

# MCL-II 电力电子技术及电工技术

## 实验台使用说明书

编写人：程南      审核：余仕求

### 一、功能

1. 设备名称：电力电子技术及电工技术实验台
2. 规格型号：MCL-II
3. 生产厂家：浙江大学求是教学设备有限公司、长江大学电工电子实验示范中心联合研制
4. 技术参数：
  - (1) 输入电源：~380V 10% 50HZ±1HZ
  - (2) 工作条件：环境温度：-5 ~ 40℃  
相对湿度：〈75%  
海 拔：〈1000m
  - (3) 装置容量：〈1KVA
  - (4) 电机容量：〈200W
  - (5) 外形尺寸：长 1600mm X 宽 700mm (长 1300mm X 宽 700mm)

### 5. 能开设的实验

电机与拖动

认识实验

- ◆单相变压器
- ◆三相鼠笼异步电动机的工作特性
- ◆三相同步发电机的运行特性
- ◆直流他励电动机机械特性
- ◆直流伺服电机实验

电力电子技术. 半控型器件:

- ◆单晶体管同步移相触发电路及单相半波可控整流电路
- ◆正弦波同步移相触发电路及单相半波可控整流电路
- ◆锯齿波同步移相触发电路
- ◆单相桥式半控整流电路

- ◆单相桥式全控整流电路
- ◆单相桥式有源逆变电路
- ◆三相半波可控整流电路
- ◆三相半波有源逆变电路
- ◆三相桥式半控整流电路
- ◆三相桥式全控整流电路
- ◆三相桥式有源逆变电路
- ◆直流斩波电路
- ◆单相并相逆变电路
- ◆单相交流调压电路
- ◆三相交流调压电路

电力电子技术. 全控型器件特性部分

- ◆功率场效应晶体管(MOSFET)的主要参数测量
- ◆功率场效应晶体管(MOSFET)的驱动电路研究
- ◆绝缘栅双极型晶体管(IGBT)特性及其驱动电路的研究
- ◆电力晶体管(GTR)驱动电路的研究
- ◆电力晶体管(GTR)的特性研究

电力电子技术. 全控型器件典型线路部分

- ◆直流斩波电路(升压斩波、降压斩波)的性能研究
- ◆单相交直交变频电路的性能研究
- ◆半桥型开关稳压电源的性能研究
- ◆电流控制型脉宽调制开关稳压电源研究
- ◆直流斩波电路(Buck-Boost 变换器)的研究
- ◆采用自关断器件的单相交流调压实验

直流调速实验

- ◆晶闸管直流调速系统参数和环节特性的测定
- ◆晶闸管直流调速主要单元调试
- ◆不可逆单闭环直流调速系统静特性的研究
- ◆双闭环晶闸管不可逆直流调速系统

- ◆逻辑无环流可逆直流调速系统
- ◆双闭环控制的直流脉宽调速系统(PWM)

### 交流调速实验

- ◆双闭环三相异步电机调压调速系统
- ◆双闭环三相异步电机串级调速系统
- ◆微机控制的脉宽调制 SPWM 变频调速系统 (IPM)
- ◆空间矢量控制的变频调速系统
- ◆采用 DSP 的磁场定向变频调速系统与直接转矩变频调速系统

## 6. 组件配置:

### 6. 1. 实验机组:

直流发电机 M01 的额定值:

额定功率  $P_N=100\text{W}$ , 额定电压  $U_N=200\text{V}$ , 额定电流  $I_N=0.5\text{A}$ , 额定转速  $n_N=1600\text{r/min}$ 。E 级绝缘。

直流并励电动机 M03 的额定值:

额定功率  $P_N=185\text{W}$ , 额定电压  $U_N=220\text{V}$ , 额定电流  $I_N=1.1\text{A}$ , 额定励磁电流  $I_{fN}<0.16\text{A}$ , 额定转速  $n_N=1600\text{r/min}$ 。E 级绝缘。

三相鼠笼式异步电动机 M04 的额定值:

额定功率  $P_N=100\text{W}$ , 额定电压  $U_N=220\text{V}$ , 额定电流  $I_N=0.48\text{A}$ , 额定转速  $n_N=1420\text{r/min}$ , 定子三相绕组  $\Delta$  接法, E 级绝缘。

三相绕线式异步电动机 M09 的额定值:

额定功率  $P_N=100\text{W}$ , 额定电压  $U_N=220\text{V}$ , 额定电流  $I_N=0.55\text{A}$ , 额定转速  $n_N=1420\text{r/min}$ 。定、转子三相绕组均为 Y 接法, E 级绝缘。

三相同步发电机 M08 的额定值:

额定容量  $S_N=170\text{VA}$ , 额定电压  $U_N=220\text{V}$ , 额定电流  $I_N=0.45\text{A}$ , 额定转速  $n_N=1500\text{r/min}$ , 额定功率因数  $\cos\phi_N=0.8$ , 额定励磁电压  $U_{fN}=14\text{V}$ , 额定励磁电流  $I_{fN}=1.2\text{A}$ , 定子三相绕组 Y 接法。E 级绝缘。

### 6. 2. 实验挂箱:

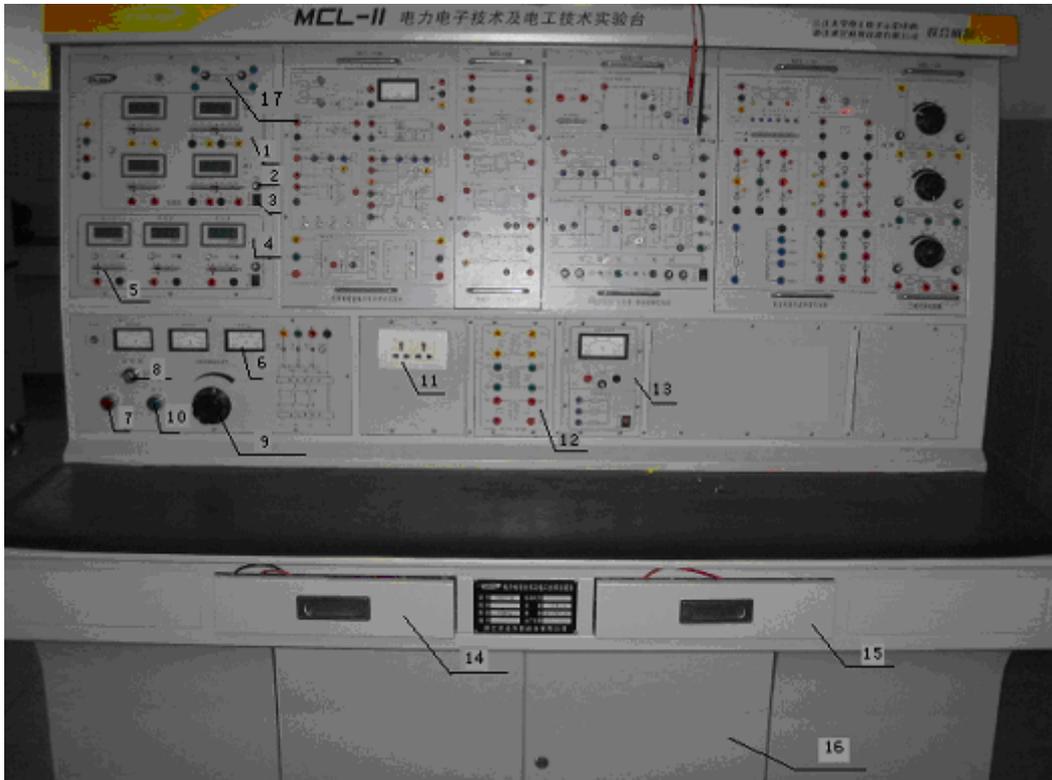
- (1) MCL-05 单结晶体管，正弦波，锯齿波触发电路
- (2) MCL-06 单相并联逆变器，斩波器
- (3) MCL-07 IGBT、VDMOS、GTR 电力电子器件实验箱
- (4) MCL-08 直流斩波电路 (Buck-Boost) 和电流控制型脉宽调制开关稳压电源实验箱
- (5) MCL-09 微机控制的 SPWM 变频调速及空间矢量控制变频调速实验箱
- (6) MCL-14 采用 DSP 控制的直流方波无刷电机调速实验箱
- (7) MCL-18 速度变换器，转速调节器，电流调节器，电流互感器，电压互感器，过流保护，给定，电流反馈
- (8) MCL-33 触发电路，I 组晶闸管，II 组晶闸管，平波电抗器，RC 阻容吸收，二极管三相整流桥
- (9) MEL-11 电容箱
- (10) MCL-34 挂箱：反号器 (AR)，转矩极性鉴别器 (DPT)，零电流检测器 (DPZ)，逻辑控制器 (DLC)

### 6.3 选配挂箱：

- (1) MEL—03；MEL—04；MEL—09 挂箱：可调电阻器
- (2) 电机导轨及测速发电机  
直流发电机 M01：PN=100W，UN=200V
- (3) 电机导轨及测功机、测速发电机  
MEL—13 组件。
- (4) EEL-10 继电控制挂箱

## 二 MCL 系列主控台及挂箱介绍和使用说明

主控台 MCL-II(A)：



主控屏(A)：主要为整个实验台提供可调三相交流电源；交直流电压电流检测仪表；直流励磁电源；变压器绕组等主要由(1)交流电压表；电流表；功率和功率因数表(2)报警复位按钮；(3)仪表开关；(4)直流电压表；电流表；(5)量程选择键；(6)三相电压表\*3,可指示实验台输入的电压和交流电源输出的线电压,通过指针表旁边的开关切换。当开关拨向“电网电压”时,三相电压表指示为电网输入到主控制屏的三相电压值；当开关拨向“调压输出”时,电压表指示三相输出可变电电压值；(7)电源切断按钮：按下此按钮开关,绿灯灭红灯亮,表明三相交流电源U、V、W无电压输出；(8)电源接通钥匙；电源钥匙开关。当钥匙开关转向“开”的位置,带红色按钮指示灯亮,电源控制屏接通电网。(9)三相电源调压器手柄三相调压器的容量为1.5KVA,线电压 $0\sim 430V$ 连续可调,为了保证实验者的实验,电网与三相调压器之间接有隔离变压器或漏电保护器。三相调压器可调节单相或三相电压输出。当沿逆时针旋到底输出电压最小,改变旋钮位置,即可调节输出交流电源电压的大小；(10)电源启

动按钮：当按下此开关时，红灯灭绿灯亮，主电路接触器闭合，U、V、W 输出交流电；（11）220V 插座；（12）变压器组\*3；（13）直流励磁电源 220V；（14）连接线及配件抽屉；（15）连接线及配件抽屉；（16）挂箱储放柜。（17）日光灯功能开关，当拨到左边时，日光灯接入 220V 交流电，作照明用；当拨到右边时，日光灯的四个接线柱引出可做日光灯实验用。整个实验台的总电源开关是实验台左侧的空气开关。

## 主控台 MCL-II(B)：

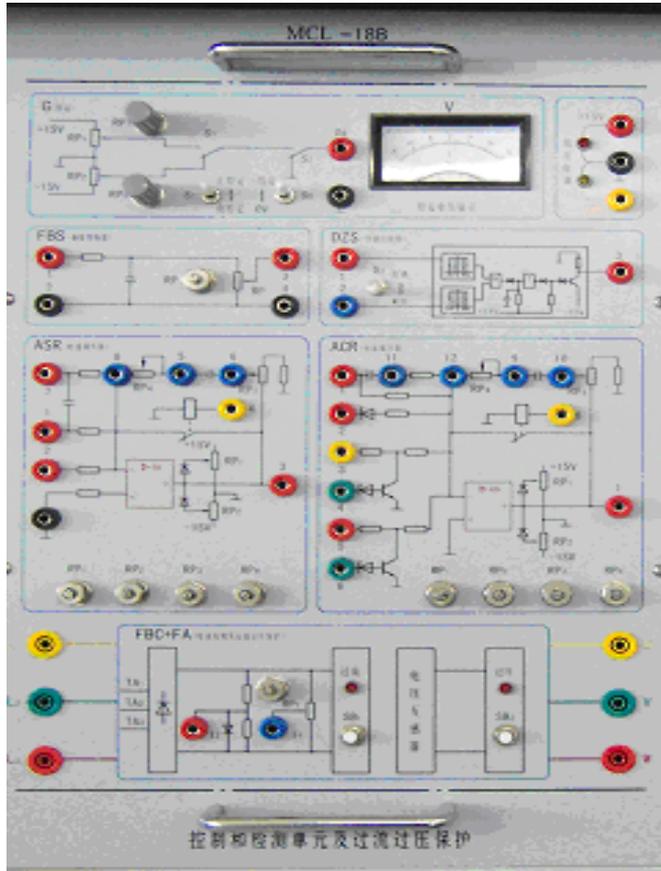
主控屏(B)与主控屏(A)基本相同只是在直流电源部分有所不同，不同的地方主要由（1）励磁电流表；（2）励磁电源 220V；（3）可调电枢电源（0-220）V；（4）电枢电源电压表；（5）电枢电流表；（6）电枢电压调节电位器；（7）过流保护复位按钮；（8）单相变压器组成。



**注意事项：**在整个实验过程中应正确选择仪表合理选择量程；每次接线或改线时要切断电源（7），连接线分两种规格，一种是高压线（带护套）另一种是低压线，其所对应的插孔也不一样，切勿损伤插头，将插头强行插入孔中。实验台专门配有一体的三线电源线，使用时注意选择。无论仪表还是三相电源输出都有过量程或过压过流保护报警功能，当找出故障原因后按下对应的复位

键即可恢复正常。设备中若有保险丝烧坏，可用同规格保险丝换上，不可过大或过小。功率表接线时，需注意电压线圈和电流线圈的同名端，避免接错线，励磁电源不要和直流稳压电源混淆，以免损坏设备，挂箱搬动要轻拿轻放，因为里面有些电路板是插板式，以免松动。

## 1. MCL—18 挂箱 (MCL—31)



MCL—18 由 G (给定)，零速封锁器 (DZS)，速度变换器 (FBS)，转速调节器 (ASR)，电流调节器 (ACR)，过流过压保护等部份组成。

### 1.1. G (给定)：

原理图如图 1-1。

它的作用是得到下列几个阶跃的给定信号：

- (1) 0V 突跳到正电压，正电压突跳到 0V；
- (2) 0V 突跳到负电压，负电压突跳到 0V；
- (3) 正电压突跳到负电压，负电压突跳到正电压。

正负电压可分别由 RP1、RP2 两多圈电位器调节大小（调节范围为 0-±13V 左右）。数值由面板右边的电压表窗读出。

只要依次扳动 S1、S2 的不同位置即能达到上述要求。

(1) 若 S1 放在“正给定”位，扳动 S2 由“零”位到“给定”位即能获得 0V 突跳到正电压的信号，再由“给定”位扳到“零”位能获得正电压到 0V 的突跳；

(2) 若 S1 放在“负给定”位，扳动 S2，能得到 0V 到负电压及负电压到 0V 的突跳；

(3) S2 放在“给定”位，扳动 S1，能得到正电压到负电压及负电压到正电压的突跳。

**使用注意事项：给定输出有电压时，不能长时间短路，特别是输出电压较高时，否则容易烧坏限流电阻。**

### 1. 2. FBC+FA+FT（电流变送器与过流过压保护）：

此单元有三种功能：一是检测电流反馈信号，二是发出过流信号，三是发出过压信号。电路图为 1-2。

#### (1) 电流变送器

电流变送器适用于可控硅直流调速装置中，与电流互感器配合，检测可控硅变流器交流进线电流，以获得与变流器电流成正比的直流电压信号，零电流信号和过电流逻辑信号等。

电流互感器的输出接至输入 TA1, TA2, TA3，反映电流大小的信号经三相桥式整流电路整流后加至 9R1、9R2、VD7 及 RP1、9R3、9R20 组成的各支路上，其中：

- 9R2 与 VD7 并联后再与 9R1 串联，在其中点取零电流检测信号。
- 将 RP1 的可动触点输出作为电流反馈信号，反馈强度由 RP1 进行调节。
- 将可动触点 RP2 与过流保护电路相联，输出过流信号，可调节过流动作电流的大小。具体方法是：

将 FBC+FA 输出端 U, V, W 接入三相整流电路。整流输出接电机的电枢端，电动机不加励磁，调整流电路，即控制电压  $U_{ct}$  由给定器  $U_g$  直接接入，开关 S 拨向左边，主回路接入电阻  $R_d$  并调至最大（ $R_d$  由 MEL—03 的两只 900  $\Omega$  电阻并联）。逐渐增加给定电压，增加给定电压，减小主回路串接电阻  $R_d$ ，直

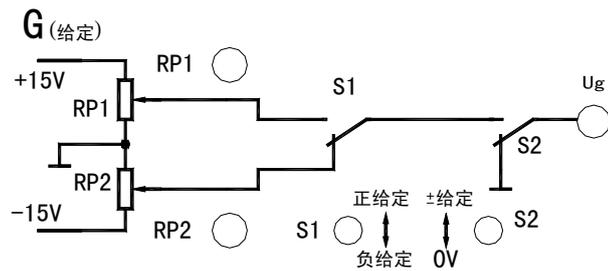


图1-1 给定原理图

至  $I_d = 1.1 I_{ed}$ ，再调节电流反馈电位器  $R_P$ ，使电流反馈电压  $U_{fi}$  近似等于  $+5V$ 。

### (2) 过流保护 (FA)

当主电路电流超过某一数值后 (2A 左右)，由 9R3, 9R20 上取得的过流信号电压超过运算放大器的反向输入端，使 D 触发器的输出为高电平，使晶体管 V 由截止变为导通，结果使继电器 K 的线圈得电，继电器 K 由释放变为吸引，它的常闭触点接在主回路接触器的线圈回路中，使接触器释放，断开主电路。并使发光二极管亮，作为过流信号指示，告诉操作者已经过流跳闸。

SA 为解除记忆的复位按钮，当过流动作后，如过流故障已经排除，则须按下以解除记忆，恢复正常工作。

### 1. 3. 零速封锁器 (DZS)

零速封锁器的作用是当调速系统处于静车状态，即速度给定电压为零，同时转速也确为零时，封锁调节系统中的所有调节器，以避免静车时各放大器零漂引起可控硅整流电路有输出使电机爬行的不正常现象。

它的总输入输出关系是：

(1) 当 1 端和 2 端的输入电压的绝对值都小于  $0.07V$  左右时，则 3 端的输出电压应为  $0V$ ；

(2) 当 1 端和 2 端的输入电压绝对值或者其中之一或者二者都大于  $0.2V$  时，其 3 端的输出电压应为  $-15V$ ；

(3) 当 3 端的输出电压已为  $-15V$ ，后因 1 端和 2 端的电压绝对值都小于  $0.07V$ ，使 3 端电压由  $-15V$  变为  $0V$  时，需要有  $100$  毫秒的延时。

3 端为  $0V$  时输入到各调节器反馈网络中的场效应管，使其导通，调节器反馈网络短路而被封锁，3 端为  $-15V$  时输入到上述场效应管使其夹断，而解除封锁。

**使用注意事项：3 端子正常情况下输出  $-15V$  左右的电压，避免其对地短接或将有源信号与其相联。防止 3 端因短路或过载导致输出电路损坏！**

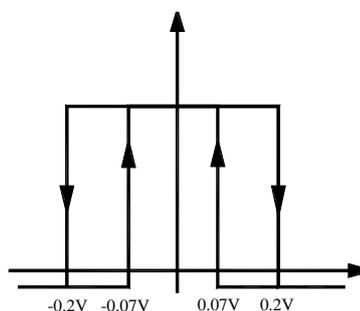


图1-4 电平检测器输入输出特性

### 1. 4. 电源输入输出端：

面板下部的 L1、L2、L3 三接线柱表示三相电源的输入，U、V、W 表示电源输出端。在进行实验时，调压器的输出端接到 L1、L2、L3，U、V、W 接到可控硅或电机，在 L1、U，L2、V，L3、W 间接有电流互感器，L1、L2 间接有电压互感器，当电流过大或电压过高时，过流保护和过压保护动作。

使用注意事项：接到可控硅的电压必须从U、V、W引出，否则过流保护和过压保护不起作用。

### 1. 5. FBS（速度变换器）

速度变换器（FBS）用于转速反馈的调速系统中，将直流测速发电机的输出电压变换成适用于控制单元并与转速成正比的直流电压，作为速度反馈。

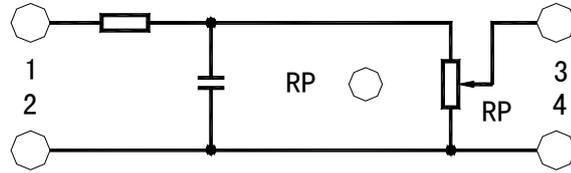


图1-5 速度变换器

其原理图如图 1—5 所示。

使用时，将测速发电机的输出端接至速度变换器的输入端 1 和 2。分两路输出。

- (1) 一路经电位器 RP2 至转速表，转速表(0-±2000n/s)已装在电机导轨上。
- (2) 另一路经电阻及电位器 RP，由电位器 RP 中心抽头输出，作为转速反馈信号，反馈强度由电位器 RP 的中心抽头进行调节，由电位器 RP 输出的信号，同时作为零速封锁反映转速的电平信号。

元件 RP 装在面板上。

### 1. 6. ASR（速度调节器）

速度调节器 ASR 的功能是对给定和反馈两个输入量进行加法，减法，比例，积分和微分等运算，使其输出按某一规律变化。

它由运算放大器，输入与反馈网络及二极管限幅环节组成。其原理图如图

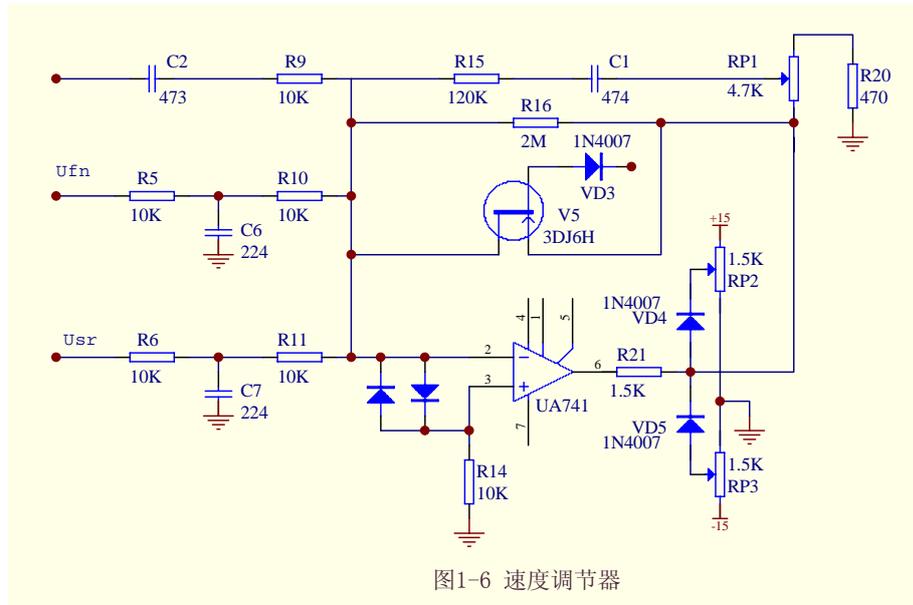


图1-6 速度调节器

1-6 所示。

速度调节器采用电路运算放大器，它具有两个输入端，同相输入端和倒相输入端，其转速调节器 ASR 也可当作电压调节器 AVR 来使用，输出电压与两个输入端电压之差成正比。电路运算放大器具有开环放大倍数大，零点漂移小，线性度好，输入电流极小，输出阻抗小等优点，可以构成理想的调节器。图 1-7 中，由二极管 VD4，VD5 和电位器 RP2，RP3 组成正负限幅可调的限幅电路。由 C2，R9 组成反馈微分校正网络，有助于抑制振荡，减少超调，R15，C1 组成速度环串联校正网络。场效应管 V5 为零速封锁电路，当 4 端为 0V 时 VD5 导通，将调节器反馈网络短接而封锁，4 端为 -13V 时，VD5 夹断，调节器投入工作。RP1 为放大系数调节电位器。

元件 RP1，RP2，RP3 均安装在面板上。电容 C1 两端在面板上装有接线柱，电容 C2 两端也装有接线柱，可根据需要外接电容。

**注意事项：**在调整调节器是要记住将 ASR “4” 端与 DZS 的 “3” 端相连，否则调节器不能正常工作。

## 1. 7. ACR（电流调节器）

电流调节器适用于可控制传动系统中，对其输入信号（给定量和反馈量）时进行加法、减法、比例、积分、微分，延时等运算或者同时兼做上述几种运算。以使其输出量按某种预定规律变化。它是由下述几部分组成：运算放大器，两极管限幅，互补输出的电流放大级、输入阻抗网络、反馈阻抗网络等。

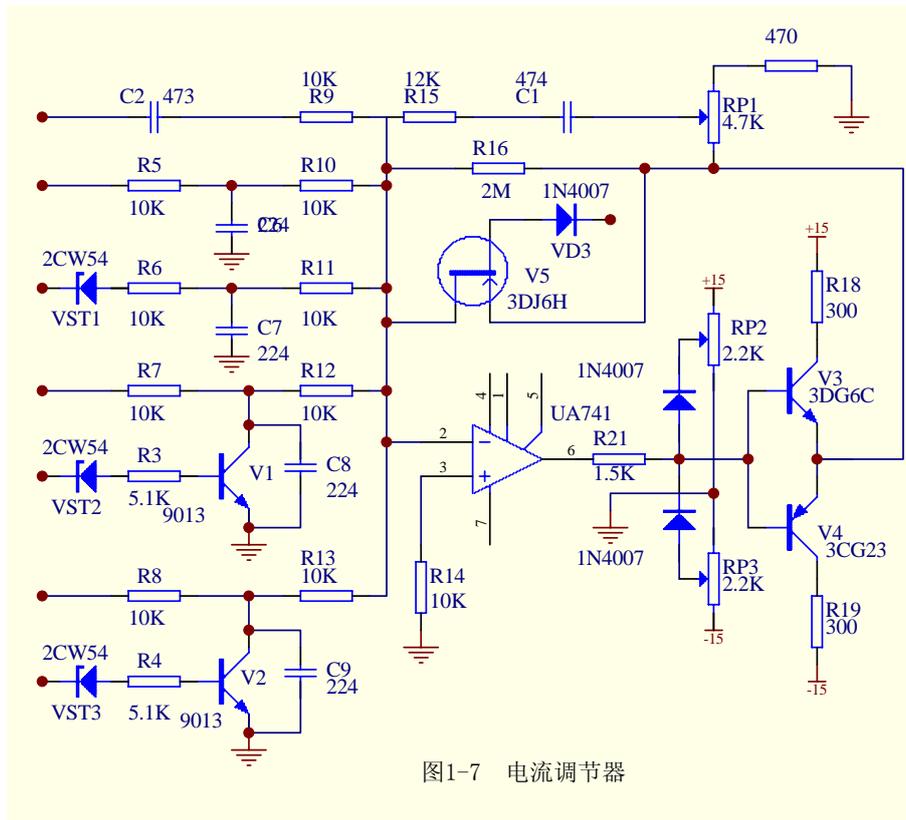


图1-7 电流调节器

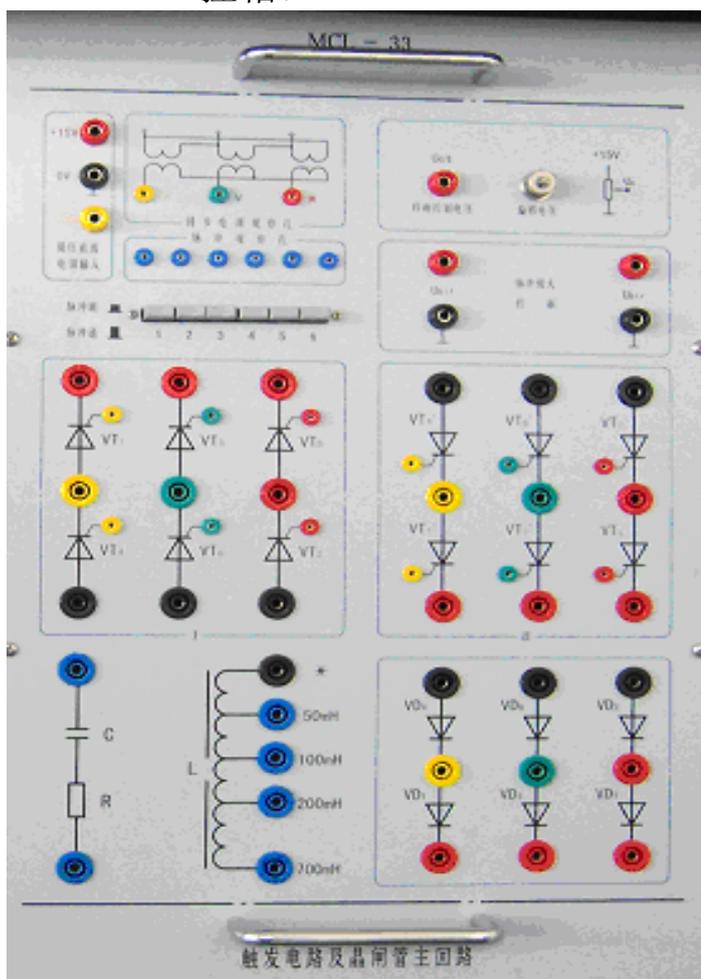
电流调节器与速度调节器相比，增加了4个输入端，其中2端接过流推 $\beta$ 信号，来自电流变换器的过流信号 $U_\beta$ ，当该点电位高于某值时，VST1击穿，正信号输入，ACR输出负电压使触发电路脉冲后移。 $U_z$ 、 $U_F$ 端接逻辑控制器的相应输出端，当这二端为高电平时，三极管V1、V2导通将 $U_{gt}$ 和 $U_{gi}$ 信号对地短接，用于逻辑无环流可逆系统。

晶体管 $V_3$ 和 $V_4$ 构成互补输出的电流放大级，当 $V_3$ 、 $V_4$ 基极电位为正时， $V_4$ 管（PNP型晶体管）截止， $V_3$ 管和负载构成射极跟随器。如 $V_3$ 、 $V_4$ 基极电位为负时， $V_3$ 管（NPN型晶体管）截止， $V_4$ 管和负载构成射极跟随器。接在运算放大器输入端前面的阻抗为输入阻抗网络。改变输入和反馈阻抗网络参数，就能得到各种运算特性。

元件RP1、RP2、RP3装在面板上，C1、C2的数值可根据需要，由外接电容来改变。

**注意事项：**在调整调节器是要记住将ASR“4”端与DZS的“8”端相连，否则调节器不能正常工作。

## 2. MCL-33 挂箱:



MCL—33 由脉冲控制及移相，双脉冲观察孔，一组可控硅，二组可控硅及二极管，RC 吸收回路，平波电抗器 L 组成。

本实验台提供相位差为  $60^\circ$ ，经过调制的“双窄”脉冲（调制频率大约为 3~10KHz），触发脉冲分别由两路功放进行放大，分别由  $U_{b1r}$  和  $U_{b1f}$  进行控制。当  $U_{b1f}$  接地时，第一组脉冲放大电路进行放大。当  $U_{b1r}$  接地时，第二组脉冲放大电路进行工作。脉冲移相由  $U_{ct}$  端的输入电压进行控制，当  $U_{ct}$  端输入正信号时，脉冲前移， $U_{ct}$  端输入负信号时，脉冲后移，移相范围为  $10^\circ$ — $160^\circ$ 。偏移电压调节电位器 RP 调节脉冲的初始相位，不同的实验初始相位要求不一样。

双脉冲观察孔输出相位差为  $60^\circ$  的双脉冲，同步电压观察孔，输出相电压为 30V 左右的同步电压，用双踪示波器分别观察同步电压和双脉冲，可比较双脉冲的相位。

**使用注意事项：**单双脉冲及同步电压观察孔在面板上俱为小孔，仅能接示波

器，不能输入任何信号。为了使电路正常工作不要忘记+15V；地；-15V与MCL-18对应相连。

### 2. 1. 脉冲控制。

面板上部的六档直键开关控制接到可控硅的脉冲，1、2、3、4、5、6 分别控制可控硅 VT1、VT2、VT3、VT4、VT5、VT6 的触发脉冲，当直键开关按下时，脉冲断开，弹出时脉冲接通。

2. 2. 一桥可控硅由六只 5A800V 组成。

2. 3. 二桥可控硅由六只 5A800V 构成，另有六只 5A800V 二极管。

2. 4. RC 吸收回路可消除整流引起的振荡。当做调速实验时需接在整流桥输出端。平波电抗器可作为电感性负载电感使用，电感分别为 50mH、100mH、200mH、700mH，在 1A 范围内基本保持线性。

**使用注意事项：外加触发脉冲时，必须切断内部触发脉冲。**

## 3. MCL—34 挂箱：

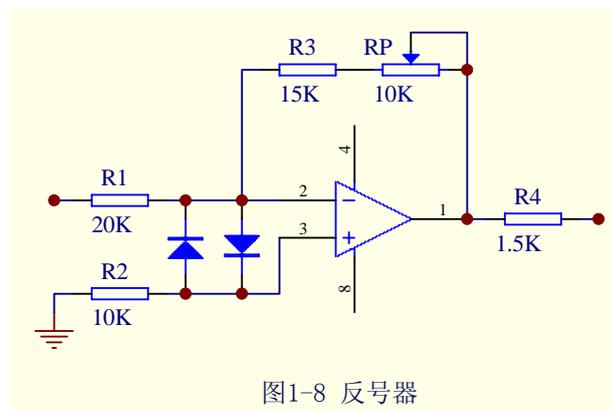
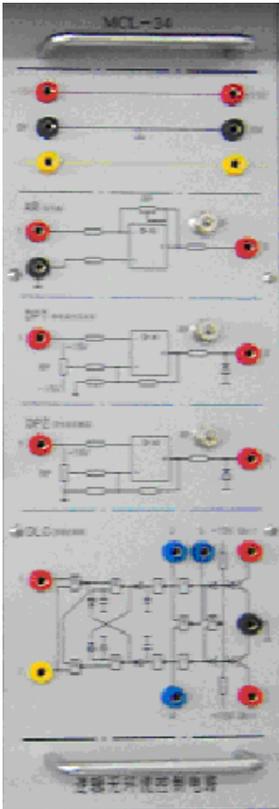


图1-8 反号器

MCL—34 为逻辑无环流可逆直流调速专用挂箱。由 AR(反号器)、DPT (转矩器性鉴别器)、DPZ (零电流检测器)、DLC(逻辑控制器) 构成。

### 3. 1. AR (反号器)

反号器 AR 由运算放大器及有关电阻组成，如图 1-8 所示。用于调速系统中

信号需要倒相的场合。

反号器的输入信号由运算放大器的反相端接入，故输出电压为

$$U_{SC} = -(R_P + R_3) / R_1$$

调节  $R_P$  的可动触点，可改变  $R_P$  的数值，使  $R_P + R_3 = R_1$ ，则  $U_{SC} = -U_{SR}$ ，输入与输出成倒相关系。元件  $R_P$  装在面板上。

### 3.2. DPT (转矩极性鉴别器)

转矩极性鉴别器为一电平检测器，用于检测控制系统中转矩极性的变化；它是一个模数转换器，可将控制系统中连续变化的电平转换成逻辑运算所需的“0”、“1”状态信号。其原理图如图1—9 (a)所示。转矩极性鉴别器的输入输出特性如图1—9 (b)所示，具有继电器特性。调节同相输入端电位器可以改变继电器特性相对于零点的位置。特性的回环宽度为

$$U_k = U_{sr2} - U_{sr1} = K_1 (U_{scm2} - U_{scm1})$$

式中  $K_1$  为正反馈系数， $K_1$  越大，则正反馈越强，回环宽度就越大， $U_{sr2}$  和  $U_{sr1}$  分别为输出由正翻转到负及由负翻转到正所需的最小输入电压； $U_{scm2}$  和  $U_{scm1}$  分别为正向和负向饱和输出电压。

逻辑控制系统中的电平检测环宽一般取  $0.2 \sim 0.6V$ ，环宽大时能提高系统抗干扰能力，但环太宽时会使系统运作迟钝。

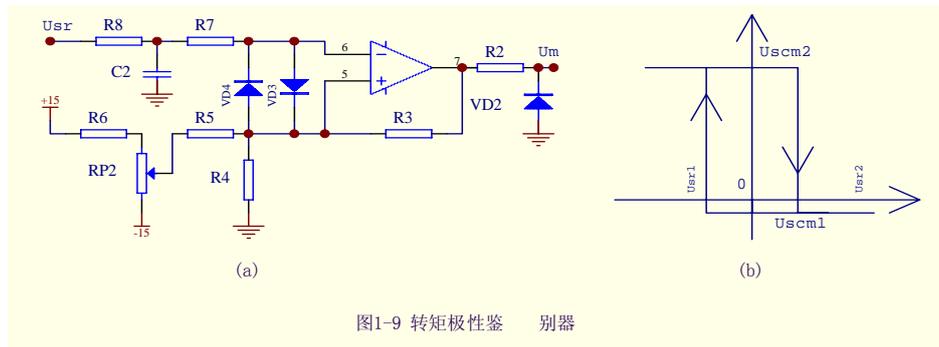


图1-9 转矩极性鉴别器

### 3.3. DPZ (零电流检测器)

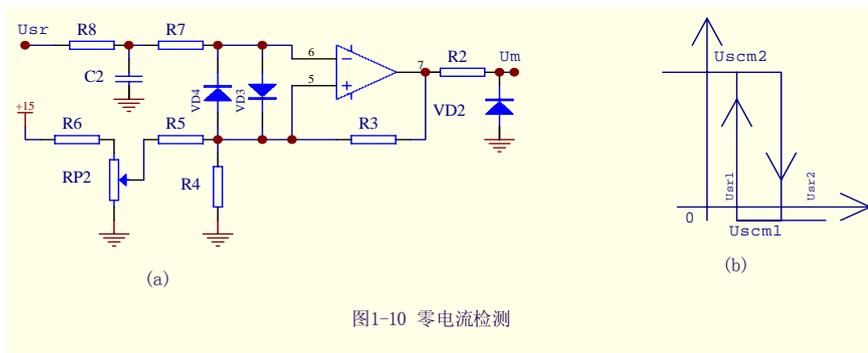


图1-10 零电流检测

零电流检测器也是一个电平检测器，其工作原理与转矩极性鉴别器相同，在控制系统中进行零电流检测，其原理图和输入输出特性分别如图 1-10 (a) 和 1-10 (b) 所示。

### 3.4. DLC (逻辑控制器)

逻辑控制器适用于直流电动机可控硅无环流反并联供电的调压调速系统中，它对转矩极性指令和主回路零电流信号进行逻辑运算，切换加于正组桥或反组桥可控硅整流装置上的触发脉冲。逻辑电路除了功率输出级外，全部采用 CMOS 集成化与非门电路组成。对于与非门电路来说，只有当输入端全部为“1”信号（高电平）时，其输出才为零（低电平）；只要输入端中任一个“0”信号，其输出便为“1”信号。

其原理图如图 1-11 所示。DLC 主要由逻辑判断电路，延时电路，逻辑保护电路，推β环节等组成。

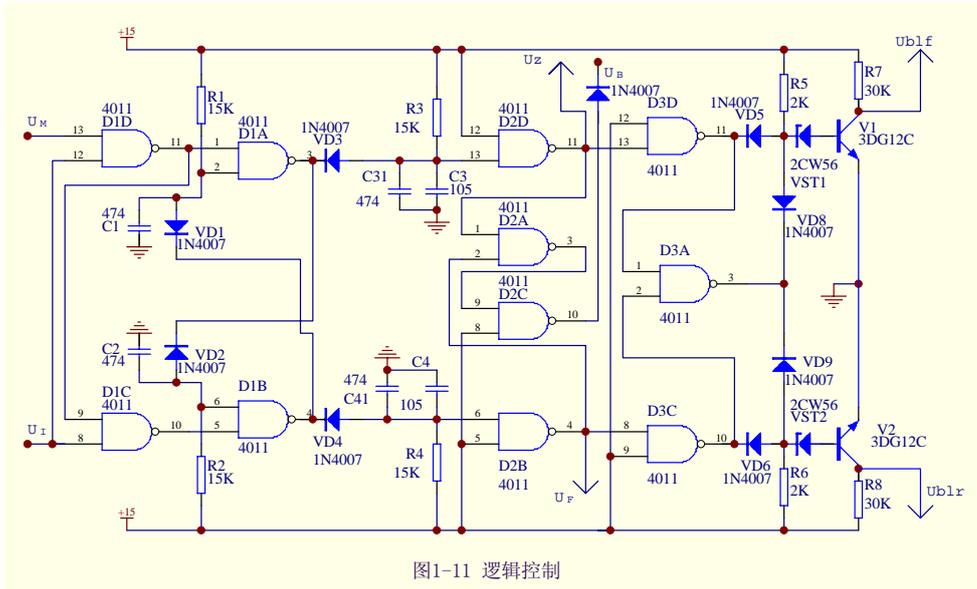


图1-11 逻辑控制

A. 逻辑判断环节 逻辑判断环节的任务是根据转矩极性电平检测器和零电流电平检测器的输出  $U_M$  和  $U_I$  状态，正确地判断晶闸管的触发脉冲是否需要切换（由  $U_M$  是否变换状态决定）及切换条件是否具备（由  $U_I$  是否由“0”态变“1”态决定）。即当  $U_M$  变换后，零电流检测器检测到主电路电流过零（ $U_I = “1”$ ）时，逻辑判断电路立即翻转，同时应保证在任何时刻逻辑判断电路的输出  $U_Z$  和  $U_F$  状态必须相反。

B. 延时环节要使正、反两组整流装置安全，可靠地切换工作，必须在逻辑无环流系统中逻辑判断电路发出切换指令  $U_Z$  或  $U_F$  后，经关断等待时间  $t_1$  (3ms) 和触发等待时间  $t_2$  (10ms) 之后才能执行切换指令，故设置相应的延时电路，电路中  $VD_1$ 、 $C_1$ 、 $VD_2$ 、 $C_2$  起  $t_1$  的延时作用， $VD_3$ 、 $C_3$ 、 $VD_4$ 、 $C_4$  起  $t_2$  的延时作

用。

C. 逻辑保护环节 逻辑保护环节也称多一保护环节。当逻辑电路发生故障时，UZ、UF 的输出同时为”1”状态，逻辑控制器两个输出端 Ublr 和 Ublf 全为”0”状态，造成两组整流装置同时开放，引起短路环流事故。加入逻辑保护环节后，当 UZ、UF 全为”1”状态时，使逻辑保护环节输出”A”点电位变为”0”，使 Ublf 和 Ublr 都为高电平，两组触发脉冲同时封锁，避免产生短路环流事故。

D. 推β环节 在正，反桥切换时，逻辑控制器中 D2:10 输出”1”状态信号，将此信号送入 ACR 的输入端作为脉冲后移推β指令，从而可避免切换时电流的冲击。

E. 功率放大输出环节。

由于与非门输出功率有限，为了能可靠推动脉冲门 I 或 II，故加了由 V1 和 V2 组成的功率放大级，由逻辑信号  $U_{LK1}$  或  $U_{LK2}$  进行控制，或为“通”，或“断”来控制触发脉冲门 I 或触发脉冲门 II。

#### 4. MCL05 挂箱：



MCL-05 挂箱为触发电路专用挂箱，其中有单晶体管，正弦波，锯齿波同步移相触

发电路。面板左上方装有同步变压器原边组的接线柱，下有“触发选择开关”，可根据需要选择“单结管”，“正弦波”，“锯齿波”等触发电路。

当外加同步电压 220V 为时，通过触发电路选择直键开关可选择输出至单结管触发电路，正弦波触发电路，锯齿波触发电路的同步电压分别为 60V，15，7V

#### 4.1. 单晶体管触发电路

由单晶体管 V3，整流稳压环节，及由 V1,V2 等组成的等效可变电阻等组成，其原理图如图 1-12 所示。

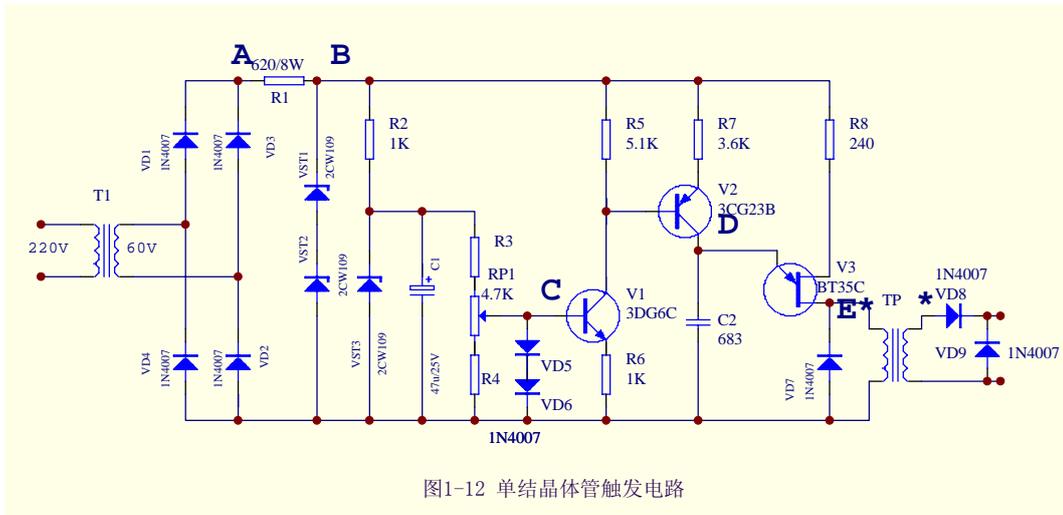


图1-12 单晶体管触发电路

由同步变压器副边输出 60V 的交流同步电压，经全波整流，再由稳压管 VST1, VST2 进行削波，而得到梯形波电压，其过零点与晶闸管阳极电压的过零点一致，梯形波通过 R7, V2 向电容 C2 充电，当充电电压达到单晶体管的峰点电压时，单晶体管 V3 导通，从而通过脉冲变压器输出脉冲。同时 C3 经 V3 放电，由于时间常数很小， $U_{c2}$  很快下降至单晶体管的谷点电压，V3 重新关断，C2 再次充电。每个梯形波周期，V3 可能导通，关断多次，但只有第一个输出脉冲起作用。电容 C2 的充电时间常数由等效电阻等决定，调节 RP3 的滑动触点可改变 V1 的基极电压，使 V1, V2 都工作在放大区，即等效电阻可由 RP1 来调节，也就是说一个梯形波周期内的第一个脉冲出现时候（控制角）可由 RP1 来调节。

元件 RP1 装有面板上，同步信号已在内部接好。

#### 4.2. 正弦波同步触发电路

正弦波同步触发电路由同步移相和脉冲形成放大等环节组成，其原理图如图 1-13 所示。

同步信号由同步变压器副边提供。晶体管 V1 左边部分为同步移相环节，在 V1 的基极上综合了同步信号  $U_T$ ，偏移电压  $U_b$  及控制电压  $U_{ct}$ ，RP2 可调节  $U_b$ ，

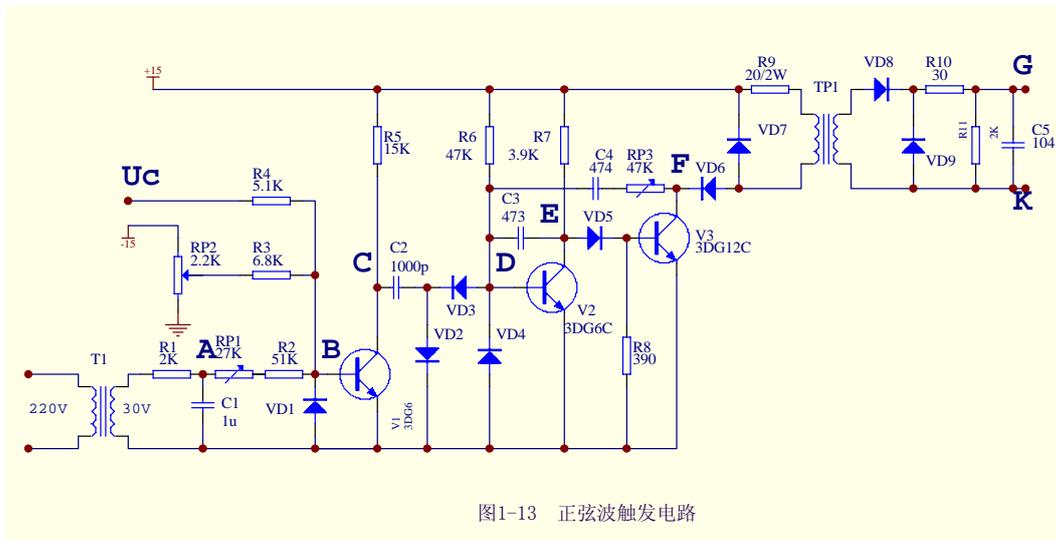


图1-13 正弦波触发电路

调节  $U_{ct}$  可改变触发电路的控制角。脉冲形成放大环节是一集基耦单稳态脉冲电路，V2 的集电极耦合到 V3 的基极，V3 的集电极通过 C4, RP3 耦合到 V2 的基极。当同步移相环节送出负脉冲时，使单稳电路翻转，从而输出脉宽可调的触发脉冲。

调节元件均装在面板上，同步变压器副边已在内部接好

### 4.3. 锯齿波同步移相触发电路

锯齿波同步移相触发电路由同步检测，锯齿波形成，移相控制，脉冲形成，脉冲放大等环节组成，其原理图如图 1-14 所示。

由 VD1, VD2, C1, R1 等元件组成同步检测环节，其作用是利用同步电压来控制锯齿波产生的时刻和宽度。由 VST1, V1, R3 等元件组成的恒流源电路及 V2, V3, C2 等组成锯齿波形成环节。控制电压  $U_{ct}$ ，偏移电压  $U_b$  及锯齿波电压在 V4 基极综合叠加，从而构成移相控制环节。V5, V6 构成脉冲形成放大环节，脉冲变压器输出触发脉冲。

元件 RP 装在面板上，同步变压器副边已在内部接好。

锯齿波触发电路一共有两组相同的电路，供单相整流电路实验用，只用时切记切断 MCL-33 上面的内部脉冲。每一组触发电路都有两路输出脉冲(主脉冲和辅助脉冲)，使用时一般使用主脉冲即；G1;K1, G3;K3。主脉冲和辅助脉冲不能同时使用。

## 5. MCL-07 挂箱



MCL-07 挂箱由 GTR 驱动电路、MOSFET 驱动电路、IGBT 驱动电路、PWM 发生器、主电路等部分组成。

5.1. GTR 电路：内含普通光耦、比较器、贝克箝位电路、GTR 功率器件、串并联缓冲电路、保护电路等。可对光耦的特性（延迟时间、上升时间、下降时间），贝克电路对 GTR 通、关断特性的影响，不同的串、并联电路对 GTR 开关的影响以及保护电路的工作原理进行研究和分析。

5.2. MOSFET 电路：内含高速光耦、比较器、推挽电路、MOSFET 功率器件

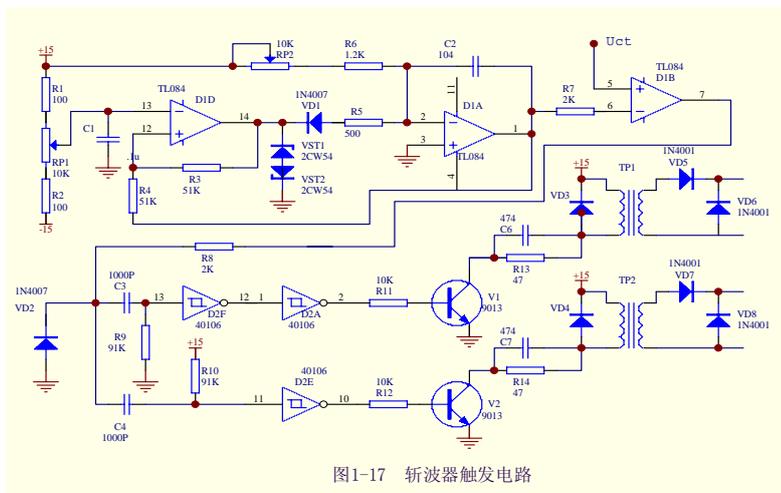


图1-17 斩波器触发电路

等。可对高速光耦、推挽驱动电路、MOSFET 的开启电压、导通电阻  $R_{ON}$ 、跨导  $g_m$ 、反向输出特性、转移特性、开关特性进行研究。

5.3. IGBT 电路：采用富士 IGBT 专用驱动芯片 EXB841，线路典型，外扩过流保护电路。可对 EXB841 的驱动电路各点波形以及 IGBT 的开关特性进行研究。

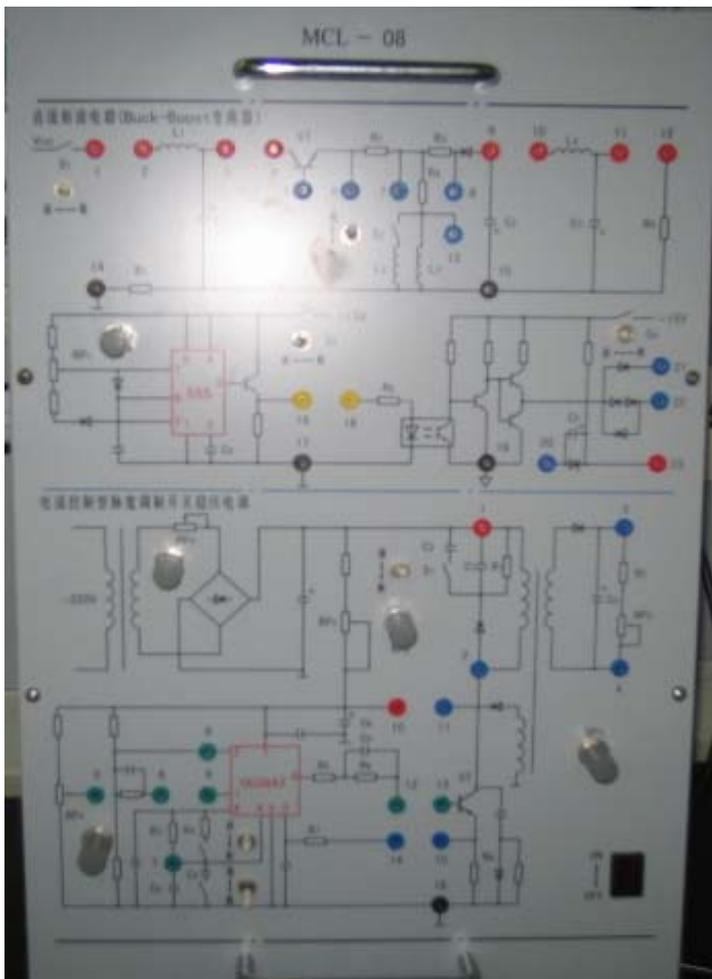
特点：

(1) 线路典型，注重对基本概念的了解，力求通过实验，使学生对自关断器件的特性有比较深刻的理解。

(2) 由于接线比较多，设计时充分考虑到学生实验时可能产生的误操作，保护功能完善，可靠性高。

使用注意事项：面板上有比较多的扭子开关控制电源，需注意扭子开关的通断。GTR 采用较低频率的 PWM 波形驱动，MOSFET、IGBT 采用较高的 PWM 波形驱动。由于接线头采用防转动叠插头，使用时需注意防转动叠插头导线的导通，以免观察不到波形。

## 6. MCL-08 挂箱



MCL-08 挂箱由直流变换电路（Buck-Boost 电路）和电流控制型脉宽调制开关稳压电源组成。

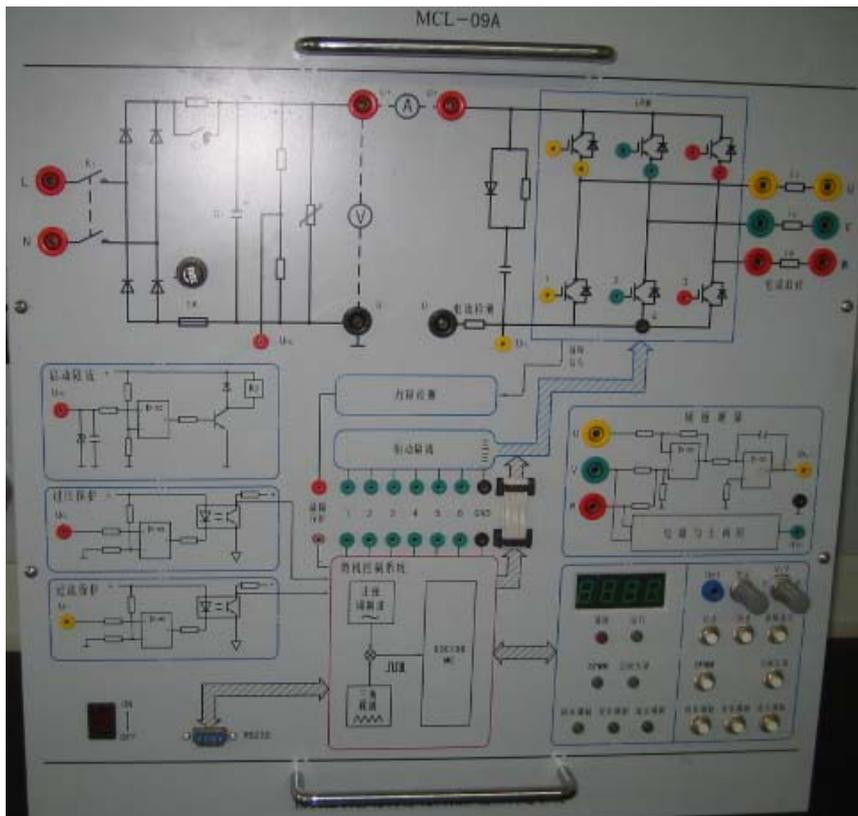
6.1. 直流转接电路：控制回路采用 555 波形发生器，由光耦进行隔离经过推挽电路驱动 GTR。555 产生波形的占空比可由电位器进行调节，频率约为 8K 左右。斩波电路主回路的功率器件采用 GTR（10A，800V），输入电压为 15V，输出电压为 7.5~30V 之内可调。

按流过电感 L 的电流在周期开始时是否从 0 开始，可分为连续或不连续工作状态两种模式。实验中，可分别观察两种模式下，电感电流  $i_L$ 、二极管电流  $i_{VD}$ 、GTR 电流  $i_{VT}$  等波形。

### 6.2. 开关电源

采用 UC3842 构成电流控制型脉宽调制开关稳压电源，通过实验使学生对开关电源的工作原理以及 UC3842 的应用有一定的了解，UC3842 脉宽调制器的具体说明可参见第二章的有关内容。

## 7. MCL-09 挂箱：



MCL—09 挂箱为电机变频调速专用挂箱，它由主回路和控制回路组成，现分别说明：

### 7.1. 主回路

主回路结构如下图。变频器为电压源 VSI 型，其中间直流环节采用大电容滤波，主回路整流电路采用桥式不控整流模块，电网电压经桥式整流后对直流母线上的滤波电容充电，串联限流电阻  $R_1$  是为限制过大的充电电流。若不用限流电阻，当系统合闸时会有相当大的充电电流，可能会烧毁滤波大电容和整流模块。不过，限流电阻也不是一直串联在回路中，只是在电容刚开始充电时进行限流，当电容两端的电压充到一定值时，继电器收合，把限流电阻  $R_1$  短路。

直流环节滤波电容为 2200MF / 450V，电路中电容  $C_2$ 、二极管 VD 和电阻  $R_4$  构成一个典型的吸收缓冲电路。主回路工作时，因为功率器件开关频率很高，开关动作时会在直流环节中产生电流突变，若直流环节存在电感，则可能在功率器件两端产生很大的尖峰电压，吸收缓冲电路的作用就是吸收消除此尖峰电压。

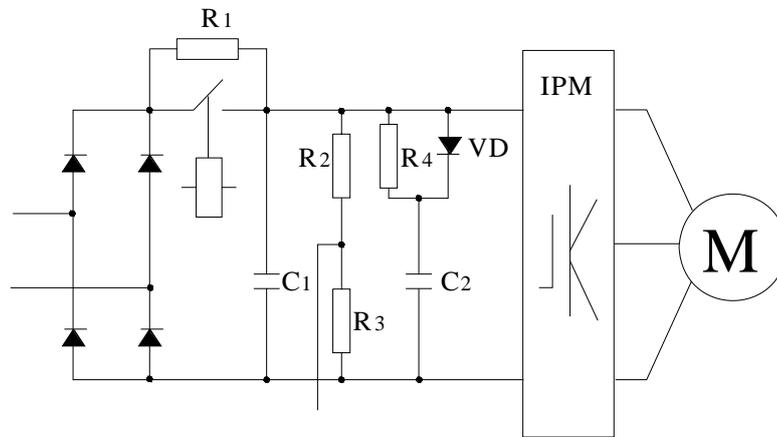


图1-18 变频调速主回路

电容电压的检测用电阻  $R_2$  和  $R_3$  分压进行检测，分别控制继电器 K 和过压保护电路。

功率器件采用三菱智能 IGBT 模块。内含过压、过流、过热保护，是一种新型的功率器件。具有驱动电路简单、可靠性高等优点。

电机采用三相鼠笼式异步电机、 $\Delta$  接法，功率为 120W，电压为 220V。

### 7.2. 控制回路

控制回路主芯片采用美国英特尔公司的电动机专用变频芯片 80C196MC，内含六路 PWM 输出，其低电平有效，可直接驱动隔离控制电路和驱动电路的光电耦合器，因此可直接用于控制三相逆变器中的六个主开关器件驱动级。

80C196MC 的具体说明可参考有关资料。

## 8. MEL—13 挂箱：



### · 涡流测功机

8.1 涡流测功机如图。实心圆盘与它的转轴由被试电动机驱动，磁极、励磁绕组、指针和转轴为一个整体，可以对机座支架左右偏转。当励磁绕组通过直流电流后，磁极产生的磁通，经气隙、钢盘，气隙回到相邻的磁极而闭合。被试电动机带动钢盘旋转切割磁力线，在钢盘中产生涡流，此涡流与磁场相互作用产生电磁转矩（制动转矩），则磁极将受到与此制动转矩大小相等方向相反的电磁转矩，使磁极顺电机旋转方向偏转一角度，并与平衡钟随之偏转而产生的转矩相平衡，于是指针在刻度盘上指示转矩值，改变励磁电流，即可改变制动转矩，而被试电动机负载也随之改变。

涡流测功机结构简单，调节方便，运行稳定，但输入钢盘的大部分由涡流损耗转换成热能，此热量主要散发在周围空气中，一部分被钢盘及轴承吸收，将使钢盘、轴承等温度升高。因此，涡流测功机运行时要采取散热措施。此外，当转速很小时制动转矩很小，所以涡流测功机不能测量低速电动机转矩和电机的堵转矩。

### 8.2. 加载及转矩测量

测功机是一台定、转子均可转动的异步电机。它既可以做异步电动机运行，也可以作测功机用。作为测功机用时，定子绕组施加直流电压产生恒定磁场，当被试电动机拖动异步电机旋转时，转子将产生制动性质的电磁转矩，异步电机处于制动状态。若在异步电机定子上配备测力装置，即可测得被试电动机输出转矩，该测功机的优点是无电刷以及不需要外接电阻负载。当改变施加在测功机上直流励磁电压时，电磁转矩就随着变化，即被试电动机的负载大小就发生改变。在测功机的下部安装一电阻应变式压力传感器，根据压力传感器输出力的大小即可得出力矩值。

### 8.3. 转速的测量

转速的测量可采用永磁直流测速发电机和光电编码器。测速发电机的优点是信号处理简单，但存在安装不方便、线性度、对称性较大的缺陷。本组件采用光电码盘，即在测功机的转轴上安装一光栅，两边各有一发射管和接收管，根据接收管收到的脉冲周期用单片机进行处理，即可测得转速。它具有和转轴无机械接触、安装方便、读数精度高等优点。

### 8.4. 导轨

导轨的作用是安装电机。为了实验时机组安装方便和快速的要求，被试电机均设计成相同的中心高。电机的底脚采用了与普通电机不同的特殊结构形式。在机组安装时，各电机之间通过联轴器同轴联接，被试电机的底脚安放在电机导轨上，只要旋紧两只底脚螺钉，不需做调整，就能准确保证各电机之间的同心度，达到快速安装的目的。

### 8.5. M-S 曲线测绘

电机的 M-S 曲线测绘指电机转速从 0~额定转速时，转矩和转速的曲线关系。由于交流电机存在不稳定区域，因而在转速开环情况下，当负载增大到超过最大转矩时，电机转速迅速下降，无法读出转速值。此时，必须利用转速反馈，根据转速的高低动态地调整加载的转矩，使电机能够在任何一个转速条件下稳定运行。

MCL—13 为测功机，图中各部件为：

◆转速表。电机系统教学实验台转速的测量是采用光电码盘，用单片机进行处理，计算脉冲的宽度，即可测得转速。较早的测速是采用永磁直流测速发电机，将测速发电机输出的电压通过限流电阻接到直流电流表上，就构成了测量

电机转速的转速表。

◆转速模拟量输出。将脉冲信号经过 D/A 转换，再进行滤波输出，幅值为  $0 \sim \pm 10V$ 。

◆示。测功机进行加载时，测功机的定子将反向偏转一角度，通过电阻应变式压力传感器测出力的大小，进行换算后，可显示转矩大小。

◆零电位器。

◆转矩模拟量输出。

◆“转矩控制”、“转速控制”选择开关。

◆“转速设定”电位器，可对电机转速进行控制，顺时针转到底，转速最高。

◆航空插座。与测功机相连，提供测功机所需的励磁电流以及转速、转矩反馈信号。

◆电源控制船形开关。

◆保险丝座。

◆突加突减负载开关。当开关往下扳时，电机处于空载状态，当开关往上扳时，负载的大小由“转矩设定”电位器和“转速设定”电位器进行控制。

◆“转矩设定”电位器

目前，实验台上加载采用两种方式：

(1) 自耦调压器的输出电压经过整流向测功机励磁绕组提供电流。通过改变自耦调压器的输出电压，也就改变了测功机励磁电流，从而改变输出转矩。

(2) 采用电流源控制。采用电流源控制后，易于实现转速的闭环调节，即使在电机转速的不稳定区域也能保持电机转速稳定，从而测出电机的 M—S 曲线，存在的缺点是对异步电机而言，存在较大的加载死区。操作方法为：

将电机导轨及测功机的信号线通过一塑料软管与 MEL-13 相连。MEL-13 挂件的电源和交流 220V 相连。

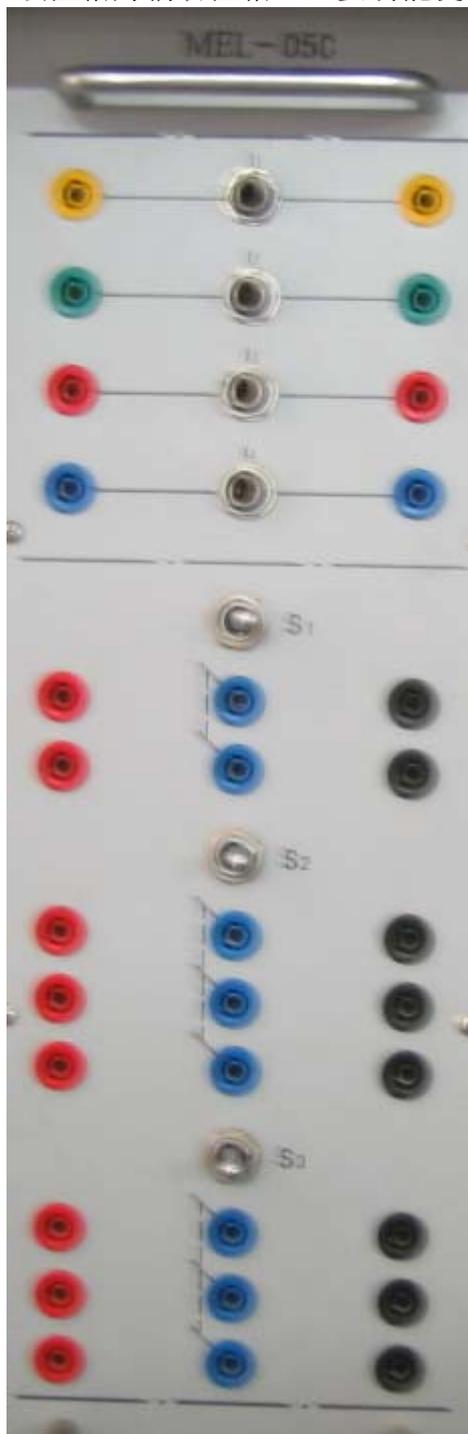
a. 将 MEL-13 的“转矩控制”、“转速控制”选择开关打向“转矩控制”，启动电机，则通过调节“转矩设定”电位器，即可方便地对被试电机进行加载试验。可分别从上下两个数显窗中读出转速和转矩值。逆时针旋到底，被试电动机的负载为零，顺时针转动，被试电动机负载增加。当需要测取电动机的堵转转矩时，可在测功机定子销紧孔中插入一根圆棒，将测功机定、转子销住，即可测取堵转转矩。

b. 将 MEL-13 的“转矩控制”、“转速控制”选择开关打向“转速控制”，则通过调节“转速设定”电位器，使电机可稳定地运行于任何一转速（最低转速为 300 转/分左右），从而可通过测量转矩、转速画出电机的 M~S 曲线。

**注意事项：测功机只能输出信号，不能外接输入。**

9. EL—05C 挂箱：

该挂箱为辅助挂箱，主要功能提供回路的电流检测插孔和开关的切换



10. MEL—03 MEL—04 MEL—09 挂箱：

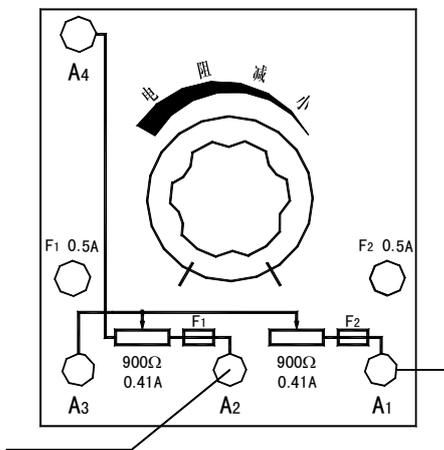


图13 电阻串联

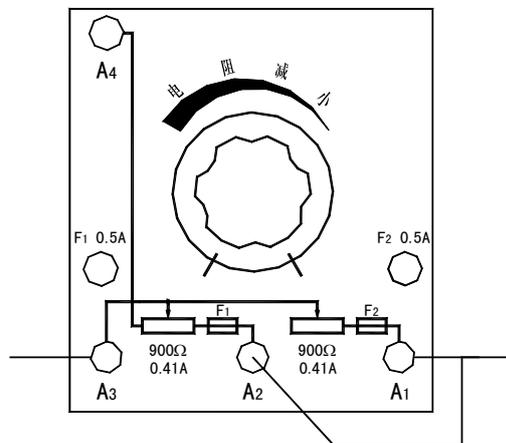


图14 电阻并联

三相可变电阻分 MEL-03、MEL-04 两种。

每相有两只电阻，每只电阻可调范围为  $0 \sim 900 \Omega$ （或  $0 \sim 90 \Omega$ ），允许电流为  $0.41A$ （或  $1.3A$ ）。两只电阻作为可变电阻使用时可有串联或并联两种联接方法，。串联接法如图 13 所示：将  $A_3$  接线柱不用， $A_1A_2$  两接线柱之间电阻可调

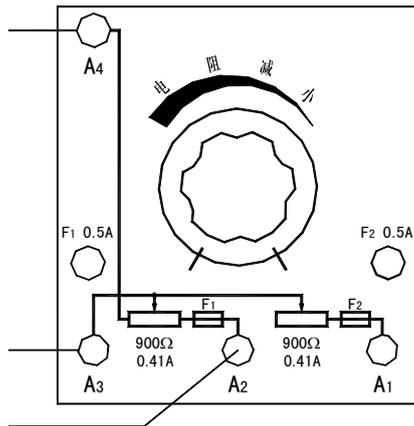


图15 电位器接法

范围为  $0 \sim 2 \times 900 \Omega$ 。并连接法如图 14 所示：将  $A_1$  与  $A_2$  短接。 $A_1A_3$  两接线柱之间电阻可调范围为  $0 \sim 900 \Omega / 2$ 。

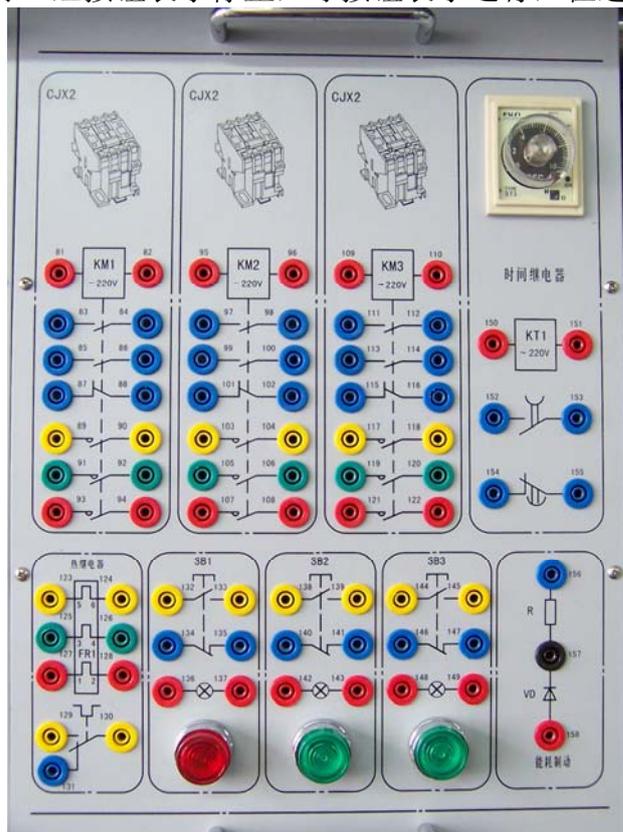
由于实验的需要，A 相两只电阻除了作可变电阻使用外，还可采用电位器接法做分压器用。例如他励直流电机励磁电压调节就是采用电位器接法。作分压器时可以单只使用，也可并联使用。如图 15 面板图所示，固定电压施加在  $A_2A_4$  端，而可变电压可以从  $A_3A_2$ （或  $A_3A_4$ ）端引出。

MEL-09 是直流电机启动专用电阻箱。

**注意事项：**每只电阻间串有熔断器，实验时应注意电流不可超过熔断器允许的最大电流值。电阻盘转动不要用力过猛，以免损坏电阻盘

## 11. EEL-10 挂箱

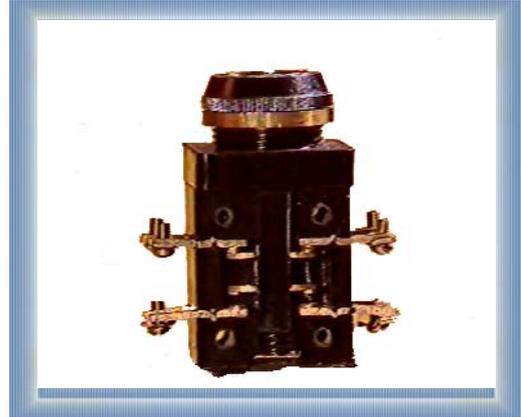
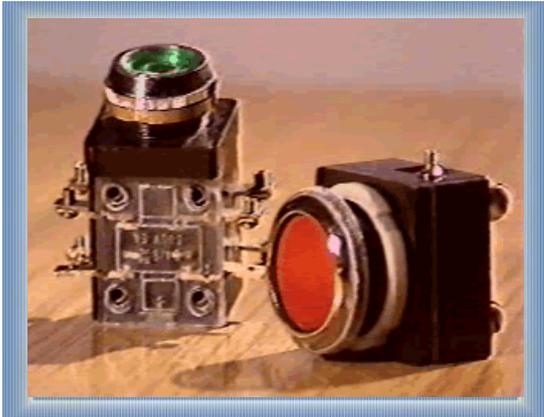
该挂箱主要用于继电控制实验，它由交流接触器；时间继电器；热继电器；按钮；能耗制动组成。各部分触点都连在面板的对应插孔上，实验时根据设计电路连接即可。红按钮表示停止，绿按钮表示运行，在选择时应注意。



EEL-10 挂箱面板图

以下是几种电器的外形图：

按钮(手动切换电器) SB，按钮常用于接通和断开控制电路



按钮(手动切换电器)实物图

接触器 KM 用于频繁地接通和断开大电流电路的开关电器



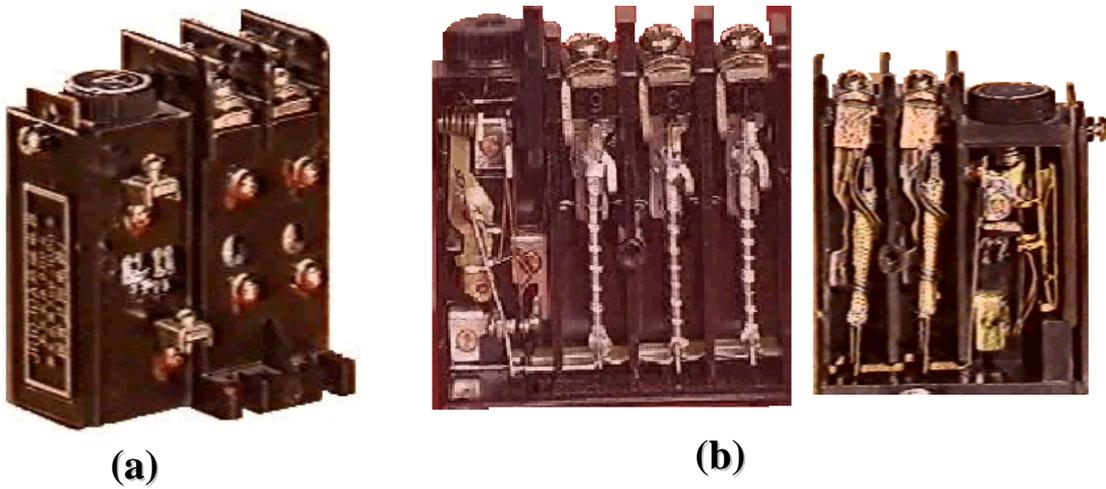
接触器实物图

中间继电器 KA，通常用于传递信号和同时控制多个电路，也可直接用它来控制小容量电动机或其他电气执行元件。



中间继电器实物图

热继电器 FR 用于电动机的过载保护



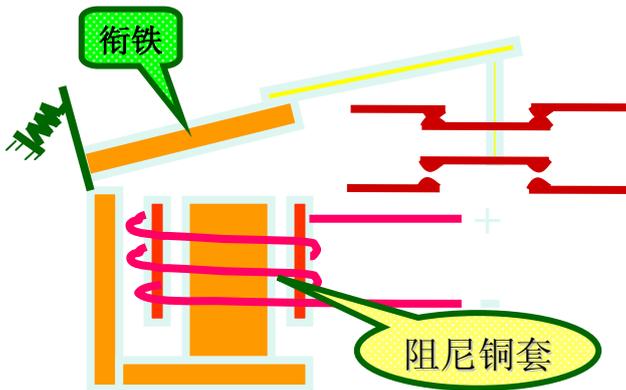
热继电器实物图

时间继电器是从得到输入信号(线圈通电或断电)起, 经过一段时间延时后才动作的继电器。适用于定时控制。

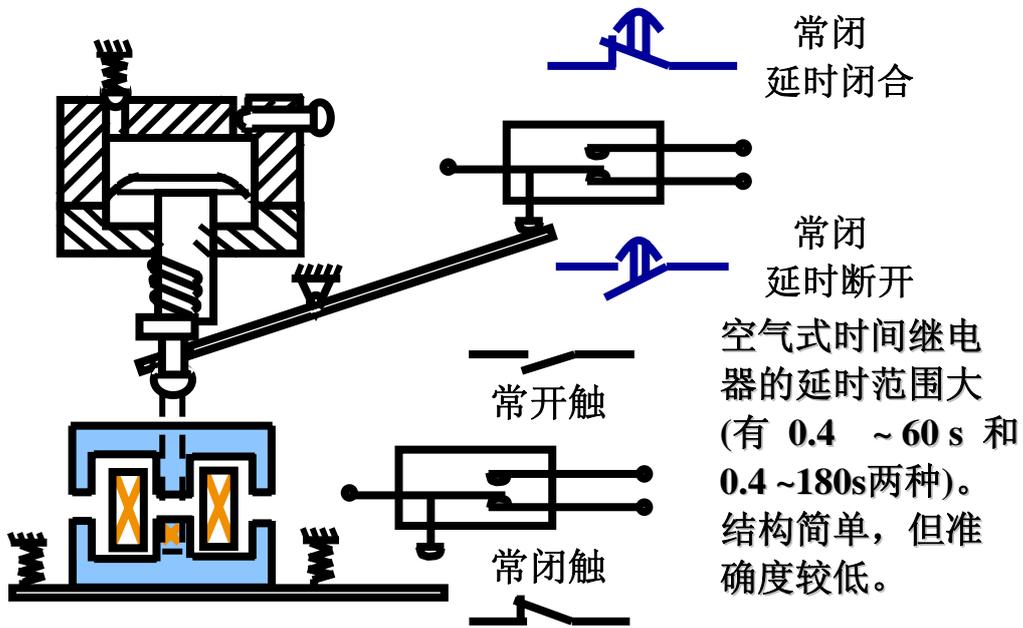
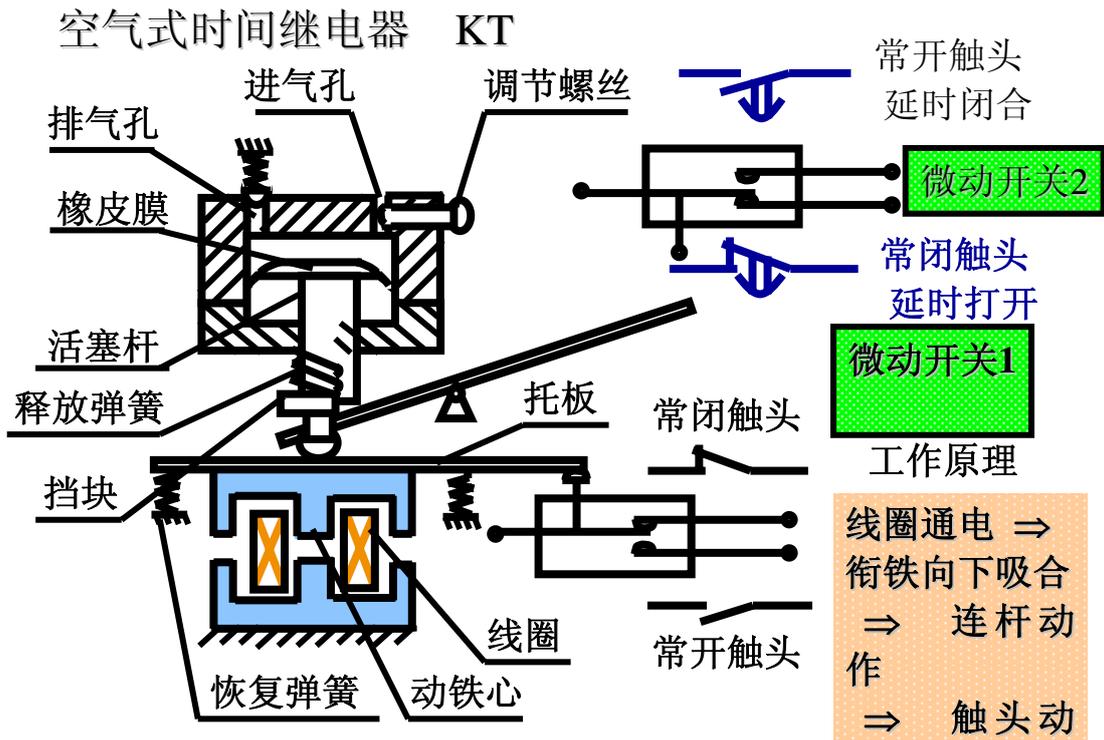
直流电磁式 时间继电器:

是从得到输入信号(线圈通电或断电)起, 经过一段时间延时后才动作的继电器。适用于定时控制

### (1)直流电磁式 时间继电器



**工作原理:** 当衔铁未吸合时, 磁路气隙大, 线圈电感小, 通电后激磁电流很快建立, 将衔铁吸合, 继电器触点立即改变状态。而当线圈断电时, 铁心中的磁通将衰减, 磁通的变化将在铜套中产生感应电动势, 并产生感应电流, 阻止磁通衰减, 当磁通下降到一定程度时, 衔铁才能释放, 触头改变状态。因此继电器吸合时是瞬时动作, 而释放时是延时的, 故称为断电延时。



# 自动空气断路器(空气开关)

可实现短路、过载、失压保护

