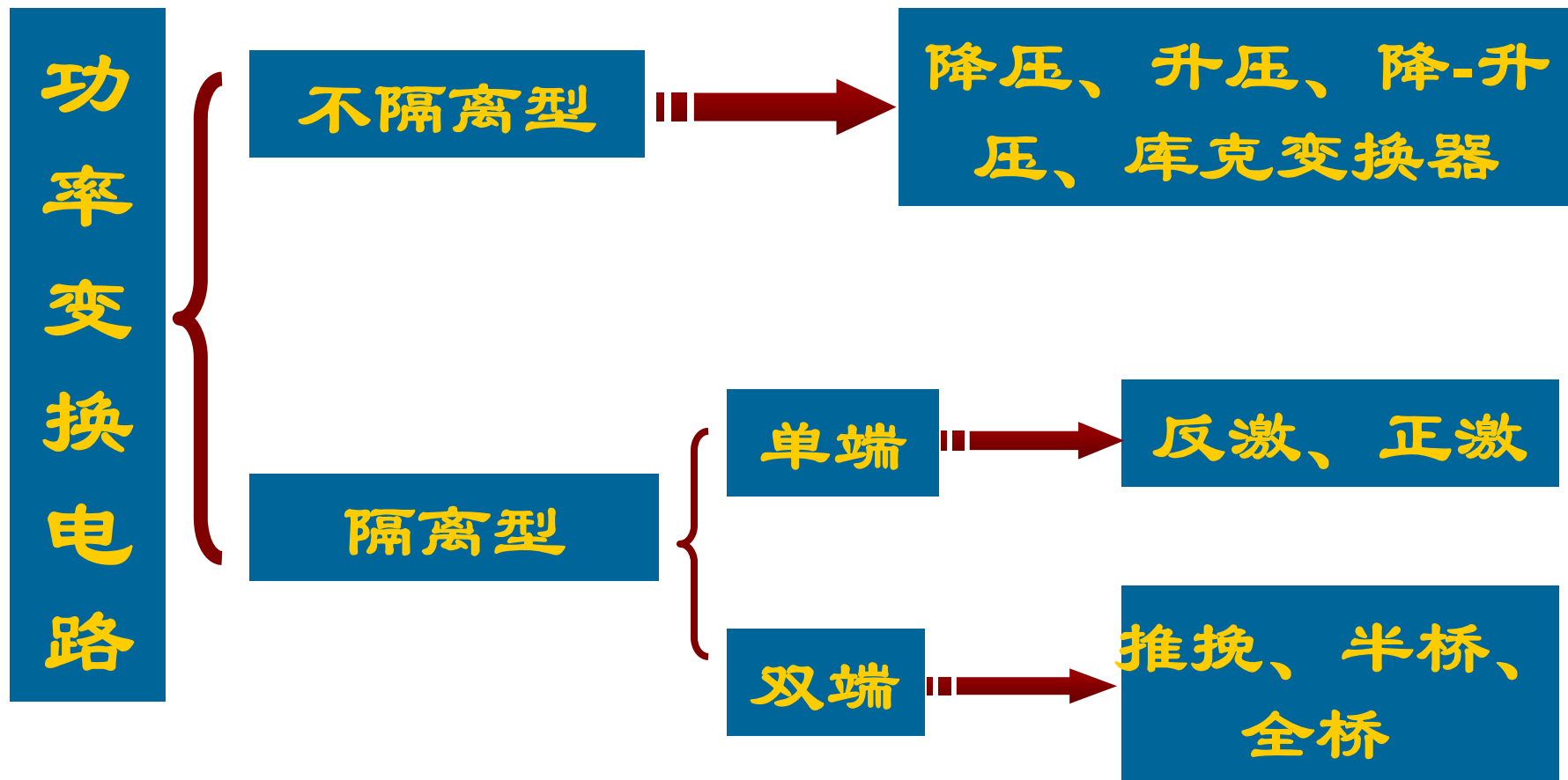


第六章 反激变换器



第六章 反激 (Flyback) 变换器

6.1 反激变换器基本原理

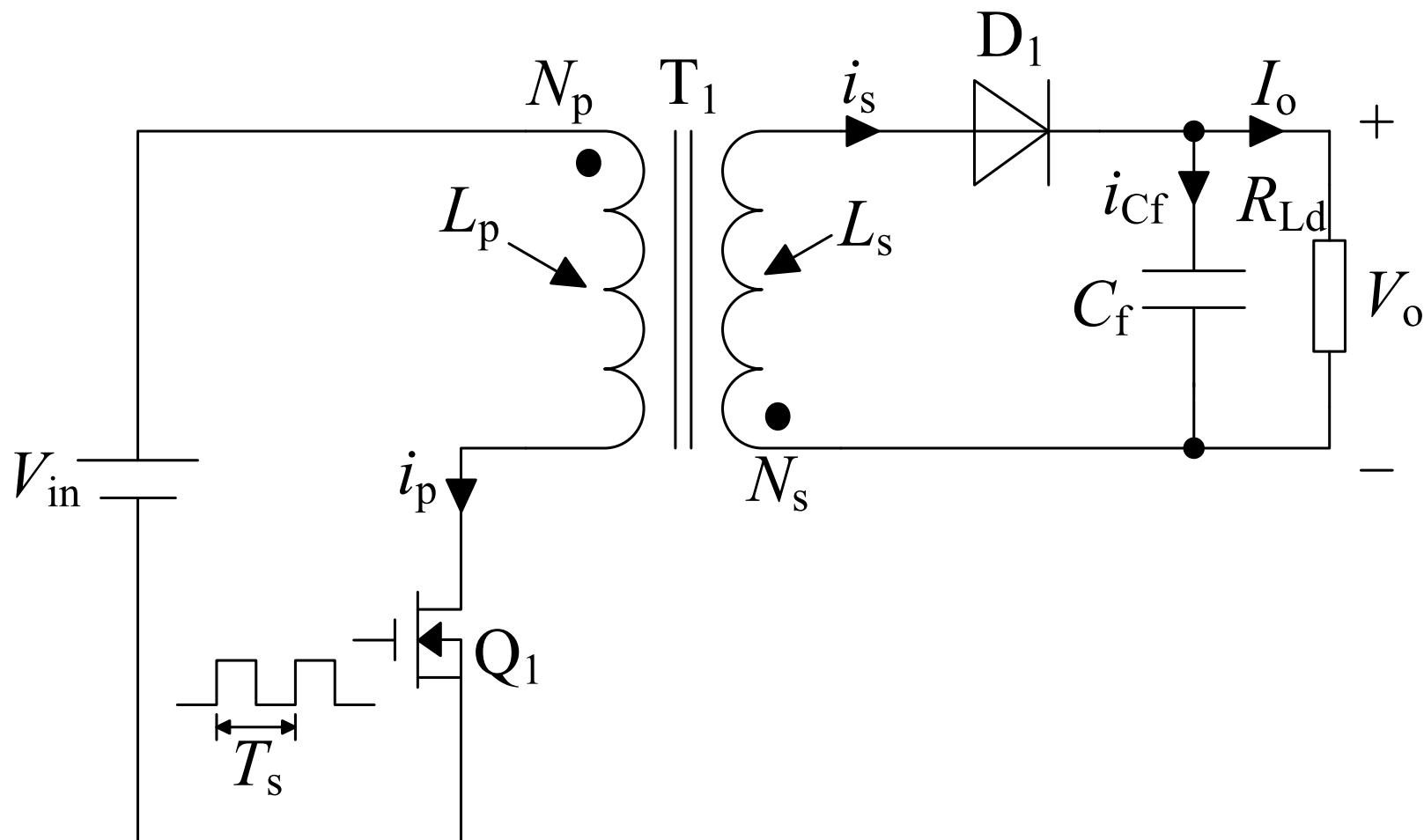
6.2 反激变换器的参数设计

6.3 反激变换器仿真

本章小结

第六章 反激 (Flyback) 变换器

6.1 反激变换器基本原理



第六章 反激(Flyback)变换器

反激变换器的工作原理:

开关管导通时, 变压器储存能量, 负载电流由输出滤波电容提供; 开关管关断时, 变压器将储存的能量传送到负载和输出滤波电容, 以补偿电容单独提供负载电流时消耗的能量。

优点:

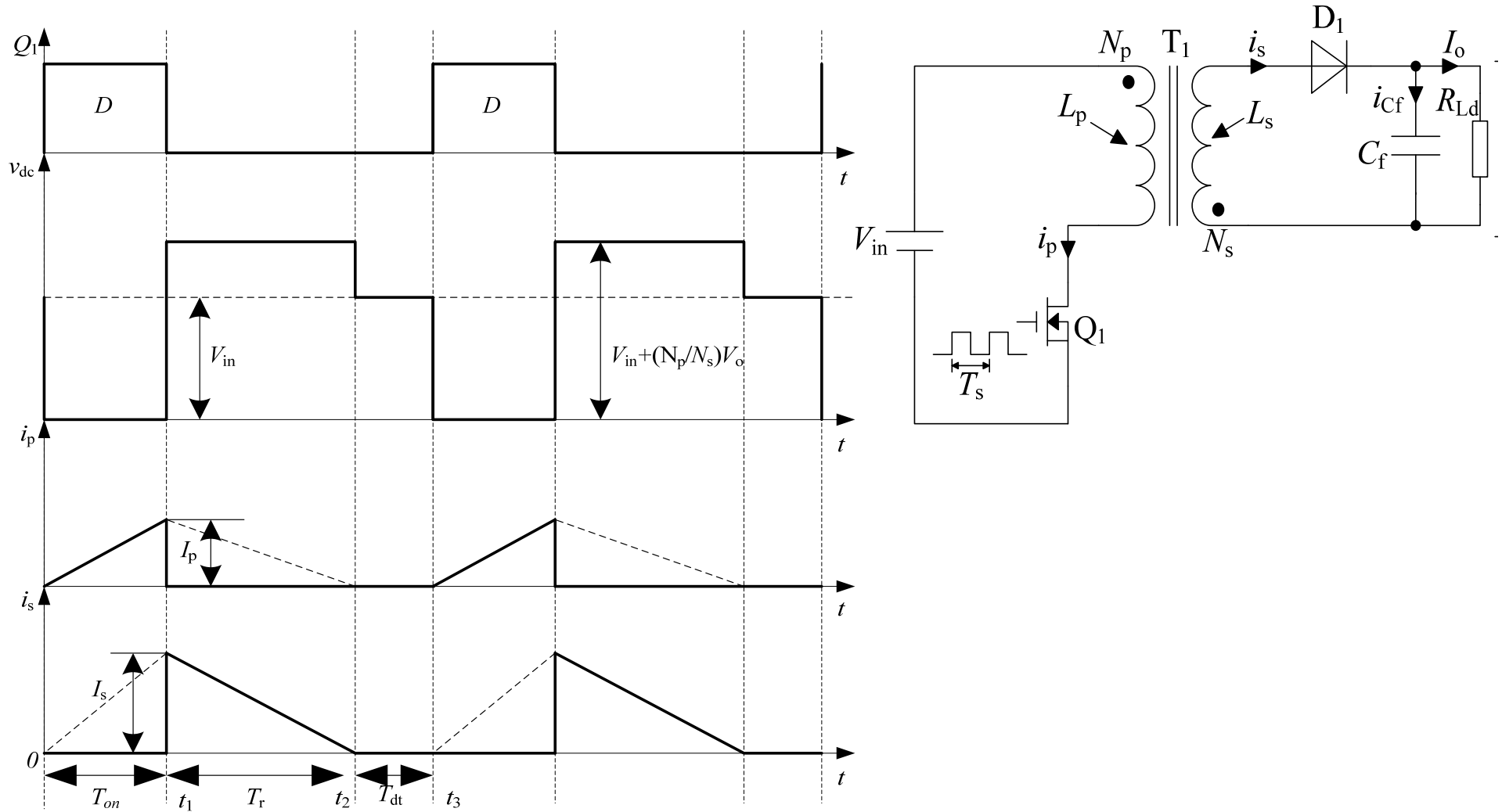
不需要输出滤波电感(滤波电感在所有正激拓扑中是必需的), 减小体积, 降低成本。

应用范围:

- **5~150W**电源中应用广泛
- 高电压、小功率场合(电压不大于**5000V**, 功率小于**15W**)
- **50W~150W**且有多组输出的变换器
- 选择合适的匝比, 可用于直流输入低至**5V**的场合

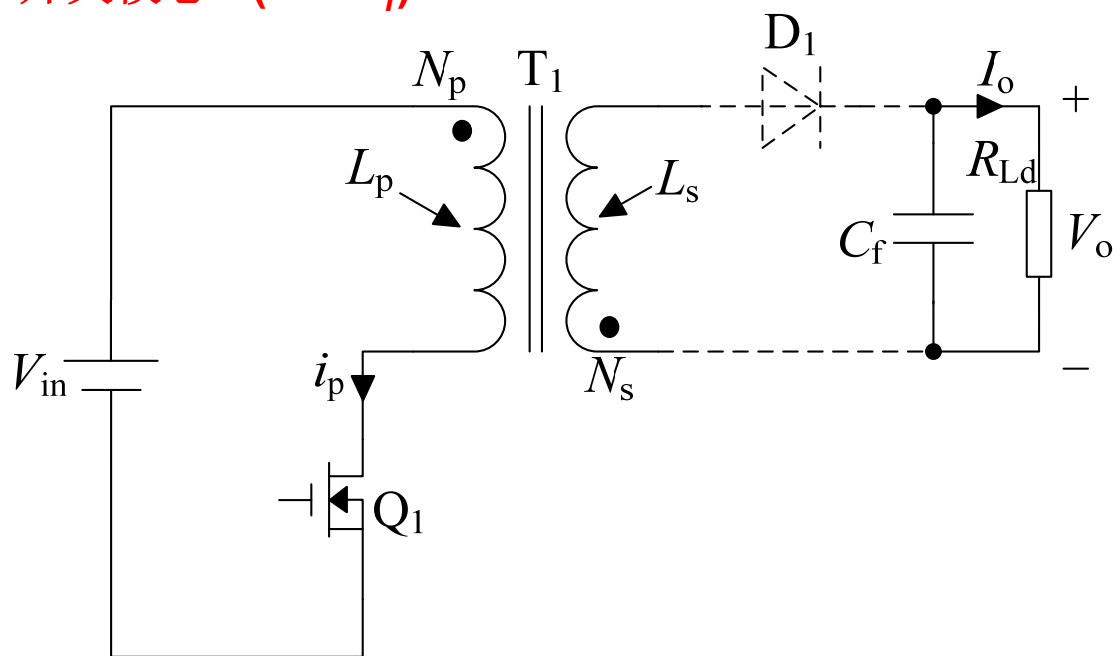
第六章 反激 (Flyback) 变换器

电流断续时的工作模式(DCM)



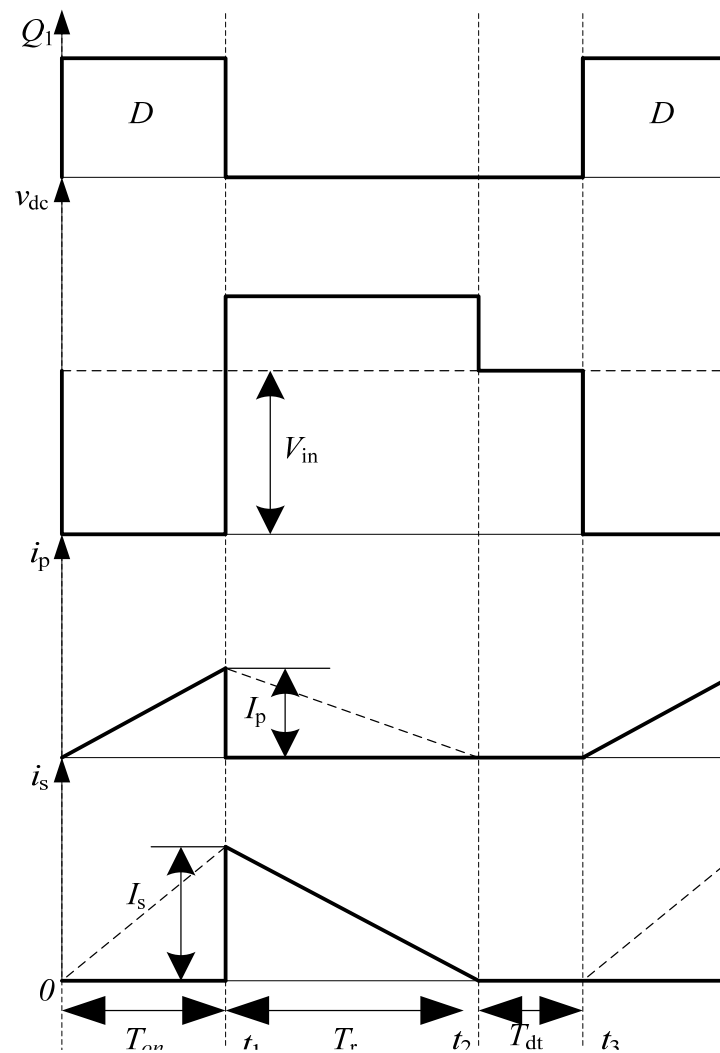
第六章 反激 (Flyback) 变换器

开关模态1 ($0 \leq t \leq t_1$)



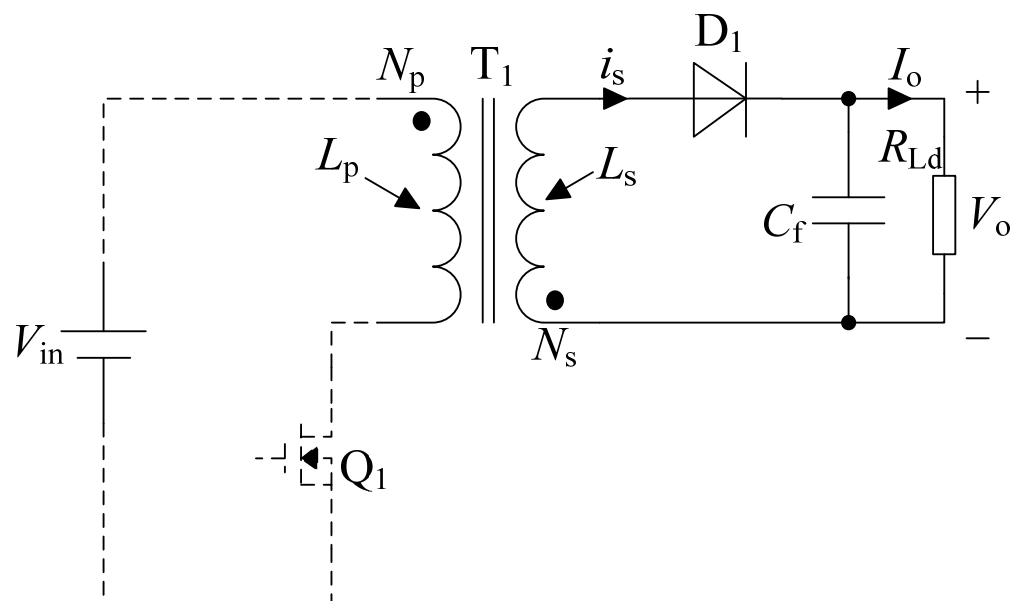
$$I_p = \frac{V_{in}}{L_p} T_{on} = \frac{V_{in}}{L_p} D T_s$$

$$E = \frac{L_p I_p^2}{2}$$



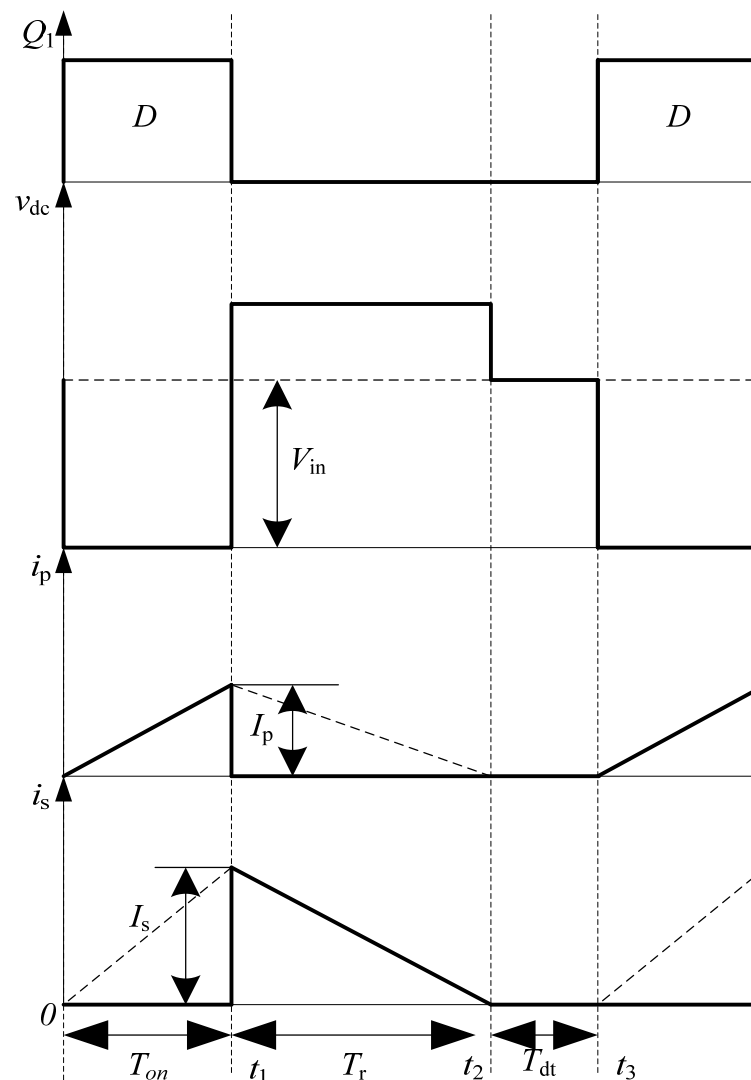
第六章 反激 (Flyback) 变换器

开关模态2 ($t_1 \leq t \leq t_2$)



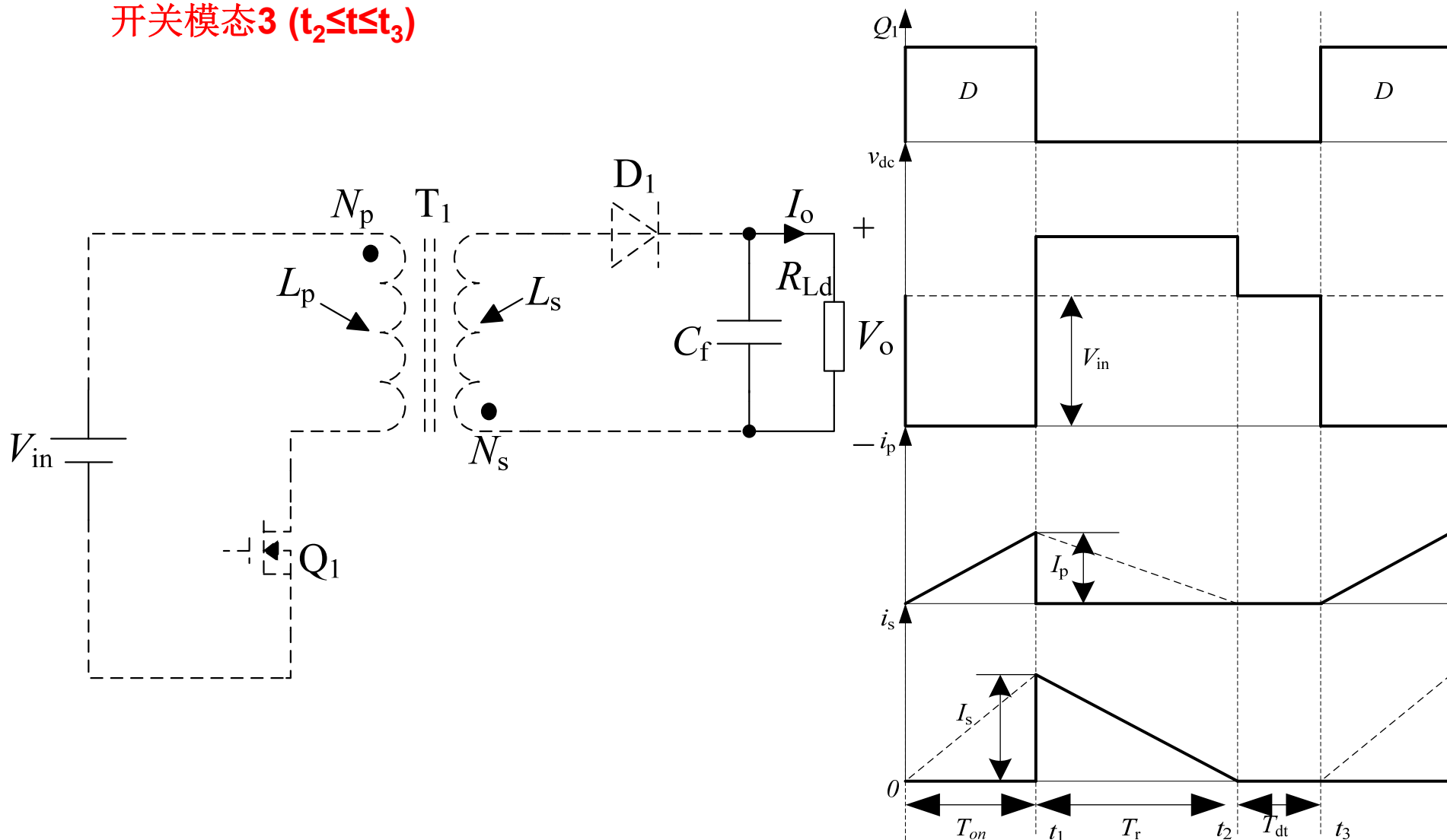
$$I_s = I_p \left(N_p / N_s \right)$$

$$\frac{di_s}{dt} = \frac{V_o}{L_s}$$



第六章 反激 (Flyback) 变换器

开关模态3 ($t_2 \leq t \leq t_3$)



第六章 反激 (Flyback) 变换器

V_{in} 提供的功率为

$$P = \frac{L_p I_p^2}{2T_s}$$

$$I_p = V_{in} T_{on} / L_p$$

$$P = \frac{(V_{in} T_{on})^2}{2T_s L_p}$$

反馈环保持 $V_{in} T_{on}$ 恒定，即可保持输出恒定

设定变换器效率为 η

$$P_{in} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{V_o^2}{\eta R_{Ld}} = \frac{L_p I_p^2}{2T_s}$$

$$V_o = V_{in} T_{on} \sqrt{\frac{R_{Ld}}{2\eta T_s L_p}}$$

反馈环在 V_{in} 或 R_{Ld} 增大时减小 T_{on} ，在 V_{in} 或 R_{Ld} 下降时增大 T_{on} ，从而自动调整输出。

第六章 反激 (Flyback) 变换器

开关管**Q1**截止时($t_1 \sim t_2$)所承受的电压为 V_{in} 和原边绕组中感应电势之和

$$V_{Q1} = V_{in} + \frac{N_p}{N_s} V_o$$

二极管**D1**截止时($0 \sim t_1$)承受的电压等于输出电压副边绕组中感应电势之和

$$V_{D1} = V_o + \frac{N_s}{N_p} V_{in}$$

$$I_s = \frac{N_p}{N_s} I_p = \frac{N_p}{N_s} \frac{V_{in}}{L_p} T_{on}$$

I_p 和 I_s 分别是流过**Q1**和**D1**的最大电流值。

第六章 反激 (Flyback) 变换器

性能指标

输入电压 $V_{in}=252\sim364\text{VDC}$ (220V单相交流电经过整流得到)。

辅助输出电压 $V_{o1}=5\text{V}$ 。

辅助输出额定电流 $I_{o1}=4\text{A}$ 。

主输出 $V_{o2}=15\text{V}$ 。

主输出额定电流 $I_{o2}=0.6\text{A}$ 。

输出电压纹波 V_{rr} : 1%的最大值。

开关频率 $f_s=50\text{KHz}$ 。

期望效率 $\eta=0.8$ 。

反激变换器主电路设计

1、确定初/次级匝比K

直流输入电压最大时开关管的最大电压应力为

$$V_{Q1\max} = V_{in\max} + \frac{N_p}{N_s}(V_o + 1)$$

$$K_1 = \frac{N_p}{N_{s1}} = \frac{V_{Q1\max} - V_{in\max}}{(V_{o1} + 1)} = 39.33$$

$$K_2 = \frac{N_p}{N_{s2}} = \frac{V_{Q1\max} - V_{in\max}}{(V_{o2} + 1)} = 14.75$$

2、确定最大导通时间 $T_{on\max}$

保证变压器正负伏秒数相等

$$(V_{in\min} - 1)T_{on\max} = (V_o + 1)KT_r$$

为保证变换器工作于不连续模式下，必须设定死区时间 $T_{dt} = 20\%T_s$

$$T_{on\max} + T_r = 0.8T_s$$

$$T_{on\max} = \frac{0.8T_s K_1 (V_{o1} + 1)}{(V_{in\min} - 1) + K_1 (V_{o1} + 1)} = 7.75\mu s$$

反激变换器主电路设计

3、确定初、次级电感量

$$L_p = \frac{\eta R_o}{2T_s} \left(\frac{V_{in \min} T_{on \max}}{V_o} \right)^2 = \frac{\eta (V_{in \min} T_{on \max})^2}{2T_s P_o} = 2.63 \text{mH}$$

$$L_{s1} = \frac{L_p}{K_1^2} = 1.7 \mu\text{H}$$

$$L_{s2} = \frac{L_p}{K_2^2} = 12.10 \mu\text{H}$$

4、选择功率开关管Q₁

$$I_p = \frac{V_{in \min} T_{on \max}}{L_p} = 0.74 \text{A}$$

反激变换器主电路设计

5、选择输出整流管

主输出和辅助输出的整流二极管的最大反向电压和最大电流平均值根据下面公式求得：

$$V_{D1} = V_o + \frac{V_{inmax}}{K_1} = 14.25V$$

$$V_{D2} = V_o + \frac{V_{inmax}}{K_2} = 39.68V$$

$$I_{D1} = I_{s1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{I_{o1}}{\sqrt{1-D_{max}}} = 5.9A$$

$$I_{D2} = I_{s2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{I_{o2}}{\sqrt{1-D_{max}}} = 0.89A$$

6、确定输出滤波电容

主输出电容和辅助输出电容

$$C_{o1} = \frac{I_{o1} \cdot (T_{onmax} + 0.2T_s)}{V_{rr1}} = 940\mu F$$

$$C_{o2} = \frac{I_{o2} \cdot (T_{onmax} + 0.2T_s)}{V_{rr2}} = 47\mu F$$

反激变换器主电路设计

已知容量为1000 μ F的铝电解电容的平均ESR值为

$$R_{\text{ESR}} = 65 \times 10^{-6} / 1000 \times 10^{-6} = 0.065 \Omega$$

存在问题:

1、在开关管关断瞬间，次级电流峰值为**6A**，此电流流过等效电阻，产生很窄的尖峰电压 **$6 \times 0.065 = 0.4\text{V}$** 。当反激变换器的匝比 **$N_p/N_s$** 较大时，开关管关断时这种高幅度窄尖峰电压是很常见的问题。

解决办法：选用比上式计算值大的电容（因为 **R_{esr}** 与 **C_o** 成反比）或外接小型**LC**电路以吸收窄尖峰。

2、在反激变换器总中，当初级流过电流时，没有流过次级绕组以抵消初级安匝，因此初级安匝趋于使磁心饱和。

解决办法：给铁氧体磁心加气隙或采用本身有内部气隙的**MPP**（坡莫合金粉末）磁心

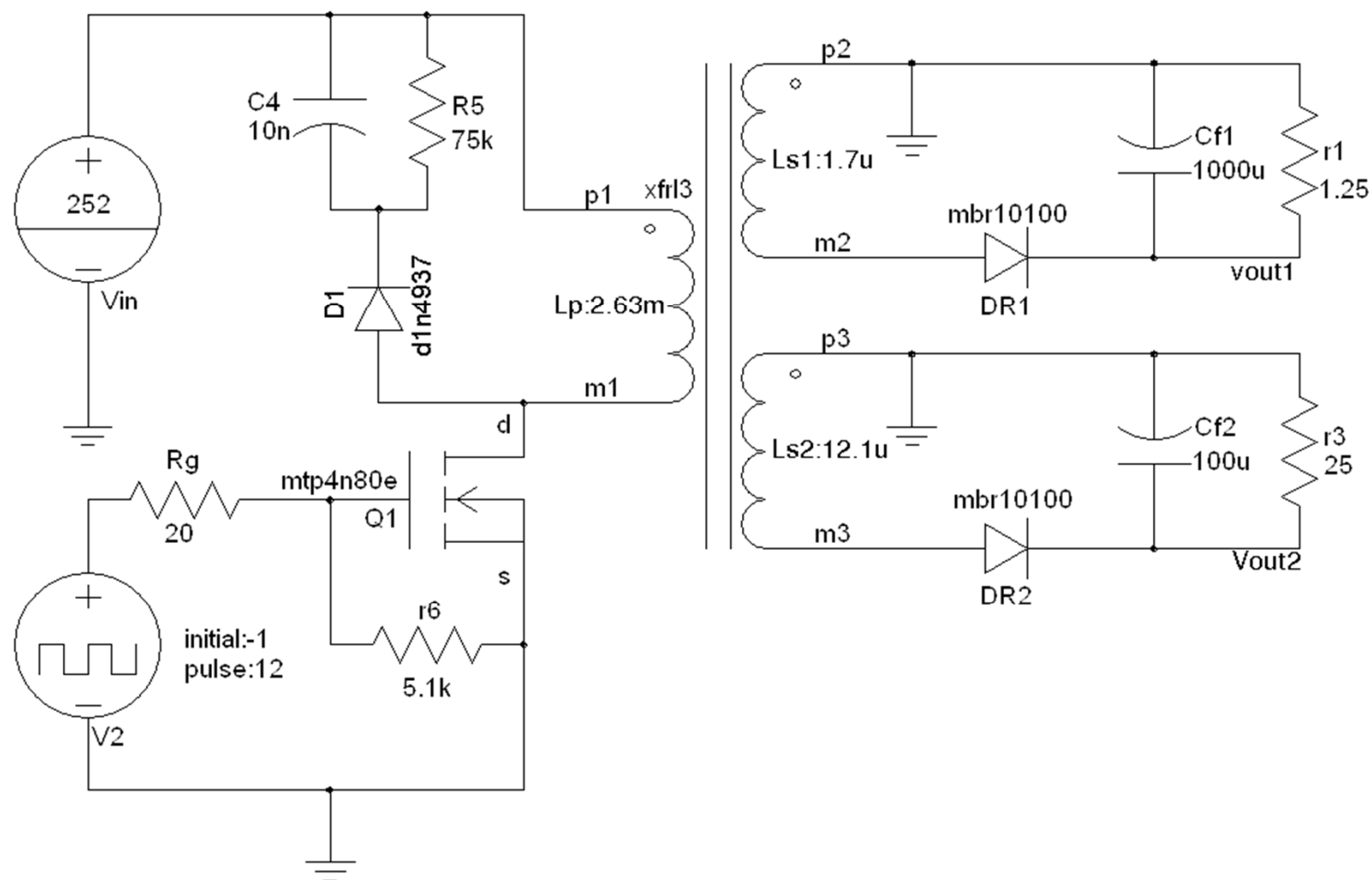
反激变换器主电路设计

防止反激变换器磁心饱和的方法：给磁心加气隙

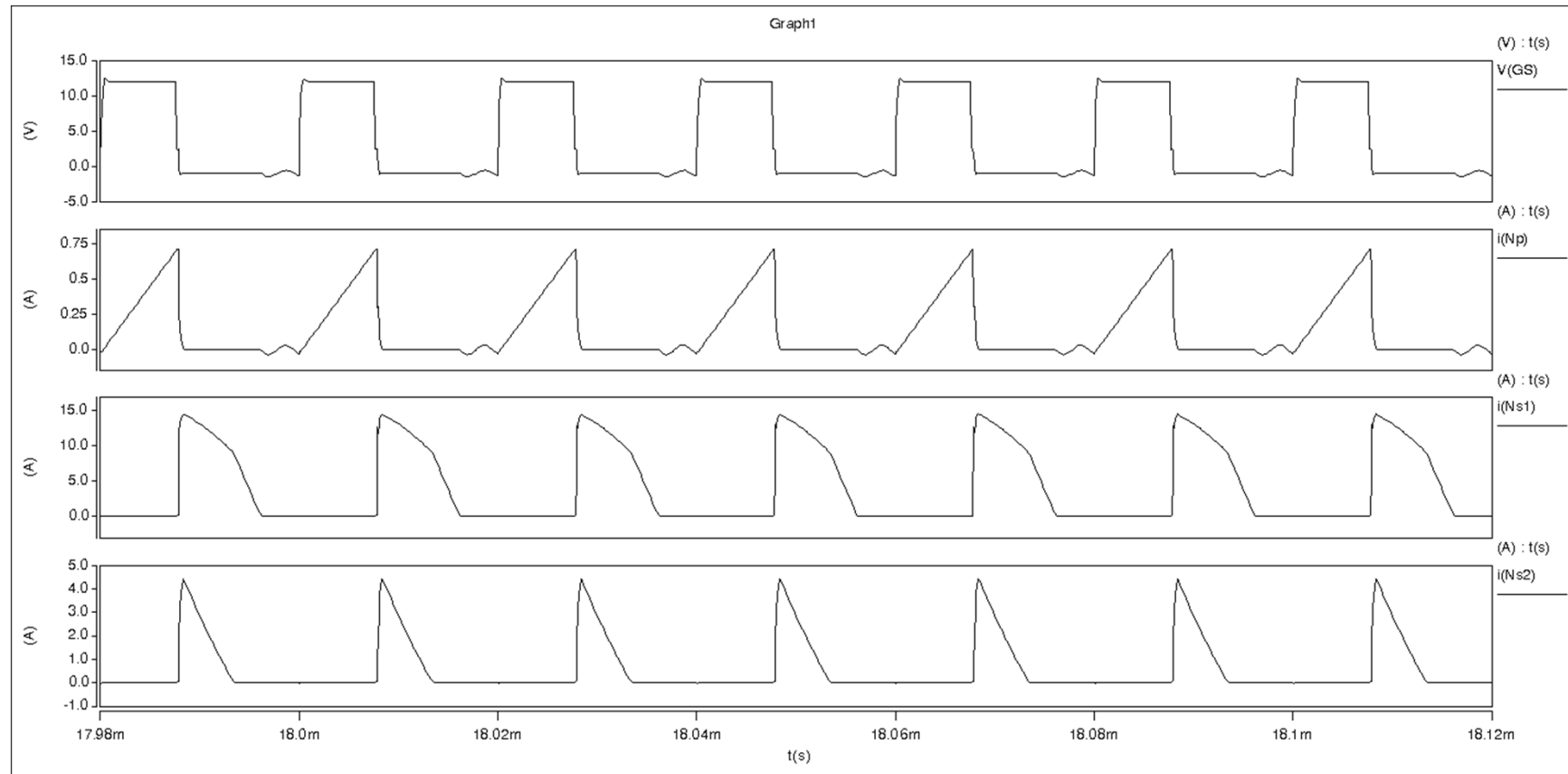
- 采用实心铁氧体磁心，研磨掉**EE**型或罐型磁心中心柱的一部分形成气隙；在**U**型或**UU**型磁心的两半间插入塑料薄片形成气隙。
- 采用**MPP**(坡莫合金粉末)磁心

反激变换器仿真

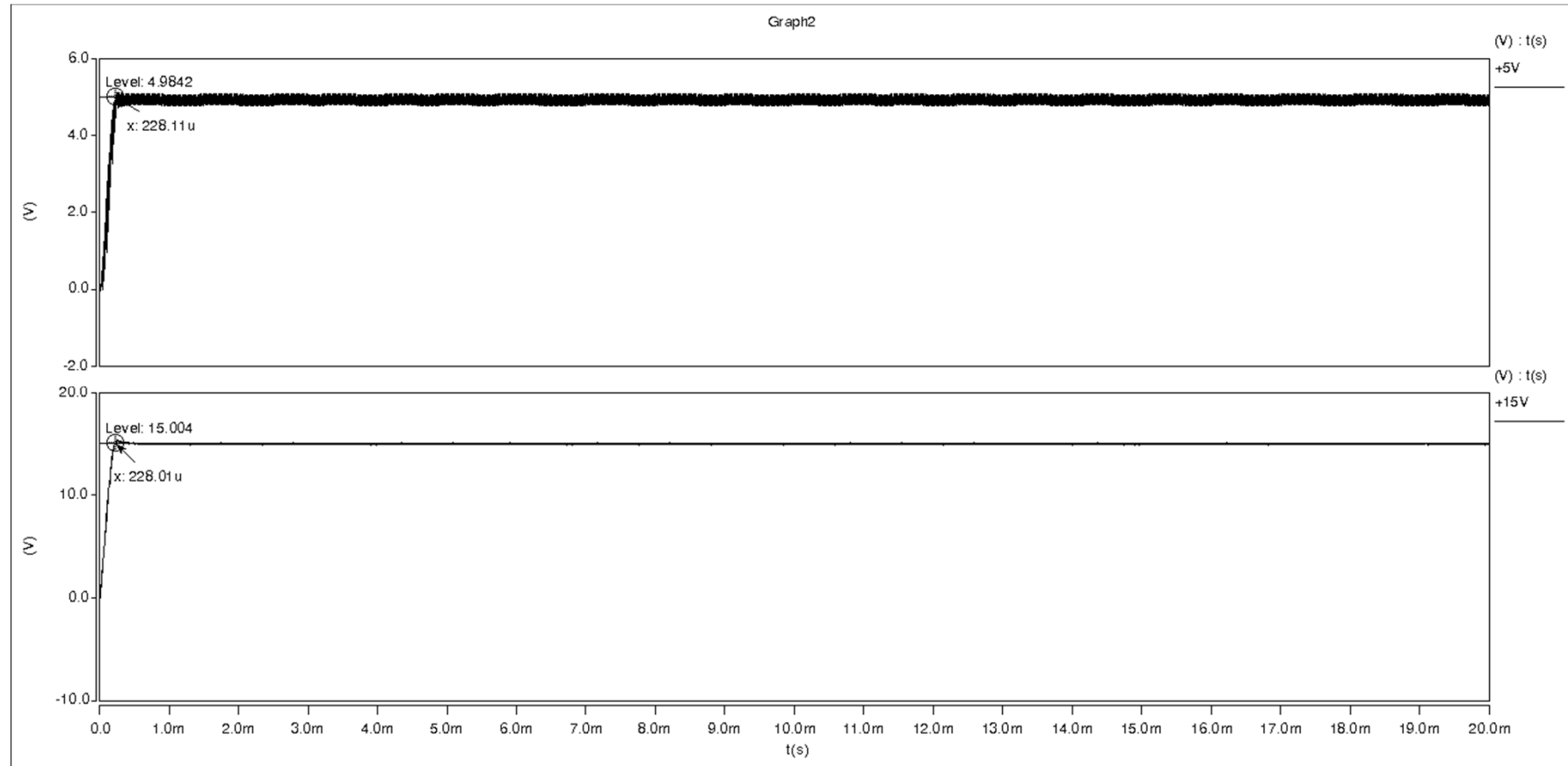
开环仿真



反激变换器仿真



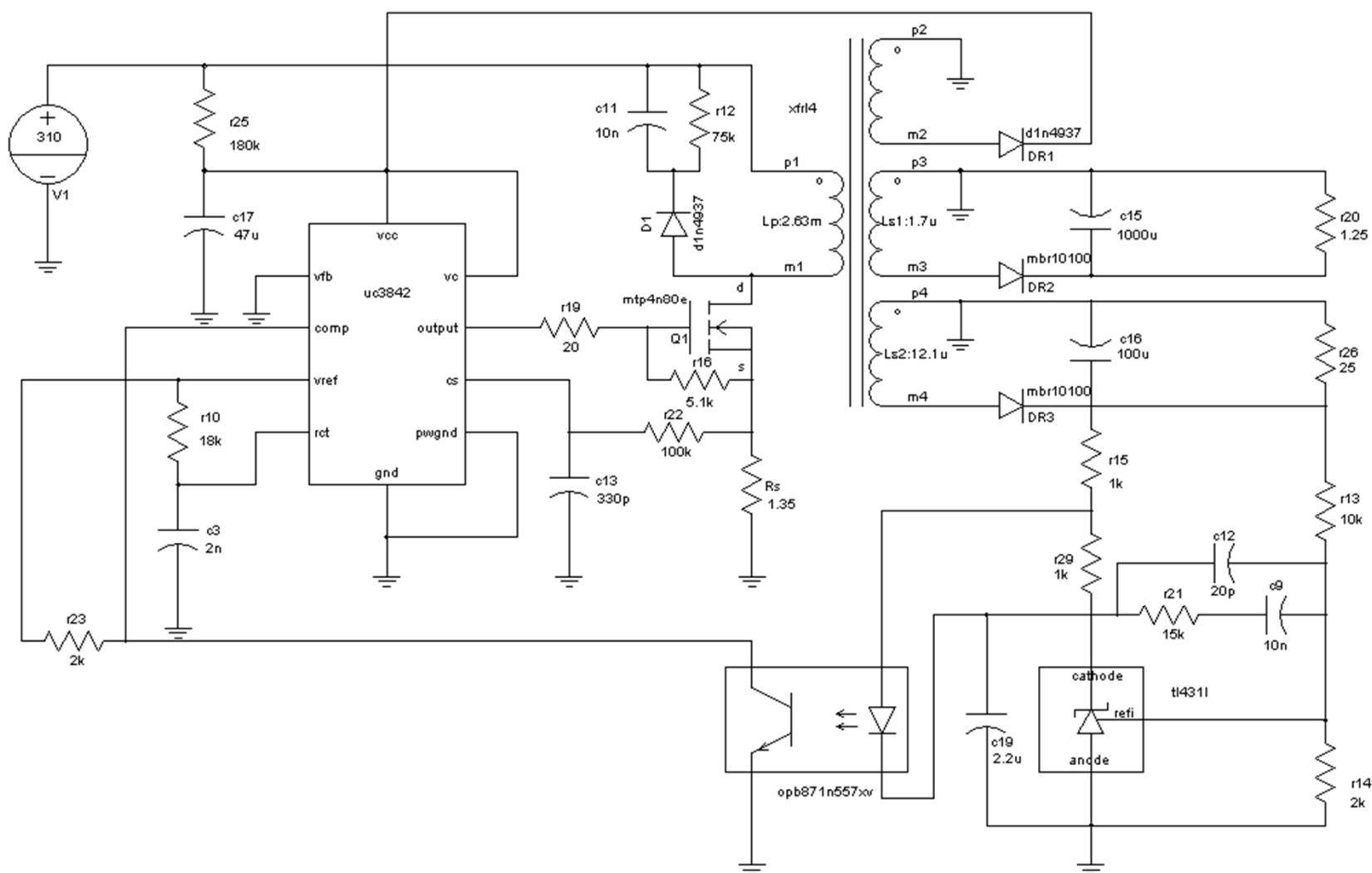
反激变换器仿真



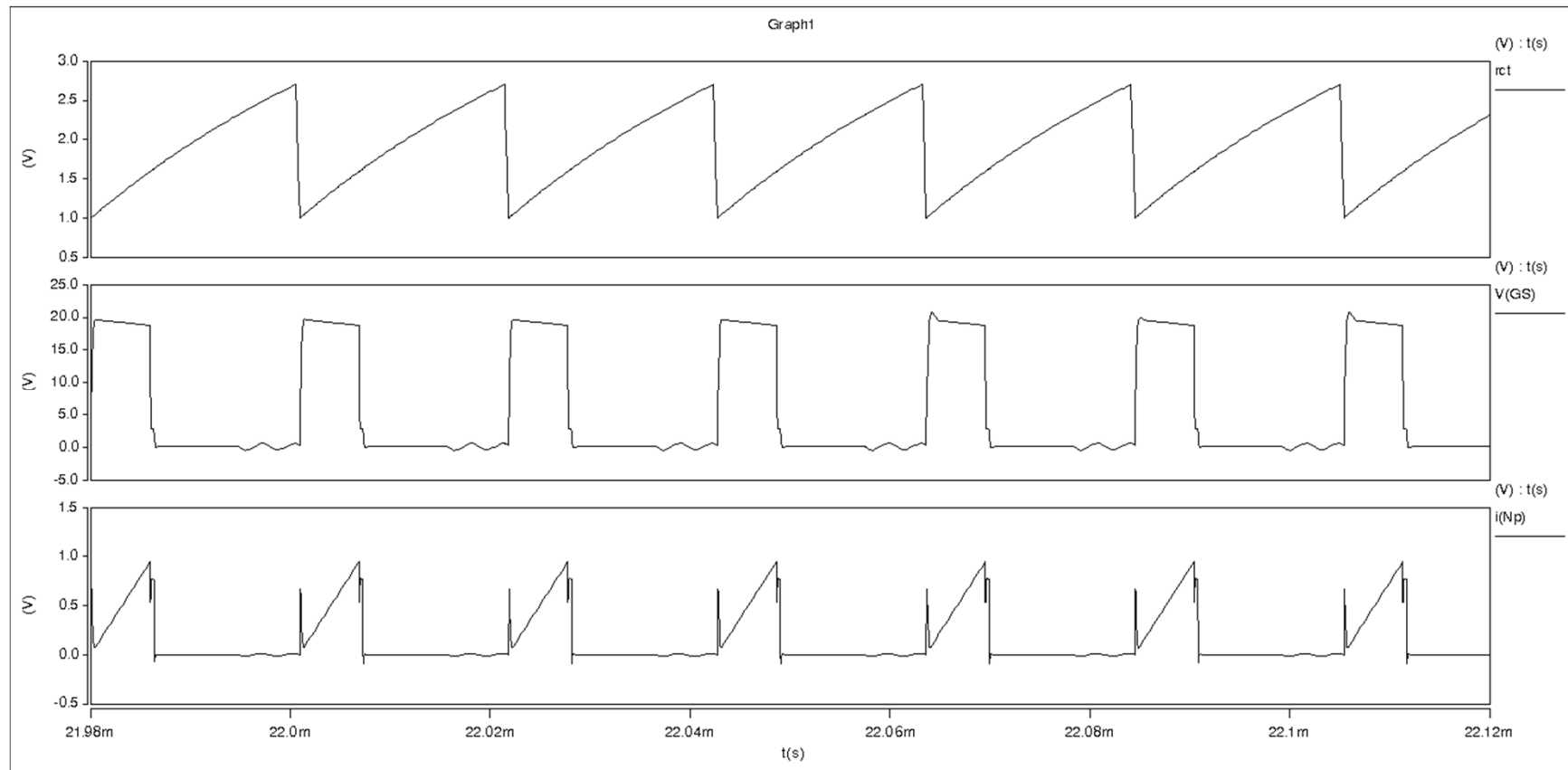
主输出和辅助输出的电压分别稳定在**15.004V**和**4.98V**。

反激变换器仿真

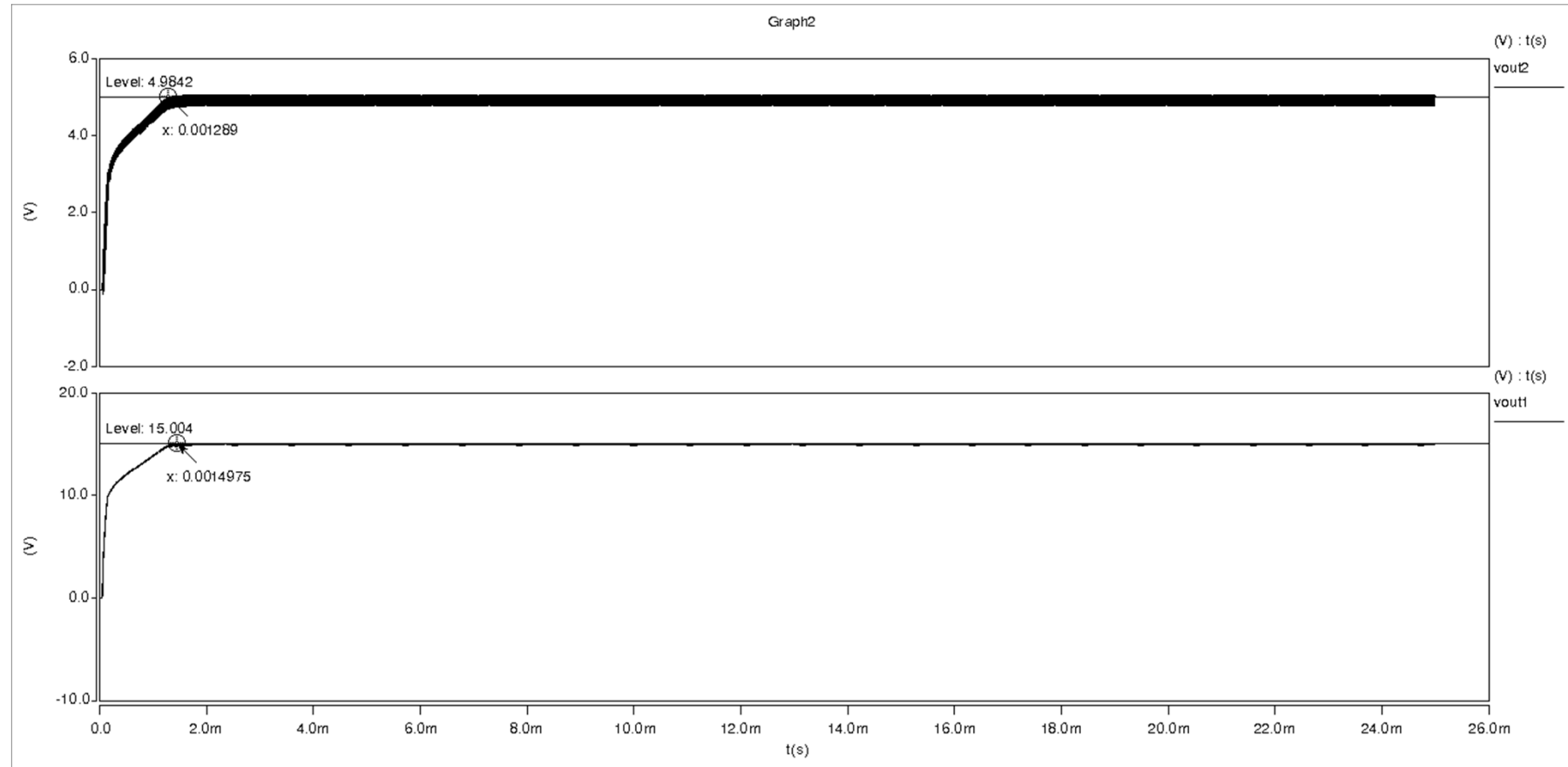
闭环仿真



反激变换器仿真

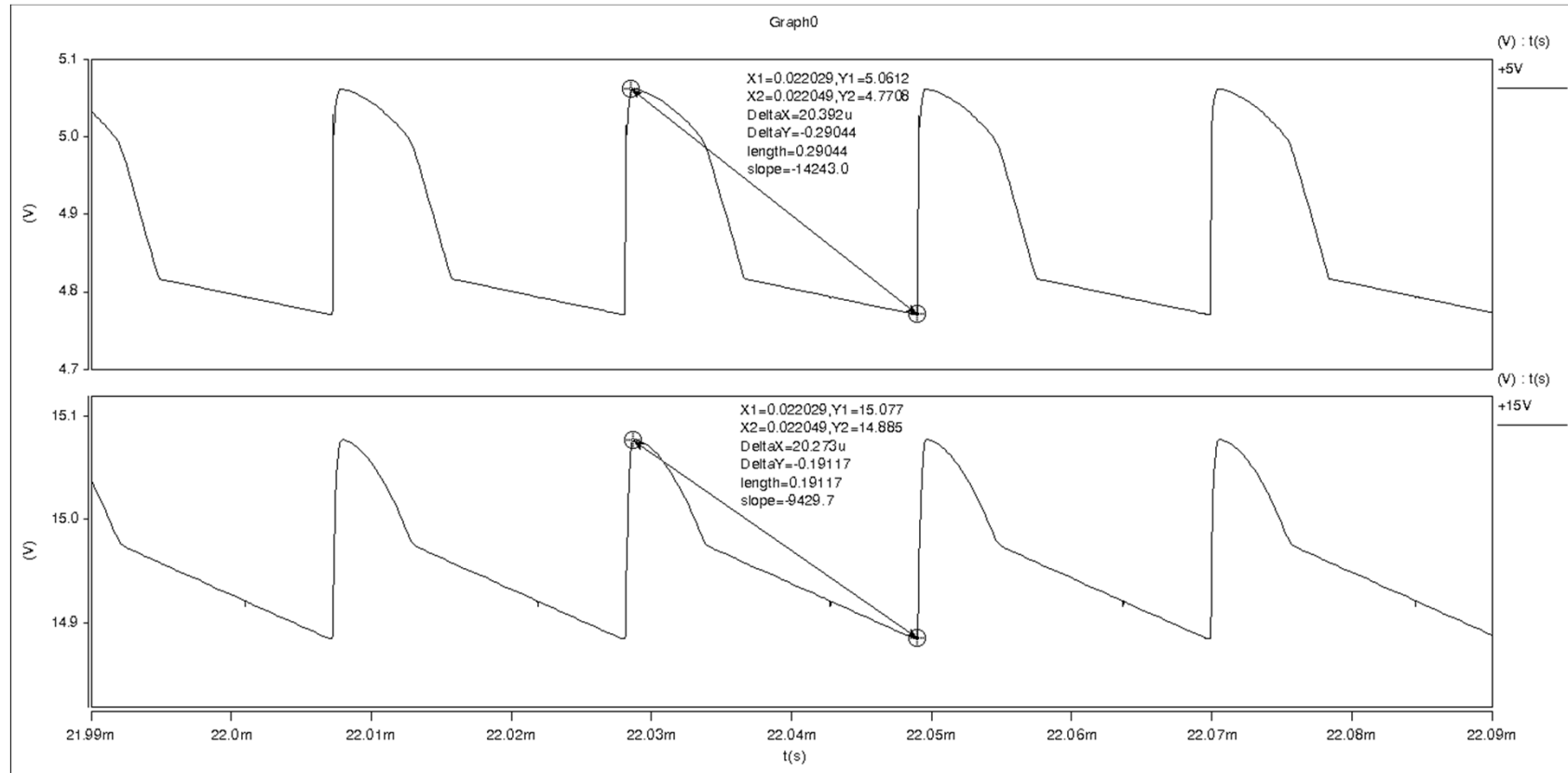


反激变换器仿真



主输出电压为**15.004V**，辅助输出电压为**4.98V**

反激变换器仿真



主输出电压纹波为**0.19V**，辅助输出电压纹波为**0.29V**，主输出电压的纹波控制在**1%**以内