

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.05.024

基于序电流相位差的EHV/UHV输电线路高阻抗故障选相研究*

廖东进, 卢 艳

(衢州职业技术学院 信息工程学院, 浙江 衢州 324000)

摘要: 为了实现超高压和特高压输电线路的故障快速诊断,将序电流相位差技术应用到输电线路高阻抗故障选相中。开展了三相网络单相接地故障和相间接地故障分析,通过零序和负序电流分量相位差对故障相区间进行了划分,建立了序电流相位差、相阻抗、相间阻抗、3段距离继电器保护范围与故障类型、故障相别的关系;提出了一种以序电流相位差为判断依据的超高压和特高压输电线路高阻抗故障选相新方法;在500 kV,400 km的输电线路上对该故障选相方案的精确性及可靠性进行了评价,并进行了RTDS仿真测试。研究表明:该故障选相方案能够实现精确可靠的识别,并有足够的边际应对意外因素或计算误差,即使在电网振荡时,也可以实现可靠的系统故障相识别。

关键词: 输电线路; 序电流相位差; 超高压; 特高压; 故障选相; 故障诊断

中图分类号: TM773

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)05-0614-05

Phase selection of high-impedance faults on EHV/UHV transmission lines based on sequence currents phase difference

LIAO Dong-jin, LU Yan

(School of Information Engineering, Quzhou College of Technology, Quzhou 324000, China)

Abstract: In order to realize the fault diagnosis quickly for EHV or UHV power transmission line, the technology of sequence current phase difference was applied to the phase selection of high-impedance fault on transmission line. After the analysis of the single-phase-to-ground fault and two-phase-to-ground fault in three-phase network, the phase-to-phase fault was partitioned based on the phase difference of negative and zero sequence current components. The relationship between the fault type, fault phase and the protection region of sequence current phase difference, phase impedance, phase-to-phase impedance and 3-stage distance relay was established. A method was presented to judge the phase selection of high-impedance fault on EHV or UHV power transmission line based on sequence current phase difference. The accuracy and reliability of this fault phase selection scheme were evaluated for the 500 kV, 400 km transmission line, and RTDS experimental simulations were tested. The experimental results show that the accurate and reliable recognition of this fault phase selection scheme can be realized, the unexpected factor can be dealt with, and error can be calculated with so enough time, the fault phase selection can be reliably realized, even if the system is on power grid oscillations.

Key words: transmission lines; sequence current phase difference; extra-high voltage (EHV); ultra-high voltage (UHV); fault phase selection; fault diagnosis

0 引 言

对于超高压和特高压输电线路,及时准确的故障

诊断是非常必要的。输电线路的故障诊断中故障选相起着重要作用,尤其对于高电阻故障。基于序分量的故障选相方法一直为人们所关注和研究。较早提

收稿日期: 2013-01-25

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y1110557);2010年衢州市科技计划资助项目(20111056)

作者简介: 廖东进(1979-),男,浙江衢州人,讲师,主要从事光伏发电系统方面的研究. E-mail:ldj525@126.com

出的利用故障引起的电压或电流分量变化的故障选相方法效果良好,但只能用于故障发生后最初1~2个周期;文献[1]提出了一种行波固有频率的特高压输电线路故障选相方法。文献[2]提出来基于暂态量的超高压输电线路故障选相方法;文献[3]中提出了一种基于暂态电流小波熵权的输电线路故障选相方法。文献[4]将小波变换引入了故障相判别。此外还有使用人工智能算法和模糊数学的故障选相^[5-6]。

根据理论分析和动态测试可知,基于序分量的故障选相方法对超高压和特高压输电线路的故障诊断具有较好的性能。但是,在电网振荡时,该方法可能会使继电保护误操作^[7]。

本研究根据超高压和特高压输电线路中三相导线及序网络图的结构,提出以零序和负序电流分量相位关系来判别故障相新方法,用于正常运行时和电网振荡时出现的高电阻故障,使用RTDS仿真验证方案的有效性。

1 故障选相方法原理

本研究以长度400 km的500 kV输电线路为系统研究对象。系统示意图如图1所示。内部参数含义如表1所示,分析的故障类型为单相接地故障(例如A相接地故障,表示为“A-g”故障)以及相间接地故障(例如B、C相间接地故障,表示为“BC-g”故障),因为相间故障(例如B、C相间故障,表示为“BC”故障)不产生零序故障电流或电压分量,这一特性使其可以通过使用高于正常条件的零分量设置值将它与其他的不平衡故障区分出来^[8]。

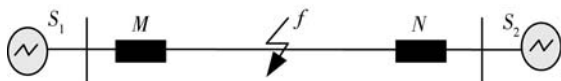


图1 系统研究示意图

表1 系统的参数含义

参数	含义
U_{f0l}	故障发生前故障点的电压
$Z_{\varphi\Sigma}$	序网络的总阻抗, $\varphi=1, 2, 0$
$Z_{\varphi\varphi}$	不同相之间的相间阻抗, $\varphi=A, B, C$
Z_{φ}	φ 相的单相阻抗, $\varphi=A, B, C$
$I_{fa\varphi}$	序网络中故障点A相的叠加电流, $\varphi=1, 2, 0$
$C_{\varphi M}$	M端序网络中的叠加电流分布系数, $\varphi=1, 2, 0$
X_S	系统等效阻抗
X_L	继电器保护距离电抗

本研究以A-g和BC-g故障为例,说明基于负序和零序叠加电流的故障选相方法。从M点继电器观察的三相导线图和故障序网络图如图2所示。

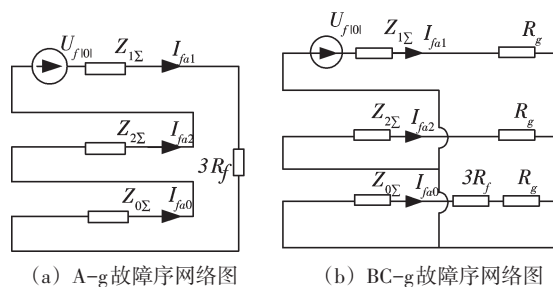


图2 系统故障示意图

1.1 A-g故障分析

从图2(a)中可得:

$$I_{fa0} = I_{fa2} \quad (1)$$

因此,在每一端(例如M端)测得零序和负序叠加电流分量的相位角(以 δ 表示)仅仅依赖于相应序网络的各自分布系数:

$$\delta = \text{Arg}\left(\frac{I_{fa0M}}{I_{fa2M}}\right) = \text{Arg}\left(\frac{C_{0M} I_{fa0}}{C_{2M} I_{fa2}}\right) = \text{Arg}\left(\frac{C_{0M}}{C_{2M}}\right) \quad (2)$$

因为 X/R 比值很高, C_{2M} 和 C_{0M} 近似于实数,即 δ 近似为 0° ,这一结果引起的最大误差小于 10° 。

1.2 BC-g故障分析

BC-g相间接地故障的序网络图如图2(b)所示。对于BC-g故障,在M端测得的角度 δ 可以表示如下:

$$\delta = \text{Arg}\left(\frac{I_{fa0M}}{I_{fa2M}}\right) = \text{Arg}\left(\frac{C_{0M} I_{fa0}}{C_{2M} I_{fa2}}\right) = \text{Arg}\left(\frac{Z_{2\Sigma} + R_g}{Z_{0\Sigma} + R_g + 3R_f} \frac{C_{0M}}{C_{2M}}\right) \quad (3)$$

一般来说,接地电阻 R_g 的值远大于相间电阻 R_g ,因此根据公式(3),影响角度 δ 的主要因素是电阻 R_g 而非 R_g 。所以,在典型的BC-g故障中,当 R_g 电阻值在零到无穷大之间变化时, δ 的变化范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

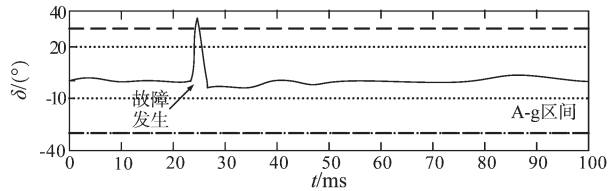
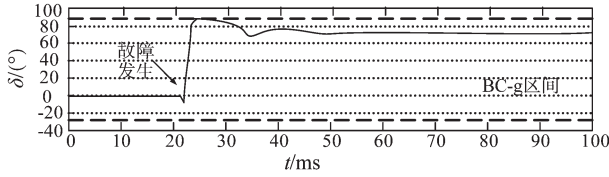
因此,任意故障电阻值的A-g故障和相对低的电弧电阻值的BC-g故障的相区间为 $-30^\circ \sim +30^\circ$,而高阻抗 R_g 的BC-g故障的相区间为 $+30^\circ \sim +90^\circ$ 。

各种故障类型的相区间如表2所示。

表2 故障类型及对应相区间表

区间	相区间	故障类型
区间1	$-30^\circ \sim +30^\circ$	A-g或BC-g
区间2	$+30^\circ \sim +90^\circ$	BC-g
区间3	$+90^\circ \sim +150^\circ$	B-g或CA-g
区间4	$+150^\circ \sim +210^\circ$	CA-g
区间5	$-150^\circ \sim -90^\circ$	C-g或AB-g
区间6	$-90^\circ \sim -30^\circ$	AB-g

相区间2、4、6代表相间故障。如果 δ 位于其中一个区间,可以立即确定相间故障的故障相。相区间1、3、5为重叠区域,代表单相或相间故障。针对重叠区间需要测量单相阻抗和相间阻抗来区分故障类型并

(a) A-g故障 δ 轨迹(b) BC-g故障 δ 轨迹图4 δ 轨迹表3 不同阻抗时单相接地故障的 δ 值

R_f/Ω	不同故障相的 $\delta/(\circ)$		
	A-g	B-g	C-g
0	-0.36	+118.68	-120.53
100	-0.31	+119.59	-120.09
300	-0.32	+119.16	-119.73
800	-0.32	+118.32	-118.92
	$\delta/(\circ)$	$\delta/(\circ)$	$\delta/(\circ)$
正确区间	$-30^\circ \sim +30^\circ$	$+90^\circ \sim +150^\circ$	$-150^\circ \sim -90^\circ$

表4 不同阻抗时相间接地故障的 δ 值

故障电阻/ Ω		不同故障相的 $\delta/(\circ)$		
R_f	R_g	BC-g	CA-g	AB-g
0	0	+8.91	+128.91	-111.09
0	100	-6.72	+113.43	-126.90
0	300	-2.62	+117.86	-123.13
100	0	+81.51	+201.56	-38.66
300	0	+84.31	+204.57	-36.16
800	0	+85.30	+206.01	-35.98
		$\delta/(\circ)$	$\delta/(\circ)$	$\delta/(\circ)$
正确区间		$-30^\circ \sim +90^\circ$	$+90^\circ \sim +210^\circ$	$-150^\circ \sim -30^\circ$

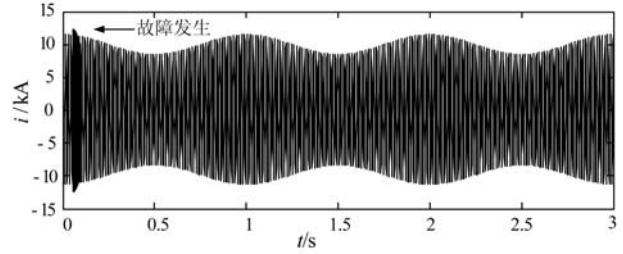
从表3、表4中可以看出,本研究提出的故障选相方案可以实现精确可靠的识别,有足够的边际应对意外因素或计算误差,即使系统在电网振荡时,也可以实现可靠的故障相识别。

3.2 电网振荡时的RTDS仿真

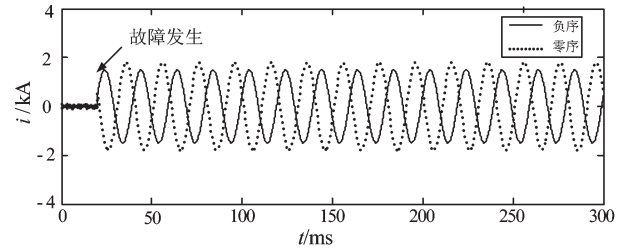
为了验证在电网振荡时的故障相识别可靠性。以B-g故障为例,相关仿真结果如下:

电流波形示意图如图5(a)所示,振荡期大约为1 s,角度 δ 位于正确的区间如图5(c)所示。同时,笔者测定了故障后 Z_{AC} 和 Z_B 的分布,相阻抗和相间阻抗分布如图5(d)所示。在故障发生时,测得阻抗 Z_{AC} 和 Z_B 都位于相应距离继电器的3段内,如果故障相未发生跳闸,故障选相元件将继续按照如图3所示的步骤确

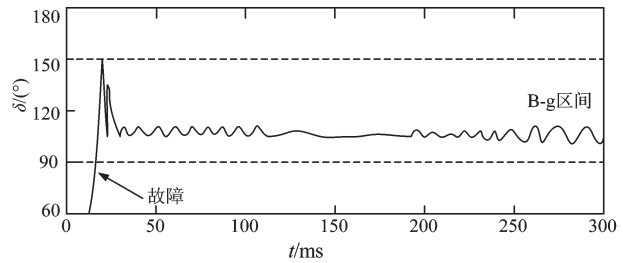
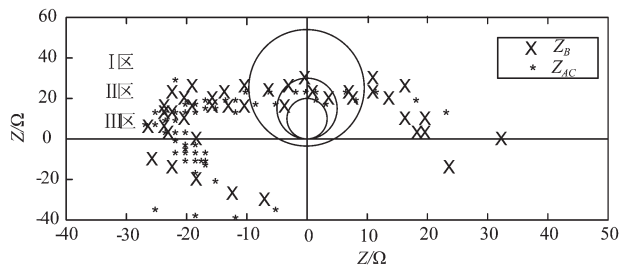
认故障相。负序和零序电流波形示意图如图5(b)所示, δ 轨迹示意图如图5(c)所示。



(a) 故障相电流



(b) 负序和零序电流

(c) δ 轨迹

(d) 相阻抗和相间阻抗分布

图5 电网振荡时的B-g故障

4 结束语

本研究针对500 kV,400 km的输电线路提出了一种根据负序和零序故障电流的相位差进行故障选相方案,用于超高压和特高压输电线路正常运行条件下和电网振荡条件下高电阻故障,该方法能够可靠地给出故障的相区间,并利用RTDS对提出的故障选相方案进行仿真,仿真结果证明了提出的故障相位识别方案的可靠性。下一步将利用该方法研究不同的阻抗比对故障选相的影响,并最终确定故障位置。

在实际的电力系统中,输电线路往往会受到雷电的冲击、开关的倒闸操作等多种扰动,这都会导致输电线路电流发生变化,影响到输电线路故障定位的可靠性。所以在实际工作中,需要针对多种扰动情况进行大量的研究和分析工作,以提高输电线路故障定位的准确性。

参考文献(References):

- [1] 陈 双,何正友,李小鹏. 基于行波固有频率的特高压输电线路故障选相[J]. 电网技术,2011,35(6):15-21.
- [2] 段建东,张保会,周 艺,等. 基于暂态量的超高压输电线路故障选相[J]. 中国电机工程学报,2006,26(3):1-6.
- [3] 何正友,陈小勤,罗国敏,等. 基于暂态电流小波熵权的输电线路故障选相方法[J]. 电力系统自动化,2006,30(21):39-43.
- [4] 麦瑞坤,何正友,符 玲,等. 基于电流行波能量和小波变换的输电线路故障选相研究[J]. 电网技术,2007,31(3):38-43.

- [5] 叶朝辉,黄康乐,孔凡坊,等. 基于分层模糊推理的快速综合故障选相新算法[J]. 电力系统保护与控制,2011,38(5):10-15.
- [6] LIN W,YANG C,LIN T H,et al. A fault classification method by rbf neural neteork with ols learning pricedure[J]. **IEEE Transactions on Power Delivery**,2011,41(16):473-477.
- [7] 何谋超. 高压输电线路故障选相方法的研究[D]. 杭州:浙江大学电气工程学院,2008:5-10.
- [8] 李广臣. 输电线路接地故障选相判据研究[J]. 电气技术,2011(10):67-83
- [9] 李 伟,毕天姝,徐振宇,等. 相间接地故障时常规选相元件动作行为分析及改进措施[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(3):67-72.
- [10] 庄侃沁,张旭航,杨增辉,等. 超高压电网故障电流限制器在RTDS上的仿真试验研究[J]. 华东电力,2011,39(1):56-60.

[编辑:李 辉]

(上接第576页)

5 钱塘江浊度测试

2012年9月25日,笔者在钱塘江采用自制浊度仪进行了浊度测试,测试图如图5所示,由实验室标定可知浊度和电压成线性关系。在15:32~15:40左右系统处于待机状态,未进入水中浊度显示较小;在15:40~15:43涨潮,水中浊度迅速变大;在15:43~16:15,潮水处于一波又波的状态,浊度的大小也在上下波动;16:15~18:35潮水慢慢退去,泥沙也慢慢地沉淀到水底,水中的浊度逐渐变小。

通过此次钱塘江河试,测试结果表明,该自制浊度仪能够用于水下浊度的现场测试。

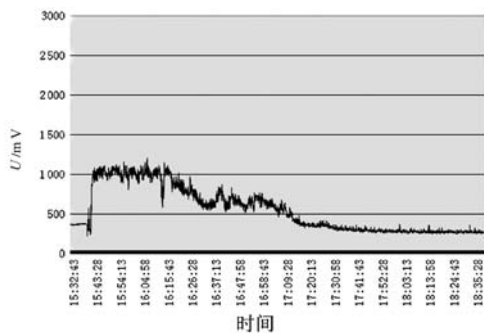


图5 钱塘江浊度测试

6 结束语

基于国内浊度仪发展现状,针对水下长时间浊度数据采集的问题,笔者设计研制了一种水下低功耗浊度仪系统。

(1) 基于低功耗的设计原则,笔者采用MSP430F149

单片机为主控制器,对其电路进行了精心设计,经过分析、优化,其电池能量足够提供系统在水下工作20天。

(2) 基于水深6 000 m的设计要求,系统能够承受高压,具有高的密封性能。本研究所得到的装置体积小、质量轻,便携易用。

(3) 本研究对所研发的浊度仪系统在钱塘江进行了河试,试验结果表明该浊度仪能够用于水下浊度的测试。

参考文献(References):

- [1] 薛元忠,许卫东. 光学后向散射浊度仪简介及应用研究[J]. 海洋工程,2001,19(2):79-84.
- [2] 罗荣芳. 基于Cygnal单片机便携式浊度仪设计[D]. 吉林:东北电力大学自动化学院,2008.
- [3] 梅 玫,黄 勇. 水体中浊度测定方法的研究进展[J]. 广东化工,2012,39(9):158-159.
- [4] 沈建华,杨艳琴. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 杨 建. 散射光式水下在线浊度仪的研究与设计[D]. 上海:上海交通大学自动化系,2007.
- [6] 刘仲明. 深海浊度探头及其信号处理技术研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学系,2005.
- [7] 杨 微,秦华伟. 基于MSP430的深海低功耗数据采集系统[J]. 机电工程,2009,26(5):16-19.
- [8] 盛 强. 散射光式浊度仪及信号处理的研究[D]. 太原:太原理工大学信息工程学院,2007.
- [9] 秦华伟,杜加友,杨 微. 水下低功耗数据采集器设计[J]. 杭州电子科技大学学报,2007,27(3):63-66.
- [10] 黄伟莉,张帮亮,杨风华. 新型标准浊度液的研制[J]. 茂名学院学报,2010,20(4):7-10.

[编辑:张 翔]