

基于单片机与 TC787 芯片的三相半控整流电路设计

中国科学院研究生院 张雷

整流电路广泛应用在直流电机调速，直流稳压电压等场合。而三相半控整流桥电路结构是一种常见的整流电路，其容易控制，成本较低。本文中介绍了一种基于 PIC690 单片机与专用集成触发芯片 TC787 的三相半控整流电路，它结合专用集成触发芯片和数字触发器的优点，获得了高性能和高度对称的触发脉

冲。它充分利用单片机内部资源，集相序自适应、系统参数在线调节和各种保护功能于一体，可用于对负载的恒电压控制。主电路采用了三相半控桥结构，直流侧采用 LC 滤波结构来提高输出的电压质量。

系统总体设计

本系统通过 PIC690 单片机作为主控制芯片，用晶闸管作为主要开关器件。设计的目标是保持输出的直流电压稳定，输出电压纹波小，交流输出测电流 THD 较低，性能可靠。

系统主要电路包括：三相桥式半控整流电路、同步信号取样电路、单片机控制电路、晶闸管触发电路。首先，由

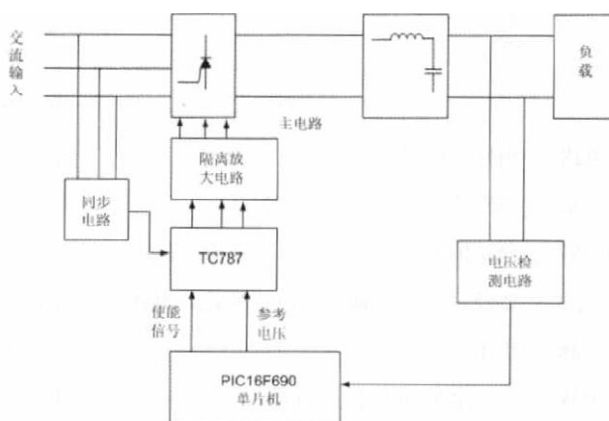


图1 系统硬件整体框图

考值输出到 TC787，由 TC787 实现对晶闸管的移相触发，以实现整流调压。硬件电路的整体框图如图 1 所示。

主电路设计

主电路采用三相桥式半控整流电路，直流侧采用 LC 滤波电路，主电路原理图如图 2 所示。半控桥选择 SEMIKRON 公

司的 SKDH146/120-L100 模块，该模块额定电流 140A，额定电压 1200V。直流侧采用 LC 滤波电路结构，比单独电容滤波效果好。此外，还可以提高交流输入侧的电流 THD。直流侧主要的谐波含量为工频的 6 倍及 6 的整数倍，设计 LC

同步信号取样电路得到同步信号并送集成触发芯片 TC787，经过零检测，再进行相应的延时以实现移相。单片机中的 ADC 负责采集直流母线电压，根据电压的设定值与实际值的偏差经过 PI 运算来调节给定输出。PIC 单片机将电压的参

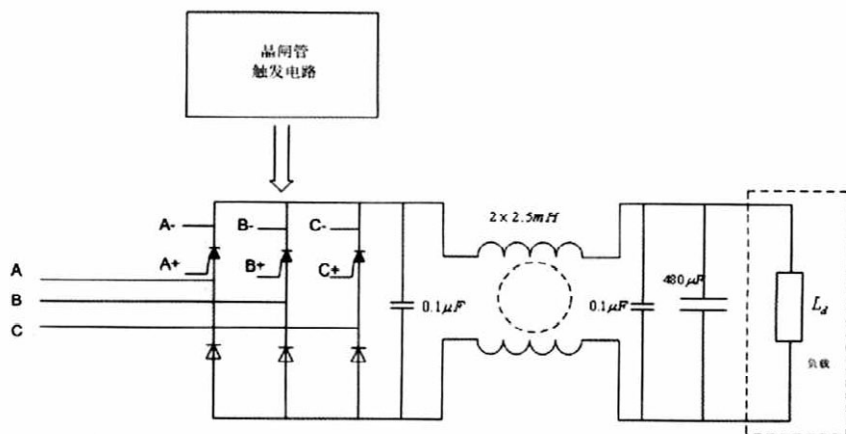


图2 主电路结构

低通滤波时要避免含量较高的谐波引起的谐振。在本设计中选取电感 5mH，滤波电容 480 μ F。

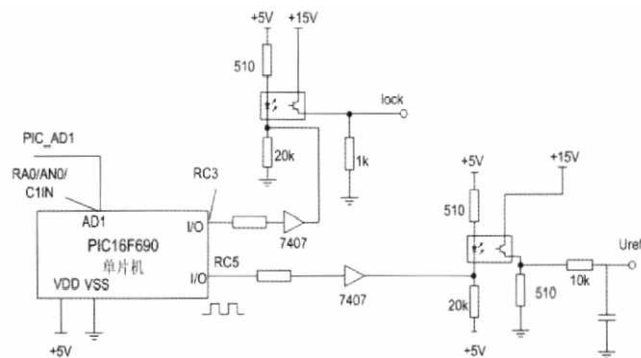


图3 控制电路硬件结构

从电网获得的三相电压经同步电路整形后，送给集成触发芯片 TC787 引脚 18AT、引脚 2 BT 和引脚 1CT。TC787 内部集成有 3 个过零和极性检测单元、3 个锯齿波形成单元、3 个比较器、1 个脉冲发生器、1 个抗干扰锁定电路和 1 个脉冲分配及驱动电路数字给定移相控制电压，能进行相序自动识别。

控制电路设计

采用 PIC16F690 作为控制芯片。PIC16F690 单片机内部自带 10 位 AD；宽工作电压（2.0~5.5V）；低功耗；带有 PWM 输出功能；内部自带晶振。用芯片内部自带 10 位 AD，对采集到的直流侧电压进行 AD 转换。为了降低硬件成本，直接采分压电阻代替电压传感器来采集直流侧电压，分压电阻上的电压经过两个反向比例电路到单片机。单片机的模拟地和信号地直接相连（也可以通过磁珠相连，以减小干扰）。PIC16F690 单片机通过一个 I/O 口使能或禁止芯片 TC787 的输出，如图 3 所示。

当 PIC 单片机的 I/O 口 RC3 输出高电平（+5V）时，Lock 口为低电平；当单片机 I/O 口 RC3 输出低电平时，Lock 为高电平（+15V）。选

用一个 I/O 口作为 TC787 参考电压的给定信号，采用 PWM 脉冲方式，调节占空比来调节输出电压，PWM 波经过一个 RC 低通滤波器后为一个近似直流信号，

用这个信号作为参考电压给定 U_{ref} ，其范围为 0~5V。由于芯片 TC787 所需的给定输入范围为 0~15V，所以 PWM 波要经过一个光耦进行电平转换，如图 3 所示。

触发驱动电路设计

触发芯片选择高性能晶闸管三相移相触发集成电路 TC787。TC787 可单电源工作，亦可双电源工作，主要适用于三相晶闸管移相触发和三相功率晶体管脉宽调制电路，以构成多种交流调速和变流装置。TC787

的内部结构如图 4 所示。

在本设计中，TC787 采用 15V 供电，引脚 4(Vr)：移相控制电压输入端。该端输入电压的高低直接决定着 TC787/TC788 输出脉冲的移相范围，应用中接给定环节输出。引脚 5(Pi)：输出脉冲禁止端。该端用来进行故障状态下封锁 TC787/TC788 的输出，高电平有效，应用中，接保护电路的输出。同步电压输入端：引脚 1(Vc)、引脚 2(Vb)及引脚 18(Va)为三相同步输入电压连接端。应用中，分别接输入滤波后的同步电压，同步电压的峰值应不超过 TC787/TC788 的工作电源电压 VDD。

触发驱动电路主要由电网电压同步电路、TC787 集成触发电路和脉冲放大隔离驱动电路组成。图 5 中给出了同步电路和 TC787 的外围电路。其前半部分为电压同步电路，采用这种设计方法需要加较多辅助元件。而对 RP1~RP3 三个电位器进行不同调节，可实现 0~60° 的移相，从而适应不同主变压器连接的需要。图 5 中，直接将同步变压器的中点接到 (1/2) 电源电压上，使所用元

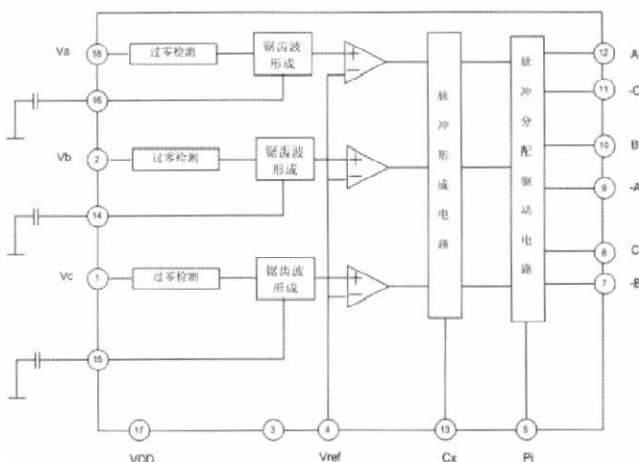


图4 TC787 芯片内部结构

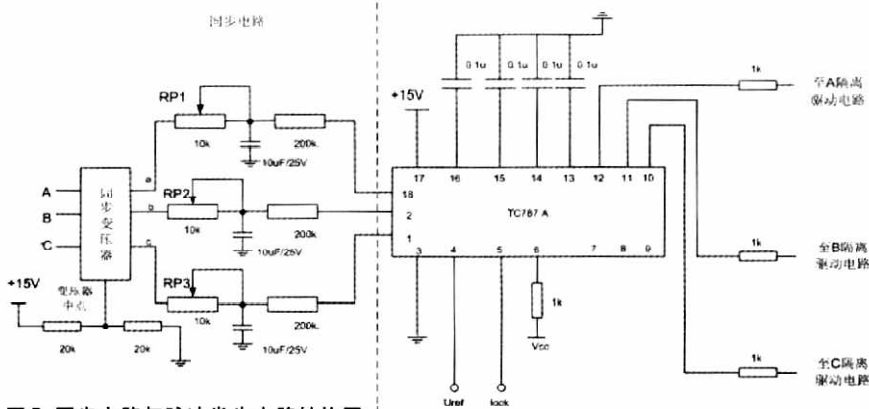


图5 同步电路与脉冲发生电路结构图

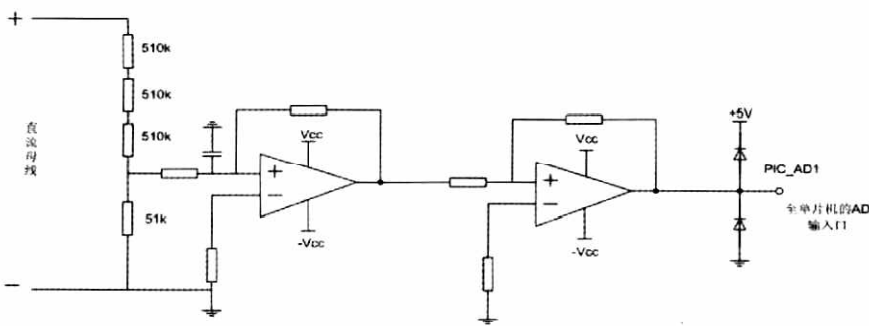


图6 电压检测电路

件得以简化。TC787的引脚4输出单片机的给定电压（0~+15V），引脚6为触发脉冲封锁引脚。引脚10~12为触发脉冲输出引脚，分别接到C、B、A相的隔离放到电路。

电压检测电路设计

为了降低硬件成本，设计直流母线电压检测电路时采用了分压电阻的方法，而没有采用电压传感器。采用这种分压电阻的方法结构简单，易于调试。电路如图6所示。通过分压电阻得到的电压为直流母线电压的1/31，该电压通过两个反向比例放大电路输入到PIC单片机的AD1输入口中，再通过PIC单片机的AD转换处理为数字量。 **EPC**

(上接第78页)

C相序变化时矢量分析 (L3、L2、L1)

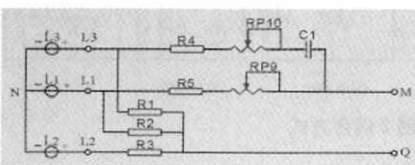


图8 变化相序II

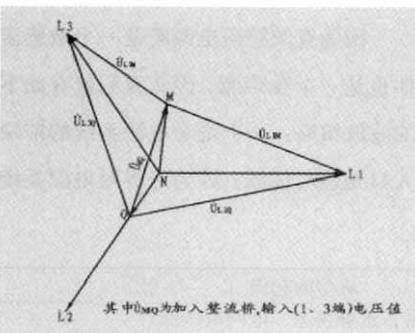


图9 变化相序矢量图II

通过分析可知，当相应相序发生变化后，整流桥输入电压值 U_{MQ} 也随之变化，并使得IC3A反相输入端②的Vcc电

压随其变化。

当保护器所加相序为L1、L2、L3时，IC3A中同相输入端③端电压 $V_③ > V_②$ (Vcc)，此时IC2手动复位控制端MR为“1”，计时器呈自动复位导通状态，如出现过压、欠压等状态，吸合触点进入延时保护状态。待完成延时保护状态后，吸合触点断开，直到工作电压L1、L2、L3又重归至安全电压工作带。

保护器所加相序发生变化后，整流桥输入电压值 U_{MQ} 增大，从而使Vcc随之增大，IC3A中同相输入端③的电压 $V_③ < V_②$ ，IC2手动复位控制端MR为“0”，计时器工作延时，而IC2输出控制端为“1”，此时计算器不在清零控制状态，则输出状态Q端（8端）输出为“0”，保护继电器触点呈释放状态。

触点保护状态

保护器对所供电压进行取样检测，如电压出现异常时，保护器内部执行继电器都会先延时后释放，进行可靠的保护。为实现上述功能，需要选择可编程定时电路4541。延时部分可通过集成电路①~③脚外接RTC、CTC来完成。通过集成电路输入、输出控制端的设定来控制输出端Q的起始电平状态，并在输出端处串接V2稳压管以保证控制输出满足要求。

保护器内部继电器线圈始终有工作电流通过，继电器吸合。如发生过压、欠压情况，V3在导通工作延时后变为截止状态，V2指示灯熄灭，继电器释放。在驱动保护电路中增加R12、R31、R30、V4，可保证产品在过压情况下起到相应的保护功能。 **EPC**