

基于 80296和 CPLD的补偿电网微机选线装置的设计

马星河, 陈奎, 唐轶, 刘长江

(中国矿业大学信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 分析了补偿电网单相接地故障时故障线路与非故障线路零序电流的分布特性, 将补偿电流融入到选线的计算和判断中, 提出了一种新的接地选线方法——电流融合法, 该方法具有计算简单、保护裕度大选线准确快速的特点, 并在此基础上设计了以 NTEL80296和 CPLD为主控单元的微机选线装置, 该装置对装设了预调式消弧线圈的补偿电网的选线具有很高的准确性。

关键词: 电流融合法; 接地选线; CPLD

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)13-0017-04

0 引言

中性点经消弧线圈接地或经消弧线圈并电阻接地电网(也称为补偿电网)发生单相接地故障时, 由于消弧线圈自身补偿电流的加入, 使故障馈出线的零序测量电流的相位和幅值均发生变化, 使得难以从各馈出线的零序测量电流的方向和幅值来判断故障馈出线。

目前, 用于补偿电网的小电流接地故障选线主要有零序有功电流方向法和暂态分析法。前者只适用于消弧线圈并(串)电阻接地方式。在预调式消弧线圈中, 一般装有阻尼电阻, 但为了减小故障点电流, 接地故障发生后很短时间(一般在 2 s以内)就要切除^[1]。阻尼电阻切除后, 该选线方法就失效。所有基于故障暂态分析的小电流接地选线方法从理论上说均能适用补偿电网。这些方法均是对单相接地故障时的突变量, 利用先进的数学工具(如小波分析)进行精细分析来判断的^[2-6]。但实验和实际运行经验均告知我们: 发生单相高阻接地故障时, 其暂态分量很小, 且时间很短, 这些方法就难以准确判断。因此本文研制出以 NTEL80296和 CPLD为核心的微机选线装置。该装置采用了一种新的、有效的、针对预调式消弧线圈投入(与选线装置配合使用的为中国矿业大学研制 XBSG系列自动跟踪补偿预调式消弧线圈)的补偿电网小电流接地选线的算法——电流融合法^[7]。

1 补偿电网单相接地选线基本理论及电流融合算法提出

基金项目: 2005 中国矿业大学青年科研基金资助项目 (2005A010)

补偿电网发生单相接地故障(假设故障发生在第 k 条馈出线)时^[7, 8], 可以用图 1 零序网络来表示。

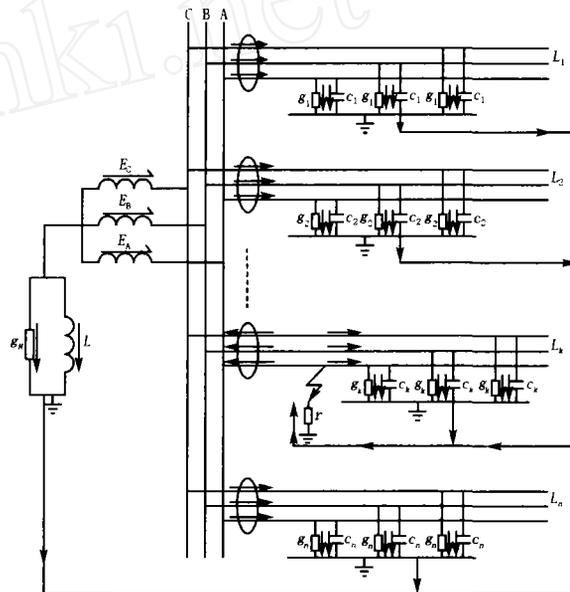


图 1 补偿电网发生单相接地故障时零序网络图

Fig 1 Zero sequence network diagram when the single-phase earthed fault is taken place in compensated power system

图 1 中 g_i 为电网馈出线每相对地有功损耗等值电导值, c_i 为电网馈出线的每相对地电容 (i 表示电网中的某馈电线路)。当不考虑电网的不对称时有 $c_{Ai} = c_{Bi} = c_{Ci} = c_i$, $g_{Ai} = g_{Bi} = g_{Ci} = g_i$, r 为故障点过渡电阻, g_N 为消弧线圈的有功损耗等值电导与并(串)电阻的和, L 为消弧线圈的补偿电感(本文的分析在预调式消弧线圈基础上, 当电网发生接地故障后, 消弧线圈的补偿电感投入后, 其电感值 L 不再变化)。假设第 k 条线路的 A 相发生单相接地故障, 则可得电网零序电压为:

$$U_0 = - \frac{E_A}{\sqrt{1 + \frac{r(3g_N + g_k)}{g_N \cdot g_k} J^2 + (3 c_k v g_k)^2}} e^j$$

$$= \arctan - \frac{3 c_k v r}{1 + \frac{r(3g_N + g_k)}{g_N \cdot g_k}} \quad (1)$$

式中: E_A 为 A 相电源电势; v 为消弧线圈补偿脱谐度, $v = \frac{I_c - I}{I_c} = 1 - \frac{1}{3^2 L C_k}$, 当欠补偿时 $v > 0$, 全补偿时 $v = 0$, 过补偿时 $v < 0$ 。

由图 1 可知, 非故障线路零序电流为:

$$I_{0i} = U_0 (g_i + j c_i) \quad (2)$$

故障线路的零序电流为:

$$I_{0k} = - U_0 \left(\sum_{i=1, i \neq k}^n g_i + g_N + \sum_{i=1, i \neq k}^n j c_i - j \frac{1}{L} \right) \quad (3)$$

式中: k 表示第 k 条线路发生接地故障, n 为总馈电线路数。当 $g_N = 0, \frac{1}{L} = 0$ 时, 故障线路零序电流即为中性点不接地方式时故障线路零序电流 I_{0k0} , 其相量分布如图 2 所示。

消弧线圈的补偿电流为:

$$I_{0N} = U_0 (g_N - j \frac{1}{L}) \quad (4)$$

将各线路的零序测量电流与消弧线圈电感的补偿电流求向量和, 得各线路的融合电流:

(1) 第 i 路非故障线路的融合电流

$$I_{0ij} = I_{0i} + I_{0N} = U_0 [g_i + g_N + j (c_i - \frac{1}{L})] \quad (5)$$

式中: 下标 $j=1, 2, 3$ (分别表示欠补偿、全补偿、过补偿)

(2) 故障线路的融合电流

$$I_{0k} = I_{0k} + I_{0N} = - U_0 \left(\sum_{i=1, i \neq k}^n g_i + j \sum_{i=1, i \neq k}^n c_i \right) = I_{0k0} \quad (6)$$

由式 (6) 可见, I_{0k} 实际上就是中性点不接地电网的故障线路的零序测量电流 I_{0k0} , 恒有 I_{0k0} 在第一象限 (见图 2 的相量 I_{0k0})。由图 2 可知, 当补偿电网发生单相接地故障时采用电流融合算法时, 非故障与故障量分别在第一象限和第三象限, 这样拉大了故障与非故障量, 更有利于微机选线。

2 选线装置总体方案

装置中的主控单元采用高性能 NTEL 80296 作

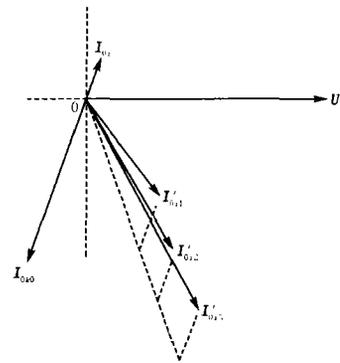


图 2 零序测量电流与补偿电流的融合电流相量图
Fig 2 Diagram of the vector sum of zero sequence measurement current and compensation current

为微控制器, 并采用 ALTERA 公司的 CPLD 作为逻辑控制单元, 大大减少了分离元件数量以及 PCB 板的面积, 使得该装置具有更高的可靠性。该选线装置具有故障录波功能, 一路最大能录 512 k 字的数据。另外为了方便地实现人机交互, 外挂液晶显示器进行实时显示。主要的工作流程为: 80296 发出采样命令, 这时模拟输入信号经过滤波、多路转换及模数转换 (A/D) 后, 变成数字信号由 80296 进行运算处理, 同时 80296 还将得到计算结果显示在液晶显示器上。装置原理框图如图 3 所示。

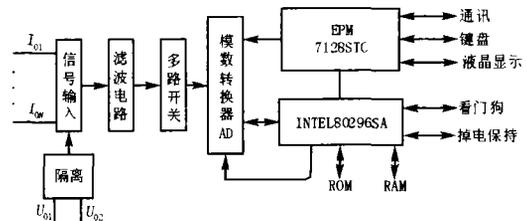


图 3 装置原理框图

Fig 3 Block diagram of device

3 硬件电路设计

3.1 数据采集电路

信号的采集和转换是由 MAX125 完成的。该装置需要采样的模拟信号包括每条馈出线路的零序电流和零序电压信号。其中零序电压 U_{01}, U_{02} 的信号来自各段母线的电压互感器的开口三角。为防止本装置故障时, 影响到其它设备而采用了隔离变换器。MAX125 是 2 × 4 通道、高速的 14 位数据采集芯片, 可通过编程输入分为 A、B 两组对八个通道进行采集。每个通道的信号转换需要 3 μs, 当输入只有 1 个通道时转换速率可达 250 ksp/s, 4 个通道全部使用时为 76 ksp/s (ksp/s 为每秒千次采样, 该数据来自美

信公司用户数据手册^[10])。转换所得的数字量都存储在 RAM 中,通过双向的数据总线读出。MAX125 的启动和转换结束由 CPLD 逻辑控制,这样减少了 80296 的 I/O 口的占用。

3.2 选线装置主电路

选线装置主电路完成数值的处理、保护逻辑判断、开关量输入与输出及液晶显示控制和上位 PC 机录波数据通信等任务,是整个微机选线装置的核心。

主电路主要由 NTEL80296 和 ALTERA 的 CPLD (EPM7128STC)两芯片组成, NTEL 将 X86 技术应用于 16 位微处理器,开发了新一代单片机 80296^[3]。它的四级指令流水线结构大大提高了指令的运行效率。它的时钟频率可以高达 50 MHz。80296 还包括一个锁相环电路 (PLL),因此,外部时钟能以低时钟频率来驱动器件。该器件在许多方面有重大改进,因而使它在性能上更加适合于测控系统的应用。由于 80296 只有内部 2kRAM,所以需要扩展 ROM 和 RAM,考虑本装置要具备录波功能,所以在 RAM 选择上采用两片三星存储器 K6X4008 来组成 512 k 字的内存,一路最大录波时间可达 20 s。

由于 80296 所需外扩比较多,开入和开出量也较多,因此,在选线装置中采用了 ALTERA 公司的 CPLD (EPM7128STC)来控制逻辑选择、开入开出量及液晶显示,采用 CPLD 不仅使开发时间大大缩短,而且由于可编程控制逻辑,使用起来也比分离元件更方便。

3.3 开入、开出及人机接口和通信电路

为了提高保护装置的抗干扰能力,开入量经过光电隔离后,直接接到 CPLD 芯片的口线上;而开出量则是先由 80296 芯片的 I/O 口产生,经 CPLD 芯片扩展后,通过光电隔离开出给继电器。人机接口电路主要是指键盘输入、液晶显示电路,这一部分电路的主要作用是通过键盘和液晶显示器完成人机对话任务。键盘输入电路是由键盘和 CPLD 组成,液晶显示模块采用 T6963C 液晶显示控制器。通信电路包括上位机与装置 80296 之间的 RS485 串口通信电路组成。RS485 总线通信方式的接口控制芯片采用常用的接收发送器芯片 MAX485。

4 软件设计

装置软件主程序流程如图 4 所示:

装置软件采用模块化结构设计,便于扩充和修改。主要包括:采样转换子程序、通信子程序、数据

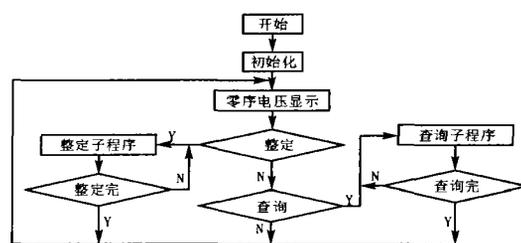


图 4 主程序流程图

Fig 4 Flow chart of main program

计算子程序、显示子程序、报警子程序、整定子程序、故障信息存储子程序、故障信息查询子程序等组成。

采样子程序和通讯子程序采用中断方式,其中采样和故障计算子程序流程图如图 5 和图 6 所示。

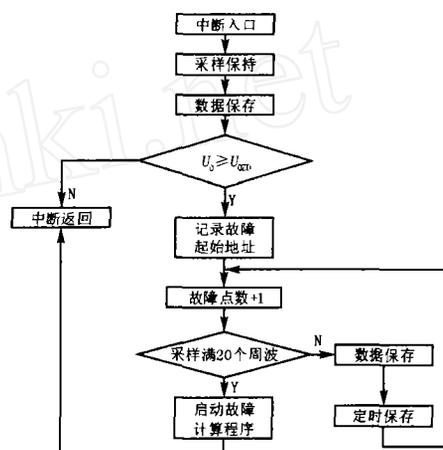


图 5 采样子程序流程图

Fig 5 Flow chart of sampling subprogram

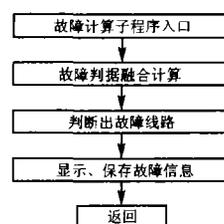


图 6 故障计算子程序流程图

Fig 6 Flow chart of fault-computation subprogram

故障信息存储子程序可保存每次故障时的零序电压值、故障线路、故障起始时刻、故障结束时刻、单相接地故障总数、该次故障为第几次故障。故障信息查询子程序可对上述信息进行查询。电网正常运行时,装置以 12 000 Hz 的采样频率对每路零序电流和零序电压信号进行中断采样,并计算显示零序电压的值,当零序电压大于整定电压时,记录该时刻前的 1 个周波采样信号,并连续进行 20 周波信号的采样。利用故障前和故障后采样值计算各线路故障

判据并进行选线。选出故障线路后进行报警、显示、跳闸故障线路、并可录波数据和选线结果上传至上位机。如果此时故障仍然存在则重新进行采样和故障选线,否则返回到正常巡检状态。

5 结语

该选线装置现已在新汶矿务局泉沟矿挂网运行。经现场试验和运行情况证明:采用电流融合算法的微机选线装置选线准确性高,对单相高阻接地故障具有极高的灵敏度。

参考文献:

- [1] TANG Yi A Complete Set of Automatic Compensation Equipment of a Capacitive Charging Current in Application of a Medium-voltage Power System [J]. Electric Power System Research, 1997, 41: 35-41.
- [2] Huang S J, Hsieh C T. High Impedance Fault Detection Utilizing a Morlet Wavelet Transform Approach [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14 (4): 1401-1410.
- [3] Chaari O, Bostard P, Meunier M. Prony's Method: an Efficient Tool for the Analysis of Earth Fault Currents in Peterson-coil-protected [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10 (3): 1234-1241.
- [4] 薛永端,徐丙垠,冯祖仁,等.小电流接地故障暂态方向保护原理研究[J].中国电机工程学报,2003,23(7): 51-56
XUE Yong-duan, XU Bing-yin, FENG Zu-ren, et al The Principle of Directional Earth Fault Protection Using Zero Sequence Transients in Non-solid Earthed Network [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (7): 51-56
- [5] 贾清泉,等.应用小波检测故障变换特性实现配电网小电流故障选线保护[J].中国电机工程学报,2001,21(10): 78-82
JIA Qing-quan, et al Abrupt Change Detection with Wavelet for Small Current Fault Relaying[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21 (10): 78-82
- [6] 毛鹏,等.小波在配电网单相接地故障选线中的应用[J].电网技术,2000,24(6): 9-13
MAO Peng, et al Wavelet Packet Based Detection of Phase-to-ground Fault in Distribution Automation System [J]. Power System Technology, 2000, 24 (6): 9-13
- [7] 陈奎.单相接地故障综合判据选线研究(博士学位论文)[D].徐州:中国矿业大学,2005.
CHEN Kui Study on Single-phase-to-ground Fault Protection Using Compositive Criterion, Doctoral Dissertation [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2005.
- [8] 唐轶,陈奎,等.导纳互差绝对值和的极大值法小电流接地选线研究[J].中国电机工程学报,2005,25(6): 49-54
TANG Yi, CHEN Kui, et al Study on Earthed Fault Location Method in Indirectly Grounding Power System Using Maximum Value of Absolute Value Summation of Measurement Admittance Mutual Difference [J]. Proceedings of CSEE, 2005, 25 (6): 49-54.
- [9] 刘复华. MCS296单片机及其应用系统设计[M].北京:清华大学出版社,2004.
L I U Fu-hua The Principle and Design of Microcomputer MCS296[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [10] MAX125 \MAX126 User Manual[Z]. MAXM Corporation, 1998.

收稿日期: 2005-12-16; 修回日期: 2006-02-17

作者简介:

马星河(1979-),男,博士生,研究方向为电力系统微机保护及装置; E-mail: maxinghe888@tom.com

陈奎(1973-),男,博士,研究方向为电力系统自动化和继电保护;

唐轶(1957-),男,博士生导师,从事电力系统自动化和电能质量控制领域的教学、研究工作。

Design of microcomputer-based fault line selection device for compensated distribution networks based on 80296 and complex programmable logic device

MA Xing-he, CHEN Kui, TANG Yi, L I U Chang-jiang
(China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: This paper analyzes the distribution characteristic of zero-sequence current of the faulty line and the healthy line in the compensation network when a single phase ground fault occurred. It fuses the compensated current into the computation and judgement of fault feeder detection and presents a new arithmetic of detecting fault feeders—the fused current method. This method has the advantages of simpleness computation and high protective margin and accuracy. Base on fused current method, the microcomputer fault line selection device is designed, which takes NTEL80296 microprocessor and CPLD as main control units. This device has a high accuracy of earthed fault feeder detection in the compensation network with pre-adjusting arc suppression coil grounding setted.

Key words: fused current method; earthed fault feeder detection; complex programmable logic device