

# 连续可调直流高压稳压电源的研制

郑云山 陈培基 饶章祥

(应用物理系)

## 摘 要

本文介绍一种从400~1500伏连续可调直流稳压电源的设计与制作,其设计思想可移植到其他高压稳压电源中。

## 前 言

在实验室及工业生产中,有许多仪器设备需要高压直流稳压电源,有些还要求电源输出电压可大范围连续调节。鉴于目前生产的某些小功率直流高压电源体积庞大、笨重、元件多而复杂,加之实验室需要,我们设计并制作了一台400~1500伏连续可调直流稳压电源。下面对该电源的设计制作及其性能加以介绍。

## 设 计 思 想

采用可控硅作为交流开关,通过适当地改变加在可控硅控制极上同步触发脉冲的时刻,改变其导通角的大小就可以无触点地连续调节输出电压有效值的大小。这可通过图1及下面算式来说明:

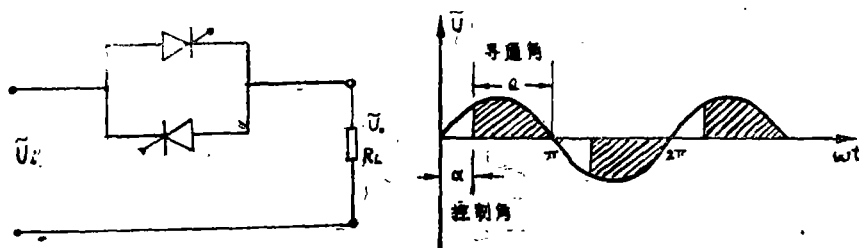


图 1

设输入正弦波电压为 $\tilde{U}_1 = \sqrt{2} \tilde{U} \sin \omega t$  ( $\tilde{U}$  为有效值), 可控硅控制角为 $\alpha$ , 则输出电压有效值<sup>[1]</sup>为:

本文1985年7月29日收到。

$$\bar{U}_0 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot 2 \int_0^{\pi} (\sqrt{2} \bar{U} \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \bar{U} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

由上式可知,控制角 $\alpha$ 变化时,输出电压随之变化。当 $\alpha$ 增大时, $\bar{U}_0$ 减小,反之, $\bar{U}_0$ 增大、所以通过调节控制角的大小就可连续调节输出电压的大小。将此交流电压经输入变压器升压,再经高压硅堆桥式整流, $\pi$ 型滤波,即可得到连续可调的直流高压输出。

电路原理方框图如图2所示。

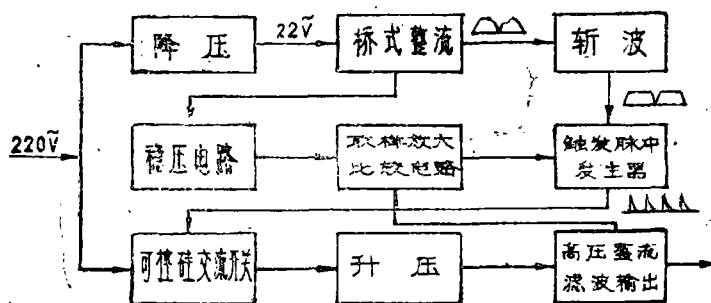


图 2

### 电源电路组成及主要元件作用

整个电路可分为高压电源和控制电路两大部分。高压电源部分由可控硅交流开关、升压变压器及高压整流滤波电路组成。 $kp_1$ 、 $kp_2$ 组成反向并联可控硅电路,将它们放在变压器原边,就不必使用高压可控硅元件了。

控制电路主要由稳压电路、取样放大电路<sup>[2]</sup>、单晶体管振荡电路<sup>[1]</sup>等组成。如图3所示。二极管 $D_6$ 的作用是去除 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 在整流输出为波谷时向外放电而使零电位抬高。 $R_{18}$ 、 $w_4$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $w_2$ 、 $D_{z2}$ 等组成控制电路的核心之一——取样放大及基准电压电路。调节 $w_2$ 可改变差放电路基准电压的大小,所以 $w_2$ 可作为输出高压的粗调。 $D_6$ 的作用是阻止 $T_4$ 管在 $T_3$ 管基极偏压为零时导通,因为稳压器输出电压比斩波输出电压略低一些。 $D_{z3}$ 起斩波作用,其输出波形为梯形波。这个梯形波电压既可作为单晶体管振荡电路的电源,又起了同步信号的作用。 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_6$ 、 $T_7$ 、 $w_3$ 、 $C_4$ 等组成了控制电路的另一核心部分——触发脉冲发生器。当 $T_4$ 、 $T_5$ 导通时,梯形波电压对电容 $C_4$ 充电,充电至峰点电压时,单晶体管 $T_6$ 导通,电容 $C_4$ 经 $T_6$ 迅速向 $R_{14}$ 放电,放电至谷点电压时, $T_6$ 截止,这就在 $R_{14}$ 两端输出了一同步触发脉冲。 $T_7$ 将此脉冲进行放大。 $TR_2$ 是脉冲变压器。

### 电路工作原理

开关接通后瞬间,可控硅尚无触发脉冲作用,它们不导通,整个高压电源无输出。取样信号为零,则 $T_1$ 、 $T_2$ 不导通。因 $T_3$ 有 $w_2$ 提供适当的基极偏压,它处于良好的导通状态,其集电极电位较低,这就使 $T_4$ 、 $T_5$ 对电容 $C_4$ 充电, $T_4$ 、 $T_5$ 起了可变电阻的作用,所以充电时间常数由 $T_4$ 、 $T_5$ 的导通状态决定。当 $C_4$ 充电至峰点电压时,单晶体管 $T_6$ 导通, $C_4$ 迅速向 $R_{14}$ 放电,放

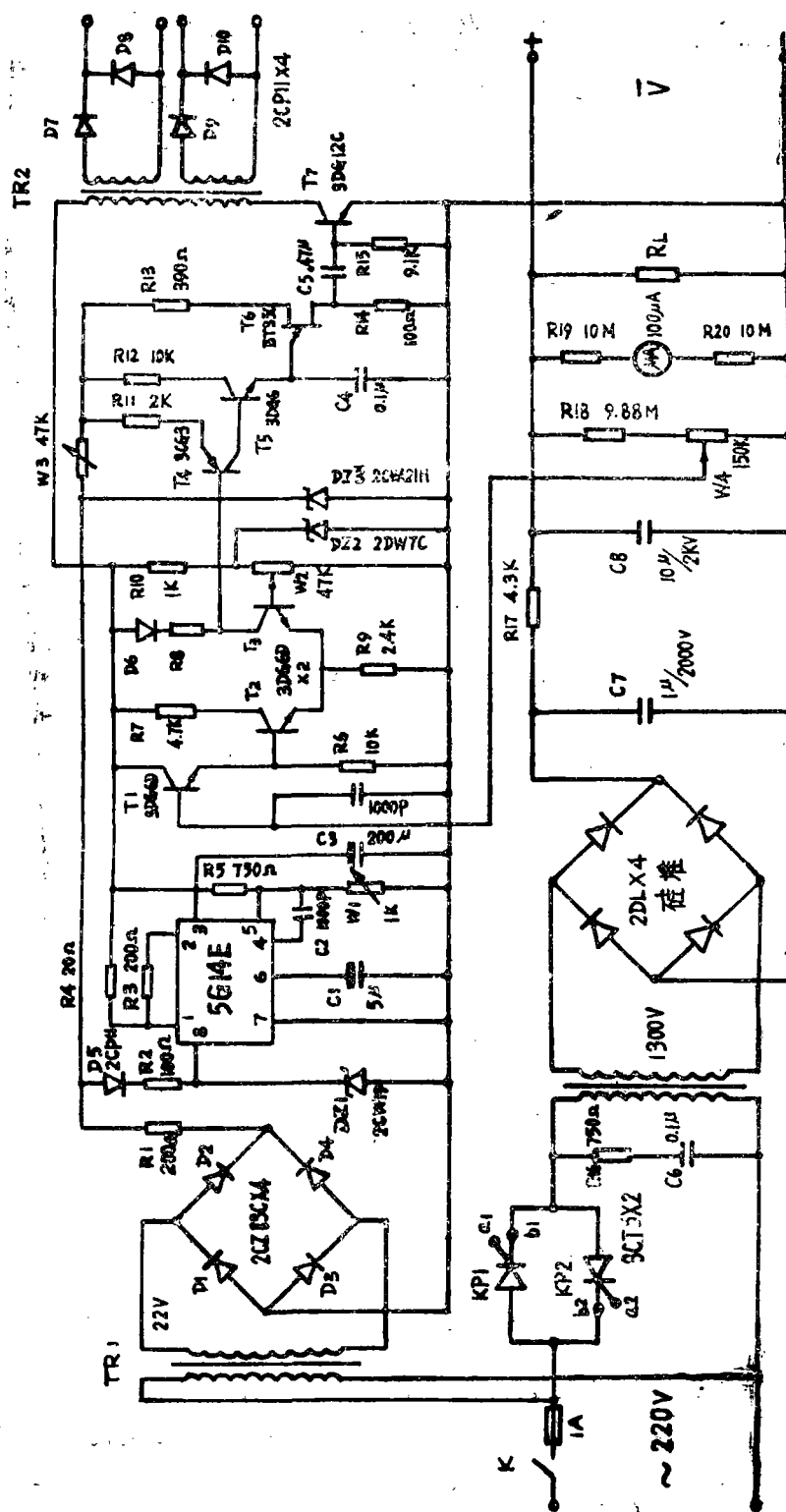


图 3 400~1500V 连续可调直流稳压电源原理图

电至谷点电压时,  $T_6$  转为截止。从  $R_{14}$  得到的脉冲信号经  $C_5$  耦合到  $T_7$  进行放大, 放大后的脉冲经变压器  $TR_2$  耦合输出去触发可控硅控制极。在交流电压正半周时  $k p_1$  导通, 负半周时  $k p_2$  导通。于是输出交流电压经变压器  $TR_3$  升压, 而后由高压硅堆整流, 向  $\pi$  型滤波电容充电, 输出电压逐渐升高, 取样电压也随之渐渐增大,  $T_1$ 、 $T_2$  管进入导通状态。由于差放两管的相互作用,  $T_3$  管的导通状态变差了些。当输出电压达到预定值时, 取样电压也为某一定值, 此时差放电路处于平衡状态,  $T_3$  管集电极电位一定, 则梯形波经  $T_4$ 、 $T_5$  对  $C_4$  的充电时间常数也一定, 因此输出同步触发脉冲的时刻固定, 也即可控硅的导通角恒定, 输出直流高压也就稳定在预值定了。

如果输出电压由于某种原因(如外接负载变化)而偏高, 则取样电压也增大, 于是  $T_1$ 、 $T_2$  管导通得更好些。由于差放电路两管的相互牵制,  $T_3$  管的导通状态相对变差了些, 其集电极电位略有升高, 这就使  $T_4$ 、 $T_5$  管的导通状态也相对变差些, 对电容  $C_4$  的充电时间常数变大, 输出同步触发脉冲的时刻相对延迟了, 可控硅的导通角变小了些, 于是输出电压降低至原值。反之, 若输出电压由于某种原因而变小, 则控制电路使同步触发脉冲输出时刻相对提前, 可控硅导通角增大, 输出电压又升高至原值。可见输出电压的大小是由可控硅导通角决定的, 而导通角的大小取决于输出同步触发脉冲的时刻, 这个时刻又要由电容  $C_4$  的充电时间常数决定, 而取样电压的大小可以改变充电时间常数的大小。因此, 只要调节取样电位器  $w_4$  就可以连续调节输出电压的大小, 而输出电压的稳定性由自动控制电路调节。

## 调 试 方 法

### 一、控制电路的调试

1. 切断高压电源主电路供电线, 接通控制电路输入电源。

2. 用示波器逐点观察  $AB$ 、 $OC$ 、 $OD$ 、 $OE$ 、 $OF$ 、 $OG$  及  $a_1 b_1$ 、 $a_2 b_2$  的电压波形。其相应波形如图 4 所示。

3. 调节  $w_2$ ,  $V_{or}$  (或  $V_{oo}$ ) 电压波形相应于输入电压波形 ( $V_{AB}$ ) 的每半个周期的第一个脉冲信号随之移动。

4. 如图 5 给  $T_1$  管基极附加直流偏压, 调节  $w_R$ , 使  $T_1$  基极电压由零逐渐上升, 同时观察  $OF$  (或  $OG$ ) 的电压波形。可见, 开始时波形不变, 而当  $T_1$  基极电压增加到某一值时, 波形突然消失。这时, 如果顺时针方向调节  $w_2$ , 波形重新出现。只是第一个电压脉冲比原来前移。

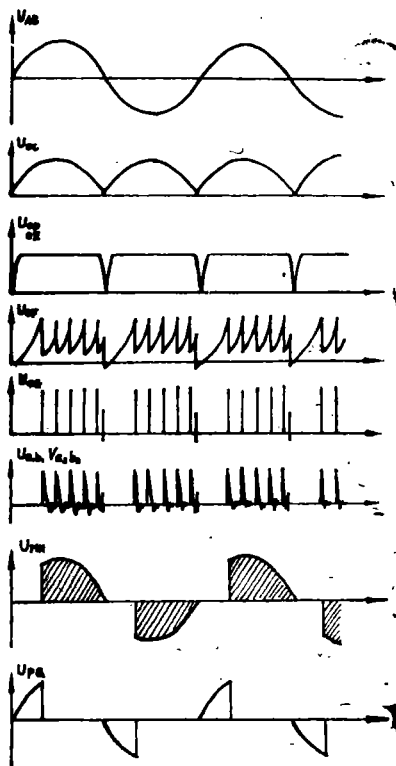


图 4 原理波形图

再顺时针方面调节 $w_R$ , 波形又消失。如果再顺时针方向调 $w_2$ , (或反时针方向调 $w_R$ ) 波形形又会重新出现。

如果上述某一步骤不正常, 可能是相应的有关元件接触不变或故障, 可根实际性况解决。

## 二、主电路的调试

1. 切断控制电路的供电。切断变压器 $T_{R3}$ 初级输入线, 并在GN间并接一只电灯泡(15W~100W均可)。

2. 接通主电路及控制电路的供电电源, 正反向调节 $w_R$ , 灯泡应突暗、突亮。而正反向调节 $w_2$ , 灯泡应由亮逐渐变暗或由暗逐渐变亮。调节 $w_2$ 使灯泡最亮。如果灯泡不亮, 可能是交流开关可控硅的触发信号强度不够或可控硅损坏。如灯泡总是亮, 调节 $w_2$ 、 $w_R$ 其亮度不变, 肯定是可控硅损坏, 应根据实际情况排除故障。

3. 切断总输入电源, 去掉 $T_1$ 外加偏压电路, 去掉灯泡, 接通变压器 $T_{R3}$ 初级输入线, 反时针方向调节 $w_4$ 至终点。(即使 $w_4$ 动端对地电阻最大)

4. 接通总输入电源。这时, 高压电压表应有直流高压显示。微调 $w_2$ 使其显示值略小于400伏特。

5. 顺时针方向调节 $w_4$ , 电压表显示值应连续增大, 调至终点时, 电压表显示值应大于1500伏特。

6. 反时针近节 $w_4$ 至终点, 切断总电源, 整机近试结束。

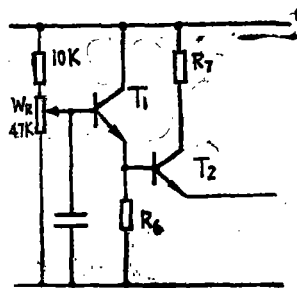


图 5

## 性 能 测 试

1. 直流高压输出端并接80k/100w假负载电阻, 220V市电经调压器加入电源输入端, 并用数字电压表分别测试输入电压及输出直流高压。

附 表 1

输入电压V 电压输出 V	195	200	205	210	215	220	225	230	235	240	245
400(伏)	402	401	401	400	400	400	400	400	400	400	400
500	502	501	500	500	500	500	500	500	500	499	499
600	602	601	600	620	600	600	600	600	600	500	500
700	702	701	701	700	700	700	700	700	700	600	599
800	801	800	800	800	800	800	800	800	800	699	699
900	902	901	900	900	900	900	900	900	900	799	799
1000	1001	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	800	800
1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	999	999
1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1100	1100
1300	1298	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1199	1199
1400	1396	1398	1398	1399	1400	1400	1400	1400	1400	1300	1300
1500	1495	1498	1499	1499	1500	1500	1501	1500	1501	1399	1399
1470	1560	1566	1568	1569	1570	1570	1570	1571	1572	1502	1502
										1572	1573

2. 当输入电压为220V时, 调 $w$ , 使输出直流高压从400V开始, 以100V为一档, 逐档增加至1500V, 而在每一档内, 分别使输入交流电压每隔5V, 由220V逐级增加至245V及减少至195V。同时测出相应各点的输出直流高压。测试结果附表1。

由表1可见, 输出直流高压在400~1500V范围内, 当输入220V交流电压变化 $\pm 10\%$ , 输出直流高压变化小于0.2%。

测试仪器: SR35示波器一台; ZDM-7106A数字电压表一只; 0.5KVA调压器一只; 500型万用表一只。

### 主要技术参数

1. 输出直流高压从400伏到1500伏连续可调。
2. 输出功率25瓦。
3. 输入交流电压为 $220 \pm 10\%$ 伏时, 输出直流高压波动不大于 $\pm 0.2\%$ 。

### 参考文献

- [1] 赵广涛, 可控硅电源, 人民邮电出版社, (1982)。
- [2] 中科院科技情报所重庆分所编译, 可控硅应用技术, 科技文献出版社重庆分社, (1977)。
- [3] 清华大学电子工程系编, 晶体管电路(第二册), 科学出版社, (1979)。

## Development of the Power Supply with High and Stabilized Voltage of D.C. which is Continuously Modulated

Zheng Yunshan Chen Peiji Rao Zhangxiang

### Abstract

In this paper, a design and manufacture of a power supply of high and stabilized voltage of D. C. of 400-1500 volt which is continuously modulated is presented. The design can be used into power supplies of other high and stabilized voltages.