

电力系统继电保护中的隐性故障分析

李琛

辽宁东科电力有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要]电力系统于现代社会而言,地位颇为关键,其能否安全稳定地运行,和我国能源结构的优化以及社会经济的正常运转息息相关。继电保护系统是电力系统安全运行的关键保障,它在故障出现时,能够及时把故障部分切除掉,以此来保证非故障部分能够正常运行。不过,继电保护系统自身也存在着潜在的隐性故障问题,这些故障在系统正常运行时,往往难以被及时察觉到,要是等到关键时刻出现失效情况,那么将会给整个系统带来极为严重的影响。文中从隐性故障所造成的危害出发,对其产生的原因展开细致分析,并且还提出了具备可操作性的防控对策,希望能够提升电力系统继电保护的可靠性以及智能化程度。

[关键词]电力系统;继电保护;隐性故障

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17347

中图分类号: TM77

文献标识码: A

Analysis of Hidden Faults in Power System Relay Protection

LI Chen

Liaoning Dongke Electric Power Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: The power system plays a crucial role in modern society, and its safe and stable operation is closely related to the optimization of Chinese energy structure and the normal operation of the social economy. The relay protection system is a key guarantee for the safe operation of the power system. When a fault occurs, it can promptly cut off the faulty part to ensure that the non faulty part can operate normally. However, there are potential hidden faults in the relay protection system itself, which are often difficult to detect in a timely manner during normal operation. If a failure occurs at a critical moment, it will have a very serious impact on the entire system. Starting from the harm caused by hidden faults, the article conducts a detailed analysis of their causes and proposes actionable prevention and control measures, hoping to improve the reliability and intelligence of power system relay protection.

Keywords: power system; relay protection; hidden malfunction

引言

我国电力系统规模持续扩大,复杂程度日益提高,电网运行安全性遭遇极大挑战。继电保护是保障电网运行安全的最后一道防线,其性能稳定与否直接关系到电力系统应对突发状况的能力。近些年,继电保护装置经历从模拟到数字再到智能化的发展过程,自身结构与功能变得愈加复杂。设备在设计、制造、运行以及维护各个环节,不可避免会存在一些不易察觉的隐性缺陷。这些缺陷一般在电力系统没有故障的时候不会显现出来,可一旦电网出现实际故障,它们就有可能引发继电保护误动作或者拒动作,进而酿成大面积停电事故。所以,深入剖析隐性故障呈现出来的状况、产生的影响以及形成的原因,并且探寻行之有效的诊断以及防控办法,对于提高继电保护系统的本质安全水准有着不容忽视的重要意义。

1 隐性故障的特点

对于隐性故障而言,主要指的就是继电保护装置在相对比较正常状态下不能及时发现的问题。由于继电保护装置几乎都是在高负荷的状态下工作,如果对其不能进行及时有效的维修就会出现一系列故障。当继电保护装置如果处于待机时,并且电力系统自身存在故障的状况下,不能

够第一时间发现存在的故障。另外当电力系统出现故障的过程中,就会导致继电保护装置出现相应的异常,进而出现大面积停电现象。继电保护装置它在隐性故障等方面具有极强的隐蔽性,一般情况下使用比较常规的方式并不能够及时的发现故障,如果出现故障,就会出现非常严重的后果,当电力系统出现故障时,而继电保护装置在一定程度上不能做出正确的动作,就会出现较为严重的事故,所以将继电保护装置自身的隐性排查工作进行做好是非常必要的。

2 隐性故障的危害与影响

2.1 对继电保护系统的直接影响

隐性故障往往呈现为继电保护设备里的部分功能模块处于潜伏状态时出现异常状况,像是接点出现氧化现象、通信接口存在接触不好的情况、内部逻辑计算出现错误等等。这些问题在日常的检测环节当中是非常难以被发现的,并且也不容易进行复现操作。当电力系统真的发生故障的时候,这些隐性方面的问题很可能会致使保护装置出现拒动或者误动的情况。拒动会使得故障没办法被及时地切除掉,如此一来便会进一步让事故所涉及的范围不断变大;而误动则有可能会切掉那些并非故障的部分,进而造成电

网资源出现了毫无必要的损失。除此之外，隐性故障还能够让设备的响应时间变得延迟起来，这无疑降低了保护动作所具备的时效性以及准确性，最终使得整个继电保护系统的运行可靠性受到了极为严重的威胁。

2.2 对电力系统安全运行的连锁威胁

当继电保护系统出现隐性故障的时候，其实这属于在电网处于故障状态之下所呈现出的一种防御功能有所缺失的情况。要是故障发生了，那么保护系统没办法依照既定的逻辑去精准地做出相应的动作，如此一来，它不但无法对故障的蔓延起到限制的作用，反而是会引发诸如电压出现跌落、频率产生波动以及设备发生跳闸等一系列相互关联的连锁反应，而且在情况特别严重的时候，甚至还会致使整个系统陷入崩溃的境地。在互联网变得一天比一天更为复杂的这样一个大背景之下，只要出现局部的保护误动作，那么就极有可能会借助联络线给其他区域带来影响，进而让故障的影响范围得以进一步扩大。所以说，隐性故障的存在，着实是大幅度地削弱了电力系统整体所具备的抗扰动的能力，并且还很有可能会让原本是可以被控制住的局部故障转变成一场系统性的灾难。

2.3 对事故诊断和恢复工作的干扰

隐性故障在事故发生之后的诊断以及恢复环节里，同样会引发诸多麻烦。因为这种故障具备潜伏以及间歇这样的特性，其行为模式是很难被复现出来的，所以故障录波还有历史数据，在相关的分析当中所具有的参考价值是比较有限的。当处于紧急的状态之下时，运维人员通常只能凭借有限的信息来做出判断，这样做特别容易出现误判或者信息遗漏的情况，最终致使故障处理的进程被耽误。与此要是没办法精准地识别出故障的根源所在，那么就很容易出现重复故障的现象，如此一来就会让系统的恢复时间被拉长，进而增加运行方面的风险以及经济方面的损失。

2.4 对维护成本与运行效率的影响

在电力系统长时间运行期间，隐性故障的存在使得系统运行效率降低，同时也让维护与管理的难度有所提高，传统的定期巡检方式很难发现这类问题，这就使得运维部门要采用更为频繁且更细致的监测办法，如此一来，运维成本便出现了上升的情况。隐性故障往往会引发不必要的停电情况以及误动作，打乱电力系统的正常运行节奏，增加对备用容量以及冗余设计的依靠程度，进而从侧面降低整体运行的经济性以及调度灵活性。

3 继电保护系统中隐性故障的成因探析

3.1 二次回路接线缺陷与元件老化

二次回路是继电保护系统达成信号采集、逻辑判断以及动作控制的关键通道，其接线质量会对整个系统的稳定性和可靠性产生直接影响。要是设计、施工或者运维环节出现回路接线松动、虚接、接触电阻增大的情况，一般在常规状态之下是很难被察觉到的，然而一旦有故障电流经

过，就往往会因为信号失真或者延迟而致使继电保护出现误判。与此设备服役的时间越长，其内部的元器件像电容、电阻、继电器之类就容易出现性能衰退乃至失效的状况，这无疑又进一步加大了系统隐性故障发生的可能性。

3.2 电磁干扰与环境应力因素

电磁干扰（EMI）属于数字继电保护装置所面临的极为重要的外部影响来源，在变电站这类存在强电磁场的环境下，倘若电缆布线不够合理，接地系统的设计也存在不足之处，那么低电平控制信号就极有可能受到干扰，进而出现误判的情况。再者说，温湿度方面发生变化、存在粉尘污染、遭受雷击以及出现电晕放电等情况，这些环境应力因素会给装置的绝缘性能、光耦合器件还有通信模块等带来长期且潜在的威胁，虽说这些因素并不会马上引发故障，可在关键时刻却非常容易致使保护装置出现异常动作，形成典型的隐性故障表现形式。

3.3 装置软件故障与逻辑错误

随着继电保护设备逐步走向数字化以及智能化，其内部的控制很大程度上依靠嵌入式软件以及复杂的逻辑运算来实现。因为软件开发所花费的时间较为紧迫，或者测试环节做得不够到位，所以通常会存在着诸如程序方面存在缺陷、逻辑判断出现错误又或者是时间同步出现问题等情况。而这些情况并不会在所有的运行场景当中都显现出来，它们恰恰属于那种典型的“潜伏性风险”。当电网处于边界运行的状态或者说出现了非典型的扰动情况时，软件所存在的缺陷就有可能引发错误的动作或者出现拒动的现象。特别是在采用了新型的通信协议又或者是跨平台集成系统的场合当中，这类隐性的问题更是显得比较常见。

3.4 运维失误与信息传输滞后

隐性故障还可能因人为操作失误而引发。比如，在调试期间没有恢复保护逻辑、错误地修改设定值、录入参数出现失误等情况，这些情况短期内或许不会引发明显的问题，可在系统出现异常的时候却会变成风险点。而且，随着继电保护系统依靠网络通信来达成区域协调以及联动控制，要是信息传输出现延迟、丢包、数据错误之类的问题，那么保护系统就没办法及时获取故障信息，这会影响其判断的准确性以及响应的速度。

3.5 多系统协同下的接口不匹配问题

在当下的电力系统当中，广泛地运用着各式各样的自动化以及智能化设备。而这些不同的系统彼此之间，得依靠通信接口还有数据交互来达成协调一致的运行状态。不过在实际的应用场景里，不同厂家所生产的设备，其协议标准往往是不一样的，数据格式也并非统一，这就经常致使接口出现兼容性方面的问题，还容易引发通信中断或者逻辑错误之类的种种情况。特别是在调度系统、保护系统以及监控系统共同协作进行控制这样的一种背景之下，接口的匹配性已然成为了隐性故障频繁发生的极为关键的

诱发因素。这类问题一般只有在系统开展联调工作的时候,又或者是处在实际运行且面临较大压力的状态之下,才能够被察觉到,所以它有着非常强的隐蔽性以及不可预知的特点。

4 继电保护隐性故障的防控与治理策略

4.1 提升保护设备本体设计可靠性

从设备源头强化可靠性乃是防控隐性故障的根基所在。制造厂家需要强化对继电保护装置在电气强度层面、抗干扰能力方面以及工作温度适应性方面的设计优化工作,并且要完善产品于研发阶段、测试环节以及验证流程等各个阶段的质量控制相关机制^[1]。在挑选元器件的时候应当优先选用高可靠性的工业级元件,以此来提升设备长期运行时的稳定性。与此还需进一步强化保护装置内部的诊断以及自检能力,使其能够在设备运行的过程中及时察觉到潜在的异常情况,进而提高设备自身的自愈能力以及安全冗余的程度。

4.2 强化施工与运维的标准化化管理

就二次回路以及现场安装所存在的质量问题而言,应当制定出标准化的设计与施工流程,并且严格依照此流程来执行,以此来保证布线清晰明了、接地稳固可靠以及接口符合规范要求^[2]。与此运行维护单位需要建立起较为细致的周期性检测以及现场巡检方面的制度,借助红外测温设备、接触电阻测试仪器、二次回路检测仪等一系列工具,提前将潜在的缺陷给找出来。在整个系统运维的进程当中,要对操作行为予以规范,把操作票以及检修记录进一步完善起来,防止因为人为的误操作而引发那些隐性的隐患出现。

4.3 构建多元数据融合的智能诊断系统

要有效地识别并定位隐性故障,需充分借助继电保护装置所具备的自诊断信息、故障录波记录、SCADA 系统的相关数据以及电网运行方面的大量数据,凭借融合分析技术来达成从多方面对故障趋势加以预测以及对异常情况予以识别的目的^[3]。与此要着力去开发那种依靠模型比对以及行为分析而运作的智能诊断平台,以此达成对保护动作发生前后的系统状态展开综合性评定的目标,进而提升在复杂故障情形之下针对隐性问题进行判别的精准程度。通过搭建起统一的数据管理平台,能够促使保护系统和调度、监控系统之间实现信息的共享以及联动,从而进一步增强整体的协同防控能力。

4.4 应用人工智能与大数据分析技术

利用人工智能技术,尤其是机器学习以及深度学习模型,能够针对大规模的历史运行数据展开训练,进而达成对异常模式加以识别并进行预测的目的。借助算法来挖掘

继电保护的规律以及故障出现之前的征兆,便可以提前察觉到异常的发展趋势,从而避免隐性的故障进一步演变成系统的事故。大数据分析平台还能够依据多维指标开展实时的健康状况评估以及风险等级的划分工作,以此给系统的运维活动给予科学的决策方面的依据。除此之外, AI 系统具备持续学习并且不断优化的能力,会一步步地提高其判断的精确程度以及适应环境变化的能力,这为构建自学习类型的智能继电保护系统打下了技术层面的基础。

4.5 建立分级预警与故障容错机制

在继电保护系统进行设计之时,应当引入分级预警机制。依据故障出现的可能性高低不同,去设定不一样的告警等级以及响应策略,如此一来便能够避免那种“要么全部应对要么完全不应对”的简单粗暴方式。与此为了能够应对那些难以预测的隐性故障所带来的影响,在一些关键的环节不妨设置容错机制以及备用通道,从而保证当主保护出现问题失效的时候,依旧会有后备保护及时介入进来,以此来进一步增强整个系统的鲁棒性。除此之外,还需要制定专门针对应急情况的处置预案,并且要定期开展相关的演练活动,以此提升相关人员对于突发隐性故障的应变能力,进而能够缩短响应的时间,更好地控制事故可能造成的影响范围。

5 结语

继电保护系统是电力系统极为关键的防护屏障,它的运行状况和电力系统的安全稳定紧密相连。隐性故障属于那种隐蔽性、复杂性以及危险性都很高的系统缺陷,在近些年慢慢受到了行业方面的诸多关注。本文从隐性故障产生的影响着手,对其成因机制展开系统剖析,同时结合当下电力系统的发展走向,给出了一系列有针对性的防控办法。以后,伴随人工智能以及大数据技术持续向前发展,继电保护系统会向着更智能、更自适应以及更可预测的方向去演进。构建起有“感知-诊断-决策-响应”闭环机制的智能继电保护体系,这既是全面提升电网本质安全的一个重要方向,也是破解隐性故障这个顽固问题的关键途径。

[参考文献]

- [1]宋双江.继电保护中的隐性故障分析[J].集成电路应用,2025,42(2):200-201.
- [2]伏成志.电力系统继电保护中的隐性故障分析[J].集成电路应用,2023,40(10):230-231.
- [3]徐娟,陆寅,范晓玮.电力系统继电保护的隐性故障分析[J].集成电路应用,2022,39(9):276-277.

作者简介:李琛,男,广东中山,学历:本科,职称:工程师,职位:主任工程师,研究方向:电力工程继电保护。