

电力电缆故障测距方法的基本工作原理

牟龙华, 刘建华

(中国矿业大学信息学院电力系, 江苏 徐州 221008)

【摘要】 文章在综述了国内外电力电缆故障测距方法的基础上,详细分析了脉冲电流测距方法的基本工作原理,并提出了提高测距精度的措施。

【关键词】 电缆; 故障测距; 脉冲电流法

近年来,电力电缆应用不断增多,其发生故障的机会也随之增多,电缆故障多由于电缆绝缘损坏所致。电缆故障点的查找一直是十分耗时耗力的工作,需投入大量的人力物力,迅速、准确地确定故障点位置,可以及时修复故障,加快线路恢复供电。

1 电力电缆故障类型

关于电缆故障的分类法较多,文献^[1]定义电缆故障类型为:无损坏故障(Intact fault)、开路故障(Fault open)、短路故障(Fault short);而文献^[2,3]等将电缆故障分为:开路故障、低阻故障和高阻故障三种类型。下面仅以后一种分类法作一简单介绍。

开路故障:若电缆相间或相对地绝缘电阻达到所要求的规范值,但工作电压不能传输到终端;或虽终端有电压,但负载能力较差。如图1,在A相A点存在有电阻 R_k ,当 $R_k = \infty$,即为断线故障,这是开路故障的特例。

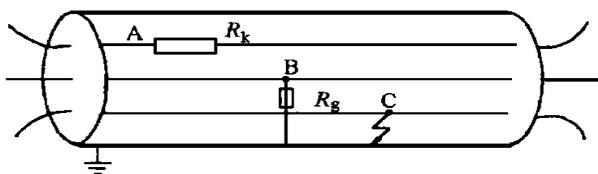


图1 电缆故障示意图

低阻故障:电缆相间或相对地绝缘受损,其绝缘电阻小到能用低压脉冲法测量的一类故障。如图1,当B相B点对地电阻 $R_g = 0$ 时,为短路故障,这是低阻故障的特例。

高阻故障:电缆相间或相对地绝缘损坏,其绝缘电阻较大,不能用低压脉冲法测量的一类故障,它是相对于低阻故障而言的。包括泄漏性高阻故障和闪络性高阻故障二种类型。

2 电力电缆故障测距方法

目前国内外对于不同类型的电缆故障测定方法

主要有驻波法、低压脉冲反射法(又称雷达法)、脉冲电压法(又称闪络法)^[2,4~8]、脉冲电流法几种^[9~12,11]。

(1) 驻波法:此方法是将电力电缆作为高频传输线,利用传输线上的驻波谐振现象对电缆的开路故障和相间或相对地电阻值较低的一类故障进行测量。此方法目前已很少使用。

(2) 低压脉冲反射法:利用传输线的电波反射现象,通过计量发射脉冲与故障点反射脉冲之间的时差来进行测距。主要测定电缆中的低阻、开路故障,及电缆全长的标准测量,测量准确率较高,应用较广。但不能测高阻或闪络故障。

据统计,用低压脉冲法测定的电缆低阻或开路故障,约占电缆故障总数的10%。

(3) 脉冲电压法:是70年代发展起来的用于测量高阻与闪络故障的方法。该方法首先将电缆故障在直流或脉冲高压信号下击穿,然后通过记录放电脉冲在测量点与故障点往返一次所需的时间来测距。包括直流高压闪络测量法(直闪法)和冲击高压闪络测量法(冲闪法)。

据统计,用直闪法测定的电缆故障数,约占故障总数的20%,而用冲闪法测定的电缆故障数,占故障总数的70%。

(4) 脉冲电流法:实际上是闪络法的另一种形式。它通过记录测量故障点击穿时产生的电流行波信号,在故障点与参考点往返一次所需的时间来测距。这种方法用互感器将脉冲电流耦合出来,波形较简单,较安全。也包括直闪法及冲闪法两种类型。

图2是直闪法测量线路,用于测量闪络性高阻故障。采用线性耦合器LH来传感充电电容器C中流过的电流来检测瞬态值。高压变压器PT输出交流电压经二极管D整流后加到电缆故障相,当电压升到一定值时,故障点闪络放电,线性电流耦合器输出第一个电流脉冲。放电脉冲到达故障点后又被反

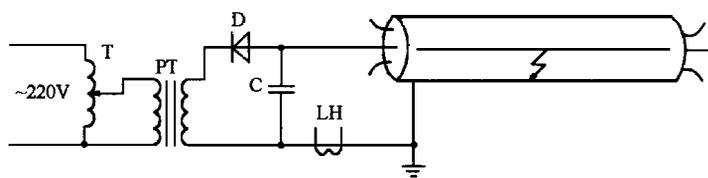


图2 基于直闪法的脉冲电流法

射,折回到仪器端。这一过程不断进行,直到放电过程结束。如图3所示。则故障点到测量端的距离为

$$x = t/2 \quad (1)$$

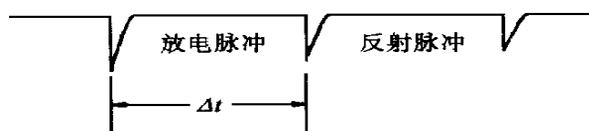


图3 直闪法脉冲电流波形

图4是冲闪法测量线路,主要用于测量泄漏性高阻故障,也可测量闪络性高阻故障。当电压加到一定值时,球间隙G击穿,使电容对电缆芯线放电。图5是高阻故障产生瞬间电流脉冲的网格图。

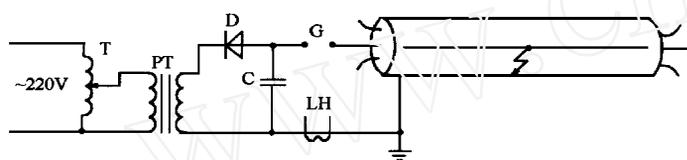


图4 基于冲闪法的脉冲电流法

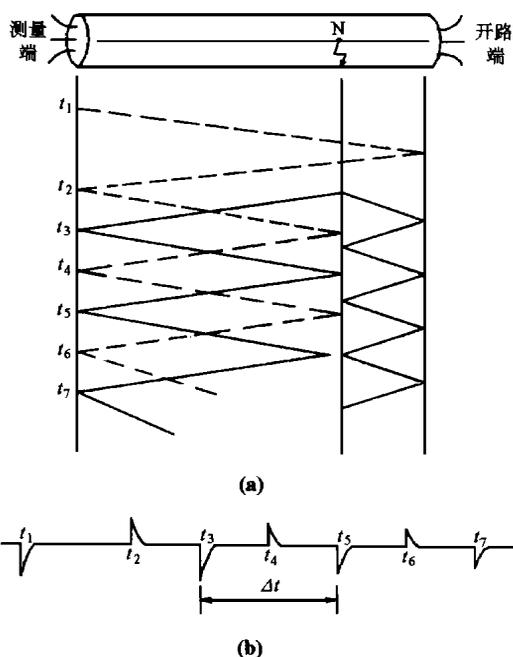


图5 冲闪法电流脉冲反射网格图

开始时,电流波(对应 t_1 处)通过故障 N 处在开路端回转,为负反射。而电压波在开路端为全反射,从而产生“倍压”现象。电缆故障实际上是由开路端产生的此“过电压”而击穿的。故在反射波通过故障点与故障点游离击穿之间,存在一击穿延迟时间。当故障处发生游离时,便产生了电压,该电压值与击穿值大小相等、方向相反,该击穿电压立刻分离,并向故障的二端(测量端与开路端)发射行波(对应地存在电流行波)。行波到达电缆二端后(如测量端的 t_3 时刻),又被反射回来,并返回到故障处。

在故障点击穿的持续时间内,行波在故障点被完全反射。故整个反射过程中将含有正负多重反射波。对应于图5a中 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_7$ 各时刻在测量端 LH中得到的电流波形如图5b所示。其中 t_2, t_4, t_6 处的正脉冲是由开路端的脉冲反射所形成。

同样,可按式(1)得到故障距离 x ,其 $t = t_5 - t_3$ 。由于 t_1 处时故障点还未击穿游离,故计算 t 时应将此脉冲放弃。

为简化瞬态过程,可提高外加电压,以缩短故障游离击穿的延迟时间,使在开路端脉冲回转之前,故障点便击穿,从而消除多次反射时正电流脉冲的影响。

3 在线式电缆故障测距方法

目前,电缆线路故障测距方法,主要为离线进行,但在线故障测距方法也已出现。例如,日本学者采用脉冲电流法,由光纤电流互感器感应出故障时产生的浪涌电流信号,利用采集速度为 16MHz 的快速 A/D 技术实现测距,目前他们只实现了不带分支出电缆的在线故障测距。下一步目标是带分支出线系统的在线故障定位^[9]。

美国学者为克服高压脉冲法有可能对电缆的健全部分进一步造成危害的缺陷,也提出了在线故障测距方法。但其出发点是将环形线路开路或在线路末端设置开路点,利用故障时产生的浪涌电压或电流在开路点发生正或负的全反射,通过设于开路点附近的传感器得到脉冲信号,测出其脉冲间隔时间实现测距^[6]。但这种方法在实际电网中存在局限性。

另外,日本学者还提出了利用分布式光纤温度传感器(FODT)通过检测故障点附近温度变化情况来实现电缆故障定位的新方法^[14]。英国学者则提出了利用基于脉冲电流法的实时专家系统来实现电

缆故障定位^[15]。

4 提高测距精度的措施

要实现准确测距的关键是时间 t 的精确测定。无论是低压脉冲反射法还是闪络法,脉冲信号在传输中由于不同频率的衰减常数和传输速度不同,脉冲上升沿不可能很陡,使识别较困难,从而影响测距精度。

有些测距仪通过设置一定幅值的脉冲信号来启动、停止计数电路来进行测距^[11],则对图6所示波形,在脉冲信号达到比较电平前,其造成的时间延迟必然带来较大的测距误差。

为此,可采用寻找脉冲上升沿点的方法来计算 t ,这可通过高速 A/D 来实现。如对图6所示波形,采用高速 A/D 后,找到二个波形对应的上升点,根据采样间隔即可求得 t ,如图7所示。同时采用这种方法还可将采得的数据保存,以作日后对故障进行分析用。

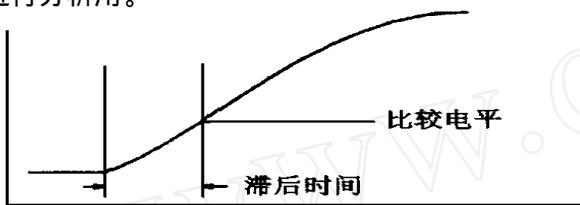


图6 设置比较电平的测距方法

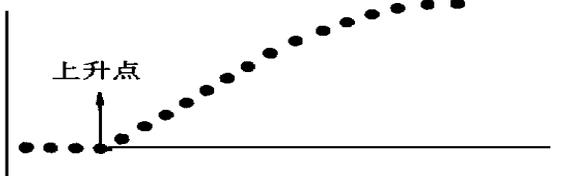


图7 利用高速 A/D 的测距方法

5 故障点的精确定点

目前国内外生产的电缆故障测距仪,已能达到较高的测距精度,但这实际上只完成了对电缆的粗测。因在实际现场电缆的敷设过程中,电缆往往不一定都能拉直,故虽测得了故障距离,但其实际位置往往无法较好地确定。

关于故障点的精确定点问题,目前最常用的方法有两种:一是冲击高压放电法,也称“声测法”;另一种是“音频法”,主要用于电缆开路及低阻故障的定位。但此二种方法易受环境干扰影响^[3,4,8,13,16],这也是目前迫切需要解决的一大难题。

6 结论

综上所述,对电缆的低阻或开路故障,采用低压脉冲反射法进行测距;对高阻故障或泄漏性高阻故障,采用基于直闪法、冲闪法的脉冲电流法进行测距;与高速 A/D 相配合,以提高测距精度;应着重研究开发在线式电缆故障测距仪,着重解决故障点的精确定点问题。

[参考文献]

- [1] J P Steiner, W L Weeks. An automated fault location system. IEEE Trans PWRD, 1992,7(2).
- [2] 韩伯锋,张栋国. 电缆故障闪测仪原理与电缆故障测量法. 电工技术, 1991,10.
- [3] 张煜晨,孟诚. 浅谈电缆故障探测. 电缆与附件应用, 1995,2.
- [4] 韩伯锋. 电力电缆故障性质分析及测量方法. 电缆与附件应用,1991,1.
- [5] H R Gnerlich. Fault locating:what s the effect on the cable? Electrical World, 1990,204(6).
- [6] C M Wiggins, D E Thomas, et al. A novel concept for URD cable fault location. IEEE Trans PWRD, 1994,9(1).
- [7] James J Pachot. Fault location for cables. Transmission & Distribution, 1995,47(1).
- [8] Larry Fortier. Computer-aided fault location of UG distribution cables. Transmission & Distribution, 1993,45(7).
- [9] N Inoue, T Tsunekage, S Sakai. On-line fault location system for 66kV underground cables with fast O/E and fast A/D technique. IEEE Trans PWRD, 1994,9(1).
- [10] 徐丙垠,孙福生. 电力电缆故障点的探测与新技术. 中国电力,1993,1.
- [11] Mitsuharu Komoda, Takao kawashima, et al. Development of a current detection type cable fault locator. IEEE Trans PWRD, 1991,6(2).
- [12] 李金生. 电力电缆故障点的快速探测. 电工技术, 1994,2.
- [13] 朱晓辉. 低压电缆故障的定点方法. 电缆与附件应用, 1994,4.
- [14] T Kawai, N Takinami. A new approach to cable fault location using fiber optic technology. IEEE Trans PWRD, 1995, 10(1).
- [15] K K Kuan. Real-time expert system for fault location on high voltage underground distribution cables. IEE Proc-C, 1992,39(3).
- [16] 刘明生. 电力电缆故障的测寻. 北京:冶金出版社, 1985.

收稿日期:1998—10—26

(下转第29页)

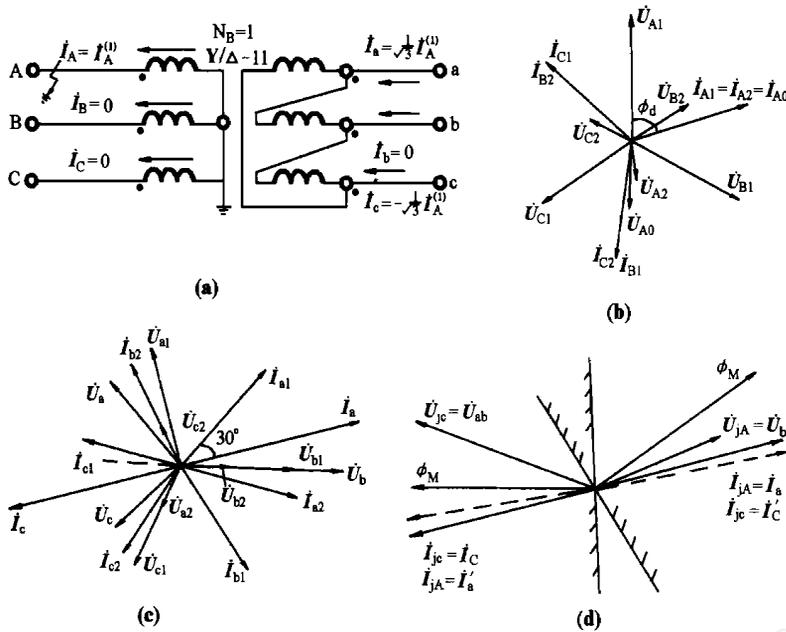


图 8 Y/Δ-11 Y₀ 侧 A 相接地时两侧电流分布及电流、

电压的相量图和功率方向继电器的动作区
压电流均取自变压器的同一侧的分析方法验证上述
接线的准确性,亦能正确地判断短路功率的方向性。
请自行画相量图等分析,在此不赘述。

4.3 在正常运行情况下,应明确规定当发生电压互

感器一相断线时,应用上述的分析方法,G 是会误动作的,这给处理和分
析事故带来麻烦,所以必须停用 G 解
列装置。

4.4 地方电网接入电力系统,虽容量
不大,电压等级低,复杂性却大为增
大,已引起足够的重视,但是对我们电
力系统的如原来在 1958 年~1965 年
之间建立的电厂,一般装机容量小,电
压等级亦不高,相对目前电力系统的大
机组超高压比较之下又变为相当于
小电厂低电压的地方电网中的电
厂,往往每当电力系统如 110kV 线路
发生故障时,把小电厂自然压垮,如电
压崩溃瓦解、周波过高或过低等,导致
全厂停电的重大事故,已屡见不鲜,追
究其原因,为小电厂容量小、无足轻
重,每次重大事故后以不了了之,不足
引起人们的足够重视。

收稿日期:1998-10-20

作者简介:李仲明(1938-),男,高级工程师,长期从事电力
系统继电保护的研究。

ANALYSIS ON THE OPERATING CHARACTERISTIC OF PHASE TO PHASE
DIRECTIONAL POWER ELEMENT

LI Zhong-ming

(Central Dispatch Institute of Ningxia Electric Power Bureau, Yinchuan 750001, China)

Abstract When regional power network connects with power system, in order to reduce the influence on relay protection and automation devices of power system, using the disconnecting device based on the principle of undervoltage-blocking power direction and power direction overcurrent is practical and effective measures. The wiring mode of the phase to phase directional power element in the device and its operating characteristic in all kinds of fault short-circuits and different conditions are discussed by means of phasor diagram analysis.

Keywords power direction; blocking; power network; disconnection

(上接第 24 页)

项目基金:煤炭科学基金资助项目

作者简介:牟龙华(1963-),男,博士,副教授,研究方向为供电安全及微机保护; 刘建华(1972-),男,在读硕士生。

BASIC WORK PRINCIPLE OF CABLE FAULT LOCATION

MU Long-hua, LIU Jian-hua

(China University of Mining & Technology, Jiangsu Xuzhou 221008, China)

Abstract Based on the overview of methods of cable fault location at home and abroad, this paper analyzes in detail the work-principle of pulse current detection. Some methods of improving location accuracy are presented.

Keywords cable; fault location; pulse current detection