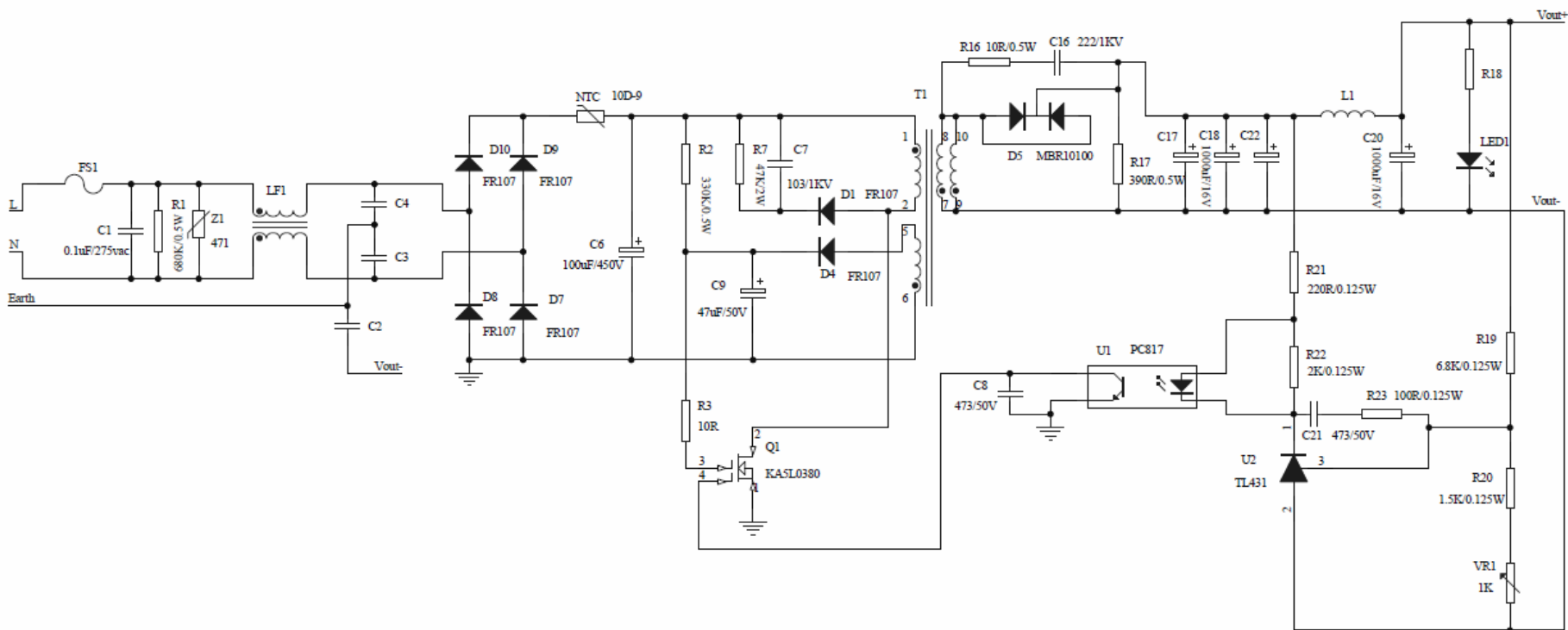




学习情境二 反激式电源电路的分析



反激式电源电路

反激式电源电路的分析的学习分解成四个学习任务：



任务一 反激式变换器的介绍

任务二 集成控制芯片KA5L0380的介绍

任务三 反激式电源电路的分析

任务四 电路的制作、调试和测试

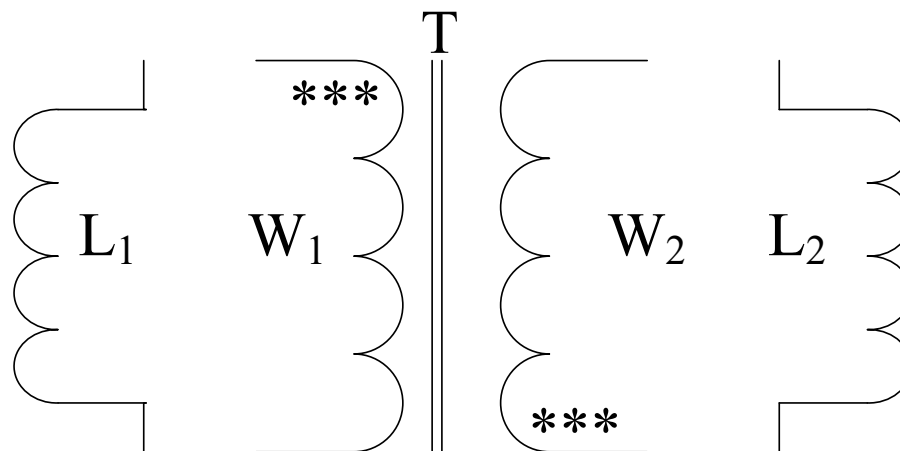
MOS管的介绍已讲解。



任务一 反激式变换器的介绍

1. 变压器的介绍

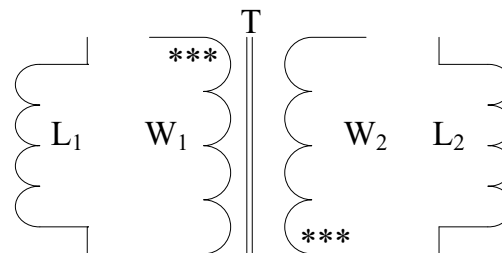
变压器的符号及反激
变压器的等效电路如
右图所示：



变压器：原边（原级或一次侧）primary side 和副边（次级或二次侧）secondary side。



1. 变压器的介绍



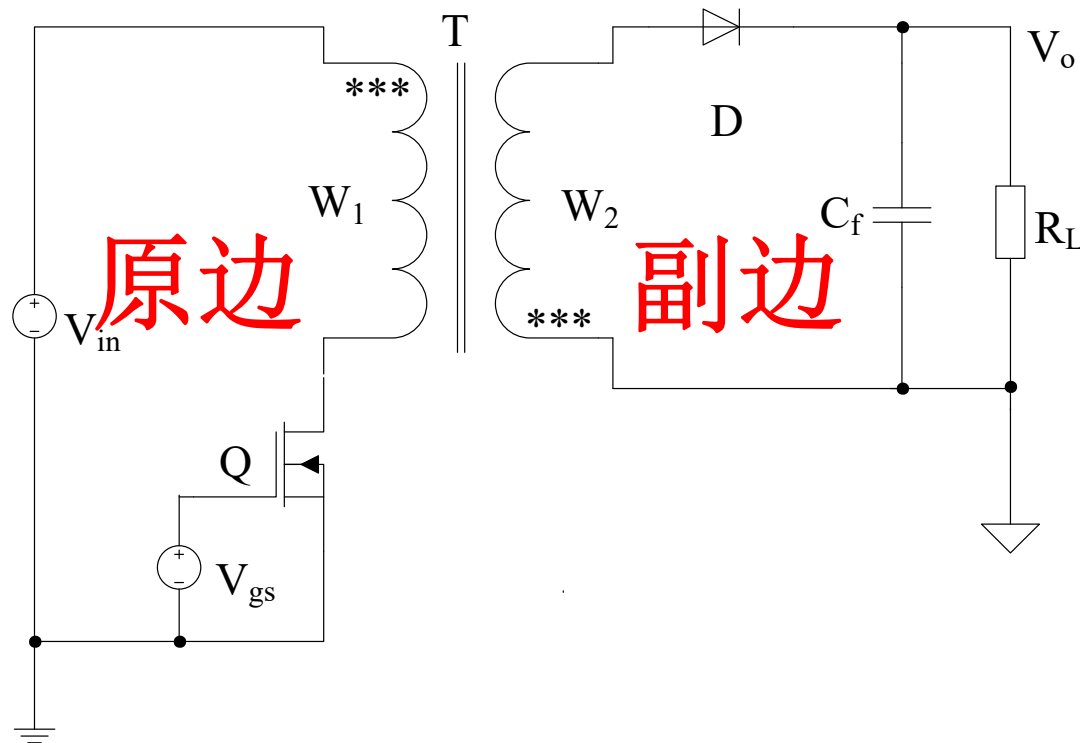
副边开路测量原边电感得到原边电感值或励磁电感值；副边短路测量原边电感得到漏感值。

变压器的作用：

- 电气隔离
- 变比不同，达到电压升、降
- 大功率整流副边相移不同，有利纹波系数减小
- 磁耦合传送能量
- 测量电压、电流



2. 反激式变换器的拓扑结构/电路图



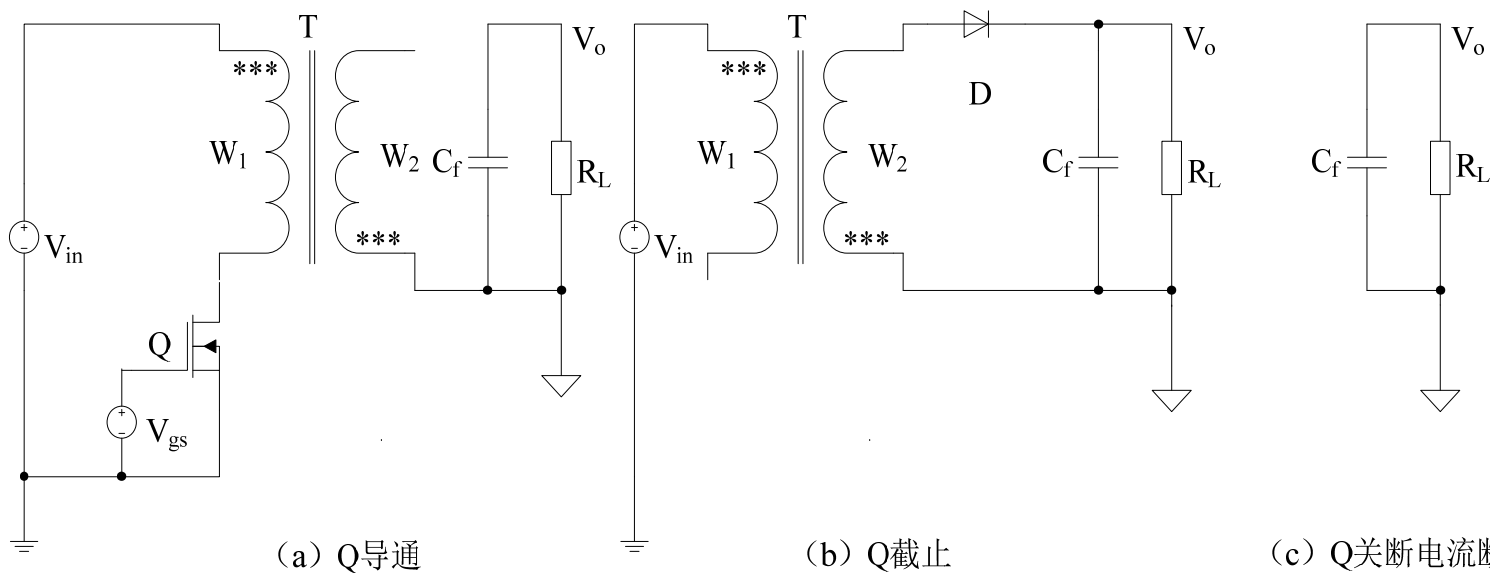
图中绕组符号标有“***”号的一端，表示变压器各绕组的同名端，也就是该绕组的始端。

Flyback变换器由于电路简洁，所用元器件少，适合多路输出。



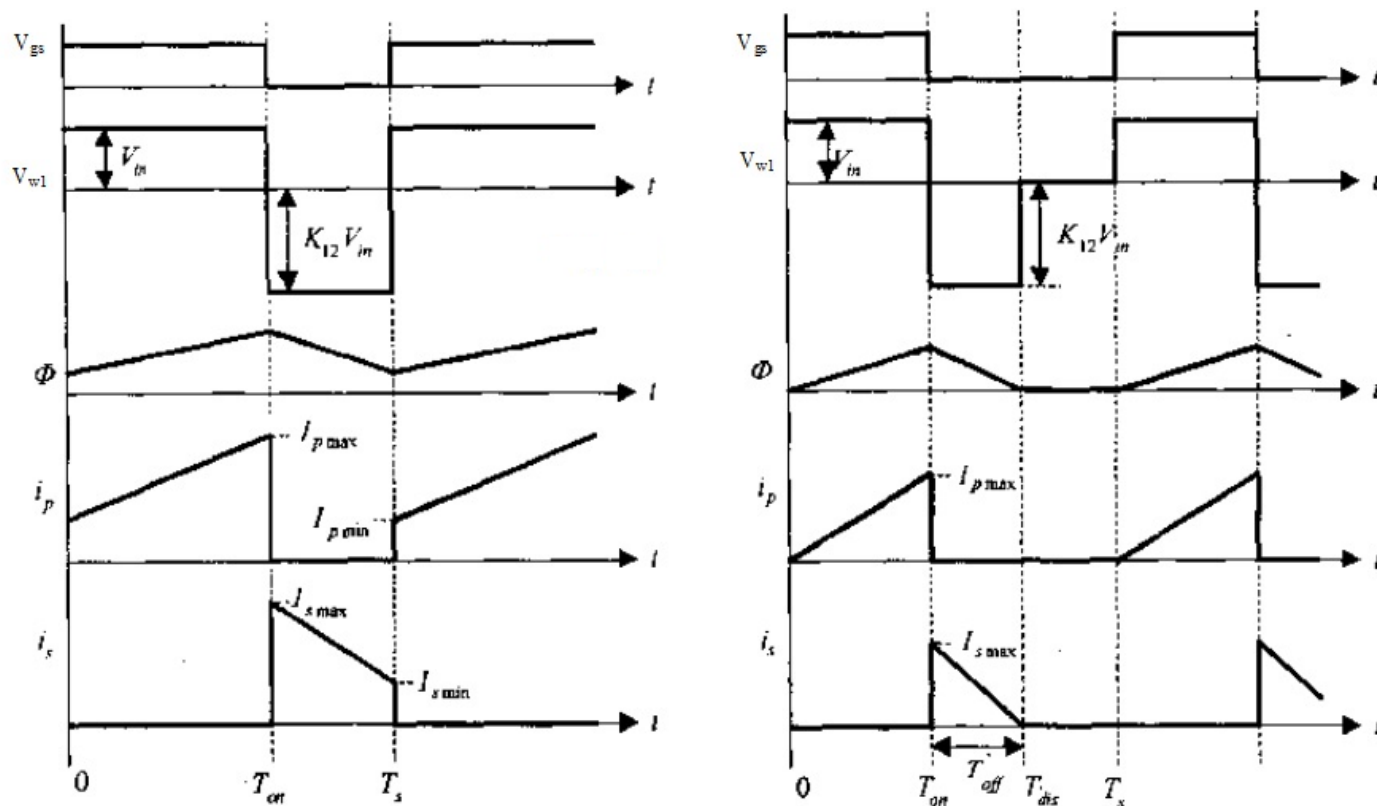
3. 等效电路的分析

和Boost、Buck变换器一样，Flyback变换器也有电流连续和断续两种工作方式。对Flyback变换器来说，电流连续是指变压器两个绕组的合成安匝在一个开关周期中不为零，而电流断续是指合成安匝在Q截止期间有一段时间为零。图中a、b、c给出了变换器在不同开关模式下的等效电路图。





4. 反激变换器的工作原理分析



下面讨论flyback工作在电流连续模式下的工作原理：



1. 模态1 [对应于图 (a)] 在 $t=0$ 时, Q1导通, V_{in} 通过Q1 加在原边绕组W1上, 因此, 铁芯磁化, 铁芯磁通 Φ 增加: $W1*d\Phi/dt=V_{in}$ 。副边绕组W2上的感应电压为: $V_{w2}=-W2/W1*V_{in}$, 其极性为“***”端为“+”, 使二极管D1截止, 负载电流由滤波电容 C_f 提供。此时变压器副边绕组开路, 只有原边绕组工作, 相当于一个电感, 其电感量为 L_1 。

在 $t=T_{on}$ 时, 铁芯磁通 Φ 的增加量为 $V_{in}/W1*D*T_s$ 。



2. 模态2 [对应于图 (b)]

在 T_{on} 时刻，关断Q1，原边绕组开路，副边绕组的感应电势反向，其极性为“***”端为“负”，使二极管D1导通，储存在变压器磁场中的能量通过D1释放，一方面给Cf充电，另一方面向负载供电。此时变压器只有副边绕组工作，相当于一个电感，其电感量为 L_2 。

在此过程中，变压器磁芯被去磁，其磁通 Φ 也线性减小。磁通 Φ 的减小量为： $V_o/W_2*(1-D)T_s$ 。



5. 基本关系式

稳态工作时，Q1导通期间磁通 Φ 增长量等于它在截止期间磁通 Φ 的减小量。即：

$$\frac{V_{in}}{W_1} D T_s = \frac{V_o}{W_2} (1 - D) T_s$$

$$V_o = \frac{V_{in}}{N} \frac{D}{1 - D}$$

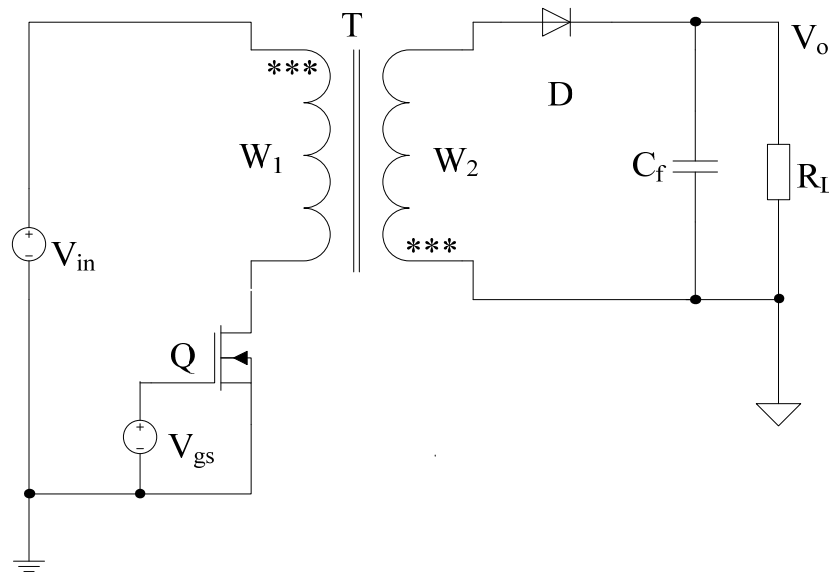
MOS管Q截止时所承受的电压为 V_{in} 和 W_1 感应电势之和：

$$V_Q = V_{in} + \frac{W_1}{W_2} V_o = \frac{V_{in}}{1 - D}$$



5. 基本关系式

根据电路图推导基本关系式。



5. 基本关系式



负载电流 I_o 就是流过D的电流平均值，由波形图得：

$$I_o = \frac{1}{2} (I_{s \min} + I_{s \max}) (1 - D)$$

根据变压器的工作原理，有下面两个表达式：

$$W_1 I_{p \min} = W_2 I_{s \min} \quad W_1 I_{p \max} = W_2 I_{s \max}$$

最小输入电压 $V_{in \min}$ 对应最大占空比 D_{\max} ：

原边电流由负载电流来决定。

任务二 集成控制芯片KA5L0380的介绍



飞兆功率开关—FPS序列产品：KA5H0365R, KA5M0365R, KA5L0365R, KA5H0380R, KA5M0380R, KA5L0380R

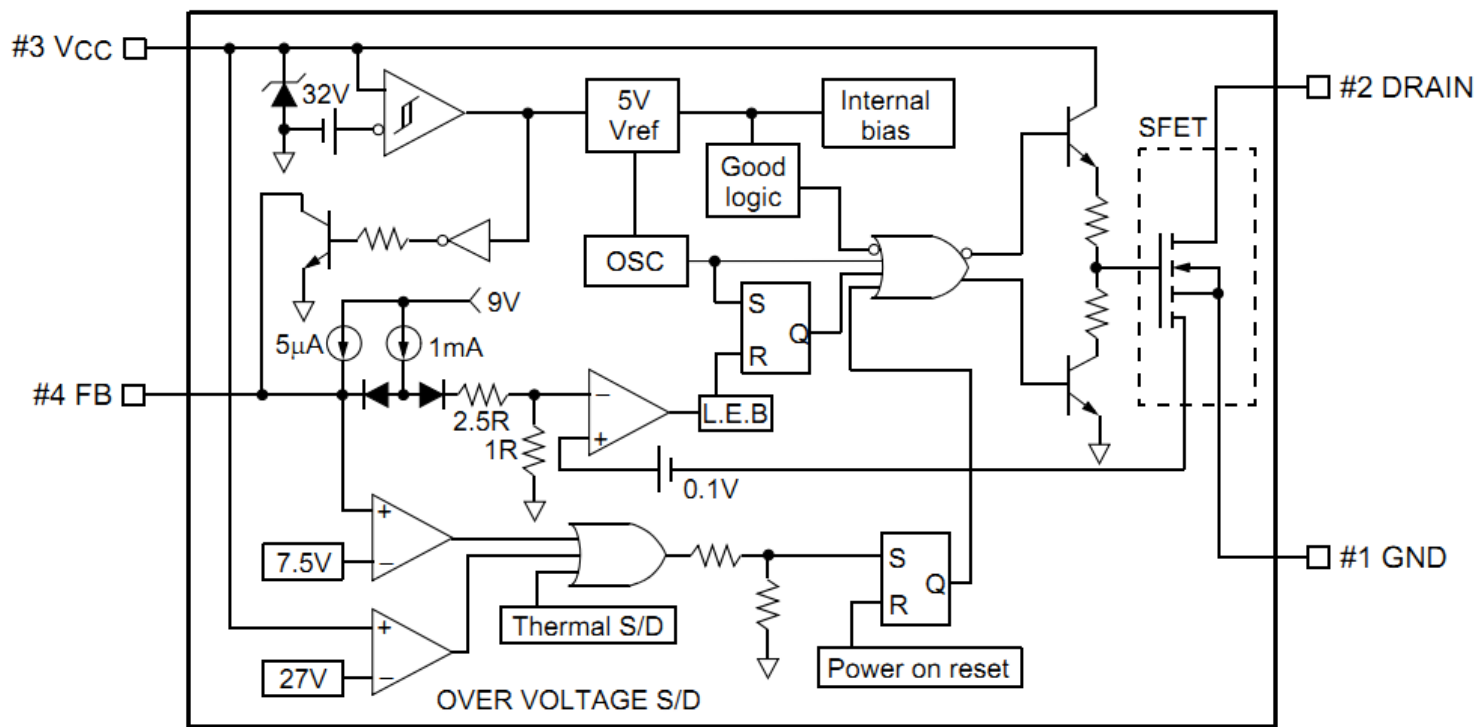
特征：

- 精确的工作频率（100/67/50KHz）
- 启动电流很小（典型值100uA）
- 逐周电流限制
- 过流保护
- 过压保护（最小值25V）
- 内部热关断功能
- 欠压锁定
- 内部高压检测
- 自动重启模式

数据手册（Datasheet） 见[KA5L0380R.pdf](#)



结构框图



TO-220F-4L



1. 功率地 (GND) 2. 漏极 (Drain)
2. 3. 工作电压 (Vcc) 4. 反馈 (FB)



描述：

飞兆功率开关系列产品专门为离线式开关电源设计，只需要很少的外围元器件。飞兆功率开关（FPS）集成高压MOS管和电流模式的PWM 控制器，包括固定频率振荡器、欠压锁定、优化的门极驱动器、热关断保护，过压保护。与分立的MOSFET和PWM控制器或RCC方法相比，FPS方法能减少总的元件数目，电源尺寸和重量，同时增加效率和系统可靠性。它非常适合应用于反激或正激变换器中。

最大额定值（环境温度25°C，除非特别说明）



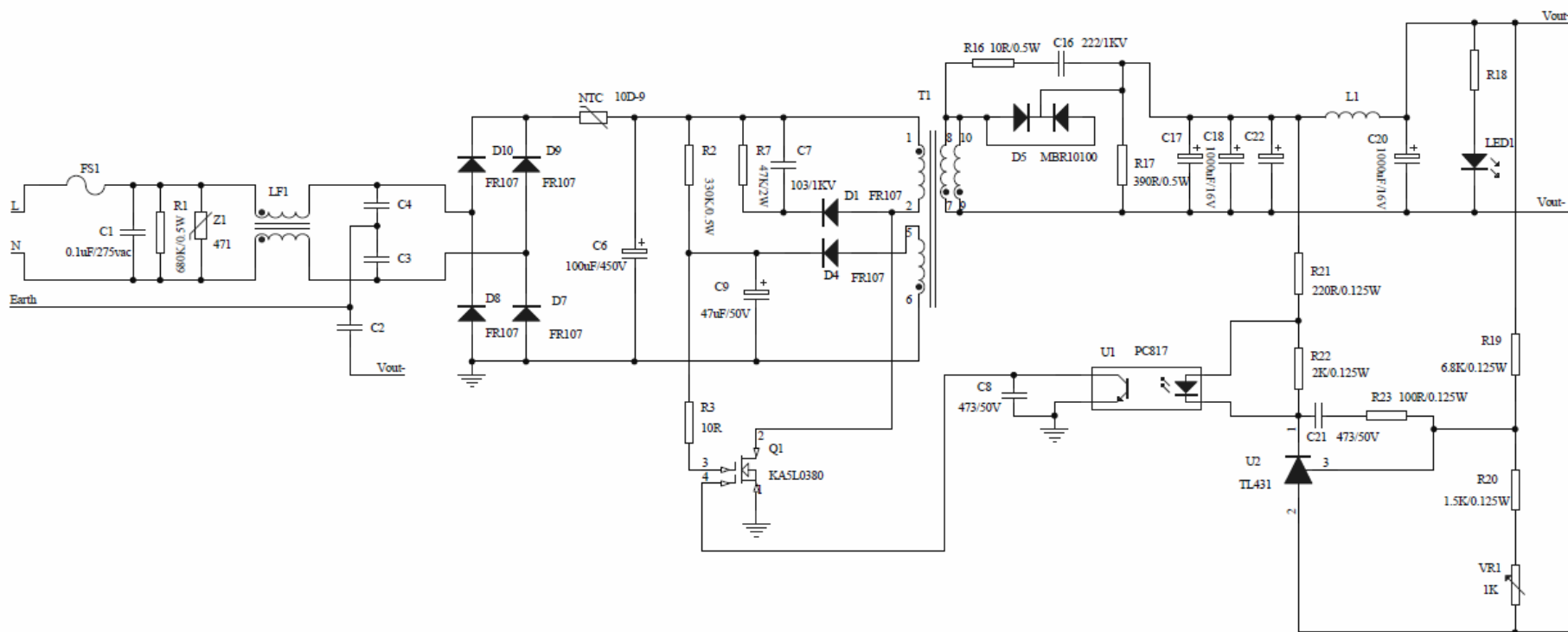
参数	符号	值	单位
KA5H0380R, KA5M0380R, KA5L0380R			
漏—门极电压 (R _{gs} =1Mohm)	V _{DGR}	800	V
门—源极电压	V _{GS}	±30	V
漏极脉动电流 (注1)	I _{DM}	12.0	A _{DC}
连续漏极电流 (T _C =25°C)	I _D	3.0	A _{DC}
连续漏极电流 (T _C =100°C)	I _D	2.1	A _{DC}
单脉冲雪崩能量 (注2)	E _{AS}	95	mJ
最大的工作电压	V _{CC,MAX}	30	V
模拟输入电压范围	V _{FB}	-0.3-V _{SD}	V
总的功率损耗	P _D	75	W
	降额因子	0.6	W/°C
工作结温	T _J	+160	°C
工作环境温度	T _A	-25-+85	°C
存储温度范围	T _{STG}	-55-+150	°C ¹⁷



电气特性参数见[KA5L0380R. pdf](#)



任务三 反激式电源电路的分析



40W单片集成反激式电源电路



1. 电路工作原理分析

分析电路的基本方法：先从整体上分析电路的结构，再从局部分析每一部分或每个元件的作用。

电路组成结构：

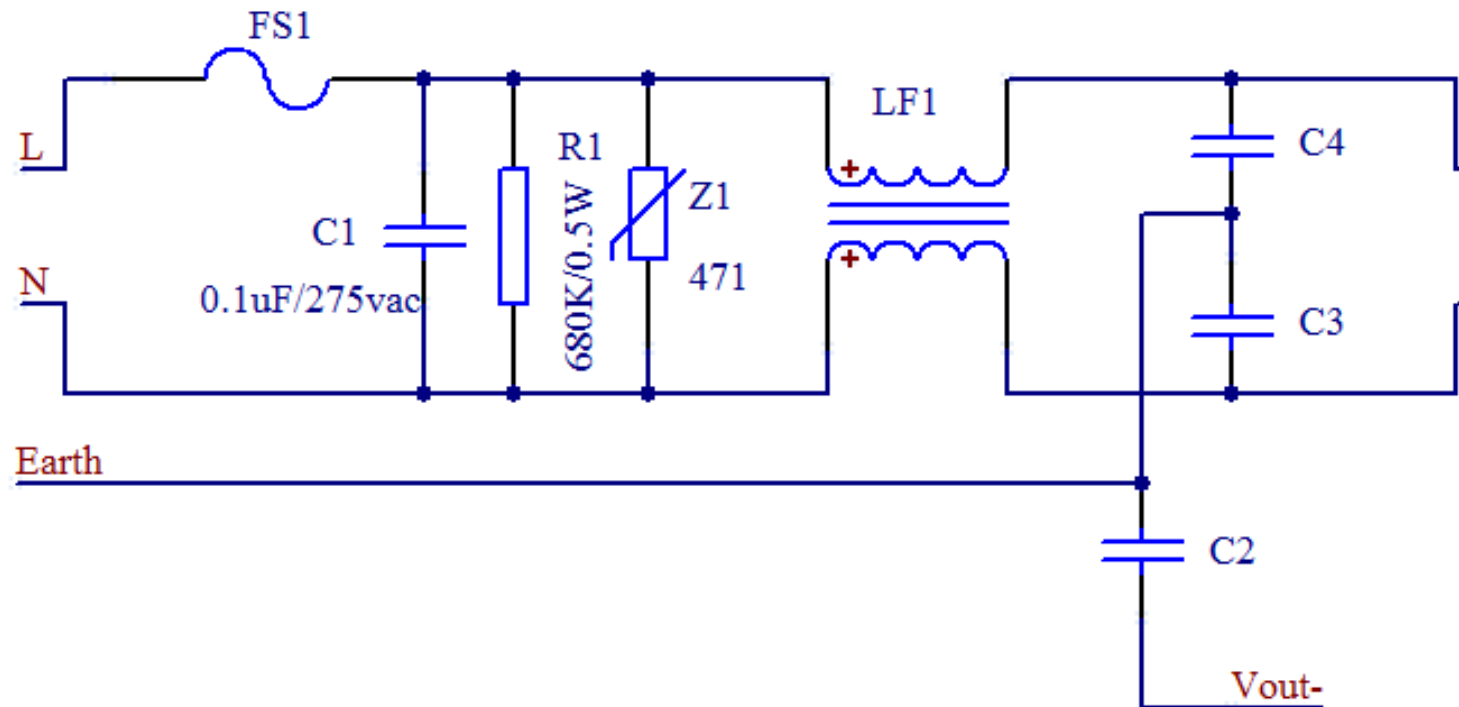
EMI 整流滤波、反激和输出整流滤波电路、

输出检测反馈和控制三大部分电路构成。



1. 电路工作原理分析

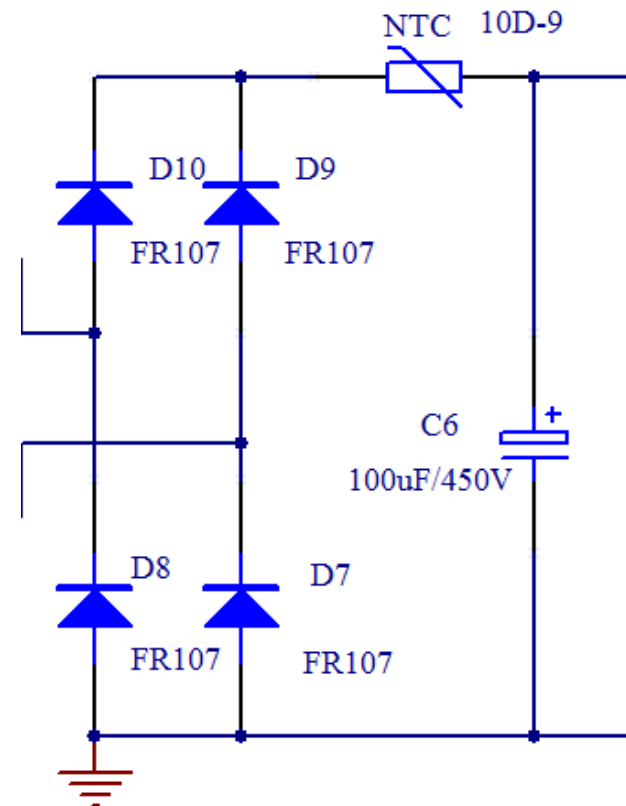
EMI电路





1. 电路工作原理分析

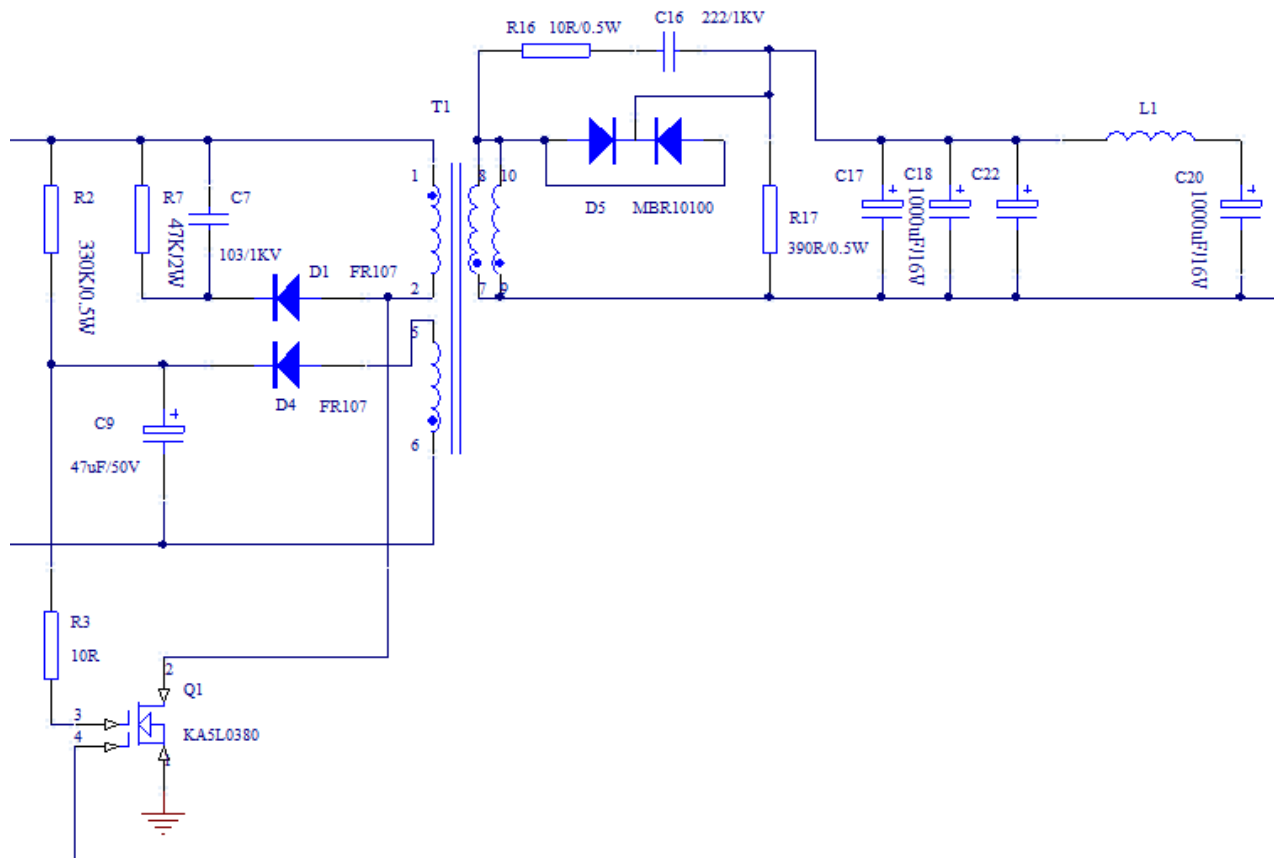
整流储能电路，其中
NTC抑制浪涌电流。





1. 电路工作原理分析

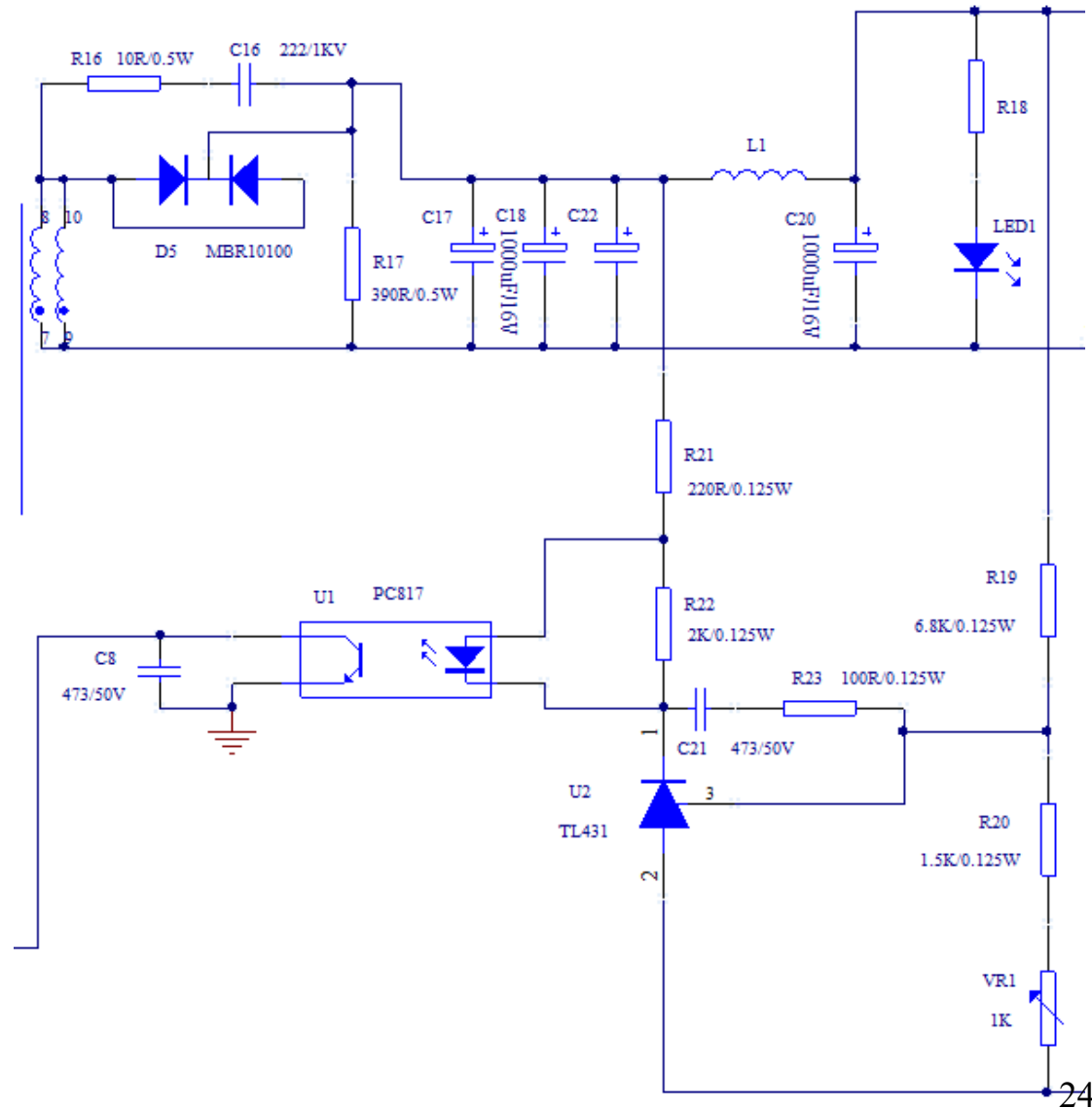
反激和输出整流滤波电路，其中D1、R7、C7构成吸收网络、R16、C16构成吸收网络，L1起平滑电流的作用，R17作为假负载。





1. 电路工作原理分析

输出检测和
反馈控制





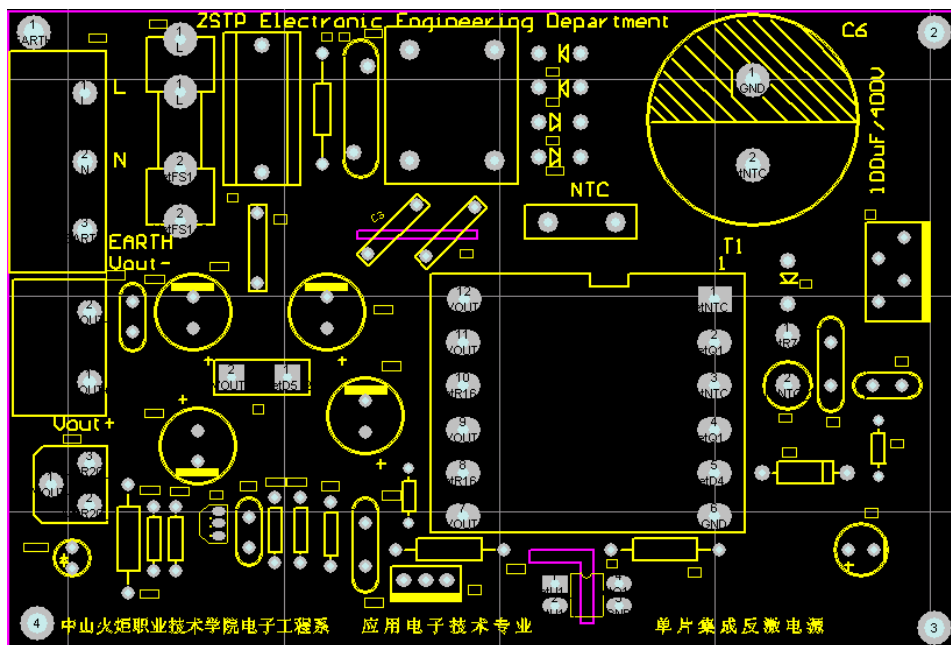
1. 电路工作原理分析

其它电路：变压器辅助绕组3、 D_4 和 C_9 给 Q_1 提供工作电压，整流滤波电压 V_{C_6} 通过 R_2 给 Q_1 提供启动电压。

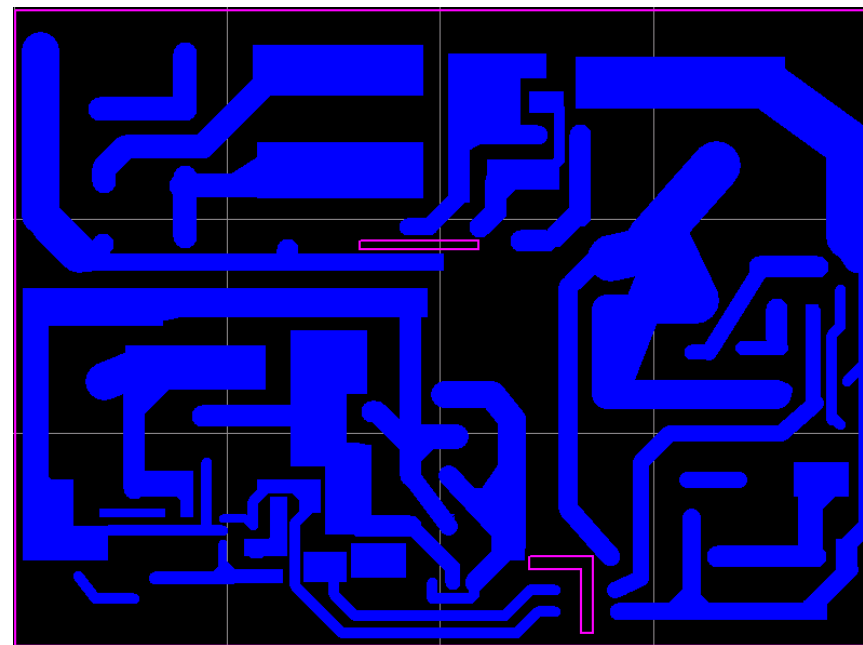


任务四 电路的制作、调试和测试

1. 印刷电路板



**TOP层和丝印层
(元件面)**



**Bottom 层
(焊接面)**

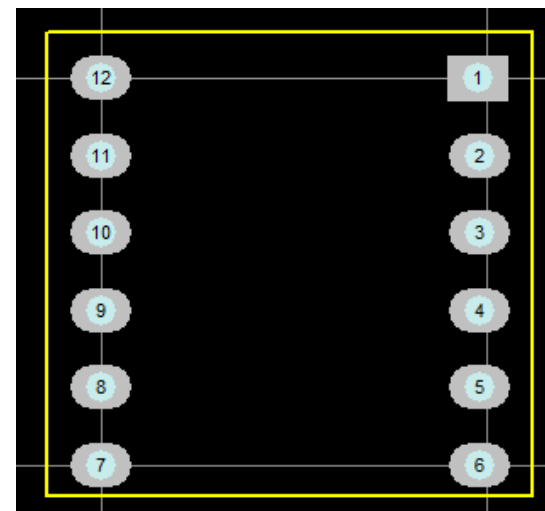


2. 反激变压器的制作

变压器引脚示意图



变压器引脚平面分布图



	匝数	绕线规格	励磁电感
绕组1（原边）	58	0.31mm	780uH—900uH
绕组2（副边）	9	0.35mm	两股并绕
绕组3（辅助绕组）	12	0.31mm	



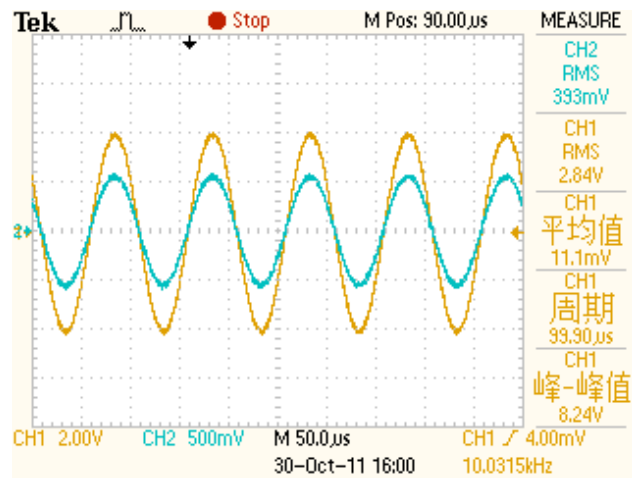
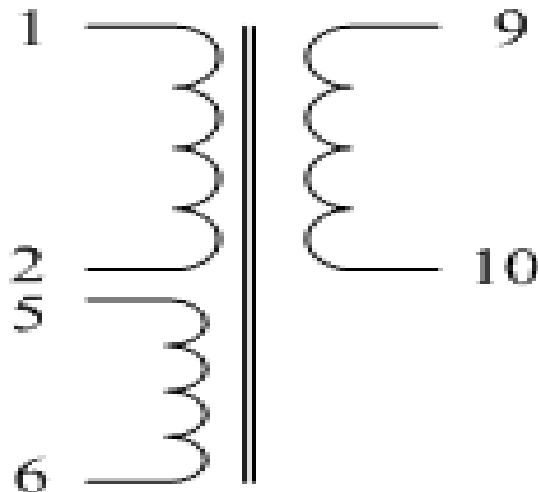
2. 反激变压器的制作

变压器同名端测试方法有两种：

(1) 用LCR电桥判断同名端

(2) 用信号发生器和示波器测试波形来判断同名端

测得的原边和副边波形如下：





3. 反激式电源的制作

1. 根据PCB Legend图和PCB板(如上图所示)上标注的元件序号焊接元器件。

2. 检查有源器件的方向是否有错误和电解电容的极性是否接对了，用万用表测量输入和输出是否有短路的现象和有源器件是否正常。



4. 反激电源的调试

调试电路就是保证电路中每一部分电路是正常工作的，然后才能在输入端上电去测试。

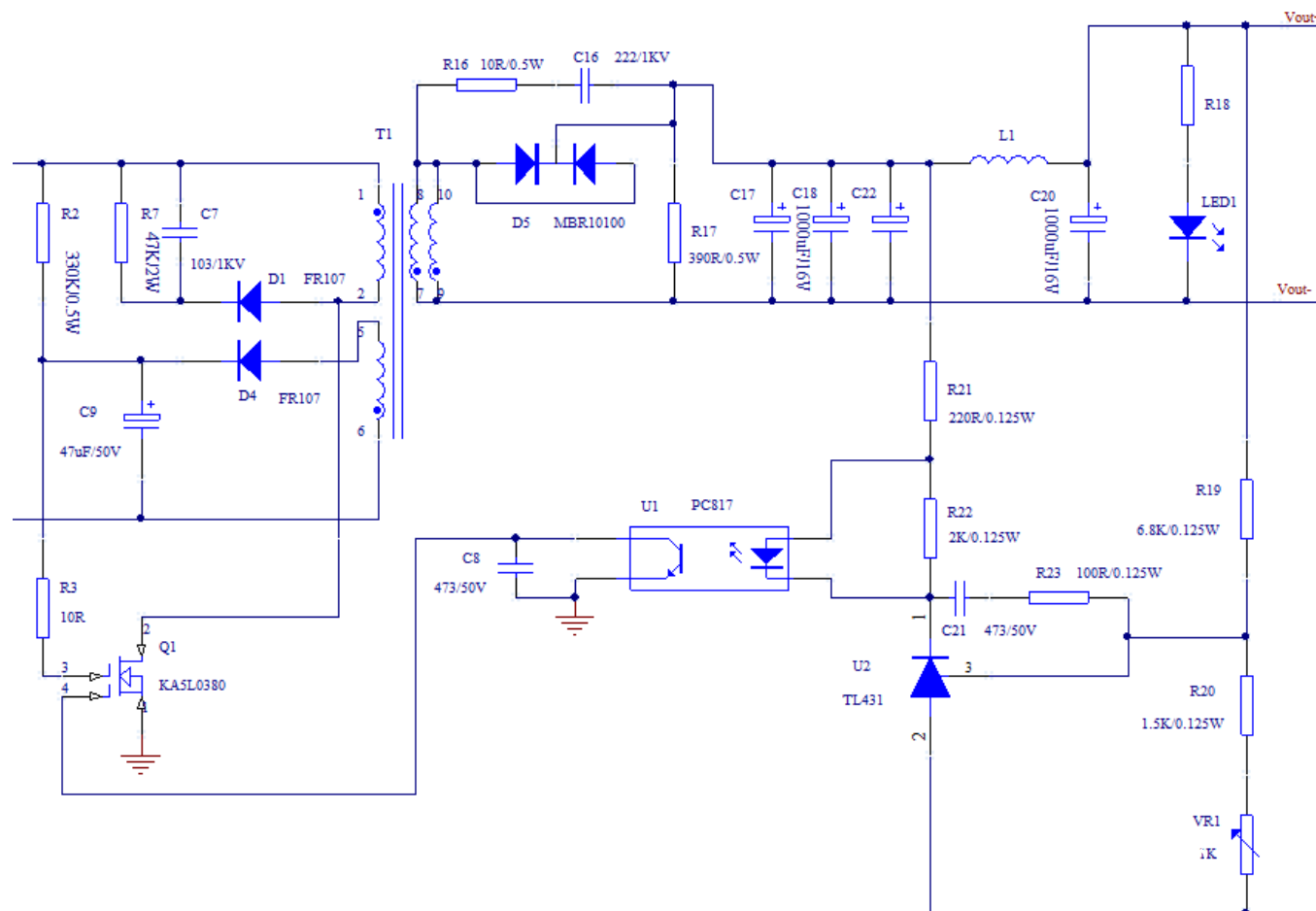
根据前面电路工作原理的分析：电路大致分成三部分：（1）EMI整流滤波；（2）输出检测和反馈控制；（3）反激和输出整流滤波。



4. 反激电源的调试

(1) 输出检测和反馈控制的调试

在输出端加12VDC，测量U2的pin3引脚电压，调节VR1，使pin3的电压达到 $2.5 \pm 0.1V$ ；测量U2的pin1为 $2 \pm 0.1V$ ，U1的pin1为 $3.2 \pm 0.1V$ ，把万用表调到二极管档位，测量C8两端，会发出响声。



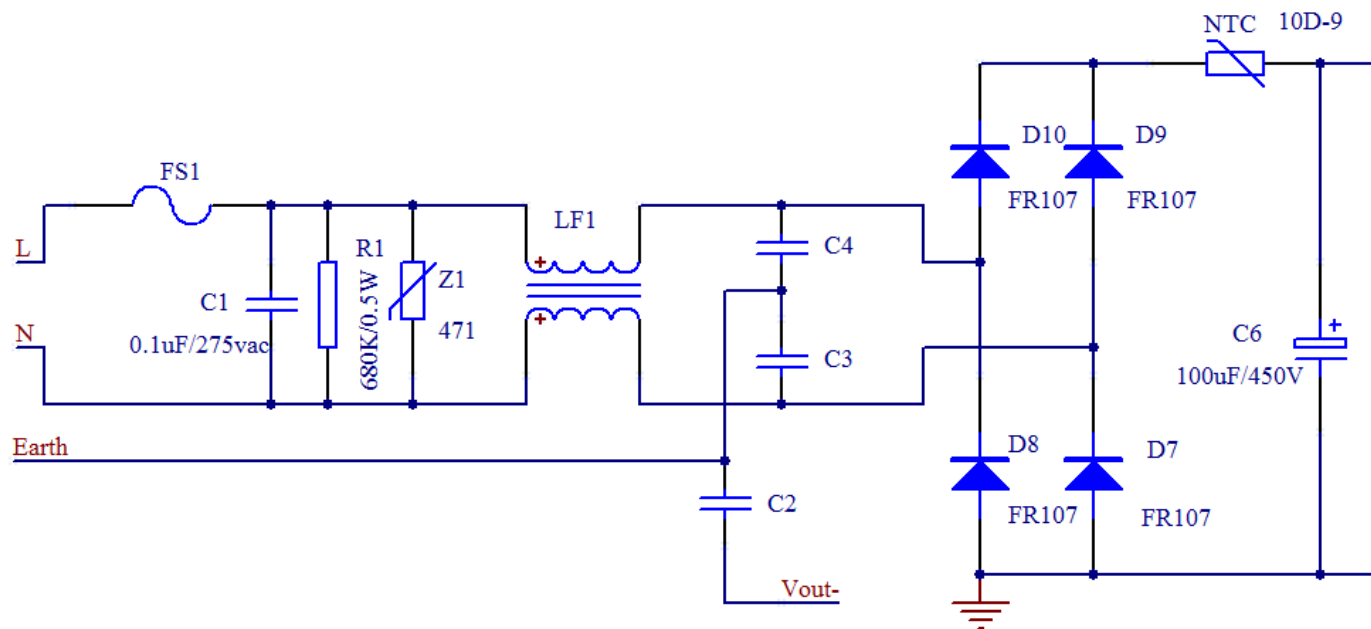


4. 反激电源的调试

(2) EMI整流滤波电路的调试

Q1的pin3引脚短路到地，在输入端上电AC30V，测量C₆两端电压为： $42 \pm 3V$ ，如果C₆两端没有电压，检查共模滤波电感，整流二极管是否接错或损坏，或者其它元器件是否接错或损坏等。

注意：Q1的pin3引脚也可以不要短路到地。

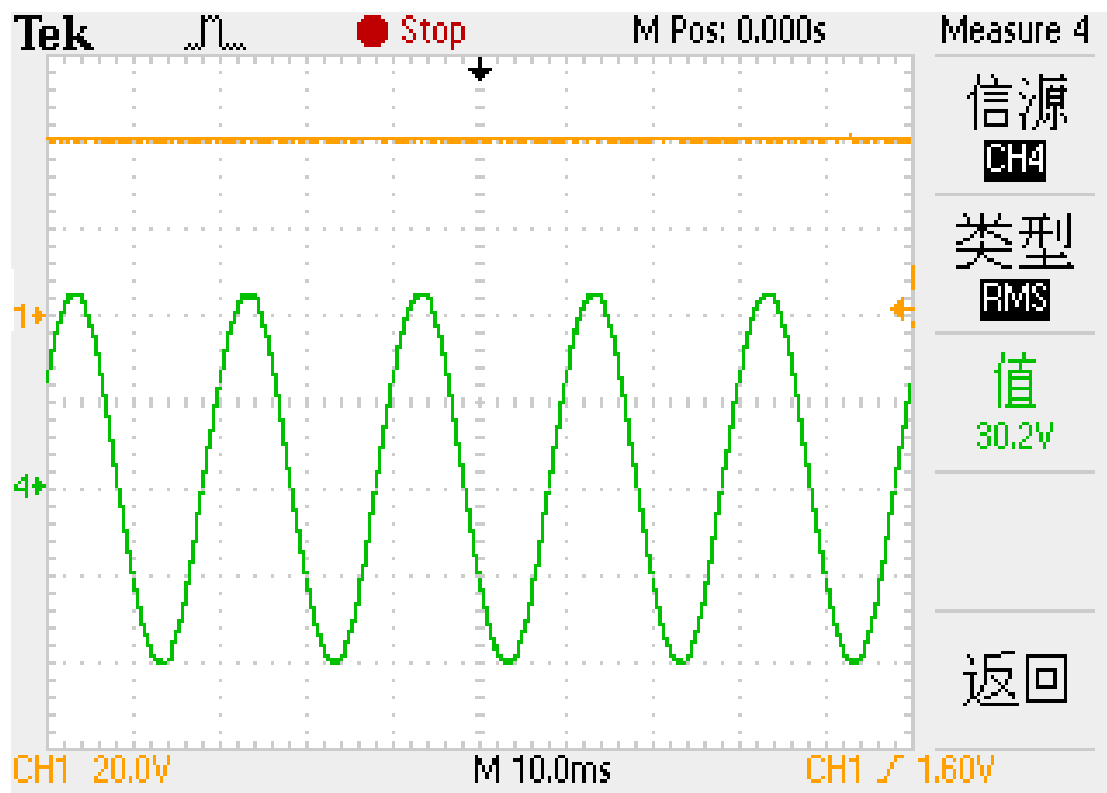




4. 反激电源的调试

(2) EMI整流滤波电路的调试

输入电压和C6两端电压的波形：





4. 反激电源的调试

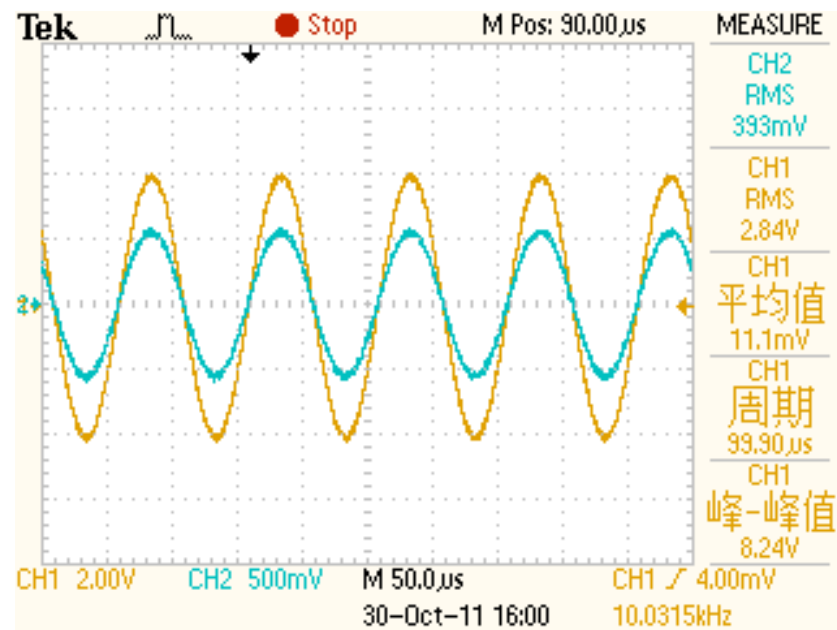
(3) 反激变压器和输出整流滤波电路

(在变压器制作的过程中就要测试，这里再重复一下。)

在变压器原边施加一信号：频率为10KHz，有效值为 $3 \pm 1V$ 的正弦波。测得的波形如下：

CH1:原边

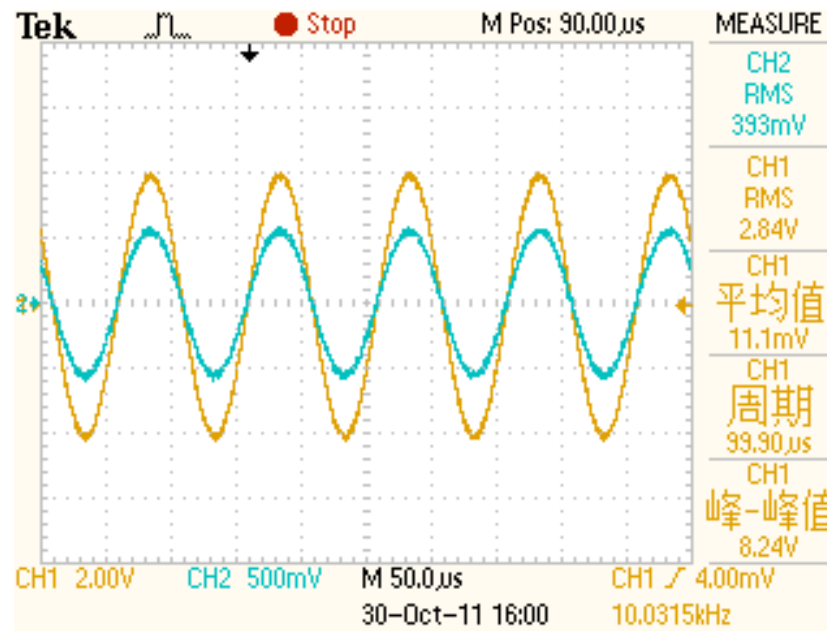
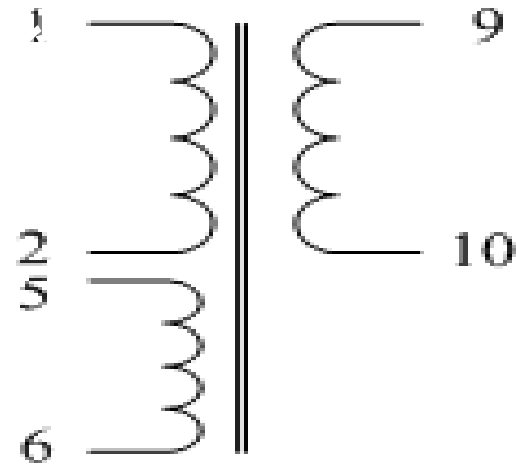
CH2:副边



用万用表测量一下输出整流二极管，及Q1的pin2和地之间是否正常。



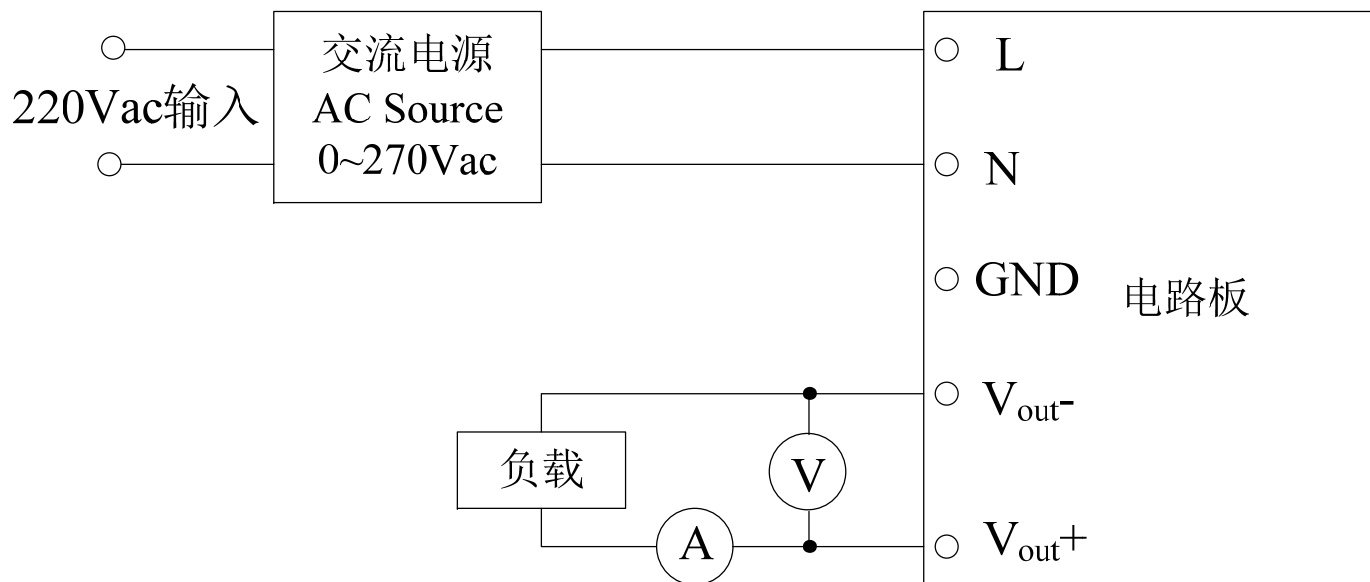
4. 反激电源的调试





5. 反激电源的测试

测试电路电路连接图



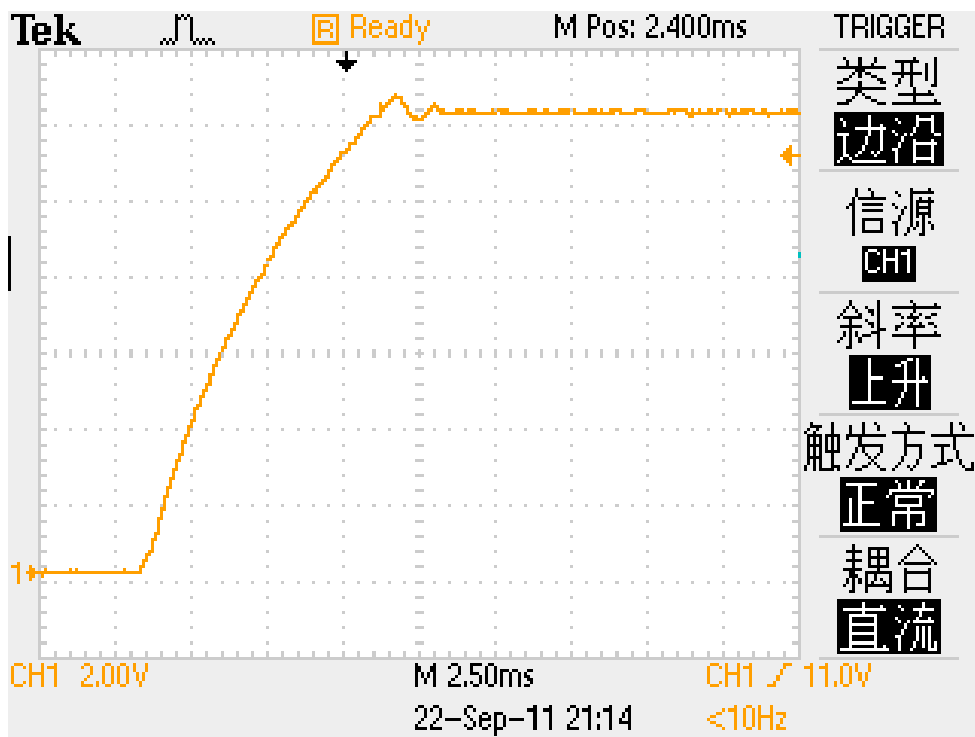
负载既可以是电子负载（动态负载），也可以是电阻负载（静态负载），负载最大功率可调到45W。



5. 反激电源的测试

(1) 按测试电路连接图接好线，慢慢增加输入电压到到85Vac，LED1会亮，测量输出电压

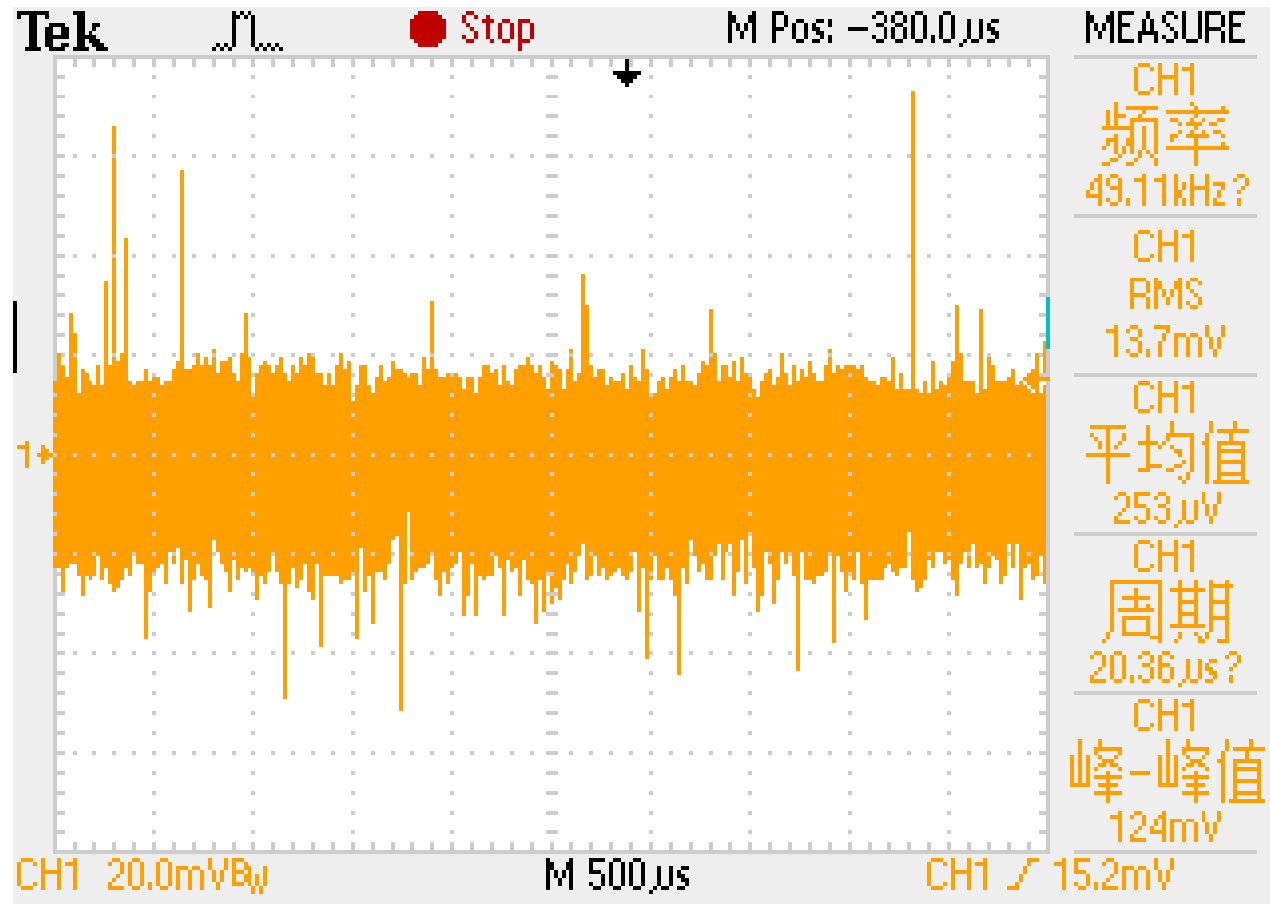
$$V_{out}=12\pm 0.24V。$$





5. 反激电源的测试

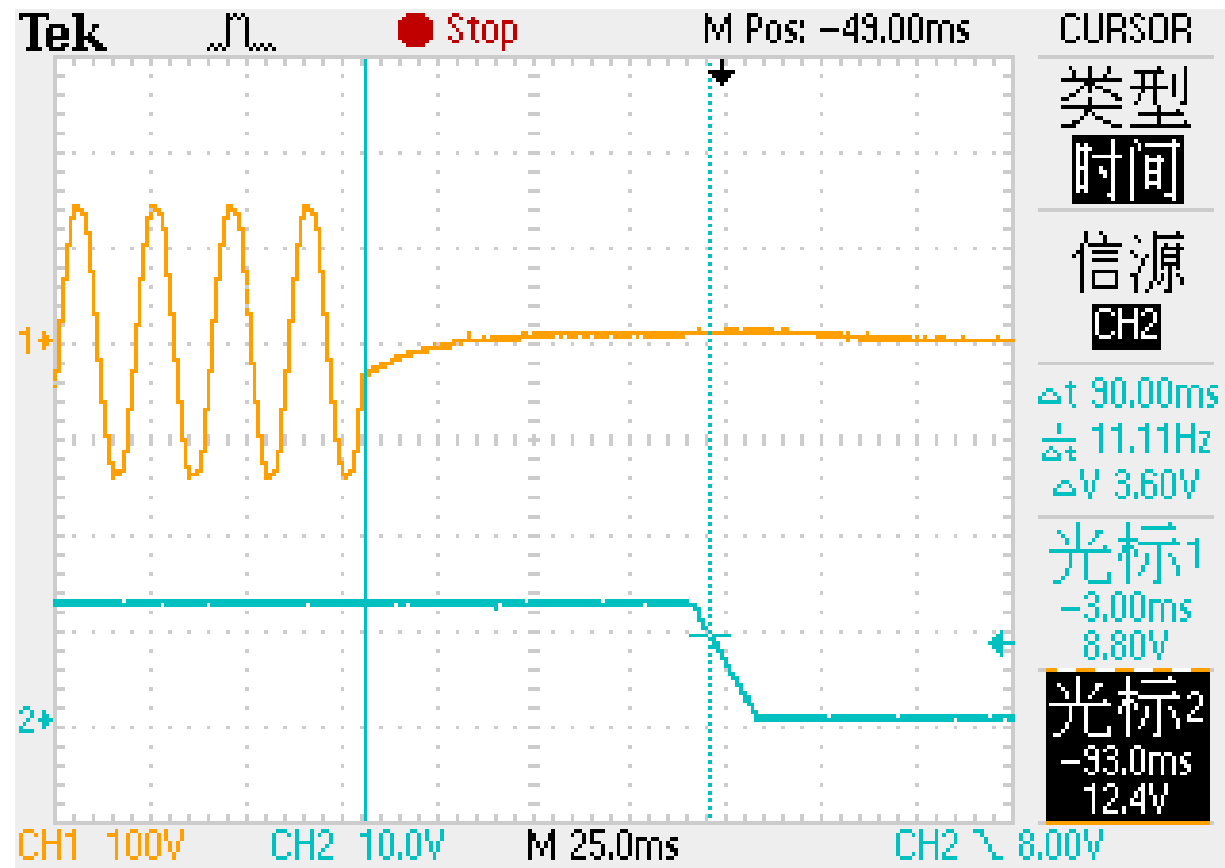
(2) 测量输出电压的纹波 @ $V_{in}=220V_{ac}$, 负载为40W。





5. 反激电源的测试

(3) 维持时间@输入电压200Vac，输出功率为40W时。切断输入电压，输出电压和输入电压的波形如下：





5. 反激电源的测试

电源其它性能指标的测试：如输入/输出调整率，效率，动态响应等等。



思考与练习

- 1、把输出电压调到24V，如何改变电路参数及变压器的参数。
- 2、把输出电压调到 $\pm 12\text{V}$ ，如何调整电路结构及部分电路参数。
- 3、在输出端加12V的电压，把万用表的档位调到二极管档，测量C8两端，万用表显示的结果。