

220kV 智能变电站继电保护系统的可靠性探讨

张 恒, 李端焕

(国网湖北省电力有限公司黄冈供电公司, 湖北 黄冈 438000)

摘 要 变电站是电力系统中的重要组成部分, 随着电力技术的不断发展, 220kV 智能变电站的运用不断广泛。确保继电保护系统的可靠性对于智能变电站安全运行意义重大。在具体实践中, 应当采取合理的手段, 加强继电保护系统维护。本文简要介绍了 220kV 智能变电站继电保护系统的可靠性, 围绕动态故障树、GO 法以及可靠性框图法等系统可靠性进行了分析, 并提出相应的可靠性保障措施, 旨在能够对实现 220kV 智能变电站继电保护系统的优化有所裨益, 从而促进其可靠性进一步提高。

关键词 220kV 智能变电站; 继电保护系统; 可靠性

中图分类号: TM77

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)12-0019-03

电网运行可靠性研究是伴随人类社会发展和、电力事业发展的重要研究。在社会经济快速发展、用电需求量持续提升的大背景下, 整个人类社会对电网运行可靠性的要求也有所提高。智能电网发展背景下做好 220kV 智能变电站继电保护系统运行可靠性研究工作, 并针对性地采取措施增强其可靠性, 能为电网安全运行、人们稳定用电带来有力支持与保障, 故而有必要围绕其展开探讨。

1 220kV 智能变电站继电保护系统的可靠性概述

目前 220kV 智能变电站往往是基于 IEC61850 这种包含面向对象的国际先进建模技术而形成, 并且配置有智能电子装置以及后台控制系统, 具备信息分层、面向对象的数据对象统一建模、数据自描述、抽象通信服务接口等功能与特点, 并且能在电子式互感器、合并单元、智能终端等智能化电气设备的支持下实现自动化、智能化运行和管理。智能变电站的继电保护系统相较于传统变电站有着一定的差别, 主要体现为智能终端的引入以及电子式电流传感器、电子式电压传感器的应用。^[1]

220kV 智能变电站继电保护系统的设置需根据保护对象的故障特征加以配置, 并且要基于重要性以及所处电压等级合理调整配置保护方案, 尽可能简化二次回路, 减少电流互感器与断路器间的死区保护。继电保护装置的配置需要以直接支持 IEC 61850 标准为基础, 并且应当做到满足就地、独立分散安装要求, 通

过直接采样的方式进行保护, 同时高压的双重保护需维持相互独立状态, 针对电子式传感器本身特点对保护算法进行优化, 确保保护装置时钟同步。目前智能变电站继电保护方案主要有两类, 其中一种便是常规保护配置方案, 其能有效推进数字化继电保护模式的过渡, 不过具有网络结构复杂、设备数量过大等劣势; 第二种则是集中式保护配置方案, 其能够将整个变电站所有元件的信息整合于统一的系统之中, 从而兼具独立设备保护作用和控制功能, 另外还能依靠双冗余配置计算机进一步提升系统运行的安全性及可靠性。

2 220kV 智能变电站继电保护系统的可靠性分析

2.1 基于动态故障树的继电保护系统可靠性分析

故障树主要用于结构性的可靠性建模、评估以及故障判断, 在现代设施设备的运行可靠性分析中被广泛应用。故障树本身作为一种逻辑方法, 可通过逻辑分析的方式通过运算结果兼顾定性与定量探究。故障树能通过图形化逻辑程序对系统因果关系进行分析与呈现, 从而通过系统内不同元件的具体状态对全系统状态加以测量。故障树具有静态与动态两种, 其中静态故障树应用于传统变电站主要采取寻找、枚举继电保护系统中所有故障因素的方式,^[2]对相关因素进行分析后再对故障树加以描绘, 从而对引发系统故障的成因以及相应概率进行分析与计算。而动态故障树和静态故障树相比在于能对反映故障事件的序列耦合现

象进行分析,从而对系统运行状态以及性能进行动态探究,实现实时、准确地分析与反映故障,能大幅提升诊断效率。应用动态故障树对智能变电站的继电保护系统进行可靠性分析,能强化关于动态的故障耦合因素的可靠性评估,同时可在一定程度上减少数值计算,也便于工作人员对故障问题进行直观定位和有效分析,可支持后续诊断修理工作的良好开展。目前智能变电站继电保护系统中的动态故障树一般是基于不同逻辑门实现的主要有五种。第一种是顺序相关门,其按照固定顺序推动系统中不同事件的发生;第二种是顺序优先门,依靠两个底层事件对系统中不同事件发生的优先顺序进行调整;第三种是热备件门,依靠可变的多个底层事件配合系统对上层事件发生与否进行判断;第四种是冷备件门,只有在主件失效的情况下冷备件失效,对应的上层事件才会发生;第五种是温备件门,系统中的温部件处于备用状态与运行状态的失效率并不相同。而在220kV智能变电站中应用动态故障树对继电保护系统的可靠性加以分析,需从三个维度进行综合考量。其一为硬件失效,即硬件拒动、误动导致继电保护动作无法正常进行;其二为软件失效,即软件拒动、软件误动导致继电保护动作无法正常进行;其三为二次回路与辅助设备失效,即二次回路及辅助装置存在拒动、误动情况而影响继电保护动作的进行。^[3]

总体来看,基于动态故障树的继电保护系统可靠性分析要点如下:

1. 继电保护硬件建模。应用动态故障树对继电保护系统可靠性加以分析,自然需要基于系统硬件结构与特点开展建模工作,这是保障建模有效性以及分析结果精准性的基础。当前220kV智能变电站继电保护系统中的MPU装置基本上都是采取的双CPU设计,主CPU与从CPU之间存在一定的逻辑关系。当发生系统误动情况时,主CPU和从CPU均会发生误动作,而且后者优于前者,故而此时二者之间构成顺序优先门关系。当系统拒绝动作时,主CPU或从CPU会发生拒动作,二者自然会形成或门事件关系。通过设定不同硬件失效事件的方式,对硬件误动作与拒动作的情形进行分析,同时考虑各组建的老化、封装、材质等因素影响,可列出相应的失效率计算公式。

2. 继电保护软件建模。软件是支持硬件作用发挥的部分,同时也是控制硬件的部分。根据继电保护系统实际情况进行编程,开发出对应的软件,是提升继

电保护系统运行可靠性的基础手段。软件层面因素导致系统可靠性降低,主要表现为程序员没能准确把握继电保护系统运行要求、软件本身存在BUG、通信编码错误、必要控制参数的输入存在错误等。对软件的可靠性进行分析,一般可利用John Maxis算法,即通过公式 $\alpha_s = \lambda e^{-\frac{t}{T}}$ 进行计算求解并得到软件失效率与程序累计运行时间以及执行时间之间的关系。^[4]

3. 二次回路与辅助装置建模。智能变电站的继电保护系统中存在不少的二次回路以及辅助装置,这些因素也可能对整个系统的运行可靠性造成影响。通常而言,变电站规模越大,其中包含的二次回路就越复杂,另外人为因素也会对二次回路失效率造成影响。故而在对二次回路的失效率进行分析时,往往需要用到统计学模型,通过统计分析的方式对特征加以把握,进而为后续的失效率计算提供依据。

4. 定性分析和最小割集。运用动态故障树对继电保护系统的硬件、软件、二次回路等建模后,需要进一步落实定性分析工作。通过枚举法对整个系统中可能出现的各种故障进行列举,然后通过最小割集的方式加以分析,能对系统故障的类型以及特点有所把握。实际上这就是通过逆向思维从顶事件对底事件进行逆向分析与研究,并于此过程中得到底事件的最小元素数目集合,进而为失效率的研究提供必要支持,并且能在系统可靠性偏低的情况下快速定位问题,进而依靠简洁精准的最小割集和下行法有效判断系统不足并为后续的系统可靠性优化提供依据。^[5]

2.2 基于GO法的继电保护系统可靠性分析

GO法同样是系统可靠性分析的常见方法。应用GO法对220kV智能变电站的继电保护系统可靠性加以分析,需要建立相应的GO模型并通过输入模型对相应的可靠性指标进行研究,即通过因果对应的方式判断系统失效率。GO法与动态故障树法相比最大的特点与优势在于能对状态复杂、有时序的系统进行有效分析,同时可靠性分析结果的精密度极高。

总体来看,基于GO法的继电保护系统可靠性分析需着重围绕四大层面展开。其一为操作符。继电保护系统的指令可以被视作操作符,每条指令都需要对应的操作符来驱动与实现。而在GO法运算中,操作符同样可用于表示系统配件和输入输出信号间的逻辑关系,能支持运算工作开展,故而是最基础的部分。目前GO法运算中会使用17种标准操作符,不同操作符的属性有所差异,在运算过程中需要按照规范对各种操作符

进行准确表达与有效运算;其二为信号流。继电保护系统的输入信号、输出信号、系统单元间存在明显的逻辑关系,而信号流则是描述这种逻辑关系的载体。对 GO 算法而言,信号流主要用于连接操作符,通过信号流将不同操作符连接起来并对系统不同单元的状态进行表示,从而判断系统单元是否存在故障;其三为 GO 图。GO 图是基于操作符与信号流对系统进行表示的结果,而操作符与信号流则会在其中作为表示系统单元以及输入、输出信号关联的主要元素。GO 图中所有操作符以及信号流都有明确的类型以及唯一的编号,并且图中必须包含输入操作符,信号流序列不得发生循环换,同时 GO 图必须与作为转换的系统图模型保持一致;其四为 GO 运算。基于继电保护系统转换生成 GO 图后,还需要基于既定规则完成相应的 GO 运算。从 GO 图中输入操作符处开始运算,通过操作符与信号流的关系以及既定规则逐步推进运算,得到最终的运算结果,从而判断出图中信号输出的状态以及成功概率,进而为系统可靠性分析提供依据。如果 GO 图中存在一个输出信号对应多个输入信号的情况,需要对相应的共有信号进行修正计算,以免其影响系统可靠性分析结果的准确性与有效性。针对单个、两个以及多个共有信号等不同情况,需要采取不同的修正计算公式进行处理。需注意的是,运用 GO 法对智能变电站继电保护系统的可靠性加以分析时,往往需要假设“忽略互感器单元对系统可靠性的影响”“所有元件的故障分布符合指数分布特征”“系统处于理想同步状态”“新型智能电子元件的运行可靠性数据直接套用相关的历史统计数据”等条件,否则难以进行有效分析与计算。

2.3 基于可靠性框图法的继电保护系统可靠性分析

可靠性框图作为一种简单、清晰的可靠性分析方法,其主要适用于规模较小、复杂度较低的系统。针对部分规模较小的 220kV 智能变电站的继电保护系统,可尝试运用可靠性框图对其系统运行稳定性加以分析和研究。继电保护系统包含多个相互独立的元件,包括合并单元 MU、智能保护设备 IED、同步时钟源 TS、交换机 SW 等,任何一个元件本身都具有对应的故障率、工作概率、拒动概率以及误动概率,运用可靠性框图法对系统可靠性进行分析实际上就是对各元件的拒动概率、误动概率进行分析的基础上进行总体分析,对同时运动的多个元件进行统一看待与分析,从而得到相应的可靠性分析结果。运用可靠性框图法对继电保

护系统可靠性加以分析,既能反映系统中不同部件间的串并联关系,又能反映系统流程,从而以直观的方式凸显逻辑关系,依靠显示系统的失效逻辑的方式对所有元件的失效率给系统造成的影响进行判定。^[6]

2.4 运行保障措施

随着 220kV 智能变电站在智能电网中的占比持续扩大,强化对其继电保护系统的可靠性运行保障十分有必要。以合理运用可靠性分析方法为基础,得到科学、有效、准确的可靠性运行结果,并针对性地采取措施进行处理,能明显提高系统整体运行可靠水平。从实践层面看,目前针对 220kV 智能变电站继电保护系统的可靠性运行保障措施主要包括加强过程层的继电保护、加强间隔层的继电保护、基于 ICE 61850 标准设计新的过程层网络、借助以太网交换机的数据链路层技术实现实时监控、借助交换机减少总线系统的接线、强化环形结构母线可靠性、优化运行模式、完善系统异常处理体系等。

3 结语

220kV 智能变电站作为传统变电站向数字化、智慧化方向发展的主要模式,其对于推动智能电网的建设而言意义重大,加强对其继电保护系统可靠性的研究自然十分有必要。新时期背景下,根据智能变电站的特点采取合适的分析方法对继电保护系统可靠性进行分析与研究,针对性地采取措施对系统进行调整与优化,能大幅提升系统可靠性并支持智能电网的良好建设与发展。

参考文献:

- [1] 王家林,崔楠楠.基于可靠性框图法的智能变电站继电保护系统可靠性分析[J].光源与照明,2022(03):138-140.
- [2] 张笑波,刘琪,天小丽,等.对智能变电站继电保护系统可靠性问题的分析[J].电子元器件与信息技术,2021,05(12):39-40.
- [3] 王涛.智能变电站继电保护系统可靠性研究[J].光源与照明,2021(05):143-144.
- [4] 李媛媛.智能变电站继电保护系统可靠性探究[J].低碳世界,2021,11(03):88-89.
- [5] 张清华.智能变电站继电保护系统可靠性探究[J].通信电源技术,2019,36(12):260-261,263.
- [6] 叶俊.基于成功流法的智能变电站继电保护系统可靠性分析[J].工程技术研究,2019,04(20):239-240.