

智能变电站合并单元运维及异常分析

合并单元作为智能变电站过程层核心设备，起着交流采样的关键作用。基于智能变电站合并单元的工作原理及技术特点，以智能变电站合并单元的运行维护和异常分析为研究对象，系统地研究了合并单元的采样机制与同步技术、日常运行维护方法、装置信号与释义、典型异常分析及处置方法和措施。通过对以上方面的研究与实践，阐明了智能变电站合并单元的运行维护重点，尤其是异常处置方法对合并单元的运维具有借鉴意义。

卢江水¹ 闫春江² 戴瑞成² 武志松² 苏京文^{2/1} 1.国家电网公司
2.国网北京检修公司

0 引言

智能变电站作为智能电网的重要环节之一，是近年来电网建设的主要方向，也是各专业技术人员研究的热点。各种新技术在智能电网建设中的应用使智能变电站的智能化水平越来越高，智能技术也越来越成熟。其中作为过程层典型设备的合并单元和智能终端的重要性和特殊性尤为明显。

智能变电站与传统变电站的一个重要区别就是在过程层增加了合并单元及智能终端等设备，实现了一次设备智能化。合并单元作为电压、电流量的采集设备，是全站保护、测量等功能实现的基础，合并单元对一次互感器传输过来的电气量进行合并和同步处理，并将处理后的数字信号按照特定格式转发给间隔层设备使用的装置^[1]。

合并单元是智能变电站的关键设备，变电站的采样信息均由合并单元完成并以 SV 报文发送给相关保护、

测控、计量、故障录波及网络分析仪等设备，是变电站的信息数据源。合并单元的运行、维护及异常故障分析是电力安全生产中的一项重要工作，本文以合并单元为研究对象，系统阐述了合并单元的关键技术、运行维护注意事项以及异常故障处置分析和解决办法，以期给电力系统安全稳定运行提供参考。

1 合并单元工作原理及关键技术

1.1 合并单元基本工作原理

合并单元的交流模块从互感器中采集模拟量信号，对一次互感器传输的电气量进行合并和同步处理^[2-4]。母线合并单元称为一级合并单元，间隔合并单元称为二级合并单元。二级合并单元接收一级合并单元级联的数字量采样，再通过插值法对模拟量信号和数字量信号进行同步处理。同步处理的作用是消除模拟量采样与数字量采样之间的延时误差，从而消除相位误差。

对于需要电压并列和切换的合并单元，应采集开关量信号（如断路器、隔离开关位置）。装置完成并列、切换功能后，将采样数据以 IEC 61850-9-2 或 IEC600 44-7/8 格式输出。在组网模式下，为了使不同合并单元的采样数据能够同步，还需接入同步信号^[5-6]。合并单元基本工作原理如图 1 所示。

1.2 数据同步—插值同步

装置在接收到上一级合并单元的数字量采样后，首先读取其额定延时，根据额定延时回推数据，再根据自身的采样时间序列进行插值^[7-10]。



卢江水/工程师

关键词/Keywords

智能变电站 ·
合并单元 ·
运行维护 ·
异常分析 ·

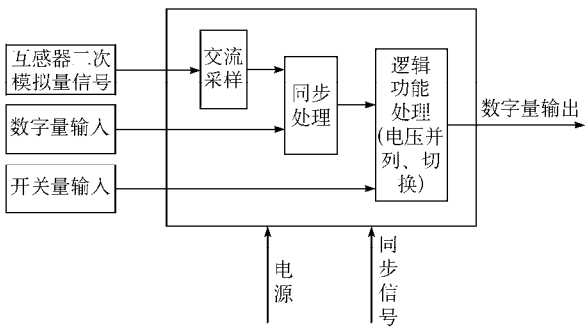


图1 合并单元基本工作原理

装置的采样时间序列往往与接收到的数字

量采样不在一个节拍上，装置按照固定的采样时间序列采样，但接收到的离散数据并不与该序列重合。此时就需要用插值算法对数据进行重采样，使其每个采样点都落在装置的采样序列上。

1.3 插值不足

插值算法是对原始采样数据进行重采样，必然会造成原始采样的失真。经对线性插值算法的研究，影响插值准确度的最主要因素为采样频率和插值位置。分别以 80 点和 256 点采样频率为例研究插值位置变化对各次谐波线性插值后幅值增益的影响，结果如图 2 所示。

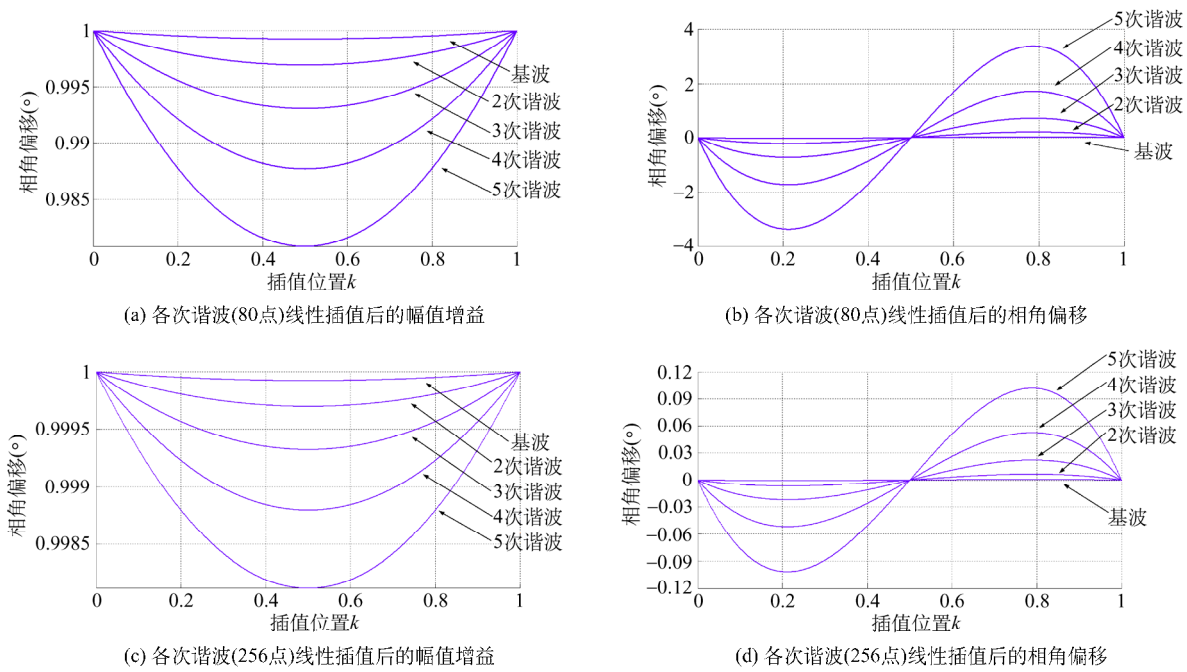


图2 以 80 点和 256 点采样频率为例研究插值位置变化对各次谐波线性插值后幅值增益的影响

计算结果表明，在两种不同采样频率下，线性插值位置与幅值增益和相角偏移具有近似的规律，随着插值位置的变化，对基波的幅值增益和相角偏移没有影响，但对 1~5 次谐波影响明显，主要有以下规律：①在插值位置居中时，各次谐波幅值增益达到最大值，但此时相角偏移为 0°；②在插值位置取相对位置 0.2 或 0.8 时，各次谐波相角偏移达到最大值，此时各次谐波的幅值增益值为最大值的 50%。

计算结果说明合理的选择插值位置对采样结果具有明显的影响，因此根据实践应采用合理的插值位置。

1.4 数据同步

数据同步采样是指变电站二次设备需要的所有采样数据应在同一个时间点上采集，也就是采样序列的时间同步，应尽量避免相位和幅值产生误差。

对于过电流保护，因为晶振的短期稳定性高，不会对保护的動作準確度造成影响。但对差动保护和计量来说，由于内部晶振时钟提供的时钟信号并不十分准确，经过长时间的误差累积，会造成不同单元相位和幅值误差的逐渐扩大，以致引起差动保护的误动作以及计量产生严重误差。由此可见，数据的同步采集对差动保护和计

量非常重要。

1) 采用线性插值法无须额外的硬件，只须对各路采样值进行一定的软件处理，就可以达到同步的目的。对于采样频率固定的数据采集系统，只要知道采样时刻与基准采样时刻相差 Δt 就可以计算各点在基准时刻的采样值。使用此方法需要采样点尽量密集，才能将两个采样点之间的曲线近似作为直线处理，减小误差，但这种算法需要较高的数据采样速率。

2) 同步脉冲法直接利用全局同步脉冲来控制各路模拟量的采样。这就需要互感器的数据采集装置和合并单元之间有两条光纤通道：一条用来向合并单元传输数据；另一条用来向互感器传输同步采样命令（或脉冲），以保证各路信号的同步采样。合并单元发出的高频脉冲经过分频处理之后用于触发互感器的同步采样。

上述两种同步方法都能使合并单元实现数据的同步采集。第一种方法是基于软件的算法，优点是无须为每相互感器额外增加一条传送同步采样序列的光纤通道，节省了硬件开销，但准确度相对较差；第二种方法需为每相互感器额外增加一条传送同步采样序列的光纤通道，增加了硬件开销，但该方法采样值的同步性较为准确。

目前考虑到工作的可靠性，一般采用同步脉冲法进行合并单元同步，同步脉冲由站级统一时钟源提供，在现场应用较多的是基于北斗（GPS）的变电站时钟同步系统。

由于组网方式下存在较大的网络延时抖动，采样值报文到达时间不具有确定性，因此插值同步方式不再适用组网方式下的采样值同步。

组网方式下的采样值同步满足的前提条件是所有间隔合并单元必须保证采样时刻一致，且对应整秒时刻为“0”的采样序号。因此所有间隔合并单元需要外接同一个同步信号源，包括 IRIG-B、IEEE 1588 和 GPS 等。在此前提条件下，组网方式采样值同步可采用采样序号同步实现，如图 3 所示。

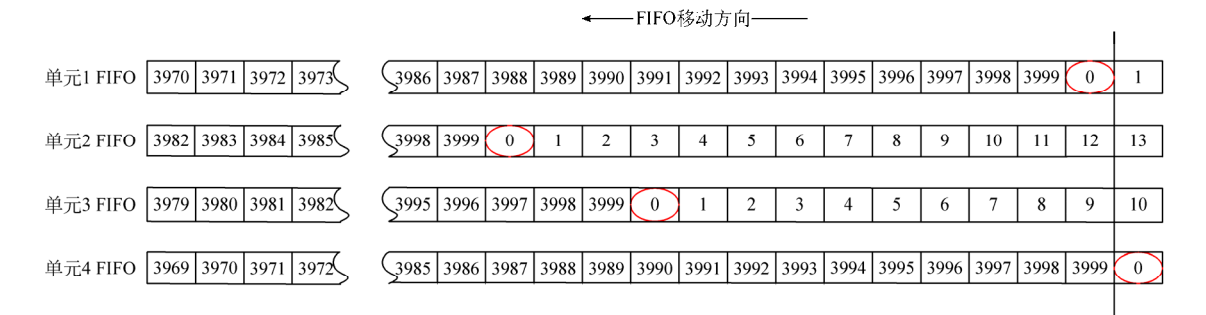


图 3 组网序号同步示意图

2 合并单元在智能变电站中的功能与应用

合并单元的主要功能是完成智能变电站的交流采样以及数字化转换，并以 SV 报文形式发送给相关保护、测控、计量、故障录波及网络分析仪，所以合并单元应具备以下主要功能。

2.1 模拟量与数字量信号输入功能

合并单元通过自身的交流模块采集一次互感器的电流、电压量。根据接入互感器的不同类型，合并单元的模拟量输入通道可分为保护电流、测量电流、电压（对于合并单元，一般不必区分保护电压和测量电压）和零序电压等四

种。

在作为二级合并单元时，装置需要接收上一级合并单元发送的数字量采样，通常该采样以 IEC 61850-9-2 或 IEC 60044-7/8（FT3）的报文格式发送，装置对输入的数字量采样需要做插值同步。

2.2 开关量输入功能

为了完成电压并列和电压切换功能，装置需要接收母联/分段开关及其刀开关的位置信号、TV 刀开关位置信号和母线侧隔离开关位置信号。因此合并单元具有接收智能终端刀开关位置遥信的 GOOSE 接收口，以此判断刀开关位置信号。

2.3 母线合并单元的电压并列功能

智能变电站不再独立配置电压并列装置。以双母线主接线为例，母线电压合并单元集成电压并列逻辑，需采集母联断路器、I 母隔离开关和 II 母隔离开关位置，同时配置并列把手，其接线方式如图 4 所示。

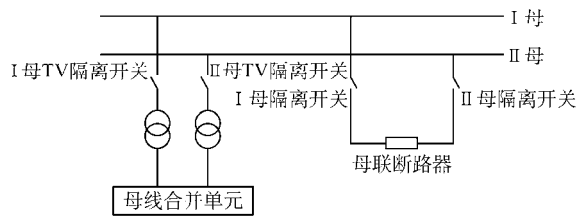


图 4 母线电压合并单元一次接线示意图

并列把手采用硬电缆接入母线合并单元；断路器、刀开关位置通过电缆接入 TV 智能终端转发 GOOSE 报文，母线合并单元通过 GOOSE 报文接入。此接入方式下母联断路器位置及 I 母、II 母隔离开关位置 GOOSE 报文采用双点信息（00：中间态；01：分位；10：合位；11：无效态）。

母线合并单元电压并列真值表如表 1 所示。

表 1 母线合并单元电压并列真值表

把手位置		母联断路器位置	I 母电压输出	II 母电压输出
I 母强制用 II 母	II 母强制用 I 母			
0	0	X	I 母	II 母
0	1	合位	I 母	I 母
0	1	分位	I 母	II 母
0	1	00 或 11 (无效位置)	保持	保持
1	0	合位	II 母	II 母
1	0	分位	I 母	II 母
1	0	00 或 11 (无效位置)	保持	保持
1	1	合位	保持	保持
1	1	分位	I 母	II 母
1	1	00 或 11 (无效位置)	保持	保持

注：1. 把手位置为“1”表示该把手位于合位，为“0”表示该把手位于分位。
2. 母联断路器位置为双位置，“10”为合位，“01”为分位，“00”和“11”表示中间位置和无效位置，“X”表示无论母联断路器处于任何位置。

2.4 间隔合并单元的电压切换功能

智能变电站保护装置不再集成电压切换，由

间隔合并单元集成切换逻辑，其一次接线示意图如图 5 所示。母线合并单元通过光纤级联，将两段母线电压传递给间隔合并单元，间隔合并单元接收电压数字信号，同时采集 I 母隔离开关、II 母隔离开关位置，完成切换功能。

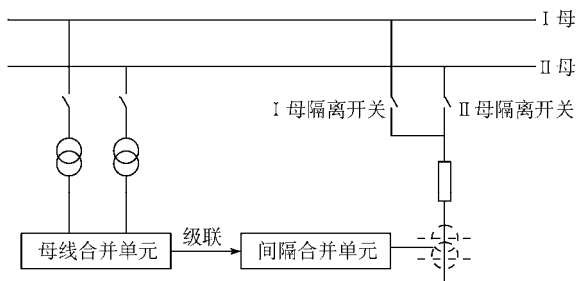


图 5 间隔合并单元一次接线示意图

数字信号级联采用 IEC 9-2 报文格式或 IEC 60044-7/8 格式。

I 母隔离开关、II 母隔离开关位置通过电缆接入间隔智能终端，并转发 GOOSE 报文，间隔合并单元通过 GOOSE 报文接入，此接入方式下 I 母、II 母隔离开关位置 GOOSE 报文采用双点信息（00：中间态；01：分位；10：合位；11：无效态）。间隔合并单元电压并列逻辑真值表如表 2 所示。

表 2 间隔合并单元电压并列真值表

序号	I 母隔离开关		II 母隔离开关		母线电压输出	报警说明
	合	分	合	分		
11	1	1	1	0	II 母电压	
12	1	0	0	0	I 母电压	
13	1	0	1	1	I 母电压	延时 1 min 以上报警“刀开关位置异常”
14	1	1	0	0	保持	
15	1	1	0	1	保持	
16	1	1	1	1	保持	

注：1. 母线电压输出为“保持”时，表示间隔合并单元保持之前隔离开关位置正常时切换选择的 I 母或 II 母的母线电压，母线电压数据品质应为“有效”。
2. 间隔合并单元上电后，未收到刀开关位置信息时，输出的母线电压带“无效”品质；上电后，若收到的初始隔离开关位置与上表中“母线电压输出”为“保持”的刀开关位置一致，输出的母线电压带“无效”品质。

2.5 数字量输出功能

在完成对采样数据的处理后，装置将采样数

据以 IEC 61850-9-2 或 IEC 60044-7/8 形式输出。

为满足采样数字信号离散性要求，发送采样报文间的间隔时间应是基本固定的，以 4 kHz 采样频率为例，采样报文帧与帧间的时间间隔应为 250 μs，误差不超过 ±10 μs。

合并单元采样响应时间不大于 1 ms，两级级联母线合并单元的间隔合并单元采样响应时间不大于 2 ms。

2.6 同步信号输入及守时功能

装置能接收外部同步信号完成同步功能，目前最常用的同步信号为 IRIG-B 码，其他常见的同步信号有 IEEE 1588 及 PPS。

同时，装置在满足守时条件后（通常是对时时间达到一定要求）应能进行守时，守时的指标要求为时钟信号丢失后 10 min 内时钟误差不超过 ±4 μs。

3 合并单元装置信号释义

不同生产厂商的合并单元装置面板信号灯设置不完全一样，但从合并单元的功能和应用场合区分可以分为间隔合并单元和母线 TV 合并单元两类，合并单元装置信号释义如表 3 所示。

表 3 合并单元装置信号释义

序号	信号名称	释义
1	检修	指示装置是否处于检修状态
2	配置错	装置内部配置解析错误
3	光耦异常	装置开入模件正电源消失
4	模块异常	装置模件故障
5	对时异常	GPS 对时不成功
6	GOOSE 接收中断	合并单元接收测控、智能终端等 GOOSE 中断

间隔合并单元装置信号释义如表 4 所示。

表 4 间隔合并单元装置信号释义

序号	信号名称	释义
1	SV 接收中断	间隔合并单元接收母线电压合并单元 SV 中断
2	TV 切换刀开关位置无效	刀开关位置存在 00 或 11 无效状态
3	切换于 I 母 / II 母	该间隔 TV 切换至 I / II 母运行
4	同时动作	TV 切换中 I、II 母刀开关均为合位
5	同时返回	TV 切换中 I、II 母刀开关均为分位

间隔合并单元主要应用于本间隔合并单元，其中“SV 接收中断”是指接收母线电压合并单元 SV 链路异常或中断的信息。

母线 TV 合并单元信号与间隔合并单元信号有明显不同，母线 TV 合并单元装置信号主要监视母线和 TV 是否并列，具体释义如表 5 所示。

表 5 母线 TV 合并单元装置信号释义

序号	信号名称	释义
1	I 母并 II 母	I 母和 II 母均使用 I 母电压
2	II 母并 I 母	I 母和 II 母均使用 II 母电压
3	I、II 母不并	I、II 母分别使用各自电压
4	II 母并 III 母	三段母线 TV 并列时使用，II 母和 III 母均使用 II 母电压
5	III 母并 II 母	三段母线 TV 并列时使用，II 母和 III 母均使用 III 母电压
6	II、III 母不并	三段母线 TV 并列时使用，II 母和 III 母分别使用各自电压
7	TV 并列异常	TV 并列条件出现异常，如把手位置矛盾，TV 并列中母联断路器与刀开关位置出现 00 或 11 等无效状态
8	TV 并列指示灯异常	母联/分段断路器等相关位置异常，需检查报文中位置是否存在 00 或 11 等无效状态

4 合并单元运维操作注意事项

4.1 日常巡视检查维护项目

- 1) 合并单元正常运行时，装置运行、刀开关位置灯常亮，无异常和报警指示，刀开关位置指示与实际一致。
- 2) 一体化监控系统平台内无相关告警信息。
- 3) 装置外观正常，无异音、异味和打火放电情况。
- 4) 装置检修压板应在“退出”位置。

4.2 正常运行操作方法及注意事项

- 1) 合并单元电源正常应长期投入。母差保护装置中该间隔 SV 投入软压板未退出时，合并单元电源不得断开。
- 2) TA 或合并单元有试验工作时，母差保护装置中该间隔 SV 投入软压板应退出。
- 3) 装置检修压板正常应退出。

5 合并单元常见异常处理措施

5.1 合并单元常见异常处理措施

- 1) SV 接收中断：检查 SV 级联光纤连接是否正常，是否有出现断线、脱落现象，若发现光纤连接问题，则更换备用光纤。
- 2) GOOSE 接收中断：检查 GOOSE 通信光纤连接是否正常，是否有出现断线、脱落现象，若发现光纤连接问题，则更换备用光纤。
- 3) TV 切换刀开关同时动作/返回：确认现场刀开关位置是否与报文一致。
- 4) TV 刀开关位置异常：确认现场刀开关位置是否正确，检查报文中隔离开关位置是否存在 00 或 11 等无效状态。
- 5) 对时异常：检查对时装置是否运行正常，对时光纤连接是否正常，是否出现断线、脱落现象，若发现光纤连接问题，则更换备用光纤。
- 6) 检修压板状态：确认现场是否处于检修状态，对于与现场运行状态不一致的应确认影响。

5.2 合并单元 SV、GOOSE 断链分析及检测方法

(1) 合并单元 SV 级联断链

SV 接收状态指示灯异常时，检查 SV 级联光纤连接是否正常，是否有出现断线、脱落现象，若发现光纤连接问题，则更换备用光纤。二级合并单元对级联光纤通信状态进行监视，通信状态异常时，SV 接收状态指示灯闪烁。合并单元级联示意图如图 6 所示。

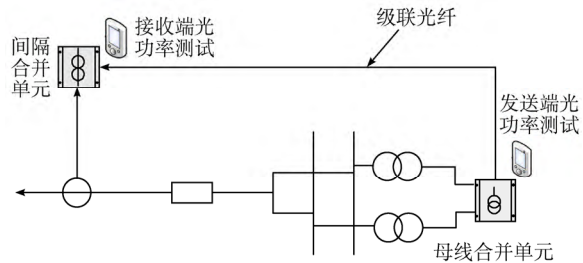


图 6 应用光功率测试方测试光纤链路通信示意图

(2) 合并单元 GOOSE 断链

GOOSE 接收状态指示灯异常时，检查 GOOSE 通信光纤连接是否正常，是否有出现断线、脱落现象，若发现光纤连接问题，则更换备用光纤。

以双母线间隔合并单元为例，其接收的 GOOSE 信息较少，一般从组网口接收智能终端刀开关位置，需检查 4 个点的光功率。测试点如图 7 所示。

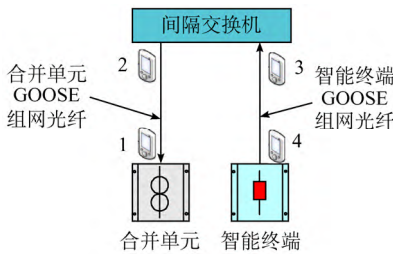


图 7 合并单元 GOOSE 链路异常光功率测试点示意图

6 合并单元异常分析

(1) 断链检测分析

合并单元级联通信状态异常的本质原因是光纤传输衰耗大，导致数据通信中断。衰耗过大的原因包括光纤折损、光纤曲率半径过大、光纤熔接质量不合格以及光纤与装置光口连接松动等。

光纤弯曲过大是光衰耗大的常见原因，常规要求不大于 45° 的弯曲走线，禁止折叠或大于 45° 的弯曲走线。

级联光纤断线、折损的检测方法可通过在光纤一端射入强光，另一端人工肉眼观察是否有光源来判断，但有时光纤衰耗过大也会造成链路中断或通信时好时断，另外光器件也有一定的故障几率，这是肉眼无法判断的，此时就需要光功率计来测试级联光纤两端的光功率。

实际接收光功率=发送光功率-光传输距离×衰耗系数/km-衰耗裕度。

光纤的衰耗系数为 1 310 nm，波长为 0.4 dB/km，一般每个法兰头衰耗为 0.5 dB，经过法兰头个数 N×0.5 dB 即为衰耗裕度。

具体参数要求如下：发送端光功率为-20~-14 dBm，接收端光功率接收灵敏度为-31~-14 dBm。在发送端与接收端测试的光功率均应在上述范围内。

(2) TV 切换异常分析

TV 切换逻辑是根据间隔刀开关位置判断的，主要是在双母线接线时间隔对所在母线的识别。刀开关 1、刀开关 2 位置用双点表示，智能

终端同时采集刀开关的合位和分位,根据合位和分位共同判断出刀开关实际位置。在倒闸操作中,两把刀开关同时挂在母线上,装置报警“同时动作”,两把刀开关同时分开;装置报警“同时返回”,两把隔离开关位置任一出现 00 或 11 状态时,装置报警“位置异常”。

装置报警“位置异常”时,TV 切换逻辑仍保持上一正常位置状态逻辑,此时不可对合并单元断电,断电后因初始上电不能获取正确的位置状态,发送的电压值品质无效,保护装置有失电压危险,必须将“位置异常”信号消除后,才可对合并单元进行断电操作。

(3) TV 并列异常分析

TV 并列功能是 TV 一次设备检修时,在一次设备并列情况下,二次电压共同使用运行 TV 采集到的电压,TV 并列逻辑在 TV 合并单元中实现。TV 并列使用手动并列方式,由现场人员根据一次设备检修情况选择并列方式。母联或分段断路器和刀开关同时为合位时并列,母联或分段断路器及其刀开关 1、刀开关 2 使用双点来表示,三者均为合位时才可并列,任一分位即解列。三者位置出现无效状态时,不可对 TV 合并单元进行断电操作,TV 合并单元初始上电不能获得正确的位置状态,且不能完成并列功能,对 TV 检修的母线上间隔有失电压危险。

(4) 对时异常分析

检查对时装置是否运行正常,对时光纤连接是否正常,是否有出现断线、脱落现象,若发现光纤连接问题,则更换备用光纤。保护采样采用直采方式时,对时异常不会影响保护功能。

7 结束语

本文根据智能变电站合并单元装置工作原理、设备技术特点,同时基于运行变电站内的设备运行分析,提炼了智能变电站合并单元运行维护注意事项,分析了典型的异常分析及处置办法,供变电运维专业人员参考。

参考文献

- [1] Q/GDW 383—2009 智能变电站技术导则[S]. 2009.

- [2] IEC 61850-9-1 Communication networks and systems in substation, Part 9-1: Specific communication service mapping (SCSM) - sampled values over serial unidirectional multidrop point to point link[S]. 2001.
- [3] IEC 61850-9-2 Communication networks and systems in substation, Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) sampled values over ISO/IEC 8802-3ES]. 2004.
- [4] Q/GDW 441—2010 智能变电站继电保护技术规范[S]. 2010.
- [5] 吕航,李力. 变电站同步信号异常对保护装置影响及对策[J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (19): 89-93.
- [6] 谢黎,黄国方,沈健. 数字化变电站中高精度同步采样时钟的设计[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (1): 61-65.
- [7] IEC 61850-6 与变电站有关的 IED 的通信配置描述语言[S].
- [8] 赵应兵,周水斌,马朝阳. 基于 IEC 61850-9-2 的电子式互感器合并单元的研制[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (6): 104-106, 110.
- [9] 乔洪新,黄少锋,刘勇. 基于二次插值理论电子式互感器数据同步的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (15): 49-52.
- [10] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 一种遵循 IEC 61850 标准的合并单元同步的实现新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (11): 57-61.

作者简介

卢江水 (1980-), 男, 硕士学位, 工程师, 主要研究方向: 变电运维、断路器检修。

戴瑞成 (1978-), 男, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向: 智能变电站运维技术、电气工程。

闫春江 (1975-), 男, 硕士学位, 高级工程师, 主要研究方向: 变电运维检修技术与管理。

(收稿日期: 2015-12-10) EA

(编辑: 胡颖)