

# 基于 MSP430 的综合选线保护系统的开发与研究

王 琦, 袁振海

(南京工业大学自动化学院, 江苏 南京 210009)

**摘要:** 论文在对零序暂态能量、零序有功功率、零序直流选择性等漏电保护原理进行分析的基础上, 进一步深入研究了零序直流选择性漏电保护原理, 提出了对传统零序直流选择性漏电保护原理的改进方案, 并提出了一种将三者相结合的漏电综合选线保护方案。设计出了一种漏电综合选线保护装置, 并设计了软件程序。系统的硬件设计采用了模块化的设计思想, 主要包括数据采集单元、处理单元等。通过软件的设计来实现多路交流信号的软件同步采样。系统的软件设计也采用了模块化设计思想。

**关键词:** 电网; 漏电保护; 消弧选线; MSP430F449

中图分类号: TM774

文献标识码: A

文章编号: 1003-3076(2008)04-0077-04

## 1 引言

在配电网日益发展的今天, 我国大多数配电网均采用中性点不直接接地系统, 即小电流系统<sup>[1]</sup>。当发生故障时, 线路的线电压仍能保持对称, 故障电流较小, 不影响对负荷的连续供电, 故不必立即跳闸, 规程规定可以连续运行 1~2h。但随着馈线的增多, 电容电流的增大, 非故障相对地电压可升高至相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 长时间运行易使故障扩大为两点或多点接地短路, 弧光还会引起系统过电压, 从而损坏设备, 破坏系统安全运行, 所以必须及时找出故障线路予以切除。这是保证井下供电可靠性、连续性和安全性必不可少的保护措施<sup>[2]</sup>。

## 2 电网漏电选线保护原理分析

### 2.1 零序功率法选线<sup>[3]</sup>

图 1 为单相接地故障时零序电压电流相位关系, 其中:  $I_H$  为消弧线圈流过的电流 ( $I_L, I_R$  分别为  $I_H$  的电感、电阻分量);  $3I_{0f}$  (无消弧) 为没有消弧线圈时故障线路的零序电流,  $3I_{0f}$  (有消弧) 为有消弧线圈时故障线路的零序电流, 即  $3I_{0f}$  (有消弧) 为  $3I_{0f}$  (无消弧) 与  $-I_H$  的矢量和。

对于中性点经消弧线圈接地系统 (NES), 常采

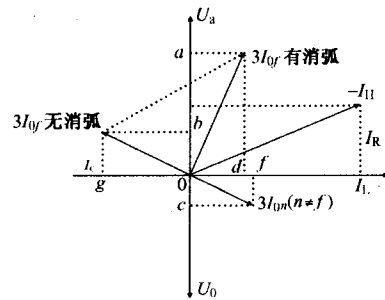


图 1 零序电压和电流相位关系

Fig. 1 Phase relation between zero sequence voltage and zero sequence current

用过补偿方式, 即有  $|I_L|$  一定比  $3I_{0f}$  (无消弧) 的容性分量  $oe$  大一点, 所以叠加后  $3I_{0f}$  (有消弧) 会位于  $U_0$  轴的右侧。由图 1 可看出  $od$  与  $of$  方向相同。显然, 此时用零序功率的无功分量无法区分出故障线路, 必须用零序功率的有功分量来进行判别。

对于零序有功而言, 故障线路的零序有功功率最大, 它等于所有非故障线路的零序有功功率之和再加上消弧线圈回路的有功损耗, 方向是从分支流向母线, 而非故障线路的零序有功功率为线路自身的有功损耗, 方向是从母线流向线路, 这就是零序有功选线原理的理论基础<sup>[4]</sup>。

### 2.2 零序暂态能量法选线

收稿日期: 2008-05-07

作者简介: 王 琦 (1983-), 男, 安徽籍, 硕士研究生, 主要研究方向为电网安全保护;  
袁振海 (1952-), 男, 江苏籍, 教授, 博士, 主要研究方向为电网安全保护。

在 NES 中系统发生单相接地故障后,故障点残余电流很小,有利于接地电弧熄灭,同时因消弧线圈的补偿作用,故障线路的和非故障线路的零序电流方向相同,不易选线。但此时故障线路的零序电流的阻性分量与非故障线路的零序电流的阻性分量方向相反,且故障线路零序电流阻性分量的绝对值最大<sup>[5]</sup>。但从零序电流中分解阻性分量在接地故障暂态过程实现困难,考虑到电网中电容和电感只存储能量而不消耗能量,则零序电流与电压乘积在一定时间内(始末时刻电容和电感储存能量值相等)的积分值就是零序电流中阻性分量所消耗的能量,此能量同样具有零序阻性电流的特点,可以作为选线的判据。

定义线路  $j$  的零序暂态能量为:

$$W_{0j} = \int_0^T u_0 i_{0j} dt \quad j = 1, 2 \dots n \quad (1)$$

式中  $u_0$  为零序电压,  $i_{0j}$  为第  $j$  条支路的零序电流,  $T$  为电网周期。消弧线圈支路也可以看成一条线路,只要把  $i_{0j}$  改成  $i_L$ 。

根据零序电流的参考方向和零序阻性电流的特点,则可得故障线路的能量为负,非故障线路的能量为正,且故障线路的能量绝对值最大。可以以此作为选线的判据,即对每条线路做式(1)的积分,积分值为负并且绝对值最大的就是故障线路<sup>[5]</sup>。

### 2.3 零序直流选择性漏电保护原理<sup>[6]</sup>

对于 NES,消弧线圈的存在使得直流检测回路发生变化。由于消弧线圈的电感对于直流检测源信号相当于短路,主要的直流检测信号都从消弧线圈上通过,而通过电网三相绝缘电阻流回电网的直流分量几乎为零,此时直流检测回路无法再反映出电网的绝缘状况。为了把零序直流保护原理推广到中性点经消弧线圈接地的系统,需要对系统模型进行必要的改进,即在消弧线圈支路和接地网之间串联一个隔直电容  $C_0$ ,如图 2 所示。

为了提高零序直流保护电路的安全性,使之普遍地适用于中低压配电网,对直流检测源电路进行了改进和优化设计,如图 2 所示。

图 2 中,电阻  $R_3$ 、 $R_4$  为高阻态电阻,其中电阻  $R_3$  是二极管的限压保护电阻,可以防止二极管反向击穿;电阻  $R_4$  保证直流检测源电路对地保持高阻状态,减少了人身触电的危险,加强了装置的安全性。电阻  $R_3$ 、 $R_4$  的选取应考虑到系统对地的绝缘水平。

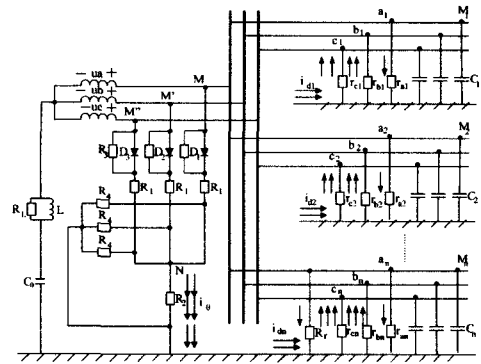


图 2 改进的零序直流保护电路

Fig.2 Improved DC protection circuit

本文确定了以零序暂态能量法为暂态判据,零序有功功率法和零序直流选择性保护原理为稳态判据的综合选线方案。该方案兼用了幅值与相位、基波与谐波、暂态与稳态,用互补的方法去解决可能存在的判断死区,比如零序暂态能量法和零序有功功率法在接地电阻阻值较高的情况下准确率较低,而零序直流选择性漏电保护原理可以较好地弥补上述两判据的缺陷,从而有效地改善了选线的准确性和适用性。

### 3 基于 MSP430 的综合选线保护系统的硬件设计

硬件电路是保证系统正常工作的基础,它的性能优劣直接影响着整个系统工作的可靠性,安全性和连续性<sup>[7-9]</sup>。本系统的设计是以 MSP430 单片机为控制核心的漏电保护装置。实现对小电流接地系统的绝缘检测,故障选线的目的。

装置采用了 MSP430 单片机作为系统的核心。运用模块化设计思想,可以分为以下几个模块:电源模块、信号采集模块、数据通讯模块、人机对话模块等<sup>[10]</sup>。保护系统的总体设计框如图 3 所示:

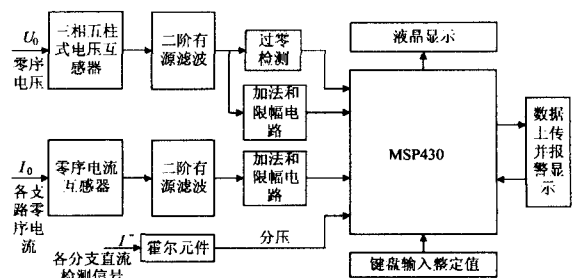


图 3 综合选线保护系统的总体设计框图

Fig.3 Overall design diagram of synthetic criterion selection protect system

硬件设计思路:零序电流和零序电压分别由零序电流互感器、三相五柱式电压互感器采集,直流分量由霍尔元件采集,经过信号调理后送入 430 内置的 ADC,再根据各种判据分析出故障支路,显示在液晶屏上,同时根据需要将数据上传给上位机,达到实时监控的目的。

### 4 基于 MSP430 的综合选线保护系统的软件设计<sup>[11,12]</sup>

本装置软件系统主要分为上位机模块和下位机模块两部份。其中下位机模块开发包括:输入输出模块、数据采集和处理模块、数据通讯模块。

主程序流程图的思路如下:暂态能量判据用于判断暂态故障,零序有功判据用于判断低漏阻状态的稳态故障,零序直流判据用于判断高漏阻状态的稳态故障。

### 5 实验分析

实验环境:MNDW-II 型小电流接地电网动态模拟系统实验台上选择 2、3 两个分支,其每相接地电阻和接地电容为 15K、10 $\mu$ F,消弧线圈调在第 5 档,在 2 个分支之中任意一支的 A 相上并连接地漏阻 R<sub>r</sub>,其值分别取 0、0.5K、1K、2.2K、4.4K。

由表 1 可知,当接地漏阻比较大(R<sub>r</sub> = 4.4k)的时候,零序电流和零序电压信号都很小,故障分支和非故障分支的零序暂态能量和零序有功功率的幅值

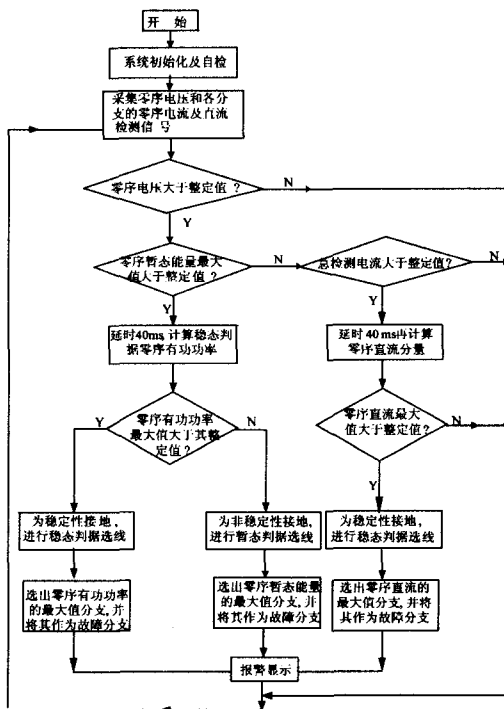


图 4 主程序流程图

Fig.4 Main program flow diagram

区分不是很明显,易造成系统的选线失败。鉴于以上误判现象的情况,本文结合零序直流选择性漏电保护判据,利用其直流分量稳定,不受电网运行情况、分布电容的影响,且耐过渡电阻能力强的特点,在漏阻较高的情况下也能成功选线。

表 1 选择性漏电保护判据的实验数据 (实验)

Tab.1 Experimental data (experiment) of selective leakage protect criterion

漏阻 (接入分支)	零序暂态能量/mJ			零序有功功率/W		零序直流检测电流/mA		漏电流 路判断	是否报 警成功
	U <sub>0</sub> /V	2 分支	3 分支	2 分支	3 分支	2 分支	3 分支		
4.4k(2)	11.2	-0.35	0.31	-0.12	0.13	43	5	2	是
4.4k(3)	12.2	0.23	-0.32	0.09	-0.12	45	5	3	是
2.2k(2)	17.7	-1.53	0.56	-0.35	7.1e-2	47	6	2	是
2.2k(3)	18.2	0.32	-1.37	4.9e-2	-0.42	50	5	3	是
0.5k(2)	35.3	-21.1	1.46	-5.63	0.43	63	4	2	是
0.5k(3)	33.7	2.67	-22.3	0.56	-6.53	65	3	3	是
0(2)	206	-2.6e3	20.6	-134	5.3	70	5	2	是
0(3)	207	23.6	-2.8e3	4.6	-153	71	4	3	是

### 6 小结

利用零序暂态能量和零序有功功率等选择性保护原理虽然可以较好地提高选线的准确率,但是它们都要受到实际电网运行情况和零序电流大小的影

响。通过比较,本文综合利用的零序直流选择性漏电保护原理不仅可以较好地解决上述问题,而且其动作电阻值固定,无论电网的对地电阻和分布电容如何变化,它都能够真实地反映电网对地绝缘阻抗的绝对数值,从而达到既可以有效地监视电网对地

的绝缘阻抗,又可以实现漏电选线的目的。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 牟龙华,孟庆海 (Mou Longhua, Meng Qinghai). 供配电网安全技术 (Safety technology of power supply) [M]. 北京: 机械工业出版社 (Beijing: China Machine Press), 2003.
- [ 2 ] 宋建成,梁翼龙,孟润泉 (Song Jiancheng, Liang Yilong, Meng Runquan). 煤矿井下低压电网电流故障保护系统的研究 (Researching of protection system of power system current fault in underground coal mine) [J]. 电工电能新技术 (Adv. Tech. of Elec. Eng. & Energy), 1999, 18(4): 44-48.
- [ 3 ] 杨汉生,赵斌,姚晴林,等 (Yang Hansheng, Zhao Bin, Yao Qinglin). 基于零序功率的小电流选线方法 (Methods of choosing earth-fault line based on the zero sequence power) [J]. 继电器 (Relay), 2002, 30(11): 30-32.
- [ 4 ] 薛金娃 (Xue Jinwa). 零序有功选线与消弧线圈接地系统单相接地故障处理过程优化 (Fault line selection based on the zero sequence active power and optimize the process of single-phase grounding fault treatment of NES) [J]. 继电器 (Relay), 2004, 32(2): 61-63.
- [ 5 ] 朱丹,贾雅君,蔡旭 (Zhu Dan, Jia Yajun, Cai Xu). 暂态能量法原理选线 (Method of selecting fault line based on the energy of transient) [J]. 电力自动化设备 (Elec. Power Automation Equipment), 2004, (3): 75-78.
- [ 6 ] 袁振海 (Yuan Zhenhai). 零序直流选择性漏电保护原理分析 (Study of selective leakage protection principle based on zero sequence directive current) [J]. 电工技术学报 (Trans. China Electrotechnical Society), 2005, 20(4): 102-106.
- [ 7 ] 陈德为,张培铭 (Chen Dewei, Zhang Peiming). 光机电转动式电器动态特性测试装置的研究 (Development of a dynamic characteristic testing device of rotational electrical apparatus with opto-electromechanical technology) [J]. 电工电能新技术 (Adv. Tech. of Elec. Eng. & Energy), 2007, 26(2): 65-68.
- [ 8 ] 罗士萍 (Luo Shiping). 微机保护实现原理及装置 (Realization the microcomputer protection principle and the device) [M]. 北京: 中国电力出版社 (Beijing: China Elec. Power Press), 2001.
- [ 9 ] Norris Woodruff. Economical motor protection using microcomputer technology [J]. IEEE Trans. on Ind. Appl., 1984, 20(5): 1344-1351.
- [ 10 ] Thomas N, Jeffrey L K. Technological innovations in deep coalmine power systems [J]. IEEE Trans. Ind. Appl., 1998, 34(1): 196-204.
- [ 11 ] 廖承,李朝晖,林玉怀 (Liao Cheng, Li Chaohui, Lin Yuhuai). 基于工业控制计算机的自动跟踪补偿消弧装置 (Auto-tracing compensation arc-suppressing device based on industrial personal computer) [J]. 电工电能新技术 (Adv. Tech. of Elec. Eng. & Energy), 2007, 26(1): 68-72.
- [ 12 ] 张艳霞,王良,刘翠艳 (Zhang Yanxia, Wang Liang, Liu Cuiyan). 一种电力系统实时测频的精确算法 (A precise algorithm for frequency measurement of power system) [J]. 电工电能新技术 (Adv. Tech. of Elec. Eng. & Energy), 2006, 25(2): 18-20.

## Researching and developing of synthetic criterion selection protection system based on MSP430

WANG Qi, YUAN Zhen-hai

(Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** In this paper, based on the analyzing of zero sequence transient energy, zero sequence active power, zero sequence DC current creepage protection system principle, and further studying of the selective leakage protection principle of zero sequence DC current, an improved schemes for the selective leakage protection principle of zero sequence DC current is proposed, and a creepage synthetic protection scheme which combined these three principles is presented. Also a creepage synthetical line selection protection equipment and its software were designed. Finally, it can achieve the goal to monitor the insulation resistance of power network, and to improve the accuracy of selecting faulted line. Blocking method was adopted in designing of the system hardware, which consists of data acquisition unit, processing unit and so on. Software synchronous sampling of multi-route alternating current signals was realized by software settings. Blocking method employing FFT was also adopted in designing of the system software, which includes system initializing, software of line selective principle, interface of LCD, and the high level computer communication and so on.

**Key words:** power network; earth leakage protection; arc-suppression and ground faulted line detection; MSP430F449