

配网自动化系统小电流接地故障暂态定位技术

薛永端¹,徐丙垠²,李天友³,李伟新⁴,王敬华²,张林利²,王振衡¹

(1. 中国石油大学(华东) 信息与控制工程学院,山东 青岛 266555;2. 山东科汇电力自动化有限公司,山东 淄博 255087;
3. 国网福建省电力有限公司,福建 福州 350003;4. 厦门电业局,福建 厦门 361004)

摘要: 分析了小电流接地故障的暂态过程、暂态电流分布特征,以及配网自动化(DA)系统实现接地故障定位面临的问题。介绍了暂态功率方向定位方法和暂态电流相似性定位方法的原理和特点,提出了综合利用两者特点确定故障区段的方法:利用前者大致估计故障所在区段,利用后者确定具体的位置。最后阐述了故障选线装置接入 DA 系统的必要性,给出了 DA 系统接地故障定位流程。静态模拟试验和现场运行结果均表明,基于所提方法的 DA 系统故障定位功能成功率高,且可有效辨识故障和扰动。

关键词: 小电流接地系统; 小电流接地故障; 配网自动化; 故障定位

中图分类号: TM 77

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.12.005

0 引言

故障定位、隔离与恢复供电是配网自动化 DA (Distribution Automation) 系统的关键功能,其通过缩小故障停电范围、加快故障处理速度、减小故障停电时间来提高供电可靠性^[1-2]。

随着社会对电力的依赖程度越来越高,停电(特别是意外的故障停电)造成的经济损失及对社会的不良影响也越来越大。有研究表明^[3],每停电 1 kW·h,给各类用户带来的经济损失平均在 40 元以上,由此推算,我国每年停电损失高达千亿元。DA 作为提高供电可靠性的有效技术措施,越来越得到重视,并被广泛应用。

中性点不接地和经消弧线圈接地配电网的单相接地(又称小电流接地)故障,由于故障电流小、故障不稳定等原因,检测较为困难^[4]。受技术限制,各国 DA 系统均不具备或不能有效地实现小电流接地故障定位功能。而根据统计,接地故障占配网故障的 80%,这使 DA 应用效果大打折扣,已经成为制约 DA 技术发展的一个重要障碍,亟待解决。

近年来,利用故障暂态信息的小电流接地故障选线技术^[5-8]已在现场获得成功应用,选线成功率可达 95% 以上(其余主要是高阻接地故障的检测成功率低),为基于故障暂态信息的定位技术奠定了良好基础。但受 DA 系统结构、终端接入电压信号和对时困难等条件限制,仍需大量的研究和实践工作。

收稿日期:2013-03-20;修回日期:2013-10-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51077090);国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA050213);国家电网公司科技项目(031[2012]19)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51077090),the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA050213) and Science & Technology Foundation of the State Grid Corporation of China(031[2012]19)

本文在分析小电流接地故障暂态分布特征和 DA 系统限制条件的基础上,提出一种综合利用暂态功率方向和暂态电流相似性原理、适用于 DA 系统的小电流接地故障定位新方法。阐述了 DA 系统接入选线装置的必要性,介绍了其故障定位流程。利用模拟试验和现场实际运行对所提方法进行了验证。

1 小电流接地故障暂态分布特征

1.1 接地故障的暂态过程

小电流接地故障的暂态(过渡)过程由系统等效电感、电容间的谐振产生。故障定位应重点研究故障点两侧暂态特征的差异。为简便起见,分析主谐振频率暂态分量特征的等值电路可近似为图 1。

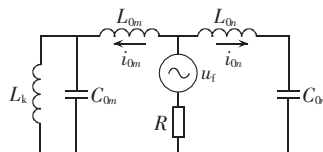


图 1 小电流接地故障暂态过程等值电路
Fig.1 Equivalent circuit of transient process of small-current grounding fault

图中, u_f 为故障点零模(即零序,后同)电压,等于故障相故障前的反相电压; R 为接地电流沿途的总电阻; L_{0m} 、 L_{0n} 和 C_{0m} 、 C_{0n} 分别为故障点上游(母线侧)、下游(负荷侧)的零模等效电感和零模等效电容; L_k 为消弧线圈等效电感; i_{0m} 和 i_{0n} 分别为故障点上游和下游暂态零模电流。

根据图 1,可认为故障点两侧暂态过程相互独立,即上游暂态过程由故障点到母线区间线路、所有健全线路以及消弧线圈共同产生,下游暂态过程仅由故障点到末端区间线路产生。

消弧线圈作为与故障点上游零模电容并联的电感元件,仅在高阻接地时对故障暂态的谐振频率和幅值有一定影响,其对故障电流的补偿作用随频率

增高而下降。与选线技术相同,在分析暂态电流在系统内分布规律及定位技术时可忽略消弧线圈。

相当比例的故障是不稳定的弧光接地或间歇性接地,使得工频信号不稳定而暂态信号频繁出现。图 2 给出了一个现场记录的接地故障电流信号。



图 2 典型的不稳定接地故障电流
Fig.2 Typical waveform of unstable grounding fault current

1.2 故障暂态电流在系统内的分布特征

配电系统一般具有多条出线,故障点上游方向的线路总长度远大于下游方向,其线路电感和对地分布电容也远大于后者。因此,一般条件下,上游方向的暂态过程谐振频率低,而下游方向谐振频率高,二者差异较大,相似性低。

对健全线路和故障点下游方向的检测点,故障电流为检测点下游区段线路的分布电容电流,幅值较小,方向由母线流向线路。对故障点到母线间的检测点,故障电流为检测点上游线路和所有健全线路分布电容电流之和,幅值较大,方向由线路流向母线。对故障点上游或下游 2 个相邻检测点(不包含故障点),其暂态电流之差为其间线路的分布电容电流,变化不大,即二者的暂态电流幅值接近,相似程度高。图 3 为接地故障暂态零模电流在系统内的分布。

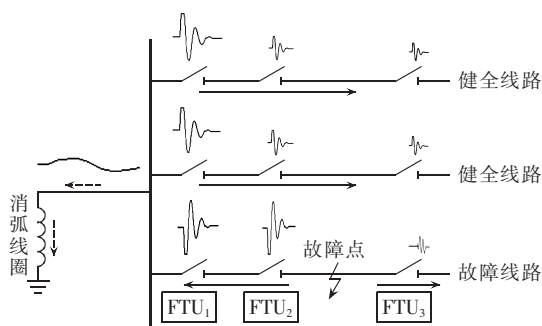


图 3 小电流接地故障暂态电流分布规律
Fig.3 Transient current distribution of small-current grounding fault

2 DA 系统暂态定位面临的主要问题

利用 DA 系统实现接地故障暂态定位,必须考虑其各种限制条件。

2.1 馈线终端装置的信号获取

与在变电所中可以方便地获取所需电压、电流信号不同,DA 系统中馈线终端装置(FTU)能获得的信号常常受到限制。

配电线路负荷开关、断路器集成的电流互感器(TA)一般分为 2 种配置:保护用三相 TA、保护用两

相 TA 加零序 TA。

三相 TA 配置可以通过三相 TA 合成零序电流信号,并利用突变原理克服 TA 参数不同产生的不平衡电流(工频分量)。由于正常运行时电流没有暂态分量,故障产生的暂态电流又远大于工频电流,因此通过三相 TA 合成的方法能够获得可靠的故障暂态零模电流。配置零序 TA 的情况下,可以直接获得工频和暂态零序电流信号。

若无外接电源,线路开关一般安装有 1 个或 2 个电压互感器(TV)给一次和二次设备提供电源,所以 FTU 可获得 1 个或 2 个线电压信号,无法获得相电压或者零序电压信号。即对于接地故障,线路上 FTU 均可获得零序电流信号,部分 FTU 可获得线电压信号,而均无法获得三相电压或零序电压信号。

2.2 FTU 的时间同步

接地故障中弧光接地、间歇性接地的比例较大。这类故障会不断产生暂态信号,如果需要对不同 FTU 检测的暂态电流进行比较运算,则需要各 FTU 间有较高的时间同步能力(误差小于 1 ms)。目前通过主站对时的方式,FTU 的时间同步误差一般在 10 ms 左右,不能满足要求。给 FTU 附加卫星(GPS)对时模块或通过 1588 系统对时,可显著提高对时精度,但成本也会相应增加。因此,要求定位算法能够适应 FTU 时间同步误差较大的情况。

2.3 FTU 软、硬件处理能力

接地故障暂态信号主谐振频率一般在几百 Hz 至 2 kHz,对 FTU 的采样频率有较高要求,一般要求大于 6 kHz。

在故障时要记录暂态信号并进行处理,要求 FTU 具有较强的软、硬件处理能力^[9]。

2.4 出线断路器处故障信息的获取

在短路故障定位过程中,DA 系统需要采集变电所出线断路器的故障信息。大部分 DA 系统的监控范围不包含出线开关,需要和地区调度自动化系统或者变电所综合自动化系统配合以获得所需信息。

与短路故障只在故障线路产生故障电流不同,小电流接地故障时,系统内所有出线、检测点均能检测到故障信号,而出线断路器的保护设备一般不能提供所需的接地故障信息,仅依靠各 FTU 的故障信息,需要先确定故障线路再定位。受接入信号和软硬件处理能力限制,FTU 的检测可靠性相对较差,可能在选线阶段就发生错误,且缺乏出线口故障信息,各出线第 1 个 FTU 到母线之间的区段为定位盲区。

2.5 主站算法适用性

在应用最广泛的集中故障处理模式^[10-11]中,FTU 负责故障信息采集,主站负责故障定位。一般的 DA 系统中,主站和终端会采用多个厂家的产品。为配

合方便,要求定位算法越简单越好,或者能将终端厂家的特有定位软件植入主站中。

3 适应 DA 系统的暂态定位方法

暂态功率方向和暂态电流相似性原理均可实现小电流接地故障定位,但技术特点不同,综合利用二者信息可提高定位可靠性和适用性。

3.1 暂态功率方向定位方法

3.1.1 定位判据

利用暂态(无功)功率在故障点上游流向母线、下游流向线路的特征确定故障区段。

根据暂态零模电压(或与故障相对应的特定线电压)与零模电流在特征频段内的容性约束关系^[12-13],可以定义暂态无功功率 Q 为特征频段内电压 $u(t)$ Hilbert 变换的反极性与电流 $i_0(t)$ 对应的平均功率如式(1)所示;或者定义暂态无功功率 Q 为特征频段内电压 $u(t)$ 的导数与电流 $i_0(t)$ 对应的平均功率如式(2)所示。

$$Q = -\frac{1}{\pi T} \int_0^T i_0(t) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(\tau)}{t-\tau} d\tau dt \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T i_0(t) u'(t) dt \quad (2)$$

其中, T 为暂态信号持续时间。 $Q < 0$ 表明暂态无功功率流向母线, $Q > 0$ 则表明暂态无功功率流向线路。

故障区段的判据为:区段两侧的暂态(无功)功率流向相反,即两侧的 Q 极性相反。

3.1.2 特点及适用性分析

对于非稳定性接地故障,每次暂态过程对应的故障方向(无功功率流向)是恒定的,即该方法不受弧光接地、间歇性接地的影响,也不需要 FTU 有很高的对时精度,检测可靠性较高。

FTU 只需向主站报告故障方向,传输数据量小,对通信的压力小。主站定位算法简单(与双电源短路故障定位算法类似),方便不同厂家的产品之间进行配合。

计算暂态功率时需要零模电压或与接地相对应的特定线电压信号(如 A 相接地需要 BA 或 CA 线电压),仅适用于开闭所/配电所,或安装有 TV 检测点的特定相故障。

3.2 暂态电流相似性定位方法

3.2.1 定位判据

利用故障区段两侧暂态零模电流相似程度低、健全区段两侧暂态零模电流相似程度高的特征确定故障区段。

工程中,FTU 间难以精确同步记录暂态电流信号。在计算 2 个相邻检测点暂态零模电流 $i_{0,k}(t)$ 、 $i_{0,k+1}(t)$ 之间相似系数 $\rho_{k,k+1}$ 时,需要对其中 1 个信号进行适度偏移,得到一系列的相关系数,并取其中绝对值最

大值作为其相似系数^[14],即:

$$\rho_{k,k+1} = \max(|\rho_{k,k+1}(\tau)|) = \max \left[\frac{\left| \int_0^T i_{0,k}(t) i_{0,k+1}(t+\tau) dt \right|}{\sqrt{\int_0^T i_{0,k}^2(t) dt \int_0^T i_{0,k+1}^2(t) dt}} \right] \quad \tau \in [-T_1, T_1]$$

其中, T_1 为 FTU 间最大同步误差;对于超出记录范围 $[0, T]$ 的电流数据用 0 补充。相似系数 $\rho_{k,k+1}$ 满足:

$$0 \leq \rho_{k,k+1} \leq 1$$

比较故障线路上各区段相邻 FTU 间暂态零模电流相似系数可确定故障区段。考虑到最末区段仅有 1 个相邻 FTU 以及故障点下游 FTU 可能因为暂态电流过小而无法启动,故障区段判据如下:

a. 两侧暂态电流之间的相似系数最小且小于设定的阈值,该区段为故障区段;

b. 两侧 FTU 均上报故障暂态电流的所有区段中,相似系数均大于设定阈值,则最末一个 FTU 下游区段为故障区段。

相似系数的预设阈值为经验值,一般可设为 0.5~0.8。

3.2.2 特点及适应性分析

a. 不依赖零模电压或线电压,仅需要零模电流信号,能适应所有检测点。

b. 对于非稳定性接地故障,如果较短时间(10 ms)内发生 2 次以上暂态过程且各次暂态过程不相似,FTU 之间计算暂态电流相似性时易受其影响。

c. 各 FTU 均需向主站上传故障录波数据,传输数据量大,对通信压力较大。主站定位算法复杂,不同厂家产品之间的配合有一定难度。

3.3 暂态电流近似嫡定位方法

利用近似嫡算法将暂态电流信号转换为一个对应电流波形复杂程度的嫡值,主站通过比较相邻 FTU 的电流嫡值大小确定故障区段^[15]。

该方法仍是基于暂态电流相似性的基本原理,其优点为:FTU 不再需要向主站上报录波数据,减轻了对通信的压力;主站不需计算相似系数,算法相对简单。但由于信号嫡值与信号复杂程度间是非线性对应关系,且存在非唯一性,其实际效果还需验证。

3.4 暂态功率方向和电流相似性综合定位方法

暂态功率方向方法的定位可靠性大于暂态电流相似性方法,但前者仅适用于部分检测点,而后者适用于所有检测点。因此,可以根据故障线路上各 FTU 获得电压信号的状况,综合利用暂态功率方向和暂态电流相似性信息确定故障区段,即:

a. 利用具备计算暂态功率方向条件的各 FTU 的故障方向信息,确定故障所在的大区段(可能包含有 1 个或多个不具备计算暂态功率方向条件的 FTU);

b. 在大区段内,利用各 FTU 间暂态电流相似性关系确定故障具体区段。

图 3 所示的故障线路中,设 FTU_1 可以获得零序电压信号,可计算任何相接地的暂态功率方向; FTU_2 可以获得 CA 相线电压,可计算 A 相或 C 相接地的暂态功率方向; FTU_3 不能获得任何电压信号。

对于 A 相或 C 相接地故障,可先根据 FTU_1 和 FTU_3 的暂态功率方向确定故障所在的大区段;如果故障位于 FTU_1 和 FTU_3 之间,则再根据 FTU_1 和 FTU_2 的暂态电流相似性关系确定具体故障区段。对于 B 相接地故障,则只能根据 3 个 FTU 间的暂态电流相似性关系确定具体故障区段。

4 DA 系统暂态定位的实现

4.1 DA 系统接入故障选线装置的必要性

为解决出线断路器处接地故障信息的获取及提高定位可靠性,可在变电所内装设高可靠性选线装置。除实现常规选线功能外,还将产生定位所需的各种故障信息并将信息接入 DA 系统,其作用如下。

a. 确定故障线路,提高定位可靠性。选择故障线路是定位的首要步骤。相比 FTU,选线装置可获得所需的各种信号,软硬件处理能力更强,其选线的可靠性也更高。

b. 提供出线口故障信息,消除定位盲区。选线装置可提供故障线路出口处的暂态功率方向、暂态电流录波数据、暂态电流近似熵等各种故障信息,起到了短路故障时出线保护装置的作用,可消除首个 FTU 与母线间的定位盲区。

c. 提高抗干扰能力。选线装置可以根据三相电压/零序电压特征区分雷击、合闸等引起的暂态过程和故障暂态过程。对于接地故障,能够判别故障类型(稳定故障、弧光故障或间歇性故障等),识别故障持续时间。将这些信息上报 DA 主站后,可以提高故障检测的抗干扰能力。

小电流接地故障暂态电流幅值远大于工频稳态电流,一般达上百安培,有效保障了故障检测的可靠性。

4.2 DA 系统接地故障定位流程

配电网允许带接地故障运行一段时间,对检测时间无严格要求。可采用集中故障处理模式,即由 DA 主站收集不同 FTU 故障信息实现定位,根据需要由调度人员遥控操作完成隔离。DA 系统定位流程如下。

a. 接地时,选线装置根据零序电压变化启动,实现故障选线,并将带有时间标签的故障线路出口暂态功率方向、暂态电流录波数据(或对应的近似熵值)以及工频电压等信息上报主站。

b. 接地时,接有三相/零序电压的 FTU,根据三相/零序电压工频量变化启动,接有特定线电压的 FTU 根据暂态电流变化启动,计算暂态功率方向,

并将带有时间标签的故障方向、暂态电流录波数据(或对应的近似熵值)等信息上报主站。

c. 接地时,无三相/零序/特定线电压的 FTU 根据暂态电流变化启动,并将带有时间标签的暂态电流录波数据(或对应的近似熵值)等信息上报主站。

d. 主站收集到变电所选线装置和各个 FTU 故障信息后,根据选线装置的电压信息确认是否发生接地故障,如果是扰动则退出。

e. 确认发生接地故障后,根据选线装置的选线结果确定故障线路。

f. 根据选线装置和故障线路 FTU 信息,综合利用暂态功率方向和电流相似性原理确定故障区段。

g. 根据选线装置的电压信息确定故障持续时间,对于永久性故障推出定位结果,并给出声光告警信息;对于瞬时性故障,保存定位结果,仅给出文字告警信息。

5 现场运行及结果

在 DA 系统平台上开发的小电流接地故障暂态定位功能已经过了静态模拟试验,并在现场进行了试运行。静态模拟试验系统与图 3 相似,经过多次技术改进和完善,定位成功率已达 99% 以上。以下主要介绍现场试运行情况。

5.1 试运行系统

试运行系统为厦门电业局 TY 变电所 10 kV-I 段和 10 kV-IV 段母线,2 段母线各有出线 11 条,5 条,均经自动调谐式消弧线圈接地。系统监测了母线 I 的 911 汀溪线和母线 IV 的 946 四林线,2 条线路分别安装了 2 台 FTU(线路各被分为 3 个区段),在变电所安装了改进后的暂态原理选线装置,在调度部门安装了定位主站。 FTU_1 、 FTU_3 接入 AB 相电压, FTU_2 、 FTU_4 接入 BC 相电压,FTU、选线装置和定位主站间通过 GPRS 通信。系统结构如图 4 所示。

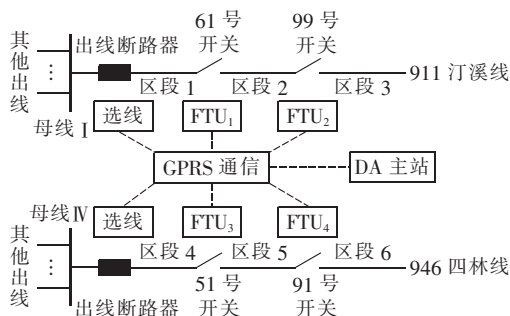


图 4 现场试运行故障定位系统

Fig.4 Site trial of fault location system

5.2 运行结果分析

经过近 2 个月的试运行,系统成功记录了实际故障 11 次,具体情况见表 1。表中,功率方向 1 为故障线路首个 FTU 处的暂态功率方向,功率方向 2 为故障线路第 2 个 FTU 处的暂态功率方向,“+”表

表 1 现场故障定位结果
Tab.1 Results of site fault location

序号	故障时间	选线结果	故障相	功率方向 1	功率方向 2	故障大区段	系数 1	系数 2	定位结果
1	07-26 16:52	汀溪线	B	-	+	区段 2	*	*	区段 2
2	07-29 04:40	汀溪线	C	×	×	区段 1—3	0.75	×	区段 2
3	08-01 11:53	四林线	B	-	+	区段 5	*	*	区段 5
4	08-11 00:57	汀溪线	A	-	×	区段 2、3	0.91	0.92	区段 3
5	08-11 23:46	汀溪线	A	+	×	区段 1	*	*	区段 1
6	08-24 12:18	汀溪线	C	×	×	区段 1—3	×	×	区段 1
7	08-24 15:32	汀溪线	A	-	×	区段 2、3	0.91	0.27	区段 2
8	08-30 05:39	汀溪线	A	-	×	区段 2、3	0.83	0.91	区段 3
9	09-01 18:48	汀溪线	C	×	-	区段 3	*	*	区段 3
10	09-06 20:39	四林线	C	×	×	区段 4—6	0.91	×	区段 5
11	09-10 01:41	汀溪线	A	-	×	区段 2、3	0.81	0.95	区段 3

示无功功率流向线路,“-”表示无功功率流向母线;系数 1 为选线装置与故障线路首个 FTU 间的暂态电流相似系数;系数 2 为故障线路 2 个 FTU 间的暂态电流相似系数;“×”表示因故障点下游暂态电流幅值小,FTU 没有启动,或是因 FTU 没有接入故障相电压,无法计算相应的无功功率或相似系数;“*”表示仅使用功率方向法即可判断故障区段,无需计算相似系数。

对应于表 1 中第 4 次故障(各电流出现不同程度的饱和现象)和第 7 次故障,选线装置和各 FTU 记录的故障电流波形分别如图 5 和图 6 所示。

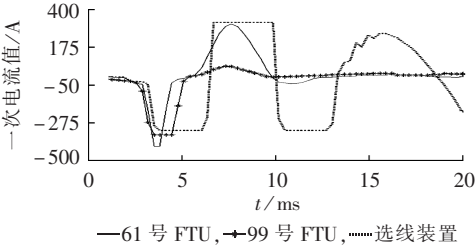


图 5 区段 3 故障时各检测点暂态电流波形
Fig.5 Transient current waveform of each monitoring point with fault in section 3

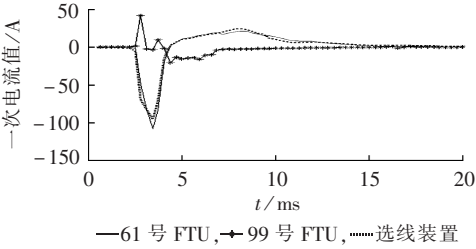


图 6 区段 2 故障时各检测点暂态电流波形
Fig.6 Transient current waveform of each monitoring point with fault in section 2

5.3 试验系统的抗扰动措施

除接地故障外,操作、雷击等因素也会在配电线路上产生扰动性质的暂态电流。能量较大的扰动还会引起电压波动,出现瞬间的零序电压信号,与瞬时性接地故障现象有相似之处,但其零序电压持续时间非常短暂(远小于 1 个工频周期)。

依靠零序电流突变量启动的 FTU 易受干扰误动,而依靠零序电压或三相电压变化启动的选线装置或 FTU,误动概率大为降低。主站在选线装置启动(出现零序电压)且零序电压持续时间超过一定时限(可设为 2~5 ms)时确认为接地故障,否则判为扰动。

试验系统共记录了 1000 多次扰动数据,只有 3 次扰动存在一定的零序电压变化使选线装置同时启动,其他扰动则只有 FTU 启动,图 7 为 FTU 记录的一次典型扰动暂态电流波形。

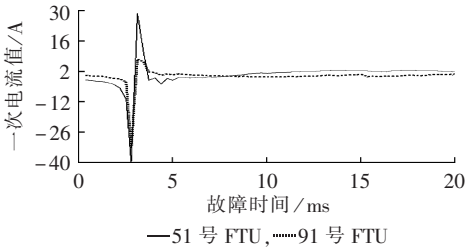


图 7 FTU 记录的扰动暂态电流波形
Fig.7 Transient current waveform of disturbance recorded by FTU

6 结论

小电流接地故障定位已成为制约 DA 技术发展的一个重要因素,亟待解决。研究新的定位原理和技术时,必须适应 DA 系统电压信号接入和对时困难等限制条件。DA 系统中接入变电所选线装置信息,可以提高接地故障定位可靠性,消除定位盲区。

根据选线装置结果确定故障线路后,先利用故障线路中具备计算暂态功率方向条件的各 FTU 的故障方向信息确定故障所在大区段,在大区段内再利用各 FTU 间暂态电流相似性关系确定故障具体区段。这种定位方法综合了暂态功率方向法和暂态电流相似性方法的优点,检测可靠性高,适用范围广。

DA 系统的小电流接地故障暂态定位技术,借助系统已有平台,不需要外加接地电阻或信号注入设备,不仅不受消弧线圈影响,检测可靠,且易于实现,投资小。

参考文献:

- [1] 李天友,金龙,徐丙垠,等. 配电技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008:254-256.
- [2] 刘健,倪建立. 配电网自动化新技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:6-11.
- [3] 邢兆远. 提高供电可靠性监管指标[N]. 光明日报:2010-03-14(6).
- [4] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2004:58-68.
- [5] 邢亚辉,王海军,吕艳萍. 基于线路零序频率特性的小电流接地系统故障选线[J]. 电力自动化设备,2006,26(4):59-62.
XING Yahui,WANG Haijun,LÜ Yanping. Faulty line selection in non-solid earthed network based on zero sequence frequency characteristic of transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(4):59-62.
- [6] 薛永端,陈羽,徐丙垠,等. 利用暂态特征的新型小电流接地故障监测系统[J]. 电力系统自动化,2004,28(24):83-87.
XUE Yongduan,CHEN Yu,XU Bingyin,et al. Characteristic transient based monitoring system for earth fault in non-solidly earthed network[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(24):83-87.
- [7] DRUML G,KLEIN R-W,SEIFERT O. New adaptive algorithm for detecting low- and high ohmic faults in meshed networks [C] //Proceedings of CIRED 2009. Prague,Czechia:IEEE,2009:631-651.
- [8] 庞清乐,孙同景,孙波,等. 基于小波分析的配电网故障选线新方法[J]. 电力自动化设备,2007,27(4):19-22.
PANG Qingle,SUN Tongjing,SUN Bo,et al. Faulty line detection based on wavelet packet analysis for distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(4):19-22.
- [9] 吴军基,刘翔,杨伟. 基于DSP的FTU研究和设计[J]. 电力自动化设备,2003,23(12):17-20.
WU Junji,LIU Xiang,YANG Wei. Research and design of FTU based on DSP[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(12):17-20.
- [10] 国家电网公司. Q/GDW513—2010 配电网自动化主站系统功能规范[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [11] 国家电网公司. Q/GDW514—2010 配电网自动化终端/子站功能规范[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [12] 薛永端,徐丙垠,冯祖仁,等. 小电流接地故障暂态方向保护原理研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(7):51-56.
XUE Yongduan,XU Bingyin,FENG Zuren,et al. The principle of directional earth fault protection using zero sequence transients in non-solid earthed network[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(7):51-56.
- [13] 张林利,徐丙垠,薛永端,等. 基于线电压和零模电流的小电流接地故障暂态定位方法[J]. 中国电机工程学报,2012,32(13):110-115.
ZHANG Linli,XU Bingyin,XUE Yongduan,et al. Transient fault locating method based on line voltage and zero-mode current in non-solidly earthed network[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(13):110-115.
- [14] 马士聪,徐丙垠,高厚磊,等. 检测暂态零模电流相关性的小电流接地故障定位方法[J]. 电力系统自动化,2008,32(7):48-52.
MA Shicong,XU Bingyin,GAO Houlei,et al. An earth fault locating method in feeder automation system by examining correlation of transient zero mode currents[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(7):48-52.
- [15] 孙波,徐丙垠,孙同景,等. 基于暂态零模电流近似熵的小电流接地故障定位新方法[J]. 电力系统自动化,2009,33(20):83-86.
SUN Bo,XU Bingyin,SUN Tongjing,et al. New fault locating method based on approximate entropy of transient zero-module current in non-solidly earthed network[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(20):83-86.

作者简介:

薛永端(1970—),男,山西芮城人,教授,博士,研究方向为配电网自动化及其基于暂态信息的故障检测、智能配电网(E-mail:xueyd70@126.com);

徐丙垠(1961—),男,山东滕州人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为电力系统故障监测、配电网自动化、智能配电网;

李天友(1963—),男,福建南安人,高级工程师,博士,从事电力系统自动化技术研究与管理工。

Small-current grounding fault location based on transient signals of distribution automation system

XUE Yongduan¹, XU Bingyin², LI Tianyou³, LI Weixin⁴, WANG Jinghua²,
ZHANG Linli², WANG Zhenheng¹

(1. China University of Petroleum(East China), Qingdao 266555, China; 2. Kehui Electric Co., Ltd., Zibo 255087, China;

3. State Grid Fujian Electric Power Company Limited, Fuzhou 350003, China;

4. Xiamen Electricity Bureau, Xiamen 361004, China)

Abstract: The transient process and the transient current distribution of small-current grounding fault are analyzed and the difficulties of its location by DA(Distribution Automation) system are discussed. The principles and features of transient reactive power direction location method and transient grounding fault current similarity location method are introduced and a hybrid method is proposed, which applies the former method to estimate roughly the fault section and the latter to confirm exactly the fault location. The necessity of integrating the faulty line selector into DA system is explained and its location flowchart is given. The results of static simulation and field operation show that, the proposed fault location function of DA system has high success rate, which can effectively distinguish the disturbances from the faults.

Key words: non-solidly earthed network; small-current grounding fault; distribution automation; electric fault location