

# 消弧线圈并联选线电阻接地方式的研究

梁改革,赵跃宇

(国网徐州供电公司,江苏 徐州 221005)

**摘要:**对比分析了中性点不接地、经消弧线圈接地、经小电阻接地以及经消弧线圈并联选线电阻接地的特点和选线方法以及适用范围。对中性点经消弧线圈并联选线电阻接地方式的工作原理、选线电阻的选取原则以及闭锁保护的配置原则进行了详细论述,该接地方式既可提高单相接地故障自恢复概率,又可实现单相接地故障选线,是城市配电网一种较为理想的接地方式。

**关键词:**小电流接地系统;接地选线;并联选线电阻;消弧线圈

**中图分类号:**TM732

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2016)06-0082-03

我国配电网发展初期是以架空线路为主的放射型结构网络,当发生单相接地时,故障电容电流小于10 A,接地电弧可自行熄灭,10 kV系统多采用中性点不接地方式运行<sup>[1,2]</sup>。随着配电网的不断发展,配电网网架结构逐渐由单一架空网络向电缆与架空混架网络发展,单相接地电容电流随之增大,接地电弧无法自行熄灭,配电网开始广泛采用中性点经消弧线圈接地方式运行。随着城市化进程的加速,加之受城区美化、环保和场地的限制,配电网供电线路的电缆化率不断提高,部分变电站出线逐渐实现全电缆化,电容电流显著增加<sup>[3-6]</sup>,接地变压器及消弧线圈容量面临不足。

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》规定<sup>[2]</sup>:单相接地故障电容电流较大时,可采用小电阻接地方式,在苏州、上海、广州等经济发达地区小电阻接地方式已得到广泛应用,运行效果良好<sup>[7]</sup>;此外,因具备快速准确选线功能,中性点经消弧线圈并联选线电阻接地方式近年来受到越来越多关注<sup>[8,9]</sup>,该接地方式汲取了消弧线圈接地和小电阻接地的优点,当系统发生单相接地时,设定时间内系统以经消弧线圈接地方式运行,瞬时性故障的接地电弧可由消弧装置熄灭,当故障持续时间超出设定时间,判定为永久性故障,控制装置将选线电阻短时接入,从而产生变化明显的零序电流故障特征量,构成相应故障判据,实现对接地故障线路的有效辨识,是城市配电网一种较为理想的接地方式。

## 1 中性点不同接地方式的分析与比较

### 1.1 中性点不接地方式

#### 1.1.1 中性点不接地方式特点

该接地方式具有结构简单、发生单相接地故障仍可连续供电等优点,但由于易产生幅值较高的电弧接

地过电压(3.5 p.u.),并可能由此引发危害整个配电网的铁磁谐振过电压,因此对设备绝缘水平要求较高<sup>[5]</sup>。

#### 1.1.2 中性点不接地方式选线方法

在故障选线方面,常用的方法主要包括零序电流检测法、零序电流方向法、首半波检测法以及5次谐波检测法<sup>[6]</sup>。目前,由于接地故障发展的复杂性,还不能对接地故障线路做出100%的准确判断,一般选线成功率在80%左右。

#### 1.1.3 中性点不接地方式适用范围

目前,因不具备灭弧装置,接地电弧无法自行熄灭,因此该接地方式仅适用于电容电流小于10 A的农村架空配电网。

## 1.2 中性点经消弧线圈接地方式

### 1.2.1 中性点经消弧线圈接地方式特点

当发生单相接地时,消弧线圈可补偿故障电流的容性分量,减小故障电流,使电弧电流过零后自动熄灭。另外该接地方式可消除电弧接地过电压及其引发的危害配电网的铁磁谐振过电压。

### 1.2.2 中性点经消弧线圈接地方式选线方法

在故障选线方面,常用的方法主要包括残流增量法、暂态零序电压电流方向原理、零序导纳法以及S注入法<sup>[5]</sup>,绝大多数选线装置的选线准确率在40%~50%,S注入法因额外注入分量,选线准确率可以达到70%以上。

### 1.2.3 中性点经消弧线圈接地方式适用范围

该接地方式主要适用于架空和电缆线路混合架设的绝大多数城市配电网。

## 1.3 中性点经小电阻接地方式

### 1.3.1 中性点经小电阻接地方式特点

该接地方式当发生单相接地时,工频过电压和弧光接地过电压可降低至2.5 p.u.,电气设备、电缆在绝缘方面的投资也将减少;由于接地线路零序过电流保护动作于跳闸,将使供电可靠性降低;另外,较大的接地

电流将产生较高的接触电位差和跨步电位差,威胁人身和设备安全,同时会对周围通信造成干扰。

### 1.3.2 中性点经小电阻接地方式选线方法

该接地方式在发生单相接地故障时,将流过故障线路较大的零序电流,线路零序保护可靠动作,故障线路瞬时跳闸,从而将故障切除。

### 1.3.3 中性点经小电阻接地方式适用范围

该接地方式主要适用于由全电缆线路构成的城市配电网;另外配电网中除绝大多数电缆线路外还有少量架空线路且单相接地故障电容电流过大,常规消弧线圈无法满足要求时,同样适用中性点经小电阻接地方式。

## 1.4 消弧线圈并联选线电阻接地方式

### 1.4.1 消弧线圈并联选线电阻接地方式特点

该接地方式汲取了消弧线圈接地和小电阻接地的优点,与经消弧线圈接地相比,工频过电压和弧光接地过电压基本相同,但故障选线能力得到了大幅提升;与经小电阻接地相比,故障选线时零序保护可作用于信号,不进行跳闸处理,供电可靠性可以得到提升。

### 1.4.2 消弧线圈并联选线电阻接地方式选线方法

该接地方式在系统发生单相接地故障后,在中性点短时投切一组电阻与消弧线圈并联,通过改变小电流接地系统的运行方式,产生一组幅值变化明显的零序电流故障特征量,进而构成相应故障判据,实现对接地故障线路的有效辨识<sup>[8,9]</sup>。

### 1.4.3 消弧线圈并联选线电阻接地方式适用范围

该接地方式主要适用于电容电流较大、架空和电缆混合架设的城市配电网,对以电缆为主的配电网同样具有良好的适用性。

## 2 消弧线圈并联选线电阻接地方式实施方案

### 2.1 消弧线圈并联选线电阻接地方式的原理

中性点经消弧线圈并联选线电阻接地方式的构成框图如图1所示,主要由自动调谐线圈、选线电阻、控制器和检测元件构成。其中,T为Z型接地变,用于提供系统中性点;R为选线电阻,实现接地选线的同时可以抑制过电压;L为消弧线圈,用于补偿容性电流;TV<sub>0</sub>为中性点电压互感器,作为中性点位移电压的检测元件;TA<sub>0</sub>为中性点电流互感器,作为中性点电流的检测元件;TV为母线电压互感器,作为母线电压和开口三角电压的检测元件;TA<sub>1</sub>,TA<sub>2</sub>,……,TA<sub>n</sub>为零序电流互感器,作为母线各出线零序电流的检测元件。

电网正常运行时,预先设定控制器脱谐度和残流值的范围,通过实时召测TV<sub>0</sub>,TA<sub>0</sub>的值判定脱谐度是否超出设定范围,当脱谐度超出设定范围,调谐控制器向调节装置发出调整指令,调节消弧线圈,使调整后的

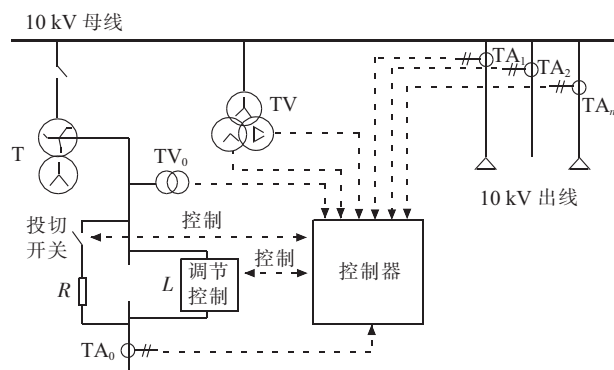


图1 中性点经消弧线圈并联选线电阻接地方式的构成框图

脱谐度和残流值满足要求。

该接地方式控制逻辑如图2所示。当系统发生单相接地故障后,设定时间 $t_1$ 内,系统以经消弧线圈接地方式运行,对于瞬时性接地故障,由于流过消弧线圈的电感性电流与流入接地点的电容性电流相位相反,接地弧道中所剩残流很小,接地电弧可由消弧装置熄灭。其中 $t_1$ 的确定原则是大于瞬时性单相接地故障自恢复时间 $t_2$ ,具体数值应根据现场实际运行需求灵活调整,一般调整范围为5s至10min。

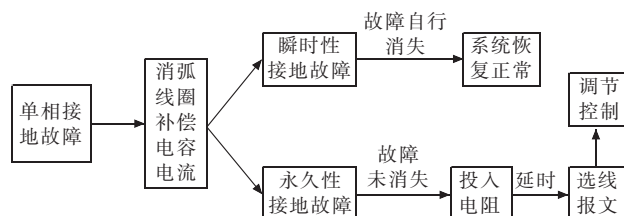


图2 中性点经消弧线圈并联选线电阻接地方式的控制逻辑

当故障持续时间超出设定时间,判定为永久性接地故障,选线装置控制器将与消弧线圈并联的电阻进行短时投入(投入时间为 $t_3$ ),使系统短时具备中性点经电阻接地方式的特性,产生幅值变化明显的零序电流故障特征量,从而可以准确辨识出接地线路,选线报文生成后,将投切开关断开,退出并联的选线电阻,使系统恢复为消弧线圈接地方式运行。其中为降低选线电阻的功率损耗,在满足零序保护要求的基础上,应尽量缩短选线电阻投入时间 $t_3$ ,一般不超过1s。

另外,为快速隔离单相接地故障,控制系统也可根据需要对故障线路进行跳闸处理,投入时间 $t_3$ 设定:

$$t_3 \geq k(t_4 + t_5) \quad (1)$$

式(1)中: $k$ 为投入时间系数,取值范围为2~3; $t_4$ 为零序保护整定动作时间; $t_5$ 为线路断路器分闸时间。

### 2.2 选线电阻的确定原则

目前,针对该接地方式选线电阻的具体选取方法还没有相关规范出台,现阶段通用做法是根据当地电网的具体情况,综合考虑抑制接地过电压倍数、接触电

压、跨步电压、保护灵敏度以及对通信线路的干扰等因素,按照综合效果最佳的原则进行选取<sup>[8]</sup>。

依据上述电阻选型原则,在满足系统安全运行的基础上,选线电阻可以考虑采用中值电阻。中值电阻的阻值应满足以下要求:

(1) 阻性电流  $I_R$  与电容电流  $I_C$  应满足  $I_R=(1\sim 1.5)I_C$ , 达到抑制间隙性弧光接地过电压倍数的目的;

(2) 为确保设备、人身、通讯安全,接地电阻大于  $4\ \Omega$  的变电站,当发生单相接地故障时,故障电流应小于  $150\ \text{A}$ 。为此,阻性电流  $I_R$  必须控制在  $100\ \text{A}$  左右。

一般并联选线电阻的阻值范围如表 1 所示。

表 1 并联选线电阻阻值范围

| 电压/kV | 配电网性质    | 电容电流/A | 阻值/ $\Omega$ | 电阻电流/A | 故障电流/A |
|-------|----------|--------|--------------|--------|--------|
| 6     | 企业电网     | 10~50  | 50~200       | 20~80  | 25~100 |
| 10    | 企业电网、支配线 | 30~60  | 60~150       | 40~100 | 50~120 |
| 10    | 城市电网     | 30~150 | 30~150       | 40~100 | 50~250 |

### 2.3 闭锁保护的配备原则

(1) 并联电阻回路中装设零序电流作为异常主保护,当并联电阻投入出线故障时,延时数秒后,对接地变提供保护节点。

(2) 并联电阻通流时间必须避开线路重合闸时间,并且在故障消除后自动切断。

(3) 通常可取本段母线电压互感器开口三角形的零序电压作为接地启动信号。

(4) 针对电容电流较大的电缆线路,为防止继电保护装置的误动,应该按躲过本段线路电容电流值进行整定。

## 3 结束语

中性点经消弧线圈并联选线电阻接地方式,汲取了消弧线圈接地和小电阻接地的优点,既充分发挥了

消弧线圈补偿电容电流、提高单相接地故障自恢复概率的作用,又利用选线电阻实现了单相接地故障选线,是配电网一种较为理想的接地方式。主要适用于电容电流较大、架空和电缆混合架设的城市配电网,对以电缆为主的城市配电网同样具有良好的适用性。与经消弧线圈接地相比,工频过电压和弧光接地过电压基本相同,但故障选线能力得到了大幅提升;与经小电阻接地相比,故障选线时零序保护可作用于信号,不进行跳闸处理,可以大幅减少线路跳闸次数,供电可靠性可以得到提升。

### 参考文献:

- [1] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京:中国电力出版社,2006: 121-130.
- [2] GB/T 50064—2014 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范附条文[S].
- [3] 蔡雅萍. 10 kV 配电网中性点灵活接地方式及接地故障检测系统的研究[D]. 北京:中国电力科学研究院,2002.
- [4] 鲍有理,季东方. 小电流接地电网复杂接地故障保护动作特性分析[J]. 江苏电机工程,2015,34(4):17-20.
- [5] 许小兵,董丽金,袁 栋. 智能变电站小电流接地选线装置的研究与实现[J]. 江苏电机工程,2013,32(5):55-58.
- [6] 王晓冬,李大勇,张自雨,等. 配电网单相接地补偿与选线系统的研究和应用[J]. 电力系统保护与控制,2008(19):67-70.
- [7] 张同洲. 20 kV 配电网中性点接地方式的选择[J]. 电网技术,2008(S1):109-111.
- [8] 盛 晔,朱 玛,胡贤德,等. 配电网中性点经消弧线圈加并联选线电阻接地方式的运行安全可靠探讨[J]. 能源工程,2011(5):18-22.
- [9] 李颖峰. 配电网中性点接地方式探讨[J]. 电力系统保护与控制,2008(19):58-60.

### 作者简介

梁改革(1988),男,江苏徐州人,助理工程师,从事配电网调度运行工作;

赵跃宇(1975),男,江苏邳州人,高级工程师,从事电力系统调度运行工作。

## Research on Neutral Grounding Mode Through Arc Suppression Coil and Line-selecting Resistance in Parallel

LIANG Gaige, ZHAO Yueyu

(State Grid Xuzhou Power Supply Company, Xuzhou 221005, China)

**Abstract:** Comparative analysis has been done on the characteristics, line selection methods and application range of different neutral grounding modes including ungrounded, grounding through arc suppression coil, grounding via small resistance and grounding through arc suppression coil and line-selecting resistance in parallel. The paper discussed in detail about the work principle, the line-selecting resistance selection principle and the lockout protection configuration principle of the last neutral grounding mode through arc suppression coil and line-selecting resistance in parallel. The neutral grounding mode through arc suppression coil and line-selecting resistance in parallel can improve the self-recovery probability from single-phase ground fault and achieve the single-phase ground fault line detection, which make it an ideal grounding mode for urban Power Distribution Networks.

**Key words:** small current neutral grounded system; line selection for grounded system; line-selecting resistance in parallel; arc suppression coil