

---

---

应用电子专业综合实训（论文）  
（三相桥式半控整流电路）

学 院：电气工程学院

专 业：应用电子技术

学生姓名：孟令军、刘婷伟、王玉洁

指导教师：沈虹

答辩日期：2017-1-5

---

---

## 设计任务书

### 三相桥式半控整流电路挂箱设计要求

#### 设计目标:

设计三相桥式半控整流电路实验挂箱，要求交流输入电压 110V。要求转速电流双环控制，系统超调量小于 5%。电机参数： $P_N=100W, U_N=200V, I_N=0.5A, n_N=1600rpm$

#### 设计要求:

挂箱功能组成与基本布局、结构分析；

挂箱具体电路及其原理分析与实验中的使用分析；

模块电路具体参数设计（电阻具体到封装、功率、阻值等；晶闸管、二极管等具体到型号；连接线到颜色，粗细；接插件到型号，大小，颜色）；

设计方案可行性分析：通过仿真说明每一个挂箱实验功能的实现；

PCB 板设计；

挂箱结构设计。

以上分析要与实验室具体挂箱相结合，功能一致或有所提高；

#### 进度安排:

#### 进度安排:

**第 1 周：分析实验室挂箱电路构成，搭建主电路、控制电路及驱动电路；具体参数设计，列写元器件及参数清单一份；**

周一,实验室,认识了解挂箱并动手实验分析功能，挂箱功能组成与基本布局、结构分析（可根据需要再安排一次实验室了解分析挂箱）

周二，周三，教室，参数设计

周四，周五，教室，观察分析挂箱的电路参数，与自己设计的相对应

**第 2 周：利用仿真软件进行闭环仿真，电路板设计，结构设计；挂箱调试，撰写报告。**

周一，周二，教室，仿真与电路板设计，挂箱结构设计，

周三，教室，PCB 设计

周四，教室，撰写报告；实验室，挂箱调试，确认设计功能并完善

周五，考试答辩。

---

## 摘要

整流电路就是能把交流电能转换成直流电能的电路，他在直流电动机的调速，发电机的励磁调节，电解，电镀等领域得到广泛的引用。整流电路通常由主电路，整流电路，滤波电路构成，20 世纪 70 年代以后，主要多用整流二极管和晶闸管组成，滤波器通常接在主电路与负载之间，用于滤去脉动直流电压中的交流成分，变压器的设置与否视情况而定，变压器的工作是实现交流输入与直流输出电压间的匹配以及交流电网与整流电路之间的电隔离。整流电路的种类有很多，有单相桥式整流电路、三相桥式半控整流电路、三相桥式全控整流电路等。本文就三相桥式半控整流电路，以直流电机作为负载对整流电路做系统研究。

关键字：三相桥式半控整流 Matlab 仿真 TC787

---

---

# 目录

|                           |        |
|---------------------------|--------|
| 摘要.....                   | I..... |
| 第 1 章 绪论 .....            | 1..... |
| 1.1 实验简介 .....            | 1..... |
| 1.2 电力电子学背景.....          | 1..... |
| 1.3 实验目的 .....            | 1..... |
| 1.4 本章小结 .....            | 2..... |
| 第 2 章 三相桥式半控整流电路方案.....   | 3..... |
| 2.1 三相桥式半控整流电路总体设计方案..... | 3..... |
| 2.2 主电路设计.....            | 3..... |
| 2.3 本章小结 .....            | 3..... |
| 第 3 章 硬件设计.....           | 4..... |
| 3.1 主电路设计.....            | 4..... |
| 3.1.1 三相变压器.....          | 4..... |
| 3.1.2 晶闸管.....            | 5..... |
| 3.1.3 二极管.....            | 5..... |
| 3.2 脉冲触发电路设计.....         | 6..... |
| 3.2.1 TC787 简介.....       | 7..... |
| 3.2.2 控制电路.....           | 9..... |
| 3.2.3 参数选择.....           | .....  |
| 3.3 驱动电路.....             | .....  |
| 3.4 电源电路.....             | .....  |
| 3.5 保护电路设计.....           | .....  |
| 3.6 反馈回路.....             | .....  |
| 3.7 本章小结.....             | .....  |
| 第 4 章 仿真实验设计.....         | .....  |
| 4.1 开环仿真 .....            | .....  |
| 4.1.1 模型搭建.....           | .....  |

---

---

|       |            |
|-------|------------|
| 4.1.2 | 波形分析.....  |
| 4.2   | 闭环仿真.....  |
| 4.2.1 | 模型搭建.....  |
| 4.2.2 | 波形分析.....  |
| 4.3   | 实验现象 ..... |
|       | 致谢.....    |
|       | 参考文献 ..... |

---

# 第 1 章 绪论

## 1.1 实验简介

当整流负载容量较大（如直流电动机），或要求直流电压脉动较小时，应采用三相整流电路，交流测由三相电源供电。这个设计中，采用三相桥式半控整流电路。主电路采用晶闸管构成的三相半控桥，将三相桥式全控整流电路中的一组晶闸管用三只二极管代替，就构成了三相桥式半控整流电路。只要控制三相桥中一组晶闸管，就可控制三相桥式半控整流电路的输出电压，所以它的控制较全控桥简单、经济，在中等容量或不要求可逆运行的电力拖动装置中经常使用。同时要考虑晶闸管的过电压与过电流保护。

## 1.2 电力电子学背景

电力电子技术是一门新兴的应用于电力领域的电子技术，就是使用电力电子器件（如晶闸管，GTO，IGBT等）对电能进行变换和控制的技术。电力电子技术所变换的“电力”功率可大到数百 MW 甚至 GW，也可以小到数 W 甚至 1W 以下，和以信息处理为主的信息电子技术不同电力电子技术主要用于电力变换。

通常所用的电力有交流和直流两种。从公用电网直接得到的电力是交流，从蓄电池和干电池得到的电力是直流。工业中大量应用各种交直流电动机。直流电动机有良好的调速性能，为其供电的可控整流电源或直流斩波电源都是电力电子装置。

## 1.3 实验目的

直流电动机具有良好的启动性能和调速性能，在工业生产中获得广泛应用，本次设计的目的是为1台额定电压200V、功率为100W的直流电动机提供直流可调电源，以实现直流电动机的无级调速。

- 1、对设计方案进行经济技术论证。
- 2、完成整流主电路设计。

- 
- 3、通过计算选择整流器件的具体型号。
  - 4、若采用整流变压器，确定变压器变比及容量。
  - 5、确定平波电抗器的参数。
  - 6、触发电路设计或选择。
  - 7、绘制相关电路图。
  - 8、在实验室进行模拟验证或 matlab 仿真。

#### 1.4 本章小结

本章通过对电力电子学背景介绍和本项目做一个简单的介绍，本项目基于课本所学内容，实现三相桥式半控整流电路对直流电机进行调速。

---

## 第 2 章 三相桥式半控整流电路方案

### 2.1 三相桥式半控整流电路总体设计方案

三相桥式半控整流电路系统通过变压器与电网连接，经过变压器的耦合，晶闸管主电路得到一个合适的输入电压，使晶闸管在较大的功率因数下运行。变流主电路和电网之间用变压器隔离，还可以抑制由变流器进入电网的谐波成分。保护电路采用 RC 过电压抑制电路进行过电压保护，利用快速熔断器进行过电流保护。采用锯齿波同步 TC787 集成触发电路，利用一个同步变压器对触发电路定相，保证触发电路和主电路频率一致，触发晶闸管，使三相半控桥将交流整流成直流，带动直流电动机运转，工作在电动状态。

整个设计主要分为主电路、触发电路、保护电路三个部分。其中，由于保护电路分几个部分，在框图中没有表明。当接通电源时，三相桥式半控整流电路主电路通电，同时通过同步电路连接的集成触发电路也通电工作，形成触发脉冲，使主电路中晶闸管触发导通工作，经过整流后的直流电通给直流电动机，使之工作。

### 2.2 主电路设计

当整流负载容量较大（如直流电动机），或要求直流电压脉动较小时，应采用三相整流电路，交流测由三相电源供电。这个设计中，采用三相桥式半控整流电路。主电路采用晶闸管构成的三相半控桥，将三相桥式全控整流电路中的一组晶闸管用三只二极管代替，就构成了三相桥式半控整流电路。只要控制三相桥中一组晶闸管，就可控制三相桥式半控整流电路的输出电压，所以它的控制较全控桥简单、经济，在中等容量或不要求可逆运行的电力拖动装置中经常使用。同时要考虑晶闸管的过电压与过电流保护。

### 2.3 本章小结

本章对系统总体设计方案进行了阐述，说明了主电路的方案与控制电



路的基本方案。

## 第 3 章 硬件设计

本实验硬件设计包括主电路设计、脉冲触发电路设计、反馈回路设计、电源电路设计四个部分。

### 3.1 主电路设计

本设计要求由 110V 三相电整流得到直流电驱动直流电机负载，主电路图如图 3.1 所示，由三个晶闸管和三个二极管组成半控整流电路。负载为直流电机，在电机负载处流出霍尔元件接口作为电流采样口。并在负载两端并联两个电阻作为采样电阻，采集电压。

其电路工作特点是共阴极组晶闸管必须触发才能换流，而共阳极组二极管总是在自然换相点换流。所以，一周期中仍然换流六次，三次为自然换流，其余三次为触发换流。变压器为 Y/ $\Delta$ 型接法。变压器二次侧接成星形得到零线，而一次侧接成三角形避免 3 次谐波流入电网。

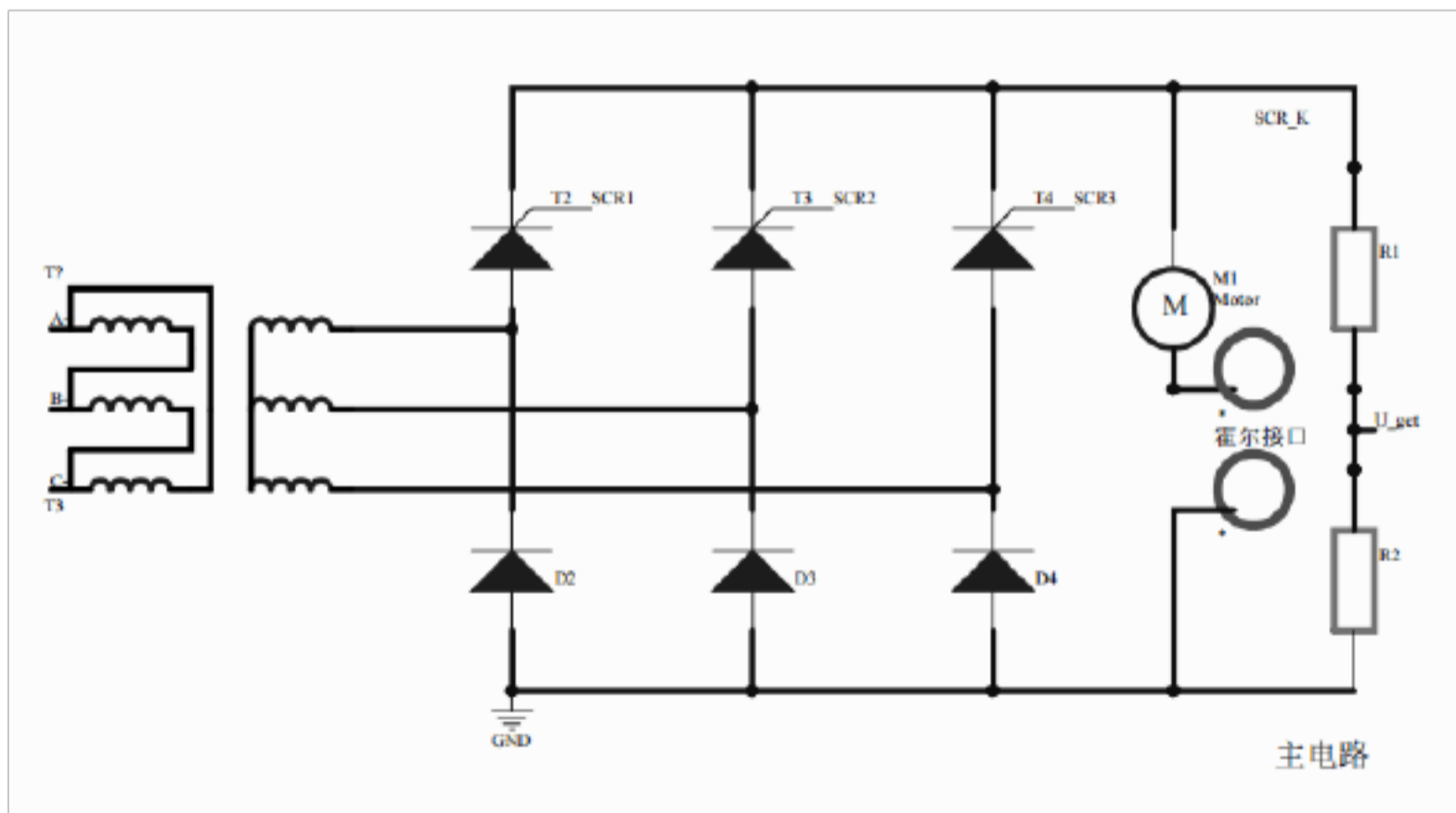


图 3.1 主电路图

#### 3.1.1 三相变压器

---

110V 交流电，实验的负载额定电压是 200V，我们把二次侧设为 220V，需要先经过变压器进行变压得到 220V 交流电。选择匝数比为 1:2，二次侧电流为 0.5A。

三相变压器的容量为

$$S = 3 \times U_2 \times I_2 = 3 \times 220 \times 0.5A = 330W$$

## 晶闸管

### (1) 晶闸管的额定电压

由三相半控桥式整流电路的结果分析知，晶闸管最大正、反向电压峰值均为变压器二次线电压峰值

$$U_{FM} = U_{RM} = \sqrt{6}U_2 = \sqrt{6} \times 220 = 538V$$

故桥臂工作电压幅值为

$$U_m = 538V$$

考虑电压裕量，则额定电压应该为

$$U_m = (2 \sim 3) U_m = (2 \sim 3) \times 538 = 1077 \sim 1616V$$

### (2) 晶闸管的额定电流

晶闸管电流的有效值为

$$I_{VT} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29A$$

考虑一定的安全裕量，则晶闸管的额定电压为

$$I_N = (1.5 \sim 2) I_{VT} \div 1.57 = 0.27 \sim 0.36A$$

综上所述，我们选用 KP1-12 (1A 1200V 普通反向阻断型晶闸管)。

## 3.1.3 二极管

### (1) 二极管的额定电压

由三相半控桥式整流电路的结果分析知，二极管最大正、反向电压峰值均为变压器二次线电压峰值

---

---

$$U_{FM} = U_{RM} = \sqrt{6}U_2 = \sqrt{6} \times 220 = 538V$$

$$U_m = 538V$$

考虑电压裕量，则额定电压应该为

$$U_m = (2 \sim 3) U_m = (2 \sim 3) \times 538 = 1077 \sim 1616V$$

(2) 二极管的额定电流

二极管电流的有效值为

$$I_{VT} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29A$$

考虑一定的安全裕量，则二极管的额定电压为

$$I_N = (1.5 \sim 2) I_{VT} \div 1.57 = 0.27 \sim 0.36A$$

二极管的额定电压和额定电流和晶闸管一致，综上，我们采用 1N4007 硅整流二极管（1000V，1A）。符合要求。

## 脉冲触发电路设计

晶闸管的出发需要特定的触发脉冲，触发脉冲的波形要符合要求，例如对电感性负载，脉冲的宽度要宽些，一般50Hz的需18μs。对于多个晶闸管作串并联运用时，为改善均压和均流，脉冲的前沿陡度希望大于1A/Ls。目前采用的集成电路 KC(KJ)系列或 TCA785 晶闸管集成触发电路，在使用中存在以下几个问题：

(1) KC(KJ)系列电路必须采用双电源，并且电路功耗较大，影响电路的稳定性和可靠性；

(2) 在运用中需要的触发集成电路数量多三相全控整流电路中就须用3个 KC004，增加了设备机构的复杂性；

(3) 由于电路的离散性，采用3个 KC004 电路的恒流源要靠外调保持一致，所需的调元件增多，长期可靠性差。

而运用 TC787 集成触发电路，以上问题都可以得到解决。

## 简介

### TC787

排直插式芯片可以在插座上自由插拔。它总共有 18 只管脚，图 3.2 为管脚排列示意图，表 1 为各管脚功能。其中 1、2、18 脚输入 10~1000Hz，0~VDD(V)同步电压，4 脚的移相电压为 0.2~13V，移相极性为移相电压增加，输出导通角愈大。5 脚为输出保护端，当 5 脚电位大于或等于 12V，六路脉冲全部被封锁，系统处于保护状态，当 5 脚电位 3V 时，系统正常工作。6 脚为功能选择端。当 6 脚接低电平(地)时，输出为半控单脉冲形式，12、11、10、9、8、7 分别输出 A、-C、B、-A、C、-B 的单触发脉冲；当 6 脚接高电平(VDD)时，输出为全控双触发脉冲，见图 3.2 脚接的电容 Cx 确定输出脉冲的宽度，电容越大脉冲越宽，在 50Hz 情况下，若 Cx 选 0.01LF，则其脉冲宽度大约为 0.5ms。14、15、16 脚接的积分电容在 50Hz 时，一般选 0.1uF 左右，为保证锯齿波的一致性，3 个电容相对误差

|       |     |     |    |
|-------|-----|-----|----|
| 1     | Vc  | Va  | 18 |
| 2     | Vb  | VDD | 17 |
| 3     | VSS | Ca  | 16 |
| 4     | Vr  | Cc  | 15 |
| 5     | Pr  | Cb  | 14 |
| 6     | Pc  | Cx  | 13 |
| 7     | -B  | A   | 12 |
| 8     | C   | -C  | 11 |
| 9     | -A  | B   | 10 |
| TC788 |     |     |    |

应控制在 5%以内。

图 3.2 TC787 芯片引脚图

由图 3.3 可见，在它们内部集成了三个过零和极性检测单元、三个锯

---

---

个脉冲形成电路、一个脉冲分配及驱动电路。它们的工作原理可简述如下：经滤波后的三相同步电压通过过零和极性检测单元检测出零点和极性后，作为内部三个恒流源的控制信号。三个恒流源输出的恒值电流给三个等值电容  $C_a$ 、 $C_b$ 、 $C_c$  恒流充电，形成良好的等斜率锯齿波。锯齿波形成单元输出的锯齿波与移相控制电压  $V_r$  比较后取得交相点，经集成块内部的抗干扰锁定电路锁定，保证交相唯一而稳定，使交相点以后的锯齿波后移相电压的波动不影响输出。该交相信号与脉冲发生器输出的脉冲(TC787 为调制脉冲)信号经脉冲形成电路处理，变为三相输入同步信号相位对应、且与移相电压大小适应的脉冲信号，送到脉冲分配及驱动电路。假设系统未发生过电流、过电压等其他非正常情况，则引脚 5 禁止端的信号无效，此时，脉冲分配电路根据用户在引脚 6 设定的状态完成双脉冲(引脚 6 为高电平)或单脉冲(引脚 6 为低电平)的分配功能，并经输出驱动电路功率放大后输出，一旦系统发生过电流、过电压或其他非正常情况，则引脚 5 禁止信号有效，脉冲分配及驱动电路内部的逻辑电路动作，封锁脉冲输出，确保集成块 12、11、10、9、8、7 六个引脚输出均为低电平。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/175002141333012001>