

智能变电站 SCD 智能比对软件的设计与实现

郑永康¹ 陈吉² 童晓阳³ 刘明忠¹ 陈沧杨¹ 庄先涛³

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院 四川 成都 610072;

2. 常州铁道高等职业技术学校 江苏 常州 213011; 3. 西南交通大学电气工程学院 四川 成都 610041)

摘要: 为了使生产厂家 SCD 和设计院虚端子表文件的虚端子保持一致,设计了一种智能变电站的 SCD 智能比对软件,它实现了解析 SCD 文件、解读虚端子表 Excel 文件、为两种文档中设备描述建立映射表、形成 SCD 侧与 Excel 侧两种虚连接、自动比对两种虚连接、显示比对结果、生成比对报告等功能模块。研究了对两侧设备描述的中文字符串智能比较、形成两侧虚连接、自动比对两侧虚连接等关键技术。该软件已在多个智能变电站调试中获得了成功应用,提高了系统调试的准确性与工作效率。

关键词: IEC 61850; 智能变电站; SCD; 虚端子; 比对

Abstract: In order to keep the virtual terminators of substation configuration description (SCD) consistent with Excel files, a checking software based on IEC 61850 is developed to find whether the SCD reached the design intention. The functions of the system include reading and traversing SCD file, parsing the Excel files, intelligently matching the device descriptions in SCD and Excel, creating the virtual connections of SCD and Excel files, automatically comparing the virtual connections, displaying the checking results, and creating the checking report. The key technologies are given, such as the intelligent matching method of the device descriptions and the comparison of virtual connections with forward and reverse direction. The software has been successfully applied to several substations, which greatly improves the accuracy and work efficiency of system configuration and testing.

Key words: IEC 61850; smart substation; substation configuration description (SCD); virtual terminator; checking

中图分类号: TM769 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)05-0036-06

0 引言

近几年来,智能变电站自动化系统逐步得到许多应用^[1~7]。设备的设计方式已转变为以变电站配置描述(substation configuration description SCD)为主的配置方式,它向设备的设计、调试、运行维护提出了新的挑战。文献[5]提出了利用 SCD 生成远动系统装置定义的通用方法。文献[6]研究了从 SCD 向 CIM/E 模型转换的方案。文献[7]研制了基于 IEC61850 各种保护装置的在线协同测试系统。

传统保护装置以开入开出、交流输入端子到端子的电缆硬连接处理输入与输出信号,智能变电站通过网络通信传输 GOOSE、SV 等信号实现设备之间的联系。国内各生产厂家统一引入虚端子^[8~9],形成设备之间的虚连接,包括发送设备、发送端虚端子号、接收设备、接收端虚端子号等信息。目前设计

院或集成商主要以虚端子表(Excel 文件)设计 GOOSE、SV 输入虚端子,表达其原始的设计意图。生产厂家或集成商依照虚端子表文件,在 SCD、IED Inputs ExtRef 子元素中予以表达。

目前,由于设计院的虚端子表文件与生产厂家的 SCD 在虚端子配置上存在许多不一致性,影响了设备虚端子配置的正确性。因此需要设计一种 SCD 智能比对软件,将 SCD 与虚端子表文件中各虚端子信息进行一一比对,检查其正确性。

1 问题的提出

在 SCD 文档中,各厂家用 IED、LNO Inputs 的多条 ExtRef 子元素描述其输入虚端子以及对应的内部虚端子号 intAddr,用 iedName 表示发送设备编号,用 6 个子项 daName、doName、ldIns、lnClass、lnInst、prefix 联合表达发送虚端子号。1 个虚连接例

子如下。

```
<LN0 desc = "" inst = "" lnClass = "LLN0" >
<Inputs desc = "" >
<ExtRef daName = "instMag. i" doName =
"Vol" iedName = "MM1101A" intAddr = "SVLD/SV-
INGGIO1. AIn1. instMag. i" ldInst = "MU01" lnClass
="TVTR" lnInst = "1" prefix = "MUA1" / >
.....
</Inputs >
</LN0 >
```

目前各设计院的虚端子表文件格式与内容各不相同。一种常见的虚连接格式有接收端名称(中文)、接收端虚端子号、信息描述、对侧装置(中文)、对侧装置虚端子号等。从理论上讲,如果设计院定义了标准的虚端子规范,SCD 严格按照设计院虚端子表来配置 SCD 的 Inputs,就不存在一致性问题。但是事实上,有 4 种原因导致 SCD 与虚端子表 Excel 文件之间虚端子的确存在许多不一致地方,如下。

1) 各设计院的虚端子表文件有各自的中文表

述习惯与方式,表的各列含义不尽相同、不规范。

2) 设计院设计人员缺乏对 SCD 知识的了解。设计院用接收设备、发送设备的中文名称分别表示接收与发送设备,而 SCD 的 Inputs 是用设备英文名称 iedName 表示发送设备。因此,虚端子表文件中接收与发送设备的中文名称与 SCD 的 Inputs 中发送设备英文名称,不是直接的一一对应关系,需要做映射。除了设备名,双方设计人员设计接收与发送虚端子号时不小心写错,就容易造成不一致。

3) 设计院设计人员有时为了简洁描述,在 Excel 文件采用“适用于…”等简化字样,表示多个相似线路、变压器装置之间的相似虚端子内容。一种典型虚端子表文件的格式及其简化表达方式如表 1 所示。其中有两种简化表达,第 1 种表示西里线路合并单元的 GOOSE 开入同样适用于热水塘、团结线路合并单元,SCD 设计人员应根据这句话,复制生成热水塘、团结合并单元中相似的输入 GOOSE 虚端子,把接收设备、发送设备名中“西里”分别换成“热水塘”、“团结”,但虚端子号不需要变动。第 2 种简约表达说明主变压器相关虚连接适用于 1 号、2 号主变压器,需

表 1 一种典型的 Exeel 虚端子文件的格式及其简化表示方式

接收端名称	接收端虚端子号	信息描述	对侧装置	对侧装置虚端子号
110 kV 母联保护测控合一装置(GML122MCE-11)				
110 kV 母联测控 SV 输入				
110 kV 母联测控 SV 输入	SVLD/SVINTCTR18. Amp. instMag. i	A 相测量电流	110 kV 母联合并单元	MU01/MATCTR1. Amp. instMag. i
110 kV 母联测控 SV 输入	SVLD/SVINTCTR19. Amp. instMag. i	B 相测量电流	110 kV 母联合并单元	MU01/MBTCTR1. Amp. instMag. i
110 kV 母联测控 GOOSE 输入				
110 kV 母联测控 GOOSE 开入	PI/GOINGGIO10. SPCS01. stVal	同步状态异常	110 kV 母联合并单元	RPIT/GOAlmGGIO1. Alm1503. stVal
110 kV 母联测控 GOOSE 开入	PI/GOINGGIO14. SPCS01. stVal	合并单元检修状态	110 kV 母联合并单元	RPIT/GOAlmGGIO1. Alm1500. stVal
110 kV 西里线路合并单元(适用于 110 kV 西里、热水塘、团结线路合并单元)(简化表达 1)				
西里线路合并单元 GOOSE 开入	RPIT/GOINGGIO1. DPCS0274. stVal		110 kV 西里线路智能终端	RPIT/XSWI1. Pos. stVal
西里线路合并单元 GOOSE 开入	RPIT/GOINGGIO1. DPCS0275. stVal		110 kV 西里线路智能终端	RPIT/XSWI2. Pos. stVal
主变压器保护 A(适用于 1 号、2 号主变压器)(简化表达 2)				
主变压器保护 A SV 输入	SVLD/SVINPATCTR1. Amp1. instMag. i		主变压器高压侧合并单元 A	MU01/PATCTR1. Amp. instMag. i
主变压器保护 A SV 输入	SVLD/SVINPATCTR1. Amp2. instMag. i		主变压器高压侧合并单元 A	MU01/PATCTR2. Amp. instMag. i

要重生成变压器1号、2号的相似虚连接,把其中“主变保护”分别替换成“1号主变压器保护”和“2号主变压器保护”字样。厂家设计人员需根据Excel的简化表达,配置SCD中相关设备的类似虚端子。

4) 在虚端子表Excel文件中接收、发送设备(对侧装置)两列设备名均采用中文名称,由于习惯不同,设计院定义的设备中文名称与SCD中IED中文描述不完全一样,例如,Excel侧发送设备名为“110千伏西里线路智能终端”,SCD侧设备中文描述为“110 kV 西里线智能终端”,前者用千伏、线路,后者用kV、线,在“终端”后加了设备型号DBU814。虽然两种设备名是指同一个设备,但是造成两侧表达却不一致。

目前各厂家的SCD配置工具没有提供对SCD与虚端子表文件的智能自动比对功能。

2 SCD智能比对软件的工作原理

SCD智能比对软件先要分别形成SCD侧与Excel侧虚连接,再做一一比对,找出不一致地方。关键点有两个:1) 需从SCD获取各虚连接、读取IED设备名描述desc,再读取Excel文件中接收端与发送端设备中文名称,把Excel侧设备中文名智能映射为SCD侧设备名描述,才能形成与SCD侧类似的Excel侧虚连接;2) 在获得两侧虚连接后,进行正向与反向比对,找出两侧不一致及其细节,向双方人员指出错误,以便纠正。

这里研发的智能变电站SCD智能比对软件首先读取SCD,解析每个IED的设备编号、中文描述等属性,再沿某IED节点逐层遍历直到LN0的Inputs子节点,解析出其有效的虚连接,再搜索LN0与其它LN节点,找到各数据对象DOI,获得其属性desc作为发送虚端子号与内部虚端子号的信息描述,形成SCD侧虚连接,保存到SCD侧虚连接链表,并在界面上以列表显示这些SCD侧虚连接。

然后一次性读取多个虚端子表文件,解析其内容,获取原始虚连接记录,获得全站所有设备中文名称。再解读其中的简化表述,正确地扩展为虚连接。将Excel侧每个设备中文名称与SCD侧所有设备描述逐一进行比较,找到与其最匹配的那个SCD侧设备描述,建立Excel侧设备中文名称与SCD侧设备描述的映射表。

根据解读后的Excel虚连接和映射表,将Excel侧接收端与发送端设备的中文名称换成SCD侧设备描述,得到SCD侧该设备的编号,再加上Excel原有的接收端(发送端)虚端子号等,生成了比对用的Excel侧虚连接。

将每个SCD侧虚连接与Excel侧虚连接逐一做正向、反向比对,得到4种比对结果,即比对成功、SCD中有而Excel中没有虚连接、Excel中有而SCD中没有虚连接、只有接收端或发送端虚端子号没有匹配上虚连接,在界面上以表格分类显示它们。设计了形成比对报告模块,将4种比对结果、SCD中原始虚连接、Excel中原始虚连接等分别保存到比对报告Excel文件的各个工作表,以便查看与检查该次比对结果。当采用比对软件发现SCD与Excel虚端子表文件的不一致地方,修改和纠正SCD或Excel文件中错误,再做比对,循环检查直到完成。

SCD智能比对软件的流程图如图1所示。



图1 SCD智能比对软件的流程图

3 功能设计

SCD智能比对软件有5个子系统,分别是读取

SCD 及形成 SCD 虚连接、读取 Excel 文件与制作映射表、比对 SCD 与 Excel 两侧虚连接、分类显示比对结果、生成比对结果报告等。SCD 智能比对软件的功能树如图 2 所示。

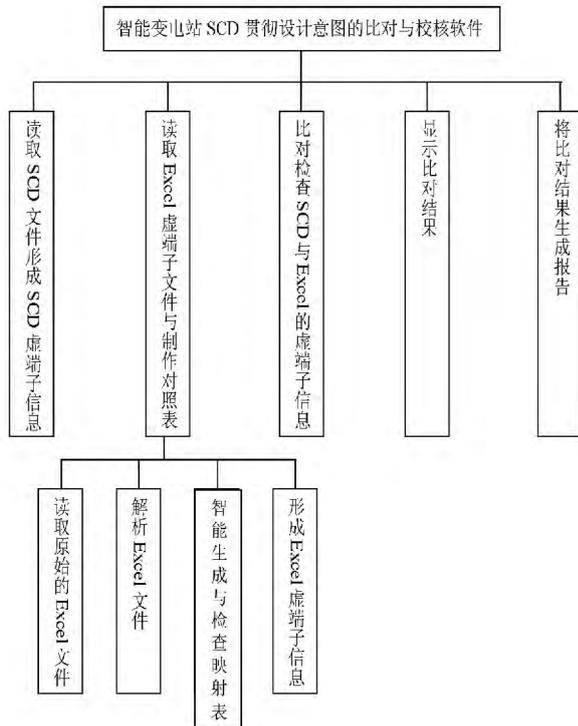


图 2 SCD 智能比对软件的功能树

读取 SCD 及形成 SCD 虚连接子系统实现: 1) 选取 1 个 SCD 文件, 解析 SCD 得到各 IED 的设备编号、设备描述等属性、各虚端子号的信息描述; 2) 将解析后 IED 信息显示在界面上, 能够查找某设备的基本信息; 3) 读取各设备 Inputs 中各虚连接, 将它们显示在界面上, 可排序, 能够定位查看。

读取 Excel 文件与制作映射表子系统实现: 1) 一次性读取 1 个或多个 Excel 虚端子表文件, 将它们显示在界面的表格中; 2) 解析 Excel 文件中那些简化表达的文字, 解读与扩展, 形成虚连接; 3) 从解析、解读的虚端子中接收端、发送端设备两列, 提取该 Excel 文件中所有设备的中文名称, 将每个依次与 SCD 侧 IED 设备描述一一智能比较, 找到最接近的 SCD 侧设备描述, 给出匹配度, 形成两侧设备名映射表; 4) 形成和显示 Excel 侧虚连接。比对 SCD 与 Excel 两侧虚连接子系统是把 SCD 侧虚连接与 Excel 侧逐条做正向比对, 找到与它匹配的虚连接, 然后做反向比对, 即将 Excel 侧与 SCD 侧虚连接比对, 最后形成 4 种比对结果。

分类显示比对结果子系统实现以表格显示 4 种

比对结果。对于只有接收端或发送端虚端子号没有匹配上的两侧虚连接, 用不同背景色突出对照显示出两侧虚端子号不一致的细节, 以便纠正。

生成比对结果报告子系统将 4 种比对结果、SCD 侧虚连接、Excel 中原始虚连接等 6 类结果输出到某比对报告文件(Excel 文件)。

4 关键技术

4.1 解析 SCD、形成虚连接及优化搜索

SCD 属于 xml 文件, 不易直接分析。需从 SCD 获取所有 IED 的设备名编号及其中文描述, 获取各 IED 的 Inputs 中各虚端子。为了方便地浏览 SCD 各条虚连接的虚端子号、了解其含义、查找出错的虚连接, 需给出每条 SCD 侧虚连接中每个接收虚端子号、发送端虚端子号的信息描述。

先遍历每个 IED 节点, 得到设备编号及其描述, 再由 IED 到 LD 逐层找到 Inputs 子节点, 得到各虚端子信息, 将其中 6 项子项组合成发送端虚端子号, 保存到 SCD 侧虚连接链表。再读取各 LN 的各 DOI 子节点, 的属性 desc, 作为接收端或发送端虚端子号描述, 保存到 DOI 的 desc 链表。对每个 SCD 虚连接的接收端与发送端虚端子号, 遍历 DOI 的 desc 链表, 查找相应虚端子号描述。

这里存在一个优化设计问题, 因为查找目标虚端子号描述的次数非常多, 比如某 SCD 有 3 760 条虚连接, 139 437 个数据对象 DOI, 就可能产生几千万次查找, 非常消耗时间。查找虚端子描述的优化方法是在解析 SCD 文件时, 获取每个 IED 节点后, 马上针对该 IED 中各虚连接的接收端虚端子号, 就在本 IED 的 DOI 遍历查找其描述。而发送端虚端子号描述只能等到全部 IED 遍历后才做查找。这样可在一定程度加快了查找各虚端子号描述的速度。

4.2 解读虚端子表 Excel 文件及其设计意图

读取与解析 Excel 虚端子文件包括一次性读取多个 Excel 文件、解析与解读虚端子、智能生成映射表、形成比对用 Excel 侧虚连接等功能。

如前所述, 设计院设计人员对多个相似设备具有相似虚端子的情况, 采用简化表达。比如在一组 GOOSE 输入虚端子的上方, 加上“220 kV 晴朗线路测控装置(适用于 220 kV 晴朗、色尔古 I、色尔古 II 线路测控装置)”等简化文字, 程序就要解读此类文

字,首先生成 220 kV 晴朗线路测控装置的 GOOSE 输入虚端子,然后再把其中“晴朗”替换为“色尔古 I (II)”,为色尔古 I、色尔古 II 线路测控装置新增相似 GOOSE 虚端子。

4.3 SCD 与 Excel 两侧设备中文名智能匹配算法

SCD 中虚连接包括发送端与接收端设备编号, Excel 虚端子表文件包含发送端与接收端中文名称。需要先把 Excel 侧发送与接收端中文名称映射为 SCD 侧设备中文描述,建立 Excel 侧设备中文名称与 SCD 侧设备描述的映射表,进而把 Excel 侧设备中文名称映射为 SCD 侧设备编号,才能形成比对用 Excel 侧虚连接,进行两侧比对。

SCD 与 Excel 两侧设备中文名智能匹配是把某 Excel 侧设备中文名(含有中文、字母、数字)当作为源串,把所有 SCD 侧设备描述当作目标串进行比较。采用 2 种方法融合匹配。算法 1 是对传统 GST 比对算法的改进,在计算匹配度时增大了较长“公共子串”所占权重,使其比较短“公共子串”更容易被匹配上,有效避免了传统 GST 算法存在的有较短“公共子串”时的匹配度可能比有较长“公共子串”大的问题。算法 2 先采用判断源串与目标串中每个字符是中文双字节字符还是字母或数字,再不管顺序找到两个串中相同字符个数,用它去除两个串中较短串长度,作为第 1 匹配度。再考虑源串和各目标串中数字(字母)出现的先后顺序,尤其是首数字与字母和末数字与字母是否相同。当发现源串与某目标串的数字或字母的顺序分别匹配上,增大辅助匹配度。将第 1 匹配度和辅助匹配度进行加权求值,得到两个字符串最后的匹配度。这样可得到源串与 SCD 侧所有设备描述的匹配度,将它们排序,匹配度最大的目标串为最终匹配上的 SCD 侧设备描述。

由于 SCD 与 Excel 设计人员在设备名称表述有一定差异,同一名称或关键词表达有所不同,比如 Excel 虚端子表文件使用“千伏”、“一”、“二”、“母差”分别与 SCD 中“kV”、“1”、“2”、“母线”是等价的。上述智能比较方法未必有效,因此增加了手工匹配策略,手工制作一些常见关键词等价替换关系,在字符串比较时将 Excel 侧设备中文名做关键词替换,帮助形成合适的两侧设备描述映射表。

多次实验表明本智能字符串自动比较方法与策略有较高的正确率,达到 90% 以上。匹配度数值能较真实反映源串与多个目标串的匹配程度。对匹配

不准确的映射项允许在界面手工修正。

4.4 自动比对、分类显示比对结果

分别形成 SCD 侧与 Excel 侧虚连接后,自动地将两侧虚连接进行正向与反向比对。提供手工同步比对检查手段,即选中某条 SCD 虚连接时,在界面右侧可同步显示与之匹配的 Excel 侧虚连接,如果没有找到完全匹配,则在信息栏显示与 SCD 侧虚连接具有相同虚端子号的 Excel 侧相近虚连接。

形成 4 种比对结果,将它们放在 4 个表格中分类成组表示。尤其是对于只有接收端或发送端虚端子号没有匹配上虚连接的比对结果,每组比对结果分成两行进行显示,分别表示 SCD 侧与 Excel 侧虚连接,对未匹配上虚端子号用不同背景色上下对照显示,以提醒操作者该错误的存在。

4.5 形成比对结果报告

除了在界面上显示比对结果,还能形成比对结果报告文件,把比对结果数据保存到一个比对结果 Excel 文件的多个工作表中,以便在比对过程中查找比对出错原因、形成最终的比对报告。实现方法是调用微软提供的访问 Excel 文件的 OLE 接口函数。一般采用向每个单元格写入数据方式,但该做法的效率很低。例如将几 M 的数据写入 Excel 文件时,往往需要十几分钟才能完成。这里采用内存拷贝方式,即先将比对结果数据写入一个字符串数组,再把该字符串以复制方式送入 Excel 工作表的目标区域,再调用 Excel 工作表的粘帖接口函数 Paste,一次性写入 Excel 文件。现在实现了只需 2 分钟左右完成一次比对结果报告的形成。

5 软件运行效果与分析

5.1 运行效果

设计的 SCD 智能比对软件实现了各子功能。比对结果的运行界面之一如图 3 所示。第 4 种比对结果每 2 行以不同背景颜色突出显示两侧只有接收端或发送端虚端子号不一致细节,如第 1 行 SCD 侧: PIO/DevGOIN1GGIO1. DPCS03. stVal,第 2 行 Excel 侧: PIO/DevIN1GGIO1. DPCS03. stVal。两侧接收虚端子号不一致。

软件已在四川省多个变电站调试工作中得到运用,取得了良好的调试效果,发挥较大的作用。如果利用现有厂家 SCD 配置工具查找 SCD 侧虚端子,再



图3 本软件中显示各比对结果的运行界面

人工查看 Excel 虚端子文件进行校核,几乎很难完成 SCD 文件与 Excel 虚端子表文件比对任务。因为现有 SCD 软件查找 SCD 侧虚端子的操作较繁琐,两侧虚端子信息的数量往往有几千条,靠人工比对需要很长时间,很容易发生漏判、误判,工作效率很低。系统能够准确比对、指出不一致、错误的细节,直到找出所有可能出错的地方。运用本软件对某变电站近 3 000 条虚连接的 SCD 比对与修改,只用了几天就完成一次性比对出 300 多条 SCD 与 Excel 虚端子表文件不一致与错误的地方。

5.2 比对出错的原因分析

通过多个智能变电站的许多次 SCD 比对调试,发现几类出错原因如下。

1) 对于 SCD 中有而 Excel 中没有虚连接、Excel 中有而 SCD 中没有虚连接情况,说明 Excel 虚端子文件或 SCD 侧有些虚端子不完整。

2) 由于设计人员的粗心大意、笔误,会将 Excel 中设备名写错,比如设备名本应是“2 号主变压器本体智能终端 1”,误写成“1 号变压器本体智能接口单元 2”。把虚端子号写错或大小写不对,比如 SCD 侧接收端虚端子号为 PI01/GOINGGIO2. SPCS06. stVal, Excel 侧却写成 PI01/GOINGGIO2. SPCS01. stVal。

3) SCD 与 Excel 两侧对虚端子号的引用路径、对各层数据属性的表达方式不一样导致两侧不一致,比如 SCD 侧: GO/BinInGGIO0. DPCS02. stVal, 而 Excel 侧: MU/GOI. BinInGGIO0. DPCS02. stVal。

6 结论

软件自 2012 年 8 月以来已经在多个智能变电站的调试中得到了成功运用,已经实现了对集成商的 SCD 与 Excel 虚端子表文件比对功能,通过智能中文字符串比较、自动比对两侧虚连接等工作,能够发现 SCD 与 Excel 两侧虚端子不一致地方与错误细节,大大提高了比对的效率和准确性,有力促进了智能变电站中 SCD 贯彻设计意图的检查与实施。

由于各设计院的 Excel 虚端子表文件格式不统一,给比对造成一些困难,解决此问题的最好方法是由 SCD 工具将 SCD 配置与虚端子设计一体化,用 SCD 工具直接配置 Inputs 各虚端子,不再从 Excel 虚端子表文件读取虚端子。而这项工作还在研发中,其完善还有个过程。因此在一段时间内,仍需由设计院用 Excel 虚端子表文件定义虚端子,因此仍有必要对 SCD 和 Excel 虚端子表文件进行智能化比对,检查两者一致性,保证设备的正常运行。

参考文献

[1] IEC 61850-6, Communication Networks and Systems in Substations: Part 6 Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations Related to IEDs. [S].

(下转第 58 页)

3 判断方法及应注意的问题

(1) 有载分接开关在切换过程中,过渡电阻发生规律性的变化,回路电流值亦发生规律性变化,通过检测电流值判定分接开关进入和退出“桥接”的顺序、“桥接”过程时间 t_2 、三相最大不同步时间等。由于分接开关的前半桥过渡电阻工作时间 t_1 、后半桥过渡电阻工作时间 t_3 与过渡电阻“桥接”时间 t_2 是由机械机构的角度来固化的,相互间存在固定的时间关系,测量出任一时间满足试验参数即可证明其他过渡电阻工作时间满足试验要求。

(2) 当试验电压较低时,测得的电流波形可能会出现不圆滑的区域,但只要电流不出现回零现象,应判断为有载分接开关动作过程正常,各工作触头、过渡电阻回路接触状态良好。

(3) 电流波形出现长时间零值区域或频繁过零现象,应判断为分接开关切换过程对应的触头接触不良或过渡电阻断线。但当试验电压较低时,上述结论准确性不高,应使用高电压、大电流试验方法进行验证。

4) 有载调压消弧线圈分接开关动作特性测试,由于其存在空气间隙,交流测试只能使用零序法接线测试,试验电流较大,级差电流被淹没在测试电流中,不能显示过渡电阻“桥接”处的变化,应采用电流连续性分析和判断分接开关交换过程的正确性。

(上接第 41 页)

[2] 国家电网公司. 智能变电站技术导则[S]. 北京: 国家电网公司 2009.

[3] 林知明, 蒋士林. 基于 SCL 模型的配置工具的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(12): 82 - 85.

[4] A. Apostolov, D. Tholomier. Simplifying the Configuration of Multifunctional Protection Relays [C]. Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2005, College Station, TX, United states: 281 - 286.

[5] 孟正华. 智能变电站虚端子设计初探[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(7): 138 - 140.

[6] 张海东, 张鸿, 宋鑫, 等. SCD 模型到 CIM/E 模型的转换方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(15): 91 -

4 结 论

直流法测试有载分接开关的动作特性,由于存在测试电压低、使用范围窄、波形解析解不唯一等问题,使得技术人员对测试波形持不同意见,往往导致漏判误判。交流法具有测试电压高、符合变压器实际运行工况,能反映分接开关切换过程中每一瞬间的通流状态,解析结论唯一,能可靠地反映开关切换过程中的技术状态。在现场试验中,两种测试方法应配合使用。

参考文献

[1] 冯仲民. 有载分接开关的应用[M]. 北京: 中国电力出版社 2004.

[2] 张德明. 有载分接开关国内现状及发展动向[J]. 变压器 2000, 37(1): 36 - 39.

[3] 陈敢峰, 姚集新. 变压器分接开关实用技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社 2002.

[4] 梁之林. 变压器有载调压开关交、直流测试波形分析[J]. 吉林电力 2007, 35(4): 31 - 33.

[5] 王世阁, 钊洪壁. 电力变压器故障分析与技术改进[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

[6] 吉锋. 有载分接开关直流波形测试及其判断[J]. 变压器 2007, 44(1): 55 - 57.

[7] 张锋. 有载分接开关触头烧损事故的分析及预防[J]. 变压器 2003, 40(4): 30 - 31.

(收稿日期: 2014 - 06 - 05)

95.

[7] 宋杰, 靳希, 鲍伟, 等. 基于 IEC61850 的智能继电保护装置协同测试系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 59 - 63, 68.

[8] 高亚栋, 朱炳铨, 李慧, 等. 数字化变电站的“虚端子”设计方法应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 124 - 127.

[9] Q/GDW 396 - 2009, IEC 61850 工程继电保护应用模型[S].

作者简介:

郑永康(1977), 博士, 高级工程师, 研究方向为智能变电站二次系统、继电保护、自动化。

(收稿日期: 2014 - 06 - 26)