

电力系统自主可控继电保护及其自动化装置的可靠性分析

董彦¹ 张玮¹

1. 南京国电南自电网自动化有限公司 江苏南京 211100

DOI:10.12238/ems.v7i7.14301

[摘要] 在当前国际形势的背景下，我国电力系统行业正逐步推进自主可控的国产化进程。电力系统自主可控继电保护及其自动化装置作为核心领域，其重要性不言而喻。本文深入分析其在电力系统中的关键作用，同时探讨所面临的可靠性挑战和提升策略。本文首先对自主可控继电保护及其自动化装置的基本概念和作用进行了详尽阐释，随后探讨了在自主可控环境下，其可靠性问题的各个方面，涵盖硬件、软件、运行及维护等。在此基础上进一步阐述了可靠性评估的常规方法，并结合实际提出了增强可靠性的具体措施，旨在为电力系统自主可控发展道路上提供技术支撑，确保继电保护及其自动化装置的可靠稳定运行，保障电力系统的整体安全和高效运作。

[关键词] 电力系统；自主可控；继电保护；自动化装置；可靠性分析

前言：

随着我国经济的迅猛发展与科技水平的持续提升，电力系统在国家经济和社会发展中占据了至关重要的地位。然而，在当前国际形势的复杂背景下，电力系统的安全性和自主可控性正面临严峻的挑战。关键技术的依赖性、外部环境的不确定性等因素，使得我国电力行业深刻认识到自主可控的重要性，必须实现核心技术、设备和系统的国产化，以保障电力系统的安全稳定运行。继电保护及其自动化装置作为电力系统的关键组成部分，其可靠性直接关系到电力系统的安全运行和供电质量。在自主可控的背景下，深入分析这类装置的可靠性问题，并提出相应的提升措施，对于实现我国电力系统的自主可控和稳定发展具有重要意义。

一、自主可控继电保护及其自动化装置的概念和作用

（一）自主可控继电保护装置

自主可控的继电保护装置，指的是适用于 35kV~1000kV 智能变电站的系列继电保护装置，产品的硬件、软件及中间件自主可控率达到 100%，形成了适用于电网、发电厂、新能源和工业用户的继电保护产品整体解决方案，摆脱对外来技术和产品的依赖，在满足功能性的同时，确保其安全性、稳定性和可靠性。该装置能在电力系统出现故障时，迅速而精确地识别问题，并及时隔离故障设备或线路，避免故障蔓延，最大程度地降低对电力系统的影响，保障系统稳定运行。

（二）自主可控自动化装置

自主可控的自动化装置广泛应用于电力系统的各个环节，包括发电、输电、变电、配电及用电等，旨在实现电力

系统运行的自动化监控、控制与管理。这些装置包括但不限于自主可控的自动发电控制（AGC）、自动电压控制（AVC）、变电站自动化系统、馈线自动化系统等。通过使用自主可控的传感器、通信网络和控制中心，这些装置能够实时收集电力系统运行的各类信息，并据此自动调节和控制系统运行状态，从而提升系统的运行效率和供电质量。

（三）在电力系统中的重要性

自主可控继电保护及其自动化装置对于电力系统的安全、稳定和高效运行至关重要。一是它们能有效保障电力系统免受外部环境干扰和内部故障影响，快速隔离故障点，维持系统稳定。二是掌握电力系统核心保护和控制技术的自主研发、生产和服务能力，不再受制于人，能够有效应对外部技术封锁和供应中断等风险，保障国家能源供应的安全和稳定。三是可以更好地满足信息安全要求，在硬件设计、软件开发和通信协议等方面采用国产化的安全技术和产品，防止电力系统遭受网络攻击、数据泄露等安全威胁，保护国家关键信息基础设施的安全，为电力系统长期稳定发展筑牢根基。

二、自主可控继电保护及其自动化装置的可靠性挑战

（一）硬件可靠性

在元器件质量方面，自主研发的设备采用全国产化的元器件，然而在制造工艺和材料方面，部分国产元器件与国际产品相比尚存差距，这导致了其可靠性水平不一。例如，一些国产芯片在一致性与稳定性方面表现不足，容易产生性能波动和故障。国产存储器件的编程、擦除算法在性能上与进口器件存在一定的差距。

在抗干扰方面,电力系统运行环境极为复杂,存在强烈的电磁干扰。国产元器件在硬件设计阶段可能未能充分考虑工业上电磁兼容性,这可能使得设备在实际运行中容易受到干扰,从而导致误动作或拒动作的发生。

在兼容性方面,大量存量站设备存在硬件故障需更换自主可控插件的需求,自主可控插件级和装置级替代方案存在兼容性和可靠性风险。

(二) 软件可靠性

在算法复杂性方面,随着自主可控装置的软件算法持续创新与复杂化,虽然功能得到了提升,但同时也带来了更高的出错风险。在特定的运行条件下,复杂算法可能会出现逻辑错误、数值计算误差或收敛性问题。

在软件缺陷方面,在自主可控继电保护及其自动化装置的软件开发过程中,由于开发周期和技术团队水平等因素的限制,软件中可能存留一些未被发现的缺陷。这些缺陷在实际运行中可能被触发,从而导致装置故障。

在安全性方面,电力系统对系统的安全性要求越来越高,对于电力系统中已有的通过数据库连接与数据库服务器进行通信的应用程序,当数据库本身不提供客户端与服务端通信数据完整性与保密性的机制时,需要对应用程序本身进行改造完善,工作量大且风险较高。

(三) 运行维护可靠性

在运行环境适应性方面,鉴于我国幅员辽阔,各地电力系统的运行环境存在显著差异。在设计和制造自主可控装置时,可能未能充分考虑其对运行环境的适应性,这可能导致在极端温度、湿度以及高海拔等特殊条件下,装置性能出现下降。例如,在高海拔地区,由于空气稀薄,装置散热效果不佳,可能会引起元器件过热,从而导致损坏。

在维护资源方面,随着自主可控装置的广泛部署以及对老旧装置的兼容性需求,对维护工作的专业性要求日益提升。然而,目前我国在自主可控装置的维护领域,可能面临维护人员技术水平不一、维护经验不足以及备品备件供应不及时等挑战。

在生态性方面,自动化系统上游的软、硬件生态需要不断的完善,尤其是监控主机、操作系统及数据库等中间件,甚至在硬件层面,需要关联到主机的各个部件。建立起可自主循环、自我代谢的生态体系;通过进一步加强自主可控监控系统的安全体系构建,从软硬件一体协同的角度去构建更加安全可靠的监控系统,实现自主与安全的有机统一。

三、自主可控继电保护及其自动化装置的可靠性评估

故障模式与影响分析(FMEA),对自主可控继电保护及其自动化装置的各个组成部分,包括元器件、电路板、软件模块等,逐一分析可能的故障模式,如短路、断路、软件死机、通信错误等,并评估每种故障模式对装置功能和电力系统运行的影响程度。例如,在对自主可控继电保护装置进行FMEA分析时,发现其交流采样模块可能存在采样精度下降的故障模式,这将导致系统对电力设备运行状态的监测不准确,进而可能引发控制决策错误。针对这一问题,提出了改进采样电路设计、优化元器件性能和增加校准功能的措施,有效提高了该装置的可靠性。

故障树分析(FTA),以自主可控继电保护及其自动化装置的故障事件为顶事件,构建故障树,分析导致顶事件发生的各种可能原因及其逻辑关系。通过定性和定量分析故障树,确定装置的薄弱环节和关键故障因素。例如,在分析自主可控继电保护装置拒动事件时,构建了故障树,发现可能导致拒动的原因包括保护算法错误、出口继电器故障、电源模块故障等。通过对故障树的分析,计算出各基本事件的发生概率,并针对概率较高的基本事件采取了优化保护算法、提高出口继电器质量和加强电源模块可靠性设计等措施,大大降低了该继电保护装置拒动的风险。

基于数据挖掘的可靠性评估,收集自主可控继电保护及其自动化装置的大量运行数据,如故障记录、维护数据、运行环境数据等,运用数据挖掘算法,如关联规则挖掘、聚类分析、分类算法等,发现数据中的潜在规律和模式,从而对装置的可靠性进行评估和预测。例如,通过对多年积累的自主可控自动化装置运行数据进行挖掘,发现某一型号的装置在特定运行环境下故障率较高。进一步分析发现该环境下的某一运行参数对该装置的可靠性有显著影响。基于这一发现,对该型号装置的运行参数进行了优化调整,并对装置进行了针对性的改进,有效提高了其可靠性。

基于装置兼容性的评估,检查各插件的硬件设计是否符合统一的标准和规范,包括插件的尺寸、接口、电气参数等。分析各插件的软件功能和算法是否能够与其他插件的软件功能相互配合,实现整体的保护和控制功能。评估各插件与装置主体之间的兼容性,包括插件与装置主体的硬件接口、通信接口和软件接口等方面。例如,自主可控继电保护装置在设计过程中,充分考虑了插件的兼容性。在硬件方面,所有插件均采用了统一的尺寸和接口标准,确保了插件之间的互换性和兼容性。保护插件、电源插件和通信插件等均采用了标准化的接口设计,能够在装置主体中任意插拔,且电气连

接稳定可靠。

四、提升自主可控继电保护及其自动化装置可靠性的措施

(一) 硬件可靠性提升措施

在元器件筛选与质量控制方面, 建立严格的元器件筛选和质量控制体系, 加强对国产元器件的质量检测和评估。选择具有良好信誉和稳定性能的供应商, 对元器件进行抽样检测和可靠性试验, 确保其满足装置的可靠性要求。

在电磁兼容性设计优化方面, 在硬件设计阶段, 充分考虑电磁兼容性要求, 采取有效的电磁屏蔽、滤波、接地等措施, 提高装置的抗干扰能力和电磁兼容性。同时, 加强电磁兼容性测试, 确保装置在电力系统复杂电磁环境下的可靠运行。在散热改进方面, 优化散热设计, 防止高温环境元器件过热损坏, 确保装置在不同环境均能稳定运行, 例如采用高效散热片、风扇等措施。

(二) 软件可靠性提升措施

在采用成熟可靠的软件开发方法方面, 在自主可控继电保护及其自动化装置的软件开发过程中, 采用成熟可靠的软件开发方法, 如模块化设计、面向对象编程等, 提高软件的可维护性和可靠性。同时, 加强软件测试工作, 采用多种测试方法, 如单元测试、集成测试、系统测试等, 对软件进行严格测试, 及时发现和修复软件缺陷。

在软件容错与恢复机制方面, 为了提高软件的可靠性, 应设计完善的软件容错与恢复机制。例如, 设置软件看门狗, 当软件出现死机或异常时, 能够自动重启或切换到备用程序模块, 确保装置的基本功能不受影响。同时, 采用数据备份与恢复技术, 防止数据丢失。

在加强网络安全设计方面, 运用加密算法、身份认证等密码学技术, 增强软件抗网络攻击能力。同时, 开发具备自适应和自愈能力的软件系统, 使装置在遭受网络攻击时能自动防护和快速恢复。

(三) 运行维护可靠性提升措施

在运行环境监测与适应性优化方面, 加强对自主可控装置运行环境的监测, 实时获取环境温度、湿度、海拔等信息。根据运行环境的变化, 采取相应的适应性优化措施, 如在高温环境下增加散热措施, 在高湿度环境下加强防潮处理等, 确保装置在各种运行环境下的可靠运行。

在加强维护资源保障方面, 建立专业的维护团队, 加强维护人员的技术培训, 提高其对自主可控装置的维护能力和水平。同时, 建立完善的备品备件管理体系, 确保在装置出

现故障时能够及时更换备品备件, 减少停机时间。

在提升人员素质与管理方面, 对运行维护人员进行专业培训, 提高其技术水平和故障处理能力, 确能依规高效完成巡检、维护和故障处理等工作。同时, 完善管理制度, 严格考核机制, 调动人员工作积极性, 保装置可靠运行。

(四) 系统集成与测试方面

加强系统集成测试, 在完成自主可控继电保护及其自动化装置的集成后, 进行全面而严格的测试。制定详细的测试计划和测试用例, 对装置的各项功能、性能指标以及与其他设备的兼容性、互操作性进行逐一测试, 及时发现并解决系统集成过程中出现的问题, 确保装置在实际应用中的可靠性。

开展第三方测试与认证, 借助专业的第三方测试机构, 对自主可控继电保护及其自动化装置进行独立的测试与认证。这些机构具备专业的测试设备和经验丰富的测试工程师, 能够依据国家和行业的标准, 对装置进行客观、公正的评估, 为其可靠性和安全性提供权威的认证, 为用户的选型和应用提供有力的参考依据。

结束语:

在当前自主可控的背景下, 电力系统自主可控继电保护及其自动化装置的可靠性至关重要。通过深入分析其面临的可靠性挑战, 运用 FMEA、FTA、基于数据挖掘的可靠性评估等方法, 全面评估装置的可靠性现状, 并针对性地提出硬件、软件、运行维护等方面的可靠性提升措施, 可以有效提高电力系统自主可控继电保护及其自动化装置的可靠性。不仅有助于保障电力系统的安全稳定运行, 也为我国电力行业的自主可控发展奠定了坚实基础。

未来, 随着自主可控技术的不断发展和创新, 我们应持续关注和研究继电保护及其自动化装置的可靠性问题, 进一步完善可靠性评估方法和提升措施。加强产学研合作, 共同推动我国电力系统自主可控技术的进步, 为我国电力事业的高质量发展提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]陈俊逸. 电力系统继电保护与自动化装置的可靠性提升策略分析[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8 (10): 71-73. DOI: 10.19772/j.
- [2]王燕. 电力系统自动化继电保护装置及其测试研究[J]. 电器工业, 2024, (10): 77-81.
- [3]赵中坤, 何洋, 李恒, 等. 电力继电保护自动化技术研究[J]. 电力设备管理, 2024, (16): 47-49.