智能接地补偿及选线装置的应用及发展

杨成德[1],张学斌[1],徐京波[2]

(1.山东省蒙阴建筑设计院,山东 蒙阴 276200; 2.山东省临沂市建筑设计研究院,山东 临沂 276001)

摘要:分析了三种智能接地补偿装置的优缺点,介绍了调容式智能接地补偿及选线装置的结构、原理、应用以及选型凭据。

关键词:调容; 补偿装置; 选线

中图分类号:TM864 **文献标识码**:B **文章编号**:1003-4897(2003)S0-0010-04

1 35 kV及以下配电网中性点接地装置的应用现状及优缺点

为了限制35 kV及以下电网单相接地电流和电网的过电压幅值,近几年采用以下几种措施和设备:

1.1 电网中性点电阻接地

以降低过电压幅值,且与零序保护配合,能迅速切除故障线路;但瞬时性故障动作于跳闸,供电可靠性较差。

1.2 电网中性点经传统消弧线圈接地

当发生单相接地故障时,消弧线圈向电网提供补偿电流,抵消电网电容电流,促使接地电弧熄灭,可使大多数瞬时性接地故障消失,提高了供电可靠性。但需停电后手动调整消弧线圈,误差大,调整难度大,易出现谐振过电压。

1.3 电网中性点经智能接地补偿装置接地

目前最常用的有以下三种智能接地补偿装置:

(1)调节抽头式:利用有载分接开关来分档切换接地消弧线圈的抽头,进行测量调感,其工作原理采用移位电压法。

(2)调节励磁式:在接地变压器三柱铁芯的两边外侧柱铁芯上,绕有上、下带抽头的励磁绕阻,构成可调励磁式的消弧线圈。在发生单相接地时,利用控制晶闸管导通角来调节消弧线圈控制电流的大小,从而改变两边柱铁芯的磁饱和程度,平滑调节消弧线圈的容量和自动补偿单相接地电流。

(3)调节气隙式:将消弧线圈铁芯分为动铁芯和静铁芯两部分,动铁芯由电机经机械传动装置带动,可上、下调节,改变两铁芯的气隙,实现连续无级电感调节,使补偿电流连续可调。

以上三种智能接地补偿装置的优缺点如表1所示。

这三种智能接地补偿装置,消弧线圈的电感电流调节范围较窄,一般在$0.3 \sim 1.0 I_e$(I_e为消弧线圈

表1 三种智能接地补偿装置的优缺点

Tab.1 Advantages and disadiantages of three kinds of intellectual ground compensation devices

型式	调节抽头式	调节励磁式	调节气隙式
优点	(1)结构简单,操作方便,噪音低。 (2)对电网运行方式的变化自动跟踪,响应时间快	(1)补偿电流连续平滑,无级可调,线性好。 (2)结构紧凑,体积小。 (3)补偿后残余电流小。	(1)没有忽略阻尼率d和任何参数,使得测量结果准确,误差小。 (2)补偿后残流小,弧隙恢复电压上升速度慢。 (3)能识别接地故障与其他扰动,准确动作。 (4)可多台并联补偿,同容量不同容量均可并联运行。
缺点	(1)电感量变化依靠调整节头,分阶梯,补偿电流不能无级可调。 (2)在数学计算模型中,忽略阻尼率d,特别是接近谐振点(或在谐振点),$v=\frac{I_C-I_L}{I_C}$接近零时,v^2也接近零,$v^2<d^2$,而忽略d,则误差较大。	(1)由于采用晶闸管,产生电流谐波侵入电网。 (2)由于忽略阻尼率d,会造成测量误差。 (3)一次侧中的晶闸管,续流二极管,易损坏。 (4)控制过程复杂,易造成紊乱。	(1)机械传动复杂。 (2)噪音大。 (3)维护较为复杂。

的最大工作电流),不能进行全范围调节。而近期研制的“调容式智能接地补偿选线装置”克服了上述缺陷。

2　调容式智能接地补偿及选线装置

调容式智能接地补偿及选线装置(以下简称装置),其结构由Z型接地变压器、二次调节消弧线圈、电容调节箱、阻尼电阻箱(根据调谐方式,可选择)、选线控制器等部分组成,如图1所示。

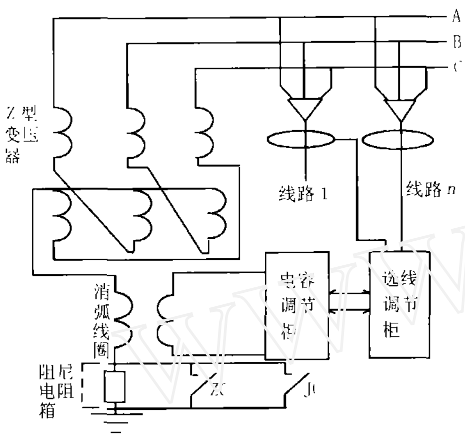


图1　一次结线图

Fig.1　Diagram of primary connections

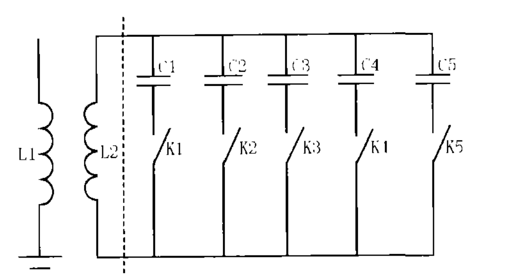
(1) Z型接地变压器:主要用于引出中性点,一次绕组采用Z型接线,使零序磁通相互撤消,减小零序阻抗(小于10 Ω),便于补偿电流的输出。

(2) 二次调节消弧线圈:二次调节消弧线圈如图2所示。$L1$ 为主绕组,$L2$ 为二次绕组。二次绕组接电容调节柜,$L1$:$L2=K$。当二次侧电容全部断开时,一次侧绕组感抗最小,电感电流最大;当二次侧电容接入后,根据阻抗折算,相当于一次侧绕组两端并接了相同功率、阻抗为 K^2 的电容,使一次侧绕组阻抗增大,使流过一次侧绕组的电流减小。因此通过调节二次侧电容投入的数量,便可控制一次侧的阻抗及电流的大小。

(3) 电容调节柜:一般装有4~5个电容器,电容量配置原则为 $C1:C2:C3:C4:C5=1:1/2:1/8:1/16:1/32$,根据二进制组合原理,4只电容器有16种组合,即16级调节,5只电容器可实现32级调节,级差电流 $I_d=U_{相}/Q_c$。

电容调节柜由控制器根据电网对地电容的大小自动跟踪调节二次侧电容的容量,从而调节消弧线圈一次侧电流达到理想补偿效果。

电容器选用BFM薄膜自愈式电容,额定工作电压1000 V,其内部或外部装有限流线圈,以限制合闸瞬间的浪涌电流。内部装有放大电阻。



L1:消弧线圈主绕组　C1~C5:二次调节电容

L2:消弧线圈二次绕组　K1~K5:真空接触器(或双向晶闸管)

图2　二次调节消弧线圈

Fig.2　Diagram of secondary adjusting arc suppression coil

电容调节柜有三种型号选择:

ZGTD-CC1型:调节开关为EVS-160(630)型真空接触器,额定工作电压为1140 V,额定工作电流为160~630 A,操作频率可达3000次/小时,开合时间≤35 ms;调档时间≤40 ms,额定寿命 10^6 次。

ZGTD-CC2型:调节开关为大功率双向晶闸管,额定工作电压为1800 V,额定工作电流为160~1000 A,开合时间≤10 ms;调档时间≤10 ms,速度极快,且采用过零触发,无合闸涌流。

ZGTD-CC3型:调节开关为大功率双向晶闸管和真空接触器组合开关,正常运行中由晶闸管控制电容器投切。电网发生单相接地后,由真空接触器控制电容器投切。这样既发挥了晶闸管快速的特点,又保证了高可靠性。

(4) 自动跟踪调节及选线控制器:控制器是整套装置的核心,具有如下功能:

① 测量电网系统的电容电流及调节控制消弧线圈。控制器通过检测相应的电流电压信号,经微机计算出系统电容电流,从而计算出经消弧线圈补偿后的残流,以此残流值与线圈级差电流比较,若残流大于级差电流,则进行调档操作,直至残流小于级差电流。

② 单相接地故障线路的选检。当发生单相接地时,控制器采用有功分量法和残流增量法进行接地故障线路的选线。控制器有两种型号供选择:

ZGML-C型:如图3所示,采用80C196微处理器,数码管显示,配有微型打印机,带24路连线,用于预调谐工作方式。

ZGML-C104型:如图4所示,采用PC-104型工控机(微处理器为486或586芯片)和80C196微处

理器构成双 CPU 结构，功能强大，可靠性高，既可用于预调谐，也可用于接地后调谐。

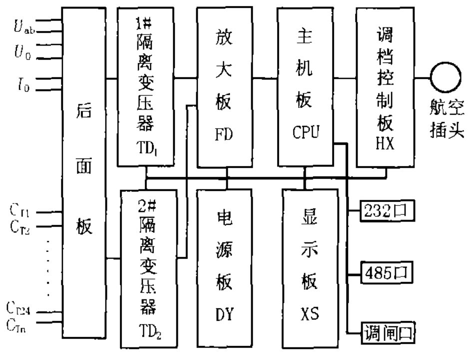


图 3 ZGML-C 型选线控制器方框图

Fig.3 Block diagram of ZGML – C line – selector

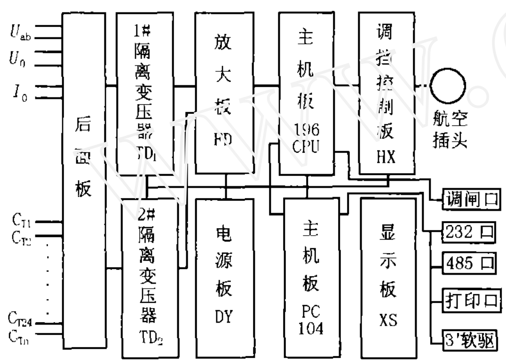


图 4 ZGML-C104 型选线控制器方框图

Fig.4 Block diagram of ZGML – C104 line – selector

(5) 限压阻尼电阻箱：当采用预调谐方式时必须使用电阻箱，用于限制阻尼谐振过电压和弧光接地过电压。为避免阻尼电阻上的有功电流使接地残流增大，在发生单相接地时，将电阻短接。

3 ZGTD-C 型装置的判线原理

ZGTD-C 型装置的微机选线采用两种方法进行判线：

(1) 基波有功分量法(该方法需使用阻尼电阻箱)：

在图 5 所示的零序等效网络中，如在 d 点发生单相接地，则接地回路的零序电流为系统总电容电流与消弧线圈回路流过的 I_L 之向量和，在电阻 R 未被短接前，该电流含有阻性有功分量，数值较大；而非接地相回路零序电流为本身的零序电流。其中包含的有功电流为线路对地泄露电流，数值较小。

当电网发生单相接地后，阻尼电阻延时0.6 s后短接，在这0.6 s内，微机选线装置可将系统零序电

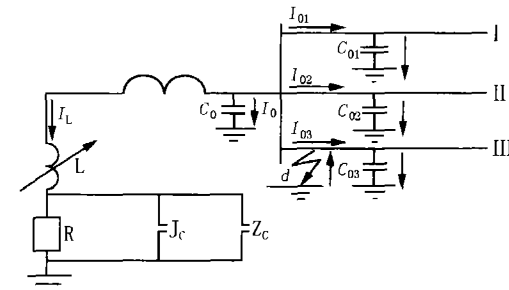


图 5 单相接地时零序等效网络

Fig.5 Zero sequence equivalent net at single – phase earth fault

压及各回路零序电流采集下来，进行分析处理，基波有功分量最大者即为接地线路。

(2) 残流增量法：

在系统发生单相接地后，把各线路的零序电流采集下来，然后改变一档，再把各线路的零序电流采集一遍，求出各线路调档前后电流的变化量，其中最大者为接地线路，因为它等于消弧线圈调档前后电感电流的改变值，而其他线路基本上不变，该方法可以多次重判，以确保选线准确率。

以上两种方法可单独使用，也可配合使用，相互校验，其准确率可达 100%。

4 消弧线圈的预调谐与接地后调谐

4.1 预调谐方式

根据接地残流或脱谐度的要求，在系统正常运行无单相接地故障时，将消弧线圈的感抗调至合适档位，接地后不再调节。一般调抽头式(调节一档的时间约 15 s)、调气隙式(全过程调节时间约 100 s)均采用该方式。ZGTD-C 型装置也可采用预调谐方式，其预调谐跟踪响应时间3.04 s，远小于其他智能接地补偿装置的调节时间。

4.2 接地后调谐方式

在电网正常运行无单相接地故障时，将消弧线圈的感抗调节至与电网系统对地电容容抗相差较大的档位，远离谐振点，满足中性点位移电压≤15%相电压的要求，接地后再将消弧线圈调至满足残流要求的合适位置。该方法不使用阻尼电阻箱，简化了设备，提高了可靠性，降低了造价。但要求消弧线圈的调节速度极快，ZGTD-C 型装置接地后调谐响应时间≤40 ms(10 ms)。

5 装置容量选型依据

5.1 消弧线圈容量的选择

应考虑以下因素：①测算目前电网系统对地电

容电流 I_{c0}。②电网 5～10 年内的发展规划,电网线路长度的增加量,据此估算电网系统对地电容电流增加量 $I_{\Delta c}$,则消弧线圈容量 $Q1=(I_{c0}+I_{\triangle c})U_{相}$。

5.2　接地变压器容量的选择

接地变压器不带二次负荷时,其容量等于消弧线圈容量;接地变压器带二次负荷时,接地变压器一次侧容量等于消弧线圈容量加二次侧负荷容量。

6　试验结果

调容式智能接地补偿装置经河北省电力试验研究所检测,其测量误差合格。其模拟试验、选线判线功能正确。

7　结束语

调容式接地补偿及选线装置,通过调整消弧线圈二次电容容量大小来调节消弧线圈的电感电流,可以在 0～100% 额定电流全范围内调节。装置集自动跟踪消弧线圈和单相接地选线为一体,采用"有功分量法"和"残流增量法"对单相接地线路进行选线,准确可靠。该装置具有调节范围宽、调节速度快、调节方式灵活,既可预调谐,又可进行接地后调谐,且调节开关寿命长,工作安全可靠,是一种理想的智能接地补偿及选线装置。

参考文献:

[1]　丁昱.工业企业供电[M].北京:冶金工业出版社,1993.

[2]　杨耀芳,等.洛阳热电厂 10 kV 系统消弧线圈补偿问题的研究[J].电网技术,1999,(1):14-15.

[3]　杨成德.限制单相接地电流的补偿装置的设计与选择[J].电气传动,2000,(30):386-390.

作者简介:

杨成德(1963－),男,高级工程师,从事供电设计和监理工作。

The application and recent development of intellectual ground compensation and line－selector

YANG Cheng－de[1], ZHANG Xue－bin[1], XU Jing－bo[2]

(1.The Architectural Design institute of Meng Yin, MengYin 276200, China;　2.The Architectural Design Institute of Linyi City, Linyi 276001, China)

Abstract:　This article analyzes the advantage and weakness of the three kinds of intellectual ground compensation devices, and introduces the structure, principle, application and selection criterion of the intellctual ground compensation and line selector.

Key words:　capacitor regulation;　compensation circuit;　line－selection

(上接第 9 页)

参考文献:

[1]　许建安.水电站继电保护[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

[2]　葛耀中.新型继电保护与故障测距原理与技术[M].西安:西安交通大学出版社,1996.

[3]　蔡元宇.电力系统故障分析[M].北京:水利电力出版社,1992.

作者简介:

许建安(1950－),高级讲师,主要从事继电保护教学及研究。

Realization of sequence component filter in power system

XU Jian-an

(The Fujian Professional and Technical Institute of Water Conservancy and Electric Power, Yongan 366000, China)

Abstract:　Current transformer is normally installed to A and C phases in power system with indirectly earthed neutral. By vector analysis on the character of positive and negative sequence current component, the paper introduces the realization method of two-phase type positive and negative sequence current filter. It is helpful in practice.

Key words:　power system with indirectly earthed neutral;　sequence component filter;　two-phase type