

# 电力电子技术实验指导书

电气工程系

刘建宏

**南京航空航天大学**

二〇〇八年十二月

# 目 录

DDSX-1 电力电子技术实验主控制屏说明 .....	4
实验一 三相桥式全控整流电路的实验研究 .....	8
实验二 BUCK 变换器的实验研究 .....	12
实验三 BOOST 变换器的实验研究 .....	16
实验四 单端反激式变换器的实验研究 .....	20
实验五 单端正激式变换器的实验研究 .....	24
实验六 半桥、全桥开关电路实验 .....	26

# 前 言

电力电子技术在生产实践中得到了广泛的应用, 究其原因是新的电力器件、新电磁材料、新变换技术、新控制理论及新的软件不断出现。所有这些都使对能量的控制和变换达到了高频率、高效率、高功率密度、高功率因数、和高可靠性的水平。而为适应科技、生产发展的需要, 本课程的实验内容也方兴未艾。

电力电子技术是一门实验性很强的学科, 只有在“做中学, 学中做”才能真正深化这门专业课程的学习。

我校实验装置中原理性挂箱大都是南京航空航天大学自主研发开发的实验设备, 着重于相控整流实验和直-直变换器实验, 要求学生掌握基本实验方法与训练基本实验技能, 并在此基础上充分运用实验设备对各种电路进行全方位深入研究, 探究实际与理想情况产生差异的原因, 并思考可能的解决方案。

“探寻已有科学理论的差错与失效, 永远是促使科学进步的重要手段之一”(爱因斯坦)。

希望大家共勉。

# DDSX-1 电力电子技术实验主控制屏说明

## 一、技术指标及要求

1. 工作电源：三相四线（或三相五线）380V±5%，频率 50Hz
2. 输入电源功率：<1.5k VA
3. 外形尺寸：长（1800）×宽（700）×高（1600） 单位（mm）
4. 绝缘电阻：>5MΩ

## 二、各部件主要功能和使用说明：

### 1、DDS 01 “电源控制屏”简介

- (1) 将 DDS01 主控制屏三相四线插头插入相应插座中，实验主控制屏同时提供并联三相四线电源插座、可以用于设备之间的电源互插。方便实验室电源布线。考虑到进线负荷，实验系统设备级连数量请控制在三台以内。
- (2) 合上三相四线漏电断路器，设备供电，可以投入正常工作。
- (3) 合上钥匙开关（钥匙开关置于开状态），电源进入隔离变压器原边，低压控制电源给电（36V），各部件（仪表等）进入工作状态。主控制屏停止按钮（红色）点亮。
- (4) 通过开关选择可以控制输出电压大小（220V 还是 380V）。通过调节主控制屏左侧调压旋钮可以预调节输出电压。
- (5) 挂箱插入主控制屏的相应插座中，各部件进入工作状态。在今后使用过程中根据实验的需要灵活更换。
- (6) 主控制屏上告警记录指示为 0，表明正常初始化，进入计数工作状态。
- (7) 电源控制屏提供多路电源插座，用于各挂箱电源工作：  
▼7 芯电源插座：给各仪表等挂箱工作使用，钥匙开关启动后工作。该电

源插座安装于主控制屏的大凹槽内。 1、2——36V 电源、3、4——保护信号、5 (R)、6 (T)、7 (GND) ——仪表通信

▼8 芯 (9 芯) 电源插座：给触发电路挂箱 (DDS03) 专用，钥匙开关启动后工作。该电源插座安装于主控制屏的大凹槽内。(2、3、4、5—三相四线电源、6、7——过流保护及电流反馈、8——过流保护输出信号)

▼3 芯两线电源插座一：提供 220V 交流电源，为电力电子实验挂箱使用，钥匙开关后工作。该电源插座安装于主控制屏的大凹槽内。

▼3 芯两线电源插座二 (中间圆脚)：提供 220V 交流电源。为电机实验挂箱使用，如有过载现象则切断该路输出电源，保证实验设备的安全。该电源插座安装于主控制屏的大凹槽内。

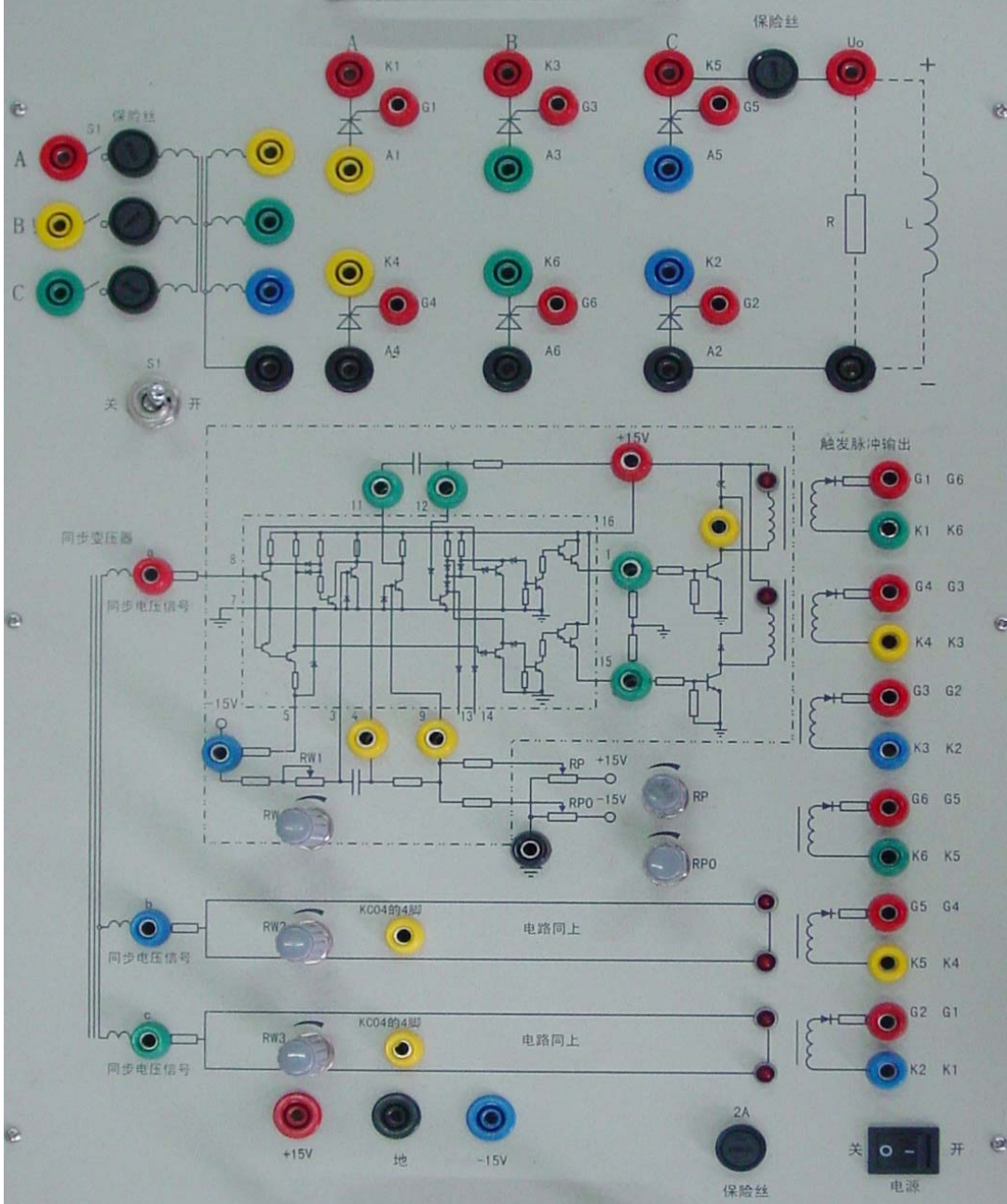
▼3 芯三线电源插座一：提供三相线电压 220V 交流电源。如有过载现象则切断该路输出电源，保证实验设备的安全。该电源插座安装于主控制屏的下部的分隔内。

▼3 芯三线电源插座二 (中间圆脚)：提供三相线电压 163V 交流电源，供 DT03 使用 (直流 220V 励磁电源和同步励磁电源)。如有过载现象则切断该路输出电源，保证实验设备的安全。该电源插座安装于主控制屏的下部的分隔内。

特别注意：

- 1、上部凹槽内的电源插座定义和电源等级和下部分隔内的电源插座定义和电源等级不一样，不可任意插接，以免损坏设备。
  - 2、为保证系统的正常使用，部件电源插座连接时系统应处于断电状态。
  - 3、主控制屏的上部凹槽内的第一个 8 芯插座为 DDS03 专用插座，切勿插接任何其它设备，以免损坏。
- (8) 按下 DDS01 主控制屏上的绿色按钮，主控制屏输出交流电源 (可以通过调压器调节)。同时各三芯电源插座通电。可以提供各部件工作电源。在系统中加装了断相指示功能，如有缺相现象，则相应的输出 LED 告警指示。

- (9) 如有漏电 (50V)、过流保护等现象, 主控屏输出将切断, 同时发出声、光告警。复位后方可重新启动。漏电电压调整在 50V 以内。延时过流电流整定在 3.5A, 瞬时过流电流整定在 5A。
- (10) 若输出电源选择开关指向电力电子 (220V) 档, 则调压输出最大为 220V, 超过此电压, 系统则出现过压保护动作告警。复位后方可重新启动。在进行电力电子、电机控制等实验时将开关置于 220V 档。若输出电源选择开关指向电机拖动 (380V) 档, 则调压输出最大为 380V, 超过此电压, 系统则出现过压保护。
- (11) DDSX 具有相序保护功能, 若系统进线不符合标准输入, 则相序指示灯点亮, 不能正常工作, 改变输入的电源相序即可正常工作。
- (12) 主控制屏输出留有 RS232 串口通信接口, 具有通信功能的部件单元通过 RS232 串口可和数据管理器或计算机相连。
- (13) 提供荧光灯照明开关和荧光灯输出插座, 以及照明开关。



可控硅整流电路及其触发电路

## 实验一 三相桥式全控整流电路的实验研究

### 一、实验目的

理解三相全控桥式整流电路触发脉冲形成过程及特点

加深对三相全控桥式整流电路工作原理和特性的理解

理解并比较电阻负载和电感负载情况下工作原理及特性

### 二、实验内容

掌握 KC04 芯片的功能及用法，理解触发脉冲的形成、双脉冲触发时序的生成，掌握晶闸管触发电路基本工作过程。熟悉三相全控桥式整流电路主电路的基本拓扑，研究电阻性负载和电感性负载情况下电路工作波形及基本电量关系。

### 三、预习要求

1) 预习《电力电子技术》KC04 芯片内容，分析触发电路原理。

2) 复习三相桥式全控整流电路及其触发电路的相关内容。

### 四、实验仪器

可控硅整流电路及其触发电路实验挂箱、直流电源挂箱、负载箱、万用表、电流表挂箱、电压表挂箱、示波器、导线及示波器插头。

### 五、实验设备要求

输入电压： $36V \pm 10\%$ ，50Hz，三相交流电。

输出电压：连续调节。

### 六、实验步骤

**第一次接线：**先关闭可控硅实验挂箱的所有开关。

1) 将可控硅实验挂箱的直流电压进线端+20V、地、-20V 与直流电源箱中的输出电压相连。

2) 将可控硅三相电压输入端与主屏上供给的 36V 三相电压相连。

#### 触发电路的调试

1) 接通电源。

2) 分别调节 RW1、RW2、RW3 使三个 KC04 芯片的第 4 管脚斜率接近一致（即调节 KC04 芯片 1、芯片 2、芯片 3 的锯齿波斜率使其接近一致）。

3) 用示波器观察并记录触发电路板一路 KC04 线路中的主要点的波形：4 管脚、9 管脚、11 管脚、12 管脚、1 管脚、15 管脚及驱动三极管集电极的波形。注意同时观察 4 管脚、9 管脚两个波形，观察它们与形成的脉冲之间的关系。理解 KC04 芯片触发脉冲的形成过程。

**第二次接线：**1) 将主电路接成三相桥式全控整流电路。

2) 将可控硅实验挂箱主电路输出端与负载箱电阻两端相连。将电阻值调到 150Ω。

#### 主电路外接电阻负载电路的调试

1) 调节 RP 和 RP0 即调节偏移电压和移相控制电压，便可控制脉冲触发时刻，达到移相目的。调节 RP 和 RP0 使 KC04 芯片（一）的 1 脚触发脉冲在同步电压的  $30^\circ$  时刻产生，这时即是主电路线电压的自然换向点。观察并记录输出电压波形、晶闸管上阳极-阴极间的电压波形。



2) 调节触发脉冲使触发脉冲从  $0^\circ$  变到  $120^\circ$ ，观察并记录输出整流电压波形的变化和晶闸管阳极-阴极间电压波形的变化，用万用表直流电压挡测量输出整流电压值随  $\alpha$  的变化情况，并绘制曲线。

触发角度 $\alpha$	$0^\circ$	$24^\circ$	$42^\circ$	$60^\circ$	$78^\circ$	$96^\circ$	$114^\circ$	$120^\circ$
$U_o$								

**第三次接线：**将主电路负载端换接入电感性负载。

#### 主电路外接电感负载电路的调试

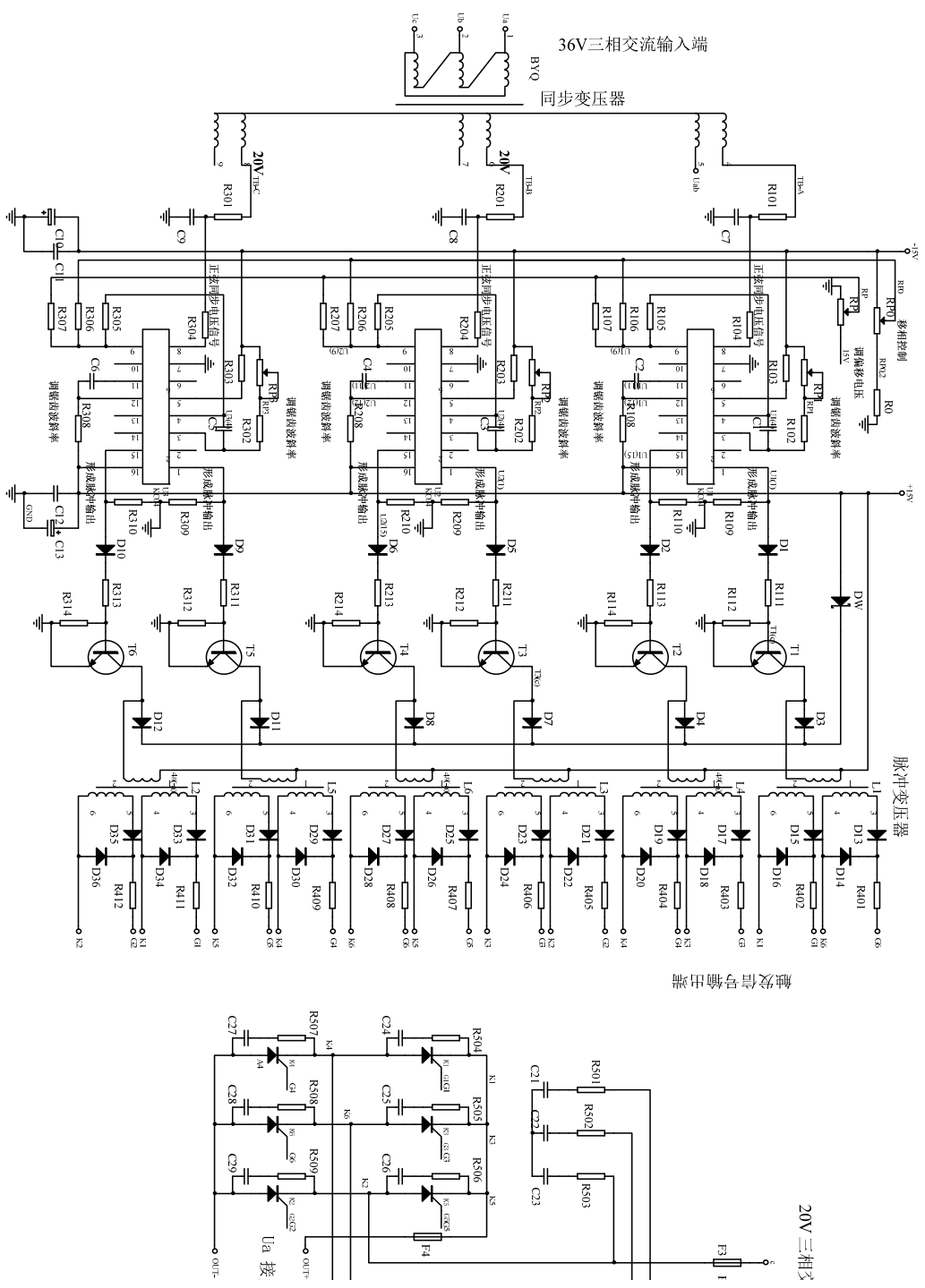
- 1) 将主电路负载端换接入电感性负载。
- 2) 调节触发脉冲使触发脉冲从  $0^\circ$  变到  $90^\circ$ ，观察输出电压波形的变化，并用万用表直流电压挡测量输出整流电压值随  $\alpha$  的变化情况，并绘制曲线。

触发角度 $\alpha$	$0^\circ$	$24^\circ$	$42^\circ$	$60^\circ$	$78^\circ$	$96^\circ$
$U_o$						

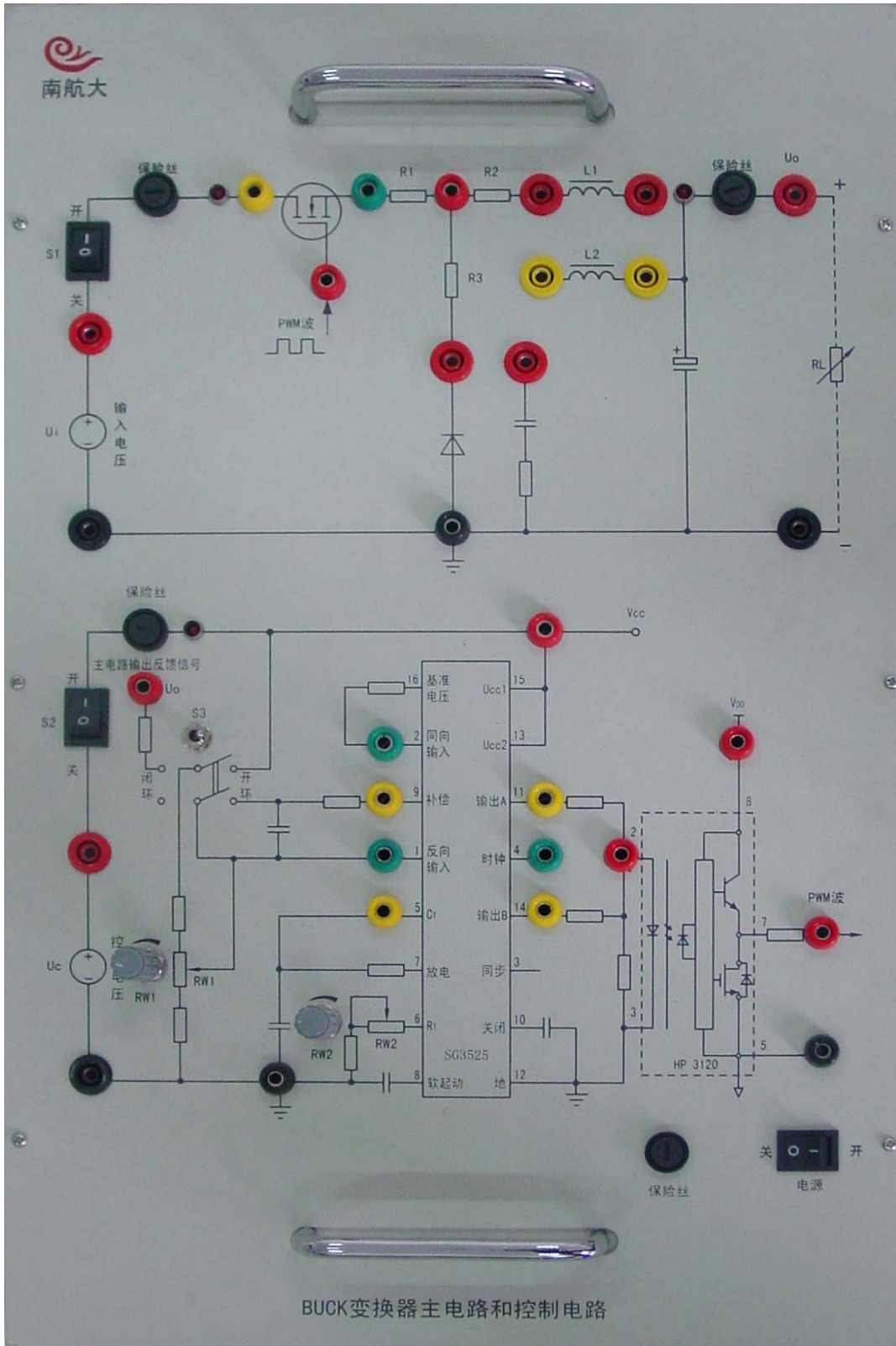
- 3) 关闭电源。

#### 七、实验报告：

- 1) 绘制实验要求曲线。注意记录触发电路波形时需按时序，以找出触发角产生时刻由哪些管脚电压的变化所决定。
- 2) 分析电感负载当  $\alpha = 90^\circ$  时，为什么  $U_d \neq 0$ ？
- 3) 分析电感负载及电阻负载时的波形特点，并与理论波形进行比较。  
研究主电路在电感负载和电阻负载情况下的基本电量关系并与理论比较。
- 4) 如果将输入电压的相序改变一下输出波形会产生什么现象？



发电机输入端



BUCK变换器主电路和控制电路

## 实验二 BUCK 变换器的实验研究

### 一、实验目的

理解电压控制型脉宽调制原理，掌握 PWM 控制块的功能及使用方法，加深对降压式变换器工作原理及特性的理解。

### 二、实验内容

熟悉 SG3525 的原理及使用方法，理解 PWM 波产生过程；研究 BUCK 变换器开环状态下主电路电感电流连续情况基本电量关系及变换器的外特性。观察电压纹波，观察不同电感对连续点的影响。理解 BUCK 变换器闭环控制过程，掌握闭环性能指标。

### 三、预习要求

- 1)预习《电力电子技术》SG3525 芯片内容介绍，分析控制电路原理。
- 2)复习 BUCK 变换器的有关内容。

### 四、实验仪器及设备

直流电源挂箱、BUCK 变换器实验挂箱、负载挂箱、电流表挂箱、电压表挂箱、万用表、示波器、导线及示波器插头。

### 五、实验设备要求

变换器的基本要求如下：输入电压：20~30V  
输出电压：15V（电压闭环）  
输出负载电流：0.1~1A  
工作频率：50KHz±2%  
输出纹波电压：≤100mv

### 六、实验步骤

**第一次实验接线：**将 BUCK 变换器挂箱的所有开关关闭后再接线。

#### 控制电路研究：

打开总电源和控制电路电源，调节电位器 RW 1，用示波器观察并记录占空比为某一定值时 SG3525 各管脚波形及驱动电路输出波形。注意观察 SG3525 的 9 脚、5 脚波形和输出波形之间的关系，理解 SG3525 芯片 PWM 波产生过程。

调节 RW 2 观测 PWM 波频率的变化，通过测得的 PWM 波计算 PWM 波频率。

**第二次实验接线：**把控制电路接 20V 直流电压，主电路接 6-30V 可调直流电压，将 L 1 和 L 2 的最右端用导线连接上，把电感 L1 接入电路。主电路输出端接负载箱的电阻负载，在负载端串入一直流电流表，将开关 S 3 打在开环状态。

#### 主电路研究：

##### （一）、开环状态：

##### （1）电感电流连续情况：

打开主电路电源，使主电路工作电压为 25V，观察电感支路的电流波形，调节负载，使电感工作在电流连续情况下。用示波器观察并记录占空比为某一定值时场效应管漏极—源极与栅极—源极间电压波形及它们之间的关系，理解场效应管

的工作原理。

观察并记录电感支路、场效应管支路、二极管支路的电流波形，观测电感两端、二极管两端、负载两端的电压波形，理解工作过程。理解主电路各回路的电流情况。

观测主电路输出电压随占空比  $D$  的变化情况，画出曲线，理解主电路的工作原理。

$$U_i = \text{恒定} = 25.0V \quad f = \text{恒定} = 50KHz$$

D	
$U_o$ (测量值)	
$U_o$ (理想值)	

用示波器交流档观察输出电压纹波  $\Delta U_{pp}$ 。

求变换器的外特性： ( $D$  恒定,  $U_o = F(i_o)$ )

$$D = 0.3 \quad f = \text{恒定} = 50KHz \quad U_i = \text{恒定} = 25.0V$$

$i_o$	
$U_o$	

$$D = 0.7 \quad f = \text{恒定} = 50KHz \quad U_i = \text{恒定} = 25.0V$$

$i_o$	
$U_o$	

(2) 电感电流断续情况：

改变负载，使电感电流断续，观测场效应管漏极—源极波形情况，观测电感支路、场效应管支路、二极管支路的电流波形，观测电感两端、二极管两端、负载两端的电压波形，理解工作过程。观测主电路输出电压随占空比  $D$  的变化情况，理解主电路的工作原理。

D	0.1	0.2	0.3
$U_o$			

(3) 重新选择主电路电感观测波形：

把  $L_1$ 、 $L_2$  同时串入主电路中观测电感电流连续点变化情况。

(4) 观察二极管波形的吸收电路对二极管波形的影响。

把二极管波形的吸收电路和二极管连在一起，观察二极管两端波形尖峰情况的变化。

(5) 变频观察电感电流连续点变化情况。

调节  $RW1$  使频率  $f = 50KHz$ ，调节负载，使电感电流波形处于临界连续状态，调节频率，当电感电流波形由临界连续变为断续时记录此时频率值，思考频率变化对电感电流连续点的影响。

二) 闭环状态：

打到闭环状态。调节电位器  $RW1$ ，使主电路输出电压达到  $15V$ 。

调节主电路输入电压由  $20V$  变到  $30V$ ，观测占空比的变化及输出电压变化值。以此观察输出电压的稳定性，理解闭环控制原理。

$$f = \text{恒定} = 50KHz$$

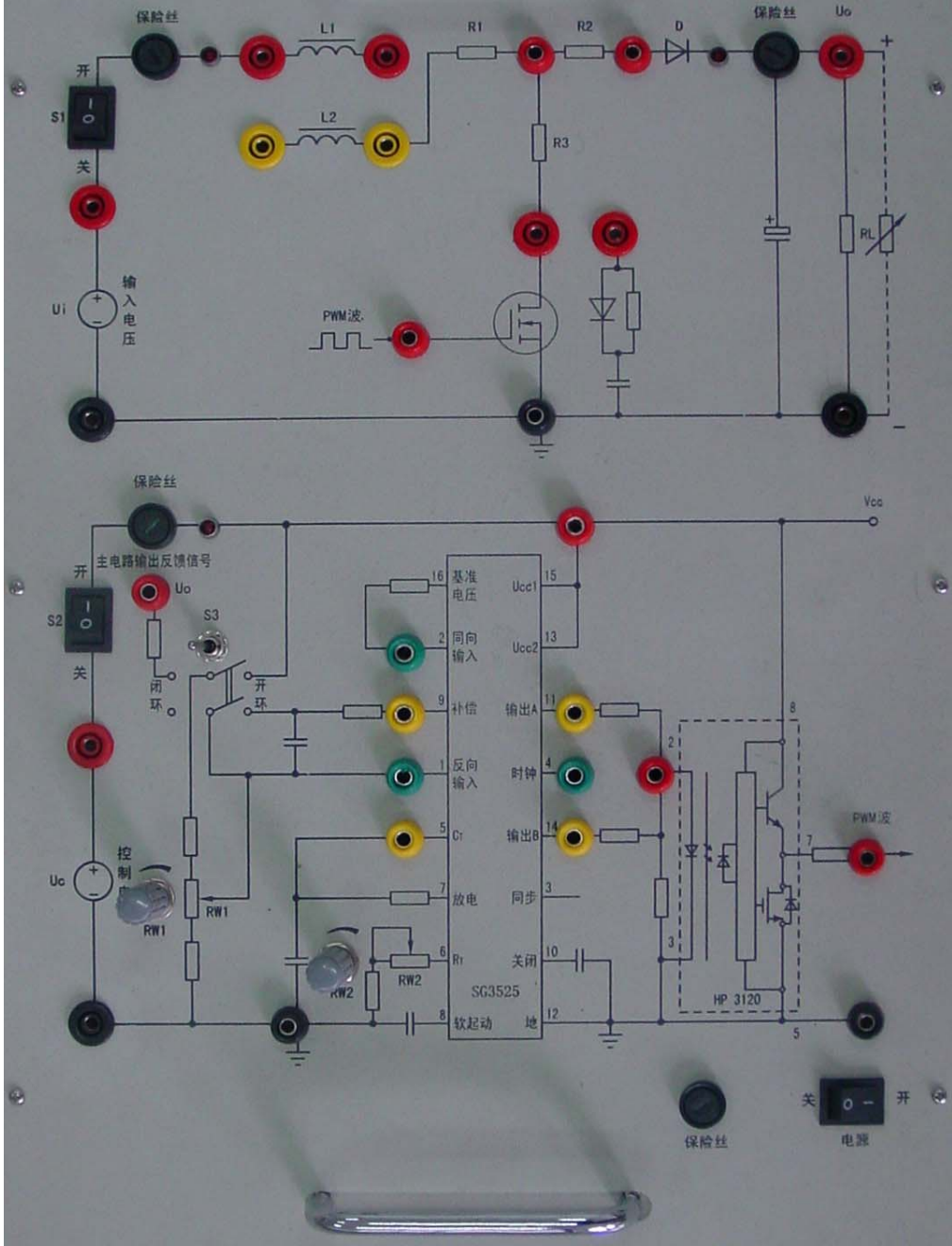
U <sub>i</sub>	2 0	2 2	2 4	2 6	2 8	3 0
D						
U <sub>o</sub>						

将输入电压重新调到 25V（输出仍为 15V），改变负载阻值，观察并记录输出电流与电压的变化关系。

I <sub>o</sub>	
U <sub>o</sub>	

### 七、实验报告：

- 1) 绘制实验要求曲线。注意绘制 3525 芯片管脚波形时要按时序，并将锯齿波 5 管脚波形和 9 脚波形画在一个坐标系中，并反映出占空比电压发生跳变的时刻，以理解占空比是怎样调节的。
- 2) 研究主电路电感电流连续状态的基本电量关系，并比较和理论是否相符。输出电压随占空比变化如何变化。
- 3) 做出变换器电感电流连续情况下外特性。
- 4) 讨论闭环时工作情况：在主电路输入电压工作范围内，当输入电压减小或增大时，讨论输出电压变化和占空比变化。



BOOST变换器主电路和控制电路

## 实验三 BOOST 变换器的实验研究

### 一、实验目的

理解电压控制型脉宽调制原理，掌握 PWM 控制块的功能及使用方法，加深对升压式变换器工作原理及特性的理解。

### 二、实验内容

熟悉 SG3525 的原理及使用方法，理解 PWM 波产生过程；研究 BOOST 变换器开环状态下主电路电感电流连续情况基本电量关系及变换器的外特性。观察电压纹波，观察不同电感对连续点的影响。理解 BOOST 变换器闭环控制过程，掌握闭环性能指标。

### 三、预习要求

- 1)预习《电力电子技术》SG3525 芯片内容，分析控制电路原理。
- 2)复习 BOOST 变换器的有关内容。

### 四、实验仪器及设备

直流电源挂箱、BOOST 变换器实验挂箱、负载挂箱、电流表挂箱、电压表挂箱、万用表、示波器、导线及示波器插头。

### 五、实验设备要求

对变换器的基本要求如下：输入电压：20~30V  
输出电压：电压闭环时为 32V。  
输出负载电流：0.1~1A  
工作频率：50KHz±2%  
输出纹波电压：≤100mv

### 六、实验步骤

#### 第一次实验接线：

将 BOOST 变换器挂箱的所有开关关闭后再接线。把控制电路接 20V 直流电压。

#### 控制电路研究：

打开控制电路电源，调节 RW 1，用示波器观察并记录占空比为某一定值时 SG 3 5 2 5 各管脚波形及驱动电路输出波形。注意观察 SG 3 5 2 5 的 9 脚、5 脚波形和 SG 3 5 2 5 输出波形之间的关系，理解 SG 3 5 2 5 芯片 PWM 波产生过程。

调节 RW 2 观测 PWM 波频率的变化，通过测得的 PWM 波计算 PWM 波频率。

#### 第二次实验接线：

主电路接 6-30V 可调直流电压，将 L 1 和 L 2 的最右端用导线连接上，把电感 L1 接入电路。主电路输出端接负载箱的电阻负载，在负载端串入一直流电流表，(注意：BOOST 电路不能空载)。将控制电路的 S 3 打在开环状态。

#### 主电路研究：

(一)、开环状态：



1) 电感电流连续情况:

打开主电路电源, 调节频率使  $f=50\text{KHz}$ , 观察电感支路的电流波形, 使电感工作在电流连续情况下。用示波器观察并记录占空比为某一定值时场效应管漏极—源极与栅极—源级间电压波形及它们之间的关系, 理解场效应管的工作原理。观察并记录电感支路、场效应管支路、二极管支路的电流波形, 观测电感两端、二极管两端、负载两端的电压波形, 理解工作过程。

观测主电路输出电压随占空比  $D$  的变化情况, 理解主电路的工作原理。

$U_i = \text{恒定} = 25.0\text{V}$   $f = \text{恒定} = 50\text{KHz}$

D	
$U_o$ (测量值)	
$U_o$ (理想值)	

用示波器交流档观察输出电压纹波  $\Delta U_{pp}$ 。

求变换器的外特性: ( $D$  恒定,  $U_o = F(i_o)$ )

$D=0.3$   $f = \text{恒定} = 50\text{KHz}$   $U_i = \text{恒定} = 25.0\text{V}$

$i_o$	
$U_o$	

$D=0.7$   $f = \text{恒定} = 50\text{KHz}$   $U_i = \text{恒定} = 25.0\text{V}$

$i_o$	
$U_o$	

2) 重新选择主电路电观测波形:

把  $L_1$ 、 $L_2$  同时串入主电路中观测以上内容。

3) 观察 MOSFET 的吸收电路对其漏极-源极波形的影响。

把 MOSFET 的吸收电路和 MOSFET 连在一起, 观察这时漏极-源极两端波形尖峰情况的变化。

4) 变频观测断续点变化情况:

使  $f=40\text{KHz}$ , 设定一固定占空比, 如  $D=0.3$ , 改变负载使电感电流断续, 然后增大频率, 观察是否能由断续变为连续。

二) 闭环状态:

将控制电路  $S_3$  打到闭环状态。调节电位器  $RW_1$ , 使主电路输出电压达到  $32\text{V}$ 。

调节主电路输入电压由  $20\text{V}$  变到  $30\text{V}$ , 观测占空比的变化及输出电压变化值。以此观察输出电压的稳定性, 理解闭环控制原理。观察输出电压纹波的变化。

$f = \text{恒定} = 50\text{KHz}$

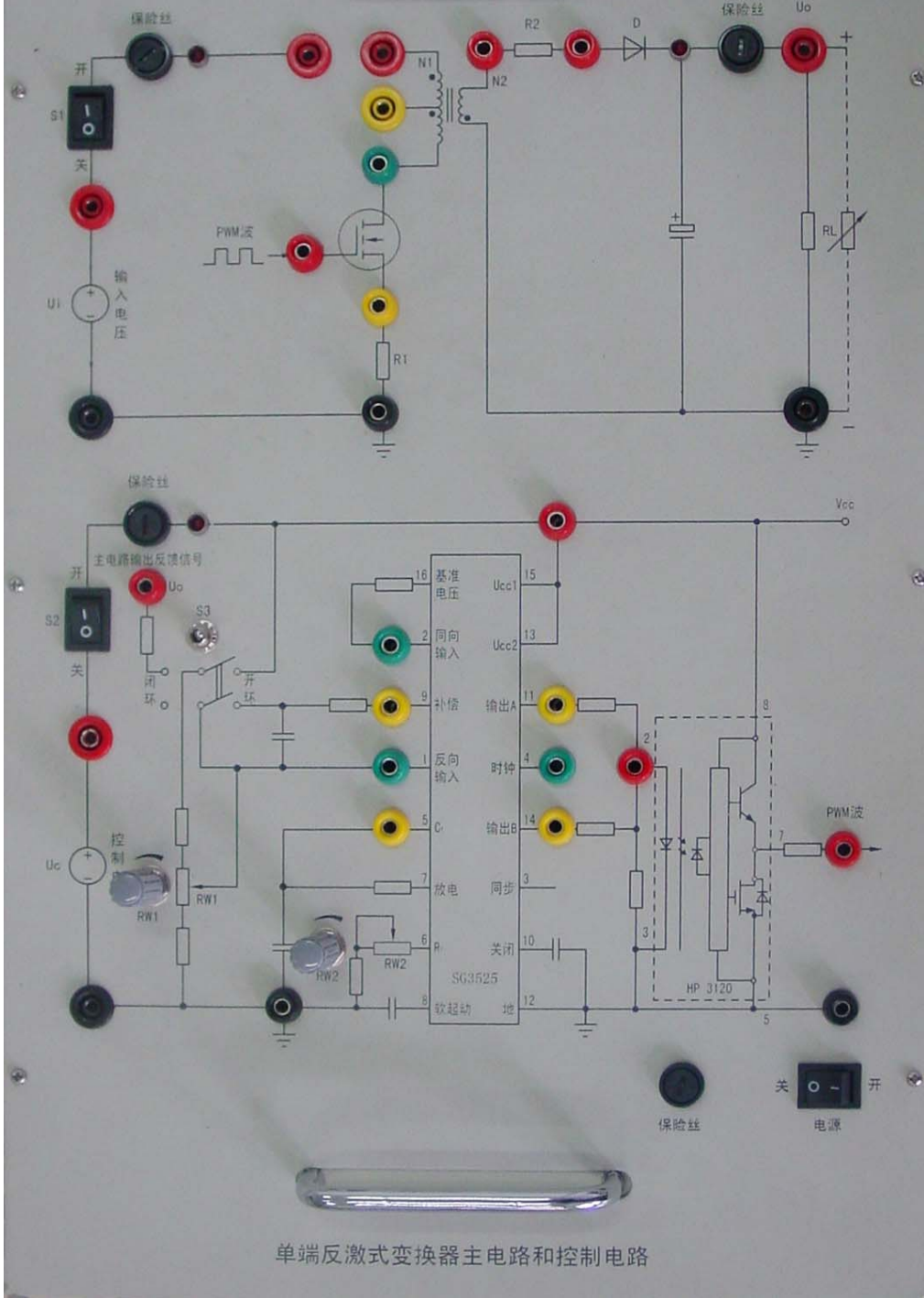
$U_i$	2 2	2 4	2 6	2 8	3 0
D					
$U_o$					

将输入电压重新调到  $25\text{V}$  (输出仍为  $32\text{V}$ ), 改变负载阻值, 观察并记录输出电流与电压的变化关系

I <sub>o</sub>	
U <sub>o</sub>	

#### 六、实验报告：

- 1) 绘制实验要求曲线。注意绘制 3525 芯片管脚波形时要按时序，并将锯齿波 5 脚和 9 脚波形画在一个坐标系中，并反映出占空比电压发生跳变的时刻，以理解占空比是怎样调节的。
- 2) 研究主电路电感电流连续状态的基本电量关系并与理论相比较。输出电压随占空比变化如何变化。
- 3) 做出 BOOST 变换器电感电流连续情况下外特性。
- 4) 讨论闭环时工作情况：在输入电压工作范围内，当输入电压减小或增大时，讨论输出电压变化和占空比变化。



## 实验四 单端反激式变换器的实验研究

### 一、实验目的

理解电压控制型脉宽调制原理，加深对单端反激式变换器工作原理及特性的理解。

### 二、实验内容

研究单端反激式变换器开环状态下主电路电感电流连续情况基本电量关系及变换器的外特性。观察电压纹波，观察不同电感对连续点的影响。理解单端反激式变换器闭环控制过程，掌握闭环性能指标。

### 三、预习要求

- 1) 预习《电力电子技术》SG3525 芯片内容，分析控制电路原理。
- 2) 复习反激式变换器设计的有关内容。

### 四、实验仪器及设备

单端反激变换器挂箱、万用表、电流表挂箱、电压表挂箱、直流电源挂箱、示波器、导线及示波器插头。

### 五、实验要求

对反激变换器的基本要求如下：

输入电压：20~30V

输出电压：30 V（电压闭环）

输出负载电流：0.1~1A

工作频率：50KHz±2%

输出纹波电压：≤100mv

匝比：原边：30 匝、40 匝

副边：40 匝

### 六、实验步骤

**第一次实验接线：**将单端反激变换器挂箱的所有开关关闭后再接线。把控制电路接20V 直流电压。

#### 控制电路研究：

打开控制电路电源，调节RW1，用示波器观察并记录占空比为某一定值时SG3525各管脚波形及驱动电路输出波形。注意观察SG3525的9脚、5脚波形和SG3525输出波形之间的关系，理解SG3525芯片PWM波产生过程。

调节RW2观测PWM波频率的变化，通过测得的PWM波计算PWM波频率。

**第二次实验接线：**主电路接6-30V可调直流电压，将原边匝数为最大的电感变压器用导线连接上。主电路输出端接负载箱的电阻负载，在负载端串入直流电流表。（注意：单端反激电路不能空载）。将S3打在开环状态。

## 主电路研究:

### (一)、开环状态:

#### 1) 电感电流连续情况:

打开主电路电源, 观察变压器的电流波形, 调节负载和占空比, 使变压器工作在电流连续情况下。用示波器观察并记录场效应管漏极—源极与栅极—源极电压波形及它们之间的关系, 理解场效应管的工作原理。

观察并记录电感变压器支路、二极管支路的电流波形, 观测电感变压器两端、二极管两端、负载两端的电压波形, 理解工作过程。

$U_i$ =恒定=25V  $f$ =恒定=50KHz 变压器变比=

D	
$U_o$ (测量值)	
$U_o$ (理论值)	

用示波器交流档观察输出电压纹波  $\Delta U_{pp}$ 。将负载取三个不同的值, 观察输出电压纹波大小, 并作记录。

求变换器的外特性: ( $D$  恒定,  $U_o=F(i_o)$ )

$D=0.3$   $f$ =恒定= 50KHz  $U_i$ =恒定=25V 变压器变比=

$i_o$	
$U_o$	

$D=0.7$   $f$ =恒定= 50KHz  $U_i$ =恒定=25V 变压器变比=

$i_o$	
$U_o$	

#### 2) 电感电流断续情况:

改变负载值, 使电感电流断续, 观测场效应管漏极—源极与栅极—源极电压波形及它们之间的关系, 观测变压器初级电感和次级电感电流波形, 观测变压器初级电感、次级电感、二极管、负载两端的电压波形, 理解工作过程。观测主电路输出电压随占空比  $D$  的变化情况, 理解主电路的工作原理。(  $D$  的变化范围可从 0.2 变到 0.7)

$f$ =恒定=50KHz  $U_i$ =恒定= 25V 变压器变比=

D	0.1	0.2	0.3
$U_o$			

#### 3) 重新选择电感变压器观测主电路情况。

选择原边匝数为最小的电感变压器串入主电路中观测原边电感电流连续点变化情况。

#### 4) 变频观察电感电流连续点变化情况。

调节  $RW1$  使频率  $f=50KHz$ , 调节负载, 使电感电流波形处于临界连续状态, 调节频率, 当电感电流波形由临界连续变为断续时记录此时频率值, 思考频率变化对电感电流连续点影响。

### (二) 闭环状态:

将控制电路  $S3$  打到闭环状态, 便将主电路输出电压反馈点  $V_{out}$  与控制电路

中反馈点  $V_{out}$  连接起来了。调节电位器  $RW1$ ，使主电路输出电压为  $30V$ 。调节主电路输入电压由  $20V$  到  $30V$ ，观测占空比的变化及输出电压变化值。以此观察输出电压的稳定性，理解闭环控制原理。

$f = \text{恒定} = \text{最大} = 50\text{KHz}$

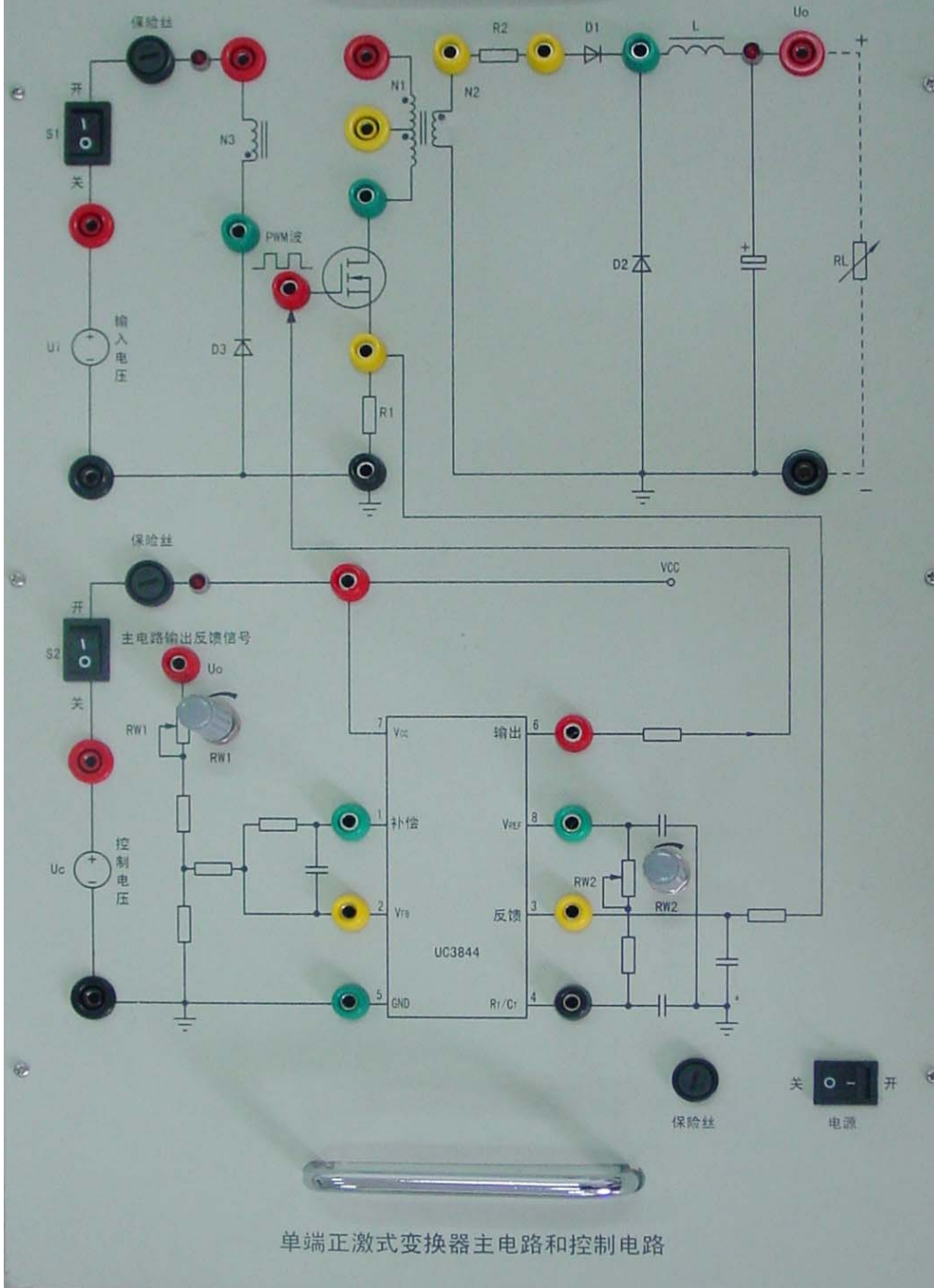
$U_i$	20	22	24	26	28	30
$D$						
$U_o$						

将输入电压重新调到  $25V$ （输出仍为  $30V$ ），改变负载阻值，观察并记录输出电流与电压的变化关系。

$I_o$	
$U_o$	

### 七、实验报告：

- 1) 绘制实验要求曲线。注意绘制 3525 芯片管脚波形时要按时序，并将锯齿波 5 和 9 脚波形画在一个坐标系中，并反映出占空比电压发生跳变的时刻，以理解占空比是怎样调节的。
- 2) 研究主电路电感电流连续状况下的基本电量关系，并与理论比较。输出电压随占空比变化如何变化。
- 3) 做出反激变换器电感电流连续情况下外特性。
- 4) 讨论闭环时工作情况：在输入电压工作范围内，当输入电压减小或增大时，输出电压和占空比如何变化？



单端正激式变换器主电路和控制电路

## 实验五 单端正激式变换器的实验研究

### 一、实验目的：

理解电流控制型脉宽调制原理。

加深对单端正激式变换器工作原理及特性的理解。

### 二、实验内容：

熟悉单端正激变换器的电路结构，掌握 UC384X 控制块的功能及使用方法。

研究主电路电感电流连续情况下基本电量关系。观察并分析不同磁恢复情况下电路工作情况。理解闭环控制过程，掌握闭环性能指标。

### 三、预习要求

1) 预习 UC3842 芯片内容，分析控制电路原理。

2) 复习单端正激变换器的有关内容。

### 四、实验仪器及设备

单端正激式变换器挂箱、直流电源挂箱、负载箱、万用表、示波器、导线及示波器插头

### 五、实验要求

对单端正激变换器的基本要求如下：

输入电压：20~30V

输出电压：电压闭环时为 15V

输出负载电流：0.1~1A

工作频率：50KHz±2%

输出纹波电压：≤100mv

匝比：原边：30 匝、40 匝

副边：80 匝

补偿绕组：40 匝

### 六、实验步骤

实验接线：将单端正激变换器挂箱的所有开关关闭后再接线。

**第一次接线：**把控制电路接 20V 直流电压。

**驱动电路研究：**

用示波器测量并记录 UC3842 的 1、2、3、4、5、6、7、8 脚各管脚波形，理解电流型驱动芯片 3842 的工作原理。

**第二次接线：**主电路接 6-30V 可变电压，将主电路电压调至 25V。将原边匝数为最大的电感变压器接入电路。主电路输出端接负载箱的电阻负载。

调节电位器 RW1，使主电路输出电压达到 15V。

**主电路研究：**

(一) 电感电流连续情况：改变负载值，使主电路输出滤波电感电流连续，观测并记录场效应管漏极—源极与栅极—源极电压波形及它们之间的关系，观测并记录变压器初级、次级电流波形，观测变压器初级 N1 和次级 N2 及复位



线圈 N3 上电压波形，观测电感两端、二极管 D1、D2、D3 两端、负载两端的电压波形，理解工作过程。观测主电路输出电压随占空比 D 的变化情况，理解主电路的工作原理。

调节主电路输入电压由 20V 到 30V，观测占空比的变化及输出电压变化值。以此观察输出电压的稳定性，理解闭环控制原理。观察输出电压纹波变化情况。

f=恒定= 50KHz 匝比=

U <sub>i</sub>	2 0	2 2	2 4	2 6	2 8	3 0
D						
U <sub>o</sub>						

将输入电压重新调到 25V（输出仍为 15V），改变负载阻值，观察并记录输出电流与电压的变化关系

f=恒定= 50KHz

I <sub>o</sub>	
U <sub>o</sub>	

（二）改变原边匝比，观察主电路工作情况。

（三）变频观察主电路工作情况。

### 七、实验报告：

- 1) 绘制实验要求曲线，按时序画出 UC3842 管脚波形图。
- 2) 研究主电路电感电流连续情况下的基本电量关系，并与理论比较。
- 3) 做出正激变换器电感电流连续情况下外特性。
- 4) 在输入电压工作范围内，当输入电压减小或增大时，讨论输出电压变化和占空比变化。

## 实验六 半桥、全桥开关电路实验

### 一、实验目的

- 1) 掌握半桥、全桥开关电路工作原理以及它们的基本拓扑。
- 2) 了解半桥、全桥开关电路的优缺点以及他们的适用范围。

### 二、实验内容

- 1) 研究半桥开关电路变换器的工作原理；
- 2) 研究全桥开关电路变换器的工作原理。

### 三、预习要求

预习半桥开关电路的相关内容。

预习全桥开关电路的相关内容。

### 四、实验仪器及设备

DDS01 电源控制屏； DDS33 全桥、半桥开关电路变换器实验挂箱； DT14 “直流电压、电流表” 实验挂箱； 示波器。

### 五、实验线路及原理

实验线路如图 4-1 所示。

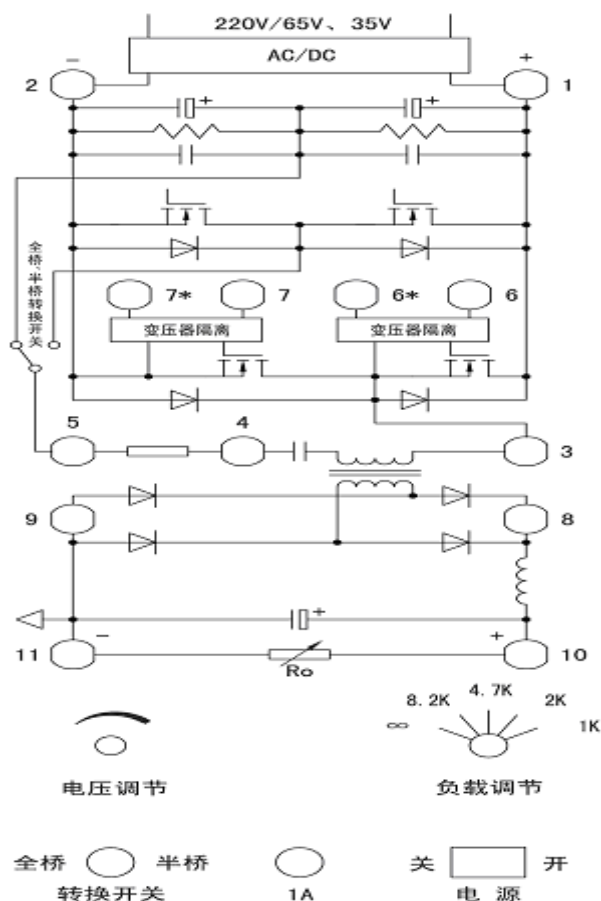


图 4-1 实验线路图

半桥开关电路变换器其等效电路图如图 4-2 所示：

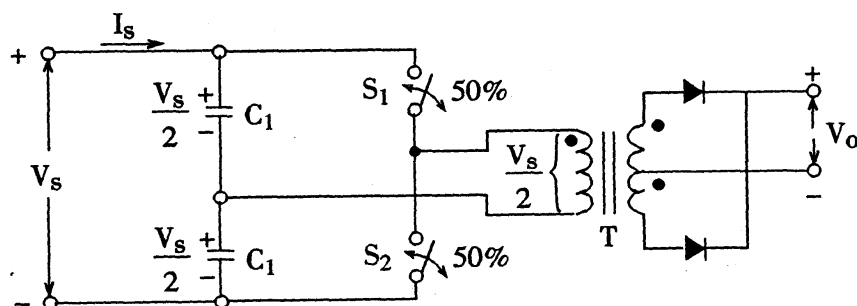


图 4-2 半桥等效电路图

开关管  $S_1$  和  $S_2$  交替导通，每只开关管导通半个周期。当  $S_1$  导通时， $S_2$  关闭。电流  $i_s$  从  $S_1$  流经变压器  $T$  原边，经电容  $C_2$  流入输入电源  $V_s$  负端；而  $S_2$  导通时， $S_1$  关闭。电流  $i_s$  经电容  $C_1$  反向流过变压器  $T$  原边，从  $S_2$  流入输入电源  $V_s$  负端。每只关断的开关管两端承受的电压为输入电压  $V_s$ ；每只开通的开关管流过的峰值电流是平均电流的两倍。通过控制开关  $S_1$  和  $S_2$  的动作速率，使直流电变成交流电流过变压器  $T$ ，通过变压器变比，就可得到所需的输出电压：

$$V_0 = V_s \times N_F / N_S$$

这里， $N_F / N_S$  为变比。并且原副边之间有极好的电隔离。

全桥开关电路变换器的等效电路图如图 4-3 所示：

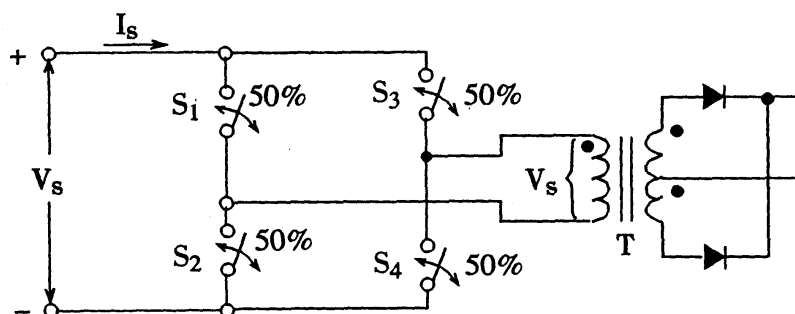


图 4-3 全桥等效电路图

当开关  $S_2, S_3$  合上时， $S_1, S_4$  同时断开。电流  $i_s$  经  $S_3$ 、变压器  $T$  原边，再经  $S_2$  流入电源  $V_s$  负端；当  $S_2, S_3$  关断时， $S_1, S_4$  同时合上。电流经  $S_1$ 、反向流入变压器  $T$  原边，经  $S_4$  流入电源  $V_s$  负端。每只导通开关管流过的电流为平均电流；每只关断开关管两端所承受的电压为电源电压  $V_s$ 。和半桥开关电路一样，通过控制开关  $S$  的动作速率，使直流电变成交流电流过变压器  $T$ ，通过变压器变比，就可得到所需的输出电压：

$$V_0 = V_s \times N_F / N_S$$

这里， $N_F / N_S$  为变比。并且原副边之间有极好的电隔离。

综上所述，半桥开关电路每只开关管  $S$  必须承受和输入电源  $V_s$  一样的电压，必须承受 2 倍于输入平均电流的电流；而全桥开关电路每只开关管  $S$  必须承受和输入电源  $V_s$  一样的电压，承受的电流却是和输入平均电流一样的电流。因此，半桥开关

电路，适合于小功率电路；而全桥开关电路比较适合于大功率电路。人们可以提高开关 S 的动作速率，使得变压器 T 成为高频变压器，体积可以做的非常小，整个电源的体积也随之大为减小。

## 六、实验步骤

### （一）. 研究半桥开关电路变换器的工作原理

（1）关闭“电源控制屏”总电源开关。将“全桥、半桥转换开关”拨向“半桥”位置。将“负载调节”选在 2K 档。开启“电源控制屏”总电源开关。开启实验挂箱右下角的电源开关。

（2）用电压表测量输入直流电压（1、2 端）和输出直流电压（9、10 端），调节“电压调节”旋钮，测定输出电压范围。

（3）用示波器测量工作桥臂的下管电压“3、2 端”波形，再测量 1/2VS 电压波形（5、2 端），然后，将两个波形合成，就可得到变压器原边的电压波形。记录波形。注意，不可以直接测量变压器原边的电压波形，这样会对电路造成损坏。

（4）用示波器测量变压器原边电流波形（4、5 端），并记录波形。

（5）用示波器测量工作桥臂的上、下两管的 PWM 驱动波形信号（6、6\*和 7、7\*端），观察并计算上、下两管之间的死区时间；调节“电压调节”旋钮，观察占空比变化，计算频率，记录波形。注意，6\*、7\*为信号地，不能和主电路地相连。

（6）用示波器测量变压器副边整流后的电压波形（8、9 端），记录波形。

### （二）. 研究全桥开关电路变换器的工作原理

（1）关闭挂箱右下角电源开关，将“转换开关”拨向“全桥”。开启电源。

（2）用电压表测量输入直流电压（1、2 端）和输出直流电压（9、10 端），调节“电压调节”旋钮，测定输出电压范围。

（3）用示波器分别测量两条工作桥臂的下管电压（5、2 端和 3、2 端）波形，然后，将两个波形合成，就可得到变压器原边的电压波形。记录波形。注意，不可以直接测量变压器原边的电压波形，这样会对电路造成损坏。

（4）用示波器测量变压器原边电流波形（4、5 端），并记录波形。

（5）用示波器分别测量两条工作桥臂的 PWM 驱动波形信号（6、6\*和 7、7\*端），观察并计算上、下开关管之间的死区时间；调节“电压调节”旋钮，观察占空比变化，计算频率，记录波形。注意，6\*、7\*为信号地，不能和主电路地相连。

（6）用示波器测量变压器副边整流后的电压波形（8、9 端），记录波形。

（7）关闭电源开关。将“负载调节”选在 4.7K 档，使电路电流处于断续即 DCM 态。重复（2）、（4）、（5）、（6）的测量。

（8）关闭电源开关。将“负载调节”选在 8.2K 档，重复（2）、（4）、（5）、（6）的测量。

## 七、实验报告

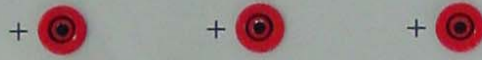
- 1)按时序画出半桥、全桥开关电路的工作波形图。
- 2)简述半桥、全桥开关电路的优缺点及适用范围。



数字电流表



数字电压表



6~30V可调

20V

20V



保险丝

保险丝

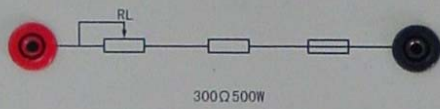
保险丝



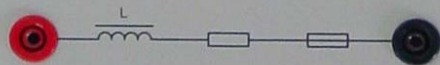
直流电源箱



电阻 减小



保险丝



保险丝



负 载 箱