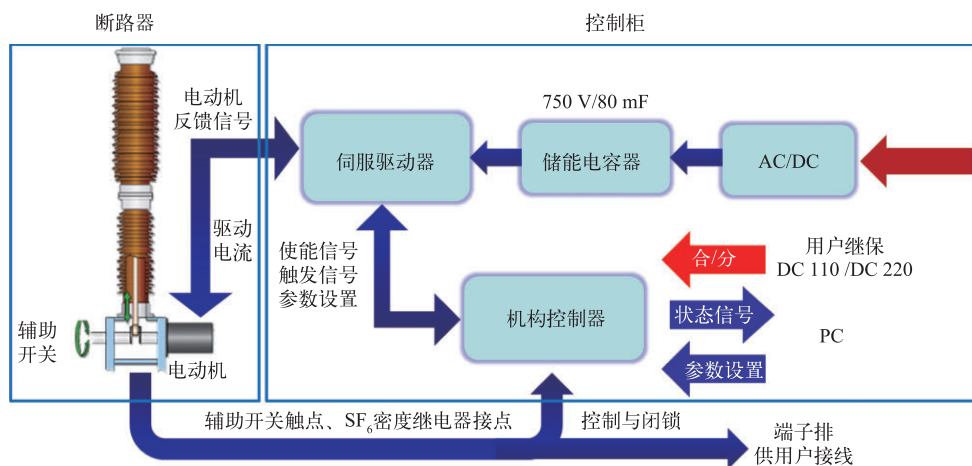


图3 高压断路器电动机驱动系统

基本工作原理: AC 380 V升压后经整流器进入储能电容, 储能电容器为伺服驱动器提供驱动电动机能量; 控制器可以时时采集开关的状态信号并实现开关的闭锁、联锁功能, 同时与驱动器通信进行参数设置, 接收分合闸指令并触发驱动器动作, 实现断路器分合闸操作。

1. 三相永磁同步电动机 (PMSM)

由于断路器开关设备分合闸动作时间短(几十毫秒内完成), 瞬时扭矩大, 功率高, 需要精准的角位移控制, 这些使得常规电动机望而却步。随着电动机行业“四新”技术发展, 一种新型的高功率密度三相永磁同步电动机能够解决以上困难, 三相永磁同步电动机取消了励磁系统损耗, 提高了效率, 功率因数可达到或接近于1。永磁电动机结构简单, 外观小, 能量密度大; 采用伺服控制系统可

实现调速。电动机外观结构如图2所示, 图3为电动机发热仿真计算校核。

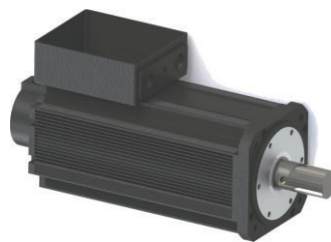


图2 三相永磁电动机



图3 永磁电动机热仿真计算

2. 储能电容器

为伺服电动机提供电源采用电解电容器储能电动机驱动机构分闸操作所需的能量，保证电容储能电能满足断路器O-0.3 s-CO操作循环，减少对变电站直流屏的冲击。电容器的种类较多，可分为脉冲电容器、电解电容器和超级电容器；由于脉冲电容在自身温度超过80℃、超级电容在瞬间承受高于额定电压10%的过电压后都会出现不可逆严重损坏，给断路器长期运行带来安全隐患。综合经济、使用方式、寿命和可靠性等方面的考虑，电解电容可靠性更高，但使用寿命只有三年左右，需定期更换。电解电容器组如图4所示。由于电容器电压高达800 V，电容器充电回路需要采用隔离变压器进行充电，使得电容器电压不受外界影响。在调试和检修时，基于安全考虑，需要释放电容器中的电能，电路采用放电电阻发热形式释放电容器中的电能。

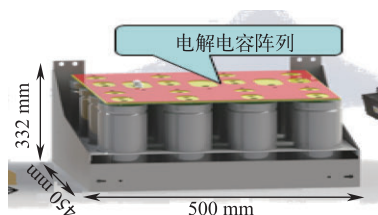


图4 电解电容器组

3. 伺服驱动器

伺服驱动器采用PWM逆变单元，逆变单元采用大功率IGBT构成H式电路和脉宽调制技术PWM实现对电动机电流控制，从而校正控制电压、环境温度

度等因素导致的断路器触头运动偏差，实现断路器触头运动偏差补偿，保证断路器动触头按照出厂时参考轨迹运动。IGBT布局及外观如图5所示，驱动器控制逻辑算法如图6所示。

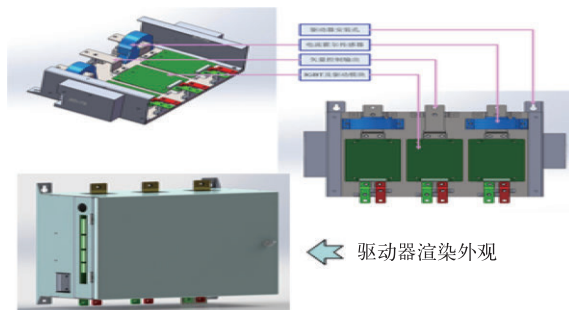


图5 IGBT模块设计

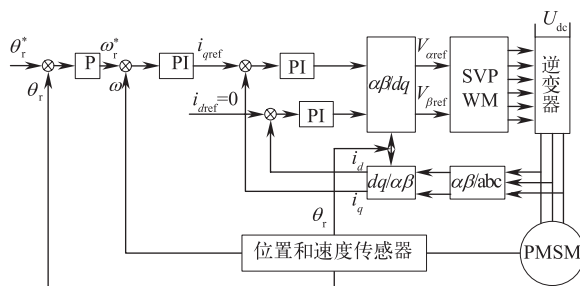


图6 驱动器控制算法

4. 伺服控制器

采用数字信号处理器（DSP）作为控制核心，嵌入复杂的控制算法程序，通过位置、速度和转矩三种方式实现电动机数字化、网络化和智能化控制，如图7所示。

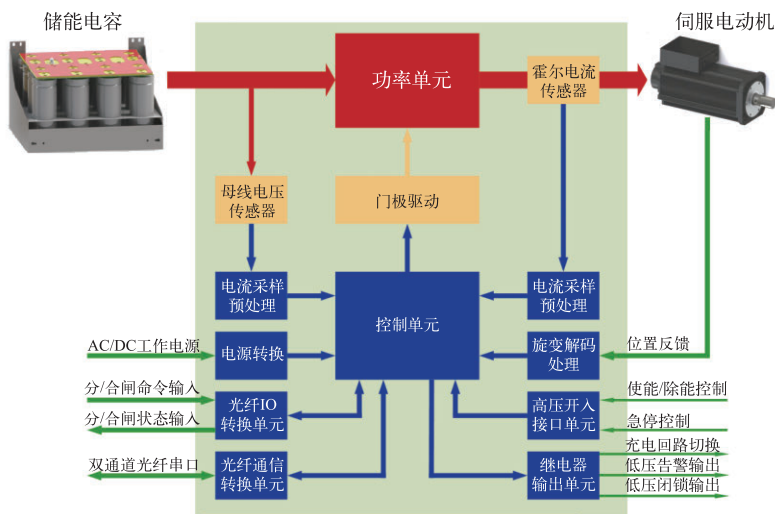


图7 控制流程图

分合闸过程中，运动控制单元实时采集断路器触头运动位置和电动机驱动机构电流，并与出厂时确定的运动轨迹进行比较，根据断路器触头运动偏差及偏差变化率控制电动机电流，改变电动机转矩，从而控制断路器动触头运动速度，保证断路器按照给定最佳轨迹运动，确保断路器动作时间稳定性；同时，断路器运动控制单元可以根据分合闸操作过程中获得位移、电流等信号实现对断路器状态

参数的获取。

5. 传感器单元

传感器单元主要采用旋变传感器实时检测电动机转动角度，如图8所示。电压传感器实时监测电容器电压，如图9所示。电流传感器实时监测电动机动力电流，如图10所示，并将采集角位移、电流和电压信号作为运动控制器反馈输入信号。

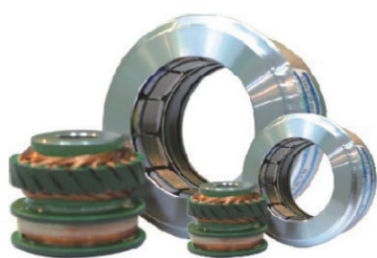
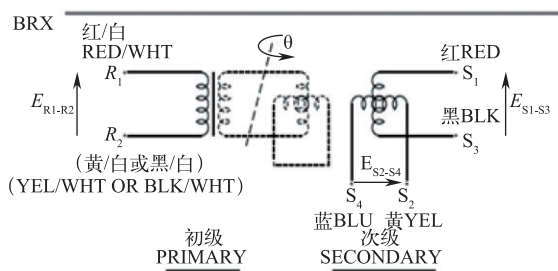


图8 旋变传感器



图9 电压传感器



图10 电流传感器

6. 断路器灭弧室

断路器采用目前最先进的双动自能式灭弧室，分合闸速度、操作功率低于同级别的其他灭弧室。减小电动机负载，使得伺服电动机、驱动器和控制器设计降低难度；三相采用三极联动方式，提高断路器合闸同期性和稳定性。平高自主设计的断路器如图11所示。



图11 平高自主开发126 kV电动机驱动断路器

发展展望

高压断路器电动机驱动技术将引领高压开关开展一场驱动技术革命，其特点和优势表现在以下三个方面：①断路器机械传动回路简单，尤其是操动机构简单，机械故障低。②智能化程度高。③可控性强，运动精度高。EA

(收稿日期：2021-03-10)