

智能低压集中选择性漏电保护测控装置研究

(和利时集团)

摘要: 在分析国内漏电保护装置现存问题的基础上,提出了一种基于群体比幅比相和零序电流幅值法原理综合利用,可以智能实现漏电保护的横向、纵向选择性的矿井低压电网集中选择性漏电保护系统。该系统以32位DSP处理器为核心,重点讨论该系统的工作原理、硬件结构、软件设计。经现场运行实现了漏电保护的快速性、选择性和准确性。

关键词: 群体比幅比相; 零序电流; 漏电保护; 集中选择性; 低压电网

1 概述

煤矿井下空间狭窄、潮湿、依赖强迫通风、空气中含有瓦斯与煤尘等爆炸性混合物,环境条件和生产条件十分恶劣。供电使用的电缆悬挂敷设,电缆线路经常发生单相漏电或单相接地故障,会引起井下电气火灾、瓦斯煤尘爆炸、电雷管提前引爆以及人身触电等重大事故。为确保人身安全,减少因漏电引起的瓦斯、煤尘爆炸的危险性,《煤矿安全规程》规定,在煤矿井下低压电网中必须装设漏电或选择性漏电保护装置。

目前我国煤矿井下低压选择性漏电保护系统多由两级漏电保护装置组成,各分支线路的横向选择性漏电保护装置大多采用零序电流保护或零序功率方向型保护原理,上一级漏电保护装置多采用零序电压保护原理或附加直流电源的保护原理,上、下级漏电保护装置之间的纵向选择性主要靠延时时间差的原则来解决。实践中,此保护系统存在下列不足:首先由于上级选择性漏电保护装置动作存在延时,使靠近供电电源的选择性漏电保护装置的动作时间较长,在该保护范围内人身触电的危险性就较大;其次由于各厂家在选择性漏电保护实现上存在保护原理及判据不统一,容易导致因配合不当造成拒动、误动和越级跳闸现象;另外馈电开关本身实现的选择性漏电保护除各自保护原理存在的缺陷外,电缆长度、分支多少、零序互感器等诸多因素限制了定值的合理整定。为了解决以上矛盾和问题,北京和利时自动化驱动技术有限公司综合利用基于零序电流群体比幅比相的矿井低压电网选择性漏电保护新方案和零序电流幅值法原理的基础上研究开发了一种SmartNet KYLD-A智能低压集中选择性漏电保护测控装置(以下简称KYLD-A)。

2 适用范围

KYLD-A是专门为煤矿环境设计的集母线单相漏电、馈出线各支路单相漏电、三相对称分散性漏电监选及数据通信功能于一体的矿用综合保护装置。KYLD-A采用了先进的32位数字信号处理(DSP)技术,吸收并借鉴了地面电站综合自动化装置成熟的软硬件技术,是实现煤矿井下电力自动化监控最理想的终端设备。

KYLD-A主要用于380V、660V、1140V中性点不接地的煤矿低压电网,适用于煤矿井下及选煤厂等有零序电抗器补偿的低压电网场所。KYLD-A能完成故障的定性和故障定位,在发生电网单相漏电时,能快速计算、分析、选择出故障支路并迅速跳开故障支路,最大限度地保证设备和

人员的安全。KYLD-A避免了矿用隔爆型真空馈电开关在发生漏电时的各兄弟支路的无序判别，有力地保障了供电系统的安全和稳定运行。

3 装置特点

先进的硬件平台：采用32位150MHz主频的数字信号处理器（DSP）和复杂可编程逻辑器件（CPLD）芯片，具有强大的数据处理能力，使KYLD-A具有高速度、高集成度和高系统性能；

优异的软件平台：采用模块化设计理念，可根据现场需求增减功能模块，配置灵活，满足用户的不同需求；

高采样精度：采用高速采样、平滑滤波采样的方式，每周波24点的采样密度以及频率跟踪技术，使KYLD-A的采样精度高、测量数据准确和保护功能可靠；

优异的抗干扰性能：硬件设计充分考虑保护装置的抗干扰能力，所有接口均经过隔离，可广泛应用于各种运行工况恶劣的场合；

选线准确：KYLD-A实时采集系统故障信号，应用多种选线方法进行综合选线。各种选线方法将有效范围技术及连续选线技术有机地集成为充分判据，并与多种数据处理算法和各种选线方法融为一体。根据各种复杂的接地故障类型和测量信号，从微弱的信号中准确提取出有用信息，使得每种方法都针对各自信号的具体特点，不同方法之间增加互补性，大大的提高了综合选线的准确性。

友好的人机界面：采用 240×128 点阵的图形液晶显示器，配合菜单式人机交互界面，操作直观简便。运行时实时显示各支路开关的状态图、显示当前时间、绝缘电阻、故障信息等，图文并茂，显示内容极为丰富；

良好的“记忆”功能：KYLD-A不但能记忆保存每次调整的各项保护功能参数，而且还能记忆故障信息，可记录最多100次的详细故障（包括故障时间、故障类型、故障参数等），可以通过菜单调出来显示。方便维护；

智能的网络功能：RS-485数据通信接口与监控系统连接，通过后台也能进行定值调整、保护试验、信息查询等功能。标准的MODBUS-RTU通讯协议，方便接入不同厂家的后台系统。能远程进行程序的下载及更新，不需要打开KYLD-A，方便维护和产品管理升级；

实用的辅助功能：通过实时显示绝缘电阻值，方便用户了解电缆绝缘下降程度，及时发现并排除漏电隐患，保证人员的安全；具有远程分合闸功能，高级用户可通过网络进行配电装置的分合闸以及网络故障试验，通过网络实现对开关的控制；

4 保护方案的工作原理

1) 分支线路数量大于2条时，利用基于零序电流群体比幅比相保护原理；

此种方法为多重判据，多重判据即为用二种及以上原理为判据，增加可靠性和抗干扰能力，减少受系统运行方式、长短线、接地电阻的影响。采用幅值法与相位法相结合，先用“最大值”原理从线路中选出三条及以上的零序电流 I_0 最大的线路，然后用“功率方向原理从选出的线路中查找零序电流 I_0 滞后零序电压 U_0 的线路，从而选出故障线路。

该方案称为3C方案，因排队后去掉了幅值小的电流，在一定程度上避免了时钟效应，另外排队也避免了设定值，具有设定值随动的“水涨船高”的优点。它既可以避免单一判据带来的局限性，也可以相对缩短选线的时间，是较理想的方式。

- a) 分开关保护方案：先判断该支路互感器电流幅值是否处于所有互感器电流幅值最大的前3个之列；若是，再判断该支路互感器电流与幅值最大的前3个中另2个互感器电流之间实部之积与虚部之积的和是否均小于零；若是，则可以判断单相漏电必定发生在该支路上，该支路分开关进行漏电保护动作。
- b) 总开关保护方案：首先选取所有互感器电流幅值最大的前3个，其次判断这3个电流之中任意2个电流之间实部之积与虚部之积的和。
①若其中一个支路互感器电流与另外2个电流之间实部之积与虚部之积的和均小于零，则可以判断单相漏电必定发生在该条支路上，该支路分开关进行漏电保护动作。
②若任意2个电流之间实部之积与虚部之积的和均大于零，则可以判断单相漏电必定发生在干线上，总开关进行漏电保护动作。

2) 分支线路数量为2条时，利用零序电流幅值法保护原理。

这是利用故障线路零序电流比非故障线路零序电流大的特点来选择故障线路的方法。

采集并比较接地母线上所有出线零序电流，幅值最大的选为故障线路，不需设定门槛值，因此，有较高的可靠性和检测灵敏度。

5 保护系统基本组成

KYLD-A分为两个部分（见图1）：集中选择性漏电保护测控装置本体（下位机）和液晶显示器（人机交互系统），两者通过一根4芯的电缆连接。由于整个漏电保护系统要监控的支路较多，系统的数据处理量较大。为了提高数据处理能力，缩短保护的動作时间，选用32位DSP（数字信号处理器）作为整个系统的的核心。

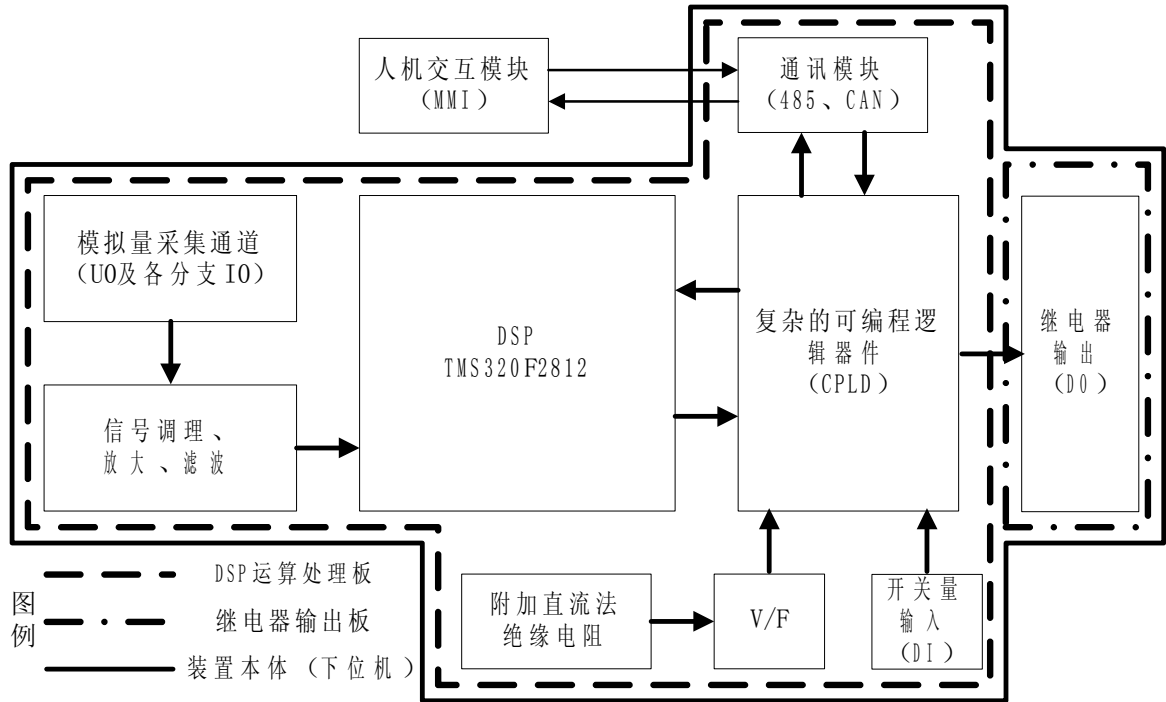


图1: KYLD-A原理图

(1) 下位机系统。下位机系统主要由DSP运算处理板和继电器输出板组成。DSP运算处理板前端信号调理放大部分负责将采集的模拟信号（零序电流互感器和零序电压滤序器输出的电流信号和电压信号）调理放大为适于DSP处理的模拟电压信号。DSP运算处理板信号运算处理部分是整个系统的核心，是以TMS320F2812 DSP芯片为核心的智能化处理单元，主要负责对调理放大部分传来的模拟电压信号进行A/D转换，对转换后的数字信号进行运算处理，对当前状态进行判断等操作，以控制继电器板，并通过RS485接口将数据传送给显示面板，实现人机对话，方便查找和排除故障。由于支路数比较多，DI、DO数量丰富，CPLD的设计引入具有编程灵活、集成度高、设计开发周期短、适用范围宽、开发工具先进、设计制造成本低的特点。绝缘电阻计算采用V/F电路，主芯片选用CMOS型低功耗单通道单终端同步电压频率转换芯片AD7740，它是一种低成本的超小型同步电压频率转换芯片（VFC），该芯片的工作电压范围是3.0~3.6或者4.75~5.25V；工作电流为0.9mA。工作范围宽，对外部元件要求小，输出频率准确，无须调整或校准。板上有2个异步串行通信RS232 / 485口，1个用于和MMI通信，1个用于和后台通信。下位机系统结构继电器输出含12个继电器，控制总开关及其支路接触器和断路器的吸合。

(2) 人机交互系统。人机交互系统由CPU、一块液晶显示屏、按键、指示灯及RS-485通讯模块组成。

CPU 选用FLASH 60K、 RAM 32K的抗干扰性能强的1个时钟/机器周期的8051单片机STC11F60XE。

液晶选用240*128 不带字库的点阵液晶，可显示16*16点阵汉字为8行15列。

操作按键配置6键，分别为上、下、左、右、确认和返回键。

4个指示灯，分别为运行（绿）、通讯（黄）、动作（红）告警（红）。

运行：绿色，闪烁 正常，其它非正常。

通讯：黄色，闪烁 有通讯，其它无通讯。

动作：保护元件动作时亮，故障确认或恢复后灭。

告警：产生告警信号时亮，告警消失时灭。

6 下位机软件的设计与实现

下位机软件的设计主要就是DSP编程，主程序流程如图2，主要分为初始化程序、中断程序两大部分。初始化程序是设定DSP芯片工作状态的重要步骤，只有正确进行DSP芯片的初始化，才能保证芯片的正确运行。中断程序分为AD采样中断程序、定时器中断程序（流程如图3）、串口1收发中断程序和串口2收发中断程序。其中定时器中断程序包含数据计算及保护判别程序，当发生故障时，触发继电器动作。在编程上采用汇编语言与C语言相结合的混合编程的方法，最大限度地利用DSP芯片的运算源。

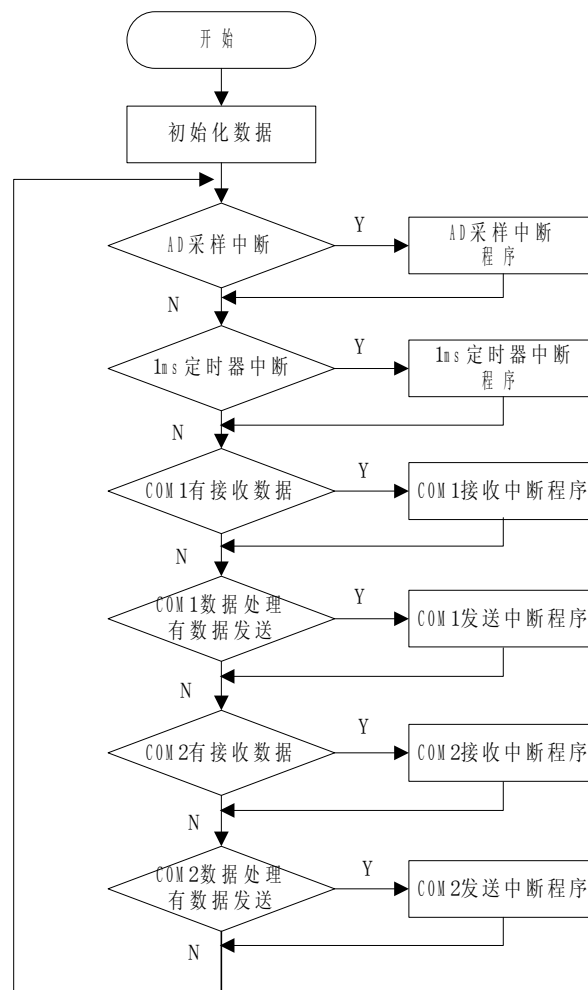


图2：主程序流程

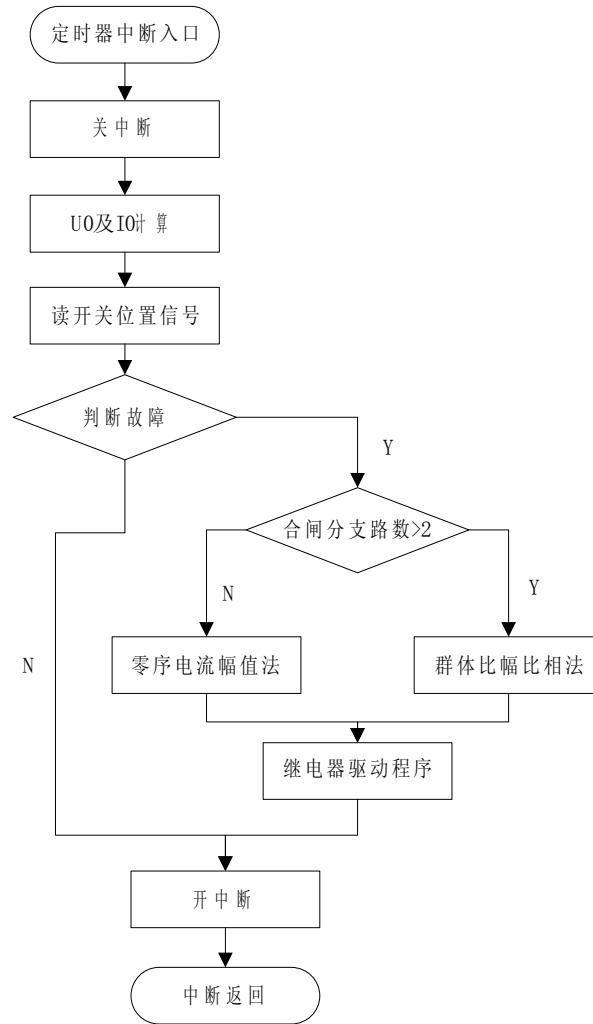


图3: 定时器中断流程

7 抗干扰措施

随着现代电子设备广泛应用于煤矿生产的多个领域，电子设备在煤矿井下必然导致在其周围产生的电磁场电平不断增加，造成井下电磁干扰问题，如果电磁干扰问题解决不好就会造成系统间互相干扰，影响设备正常工作，对煤矿的安全生产也构成极大威胁。干扰源分为大功率设备、电力线路、电力电子系统、牵引网络和电机车、静电放电、高频无线发射装置等。针对上述干扰源，本系统采用了相应的抗干扰措施：主要从电源系统抗干扰、空间电磁波辐射抗干扰和过程通道抗干扰三个方面来考虑。电源系统抗干扰采用由隔离变压器、低通滤波器、分散独立功能模块供电组成的系统保护措施；在电源和信号输入回路中，设计了低通滤波器以消除周期性干扰；空间电磁辐射抗干扰主要是地线设计和系统屏蔽设计，模拟地与数字地分开等措施以消除电磁干扰；过程通道抗干扰采用了光电耦合隔离措施。

在软件设计中，采用了双循环去极值数字滤波技术以消除系统中的随机干扰。此外，还设计了软硬件相结合的“看门狗”电路，以提高系统工作的可靠性。

8 结语

SmartNet KYLD-A智能低压集中选择性漏电保护测控装置，在某开关厂已通过1个总开关和6

路分开关带载和不带载、延长线缆、增减电容等选线试验，成功选线 100%，而且能连续选线，受到用户好评。先进性的保护算法，智能型的判别，集中选择的理念，很好地实现了电网横向选择性漏电保护和纵向漏电保护。针对各种干扰源，采用了一系列抗干扰措施，显著提高了系统工作的可靠性。该系统以 DSP 为中央处理单元，不仅增强了保护的灵活性和快速性，而且建立了良好的人机交互界面，提高了维护人员判断故障和排除故障的效率。现场试运行的良好效果证明，该系统不仅可靠、快速实现了选择性漏电保护，而且填补了煤矿井下变压器中性点不接地供电系统选择性漏电保护的技术空白，解决了煤矿井下作业的人身触电安全问题，具有广阔的推广应用前景。

参考文献：

- [1] 高彦, 王念彬, 王彦文等. 基于零序功率方向选择性漏电保护系统的研究[J]. 煤炭科学技术, 2005(11) :43 - 45.
- [2] 王彦文, 刘文军, 高彦, 王念彬, 邱远军等. 基于零序电流群体比幅比相的选择性漏电保护新方案[J]. 煤炭学报, 2010(3) :515 - 519.
- [3] 傅桂兴, 付英, 张文生, 韩传亮, 李领等. 矿井低压电网单相漏电选择性保护方法与装置的研究 [J]. 电力设备, 2007, 11(8) :18 - 21.
- [4] 龙飞, 王彦文, 刘国锋, 高彦, 闫宇鹏等. 井下中央变电所低压电网选择性漏电保护系统研究[J]. 煤矿机电, 2008(3) :19 - 21.
- [5] 郭凤仪, 孙士宏, 李春光, 张国军等. 基于零序有功功率方向原理的选择性漏电保护装置研究[J]. 第18届全国煤矿自动化与信息化学术会议论文集:211 - 216.
- [6] 牟龙华, 孟庆海, 胡天禄等. 基于故障分量有功功率的选择性漏电保护[J]. 中国矿业大学学报, 2002(7) :380 - 383.