

基于G格式的保护逻辑可视化展示系统方案设计

王旭东¹, 王雷涛²

(1. 中国核电工程有限公司郑州分公司, 郑州 450052; 2. 许继集团有限公司, 许昌 461000)

摘要: 针对目前电力系统故障分析和继电保护动作行为评价中存在的效率低等问题, 提出一种基于G格式的保护逻辑可视化展示系统实现方案。首先, 介绍了电力系统图形描述规范表达图形的方法, 提出了基于G格式的保护逻辑可视化展示系统总体设计方案; 其次, 通过分析基于G格式的保护装置总体设计方案, 研究了保护装置中实现基于G格式的保护逻辑图抽象的方法, 以及在综合应用服务器中实现可视化展示和回放的步骤; 最后, 对所提方案可视化展示与回放效果进行了示例展示。展示结果表明该系统能够以时间为线索, 清晰再现保护装置故障过程中各保护功能元件的动作逻辑和顺序, 提高发现保护装置隐形故障的效率。

关键词: 继电保护; G格式; 保护逻辑; 可视化展示

The scheme design of protection logic visual display system based on G format

WANG Xudong¹, WANG Leitao²

(1. Zhengzhou Branch China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Zhengzhou 450052, China; 2. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: Being aimed at some problems such as low efficiencies of power system fault analysis and relay protection action behavior evaluation, a new realization scheme of protection logic visualization display system based on G format is proposed. Firstly, a method that expresses graphics through power system graphical description specification is introduced and an overall design scheme of protection logic visual display system based on G format is proposed. Secondly, the abstract methods of protection logical graph those are realized based on G format in protection device, the steps of visualize display and playback those are realized in an integrated application server are studied through analyzing overall design scheme of protection device based on G format. Lastly, in view of proposing scheme, visual display and playback effect are shown through actual example. Demonstrating results show this system can take time as a clue, clearly reproduces the operation logic and sequence of each protective function element during protection device failure and raises efficiency of finding protection device invisible failure.

Key words: relay protection; G format; protection logic; visual display

0 引言

作为智能电网重要组成部分的继电保护,

国家电网公司科技项目(SGHADK00PJS1800394)

是电力系统安全运行的保障, 其能否履行所设计的保护区安全职责是电网安全运行的关键所在, 其自身的可靠性和有效动作可避免系统受到扰动或发生故障时造成严重停电事故, 保证

电力系统安全稳定运行^[3]。

由于继电保护装置的特殊地位，对其动作行为和故障缘由的分析评估一直是电力系统研究的热点。文献[4]基于变权重系数和模糊关系矩阵，通过逐层计算模糊评判结果相量完成对继电保护装置的状态评估，有效地解决了模糊综合评判法不能反映状态量变化的不足；文献[5]构建了基于正向推理的继电保护动作评价体系，实现了故障的在线检测、分析报告打印以及专家系统推理等功能；文献[6]提出了基于智能变电站系统特性的继电保护在线监测方法，能够充分利用继电保护状态信息间丰富的耦合及约束关系，全面分析和评价继电保护状态，并实现故障定位；文献[7]探讨了在继电保护功能时序可视化中应用规范描述语言的可行性，通过消息序列图动态展示各元件动作过程，达到直观展示继电保护功能逻辑时序的目的；文献[8]提出了多种基于继电保护故障信息系统的保护装置常态特性在线监视与隐性故障诊断方法，能够实现模拟量诊断继电保护隐性故障；文献[9]提出了一种基于SVG图形的保护逻辑图的表达方式，通过标准化的定义输入关联、逻辑关系和连接线等元件，形成标准化保护逻辑关系图，配合标准化的录波文件，清晰地完成继电保护故障分析，解决了分析工具不统一的问题；文献[10]运用Matlab与C混合编程方式，能够在PC平台上提供脱离继电保护装置的实验验证环境，利用各种录波波形验证保护程序逻辑，实现对继电保护故障的模拟；文献[11]提出基于多参信息量的继电保护二次回路在线监测及故障诊断方法，通过网络报文记录分析装置或保护状态监测及诊断装置，构建一套继电保护二次回路在线监测与故障诊断系统；文献[12]采用动态故障树分析全数字化保护系统的可靠性，解决了传统可靠性分析方法无法体现全数字化保护系统动态失效特性的问题。

传统的继电保护故障分析方法一般是打印

保护装置动作报告、动作录波，查看故障录波并进行分析。目前国内基于Comtrade的录波分析软件层出不穷，能够解析Comtrade格式，以波形方式再现故障数据^[13]，在一定程度上增强了录波数据的可读性，然而这种方式仅能呈现采样数据的变化、录波开关量的分合，而故障时保护装置动作的标志集状态、动作原因及流程则需要专业的保护装置研发人员才能分析出来。这种方法不仅较为烦琐，而且只能看到保护装置最终的动作状态，无法对其内部工作情况以及潜在问题进行分析^[14]。

目前，作为智能变电站高级应用重要功能之一的基于一体化信息平台方式的智能告警和故障信息综合分析决策已得到应用^[15]，主要实现方案是通过提取继电保护装置内部保护逻辑中间状态，并将其中间状态生成为文件，可脱离保护源程序实现对其逻辑的离线监测分析，以有效解决继电保护内部缺陷。但定义的中间节点文件仅包含数据源，没有保护逻辑图以及保护逻辑图与中间节点数据的关联关系。如果实现可视化保护逻辑展示，需要在展示平台手动配置保护逻辑，但保护装置种类繁多，不同厂家保护原理和逻辑又各不相同，造成保护逻辑图配置困难且容易出错，无法实现标准共享。

针对上述存在的问题和IEC 61850标准的应用为动态展示保护功能时序提供的信息模型基础^[16]，本文提出一种基于G格式的保护逻辑可视化展示系统实现方案，即在保护装置生成中间状态数据文件时自动生成保护逻辑图形描述文件（简称G格式或G语言）；利用展示平台对G格式文件进行解析，生成各保护装置的可视化保护逻辑图，并根据中间节点文件数据进行动态回放，实现对保护装置内部元件、模块、总线和逻辑动作等的透明化监视分析，及时发现保护装置的安全隐患，确保继电保护装置能在系统发生故障时快速切除故障，从而保证系统的安全稳定运行。

1 G格式介绍

G格式是一种基于标记的遵循XML标准的纯文本语言^[17]，和SVG之间可以相互转换，适用于描述电力系统图形和电力应用系统间图形交换，支持高效存取电力图形和模型关联数据，以及不同系统厂家和电力企业之间电力图形与模型关联数据的交换。目前，由中国牵头制定的电力系统图形描述规范（CIM/G规范）已成为中国电力行业标准（标准号DL/T 1230—2016），该标准是在IEC 61970—453基于公共信息模型（CIM）的图形交换基础上发展起来并且应用于电力系统的一种新型的图形描述语言^[18-19]。

电力系统图形描述规范采用CIM/G语言作为图形存储和交换的标准，能够以图形方式表达电力设备和电网的相关信息，定义CIM中电力设备的图形绘制和存储方式^[20]，解决基于SVG交换规范描述效率低的缺陷。采用G格式进行保护逻辑可视化展示，能够从根本上解决不同厂家设备间的兼容性和互操作性、保护程序和保护逻辑图不匹配等问题。

G格式的元素主要由基本绘图元素组成图元模板的电网图形元素，如直线、折线、矩形、椭圆和多边形等。G格式中每个图元均有一个索引号，可与中间节点文件中的通道，按通道号进行映射，以实现G格式描述图形与数据的关联。

2 系统总体设计方案

基于G格式的保护逻辑可视化展示系统总体设计方案如图1所示，继电保护装置在收到召唤触发命令或在扰动/故障生成录波的同时自动生成一个G语言自描述文件，将中间文件数据进行组态处理，建立逻辑图与中间状态数据的对应关系，综合应用服务器采用通用的G语言解析工具对其保护逻辑图进行解析，并结合内部各级监视点的数据进行可视化展示与回放，从而实现脱离保护源程序对其逻辑进行离

线监测分析。综合应用服务器可将监测数据文件及分析结果上送至调控中心主站。

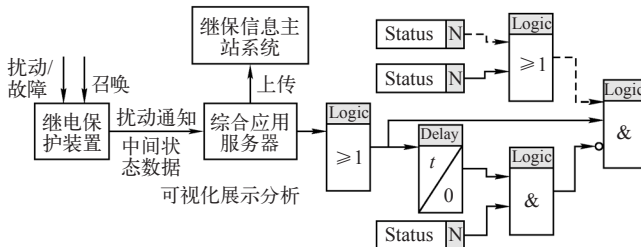


图1 可视化展示系统实现图

Fig. 1 Visual display system implementation diagram

3 基于G格式的保护装置设计方案研究

3.1 总体方案分析

目前，继电保护装置已具备导出中间节点文件功能，中间节点文件名与Comtrade格式文件一致，后缀分为.mid文件（中间文件，采用Comtrade格式的dat文件）、.des文件（描述文件，采用Comtrade格式的cfg文件），传输方式采用DL/T 860的文件服务，保护动作信息与该次故障的保护录波、中间节点信息相关联。但目前定义的中间节点文件仅包含数据源，没有保护逻辑图以及其与中间节点数据的关联关系。如果实现远端保护逻辑可视化展示，保护装置仅提供中间节点文件是无法实现的，而且保护装置种类繁多，又涉及不同厂家保护原理和逻辑的不同，只有保护装置研发人员才能提供保护逻辑图。

本文提出一种实现可视化展示的保护装置实现方案，即保护装置动作或起动后产生动作记录文件，包括暂态录波数据、中间节点数据和单独的内部逻辑自描述G格式图形文件（.g），如图2所示。G格式图形文件名称与Comtrade文件名称相同，综合应用服务器将后缀为.g文件调取，分析故障时可以选择是否进行波形和可视化逻辑同步回放。

3.2 基于G格式的保护逻辑图抽象实现

将保护逻辑图的各节点元素均设计为基本元件模板，实际图形中应用时引用模板中的元

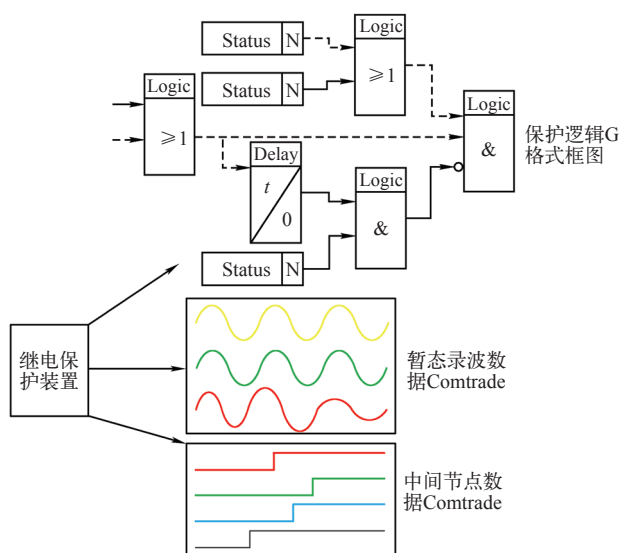


图2 保护装置输出数据示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the output data of the protection device

件，每个元件都有Id和KeyId属性，初始值均为-1。Id用于描述实例化的元件在图形中的序号；KeyId用于关联中间节点文件数据、传递数值和判断结果。

按照文献[13]所述构建Id和KeyId的方法，以图3部分保护逻辑图为例，说明利用G格式抽象的结果。

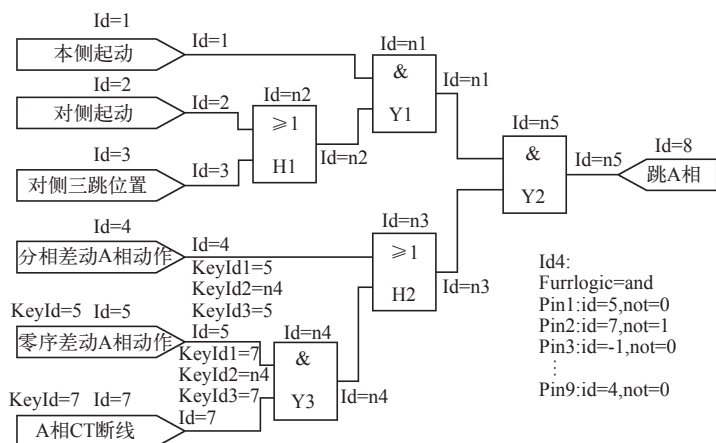


图3 可视化逻辑G格式逻辑关系示意图

Fig. 3 G format logic relation based on visual logic diagram

4 基于G格式的保护逻辑可视化展示及回放实现研究

保护装置动作时同时生成故障录波、G格式和保护逻辑中间节点文件，三者所记录的时

间段及采样点数相同，利用综合应用服务器将保护逻辑可视化展示功能嵌入故障录波工具中，通过解析保护逻辑图形文件，关联保护逻辑中间节点状态数据，结合故障录波文件，以时间为线索，实现故障过程中各保护功能元件的动作逻辑及先后顺序的可视化展示与回放，上述实现框图如图4所示。

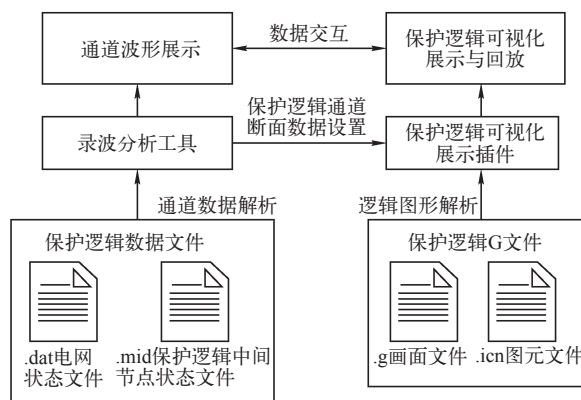


图4 可视化逻辑图展示与回放实现框图

Fig. 4 Visual logic diagram display and playback implementation box diagram

基于G格式的保护逻辑可视化实现步骤如下：

1) 保护装置启动或动作后，将其内部的保护逻辑生成基于G格式描述的保护逻辑图形文件。

2) 解析基于G格式描述的保护逻辑图形文件及图元文件，绘制出保护逻辑图的初始画面。保护逻辑图形中图元之间连接线的状态由左端图元的状态决定。左端图元的状态为1时，连接线颜色为红色；左端图元的状态为0时，连接线颜色为黑色。

3) 保护装置生成保护逻辑图形文件的同时，还会生成保护逻辑中间节点状态的数据文件，解析该数据文件，获取保护动作过程中保护逻辑所有中间节点在各个采样时刻的断面数据，采用波形曲线的方式展示，并根据其时间范围生成时间游标，该时间游标可被定位至任一采样时刻。

4) 建立保护逻辑中间节点通道数据与保护逻辑图形中各图元的关联关系，将节点通道数

据传递给相应的节点图元,根据图元内部定义的方式实时绘制其动态效果,从而实现以图形化的方式展示保护逻辑动作情况。

5) 保护逻辑图共用波形曲线的时间游标,拖动时间游标至某采样时刻,便可将该时刻的保护逻辑中间节点的断面数据在保护逻辑图上展示,从而回放故障过程中保护装置保护逻辑的动作情况。

此外,保护逻辑图形与波形还具有数据交互验证功能。将鼠标放在保护逻辑图某元件,可弹出该元件关联的通道ID及名称等信息;鼠标左键单击某元件,可自动定位到该元件关联的通道波形,方便查看波形曲线。

5 可视化展示与回放实现算例分析

基于本文方案,所开发的保护逻辑可视化展示工具实际应用效果如图5所示。

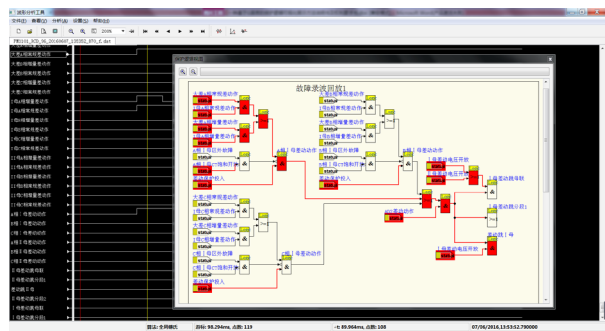


图5 保护逻辑可视化展示工具实际应用截图

Fig. 5 Screenshot of protection logic visual display tools

移动波形曲线时间游标,可将任一时刻的保护逻辑中间节点断面数据在保护逻辑图形上展示;通过手动拖动时间游标或设置为自动播放模式,可回放保护装置保护逻辑的动作过程,如图6所示。

保护逻辑图形还可通过鼠标与波形曲线进行交互,即通过将鼠标悬停到保护逻辑图形某保护逻辑元件上,可弹出当前元件的通道ID及通道名称等信息;鼠标左键单击某元件,可在波形展示窗口上将相应通道的波形设置为选中状态,如图7所示。

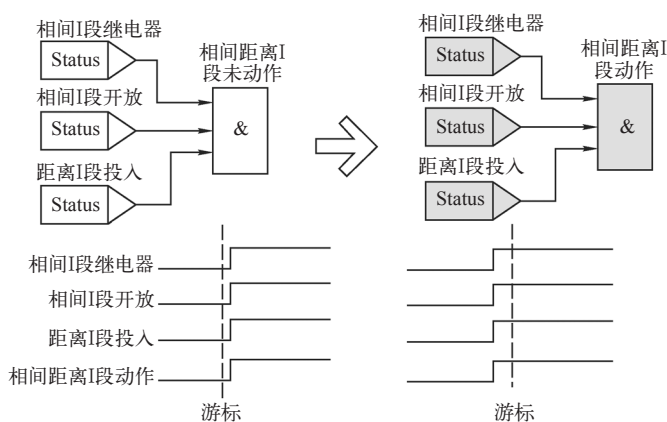


图6 保护逻辑可视化回放控制示意图

Fig. 6 Control diagram of protection logic visual playback

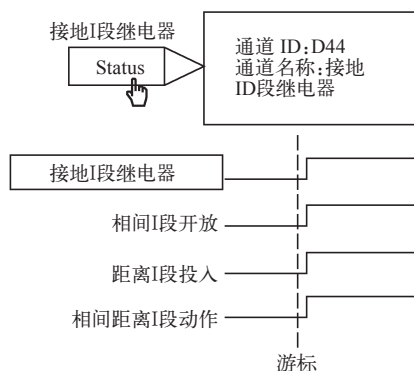


图7 保护逻辑图形交互图

Fig. 7 Interactive diagram of protection logic graph

6 结束语

本文提出一种基于G格式的保护逻辑可视化系统展示方案,实现了对保护装置内部的元件、模块、总线和逻辑动作行为等的透明化监视分析,能够及时发现保护装置的安全隐患,提高继电保护装置的可靠性,确保继电保护装置在系统发生故障时可靠动作,保障电力系统安全稳定运行。

目前,该方案已在现有保护装置和综合应用服务器中成功应用,并在国内某变电站成功挂网,其有效性得到了充分验证。

参考文献

- [1] 李仲青,胡炎,等.基于录波数据的保护安全裕度评估方法[J].电网技术,2015,39(4):1109-1114.
- [2] 李芷筠,戴志辉,等.基于多级模糊综合评估的

- 继电保护状态检修研究[J]. 电气应用, 2015, 34(20): 27-31.
- [3] 李仲青, 高翔, 等. 考虑继电保护隐性故障的风险评估技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(增刊): 29-34.
- [4] 赵冬梅, 梁伟宸, 等. 基于变权重模糊综合评判法的继电保护状态评估[J]. 电气应用, 2015, 34(17): 70-75.
- [5] 焦邵麟, 李一泉, 等. 继电保护动作评价方法及体系[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(增刊): 132-136.
- [6] 刘琨, 黄明辉, 等. 智能变电站故障信息模型与继电保护在线监测方法[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(2): 210-215.
- [7] 陈德辉, 杨志宏, 等. 基于IEC61850的继电保护功能时序可视化研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(22): 182-185.
- [8] 邱金辉, 钱海, 等. 基于PFIS的继电保护常态特性在线监视与隐性故障诊断[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 145-148.
- [9] 刘宏君, 李锋, 等. 基于SVG图形的继电保护故障分析技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 140-143.
- [10] 朱宁, 吴崇昊, 等. 一种继电保护应用软件仿真验证系统的设计[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(6): 140-143.
- [11] 叶远波, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 148-152.
- [12] 王玉财, 邵李斌, 等. 考虑动态故障特性的全数字化保护系统可靠性分析[J]. 电气应用, 2019, 35(10): 51-59.
- [13] 谢坤, 余华武, 等. 一种兼容Comtrade格式用于间隔层故障诊断的新型智能终端[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(4): 111-114.
- [14] 李宝伟, 倪传坤, 等. 新一代智能变电站继电保护故障可视化分析方案[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 73-77.
- [15] 马凯, 刘俊红, 等. 智能变电站信息一体化平台高级应用[J]. 南方电网技术, 2016, 10(1): 42-47.
- [16] MANASSERO G, PELLINI E L, SENGHER E C, et al. IEC 61850-based systems-functional testing and interoperability issues[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2013, 9(3): 1436-1444.
- [17] 胡红兵, 郑洁, 等. 基于可扩展置标语言的变电站可视化防误规则[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(24): 54-57.
- [18] 李伟, 辛耀中, 等. 基于CIM/G的电网图形维护与共享方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 42-46.
- [19] 王民昆, 韩晓, 等. 基于CIM/G的电网调度控制系统Web图形展示技术[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(6): 1-6.
- [20] 笃峻, 胡绍谦, 等. 数据源端维护技术在继电保护信息系统中的应用[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(3): 162-168.

作者简介



王旭东

王旭东(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统规划、配电网可靠性等。

王雷涛(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统保护与控制、配电网技术等。

(收稿日期: 2019-12-17) **EA**