

文章编号:1001-1609(2004)02-0129-03

# 基于单片机控制的直流断路器操动机构

杜广波<sup>1</sup>, 董恩源<sup>1</sup>, 邹积岩<sup>1</sup>, 袁铎宁<sup>2</sup>, 卜连繁<sup>3</sup>

(1. 大连理工大学, 辽宁 大连 116024; 2. 中船712研究所, 湖北 武汉 430000;

3. 大连固特异轮胎有限公司, 辽宁 大连 116020)

## Application of Electronic Actuator System Based on Microcomputer Unit to DC Breakers

DU Guang-bo, DONG En-yuan, ZOU Ji-yan, YUAN Duo-ning, BU Liang-fan

(1. Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Wuhan No.712 Research Institute, Wuhan 430000, China;

3. Dalian Goodyear Co., Dalian 116020, China)

**摘要:** 阐述了基于单片机控制的直流断路器操动机构和断路器的新颖结构,提出了一种简捷的判断故障电流和实现短路故障快速检测的方法。

**关键词:** 直流断路器; 电子操动机构; 电流转移原理

**中图分类号:** TM561

**文献标识码:** A

**Abstract:** The application of electronic actuator system based on a microcomputer unit to DC breakers and an improved structure of the breaker are explained. A simple method to check the fault current and realize the quick test of short-circuit fault is presented.

**Key words:** DC breaker; electronic actuator; current transferring principle

## 1 引言

随着电子计算机技术及信息技术的飞速发展,电子操动系统在开关电器领域得到迅速发展。电子操动系统依赖电力电子器件保证了执行指令的时间准确度,即机构的响应时间可控,这在直流断路器中控制电流转移回路意义重大<sup>[1]</sup>。典型的开断直流系统短路电流的断路器研究,除了常规的灭弧室外,还包括电子操动系统的应用,故障电流的检测及信号处理单元。笔者将重点讨论基于单片机技术的电子操动直流断路器在船舶直流供电系统电流实时监测及故障开断中的实际应用。

## 2 直流断路器的电流转移原理

根据电弧理论,电弧熄灭所必需的条件之一就是电弧电流必须要过零点。而在直流系统中,回路中流过的是直流电流,不存在自然零点,所以熄灭电弧就变得异常困难。为了解决这一问题,采用了电流转移原理<sup>[2]</sup>,在回路中投入反向电流,人工产生电流零点,为熄弧创造必要条件。电流转移原理见图1。

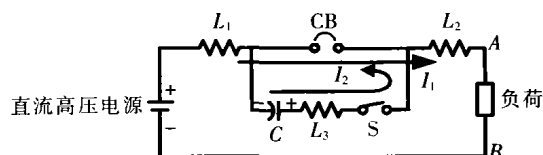


图1 利用电流转移原理开断直流电路的原理图

在正常情况下,断路器CB在关合位置,高压直流电源(一般大于1000V)向负荷供电。图中, $L_1$ 和 $L_2$ 代表断路器两侧电路的电感。假设系统发生故障,A、B间出现短路,电路中电流开始增加,电流增加的快慢取决于 $L_1$ 和 $L_2$ 。当这种情况被检测到时,操动机构驱使断路器触头分断,在其中产生电弧;同时,“开关”S关合,使预充电的电容器C经断路器放电。此时,电流 $I_2$ 的方向恰与 $I_1$ 相反,并迫使 $I_1$ 过零,于是断路器得到熄灭电弧的机会<sup>[2]</sup>。

## 3 结构设计

当直流负载回路发生短路故障时,回路中的电流就会急剧上升,并在极短的时间内达到正常运行时的2~10倍,应在规定的时间内切断电路。为此必须有一个快速检测环节,对直流回路电流进行实时监测,并对回路电流的变化做出快速反应。图2为直流断路器操动机构工作方框图。

直流负载回路由直流供电电源、直流断路器、负载串联组成,见图1。直流断路器一般采用灭弧能力较强的真空断路器。为了监测回路电流,还串联有分流器。

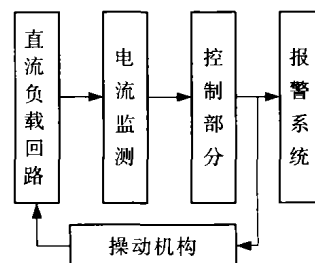


图2 检测系统方框图

### 3.1 监控环节

回路电流监控作为电子操动系统的控制信号,用来实时监测回路电流的变化,及时准确地对电流的变化做出反应。系统信号是通过分流器采集得到的。分流器对电流的变化非常敏感,尤其是对变化率较大的电流。利用分流器的无感电阻特性,可以保证回路电流的幅值和波形不失真<sup>[3]</sup>。经分流器产生的电压信号值一般都很小,且其中含有高频干扰信号,需滤波放大后采样保持,再由 A/D 转换器将模拟信号转换为数字信号送入单片机进行数据处理、判断。当回路中电流值发生异常变化,超出允许的范围,单片机将发出相应命令,切断电路,同时发出报警信号。

监控电路中的隔离放大部分采用了一个高精度线性光电耦合器 HCNR201,见图 3。实际上它起的是一个直流变压器的作用。图中,原边运放采用的是单电源供电的 LM358,副边运放采用精密运放 OP07。在测量高压直流时,利用分流器采得一个未经隔离的低压直流信号,然后经过线性光耦隔离,将其变换成与之成正比的直流电压送入 A/D 转换测量。由线性光耦的传输特性及运放的原理得出输出与输入电压的关系:

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{K_3 \times VR_1}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

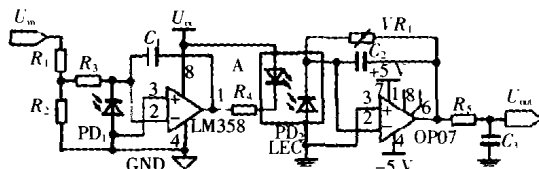


图 3 隔离放大电路原理图

式中:  $K_3$  表示光耦传输电流增益,其值为正向电流增益与伺服电流增益之比  $K_2/K_1$ ; 而正向电流增益  $K_2$  则是光耦输出光电流与输入 LEC 电流之比; 伺服电流增益  $K_1$  则是光耦反馈光二极管电流与输入 LEC 的电流之比。通过调节精密电位器  $VR_1$  的阻值就可以方便地调节线性变换器的增益,从而得到满足测量要求的直流信号<sup>[4]</sup>。

### 3.2 单片机的数据处理

船舶上的直流供电系统要求正常运行时电流上升率  $K_I$  不应大于某一值  $K_{max}$ , 电流值  $I$  不能超过  $I_{max}$ 。当回路发生短路故障时,  $K_I > K_{max}$ , 在极短时间内,  $I$  可能会大于  $I_{max}$ , 这就要求整个装置对回路电流的变化要能够响应及时、判断准确。在单片机运算中,要以回路电流幅值  $I$  或电流上升率  $K_I$  的值是否大于最大值作为判断回路是否有故障发生的依据。用汇编语言编程若采用常规计算电流上升率的方法,浮点数运算可能会耗用大量的运行时间,不能满足系统快速响应的要求。所以,必须另寻它路,使得计算简便快捷、准确。该系统采用了一种比较简便的方法来计算电流的上升率,避免了浮点数运算,大大缩

短了程序运行的时间。

#### (1) 计算公式

由于  $\Delta U = \Delta I \times R_f$ , 其中  $R_f$  为分流器电阻; 而斜率  $K_I = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta I \times R_f}{\Delta t} = K_I' \times R_f$ , 其中  $K_I'$  为电流的实际变化率; 所以有  $K_I = \frac{\Delta U}{\Delta t \times R_f}$ 。

由上式可知,当取定  $\Delta t$  后,只要知道  $\Delta U$ , 即两个时刻的电压差值,就可以知道电流的实际变化率,以此作为判据可判断是否发生短路故障。

#### (2) 数据处理

分流器采得的信号是电压信号,经过滤波放大、采样保持,经 A/D 转换器将模拟信号转换为数字信号后,送给单片机处理。在运算中,处理的是电压信号,回路电流及其上升率的最大值要由采样电压的最大值  $U_{max}$  和具有一定时间间隔的两个电压差值的最大值  $\Delta U_{max}$  来反映。因此,数据处理的判据即为:

$$U_{in} > U_{max}; \Delta U_{in} > \Delta U_{max}$$

当输入满足上述任一判据时,单片机则认为系统有故障发生。主程序流程见图 4。

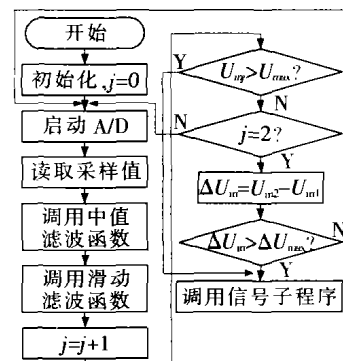


图 4 主程序流程图

### 3.3 抗干扰措施

该机构将工作于电压 1500 V, 大电流 4 kA 的环境中,因而存在很强的电磁场干扰,影响控制系统的正确运行,给控制系统带来误差,甚至会损坏控制系统。因此有必要采取相应的抗干扰措施。

(1) 输入信号采用光电隔离。输入信号由分流器采得经过线性光电耦合器(HCNR201)隔离后,再经过运算放大器(OP07)放大送入模/数转换器。线性光耦的一、二次绝缘电压为 1414 V, 可以将控制系统与强电完全隔离,有效抑制了强电干扰对控制系统的影响,提高了系统运行的安全性。

(2) 信号输出采用光耦开关。真空断路器的开合控制是通过与永磁机构合、分闸线圈相串联的晶闸管(文中没有给出电路图)的控制实现的。命令信号由单片机给出后控制光耦开关驱动电流的通断,从而控制晶闸管的导通与关断。由于控制系统与晶闸管控制的放电回路(3.4 节中有叙述)只有信号联系,没有电气联系,所以保证了放电回路产生的强电流不会对系统造成太大的影响。

(3)信号的前向通道采用低通滤波电路。为了减小射频信号、工频信号以及尖脉冲等干扰信号的影响,在信号的前向通道采用了低通滤波电路,将一定频率的干扰剔除于控制系统之外,提高了系统的可靠性。

(4)硬件设计中考虑了系统在受干扰情况下出现程序“跑飞”或“死机”的情况,电路采用了专门的微处理器监控器(MAX813L),并与软件配合共同监控CPU运行,保证了系统受干扰后的自恢复能力。

(5)在软件方面,采用了复合数字滤波即中值滤波与滑动平均滤波相结合技术,对于重要的指令采用冗余指令;采用软件陷阱技术和干扰处理程序引导程序,使其回归执行位置。

### 3.4 整机结构设计

新型直流断路器系统整体上可分为操动机构和电流转移回路两部分。操动机构采用的是高性能双稳态永磁机构,见图5。机构包括合、分闸线圈、永磁体、动铁心(虚线部分)和壳体<sup>[5]</sup>。合、分闸线圈分别与1个预充电电容(能源部分)和1个晶闸管串联构成放电回路。单片机发出的信号经三极管放大后直接控制晶闸管门极。当单片机判断回路中有异常现象发生时,就会发出分闸信号,晶闸管导通,预充电电容对线圈放电,铁心动作,处于关合位置的断路器被分断。当预充电电容放电完毕时,晶闸管将自然关断。合闸放电回路中的晶闸管可由手动开关控制,合闸过程与分闸时相似<sup>[6]</sup>。

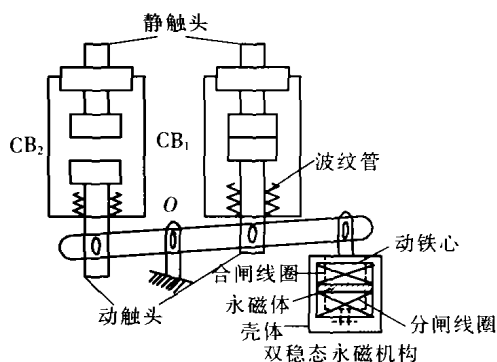


图5 动作执行机构部分元件示意图

电流转移回路部分在传统装置的基础上做了一些改进,采用一种新颖的结构方式。对于图1中的开关S,这里采用真空开关(图5中的CB<sub>2</sub>)代替传统的球隙开关,大大减小了时间的分散性。图5中的CB<sub>1</sub>就是图1中的CB。CB<sub>1</sub>和CB<sub>2</sub>相对于支点O是等距离的;CB<sub>1</sub>、CB<sub>2</sub>和永磁机构距支点O的距离,即臂长可根据具体参数确定。从图5可以看出,此时的CB<sub>1</sub>处于闭合状态,CB<sub>2</sub>处于开断状态。当永磁机构的分闸线圈得电,即单片机发出分闸信号后,铁心向下运动,CB<sub>1</sub>开断,CB<sub>2</sub>关合,这时与CB<sub>2</sub>相串联的预充电电容C(见图1)开始放电,根据电流转移原理可知,CB<sub>1</sub>中的电流(此时为电弧电流)将会出现零点,从而迫使电弧熄灭。

## 4 系统实验

该装置的开断试验是在合成回路实验室完成的。试验中在交流峰值时刻引入反向电流,图6为试验波形图。图中曲线为通过CB<sub>1</sub>的电流,它反映了反向电流引入后电流的变化情况。试验中,在某一时刻设定一个短路信号,经监控系统检测、判断后发出指令,使得反向电流在预定的时刻( $t_0$ )投入,实现了投入时间的准确控制。若反向电流达到预定值,可以迫使电流过零,电弧熄灭,从而可以成功地实现短路电流开断。

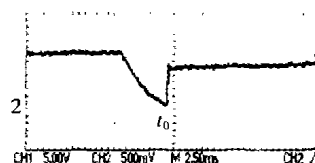


图6 试验波形图

## 5 结论

在直流供电系统应用上述电子操动系统进行的开断试验中,成功地实现了短路电流的分断,取得了满意效果。该系统还可应用于其他直流供电系统的短路保护中,如地铁或直流电解、电炉系统。该系统有如下特点:

(1)采用单片机进行采集和控制,实现了对故障电流的实时监测,达到时间的可控性和最小的时控分散性。

(2)数据处理中,采用了简便算法,避免了单片机浮点数的复杂运算,大大缩减了系统的响应时间,实现了直流短路故障的快速检测。

(3)采用先进的永磁机构,既减小了机械故障发生率,提高了系统运行的可靠性,又明显地缩短了分闸操作时间。同时,采用了新颖的结构,实现了直流电流分断和电流转移操作的同步性。

## 参考文献:

- [1] 邹积岩,王 瑛,董恩源. 电子操动的概念与实践[J]. 高压电器, 2000, 36(5): 29-31.
- [2] 李天和. 大功率开关装置的物理基础与工程应用[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.
- [3] 华中工学院, 上海交通大学. 高电压试验技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [4] 阳 勇, 熊 会. 光电耦合器在电源技术中的应用[J]. 国外电子元件, 2002(5): 68-69.
- [5] 张维明. 关于永磁机构真空断路器的特点及应用[J]. 农村电气化, 2002, 4(1): 33.
- [6] 魏本纪. 双稳态永磁机构与真空断路器的特性配合问题探讨[J]. 高压电器, 2002, 38(4): 27-30.

作者简介:杜广波(1977-),男,吉林省白山市人,硕士研究生,主要从事高压直流断路器智能检测方面的研究。