

永磁操作机构及其同步过零技术

一、传统操作机构存在的问题

近年来，真空断路器和 SF6 断路器基本取代了多油或少油式断路器，尤以真空断路器得到广泛应用。特有的全封闭室，不但特别适合频繁操作，还具有免维护的特点。然而，在减小断路器总体拒动率上(即动作可靠性)进展不大。操作机构无重大改进。常用的电磁式操作机构如 CD₁₀ 等已沿用 50 多年，技术落后，操作功率大，结构复杂，机械零件多。根据国内外断路器故障率统计，有 70% 的故障均来自操作机构的机械部分。最近几年，弹簧操作机构的出现，断路器整体素质，起到了较大的作用。因为传统电磁操作机构在提高合闸速度上受到很大限制，它的合闸功率已很高，再提高容量，受到多种因素的限制。而弹簧机构采用的手动或电动操作，都不受电源电压的影响，既能提高合闸速度，又能实现自动重合闸，在一定程度上克服了电磁操作机构的缺点。但就弹簧机构本身的结构而言，它的贮能为动力驱动断路器。弹簧的贮能是通过电动机——减速机构完成的。整个机构由弹簧贮能、维持贮能、合闸维持和分闸 4 个部分组成，所以零部件数量减不下来，约为 200 个。而且加工精度高，制造工艺复杂，成本高。因断路器整体素质上还是不很理想。

二、永磁操作机构

近年来，一种用于中压真空断路器的永磁保持、电子控制的电磁操作机构(简称永磁机构)，已完成研制阶段进入了实用阶段。它打破了传统操作机构的原理，构思巧妙，技术上有较大创新，已成为电力制造和运行部门的热点。可以预见，它将占据断路器领域内的重要位置。

永磁机构很适合用于真空断路器。永磁机构的出力特性即带负荷特性非常接近真空断路器的要求。从图 1 可以看出，需要在动作过程中驱动力越来越大，以满足刚分、刚合速度。而弹簧机构恰恰相反，在合闸过程中释放能量，弹压力阶段非常大，高速运动，不但降低了机构的效率和可靠性，巨大的冲击力还降低了机构的刚度。而开始阶段断力小的力。永磁机构的出力特性符合断路器的受力要求，由小变大。



永磁机构工作原理。用得最多的是一种双稳态永磁机构，也叫双线圈永磁机构。跳合闸过程如图 2、图 3。图 2 是此时动铁芯被永磁铁吸(保持)在上部，磁力线如 I，是分闸的稳态位置。





合闸过程如图 3。当机构接到合闸命令时，合闸线圈 6 通过电流，磁场为Ⅲ和Ⅱ所示，在磁路上部抵消了永久磁铁 I 而使铁芯向下运动。当运动到约一半行程后，由于下部气隙减小，永久磁铁磁力线转移到下部，形成了合闸线圈磁磁场同向的情况，进而使动铁芯加速向下运动，最终达到合位。当合闸电流消失后，永久磁铁仍将动铁芯保持合位位置。装置巧妙之处在于，永久磁铁的磁力线在动铁芯中是既可向上走，也可向下走，它总是随着上下部气隙方向，这恰恰符合断路器后行程要求加速的需要。分闸过程与上述情况相反。如遇紧急情况，可用手动装置强行上拉，进行手动紧急分闸。永久磁铁不但能在行程后半部加速动铁芯运动，而且行程完成后将动铁芯牢固地吸在合位位置。永磁机构最大优点，首先是省掉了电磁式或弹簧机构的运动连杆和锁扣、脱扣装置。整个操作机构只有一个运动部件，达到了最简程度。另外为同步过零操作提供了条件，也是它最大特点(后述)。

三、断路器整体结构

图 4 是 VM1 型永磁机构与真空断路器的整体图。图左是 VM1 真空断路器，它的真空灭弧室是被完全浇注在环氧树脂中，它与上下出线座被安装在一个管状的绝缘筒内，所以整个装置不受外界因素影响，即便是在湿热气候或严寒中，它仍有良好的绝缘性能。真空断路器通过拐臂受控。图右是永磁机构，当跳、合闸线圈 14、11 接到分、合闸命令时，铁芯 13 向上、下运动完成分、合闸。跳、合闸的位置指示机构取消了传统的机械辅助开关，用无触点的位置检测传感器 10。辅助开关也是常出故障的器件，不但调节麻烦，触头的接触问题也令人头痛。而电子接近开关的结构和调节非常简单。整个结构来看，断路器本体只有一个运动部件，传动部分也是一个部件(拐臂)，加上断路器才几个运动部件。众所周知，机构愈简单愈可靠，部件由 100 多个减为几个，可靠程度大为增加，达到免维护的效果。



- 1 上部接线柱 2 真空灭弧室 3 下部接线柱 4 软连接
- 5 触头压力弹簧 6 绝缘拉杆 7 主轴 8 行程调节器
- 9 开关位置检测传感器 10 合闸线圈 11 永磁铁

12 动磁铁 13 分闸线圈 14 手动紧急分闸装置

15 永磁机构外壳

四、同步过零操作

传统断路器在跳、合闸瞬间，电流、电压的跳合闸初相角都是随机的。因而在关合空载变压器、电容器或空载线路时，产生幅值很高的涌流和过电压，引起保护误动和系统不稳定。人们为了解决这一问题，如加装消谐器、电抗器、避雷器等，但效果都不尽人意。而永磁机构的出现，为电子同步过零操作技术提供了条件。

所谓同步过零开关技术是指断路器的动、静触头在电子控制系统的控制下，可在系统电压波形过零时关合；电流过零时分断。这样可使投入空载变压器、电容器和空载线路时，对自身和电力系统冲击最小。因此，在降低断路器触头开合容量、合闸操作的过电流过电压，提高电力设备寿命和系统稳定等方面都取得根本性的进展。

为什么传统的电磁式、弹簧式机构不能实现同步操作呢？其原因是它们众多的传动件运动时间分散性大，响应速度低，难以对运动机构实现精确控制。而同步技术要求精确操作达到微秒级，完全可把分合闸时间的分散性控制在±1ms 内。

永磁机构控制系统如图 5。装置的核心是逻辑控制器，它接受各种电信号，如断路器的关合指令、关合状态、输入电压等，通过逻辑判断发出相应的指令，包括给出防止断路器“跳跃”的闭锁措施。如遇系统发生短路、过电流、欠电压等故障，它发出故障信号和相应指令。其中包括电源管理单元，检测输入输出电压，保证以稳定的电压向电容器充电，充放电控制均由该装置完成。执行分合闸仍由分闸、合闸线圈完成、接受电信号用高精度电流、电压互感器。



图 6 是利用同步过零技术关合断路器的动作过程。 T_t 为目标合闸时间； T_d 为延迟时间； T_c 为断路器合闸时间。当收到合闸指令时，装置自动选择一个正弦波过零处使系统初相角为零度。计算机根据操作机构的合闸时间 T_c ，算出装置所需的延迟时间 T_d ，使合闸瞬间相角为零度的前提下达到目标合闸时间 T_t 。图中 0 点为合闸过零点。



当然， T_d 还必须考虑环境温度和电容器的电压因素，这些都是根据实验数据确定的。

五、电子同步控制器

如上述，要实现精确过零关合，必须要有具备分辨率在微秒级的硬件、软件才能实现，显然，只有微电子技术才符合要求。图 7 是包括同步电子控制器的系统原理图。



当人员利用 TA 或 HA 发出跳合闸指令后，微机逻辑单元经过逻辑分析在适当的时刻发出触发脉冲，开通功率开关 1R4，1R1~1R4 可以是场效应管 MOSFET 或 IGBT 器件。微机一般采用单片机 PI-C16C73B—201/SP 或 80C196KB/KC

六、关于电源和辅助开关

当前常用蓄电池作为跳合闸的直接电源。永磁操作机构采用电容器作跳合闸的直接电源。早在 70 年代，硅整流电跳合闸的直接电源非常流行，后来由于种种原因舍弃电容器而用蓄电池。为什么永磁机构要采用电容器呢？一是：较小，完成一次分——合——分，所需能量在 250 焦耳以下，电容器完全满足这一要求。由于容量小，只需几秒充满电，充电电流也很小(2A 以内)，所以电源容量一般都在 100VA 以下。即便是停电 24 小时仍能进行分闸操作。从电性质来看，跳合闸操作冲击性负载很适合电容器，而冲击性负载对蓄电池是很不利的。三是从充电电源来看，电压、稳压要求不高，还能经受短路的冲击，可放电到任意电压不受损害。而蓄电池在这些性能上都不及电容器。电容器也比蓄电池省得多。现代的电解电容在 55℃ 以上可用 10 年以上，温度低些可达 20~30 年。所以，只要电容够大，作为跳合闸的能源是非常理想的。

永磁机构不用传统的可动触头检测断路器的开、合状态，而用电子接近开关作为辅助开关。这种感应式开关属无无可动元件，无磨损，无弹跳，不存在接触不良问题，可精确确定动作时刻，运行不受外界环境影响，具有很长很高的可靠性。

结语：将永磁体应用于脱扣器，早在 60 年代国外已开始研究，在 80 年代新型永磁体钕铁硼稀土材料的出现才为应用奠定了基础。90 年代英国设计出第一台样机。ABB 公司研制成功的 VM1 真空断路器配置的就是双稳态双线圈永磁机构。

国内已有几十个厂家能生产永磁机构。经过数年的运行实践，证明这种机构是一种简单可靠、性能卓越、免调试机构，寿命可达 10 万次以上，在近期内将与弹簧机构并驾齐驱，逐渐成为主流产品。

