

智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现

笃峻,叶翔,葛立青,杨贵,周奕帆

(南京南瑞继保电气有限公司,江苏 南京 211100)

摘要: 随着智能变电站的快速推广,对站内继电保护设备的运维要求越来越高。传统的定期检修的运维模式已经无法满足供电高可靠性的要求,基于在线运维系统实现状态监测与检修是提高运维水平的关键。在此背景下,重点介绍了如何在智能变电站技术条件下构建和实现继电保护在线运维系统,并对与继电保护密切相关的保护设备状态监测、二次回路状态监测、辅助检修操作等关键技术进行了深入的介绍和探讨。工程应用实例结果说明了所提在线运维系统的实现方法是可行的。

关键词: 智能变电站; 状态检修; 状态监测; 二次回路; 辅助检修; 继电保护

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.07.025

0 引言

变电站继电保护设备对保障电力系统的安全可靠运行起着决定性作用。在智能变电站技术条件下,继电保护设备大量采用数字化、网络化、智能化技术,使得传统的依赖人工定检的运维方式更加复杂和困难,实现状态检修已成为发展趋势。借助智能设备及运维系统自身的状态采集及评估能力,为继电保护运维人员提供检修决策的依据,实现按设备运行工况进行检修,能够准确定位故障,缩短停电检修时间,提高供电可靠性。

近年来,智能变电站的应用和推广为实现继电保护设备的状态监测与检修创造了良好的技术条件。继电保护设备的智能化程度不断提高,对其自身状态及性能数据的收集和监视能力越来越强;全站遵循 IEC61850 规范进行建模和通信,对继电保护设备状态数据的分析和处理更加方便和快捷;变电站过程层组网取代了传统的二次电缆连接,对二次回路的状态监测得以实现。关于继电保护设备运维问题的研究已有很多。文献[1]从继电保护专业的角度来讨论继电保护设备状态监测的对象和内容。文献[2]通过研究继电保护状态评价方法和预警机制给出了继电保护状态评价系统的设计方案。文献[3]则通过建立数学模型计算继电保护各状态的概率来评估状态检修的可靠性对继电保护可用性的影响。但专门针对智能变电站技术条件下继电保护状态监测与检修进行论述的文献较少,特别是从工程应用的角度,全面考虑继电保护设备相关的各技术环节,综合论述建模通信、系统架构及功能实现的文献几乎没有。

本文针对新的技术条件设计和开发的智能变电站继电保护在线运维系统(以下简称运维系统),主

要实现对继电保护设备状态的监测和检修功能。监测功能分为对继电保护及相关设备的状态监测及对继电保护二次回路的状态监测。智能变电站采用光纤组网代替传统的二次接线,不可见的抽象的网络报文及软信号令运维人员难以适应。运维系统必须能够为二次回路提供形象的图形化展示,对复杂网络中发生的通信故障提供定位及告警,辅助运维人员进行故障的排查。另外,继电保护设备数字化、网络化后带来的另一个问题是增加了检修的复杂性和不确定性,传统的依靠投退检修压板来确保设备投入与退出的方法,在网络通信条件下不再适用。运维系统必须能够为软硬压板的配置及状态提供形象的图形化展示,并通过控制运行态与检修态之间的切换辅助运维人员完成检修操作。通过上述的运维系统,运维人员能够全面掌握继电保护设备及二次回路的运行工况,能够及时准确地发现设备异常、网络故障、配置错误等问题,并能辅助运维人员进行检修操作。

1 继电保护及相关设备的状态监测

传统变电站的继电保护设备运行时主要上送3类信息:装置告警信息、保护动作信息及保护状态信息。其中装置告警信息可以初步反映继电保护设备本身的一些运行工况,包括设备工作环境自检、设备硬件运行工况、设备软件运行工况、通信状况(包括设备内部通信状况和设备间的通信状况)、外部回路自检等。但是传统的装置告警信息只能反映设备“正常”或“异常”的状态量信息,无法辨识设备状态的变化过程并起到预警作用。所以要求继电保护设备能够支持连续监测关键的模拟量信息,并能通过通信方式向监测系统输出这些模拟量。监测系统通过长期记录这些模拟量,可发现设备状态的变化规律,并结合设备损坏时的状态特征,实现基于这些状态

信息的状态监测与检修。目前,在国家电网颁布的《IEC61850 工程继电保护应用模型》企业标准中已明确定义了 3 个用于监测继电保护设备状态的模拟量,包括温度监测、通道光强监测和电源电压监测,并按照 IEC61850 规范对这些设备状态信息进行了建模。下面以通道光强监测为例,介绍实现在线状态监测的方法。

首先,采用扩充的逻辑节点 SCLI 对通道光强监测进行 IEC61850 建模,见表 1。

表 1 逻辑节点 SCLI 的属性
Table 1 Attributes of LN SCLI

信息	属性名	属性类型	中文含义
状态信息	Alm	SPS	告警
	Wrm	SPS	预警
测量信息	LigIntes	MV	光强
定值信息	LigAlmSpt	ASG	告警定值
	LigWrnSpt	ASG	预警定值

运维系统通过与继电保护设备进行 IEC61850 通信,可以在线采集到装置通道光强的数值 LigIntes,在线监测到装置通道光强越限的告警信号 Alm 和预警信号 Wrm、在线设置装置通道光强的告警定值 LigAlmSpt 和预警定值 LigWrnSpt。通过以上通道光强监测的 IEC61850 模型,运维系统可以建立起通道光强的状态监测模型,见图 1。

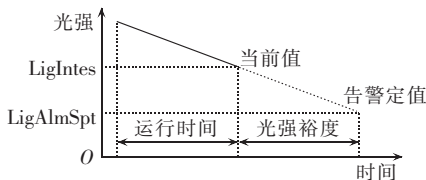


图 1 光强状态监测模型

Fig.1 Status monitoring model of light intensity

如图 1 所示,通道光强一般会随着设备的老化不断下降(图 1 已简化为线性模型,实际应用中可以根据厂家提供的曲线模拟^[4])。运维系统通过采集通道光强的当前值 LigIntes 及预先设置的告警定值 LigAlmSpt 计算出光强裕度:

$$\lambda_{\text{lig}} = \frac{\text{LigAlmSpt} - \text{LigIntes}}{\text{LigAlmSpt}} \times 100\%$$

并可以折算成通道光强能正常工作的剩余时间,从而预测出通道损坏的大致时间点,提前安排通道检修。

另外,运维系统跨接变电站的站控层和过程层,除了可以采集到上述继电保护设备通过制造报文规范(MMS)报文直接上送的状态监测信息外,还可以采集到部署在过程层的合并单元和智能终端通过面向通用对象的变电站事件(GOOSE)、采样值(SV)报文上送的状态监测信息。这样运维系统基本可以覆

盖对继电保护相关的所有设备的状态监测信息的采集和监测。

2 继电保护二次回路的状态监测

智能变电站的继电保护二次回路采用光纤组网代替了传统变电站的电缆连接,采用数字信号传输代替了传统变电站的模拟信号传输。继电保护二次回路采用光纤组网进行数字信号传输的优势在于,可以通过数字信号的交互来对通信链路的状态及通信内容的正确性进行监测和校验。这使得对继电保护二次回路的状态监测成为可能,改变了以往传统变电站必须对电缆通信进行定检的运维方式^[5]。继电保护二次回路的状态监测包括物理链路状态监测和逻辑链路状态监测。

2.1 物理链路状态建模

物理链路状态监测实现对智能变电站通信网络(最重要的是过程层网络,也包括站控层及间隔层网络)各个通信环节状态的监测和评估。要实现物理链路状态监测,首先要能清晰地描述物理链路状态的模型^[6]。物理链路上涉及很多设备对象,如保护装置、合并单元、智能终端、交换机等,设备对象之间的通信又经过很多中间环节,如板卡、端口、线缆等。针对这些通信对象,第 2 版 IEC61850 规范中给出了统一的建模方法。按照该建模方法,给出通信对象的模型样例如下:

```
<SubNetwork name="Subnet_MMS" type="8-MMS">
  <ConnectedAP iedName="TEMPLATE" apName="S1">
    <PhysConn type="Connection">
      <P type="Port">1-A</P>
      <P type="Plug">RJ45</P>
      <P type="Type">100BaseT</P>
      <P type="Cable">1</P>
    </PhysConn>
  </ConnectedAP>
</SubNetwork>
```

其中,<PhysConn type="Connection">元素描述一个物理连接端口,可选的属性值包括"Connection"和"RedConn", "Connection"描述通信连接的第一个物理连接端口, "RedConn"描述通信连接的其他冗余的物理连接端口;<P type="Port">元素描述物理端口号,如 1-A;<P type="Plug">元素描述物理端口插头类型,如 ST、SC、LC、FC、MTRJ、RJ45;<P type="Type">元素描述物理端口类型,如 FOC、Radio、100BaseT;<P type="Cable">元素描述物理端口之间的连接关系。<P type="Port">元素最为关键,它唯一标识了一个通信连接的物理端口,但是如何描述和引用物理端口号在第 2 版 IEC61850 规范中并没有给出明确的规定,这给笔者预留了一定的扩展空间。目前,在

《IEC61850 工程继电保护应用模型》中已明确规定将物理端口号描述为“板卡号-端口号”,从而引入了对板卡信息的描述。同时,该企业标准还采用在“ExtRef”元素的“intAddr”属性中增加物理端口号描述的方式规定了对物理端口的引用方法,从而建立起物理通信链路到逻辑通信链路的关联,如下例中的 intAddr 属性中引入了上述 1-A 物理端口:

```
<ExtRef daName="stVal" doName="Pos" ...
    intAddr="1-A;GOLD/GOINGGIO1.DPCSO1.stVal"
/>
```

这样在配置虚端子连接时,配置工具需要根据物理端口号的描述提示用户选择相应的物理端口。另外,<P type="Cable">元素描述物理端口之间的连接关系,其物理语义是如果 2 个物理端口元素具有相同的 Cable 属性描述,则认为这 2 个物理端口存在相互连接关系。通过 Cable 属性,运维系统可以快速地构建整个通信网络物理链路的拓扑连接关系,从而可以实现对物理链路上各个通信环节运行状态的监测和评估。

为了便于对物理链路运行状态进行监视,第 2 版 IEC61850 规范中还引入了一个新的逻辑节点:物理通信通道监视(LCCH),该逻辑节点较为完整地描述和反映了物理链路的状态模型,运维系统可以通过逻辑节点属性 LCCH.ChLiv.stVal 采集物理通道的通断状态。逻辑节点 LCCH 可以用来描述保护装置、合并单元、智能终端等智能装置的物理链路状态模型,但对于像交换机这样的通信设备,该模型还不够完善,如交换机多端口的统计信息无法用该模型来描述^[7]。为此,笔者扩展了一个新的逻辑节点:交换机端口状态监视(LPST),来专门描述交换机端口的状态模型,见表 2。

表 2 逻辑节点 LPST 的属性
Table 2 Attributes of LN LPST

信息	属性名	属性类型	中文含义
测量 信息	IfIndex	ING	端口索引
	IfDescr	STG	端口描述
	IfSpeed	MV	端口速率(Mbit/s)
	IfStatus	SPS	端口状态
	IfInOcts	MV	输入端口字节数
	IfInUniPs	MV	输入端口单播帧数
	IfInMulPs	MV	输入端口多播帧数
	IfInBroPs	MV	输入端口广播帧数
	IfOutOcts	MV	输出端口字节数
	IfOutUniPs	MV	输出端口单播帧数
	IfOutMulPs	MV	输出端口多播帧数
	IfOutBroPs	MV	输出端口广播帧数
	InRate	MV	输入端口实时速率
	OutRate	MV	输出端口实时速率

由表 2 可见,逻辑节点 LPST 能够较为完整地描述交换机各个端口的运行状态及相关的统计数据^[8]。

对于支持上述 IEC61850 建模的交换机,运维系统与交换机采用 IEC61850 规约通信,可以通过逻辑节点属性 LPST.IfStatus.stVal 采集交换机各个端口的通信状态。对于不支持上述 IEC61850 建模的交换机,运维系统与交换机采用简单网络管理协议(SNMP)通信,同样可以采集到表 2 中的相关数据。上文提到过运维系统需要跨越变电站的站控层和过程层,所以运维系统可以监测到位于变电站各层网络的交换机。

综上所述,运维系统利用 PhysConn 元素可以静态获得物理链路上各个通信对象物理端口的配置信息及物理端口之间的连接关系;利用 LCCH、LPST 这 2 个新引入的逻辑节点可以动态获得智能装置及交换机物理链路的通信状态,基本可以满足对物理链路状态的建模需求。

2.2 物理链路状态监测

运维系统通过智能装置或交换机主动上送的告警信号,能够快速捕捉到物理链路状态的异常信息。但是对于网络通信而言,大多数情况下发生通信告警的设备往往并不是真正发生通信故障的设备,所以常常需要在整个物理链路上搜索和定位故障设备。传统的做法就是人工排查物理链路,逐步定位到故障设备。对于智能变电站庞大复杂的通信网络,这种人工排查的方法费时费力,大幅延长了故障恢复时间。更为关键的问题是依靠这种人工排查的方法不一定能够消除通信故障,有时网线连接完好,网卡指示灯正常,但是仍有可能收不到报文,报网络通信异常。此时运维系统可以利用故障诊断功能来自动识别和定位通信网络中可能存在的故障设备。如前所述,通过 PhysConn 元素的 Cable 属性,运维系统可以快速地构建整个通信网络的拓扑连接关系。同时,通过 IEC61850 通信,运维系统可以搜集到所有智能装置及交换机主动上送的物理链路通信异常信号。基于静态配置的拓扑连接关系和动态获取的通信异常信号,辅助一定的分析算法,运维系统就可以诊断并定位到通信网络中的故障设备,并给出相关的检修建议。以对 GOOSE 通信的监视为例,GOOSE 通信采用一发多收的机制,一般对 GOOSE 报文的接收方进行监视^[9]。如果接收方没有接收到 GOOSE 报文,则判断 GOOSE 链路发生了异常,但是无法定位具体是发送方、物理链路或者接收方哪一个环节发生了故障,此时就需要运维系统根据收到的多方面的信号作出综合分析和判断。下面以一个线路间隔中保护装置与智能终端之间的 GOOSE 通信为例来详细描述运维系统如何辅助用户判断和定位具体的故障点。

按照第 2.1 节介绍的建模方法,建立保护装

置 PL101、测控装置 CL101、智能终端 IL101 及交换机之间的 GOOSE 通信模型。各装置的端口及端口之间的拓扑连接关系如图 2 所示。GOOSE 发送方为智能终端 IL101,GOOSE 发送控制块定义为“4-A:IL101RPIT/LLN0\$GO\$gocb0”,其中“4-A”标识智能终端 IL101 的 GOOSE 发送端口。GOOSE 接收方分别为保护装置 PL101 和测控装置 CL101,GOOSE 接收控制块分别定义为“1-A:IL101RPIT/LLN0\$GO\$gocb0”和“2-A:IL101RPIT/LLN0\$GO\$gocb0”,其中“1-A”和“2-A”分别标识保护装置 PL101 和测控装置 CL101 的 GOOSE 接收端口。各端口的运行状态可以通过 IEC61850 报告方式上送。按照第 2.1 节介绍的建模方法,反映各端口运行状态的信号见表 3。

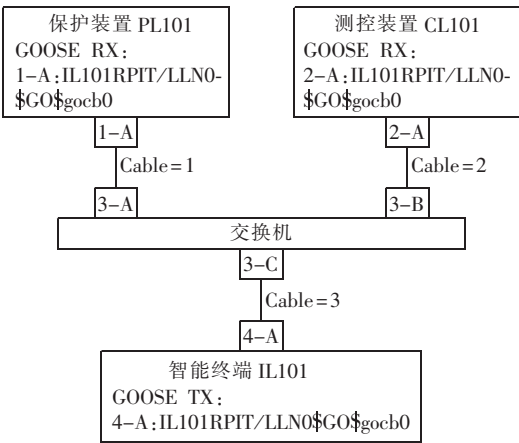


图 2 GOOSE 通信建模示意图
Fig.2 Schematic diagram of GOOSE communication model

表 3 各端口运行状态信号及状态值
Table 3 Operational signal and status for different ports

端口	运行状态信号	状态值
1-A	LCCH.ChLiv.stVal	true/false
2-A	LCCH.ChLiv.stVal	true/false
3-A	LPST.IfStatus.stVal	true/false
3-B	LPST.IfStatus.stVal	true/false
3-C	LPST.IfStatus.stVal	true/false
4-A	LCCH.ChLiv.stVal	true/false

当运维系统接收到端口 1-A 发生的 GOOSE 断链信号后,可以按照如下步骤逐步分析和推理,辅助用户判断和定位具体的故障点。

步骤 1:根据 GOOSE 控制块的发送接收关系,系统找到 GOOSE 断链信息的发送方(智能终端 IL101)和所有接收方(保护装置 PL101 和测控装置 CL101)。

步骤 2:根据端口之间的拓扑连接关系,系统获得(1-A)-(3-A)-(3-C)-(4-A)的 GOOSE 通信链路。

步骤 3:系统首先扫描 GOOSE 通信链路上所有

端口的状态,如果存在端口的运行状态信号报 false,则提示用户检查这些端口及连接的网线,可以初步排除一些显著故障如网线断开;如果端口扫描没有发现异常并且人工检查都正常,则继续进行下面的步骤。

步骤 4:系统检查测控装置 CL101 端口 2-A 是否发生来自同一个 GOOSE 控制块的 GOOSE 断链信号。如果端口 2-A 没有发生过该信号,说明端口 2-A 接收同一个 GOOSE 发送方发送的 GOOSE 报文正常,在 GOOSE 发送方向上没有问题,提示用户检查 GOOSE 接收方保护装置 PL101;如果端口 2-A 也发生过同一个 GOOSE 断链信号,说明在 GOOSE 发送方向上存在问题的可能性较大,提示用户检查 GOOSE 发送方向上的交换机和智能终端 IL101,然后继续进行下面的步骤。

步骤 5:系统检查交换机,可以根据交换机端口的运行状态进行综合判断,例如如果端口 3-A、3-B、3-C 的运行状态信号同时报 false,那么基本可以判定交换机有故障,提示用户检查交换机。

步骤 6:系统检查智能终端 IL101,如果端口 4-A 的运行状态没有问题,那么可能就需要提示用户进一步检查 GOOSE 通信的配置是否正确。

通过以上步骤的逐步分析和推理,运维系统基本可以判断和定位具体的故障点,至少可以给出一份列出多种故障可能性的分析结果,通过有限的人工检查和判断即可完成故障定位。在现实工程中,GOOSE 通信网络的结构非常复杂,一个交换机上的通信节点非常多,运维系统可能还需要结合交换机端口虚拟局域网(VLAN)的划分情况,将分析限制在特定的 VLAN 中,以提高分析的效率和准确率。

2.3 逻辑链路状态监测

逻辑链路状态监测实现对智能变电站过程层网络报文的在线解析和监测,其目的是有效保证过程层网络通信内容的正确性和有效性。正确性是检验通信报文格式及内容是否正确,检验内容包括报文格式是否符合规范,报文中一些计数器的状态是否正确、报文是否重复等。有效性是检验通信内容的工程配置与预期配置是否一致,如果不一致,实际运行时可能会带来诸多问题,如信号丢失、采样错误、出错告警等,严重的可能会影响继电保护设备的正常运行。目前,智能变电站存在大量的 GOOSE 和 SV 工程配置工作,配置出错在所难免,一旦出错,依靠人工检查很难及时发现;即使发现出错,也很难快速定位到错误,传统的做法只能通过人工抓取网络报文,与工程配置进行人工比对来定位到错误,排查的效率非常低;另外,GOOSE 和 SV 的配置经常会改变,这种事后查错的机制也无法满足高可靠性的

要求。运维系统完全可以代替这种人工排查的过程,通过定时捕获并解析网络报文,在线分析报文格式和内容的正确性,并抽取网络报文中的配置数据部分,自动与变电站配置描述(SCD)文件中的工程配置进行比对,一旦发现报文错误或配置错误,可以及时地提示用户纠正,起到良好的事前预防作用。针对 GOOSE、SV 报文,通过在线分析,运维系统实现的在线检查内容在文献[10]中已经有相关描述,包括报文格式出错、报文计数出错、报文断链、报文与配置不一致等错误,此处不再赘述。

3 辅助检修操作

运维系统除了实现对继电保护设备及二次回路的状态监测和评估外,还应具备辅助检修操作的功能,该功能对于智能变电站继电保护的日常检修工作非常实用。检修继电保护设备需要有效隔离被检修设备,防止其误发信号造成其他继电保护设备的误动。智能变电站继电保护二次回路用光纤组网代替了电缆连接,由直观具象的二次接线转变为不可见的抽象的网络报文。传统的压板除了保留检修硬压板外,还增加了回路软压板(包括功能出口软压板和链路接收软压板),采用了软硬结合的信号隔离机制,通过遥控投退的软压板增加了检修隔离的复杂性和不确定性^[11]。运维系统通过识别继电保护设备自身的检修硬压板以及回路软压板的配置关系,可以为运维人员提供一种清晰的、可视化的继电保护设备的检修隔离视图,见图 3。

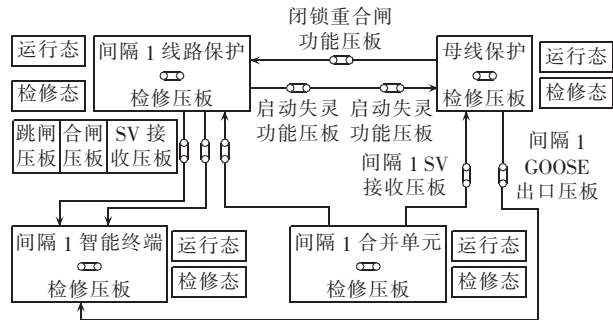


图 3 继电保护设备的检修隔离示意图
Fig.3 Isolation status display of relay protection maintenance

图 3 中继电保护设备之间二次回路的压板配合关系一目了然,并且可以实时显示各回路压板的运行状态。运维系统采用类似程序化控制的方式预先定义好继电保护设备的运行态和检修态,每种态对应一组压板的状态序列,执行态与态之间的切换即遥控投退一组压板。如果需要检修某台保护设备,只需点击图 3 中所示的检修态按钮,运维系统即可自动完成与本次检修相关的所有压板的遥控投退操

作,实现被检修设备的有效隔离,充分保证了检修的安全性和可靠性。而运维人员只需通过图形核对压板的正确状态,无需了解压板遥控投退的细节和过程,极大地方便了对继电保护设备的检修操作。

4 继电保护在线运维系统工程应用

2013 年投运的 220 kV 北京未来城及 110 kV 武汉未来城新一代智能变电站中,笔者参与研发的继电保护在线运维系统投入应用,其系统架构如图 4 所示。

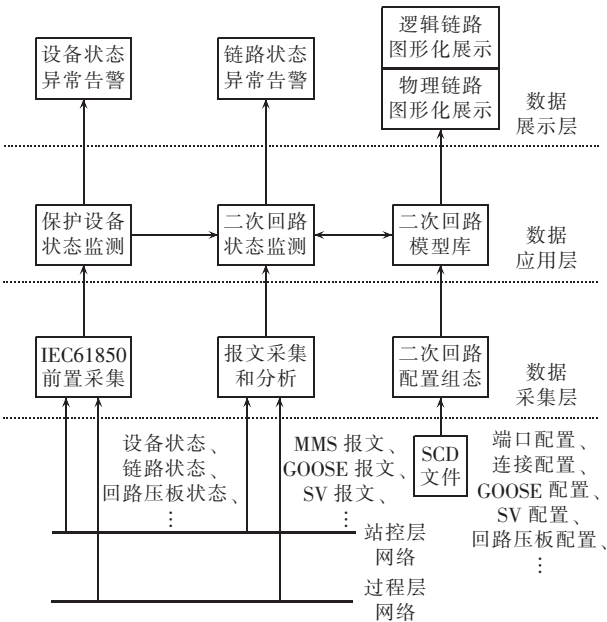


图 4 继电保护在线运维系统架构图
Fig.4 Architecture of online maintenance system for relay protections

图 4 中,运维系统通过导入变电站的 SCD 文件,可以获取全站的配置数据,包括 IEC61850 模型、GOOSE/SV 配置、端口配置、压板配置等,并存入二次回路模型库。运维系统跨接变电站的站控层网络和过程层网络,可以采集到位于各层网络的设备状态信息。运维系统通过 IEC61850 通信可以采集到设备状态、链路状态、压板状态等信息,用于实现继电保护及相关设备的状态监测;通过报文采集,可以抓取 MMS、GOOSE、SV 等报文,用于实现二次回路的状态监测及在线校验。

图 4 中,运维系统分为数据采集、数据应用、数据展示 3 层,每层包含的功能模块及其主要功能描述如下。

(1)数据采集层。

a. IEC61850 前置采集模块。该模块的主要功能为采集包括保护装置、智能终端、合并单元、交换机等设备的状态信号,采集 GOOSE、SV 链路的断链信号,采集保护功能压板、通信发送/接收压板状态。

b. 报文采集和分析模块。该模块的主要功能为在线捕获 MMS、GOOSE、SV 报文,在线解析报文格式和内容的错误和在线检查报文配置与 SCD 文件的一致性。

c. 二次回路配置组态模块。该模块的主要功能为导入 SCD 文件,读取端口、连接、GOOSE、SV 等配置信息和配置断链信号、GOOSE/SV 控制块、端口、回路压板之间的关联关系。

(2) 数据应用层。

a. 保护设备状态监测模块。该模块的主要功能为处理 IEC61850 前置采集模块上送的设备状态信号,通过越限判别、趋势分析、状态评估、同类对比等综合分析,实时获取各设备的运行状态并判断是否发生异常需要检修。

b. 二次回路状态监测模块。该模块的主要功能为处理报文采集和分析模块上送的报文分析数据,通过对设备状态、端口状态、链路状态、报文传输状态等数据进行综合分析,实时获取二次回路各物理链路及逻辑链路的状况。

c. 二次回路模型库。二次回路模型库包含物理链路模型和逻辑链路模型,物理链路模型包含智能设备、交换机及其包含的物理端口及物理连接,逻辑链路模型包含智能设备、逻辑链路及其包含的逻辑信号。

(3) 数据展示层。

a. 设备状态异常告警模块。该模块的主要功能为通过告警窗、画面闪烁等手段提示用户设备的异常状态。

b. 链路状态异常告警模块。该模块的主要功能为通过告警窗、画面闪烁等手段提示用户链路的异常状态。

c. 物理链路图形化模块。该模块的主要功能为以网络结构图的方式展示各智能设备及交换机之间的物理连接关系;当物理链路出现异常时,在画面上以不同颜色或闪烁的方式提示用户。

d. 逻辑链路图形化模块。该模块的主要功能为以间隔为单位,图形化展示间隔内各智能设备之间的逻辑链路关系;当逻辑链路出现异常时,在画面上以不同颜色或闪烁的方式提示用户,双击该逻辑链路可展示该链路中传输的逻辑信号。

考虑到运维系统包含的 IEC61850 数据采集及处理、告警、图形化展示等功能模块可以和后台监控系统共用,以及国网一体化监控的要求,在 220 kV 北京未来城及 110 kV 武汉未来城新一代智能变电站中,运维系统作为后台监控系统的一个子系统部署运行^[12]。

5 结语

继电保护在线运维系统实现了对智能变电站继电保护设备及二次回路状态的状态监测和预警,为继电保护设备的状态监测与检修奠定了基础。本文介绍了运维系统的主要功能,讨论了相关建模、通信及架构等关键技术的实现,并给出了工程应用案例,对运维系统的进一步推广应用具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 袁浩,屈刚,庄卫金,等. 电网二次设备状态监测内容探讨[J]. 电力系统自动化,2014,38(12):100-106.
YUAN Hao,QU Gang,ZHUANG Weijin,et al. Discussion on condition monitoring contents of secondary equipment in power grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(12):100-106.
- [2] 王跃强,廖华兴,袁晓青,等. 基于保信系统的继电保护状态评价系统的开发与应用[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(8):134-139.
WANG Yueqiang,LIAO Huaxing,YUAN Xiaoping,et al. Development and application of relay protection condition evaluation system based on fault information processing system[J]. Power System Protection and Control,2014,42(8):134-139.
- [3] 孙思培,徐习东. 继电保护装置状态检修的可靠性研究[J]. 机电工程,2012,29(4):450-453.
SUN Sipei,XU Xidong. Reliability study on condition-based maintenance of protective relays[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,29(4):450-453.
- [4] 张沛超,高翔. 全数字化保护系统的可靠性及元件重要度分析[J]. 中国电机工程学报,2008,28(1):77-82.
ZHANG Peichao,GAO Xiang. Analysis of reliability and component importance for all-digital protective systems[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(1):77-82.
- [5] 葛遗莉,葛慧,鲁大勇. 数字化变电站设计、运行中面临的问题[J]. 电力自动化设备,2010,30(12):113-117.
GE Yili,GE Hui,LU Dayong. Problems in design and operation of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(12):113-117.
- [6] 朱林,王鹏远,石东源. 智能变电站通信网络状态监测信息模型及配置描述[J]. 电力系统自动化,2013,37(11):87-92.
ZHU Lin,WANG Pengyuan,SHI Dongyuan. Status monitoring information model and configuration description of communication network in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(11):87-92.
- [7] 李锋,谢俊,赵银凤. 基于 IEC61850 的智能变电站交换机 IED 信息模型[J]. 电力系统自动化,2012,36(7):76-80.
LI Feng,XIE Jun,ZHAO Yinfeng. IEC61850 based information model of switch intelligent electronic device for smart stations[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(7):76-80.
- [8] 刘明慧,胡绍谦,王文龙,等. 智能变电站交换机 IEC61850 信息建模[J]. 电气技术,2012(1):30-35.
LIU Minghui,HU Shaoqian,WANG Wenlong,et al. The IEC61850 modeling of the switch used in smart substation[J]. Electric Engineering,2012(1):30-35.
- [9] 黄华勇,游步新,全智,等. 通信在线监视分析系统在智能变电站中的应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(4):124-127.

(下转第 175 页 continued on page 175)

Control & protection system for Zhoushan multi-terminal VSC-HVDC

DONG Yunlong¹,LING Weijia²,TIAN Jie¹,HU Zhaoqing¹,LI Gang¹,LU Yu¹

(1. NR Electric Co.,Ltd.,Nanjing 211102,China;

2. State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310007,China)

Abstract: The hierarchical design of the control & protection system for multi-terminal VSC-HVDC transmission and its function configuration are described. Its coordinated control function among multiple stations is introduced,i.e. when the DC voltage control station loses the DC voltage control function,one of the other power stations will bumplessly take over the DC voltage control according to the adaptive strategy based on inter-station communication or DC voltage deviation detection. The design of some control functions applied in the project is introduced,such as fast negative-sequence control,active DC-side charging,operating mode switchover,etc. Partial site-test results are given to prove the designed control & protection system satisfying the requirements of Zhoushan five-terminal VSC-HVDC project.

Key words: multi-terminal VSC-HVDC power transmission; control; electric power system protection; passive islanding mode; modular multilevel converter

(上接第 168 页 continued from page 168)

- HUANG Huayong,YOU Buxin,QUAN Zhi,et al. Application of real-time monitoring and analyzing system in smart substation [J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(4):124-127.
- [10] 许伟国,张亮. 数字化变电站网络通信在线故障诊断系统的设计与应用[J]. 电力自动化设备,2010,30(6):121-124.
- XU Weiguo,ZHANG Liang. Design and application of online fault diagnosis system for network communication of digital substation [J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(6):121-124.
- [11] 于伟城,白瑞,郝伟. 智能变电站二次设备检修处理机制分析探讨[J]. 山西电力,2012(5):21-23.
- YU Weicheng,BAI Rui,HAO Wei. Analysis on maintenance mechanism of secondary equipments in smart substation [J]. Shanxi Electric Power,2012(5):21-23.
- [12] 国家电网公司. 智能变电站一体化监控系统功能规范:Q/GDW-678—2011[S]. 北京:中国电力出版社,2011.

作者简介:



葛 峻

葛 峻(1975—),男,江苏南京人,高级工程师,硕士,通信作者,主要从事变电站自动化系统研究及相关产品开发工作(E-mail: dujun@nrec.com);

叶 翔(1978—),男,浙江临安人,工程师,硕士,主要从事电力系统相关软件的研究及开发工作;

葛立青(1975—),男,安徽安庆人,工程师,硕士,主要从事电力系统相关软件的研究及开发工作;

杨 贵(1976—),男,吉林通化人,工程师,硕士,主要从事电力系统通信设备的研究及开发工作;

周奕帆(1984—),男,安徽芜湖人,工程师,硕士,主要从事电力系统相关软件的研究及开发工作。

Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation

DU Jun,YE Xiang,GE Liqing,YANG Gui,ZHOU Yifan

(NR Electric Co.,Ltd.,Nanjing 211100,China)

Abstract: Along with the rapid development of smart substations,the maintenance requirements of in-substation relay protections become more rigorous,which could not be satisfied by the traditional periodic maintenance. The key to improve the maintenance level is to realize the status monitoring and conditional maintenance by the online maintenance system. The design and implementation of online maintenance system in the technical conditions of smart substation for its relay protections are emphatically introduced and the key technologies are deeply discussed,such as the status monitoring of protection devices and secondary circuits,the operations of auxiliary maintenance,etc.. The results of an engineering application show the feasibility of the introduced implementation of online maintenance system.

Key words: smart substation; conditional maintenance; status monitoring; secondary circuit; auxiliary maintenance; relay protection