

# 永磁机构真空断路器二次控制系统的应用

邹小兵

(四川艾贝斯科技发展有限公司 四川成都 610000)

**摘要:** 在智能电网中智能断路器是非常重要的设备,稳定的电力运行直接关系到人民的生活与工作,真空断路器是保护与控制元件的装置,永磁机构是操作真空断路器的新型机构,对真空断路器的可靠性起到关键作用。为进一步完善永磁机构真空断路器的功能,增强其综合性能,本文探讨以 IGBT 驱动为基础的永磁机构真空断路器二次控制系统,分析其中存在的一些问题,并探究其应用。

**关键词:** 永磁机构;真空断路器;二次控制系统

Application of secondary control system of vacuum circuit breaker of permanent magnet mechanism

Xiaobing Zou

Sichuan Abbes Technology Development Co., LTD.Chengdu, Sichuan, 610000 Abstract: In the smart grid, intelligent circuit breaker is a very important equipment, stable power operation is directly related to people's life and work, vacuum circuit breaker is a device to protect and control components, permanent magnet mechanism is a new mechanism to operate vacuum circuit breaker, which plays a key role in the reliability of vacuum circuit breaker. In order to further improve the function of vacuum circuit breaker of permanent magnet mechanism and enhance its comprehensive performance, this paper discusses the secondary control system of vacuum circuit breaker of permanent magnet mechanism based on IGBT drive, analyzes some existing problems, and explores its application.

Key words: permanent magnet mechanism; vacuum circuit breaker; secondary control system

## 引言

当前社会背景下,电力部门面临新的挑战,人们对供电质量需求越来越高,提高供电的可靠性成为重要任务。真空断路器是电力系统中的关键开关设备,其作用是及时切断短路电流保护电力系统以及有效控制电力系统的工作电路,永磁机构是一种新型的控制操作真空断路器的装置,其部件简易、结构简单,能进一步提高真空断路器的可靠性、可控性,对于维护电力系统的稳定性具有有效作用。本文研究分析由微处理器作为控制核心、以 IGBT 为驱动的永磁机构真空断路器二次控制系统,优化设计多种功能的控制回路,探究升级性能后的永磁机构真空断路器的服务的可靠性。

## 一、永磁机构真空断路器结构原理

永磁机构按照结构区分为两种类型,分别是单稳态永磁机构和双稳态永磁机构。不同永磁机构真空断路器的结构原理也表现出明显差异。

### (一) 单稳态永磁机构结构原理

如图 1 所示为单稳态永磁机构的结构图,其由动铁心、静铁心、永磁体、合闸线圈、分闸线圈与分闸弹簧等构成,静铁心上固定着永磁体,且永磁体的磁导通回路是静铁心,动铁心和静铁心之间是分闸弹簧,在合闸状态下弹簧是呈现压缩状态的。单稳态永磁机构的合闸与分闸是通过真空灭弧室动触头上下运动实现的,而动触头的运动与动铁心的上下运动相同步。单稳态永磁机构的合闸过程是:动铁心贴合着永磁机构的上壁,未给合分闸线圈接入电流,弹簧的弹力比永磁体的磁力大,动铁心位于分闸处,当合闸后,正向电流通入合分闸线圈中,永磁操动机构中磁场发生变化,动铁心之下的磁力变强,综合磁力变多,受到向下合力作用后动铁心朝着合闸的位置发生运动,至合闸处后线圈电流切断,分闸弹簧呈现压缩状态并储存有能

量,动铁心处于合闸的位置,所承受的永磁力比弹簧的反向弹力更大。单稳态永磁机构的分闸过程是:动铁心贴合于静铁心,未给合分闸线圈通入电流,永磁体发挥磁力作用后动铁心与分闸弹簧的反作用力被相互抵消消失,动铁心位于合闸处。当分闸后,反向电流通入到合分闸线圈中,永磁操动机构中的磁场发生变化,且永磁体的磁场方向相反于电磁场的磁场方向,二者发生抵消效应,动铁心由此所承受的磁力随之变少。磁场合力小于分闸弹簧的弹力作用时,动铁心会受到向上的合力作用并朝着分闸位置进行运动,在到达分闸处后线圈电流被切断,动铁心位于分闸处。<sup>[1]</sup>

单稳态永磁机构的稳定状态有两种,一是永磁力保持的合闸状态,二是弹簧力保持的分闸状态。在合闸状态线圈通电后电流会形成电磁场,分闸弹簧受到作用影响而储存能量,在分闸状态线圈通电后电流会形成电磁场,而这个电磁场会被抵消,分闸弹簧则为分闸给予一定能量,分闸状态下所消耗的电能比合闸状态要少。

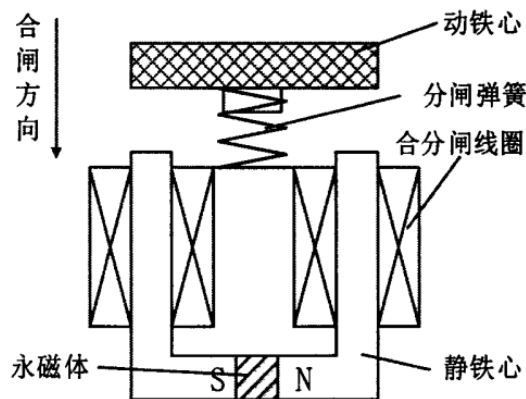


图 1 单稳态永磁真空断路器结构图

(二) 双稳态永磁机构结构原理

如图2所示为双稳态永磁机构的结构图,从图中可以看到永磁操动机构与固封极柱是最主要的组成部分,其中动铁心、静铁心、合闸线圈、分闸线圈等部件共同构成永磁操动机构,软连接、上铜排、下铜排、绝缘子等部件共同构成固封极柱。静铁心上固定着永磁体,位置在合闸线圈与分闸线圈的中间,动铁心与合闸稳态中间有弹簧装置,当其为合闸状态时,其也为压缩形式。分闸与合闸的实现重点依靠的是动铁心,其是位移运动的主要部件成分,连接着极柱,灭弧室中动触头随动铁心的上下运动而进行同步运动,继而实现分闸与合闸。双稳态永磁真空断路器的合闸过程是:动铁心贴合着永磁机构的下壁,合闸线圈与分闸线圈均未通电,且动铁心在分闸位置上,当合闸后,正向电流流入到合闸线圈,永磁操动机构内部磁场随之发生变化,动铁心之上的磁场变强、之下的磁场变弱,动铁心受到向上的合力作用后就会朝着合闸的位置发生运动,直到运动接近至合闸的位置,线圈电流被切断,弹簧受到压缩作用同时储存能量,动铁心保持在合闸的位置,其所受到的磁力比弹簧受到的反向弹力更大。双稳态永磁真空断路器的分闸过程是:动铁心贴合着永磁机构的上壁,合闸线圈与分闸线圈均未通电,动铁心在合闸位置上,当分闸后,正向电流流入到分闸线圈,永磁操动机构内部磁场发生变化,动铁心之下的磁场变强、之上的磁场变弱,动铁心受到向下的合力作用后就会朝着分闸的位置发生运动,直到运动接近至分闸的位置,线圈电流被切断,动铁心保持在分闸的位置。在分闸初始时,动铁心分闸受到弹簧所释放的弹性势能的辅助作用,线圈电流较小时其分闸的初始速度则比较大。

双稳态永磁机构的结构在有磁力保持状态时表现为稳定状态,合闸时将弹簧储存能量压缩,线圈所消耗的能量较多,电容压降也比较大,分闸时弹簧发挥辅助作用,使初始速度加快,分闸线圈为分闸提供关键力。

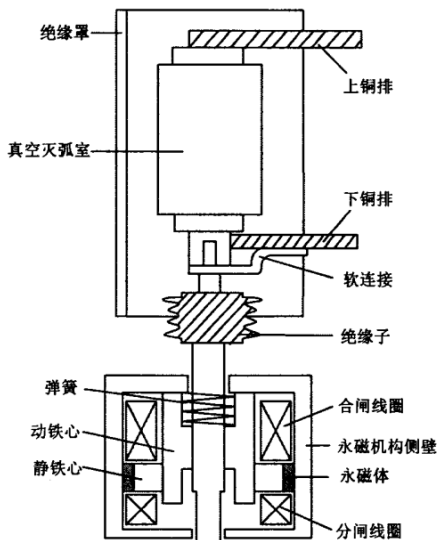


图2 双稳态永磁真空断路器结构图

二、永磁机构真空断路器二次控制系统的结构设计与应用

(一) 总体结构设计

永磁机构真空断路器二次控制系统的驱动主要来自于永磁机构,由微处理器、IGBT驱动模块、直流电源与电容器组、输入信号采集模块等部分构成,为保证安全性和可靠性,除监测控制回路外,也进一步监测永磁机构中的所有器件,包括监测控制器是否存在故障、监测线圈是否存在故障、监测关键元件有无被过压保护等,当发现异常问题时,继电器则会输出异常警告的信号。永磁机构真空断路器二次控制系统的总体结构中包括直流电源模块、电容器组、IGBT驱动模块、线圈连续性检测模块、继电器输出模块、微处理器模块、模拟量采集模块、开关量采集模块、保护匹配模块与故障报警模块等,其中微处理器模块是核心,开关量采集模块控制断口状态、前门闭锁状态和辅助开关状态,模拟量采集模块控制直流电源电压与电容电压,保护匹配模块控制合分闸控制信号。

(二) 系统模块设计

1、直流电源与电容器组

保持力是真空断路器合分闸实现的必须要求,对合分闸线圈进行放电时需考虑到合分闸速度,而达到既定速度要求需调节好励磁安匝数。在有限时间内如果想要实现较大的脉冲电流,达到这一目的的常见方法有两种,一种是使用蓄电池,另一种是使用电容器,但是这两种方法也存在一定不足,在使用蓄电池过程中可能出现过充电与过放电的情况,所需充电的时间比较长,以及充电线路比较复杂。相比之下,电容器的问题则较小,更具优势,在充电时所需耗费的时间短,也不易出现过充电、过放电等问题,危险系数也较小,更加安全。使用电容器过程中为达到短时间内快速完成充电的效果,将直流电源模块设计为恒功率状态,当电容电压较低时可获得较大的电流,继而实现快速充电效果,电容器的电压在充电过程中也会较快速的提升,充电量接近充满状态时电流也会随之变小,保持较小的电流继续充电到完全满的状态。直流电源与电容器组模块的设计中对电源行业标准进行了认真考量,电磁兼容性更高,动态负载特性也表现出优势,且其有着体积小、精度高等优点。<sup>[2]</sup>

2、输入信号采集模块

输入信号采集模块由三个部分设计组成,发挥不同控制作用。其一,输入信号采集模块采集控制系统的电压,如直流电源模块输出的电压、电容器的电压等,动态监测电压的当下状况,在其基础上对操作电源有无存在掉电情况进行评估,并根据电压动态判断当前的电容电压状态下是否可以继续完成合分闸的操作,防止出现电容电压不充足的情况而对合分闸的实现产生影响。其二,输入信号采集模块监测采集控制系统每个状态节点情况,如前门闭锁的状态、断口合分的状态等,运用光电隔离回路对这些干接点信号表现出更强的电磁兼容性。其三,输入信号采集模块采集合分闸的控制信号,如就地操作按钮合分控制、远程操作继保合分控制等,精准且可控的执行控制系统。

### 3、IGBT 驱动模块

IGBT 驱动模块的结构如图 3 所示, IGBT 是一种复合全控型电压驱动式功率半导体器件, 其主要由两部分组成, 一是双极型三极管 BJT, 二是绝缘栅型场效应管 MOSFET, 在永磁机构中适用于操作合分闸线圈, 优点也取决于其构成的两部分, 体现在高输入阻抗、低导通压降。从图中可以了解到 G1 表示的是 IGBT, L1 表示的是合分闸线圈, C1、D2、R2 表示为构成的 RCD 电压吸收回路, C2 表示的是大容量电容, D3、R3 表示为构成的续流回路。在模块设计中驱动使用的是 MIC4424 芯片, 这一驱动芯片的脉冲宽度能够调节, 脉冲信号经过微处理器进行控制与输出, 在驱动芯片作用下促使脉冲信号进一步放大, 再与 IGBT 门极连接到一起, 所形成的电路也是比较简单的。为实现对 IGBT 的快速关闭, 将 PNP 管 Q1 设计在驱动芯片输出的位置, 当驱动脉冲输出值为 0 时, 尽量用最快的速度把 IGBT 的门极电压降到最低处。合分闸处的线圈所受负载为感性负载, 当 IGBT 断开时, 有部分能量会继续存在于线圈中, 对此将续流回路设计在线圈处, 以及将 RCD 电压吸收回路设计在 IGBT 的源极和漏极之间, 这样能够避免 IGBT 因线圈受到突变电流影响而被反电动势击穿。同时, 还将 TVS 管 T1 并联设计在 IGBT 的源极和漏极之间这样设计的目的是避免 IGBT 被瞬态高压而击穿。<sup>[3]</sup>

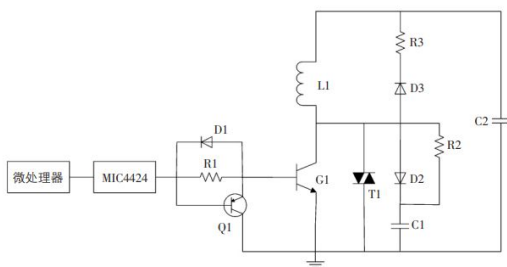


图 3 IGBT 驱动模块

### 4、微处理器模块

在永磁机构真空断路器二次控制系统中微处理器模块是重要核心, 其功能十分集中, 包括采集输入信号、控制输出信号、计算电容电压以及控制对外通信等。微处理器模块中的电路多是上电复位电路、模数转换参考电压电路等外围电路, 这些电路同时也是最基本的电路构成。在二次控制系统设计中主控制器采用的是是一种单片机, 其性能较好, 由 1 个 16 位中央处理单元、1 个同步串行接口、1KB EEPROM、2 个异步串行通信接口与 4KB RAM 等所构成, 稳定性更强, 并且可在室外环境, 甚至更恶劣的环境中发挥作用, 适用空间较多。<sup>[4]</sup>

### 5、监测保护模块

微处理器的结构中有模数转换器, 这一元件能够实时动态的实现存储电容电压、外部输入电压的监控, 让永磁机构真空断路器二次控制系统更有序的运行。电容电压处于较低值状态时为避免合分闸操作的不到位进行合分闸闭锁操作, 当外部输入电压的状态检测为消失时则采取合闸闭锁操作, 并对上位

的系统释放出告警信号。另外, 二次控制系统还会对永磁机构真空断路器合分闸线圈的工作状态进行检测以及对双断口的工作状态进行检测等, 当监测到这些工作状态存在异常时表明其运行是有故障的, 与此同时永磁机构真空断路器就会对外输出告警信号, 并将断路器闭锁, 这样就大大保护了真空断路器的操作安全性与可靠性。为让 IGBT 关断后永磁机构线圈继续放电, 在驱动模块中将放电回路设计为线圈放电回路, 并将耐压性更强的瞬态抑制二极管设计在 IGBT 源极和漏极之间, 这样就可以保护 IGBT 不受过压情况的影响。

### 6、控制系统流程

永磁机构真空断路器二次控制系统的程序流程是微处理器通入电流保持系统初始化状态, 对电容电压、开关量、线圈连续性与输入信号进行实时采集, 当电容电压足够时判断是否能进行合分闸线圈断线, 确定后执行合分闸操作, 当监测到有合分闸信号输入时以 IGBT 为驱动执行合分闸操作。而当电容电压不足时以及检测存在异常状态时则输出告警信号, 在初始状态下重新进行相关数据的采集与监测判断, 直到成功执行合分闸的操作。<sup>[5]</sup>

### 结束语

综上, 永磁机构真空断路器的结构有两种类型, 单稳态与双稳态的永磁真空断路器结构在合闸与分闸状态下分别有着不同的稳定运行原理。本文中设计的二次控制系统由直流电源与电容器组、输入信号采集模块、IGBT 驱动模块、微处理器模块、监测保护模块等构成, 能更好的实现对永磁机构真空断路器的保护, 以及实现合闸与分闸。

### 参考文献:

[1]程显,袁晓东,葛国伟,朱剑鹏.真空开关高动作稳定性的永磁操动机构控制系统[J].电工技术学报,2021,36(21):4617-4626.  
 [2]习江飞,刘成,李正辉.一种适用于真空断路器合闸的控制电路[J].电气传动,2021,51(09):32-36+54.  
 [3]王玉梅,李国锴.永磁真空断路器同步控制关键技术的研究[J].控制工程,2021,28(07):1451-1459.  
 [4]常永超.浅谈 VJG-M 永磁真空断路器的应用[J].水泥,2022(07):61-63.  
 [5]辛全旗.高压真空断路器永磁控制技术的研发[J].企业技术开发,2013,32(15):71-72.