

文章编号: 1671- 251X( 2009) 05- 0070- 05

# 矿井电网智能化电流保护系统的设计\*

郑丽君

(太原理工大学电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

**摘要:** 文章分析了矿井电网发生电流故障时的特征, 介绍了一种基于 PLC 的矿井电网智能化电流保护系统的设计, 详细阐述了该系统硬件与软件的设计及该系统基于相敏检测的对称电流故障保护方法、基于负序检测的不对称电流故障保护方法和基于幅值检测的过载保护方法的实现。该系统已投入实际应用, 实现了矿井电网的智能化电流保护。

**关键词:** 矿井电网; 电流保护; 相敏检测; 负序检测; 幅值检测

**中图分类号:** TD611      **文献标识码:** B

Design of Intelligent Current Protection System of Mine Power Network

ZHENG Lirun

(College of Electrical and Power Engineering of Taiyuan University of Technology,  
Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** The paper analyzed characteristics of current fault of mine power network, introduced a design of intelligent protection system of current of mine power network based on PLC, described hardware and software design of the system, expounded implementation of protection methods such as symmetry current fault protection based on phase sensitive detection, asymmetrical current fault protection based on negative sequence detection and overload current fault protection based on amplitude detection in details. The system has been applied in practice, and realizes intelligent current protection of mine power network.

**Key words:** mine power network, current protection, phase sensitive detection, negative sequence detection, amplitude detection

## 0 引言

为了满足煤炭生产效率不断提高的需求, 煤矿井下采掘设备功率不断增大, 供电电压不断升高, 因此, 对电网保护提出了更高的要求。过电流是煤矿井下电网常见的故障形式之一, 它直接影响着煤矿井下供电的安全性、可靠性和连续性。电流保护系统就是要保证在电网发生过电流故障时, 及时切除故障线路或设备, 避免事故蔓延<sup>[1]</sup>。

本文分析了矿井电网发生电流故障时的特征, 研制了一种基于 PLC 控制的智能化电流保护系统, 并将其应用于 KXJZ1- 700/ 3. 3- 6 矿用隔爆兼本质安全型组合式负荷控制中心中, 实现了电网对称电流故障、不对称电流故障与过载故障的可靠保护。

## 1 电流故障的特征与分析

电流故障有过载和短路故障 2 种状态: 过载属于不正常运行状态, 允许设备在一定时间内继续运行; 短路故障属于故障状态, 要求立即切除故障电路。短路故障常见的形式有三相对称短路故障、两相不对称短路故障、单相接地和单相断线等。不论哪种故障, 故障点的电流均可分解成正序、负序和零序 3 种相序分量<sup>[1]</sup>。故障电流和各相序电流之间的关系:

收稿日期: 2009- 01- 09

\* 基金项目: 山西省科技攻关项目( 031116)

作者简介: 郑丽君( 1981- ), 女, 硕士, 助教, 2006 年毕业于太原理工大学, 现在太原理工大学电气与动力工程学院从事矿用智能电器技术方面的研究与教学工作。E mail: ben ch621@ 163. com

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $\dot{I}_A$ 、 $\dot{I}_B$ 、 $\dot{I}_C$  分别为 A、B、C 三三相的故障电流;  $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_0$  分别为正序、负序、零序电流;  $\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$ ;  $\alpha^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ 。

(1) 三相短路故障: 发生三相短路故障时, 其稳态电流急剧增大, 但相位对称, 所以不存在负序和零序电流, 故障点的正序电流:

$$I_{f(1)} = -E_{\Sigma(1)} \backslash Z_{\Sigma(1)} \quad (2)$$

式中:  $E_{\Sigma(1)}$  为正序网络等值电势;  $Z_{\Sigma(1)}$  为正序网络故障口的等值阻抗。

三相短路故障电流:

$$I_f^{(3)} = I_{f(1)} \quad (3)$$

(2) 两相短路故障: 发生两相短路故障时, 系统处于不对称故障状态。故障点除正序电流外, 还存在负序电流, 而且两电流幅值相等, 相位相反, 但零序电流为零。

正序电流:

$$I_{f(1)} = -E_{\Sigma(1)} \backslash (Z_{\Sigma(1)} + Z_{\Sigma(2)}) \quad (4)$$

负序电流:

$$I_{f(2)} = -I_{f(1)} \quad (5)$$

故障电流:

$$I_f^{(2)} = \sqrt{3}I_{f(1)} \quad (6)$$

式中:  $Z_{\Sigma(2)}$  为负序网络故障口的等值阻抗。

(3) 单相接地故障: 发生单相接地故障后, 系统的线电压仍然对称, 但电网中存在零序电流:

$$\begin{aligned} I_{f(1)} &= I_{f(2)} = I_{f(0)} \\ &= -E_{\Sigma(1)} \backslash (Z_{\Sigma(1)} + Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)}) \end{aligned} \quad (7)$$

式中:  $Z_{\Sigma(0)}$  为零序网络故障口的等值阻抗。

故障电流:

$$I_f^{(1)} = 3I_{f(1)} \quad (8)$$

若没有接地保护, 设备还能继续运行, 但其绝缘承受的电压是正常运行时的 $\sqrt{3}$ 倍。更为严重的是, 在设备运行期间, 接地点的间歇性电弧有可能引起瓦斯和煤尘爆炸, 危及矿井安全。所以, 对单相接地故障必须装设单独的选择性漏电保护装置。

(4) 单相断相故障: 发生断相故障后, 该相的电流为零, 而另外两相的电流大小相等, 方向相反。这是一种严重的不对称故障, 其正序电流:

$$I_{f(1)} = -E_{\Sigma(1)} \backslash [Z_{\Sigma(1)} + Z_{\Sigma(2)}Z_{\Sigma(0)} \backslash (Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)})] \quad (9)$$

负序电流:

$$I_{f(2)} = -E_{\Sigma(0)}I_{f(1)} \backslash (Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)}) \quad (10)$$

零序电流:

$$I_{f(0)} = -E_{\Sigma(0)}I_{f(1)} \backslash (Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)}) \quad (11)$$

故障电流:

$$I_f^{(0)} = \sqrt{3[1 - Z_{\Sigma(2)}Z_{\Sigma(0)} \backslash (Z_{\Sigma(2)} + Z_{\Sigma(0)})^2]}I_{f(1)} \quad (12)$$

断相后, 电网中有负序电流存在, 它产生的电磁转矩与正序电流相反, 因负荷所需功率不变, 所以, 电网会出现过电流。

(5) 过负荷: 过负荷是煤矿井下供电系统的不正常运行状态, 电网的电流相位对称, 幅值大于整定电流, 但只要设备的运行温度没有超过其允许温升, 电网还允许继续运行, 否则电网要进行保护。

## 2 系统硬件设计

电流保护系统由基于相敏检测的对称电流故障保护、基于负序检测的不对称电流故障保护和基于幅值检测的过载保护组成。

### 2.1 对称电流故障保护方法的实现

对称电流故障保护主要是指短路故障保护, 它是煤矿井下供电系统的三大保护之一, 能正确区分电网发生短路故障与电动机正常启动。在电网发生短路故障时, 要求保护速动, 在电动机启动时, 要求保护不动作。采用基于功率因数检测的相敏保护<sup>[2]</sup>原理来实现短路故障保护, 令  $I \cos \varphi > C$ , 只要选择合适的常数  $C$  作为短路故障保护动作参数<sup>[3~4]</sup>, 就可以取得满意的保护效果。

#### 2.1.1 相敏保护电路设计

相敏保护电路实现原理如图 1 所示。

相敏检测电路由控制电压转换电路、电流信号变换电路和驱动电路 3 个部分组成。BC 相电压  $\dot{U}_{BC}$  经电压互感器 TV 降压后, 送到滞后移相电路, 经过反向过零检测器  $A_2$ , 其输出方波控制电子开关 IC1 的通断。B 相电流  $\dot{I}_B$  经电流互感器 TA 变换成小电流信号, 再经  $I/V$  变换后送到电流比例放大电路。通过 IC1 来控制放大电路的工作特性, 使其输出始终为半波信号。对该信号进行滤波后, 就能得到能准确反映  $I \cos \varphi$  的直流分量。数学分析如下:

$$U_C = \begin{cases} A \sqrt{2} U_1 \sin (\omega t - \varphi) & (0 \leq \omega t \leq \pi) \\ A \sqrt{2} U_1 \sin (\omega t + \varphi) & (\pi \leq \omega t \leq 2 \pi) \end{cases} \quad (13)$$

式中:  $U_C$  为比例放大电路输出电压;  $A$  为比例放大电路的放大倍数;  $U_1$  为二次电流经  $I/V$  变换后的电压值;  $\varphi$  为电压电流之间的夹角。

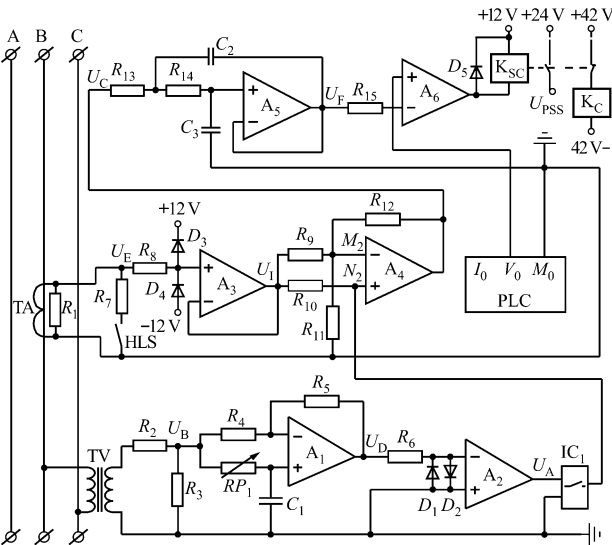


图 1 相敏保护电路实现原理图

对  $U_C$  进行傅氏分解:

$$U_C = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} [a_k \cos (k \omega t) + b_k \sin (k \omega t)] \quad \left( \omega = \frac{2 \pi}{t} \right) \quad (14)$$

式中:  $a_0$  为直流分量, 其表达式为

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T U_C dt \\ &= \frac{A \sqrt{2} U_1}{2 \pi} \left[ \int_0^{\pi} \sin (\omega t - \varphi) d \omega t - \int_{\pi}^{2 \pi} \sin (\omega t - \varphi) d \omega t \right] \\ &= \frac{A \sqrt{2} U_1}{2 \pi} \left[ -\cos (\omega t - \varphi) \Big|_0^{\pi} + \cos (\omega t - \varphi) \Big|_{\pi}^{2 \pi} \right] \\ &= 0.9 A U_1 \cos \varphi \end{aligned} \quad (15)$$

由式(15)可见, 滤波电路的输出  $U_F$  能完全反映电网电流幅值与功率因数的乘积。将  $U_F$  与  $D/A$  输出的短路故障保护整定电压值相比较, 若高于整定值, 说明发生了短路故障, 短路故障跳闸继电器  $K_{SC}$  吸合; 若  $U_F$  低于整定值, 说明没有发生短路故障故障,  $K_{SC}$  保持释放状态,  $K_C$  可以吸合。

2.1.2 相敏保护电路的实验数据与分析

利用图 1 所示的相敏保护电路进行实验, 实验数据如表 1 所示。

由表 1 可知,  $U_F$  实测值与理论值误差小于  $\pm 2\%$ , 且改变电流值  $I$  与功率因数  $\cos \varphi$  均可改变

表 1 相敏保护实验数据表

电压 / V	电流 / A	$\cos \varphi$	相敏信号/ V			备注
			理论	实测	误差/ %	
9.89	100	0.95	1.28	1.26	- 1.56	
9.91	100	0.90	1.22	1.24	+ 1.64	电流
9.88	100	0.80	1.08	1.06	- 1.85	不变,
9.92	100	0.70	0.95	0.94	- 1.05	改变
9.93	100	0.50	0.68	0.69	+ 1.47	$\cos \varphi$
9.91	100	0.35	0.47	0.45	- 4.26	
9.88	150	0.80	1.62	1.65	+ 1.85	
9.87	200	0.80	2.16	2.12	- 1.85	$\cos \varphi$
9.89	250	0.80	2.70	2.73	+ 1.11	不变,
9.90	300	0.80	3.24	3.20	- 1.23	改变
9.91	350	0.80	3.78	3.83	+ 1.32	电流
9.92	400	0.80	4.32	4.36	+ 0.93	

$U_F$  的大小, 说明  $U_F$  可以反映  $I \cos \varphi$  的值。只要将  $U_F$  与短路故障保护整定电压值相比较, 根据比较结果作出不同处理, 便可以实现基于相敏信号检测的短路故障保护<sup>[5~6]</sup>。

2.2 不对称电流故障保护方法的实现

当电网发生不对称故障时, 其重要特征是电流不对称, 线路中会产生负序电流, 两相短路故障和一相断线时的负序电流大小不同。本文采用负序保护原理来实现不对称电流故障保护。

2.2.1 负序信号检测电路设计

利用故障线路中反映负序分量的电流作为故障判断的依据, 从而达到断相和不对称短路故障保护的目<sup>[7]</sup>。其实现原理如图 2 所示。

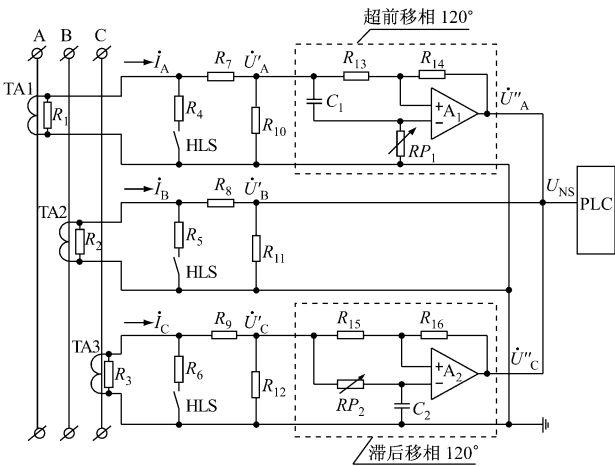


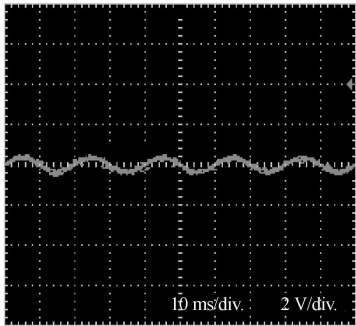
图 2 负序信号检测电路实现原理图

图 2 中,  $\dot{U}'_A$ 、 $\dot{U}'_B$ 、 $\dot{U}'_C$  分别由 A、B、C 相电流互感器二次侧电流经  $I/V$  变换、分压取样后得到, 能够线性反映原边电流幅值和相位关系。将  $\dot{U}'_A$  向超

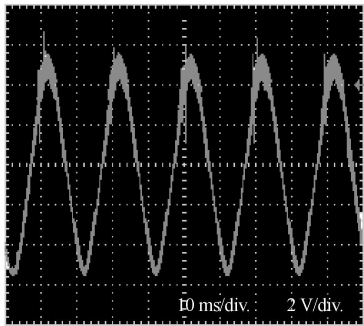
前方向移动  $120^\circ$  得到  $\dot{U}''_A, \dot{U}'_C$  向滞后方向移动  $120^\circ$  得到  $\dot{U}'_C$ , 将  $\dot{U}_B, \dot{U}''_A$  和  $\dot{U}'_C$  叠加输出, 便可以得到三相电流中的负序分量信号  $U_{NS}$ 。

2. 2. 2 负序保护电路保护特性分析

当电网正常运行或发生对称电流故障时, 负序过滤器输出信号  $U_{NS}$  幅值很小, 其波形如图 3( a) 所示; 当系统发生不对称电流故障时,  $U_{NS}$  幅值较大, 其波形如图 3( b) 所示。



(a) 电网无故障时  $U_{NS}$  输出波形



(b) 电网发生断相故障时  $U_{NS}$  输出波形

图 3 负序过滤器输出信号  $U_{NS}$  波形

当电网发生两相短路故障时, 其负序电流值大于断相时的负序电流值。所以, PLC 实时检测是否有  $U_{NS}$  信号, 就可以判断电网是否发生不对称电流故障, 实时检测  $U_{NS}$  信号幅值, 就可以判断电网究竟是发生两相短路故障还是断相故障, 根据故障状态不同, 作出不同响应, 从而实现不对称电流故障保护功能。

2. 3 过载保护方法的实现

根据电动机的过载特性, 采用鉴幅式检测、反时限动作原理<sup>[8]</sup>来实现过载保护功能。

2. 3. 1 过载保护电路设计

过载保护原理如图 4 所示。

B 相电流互感器二次侧电流经  $I/V$  变换、半波整流和电阻分压取样后得到电流幅值信号  $U_{CV}$ , PLC 实时检测该信号, 当其超过整定值时, 启动定时器, 延时时间到达后, PLC 发出跳闸信号并记忆

故障参数。

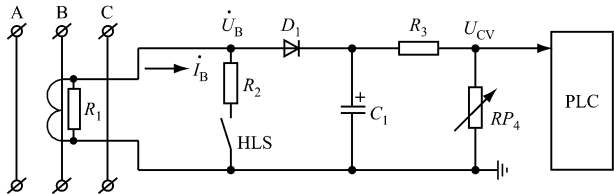


图 4 过载保护原理图

2. 3. 2 过载保护实验数据分析

利用单相升流器模拟电网电流, 以测试过载保护电路的工作特性, 其输入、输出波形如图 5 所示。

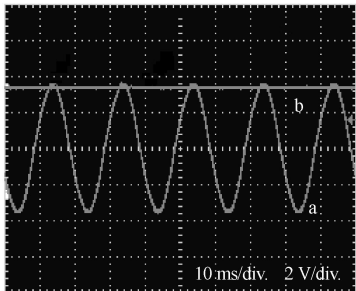


图 5 过载保护输入、输出波形

图 5 中, 曲线 a 为过载保护电路输入点  $U_B$  波形, 曲线 b 为电流幅值信号  $U_{CV}$  波形。过载保护实验数据如表 2 所示。

表 2 过载保护实验数据表

电流 $I/A$	幅值信号 $U_{CV}/V$	电流 $I/A$	幅值信号 $U_{CV}/V$
100	0. 48	600	3. 33
120	0. 59	720	4. 02
141	0. 70	800	4. 49
162	0. 82	1 000	5. 62
180	0. 92	1 200	6. 69
200	1. 02	1 400	7. 78

由表 2 可以看出, 电流幅值信号  $U_{CV}$  与  $I$  呈线性关系。由此说明,  $U_{CV}$  能够反映原边电流幅值, PLC 实时检测  $U_{CV}$ , 并作出相应处理, 便可以实现过载保护。

3 系统软件设计

系统软件的设计主要为 PLC 程序的设计。PLC 接收到各种电流模拟量信号后, 可以自动识别故障类型, 根据保护要求进行判断处理, 程序流程如图 6 所示。

4 结语

本文设计的基于 PLC 的智能化电流保护系统实现了基于相敏检测的对称电流故障保护方法, 能

文章编号: 1671- 251X( 2009) 05- 0074- 04

# 基于 Matlab /xPCTarget 的实时数据采集系统设计\*

吉 智<sup>1,2</sup>, 何凤有<sup>1</sup>, 窦春雨<sup>3</sup>

( 1. 中国矿业大学信电学院, 江苏 徐州 221008;

2. 徐州工业职业技术学院, 3. 中国人民解放军工程兵指挥学院, 江苏 徐州 221000)

**摘要:** 针对基于 PC 机的数据采集系统存在的问题, 文章提出了一种基于 Matlab/xPCTarget 的数据采集系统的设计方案, 介绍了系统的结构组成及系统构建过程中网卡参数的配置和 Target PC 通信参数的设定。该系统采用通用数据采集设备和普通个人计算机构建了双机模式, 成本相对较低, 易于软硬件升级; 采用图形化编程方式, 软件编译后可直接下载到硬件执行, 避免了复杂的手工编程; 还能够直接将数据采集到 Matlab 中进行处理, 实现数据采集和处理全部过程, 避免了繁琐的跨平台数据调用。实际应用证明了该系统的可行性。

收稿日期: 2008- 12- 15

\* 基金项目: 徐州工业职业技术学院自然科学基金重点项目基金资助(XGY0624)

作者简介: 吉 智( 1974- ), 男, 江苏海安人, 硕士, 2004 年毕业于河海大学, 现为中国矿业大学信电学院在读博士研究生, 徐州工业职业技术学院讲师, 主要从事电力电子与智能控制方面的研究与教学工作, 已发表文章十余篇。E-mail: 82776228@sohu.com.cn

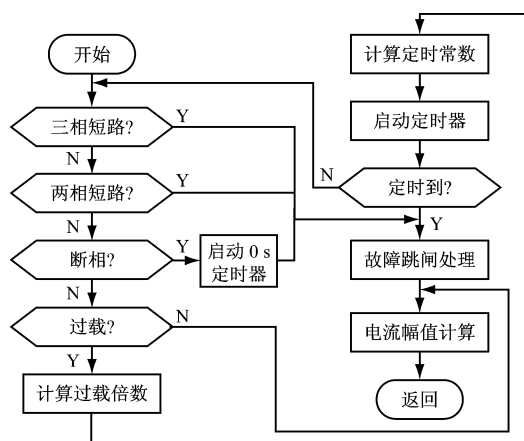


图 6 PLC 程序流程图

够保证电网三相短路故障时保护速动, 电动机启动时, 保护不误动; 实现了基于负序检测的不对称电流故障保护方法, 能够准确区分出两相短路故障与断相故障; 实现了基于幅值检测的过载保护方法。系统通过 PLC 实时检测输入信号, 能够识别电网是否存在故障、故障类型及参数, 根据判断结果自动执行相应操作。该系统已应用于 KXJZ1- 700/3. 3- 6 矿用隔爆兼本质安全型组合式负荷控制中心中, 运行可靠, 实现了矿井电网的智能化电流保护, 具有重

要的应用价值。

参考文献:

- [1] 宋建成, 石宗义, 谢恒堃, 等. 矿井电网过电流特征分析及其保护系统的研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(1): 81~ 86.
- [2] 冯建勤, 宋寅卯. 基于电流采样值的相敏过电流保护[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(3): 77~ 80.
- [3] 牟龙华. 电动机相敏保护的原理与实现[J]. 电工技术杂志, 1996(3): 24~ 25.
- [4] 宋建成, 谢恒堃, 王雁欣, 等. 基于功率因数检测的矿井低压电网相敏保护的研究[J]. 电网技术, 1999, 23(2): 38~ 41.
- [5] 王 宾, 祝龙记. 基于单片机的矿用电动机相敏保护的实现[J]. 工矿自动化, 2006(1): 27~ 29.
- [6] 高俊岭, 王清灵, 朱咏梅. 矿用低压馈电开关中相敏短路保护的研究[J]. 工矿自动化, 2006(6): 54~ 56.
- [7] 梁锁锋. 基于 Intel 80C196KB 控制的矿用移动变电站低压真空馈电开关测控系统的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2004.
- [8] IVANOV V V. Some Problems of Asynchronous Electric Motor Protection from Overloads [J]. Elektrotehnika, 2001(1): 69~ 71.