

矿用隔爆型真空馈电开关中的过电流保护

宋建成¹, 梁翼龙², 孟润泉²

(1. 西安交通大学, 陕西 西安 710049; 2. 太原理工大学, 山西 太原 030024)

【摘要】 从煤矿井下低压电网中装设过电流保护的重要性入手, 描述了矿用隔爆型真空馈电开关中过电流保护的工作原理。重点分析了对称短路相敏保护特性曲线的确定方法, 讨论了影响保护动作可靠性的各种因素。介绍了以单片机为中央控制单元所构成过电流保护系统的硬件结构和软件框图, 下井前对保护系统进行了测试试验, 动作指标符合设计要求。经现场运行表明该保护系统性能稳定, 动作可靠, 具有重要的应用价值。

【关键词】 真空馈电开关; 过电流; 相敏短路保护; 负序电流

1 引言

煤矿安全规程要求在煤矿井下低压供电系统的真空馈电开关中必须装设过电流保护^[1], 它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。然而在我国煤矿井下供电系统中至今仍未脱离传统的鉴幅式继电保护或电子保护^[2], 其短路保护是按系统最大运行方式下线路末端三相短路电流整定, 过负荷保护按线路的最大负荷整定。尽管这种整定方法能保证在所有可能的正常和故障条件下保护都不会错误地切除被保护线路, 但在其他运行方式下保护特性并非最佳, 而且在最小运行方式或最不利的短路条件下, 保护性能严重变差甚至失效^[3]。若短路保护按最小运行方式下保护范围末端最小短路电流整定, 在大型电动机启动时易造成保护误动作^[4], 严重影响着煤矿井下的正常生产。

本文针对上述缺陷研究了以单片机为核心的基于功率因数检测的相敏对称短路保护、基于负序电流检测的不对称短路保护和具有自适应性能的过负

荷保护, 建立了其数学模型, 分析了其作用原理, 设计了硬件和软件电路, 并将其应用于矿用隔爆型真空馈电开关中^[5], 验证了其有效性和实用性。

2 过电流保护原理

2.1 对称短路保护

在煤矿井下供电系统中, 对称短路保护用于切除馈电线路的对称故障状态, 如三相短路、大型电机堵转等。现有隔爆型馈电开关中的短路保护大多都是按躲过保护范围外最大短路电流 $I_{scmax}^{(3)}$ 的原则来整定动作值 I_{ac} , 即

$$I_{ac} = c_r \cdot I_{scmax}^{(3)} \quad (1)$$

式中, c_r 是可靠系数 (1.2 ~ 1.3)。这样在系统最小运行方式下发生两相短路时, 保护可能拒动或者说此时保护范围缩短, 由 l_m 变为 l_n , 如图 1 所示。若按最小运行方式下两相短路电流 $I_{scmin}^{(2)}$ 整定动作值 I_{ac} , 即

$$I_{ac} = c_r \cdot I_{scmin}^{(2)} \quad (2)$$

[4] 刘英, 张曙光, 唐旭章. 电力企业用电管理信息系统开发方法及技术探讨. 计算机应用, 1998, (18) 1: 56.

[5] 贾鹏霞. 浅析电力企业 MIS. 计算机世界. 1998, 3, 9: A15.

[6] 王翼. 建立信息系统的有效途径——系统集成. PC-WORLD CHINA, 1995, 4: 32.

收稿日期: 1998—12—03

作者简介: 栾兆文 (1960 -), 男, 硕士, 副教授, 主要从事电力系统运行分析和控制, 及计算机在电力系统中的应用等方面的研究。

THE STUDY OF INFORMATION MANAGEMENT AUTOMATION IN ELECTRICAL POWER SYSTEM

LUAN Zhao-wen, WANG Hong-tao, WANG Yong

(Electrical Power Engineering School, Shandong University of Technology, 250061 Ji nan, China)

Abstract This article studies the current situation and development tendency of information technology, and combines it together with the requirement of information management automation in electrical power system. It puts forward a system integration technology to construct modern electrical management information system.

Key words system integration technology; MIS

此时上级保护区与下级保护区产生重合,在重合区($l_m - l_m$)内发生短路事故时,保护将失去动作选择性。

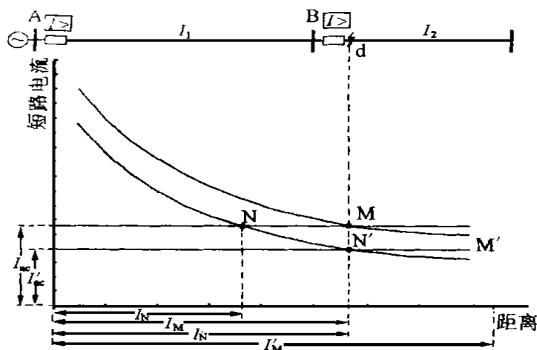


图1 短路保护特性

鉴幅式过流保护的動作特性和大型电动机的起動特性如图2所示,图中曲线2和3分别为供电系统不同整定值下的保护特性,a、a'、b、b'和c、c'分别为对应曲线的反时限、定时限和速断保护区,曲线1为大型电动机起動时的起動电流特性。由图2可见,只要电流超过其整定电流,保护便立即動作,执行跳闸机构。在大型电动机起動时,最大起動电流可能超过其整定电流,此时会引起保护误動作。

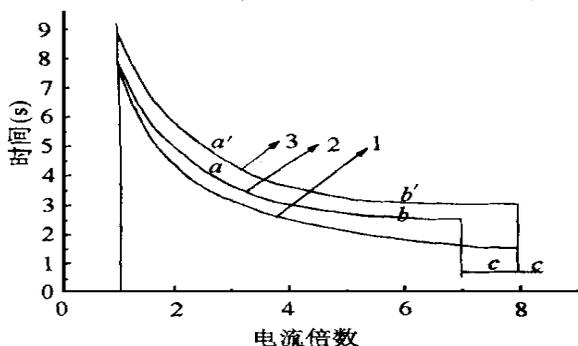


图2 鉴幅式过流保护动作特性和大型电动机起動特性

煤矿井下供电系统中的负载均为感性负载,在大型电动机起動时,功率因数比较低,而在对称短路故障情况下,功率因数则很高,所以采用基于功率因数检测的相敏保护原理不但可提高对称短路保护的灵敏度,而且还能保证其动作的可靠性。根据功率因数和短路电流的鉴别方式不同,相敏保护的動作特性也不完全相同。图3为一般相敏保护的特性。

图3中,1为单独鉴相式保护特性,2为单独鉴幅式保护特性,显然存在保护死区,3为鉴幅值和鉴相值相乘后所构成的保护特性,即

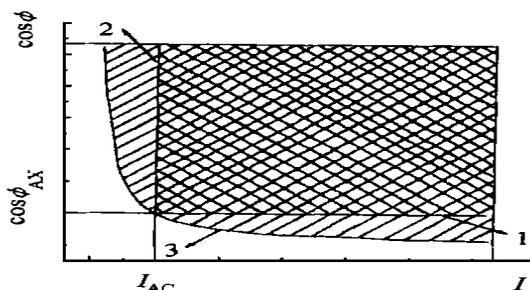


图3 鉴幅、鉴相保护特性

$$I \cos \phi = c \tag{3}$$

由式(3)可知,只要选择合适的常数 c ,其保护区较单独鉴幅、鉴相的保护区大。

为了躲过大型电动机的起動电流而又能使保护在正常运行方式下保护范围内发生对称短路故障时可靠動作,必须确定合理的保护動作区。图4给出了典型煤矿供电系统短路电流、起動电流、功率因数和短路点距电源距离之间的关系曲线,图4中,A——短路电流相对值与功率因数的关系曲线,B、C——不同起動电流相对值与功率因数的关系曲线,D——鉴幅、鉴相相“与”的临界動作曲线,E、F——取不同系数 c_1 、 c_2 时,鉴幅、鉴相相“或”的临界動作曲线。

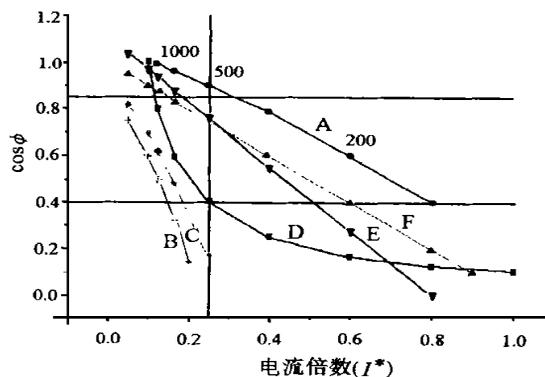


图4 短路电流、起動电流和功率因数的关系曲线

在图4中,短路电流和起動电流相对值都是以供电系统可能发生的最大短路电流为基准的。由此可见,传统的鉴幅式短路保护要躲过起動电流,将使保护范围大大缩小。例如,电流動作值取 $i_{sc}^* = 0.25$ 时,保护范围小于500m。然而,对于单纯鉴相式保护,若要保护线路全长,即動作整定值 $\cos \phi = 0.4$,则电动机起動时可能产生误動作。若要躲过起動电流,保护距离较小的范围内发生短路时将得不到保护,例如,取動作整定值 $\cos \phi = 0.82$,则在保护范围

300m内短路时将会产生误动作。综合考虑这两个因素,既能避免大型电动机起动时的误动,又能保护线路全长。曲线D是两者相乘为一常数所确定的临界动作曲线,即

$$I^* \cos \phi = c \tag{4}$$

由式(4)可以看出,取不同的常数 c ,可得到不同的临界动作曲线,只要常数选择合理,就可以取得满意的保护效果,图4中的曲线D是在 $c = 0.1$ 时得到的。然而从图4中也不难发现,动作界限的选择余地是比较小的。

将鉴幅、鉴相所得到的值分别与常数 c_1 、 c_2 相乘后再相“或”,即

$$c_1 \cdot I_{SC}^* + c_2 \cos \phi = 1 \tag{5}$$

选择不同的常数 c_1 、 c_2 ,可得到不同的临界动作直线,如图4中直线E、F所示。根据电网负荷大小选择不同的常数 c_1 、 c_2 ,可得到斜率不同的动作直线,这样可取得最佳的保护效果,它不但有较宽的动作界限选择余地,而且有很高的动作灵敏度和可靠性。图4中直线E是 $c_1 = 1$ 、 $c_2 = 1$ 时的临界动作线,直线F是 $c_1 = 1.25$ 、 $c_2 = 0.9$ 时的临界动作线。

2.2 不对称故障保护

在煤矿井下供电系统中不对称故障状态有两相短路、断相等,相敏保护并不能保护这种不对称故障,因为在线路发生不对称故障时,故障电流不再对称,线电流间的相位差将偏离 120° ,不再存在短路电流与起动电流间的固有关系。然而在电网发生不对称故障时,其重要的特征是电流不对称,也就是说通过检测三相电流的不对称度可以判断不对称故障状态。

根据对称分量法,线路三相电流不平衡时会产生负序分量。在该保护系统中,设计了负序电流滤波器,用于检测供电线路的不对称状态,其原理如图5所示。

图中 120° 移相电路是差模输入有源移相器,系统电流经电流/电压转换、移相和负序电压合成后便可得到计算机能够接收的信号。合成后的负序电压

$$\dot{U}_{out} = -(\dot{U}_a + a^2 \dot{U}_b + a \dot{U}_c) = -3n_t R \dot{I}_{a2} \tag{6}$$

式中, \dot{U}_{out} 是负序滤波器的输出电压, \dot{U}_a 、 \dot{U}_b 、 \dot{U}_c 分别为A、B、C三相的不对称电流所对应的电压, $a = e^{j120^\circ}$ 是旋转向量。 n_t 是电流传感器的变换系数, R 是电流传感器的负载电阻, \dot{I}_{a2} 是线路A相的负序电流。由式(6)可见,滤波器的输出电压仅反应输入电流的负序分量。计算机根据滤波器输出电

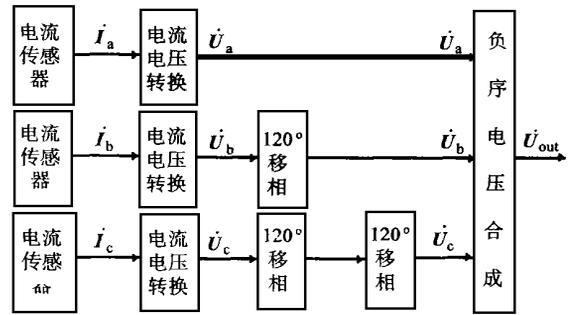


图5 负序电流滤波器

压的大小来判断电网的不对称故障状态。

2.3 过负荷保护

过负荷是煤矿井下供电系统中常见的故障状态,长期过负荷运行不仅降低了电气设备的使用寿命,而且在电缆接头处易产生热能量积聚,造成煤尘、瓦斯爆炸事故。在该保护系统中设计了自适应型反时限过负荷保护,过负荷倍数与容许过负荷时间 t_{ac} 之间的关系为

$$t_{ac} = 1600 \ln[(k^2 - 1) / (k^2 - 1.2)] \tag{7}$$

由式(7)可作出过负荷保护特性如图6所示。计算机检测到负荷电流后根据其过负荷程度查表修改延时时间常数以保证过负荷保护动作的准确性,有效地防止电气设备过热损坏,降低瓦斯、煤尘爆炸的危险性。

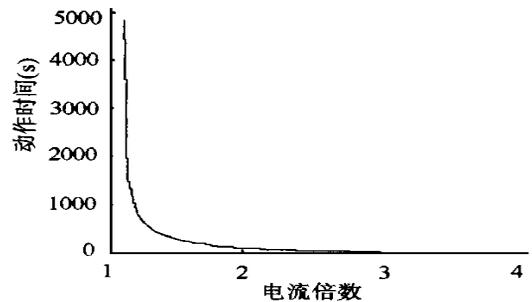


图6 过负荷保护特性

3 硬件电路和软件设计

3.1 硬件电路

使用模拟式分离元件实现上述保护功能,其电路是相当复杂的,而且可靠性比较低。而用单片计算机作为中央控制单元,再配合相应的波形处理、信号变换、滤波器等电路,可完成矿井供电系统的相敏对称短路保护、负序不对称故障保护、自适应过负荷保护功能,其硬件框图如图7所示。

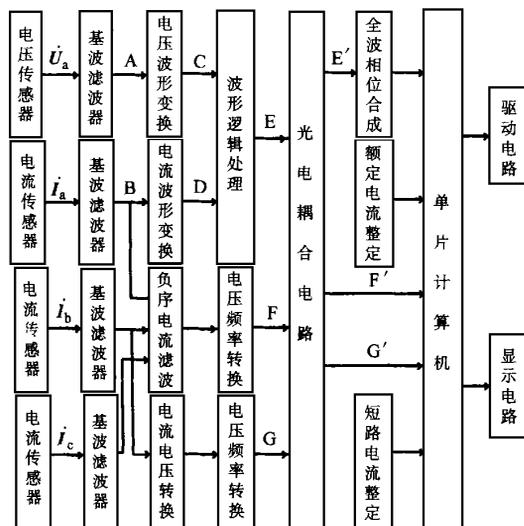


图7 硬件电路原理框图

系统电压、电流在进行滤波处理后分别送至对应的信号处理电路。A相电压信号经波形变换后得到周期为2的方波信号,如图8C所示。A相电流经波形变换后也是周期为2的方波信号,如图8D所示,电流方波滞后于电压方波,滞后角度为 ϕ ,这就是功率因数角。电压、电流方波经逻辑处理、光电耦合、全波相位合成成为周期为 π 的脉冲序列,如图8E所示,脉冲宽度就是 ϕ 。同时三相电流信号经负序电流滤波器、V/F转换、光电耦合、多路转换为负序频率信号。B相电流经整流、滤波、V/F转换向单片机提供其幅值信号。CPU对脉冲信号、负序信号和电流信号进行检测、计算来判断线路所处的工作状态。

对不同的供电线路,其电源容量、负荷大小不同,系统的最大短路电流也不同。为了计算线路电流的相对值并比较其不对称和过负荷程度,又考虑到现场操作方便,本保护系统设计了额定电流和最大短路电流整定值输入接口,操作人员只要按实际使用系统输入此参数,CPU在软件支持下完成自适应过负荷、负序不对称故障和相敏对称短路保护功能。

3.2 软件设计

过电流保护的软件是智能化真空馈电开关综合保护系统^[4]中的一个子程序模块,程序流程如图9所示。

在主程序初始化时CPU自动检测、计算供电系统的额定电流 I_n 、最大短路电流 I_{scmax} 、相敏保护查询表、过负荷保护查询表以及不对称短路动作值

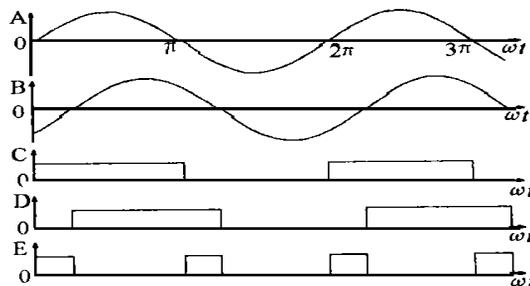


图8 功率因数测量波形

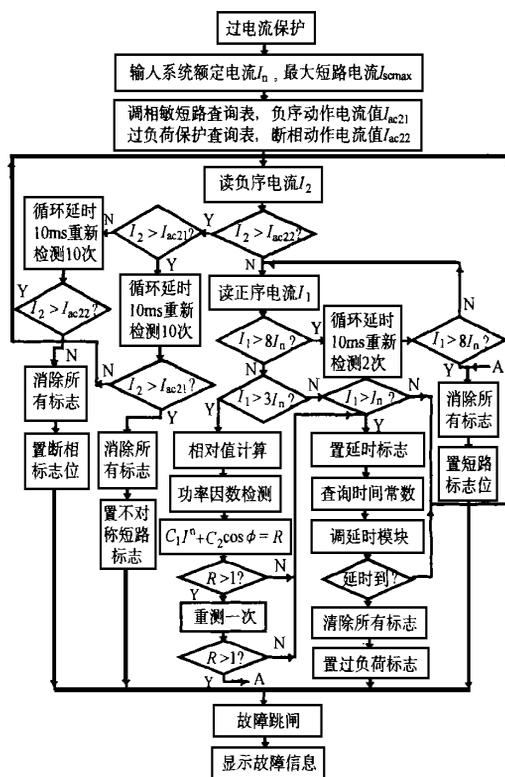


图9 过流保护子程序

I_{ac21} 和断相动作值 I_{ac22} 。过电流子程序首先检测线路的负序电流 I_2 并分别与 I_{ac21} 、 I_{ac22} 进行比较,若 $I_2 > I_{ac21}$,说明供电系统发生不对称短路故障,若 $I_{ac21} > I_2 > I_{ac22}$,说明供电系统存在断相故障。不论检测到哪种不对称故障,CPU都会重复检测10次以保证故障判断的准确性。如果系统中不存在不对称故障,CPU便调用正序电流 I_1 检测模块,当 $I_1 > 8I_n$ 时,说明线路发生近端短路故障,CPU重复检测一次核实后立即发出跳闸信号。若 I_1 位于 $3I_n \sim 8I_n$ 之间,则说明线路中可能发生对称短路故障,也可能有大型电机正在起动。如果是短路故障,CPU立即发出跳闸信号;如果是电动机起动,CPU会自动起动延时电路,10s后若电流还未减小,说明电动机堵转或严重

过载,CPU便发出跳闸信号;若电流位于 $I_n \sim 3I_n$ 之间,属于过载运行状态,CPU会根据过负荷程度查表写入相应的延时常数,然后起动延时电路。只要过负荷故障存在,CPU会实时检测并修改时间常数。不管线路处于何种运行状态,CPU发出跳闸信号后,会通过显示器显示跳闸前电网的运行状态,而且还能记忆跳闸时电网参数值的大小,大大提高了操作人员判断故障和排除故障的能力。

4 试验与应用

基于功率因数检测的相敏对称短路保护与基于零序电流方向的选择性漏电保护以及基于负序电流检测的不对称短路保护和自适应过负荷保护等组成了BKD₂-400Z/1140(660)Z(F)隔爆型真空馈电开关的综合保护系统。该系统已于1993年应用于潞安矿务局王庄煤矿,下井前对该开关进行了地面试验,过电流保护的试验条件是:电网额定电压 $V_n = 1140V$,最大短路电流按51#井下采区变电所实际最

大短路输入,实际电源为KSJ₂-320/6油浸式变压器,负荷电流大小及功率因数角由可变电感和电阻来调节,试验数据如表1、表2所示。

表中的测试数据均为10次测试的平均值,而且10次中均不出现误动或拒动现象。由表可见,在低压电网不同地点发生对称短路故障时,相敏保护均能可靠动作,动作时间满足设计要求,尤其在近端发生对称短路时,保护可在50ms内切断故障点,这不但解除了事故进一步扩大的危险性,而且保证了断路器分断大电流时的安全性。在模拟大型电动机起动($\cos\phi = 0.4$)时,若10s内电流不减小,CPU认为是严重过载,会在11s左右发出跳闸指令。不对称故障通过改变真空馈电开关负荷侧的接线方式,用大电流发生器来模拟。该系统投运几年来,运行正常,动作可靠,显示准确,大大提高了煤矿井下供电的连续性和安全性。该项技术鉴定后已转让生产厂家,在煤矿井下得到广泛应用。

表1 相敏对称短路保护技术性能测试数据

额定电流 (A)	最大短路 电流(A)	实际电流 (A)	功率因数	C_1	C_2	运行状态	动作时间	
							要求值	实际值
350	4200	2300	0.80	1.1	0.9	短路	<100ms	75ms
350	4200	2300	0.32	1.1	0.9	起动	>10s	11s
350	4200	1750	0.91	1.1	0.9	远端短路	<100ms	84ms
350	4200	1750	0.42	1.1	0.9	起动	>10s	11s
220	4200	1320	0.85	1.1	0.9	短路	<100ms	80ms
220	4200	1320	0.35	1.1	0.9	起动	>10s	*
220	4200	900	0.95	1.1	0.9	远端短路	<100ms	88ms
220	4200	900	0.45	1.1	0.9	起动	>10s	12s
220	4200	2200	0.75	1.1	0.9	近端短路	<100ms	52ms

表2 负序不对称短路、断相、过负荷保护技术性能测试数据

额定电流 (A)	不对称 电流(A)	动作时间(ms)		故障类别	过负荷 电流(A)	动作时间(ms)	
		要求值	测试值			要求值	测试值
220	905	<150	139	AC相短路	250	>1h	65min
220	1010	<150	135	BC相短路	275	<30min	28min
220	832	<150	142	AB相短路	310	<10min	8.4min
220	415	<200	175	A相断相	340	<5min	4.5min
220	356	<200	177	B相断相	460	<2min	1.8min
220	310	<200	181	C相断相	700	<30s	28s

5 结论

本文提出的基于功率因数检测的相敏对称短路保护和基于负序电流检测的不对称故障保护以及自适应过负荷保护已应用于矿用隔爆型真空馈电开关中,采用短路电流相对值与功率因数相“或”的方法,不仅具有较宽的保护范围,而且具有较高的动作灵敏度。远端短路时,保护动作时间小于100ms,近

端短路时小于50ms。根据负序电流的大小可有效地判断电网的不对称故障状态,动作时间小于150ms,改善了电网的短路保护性能。自适应过负荷保护能根据过负荷程序实时改变延时常数,确保了保护动作的准确性。保护系统以单片机作为中央控制单元,不仅增强了保护的灵活性,而且建立了良好的人机界面,提高了操作人员判断故障和排除故障的效率。经现场运行表明,该系统工(下转第41页)

收稿日期:1999-03-15

作者简介:孙福鼎(1974-),男,工程师,研究方向为电力系统自动化;李树君(1968-),男,工程师,研究方向为电力

系统继电保护;魏剑啸(1968-),男,工程师,研究方向为电力系统继电保护。

XND-2000 SERIAL AUTOMATIC SYSTEM FOR 35kV SUBSTATION

SUN Fu-ding, LI Shu-jun, WEI Jian-xiao, HUANG Sheng-chun
(Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract To automation build of town and city power network, introduce a new distributed type automatic system for substation. Put to use two cascade networks of bus model, which combine current general Ethernet technology and advanced reliable real-time control network and are open and extendible.

Keywords agricultural power; automation; network structure; protection supervisory control

(上接第28页)作稳定,动作可靠,显示准确,具有广阔的应用前景。

[参考文献]

- [1] 煤矿安全规程.北京:煤炭工业出版社,1992.
- [2] 刘思沛等.煤矿供电.北京:煤炭工业出版社,1991.
- [3] 葛耀中.新型继电保护与故障测距原理与技术.西安交通大学出版社,1996.
- [4] Bishop M T, et al. Overcurrent protection alternatives for underground distribution systems. IEEE Trans on Power Deliv

ery. 1995,10(1).

- [5] 宋建成等.单片机在矿用隔爆型真空馈电开关中的应用.煤炭科学技术,1995,(1).

收稿日期:1998-10-26

作者简介:宋建成(1957-),男,教授,主要从事煤矿井下电网漏电保护、矿用智能电器、电气绝缘在线监测技术的研究与开发。

OVERCURRENT PROTECTION IN UNDERGROUND EXPLOSION PROOF VACUUM FEEDER SWITCHGEAR

SONG Jian-cheng¹, LIANG Yi-long², MENG Run-quan²

(1. Xi'an Jiaotong University, Shanxi Xi'an 710049; 2. Taiyuan University of Science & Tech., Shanxi Taiyuan 030024)

Abstract This paper is based on the importance of installing overcurrent protective system in underground LV cable distribution network, nar rates the fundamental principle of overcurrent protection in underground explosion-proof vacuum switchgear. Much more attention is paid to the analysis of the method how to define the characteristic curves of phase-sensitive symmetrical short-circuit protection and the discussion of all factors to interfere with its action reliability. Besides, the hardware block diagram and software flowchart of the protective system controlled by single-chip microcomputer is also introduced in the paper. The protective system have been tested before applied in underground LV distribution networks, The results obtained are conformity with the design specification. The field experience show that the protective system is good practice in stability and reliability, and will be of great applied value in mining industry.

Keywords vacuum feeder switchgear; overcurrent; phase-sensitive short-circuit protection; negative-sequence current