

# 电力电子技术

## 实验指导书

李宁 张文革 李斌 杨霞 编

长安大学电控学院

自动化与交通控制工程实验教学中心

2009 年 6 月

# 目 录

<b>第一章 MCL-II型教学实验台简介</b> .....	1
1.1 概    述 .....	1
一. MCL-II型教学实验台的特点 .....	1
二. MCL-II型教学实验台的技术参数 .....	2
三. MCL-II型教学实验台组件配置设备 .....	2
四. MCL-II型教学实验台能开设的实验 .....	4
1.2 《电力电子技术》课程实验所用设备 .....	5
一. MCL系列教学实验台主控制屏 .....	5
二. MCL-18 挂箱 .....	6
三. MCL-33 挂箱: .....	9
四. MCL-05 挂箱 .....	10
五. MCL06 使用说明 .....	14
六. MCL-07 挂箱 .....	15
七. MCL-08 挂箱 .....	16
八. MCL-11 挂箱: .....	17
<b>第二章 实验内容</b> .....	19
2.1 实验一 锯齿波同步移相触发电路的研究 .....	19
2.2 实验二 三相桥式全控整流电路的研究 .....	22
2.3 实验三 直流斩波电路的研究 .....	25
2.4 实验四 单相交流调压电路的研究 .....	29

# 第一章 MCL- II 型教学实验台简介

## 1.1 概 述

MCL- II 型教学实验台是自动化系针对《电机及拖动基础》、《电力电子技术》、《电力拖动自动控制系统》等课程实验购置的实验设备，其外观见图 1。



图 1 MCL- II 型教学实验台

### 一. MCL- II 型教学实验台的特点

1. 采用组件式结构，可根据不同内容进行组合，故结构紧凑，使用方便灵活，并且可随着功能的扩展只需增加组件即可，能在一套装置上完成《电力电子技术》、《电力拖动自动控制系统》等课程的主要实验。

2. 装置布局合理，外形美观，面板示意图明确，直观，学生可通过面板的示意查寻故障，分析工作原理。电机采用导轨式安装，更换机组简捷，方便，所采用的电机经过特殊设计，其参数特性能模拟 3KW 左右的通用实验机组，能给学生正确的感性认识。除实验控制屏外，还设置有实验用台，内可放置机组，实验组件等，并有可活动的抽屉，内可放置导线，工具等，使实验更方便。

3. 实验线路典型，配合教学内容，满足教学大纲要求。控制电路全部采用模拟和数字集成芯片，可靠性高，维修，检测方便。触发电路采用数字集成电路双窄脉冲。

4. 装置具有较完善的过流、过压、RC吸收、熔断器等保护功能，提高了设备的运行可靠性和抗干扰能力。

5. 面板上有多只发光二极管指示每一个脉冲的有无和熔断器的通断。触发脉冲可外加，也可采用内部的脉冲触发可控硅，并可模拟整流缺相和逆变颠覆等故障现象。

## 二. MCL-II型教学实验台的技术参数

- (1) 输入电源：  $\sim 380V$  10%  $50HZ \pm 1HZ$
- (2) 工作条件：环境温度：  $-5 \sim 40^{\circ}C$   
相对湿度：  $< 75\%$   
海 拔：  $< 1000 m$
- (3) 装置容量：  $< 1KVA$
- (4) 电机容量：  $< 200W$
- (5) 外形尺寸：长  $1600mm$   $\times$  宽  $700mm$  (长  $1300mm$   $\times$  宽  $700mm$ )

## 三. MCL-II型教学实验台组件配置设备

### 1. 实验机组：

- (1) 直流电动机：  $P_N=185W$ ,  $U_N=220V$ ,  $I_N=1.1A$ ,  $n=1500r/min$
- (2) 绕线式异步电机：  $P_N=100W$ ,  $U_N=220V$ ,  $I_N=0.55A$ ,  $n=1350r/min$
- (3) 直流复励发电机 M01：  $P_N=100W$ ,  $U_N=200V$ ,  $I_N=0.5A$ ,  $n=1500/min$
- (4) 三相笼型异步电动机 M04：  $P_N=100W$ ,  $U_N=220V$ ,  $I_N=0.48A$ ,  $n=1400/min$
- (5) 直流方波无刷电机 M15：  $P_N=40W$ ,  $U_N=36V$ ,  $I_N=1.3A$ ,  $n=1500/min$

### 2. 实验挂箱：

- (1) MCL-01 触发电路，电流互感器，电压互感器，过流保护，给定，电流反馈
- (2) MCL-02 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，晶闸管状态指示

- (3) MCL-03 速度变换器, 转速调节器, 电流调节器
- (4) MCL-04 反号器, 转矩极性鉴别器, 零电流检测器, 逻辑控制器.
- (5) MCL-05 单结晶体管, 正弦波, 锯齿波触发电路
- (6) MCL-06 单相并联逆变器, 斩波器
- (7) MCL-07 IGBT、VDMOS、GTR 电力电子器件实验箱
- (8) 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
- (9) 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
- (10) MCL-10 全桥 DC/DC 变换、直流脉宽调速系统实验箱
- (11) MCL-11 单相交流调压实验、单相正弦波 (SPWM) 逆变电路实验
- (12) MCL-12 电子模拟系统
- (13) MCL-13 采用 DSP 控制的变频调速实验箱
- (14) MCL-14 采用 DSP 控制的直流方波无刷电机调速实验箱
- (15) MCL-15 整流电路的有源功率因数校正实验箱
- (16) MCL-16 直流斩波电路 (升压斩波、降压斩波)、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
- (17) 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
- (18) MCL-20 给定, 触发电路, I 组晶闸管, 平波电抗器, RC 阻容吸收, 二极管三相整流桥
- (19) 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
- (20) MEL-11 电容箱
- (21) MEL-02 三相芯式变压器
- (22) 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)

### 3. 选配挂箱:

- (1) MEL—03 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。

#### **四. MCL-II 型教学实验台能开设的实验**

MCL-II 型教学实验台能开设“电机及拖动基础”、“电力电子技术”、“电力拖动自动控制系统”课程的主要实验。

## 1.2 《电力电子技术》课程实验所用设备

### 一. MCL 系列教学实验台主控制屏

MCL 系列教学实验台主控制屏外型见图 2：(a) 供电部分、(b) 仪表部分。



图 2 (a) MCL 系列教学实验台主控制屏供电部分



图 2 (b) MCL 系列教学实验台主控制屏仪表部分

供电部分由总电源开关、闭合按钮、断开按钮、交流电源输出调节旋钮、交流电压表、交流电源输出端点等组成。接通电源操作方法：接通总电源开关→按下闭合按钮→顺时针方向旋转交流电源输出调节旋钮，同时观察输出电压值，直至满足要求时止。断开电源操作方法：逆时针方向旋转交流电源输出调节旋钮，直至输出为零时止→按下断开按钮。

仪表部分由各种交流电压表、交流电流表、功率表等组成。可用来测量各种交流电压、电流等。

## 二. MCL—18 挂箱

MCL—18 挂箱由 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。我们主要使用给定和过流、过压保护部份。

### 1. G（给定）：

给定部分的外观见图 3（a），电路见图 3(b)。



图 3（a） 给定部分的外观

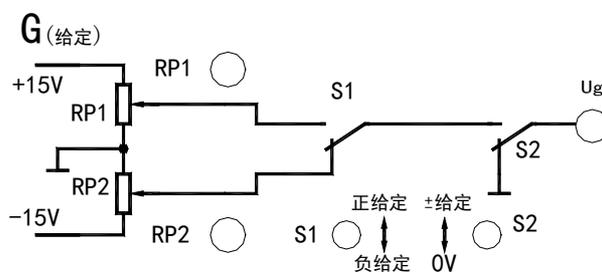


图 3(b) 给定部分的电路图

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)。数值由面板右边的数显窗读出。

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。

## 2. FBC+FA (电流反馈及过流过压保护)：

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。电流反馈及过流过压保护部分的外观见图 4 (a)，电路见图 4(b)。

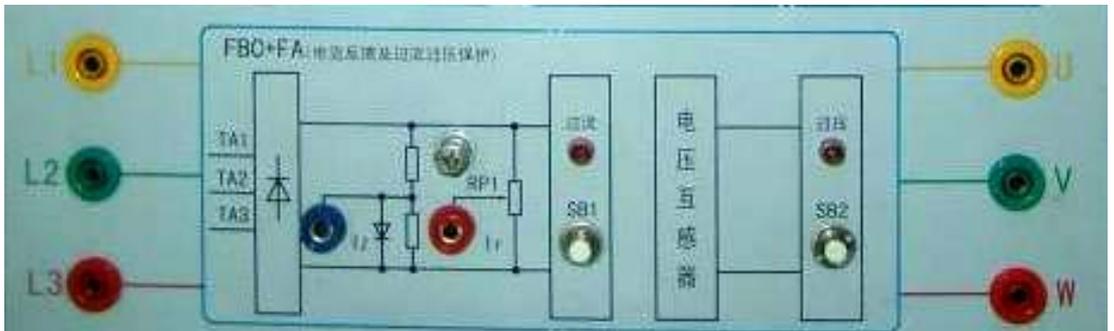


图 4 (a) 电流反馈及过流过压保护部分的外观

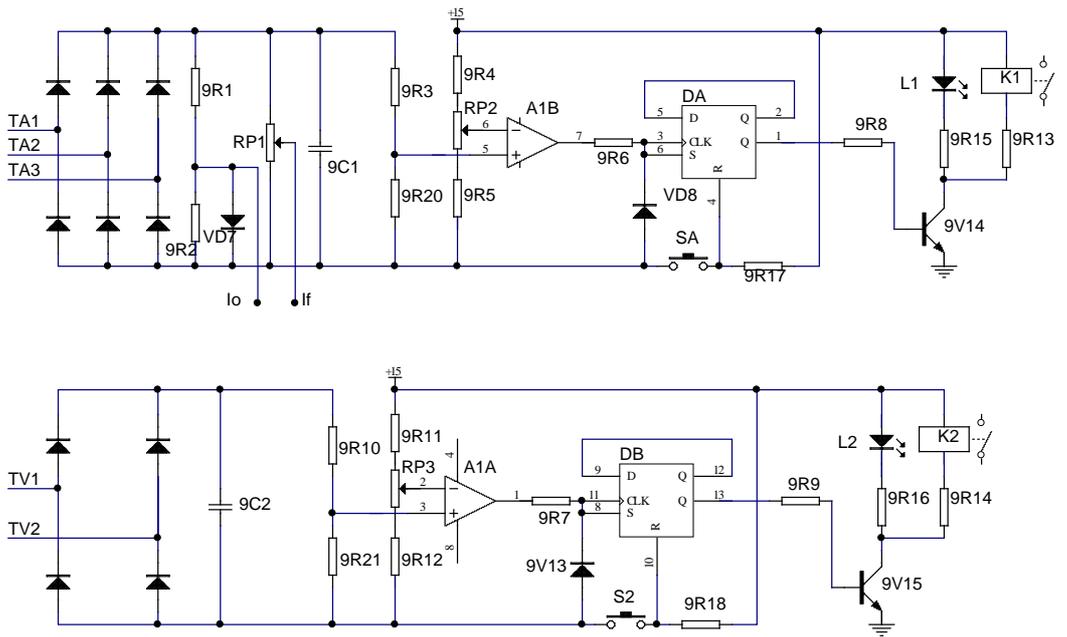


图 4(b) 电流反馈及过流过压保护部分的电路图

### (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。

### (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，使晶体三极管 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。

### (3) 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。

## 三. MCL-33 挂箱：

MCL—33 挂箱由脉冲控制及移相，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。其外观见图 5。

该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 Ublr 和 Ublf 进行控制。当 Ublf 接地时，第一组脉冲放大电路进行放大。当 Ublr 接地时，第二组脉冲放大电路进行工作。脉冲移相由 Uct 端的输入电压进行控制，当 Uct 端输入正信号时，脉冲前移，Uct 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。

### 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. 一桥可控硅由六只 5A、800V 组成。

3. 二桥可控硅由六只 5A、800V 构成，另有六只 5A、800V 二极管。

4. RC 吸收回路可消除整流引起的振荡。当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。

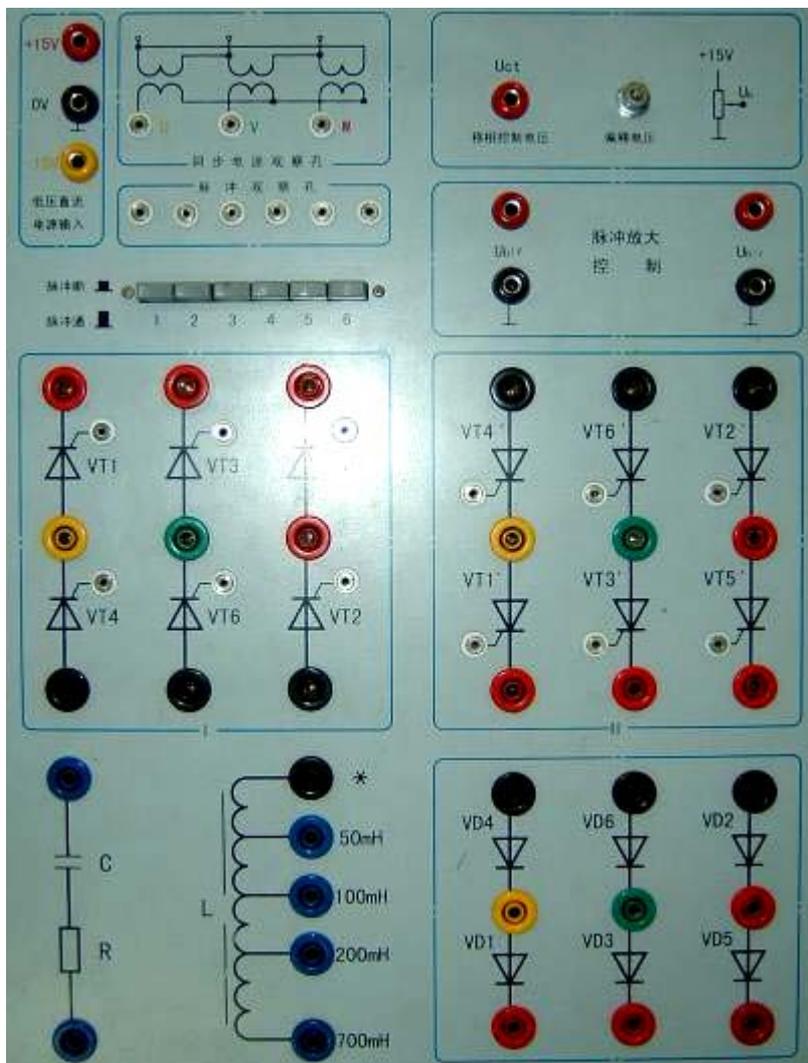


图 5 MCL—33 挂箱

#### 四. MCL-05 挂箱

MCL-05 挂箱为触发电路专用挂箱，其中有单结晶体管，正弦波，锯齿波同步移相触发电路。其外观见图 6。

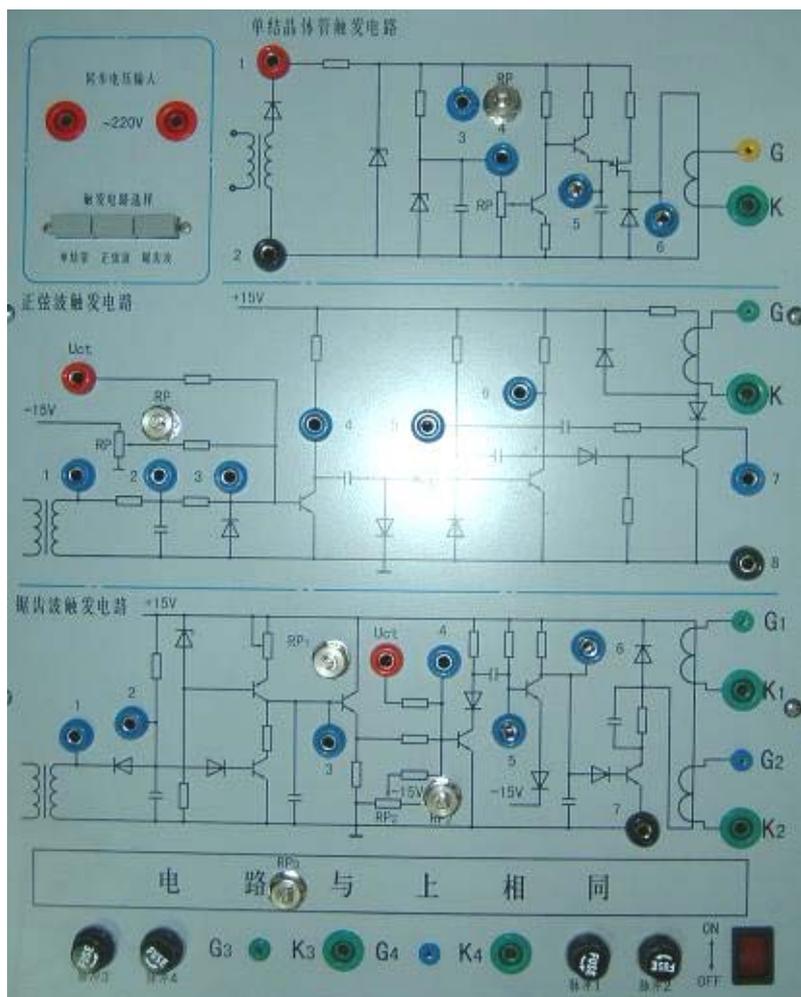


图6 单晶体管，正弦波，锯齿波同步移相触发电路

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“单晶体管”，“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晶体管触发电路，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。

### 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 7 所示。

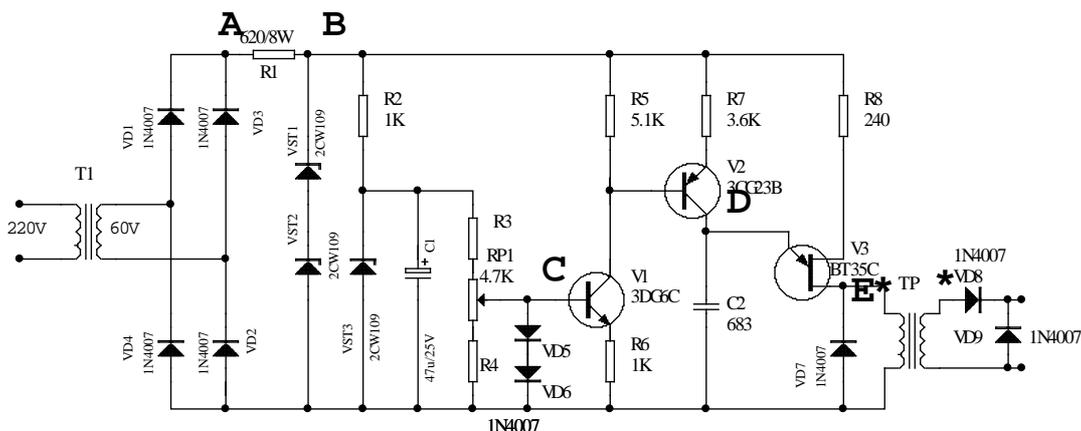


图 7 单结晶体管触发电路

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，当充电电压达到单结晶体管的峰点电压时，单结晶体管 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 装在面板上，同步信号已在内部接好。

## 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 8 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  $U_b$ ，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。

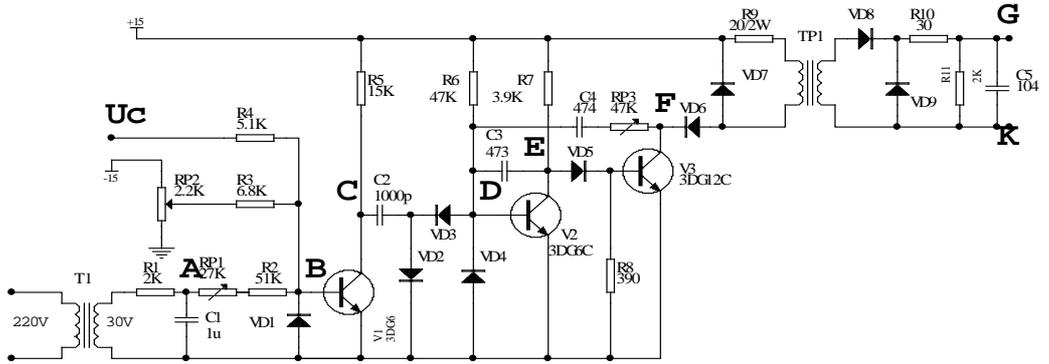


图 8 正弦波同步触发电路

### 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 9 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。

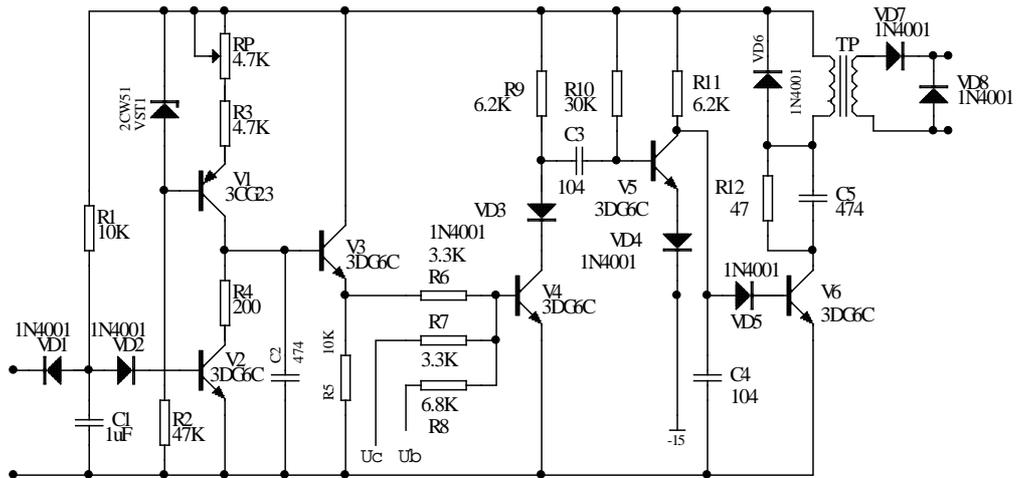


图 9 锯齿波同步移相触发电路

## 五. MCL06 使用说明

MCL06 为单相并联逆变和直流斩波器专用挂箱。

### 1. 单相并联逆变触发电路

以 555 集成时基电路为基础振荡电路，通过双 D 触发器二分频得到相位差  $180^\circ$

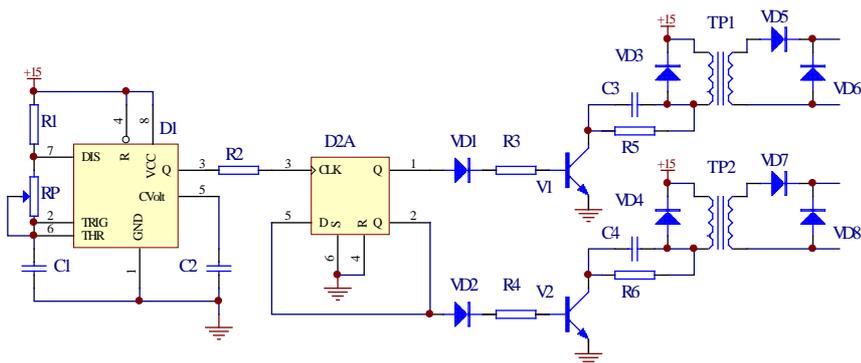


图1-15 单相并联逆变触发电路

的触发脉冲，经三极管 V1, V2 功率放大后交替触发主电路的两个晶闸管。振荡频率由电位器 RP 进行调节，555 的输出“3”接至 4013 的 CLK 端，输出为相位相差  $180^\circ$  的脉冲。

单相并联逆变触发电路原理图见图 1-15

### 2. 斩波器主电路

图 1—16 所示的是一脉宽可调的逆阻型斩波器，晶闸管 VT1 为主晶闸管，VT2 为辅助晶闸管，用来控制输出电压的脉宽，C 和 L1 组成换流振荡环节。

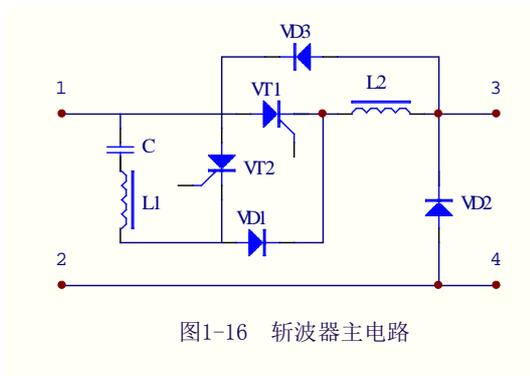


图1-16 斩波器主电路

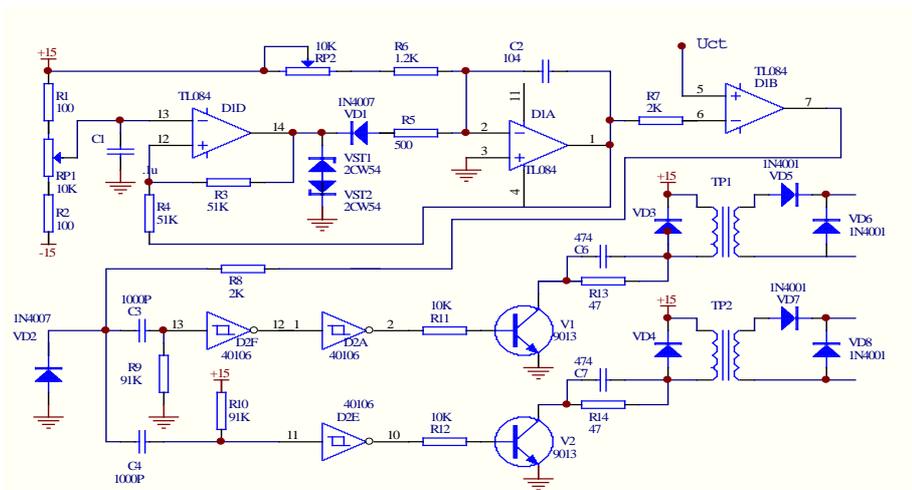


图1-17 斩波器触发电路

3.

### UPW (脉宽调制器)

脉宽调制器 UPW 的第一级为由幅值比较电路和积分电路组成的一个频率和幅值均可调的锯齿波发生器。电位器 RP2 用来调节锯齿波的幅值，电位器 RP1 用来调节锯齿波的频率。电路如图 1-17 所示。

由第二比较器产生的方波接至电路的输入端，则在方波的前沿和后沿分别产生两个脉冲，如图所示，其后沿脉冲随方波的宽度变化而移动，前沿脉冲相位则保持不变。将此两脉冲通过功放级送至面板上的主晶闸管和辅助晶闸管，其中前沿脉冲送主晶闸管 VT1，后沿脉冲送辅助晶闸管 VT2。

## 六. 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。

**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。

**2. MOSFET 电路：**内含高速光耦、比较器、推挽电路、MOSFET 功率器件等。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。

**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：

① 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。

② 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。

③ 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。

## 七. 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。

### 1. 直流转波电路：

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。

### 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。

## 八. MCL—11 挂箱:

MCL—11 挂箱分成两部分: 正弦波逆变电源和单相交流调压。

### 1. 正弦波逆变电源

正弦波逆变电源的功能是把直流电逆变成交流电。该实验电路框图如图 1—20。

由波形发生器产生一 50Hz、幅度可变的正弦波, 送入 SG3525 中的第 9 端, 和 3525 的第 5 脚 (为锯齿波) 比较后, 输出经调制 (调制频率约为 10kHz) 的 SPWM 波形, 经过倒相器反相后, 得到两路互为反相的 PWM 驱动信号, 分别驱动功率场效应管 VT1、VT2, 使 VT1、VT2 交替导通, 从而在高频变压器的副边得到一个 SPWM 波形, 经过 LC 滤波后, 得到一 50Hz 的正弦波, 幅度可通过电位器 RP 进行改变。

### 2. 单相交流调压电路

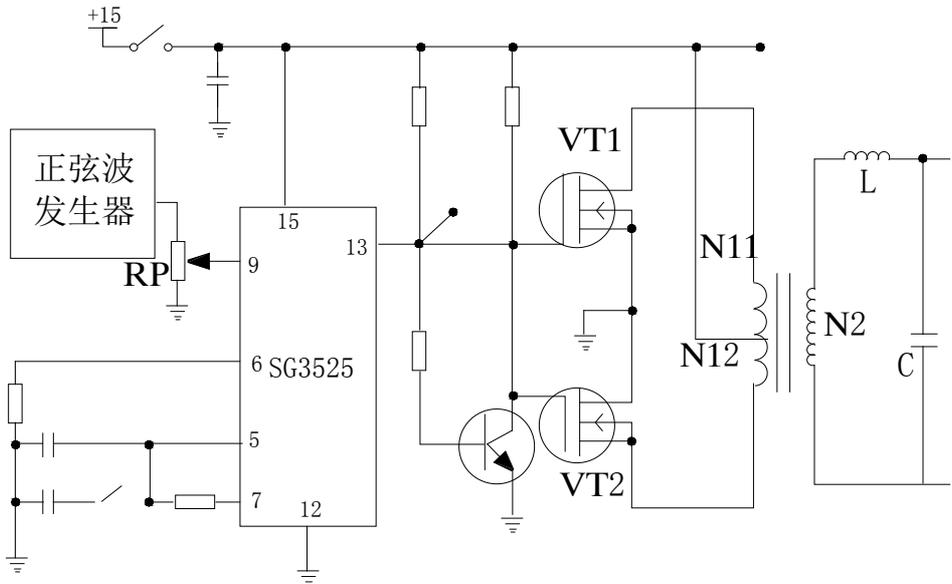


图1-20

采用自关断器件的单相交流调压电路和采用传统的可控硅组成的调压电路相比, 具有功率因数高、电网污染少、波形畸变小等优点。其原理框图如图 1—21。

输入交流电压为 220V, 经过同步变压器 T 后, 分别形成两路互为倒相的方波, 宽度为  $180^\circ$ , 分别对应正弦波的正半周和负半周, 由 3525 进行调制 (调制频率约为 2.5kHz) 后, 经过隔离及驱动电路, 分别驱动两路功率场效应管。

工作过程为：

当输入交流电处于正半波时，经调制制的方波信号施加于 VT2 的栅极和源极，VT1 的控制电压为 0V，交流电经 L、R、VT2、VD1 构成回路；

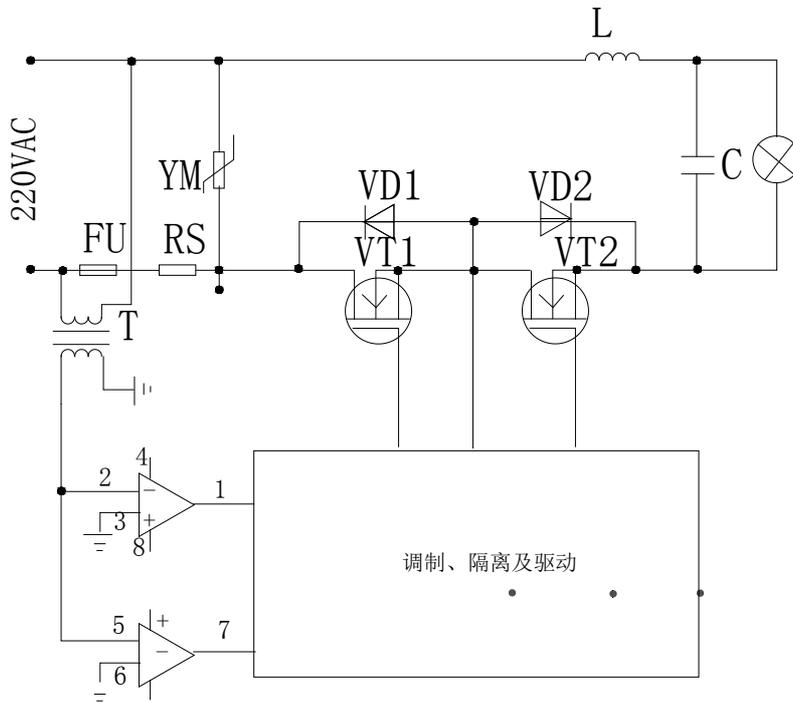


图1-21

当输入交流电处于负半周时，方波信号加于 VT1、VT2 控制电压为 0，交流电经过 VT1、VD2、R、L 构成回路，从而在 R 上得到一完整的经过调制的单相正弦波交流电，有效值通过调节脉冲的占空比进行改变。

## 第二章 实验内容

### 2.1 实验一 锯齿波同步移相触发电路的研究

#### 一. 实验目的

1. 加深理解锯齿波同步移相触发电路的工作原理及各元件的作用。
2. 掌握锯齿波同步触发电路的调试方法。

#### 二. 实验内容

1. 锯齿波同步触发电路的调试。
2. 锯齿波同步触发电路各点波形观察，分析。

#### 三. 实验线路及原理

锯齿波同步移相触发电路主要由脉冲形成和放大，锯齿波形成，同步移相等环节组成，其工作原理可参见“电力电子技术”有关教材。

#### 四. 实验设备及仪器

1. MCL 系列教学实验台主控制屏
2. MCL—18 组件
3. MCL—05 组件
4. 双踪示波器
5. 万用表

#### 五. 实验方法

1. 按图 2-1 连线。将 MCL-05 面板上左上角的同步电压输入接 MCL—18 的 U、V 端，“触发电路选择”拨向“锯齿波”。

2. 三相调压器逆时针调到底，合上主电路电源开关，调节主控制屏输出电压  $U_w=220V$ ，并打开 MCL—05 面板右下角的电源开关。用示波器观察各观察孔的电压波形，示波器的地线接于“7”端。要求：

①同时观察“1”、“2”孔的波形，了解锯齿波宽度和“1”点波形的关系。

②观察“3”~“5”孔波形及输出电压  $U_{G1K1}$  的波形，调整电位器 RP1，使“3”的锯齿波刚出现平顶，记下各波形的幅值与宽度，比较“3”孔电压  $U_3$  与  $U_5$  的对应

关系。

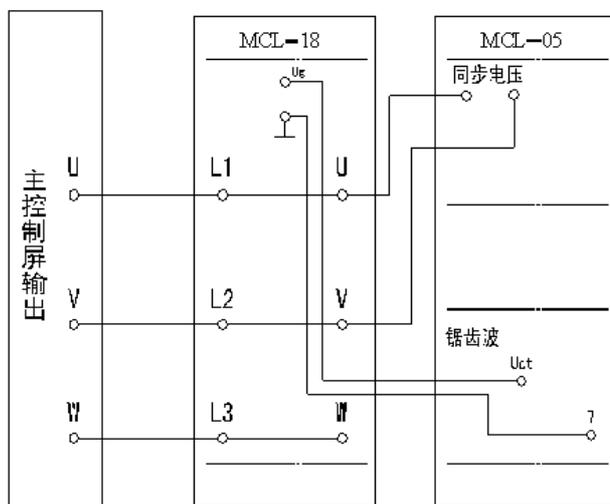


图 2-1

### 3. 调节脉冲移相范围

将 MCL—18 的“G”输出电压调至 0V，即将控制电压  $U_{ct}$  调至零，用示波器观察  $U_2$  电压（即“2”孔）及  $U_5$  的波形，调节偏移电压  $U_b$ （即调 RP），使  $\alpha=180^\circ$ ，其波形如图 2-2 所示。

调节 MCL—18 的给定电位器 RP1，增加  $U_{ct}$ ，观察脉冲的移动情况，要求  $U_{ct}=0$  时， $\alpha=180^\circ$ ， $U_{ct}=U_{max}$  时， $\alpha=30^\circ$ ，以满足移相范围  $\alpha=30^\circ\sim 180^\circ$  的要求。

4. 调节  $U_{ct}$ ，使  $\alpha=60^\circ$ ，观察并记录  $U_1\sim U_5$  及输出脉冲电压  $U_{G1K1}$ ， $U_{G2K2}$  的波形，并标出其幅值与宽度。

用导线连接“K1”和“K3”端，用双踪示波器观察  $U_{G1K1}$  和  $U_{G3K3}$  的波形，调节电位器 RP3，使  $U_{G1K1}$  和  $U_{G3K3}$  间隔  $180^\circ$ 。

## 六. 实验报告

1. 整理，描绘实验中记录的各点波形，并标出幅值与宽度。
2. 总结锯齿波同步触发电路移相范围的调试方法，移相范围的大小与哪些参数有关？
3. 如果要求  $U_{ct}=0$  时， $\alpha=90^\circ$ ，应如何调整？
4. 讨论分析其它实验现象。

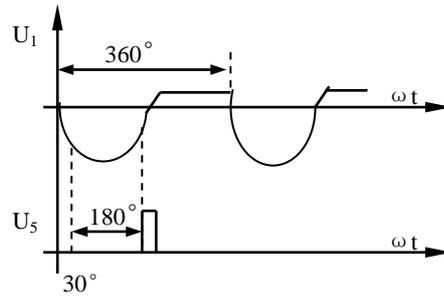


图 2-2 脉冲移相范围

## 七. 注意事项

参见实验一的注意事项。

## 2.2 实验二 三相桥式全控整流电路的研究

### 一. 实验目的

1. 熟悉 MCL-18, MCL-33 组件。
2. 熟悉三相桥式全控整流电路的接线及工作原理。
3. 了解集成触发器的调整方法及各点波形。

### 二. 实验内容

1. 观测触发脉冲波形, 注意其相位关系。
2. 观测三相桥式全控整流电路在不同负载下的各种输出波形。

### 三. 实验线路及原理

实验线路如图 2-3 所示。主电路由三相全控变流电路组成。触发电路为数字集成电路, 可输出经高频调制后的双窄脉冲链。三相桥式整流电路的工作原理可参见“电力电子技术”的有关教材。

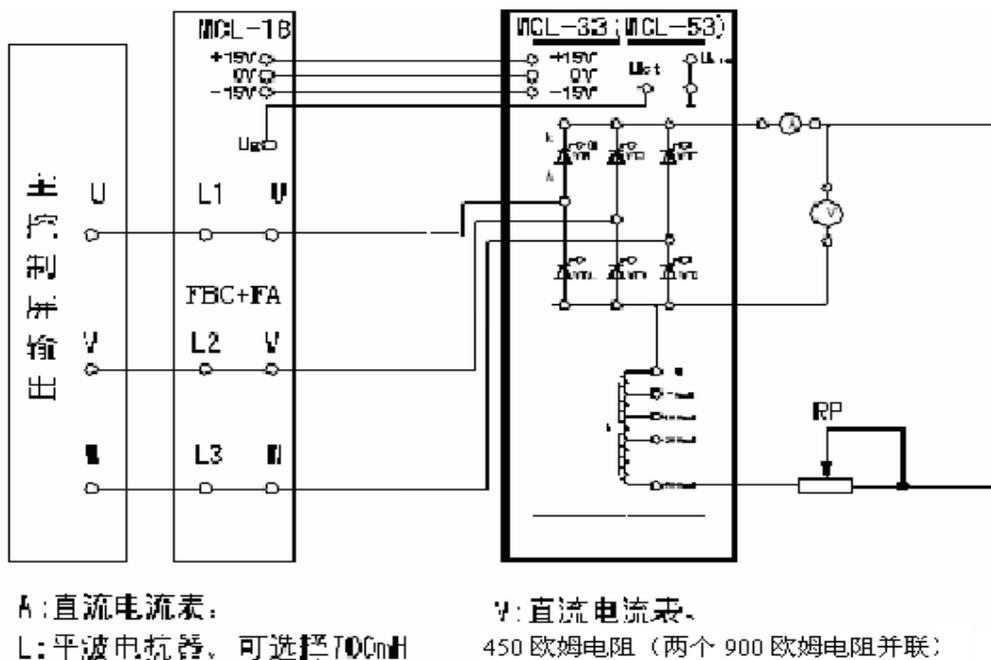


图 2-3 实验线路图

### 四. 实验设备及仪器

1. MCL 系列教学实验台主控制屏。
2. MCL—18 组件。
3. MCL—33 组件。
4. MEL-03 可调电阻器(900  $\Omega$  /0.41A)
5. 二踪示波器
6. 万用表

## 五. 实验方法

1. 按图 1 接线, 未合上主电源之前, 必须由教师检查连线。
2. 未合上主电源之前, 观测各触发脉冲波形。

(1) 打开 MCL-18 电源开关 (给定), 给定电压有电压显示。

(2) 用示波器观察 MCL-33 的双脉冲观察孔, 应有间隔均匀, 相互间隔  $60^\circ$  的幅度相同的双脉冲 (见图 2-4 之“1”)。

(3) 检查相序, 用示波器观察“1”, “2”单脉冲观察孔, “1”脉冲超前“2”脉冲  $60^\circ$ , 则相序正确, 否则, 应调整输入电源 (见图 2-4)。

**注:** 将面板上的  $U_{b1f}$  (当三相桥式全控变流电路使用 I 组桥晶闸管 VT1~VT6 时) 接地, 将 I 组桥式触发脉冲的六个开关均拨到“接通”。

### 3. 三相桥式全控整流电路

(1) 纯电阻负载时的工作情况:

将  $R_d$  调至最大 (450 $\Omega$ ), 三相调压器逆时针调到底 (输出为 0), 合上主电源, 调节主控制屏输出电压, 使输出线电压达 220V (相电压约 127V)。

在  $U_{ct}=0$  时,  $U_d=0$ 。否则调节偏移电压  $U_b$ , 使  $U_d=0$ , 然后固定  $U_b$  不变, 进行实验。

调节  $U_{ct}$ , 使  $\alpha$  在  $30^\circ \sim 120^\circ$  范围内, 记录交流输入电压  $U_2$  数值。用示波器分别观察并记录  $\alpha=30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $105^\circ$ 、 $120^\circ$  时, 整流电压  $U_d$ ; 并记录  $\alpha=30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  时, 整流电压  $u_d=f(t)$ , 晶闸管两端电压  $u_{VT}=f(t)$  的波形。

实验完毕后, 先将三相调压器输出降为 0, 然后切断电源。

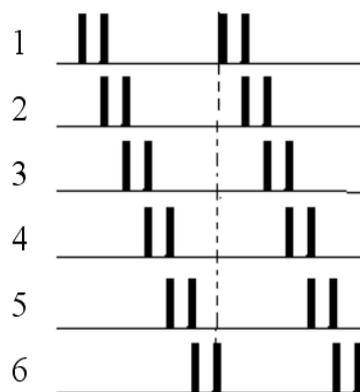


图 2-4

## (2) 阻感性负载时的工作情况

将  $R_d$  调至最大 ( $450\Omega$ )， $L$  比较小 (比如  $50\text{mH}$ )，三相调压器逆时针调到底，合上主电源，调节主控制屏输出电压，使输出线电压达  $220\text{V}$  (相电压约  $127\text{V}$ )。

在  $U_{ct}=0$  时，调节偏移电压  $U_b$ ，使  $U_d=0$ 。然后固定  $U_b$  不变，进行实验。

调节  $U_{ct}$ ，使  $\alpha$  在  $30^\circ\sim 90^\circ$  范围内，用示波器分别观察并记录  $\alpha=30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  时，整流电压  $u_d=f(t)$ ，晶闸管两端电压  $u_{VT}=f(t)$  的波形，并记录相应的  $U_d$  和交流输入电压  $U_2$  数值。

将  $R_d$  调至比较小 ( $100\Omega$ )， $L$  比较大 (比如  $700\text{mH}$ )，重复上述实验。

### 4. 电路模拟故障现象观察。

在上述电路中，断开某一晶闸管元件的触发脉冲开关，则该元件无触发脉冲即该支路不能导通，观察并记录此时的  $u_d$  波形。

## 六. 实验报告

1. 画出电路电阻性负载时移相特性  $U_d=f(\alpha)$  及整流电路的输入—输出特性  $U_d/U_2=f(\alpha)$  曲线。

2. 画出三相桥式全控整流电路时电阻性负载及阻感性负载情况下， $\alpha$  角为  $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$  时的  $u_d$ 、 $u_{VT}$  波形。

3. 简单分析模拟故障现象并画出波形。

## 2.3 实验三 直流斩波电路的研究

### 一. 实验目的

熟悉降压斩波电路 (Buck Chopper) 和升压斩波电路 (Boost Chopper) 的工作原理, 掌握这两种基本斩波电路的工作状态及波形情况。

### 二. 实验内容

1. SG3525 芯片的调试。
2. 降压斩波电路的波形观察及电压测试。
3. 升压斩波电路的波形观察及电压测试。

### 三. 实验设备及仪器

1. MCL 系列教学实验台主控制屏。
2. MCL-16 组件。
3. MEL-03 电阻箱 (900  $\Omega$  / 0.41A) 或其它可调电阻盘。
4. 万用表。
5. 双踪示波器
6. 2A 直流安培表。

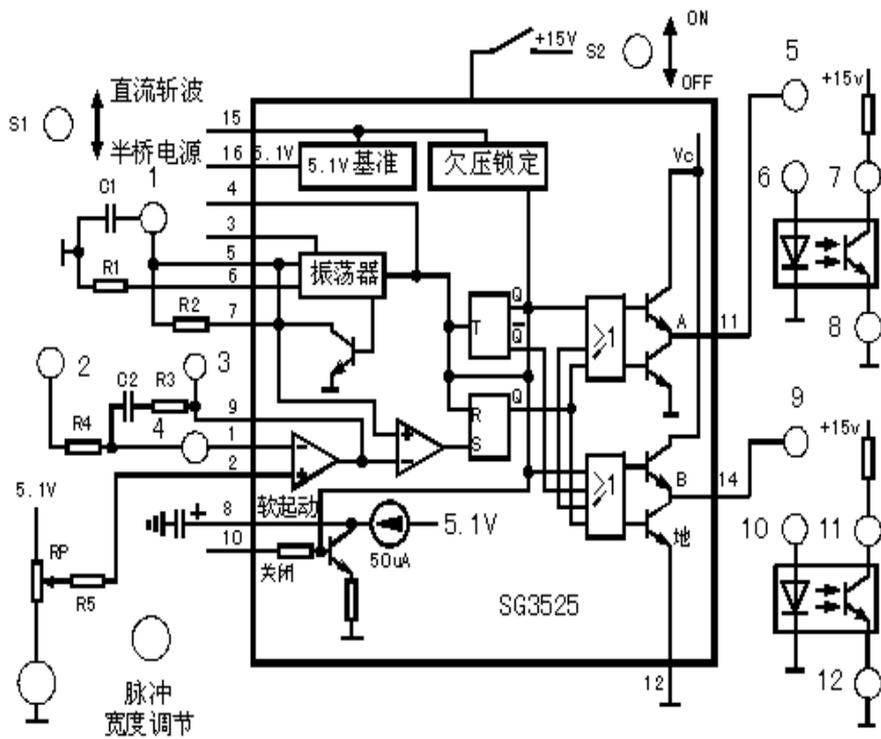


图 2-5 PWM 波形发生器

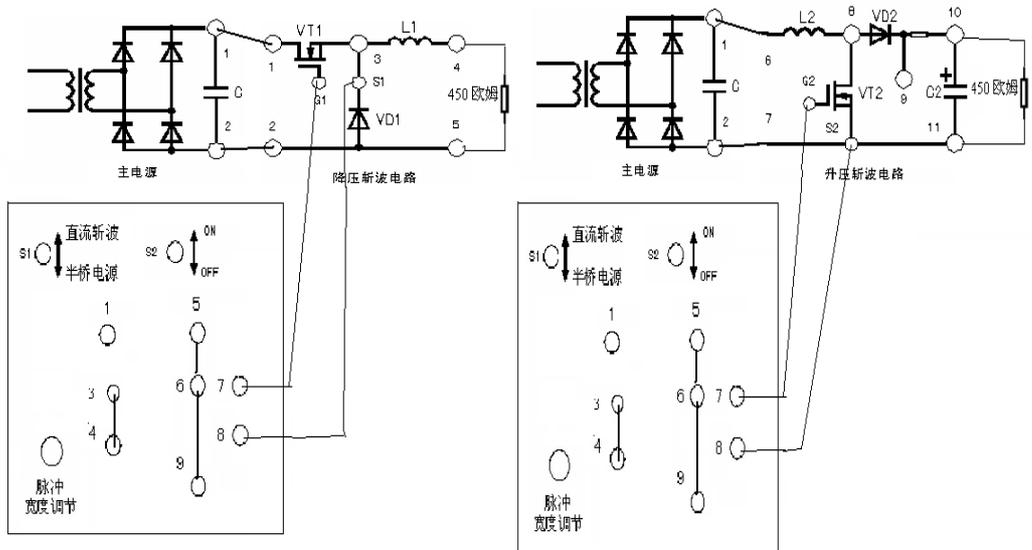


图 2-6 直流斩波电路

## 四. 实验方法

1. SG3525 的调试。

原理框图见图 2-5。

将扭子开关 S1 打向“直流斩波”侧，S2 电源开关打向“OFF”，将“3”端和“4”端用导线短接，用导线分别连接“5”、“6”、“9”，S2 电源开关打向“ON”，用示波器观察“5”端波形，并记录其波形、频率、幅度，调节“脉冲宽度调节”电位器，记录其最大占空比和最小占空比。

$$D_{\max} = \quad \quad \quad D_{\min} =$$

2. 实验接线图见图 2-6 及图 2-7。

(1) 切断 MCL-16 主电源，S2 打向“OFF”，关掉主电源。分别将“主电源 2”的“1”端和“直流斩波电路”的“1”端相连，“主电源 2”的“2”端和“直流斩波电路”的“2”端相连，将“PWM 波形发生”的“7”、“8”端分别和直流斩波电路 VT<sub>1</sub> 的 G<sub>1</sub>、S<sub>1</sub> 端相连，“直流斩波电路”的“4”、“5”端串联 MEL-03 电阻箱(将两组 900 Ω/0.41A 的电阻并联起来，逆时针旋转调至阻值最大约 450 Ω)，和直流安培表(将量程切换到 2A 挡)。

(2) 检查接线正确后，接通控制电路 S2 和主电路电源(注意：先接通控制电路电源后接通主电路电源)，改变脉冲占空比，每改变一次，分别观察 PWM 信号的波形，输出电压 u<sub>o</sub> 波形，输出电流 i<sub>o</sub> 的波形，记录 PWM 信号占空比 D，u<sub>o</sub> 的平均值 U<sub>o</sub>。

(3) 改变负载 R 的值(注意：负载电流不能超过 1A)，重复上述内容 2。

(4) 切断主电路电源，断开“主电源 2”和“降压斩波电路”的连接，断开“PWM

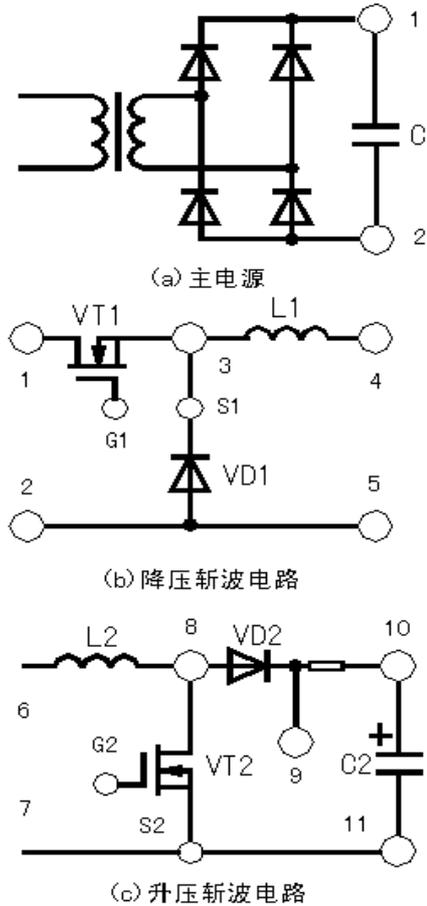


图 2-7 直流斩波器

波形发生”与 VT1 的连接，分别将“直流斩波电路”的“6”和“主电路 2”的“1”相连，“直流斩波电路”的“7”和“主电路 2”的“2”端相连，将 VT<sub>2</sub>的 G<sub>2</sub>、S<sub>2</sub> 分别接至“PWM 波形发生”的“7”和“8”端，直流斩波电路的“10”、“11”端，分别串联 MEL-03 电阻箱（两组分别并联，然后串联在一起顺时针旋转调至阻值最大约 900 Ω）和直流安培表（将量程切换到 2A 挡）。

检查接线正确后，接通主电路和控制电路的电源。改变脉冲占空比 D，每改变一次，分别：观察 PWM 信号的波形，输出电压 u<sub>0</sub> 波形，输出电流 i<sub>0</sub> 的波形，记录 PWM 信号占空比 D，u<sub>0</sub> 的平均值 U<sub>0</sub>。

(5) 改变负载 R 的值（注意：负载电流不能超过 1A），重复上述内容 4。

(6) 实验完成后，断开主电路电源，拆除所有导线。

## 五. 注意事项：

(1) “主电路电源 2”的实验输出电压为 15V，输出电流为 1A，当改变负载电路时，注意 R 值不可过小，否则电流太大，有可能烧毁电源内部的熔断丝。

(2) 实验过程当中先加控制信号，后加“主电路电源 2”。

(3) 做升压实验时，注意“PWM 波形发生器”的“S1”一定要打在“直流斩波”，如果打在“半桥电源”极易烧毁“主电路电源 2”内部的熔断丝。

## 六. 实验报告

1. 分析 PWM 波形发生的原理

2. 记录在某一占空比 D 下，降压斩波电路中，MOSFET 的栅源电压波形，输出电压 u<sub>0</sub> 波形，输出电流 i<sub>0</sub> 的波形，并绘制降压斩波电路的 U<sub>i</sub>/U<sub>0</sub>-D 曲线，与理论分析结果进行比较，并讨论产生差异的原因。

## 2.4 实验四 单相交流调压电路的研究

### 一. 实验目的

1. 加深理解单相交流调压电路的工作原理。
2. 加深理解交流调压感性负载时对移相范围要求。

### 二. 实验内容

1. 单相交流调压器带电阻性负载。
2. 单相交流调压器带电阻—电感性负载。

### 三. 实验线路及原理

本实验采用了锯齿波移相触发器。该触发器适用于双向晶闸管或两只反并联晶闸管电路的交流相位控制，具有控制方式简单的优点。

晶闸管交流调压器的主电路 由两只反向并联晶闸管组成，见图 2-8。

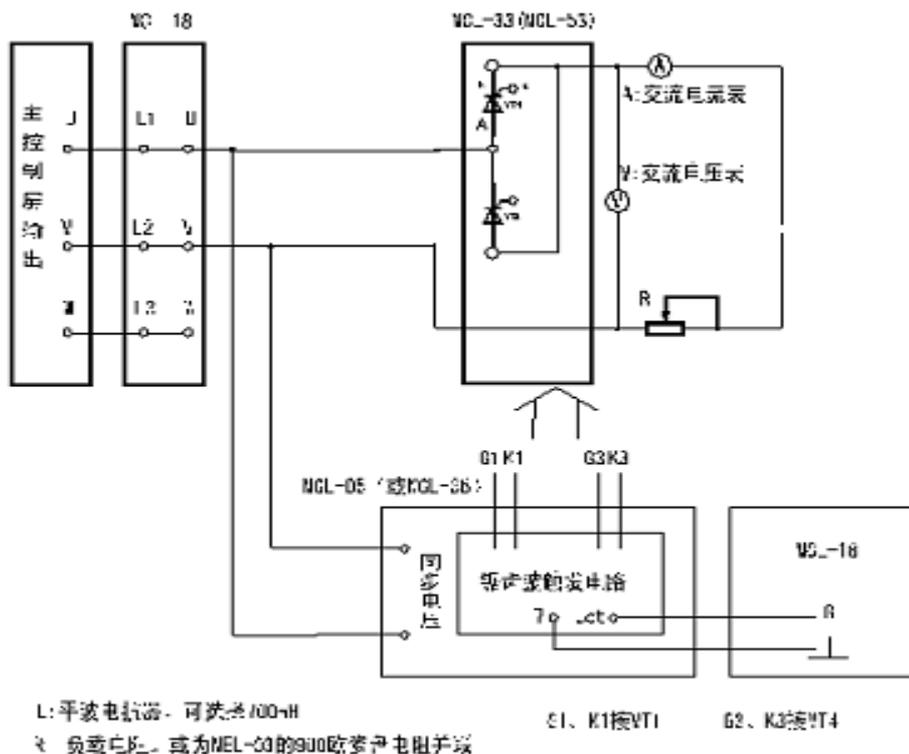


图 2-8 实验线路图

### 四. 实验设备及仪器

1. MCL 系列教学实验台主控制屏。
2. MCL—18 组件。
3. MCL—33 (A)。
4. MCL—05 组件。
5. MEL-03 组件 (并联成  $450\Omega$ ,  $0.82A$ )
6. 二踪示波器
7. 万用表

## 五. 注意事项

关掉 MCL-33 所有的双脉冲观察孔。观察  $G_1$ 、 $G_3$  两处脉冲波形 (如图 2-9)。

在电阻电感负载时, 当  $\alpha < \varphi$  时, 若脉冲宽度不够会使负载电流出圈套的直流分量。损坏元件。为此主电路可通过变压器降压供电, 这样即可看到电流波形不对称现象, 又不会损坏设备。

## 六. 实验方法

1. 单相交流调压器带电阻性负载

将 MCL-33 上的两只晶闸管 VT1, VT4 反并联而成交流电调压器, 将触发器的输出脉冲端  $G_1$ 、 $K_1$ ,  $G_3$ 、 $K_3$  分别接至主电路相应 VT1 和 VT4 的门极和阴极。



图 2-9

接上电阻性负载 (可采用两只  $900\Omega$  电阻并联), 并调节电阻负载至最大。

MCL-18 的给定电位器 RP1 逆时针调到底, 使  $U_{ct}=0$ 。调节锯齿波同步移相触发电路偏移电压电位器 RP2, 使  $\alpha=150^\circ$ 。

三相调压器逆时针调到底, 合上主电源, 调节主控制屏输出电压, 使  $U_{uv}=220V$ 。用示波器观察负载电压  $u=f(t)$ , 晶闸管两端电压  $u_{VT}=f(t)$  的波形, 调节  $U_{ct}$ , 观察不同  $\alpha$  角时各波形的变化, 并记录  $\alpha=60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  时的波形。

2. 单相交流调压器接电阻—电感性负载

做电阻小电感大、大电阻电感小情况。

(1) 断开电源, 接入电感 ( $L=700mH$ )  $R_d$  调至比较小 ( $100\Omega$ ), 调节  $U_{ct}$ , 使  $\alpha=45^\circ$ 。

三相调压器逆时针调到底, 合上主电源, 调节主控制屏输出电压, 使  $U_{uv}=220V$ 。

用二踪示波器同时观察负载电压  $u$  和负载电流  $i$  的波形。

(2) 将  $R_d$  调至比较大 ( $450\Omega$ )， $L$  比较小 (比如  $50\text{mH}$ )，重复上述实验。

注：调节电阻  $R$  时，需观察负载电流，不可大于  $0.8\text{A}$ 。

## 七. 实验报告

1. 整理实验中记录下的各类波形
2. 分析电阻电感负载时， $\alpha$ 角与 $\varphi$ 角相应关系的变化对调压器工作的影响。
3. 分析实验中出现的問題。