输变电设备运行状态切换监测改进逻辑设计

针对电能质量在线监测系统建设期间，输变电设备状态切换监测接口程序存在的各种问题，根据设备端子特性，设计了统一的改进逻辑判据。该逻辑考虑了工程现场实际因素，提出测点数据最佳分量获取方法以提高遥测数据质量，联合拓扑着色法及关联断路器法以提高适应性，根据各判据因素可靠性对逻辑子项进行了调整，并论证了延时算法优于遥测闭锁法。

罗伟强　李连伟／国网长沙供电分公司
叶健辉　姜新凡／国网湖南省电力公司

罗伟强／工程师

关键词／Keywords
输变电设备·
状态切换·
改进逻辑·
电能质量在线监测·

0　引言

电能质量在线监测系统（简称在线监测系统）是国家电网公司于2014年全国统推系统，已全面应用于公司总部、省（市）公司及地市级公司，实现了电能质量从分散到集中、从手工录入到自动采集以及从事后统计到在线分析的管理模式转变[1-2]。

根据系统建设要求，各地市调度控制中心在EMS系统中部署电能质量在线监测接口（简称EMS接口），向在线监测系统提供110 kV电压等级输变电设备状态切换等数据。

由于地市电网电气接线多样性，测点信号不规范，各厂商开发的EMS接口程序部署后，输变电状态切换监测准确率不高，经过多次接口逻辑调整，但效果还是不尽人意。鉴于此，有必要考虑到工程现场各种常见异常方式，改进输变电设备状态切换监测逻辑，在确保程序不频发的前提下，最大限度提高输变电设备状态切换准确率，从而进一步提升电网输变电设备停复电信息采集自动化程度。

1　相关概念及函数

1）yc。遥测数据变量，如线电压u_l（包含u_{ab}，u_{bc}，u_{ac}）。yc在EMS系统中具有实时数据cur_data及点号dot_no两个属性，基于面向对象表述法，可依次表示为yc.cur_data、yc.dot_no。

2）is_define(yc)。yc是否定义点号，如果已定义点号，则函数结果为1，否则为0。即

$$\text{is_define}(yc)=\begin{cases}1 & yc.\text{dot_no}\geqslant 0\\ 0 & yc.\text{dot_no}<0\end{cases} \quad (1)$$

3）is_fresh(yc)。遥测实时数据yc.cur_data是否处于刷新状态，如果处于刷新状态，则返回1，否则返回0。

4）valid_data(yc)。遥测实时数据yc.cur_data未采集或不刷新，则返回0，否则返回yc.cur_data。即

$$\text{valid_data}(yc)=yc.\text{cur_data}\times\text{is_define}(yc)\times\text{is_fresh}(yc) \quad (2)$$

5）fabs(d_1)。取数值d_1绝对值。

6）max(d_1，d_2，…，d_n)。取数值序列d_1，d_2，…，d_n中最大值。

7）any_is_define(yc_1，yc_2，…，yc_n)。遥测数据集yc_1，yc_2，…，yc_n中任意一个已定义点号，则返回1，否则返回0。即

$$\text{any_is_define}(yc_1,yc_2,\cdots,yc_n)=\begin{cases}1 & \sum_{i=1}^{n}\text{is_define}(yc_i)>0\\ 0 & \sum_{i=1}^{n}\text{is_define}(yc_i)\leqslant 0\end{cases} \quad (3)$$

8）mon_t。决定设备是否带电的监测端子，设备只要一个监测端子带电，

则设备带电，否则设备失电[3]。

9）mon_t_num。输变电设备监测端子数目。一般来说，双绕组主变压器为2个，三绕组主变压器为3个，线路T_1，…，T_k，…，T_n为n个，母线为其所连接端点数。

10）yc_comp。遥测分量集，EMS系统中yc所涉及同类型遥测数据c_1，…，c_k，…，c_n。线电压u_l遥测分量集为3个（u_{ab}，u_{bc}，u_{ac}）、电流量i为4个（包含i_a，i_b，i_c，电流值I），有功p为1个。

11）best_v(yc_comp)。遥测分量集yc_comp品质最好的分量。式（4）中使用绝对值函数fabs是考虑部分遥测带正负号方向。即

$$\begin{aligned}&\text{best_v}(yc_\text{comp})=\max\{\text{fabs}[\text{valid_data}(c_1)],\cdots,\\&\text{fabs}[\text{valid_data}(c_i)],\cdots,\text{fabs}[\text{valid_data}(c_n)]\}\end{aligned}\quad(4)$$

如yc_comp为线电压u_l时

$$\begin{aligned}&\text{best_v}(u_l)=\max\{\text{fabs}[\text{valid_data}(u_{ab})],\\&\text{fabs}[\text{valid_data}(u_{ac})],\text{fabs}[\text{valid_data}(u_{bc})]\}\end{aligned}\quad(5)$$

2 工程考虑因素

2.1 遥测数据不规范使判据失效

由于历史原因，部分变电站特别是未改造老旧变电站，遥测数据未遵循统一规范，采集方式多样化。比如母线线电压，有的变电站取U_{ab}，有的则是U_{ac}，不同变电站不相同，甚至出现站内不同母线不相同现象。因此，采用遥测分量集中品质最好的分量作为EMS接口程序采用的数据，可靠性将大大提高，如母线线电压采用函数best_v(u_l)。

2.2 频发遥信引起频繁误推送

遥信信号特别是重要断路器频发变位信号，将影响EMS接口程序关于停复电逻辑判断，从而造成误推送停电事件。解决方法主要有延时出口及遥测闭锁两种方式。

（1）延时出口法

当EMS接口程序形成一条输变电设备停复电事件时，不立即推送出去，而是再等待n分钟（建议2～5 min，要求程序检测周期应该小于n/2）。如果在随后n分钟内，该输变电设备未再形成停复电事件，则推送该事件，否则抛弃该设备该条及随后n分钟内事件。

该种方式无法屏蔽频发周期大于n分钟的频发遥信。

（2）遥测闭锁法

在EMS接口程序输变电设备状态切换原有逻辑上，再考虑相关遥测量是否满足条件，如果不满足遥测条件，则抛弃该条事件，否则推送出去，从而用遥测闭锁频发遥信影响。

该种方式不能适用输变电设备无相关遥测情况，如分段母线部分未安装TV。

2.3 电气接线多样性使判据失效

地调存在多种不规范电气接线方式，如单母带旁母、双母带旁母、线变组接线、无进线断路器线路、主变压器高压侧仅有刀开关结构及单母分段部分未安装TV等。因此，判断设备是否停复电需要采用以下两种方法。

（1）拓扑着色法

通过电网拓扑着色分析，确定设备是拓扑带电还是失电，从而形成停复电事件。

该种方法能够适应各种复杂电网结构，但完全维护到位比较困难。如变电站改造过渡方式、模型维护及封锁遥信维护不及时均影响拓扑分析结果，同时拓扑分析结果受频发信号及其他设备拓扑状态影响。要求相关断路器及刀开关均要正确采集及维护。

建议应用场合：母线（含旁母）、连接到母线及旁母的主变压器或线路、至少一侧无断路器的主变压器或线路。以上接线关联断路器法无法适用。

（2）关联断路器法

考虑设备用断路器作为电气连接断开点，设备各侧断路器均断开，则判断设备停电，否则判断为复电。

该种方式只需电网模型节点入库即可，运维及应用简单，但不能够用于不规范电气接线及易受频发信号影响。

建议应用场合：两种方法均可应用电气接线，优先采用关联断路器法，以减少运维工作量。

3 改进统一逻辑设计与论证

假设输变电设备D具有n个监测端子，则D可以表示为n端设备T_1，…，T_k，…，T_n，电气接线图如下图所示。

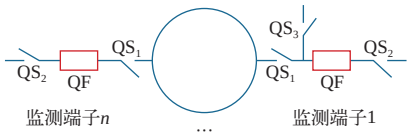

图 具有n个监测端子的输变电设备

3.1 第k端T_k停复电逻辑

判断第k端是否带电可采用拓扑着色分析该端QS_1是否带电，或用关联断路器法取QF遥信是否为合位从而确定QS_1是否带电。

拓扑着色法可以适用于k端各种电气接线，正确反映出QS_1是否带电；当k端用隔离刀开关QS_3连接到旁母上，以及k端无QF及QS_2时，关联断路器法无法正确反映QS_1是否带电。

当QF遥信值不正确时，将导致拓扑着色法及关联断路器法全部失效，QS_2及QS_1未正确采集将导致拓扑着色法失效。因此在停复电逻辑中，需要加入遥测点，为了提高逻辑子项的可靠性，用函数best_v来获取遥测分量集中最可靠分量。同时，考虑到某些端子无遥测数据，函数best_v作为判据失效，因此停复电逻辑必须用拓扑着色法或关联断路器法结合遥测形成最终判据。

3.1.1 采用拓扑着色法

（1）k端复电逻辑power_on(k)

$$\begin{aligned}&\text{power_on}(k)=(k\text{端历史状态停电})\&\&\\&(k\text{端拓扑着色带电}\|\text{best_v}(yc_\text{comp})>\text{门槛值})\end{aligned}\tag{6}$$

式中，当输变电设备为母线时，yc_comp为线电压u_l；输变电设备为主变压器时，yc_comp为有功P；输变电设备为线路时，yc_comp为电流量I。

由于拓扑着色带电可靠性高，因此复电优先采用拓扑着色结果，当拓扑着色失效时再考虑遥测量，两者之间为或逻辑。

从式（6）可以看出，按照上文中建议应用场合，复电逻辑可以正确反映遥信信号正常情况下输变电设备复电，但无法免疫误发遥信的影响。因此需要采用延时出口法或遥测闭锁法。

采用延时出口法：复电逻辑与式（6）相同。

采用遥测闭锁法，即

$$\begin{aligned}&\text{power_on}(k)=(k\text{端历史状态停电})\&\&\\&[k\text{端拓扑着色带电}\|\text{best_v}(yc_\text{comp})>\\&\text{门槛值}]\&\&[\text{best_v}(yc_\text{comp})>\text{门槛值}]\\&=(k\text{端历史状态停电})\&\&\\&[\text{best_v}(yc_\text{comp})>\text{门槛值}]\end{aligned}\tag{7}$$

从式（7）可以看出，拓扑着色法再加遥测闭锁时，与拓扑着色无关，不能够反映母线分段无TV等遥测未采集情况。因此，选用延时出口法。

（2）k端停电逻辑power_off(k)

$$\begin{aligned}&\text{power_off}(k)=(k\text{端历史状态带电})\&\&\\&[\text{best_v}(yc_\text{comp})<\text{门槛值}\&\&\\&\text{any_is_define}(yc_\text{comp})\|!\text{any_is_define}\\&(yc_\text{comp})\&\&k\text{端拓扑着色失电}]\end{aligned}\tag{8}$$

由于拓扑着色失电可靠性较低，式（8）优先采用遥测集中最佳分量作为判据，当遥测量未采集时，再采用拓扑着色结果。

从式（8）可以看出，与复电逻辑类似，停电逻辑在相关遥测集均未采集时，无法免疫误发遥信的影响。因此也需要采用延时出口法或遥测闭锁法。

采用延时出口法：复电逻辑与式（8）相同。

采用遥测闭锁法，即

$$\begin{aligned}&\text{power_off}(k)=(k\text{端历史状态带电})\&\&\\&[\text{best_v}(yc_\text{comp})<\text{门槛值}\&\&\\&\text{any_is_define}(yc_\text{comp})\|!\text{any_is_define}\\&(yc_\text{comp})\&\&k\text{端拓扑着色失电}]\&\&\\&[\text{best_v}(yc_\text{comp})<\text{门槛值}]\end{aligned}\tag{9}$$

由于当遥测集yc_comp均未定义时，best_v(yc_comp)<门槛值始终成立，因此式（9）与式（8）等效，从而停电逻辑采用延时出口法与遥测闭锁法相同。考虑到复电逻辑采用延时出口法，为了统一算法，停电逻辑也选用延时出口法。

3.1.2 采用关联断路器法

与拓扑着色法类似，关联断路器法用所关联

断路器分合位替代拓扑着色失电及带电，两者差异在2.3中两种方式建议应用场合不同。

采用关联断路器法也选用延时出口法来免疫频发遥信影响，其停复电逻辑如式（10）、式（11）所示。

（1）k端复电逻辑power_on(k)

$$\begin{aligned}&\text{power_on}(k)=(k\text{端历史状态停电})\&\&\\&(k\text{端断路器合位}\|\text{best_v}(yc_\text{comp})>\text{门槛值})\end{aligned}\tag{10}$$

（2）k端停电逻辑power_off(k)

$$\begin{aligned}&\text{power_off}(k)=(k\text{端历史状态带电})\&\&\\&[\text{best_v}(yc_\text{comp})<\text{门槛值}\&\&\\&\text{any_is_define}(yc_\text{comp})\|!\text{any_is_define}\\&(yc_\text{comp})\&\&k\text{端断路器分痊}]\end{aligned}\tag{11}$$

3.2 统一停复电逻辑

根据输变电设备D具有n个监测端子特性可知，任意一个端子带电，则D认为带电，否则认为是失电。因此输变电设备D统一停复电逻辑如式（12）、式（13）所示。

（1）复电逻辑power_on

$$\begin{aligned}&\text{power_on}=(\text{历史状态停电})\&\&\\&[\text{power_on}(1)\|\cdots\|\text{power_on}(k)\|\cdots\\&\|\text{power_on}(n)]\end{aligned}\tag{12}$$

（2）停电逻辑power_off

$$\begin{aligned}&\text{power_off}=(\text{历史状态带电})\&\&\\&[\text{power_off}(1)\&\&\cdots\&\&\text{power_on}(k)\\&\&\&\cdots\&\&\text{power_off}(n)]\end{aligned}\tag{13}$$

3.3 逻辑适应性分析

3.3.1 频发遥信

如上图所示，断路器QF频繁变动，当遥信从分到合变化，且设备历史状态为停电时，根据式（12）判定为设备带电。如果抖动周期大于延时闭锁周期，则生成设备复电事件，设备历史状态更新为带电。当遥信再由合到分变化时，由于停电逻辑式（13）先考虑遥测，因此不满足停电逻辑。当下一个周期遥信由分到合时，将被历史状态带电闭锁。

从上文分析可知，改进逻辑在极端不利情况下，只误发一次复电事件。

3.3.2 遥测、遥信不一致

由于设备状态变化时，遥测与遥信不同时上传（一般相差秒级，而接口程序检测周期为分钟级），导致遥测与遥信不一致。

当遥信先上传时，如果遥信由合到分，逻辑检测状态不变化，直到遥测上传后检测停电事件（如果遥测不上传，则检测不到）；如果由分到合，逻辑检查到设备带电。

当遥测先上传时，逻辑能够迅速检测到停复电事件。

从以上分析可知，改进逻辑在设备所有端子遥测均不上传情况下，才可能发生漏检测停电事件。

4 输变电设备停复电逻辑及应用注意点

4.1 母线停复电逻辑

根据上文中建议应用场合，母线采用拓扑着色法结合延时出口，母线监测端子数此时可以看作是1的设备，因此母线相关停复电逻辑如式（14）、式（15）所示。

（1）母线复电逻辑power_on_bs

$$\begin{aligned}&\text{power_on_bs}=\text{power_on}(1)=\\&(\text{母线历史状态停电})\&\&[\text{母线拓扑着色带电}\\&\|\text{best_v}(u_l)>\text{门槛值}]\end{aligned}\tag{14}$$

（2）母线停电逻辑power_off_bs

$$\begin{aligned}&\text{power_off_bs}=\text{power_off}(k)=\\&(\text{母线历史状态带电})\&\&\\&[\text{best_v}(u_l)<\text{门槛值}\&\&\\&\text{any_is_define}(u_l)\|!\text{any_is_define}\\&(u_l)\&\&\text{母线拓扑着色失电}]\end{aligned}\tag{15}$$

4.2 主变压器停复电逻辑

根据上文中建议应用场合，主变压器采用拓扑着色法或关联断路器法，同时结合延时出口，又因为主变压监测端子数为2或3，因此主变压器相关停复电逻辑如式（16）、式（17）所示（三圈变压器逻辑公式包含二圈变压器）。

（1）主变压器复电逻辑power_on_trans

$$\begin{aligned}&\text{power_on_trans}=(\text{主变压器历史状态停电})\\&\&\&[\text{power_on}(\text{高压侧})\|\end{aligned}\tag{16}$$

power_on(中压侧)‖power_on(低压侧)]

其中power_on(高压侧)是采用拓扑着色法将式（6），以及采用关联断路器法将式（10）的“*k*端”换成“高压侧”，*yc*_comp为高压侧有功P_h，power_on(中压侧)、power_on(低压侧)类似。

（2）主变压器停电逻辑power_off_trans

$$\begin{aligned}&\text{power_off_trans} = (\text{主变压器历史状态带电})\\&\&\&[\text{power_off}(\text{高压侧})\&\&\\&\text{power_off}(\text{中压侧})\&\&\text{power_off}(\text{低压侧})]\end{aligned}\quad(17)$$

其中power_off(高压侧)是采用拓扑着色法将式（8），以及采用关联断路器法将式（11）的“*k*端”换成“高压侧”，*yc*_comp为高压侧有功P_h，power_off(中压侧)、power_off(低压侧)类似。

4.3 线路停复电逻辑

根据上文中建议应用场合，线路采用拓扑着色法或关联断路器法，同时结合延时出口。具有*n*端线路L_1，…，L_k，…，L_n，停复电逻辑如式（11）、式（12）所示。

其中第*k*端*yc*_comp为该端电流量遥测分量集*i*。

4.4 逻辑使用注意事项

EMS接口程序使用以上逻辑时应注意以下几个方面。

1）接口程序采用设备停复电方式列表，即设备采用拓扑着色，还是采用关联断路器法。

2）接口程序初始化、监测到一次设备有异动及设备节点入库时，暂停状态切换事件出口，应根据一次设备接线方式重新生成设备停复电方式列表。

3）检测到状态切换事件后，应延时出口，延时时间为2～5 min，以避免延时期内误发遥信，同时保证状态切换事件及时性。

4）接口程序检测周期应小于延时周期的1/2，以确保两个时间的配合关系。

5 结束语

本文将输变电设备抽象为带监测端子的电气设备，考虑到工程实际中存在的各种问题，从而设计出改进的统一停复电监测逻辑。该逻辑具有以下特点。

1）采用拓扑着色法或关联断路器法，并结合延时算法，能够适应不同电气接线。

2）改进逻辑能够很好免疫频发信号，不存在频繁误发现象，在处理遥信、遥测不一致情况表现出色，误发漏发概率很低。

3）改进逻辑考虑了拓扑着色及关联断路器各自特点，提出了建议应用场合，并通过不同环境下逻辑子项可靠性调整逻辑，具有较高可靠性与较低运维难度，容易满足工程实际需求。

参考文献

[1] 国网湖北省电力公司．公司电能质量在线监测系统投运 [EB/OL]．http://www.hb.sgcc.com.cn/html/main/col9/2014-12/26/20141226101025179542720_1.html，2014-12-26/2015-05-16．

[2] 国电南瑞．国家电网公司电能质量在线监测系统通过鉴定 [EB/OL]．http://www.indaa.com.cn/dl2011/dlsb/201412/t20141205_1581603.html，2014-12-03/2015-05-16．

[3] Q/GDW 1680.410—2016 智能电网调度控制系统第4-10部分：实时监控与预警类应用输变电设备在线监测功能规范 [S]．北京：国家电网公司，2016．

（收稿日期：2017－11－24）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告