

一次 110 kV 线路单相断线故障的继电保护动作分析

阳家书, 李国友, 孙建华

(曲靖供电局, 云南 曲靖 655000)

摘要: 针对我局 110 kV 某线路单相断线故障, 通过理论公式的推导, 证明了网络结构确定的 110 kV 线路发生单相断线故障时, 其零序电流保护动作情况只取决于当时的负荷电流大小, 与断线位置无关。另外, 通过实际理论计算, 验证了此次故障中保护及自动装置的动作行为都是正确的。

关键词: 断线故障; 零序; 继电保护

Analysis of relaying operation on a single phase breakoff fault of 110 kV transmission line

YANG Jia-shu, LI Guo-you, SUN Jian-hua

(Qujing Power Supply Bureau, Qujing 655000, China)

Abstract: Aiming at the single phase breakoff fault happened in the 110kV Hua-Fu transmission line, some theoretical formula is deduced. It proves that the operation of zero-sequence current protection only depends on the load current and has nothing to do with the fault position, when the wire break fault happens on the 110kV transmission line in a defined network configuration. Theoretical calculation proves that the operation of relaying and automatic equipment are right in the fault.

Key words: wire breakoff fault; zero-sequence; relay protection

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2007)22-0058-03

0 引言

在电力系统实际运行中, 线路断线故障发生的概率较小, 故 110 kV 及以下电压等级的线路保护在整定计算时不考虑断线故障的影响^[1], 这就造成当小概率的断线故障发生时, 电力系统继电保护及自动装置往往会出现不可预料的动作情况, 因此, 总结并分析断线故障发生时的相关规律, 对电力系统运行人员(特别是调度员)分析判断并迅速处理故障具有十分重要的意义。下面以我局 2006 年 6 月 9 日发生的 110 kV 某线路断线故障为例, 进行断线故障中发生最多的单相断线故障继电保护动作行为的探讨。

1 故障相关情况介绍

故障前, 110 kV 乙站由 220 kV 甲站 110 kV 甲乙线 185 开关供电, 110 kV 乙丙线作为乙站备用电源, 152 开关处热备用。

2006 年 6 月 9 日 20:56 乙站 110 kV 甲乙线 151 开关零序 III 段保护动作跳闸, 无故障相别显示、无测距参数, 接着 110 kV 备用电源自投装置动作合上 110 kV 乙丙线 152 开关, 110 kV 甲乙线 151 开关后台显示也在合位。220 kV 甲站 110 kV 甲乙线 185

开关距离、零序保护启动, 但均未出口, 故障录波器显示 A、B 相故障, 无故障测距参数。后经查线, 断线故障为 N13 杆(靠甲站侧)C 相跳弧线烧断(但未接地)。

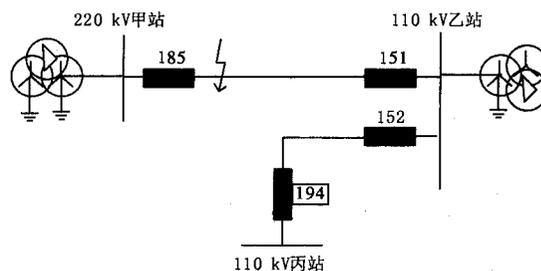


图 1 系统运行方式接线图

Fig.1 Wiring diagram of operating system

2 故障分析

2.1 断线故障特点的理论分析

如图 2 简化系统接线图所示, 线路两侧均为中性点接地系统, 设 mn 处 A 相因故断线, 则断线后 A 相电流为零, 当断相前有负荷电流时, 在断相点 mn 之间就产生了一组纵向电压; 对 BC 相而言, 电压的故障附加纵向电压应为零(无断口)。应用叠加原理,

断相后的电气量等于故障分量与正常负荷量的叠加。根据断相处边界条件得到各序电流、电压为：

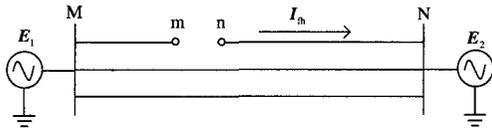


图 2 简化系统接线图

Fig.2 Wiring diagram of simple system

$$\begin{cases} I_{Adx} = I_{1dx} + I_{2dx} + I_{0dx} = 0 \\ I_{Bdx} = a^2 I_{1dx} + a I_{2dx} + I_{0dx} \\ I_{Cdx} = a I_{1dx} + a^2 I_{2dx} + I_{0d} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \Delta U_{Adx} = \Delta U_{1dx} + \Delta U_{2dx} + \Delta U_{0dx} \\ \Delta U_{Bdx} = a^2 \Delta U_{1dx} + a \Delta U_{2dx} + \Delta U_{0dx} = 0 \\ \Delta U_{Cdx} = a \Delta U_{1dx} + a^2 \Delta U_{2dx} + \Delta U_{0dx} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中： I_{Adx} 、 I_{Bdx} 、 I_{Cdx} 为 A、B、C 三相电流量； I_{1dx} 、 I_{2dx} 、 I_{0dx} 为电流正、负、零序分量； ΔU_{Adx} 、 ΔU_{Bdx} 、 ΔU_{Cdx} 为电压故障分量； ΔU_{1dx} 、 ΔU_{2dx} 、 ΔU_{0dx} 为电压故障分量的正、负、零序分量。

由式 (2) 可得：

$$\Delta U_{1dx} = \Delta U_{2dx} = \Delta U_{0dx} = \frac{1}{3} \Delta U_{Adx} \quad (3)$$

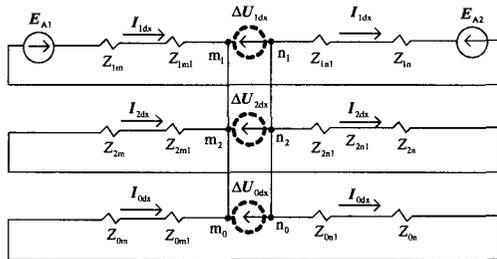


图 3 单相断线计算序网连接图

Fig.3 Connection of sequence networks when a single phase breakoff fault happens

另由式 (1)、(2) 可作出如图 3 所示的 A 相断线序网图。图中 Z_{1m} 、 Z_{2m} 、 Z_{0m} 为 m 侧系统正、负、零序阻抗； Z_{1n} 、 Z_{2n} 、 Z_{0n} 为 n 侧系统正、负、零序阻抗； Z_{1ml} 、 Z_{2ml} 、 Z_{0ml} 为 m 侧线路正、负、零序阻抗； Z_{1nl} 、 Z_{2nl} 、 Z_{0nl} 为 n 侧线路正、负、零序阻抗； Z_{1l} 、 Z_{2l} 、 Z_{0l} 为线路全长的正、负、零序阻抗。

在图 3 中，令 $E_{A1} = E_{A2} = 0$ ，则在附加正、负、零序电压单独作用下产生断线电流故障分量为

$$\begin{cases} I_{1dx} = -\Delta U_{1dx} / Z_{1\Sigma} \\ I_{2dx} = -\Delta U_{2dx} / Z_{2\Sigma} \\ I_{0dx} = -\Delta U_{0dx} / Z_{0\Sigma} \end{cases} \quad (4)$$

式中： $Z_{1\Sigma}$ 、 $Z_{2\Sigma}$ 、 $Z_{0\Sigma}$ 为 mn 端口输入阻抗，其中 $Z_{1\Sigma} =$

$Z_{1m} + Z_{1n} + Z_{1l}$ ； $Z_{2\Sigma} = Z_{2m} + Z_{2n} + Z_{2l}$ ； $Z_{0\Sigma} = Z_{0m} + Z_{0n} + Z_{0l}$ 。式中电流正方向与电压正方向假设方向相反，故取负号。

在图 3 中，若令 $\Delta U_{1dx} = \Delta U_{2dx} = \Delta U_{0dx} = 0$ ，则相当于在正常情况下的负荷电流为

$$I_A = I_{fh} = (E_{A1} - E_{A2}) / Z_{1\Sigma} \quad (5)$$

由叠加原理，断线后 A 相电流为零，即

$$I_{fh} + I_{1dx} + I_{2dx} + I_{0dx} = 0 \quad (6)$$

将式 (5) 代入式 (6) 可得：

$$\Delta U_{1dx} = I_{fh} / (1/Z_{1\Sigma} + 1/Z_{2\Sigma} + 1/Z_{0\Sigma}) \quad (7)$$

由式 (3) 和 (7) 得：

$$\Delta U_{Adx} = 3 I_{fh} / (1/Z_{1\Sigma} + 1/Z_{2\Sigma} + 1/Z_{0\Sigma}) \quad (8)$$

由式 (3)、(4)、(7) 计算断线后各序电流 I_{1dx} 、

I_{2dx} 、 I_{0dx} 的大小，然后根据得到的各序电流按式

(1) 可以得出各相的全电流 I_{Adx} 、 I_{Bdx} 、 I_{Cdx} 的大小，则最终求得：

$$3 I_{0dx} = I_{Adx} + I_{Bdx} + I_{Cdx} = -3 I_{fh} / (1 + Z_{0\Sigma} / Z_{1\Sigma} + Z_{0\Sigma} / Z_{2\Sigma}) \quad (9)$$

由式 (9) 可知：当系统网络结构确定后（即各序阻抗值已确定），发生断线故障时的零序电流大小只与当时的负荷电流有关，而与断线位置无关，这点上与接地故障情况不同。

当电压互感器接在母线 M 或 N 处时，设 MN 两侧系统零序阻抗近似为纯电抗形式时，可得：

$$U_{0M} = -j I_{0M} X_{0M} = I_{0M} X_{0M} e^{-j90^\circ} \quad (10)$$

$$U_{0N} = -j I_{0N} X_{0N} = I_{0N} X_{0N} e^{-j90^\circ} \quad (11)$$

式中： X_{0M} 、 X_{0N} 为 M 侧、N 侧的系统零序电抗。由式 (10)、(11) 可以看出，送端 M 侧及受端 N 侧的零序电流的相位均超前于零序电压 90° ，两侧的零序功率方向均为内部故障的正方向，因此只要故障时零序电流大于整定值，线路的两侧零序电流方向保护就可能误动作。

2.2 110 kV 甲乙线保护动作分析

发生断线故障的 110 kV 甲乙线线路全长约 40 km，断线点距 220 kV 甲站约 3 km，发生断线故障时 $P=42.3$ MW， $Q=21.8$ MW， $\phi = +62.7^\circ$ ，负荷电流为 282 A。系统相关序网参数如图 4 所示。

将以上参数代入式 (9) 得： $3 I_{0dx} = 191.2$ A 由前面的分析已知，当线路发生单相断线故障时，线路两侧的零序功率方向均为内部故障的正方向，只要零序电流大小大于整定值，则保护都应该动作^[3]。这次故障中，110 kV 甲乙线乙站侧 CT 变比为：400/5，相应的二次侧三倍零序电流为 2.18A

>1.75A(零序III段保护定值),故乙站侧零序III段动作跳闸;而对于甲站侧,其CT变比为:600/5,相应的二次侧三倍零序电流为1.6A<2.5A(零序IV段保护定值),故甲站侧未跳闸。若达到甲站的零序IV段跳闸条件,则一次侧负荷电流至少为486A。而对于乙站来说,只要负荷电流在194A(对应的零序IV段定值为1.5A)以上,就有可能因线路单相断线而零序电流保护动作。

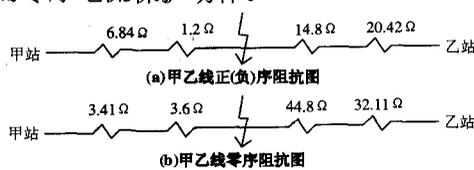


图4 甲乙线计算等值阻抗图

Fig.4 Effective impedance of Jiayi Line

另外,乙站在发生151开关跳闸全站失压后,由于是线路C相断线,甲站185开关未跳,且乙站110kV线路PT接在A相上,故110kV备自投装置在合上152开关的同时,151开关也满足了合闸条件,所以151开关也被备自投合上了。

因此,此次110kV甲乙线单相断线故障的保护及备自投装置的动作行为都是正确的。

3 结束语

本文针对110kV某线路单相断线故障,通过理论公式的推导,证明了当网络结构确定的110kV线路发生单相断线故障时,其零序电流保护动作与

否只取决于当时的负荷电流大小,与断线位置无关,这点上与接地故障不同;同时,文中通过实际理论计算,验证了此次故障中保护及自动装置的动作行为都是正确的。

实际系统运行当中,由于110kV线路保护整定时没有考虑小概率的断线故障,所以断线故障发生时,保护及自动装置的动作行为可能会各有不同,但如果在某次故障中,出现多种不合常规的动作行为(如此次故障中的乙站零序III段动作后,备自投动作也异常,同时甲站侧185开关却未跳闸,主变后备也均未动作),运行人员就应该考虑是否发生断线故障了。

参考文献

- [1] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [2] 崔家佩等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京:中国电力出版社,1993.
- [3] 王梅义. 高压电网继电保护运行与设计[M]. 北京:中国电力出版社,2007.

收稿日期:2007-05-31;

修回日期:2007-07-09

作者简介:

阳家书(1971-),男,本科,助理工程师,现从事调度运行与管理工作;

李国友(1979-),男,工学硕士,现从事调度运行工作;E-mail:sdsjgly@126.com

孙建华(1963-),男,工程师,现从事继电保护技术监督与运行管理工作。

(上接第57页 continued from page 57)

以下是正确接线方式的分析。

两台站用变低压侧中性线N及接地线都应穿过零序CT,且以同一方向穿过零序CT(见图2)。

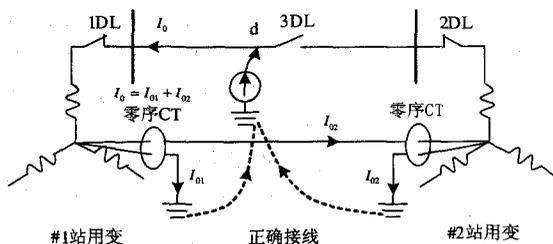


图2 正确接线方式故障分析

Fig.2 Fault analysis of correct connection

当#1站用变低压侧d点发生接地故障时,根据零序网络可看出,#1站用变零序CT流过的零序电流与故障点的零序电流大小相等,其零序保护会正确动作;而非故障的#2站用变零序CT的N线与接地线流过的零序电流大小相等、方向相反,零序和

电流为0,其零序保护不会动作。

3 结语

变电站站用变作为站内电源,其正确动作与否会直接危及到站内直流系统、UPS电源和主变的安全运行,影响站内正常照明,使一些使用交流电源的一次设备无法正常操作等,因此站用变的安全稳定运行至关重要,而零序CT接线又直接影响到站用变的安全可靠运行,所以在工作中要格外注意站用变低压侧零序CT的正确接线方式。

收稿日期:2007-03-20;

修回日期:2007-05-23

作者简介:

高士涛(1978-),男,本科,助理工程师,长期从事继电保护工作;E-mail:taoxuer520@126.com

贾炜(1959-),男,大专,工程师,长期从事继电保护工作;

朱莹(1979-),女,本科,助理工程师,长期从事继电保护工作。