

厂矿用继电保护和自动装置设计浅析

王磊, 吉木斯

(珠海万力达电气股份有限公司, 广东 珠海 519085)

摘要: 厂矿用继电保护和自动装置是面向应用的专用嵌入式系统, 主要应用于厂矿供用电系统, 负责电气系统的故障隔离和安全运行。从现场应用和产品设计角度分析了该类产品的设计思想, 介绍了产品设计中的关键技术和典型方案, 对于实际产品的开发应用具有指导意义。同时对厂矿变电站自动化系统的未来发展也做了一定的研究探讨, 阐述了“简单、实用、可靠”的产品设计理念。

关键词: 继电保护; 嵌入式系统; 变电站; 厂矿用电

Analysis on design of relay protection and automatic devices for factories and mines

WANG Lei, JI Mu-si

(Zhuhai Wanlida Electric Co., Ltd., Zhuhai 519085, China)

Abstract: Factories and mines relay protection and automatic device is a dedicated application-oriented embedded system, which is mainly used in factories and mines power supply and consumption system and is responsible for fault isolation and safe operation. In this paper, design idea of this kind of devices is analyzed from field application and product design. Key technology and typical program in product design is described, which is a guidance to the practical application of product development. A study of the future development of factories and mines substation automation systems is made, the product design idea of "simple, practical and reliable" is described.

Key words: relay protection; embedded system; substation; factories and mines auxiliary power

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)16-0073-04

0 引言

厂矿企业用继电保护和自动装置的设计,基本上遵循了变电站继电保护设计的原则,但随着应用水平的提高和产品使用的日益广泛,不同的行业 and 不同地区的用户,对产品的需求逐渐分化,而厂矿企业生产中所涉及的设备的多样性以及和生产自动化系统的接口要求,又使厂矿用继电保护和自动装置的产品设计不同于电力系统变电站中用的产品。为了满足这些用户的个性化需求,往往要求产品的设计更具有针对性,但这样一来,产品的多样化,必然带来设计、生产、技术升级、服务等一系列需要解决的问题,如果按照最大兼容原则设计,又导致了成本的浪费和产品的复杂化,为此,如何解决模块化设计和工程配置的合理性成为问题的关键。除此之外,在产品的安装、调试等方面,减少工作量和对技术技能的要求也是需要重点考虑的问题。

继电保护和安全自动装置对厂用电系统正常工作的重要性是不言而喻的,其可靠性设计贯穿了产品的整个生命周期,在可靠性评估上,往往依赖

于生产厂家的技术实力和品牌,没有比较客观的标准来衡量产品的可靠性,等问题真的出现后,往往付出的是惨痛的代价,用户对于设备生产厂商的技术考察非常关键,其产品技术平台、采购渠道管理、生产工艺保证、失效分析模式都应作为重点关注的方面,也需要设备商在以上方面加强工作力度,充分保证用户的权益。

1 产品的技术平台设计

很多产品制造企业对产品开发是非常重视的,但是对产品体系的规划是有缺陷的,往往产品系列非常多,但每个系列可重用的技术却不多,这和企业研发体系的组织架构有关,项目组各自为战,只从技术和经济的角度分析本项目的技术需求,而缺乏全局观,一个公司的产品,各系列看起来却差异巨大,给产品的生产和维护带来很大的困难。

1.1 产品的结构设计

毋庸讳言,国内对产品的结构设计不是太理想,设计方案值得称道的不多。可能和企业在这方面的投入和重视程度都有关系。

产品的结构设计大体应从几个方面考虑：抗干扰设计，安装设计，热性能设计，人体工程学设计，美观性设计等。对前面三项大多数厂家是有考虑的，尤其是抗干扰，甚至达到了依赖的程度，这和我们对产品抗干扰的理解是有很大关系的，事实上我们在此确有些误区。

抗干扰，即电磁兼容设计（EMC），很多的设计方案对结构方面的考虑大多是屏蔽、接地等。实际上良好的结构设计是产品抗干扰的基础，在结构上考虑强弱电信号的隔离，进、出线方式，静电防护是非常必要的，机箱（柜）的材料不一定用钢等金属材料，抗干扰水平一样可以做得很好。当然，产品的电磁兼容设计是一个系统工程，包括线路板布线，元件布局，电源和信号输入回路的预处理，输出回路的设计等，都是需要慎重考虑的，而产品的结构往往又影响了这些设计，所以我们在产品结构设计上要事先考虑这些问题，力求结构的简洁。

除了抗干扰设计之外，安装设计往往是考虑较多的，安装不是简单的用螺丝或夹具固定，安装特性首先是外形结构设计，要从产品系列的角度去考虑，不能只考虑具体一个产品的一种使用方式，我们常常看到一个公司的产品系列彼此安装方式差异很大，一个产品的不同版本也不相同，这为产品的后续服务和技术升级带来极大的不便。安装设计中对于使用环境的考虑亦应周到细致，现在，用于厂矿变电所的保护装置大多数是直接安装在一次设备上的，一次设备的操作产生的震动需要特别当心，如果结构设计不好，不仅会产生接触方面的问题，甚至会造成产品的误动作。一次设备的现场运行环境往往比较恶劣，如果考虑了通风散热，又会带来机箱内部的灰尘、腐蚀性物质的进入的问题，如果简单的采用密闭模式，产品运行过程中产生的温升又会大大降低产品的可靠性或寿命，所以这就关联到电源的功耗设计。

热性能的设计，主要是考虑产品本身的最大功耗，其中主要考虑的是主芯片及其外围系统的功率消耗，其次是输出回路动作时的最大功耗，第三是要考虑某些采集回路降压原件的功耗，前两项基本决定了电源的最大功率，以前采取比较宽的冗余，实际上并非如此，一般产品的总功耗不会超过 10 W，选择 20 W 的电源就已经足够了，功率太大，电源自功耗过大，产品的温升会较高，而 I/O 采集回路一般使用外部电源，其电压比较高，如果回路参数选择不当，回路会大量发热，给本回路元件和相邻回路带来运行安全隐患，在设计时要仔细测算。

人体工程学设计和美观设计是产品的一个重要

方面，国内产品目前在这方面有一定的差距，主要是没有专门的人负责，产品的设计方案确定时没有考虑现场运行人员的感受，虽然不影响产品的运行和功能，但给用户的感觉是别扭、以及使用的不方便，甚至有可能造成误操作。

1.2 处理器和主要芯片的选择

对产品制造企业来说，这是十分关注的事情，但面对众多芯片厂商的方案和产品，到底选择哪种芯片作为主要的产品平台技术呢？

这个问题要从产品的特点和应用来分析，考虑的指标应该包括：处理器的位数、运算速度、内部的资源（程序空间、数据空间、中断资源、通讯接口、I/O 接口、A/D 转换位数、路数等等）、电源等级、封装形式、外围扩展器件参数、开发环境、安装工艺要求等。

就厂矿用继电保护和自动装置类产品来说，110 kV 以下的产品考虑一个技术平台，110 kV 及以上产品考虑一个平台，母差单独考虑，1 200 V 以下考虑一个平台，各个技术平台要求的处理器选择是不同的，这是功能和产品的价格决定的。

目前比较合理的选择是，110 kV 及以下，选择单 CPU 方式，110 kV 及以上选择多 CPU 方式^[1]，关于多 CPU 和单 CPU 的可靠性分析，本文暂不讨论，从实际运行情况来看，这两种方式均可满足可靠性要求。

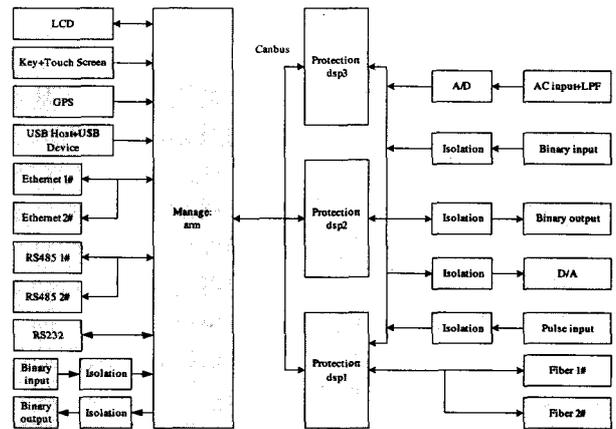


图 1 一种多 CPU 保护硬件方案

Fig.1 A multi-CPU protection device hardware program

1.3 通信接口和规约

电力系统中对通信的要求是始于调度的技术要求，但随着微机技术和通信技术的迅猛发展，对于通讯接口的要求不再仅仅满足于调度的要求，尤其是无人值守站的出现以及集控中心的发展，数据量大大增加，近年提出的智能电网，就是把变电站作

为一个信息子站,对全网的运行进行监控。现在,传统的 RTU 模式基本取消,代之以分布式的保护测控一体化设计,这就要求分散的保护测控装置以间隔为单位上传数据,对通信的接口标准化和通讯速度都提出了更高的要求。

而对于厂矿企业来说,电气设备的运行数据也逐步纳入到 DCS 系统,出现了 ECS 或 FCS 系统,而能够支持 Modbus、Profibus 接口的产品,对于 DCS/ECS 系统来说,更有实用价值,而且目前工业以太网技术的成熟,为实时控制和数据共享提供了条件。由于厂矿企业电气系统的特点,接入设备更多,接口规格也比较多,要求通讯系统的设计一定要规范,而规约也应该尽量统一为常用的标准规约。考虑到和 DCS/ECS 系统的对接,厂矿用继电保护和自动装置应该具备以太网和 RS485 接口。

随着智能电网和数字化变电站的推广,IEC60870 规约簇将会逐步被 IEC61850 所取代,厂矿企业的供用电系统设计也会向数字化方向发展。而按照 IEC61850 标准的要求,未来的数字化变电站中,关键的技术之一就是高速的以太网通信技术,这是网络化二次设备的基本要求,实现过程层数据共享的 IEC61850-9-2 则要求通信速度通常高达 100 M,所以,对于继电保护和自动装置来说,未来的产品在硬件方面更像目前的通信管理机,数据采集和控制输出全部采用通信方式,而其他的外部接线将会逐步取消。

鉴于此,目前开发的产品的通信接口设计以及规约的开发显得更为重要,而目前的过渡阶段的产品,需要积累更多的关于通信方面的设计经验,对前期老设备的升级改造,还不可能全部采用新的全数据通信模式,而更可能的是采用一种混合模式(即既有通过通信方式传递的数据和控制命令,也有硬接线直接采集数据或控制),这种模式对于产品的通信要求是满足变电站内间隔层——站控层间的通信,所以对于通信接口的设计以及所采用的规约应符合未来技术发展的要求。

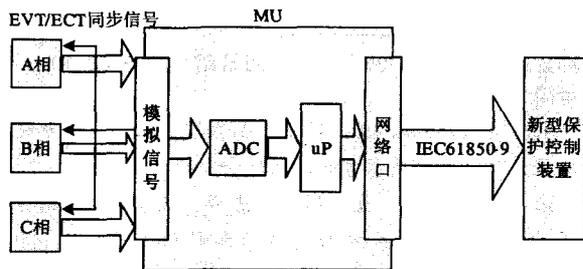


图2 一种数字化变电站中数据采集的方案

Fig.2 A data acquisition program in digital substation

如图 2 所示,在传统的变电站改造中, MU^[2]是前置的数据采集处理单元,数据通过 MU 处理后提供给网络化的继电保护和自动装置共享,其接口部分的设计对 MU 和新型继电保护控制装置的要求是一致的。

2 产品的软件设计

2.1 实时多任务操作系统

目前国内比较常用的嵌入式操作系统 (RTOS),主要是 Vxworks、 μ C/osII、Linux 等,就实时性来说,Vxworks 最好。对于电力系统来说,一周波 20 ms,采用多高的采样速率,主要看产品的应用场合,一般采用 12 到 64 点跟踪采样,数字化变电站的合并单元一般采用 80 或 256 点采样。如果由 CPU 控制采样中断,则要求每次采样中断间隔时间为:

$$\Delta t=20 \text{ ms} / \text{采样点数}$$

随着采样点的密度增加,CPU 负荷较重,故实际设计中,小于 64 点的采用 CPU 直接控制,高于 64 点的由 CPLD 控制。

实时多任务操作系统在这个过程中不仅要协调采样中断和通信中断,更重要的是要完成保护数据的计算和逻辑判断,如果是单 CPU,还要完成人机交互的功能,所以,没有一个高效率的操作系统,想完成诸如以太网通讯、快速继电保护是十分困难的。

2.2 软件结构

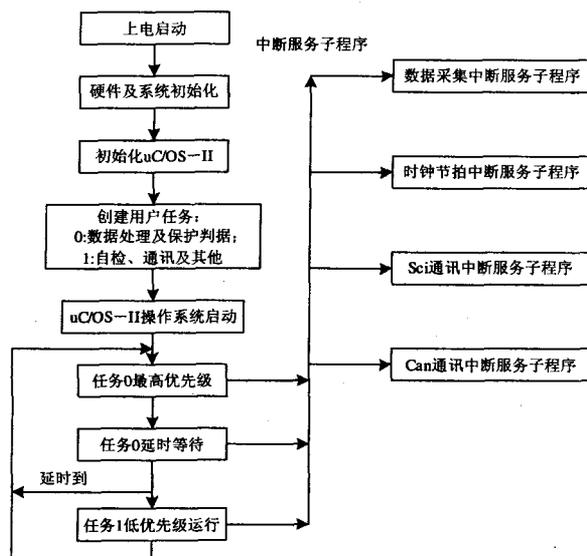


图3 保护 CPU 软件架构

Fig.3 A software architecture for protection CPU

以保护 CPU 为例,其应用程序主要包括:数据

运算、保护原理判据、开入量采集、定值处理以及系统自检、通信规约处理等。数据运算、保护原理判据、开入量采集作为重要的事件，设置为任务 0——优先级最高的任务循环运行，任务 0 循环运行中插入等待延时，任务 0 等待任务 1 运行一段时间，延时到任务 0 继续运行。任务在运行时可以被中断终止，运行中断服务子程序，中断处理完成后，再返回被中断的任务。

2.3 软件的规范化设计

大多数的产品开发，往往并不是原理性错误，而是开发的流程控制和设计规范的不严格所致。厂矿继电保护和自动装置的特点是应用行业广泛，各行业的实际需求千差万别，产品设计时很难也不可能一次全部设计到位，日后的升级、改造难以避免，所以要求初始设计时系统产品平台要统一、软件结构设计一定要规范、模块化，这样才能保证日后的升级和扩展。即软件设计要满足模块化和版本的可控性。

继电保护和自动装置，涉及到厂矿生产的安全和人身安全，关系重大，所以对可靠性的要求非常高，而我们对于计算机产品的可靠性认证和安全认证，从国家的标准上还不完善，很多是企业的经验和自觉行为，比如 CMM 的认证，而具体到软件的设计规范往往是空白，能够对设计人员所使用的编译环境有比较严格控制的企业较少，所以往往是软件的 BUG 导致重大的事故，在这点上应该借鉴航空航天产品方面的研发经验，编制一套适合本企业的软件编程规范是非常必要的。

3 结论

厂矿用继电保护和自动装置是电力自动化设备的重要分支，其涉及到的保护对象更多，可靠性要求和电力系统中的要求是一致的，该类产品是计算机技术、通信技术、软件工程、电力自动化、结构工艺等众多学科交叉的产物，其可靠性、安全性关系到企业的生产安全、经济效益甚至人身安全，尽量采用成熟的技术，设计高质量的产品，本着简单、实用、可靠的原则，从技术原理和设计方法上加以体现。

参考文献

[1] 李才勇, 朱志伟, 赵燕钢. 基于 32 位 ARM 和 DSP 的高端继电保护平台[A]. 2006 中国电力系统保护与控制学术研讨会论文集[C]. 珠海: 2006.270-274.
LI Cai-yong, ZHU Zhi-wei, ZHAO Yan-gang. A High-end Relay Protection Platform Based on 32-bit ARM and DSP.
[2] 胡钰林, 沈健. 一种基于 PowerPC 的合并单元的研究[EB/OL]. Http://www.tede.cn/plus/view.php?aid=101026.
HU Yu-lin, SHEN Jian. A Study of a Merging Unit Based on PowerPC[EB/OL]. Http://www.tede.cn/plus/view.php?aid=101026.

收稿日期: 2009-07-22

作者简介:

王 磊 (1970-), 男, 工程师, 主要从事电力系统继电保护和自动装置、变电站综合自动化、厂用电自动化的研究与开发工作; E-mail: wl@zhwld.com

吉木斯 (1966-), 男, 工程师, 主要从事变电站综合自动化、厂用电自动化和调度自动化的研究与开发工作。

(上接第 72 页 continued from page 72)

LIU Fang, YAN Wei, Yu D C. A Hybrid Strategy Based on GA and IPM for Optimal Reactive Power Flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(15): 67-72.
[16] 向铁元, 周青山, 李富鹏, 等. 小生境遗传算法在无功优化中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(17): 48-51.
XIANG Tie-yuan, ZHOU Qing-shan, LI Fu-peng, et al. Research on Niche Genetic Algorithm for Reactive Power Optimization[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(17): 48-51.
[17] 刘科研, 盛万兴, 李运华. 基于改进遗传模拟算法的无功优化[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 13-18.
LIU Ke-yan, SHENG Wan-xing, LI Yun-hua. Researches on Reactive Power Optimization Based on Improved Genetic Simulated Annealing Algorithm[J]. Power System Technology, 2007, 31(3): 13-18.
[18] 张丰田, 宋家骅, 李鉴. 基于混合差异进化优化算法的电力系统无功优化[J]. 电网技术, 2007, 31(9): 33-37.
ZHANG Feng-tian, SONG Jia-hua, LI Jian. A Hybrid Differential Evolution Method for Optimal Reactive

Power Optimization[J]. Power System Technology, 2007, 31(9): 33-37.
[19] 张武军, 叶剑锋, 梁伟杰, 等. 基于改进遗传算法的多目标无功优化[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 67-71.
ZHANG Wu-jun, YIE Jian-feng, LIANG Wei-jie, et al. Multiple-objective Reactive Power Optimization Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 67-71.
[20] 吴学光. 风电场并网运行的数学建模及遗传算法模型优化研究[D]. 武汉: 武汉水利电力大学, 2000.

收稿日期: 2008-09-25; 修回日期: 2009-03-10

作者简介:

朱雪凌 (1966-), 女, 硕士, 副教授, 从事电力系统分析与风力发电并网技术方面的教学和科研工作;

张 洋 (1978-), 女, 硕士, 讲师, 从事电力系统分析与风力发电并网技术方面的教学和科研工作; E-mail: woshikuai@tom.com

高 昆 (1984-), 女, 硕士, 助理工程师, 研究方向为电力系统分析及新能源发电技术。