

实验报告

姓 名: _____ 学 号: _____

课程名称: _____ 电力电子技术

实验名称: _____ 实验 4 反激变换器的设计与仿真分析

实验室名称: _____ K334

实验台号: _____ 4 实验日期: _____ 2025 年 11 月 18 日

同 组 人: _____

报告总分数: _____

教师评语:

助教签字: _____

教师签字: _____

日 期: _____

一、实验目的

- 在 PSIM 仿真实验平台上对基本单管反激电路（教材“5.2.2 反激电路”）中开关管电压波形进行仿真分析，掌握开关管承受的电压的成分。
- 通过对具有 RCD 缓冲电路的单管反激变换器的设计与分析，掌握 RCD 型关断缓冲电路对于减小开关管开关损耗的作用以及缓冲电路参数变化对“缓冲”效果的影响。
- 培养运用分析工具对电气工程领域复杂系统进行设计与分析和解决实际工程问题的能力。

二、实验内容

- 给出基本反激变换器仿真电路图，绘制此时开关变压器初级侧电压 V_{pri} 、开关管电压 V_{ds} 、输出电压 V_o 波形，并记录以下实验数据：

输入电压 $V_{\text{in}} = 18 \text{ V}$, 占空比 $D = 0.59$, 稳态输出电压 $V_{\text{out}} = 12.01 \text{ V}$;

输出滤波电容取值 $C_o = 100 \mu\text{F}$,

输出电压纹波 $\Delta V_{\text{out}} = V_{\text{out_peak}} - V_{\text{out_valley}} = 0.071 \text{ V}$, 稳态电压纹波率为 0.59%;

开关变压器初级侧电压 $V_{\text{pri_max}} = 1383.11 \text{ V}$, MOSFET 最大电压应力 $V_{\text{ds_max}} = 1425.83 \text{ V}$ 。

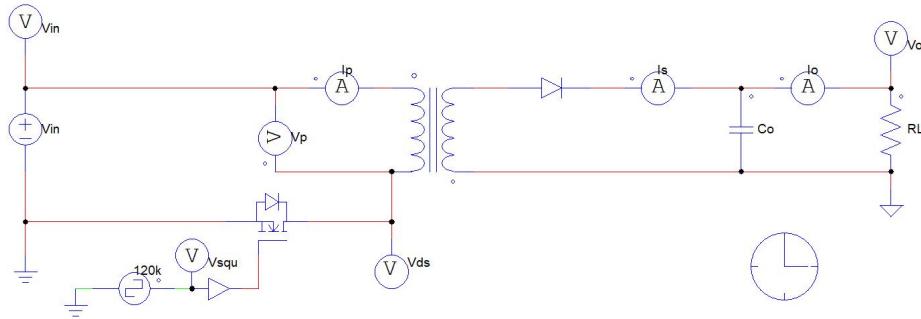
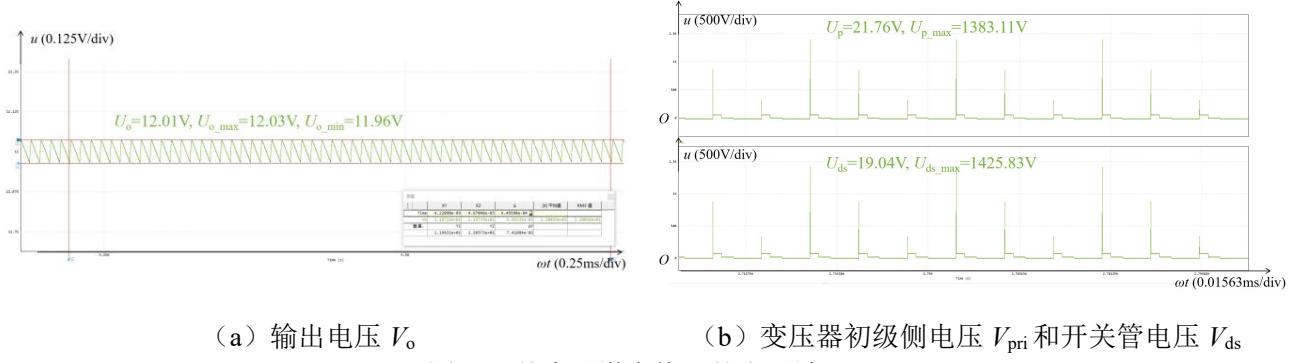


图 4-1 基本反激变换器仿真电路图



(a) 输出电压 V_o

(b) 变压器初级侧电压 V_{pri} 和开关管电压 V_{ds}

图 4-2 基本反激变换器的电压波形

- 给出 RCD 反激变换器仿真电路图，绘制此时开关变压器初级侧电压 V_{pri} 、开关管电压 V_{ds} 、输出电压 V_o 波形，并记录以下实验数据：

输入电压 $V_{in}=18$ V, 占空比 $D=0.60$, 稳态输出电压 $V_{out}=12.02$ V;

输出滤波电容取值 $C_o=100$ uF,

输出电压纹波 $\Delta V_{out}=V_{out_peak} - V_{out_valley}=0.071$ V, 稳态电压纹波率为 0.59%;

开关变压器初级侧电压 $V_{pri_max}=195.86$ V, MOSFET 最大电压应力 $V_{ds_max}=207.73$ V。

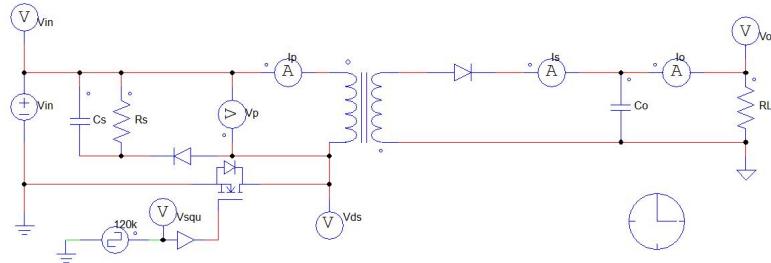
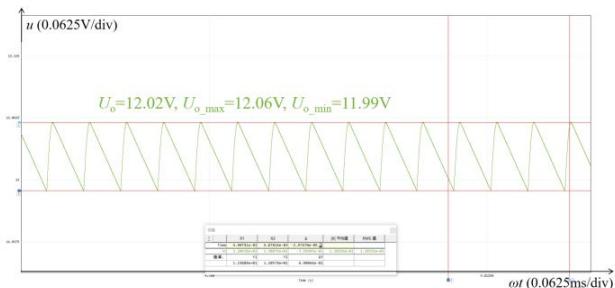
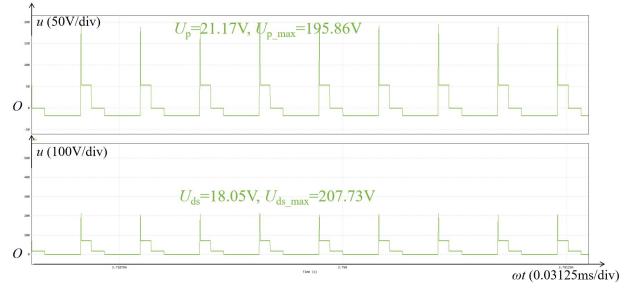


图 4-3 RCD 反激变换器仿真电路图



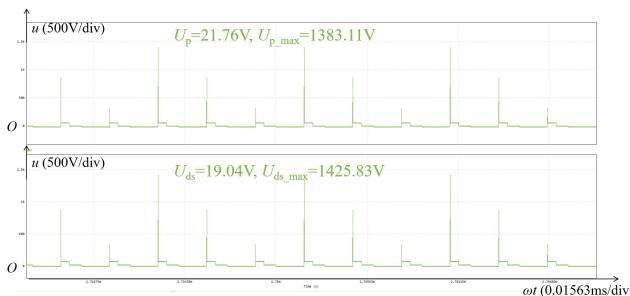
(a) 输出电压 V_o



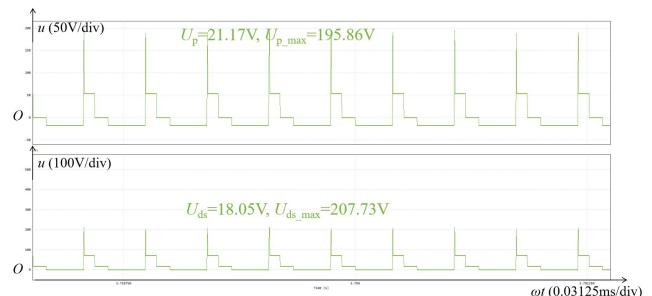
(b) 变压器初级侧电压 V_{pri} 和开关管电压 V_{ds}

图 4-4 RCD 反激变换器的电压波形

3. 对比有、无 RCD 缓冲电路的两种电路结构中开关变压器初级侧电压 V_{pri} 、开关管电压 V_{ds} 波形，分析开关管电压应力的变化及改变原理。



(a) 无 RCD 缓冲电路



(b) 有 RCD 缓冲电路

图 4-5 RCD 电路对反激变换器的变压器初级侧电压和开关管电压的影响

加入 RCD 缓冲电路后，变压器初级侧电压和开关管电压的平均值变化均不大，但峰值都降低至原来的 14% 左右，电压尖峰得到极大抑制，平滑了电压波形，减小了开关管的电压应力。

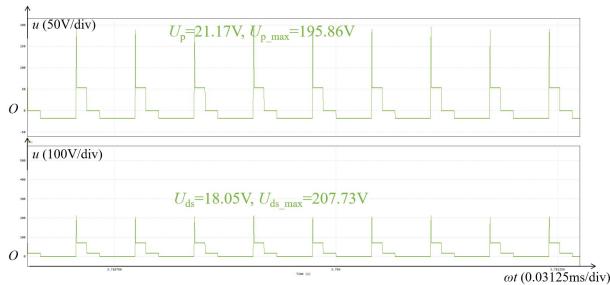
改变原理：开关管关断时，当 U_{ds} 开始上升， C_s 开始充电，将寄生电感的能量转移到 C_s 上，使得 U_{ds} 的上升速率 dU_{ds}/dt 降低，电压尖峰被抑制，上升沿变得平缓。

开关管开通时， C_s 通过 R_s 和二极管放电，帮助 U_{ds} 快速下降，同时 R_s 限制放电电流的尖峰，

使得开通时的电压下降过程更平稳，减少开通损耗。

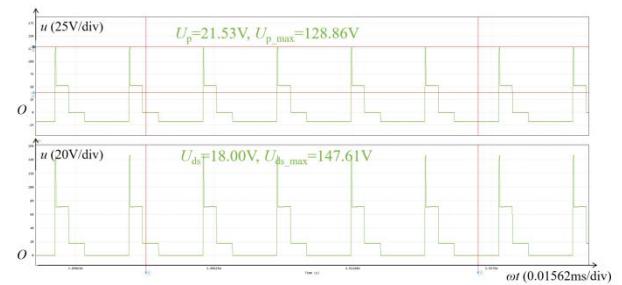
因此加入 RCD 缓冲电路后，开关管的电压应力大幅降低，开关管稳定性得到提升。

4. 开关变压器初级侧电压 $V_{\text{pri_max}}$ 降至 130V 以下时， $C_s=12\text{nF}$ ，对比 C_s 变化前后变压器初级侧电压 V_{pri} 、开关管电压 V_{ds} 波形的差异，分析缓冲电路中 C_s 的作用。



(a) 1nF

图 4-6 C_s 对反激变换器的变压器初级侧电压和开关管电压的影响



(b) 12nF

C_s 容值增加后，变压器初级侧电压和开关管电压平均值几乎不变，而变压器初级侧电压和开关管电压的峰值都有了一定的降低。

由于 $U_{\text{pri}}=U_{\text{ds}}-U_{\text{in}}$ ，如前所述，RCD 缓冲电路的电容 C_s 起到关断时吸收寄生电感的能量并在开通时通过 R_s 释放的功能，因此电容 C_s 的值越大，充放电回路的时间常数 $\tau = RC$ 越大，吸收电感能量的能力越大，波形平滑效果越明显，电压尖峰抑制的越明显。

三、实验体会与建议

对反激电路有了更深刻的认识，对实际应用中缓冲电路 RCD 的作用有了认识与理解。