

文章编号:1001-1609(2007)03-0229-03

动态式双稳态永磁机构的研究

谭东现¹, 李岩², 牟坚¹, 丁铁勇¹, 孔祥友³

(1. 上海电器股份有限公司人民电器厂, 上海 200042; 2. 沈阳工业大学, 辽宁 沈阳 110023;
3. 华润电力(常熟)电力有限公司, 江苏 常熟 215536)

Research of Novel Dynamic Bi-static Permanent Magnetic Actuator

TAN Dong-xian¹, LI Yan², MU Jian¹, DING Tie-yong¹, KOU Xiang-you³

(1. Technical Center of Shanghai Renmin Electrical Apparatus Works of China, Shanghai 200042, China; 2. Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China; 3. China Resources Powers(Changshu) Co. Ltd., Changshu 215536, China)

摘要: 提出了一种新型的应用于中、高压真空断路器的永磁机构,其特点是机构为非对称双稳态、多铁心、多线圈,永磁体安装在动铁心上。对这种新型的永磁机构进行了静态磁场分析和动态特性仿真,通过与传统的双稳态永磁机构比较分析得出,新型永磁机构比传统的永磁机构具有明显的优点。

关键词: 永磁机构; 合闸静铁心; 分闸静铁心; 动态特性
中图分类号: TM561 **文献标志码:** A

Abstract: This paper presented a new dynamic PMA applied in vacuum circuit breaker. This machine was unsymmetrical, bi-static, multi-coiling, multi-core PMA. Compared with the traditional PMA, it had an optimized magnetic path configuration, and could make well use of high magnetism energy provided by PM. This was propitious to improve the initial speed in the opening process and performance of bounce. Moreover, lower power energy was consumed in the opening-operation and closing-operation. Analysis of the Static magnetic field on the novel dynamic PMA was completed in the paper.

Key words: permanent magnetic actuator(PMA);
opening-core; closing-core;
dynamic characteristics

0 引言

真空断路器取得越来越广泛应用的同时,其可靠性也受到密切关注。永磁机构是 20 世纪 80 年代末 90 年代初发展起来的一种新型开关设备的操动机构,由于永磁机构具有结构简单、可靠性高等优点,近年来受到科研机构和生产单位的广泛关注,特别是永磁机构与中压真空断路器反力特性的良好配合,使得真空断路器可做到少维护或免维护^[1-5]。

目前,市场上广泛应用的永磁机构从开关设备的断开、合闸两个稳态位置的保持来看,可分为双稳态

和单稳态永磁机构;从永磁机构自身结构形式来看,有对称和非对称永磁机构之分。纵观上述结构形式的永磁机构,都只是对其结构形式作些改动,没有对永磁机构内部磁场的工作原理作进一步的研究。因此,永磁机构的刚分速度慢的缺点仍然没有解决,永磁体所提供的高磁能没有得到有效的利用,只仅仅用以实现两个终端位置的保持,特别是在分、合闸的开始阶段,永磁力是分、合闸操作的阻力,从而既浪费了永磁体的高磁能又需要消耗更多的操作电能。

1 动态式双稳态永磁机构的结构形式与工作原理

动态式双稳态永磁机构旨在解决传统永磁机构在分闸时刚分速度慢的缺点和不足,充分利用永磁体所提供的高磁能,减少分、合闸操作能耗。其结构原理见图 1。

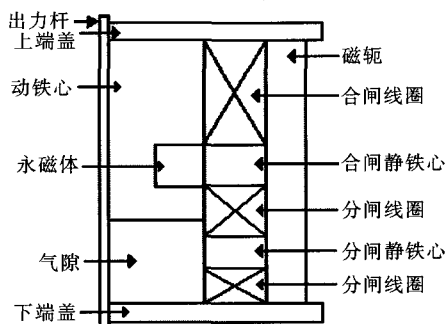


图 1 永磁机构的结构原理图

新型动态式双稳态永磁机构中的永磁体安装在动铁心内部,使其在分、合闸运动过程中可随着动铁心一起运动。这种应用方式的优点是:不论是在分闸还是合闸过程中,永磁体的永磁力可以更快地由运动阻力变为运动动力,减少分合闸激磁线圈的激磁

收稿日期:2007-01-29; 修回日期:2007-04-27

作者简介:谭东现(1976-),男,湖南衡阳人,硕士,从事永磁机构断路器、接触器及智能化电器的研究。

时间,从而达到减少操作能耗的目的,符合现代电器节能的发展方向。

由于永磁体安装在动铁心内部,若采用原有双稳态结构的单个静铁心、动铁心、下端盖及工作气隙形成的磁路结构,就会因为提供的分闸保持力太小(下面的计算可证明)而不能实现新结构永磁机构在分闸静态位置可靠保持。因此,动态式双稳态永磁机构配有合闸静铁心和分闸静铁心。合闸保持时由合闸静铁心、动铁心、工作气隙、上端盖及磁轭的上半部分形成磁通回路;分闸保持时由分闸静铁心、动铁心、工作气隙、下端盖及磁轭的下半部分形成磁通回路。由于分闸保持所需要的保持力比合闸保持力小得多,因此,笔者所提出的新型永磁机构中的合闸静铁心在分闸保持时可形成分闸保持主磁路的磁分路。这种磁路结构既实现了分闸位置的稳定保持,又可克服保持力过大的缺点,同时当机构接到合闸指令时,合闸激磁线圈产生的电磁力容易驱驱动铁心运动,达到了节省合闸操动电能消耗的目的。

在合闸运动中,合闸线圈通电产生电磁力克服分闸永磁保持力和系统反力驱驱动铁心作合闸运动,其动力学关系见式(1)^[6-9]

$$F_{hh} = F_{hd} - F_{fyc} - F_{fh} \quad (1)$$

式(1)中 F_{hh} 为合闸力; F_{hd} 为合闸电磁力; F_{fyc} 为分闸永磁保持力; F_{fh} 为系统合闸反力。

在分闸运动中,分闸线圈通电产生电磁力克服合闸永磁保持力和系统反力驱驱动铁心作合闸运动,其动力学关系为

$$F_{fh} = F_{fd} - F_{fyc} - F_{ff} \quad (2)$$

式(2)中 F_{fh} 为分闸力; F_{fd} 为分闸电磁力; F_{fyc} 为合闸永磁保持力; F_{ff} 为系统分闸反力。

从式(1)、(2)中可以看出,分闸保持力和合闸保持力是设计的关键,既要满足分、合闸的稳定保持,同时保持力又不能过大。

与传统永磁机构相比,动态式双稳态永磁机构具有可充分利用永磁体提供的高磁能的优化磁路结构,这有利于提高分闸刚分速度,改善触头弹跳性能,降低操作能耗。其静态保持和动态特性可通过静态磁场计算及动态特性仿真得以证明。

2 动态式双稳态永磁机构的磁场计算和动态特性仿真

笔者采用电磁场计算软件 ANSOFT 对动态式双稳态永磁机构进行静态磁场计算与机构动态特性仿真。计算模型中各元件参数见表 1。

2.1 静态磁场计算

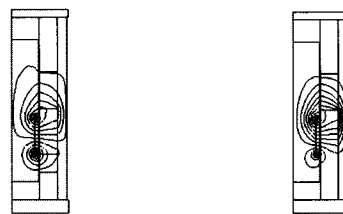
由于真空断路器在分闸状态所需的保持力较小,通常每相只需 200 N 左右,仅为合闸状态所需保持力的 1/15,而传统永磁操动机构在磁路结构上很

表 1 计算模型元件参数表

元件名称	参数类型	参数数值
上、下端盖	半径,mm	70
	厚度,mm	15
动铁心	半径,mm	30
	长度,mm	130
	质量,kg	2.5
永磁体	内径,mm	12
	长度,mm	10
气隙	高度,mm	25
	初始长度,mm	65
合闸静铁心	内径,mm	30
	外径,mm	70
	高度,mm	30

难使得分闸保持力和合闸保持力有如此之大的差距。可见,在合闸过程中,过大的分闸保持力必然需要很大的合闸操作功来克服。解决这一缺点的办法就是设计合理的磁路结构,既稳定可靠地实现分闸保持又可有效减少过大的分闸保持力。

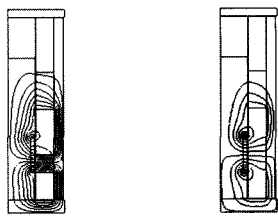
通过二维计算模型的建立、元件参数的合理设置,对新型动态永磁机构和传统永磁机构进行了静态计算和对比分析。图 2、3 给出了两种不同磁路结构的计算结果。通过计算得出:动铁心处于图 2 所示的位置时,当合闸静铁心和分闸静铁心分立时,磁力线分布见图 2(a),由永磁体单独产生的永磁力为 $F=750.9$ N,力的方向向下;当合闸保持和分闸保持共用一个静铁心时,磁力线分布图见图 2(b),由永磁体单独产生的磁力为 $F=21.73$ N,力的方向向下。由式(2)可分析得出:对于新型动态永磁机构,在分闸过程中,由于磁路结构的不同,使得永磁力很快由阻力变为动力,从而提高了分闸速度,可减少分闸所消耗的电能。



(a)合闸静铁心和分闸静铁心分立时
(b)合闸保持和分闸保持共用一个静铁心时

图 2 在分闸过程中,两种不同结构分闸过程中的磁通分布图

在分闸保持位置时,采用合闸静铁心和分闸静铁心分立结构时,其磁通分布见图 3(a),静态保持力的大小为 $F=764.2$ N,保持力的大小适中;当合闸保持和分闸保持共用一个静铁心时,其磁通分布见图 3(b),静态保持力的大小为 $F=40.29$ N,保持力太小,不能满足分闸位置稳定保持所需力的大小。因此,采用分、合闸静铁心分立的设计可有效地减少分闸保持力,同时又能保证分闸保持的可靠性。

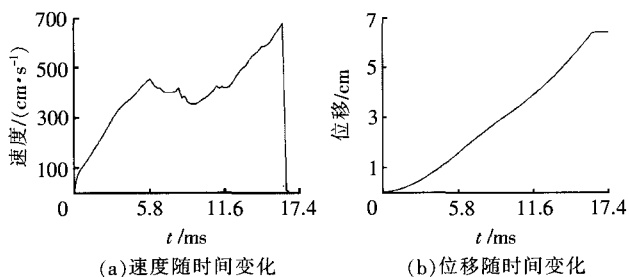


(a)合闸静铁心和分闸静铁心分立
(b)合闸保持和分闸保持共用一个静铁心

图3 在分闸保持位置时,两种不同结构分闸保持状态的磁通分布图

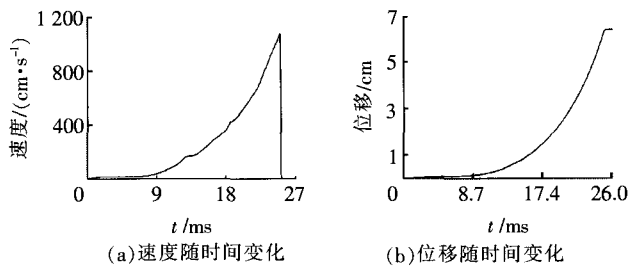
2.2 动态特性仿真结果

真空断路器的静态保持与分合闸操作功能都由操动机构来实现,其机械特性性能的优劣主要取决于操动机构的各项动态特性^[10]。笔者对动态式双稳态永磁机构进行了动态仿真计算,其计算结果见图4、5。



(a)速度随时间变化 (b)位移随时间变化

图4 分闸时动铁心速度及位移随时间的变化关系



(a)速度随时间变化 (b)位移随时间变化

图5 合闸时动铁心速度及位移随时间的变化关系

从图4、5可得出,动态式双稳态永磁机构的运动特性可满足真空断路器的各项性能指标,且从图4(a)可看出,其分闸特性符合提高刚分速度的开发目的。

3 结论

通过对目前市场上现有永磁机构的结构特点、

工作特性进行深入理论研究,提出了一种新型动态式双稳态永磁机构。经理论计算得出以下结论。

(1)从理论计算分析得出,新型动态式永磁机构工作是可行的。

(2)在结构和工作性能等方面与传统永磁机构作了理论计算的比较分析,新型动态式永磁机构与传统永磁机构相比具有明显优点:①能效提高分闸操动的刚分速度;②可充分利用永磁体所提供的高磁能,从而达到明显减少分、合闸操动的电能消耗。

(3)所提出的新型动态双稳态永磁机构的工作特性特别适合于大行程、高电压等级的真空断路器。

(4)笔者的理论研究及新型动态双稳态式永磁机构的提出,可为研究开发大容量、电压等级高的真空断路器配永磁机构提供帮助。

参考文献:

- [1] 李岩,徐建源.磁短路环在永磁操动机构中的应用[J].华通技术,2005,24(4):8-12.
- [2] 林莘,高会军.永磁操动机构磁场数值计算[J].高压电器,2000,36(3):3-6.
- [3] 费鸿俊,张冠生.电磁机构动态分析与计算[M].北京:机械工业出版社,1993.
- [4] LI Qi-peng, DING Fan, WANG Chuan-li. Novel Bidirectional Linear Actuator for Electrohydraulic Valves[J]. IEEE Trans. on Magnetics, 2005, 41(6): 2199-2202.
- [5] EVANS S A, SMITH I R, KETTLEBOROUGH J G. Permanent-magnet Linear Actuator for Static and Reciprocating Short-stroke Electromechanical Systems[J]. IEEE/ASME Trans. Mechatronics, 2001, 6(1): 36-41.
- [6] DULLNI E, FINK H, REUBER C. A Vacuum Circuit Breaker with Permanent Magnetic Actuator and Electronic control [C]// Proceedings of 15th Conference on Electricity Distribution. Nice, 1999: 1205-1212.
- [7] 谭东现,崔寒,李岩,等.双稳态永磁操动机构在40.5kV户内真空断路器上的应用[J].高压电器,2005,41(2):110-112.
- [8] 游一民,陈德桂,孙志强,等.方形与圆形永磁机构的比较[J].高压电器,2004,40(6):436-438.
- [9] 朱学贵,王毅.为提高分闸能力的永磁操动机构的研究与设计[J].中国电机工程学报,2006,26(7):163-166.
- [10] 黄瑜珑,王静君,徐国政,等.配永磁机构真空断路器运动特性控制技术的研究[J].高压电器,2005,41(5):321-323.

(上接第228页)

制回路中增加电机过流保护措施,使开关动触头在运动到“合闸”或“接地”位置后断开电机回路,保证电机停机,避免传动轴损坏。同时在控制回路中加入保护措施,在三工位隔离开关处于“分闸”或“接地”位置后,QN常闭接点不转换的条件下,断开中间继电器KA10保持回路,防止开关动触头循环动作的发生。

(4)在机构中加装机械离合装置,使三工位隔离开关动触头到位,电动机脱离驱动系统,防止上述问

题的发生。

由于此GIS安装和投入运行时间较短,故障出现后对所加入和撤出运行的三工位隔离开关禁止操作,要求制造厂采取相应改进措施后才能重新操作。到目前为止已经收到制造厂家采用上述前3条建议确认函并在厂内根据上述3点建议进行相关改进试验,确认改进措施能有效地预防三工位隔离开关发生文中所述两种故障现象。