



华中科技大学

电气学科大类

---

\_\_\_\_级

# 《信号与控制综合试验》课程 试验汇报

(基本试验四：电力电子学基本试验)

姓名\_\_\_\_\_学号

姓名\_\_\_\_\_学号

姓名\_\_\_\_学号

专业班号\_\_\_\_\_

指导教师邓春花

日期\_\_\_\_\_

试验成绩评阅人

## 试验评分表

<b>基本试验</b>	试验编号名称/内容	试验分值	评分
	试验二十八 PWM信号的生成和 PWM控制的实现		
	试验二十九 DC/DC PWM升压、降压变换电路性能研究		
	试验三十三相桥式相控整流电路性能研究		
	试验三十一 DC/AC单相桥式 SPWM 逆变电路性能研究		
<b>设计性试验</b>	试验名称/内容	试验分值	评分
<b>创新性试验</b>	试验名称/内容	试验分值	评分
<b>教师评价意见</b>		<b>总分</b>	



# 目录

试验二十八 PWM信号的生成和 PWM 控制的实现 \_\_\_\_\_ 4

- 1、 试验目的
- 2、 试验原理
- 3、 试验设备
- 4、 试验内容
- 5、 试验成果
- 6、 思索题

试验二十九 DC/DC—PWM升压、降压变换电路性能研究 \_\_\_\_\_ 15

- 1、 试验目的
- 2、 试验原理
- 3、 试验设备
- 4、 试验内容
- 5、 试验成果
- 6、 试验成果分析
- 7、 思索题

试验三十三相桥式相控整流电路性能研究 \_\_\_\_\_ 23

- 1、 试验目的
- 2、 试验原理
- 3、 试验设备
- 4、 试验内容与数据记录
- 5、 试验波形记录与分析
- 6、 试验总结
- 7、 思索题

试验三十一 DC/AC单相桥式 SPWM 逆变电路性能研究 \_\_\_\_\_ 29

- 1、 试验目的
- 2、 试验原理
- 3、 试验设备
- 4、 试验环节与数据记录
- 5、 试验波形记录与分析
- 6、 思索题

## 试验二十八 PWM 信号的生成和PWM 控制的实现

### 一、试验目的

1. 掌握PWM 控制芯片的工作原理和外围电路设计措施。
2. 掌握控制电路调试措施。
3. 理解其他PWM 控制芯片的原理及设计原则。

### 二、试验原理

#### 1.PWM 控制

PWM 控制的原理可以简朴通过图1理解。图中， $V_1$  为变换器输出的反馈电压，与一种幅值为 $V_{tri}$ 的三角波信号进行比较，比较电路产生的输出电压为固定幅值、宽度随反馈电压的增大而减小的 PWM 脉冲方波，如图1中阴影部分所示：

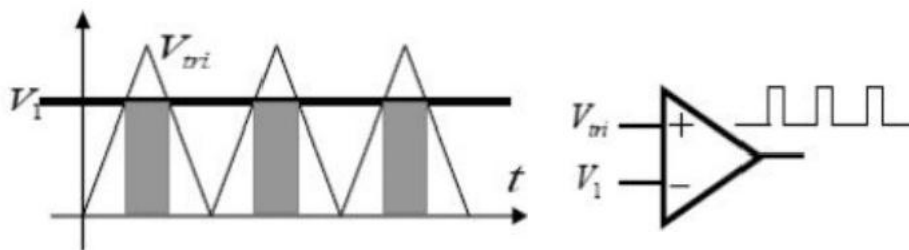


图1-1 PWM控制原理

#### 2.PWM芯片TL494

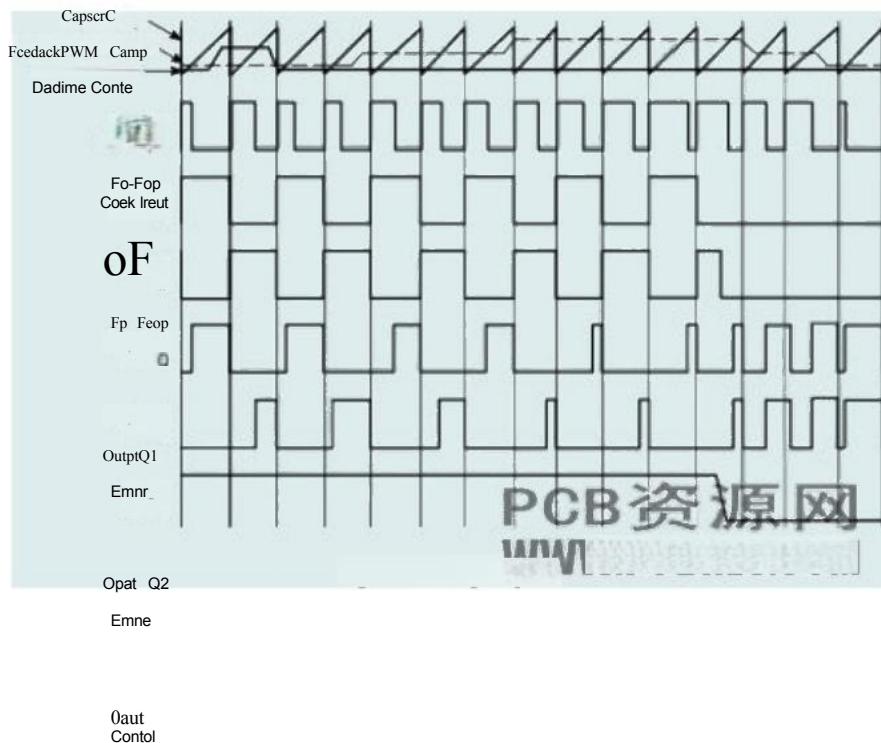
本试验重要是运用TL494来实现具有PWM控制功能的控制电路，并通过试验探究PWM控制电路的性能。

##### (1) TL494工作原理

TL494 是一种固定频率的脉冲宽度调制电路，内置了线性锯齿波振荡器，振荡频率可通过外部的一种电阻和一种电容进行调整，其振荡频率如下：

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

输出脉冲的宽度是通过电容 $C_T$ 上的正极性锯齿波电压与此外两个控制信号进行比较来实现。功率输出管Q1和 Q2受控于或非门。当双稳触发器的时钟信号为低电平时才会被选通，即只有在锯齿波电压不小于控制信号期间才会被选通。当控制信号增大，输出脉冲的宽度将减小，如图1-2所示：



W.PCBRES.COM

Figure 2.Timing Di

图1-2 TL494的工作时序图

## (2)TL494 脉冲控制

- ① 控制信号由集成电路外部输入，一路送至死区时间比较器，一路送往误差放大器的输入端。死区时间比较器具有120mV的输入赔偿电压，当把死区时间控制输入端接上固定的电压(范围在0—3.3V之间)即能在输出脉冲上产生附加的死区时间。
- ② 脉冲宽度调制比较器为误差放大器调整输出脉宽提供了一种通道，误差放大器的输出端常处在高电平，它与脉冲宽度调制器的反相输入端进行“或”运算，正是这种电路构造，放大器只需最小的输出即可支配控制回路。
- ③ 当比较器CT放电，一种正脉冲出目前死区比较器的输出端，受脉冲约束的双稳触发器进行计时，同步停止输出管Q1和Q2的工作。若输出控制端连接到参照电压源，那么调制脉冲交替输出至两个输出晶体管，输出频率等于脉冲振荡器的二分之一。假如工作于单端状态，且最大占空比不不小于50%时，输出驱动信号分别从晶体管Q1或Q2获得。输出变压器一种反馈绕组及二极管提供反馈电压。在单端工作模式下，当需要更高的驱动电流输出，亦可将Q1和Q2并联使用，这时，需将输出模式控制脚接地以关闭双稳触发器。这种状态下，输出的脉冲频率将等于振荡器的频率。

TL494内部电路方框图，如图1-3所示：

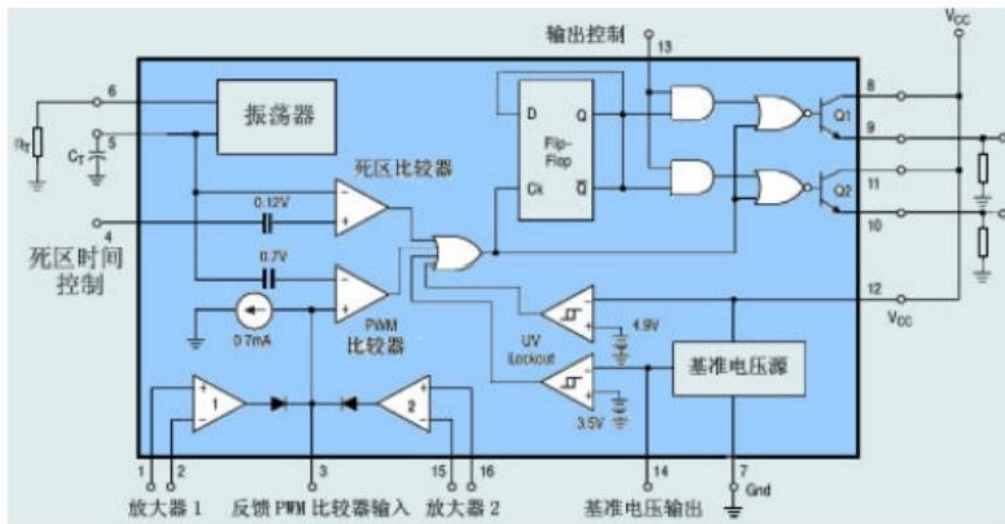


图1-3 TL494内部电路图

### 三、试验设备

1. PWM 控制芯片TL494 等，以及有关的外围电路元件；控制电源
2. 面包板或通用版，或具有 PWM 芯片及外围电路的试验板
3. 示波器

### 四、试验内容

运用TL494设计一种具有PWM 控制功能的控制电路，并确定实现PWM 控制的基本功能，通过调试验证设计的对性的。

- 1、将试验板上的JP1的2、3两口相连，选择信号频率为20kHz；将 JP2的1, 2口相连，选择死区时间；将JP3的1, 2口相连，选择单路输出。
- 2、将芯片与正负电源和地连接。
- 3、按开机键。
- 4、观测软启动。观测TP3的电平变化，以及Vg1输出信号的占空比变化。
- 5、变化占空比。V1接+5V, 调整RP1, 观 测Vg1的占空比。
- 6、变化死区时间。将JP2改为连接3、4和5、6, 观测死区时间。
- 7、观测限流控制。缓慢增长12(电压信号), 观测Vg1的输出脉宽。
- 8、保护封锁脉冲。I1 为0, 增长12至HL2灯亮, 记录此时的电压, 并观测Vg1的输出变化。12为0, 增长11至HL2 灯亮, 记录此时的电压, 并观测Vg1的输出变化。
- 9、双路输出。接通JP4的1, 2两脚。同步观测Vg1和Vg2的输出信号波形。

### 五、试验成果

- 1、TP4端口TL494芯片输出的原则锯齿波， $T_s=100\mu s$

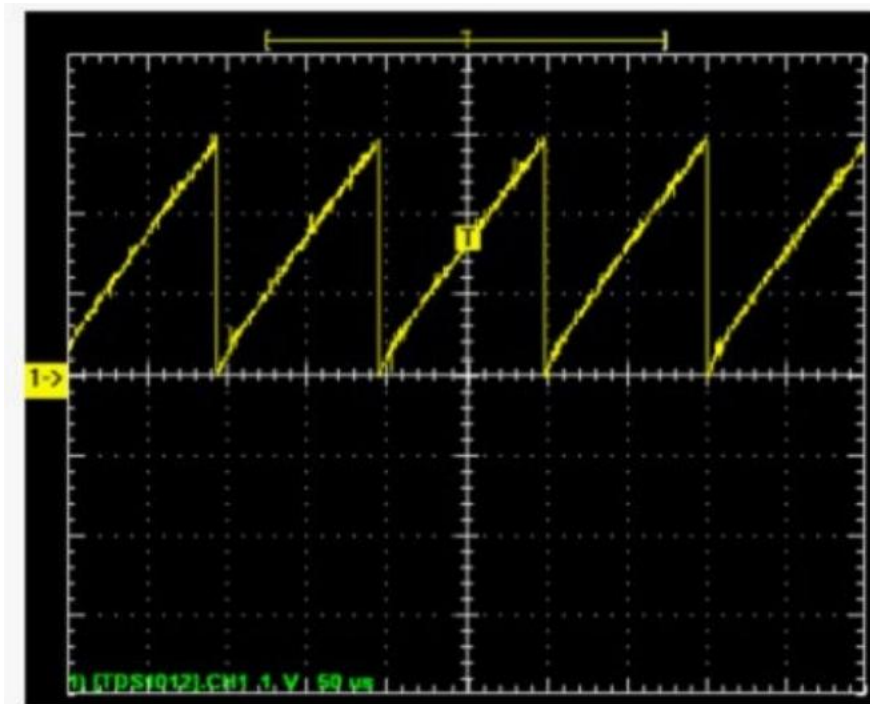


图1-4JP1置于23端时输出锯齿波波形

## 2、软启动

通过TP3 的电平变化，来观测Vg1 波形脉宽变化

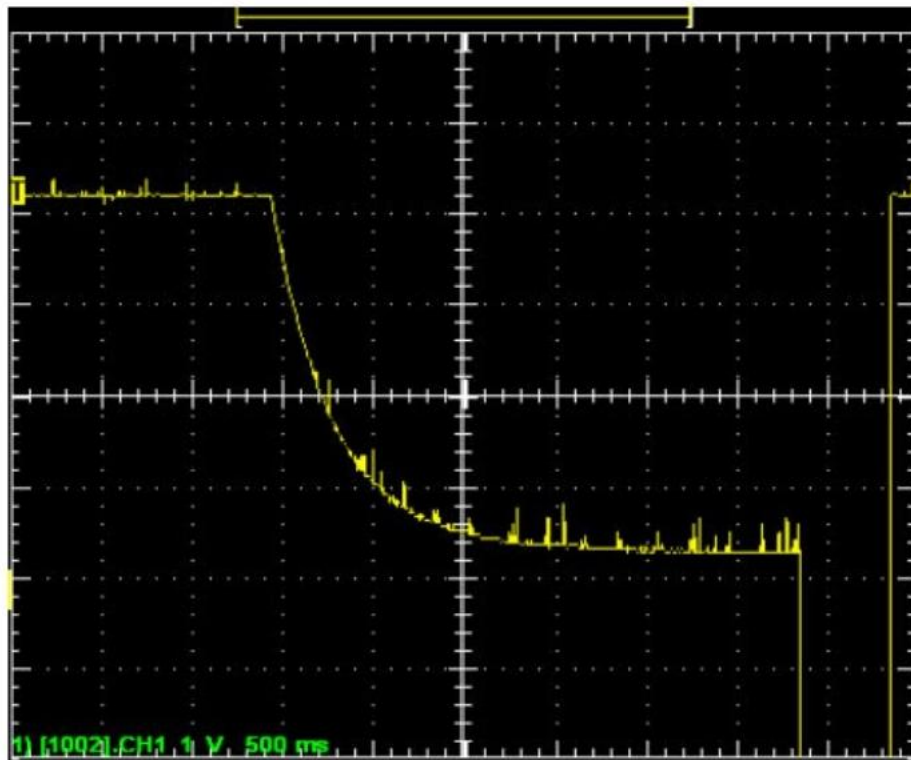


图1-5软启动过程中V4 信号波形

(1)TP3=1.98V    D=0.35时 Vg1波形



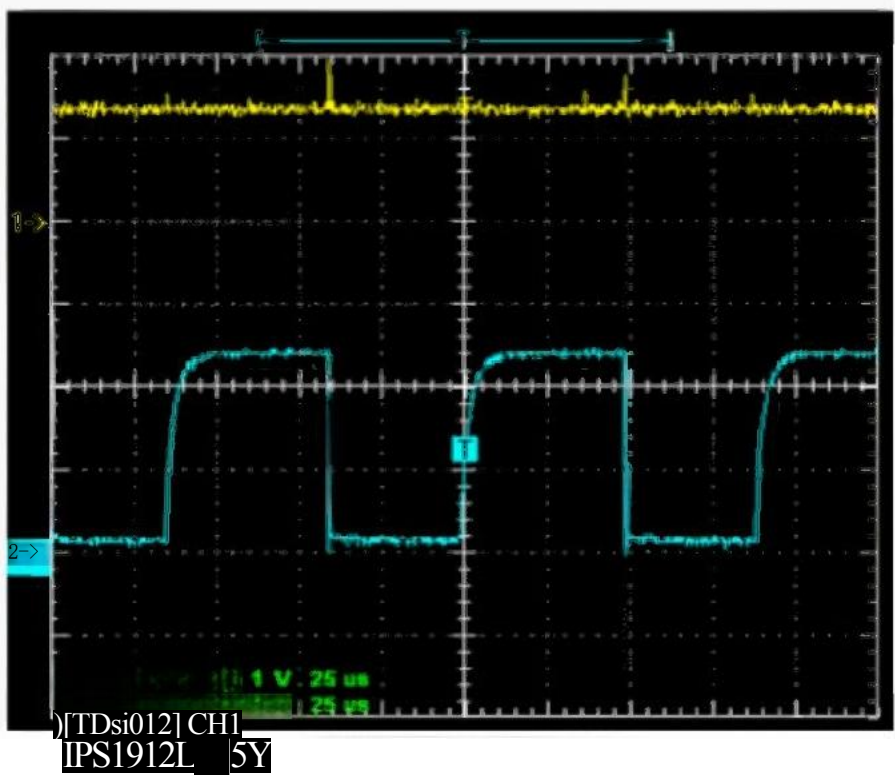


图1-6 D=0.35时 Vg1波形图

(2) TP3=0.71V D=0.55时 Vg1波形

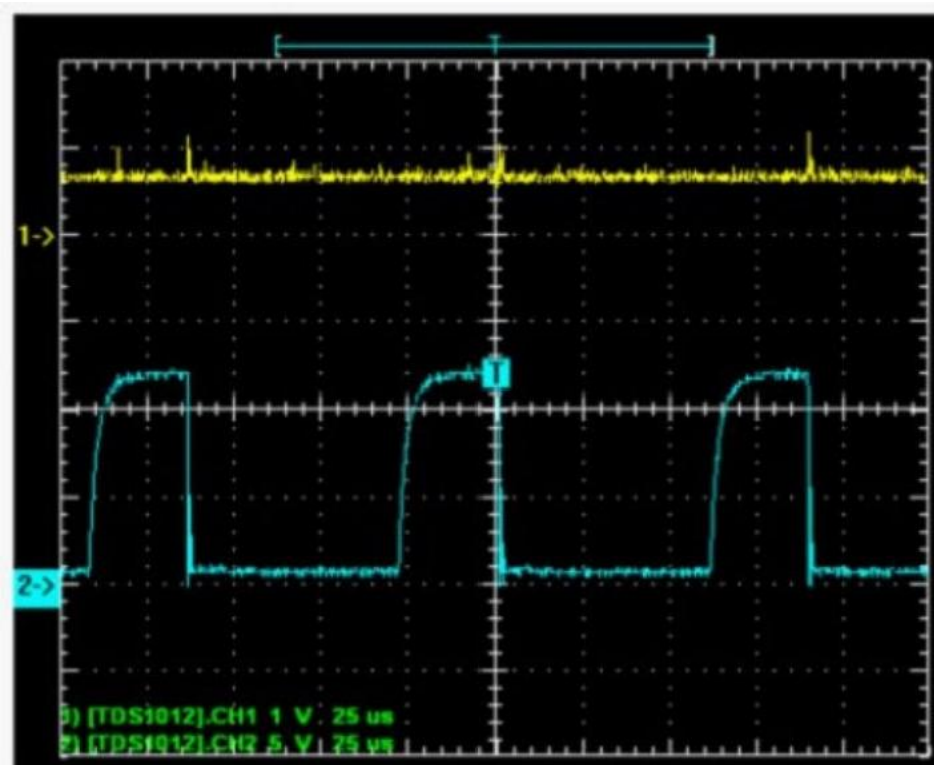


图1-7D=0.55时 Vg1波形图

(3)TP3=0.42V D=0.7时 Vg1波形

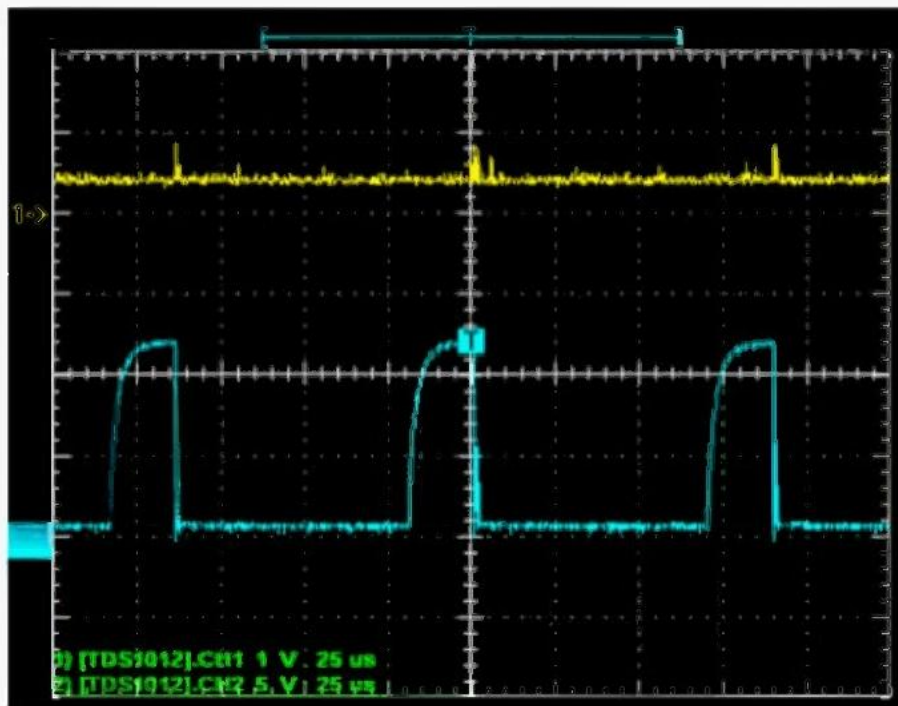


图1-8 D=0.7时 Vg1 波形图

Vg1为低电平时，开关管导通，此时为Ton;Vg1 为高电平时，开关管截止，此时为Toff。由图可得，当TP3电压减小时，占空比增大，进而实现软启动。

### 3、变化占空比

待输出稳定后，V1 接入+5V，通过调整Rp1，变化TL494的 1 脚(TP1)输入电压V的大小，此时，测得TL494的反相输入端(2脚)电压值为2.6V，输出波形的周期约为85us

(1)TP1=2.64V T=0.2us D=0.002 Vg1波形图

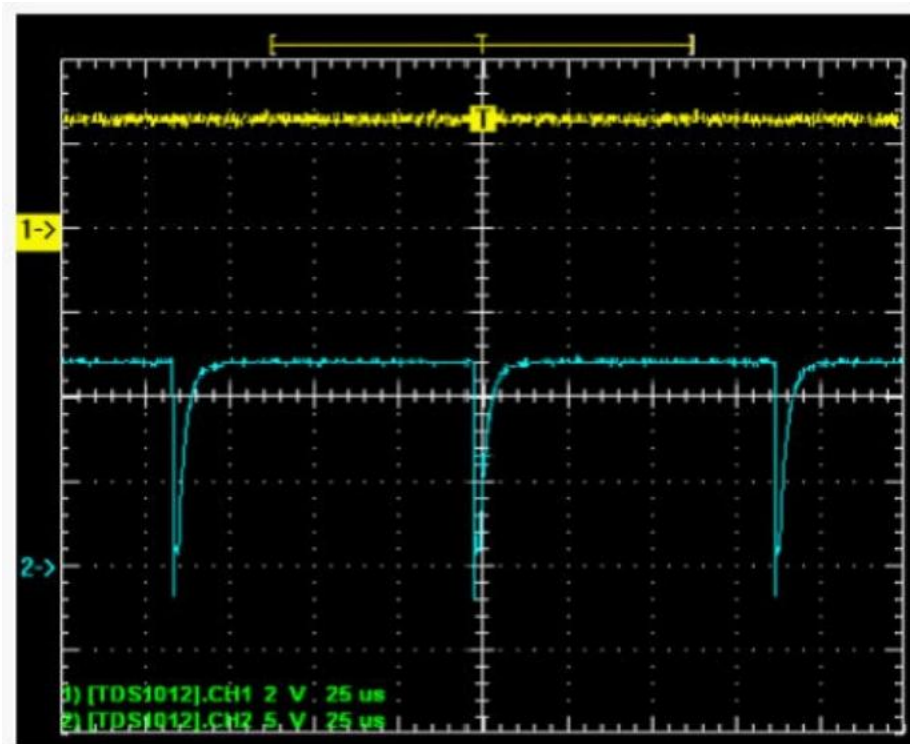


图1-9 D=0.002时 Vg1波形图

(2) TP1=2.61V Ton=60us D=0.6 Vg1波形图

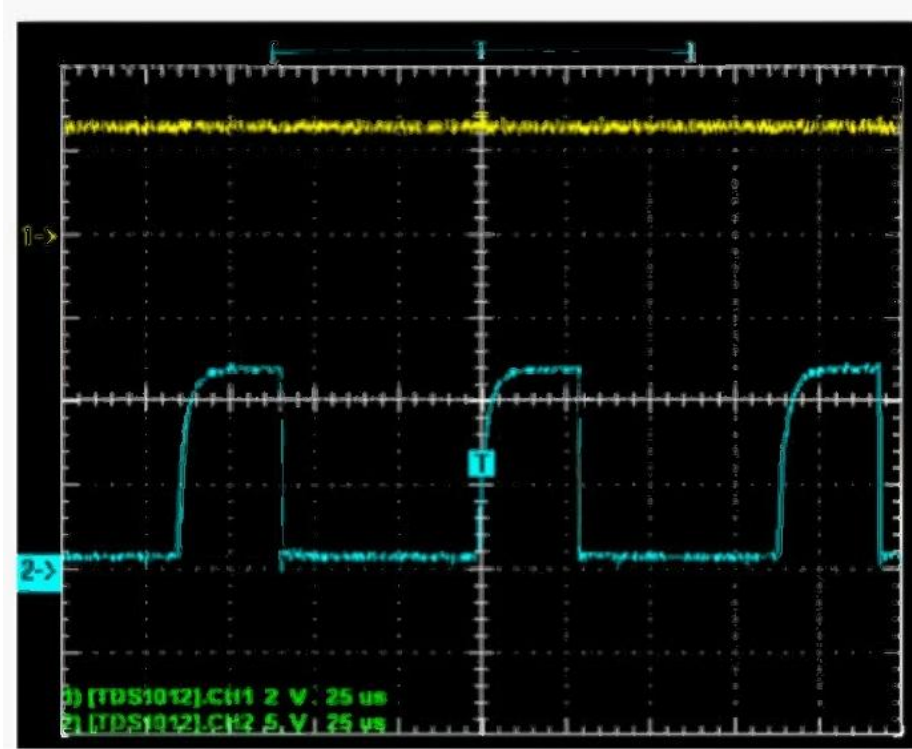


图1-10 D=0.6时Vg1波形图

(3) TP1=2.56V Ton=70us D=0.7 Vg1波形图

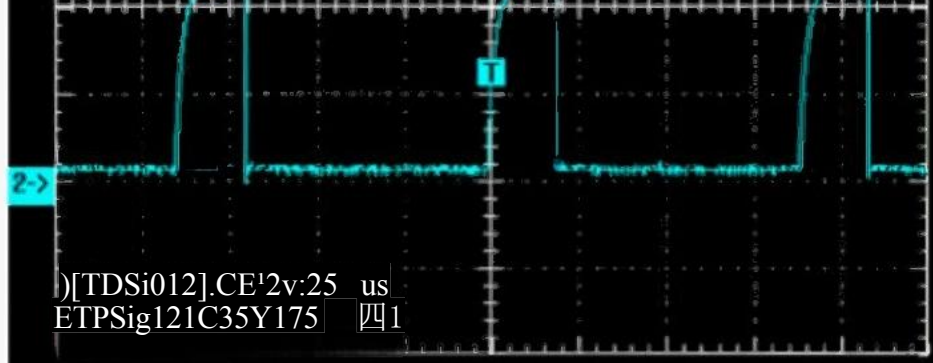


图1-11 D=0.7时Vg1波形图

(4) TP1=2.50V Ton=70us D=0.7 Vg1波形图

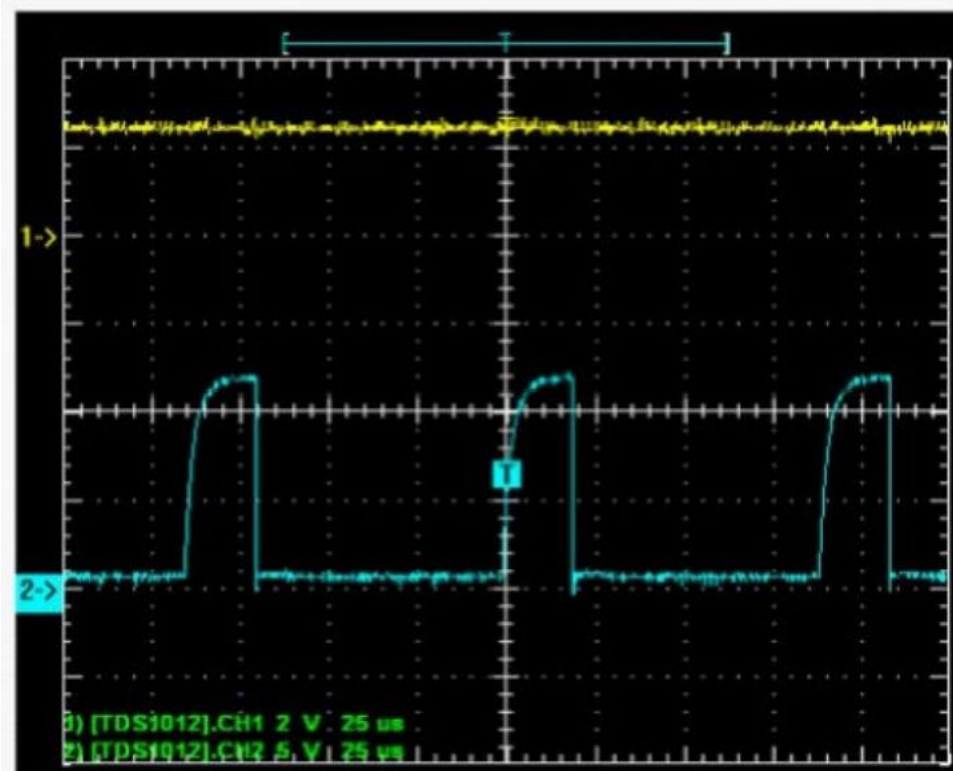


图1-12 D=0.7时 Vg1波形图

由上图可得，TP1 电压越小，导通时间越长，占空比越大，TP1 的有效变化范围是 2.64~2.56V。

#### 4、变化死区时间

将V1悬空(此时Vg1导通时间最长),变化JP2 连接

( 1 ) 连接JP2 的3、4引脚，TP3=0.985V, 死区时间Ta=20us

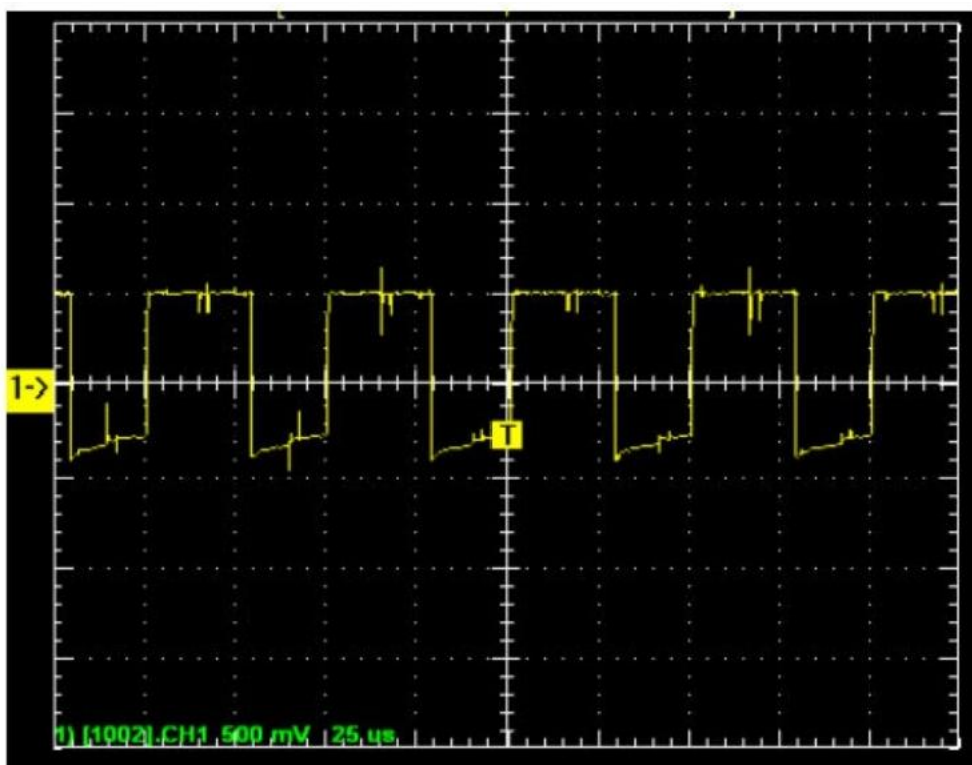


图1-13 JP2选3、4时 Vg1 波形图

(2) 连接 JP2 的 5、6 引脚, TP3=1.252V, 死区时间  $T_a=5\mu s$

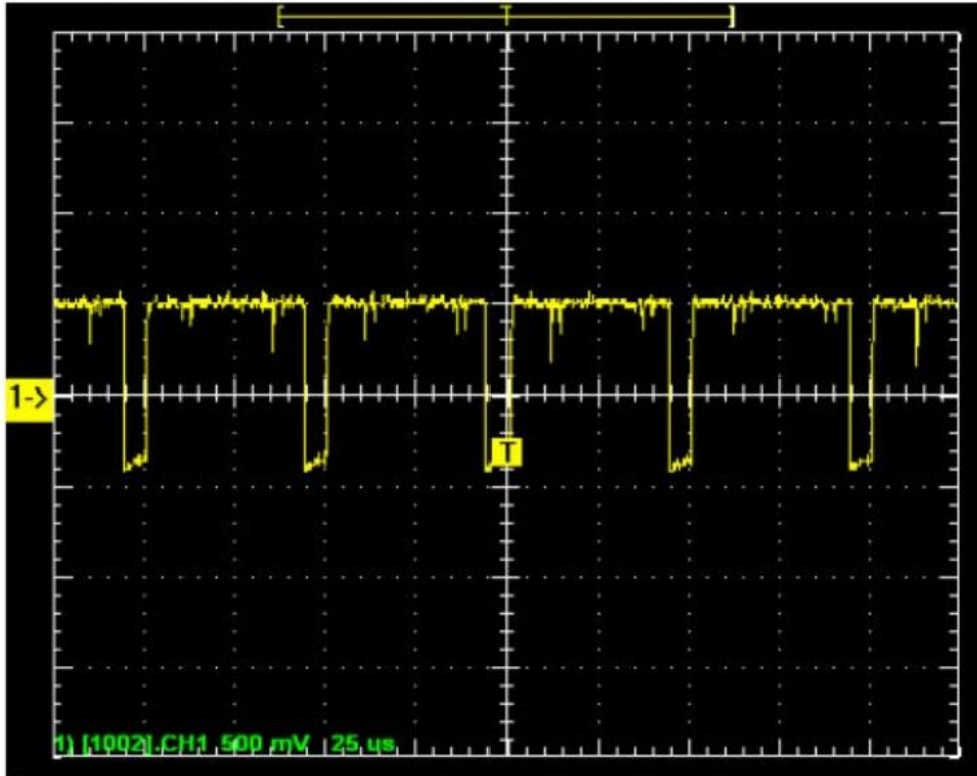


图1-14 JP2选5、6时 Vg1 的波形图

由以上试验成果可得, TL494 引脚 4 的参照电压 REF 越大, 死区时间越长。

#### 5、电流限制与脉冲封锁

12 加电压, 当  $12=3.85V$  时, HL2 灯亮, 出现封锁现象。

11 加电压, 当  $11=11V$  时, HL2 灯亮, 出现封锁现象。

下面在 11 端施加电压来观测脉冲封锁现象。

(1)  $V_n=10.3V$ , Vg1 输出波形

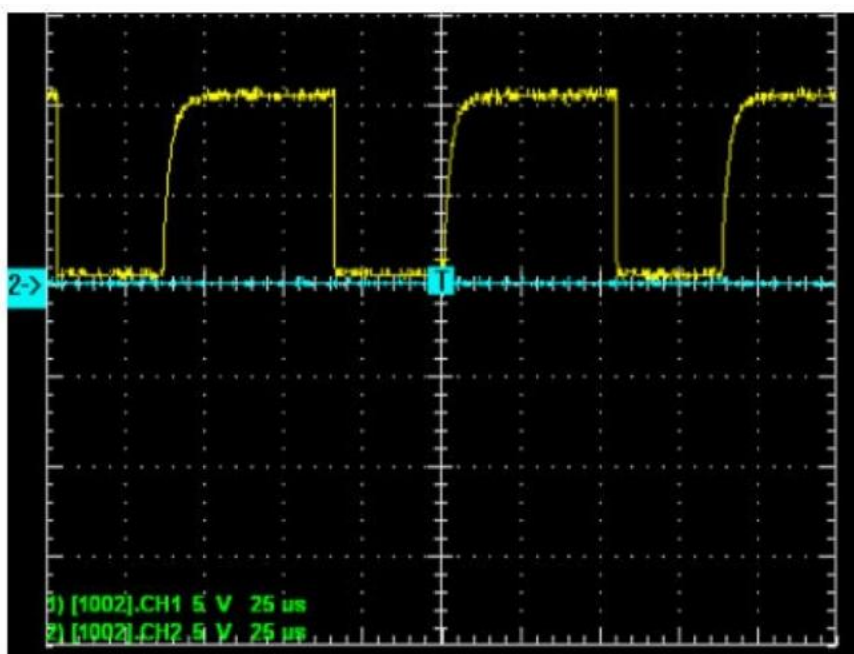




图1-15未过流时Vg1波形图

(1)Vn=13.04V,Vg1 输出波形

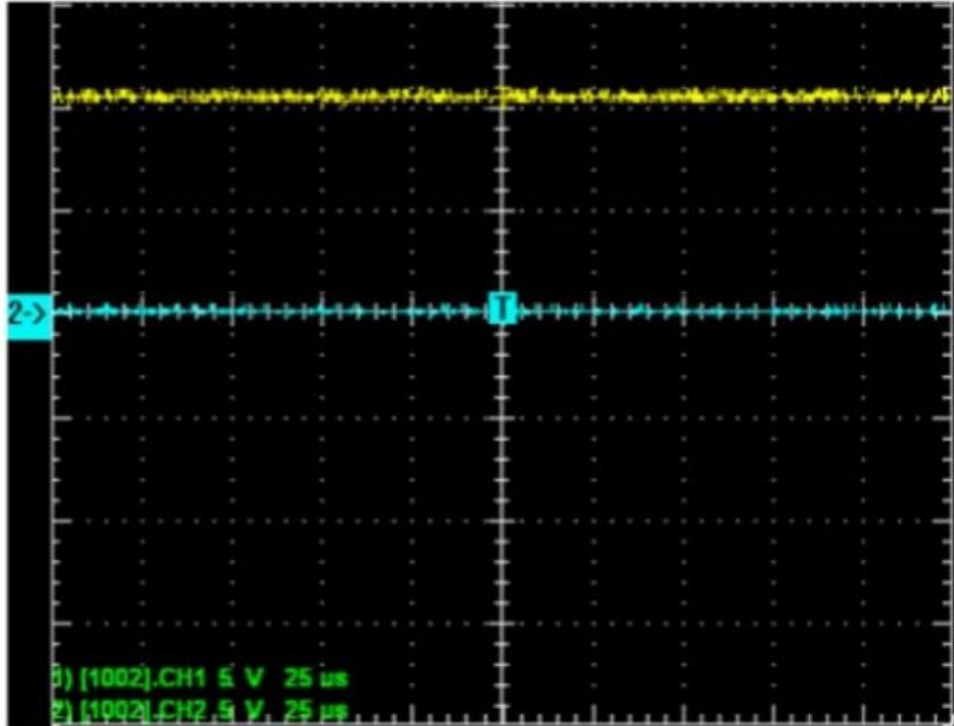


图1-16过流时Vg1波形图

## 6、双路输出

断开JP3, 接通JP4的1、2两脚。观测Vg1,Vg2输出波形

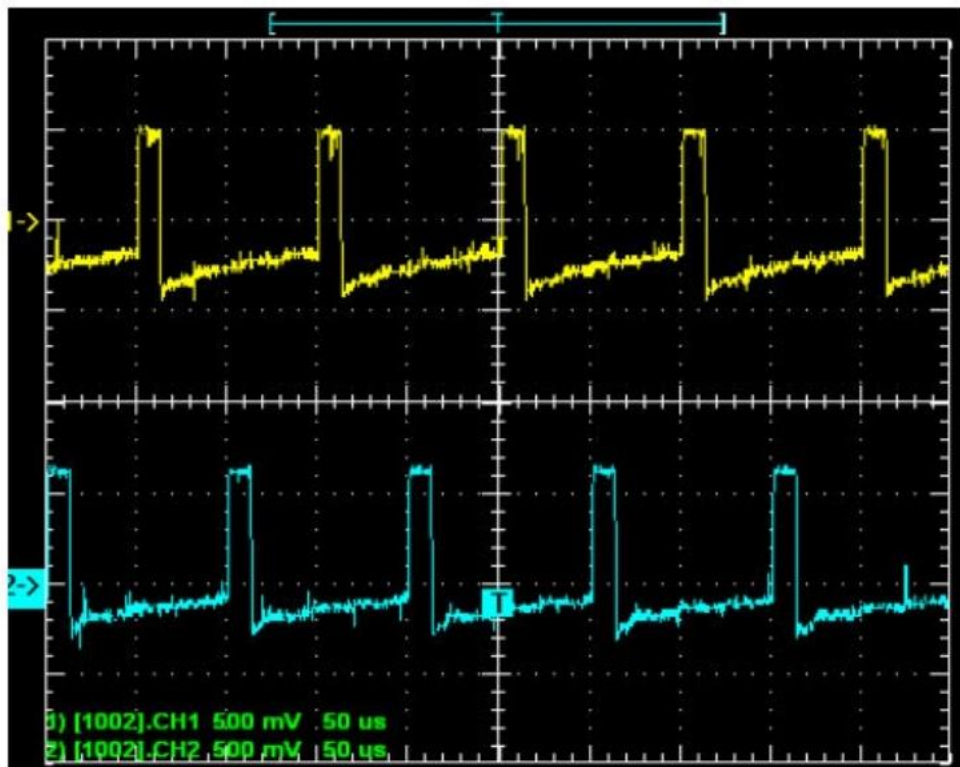


图1-17双路输出时Vg1、Vg2波形图

## 六、思索题

1、怎样验证你设计的PWM控制电路具有稳压控制功能?

答：调整反馈电压大小，观测Vg1输出随TP1电压变化和占空比的变化。

2、怎样验证你设计的PWM控制电路所具有的保护功能?

答：验证试验班具有过流保护功能：I1、I2 分别加电压，板子开机逐渐升高到达一定的值后，灯亮，输出信号被封锁，记录此时的电压值。

3、以你自己的调查或观测，举例阐明软启动的作用。

答：软启动可以限制启动电流，从而到达保护试验板不被烧毁的作用。

4、阐明限流运行时的PWM控制方式的变化。

答：此时应将输出电流作为反馈比较对象。即将本来PWM控制方式的稳压运行方式转换为限制电流的不稳压方式，即不再进行增大脉宽的稳压PWM 控制，转换为电流增大而脉冲宽度减小的限流控制。控制对象由本来的输出电压变为目的的输出电流。

## 试验二十九 DC/DC—PWM 升压、降压变换电路性能研究

## 一、 试验目的

1. 验证、研究 DC/DC PWM 升、降压变换电路的工作原理和特性
2. 在试验二十八的基础上，深入掌握 PWM 集成电路芯片的应用、设计原则
3. 理解电压/电流传感器的选用原则
4. 建立驱动电路的概念和规定
5. 掌握反馈环节与滤波电路的概念与设计原则

## 二、 试验原理

在分压电路中，假如采用半导体功率开关器件取代串联电阻或线性工作的晶体管，使带有滤波器(L 或 / 和C) 的负载线路与直流供电电源周期性地接通、断开，则负载上也得到了另一种数值的直流电压，把输入的直流电源电压通过开关器件斩成周期性通断的方波，因而也称为“斩波电路”，这就是 DC-DC 降压变换的基本手段。降压电路也称为buck 电路。

buck 线路(降压线路)的原理图如图1所示，降压线路的基本特性为：输出电压低于输入电压，输出电流为持续的，输入电流是脉动的。

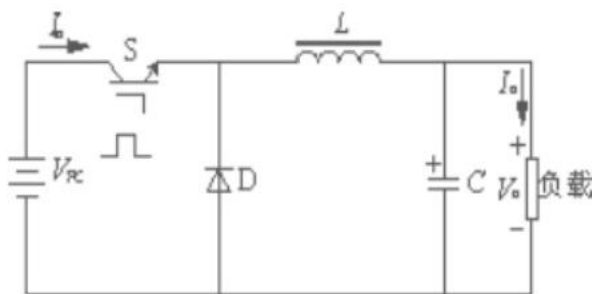


图2-1 buck 线路原理图

### 1. 正常工作模式下：

(1)  $0 < t < DT_s$ ，开关管导通时，输出电感储能，流过电感的电流线性增长，同时给负载提

供能量， $L \frac{di}{dt} = V_S - V_L$

(2)  $DT_s < t < Ts$ ，开关管关断，输出电感通过二极管D进行续流，流过电感的电流线性减

小， $L \frac{di}{dt} = V_o$

根据电感伏秒平衡原理可得： $(V_S - V_o)DT_s = V_o(1-D)Ts$ ，则有： $D = \frac{V_o}{V_S}$

故占空比D越大，负载上得到的电压V。也越高。

### 2. 电感电流断流模式下：

当开关转换线路工作于CCM/DCM边界，对于buck 线路而言，即流过电感的

电流纹波与输出电流相等即：
$$\frac{V_o(1-D)T_s}{2L} = \frac{V_o}{R}$$

因此，当  $1-D < \frac{2Lf_s}{R}$  时，buck 变换器工作在CCM 模式；

当  $1-D > \frac{2Lf_s}{R}$  时，buck 变换器工作在DCM 模式；

当  $1-D = \frac{2Lf_s}{R}$  时，buck 变换器工作在CCM/DCM边界；

3. 本试验所用试验原理图如图2所示：

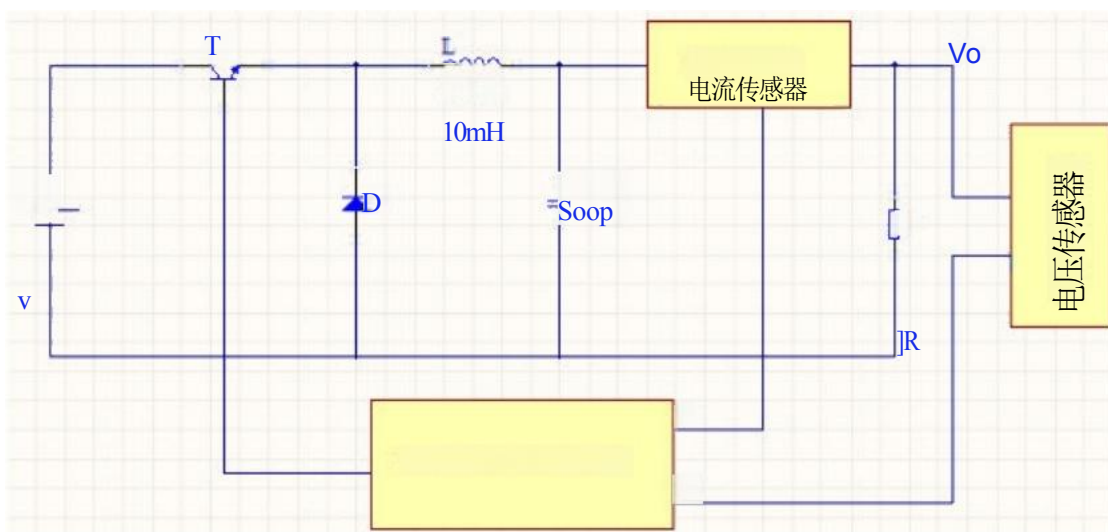


图2- 2试验原理图

### 三 、 试验设备

- 1、电力电子综合试验装置及控制电路试验板、传感器模块、供电电源、控制电源；
- 2、多种功率和参数的电感、电容、电阻；
- 3、数字式示波器；
- 4、计算机及对应分析软件；
- 5、面包板和若干元器件。

### 四 、 试验内容

#### 1. 试验元件参数确实定

##### (1)滤波电感电容的选择

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{\pi^2 f_c^2}{2f_s^2} (1-D)$$

其中， $f_s=10\text{kHz}$ ,  $D=0.5$ ,  $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

,  $LC \geq 1.25 \times 10^{-8} \text{S}$  临界电流： $I_{OB} = \frac{V_o}{2Lf_s} (1-D)$

当 $V_o=50V, P=100W$  时,  $I=2A$ , 要保证 $I \geq I_oB$ , 则 $L \geq 0.625mH, C \geq 20\mu F$

综合考虑, 并保留一定裕度, 本试验中我们选用 $L=10mH, C=220\mu F$ , 此时的输出电压纹

波:  $\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0.03\%$ ;

(2) 电压传感器和电流传感器部分

在测试 buck 电路闭环特性时, 需要电压传感器和电流传感器来构造闭环回路

① 电压反馈环节: 电路中V1接电压传感器, 引入反馈。由 $V_o=50V$ ,  $I_1 = \frac{50V}{15k\Omega}$

$I_2 = \frac{5V}{R_{x1} + 300\Omega}$ , 由 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{10}{25}$ 可得,  $R_{x1} = 300\Omega$ ;

② 电流反馈环节: 通过控制板电路图可知, 串口I1 电压 $\geq 8.53V$ 时闭锁, 传感器选5  
匝, 电流留有20%的余量, 即超过2.4A 时闭锁保护, 由 $2.4 \times 5 \times 10^{-3} \times (R_{x2} + 300\Omega) = 8.53V$ , 可得 $R_{x2} = 410.4\Omega$ , 在此取 $R_{x2} = 420\Omega$ .

2. 完毕主电路元件的连接、驱动电路的连接和控制电路的连接; 检测PWM 电路板, 并使其单路输出:

接好TL494 驱动线路, 将电路板上JP1 的2、3引脚连接, 确定 $f=10KHz$ , 将 JP3 的1、2引脚连接, JP2 的5、6 引脚连接,  $V_{g1}$ 接至示波器CH1,K1 闭合, C21 充电完毕后, 观测产生的PWM波, 通过调整RP1, 可以变化占空比。

3. 开环特性

(1) 电源输入 $V_s=100V$ , 负载 $R=500$ , 调整RP1 使占空比D 在0.3—0.7之间浮动, 测量输出 $V_o, I_o$

(2) 确定占空比 $D=0.5$ , 负载 $R=200\Omega$ , 变化 $V_s$ , 测量输出 $V_o, I_o$ ;

(3) 确定占空比 $D=0.5, V_s=100V$ , 变化负载R, 测量输出 $V_o, I_o$ ;

(4) 确定占空比 $D=0.5, V_s=100V$ , 测量系统在空载状态下的输出  $V_o, I_o$ ;

4. 闭环特性: 电路中V1接电压传感器, 引入反馈环节

(1) 维持负载 $R=200\Omega$ 不变, 变化 $V_s$ , 测量输出 $V_o, I_o$ ;

(2) 维持电源电压 $V_s=100V$ , 变化R, 测量输出 $V_o, I_o$ ;

(3) 确定占空比 $D=0.5, V_s=100V$ , 测量系统在空载状态下的输出  $V_o, I_o$ ;

五、试验成果

1、PWM 波产生

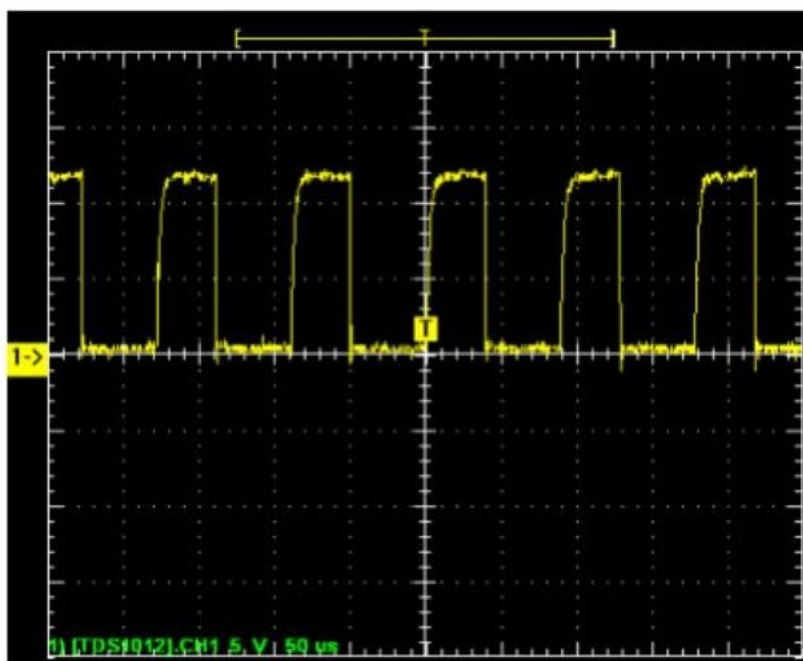


图2-3 PWM波产生

## 2. 开环特性

(1) 电源输入  $V_5=100V$ , 负载  $R=50\Omega$ , 调整  $RP1$  使占空比  $D$  在  $0.3-0.7$  之间浮动, 测量输出  $V_o, I_o$ ;

表1—输出电压和电流随占空比  $D$  的变化

D	4/9	5/9	6/9	7/9	8/9
$V_o/v$	53.5	41	29	21	13
$I_o/A$	0.98	0.79	0.55	0.4	0.24
$V_o/V$ /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式		$I_o/A$ /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式 /通用格式			
	0	1/2		0	1/2 1
		D			D
			1		

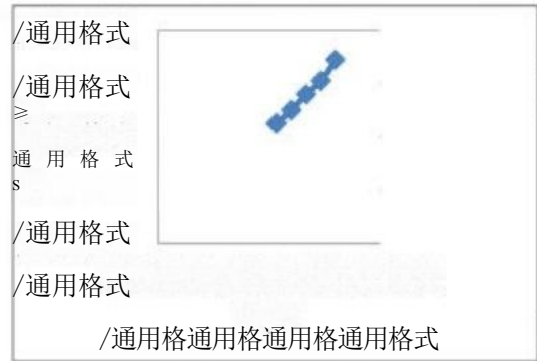
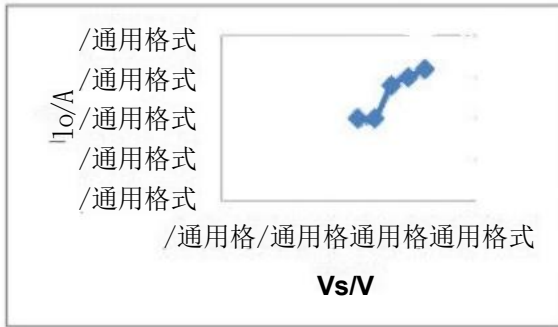
(2) 确定占空比 $D=0.5$ , 负载 $R=200\ \Omega$ , 变化 $V_s$ , 测量输出 $V_o, I_o$ ;

表2—输出电压和电流随输入电压 $V_s$ 的变化

$V_s/v$	80	90	100	110	120
---------	----	----	-----	-----	-----



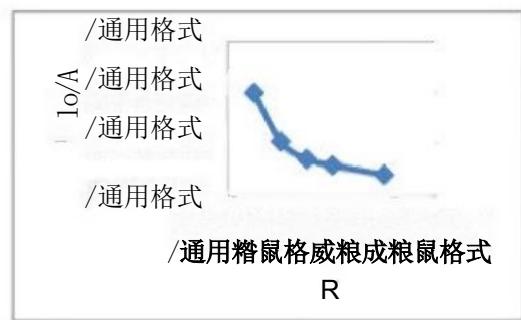
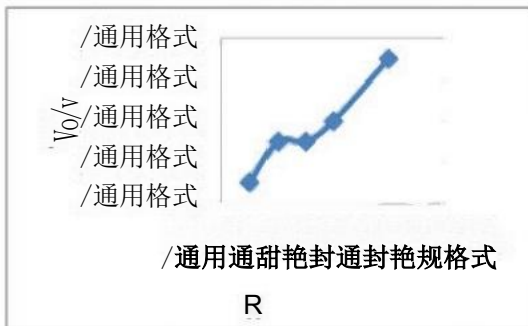
$V_o/v$	<b>45</b>	50	<b>56</b>	61	69
$I_o/A$	<b>0.2</b>	0.2	<b>0.28</b>	0.3	0.32



(3) 确定占空比  $D=0.5$ ,  $V_s=100V$ , 变化负载  $R$ , 测量输出  $V_o, I_o$ ;

表3 输出电压和电流随负载电阻  $R$  的变化

$R/\Omega$	50	100	150	200	300
$V_o/v$	53	55	55	56	59
$I_o/A$	1	0.52	0.35	0.29	0.2



(4) 确定占空比  $D=0.5$ ,  $V_s=100V$ , 测量系统在空载状态下的输出  $V_o, I_o$ ;

表4 空载状况下的输出

$V_o/v$	100
$I_o/A$	0

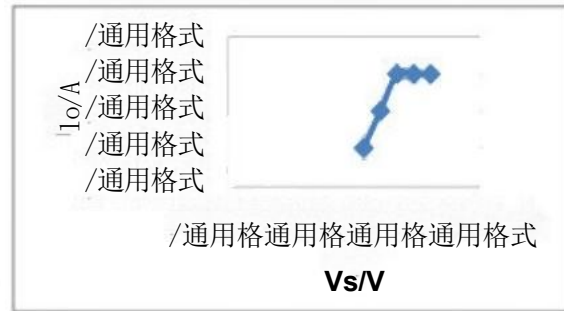
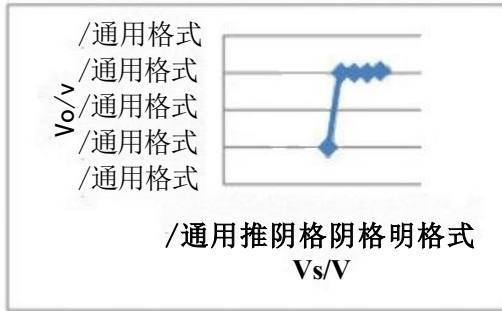
3. 闭环特性：电路中  $V1$  接电压传感器，引入反馈环节

(1) 维持负载 $R=200\Omega$  不变, 变化 $V_s$ , 测量输出 $V_o, I_o$ ;

表5 — 输出电压和电流随输入电压 $V$  的变化

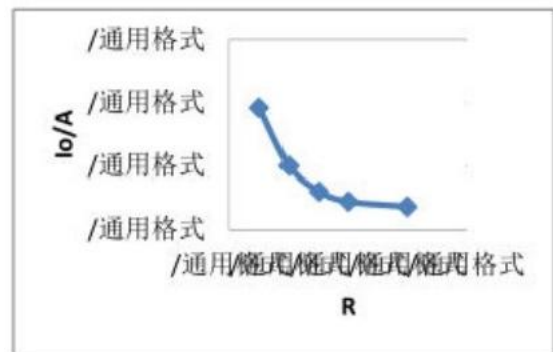
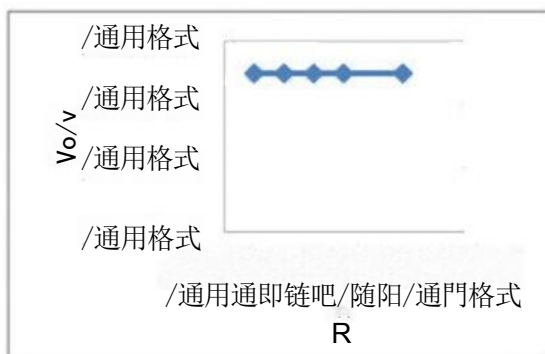
$V_s/v$	80	90	100	110	120
---------	----	----	-----	-----	-----

$V_O/v$	46.0	50.0	50.0	50.0	50.1
$I_O/A$	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22



(2) 维持电源电压  $V_s=100V$ ，变化  $R$ ，测量输出  $V_O, I_O$ ;  
表6—输出电压和电流随输入负载电阻  $R$  的变化

$R/\Omega$	50	100	150	200	300
$V_O/v$	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
$I_O/A$	0.96	0.5	0.3	0.22	0.18



(3) 确定占空比  $D=0.5$ ,  $V_s=100V$ ，测量系统在空载状态下的输出  $V_O, I_O$ ;

表7—空载状况下的输出

$V_O/v$	50
$I_O/A$	0

## 六、试验成果分析

从试验成果的数据中可以看出开环闭环特性的不一样，开环时由于没有反馈，其误差比较大，而当加了一种闭环之后，当输入电压发生较大变化时，输出电压都能基本稳定在指令值附近，这阐明电路的抗干扰性能有了较大的提高。

## 七、思索题

1、Buck 电路中电感电流持续与否会有什么影响?哪些参数会影响电流持续?试验中怎样保证电流持续?

答: Buck 电路在电流不持续时, 输出电压会略高于电流持续状况下的输出电压。根据临界

电流体现式  $I_{oB} = \frac{V_o}{2Lf_s}(1-D)$  可知, 当负载电流不小于临界值时即会发生断流现象, 即电感L 值、电源频率 $f_s$ 、占空比D及输出电压都会影响电流的持续性。试验中, 可以通过选用大电感, 增大占空比, 或增大开关频率来保证负载电流不小于临界值, 从而使电感电流持续。

2、Boost 电路中, 为何D 不能等于1?试验中怎样保证D $\neq$ 1?

答: 由于在Boost 变换器中, 开关管导通时, 电源与负载脱离, 其能量所有储存在电感中, 当开关管关断时, 能量才从电感中释放到负载。假如占空比D 靠近于1, 那么开关靠近于全导通状态, 几乎没有关断时间, 那么电感在开关管导通期间储存的能量没有时间释放, 将导致电感饱和, 直至烧毁。因此Boost 变换器不适宜在占空比D 靠近1的状况下工作。同步, 从 Boost 变换器在电感电流持续工况时的变压比体现式  $M=V_{IV5}=1/(1-D)$  也可以看出, 当占空比D 靠近1时, 变压比M靠近于无穷大, 这显然与实际不符, 将导致电路无法正常工作。

3、两种电路中L 和C 的设计应当满足什么规定?

答: 两电路中L 和 C 都是起滤波作用。对于LC设计滤波时的规定:

①负载上的单次谐波电压和总谐波电压减少到容许范围内; 电源中单次谐波电流和总谐波电流减少到容许范围内。

②滤波电感基波阻抗不大, 负载变化时开关电路输入电压波动不大, 负载电压波动不大。

③滤波器LC 电压、电流的kVA 值小, 成本低、体积小、重量轻。

4、试验电路中, 开关管的驱动电路规定有哪些?

答: 驱动电路需要提供持续的驱动电流, 规定如下:

①开通时有较高的基极驱动电流 $i_b$  强触发, 以减短开通时间

②开通后在通态下基极电流要合适减小, 以减少通态时基射结损耗, 同步使开关管不致过饱和和导通。

③关断时是假反向的基射极电压, 这能增长电力晶体管的集射极阻断电压的能力。

④断态时最佳外加反向的基射极电压, 这能增长电力晶体管的集射极阻断电压的能力。

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/417046103126010010>