

大容量控制与保护开关电器 关键技术研究

黄世泽¹, 郭其一², 屠瑜权³, 杨佰传³

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804;

2. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804;

3. 浙江中凯科技股份有限公司, 浙江 温州 325604)



黄世泽(1983—),男, 博士后,研究方向为智能配电虚拟样机在低压电器中的运用。

摘要:介绍了国内外大容量控制与保护开关电器的研究现状和典型产品,分析了大容量控制与保护开关电器的总体设计方案和关键技术。指出虚拟样机技术缩短了开发成本和周期,节能电磁系统实现了节能,大容量控制与保护开关器件专用互感器实现了过载保护,中间机构解决了热磁脱扣器的脱扣力和行程匹配及复位问题,实现了高精度数字化信号采集,并成功通过试验验证。

关键词:控制与保护开关电器;虚拟样机;节能;电磁系统

中图分类号: TU 852 文献标志码: A 文章编号: 1674-8417(2016)02-0036-05

0 引言

GB 14048.9—2008《低压开关设备和控制设备 第6-2部分:多功能电器(设备)控制与保护开关电器(Control and Protective Switching Devices, CPS)》规定,CPS为电路提供保护和控制功能,除手动操作外还可有其他方式操作,例如自动控制、遥控等,也可以实现隔离附加功能。

目前,CPS已经成为电动机控制与保护的首选,克服了传统分立元器件(断路器+接触器+热继电器)的不足,推动了电气设计行业的变革。文献[8]指出电动机主回路宜采用CPS,成功解决了电动机保护配合问题。

根据文献[5],CPS与分立元器件构成的系统相比,具有控制与保护自配合的特性,具有较高的运行可靠性和连续运行性能;与塑壳断路器

(Moulded Case Circuit Breaker, MCCB)相比,具有分断能力高、飞弧距离短的特性;与传统的热磁式MCCB构成的保护系统相比,具有保护整定电流均可调的特性;与接触器性能比较,具有寿命长、操作方便(既可就地手动操作,又可远距离实现自动控制功能)等优点。

1 国内外大容量CPS的现状

1.1 国外典型的CPS产品

国外品牌的CPS主要有西门子的3RA6系列^[3]和施耐德的TeSys U系列产品^[2]。这两类产品结构设计紧凑,宽度均为45 mm。

这两类CPS系列产品的最大额定电流仅为32 A,没有提供32 A以上的CPS解决方案。因此,由西门子/施耐德分立元器件(断路器+接触器+热继电器)提供的解决方案,不能称为CPS,

郭其一(1961—),男,教授,博士生导师,研究方向为新型低压电器。
屠瑜权(1957—),男,高级工程师,从事新型低压电器方面的工作。

且没有按照 GB 14048.9—2008 进行试验。

1.2 国内典型的 CPS 产品

近年来,国内的一些企业陆续开发了一些 CPS 产品,典型产品有:常熟开关制造有限公司的 CB1-32 系列^[6]、苏州万龙电气集团股份有限公司^[4]及江苏凯隆电器有限公司的 VK60 系列^[5]。这些产品的基本原理与施耐德 TeSys 的相同,在外形尺寸上略大于施耐德 TeSys U 系列产品,其最大保护电流均未超过 125 A。其中 CB1-125 产品的结构原理与 TeSys U 系列产品有本质区别,采用的是由多个分立元器件(断路器+接触器+保护器)组合的形式,按照 GB 14048.9—2008 进行认证,其额定电流达 125 A。

另外,还有其他形式的 CPS 产品,额定工作电流为 9~1 600 A,但 63 A 以下产品的额定运行短路分断能力只有 15 kA,大容量 CPS 产品(1 600 A)的额定运行短路分断能力只有 50 kA,这些指标低于同等电流规格的 MCCB。随着设计中变压器容量的增大,实际工程中短路电流越来越大,这两类产品的设计使用会受到一定的限制。一般,CPS 应具备产品的过载、过流和短路保护的内部协调配合、极高的连续运行能力以及极高的短路分断能力,具备每个分立元器件的功能,且技术指标不低于同等电流规格的断路器、接触器和热继电器。

目前,KB0 产品主要有三个框架:B 框架(额定电流 18 A,宽度 45 mm)、C 框架(额定电流 45 A,宽度 66 mm)和 D 框架(额定电流 125 A,宽度 90 mm)。在一些具体的工程项目中,特别是一些大的重点项目,用户希望更多的电动机采用直接起动,KB0 产品不能满足用户的需要。因此,需要开发大容量的 KB0 产品(225 A),使 KB0 系列产品的应用扩展到 110 kW 电机,在性能指标上超过同类的断路器和接触器。

KB0 产品 F 框架的开发,使 KB0 系列 CPS 额定电流提升至 225 A,最大控制电动机功率达 110 kW,额定运行短路分断能力达 150 kA。

2 大容量 CPS 的总体设计方案

目前 CPS 的产品结构方案主要有两种形式:

KB0 式的结构形式,TeSys U 系列的结构形式。本文大容量 CPS 采用 KB0 式的结构形式,其基本布局如图 1 所示。

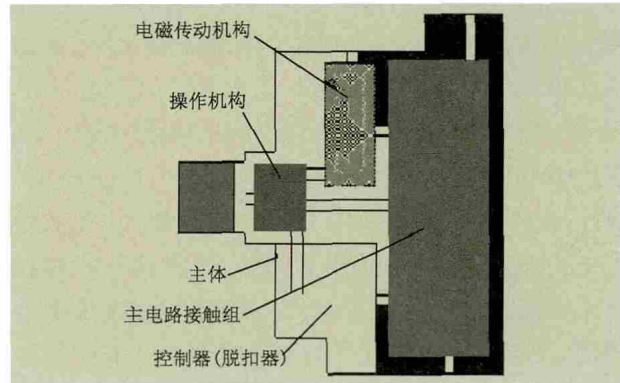


图 1 大容量 CPS 基本布局

(1) 整体宽度为 160 mm,与同等电流规格的 MCCB 和接触器相当。

(2) 电磁传动机构:电磁系统为直动式,优于传统的吸合方式。

(3) 操作机构:功能三合一,即线圈回路的控制+一般故障脱扣+手柄操作和指示。

(4) 接触组:直动式双断点,接触组内串联短路快速电磁铁(全封闭)。

(5) 控制器(脱扣器)包括热磁脱扣器和数字化控制器。热磁脱扣器在热继电器基础上增加了过流保护,数字化控制器功能涵盖现有市场上的各种规格档次的电动机保护器。

3 大容量 CPS 的关键技术

3.1 虚拟样机技术的运用

该项目中模具加工周期较长、成本高,按照传统的设计模式,将会使研发周期加长,成本加大,产品开发风险非常大。因此,利用计算机辅助设计技术和大型有限元分析软件,并结合电磁理论,在模型设计阶段通过仿真对设计进行评估,选出优化的设计方案,尽量缩短设计和试制周期,减少研发成本。

3.1.1 基于 ADMAS 的机构仿真

在大容量 CPS 中存在大量的运动机构,其中操作机构最关键,其他还有电磁传动、热磁传动机构、触头灭弧系统、动作机构等。在产品开发

中,除了在UG开发平台中进行三维建模验证装配,还在机械系统动力学自动分析(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System,ADAMS)环境下对各个机构进行了运动仿真,以便在产品初期了解产品运动的过程,研究每个零件的运动曲线,发现设计中存在的问题。该项目中的操作机构具有独特的凸轮结构及装配关系。利用ADAMS建立CPS操作机构动力学仿真模型,通过合理施加手动操作力及故障脱扣力,有效地完成了操作机构执行开关合闸、分闸、脱扣、再扣功能的动作过程。分析了扭簧刚度系数及侧凸轮形状对操作机构动作性能的影响,可辅助完成操作机构的故障点定位,并确定关键参数的设置范围。

3.1.2 基于ANSYS的电磁吸力计算

大容量CPS中存在各式各样的电磁系统,如电磁机构中有E型电磁铁的电压型电磁系统,触头灭弧系统中有电流型的螺管电磁铁(短路脱扣器),热磁脱扣器中有拍合式电磁铁(过流脱扣器),数字化控制器中有直流电压型电磁铁。这些电磁系统很难通过理论计算得到电磁力的大小。该项目中运用ANSYS软件对每个电磁系统进行了大量的计算,得到了各种曲线,可以观察每一个设计变量对电磁力结果的影响,优化了产品的设计。

3.1.3 电磁系统动态计算

针对电磁系统的耦合电压平衡和达朗贝尔机械运动特征微分方程,采用有限元模型,首先应用ANSYS软件进行了动铁心动态吸力和磁链的仿真;然后,利用MATLAB软件构建CPS电磁系统的机械模型,通过二元二次插值算法和四阶Runge-Kutta法模拟动铁心的动态运动过程,了解吸合过程中的电流、吸力、磁链等一系列物理量的变化过程,对CPS电磁系统的设计提出了建议。

3.1.4 电弧系统仿真

额定运行短路分断能力(I_{cs})是CPS的核心技术指标,在产品初期运用ANSYS软件计算了产品短路分断过程中的各种力,理论推导了产品的分断过程。对每一个分断过程建立了数

学模型,运用数值计算方法进行了详细的计算,通过定性分析得到了影响 I_{cs} 性能的各种因素,并对各种因素的变化进行再仿真,得到了各种因素对产品性能的影响。在电弧运动过程中对磁吹进行了定性分析,以优化设计,同时对气吹作了理论分析,并进行了仿真验证。通过上述分析,产品的 I_{cs} 性能达到了要求,并有较大的提升空间。

3.1.5 基于ANSYS的温度场仿真

运用ANSYS软件对电磁系统的温升、主回路的温升进行了仿真,通过改变设计参数来观察对温升的影响。电磁系统的发热是CPS温升的重要因素。对电磁系统各部分的发热进行了分析计算,同时测量了在主回路不通电情况下电磁系统各部分的温度。试验验证了理论和仿真的正确性。根据仿真结果,提出了产品设计优化的建议。

3.1.6 基于ADAMS的集成仿真

在ADAMS环境下进行了集成仿真,将电磁场仿真和数学计算结果作为输入条件,可以在ADAMS环境下观看整机的各种状态的动态效果,得到产品的吸合时间、释放时间、脱扣时间、分断能力等技术指标。

3.1.7 基于PSPICE的电路仿真和ANSOFT的电磁兼容仿真

在产品开发过程中,运用PSPICE对所有的电路进行了模拟验证,对脉冲群等电路干扰试验进行了建模,并验证了滤波效果。对于磁场的干扰试验,运用ANSOFT软件,进行了仿真和定性的分析。

上述大量的基础理论工作,确保了产品的理论可行性,并在设计初期了解了设计可能存在的各种问题,以便对设计方案进行优化,大大缩短产品的开发周期,确保产品能有较高的技术指标。

3.2 电磁系统节能模块的设计和试制

KBO系列CPS产品达到了节能的目的,但受制于电磁系统的基本原理,在产品吸合时线圈需要带电,损耗电能,在大容量CPS产品中尤为明

显。该项目在电磁系统吸合特性、温升完全满足设计要求的基础上,进一步设计开发了电磁系统节能模块。在系统分析了当前电磁系统的所有解决方案,并进行了对比,最终选取基于晶闸管的电磁系统节能方案。

研制的节能模块包括AC/DC电路、延时电路、继电器驱动电路、晶闸管控制电路和全波整流电路。节能装置结构图如图2所示。

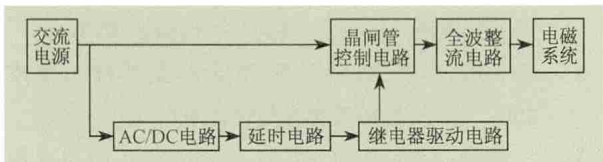


图2 节能装置结构图

电磁系统线圈接入直流脉动,达到降低能耗的目的。晶闸管控制电路控制晶闸管的导通角;上电时触发脉冲移相角较小,导通角较大,经整流电路获得较高的电压来起动电磁系统。AC/DC电路在电磁系统吸合结束后,晶闸管控制电路调整触发脉冲的相位,使晶闸管的导通角变小,经整流获得较低的电压,使电磁铁处于吸合状态。

通过运用节能技术,在确保产品性能的前提下,大大降低了产品的温升。经试验,220 V控制电压有功功率节电率 $\Delta P = 80\%$,无功功率节电率 $\Delta Q = 91\%$;380 V有功功率节电率 $\Delta P = 86\%$,无功功率节电率 $\Delta Q = 93\%$;有效地降低了噪声,噪声为2 dBA;使用带节能模块的KB0(F225)正常运行8 h后,线圈温升小于30 K(220 V线圈:19.5 K;380 V线圈:28.4 K)。

3.3 过载脱扣器

大容量KB0产品设计时,其热磁脱扣器如继续按照C、D框架的设计思路,双金属片将产生大量的热量,对产品造成影响。

因此,在热磁脱扣器设计中,通过互感器/变压器将一次大电流变换为小电流,直接使用C框架的过载脱扣器模块。

基于理论计算,设计了大容量CPS专用的互感器,通过工艺控制使互感器达到了较高的一致性。由于C框架热磁脱扣器性能稳定,通过批量

生产,可以做到互感器和热磁脱扣器的任意匹配。

3.4 中间机构

热磁脱扣器选用了C框架的脱扣器,因此脱扣器与操作机构的接口问题变成了关键技术问题,既要解决热磁脱扣器力的传递问题,还要解决脱扣力和行程的匹配及故障后的复位问题。

该脱扣装置能够放大脱扣力和脱扣行程,且输出脱扣力和行程大小不受输入脱扣力和脱扣行程的影响。

3.5 数字化控制器信号采集技术

数字化控制器的硬件结构、电源方案、信号处理电路、人机界面、通信接口都非常成熟,并且有大量的运用。该项目中电流采集是否精确直接关系到保护是否拒动和误动。CPS额定电流为90~225 A,需要采集的最大电流为 $225 \times 12 \times 1.2 = 3\,240$ A,最小电流为 $90 \times 0.3 = 27$ A,即大容量CPS采集的电流为27~3 240 A,且要求互感器全部内置。传统的CT互感器采样效果较差,因此选用的是采样范围较广、输出线性度较好的霍尔传感器。通过霍尔互感器的选用、采集电路设计以及电路布局的优化,各种数字化控制均能满足电流采集的要求,特别是对于要求电流显示的控制,其显示精度与电动机保护器相当。

4 大容量CPS试验验证

按照GB 14048.9—2008规定,大容量CPS顺利通过了权威部门的型式试验,取得3C认证。根据GB 8871—2001《交流接触器节电器》规定,节能模块部分进行了电涌抗扰度试验、电快速瞬变/快速抗扰度试验、射频电磁辐射抗扰度试验、静电放电抗扰度试验、辐射式发射及传导式发射试验等各项试验,通过合理调整节能装置元器件参数与印刷线路板(Printer Circuit Board, PCB)布线,节能装置顺利通过电磁兼容试验。该项目产品已经在全国多个重大工业项目中进行了试运行,效果良好,目前已批量生产。大容量CPS实物如图3所示。

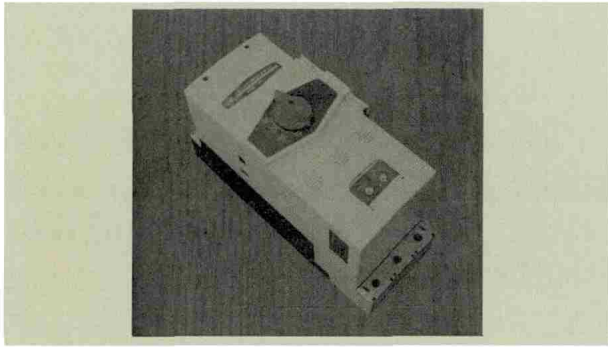


图3 大容量 CPS 实物

5 结 语

本项目也是虚拟样机技术同工程实践相结合的一个有益尝试,证明虚拟样机技术能很好地与产品开发相结合,并能大大缩短产品开发周期,进一步完善了虚拟样机在低压电器运用的理论基础。

参 考 文 献

- [1] 低压开关设备和控制设备 第 6-2 部分:多功能电器(设备)控制与保护开关电器(设备)(CPS): GB 14048.9—2008 [S].
- [2] 中国建筑学会建筑电气分会.民用建筑电气设计规范实施指南[M].北京:中国电力出版社 2008.
- [3] 陈德桂,李兴文.低压断路器的虚拟样机技术[M].北京:机械工业出版社 2009.
- [4] 郑建荣.ADAMS——虚拟样机技术入门与提高[M].北京:机械工业出版社 2001.
- [5] 尹天文,何瑞华.低压电器技术手册[M].北京:机械工业出版社 2014.

收稿日期: 2014-12-10

Research on Key Technologies of Large-scale Control and Protective Switching Devices

HUANG Shize¹, GUO Qiyi², TU Yuquan³, YANG Baichuan³

(1. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

3. Zhejiang Jonk Technology Co., Ltd., Wenzhou 325604, China)

Abstract: This paper introduced the domestic and international research status and typical products of large-scale control and protective switching devices(CPS). The general design and several key techniques were analyzed. By using of the virtual prototyping technology, the development cost and cycle are shorten. The design of energy-saving electromagnetic system archives the energy saving. The large-scale CPS special transformer achieves the overload protection. The middle part solves the problems of magnetic release tripping force with stroke matching and reset which achieves the high precision digital signal acquisition. Finally, the large-scale CPS successfully is proved through the experiment.

Key words: control and protective switching devices (CPS); virtual prototyping; energy saving electromagnetic system

在线投稿系统 <http://mae.chinaelc.cn>

投稿邮箱 ibuilding@seari.com.cn

欢迎投稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告