

浙江大学实验报告

专业: 电子信息工程
姓名: _____
学号: _____
日期: 2022.10.14
地点: 教二 125

课程名称: 电力电子技术 I 指导老师: 马皓/王正仕/石健将 成绩: _____
实验名称: 直流斩波电路的研究 实验类型: 验证性 同组学生姓名: 聂文凯

实验目的

1. 熟悉六种直流斩波电路 (Buck chopper, Boost chopper, Buck-Boost chopper, Cuk chopper, Sepic chopper, Zeta chopper)
2. 掌握六种直流斩波电路在负载电流连续时的工作状态以及负载波形

实验内容

1. 按照六种直流斩波的结构分别连接对应的实验线路
2. 分别观察六种直流转波电路在不同占空比的 PWM 波时的工作情况, 并记录负载电压
3. 计算六种直流斩波在负载电路连续时的负载电压, 同实验结果进行比较, 并分析

实验电路图

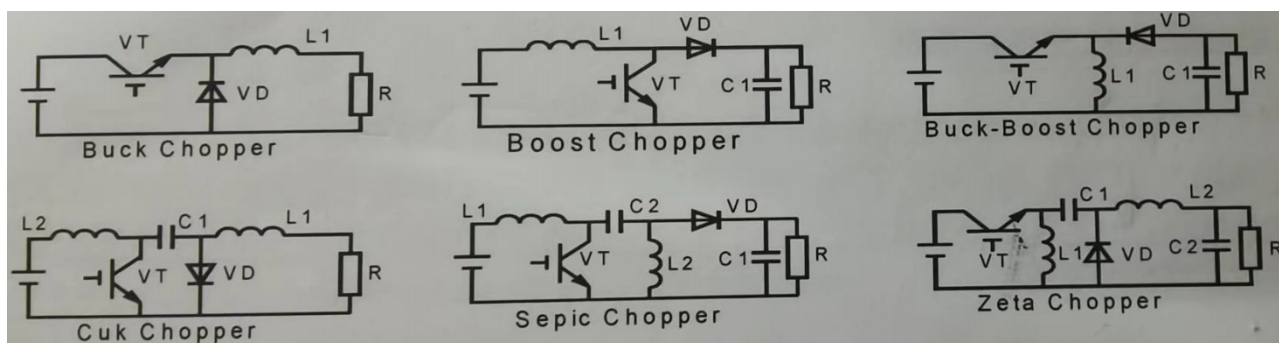


图 1 直流斩波电路图

实验结果

一、 Buck chopper 降压斩波电路

闭合电源开关, 用示波器观察 PWM 波形, 调节 PWM 发射器的电位器 RP1, 即改变触发脉冲的占空比, 并记录负载电压值

PWM 占空比	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
实测负载电压(V)	1.662	2.86	4.28	5.58	7.05	8.50	10.12	11.41
理论负载电压(V)	1.500	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00	10.50	12.00

表 1 Buck 电路不同占空比情况下实际电压和理论电压值

PWM 占空比分别为 10%，50%，80%时，观察和记录二极管 V_D 和负载两端的电压波形：

占空比为 10%

占空比为 50%

占空比为 80%

二、 Boost chopper 升压斩波电路

闭合电源开关，用示波器观察 PWM 波形，调节 PWM 发射器的电位器 RP1，即改变触发脉冲的占空比，并记录负载电压值

PWM 占空比	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
实测负载电压(V)	16.15	18.00	20.6	23.9	28.8	35.5	47.4	68.9
理论负载电压(V)	16.67	18.75	21.4	25.00	30.00	37.5	50.0	75.0

表 2 Boost 电路不同占空比情况下实际电压和理论电压值

三、 Buck-Boost chopper 升压斩波电路

闭合电源开关，用示波器观察 PWM 波形，调节 PWM 发射器的电位器 RP1，即改变触发脉冲的占空比，并记录负载电压值

PWM 占空比	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
实测负载电压(V)	1.840	3.62	5.96	9.04	13.90	20.4	32.1	53.8
理论负载电压(V)	1.667	3.75	6.43	10.00	15.00	22.5	35.0	60.0

表 3 Buck-Boost 电路不同占空比情况下实际电压和理论电压值

四、 Cuk chopper 斩波电路

闭合电源开关，用示波器观察 PWM 波形，调节 PWM 发射器的电位器 RP1，即改变触发脉冲的占空比，并记录负载电压值

PWM 占空比	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
实测负载电压(V)	1.541	3.21	5.81	9.00	13.91	20.4	32.4	54.6
理论负载电压(V)	1.667	3.75	6.43	10.00	15.00	22.5	35.0	60.0

表 4 Cuk 电路不同占空比情况下实际电压和理论电压值

实验结果分析

一、 Buck chopper 降压斩波电路

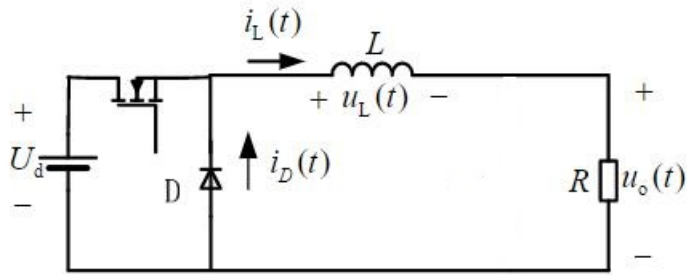


图 2 Buck 直流斩波电路图

本次选择的电路元件参数 $U_d = 15V$, $f_s = 10KHz$, $L = 90mH$, $D = 10\% \sim 80\%$, 但因 R 未知, 所以无法判断在 D 变化时, 该 Buck 电路是否能够保持连续导通; 但在实际的实验中, 从波形中发现占空比为 10% 时, 小纹波电流远小于直流成分, 即

$$\Delta i_L = \frac{U_d D D' T_s}{2L} < I = \frac{U_d}{R}$$

因此可断定本次实验不会出现电流断续的情况。Buck 电路在连续导通的情况下, 负载电压和电源电压呈 $U_o = D U_d$ 的关系, 其中 D 是占空比, 由此可画出实际负载电压和理论负载电压的误差曲线图

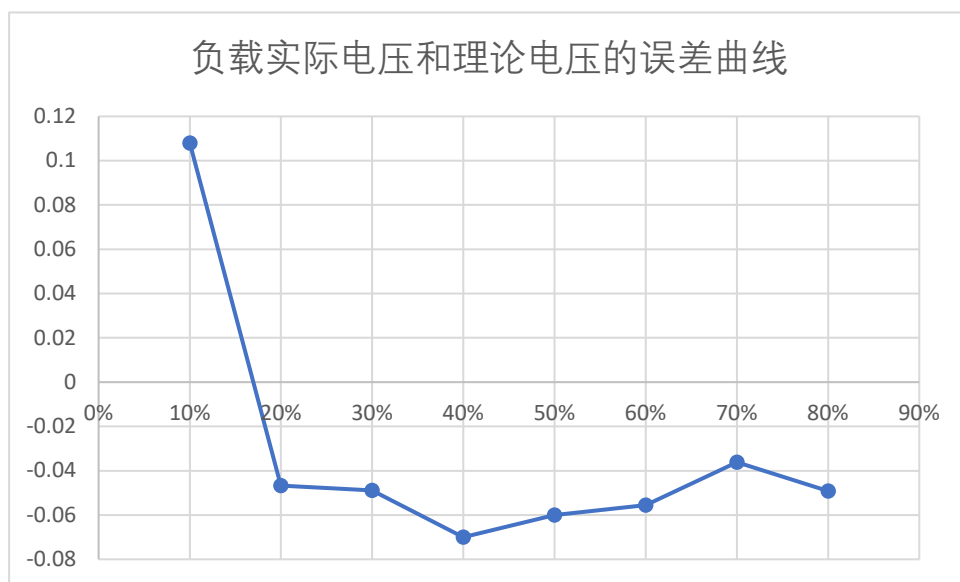


图 3 Buck 电路负载实际电压和理论电压误差曲线图

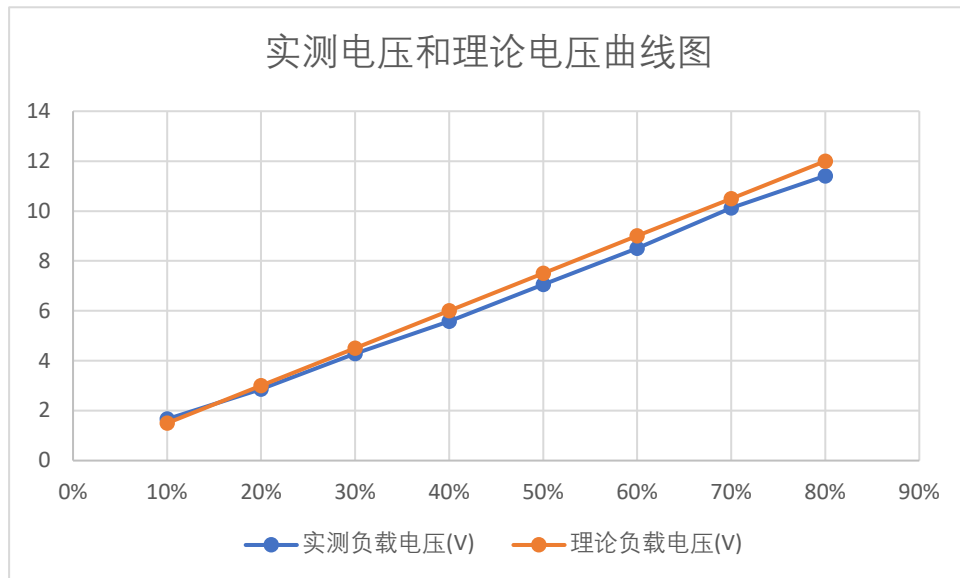


图 4 Buck 电路负载实际电压和理论电压曲线图

横坐标是占空比，纵坐标为（实际电压-理论电压）/理论电压，可以发现刨除一开始误差就较大的第一组外，随着占空比的增加，负载实际电压和理论电压之间的偏差呈上升趋势，但是整体误差偏小，原因可能是 Buck 电路是降压电路，电路中的电子元器件在电压较低的情况下仍能保持正常的工作性质，所以整体误差较低。而且发现理论负载电压普遍高于实测负载电压，原因可能是二极管存在导通压降，吃掉了一部分的导通电压。

二、 Boost chopper 升压斩波电路

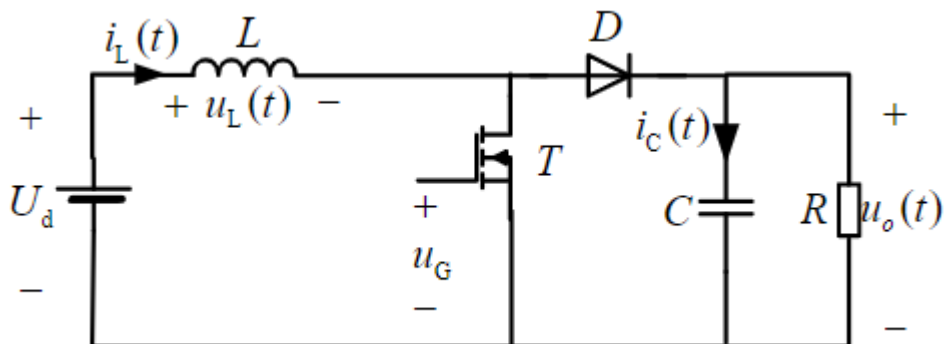


图 5 Boost 升压斩波电路图

选择元器件的参数同上， $C = 10\mu\text{F}$ ；同样参数的电路也工作在连续导通状态，因此负载两端电压和电源电压呈 $U_o = \frac{1}{1-D} U_D$ 的关系，画出误差曲线图，

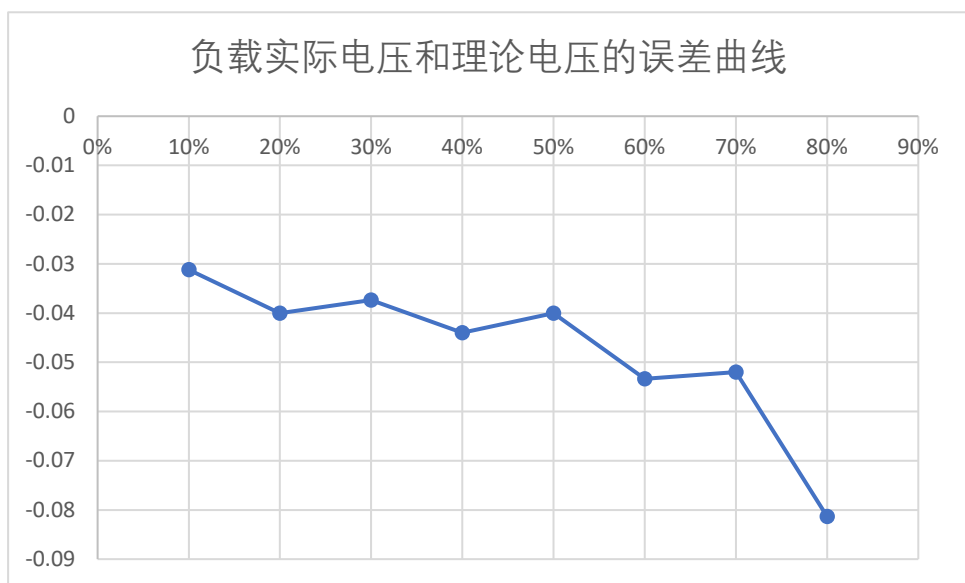


图 6 Boost 电路负载实际电压和理论电压误差曲线图

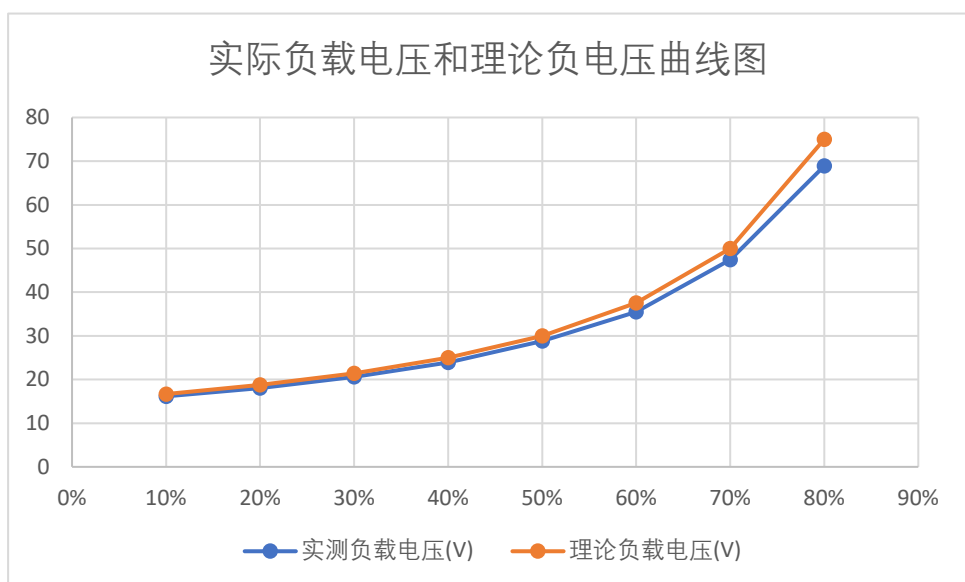


图 7 Boost 电路负载实际电压和理论电压曲线图

由误差曲线发现，Boost 电路误差明显大于 Buck 电路，随着占空比的提高，误差也逐渐提高，原因可能是 Boost 电路为升压电路，当占空比较高时，元器件需要承受较高的电压，这会导致器件无法工作在正常状态，元件性质可能发生变化，因此造成了电压越大，理论值和实际值偏差越大的情况。而且发现理论负载电压普遍高于实测负载电压，原因可能是二极管存在导通压降，吃掉了一部分的导通电压。

三、 Buck-Boost 升-降压斩波电路

负载电压和电源电压的关系为 $U_o = \frac{D}{1-D} U_D$ ，画出误差曲线，

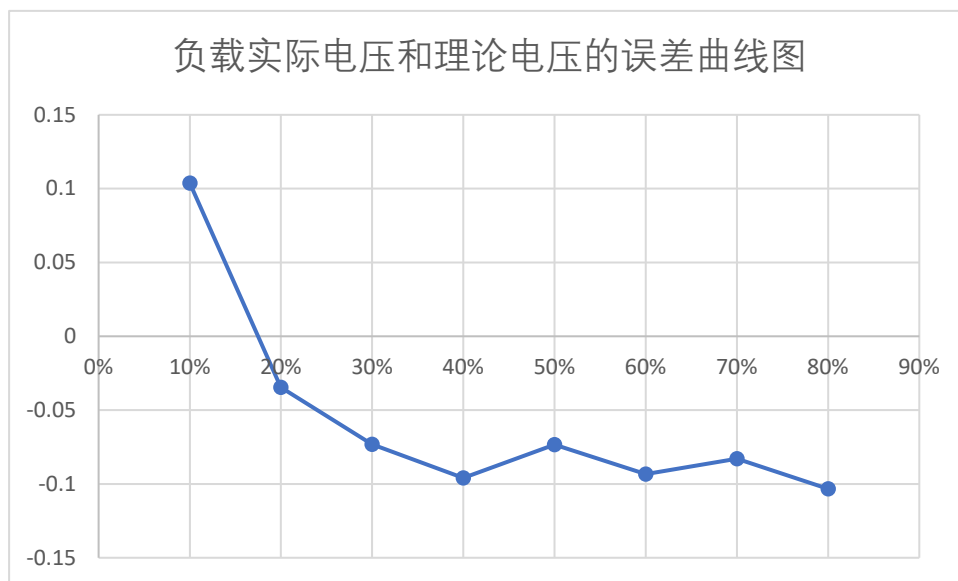


图 8 Buck-Boost 电路负载实际电压和理论电压误差曲线图

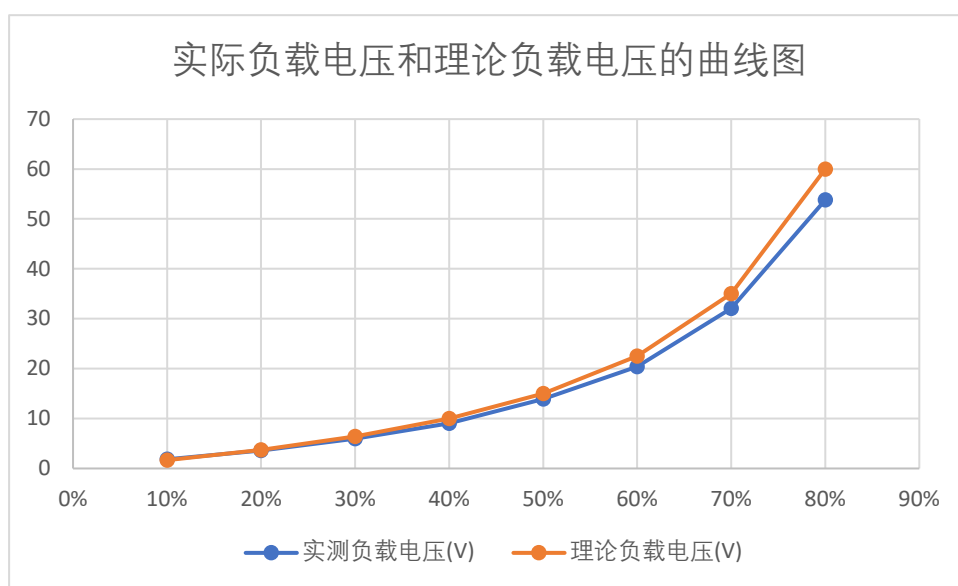


图 9 Buck-Boost 电路负载实际电压和理论电压曲线图

发现除去第一组外，误差随着占空比的增加越来越大，原因可能是第一组实验数据存在偶然误差，以及电子器件无法在较高压环境中正常工作；而且发现理论负载电压普遍高于实测负载电压，原因可能是二极管存在导通压降，吃掉了一部分的导通电压。

四、 Cuk chopper 斩波电路

负载电压和电源电压的关系为 $U_o = \frac{D}{1-D} U_D$,

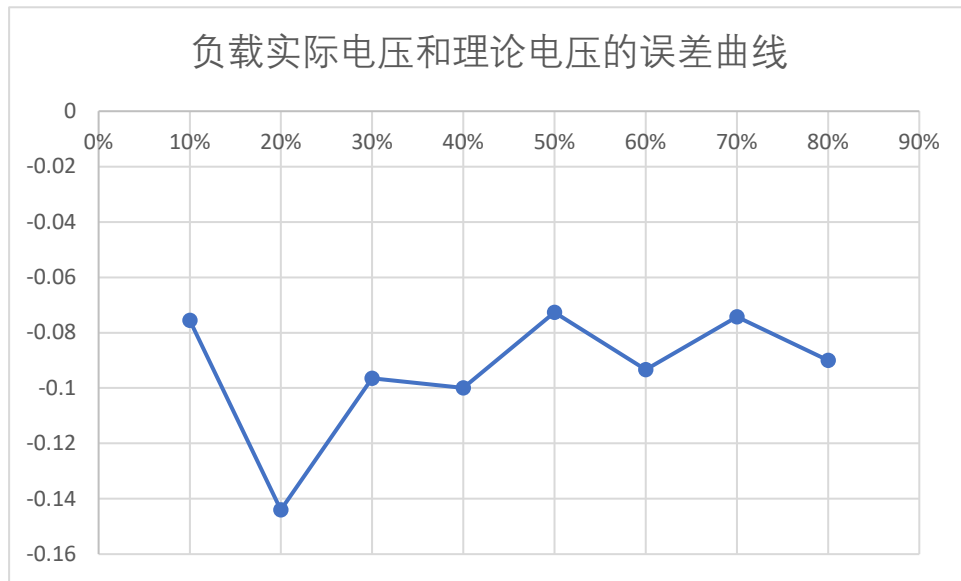


图 10 Cuk 电路负载实际电压和理论电压误差曲线图

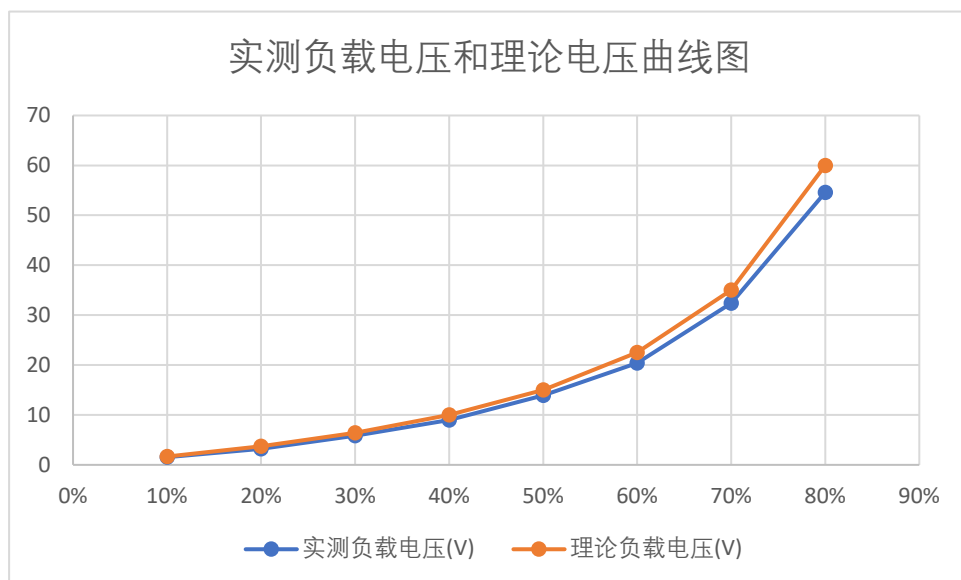


图 11 Cuk 电路负载实际电压和理论电压曲线图

发现波动情况较大，原因可能是实验次数过少引入了较大的偶然误差；而且发现理论负载电压普遍高于实测负载电压，原因可能是二极管存在导通压降，吃掉了一部分的导通电压。

实验现象讨论

一、Buck 电路二极管和负载两端的电压波形

得到的波形符合实际，矩形波是二极管两端的电压，波动的电压是负载两端的电压，二极管高电平时是阻断状态，同样也是 IGBT 导通的时刻，二极管低电平时是导通态，也是 IGBT 阻断状态；当二极管导通时，IGBT 阻断，电感放电，所以负载两端电压会成指数下降，当二极管关断，IGBT 导通，电源和负载构成回路，因此负载两端电压上升。

当占空比较小时，小纹波相对直流成分较多，所以占空比为 10% 时，小纹波波动情况相较于另外两组更大；而当占空比较大时，负载两端直流分量占主导，所以小纹波波动情况明显减少。

二、选做的直流斩波电路的工作过程

本次实验选做的是 Cuk 电路，当晶体管 T 导通时，等效电路为

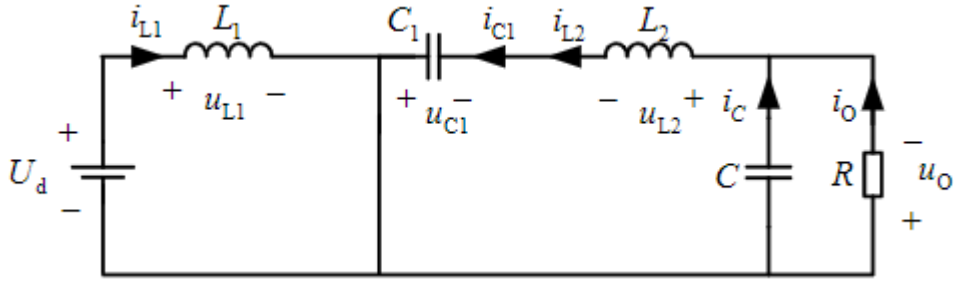


图 12 Cuk 电路 T 管导通等效电路图

对 L1 电感有 $U_d = L_1 \frac{I_{L12} - I_{L11}}{DT_S} = L_1 \frac{2\Delta I_1}{DT_S}$ ，对 L2 电感有 $U_{C1} - U_o = L_2 \frac{I_{L22} - I_{L21}}{DT_S}$

当二极管 D 导通时，

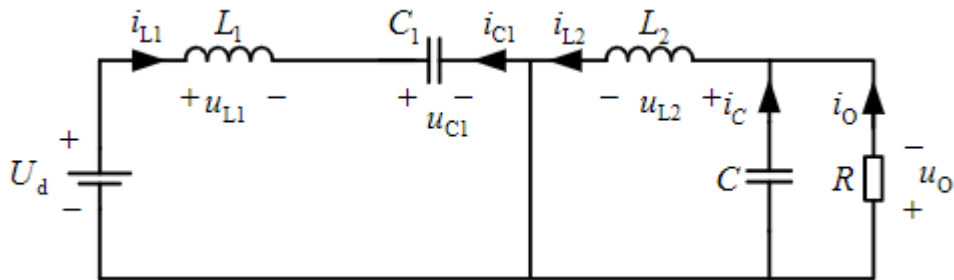


图 13 Cuk 电路 T 管截断等效电路图

对 L1 电感有 $U_{C1} - U_d = L_1 \frac{I_{L12} - I_{L11}}{(1-D)T_S} = L_1 \frac{2\Delta I_1}{(1-D)T_S}$ ，对电感 L2， $U_o = L_2 \frac{I_{L22} - I_{L21}}{(1-D)T_S}$ ，由四

$$\text{式解得 } U_o = \frac{DU_d}{1-D}$$

三、 各种斩波电路的优缺点

Buck 电路优点是输出电流平滑，缺点是体积大，成本高；**Boost** 电路有输入电感，可以减少对输入滤波器的要求，并可以防止市电电网对主电路的高频瞬态冲击；缺点是输出、输入之间没有绝缘隔离，在开关管、二极管和输出滤波电容形成的回路中若有杂散电感，很容易产生危险的过电压；**Buck-Boost** 电路结构简单，既可以升压也可以降压，但是输入、输出电流均有脉动，使得对输入电源有电磁干扰且输出的纹波较大；且开关晶体管发射极不接地，使驱动电路复杂化；**Cuk** 电路优点是输入电源电流和负载电流都是连续的，脉动很小，有利于对输入、输出进行滤波；缺点是 **Cuk** 电路需要两个电感和一个电容，输出的是负电压，使用的电容作为储能元件，能提供的电流较小；**Sepic** 电路升压电路中效率高，既可作升压也可做降压，可应用了高输出电流的场合，但缺点是价钱高，所需的元器件数量多；**Zeta** 电路优点是更低的输出电压纹波，以及更简单的补偿，缺点是要求输出更高的电压纹波和更大容量的电容

思考问题

1. 实际运用斩波电路时，PWM 波的占空比为什么要限制在一定的范围内？为什么不是越高越好？

因为电子元器件有耐压，过高的电压会导致器件无法工作在正常状态，因此会造成失真现象，太高的电压也会造成器件的损坏，同样也无法使电路工作在正常状态；PWM 波频率过低时，可能会造成电路电流断续，所以为了保证电路电流导通，不会设置太小的 PWM 波占空比。

2. 试分析 PWM 波的频率对斩波电路的影响

PWM 波频率越高，纹波波动量越小；频率还影响电感的大小；另外，PWM 波频率升高，会造成更加频繁的开通关断晶体管，这会产生额外的损耗。