

实验三 直流斩波电路实验-实验报告

姓名: 吴晨聪 学号: 2022010311 实验日期: 2024 年 11 月 7 日 实验台号: 8

同组人: 张译文、阮婧涵

一. 实验目的

- (1) 熟悉不同直流斩波电路的工作原理。
- (2) 了解影响直流斩波电路工作在不同状态的条件和性能的影响因素。

二. 实验原理

(1) Buck 直流斩波电路

Buck 直流斩波电路原理如图 1 所示，是一种输出电压小于输入电压的单管不隔离直流降压斩波电路，开关管驱动电压为 PWM（Pulse width modulation，脉宽调制）信号。

Buck 直流斩波电路由 PWM 控制开关元件的导通和截止，进而调节输出电压。当开关元件导通时，电感储存能量，从输入电源中吸取能量；当开关元件截止时，储存的能量通过输出传递给负载。电路还包括一个输出滤波器，用于平滑输出电压波形。

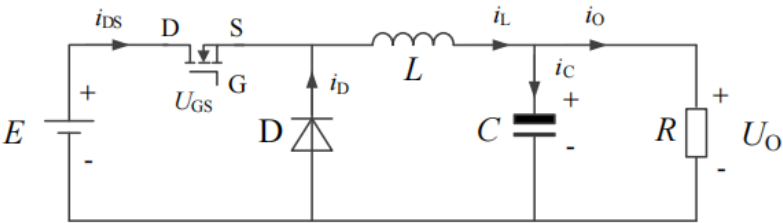


图 2.1 Buck 直流斩波电路原理

(2) Boost 直流斩波电路

Boost 直流斩波电路原理电路如图 2 所示，是一种输出电压高于输入电压的单管不隔离直流升压斩波电路，也为 PWM 控制方式，但最大占空比必须限制，不允许在占空比为 1 的状态下工作。

Boost 直流斩波电路原理与 Buck 类似，由 PWM 控制开关元件。在 Boost 电路中，当开关元件导通时，电感释放能量，电容储存能量；当开关元件截止时，电容释放能量，电感储存能量，从而提升输出电压，实现升压的效果。

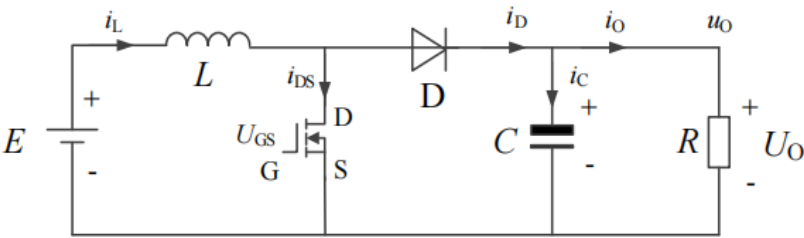


图 2.2 Boost 直流斩波电路原理

(3) Buck-Boost 直流斩波电路

Buck-Boost 直流斩波电路原理如图 3 所示，改变开关管占空比，输出电压既可以比电源电压高，也可以比电源电压低，是一种单管不隔离直流升降压斩波电路。

Buck-Boost 直流斩波电路结合了 Buck 和 Boost 电路的特性。当需要升压时，电路以 Boost 模式工作；当需要降压时，电路以 Buck 模式工作。

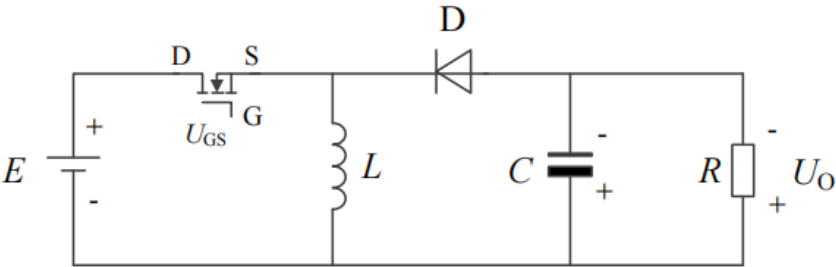


图 2.3 Buck-Boost 直流斩波电路原理

三. 数据整理

(1) Buck 直流斩波电路

① Buck 斩波电路电感电流连续工作模式固定开关频率、调节占空比的实验结果

($f_s = 10\text{kHz}$ ，记录实际占空比 $D = 50\%$ 时的波形)

负载电流(A)	1	1	1	1	1	1
开关频率(kHz)	10	10	10	10	10	10
占空比设定值(%)	20	30	40	50	60	70
占空比实际值(%)	20.19	30.19	40.19	50.18	60.19	70.19
输入电压(V)	25	25	25	25	25	25
输出电压测量值(V)	4.337	6.888	9.441	11.991	14.550	17.106
输出电压理论值(V)	5	7.5	10	12.5	15	17.5

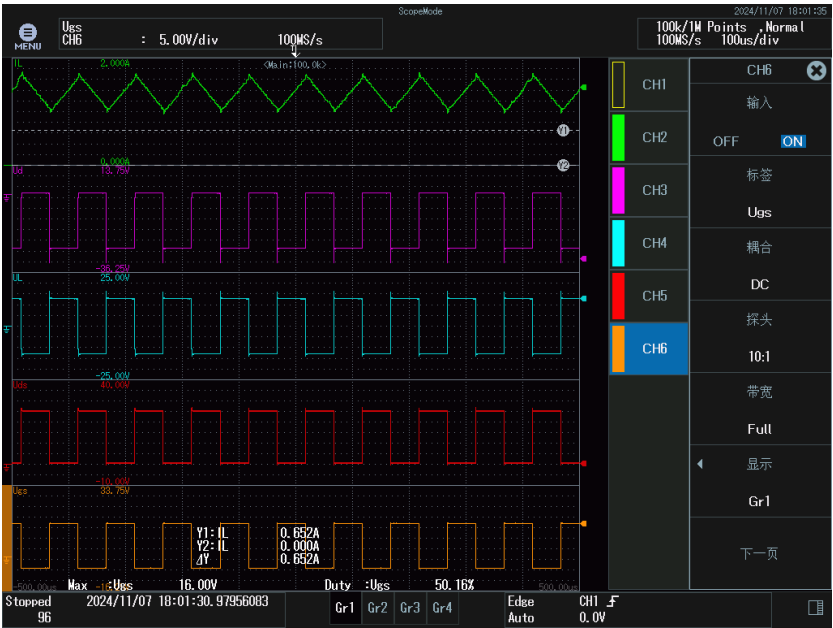


图 3.1 Buck 电路连续工作模式 10kHz，50% 占空比下的波形

②Buck 斩波电路电感电流连续工作模式固定占空比、调节开关频率的实验结果

(实际占空比 $D = 50\%$ ，记录 $f_s = 30kHz$ 时的波形)

负载电流(A)	1	1	1	1	1	1
开关频率(kHz)	5	10	20	30	40	50
占空比设定值(%)	50	50	50	50	50	50
占空比实际值(%)	50.09	50.19	50.38	50.54	50.70	51.00
输入电压(V)	25	25	25	25	25	25
输出电压测量值(V)	11.953	11.994	12.083	12.157	12.244	12.357
输出电压理论值(V)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5



图 3.2 Buck 电路连续工作模式 30kHz，50% 占空比下的波形

③Buck 斩波电路电感电流断续工作模式实验结果

($f_s = 5kHz$ ，分别记录**设定**占空比 $D = 50\%$ 、 30% 、 15% 时临界断流的波形)

负载电流(A)	0.589	0.483	0.296
占空比设定值(%)	50	30	15
占空比实际值(%)	50.09	30.10	15.10
输入电压(V)	25	25	25
输出电压测量值(V)	12.078	7.016	3.261
输出电压理论值(V)	12.5	7.5	3.75

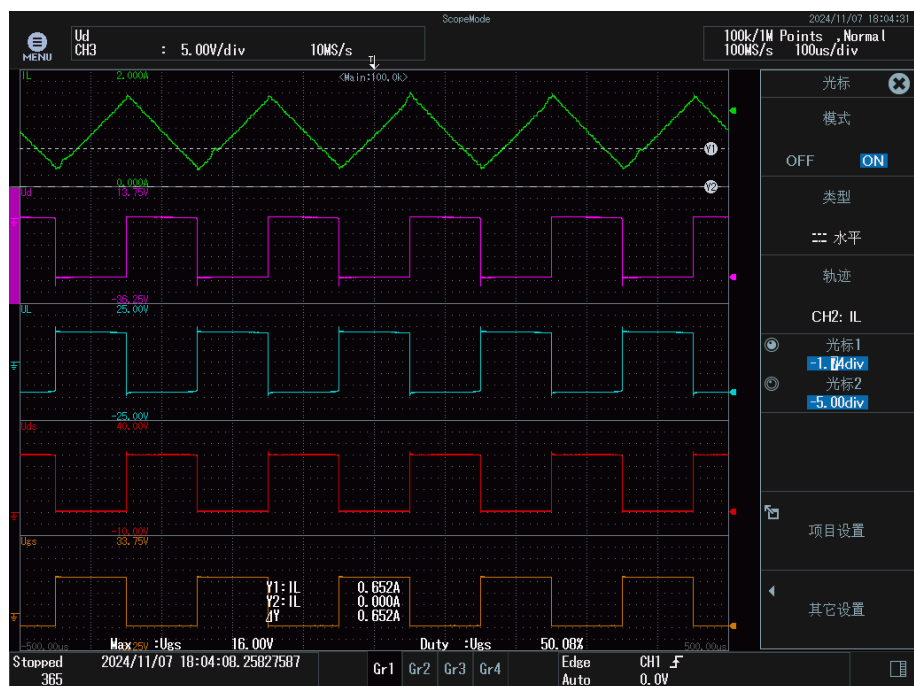


图 3.3 Buck 电路断续工作模式 5kHz，50% 占空比下的波形

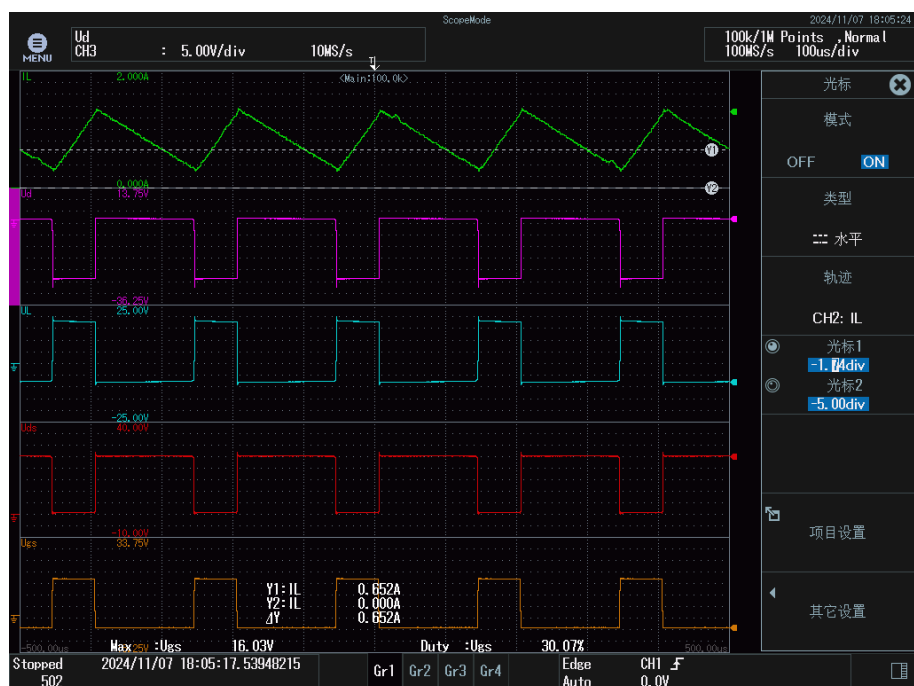


图 3.4 Buck 电路断续工作模式 5kHz，30% 占空比下的波形

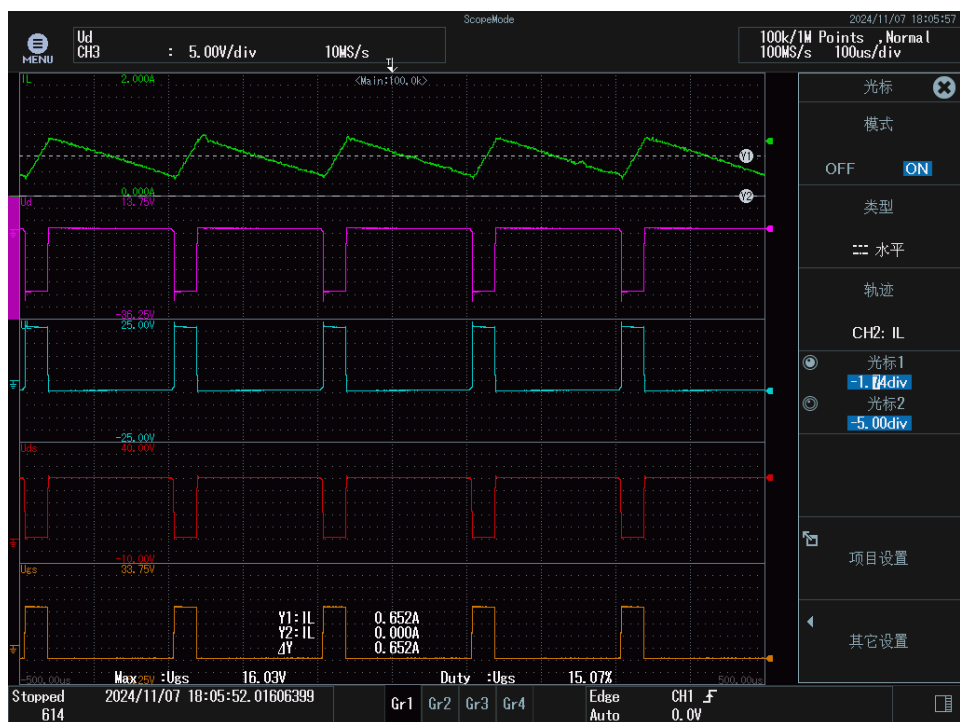


图 3.5 Buck 电路断续工作模式 5kHz，15% 占空比下的波形

(2) Boost 直流斩波电路

① Boost 斩波电路电感电流连续工作模式固定开关频率、调节占空比的实验结果

($f_s = 10\text{kHz}$ ，记录实际占空比 $D = 50\%$ 时的波形)

负载电流(A)	1	1	1	1	1
开关频率(kHz)	10	10	10	10	10
占空比设定值(%)	5	10	20	30	40
占空比实际值(%)	5.15	10.15	20.16	30.18	40.18
输入电压(V)	25	25	25	25	25
输出电压测量值(V)	25.500	26.931	30.325	34.683	40.470
输出电压理论值(V)	26.32	27.78	31.25	35.71	41.67

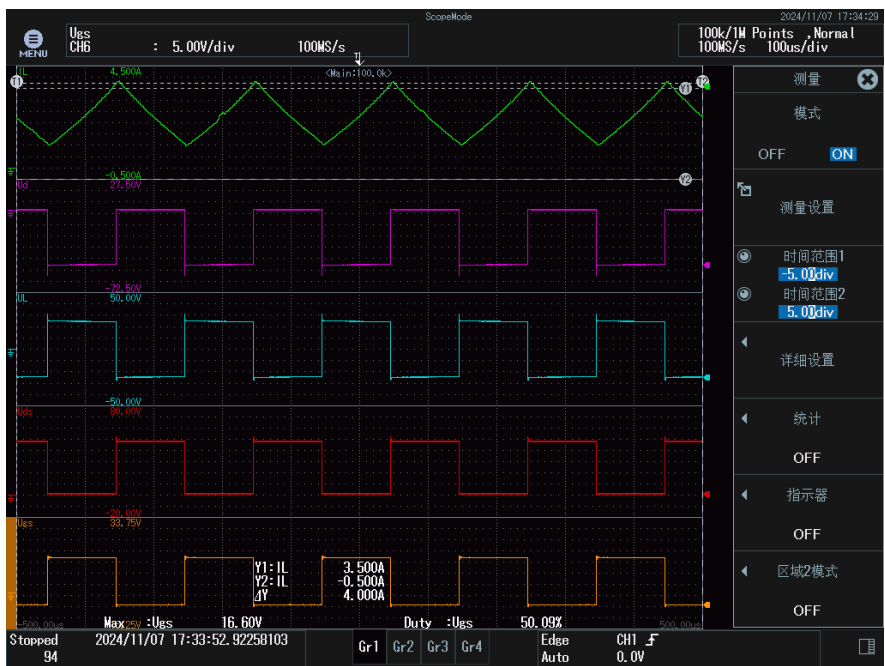


图 3.6 Boost 电路连续工作模式 10kHz，50% 占空比下的波形

②Boost斩波电路电感电流连续工作模式固定占空比、调节开关频率的实验结果

（实际占空比 $D = 30\%$ ，记录 $f_s = 30kHz$ 时的波形）

负载电流(A)	1	1	1	1	1	1
开关频率(kHz)	5	10	20	30	40	50
占空比设定值(%)	30	30	30	30	30	30
占空比实际值(%)	30.00	30.16	30.32	30.50	30.56	30.0
输入电压(V)	25	25	25	25	25	25
输出电压测量值(V)	34.608	34.684	34.831	34.983	35.084	35.259
输出电压理论值(V)	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71

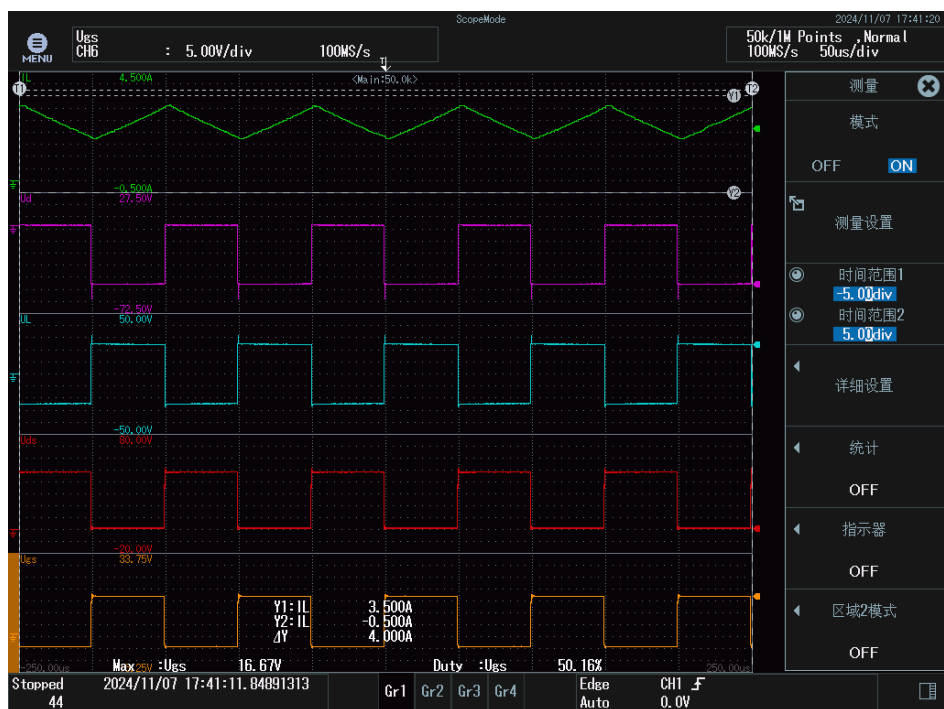


图 3.7 Boost 电路连续工作模式 30kHz，30% 占空比下的波形

③Boost斩波电路电感电流断续工作模式实验结果

($f_s = 5kHz$ ，分别记录设定占空比 $D = 50\%$ 、 30% 、 15% 时临界断流的波形)

负载电流(A)	0.553	0.458	0.283
占空比设定值(%)	50	30	15
占空比实际值(%)	50.09	30.08	15.07
输入电压(V)	25	25	25
输出电压测量值(V)	48.972	34.984	28.839
输出电压理论值(V)	50	35.71	29.41

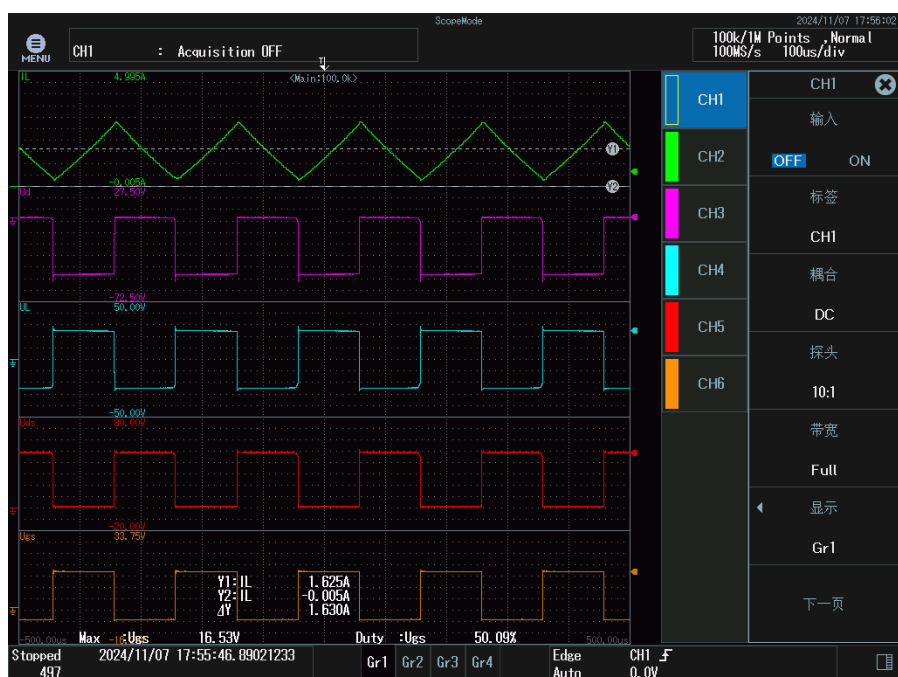


图 3.8 Boost 电路断续工作模式 5kHz，50% 占空比下的波形



图 3.9 Boost 电路断续工作模式 5kHz，30% 占空比下的波形



图 3.10 Boost 电路断续工作模式 5kHz，15% 占空比下的波形

四. 预习问题

1. 请推导 Buck 和 Boost 电路在连续和断续工作模式下，输出电压与输入电压的关系。

Buck 电路:

连续工作模式下, 设输出电压恒为 V_d 。导通时, $V_L = V_d - V_o$, 关断时, $V_L = -V_o$ 。 $\Delta I_L = \int \frac{u_L}{L} dt = \frac{V_L}{L} t$ 。稳态时, ΔI_L (导通) + ΔI_L (关断) = $(V_d - V_o) \frac{DT}{L} + (-V_o) \frac{T-DT}{L} = 0$ 。可得, $\frac{V_o}{V_d} = D$ 。由电流的关系可以推导出 $\Delta_1 = \frac{2f_s L I_o}{u_d D}$ 。

断续工作模式下, 设关断时间为 $\Delta_1 T$, $\Delta_1 < 1 - D$ 。同理, $(V_d - V_o) \frac{DT}{L} + (-V_o) \frac{\Delta_1 T}{L} = 0$ 。

可得, $\frac{V_o}{V_d} = \frac{D}{D + \Delta_1}$ 。

Boost 电路:

连续工作模式下, 设输出电压恒为 V_d 。导通时, $V_L = V_d$, 关断时, $V_L = V_d - V_o$ 。 $\Delta I_L = \int \frac{u_L}{L} dt = \frac{V_L}{L} t$ 。稳态时, ΔI_L (导通) + ΔI_L (关断) = $V_d \frac{DT}{L} + (V_d - V_o) \frac{T-DT}{L} = 0$ 。可得, $\frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1-D}$ 。

断续工作模式下, 设关断时间为 $\Delta_1 T$, $\Delta_1 < 1 - D$ 。同理, $V_d \frac{DT}{L} + (V_d - V_o) \frac{\Delta_1 T}{L} = 0$ 。

可得, $\frac{V_o}{V_d} = \frac{D + \Delta_1}{\Delta_1}$ 。由电流的关系可以推导出 $\Delta_1 = \frac{2f_s L I_o}{u_d D}$ 。

2. 请推导Buck和Boost电路临界断续时, 负载电流的大小。请用输入电压 V_d , 开关频率 f_s , 电感 L , 占空比 D 表示, 并带入实验板具体参数: $V_d = 25V, f_s = 5kHz, L = 1mH, D = 50\%$ 。临界断续时, ΔI_L (导通) = $2I_L$ 。

Buck电路: $I_o = I_d/D$, $I_d = I_L D$ 。可得, $(V_d - V_o) \frac{DT}{L} = 2I_o$, $I_o = \frac{(1-D)DV_d}{2f_s L}$ 。

代入得, $I_o = 0.625A$ 。

Boost电路: $I_o = I_d(1 - D)$, $I_d = I_L$ 。可得, $V_d \frac{DT}{L} = \frac{2I_o}{1-D}$, $I_o = \frac{(1-D)DV_d}{2f_s L}$ 。

代入得, $I_o = 0.625A$ 。

注意事项:

1. 确实实验所加电压和电流运行范围。
2. 实验板先给控制电, 再给主电路供电。
3. 直流电容根据不同斩波电路的要求确保正负极性接正确。
4. 更换探头位置、改接线或实验结束时, 须将低压直流电源输出逐渐调至 0V 后关闭, 再进行更换探头或改接线操作。接线的时候需要一手稳住仪器, 一手缓慢插拔。
5. 实验过程中勿触碰裸露金属部分, 电压电流探头不要遮盖复位按钮。
6. 用U盘保存数据。

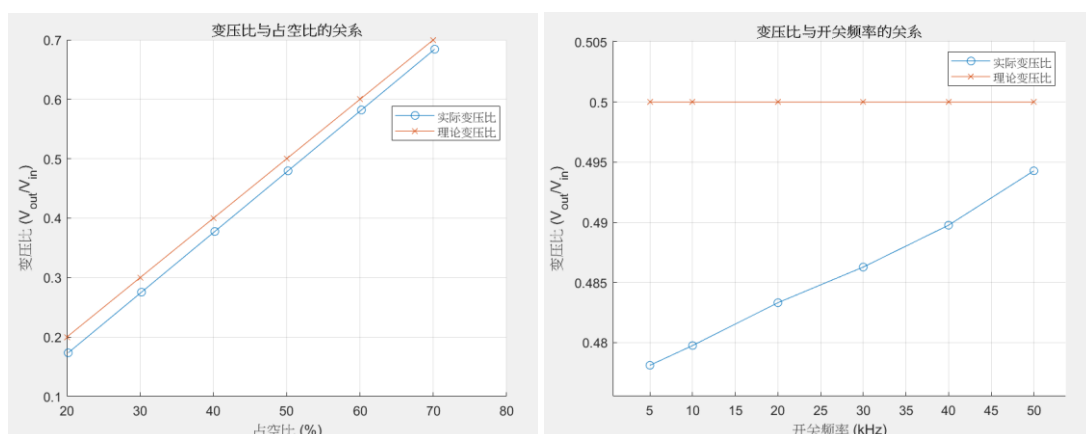
五. 分析思考

(1) 根据典型实验波形，分别简述 Buck 直流斩波电路在电感电流连续和断续下的工作过程。

在连续工作状态下，电感在每个周期开关导通时受到 $V_d - V_o$ 的正向电压而充电，在开关关断时受到 V_o 的反向电压而放电，如此达到平衡并始终保持电流大于零。最终的电感电流应该是一个较大的直流分量上有一个较小的周期波动。

在断续工作状态下，电感每个周期在开关导通时仍然因为受到 $V_d - V_o$ 的正向电压而充电，在开关关断时受到 V_o 的反向电压而放电。但是由于电感电流的平均值比较小，所以放电过程并不会持续整个开关关断的时间，会在电流减为 0 时停止放电，并在下次开关导通之前保持电流不变，因而是“断续”的工作状态。

(2) 根据实验结果，绘制并说明 Buck 直流斩波电路在电感电流连续下变压比和占空比、变压比和开关频率之间的关系，并分析误差原因。



可见实际的变压比都小于理论的变压比，实际变压比会随着占空比的变大而变大。因为实际输出电压是经过滤波的结果所以会有一定的损耗，得到的结果也会小于理论值。而由于变压比和占空比有正相关的关系，所以随着占空比的增加，实际变压比增大。

而在占空比不变时变压比和频率的关系并不显著，但仍然可以看出变压比有随着开关频率的增加而越来越大的趋势。在占空比不变时，实际的变压比会随着开关频率的增加而增加，最后越来越接近理论变压比但始终小于理论变压比。其原因是理论的变压比是将输出电压滤波后得到的，开关频率越高，则实际实际输出电压波形越接近于理论波形，滤波损耗也就越小，实际变压比就越大并且越接近于理论值。

(3) 根据 Buck 直流斩波电路在电感电流断续情况下的实验数据，计算输出电压，并与实际值比较。试查阅资料，分析实验中电感电流断续时发生振荡，与理想过程存在差异的原因。

负载电流(A)	0.589	0.483	0.296
占空比设定值(%)	50	30	15

占空比实际值(%)	50.09	30.10	15.10
输入电压(V)	25	25	25
输出电压测量值(V)	12.078	7.016	3.261
输出电压理论值(V)	12.5	7.5	3.75

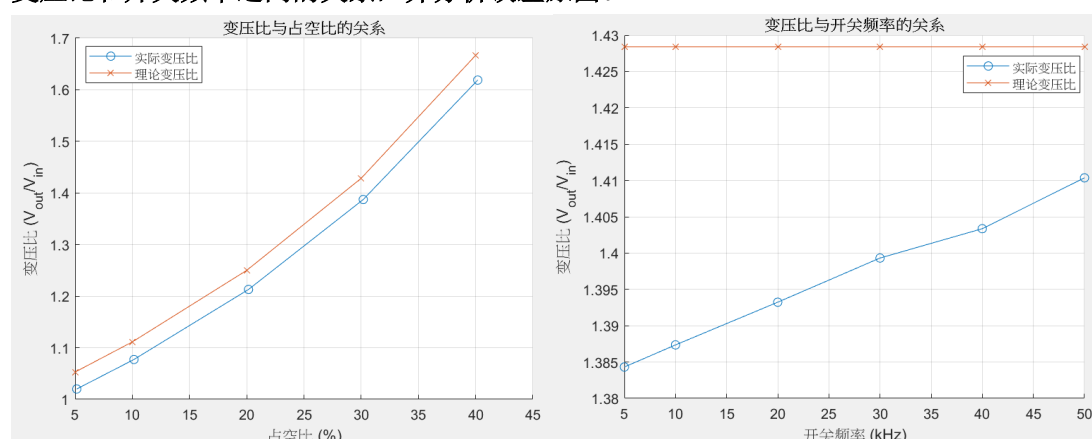
输出电压测量值和理论值基本一致，但都略小于理论值。这同样可能是由于输出电压的滤波作用使得一部分的电压损耗所导致的。

(4) 根据典型实验波形，分别简述 Boost 直流斩波电路在电感电流连续和断续下的工作过程。

电感电流连续：当开关元件导通时，二极管截止，电感连接电源，吸收能量，电容单独给负载供能；当开关元件截止时，二极管导通，电感储存的能量传递给负载和电容。

电感电流不连续：由于负载电流（等于电感电流）小于边界电流，电感工作在不连续模式。当开关元件截止时，储存的能量传递给负载。当电感能量耗尽时，电感电流为零，进入不连续区域，负载电力由滤波电容提供。

(5) 根据实验结果，绘制并说明 Boost 直流斩波电路在电感电流连续下变压比和占空比、变压比和开关频率之间的关系，并分析误差原因。



可见实际的变压比都小于理论的变压比，实际变压比会随着占空比的变大而变大。因为实际输出电压是经过滤波的结果所以会有一定的损耗，得到的结果也会小于理论值。而由于变压比和占空比有正相关的关系，所以随着占空比的增加，实际变压比增大。

而在占空比不变时变压比和频率的关系并不显著，但仍然可以看出变压比有随着开关频率的增加而越来越大的趋势。在占空比不变时，实际的变压比会随着开关频率的增加而增加，最后越来越接近理论变压比但始终小于理论变压比。其原因是理论的变压比是将输出电压滤波后得到的，开关频率越高，则实际实际输出电压波形越接近于理论波形，滤波损耗也就越小，实际变压比就越大并且越接近于理论值。

(6) 根据 Boost 直流斩波电路在电感电流断续情况下的实验数据，计算输出电压，并与实

际值比较。

负载电流(A)	0.553	0.458	0.283
占空比设定值(%)	50	30	15
占空比实际值(%)	50.09	30.08	15.07
输入电压(V)	25	25	25
输出电压测量值(V)	48.972	34.984	28.839
输出电压理论值(V)	50	35.71	29.41

输出电压测量值和理论值基本一致，但都略小于理论值。这同样可能是由于输出电压的滤波作用使得一部分的电压损耗所导致的。

六. 预习报告

郑嘉树

实验三 直流斩波电路实验-预习报告

电 25 吴晨聪 2022010311

一. 实验原理

(1) Buck 直流斩波电路

Buck 直流斩波电路原理如图 1 所示，是一种输出电压小于输入电压的单管不隔离直流降压斩波电路，开关管驱动电压为 PWM（Pulse width modulation，脉宽调制）信号。

Buck 直流斩波电路由 PWM 控制开关元件的导通和截止，进而调节输出电压。当开关元件导通时，电感储存能量，从输入电源中吸取能量；当开关元件截止时，储存的能量通过输出传递负载。电路还包括一个输出滤波器，用于平滑输出电压波形。

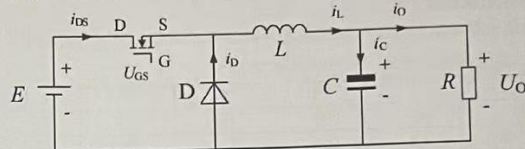


图 1 Buck 直流斩波电路原理

(2) Boost 直流斩波电路

Boost 直流斩波电路原理电路如图 2 所示，是一种输出电压高于输入电压的单管不隔离直流升压斩波电路，也为 PWM 控制方式，但最大占空比必须限制，不允许在占空比为 1 的状态下工作。

Boost 直流斩波电路原理与 Buck 类似，由 PWM 控制开关元件。在 Boost 电路中，当开关元件导通时，电感释放能量，电容储存能量；当开关元件截止时，电容释放能量，电感储存能量，从而提升输出电压，实现升压的效果。

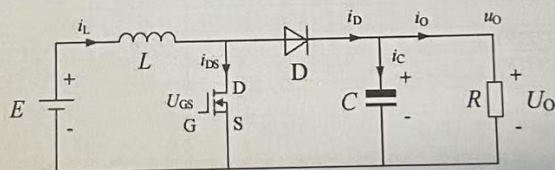


图 2 Boost 直流斩波电路原理

(3) Buck-Boost 直流斩波电路

Buck-Boost 直流斩波电路原理如图 3 所示，改变开关管占空比，输出电压既可以比电源电压高，也可以比电源电压低，是一种单管不隔离直流升降压斩波电路。

Buck-Boost 直流斩波电路结合了 Buck 和 Boost 电路的特性。当需要升压时，电路以 Boost 模式工作；当需要降压时，电路以 Buck 模式工作。

七. 原始数据

负载电流(A)	1	1	1	1	1	1
开关频率(kHz)	10	10	10	10	10	10
占空比设定值(%)	5	10	20	30	40	50
占空比实际值(%)	5.15	10.15	20.16	30.18	40.18	50.16
输入电压(V)	25	25	25	25	25	25
输出电压测量值(V)	25.500	26.931	28.325	29.683	30.470	31.332
输出电压理论值(V)	26.32	27.78	29.25	30.71	32.17	33.63

② Boost 斩波电路电感电流连续工作模式固定占空比、调节开关频率的实验结果
(实际占空比 $D = 50\%$, 记录 $f_s = 30\text{kHz}$ 时的波形)

负载电流(A)	1	1	1	1	1	1
开关频率(kHz)	5	10	20	30	40	50
占空比设定值(%)	30	30	30	30	30	30
占空比实际值(%)	30.00	30.16	30.32	30.50	30.56	30.80
输入电压(V)	25	25	25	25	25	25
输出电压测量值(V)	34.608	34.684	34.831	34.983	35.084	35.259
输出电压理论值(V)	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71

③ Boost 斩波电路电感电流断续工作模式实验结果
($f_s = 5\text{kHz}$, 分别记录设定占空比 $D = 50\%$ 、 30% 、 15% 时临界断流的波形)

负载电流(A)	0.553	0.458	0.283
占空比设定值(%)	50	30	15
占空比实际值(%)	50.09	30.08	15.07
输入电压(V)	25	25	25
输出电压测量值(V)	48.972	34.984	28.839
输出电压理论值(V)	50	35.71	29.41

(3) Buck-Boost 直流斩波电路

Buck-Boost 斩波电路电感电流连续工作模式固定开关频率、调节占空比的实验结果
($f_s = 10\text{kHz}$, 记录实际占空比 $D = 50\%$ 时的波形)

负载电流(A)	1	1	1	1	1	1
开关频率(kHz)	10	10	10	10	10	10
占空比设定值(%)	50	50	50	50	50	50
占空比实际值(%)	50.00	50.16	50.32	50.50	50.56	50.80
输入电压(V)	25	25	25	25	25	25
输出电压测量值(V)	34.608	34.684	34.831	34.983	35.084	35.259
输出电压理论值(V)	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71	35.71

三. 预习问题

1. 请推导 Buck 和 Boost 电路在连续和断续工作模式下, 输出电压与输入电压的关系。

Buck 电路:

连续工作模式下, 设输出电压恒为 V_d 。导通时, $V_L = V_d - V_o$, 关断时, $V_L = -V_o$, $\Delta I_L =$