

高可靠性的新型数字式线路保护的研究

赵志华¹, 吴全文¹, 王路军², 汤俊¹

(1. 许继日立公司, 河南 许昌 461000; 2. 宁夏大坝发电厂, 宁夏 青铜峡 751607)

摘要: 从数字式线路保护面临的困难出发, 提出了继电保护实现高可靠性必须解决的问题, 进而对高可靠性的实现途径进行了探讨, 并以实例说明了高可靠性数字式线路保护的实现可能性。

关键词: 数字式; 线路保护; 可靠性

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)08-0036-04

1 数字式线路保护面临的困难

继电保护装置除了在电力系统发生故障时的很短时间内动作外, 长期是不动作的, 因此装置的某些缺陷可能不被发现, 从而成为故障时不能正确动作的隐患。另外, 继电保护装置投入使用后, 在它所保护的装置运行的情况下, 是不允许进行调整试验的, 因此继电保护的性能都力求能适应各种运行方式和各种复杂故障, 鉴于此, 对继电保护提出了速动性、灵敏性、选择性和可靠性四项基本要求, 并对不同保护规定有具体的指标要求。例如对灵敏度规定在最不利条件下的最低灵敏系数, 而在确定整定值时又引入最低安全系数以保证选择性。很显然, 提高整定值的安全裕度必然要降低灵敏度, 而为了提高动作速度, 往往要降低安全性。因此, 继电保护技术的困难一方面是提高检测精度的提高, 另一方面是在各种复杂的情况下都能满足相互矛盾的四项要求。继电保护的正确动作取决于一系列因素, 包括保护原理、装置的软硬件设计、产品质量、整定调试及运行管理等方面。

电力系统的发展, 对继电保护不断提出新的要求, 线路保护装置经历了机电型、整流型、晶体管型和集成电路型几个阶段后, 发展到今天被电力系统广泛应用的数字式(也称作微机型)阶段。在计算机技术和通信技术飞速发展的今天, 为了解决继电保护的技术难题, 适应电力系统的发展要求, 数字式线路保护还有些问题要解决。

2 实现高可靠性必须解决的问题

数字式线路保护包括硬件和软件两部分。

硬件系统一般包括数据采集(模拟量输入)、数据处理、开入开出和通信接口四部分。数据采集系统将直接影响装置的精度, 为了提高信号分辨率及

采样频率, 使用高速的 14 ~ 16 位 A/D 转换器是必须的, 并且能够对通道进行完善的监视。数据处理能力是制约原理方案正确实施的关键, 为了实现高速可靠动作, 使用新的原理方案是不可避免的, 并且为了正确全面地分析保护的動作行为, 应对保护动作时刻前后的所有模拟量、开关量及保护继电器元件的動作行为进行详细的记录, 因此一般须采用大容量的存储器及具有定浮点运算功能的 32 位微处理器方能满足要求。开入开出的设计对提高装置的抗干扰水平和可靠性至关重要, 目前的保护产品仅能做到检测出口跳闸继电器的线圈, 对断路器跳闸控制回路的完整性无法监测, 如果这一问题得以解决, 对电力系统的运行和检修具有极其重要的意义。通信接口的设计应包括就地和远方两个方面, 以满足就地监视和自动化系统的通信要求, 特别是与自动化系统接口应灵活方便。

影响硬件系统可靠性的因素很多, 主要有以下四个方面: 选用元器件的质量; 制造工艺水平; 电路设计的合理性; 元器件的集成度。显然, 电路设计在硬件系统的设计中仍占据极其重要的位置, 设计完善的电路必须保证任何一个元器件失效不会造成系统的瘫痪, 并能方便地将故障检出。

一般情况下, 对同一硬件系统配置不同的软件, 即可构成不同原理的保护装置, 因此可以说软件设计水平的高低, 对保护的性能有巨大的影响。通常, 保护软件和通信接口软件是彼此独立进行设计的, 通信部分异常不应影响保护程序的运行, 这就要求在软件设计时, 对数据结构、中断(或任务)设置以及算法要进行全面的考虑, 另外, 对线路保护而言, 由于对同一种故障类型, 可以由不同原理的保护继电器反映, 因此, 继电器的并行工作将对装置的性能提高有着极其重要的意义。

3 实现高可靠性的途径探讨

为了实现高可靠性,通常在硬件设计时采用冗余设计,由多个完全独立的 CPU 系统完成保护功能,任一 CPU 系统异常,装置不应误出口跳闸,并且仍应具有反应各种故障类型的能力,3 取 2 设计被证明是提高可靠性的一种成功典例。另外,设计硬件闭锁回路,该回路只有在电力系统发生扰动时解除闭锁,也是提高可靠性的一种简单有效措施。前面介绍的高精度的 A/D 回路、功能强大的 CPU 系统,应作为保护产品的基本设计。

对于模拟输入通道的正确性检测,一般采用软件手段按电流、电压求和平衡自检的方法进行,这种检测方法仅在输入通道损坏的情况下有效,且不能定位到具体哪一路,而低通滤波回路特性的异常变化根本不可能检测出。显然,应采取措施进行完善的检测,例如:在 A/D 板内自产 12 倍工频信号,加于每一路有源滤波器上,20 倍工频以上的信号则全部滤除,工频信号全部通过。在软件中检测每一路模拟信号中所加信号 12 倍工频信号是否正确。与常规的平衡电流、平衡电压检测相比,它能检出具体的哪一路采集回路出错;具体到能检测出滤波电路的错误;对于不接零序电流、零序电压量的保护,也能正确识别。

装设在高压电网中的线路保护装置,会不断受到正常运行情况下和某些偶然情况下产生的强电磁干扰。另外,应用在数字式保护中的微电子器件很多,由于微电子器件耐受干扰的水平极低,因此,继电保护装置的抗干扰设计是继电保护工作者当前和今后相当长时期要特别关注的课题。为了保护装置能在电网中安全可靠运行,需要在两方面进行协调,一方面是保护装置应该具有一定的耐受电磁干扰的能力,同时这些装置本身也不应该对周围电子设备产生不能允许的电磁干扰,即应该具有电磁兼容性;另一方面是必须确保引入到保护装置的电磁干扰必须低于装置本身可以耐受的水平,两者缺一不可。前者由产品制造部门提供保证,这也是高可靠性保护产品研究设计的重点之一,而后者则有赖于电力部门恰当的二次回路设计与施工和必需的相应运行管理工作。由于干扰是不可避免的,有一些也是无法预见的,因此在产品设计中应考虑这些因素,由硬件实现的 ECC (Error Correction Code) 自检是一种很好的解决方案,在总线受干扰或由于其它不可预见的原因引起 CPU 系统出现错误时能及时检出,最为

理想的情况是能将错误给予纠正。

运行经验表明,继电保护的正确动作和调试及运行维护水平密切相关,因此人机接口的设计显得非常关键,为了便于理解、使用和故障分析,汉化显示、菜单式操作、详尽的故障信息纪录(开入量、开出量及模拟量等)及详尽的事件信息纪录(继电器的动作行为、定值修改及其它可能对保护的动作为有影响的事件)等设计思想必须在整套装置得以充分的体现。人机接口离不开通信,包括外部通信和可能的内部通信(此时,保护和接口由不同的 CPU 系统实现,实践证明这种设计安全可靠)。另外,为了适应自动化系统的需要,外部通信应具有非常强的适应性。采用大屏幕液晶显示器和通信功能强大的 CPU 系统,也是实现高可靠性设计不可或缺的。

对目前的数字式线路保护产品,保护原理和方案配置不尽相同,但其保护功能的实现大都是按串行处理设计的,如图 1 所示,而图 2 表示的为并行处理设计(图中 1~n 为继电器模块)。比较图 1 和图 2 不难发现,由于在某些不可预见的工况或故障类型下,由于单个继电器元件的误动或拒动,在串行处理的情况下,会导致整套装置的不正确动作,而并行处理则可以避免整套装置的不正确动作。据统计,在目前数字式线路保护的不正确动作行为中,仍有原因不明的误动发生,可以设想,如果所有继电保护都按并行处理方式设计,在保护动作时将全部继电器元件的动作行为都记录在案,并能通过某种方式获知的话,加之其他信息的完整记录和再现,消除原因不明误动作的日子即将到来。

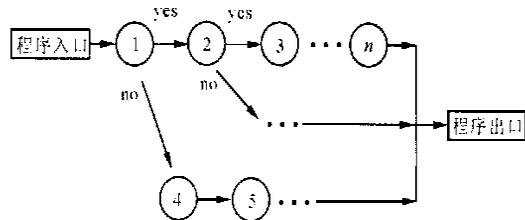


图 1 串行处理设计的逻辑流程示意图

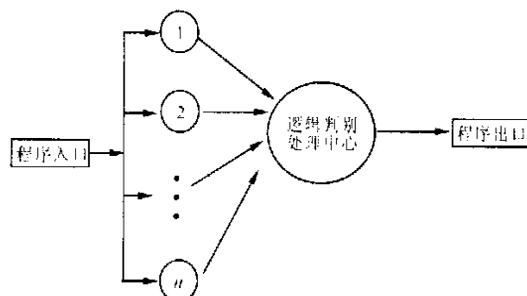


图 2 并行处理设计的逻辑流程示意图

数字式保护的编程语言可以是汇编,也可以是高级语言(如 C 语言),但这些语言都是人工编制的,对于成套数字式线路保护而言,其程序规模是非常大的,有时需要很多人一起实现,可以想象,由于编程人员的层次参差不齐,程序模块间的接口复杂,使全套程序的可信度下降,尽管通过调试和测试,可以发现一些程序缺陷,但要做到 100% 测试是不现实的,可以毫不夸张的说,如果编程由计算机进行,将使程序的可信度得以相当大的提升。对比图形和用于计算机特定的语言符号,不难发现,人们对于图形非常容易理解,出现错误容易发现,因此就目前的技术水平,采用图形化编程技术将是提高装置软件设计可靠性的最先进手段,当然这建立在能将图形信息可靠地转化为机器语言的基础上。

对于一个完整的保护系统来说,作为保护功能的延伸,与保护功能对应的计算机辅助分析软件将使继电保护工作者受益匪浅。分析软件包括模拟量谐波分析、向量图分析、继电器动作行为分析及定值的整定、计算等等,该软件设计越完善,事故分析或装置使用将越简单,而简单和可靠又是相辅相成的。

4 高可靠性数字式线路保护的实现

前面讨论了实现高可靠性数字式线路保护的方法途径,下面结合具体实例,就目前的技术水平介绍其实现的可能性。

由许继日立公司研制开发的 SXH-101/102 型数字式线路保护装置,为引进日本日立公司具有当今国际领先水平的软硬件设计平台,并吸收目前国内成熟先进的原理方案,针对中国开发的新一代产品。装置为由微机实现的数字式高压线路成套保护装置,包括以纵联变化量方向(纵联复合方向距离)和零序、负序方向元件为主体的快速主保护,并配置有能够高速动作的独立跳闸段,由三段式相间和接地距离以及六段式零序(方向)电流保护构成完善的全套后备保护。保护能分相出口,根据需要可选配自动重合闸功能,对单或双母线的开关实现单相重合、三相重合和综合重合闸,用作 500kV 及以下电压等级输电线路的主保护和后备保护。

装置在实现高可靠性方面采取了以下措施:

(1) 采用了高性能的 32 位定、浮点运算型微处理器,运算速度高达 78MIPS,其处理能力比常规 16 位微机提高了 2 个数量级;数据采集(模拟量输入)采用转换速度为微秒级的 16 位 A/D 转换器,使得装置具有非常高的精度和强大的处理能力,其采样

频率达到了每周波 48 点,并且在软件上实现了并行处理。通过装置本身产生的 12 次谐波,实现了模拟通道高次谐波监视,保证数据采集系统的任何异常变化和损坏都能及时发现,提高了装置的可靠性。

(2) 软件在执行中采用硬件实现的 ECC 自检,对每一条指令在执行前进行检错或纠错处理。在受到干扰或其他不可预见的原因引起总线出错的情况下,本装置利用 40 位的地址数据总线的高 8 位,通过专用硬件电路对低 32 位的地址数据总线进行监视,如果检测出有 1 位总线数据异常,可以通过硬件电路进行纠正,使得装置能够正常工作,大大提高了装置执行的可靠性;如果检测出有 2 位及以上总线数据异常,此时虽然不能够进行纠错处理,但能够及时进行闭锁,有效防止总线数据异常造成的不正确动作。

(3) 对于使用计算机语言编程,不同的产品设计人员,由于对语言的掌握深度和理解程度会有相当大的差距,就目前的情况而言,一套完整的数字式线路保护产品,需要很多人员参与开发设计,除了不同人员编制的单个程序模块可能会出现缺陷外,相互之间的最优接口设计也难以实现,设计出来的产品尽管通过了有关的试验或运行验证,其软件可靠性很难保证。本装置的软件开发采用图形化编程技术,彻底避免了人为因素而遗留在软件中的缺陷,装置的可靠性得到了很大的提高;通过灵活的组态,在软件可靠性能得到保证的前提下,可以很方便地满足现场的不同需求。

(4) 人机接口采用 $(10 \times 13) \text{cm}^2$ 大屏幕液晶显示器,可显示 15 \times 20 个汉字,全汉化菜单方式,操作简单、方便,可以有效地降低误操作可能性。事件和定值等信息采用汉字显示或打印输出,包括全部模拟量和开关量的录波数据以波形方式输出,便于运行维护。

(5) 提供了全汉化的 PC 机支持工具软件,可以实现主接线图的修改、录波波形分析、继电器动作轨迹分析等,实现了保护功能的延伸;通过这一软件,可以将保护跳闸过程中所有继电器元件的动作行为、全部模拟量、开入量及开出量的状态进行再现显示,为正确的事故分析提供了保证。

(6) 装置中不再采用调节元件进行模拟通道的精度调整,模拟输入回路可以通过软件自动进行幅值和相位的调整,保证了交流采样系统具有极高的精度和稳定性。

SXH-101/102 型数字式线路保护装置现已通

过国家继电器质量监督检验中心的动模试验和型式检验,证明性能优异;通过了国家电力公司和国家机械局联合组织的部级鉴定,受到了与会专家的高度称赞。另外,该系列装置在宁夏等地的运行结果表明,其抗干扰能力强,可靠性高,安装调试方便,在可靠性设计方面代表着目前国内的最高水平。

5 结束语

随着技术的发展和学科间的互相渗透,会不断找出提高继电保护可靠性的方法和手段,一些新的原理也会逐步被应用,但对继电保护基本功能的要求不会变,它会朝着智能化的方向发展,将继电保护与相关学科相结合,利用故障发生时刻前的各种特征量进行各种检测,进而预测故障的发生,这是继电保护工作者要密切关注的发展方向。

Research of new digital line protection with high reliability

ZHAO Zhi-hua¹, WU Quan-wen¹, WANG Lu-jun², TANG Jun¹

(1. Xuji Hitachi Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China; 2. Ningxia Daba Power Plant, Qingtongxia 751607, China)

Abstract: This paper starts from the difficulties faced by digital line protection, and puts forward some problems which should be solved for realizing the relay protection. Some realization ways of high reliability also were discussed. Finally, the possibility of the realization of high reliability digital line protection was illustrated through some examples.

Key words: digital; line protection; reliability

(上接第 29 页) 理的总线控制技术实现高速数据采集。同时兼有数字存储示波功能和数据分析能力,可以广泛用于电力测量、电力系统故障定位和继电保护领域。

参考文献:

- [1] 刘乐善,等. 微型计算机接口技术原理及应用[M]. 湖北:华中理工大学,1996.
- [2] [美]崔锦泰. 小波分析导论[M]. 西安:西安交通大学出版社,1995.
- [3] 沈兰荪. 高速数据采集系统的原理与应用[M]. 北京:

参考文献:

- [1] 朱声石. 微机继电保护的特点、技术进步和新概念[A]. 第六届全国继电保护学术研讨会论文集[C],1996.
- [2] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [3] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
- [4] 赵志华,等. 超高压线路保护的几点设想[A]. 第七届全国继电保护学术研讨会论文集[C],1998.

收稿日期: 2002-05-15

作者简介:

赵志华(1966-),男,硕士,高级工程师,主要从事电力系统继电保护产品及自动装置的研发工作。

吴全文(1966-),男,工程师,从事电力系统自动化研究工作。

王路军(1968-),男,本科,从事电力系统继电保护工作。

人民邮电出版社,1996.

- [4] 陈淑杰. 单片 8 位视频 A/D 转换器 AD9048[J]. 国外电子元器件,1996,11.

收稿日期: 2001-11-20

作者简介:

李涛(1973-),男,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护。

张承学(1953-),男,教授,硕士,主要从事电力系统继电保护和自动装置的研究。

High - speed data acquisition system design of single - chip microcomputer for transient travelling wave fault location

LI Tao, ZHANG Cheng-xue, HU Zhi-jian

(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to sample transient travelling wave, the design of a high - speed data acquisition system with the single - chip microcomputer DS80C320 is introduced. The forming method of fast speed address, the relation between high - speed A/D conversion and fast access, and the interface technique of PC bus are discussed in detail. This board is up to the standard of ISA bus, and can be used to sample the high - speed transient travelling wave.

Key words: high - speed data acquisition; single - chip microcomputer; A/D converter