

文章编号:1007-9432(2004)02-0168-04

谐波方向原理在矿井高压电网 接地选线系统中的应用

孟润泉¹,米建军²,杨 毅¹

(1. 太原理工大学,山西 太原 030024;2. 山西电子高级技工学校,山西 太原 030025)

摘 要:在分析矿井高压电网接地故障规律及现有接地选线装置失效原因基础上,阐述了适于对各种中性点接线方式电网进行接地选线保护的谐波方向原理。作为该原理的具体应用,介绍了一种基于五次谐波检测的井下高压接地选线系统。

关键词:井下高压电网;接地选线保护;零序电压;零序电流;五次谐波;微控制器

中图分类号:TM564.8

文献标识码:A

《煤矿安全规程》规定,矿井高压电网为中性点绝缘方式供电。但是,随着煤矿生产用电量的增大及电缆网络的延伸,矿井高压电网单相接地点电容电流不断增加。据统计,单相接地电流超过20A者占70%以上,实测最高值已超过70A^[1]。如此大的接地电流极易引起电弧接地过电压,严重威胁供电电缆的绝缘,并且极易引发瓦斯、煤尘爆炸^[2]。故此,许多煤矿都改用中性点经消弧线圈或消弧线圈并高阻接地的供电系统。尽管这样可以补偿电网单相接地时的电容电流,但同时也使得基于零序电流及零序功率方向原理的接地选线装置的选择性受到严重影响。本文首先分析矿井高压电网单相接地故障特征,然后介绍了五次谐波方向原理,作为谐波方向原理的具体应用,介绍了以微控制器为核心的井下高压电网接地选线系统。

1 矿井高压电网接地故障特征及谐波方向原理

我国目前的矿井高压电网为中性点对地绝缘、中性点经消弧线圈接地和中性点经消弧线圈并高阻接地三种供电方式并存,而消弧线圈的引入是影响现有选择性接地保护装置正常工作的主要原因,已有的研究表明,有消弧线圈补偿时,在脱谐度 $P < 10\%$ 的前提下,稳态电流补偿效果明显而暂态电流得不到补偿,故障支路的暂态电流是所有非故障

支路电容电流之和,且其方向与非故障支路电流方向相反^[3]。但是暂态电流大小受接地瞬间电压初始相位的影响很大,当接地故障刚好发生在线电压瞬时零值附近时,暂态电流很小^[3],将其作为保护参量极不可靠。下面主要分析消弧线圈引入前后电网单相接地时的稳态特性。

1.1 高压电网接地故障特性

消弧线圈引入前即中性点对地绝缘电网的接地电流分布特点如图1所示。

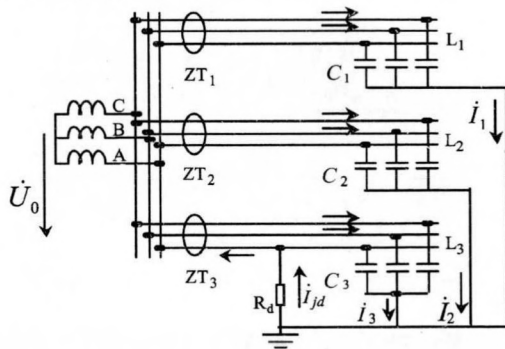


图1 中性点对地绝缘电网的接地电流分布

图中给出的是我国煤矿高压辐射式电网的典型模式,由 L_1, L_2, L_3 三条支路构成, ZT_1, ZT_2, ZT_3 分别为安装于各支路的零序电流互感器。由于一般高压电网绝缘水平较高,故假设各相对地电阻为 ∞ ,设每条支路各相对地分布电容相等,分别以集中参数 C_1, C_2, C_3 表示,并设 L_3 支路的A相发生接地故障,此时,电网各故障参数间存在如下关系:

收稿日期:2003-05-20

基金项目:省教委高新技术产业项目(197-101029)

作者简介:孟润泉(1968—),男,山西孟县人,硕士,讲师,主要从事继电保护研究。

1) 接地点电流为所有支路电容电流之和,即

$$I_{jd} = 3j\dot{U}_0\omega C_\Sigma. \quad (1)$$

式中: $C_\Sigma = \sum_i C_i$ 为各支路对地总电容; ω 为角频率。

2) 流过非故障支路零序电流互感器原边的电流为本支路电容电流,其相位超前零序电压(用 $\dot{U}_0$ 表示) 90° , 可表示为

$$I_i = 3j\omega C_i \dot{U}_0. \quad (2)$$

式中: $i=1,2,3$ 为支路号。

流过故障支路零序电流互感器的电流是所有非故障支路电容电流之和,其相位滞后 $\dot{U}_0$ 90° , 表示为

$$I_k = -3j\omega \dot{U}_0 (C_\Sigma - C_k). \quad (3)$$

k 为故障支路号,故障支路自身产生的零序电流,去一返两次流过该支路零序互感器原边,对互感器而言自相抵消;

3) 若忽略三相电网中零序阻抗电压降的影响,则电网任何地方对地的零序电压均相等;装设消弧线圈后的接地电流分布如图2所示。

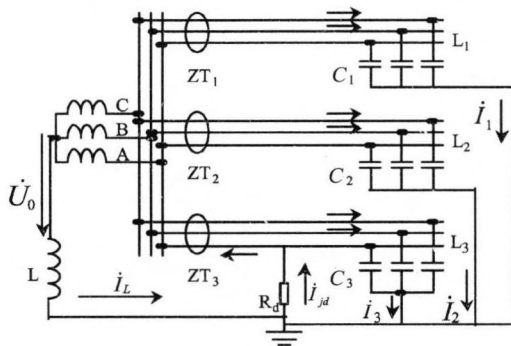


图2 引入消弧线圈后的接地电流分布特点

当接地故障时,在 $\dot{U}_0$ 作用下产生一感性电流 $I_L = -j\dot{U}_0/\omega L$ 与接地的电容电流 I_{jd} 迭加,使得接地点电流变为 $I'_{jd} = j\dot{U}_0(3\omega C_\Sigma - 1/\omega L)$ 。根据 L 值不同,有完全补偿、过补偿、欠补偿3种情况。

4) 当 $3\omega C_\Sigma = 1/\omega L$ 时为完全补偿,接地点处的感性电流和容性电流大小相等、方向相反而互相抵消,使得接地电流 $I'_{jd} = 0$ 。流过故障支路 ZT_3 的电流是 L_3 自身对地的电容电流 I_3 ,与支路 L_1, L_2 的零序电流同相位,均超前 $\dot{U}_0$ 90° ,其大小由该支路对地分布电容大小决定。

5) 当 $3\omega C_\Sigma < 1/\omega L$ 时为过补偿, I'_{jd} 为一感性残余电流,与故障支路自身电容电流同相位。流过 ZT_3 的电流是感性残余电流与该支路自身电容电流迭加而成的零序电流,其大小随支路的长短而变,相位与 L_1, L_2 支路电容电流相同。

6) 当 $3\omega C_\Sigma > 1/\omega L$ 时为欠补偿, I'_{jd} 呈容性,流

过 ZT_3 的是此反向残余电流与 L_3 支路自身对地的电容电流之和,其值随支路长短不同而不同,相位也因支路长短不同而超前或滞后于 $\dot{U}_0$ 。

1.2 谐波方向原理

由于过去我国矿井高压电网只采用中性点对地绝缘一种供电方式,配套的接地选线装置依据零序电流或零序功率方向原理设计,其中后者占绝大多数。它们工作的依据就是1.1中所述的特征1),2),3)。零序电流原理是利用故障支路零序电流大于任一非故障支路零序电流的特点实现选择性。零序功率方向原理是利用电网发生接地故障后 $\dot{U}_0$ 的变化以及故障支路 I_0 和非故障支路 I_0 与 $\dot{U}_0$ 相位关系的不同来实现选择性。当 $\dot{U}_0$ 和 I_0 达到设定值时保护启动,作好动作准备而不动作,然后利用非故障支路 I_0 超前 $\dot{U}_0$ 90° 而故障支路 I_0 滞后 $\dot{U}_0$ 90° 的特点,通过比较各支路 I_0 与 $\dot{U}_0$ 相位选出故障支路并断开该支路^[4]。

现在的矿井高压电网大多装设消弧线圈(或消弧线圈并高阻)用以限制接地时的电容电流,使得上述特征1),2),3)已不复存在,而正如1.1中4),5),6)所述,流过各支路零序电流互感器的电流随补偿情况的不同和电网相对长度的变化而变化。这时,基于工频检测的零序电流原理和零序功率方向原理不再适用。

谐波方向原理是通过检测高压电网中所含的谐波成份并进行相位鉴别来实现选择性的。谐波是高压电网中固有的成份^[5],其中零序电流和零序电压的高次谐波成份在大小和相位关系上也具有1.1中1),2),3)所述 $I_0, \dot{U}_0$ 的特征。由于消弧线圈的补偿作用主要是针对接地电容电流的基波成份的,一般调谐到使 $I'_{jd} = j\dot{U}_0(3\omega C_\Sigma - 1/\omega L)$ 为零值附近。因感抗和容抗随信号频率的变化而变化,使得接地电流的高次谐波分量不能被补偿掉。谐波中以三次、五次谐波含量较大,由于三次谐波受变压器接线组别的影响,更因其方向一致,使得相间没有三次谐波电压,而五次谐波不受此影响^[5]。下面以完全补偿情况为例说明单相接地时故障参量中五次谐波成份的变化情况。

对五次谐波成份而言,感抗增大到基波时感抗的5倍而容抗减小为基波时容抗的1/5。设零序电压的五次谐波成份为 $\dot{U}_{0(5)}$,则经接地点流回故障支路

$$I_{C_{\Sigma(5)}} = j3(5\omega)C_\Sigma \dot{U}_{0(5)}, \quad (4)$$

相应的五次谐波电感电流为

$$I_{L(5)} = -j\dot{U}_{0(5)} / 5\omega L, \quad (5)$$

当电感调谐到完全补偿时有

$$3\omega C_{\Sigma} = 1/\omega L, \quad (6)$$

由(4)(5)(6)式可得

$$I_{C_{\Sigma(5)}} / I_{L(5)} = 25. \quad (7)$$

即此时的五次谐波电容电流是电感电流的 25 倍。为避免发生串联谐振,实际电网中消弧线圈大多处于过补偿状态。另外,消弧线圈本身也可能出现饱和使得 $I_{L(5)}$ 略有增大,但仍然远不能补偿 $I_{C_{\Sigma(5)}}$ 。电感的接入对五次谐波分量在电网中的分布规律几乎没有影响。同理,装设消弧线圈并高阻后,五次谐波分量在电网中的分布规律也不会受影响。这样,利用零序电流和零序电压中五次谐波信号的分布规律来实现选择性不受中性点接线方式的影响。

2 基于谐波方向原理的井下高压电网接地选线系统

由上文知,谐波方向原理适用于多种中性点接线方式的电网。但电网中的谐波含量一般较低,数值很小,极易混入干扰成份,尤其在煤矿井下的严酷环境中,必须克服严重的干扰才能保证接地选线系统工作的可靠性。系统实现的关键是滤去原始信号中的基波成份和大量的干扰信号,提取出有用的五次谐波分量。另外,我国井下高压隔爆开关中所装设的均为集单相接地选线、监视、短路、过载等多种保护功能为一体的综合保护装置,实际的接地选线保护必须与这种模式兼容,综合考虑以上因素,构成了以 AT89C52 为核心的微控制器应用系统,而接地选线系统仅作为其中的一个子系统。以下只介绍与单相接地选线相关的硬件及软件。

2.1 单相接地选线系统硬件组成与原理

接地选线系统硬件结构如图 3 所示。主要由零序电压回路、零序电流回路和相位比较电路三部分组成。

零序电压回路包括两个支路。支路 1 由整流滤波电路、中断产生电路组成,当发生接地故障时给微控制器发出中断信号。支路 2 由五次谐波提取电路、移相电路、波形变换电路等组成,将接地故障时所产生的零序电压中的五次谐波成份提取出来,并进行适当的相位移动和波形的正、反变换,以和零序电流回路的输出信号进行相位比较。

零序电流回路由五次谐波提取电路、波形变换电路等组成,主要从经过预处理的零序电流信号中

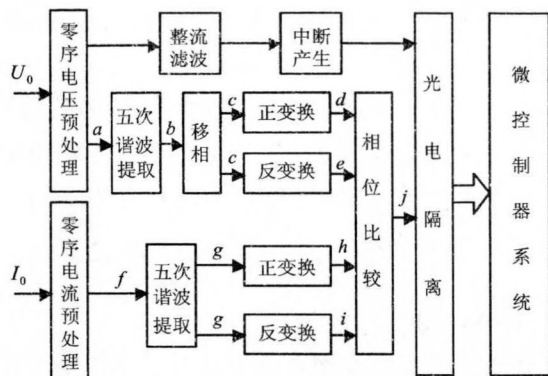


图 3 选择性接地保护系统硬件组成

提取出五次谐波成份,并对其放大和正、反变换,以便和零序电压支路 2 的输出信号进行相位比较。比相电路对零序电流支路的输出信号和来自零序电压支路 2 的经过正、反变换的信号进行相位比较。

当电网发生单相接地故障使零序电压升高并超过硬件电路整定值时,零序电压回路的中断产生电路向微控制器发送中断信号,微控制器接收到中断信号后,对零序电压五次谐波 $\dot{U}_{0(5)}$ 和零序电流的五次谐波 $\dot{I}_{0(5)}$ 作相位鉴别,以进一步判定出故障支路。图 3 各点对应的波形如图 4 所示。

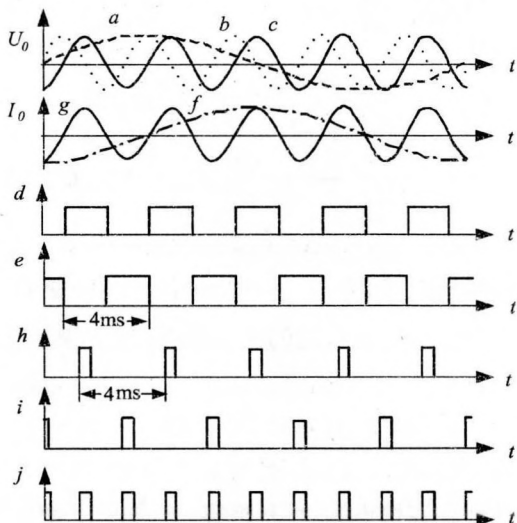


图 4 接地保护系统信号处理波形图

零序电压信号经五次谐波提取、移相、波形变换等处理后得到周期为 4 ms 的方波,处理过程的波形如图 4 中 a, b, c, d, e 所示。零序电流信号经五次谐波提取、波形变换后得到周期为 4 ms 的脉冲序列,如图 4 中波形 f, g, h, i 所示。对应于 $\dot{U}_{0(5)}$ 和 $\dot{I}_{0(5)}$ 正、负半波的输出信号两两(d 与 h, e 与 i)相与,对故障支路而言 d 与 h, e 与 i 分别存在同为高电平的时段,使得比相电路 j 点输出周期为 2 ms 的脉冲序列,如图 4(j)所示。非故障支路则由于 d 与 h, e 与

i 不存在同为高电平的时段, j 点输出低电平信号, 微控制器通过检测 j 点信号判断是否发生单相接地故障。

2.2 单相接地选线系统软件

选择性接地保护的软件采用中断触发方式启动。正常情况下微控制器执行综合保护系统主控程序和其它子程序模块, 当接收到零序电压回路发来的中断申请后, 进入中断服务程序检测相位比较电路的输出信号。中断服务程序流程如图5所示。

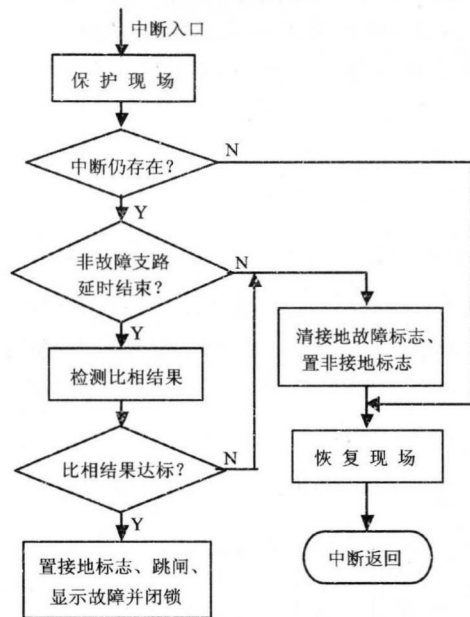


图5 接地保护中断服务程序流程图

2.3 干扰及抑制措施

煤矿井下存在多种干扰源, 如向电机车提供直

流电能的可控硅的通断会产生周期性脉冲干扰; 断路器、真空接触器的频繁分合产生随机性脉冲干扰; 井下接地线和铁轨中有杂散电流干扰以及载波通讯的周期性干扰等。

针对各种干扰采取的措施有: 设计无源和有源滤波器以消除周期性干扰; 程序中采用了双循环去极值滤波算法消除系统的随机性干扰; 采用接地、屏蔽、隔离等措施消除电磁场干扰。此外, 还采用无源、有源带阻滤波器、带通滤波器和高精度选频放大器相结合来获取高质量的五次谐波信号; 采用有源移相器与宽度可调的正弦波/矩形波变换电路相结合的方法提高了谐波比相环节的容错能力^[6]; 选用内置程序存储器的微控制器 AT89C52 并用 μP 监视芯片 X25045 保证 CPU 的正常运行。

3 结论

将样机接于 380V 三相模拟电网进行试验, 以集中参数电容模拟电网对地分布电容, 漏电阻用可变电阻器模拟, 在由三相电抗器星形连接构成的人为中性点处串入补偿电感。试验结果表明, 样机的选择性性能非常好, 无论电网是中性点绝缘还是处于某种补偿状态下, 只要样机零序电压比较值调整适当, 装置就不会出现拒动和误动现象。接入补偿线圈后的零序电压值比中性点绝缘时略有偏高, 但不影响装置的选择性。

参考文献:

- [1] 张效陶, 万伟太. 6(10)kV 高压电网绝缘监视及单相接地的新途径[J]. 煤炭科学技术, 1996, 24(10): 1-4.
- [2] Atwell E A. Performance testing of the Nordon high impedance ground fault detector on a distribution feeder[A]. In: Rural Electric Power Conference[C]. New York, USA: IEEE, 1990: 1-7.
- [3] 王彦文, 刘玉英, 李向军等. 6kV 电网单相接地电流的暂态分析[J]. 煤炭科学技术, 1997, 25(10): 13-17.
- [4] 金兆民. 煤矿 6 kV 电网消弧线圈补偿对高压选择性接地保护装置的影响[J]. 煤炭科学技术, 1997, 25(2): 1-6.
- [5] 祝生香. 煤矿半导体继电保护[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1985: 139-147.
- [6] 孟润泉, 梁翼龙, 宋建成. 提高脉冲比相可靠性的途径及其实现[J]. 继电器, 1999, 27(6): 11-13.

Study on A Technical Information System Based on ASP and SQL Server 2000

SI Ling-ling¹, SHONG Jian-cheng¹, FAN Shi-min², SHI Jia-lin², LI Wen-de²

(1. College of Electric and Power Engineering of TUT, Taiyuan 030024, China;

2. Lu'an Mining Group Co., Xiangyuan 046031, China)

Abstract: The common method of designing web station based on ASP and SQL Server 2000 is analyzed and the security of web station is discussed in this paper. The basic strategy to connect ASP and database is described through a living example. A technical information web station has been developed using ASP and SQL Server 2000 for Luan Mining Bureau in order to deal with many difficulties confronted with data retrieval and management. It has been proved by test that the station can not only publish the technical information efficiently and apply for technical project on line, but also generate many kinds of reports and search the basic information of technician conveniently and quickly. The efficiency of technical management in the bureau is improved greatly.

Key words: ASP; SQL Server 2000; web station design; database

(编辑:张爱绒)

.....
(上接第 171 页)

The Application of Fifth Harmonic Direction Principle to the Single-phase-grounding Protection System of Underground HV Distribution Networks

MENG Run-quan¹, MI Jian-jun², YANG Yi¹

(1. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Shanxi Electronic Technical Worker School, Taiyuan 030025, China)

Abstract: The installed selective grounding protector in underground HV networks cannot work properly owing to the application of the arc-suppression coil, by which the grounding current is compensated. On the basis of analyzing the law of ground fault, this paper expounded the protection principle based on the fifth harmonic direction, which is suitable for all kinds of underground HV distribution networks. As an example of application, a kind of selective single-phase-grounding protection system of underground HV distribution networks is introduced.

Key words: underground HV distribution networks; selective grounding protection; zero sequence voltage; zero sequence current; fifth harmonic direction; microcontroller

(编辑:张爱绒)