

# 轨道交通真空断路器电磁机构控制器的设计

车 焕<sup>1</sup> 马少华<sup>1</sup> 饶 攀<sup>2</sup>

(1. 沈阳工业大学, 沈阳 110023; 2. 株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001)

**摘要** 本文介绍了一种基于绝缘栅双极晶体管(IGBT)的轨道交通用真空断路器电磁机构控制器的设计。利用PIC16F873A单片机为主控芯片对硬件电路进行了设计,实现了电磁机构的智能控制。

**关键词:** 轨道交通真空断路器; 电磁机构; IGBT

## The Design of Rail Transit Vacuum Circuit Breaker Electromagnetic Mechanism Controller

Che Huan<sup>1</sup> Ma Shaohua<sup>1</sup> Rao Pan<sup>2</sup>

(1. Shenyang University of Technology, Shenyang 110023;  
2. CSR Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd, Zhuzhou, Hu'nan 412001)

**Abstract** This paper introduces the design of electromagnetic mechanism base on IGBT. The hardware is designed, using PIC16F873A as the master controller, which realize the intelligent control of electromagnetic mechanism.

**Keywords:** rail transit vacuum circuit breaker; electromagnetic mechanism; IGBT

TDV10 真空断路器目前配用的是气动操动机构,由于气动操动机构的运行中容易出现漏气的现象,使机构的可靠性得不到保障。因此设计了新型的单稳态电磁操动机构来代替原有的气动操动机构。电磁操动机构由动铁心、静铁心、合闸线圈和保持线圈组成,此机构合闸过程要克服的机械反力比较大,并且要保证一定的合闸速度,所以采用了电容储能励磁。合闸前预先给大电容充上足够的电压,合闸过程中依靠电容的放电电流来给线圈励磁。

本文对该电磁操动机构研究设计了基于 PIC 单片机的控制系统,保证电容器在断路器要求的时间内充上足够的电能并在线检测开断过程中的电压、电流等参数。将此控制系统安装在 TDV10 真空断路器上,通过实验测试其合分闸时间、合分闸速度等参数,证明所设计的控制系统满足断路器的要求。

## 1 电磁机构控制器总体设计

控制器总体方案如图 1 所示。直流电压 DC 110V 由机车提供,通过电容充电控制单元向储能电容充电,当储能电容上的电压值达到设定的电压值

(DC 400V) 时, PIC 单片机发出指令,停止向储能电容充电,储能电容为合闸线圈提供合闸操作所需要的能量。PIC 单片机检测并接收机车上给出的合分闸控制信号,通过对检测信号的分析和处理,由 PIC 单片机发出合分闸控制信号经过合分闸逻辑判断电路及 IGBT 驱动电路来控制 IGBT 关断。针对升压电路部分,通过调节 PWM 的占空比可以改变电磁机构激磁线圈电流幅值,实现对电磁机构触头运动速度的调节,以此来调节合分闸速度,使其达到断路器要求范围。

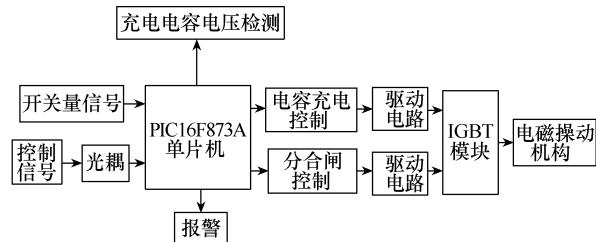


图 1 控制器总体方案图

## 2 电磁机构控制器的主驱动电路

图 2 为电磁机构合闸线圈和保持线圈的主驱动电路,图中上面的电路是合闸线圈的驱动电路,合

闸线圈需要的励磁电流比较大并且是短时工作，可以采用电容储能激励。机车上提供有足够大功率的直流屏，因此可以省去复杂的电源模块，直接将此110V电压通过升压电路提升到400V并将电能充到储能电容上。升压电路采用典型的DC-DC Boost升压电路，由升压电路的原理可知此电路的输出电压为：

$$U_0 = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} E = \frac{T}{t_{off}} E \quad (1)$$

式中， $U_0$ 为电路的输出电压（这里为电容器上的电压）， $t_{on}$ 和 $t_{off}$ 分别为充电时间内IGBT VT<sub>1</sub>导通的时间和关断的时间， $E$ 为直流电源电压（这里是直流屏上的电压110）。由式（1）可以知道只要调节TGBT通断的占空比就可以调节电容上的电压大小，本控制器用单片机输出PWM波形，通过调节其占空比来调节充电电压的大小。

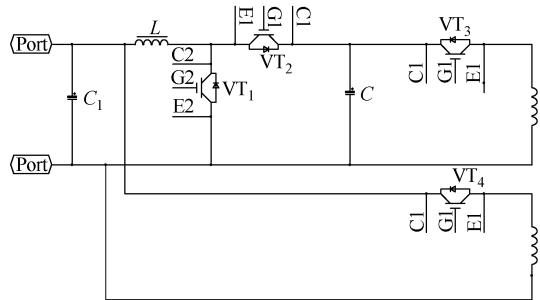


图 2 电磁机构的主驱动电路

IGBT属于电压型驱动器件，由外部电路来控制它的导通和关断。用来保证IGBT的导通和关断的电路就是驱动电路，驱动电路的另一个作用就是可以起到电气隔离的功能。电磁操动机构控制系统主电路的核心是由IGBT构成的升压电路，IGBT的可靠驱动是控制系统能够稳定运行的关键。本文根据主电路的要求，选用M57962L作为IGBT的驱动芯片。

采用M57962L的IGBT驱动电路如图3所示。

驱动电路的工作过程为：当IGBT发生过电压现象或者过电流现象，IGBT的集电极电压将会达到15V甚至更高，而隔离二极管VD<sub>1</sub>、VD<sub>2</sub>此刻就会截止。如果要使IGBT截止，由于M57962L的1脚为15V高电平，则需将M57962L的5脚置为低电平，与此同时将8脚置为低电平，进而光电耦合器开始工作，并驱动外接电路将输入端13脚置为高电平。稳压二极管VZ<sub>1</sub>的作用是防止隔离二极管VD<sub>1</sub>、VD<sub>2</sub>击穿，保护M57962L不受损坏。为了保证IGBT

的基极不受击穿，选择VZ<sub>2</sub>、VZ<sub>3</sub>组成限幅器来进行保护。

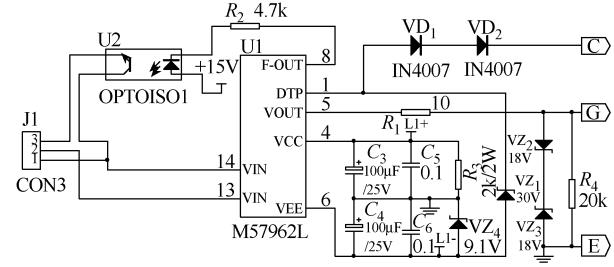


图 3 IGBT 驱动电路图

### 3 充电电容电压检测电路

断路器可靠合闸的前提条件是电容器的电压达到要求，储能电容能量不足时合闸会因动作力不足而使合闸操作失败。因此当电容器电压不足时应该禁止合闸。充电电容电压检测电路如图4所示。

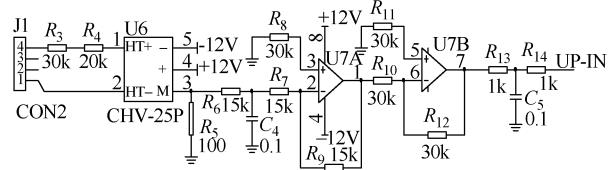


图 4 充电电容电压检测电路

该电路的工作原理为：电路输入端与储能电容相连接，检测到的储能电容两端电压值范围在0~400V，电压信号经由一个霍尔电压传感器，变为电流信号，经由电阻又变为电压信号，经过放大电路提供给单片机的信号是0~4V的电压信号。

### 4 分合闸信号判断电路

分合闸信号逻辑判断电路中，RD<sub>2</sub>—RD<sub>4</sub>接收单片机发出的合分闸信号，其中RD<sub>2</sub>控制分闸线圈；RD<sub>3</sub>控制保持线圈；RD<sub>4</sub>控制合闸线圈。RC<sub>3</sub>作为状态保护信号的输入，始终为高电平信号。若系统出现故障，则RC<sub>3</sub>给出低电平信号，分闸、合闸、保持线圈均不工作。RD<sub>1</sub>与PWM<sub>1</sub>控制升压电路中的IGBT的开断和关合以及其占空比的调节。分合闸信号逻辑判断电路如图5所示。

### 5 电磁机构控制器的实验测试

控制器设计完成后，为验证其是否满足断路器所要求的性能，将其与新设计的真空断路器电磁操动机构配用，将TDV1真空断路器现在所采用的气动机构卸掉，换上该电磁操动机构，运用所设计的

控制系统来驱动真空断路器的传动机构和灭弧室。

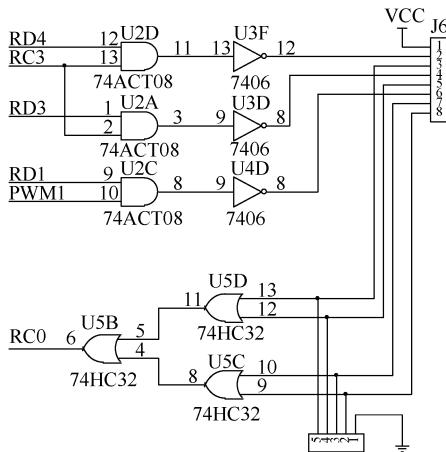


图 5 分合闸信号判断电路

本次合分闸特性实验中，合闸特性实验主要测试了主触头的合闸动作时间和弹跳时间，此外还测试了合闸位移特性、合闸线圈的励磁电流变化特性和合闸储能电容的电压特性。各参数的测量方法如下：

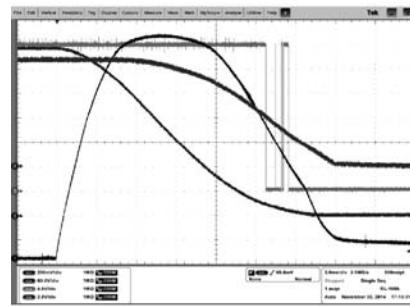
1) 主触头的合闸动作时间和弹跳时间。在断路器主触头上串联一个 1k 电阻，加 24V 直流电压，测量断口两端的电压，如果断口两端的电压为 24V，表明主触头处于分闸状态；如果断口两端的电压为 0V，表明主触头处于合闸状态。根据这个信号，可以测出主触头的合闸动作时间和弹跳时间。

2) 合闸位移特性。将位移传感器的光束打在灭弧室的驱动部件上，利用位移传感器将运动部件的位移转换成与之成比例的电压，再利用示波器的电压探头测出合闸位移特性。

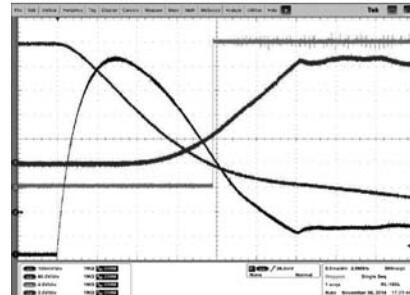
3) 合闸线圈的励磁电流变化特性。在合闸线圈上套上电流差分探头，利用示波器测量合闸线圈的励磁电流变化特性。

4) 合闸储能电容的电压变化特性。将电压差分探头夹在合闸储能电容的电极上，利用示波器测量合闸储能电容的电压变化特性。

图 6 是分合实验过程中各参数的波形图，其中，通道一为合闸线圈的励磁电流变化特性，通道二波形为合闸储能电容的电压特性，通道三波形为主触头断口两端的电压，通道四波形为合闸位移特性。本实验合闸和分闸测试各做 5 次，得到五组数据。对数据进行处理可得到分闸和合闸的时间见表 1。由表中可以看出 5 次的分合闸时间都在断路器要求的 20~60ms 之内，说明所设计的控制器是合理的。



(a) 合闸特性



(b) 分闸特性

图 6 实验中各参数波形图

表 1 分合闸时间统计表

次数	分闸时间/ms	合闸时间/ms
1	26.2	25.6
2	26.4	26.3
3	25.3	24.3
4	26.8	26.8
5	28.6	28.6

## 6 结论

本控制器是采用以 PIC16F873A 为核心的控制系统，采用 DC-DC 升压电路给电容充电，通过大功率 IGBT 的可控关断，控制大容量电容器电磁机构磁机构的分合闸线圈放电实现断路器动作，并对电容电压、断路器状态进行实时监测，实现了电磁机构真空断路器的智能控制。

## 参考文献

- [1] 王兆安, 黄峻. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 李朝青. PC 机及单片机数据通信技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.

## 作者简介

车 埃 (1982-)，女，沈阳工业大学在读博士，主要研究方向为智能电器。