

浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：潘谷雨

学号：3220102382

日期：2025.5.7

地点：教二 115

课程名称：电力电子技术 指导老师：胡鹏飞、赵建勇 成绩：

实验名称：DC-DC 直流斩波电路实验

一、实验目的和要求

1、实验目的

- 熟悉直流斩波电路的工作原理
- 熟悉各种直流斩波电路的组成及其工作特点
- 了解 PWM 控制与驱动电路的原理及其常用的集成芯片

2、实验报告要求

- 整理各组实验数据绘制各直流斩波电路的 $U_i/U_o-\alpha$ 曲线，并作比较与分析
- 讨论、分析实验中出现的各种现象

二、实验内容和原理

1、实验原理

(1) 主电路

① 降压斩波电路(Buck Chopper)

降压斩波电路(Buck Chopper)的原理图及工作波形如图 1 所示。图中 V 为全控型器件，选用 IGBT。D 为续流二极管。由图 1 (b) 中 V 的栅极电压波形 U_{GE} 可知，当 V 处于通态时，电源 U_i 向负载供电， $U_D=U_i$ 。当 V 处于断态时，负载电流经二极管 D 续流，电压 U_D 近似为零，至一个周期 T 结束，再驱动 V 导通，重复上一周期的过程。负载电压的平均值为：

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} U_i = \frac{t_{on}}{T} U_i = \alpha U_i$$

该公式推导过程为电流连续状态，后续电路公式推导也均是电流连续状态。式中 t_{on} 为 V 处于通态的时间， t_{off} 为 V 处于断态的时间，T 为开关周期， α 为导通占空比，简称占空比或导通比($\alpha=t_{on}/T$)。由此可知，输出到负载的电压平均值 U_o 最大为 U_i ，若减小占空比 α ，则 U_o 随之减小，由于输出电压低于输入电压，故称该电路为降压斩波电路。

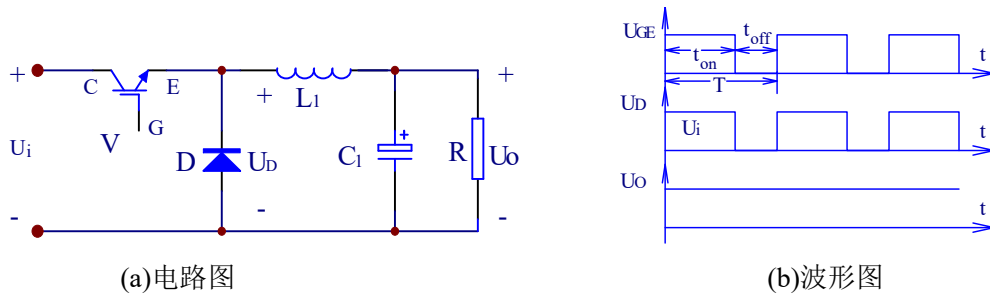


图 1 降压斩波电路的原理图及波形

②升压斩波电路(Boost Chopper)

升压斩波电路(Boost Chopper)的原理图及工作波形如图 2 所示。电路也使用一个全控型器件 \$V\$。由图 2 (b) 中 \$V\$ 的栅极电压波形 \$U_{GE}\$ 可知，当 \$V\$ 处于通态时，电源 \$U_i\$ 向电感 \$L_1\$ 充电，充电电流基本恒定为 \$I_1\$，同时电容 \$C_1\$ 上的电压向负载供电，因 \$C_1\$ 值很大，基本保持输出电压 \$U_o\$ 为恒值。设 \$V\$ 处于通态的时间为 \$t_{on}\$，此阶段电感 \$L_1\$ 上积蓄的能量为 \$U_i I_1 t_{on}\$。当 \$V\$ 处于断态时 \$U_i\$ 和 \$L_1\$ 共同向电容 \$C_1\$ 充电，并向负载提供能量。设 \$V\$ 处于断态的时间为 \$t_{off}\$，则在此期间电感 \$L_1\$ 释放的能量为 \$(U_o - U_i) I_1 t_{off}\$。当电路工作于稳态时，一个周期 \$T\$ 内电感 \$L_1\$ 积蓄的能量与释放的能量相等，即

$$U_i I_1 t_{on} = (U_o - U_i) I_1 t_{off}$$

$$U_o = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} U_i = \frac{T}{t_{off}} U_i$$

上式中的 \$T/t_{off} \geq 1\$，输出电压高于电源电压，故称该电路为升压斩波电路。

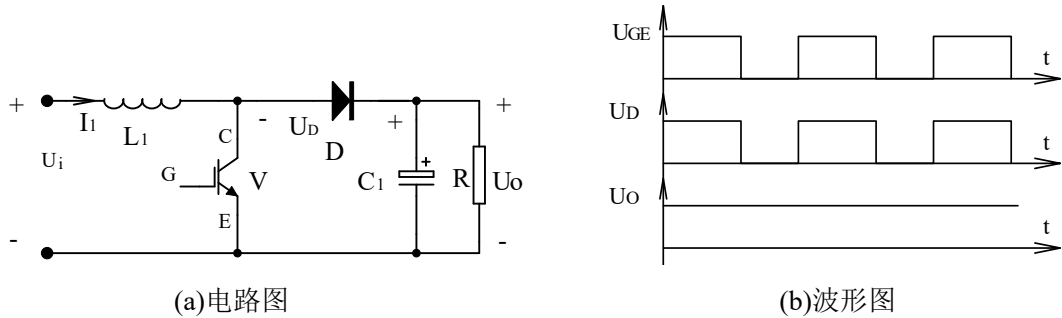


图 2 升压斩波电路的原理图及波形

③升降压斩波电路(Boost-Buck Chopper)

升降压斩波电路(Boost-Buck Chopper)的原理图及工作波形如图 3 所示。电路的基本工作原理是：当可控开关 \$V\$ 处于通态时，电源 \$U_i\$ 经 \$V\$ 向电感 \$L_1\$ 供电使其贮存能量，同时 \$C_1\$ 维持输出电压 \$U_o\$ 基本恒定并向负载供电。此后，\$V\$ 关断，电感 \$L_1\$ 中贮存的能量向负载释放。可见，负载电压为上负下正，与电源电压极性相反。输出电压为：

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{off}} U_i = \frac{t_{on}}{T - t_{on}} U_i = \frac{a}{1 - a} U_i$$

若改变导通比 α ,则输出电压可以比电源电压高,也可以比电源电压低。当 $0<\alpha<1/2$ 时为降压,当 $1/2<\alpha<1$ 时为升压。

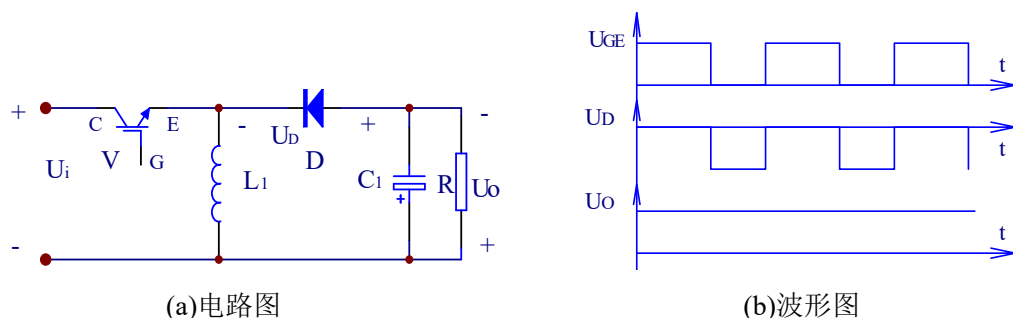


图 3 升降压斩波电路的原理图及波形

④Cuk 斩波电路

Cuk 斩波电路的原理图如图 4 所示。电路的基本工作原理是：当可控开关 V 处于通态时， U_i-L_1-V 回路和负载 $R-L_2-C_2-V$ 回路分别流过电流。当 V 处于断态时， $U_i-L_1-C_2-D$ 回路和负载 $R-L_2-D$ 回路分别流过电流，输出电压的极性与电源电压极性相反。输出电压为：

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{off}} U_i = \frac{t_{on}}{T - t_{on}} U_i = \frac{a}{1 - a} U_i$$

若改变导通比 α ,则输出电压可以比电源电压高,也可以比电源电压低。当 $0<\alpha<1/2$ 时为降压,当 $1/2<\alpha<1$ 时为升压。

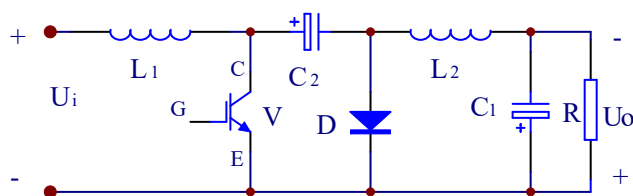


图 4 Cuk 斩波电路原理图

⑤Sepic 斩波电路

Sepic 斩波电路的原理图如图 5 所示。电路的基本工作原理是：可控开关 V 处于通态时， U_i-L_1-V 回路和 C_2-V-L_2 回路同时导电， L_1 和 L_2 贮能。当 V 处于断态时， $U_i-L_1-C_2-D-R$ 回路及 L_2-D-R 回路同时导电，此阶段 U_i 和 L_1 既向 R 供电，同时也向 C_2 充电， C_2 贮存的能量在 V 处于通态时向 L_2 转移。输出电压为：

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{off}} U_i = \frac{t_{on}}{T - t_{on}} U_i = \frac{a}{1 - a} U_i$$

若改变导通比 α ,则输出电压可以比电源电压高,也可以比电源电压低。当 $0<\alpha<1/2$ 时为降压,当 $1/2<\alpha<1$ 时为升压。

2、实验内容

- (1) 控制与驱动电路的测试
- (2) 典型直流斩波器实验

三、主要仪器设备

序号	型 号	备 注
1	DJDK-3W 电源控制屏	该控制屏包含“三相电源输出”等几个模块。
2	DJK09 单相调压与可调负载	该挂件有单相整流电路
3	DJK20 直流斩波电路	该挂件有直流斩波电路所需组件
4	D42 三相可调电阻	
5	双踪示波器	
6	万用表	

四、操作方法和实验步骤

1、控制与驱动电路测试

- (1) 启动实验装置电源，开启 DJK20 控制电路电源开关。
- (2) 调节 PWM 脉宽调节电位器改变 U_r ，用双踪示波器分别观测输出 PWM 信号的变化情况。用示波器观测 PWM 信号的波形，记录其波形，并将频率和幅值填入表中。

2、直流斩波电路波形观察及数据测试

斩波电路的输入直流电压 U_i 有多种选择方式：可以由三相调压器输出的单相交流电经 DJK20 挂箱上的单相桥式整流及电容滤波后得到；可以由实验台 0-30V 直流稳压可调电源得到。（注：若通过整流电路得到直流电源，应注意本装置限定直流输出最大值为 30V，输入交流电压的大小由调压器调节输出）。

按下列实验步骤依次对降压斩波电路（buck）和升压斩波电路（boost）两种典型的直流斩波电路进行测试，并记录相关数据和波形。其余电路可以作为选做内容。

- (1) 切断电源，根据 DJK20 上的主电路图，利用面板上的元器件连接好相应的斩波实验线路，并接上电阻负载，负载电流最大值限制在 200mA 以内。将控制与驱动电路的输出“V-G”、“V-E”分别接至 V 的 G 和 E 端。
- (2) 检查接线正确，尤其是电解电容的极性是否接反后，接通主电路和控制电路的电源。
- (3) 用示波器观测 IGBT 的 U_{GE} 电压波形、 U_{CE} 电压波形，并选择其中 1-2 组波形记录。
- (4) 调节 PWM 脉宽调节电位器改变 U_r ，观测在不同占空比(α)时，记录 U_i 、 U_o 和 α 的数值于表中，从而画出 $U_o=f(\alpha)$ 的关系曲线。

五、实验数据记录和处理

1、控制与驱动电路测试

示波器观测 PWM 信号，得到频率和幅值如表 1 所示。

表 1 PWM 信号频率与幅值

观测点	PWM
幅值 A (V)	14.2V
频率 f (Hz)	11.1kHz

示波器显示 PWM 信号波形如图 1.1 所示，注意示波器探头已衰减 10 倍。

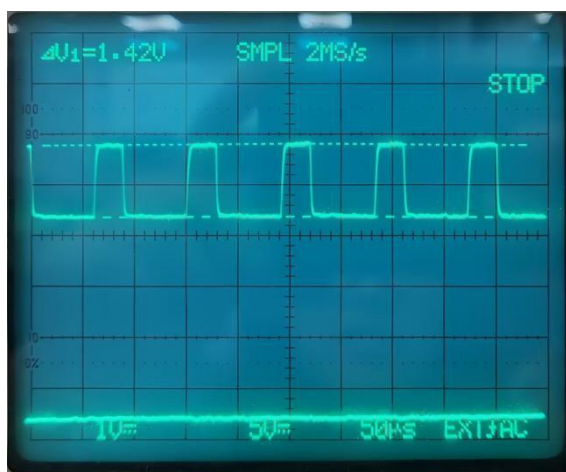


图 1.1 PWM 信号波形

2、直流斩波电路波形观察及数据测试

(1) buck 电路

示波器观测 IGBT 的 U_{GE} 、 U_{CE} 电压波形如图 2.1 与图 2.2 所示（上为 U_{GE} ，下为 U_{CE} ）。

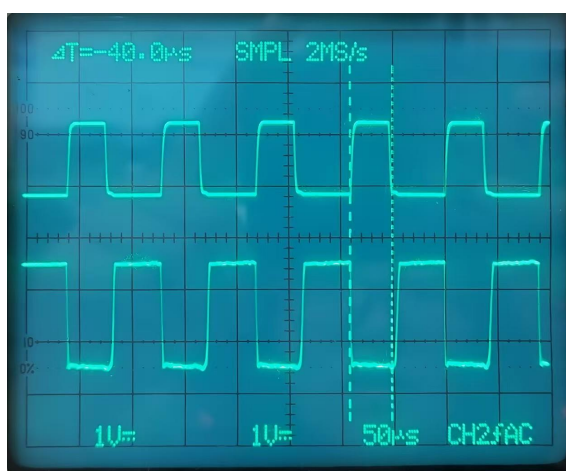


图 2.1 buck 电路 U_{GE} 、 U_{CE} 电压波形 ($\alpha = 44.4\%$)

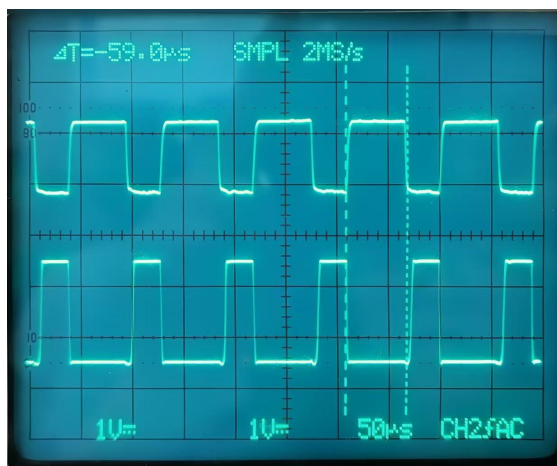


图 2.1 buck 电路 U_{GE} 、 U_{CE} 电压波形 ($\alpha = 65.6\%$)

观测在不同占空比(α)时, 记录 U_i 、 U_o 和 α 的数值, 记录实验数据如表 2.1 所示

表 2.1 不同占空比下电压 U_i 、 U_o 数值

$t_{on}/\mu s$	33	40	47	54	59	64
$\alpha/\%$	36.7%	44.4%	52.2%	60.0%	65.6%	71.1%
U_i/V	20.1	20.1	20	20	20.1	20.1
U_o/V	7.34	8.96	10.67	12	12.97	14.1
U_i/U_o	2.74	2.24	1.87	1.67	1.55	1.43

(2) boost 电路

示波器观测 IGBT 的 U_{GE} 、 U_{CE} 电压波形如图 2.3 与图 2.4 所示 (上为 U_{GE} , 下为 U_{CE})。

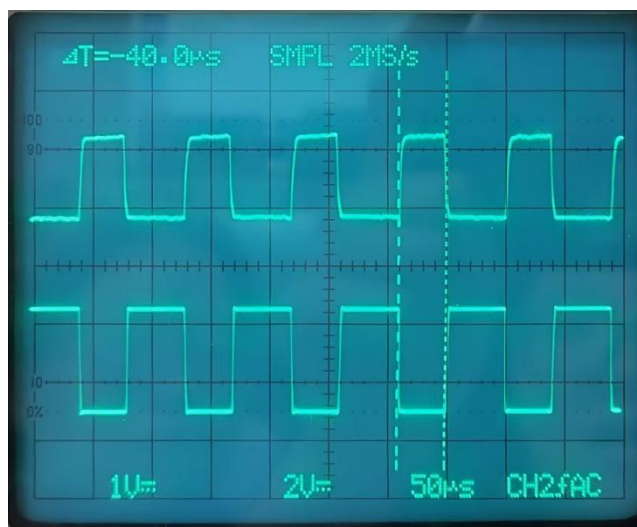


图 2.3 boost 电路 U_{GE} 、 U_{CE} 电压波形 ($\alpha = 44.4\%$)

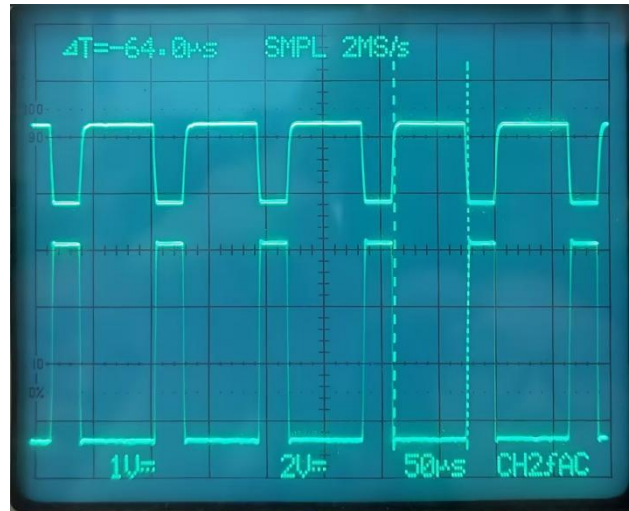


图 2.4 boost 电路 U_{GE} 、 U_{CE} 电压波形 ($\alpha = 44.4\%$)

观测在不同占空比(α)时, 记录 U_i 、 U_o 和 α 的数值, 记录实验数据如表 2.2 所示

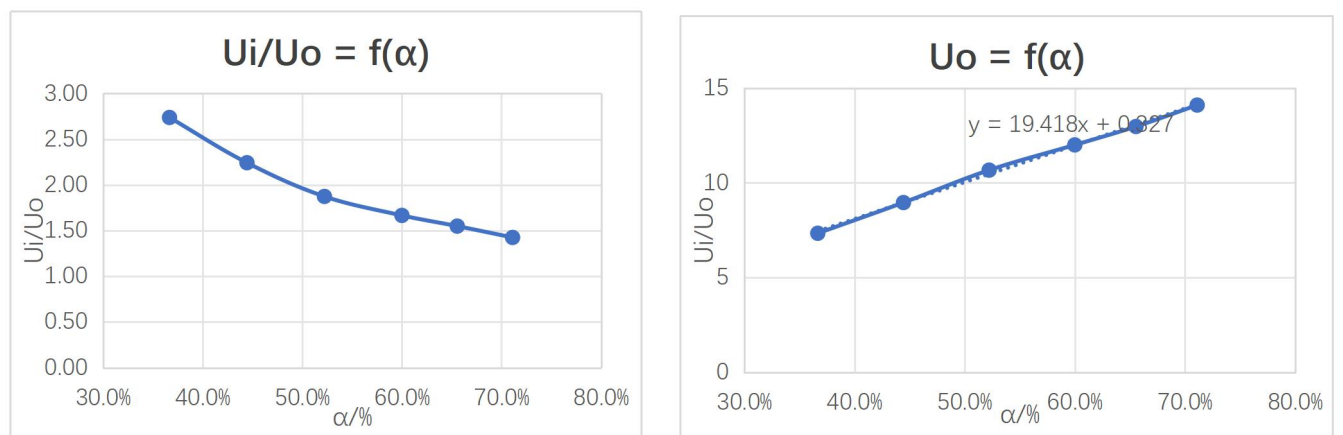
表 2.2 不同占空比下电压 U_i 、 U_o 数值

ton/ μ s	26	33	40	47	54	64
$\alpha/\%$	28.9%	36.7%	44.4%	52.2%	60.0%	71.1%
U_i/V	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4
U_o/V	27.73	31.35	35.79	41.57	49.84	69.9
U_i/U_o	0.74	0.65	0.57	0.49	0.41	0.29

六、实验结果与分析

1、buck 电路

buck 电路 $U_i/U_o = f(\alpha)$ 曲线与 $U_o = f(\alpha)$ 曲线如图 2.5 所示。



(a) $U_i/U_o = f(\alpha)$ 曲线

(b) $U_o = f(\alpha)$ 曲线

图 2.5 buck 电路输出特性

在实验条件下，输入电压 U_i 保持恒定。由图 2.5 (a) 可见，根据 buck 电路的电压传输特性 $U_o = \alpha U_i$ ，随着占空比 α 的增大， $U_i/U_o = f(\alpha)$ 曲线呈下降趋势，曲线接近反比例特点，由图 2.5 (b) 可见，输出电压 U_o 呈现线性增长趋势，斜率约为 19.4，与 U_i 基本相等，与理论分析吻合。由于 buck 电路固有的降压特性，输入输出电压比 U_i/U_o 始终大于 1，实测数据与理论预期具有良好的一致性。

2、boost 电路

boost 电路 $U_i/U_o = f(\alpha)$ 曲线如图 2.6 所示。

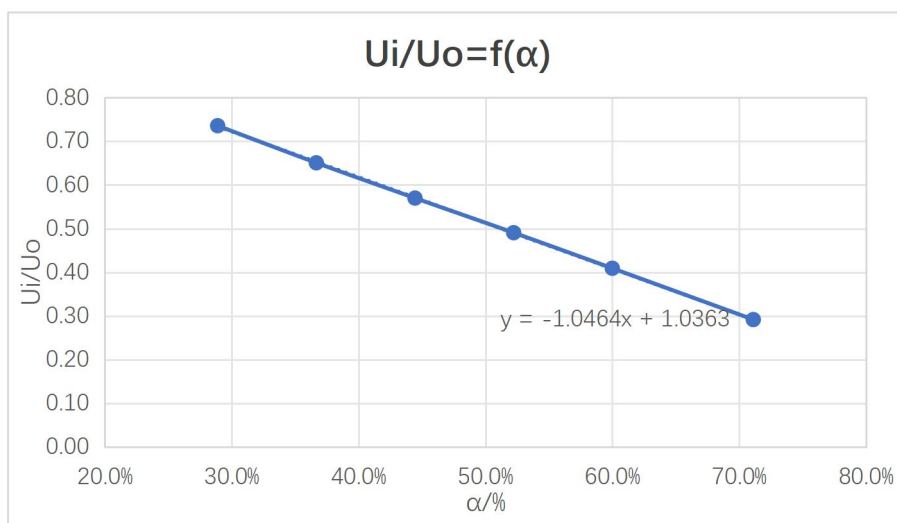


图 2.6 boost 电路 $U_i/U_o = f(\alpha)$ 曲线

在实验测试中，输入电压 U_i 保持恒定。根据 boost 升压变换器的电压传输关系 $U_o = U_i / (1 - \alpha)$ ，随着占空比 α 的增大，输出电压 U_o 随之升高， $U_i/U_o = f(\alpha)$ 曲线呈线性下降趋势，线性度良好，斜率基本等于 -1，与理论分析完全一致。由于 boost 电路的升压特性，输入电压 U_i 始终低于输出电压 U_o ，因此比值 U_i/U_o 始终小于 1，实验数据与理论预期吻合。

七、思考、心得与体会

1、实验心得与体会

本次实验围绕 DC-DC 直流斩波电路展开，重点研究了 buck 降压电路和 boost 升压电路的工作特性。通过搭建实际电路并测试关键波形，我对两种基本变换器的电压转换机理有了更深入的认识。实验过程中，我系统测量了不同 PWM 占空比条件下的输入输出电压，所得数据与理论公式高度吻合，验证了占空比对输出电压的调控作用。通过对比分析 buck 降压电路和 boost 升压电路的升压特性，我不仅巩固了课堂所学理论知识，更提升了电路调试和数据分析的实践能力。总体而言，本次实验取得了预期效果，为后续电力

电子技术的学习奠定了扎实的实践基础。

2、思考题

(1) 降压直流斩波电路中二极管和电感的作用分别是什么？

电感的作用：储能、滤波。在 IGBT 关断时维持电流缓慢变化，防止电流快速变化，同时承担了大部分的交流电压。

二极管的作用：作续流二极管使用，在 IGBT 关断时续流。

(2) 升压直流斩波电路中二极管和电感的作用分别是什么？

IGBT 开通时，电阻电感性负载电流线性增长，电感起储能作用，二极管关断，起阻断作用。

IGBT 关断时，电感上的自感电势和电源电压共同作用，二极管导通，将电源能量和电感储能共同供给负载，实现升压。