开关电源入门介绍

主要介绍以下几个方面的内容：

一 开关电源的概述及定义

二 开关电源结构框图和示意图

三 开关电源的分类

四 本课程要学习的内容

五 开关电源制造公司和控制芯片公司

六 培养目标和职业规划与发展

一、开关电源概述及定义

借助于实际生活中的例子——笔记本电脑适配器来阐述开关电源的作用，即为什么要用适配器，笔记本电脑才能工作。

如果用电池给电脑供电，供电的时间是有限的，电池电量用完了，电脑就不能工作了，下次要用电池给电脑供电，怎么办？——适配器的作用之一：给电池充电。

一切电设备需要电源；设备的更新，电源也跟随更新 。

电源无法集成：（1）电源的功率一般很大，从几瓦到几千瓦。

（2）不同的设备需要不同的电源，包括电压、电流、功率密度、体积、效率、EMI等等。

（3）变压器、电感、大的电解电容也无法集成。

（4）电源的功率大，损耗也很大，散热也是一个问题。

电源犹如人体的心脏，是所有电设备的动力。

市电220Vac/50Hz通常是不能直接给设备供电，需要经　过变换之后得到设备所需要的电压、电流或者功率等。

与传统的线性稳压电源相比，开关电源具有效率高、功率密度高、电压调整率高、体积小、重量轻等诸多优势。因而，在各行各业的电力设备中得到了广泛的应用。具体的应用如下：

如：（1）PC电源：输出电压为：12V/14A，

-12V/0.5A，5V/18A，3.3V/14A；

（2）笔记本适配器：输入100-240Vac，50-60Hz，输出20V/3.25A；

（3）打印机电源；

（4） 通讯电源；

（5）数电和模电实验箱中的电源：输出±5V，±12V ，±15V给芯片或者三极管供电，（差分放大电路中三极管工作时需要正、负电源，运算放大器有时也需要正、负电源）；

（6）不间断电源（UPS）；

（7）医疗器械上的电源(如CT扫描仪）；

（8）航空电源；

（9）LED驱动电源；

（10）电子镇流器；

（11）液晶电视电源；

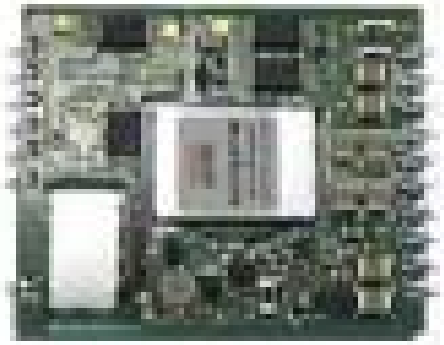
（12）传真机、复印机的电源；

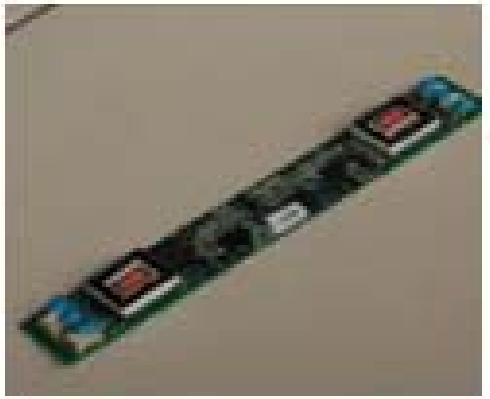
（13）POL电源。

（14）弧焊机电源等等。

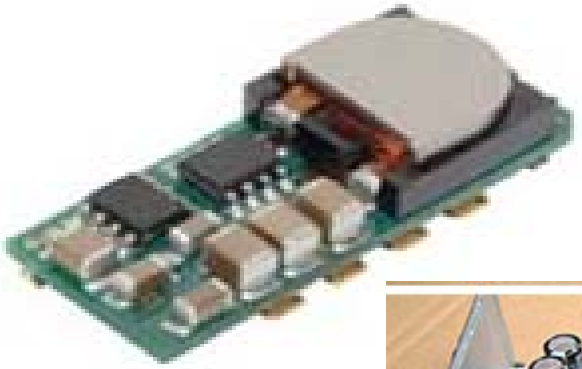
电源的实物图：

电源的实物图：

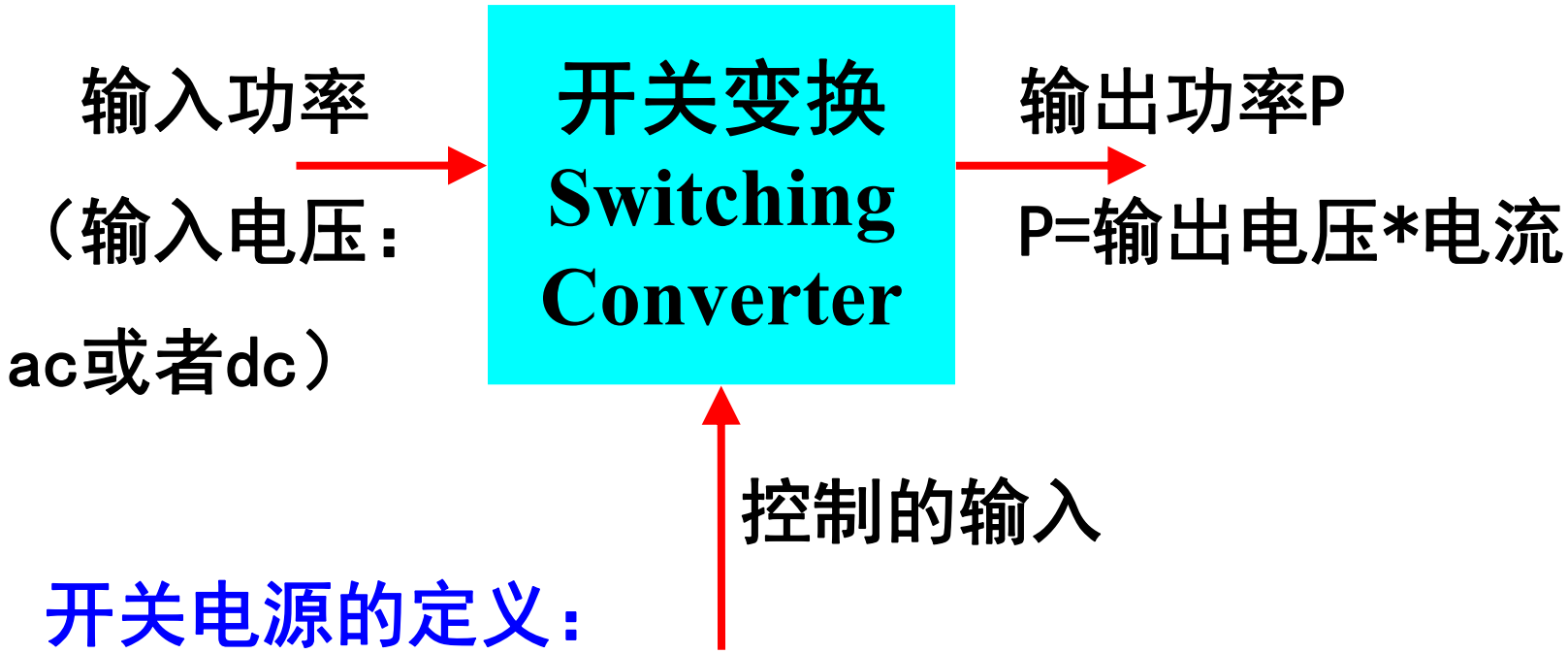




电源的实物图：



功率变换的结构框图如下：



开关电源的定义：

用半导体功率器件作为开关，将一种电源形态转变成为另一种的主电路叫做开关变换器电路；转变时用自动控制闭环稳定输出并有保护环节则称开关电源。

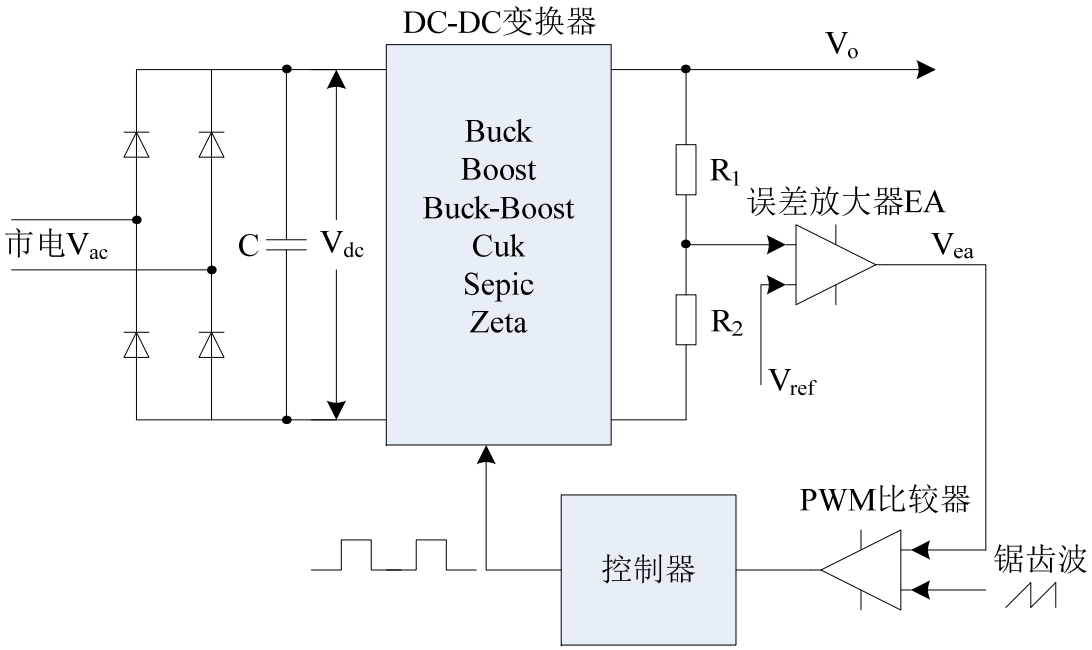
（Switching MOde Power Supply）

二、 开关电源结构框图和示意图

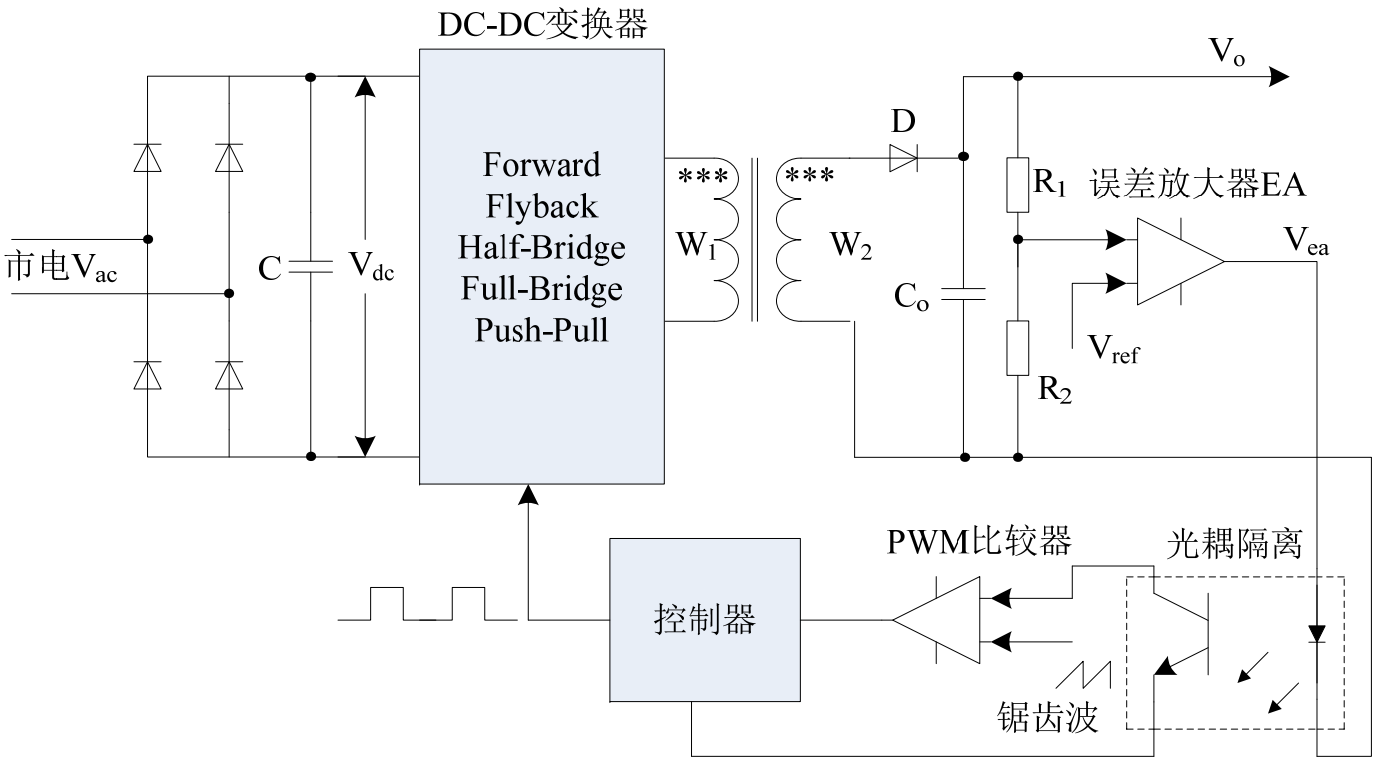
a. 离线式开关电源的结构框图：

direct-off-line switching power supply

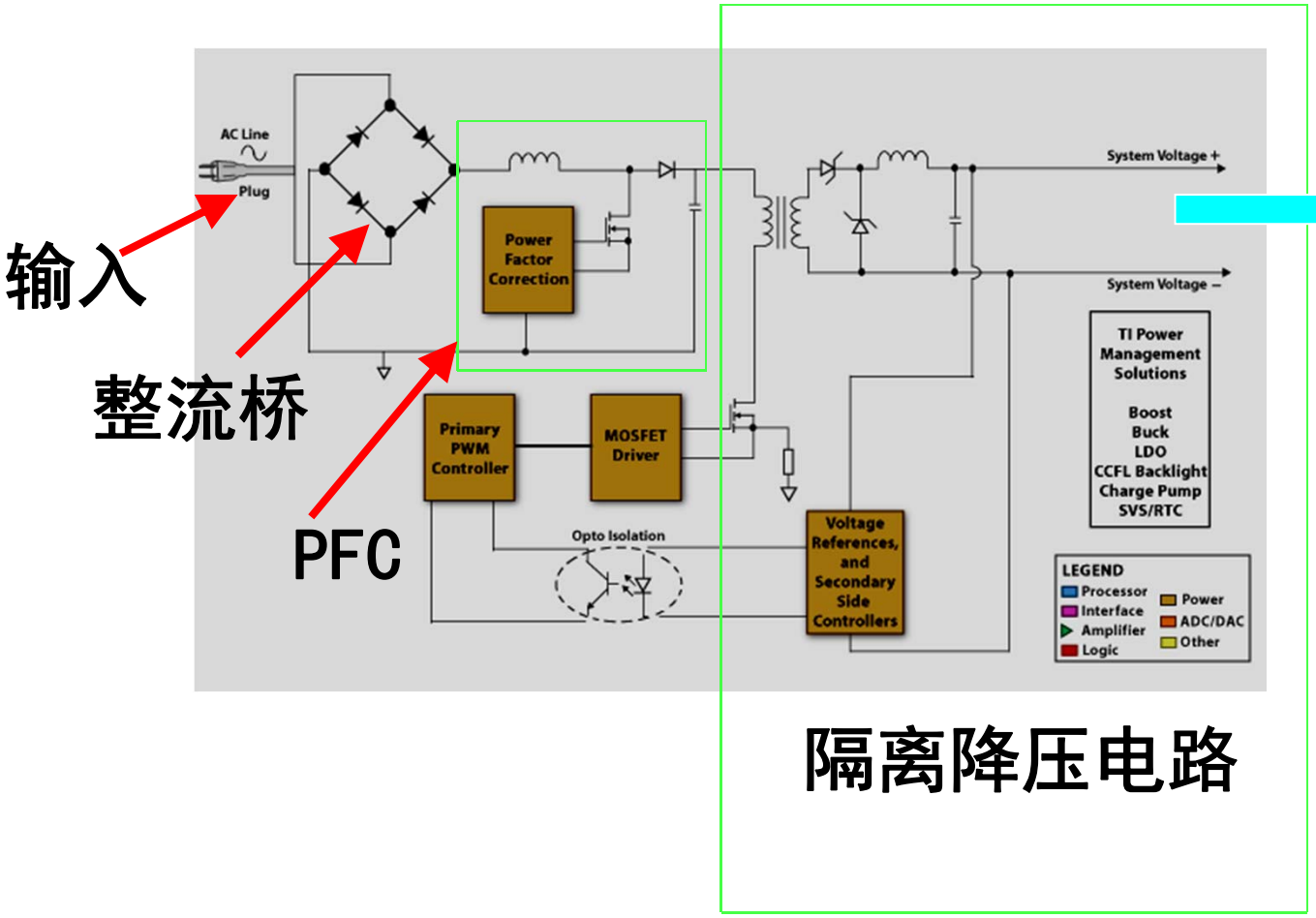
（1）非隔离式电路结构框图



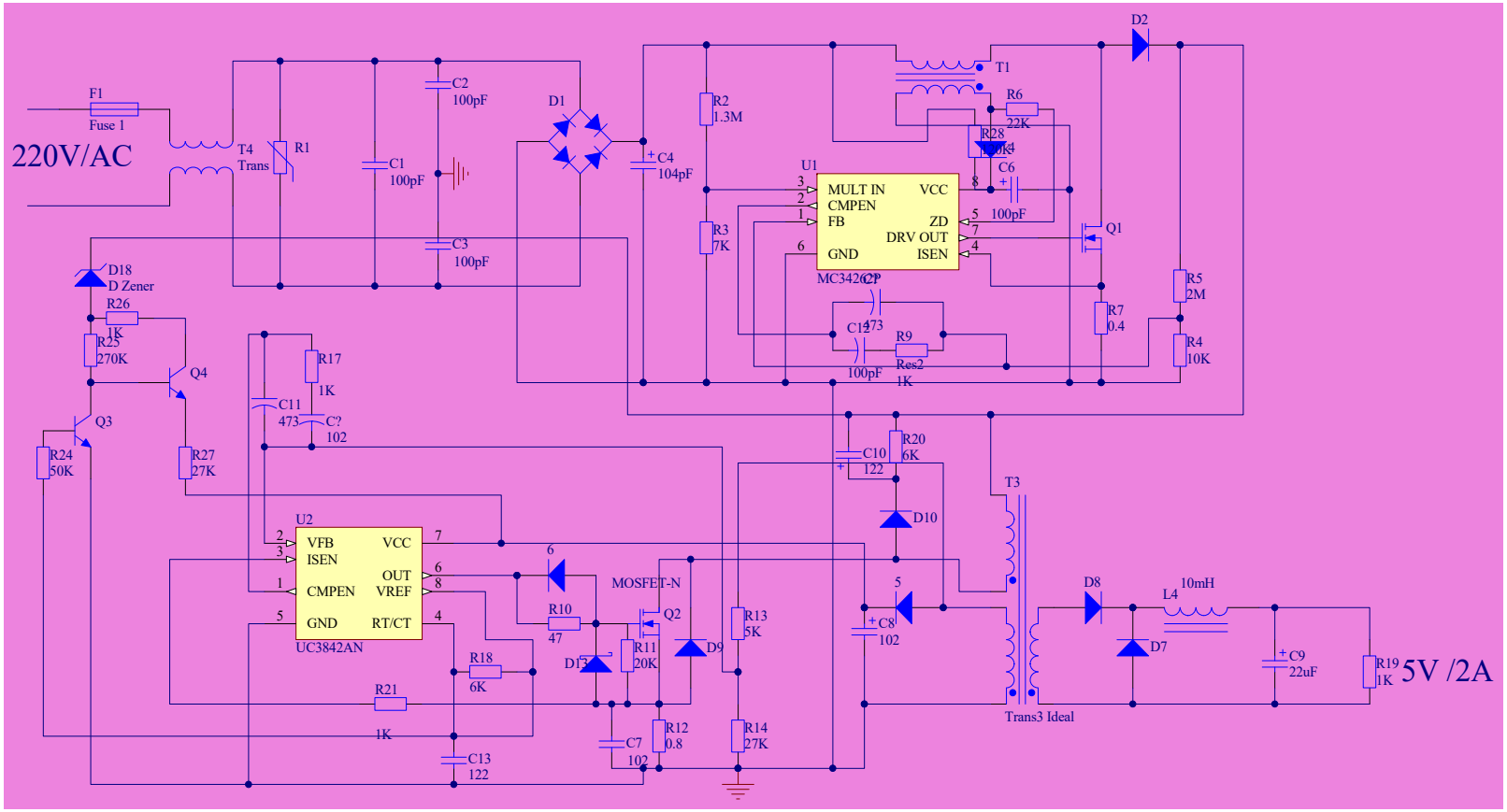
（2）隔离式电路结构框图


DC-DC变换器
Forward
Flyback
Half-Bridge
Full-Bridge
Push-Pull
市电Vac
C
Vdc
***
W1
W2
D
Vo
R1
误差放大器EA
Vea
Co
Vref
R2
控制器
PWM比较器
光耦隔离
锯齿波

b. 离线式开关电源的电路示意图：



c. 电源电路实例


220V/AC
F1
Fuse 1
T4
Trans
R1
C2
100pF
C1
100pF
C3
100pF
D1
C4
104pF
R2
1.3M
R3
7K
U1
MULT IN
CMPEN
FB
GND
VCC
ZD
DRV OUT
ISEN
MC3426CP
T1
D2
R6
22K
R28
100K
C6
100pF
Q1
R5
2M
R7
0.4
R4
10K
C12
473
R9
Res2
1K
100pF
D18
D Zener
R26
1K
R25
270K
Q4
Q3
R24
50K
R27
27K
R17
1K
C11
473
C?
102
U2
VFB
ISEN
CMPEN
GND
VCC
OUT
VREF
RT/CT
UC3842AN
R18
6K
R21
1K
C13
122
R10
47
MOSFET-N
Q2
R11
20K
D9
R12
0.8
C7
102
R13
5K
R14
27K
C10
122
R20
6K
D10
C8
102
T3
Trans3 Ideal
D8
L4
10mH
D7
C9
22uF
R19
1K
5V /2A

三、开关电源的分类

按输入输出电压的类型可以分为以下几类：

（1）AC-DC（交流—直流），又称离线式开关电源；

direct-off-line switching power supply

（2）DC-DC（直流—直流），又称模块电源；

（3）DC-AC（直流—交流），又称逆变电源(UPS)；

（4）AC-AC（交流--交流）。

标志电源特性的参数有功率、电压、电流、可靠性、效率、体积等。 因此，电源产品的品种是非常多的。

四、本课程要学习的内容

本书重点介绍开关电源以下几个方面的内容：

（1）基本理论和拓扑结构；

（2）控制方法-著名厂家的PWM控制芯片的介绍；

（3）元器件的选择—功率元器件和磁性元器件；

（4）电源输入级的介绍；

（5）介绍三种不同电源电路的分析、计算及制作。

开关电源技术涉及电子技术、自动控制原理、磁性元件和半导体功率器件等，是一个多学科交叉且应用性极强的技术。

五、电源制造公司和控制芯片公司

a. 电源制造公司

1. 艾默生网络能源有限公司 （Emerson network power）
2. 腾讯科技亚太电子（ artesyn.com ）
3. 台达电子有限公司（deltaww. com.cn）
4. 山特电子有限公司（stk.com.cn）
5. 宝威电源有限公司（power-one.com)
6. 爱立信电源（Ericsson DC-DC power）
7. 科索电源（coselasia.com)

据统计，在珠三角（深圳、东莞、广州、中山、佛山等），有1000多家公司生产电源。

b. 控制芯片公司的网站

www.ti.com www.st.com www.onsemi.com.cn

www.infineon.com www.irf.com

www.dianyuan.com www.21dianyuan.com

www.fairchildsemi.com www.powerint.com

课程网站：jpkc.zstp.cn ——开关电源原理分析与制作

六、培养目标和职业的规划与发展

a. 培养目标主要分为能力目标和情感态度目标：

能力目标：

（1）会使用实验设备，如数字万用表、数字示波器、交流可调电源、电流枪和直流稳压电源等；

（2）能读懂控制芯片的英文资料，如芯片的特点，应用场合，芯片外围电路的连接等；

（3）能读懂开关电源电路的工作原理；

（4）会调试和测试简单的整体电路，对电路中出现的故障能进行分析和解决；

情感态度目标：

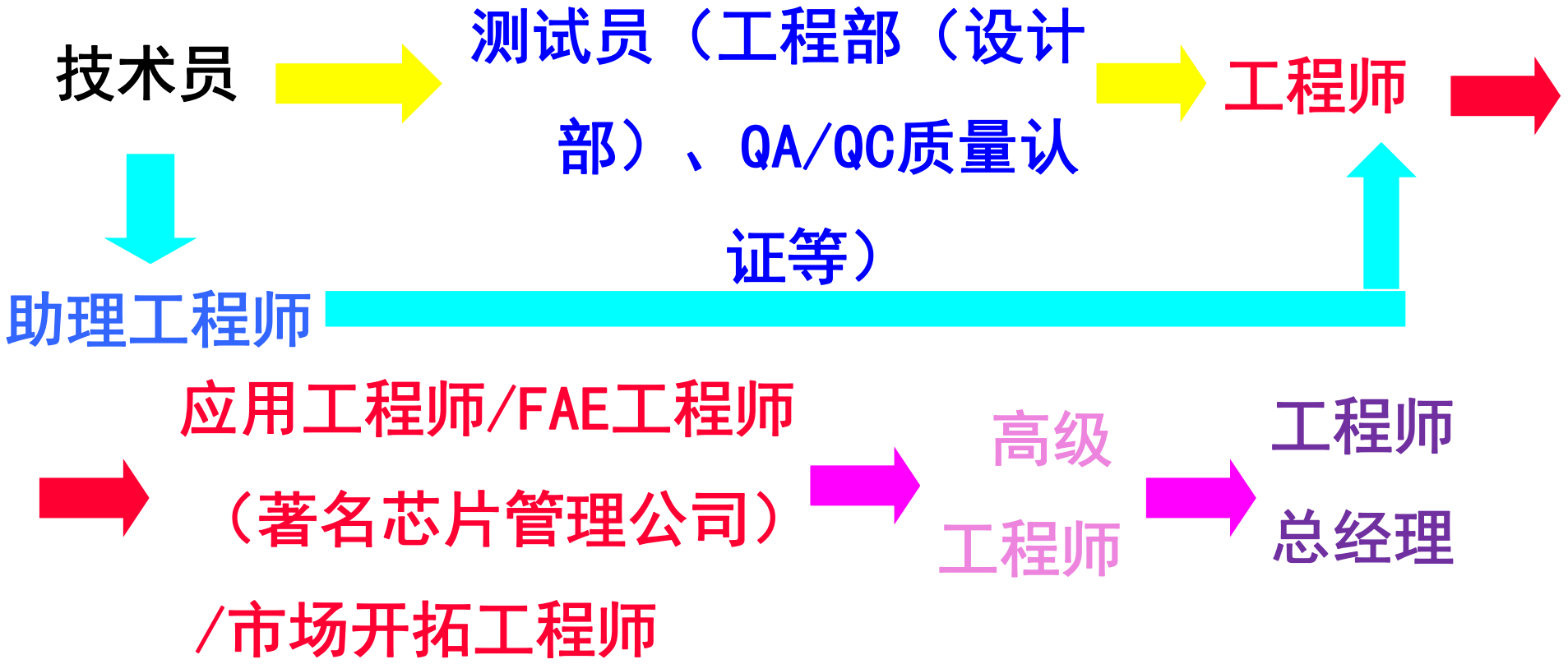
（1）养成诚信、敬业、科学严谨的工作态度；

（2）具有从事职业活动所需的职业素养和职业道德；

（3）培养团队合作的意识，并具备一定的创造力 。

b. 职业的规划与发展：

通过本课程的系统学习，在电源公司或者相关的电源公司从事以下职位的工作，并进行未来职业的规划和发展：



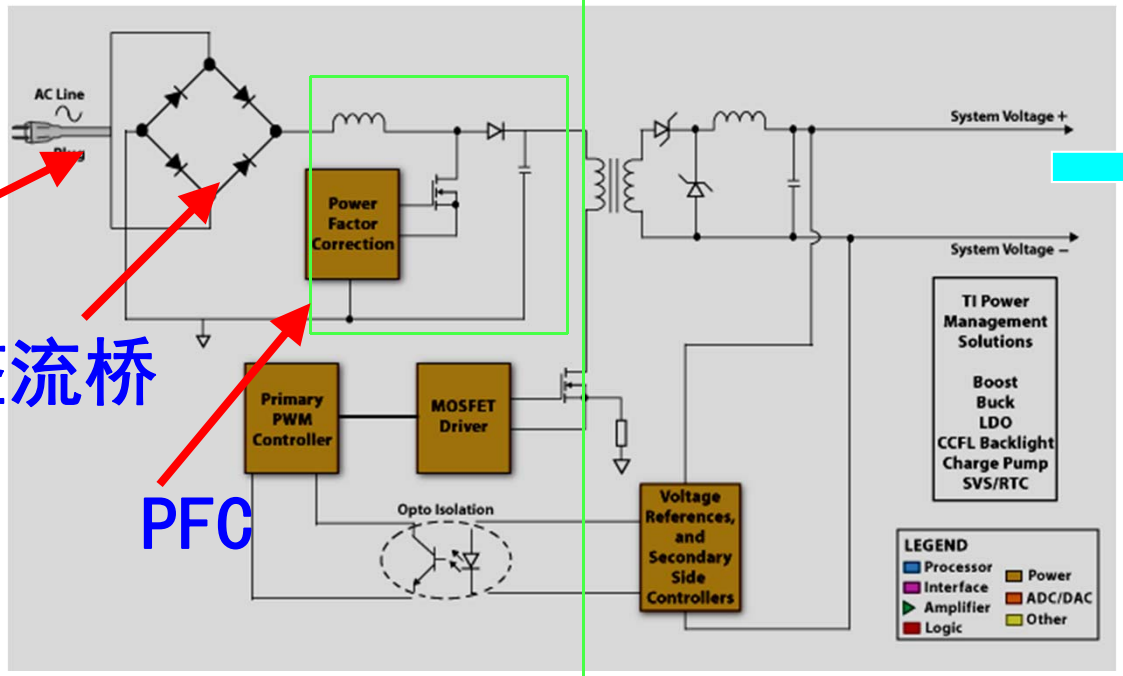
专业课是有难度的，要有心理准备。

难易程度 花费的时间

复　习

离线式开关电源的电路示意图如下：

每一部分电路的作用。



输入

整流桥

PFC

隔离降压电路

负载（需要供电的设备）

从上图可以看出：电源电路主要（由主电路/功率电路/主电路拓扑）、控制电路和驱动电路组成。

功率元器件—电感、MOSFET、二极管等构成主电路/拓扑结构

控制芯片+外围元器件—电阻、电容和有源器件等）构成控制电路和驱动电路

功率场效应管（MOSFET）的介绍

1. MOSFET的结构与工作原理

2. 开关特性

3. 主要参数

4. 并联工作和双向导通

5. 驱动电路

6. 保护电路

1. MOSFET的结构与工作原理

MOSFET又称MOS管。

MOSFET的类型很多，按导电沟道可分为P沟道和N沟道；根据栅极电压与导电沟道出现的关系可分为耗尽型和增强型，电力场效应晶体管一般为N沟道增强型。电力场效应晶体管是多元集成结构，即一个器件由多个MOSFET单元组成。MOSFET单元结构如图1所示。

有三个引脚，分别为源极S、栅极G和漏极D。

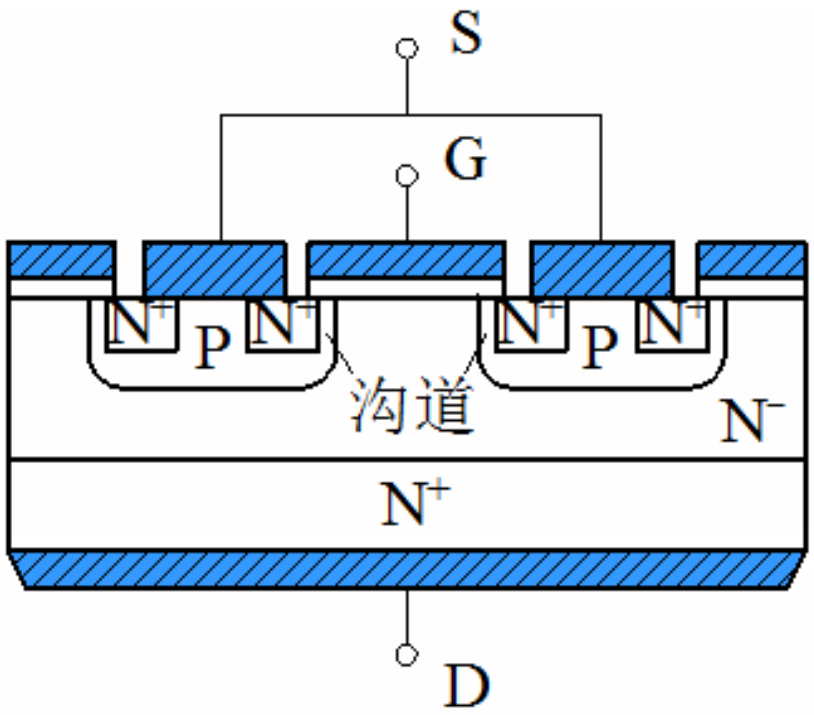
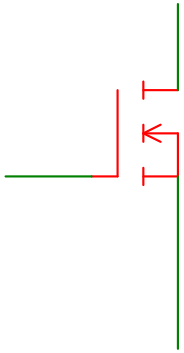


图1　MOSFET单元结构

其N沟道和P沟道MOS管的符号和等效电路符号如下图所示。

提醒：注意N、P沟道符号的区别。

D （漏极）

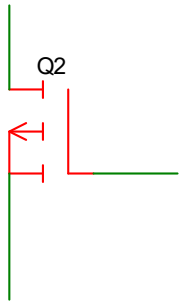


G （门极）

S (源极)

N沟道增强型

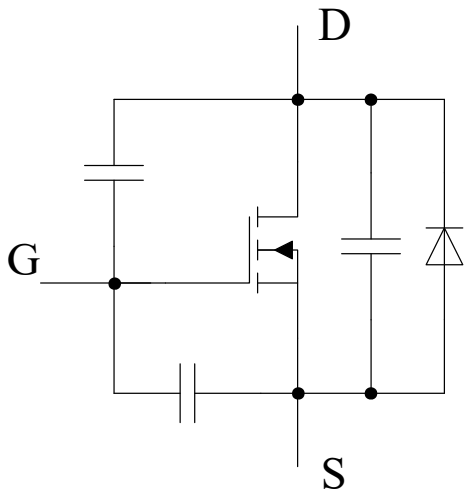
D （漏极）



（门极）

S (源极)

P沟道增强型



MOS管的等效电路

在开关电源中，功率场效应管几乎是N沟道增强型器件。 以N沟道MOSFET为例说明它的工作原理：

问：NPN型三极管的工作原理。

MOSFET属于电压控制器件，通过门极电压来控制漏极电流的，也就是通过门极电压来控制漏源导通情况。

在门极和源极之间加一正电压Vgs，当Vgs大于某一电压VT时，漏极和源极导电。电压VT称开启电压或阈值电压，典型值为2～4 V。 Vgs超过VT越多，导电能力越强，漏极电流越大。

工作原理：

MOSFET通过门极电压来控制漏源导通情况。

根据门极电压的大小，MOS管可以工作在三个不同的区域：

1. 截止区：Vgs<VT，Id=0。
2. 完全导通：Vgs>>VT，Vds很小（Rds 很小，一般为毫欧级）。
3. 不完全导通区：

   Vgs稍大于VT，Vds>Vgs-VT，当Vgs不变时，Id几乎不随Vds的增加而变化，近似为常数。

2. MOSFET的开关特性

MOS管是多数载流子器件，不存在少数载流子特有的存储效应， 因此开关时间很短，典型值为20ns。影响开关速度的主要因素是器件极间电容，开关时间与输入电容的充、放电时间常数有很大关系。

MOS管的开关过程如图2所示，Up为驱动电源信号。开通时间ton=td+tr，关断时间$t_{off}=t_s+t_f$。MOS管在静态时几乎不需要输入电流，但在开关过程中需要对输入电容充放电，仍需一定的驱动功率,而且开关频率越高， 驱动损耗越大。

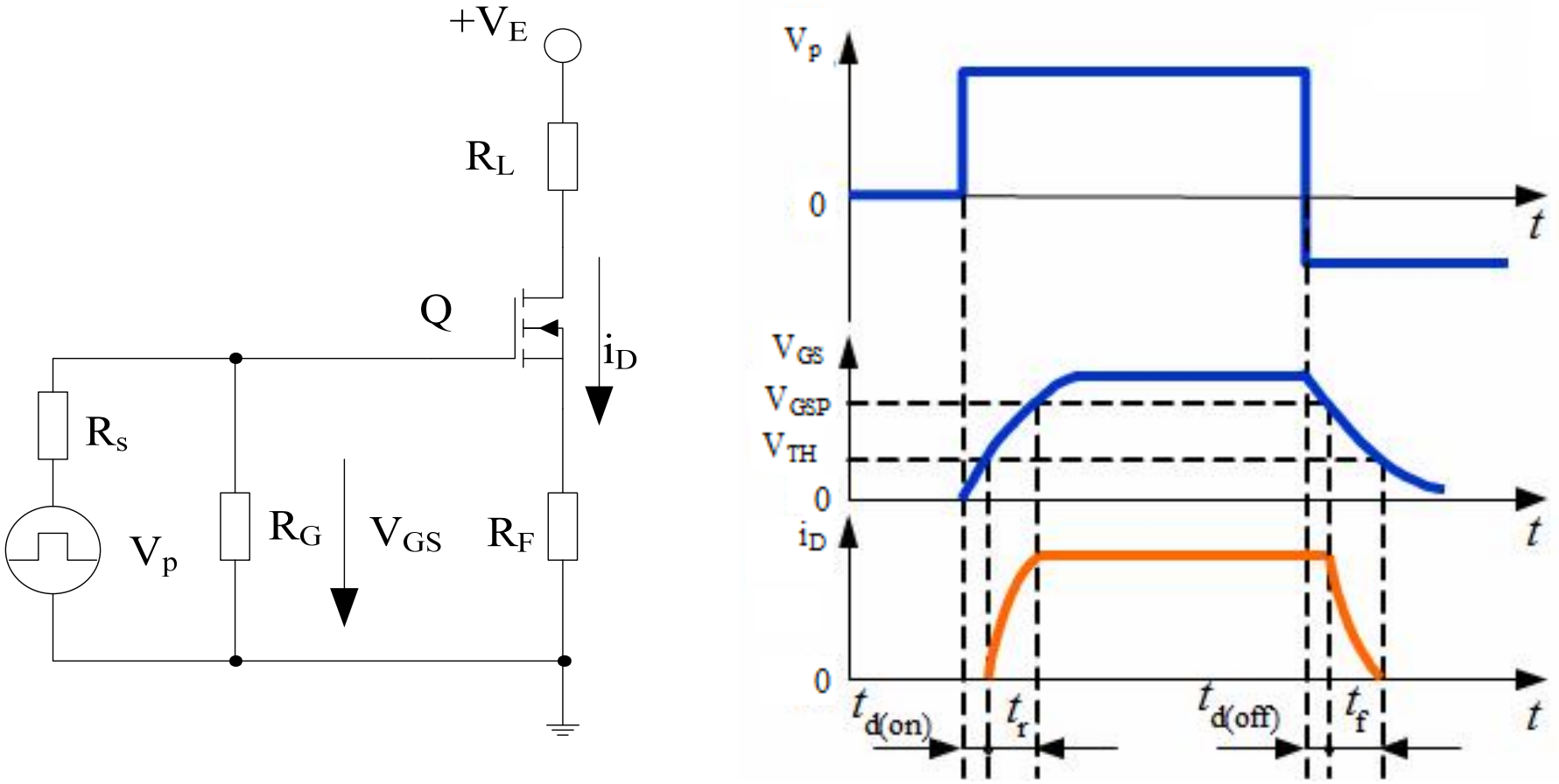


图2 MOS管的开关过程

3. MOS管的主要参数

（1） 漏极-源极导通电阻 Rds（on）

漏极-源极导通电阻是功率MOSFET的一个重要参数，它主要由器件的材质、工艺决定。同时，应取足够大的门源驱动电压，保证漏极电流工作在电阻区（也就是完全导通区），但是门极电压过高会增加关断时间，这是由于门极电容储存了过多的电荷的缘故。通常对于普通的MOSFET门极-源极电压取10-15v。

（2） 跨导

跨导是漏极电流和门源电压之间的小信号关系

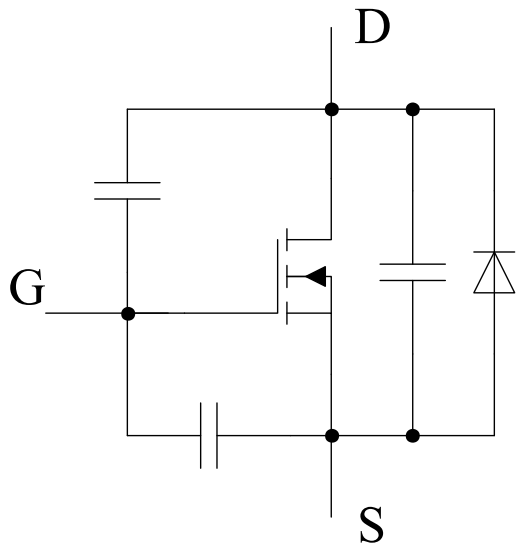
g=dId/dVgs ，对于开关电源设计来说，仅关心MOSFET导通、关断特性，跨导作用不大。由于器件处于导通态，工作在电阻区，门极电压较高，门极电压变化几乎不会改变漏极电流，此时g近似为0。

(3) 寄生电容

在高频开关电源中，MOSFET最重要的参数是寄生电容。下图为MOSFET的等效电路模型，存在三个寄生电容，分别为Cgs、Cds、Cgd。三个极间电容与输入电容Ciss、输出电容Coss和反馈电容Crss关系如下式所示：

Ciss=Cgs+Cgd　　Coss=Cds+Cgd　　Crss=Cgd

在驱动MOSFET时，输入电容是一个重要的参数，驱动电路对输入电容充电、放电影响开关性能。



(4) 最大漏极直流电流

在MOSFET完全导通时，通过的最大直流电流。

(5) 漏源电压Vds

在MOSFET截止时，漏极和源极 能承受的最大电压，器件工作时能承受的最高工作电压。

(6) Vgs—门极源极电压

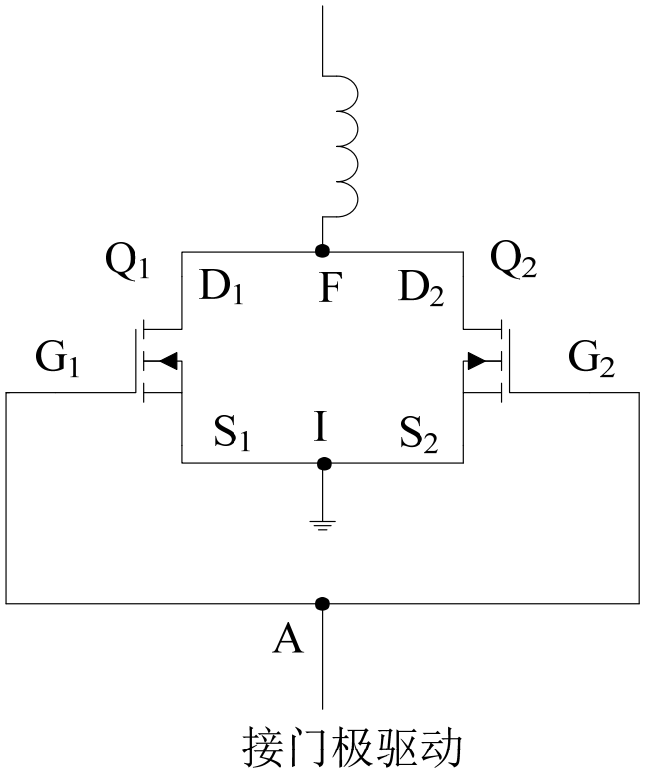
加在门源极之间的电压不能超过它的最大值Vgs.一般在实际应用时Vgs为12V左右。

以IRFP460A datasheet讲述每个参数的意义。

4. 并联工作和双向导通

（1）并联工作

MOS管并联工作时，需要考虑两个问题：① 满载时，并联器件完全导通时的静态电流分配是否均衡；② 通断转换过程中，它们的动态电流是否分配均衡。静态电流分配不均衡是由并联器件的Ron不相等引起的。

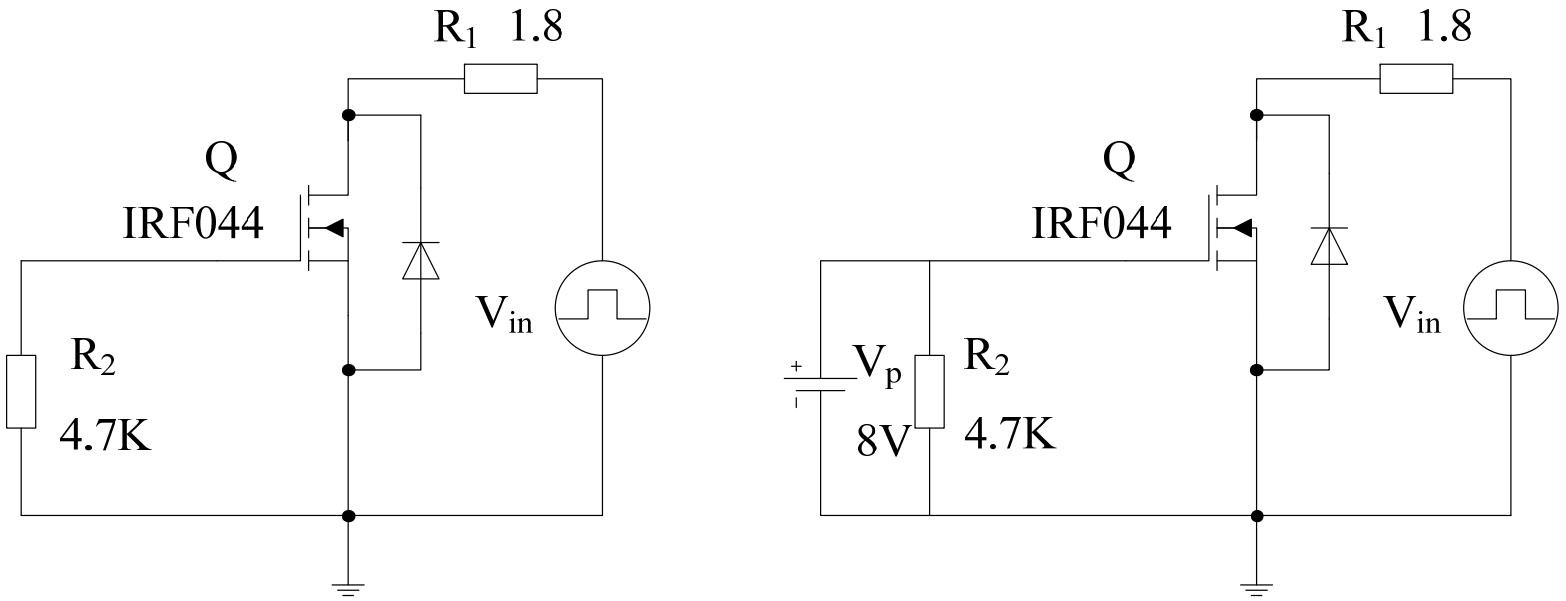


从门极驱动器共同的输出点到门极端子的引线长度应该相等。从MOS管源极端子到共同结点的引线应相等。

为防止并联的MOS管发生振荡，需要在门极驱动线路上串联10～20Ω的电阻或铁氧体磁珠。

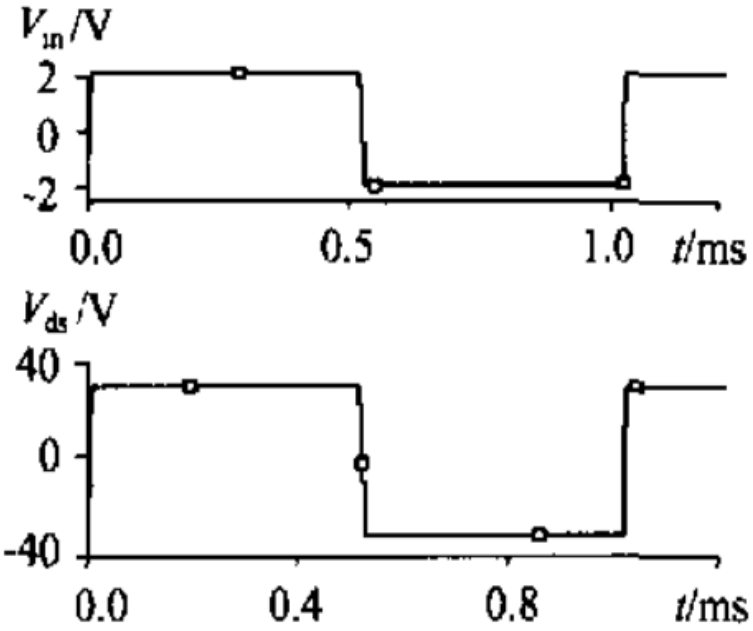
（2）双向导通

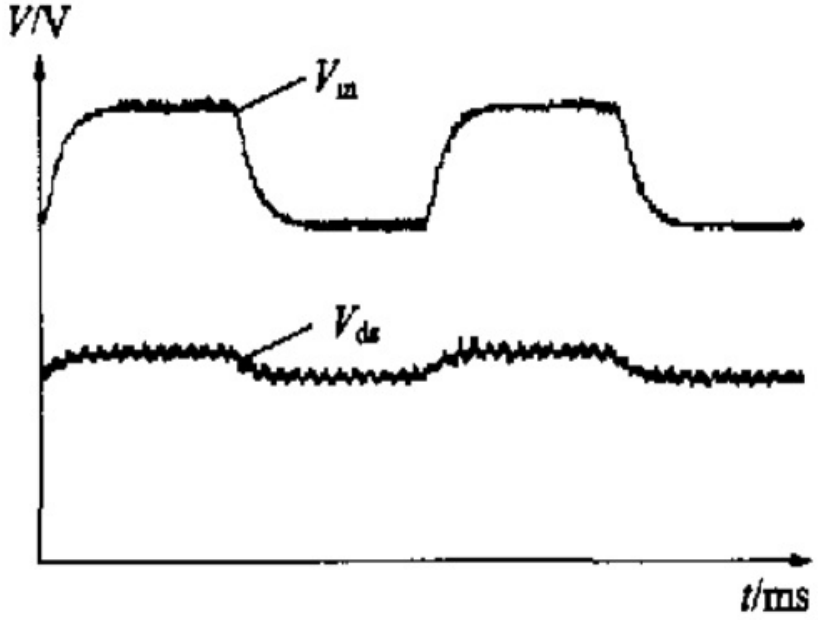
MOS管实际上是一个双向导电器件。也就是电流可以从漏极流向源极，也可以从源极流向漏极。只是在以往的应用中无须利用到反向导电特性，而形成MOS管只能单向导电的一般概念。



（2）双向导通

仿真波形和实验波形





5. MOS管的门极驱动电路

MOSFET是通过门极电压来控制漏极电流的，因此器件驱动功率小，驱动电路简单，同时开关速度快、工作频率高等特点。

A. 门极驱动电路的要求：

(1) 可向门极提供所需要的栅压，以保证MOS管的可靠导通和关断。

(2) 为提高器件的开关速度，应减小驱动电路的输入电阻以及提高门极充放电速度。

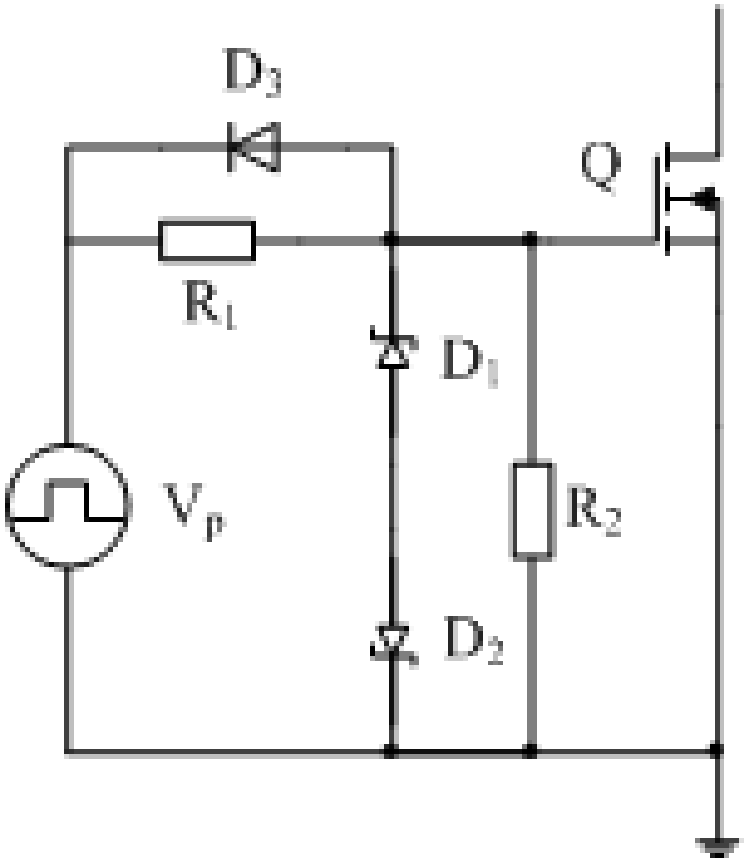
(3) 通常要求主电路与控制电路间要实现电气隔离。

(4) 应具有较强的抗干扰能力，这是因为MOS管的工作频率和输入阻抗都较高，易被干扰。

B. MOS管的门极驱动电路

1） 直接驱动

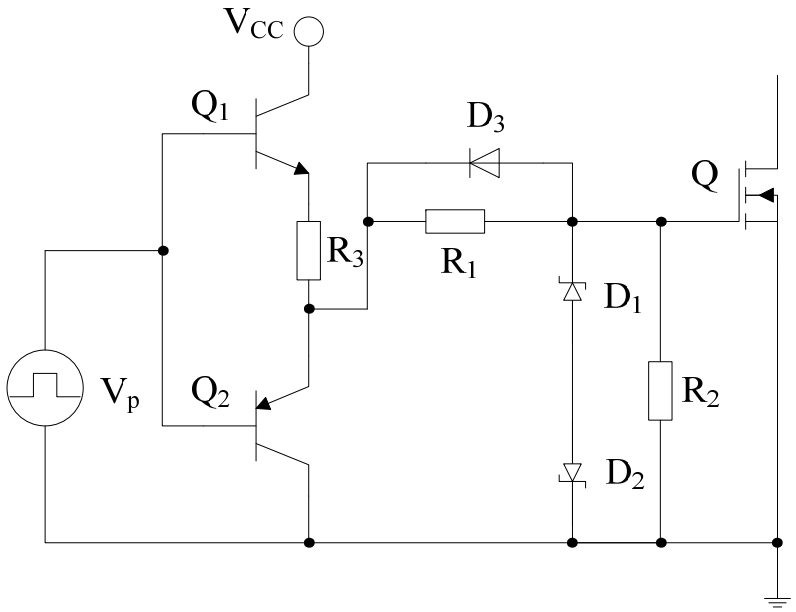
电阻R1的作用是限流和抑制寄生振荡，一般为10ohm到100ohm，R2是为关断时提供放电回路的；稳压二极管D1和D2是保护MOS管的门极和源极；二极管D3是加速MOS的关断。



在实际电路中的应用1

2） 互补三极管驱动

当MOS管的功率很大时，而PWM芯片输出的PWM信号不足已驱动MOS管时，加互补三极管来提供较大的驱动电流来驱动MOS管。



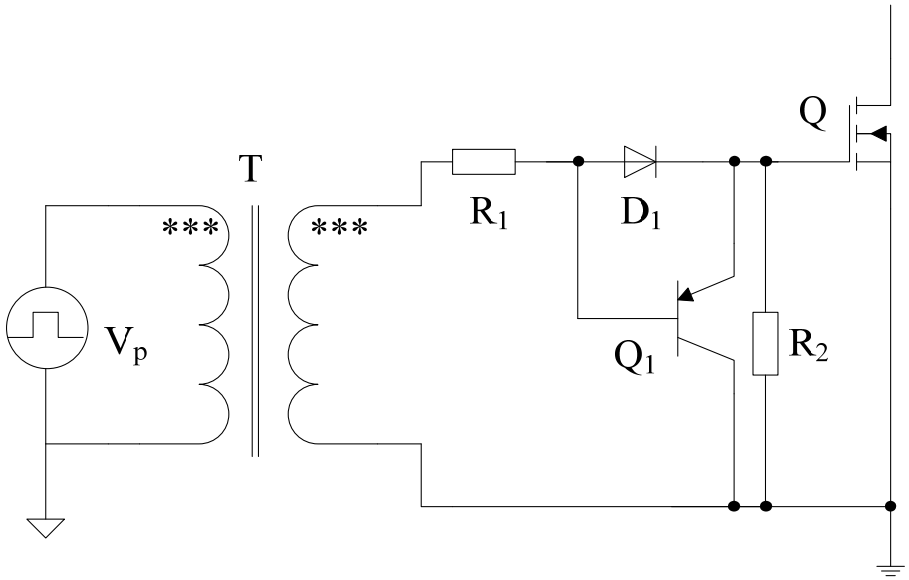
PWM为高电平时，三极管Q3导通，驱动MOS管导通；

PWM为低电平时，三极管Q2导通，加速MOS管的关断；

在实际电路中的应用2

3）耦合驱动（利用驱动变压器耦合驱动）

当驱动信号和功率MOS管不共地或者MOS管的源极浮地的时候，比如Buck变换器或者双管正激变换器中的MOS管，利用变压器进行耦合驱动如右图：



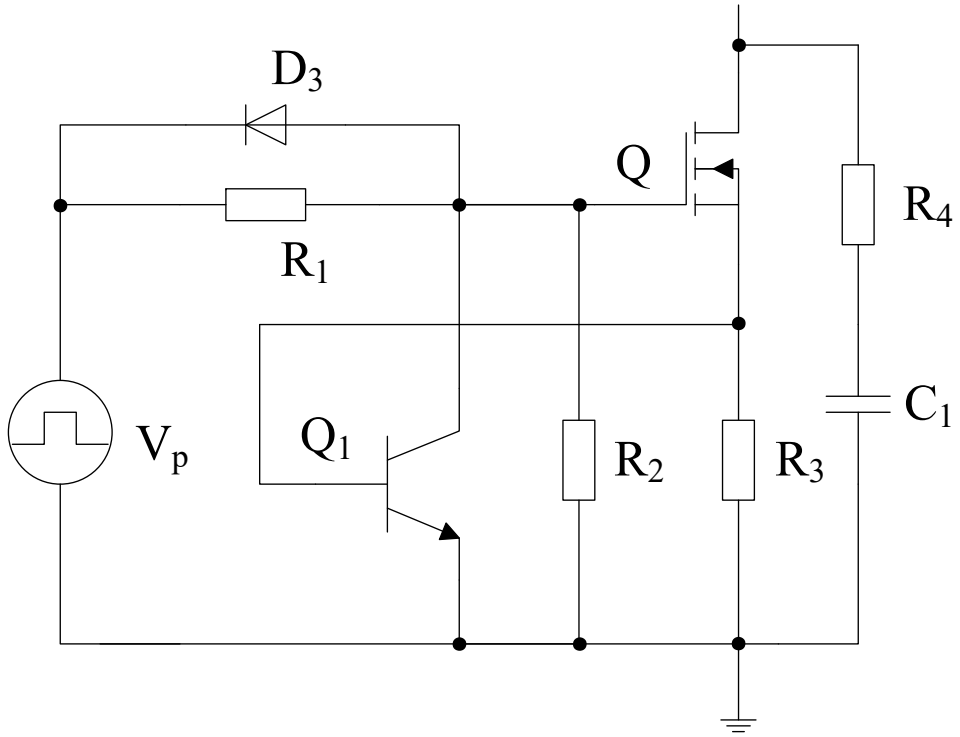
驱动变压器的作用：1. 解决驱动MOS管浮地的问题；

2. 解决PWM信号与MOS管不共地的问题；

3. 一个驱动信号可以分成两个驱动信号；

4. 减少干扰。 在实际电路中的应用3

6. MOS管的保护电路



虽然MOS管没有二次击穿现象，具有比较大的直流和脉冲安全工作区，但在很多场合下，为确保MOS能更安全可靠的工作，还要采取一些保护措施。如右图。R3、Q2起过流保护的作用，R4、C1吸收电压尖峰，以免MOS管被击穿。

作业：

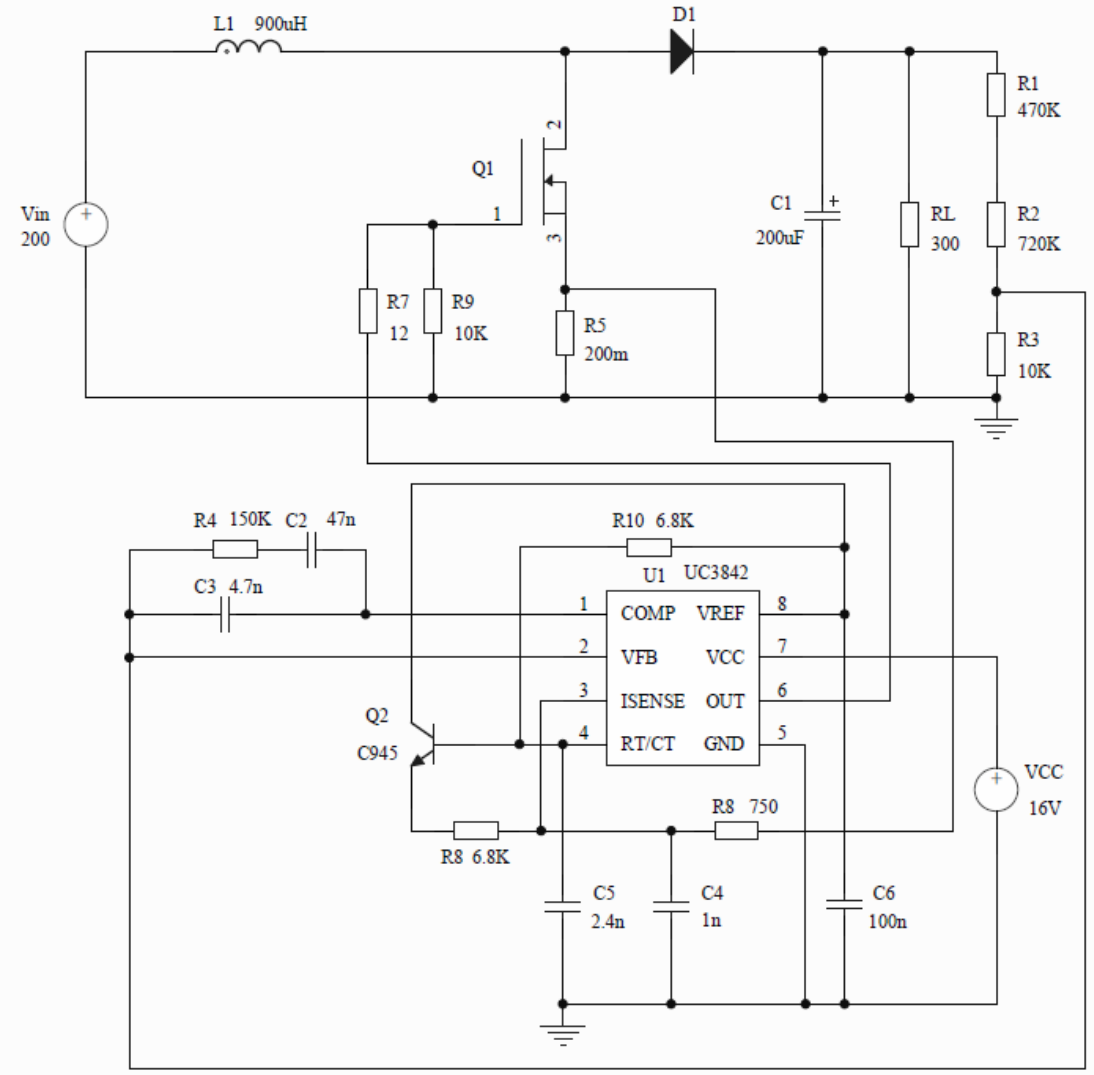
网上搜索MOS： 生产MOS管的厂家；

MOS管的封装(至少三种以上的封装）；

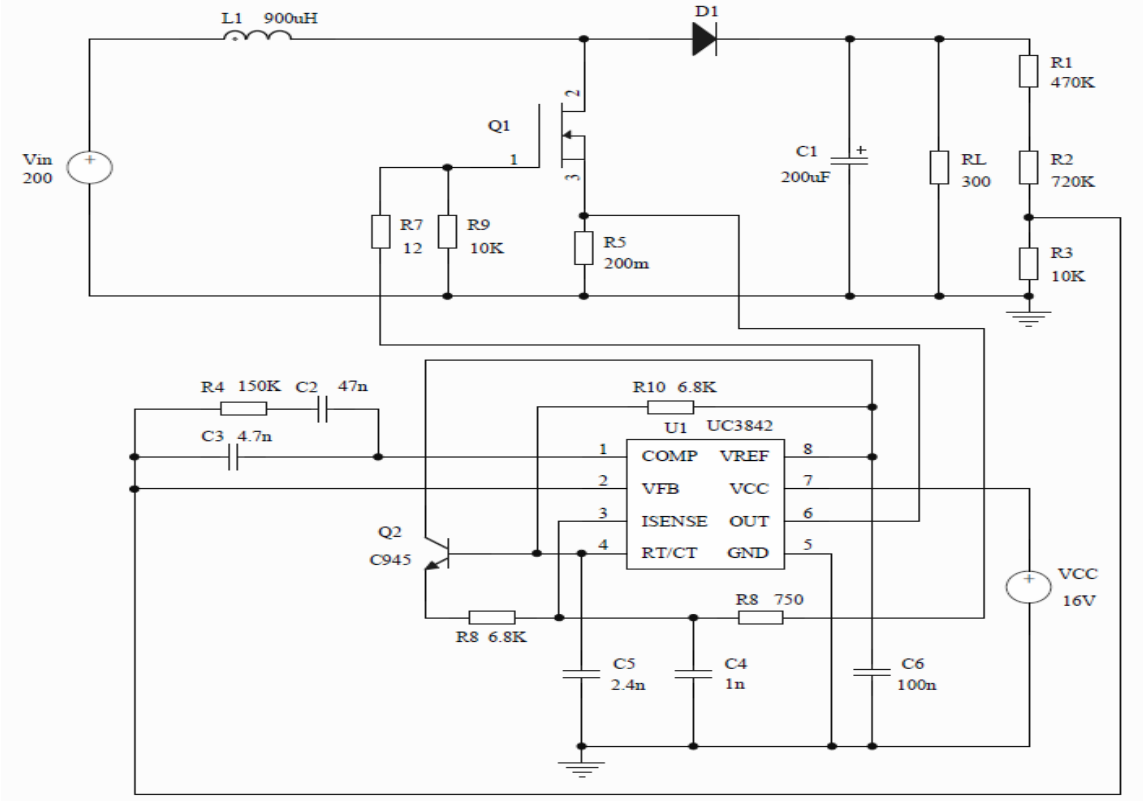
列出五种不同MOS管的耐压值、漏极电流和Rds（on）（如：高电压/高电流，低电压/高电流，低电压/低电流等） （注意：高/低电压/电流规定如下：

500V以上是高电压，200V以下的是低电压，2A以上是高电流，2A以下的是低电流）

学习情境一　非隔离式升压电路的分析



非隔离式升压电路



学习的知识点和要掌握的技能：

1. 升压式变换器的分析　2. 控制芯片UC3842的分析

3. 电路工作原理的分析

4. 部分电路参数的设计，尤其是电感的设计及制作

5. 电路的制作、调试和测试

非隔离式升压电路的分析的学习分解成四个学习任务：

任务一 升压式变换器的介绍

任务二 PWM控制原理及控制芯片UC3842的介绍

任务三 升压式电源电路的分析及参数设计

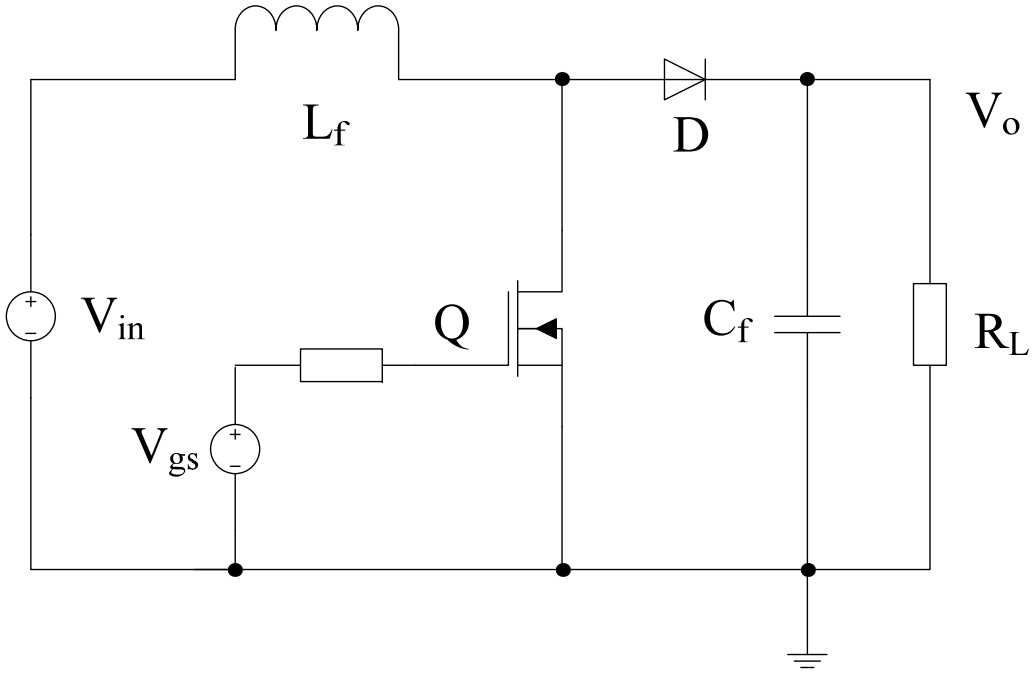
任务四 电路的仿真、制作、调试和测试

MOS管的介绍已讲解。

任务一　升压式变换器的介绍

1. Boost 变换器的结构

Boost变换器的结构如右图所示：

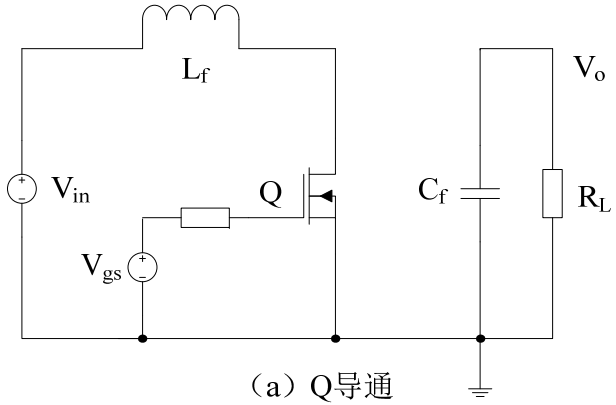


MOS管；升压二极管（step-up）D；滤波电感L；滤波电容C；负载R_L。

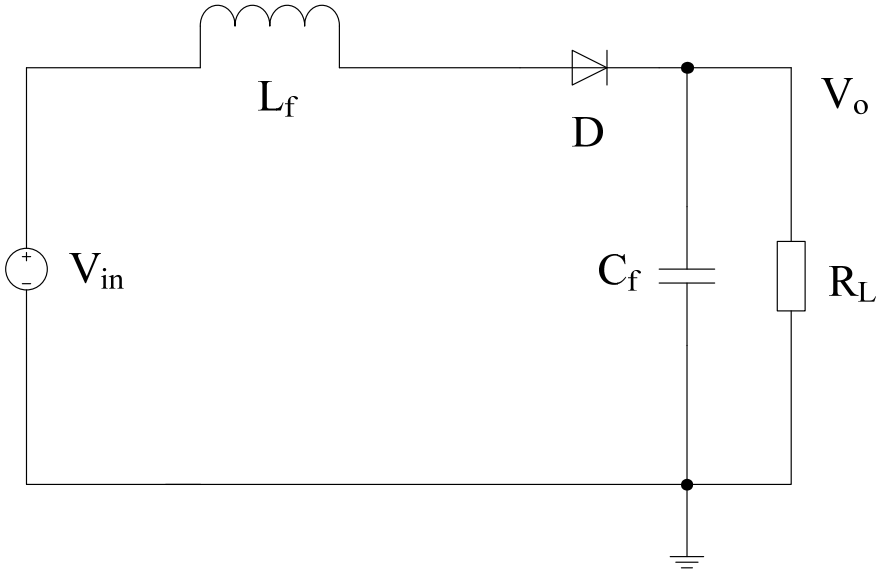
2. Boost变换器的工作原理分析

Boost变换器存在两种导电模式，即连续导电模式CCM（Continuous Conduction Mode)和不连续导电模式DCM（Discontinuous Conduction Mode)。连续导电模式是指在一个周期内电感电流是连续的（两种开关模态a和b)；而不连续导电模式是指电感电流在一个周期内是断续的也就是有一段时间电感电流为零(三种开关模态a、b 和c)。

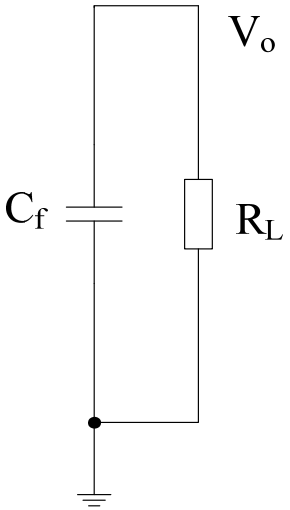
Boost变换器工作在不同模态的等效电路



（a）Q导通

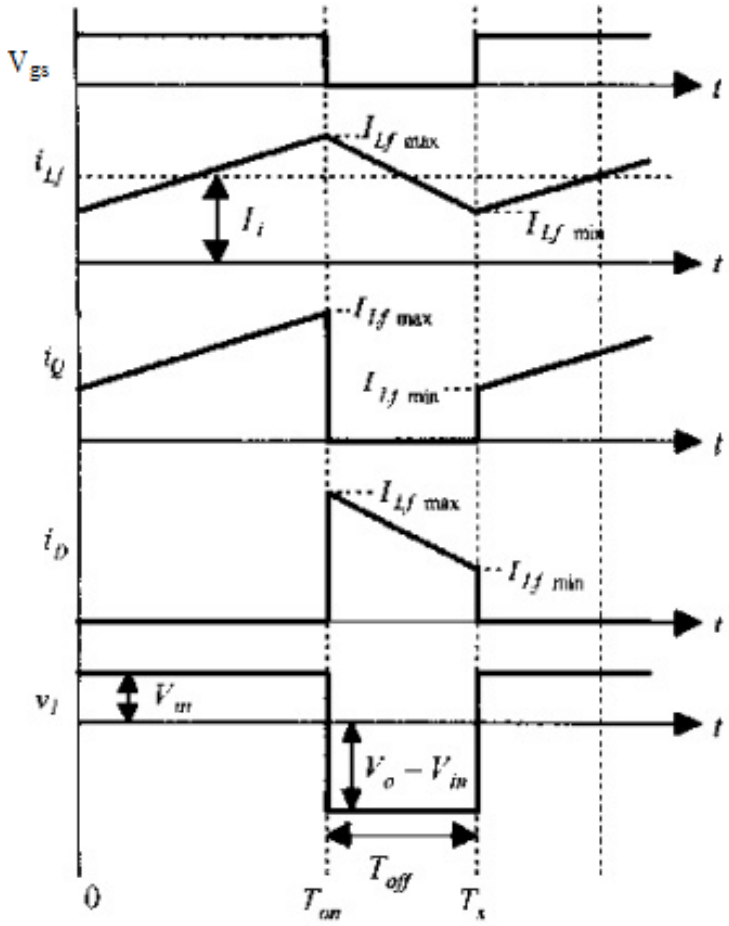


（b）Q截止

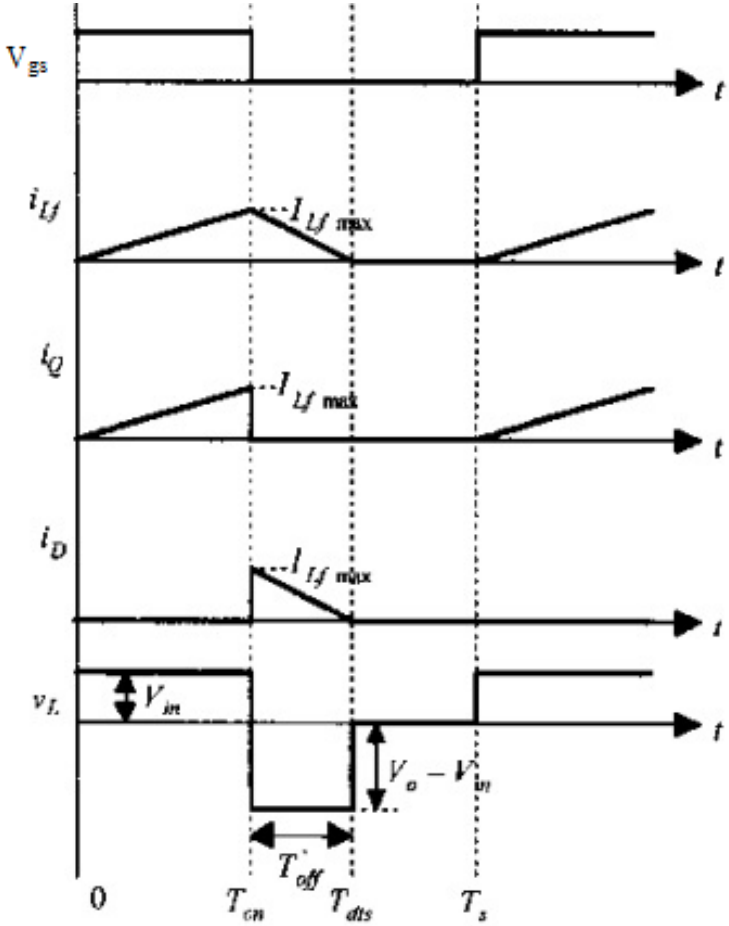


（c）Q截止时电感电流为零

Boost变换器在连续模式和不连续模式的主要波形



（a） 电感电流连续



（b） 电感电流断续

讨论电感电流连续时变换器的工作原理(稳态）：

分析之前作如下假设：

（1） 所有有源器件Q和D导通和关断时间为零。导通时电压为零，关断时漏电流为零。

（2） 在一个开关周期中，滤波电容电压，即输出电压V_{out}，有很小纹波(电压），但可认为基本保持不变，其值为V_o。

（3） 电感和电容均为无损耗的储能元件。

（1） 模态1 [0—T_{on}] [对应于图 (a)]

在t=0时，Q1导通，V_{in}通过Q_1 升压电感L_f，其电流i_{Lf}线性上升，上升斜率为 V_{in}/L_f。负载由滤波电容C_f供电。

在t=Ton时，i_{Lf}达到最大值I_{Lfmax}。在Q导通期间，i_{Lf}的增长量Δi_{Lf}（+）=

$$\frac{V_{in}}{L_f} * T_{on} = \frac{V_{in}}{L_f} * D_y * T_s$$

(2) 模态2［T_{on}—T_s］［对应于图（b)］

在t=T_{on}时，Q1关断，i_{Lf}通过二极管D向输出侧流动，继续流通。电源和电感L_f的储能向负载和电容C_f转移，给C_f充电。此时加在L_f上的电压为$V_{in}-V_0$，因为$V_{in}<V_0$，故i_{Lf}线性减小。

在t=Ts时，i_{Lf}达到最小值I_{Lfmin}。在Q截止期间，i_{Lf}的减小量Δi_{Lf}（-）= $\frac{V_0-V_{in}}{L_f}*(T_s-T_{on})=\frac{V_0-V_{in}}{L_f}*(1-D_y)*T_s$

在t=T_s时，Q_1又导通，开始下一个开关周期。

3. Boost变换器的基本关系式

稳态工作时，电感电流i_{Lf}的波形为一个三角波，周期性地在I_{Lfmin}到I_{Lfmax}的范围内变化。Q导通期间I_{Lf}的增长量等于它在Q截止期间的减小量。即：

$$\Delta i_{Lf}(+) = \Delta i_{Lf}(-) = \Delta i_{Lf}$$

由前面的分析可以得到：$\frac{V_{in}}{L_f} * D_y * T_s = \frac{V_0 - V_{in}}{L_f} * (1 - D_y) * T_s$

化简得到：$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{1}{1 - D_y}$

在一个开关周期中，电感L_f都有一个储能和能量通过D的释放过程，也就是说必然有能量送到负载端。因此，如果该变换器没有接负载，则这部分能量不能消耗掉，必会使V_0不断升高，最后使变换器损坏。这是Boost变换器与Buck变换器的本质不同点。

若Boost变换器的损耗可忽略，则有

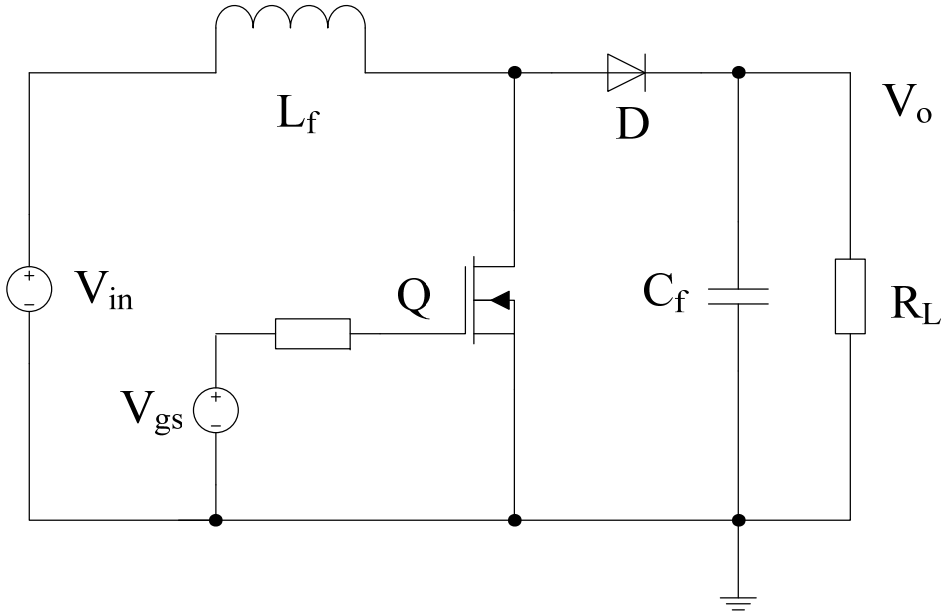
$$\frac{I_0}{I_{in}} = 1 - D_y$$

式中，I_0和I_i分别为变换器输出电流和输入电流平均值。

3. 关系式

根据电路图推导

关系式



通过D的电流平均值I_D等于负载电流I_0。

通过Q的电流平均值I_Q为：

$$I_Q = I_i - I_0 = \frac{D_y}{1-D_y} * I_0$$

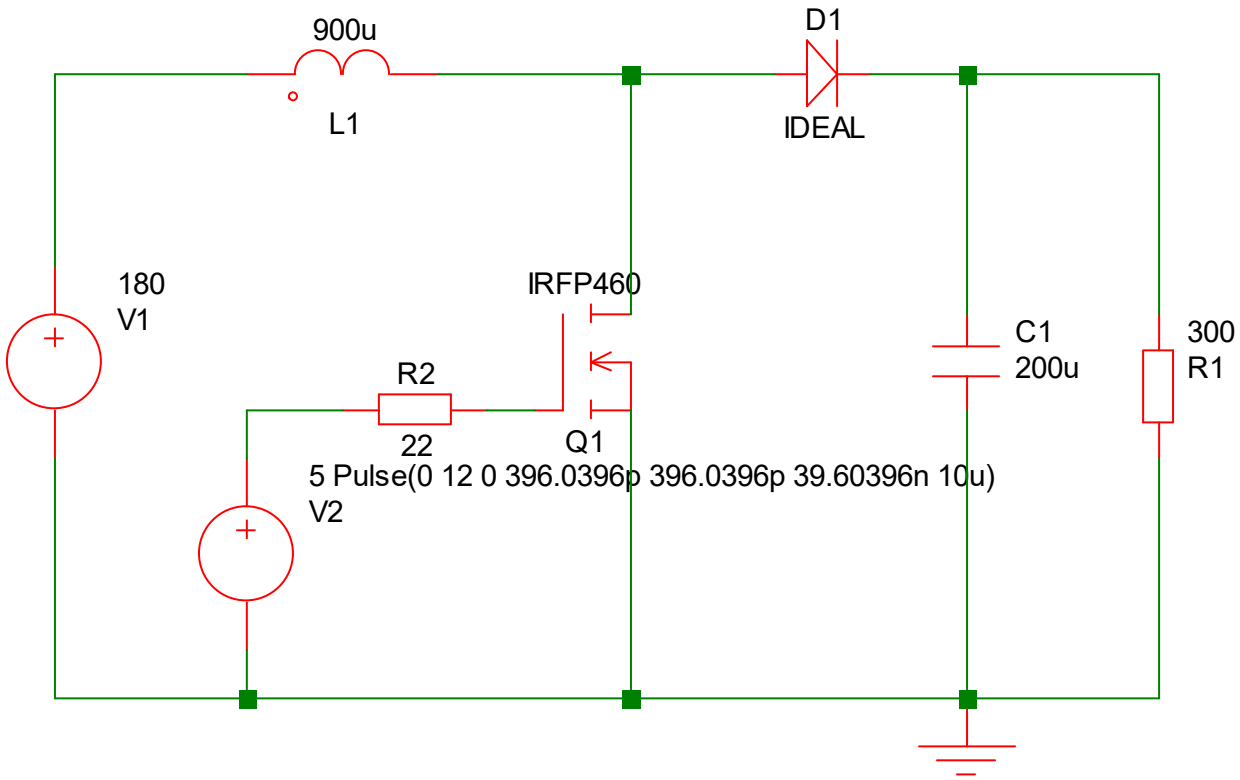
通过Q和D的电流最大值与电感电流最大值相等。

$$I_{Q\max} = I_{D\max} = I_{Lf\max} = I_{in} + \frac{1}{2}\Delta i_{Lf}$$

Q和D分别截止时加在它们上的电压均为输出电压V_0。

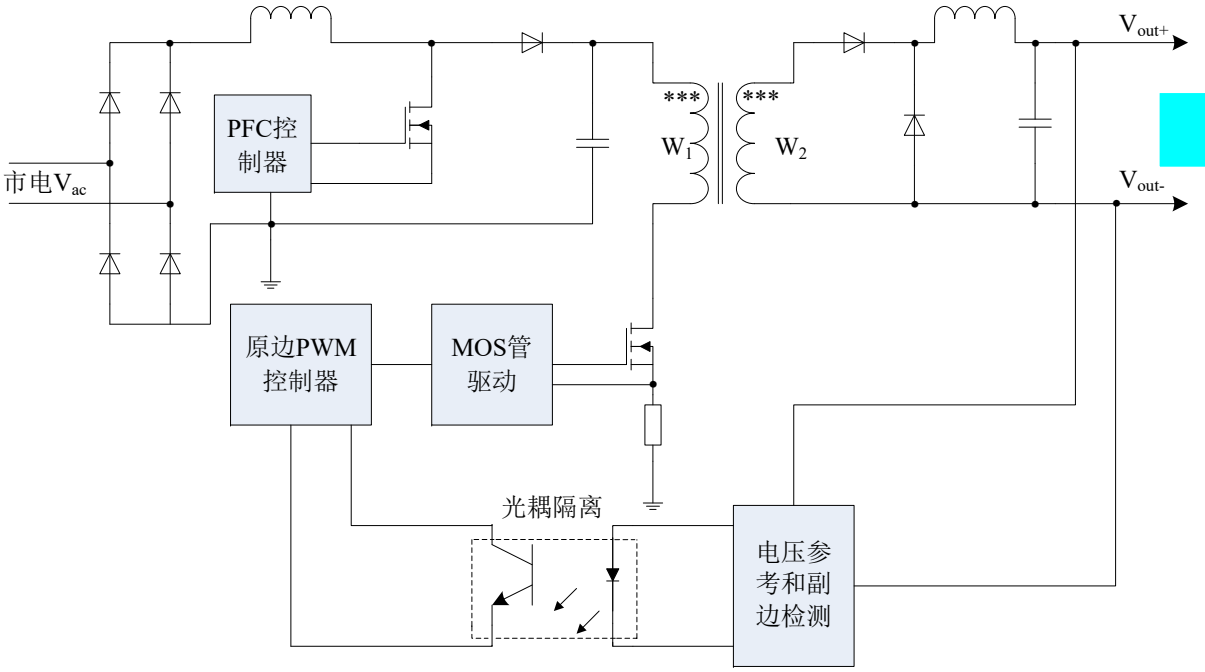
4. 仿真分析

仿真电路图


900u
L1
D1
IDEAL
180
V1
IRFP460
R2
22
Q1
C1
200u
300
R1
5 Pulse(0 12 0 396.0396p 396.0396p 39.60396n 10u)
V2

任务二 PWM控制原理及控制芯片UC3842的介绍

离线式电路结构示意图

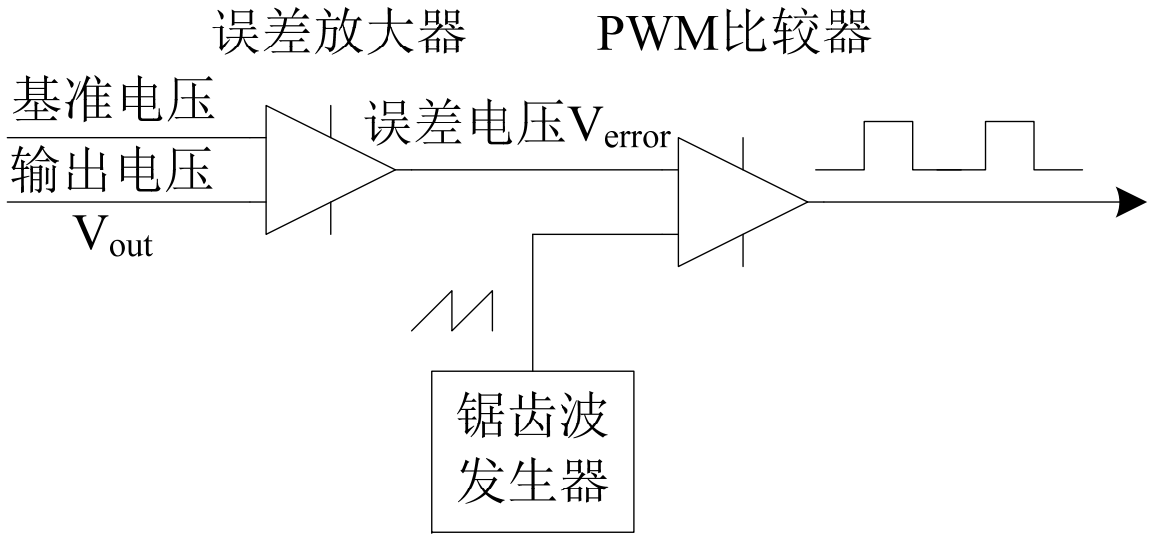


负载（需要用电的设备）

一、 PWM控制原理

PWM控制技术主要分为两种：一种是电压模式PWM控制技术；另一种是电流模式PWM控制技术。

（1）电压模式PWM控制原理如下：



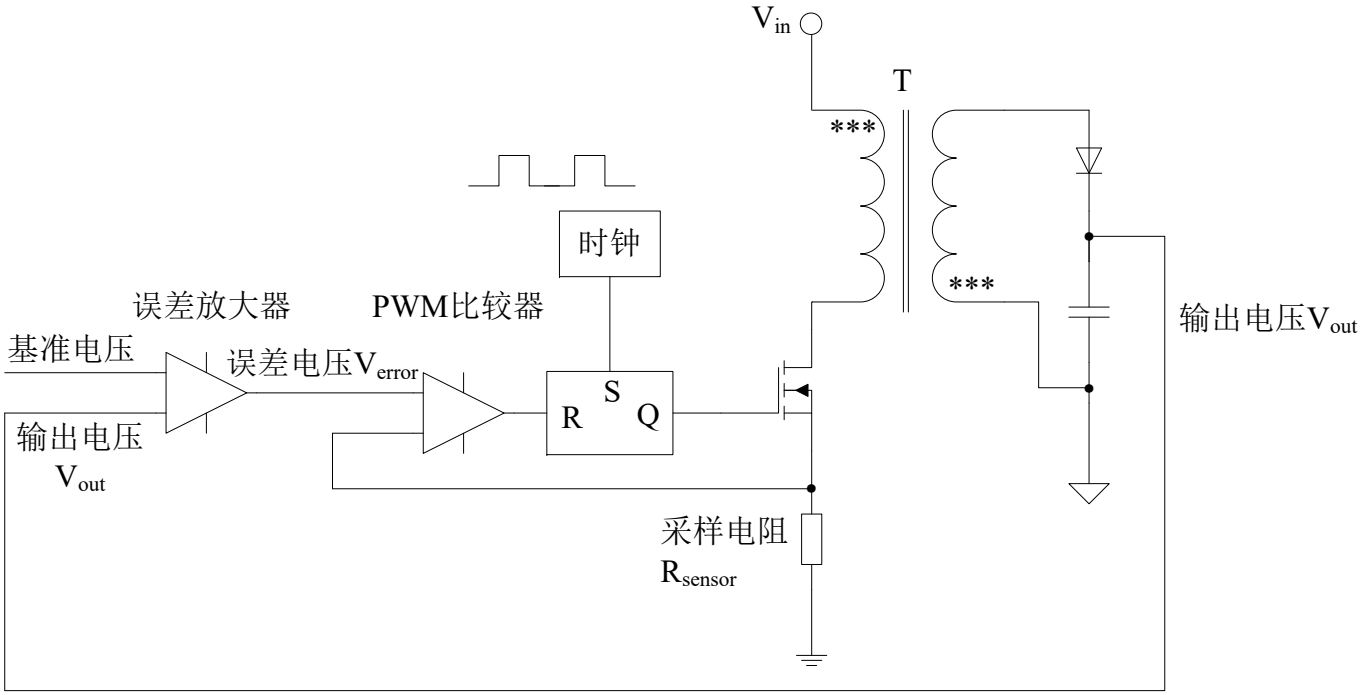
此系统是单环控制系统，其最大的缺点是没有电流反馈信号。

由于开关电源的电流都要流经电感，因此相应的电压信号会有一定的延时。然而对于稳定电压电源来说，需要不断地调节输入电流，以适应输入电压的变化和负载的要求，从而达到稳定输出电压的目的。

因此，仅采样输出电压的是不够的，其稳压响应速度慢，甚至在输入电压或者负载变化很大时，会因为产生振荡而造成功率开关管的损坏等故障发生。这就是电压模式PWM控制的最大不足之处。

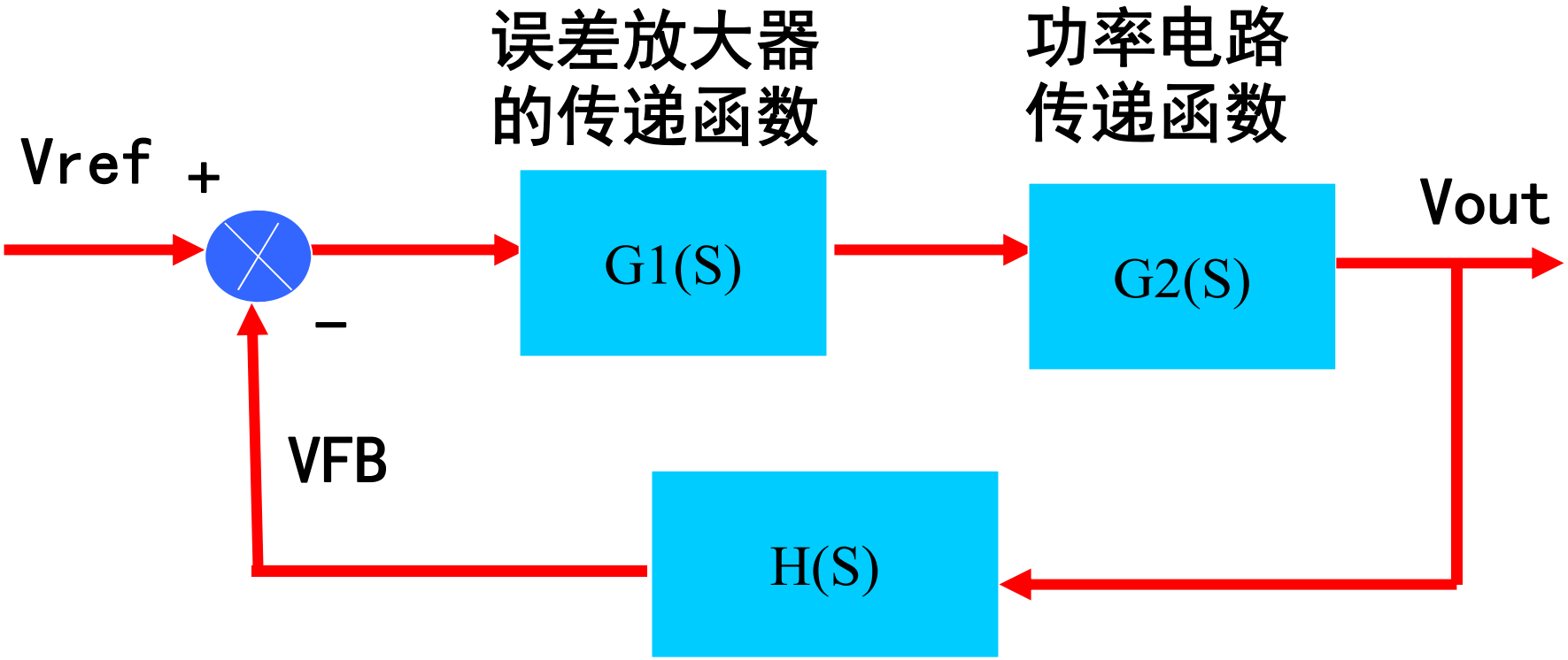
电压模式PWM控制器主要有TL494、SG3524和SG3525A

（2）电流模式PWM控制原理如下：



PWM比较器的输入端直接用电感电流检测信号与误差放大器的输出信号进行比较，实现对输出脉冲占空比的控制，使电感的峰值电流跟随误差电压变化。这种控制方式可以有效地改善开关电源的输入电压调整率和输出电流调整率。也可以改善整个系统的动态响应。

开关电源控制环路的数学模型



（3）电流模式PWM控制的优点：

①采用逐个脉冲控制，动态响应快，调节性能好。当输入线电压或输出负载变化时，马上引起电感中电流的变化，检测信号也随着变化，脉冲宽度立即被调整。

②一阶系统稳定性好，负载响应速度快。

③具有自动限流作用，限流保护和过流保护容易实现。

④采用逐个电流脉冲峰值检测，可以有效抑制变压器偏磁引起的饱和问题。在全桥转换器或推挽转换器中，无需增加去磁耦合电容。而电压模式PWM控制技术很难实现这一点。

⑤输入线电压的交流纹波可以比较大，减少了输入滤波电容，可靠性也得到了提高。

⑥并联运行时，均流效果好。

（4）电流模式PWM控制的缺点：

①对电感峰值电流与输出平均电流之间存在误差，控制精度不高。

②对高频噪声衰减的速度较慢，抗高频能力差。

二、PWM控制芯片UC3842的介绍

控制芯片通常有两种工作方式：1. PWM ； 2.PFM

PWM控制方式主要用在DC-DC变换器和PFC变换器中。而PFM主要用在功率因数校正（PFC）和谐振变换器中，如谐振半桥（Half-bridge LLC resonant converter）。

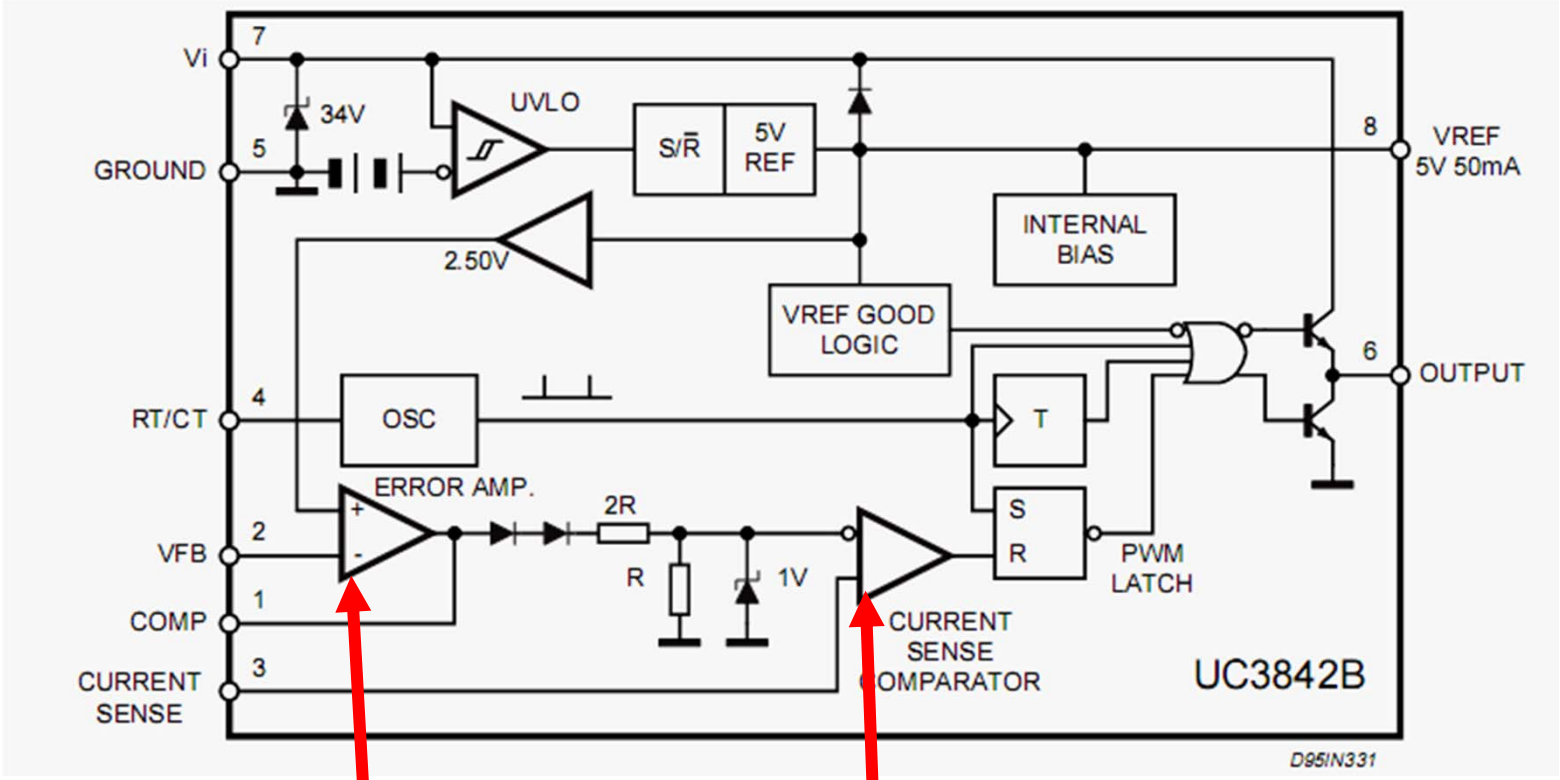
本课程主要讲述电流模式的PWM控制方法：

最基本的特点：频率不变（fs)，调制脉冲宽度。

以UC384X系列为例讲解电流模式的PWM控制方法

Datasheet 见UC3842.pdf文档

UC384X系列的结构框图



VFB 检测输出电压 –电压误差放大器

比较器---电压误差放大器的输出与检测电感电流的大小进行比较，输出PWM波去控制MOS的导通与关断。

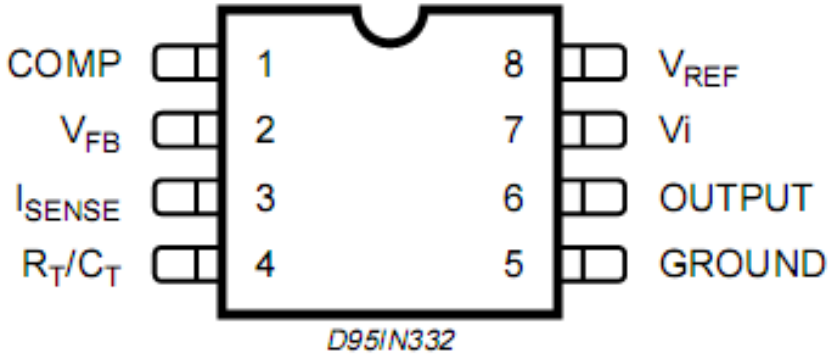
对于一个PWM控制芯片，要掌握以下几个知识要点：

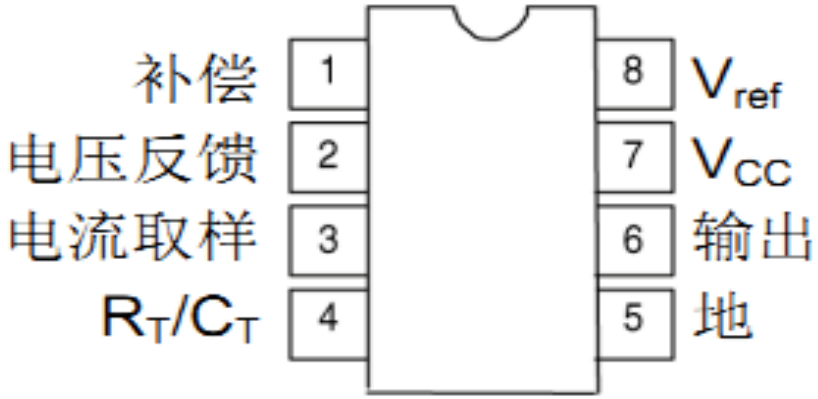
1. 每个的引脚的名称；
2. 每个引脚的作用，以及它在电路中的连接；
3. 每个引脚正常工作电压的范围或者正常的波形是什么？
4. 控制芯片一定是输出PWM波去控制MOS管，要清楚哪些引脚最容易引起没有PWM波的输出。
5. 尽量找到芯片的application note（应用信息），教我们如何分析芯片的工作方式、与功率电路的连接以及关键元件参数的计算。
6. 弄懂一些简单的曲线图（参数之间的函数关系）比如振荡频率与RT、CT之间的关系。
7. 会用示波器去测试波形，会根据波形分析产生的原因，从而找到解决问题的办法。

任务二　PWM控制芯片UC3842的介绍及外围电路的分析

二、PWM控制芯片UC3842的介绍

Pin Connection---引脚分布





Minidip/SO8------封装

PIN FUNCTIONS

No	Function	Description
1	COMP	This pin is the Error Amplifier output and is made available for loop compensation.
2	V_{FB}	This is the inverting input of the Error Amplifier. It is normally connected to the switching power supply output through a resistor divider.
3	I_{SENSE}	A voltage proportional to inductor current is connected to this input. The PWM uses this information to terminate the output switch conduction.
4	R_T/C_T	The oscillator frequency and maximum Output duty cycle are programmed by connecting resistor R_T to Vref and cpacitor C_T to ground. Operation to 500kHz is possible.

引脚	功能	描述
1	补偿	误差放大器的输出，可用于环路补偿
2	电压反馈	误差放大器的反相输入端，通过一个电阻分压器连接到输出端
3	电流取样	一个正比于电感电流的电压接至此输入端，PWM用此信息停止开关管的导通

4	R_T/C_T	The oscillator frequency and maximum Output duty cycle are programmed by connecting resistor R_T to Vref and cpacitor C_T to ground. Operation to 500kHz is possible.
5	GROUND	This pin is the combined control circuitry and power ground.
6	OUTPUT	This output directly drives the gate of a power MOSFET. Peak currents up to 1A are sourced and sunk by this pin.

4	**RT/CT**	**通过连接RT到Vref和电容CT到地使振荡器频率和最大占空比可调，输出频率可达到500KHz。**
5	**地**	**此管脚是控制电路和功率电路公共的地。**
6	**输出**	**输出可直接驱动功率MOS管的门极，高达1A峰值电流经过此管脚拉和灌。**

7	V_{CC}	This pin is the positive supply of the control IC.
8	V_{ref}	This is the reference output. It provides charging current for capacitor C_T through resistor R_T.

7	**Vcc**	**此引脚是控制IC的正电源（工作电压）**
8	**Vref**	**该管脚是参考输出（基准电压输出）它通过RT给CT提供充电电流。**

X842B/4B/3B/5B 的差别：

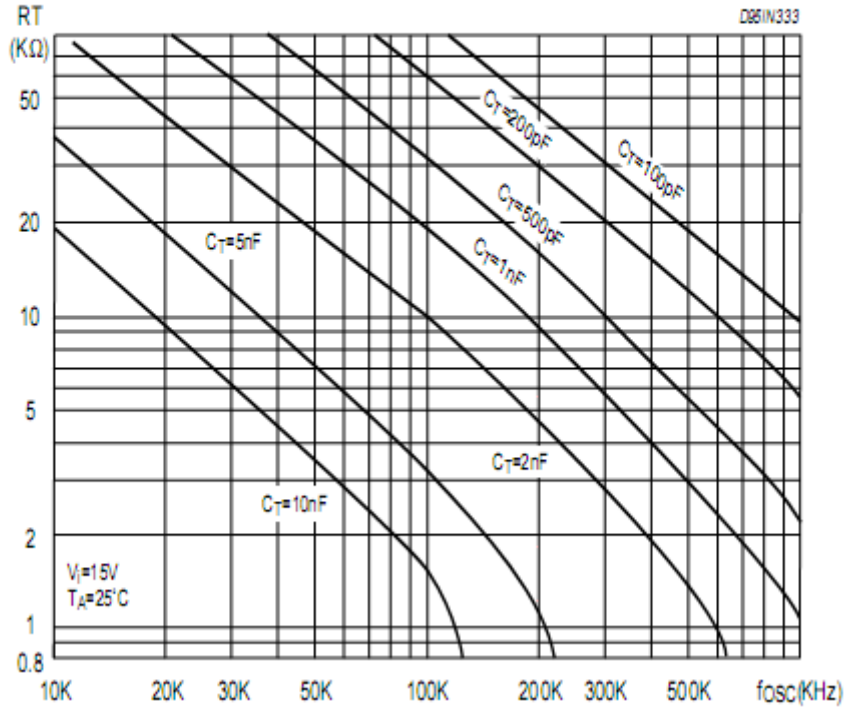
欠压锁定									
V_{CC}	启动门槛	X842B/4B	15	16	17	14.5	16	17.5	V
		X843B/5B	7.8	8.4	9.0	7.8	8.4	9.0	V
V_{CC}	接通后最小工作电压	X842B/4B	9	10	11	8.5	10	11.5	V
		X843B/5B	7.0	7.6	8.2	7.0	7.6	8.2	V
脉宽调制									
	最大占空比	X842B/3B	94	96	100	94	96	100	%
		X844B/5B	47	48	50	47	48	50	%
旁路电流									
I_{st}	启动电流	V_{CC}=6.5V 对于 UCX843B/45B		0.3	0.5		0.3	0.5	mA
		V_{CC}=14V 对于 UCX842B/44B		0.3	0.5		0.3	0.5	mA
I_i	工作电流	V_{PIN2}= V_{PIN3}=0V		12	17		12	17	mA
V_{iz}	齐纳电压	I_i=25mA	30	36		30	36		V

最大占空比、开关频率与振荡频率

	最大占空比	fs开关频率
UC3842/43	96%	振荡频率fosc
UC3844/45	48%	1/2fosc

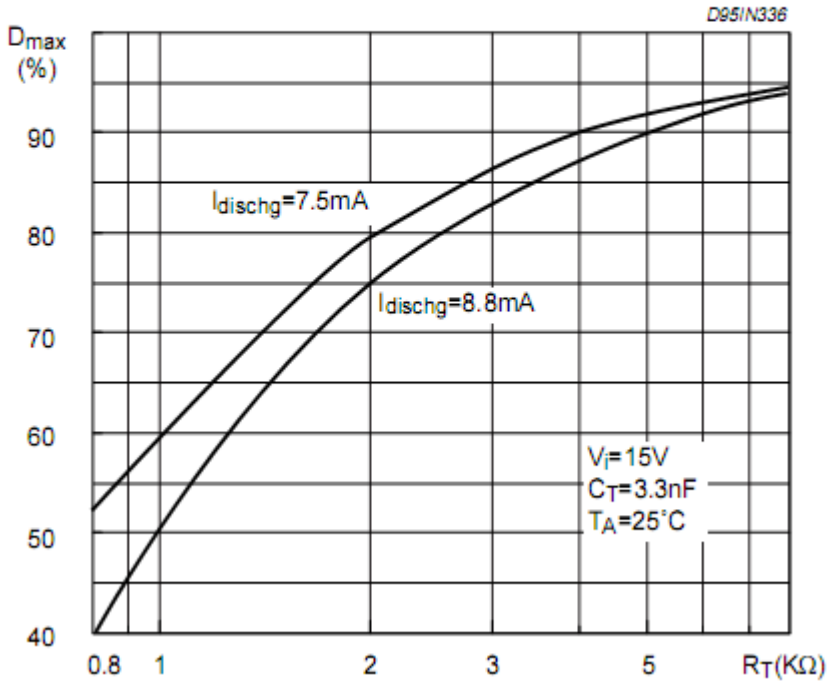
振荡电阻和振荡频率之间的关系

Figure 2: Timing Resistor vs. Oscillator Frequency



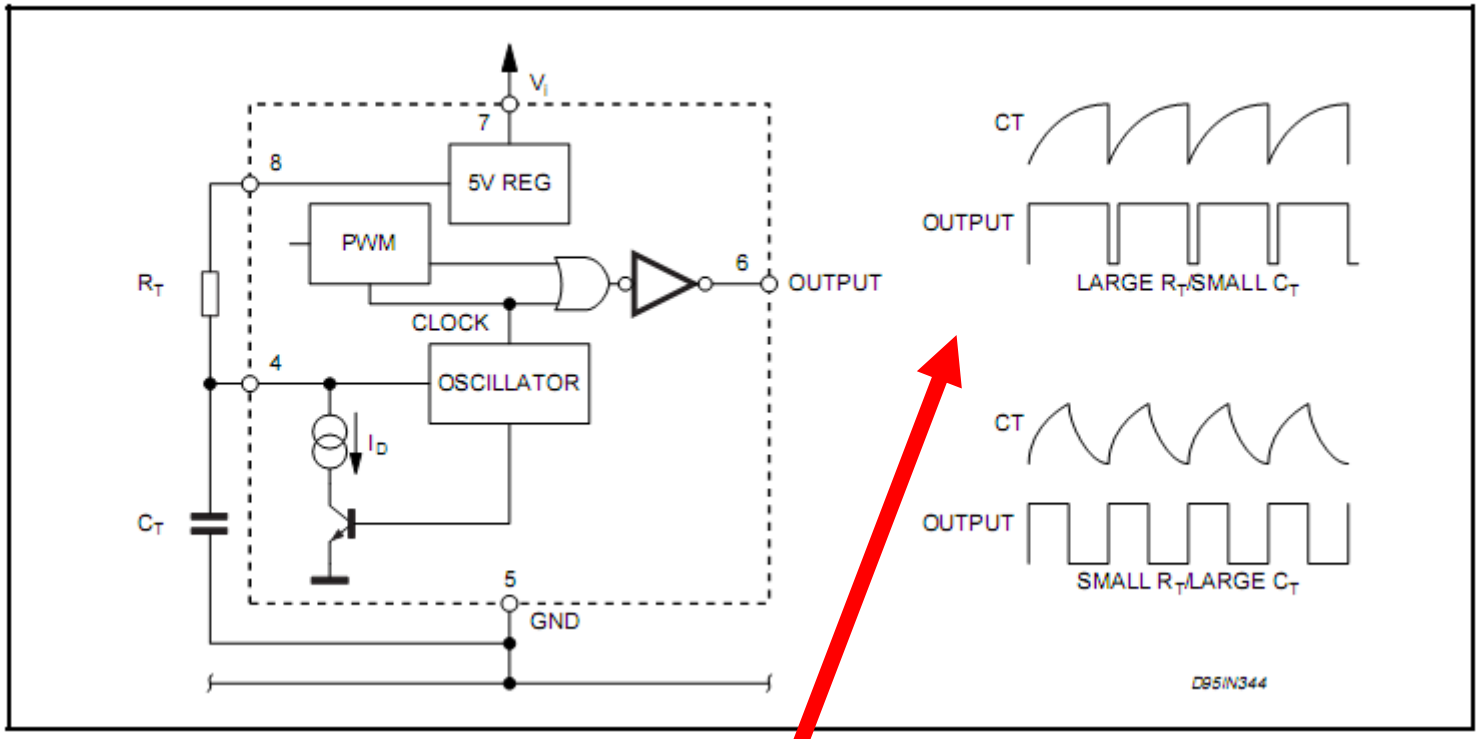
振荡电阻与最大占空比之间的关系（CT固定）

Figure 5: Maximum Output Duty Cycle vs. Timing Resistor.



振荡器和输出波形

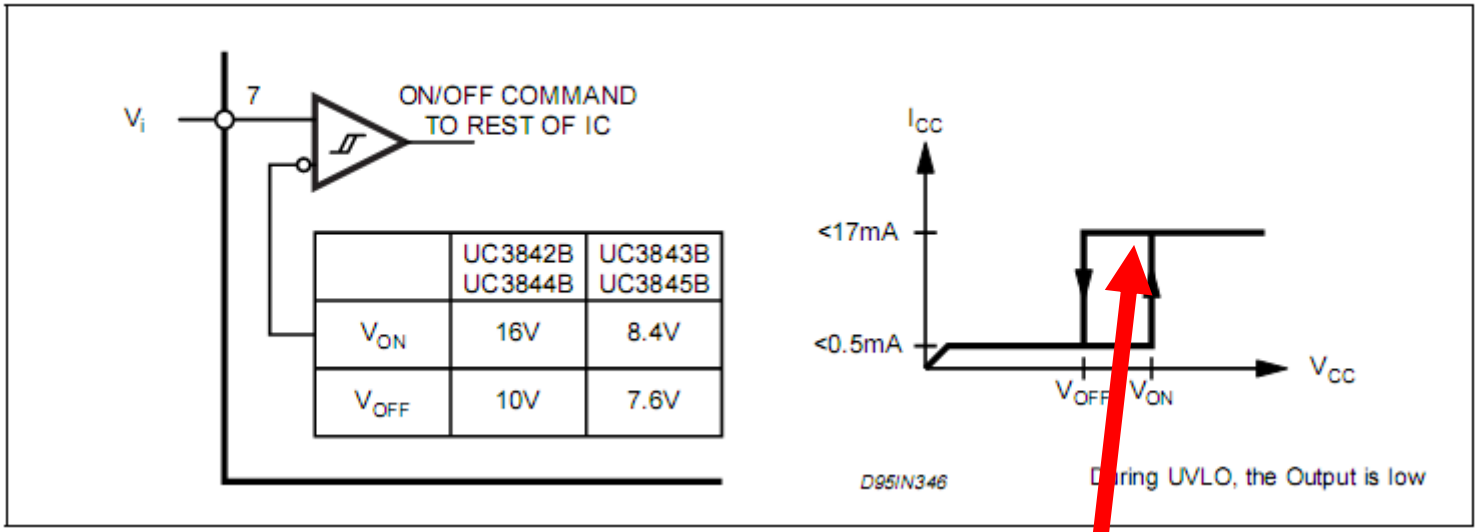
Figure 14: Oscillator and Output Waveforms.



电阻和电容的值决定最大占空比

欠电压锁定（Vcc）

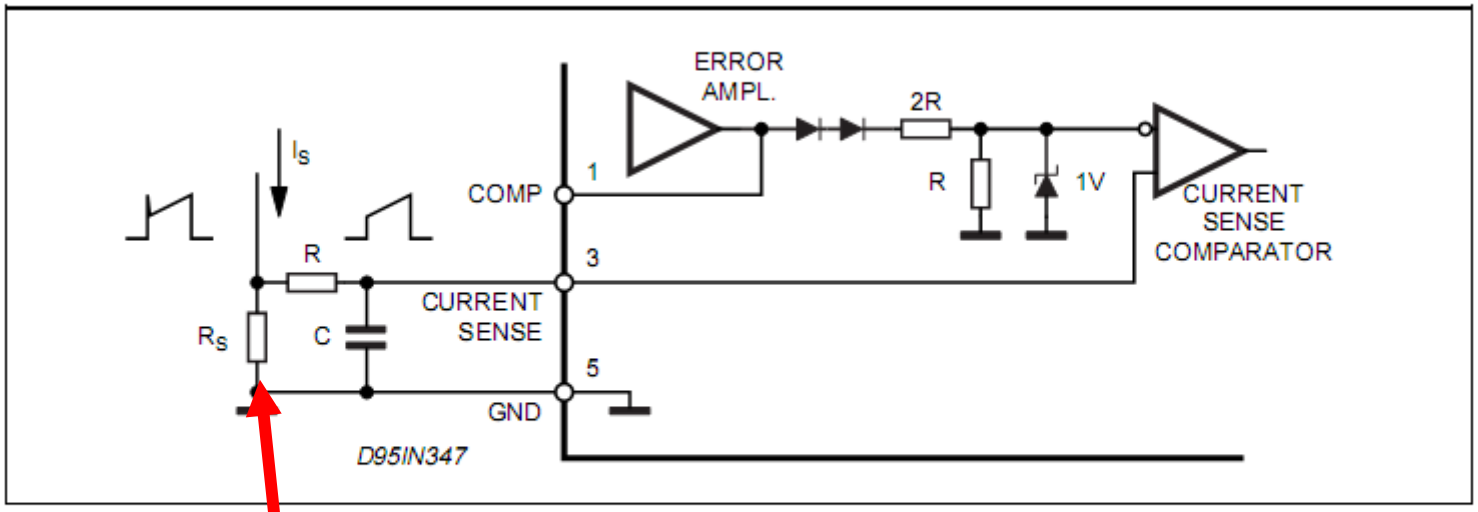
Figure 16 : Under Voltage Lockout.



迟滞（hysteresis）

电流检测电路

Figure 17 : Current Sense Circuit .



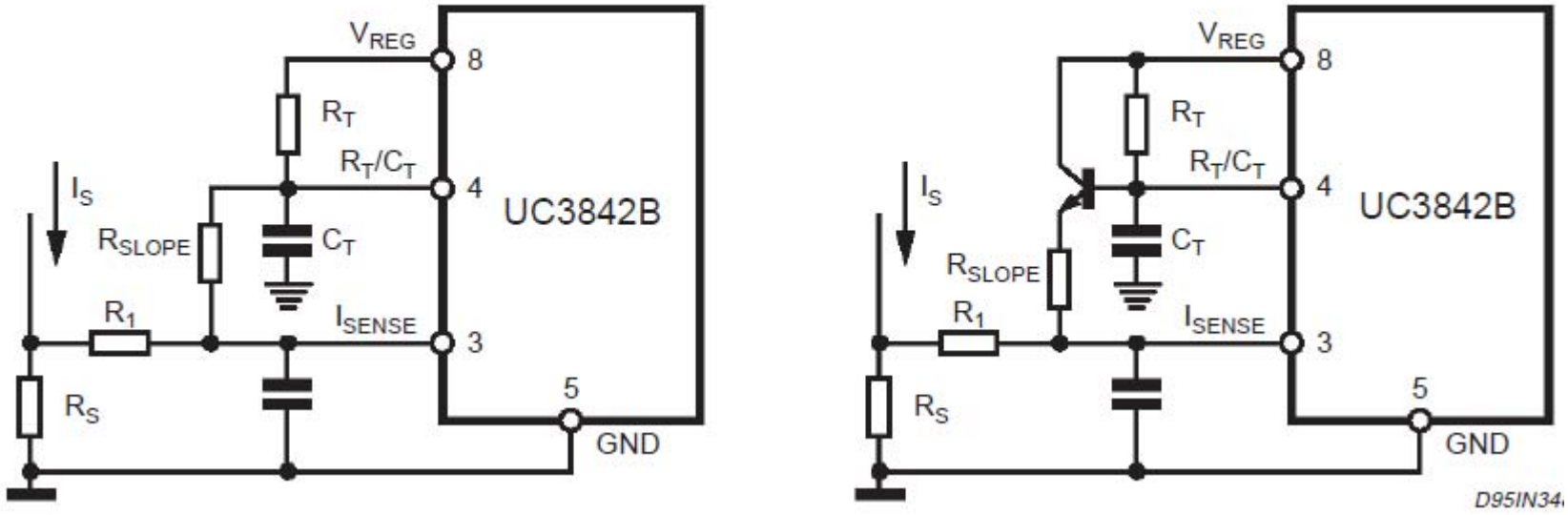
Peak current (i_s) is determined by the formula

$$I_{S\,max} \approx \frac{1.0\ V}{R_S}$$

A small RC filter may be required to suppress switch transients.

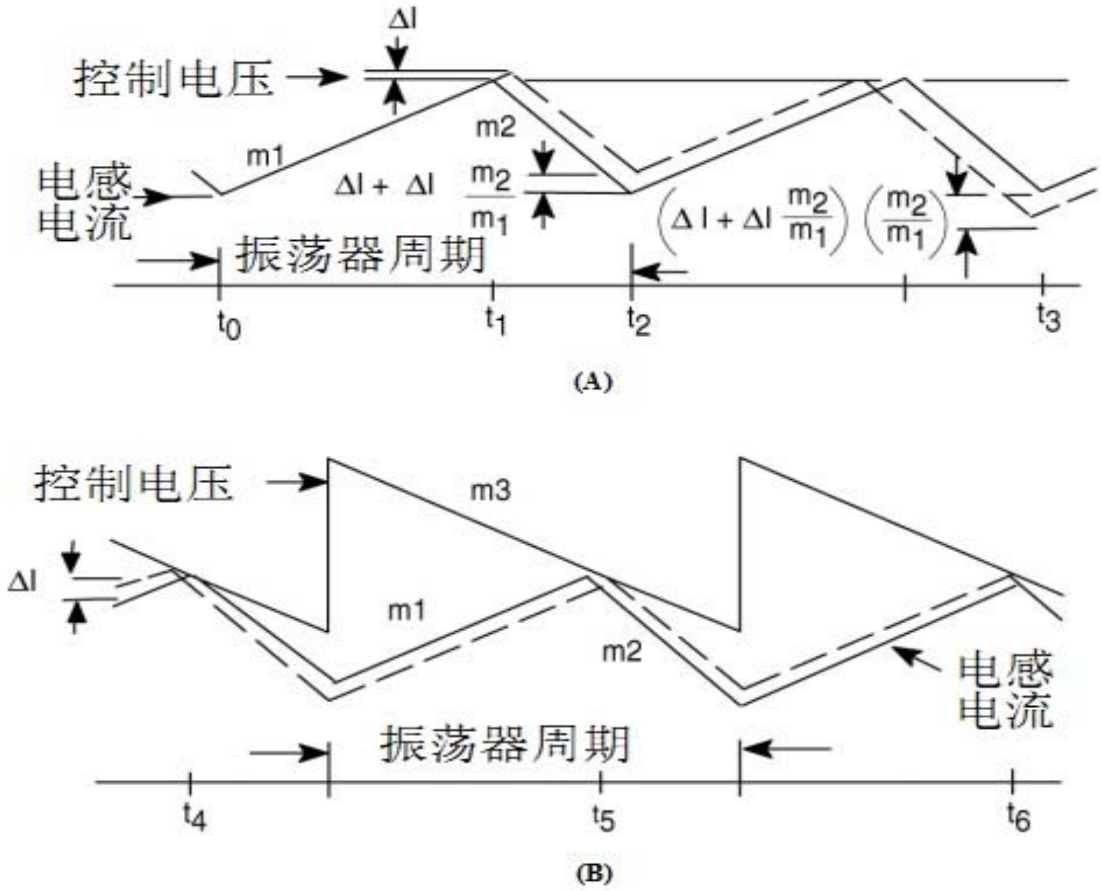
斜坡补偿电路

当引脚6输出的PWM波占空比大于50%和连续电感电流条件下，会产生次谐波振荡，需要外加斜坡补偿电路。



次谐波振荡产生的原因

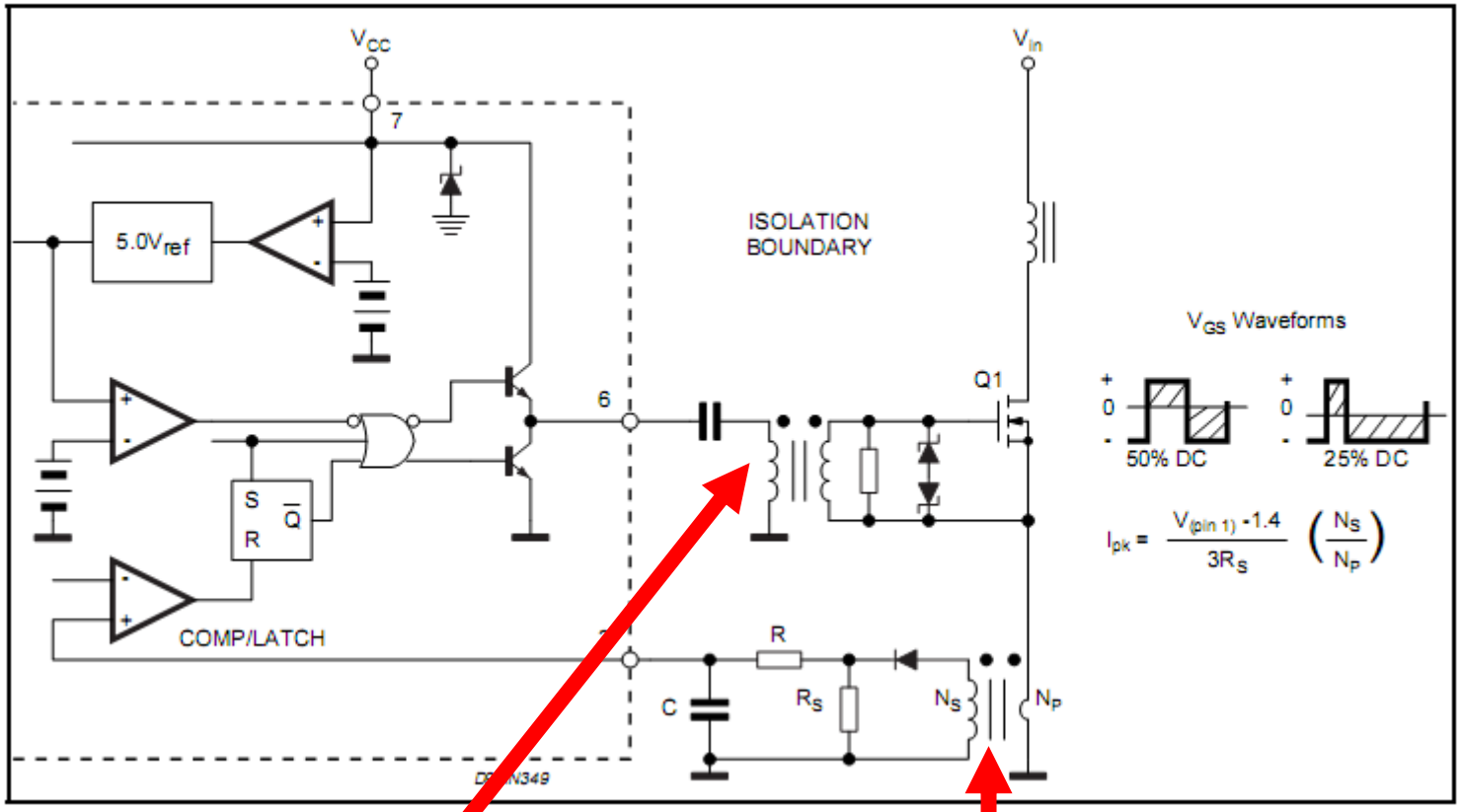
如果m_2/m_1小于1，也许需要几个振荡器周期才能使电感电流为零，使过程重新开始。如果m_2/m_1大于1，变换器将不稳定。



在控制电压上增加一个与脉宽调制时钟同步的人为的斜坡，可以在后续周期将ΔI扰动减小至零，该补偿斜坡（m_3）的斜率必须等于或略大于$m_2/2$才能具有稳定性。

隔离MOS管驱动和电流变压器检测

Figure 19 : Isolated MOSFET Drive and Current Transformer Sensing.



隔离MOS管驱动

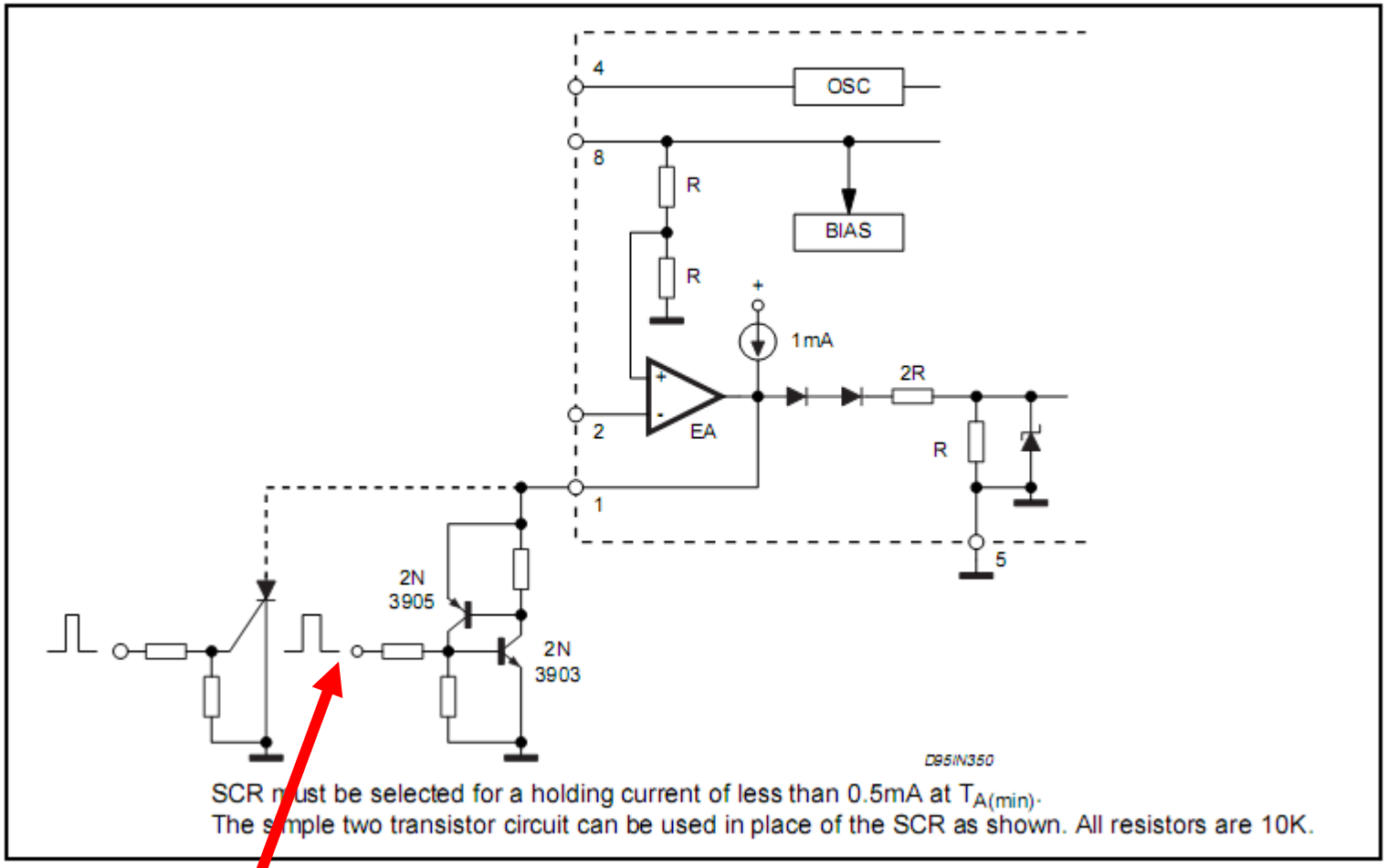
电流变压器检测

电流变压器的基本知识

讲解一下驱动变压器和电流变压器的基本知识

关闭----IC停止工作（通过Pin1实现保护功能）

Figure 20 : Latched Shutdown.



SCR must be selected for a holding current of less than 0.5mA at $T_{A(min)}$.
The simple two transistor circuit can be used in place of the SCR as shown. All resistors are 10K.

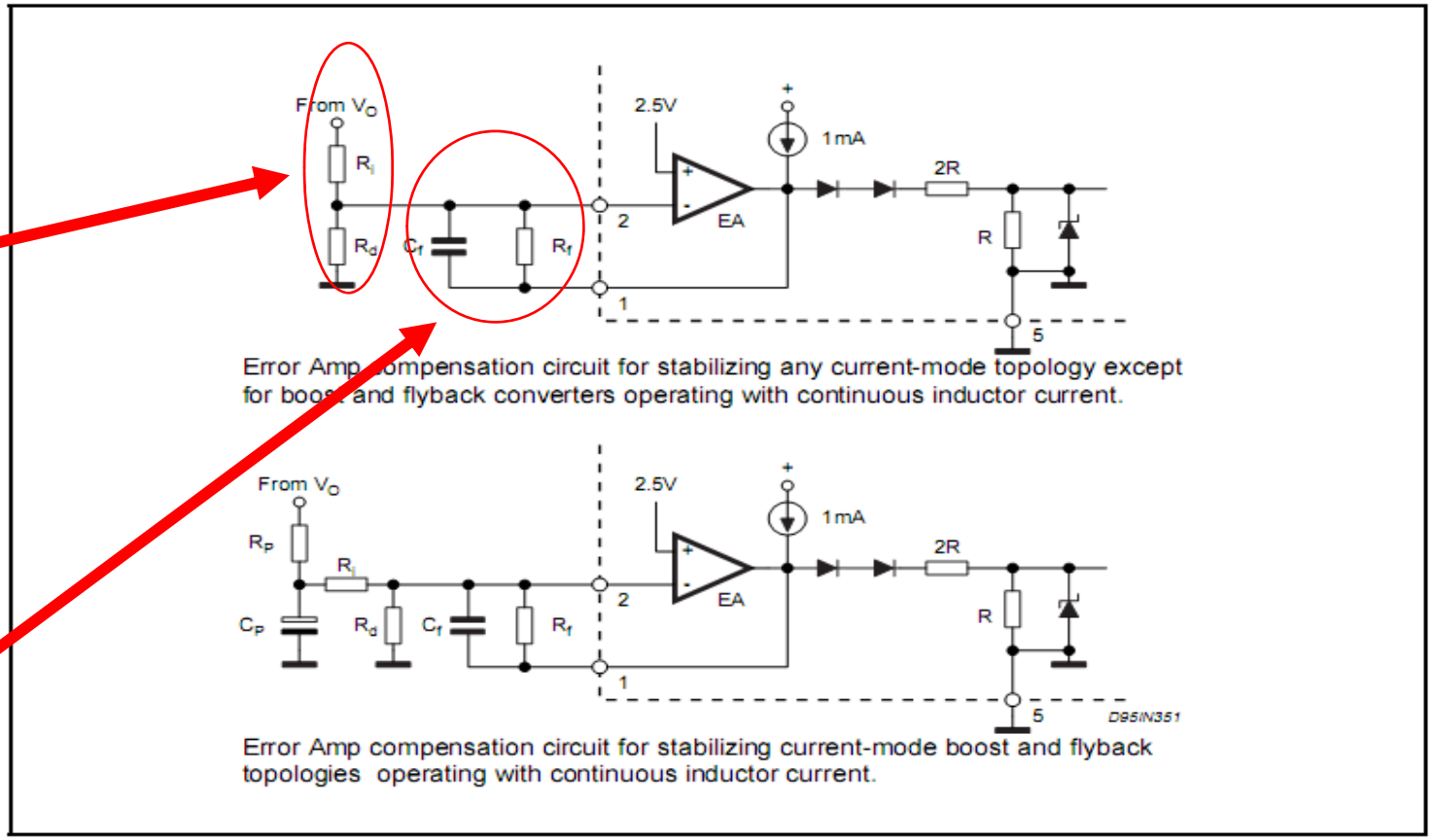
高电平-----IC停止工作；　低电平-----IC正常工作

误差放大器的补偿

采样电阻—电阻分压器

补偿网络

Figure 21: Error Amplifier Compensation



Error Amp compensation circuit for stabilizing any current-mode topology except for boost and flyback converters operating with continuous inductor current.

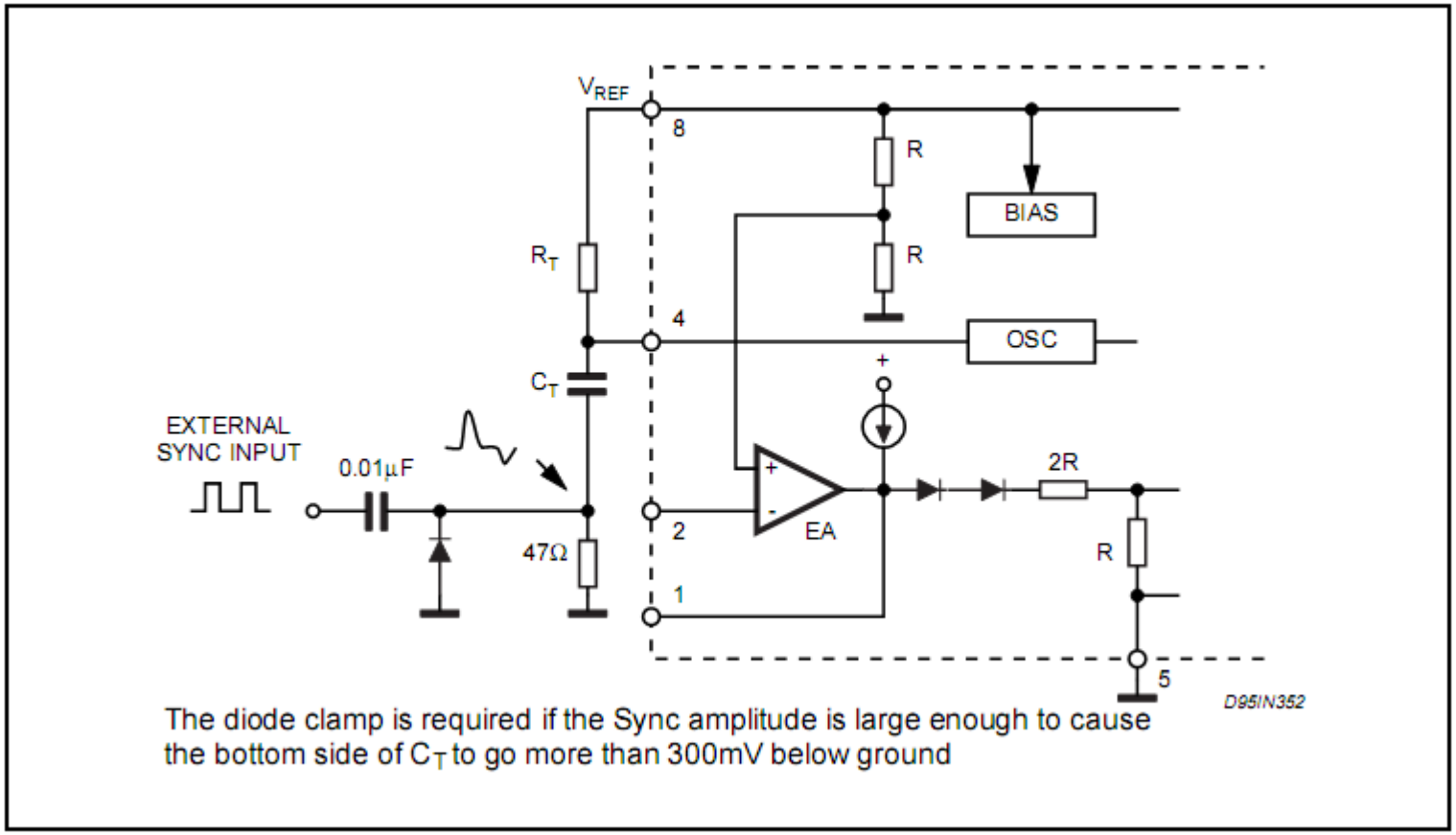
Error Amp compensation circuit for stabilizing current-mode boost and flyback topologies operating with continuous inductor current.

补偿网络的作用及测试（相角裕度和幅值裕度）

（1）稳定输出电压；（2）改善动态响应。

外部时钟同步

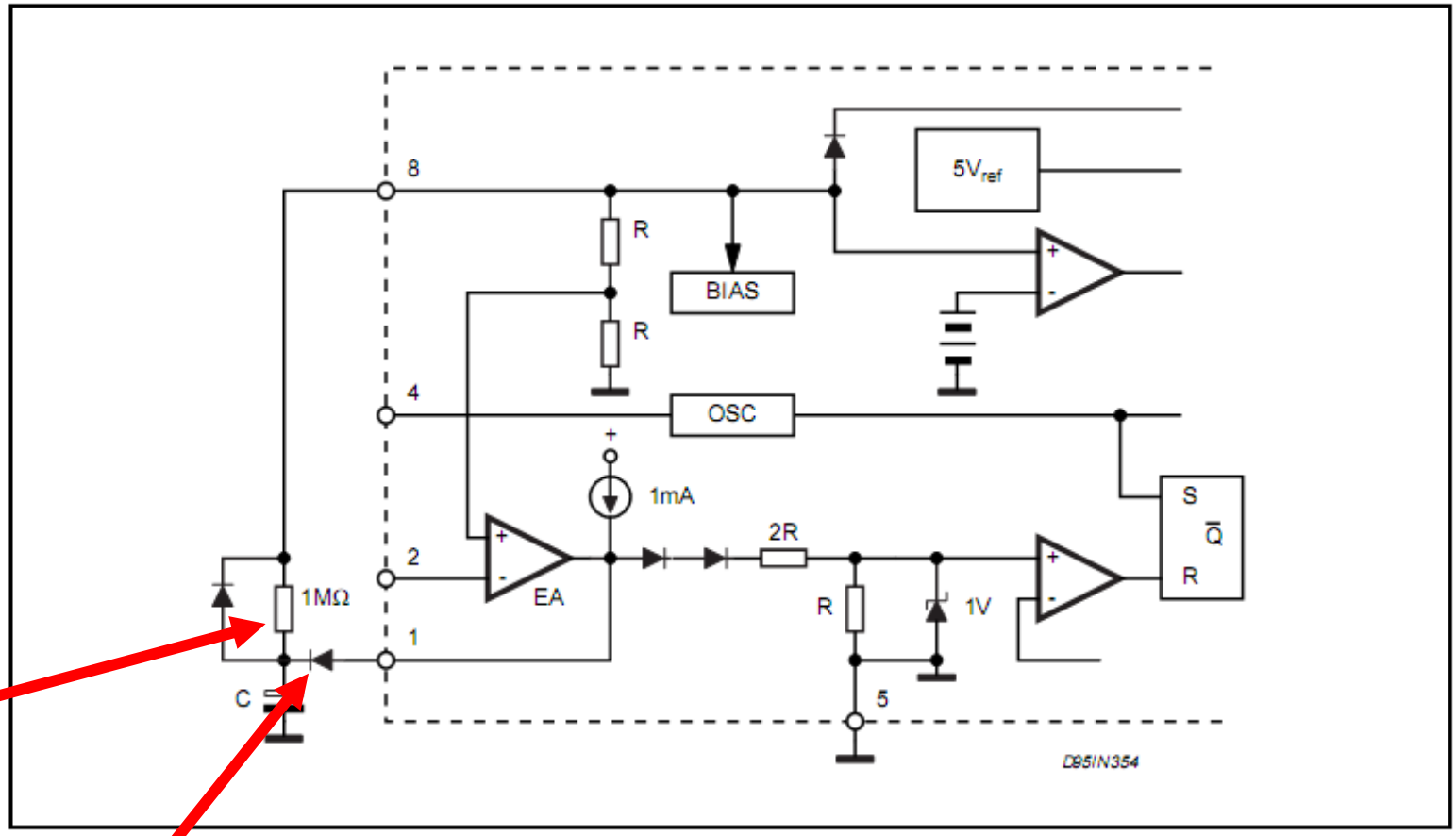
Figure 22: External Clock Synchronization.



外部时钟同步: UC3842工作的频率与另外一个UC3842工作的频率相一致。

Soft-Start Circuit ——— 软启动电路

Figure 24: Soft-Start Circuit



积分电路或者微分电路？

通过1Mohm电阻给C充电，实现软启动，二极管起箝位作用。

电容电压逐渐增加，Pin1的电压逐渐增加，占空比逐渐增加。

UC3842与UCC2800的比较：

Pin兼容，每一个引脚的功能和作用一样。

替代品：primary part 和 second part

（second source）

首要的元件　　替代的元件

比如：电阻（KOA PHYCOMP）和电容（AVX　THD Vishay）

任务三　升压式电源电路的分析及参数设计

复习UC384X芯片的引脚名称及相应功能。

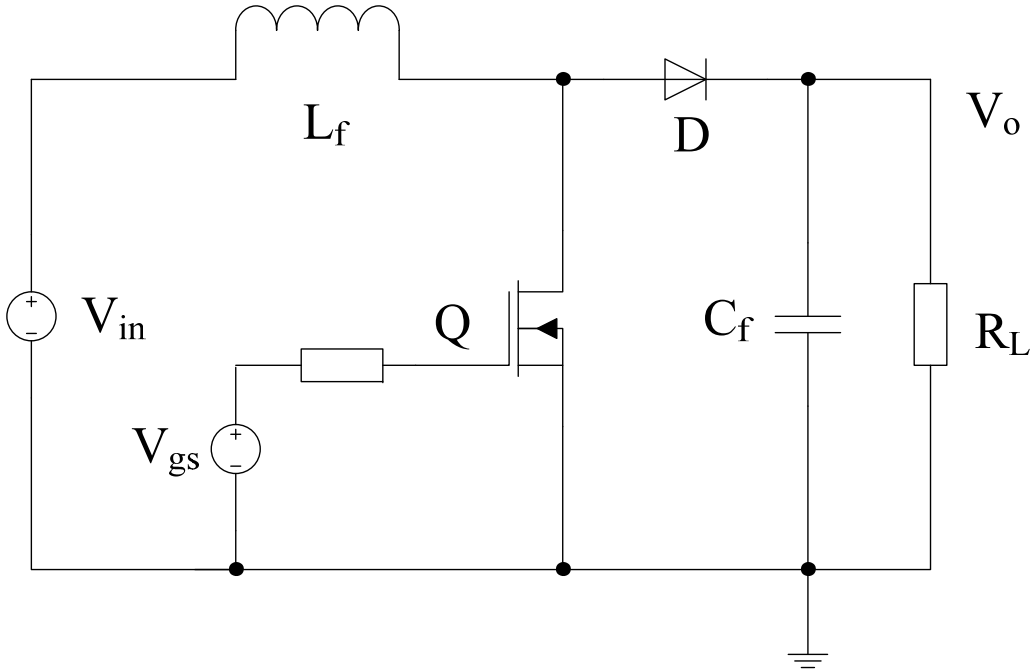
一、Boost电路的基本要求：

输入电压V_{in}为100~200V，输出电压V_o为300V，输出电流I_o为1A，开关频率f_s为100KHz，输入电压V_{in}为200V，在满载时效率η可达到0.92以上。

其他的要求：输出电压纹波、输出电流纹波、动态响应等等。

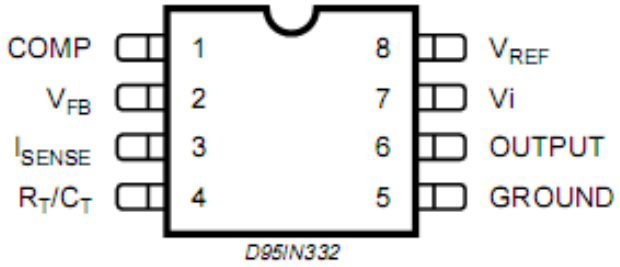
根据输入输出电压之间的关系，确定主电路结构。

按题目的要求确定主电路结构：Boost变换器



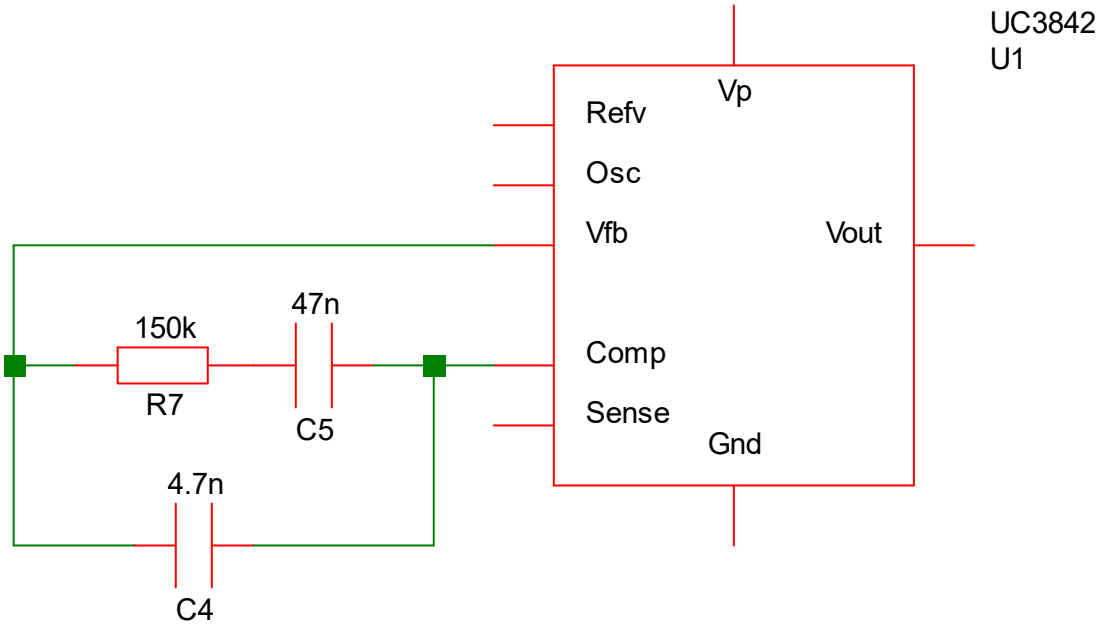
PWM 控制芯片采用UC3842，分析控制芯片如何主电路相连接，部分参数的设计。

二、 UC3842外围电路的分析

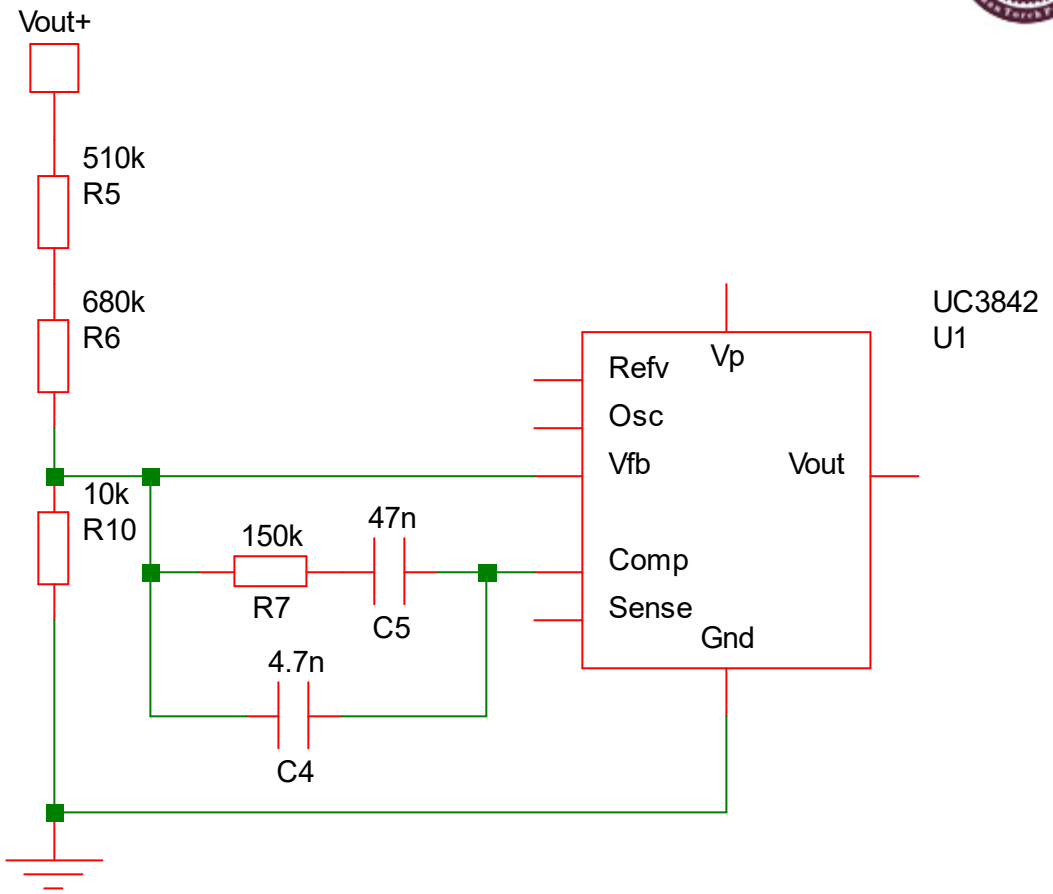


（1）Comp---误差放大器的输出，在与Pin2之间连接补偿网络，如下图所示：

按照工程经验：两个电容的值是10倍的关系



（2）VFB---输出电压反馈，通过电阻分压器连接到输出端，如下图所示：



$$\frac{V_o}{V_{fb}}=\frac{R_5+R_6+R_{10}}{R_{10}}=\frac{300}{2.5}=120$$ 取R_{10}=10K，则R_5=510K，R_6=680K

（3）Isense---电感电流检测

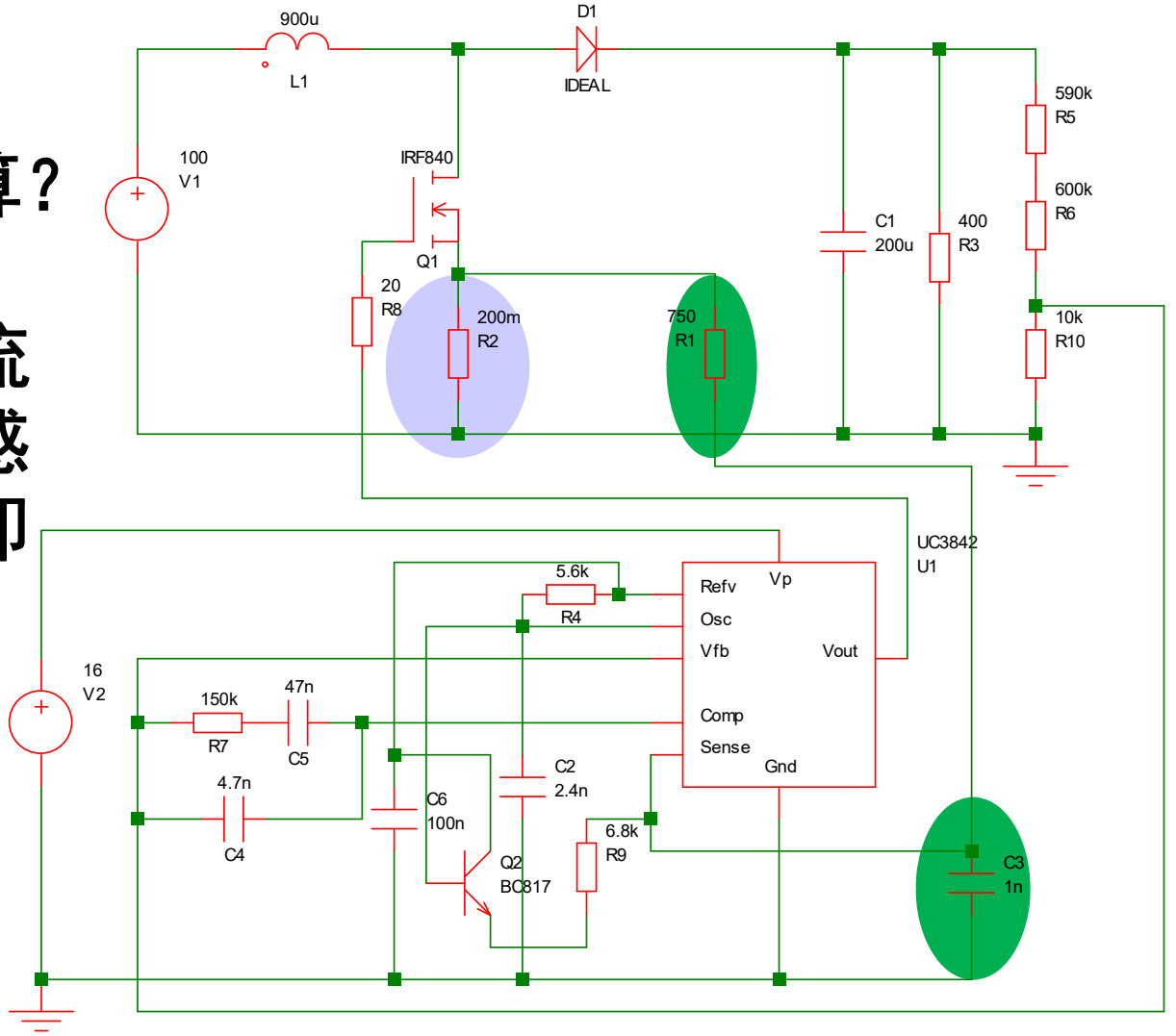
检测电感电流，一般通过串联一个电阻，把电流信号转变为电压信号；通过电流变压器来检测电流。本拓扑结构采用电阻检测电流如下图所示：

电阻R_2的值如何计算？

根据电感的峰值电流来计算，也就是电感中电流的最大值。即

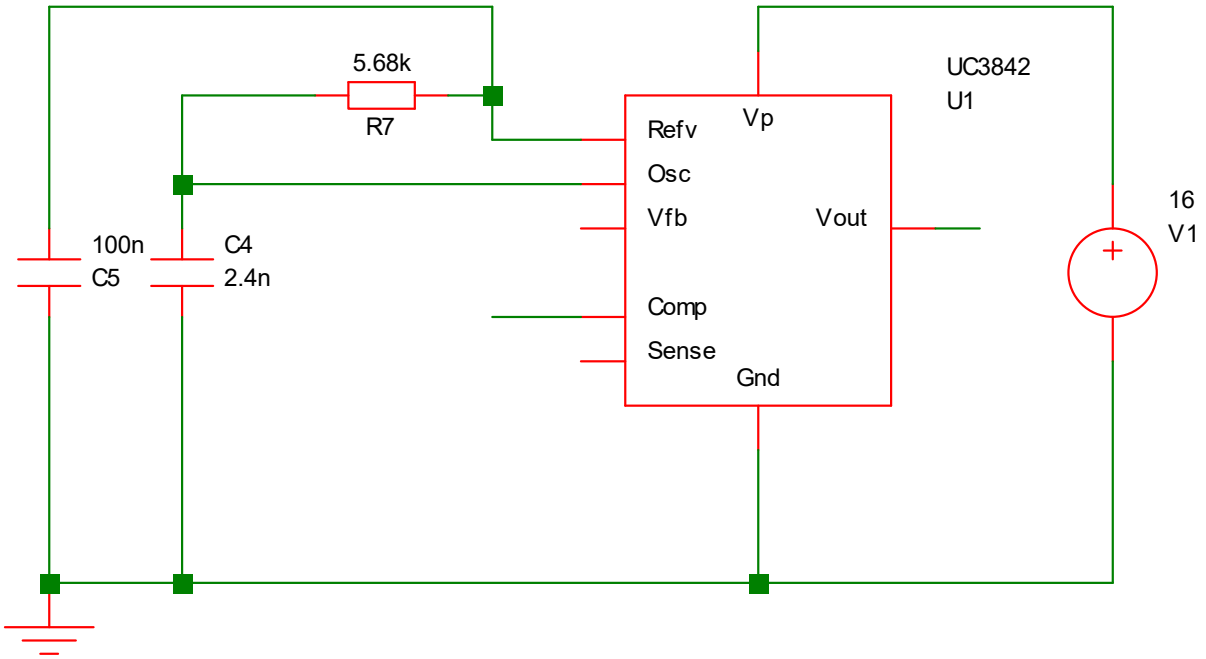
$$R_2 = \frac{1}{I_{L\,peak}}$$

实际R_2的值略小于计算值



（4）RT/CT---产生振荡频率

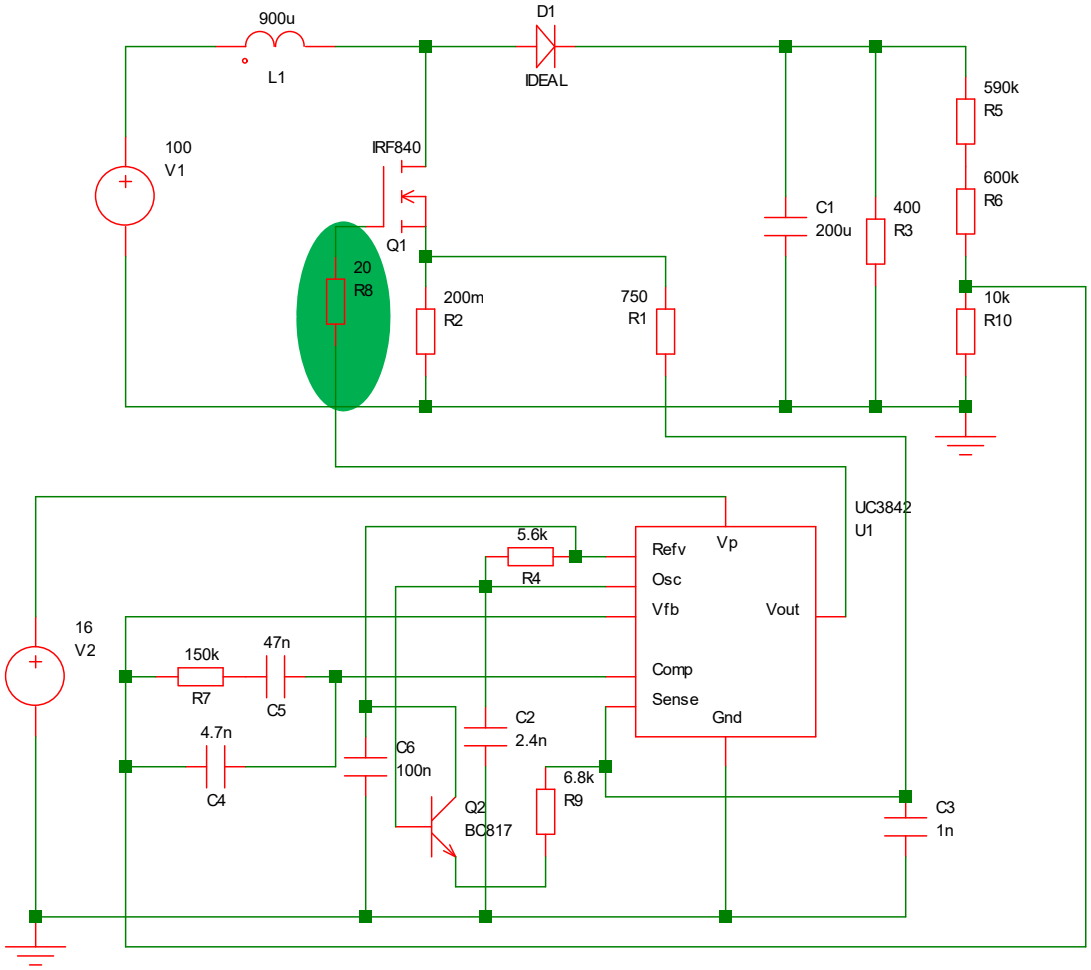
电路连接如下图所示：



Vref的输出通过电阻R_7给C_4充电和放电，pin4输出一个振荡三角波

（6）output---PWM波的输出

输出PWM波去控制MOS管的导通与关断，一般通过一个电阻连接到MOS管的门极。对于Boost变换器，源极直接接地。可以采用直接驱动，连接电路如下图所示：



（7）Vcc---芯片的工作电压

启动电压和正常工作电压

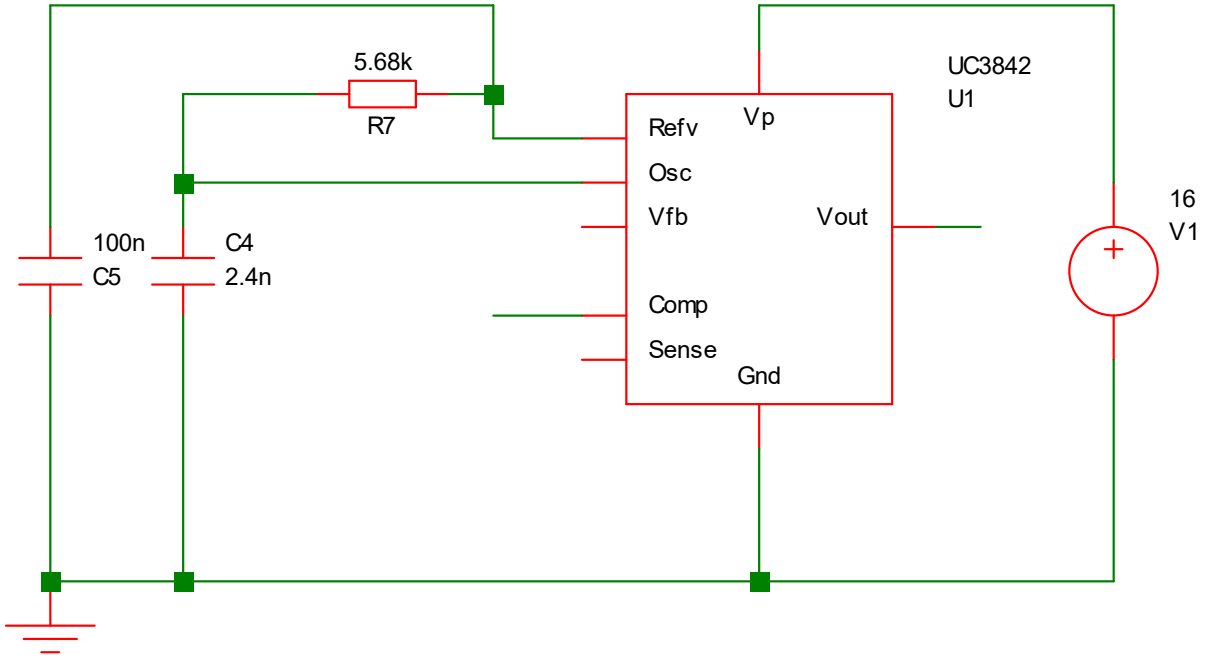
对于UC3842而言，启动：16V/0.3mA；正常工作：12V/12mA

UC3842工作时，也相当于是一个负载，需要消耗功率：

启动时，16*0.3=4.8mW；正常工作时，12*12=144mW。

需要不同电路分别提供启动时和正常工作时需要的功率：

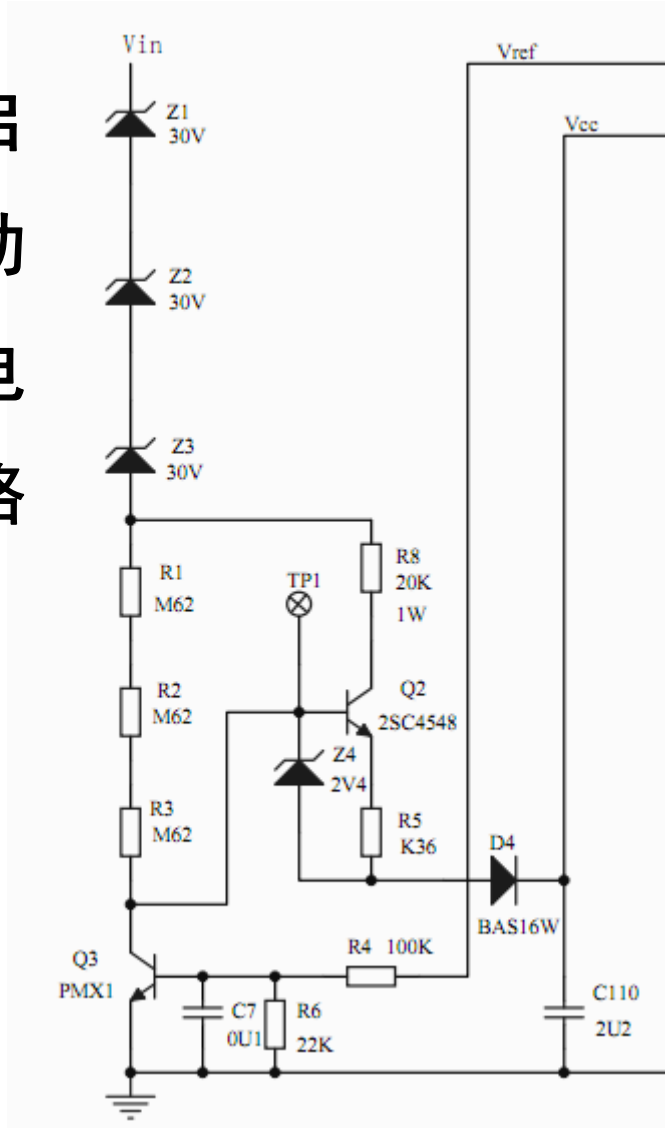
做实验或仿真时，可以直接接一个16V的电源。



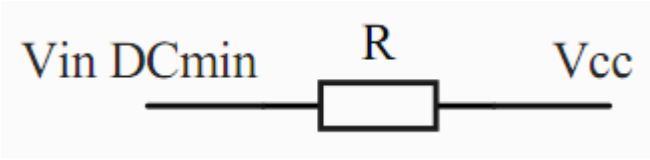
（7）Vcc---芯片的工作电压

对于UC3842而言，启动：16V/0.3mA；正常工作：12V/12mA

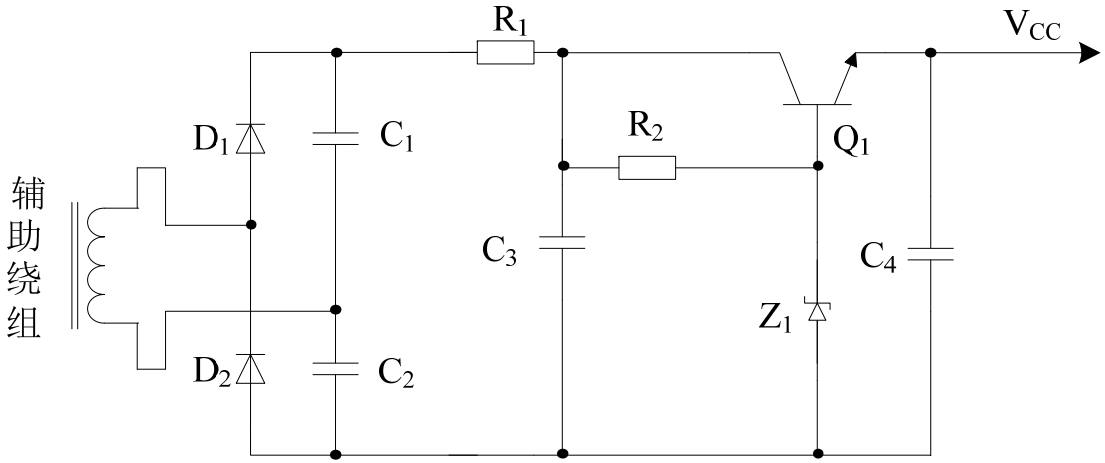
启动电路



最简单的启动电路



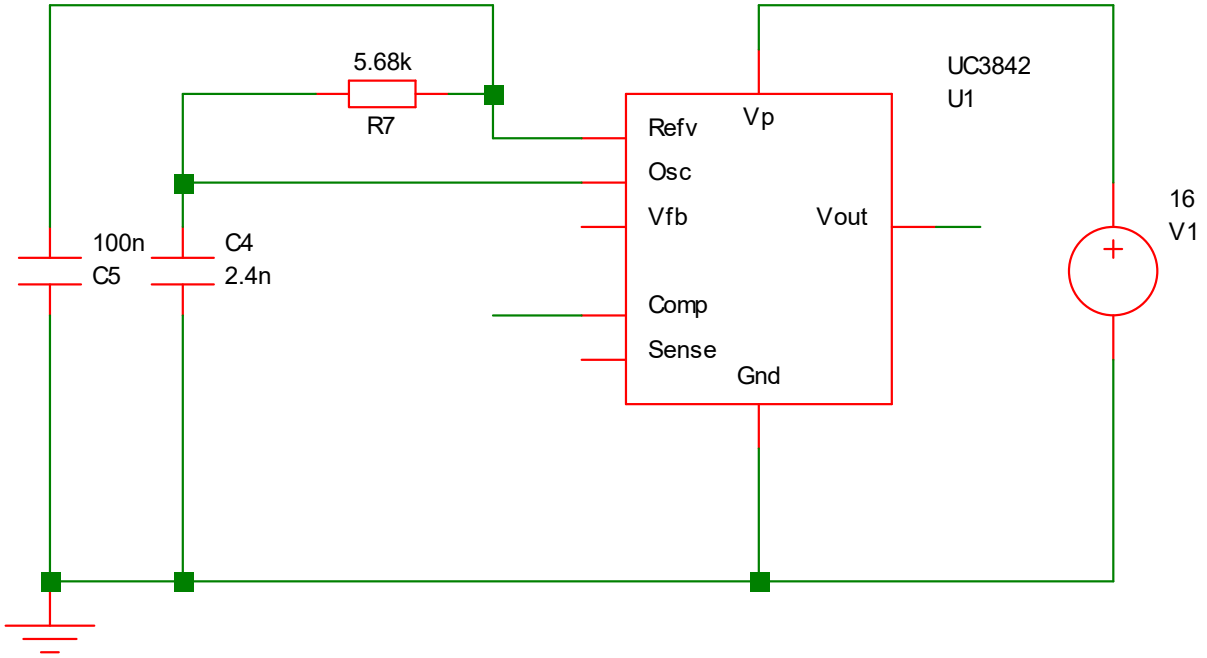
电感的辅助绕组提供正常工作Vcc。



在课程后续学习中，还可利用变压器的辅助绕组提供Vcc。

（8）Vref---5V基准电压的输出（5V/50mA）

通过R7给C4提供充电电流，如下图所示：



（9）输出滤波电感L1的选择

电感工作于连续电流模式下，电感值要满足以下关系式：

$$L_1 \geq \frac{V_{\text{in}} D f_s}{\Delta I} = \frac{V_{\text{in}} D}{2 K f_s I_o}$$

式中 ΔI——电感纹波电流；

K——电感电流纹波系数，$K=\Delta I/(2I_o)$

一般来说，电感电流平均值为输出电流值，其纹波电流峰-峰值被设定为输出电流峰值的20%。因此，纹波电流ΔI为1A。

（10）输出滤波电容C1的选择

选择输出电容时，要考虑两个因素：1）输出电压的纹波；2）维持时间t_{holdup}。

输出电容纹波电压由两个因素决定:①由C1的等效串联电阻ESR，与纹波电流分量成正比；②由输出电容决定的纹波分量与流过C1电流的积分成正比。一般情况下，主要考虑ESR引起的纹波分量，为估算纹波分量并选择电容，必须要知道ESR的值，而电容厂家很少直接给出该值。不同电压等级不同容值的常用铝电解电容，其ESR×C1的值近似为常数，为（50~80）×10^{-6} F。

（10）输出滤波电容C1的选择

假设纹波电压峰-峰值为0.24V。则0.12=ΔI×ESR，则ESR=0.24Ω。若$ESRC_1=50\times10^{-6}F$，则$C_1=50\times10^{-6}/0.24\approx208\mu F$

当Vin=100V时，占空比D=1-Vin/Vo=1-100/300=0.67

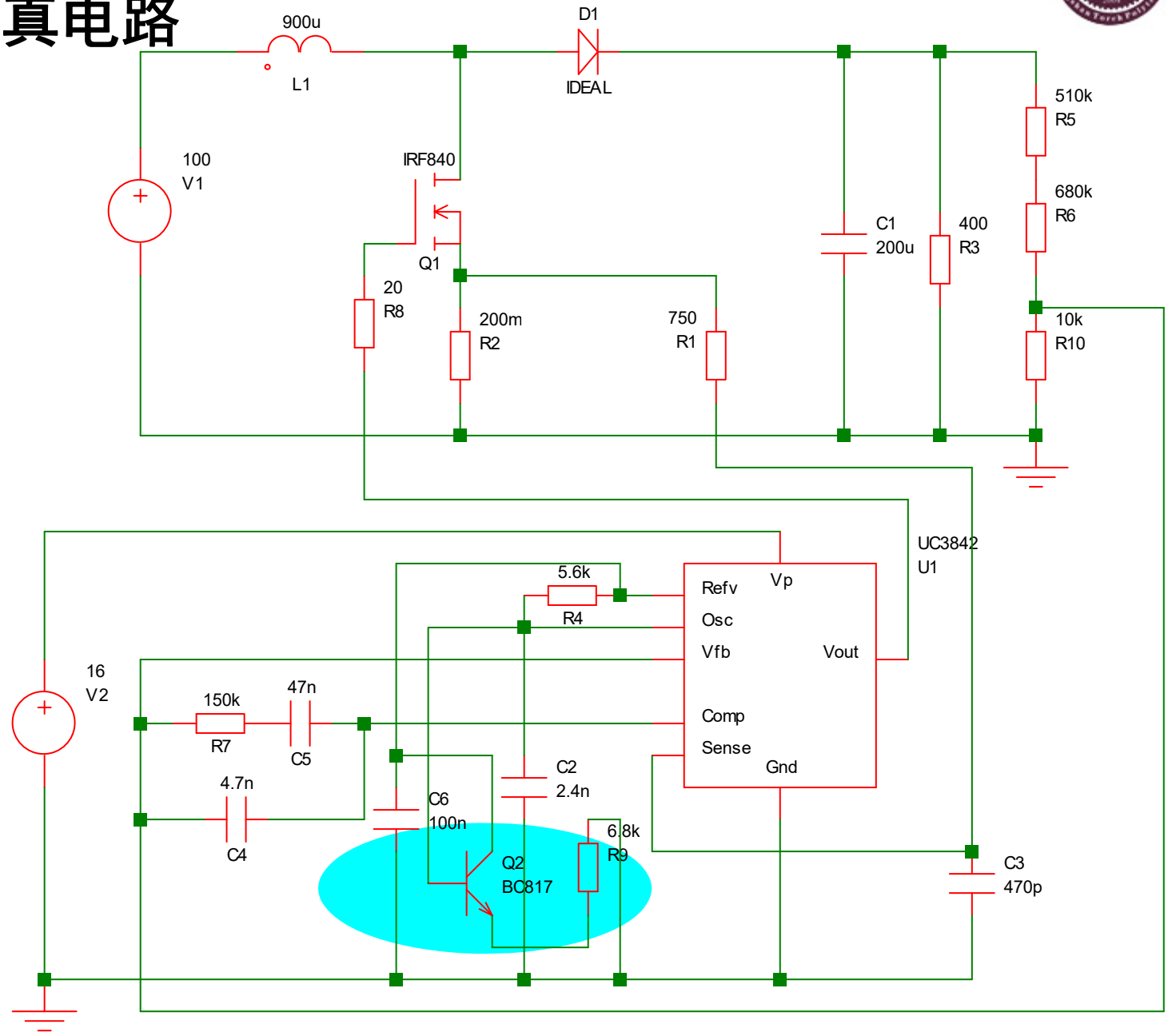
当D=0.67>0.5，电路工作时会有什么问题？怎么解决？

次谐波振荡，加斜坡补偿电路。电路图如仿真电路。

任务四 电路的仿真、制作、调试和测试

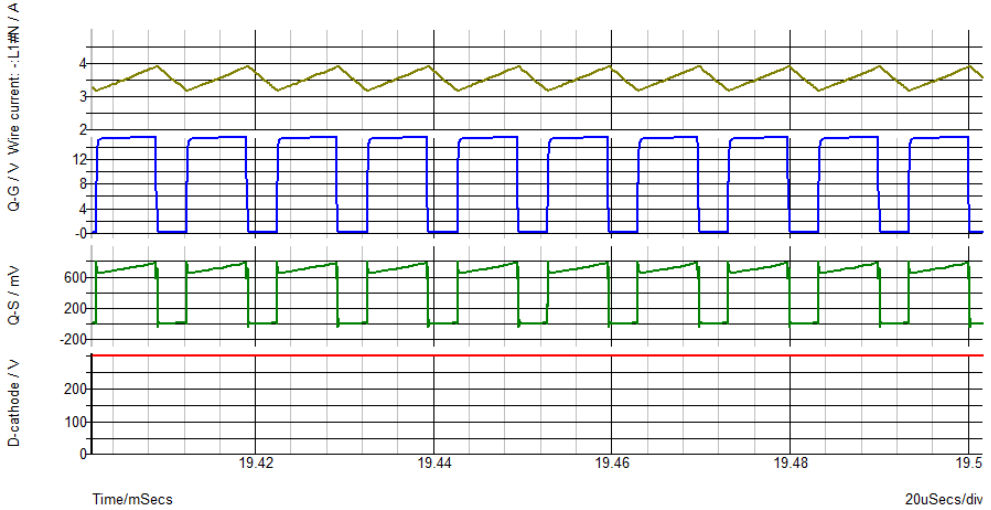
（1） 仿真电路

仿真电路

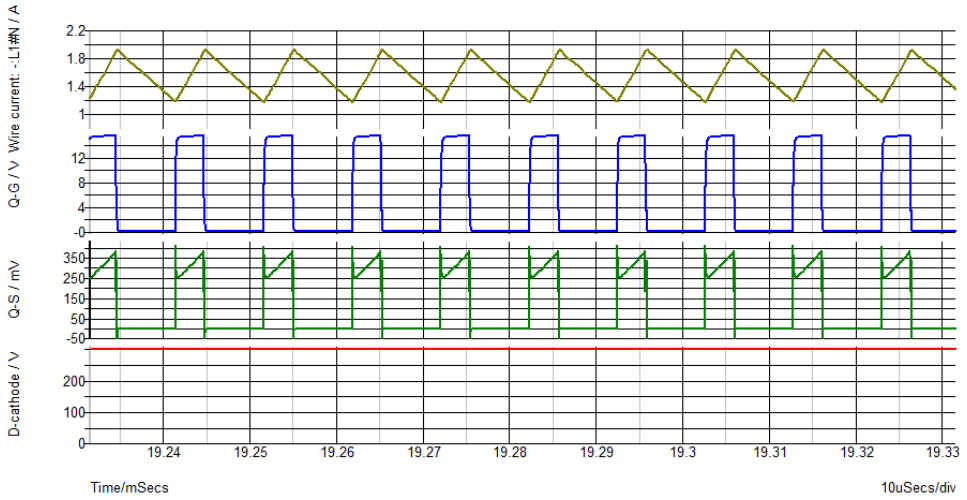


（2） 仿真结果分析

当Vin=100V时，D=0.67>0.5，输出电压的稳定性？



（a）V_{in}=100V，R_L=300Ω的仿真结果



（b）V_{in}=200V，R_L=300Ω的仿真结果

（3）电路的制作

万能板和PCB板做实验时，放置元器件的要求：

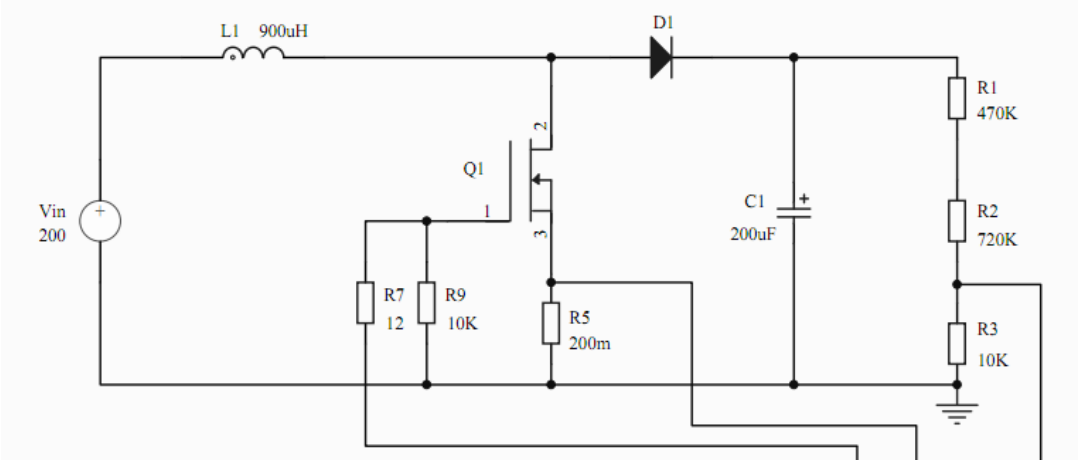
（1）对于PCB板来说，元器件的位置和封装已固定，一般先放小的（电阻，电容，二极管等），再放大的器件（功率MOS管，整流桥，变压器等）。

(2）对于万能板来说，根据电路图和板的大小来布局元器件和布线。先确定输入和输出的位置，再放功率电路中的元器件（MOS管，二极管，电感或变压器和输出滤波电容等）和控制芯片，再放小的器件（电阻和电容），放元器件也要考虑布线方便和电路其它的要求。

（4）电路的调试和测试

（一） 调试电路

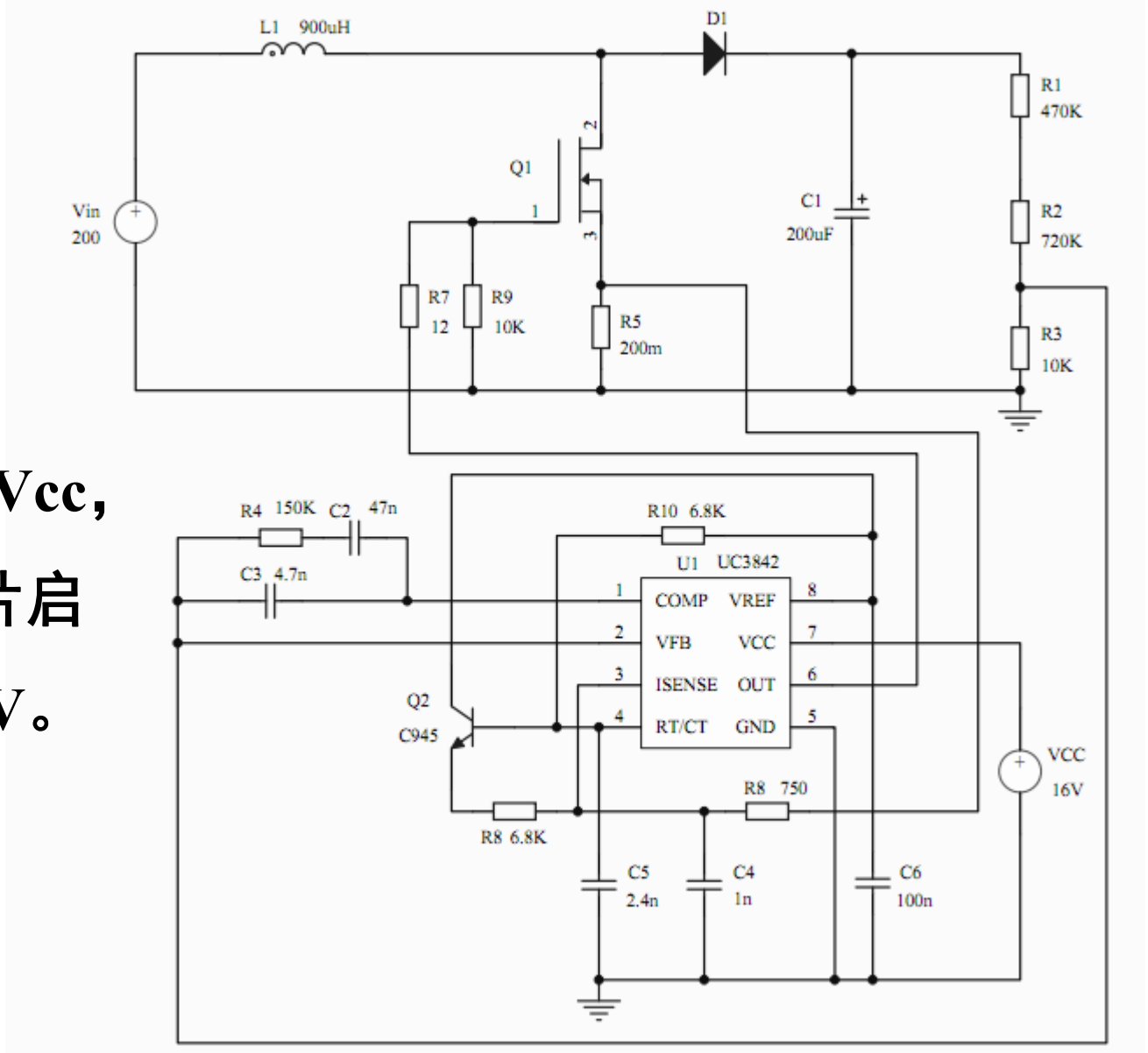
1）调试功率电路，即Boost变换器。



输入端加10±1V，测试输出端9.3±1V 。

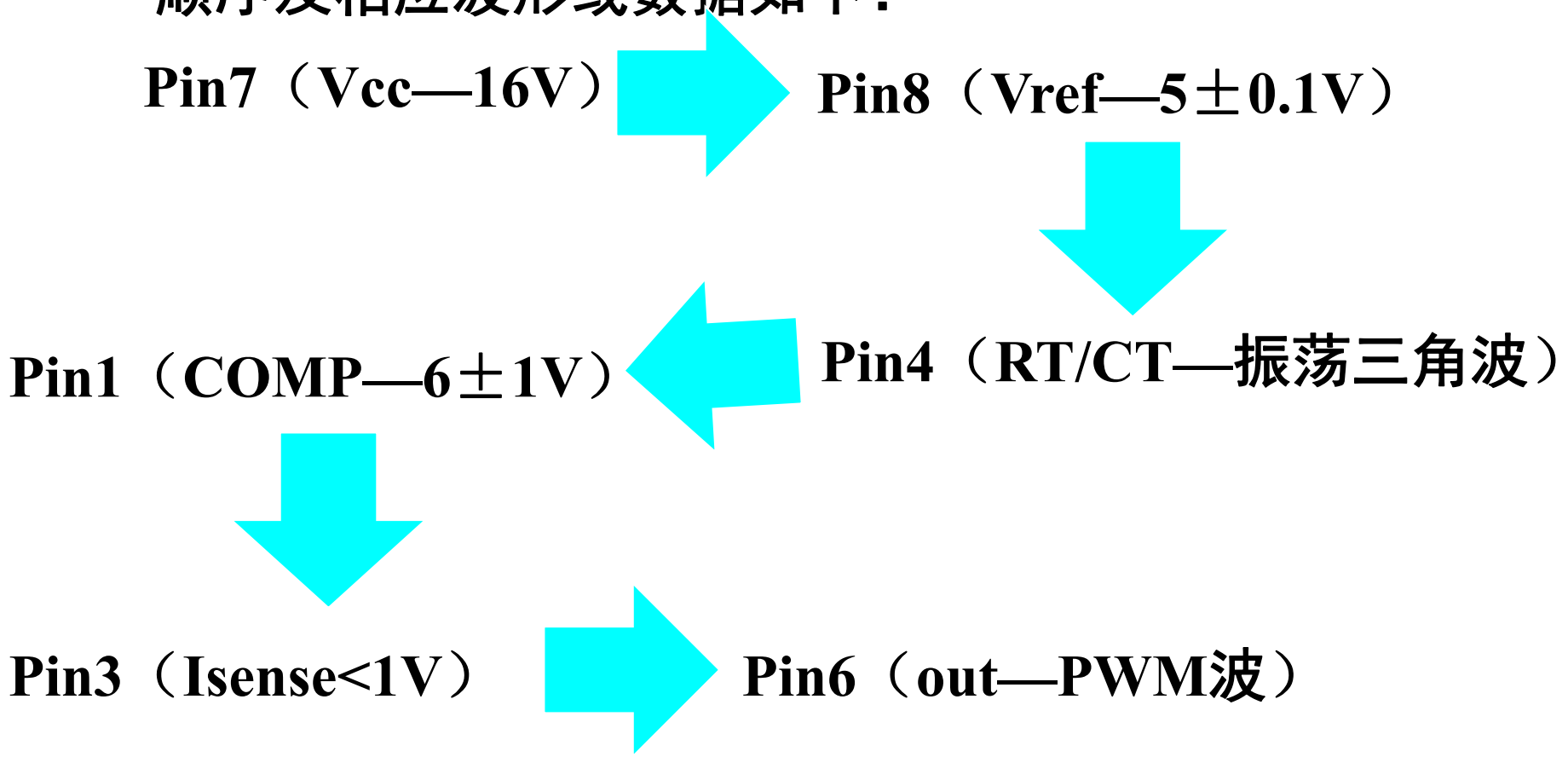
2）调试控制电路，即UC3842构成的控制电路。

如右图，外接Vcc，调到16V，芯片启动后再调到12V。



1）调试控制电路

控制电路的调试时，测试芯片引脚先后顺序及相应波形或数据如下：



若某一引脚的电压或波形不对，首先查找与这一引脚相关的电路。

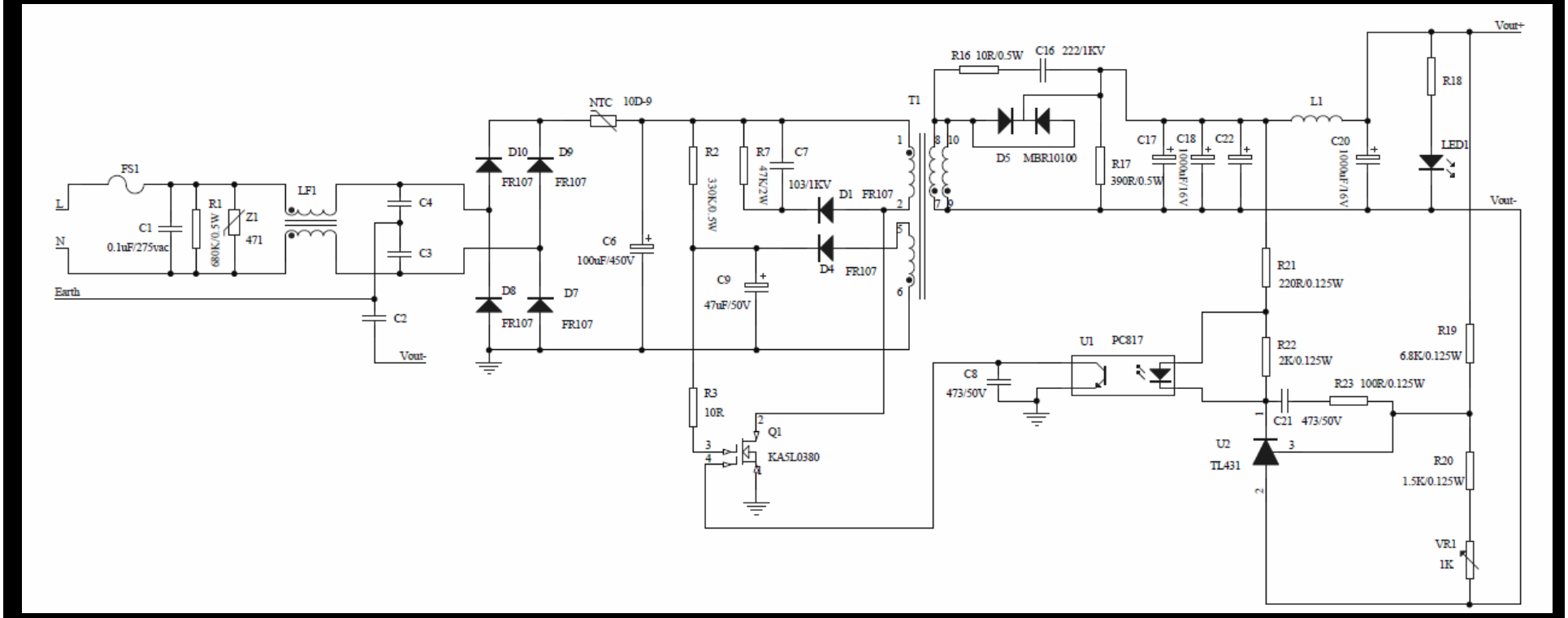
（二） 测试电路

测试电路的性能指标：输出电压的调整率、效率、输出电压纹波、输出电流纹波、输出电压上升时间、维持时间等。

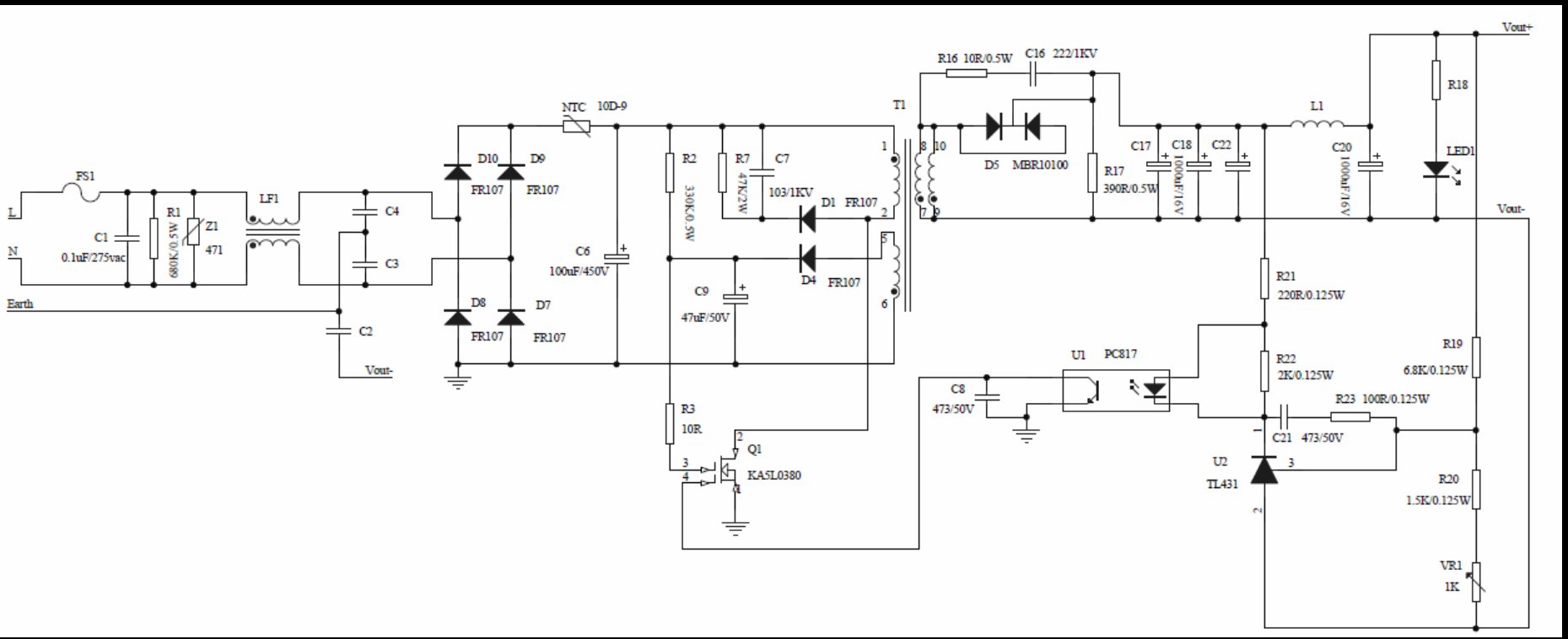
测试电路时注意事项：

按照测试的要求来做，准备好相关仪器设备，如交流电源、电子负载、示波器、功率表和万用表等。按照测试电路连接好被电源和设备，尤其是输出端的+/-不能接反了。

学习情境二　反激式电源电路的分析



反激式电源电路



学习的知识点和要掌握的技能：

1. 反激式变换器的分析　2. 电路工作原理的分析

3. 部分电路参数的设计，尤其是变压器的分析及制作

4. 电路的制作、调试和测试

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

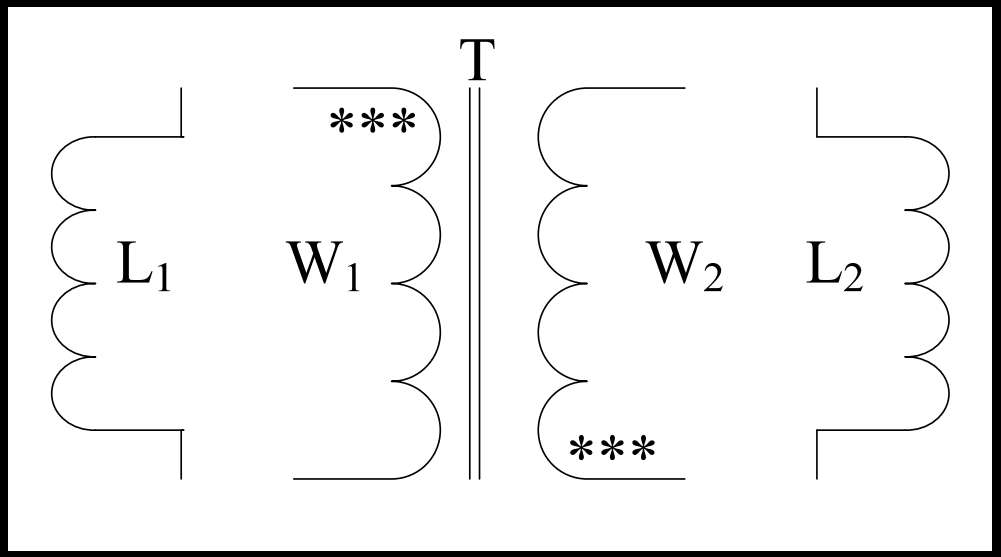
任务四　电路的制作、调试和测试

MOS管、电源输入级电路的分析已讲述过。

任务一 反激式变换器的介绍

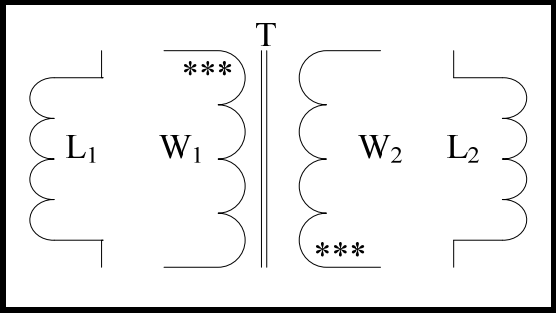
1. 变压器的介绍

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



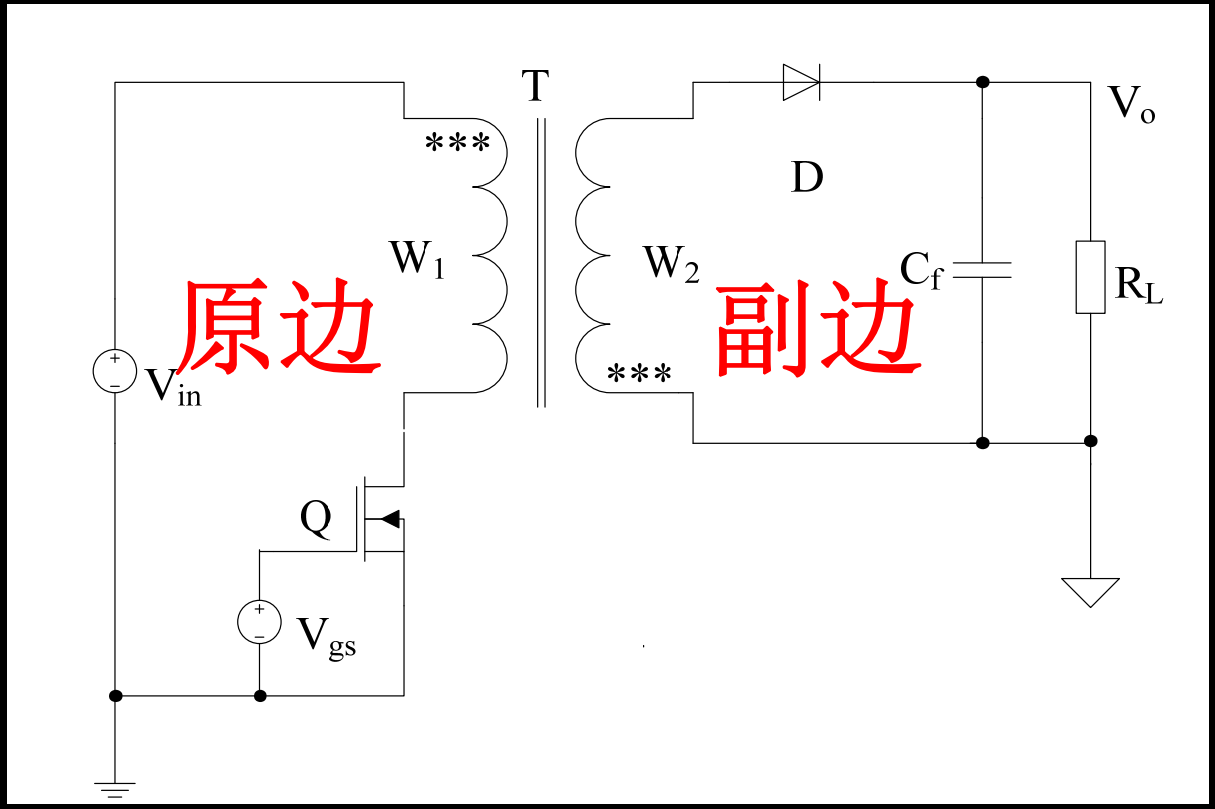
副边开路测量原边电感得到原边电感值或励磁电感值；

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

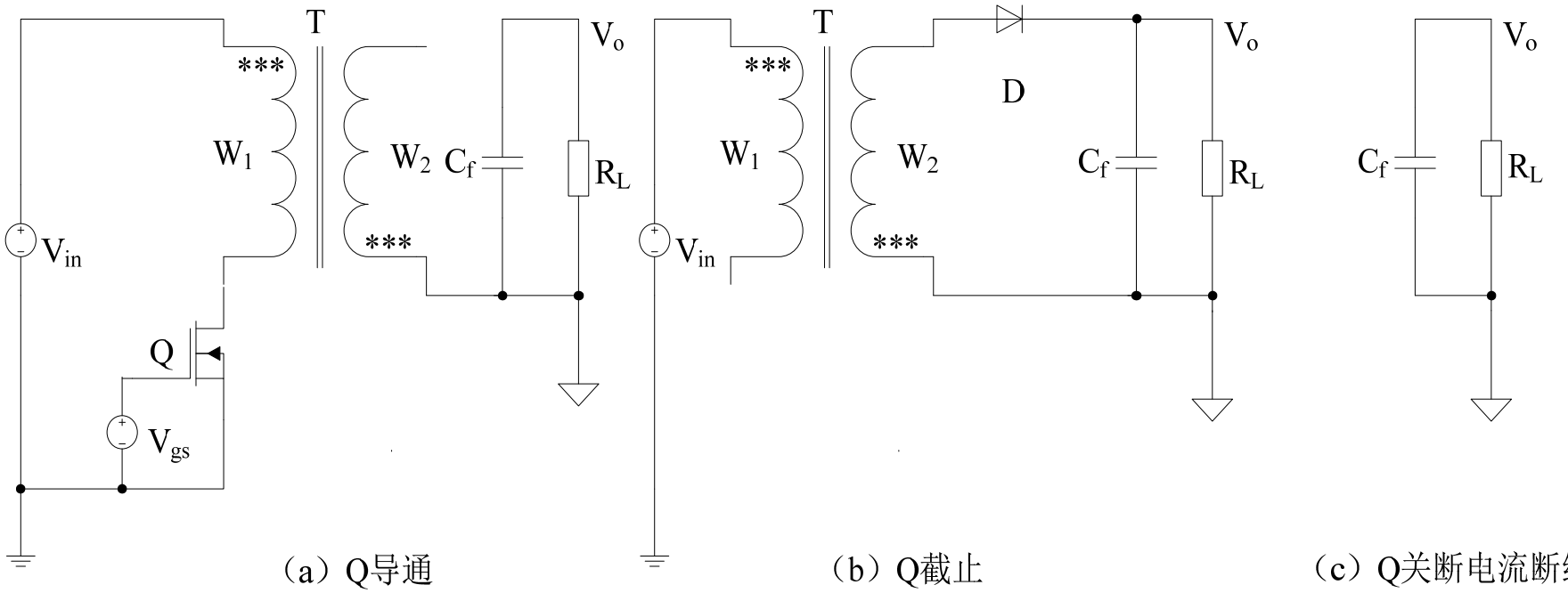


图中绕组符号标有“***”号的一端，表示变压器各绕组的同名端，也就是该绕组的始端。

Flyback变换器由于电路简洁，所用元器件少，适合多路输出。

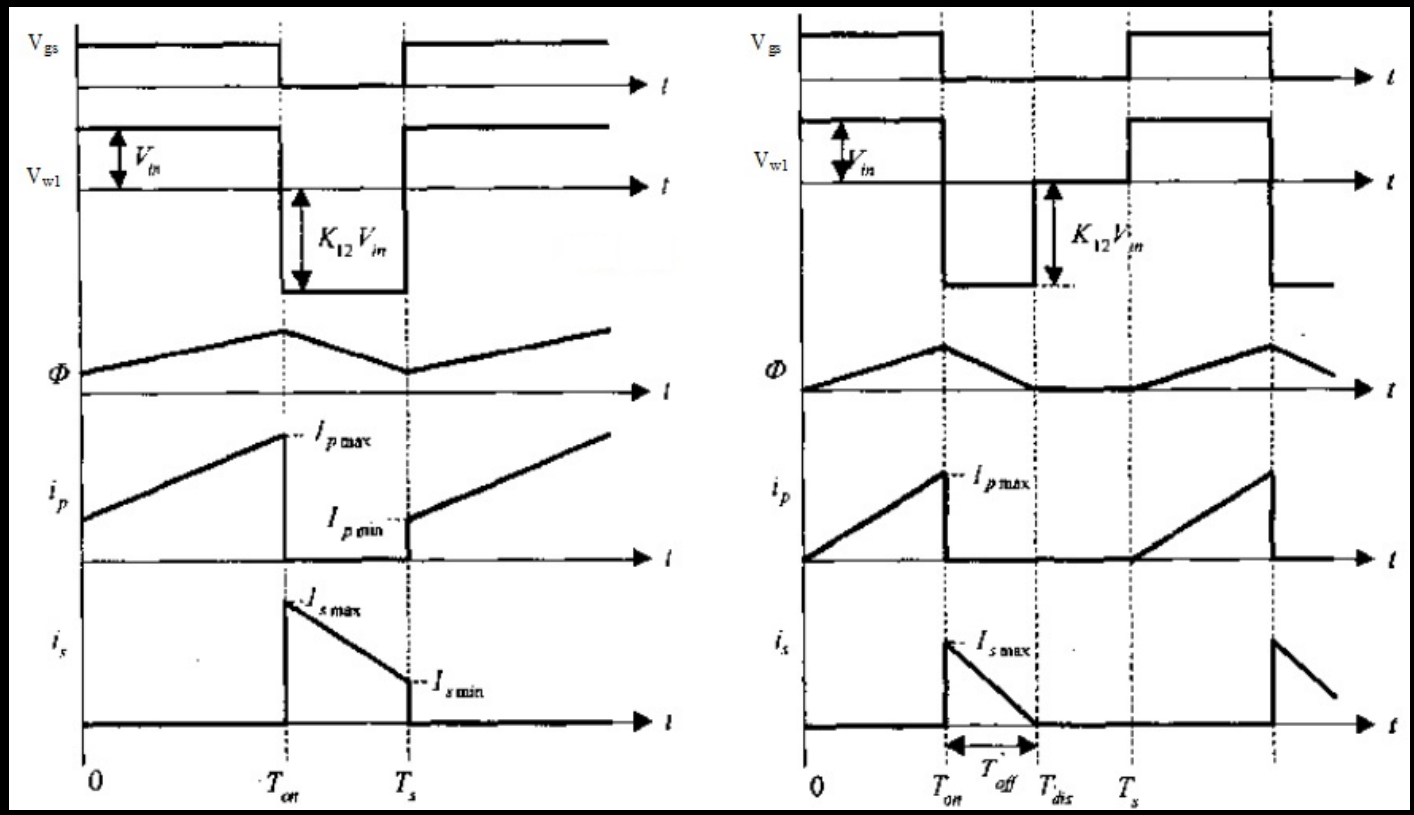
3. 等效电路的分析

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态下的等效电路图。



（a）Q导通　（b）Q截止　（c）Q关断电流断续

4. 反激变换器的工作原理分析



理论波形

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，Vin通过Q1 加在原边绕组W1上，因此，铁芯磁化，铁芯磁通Ø增加：W1*dØ/dt=Vin。副边绕组W2上的感应电压为：Vw2=-W2/W1*Vin，其极性为“***”端为“+”，使二极管D1截止，负载电流由滤波电容Cf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L1。

在t=Ton时，铁芯磁通Ø的增加量为Vin/W1*D*Ts。

2. 模态2 [对应于图 (b)]

在Ton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L2。

在此过程中，变压器磁芯被去磁，其磁通Ø也线性减小。磁通Ø的减小量为：Vo/W2*(1-D)Ts。

5. 基本关系式

稳态工作时，Q1导通期间磁通Ø增长量等于它在截止期间磁通Ø的减小量。即：

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

则

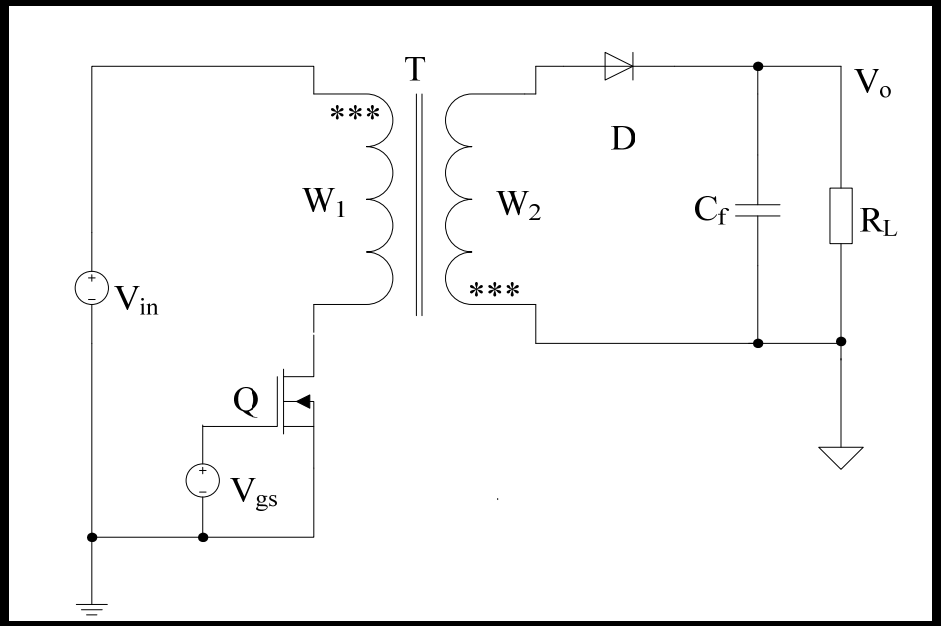
$$V_o = \frac{V_{in}}{N}\frac{D}{1-D}$$

MOS管Q截止时所承受的电压为Vin和W1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Io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:

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

最小输入电压Vinmin对应最大占空比Dmax:

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

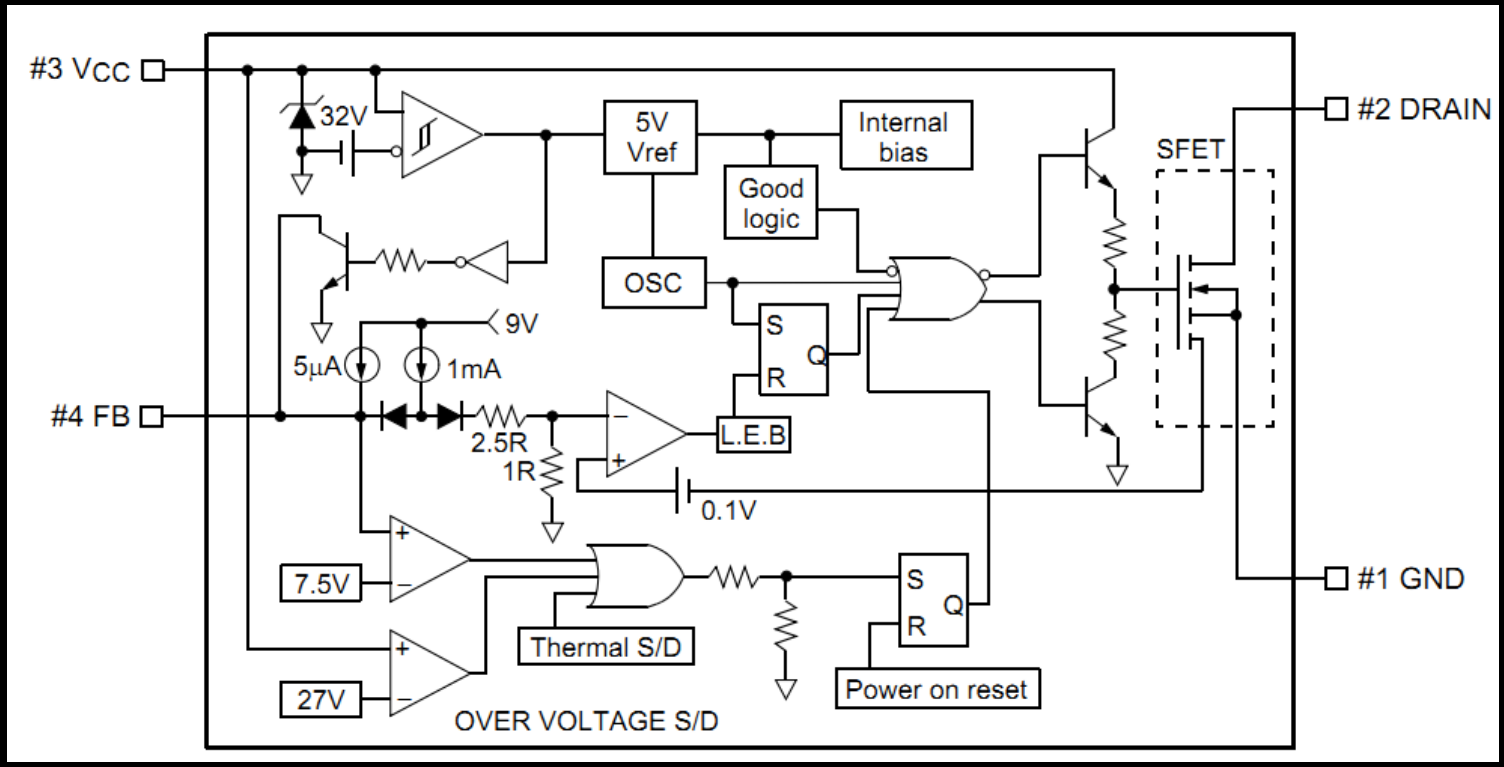
飞兆功率开关—FPS序列产品：KA5H0365R，KA5M0365R，KA5L0365R，KA5H0380R，KA5M0380R，KA5L0380R

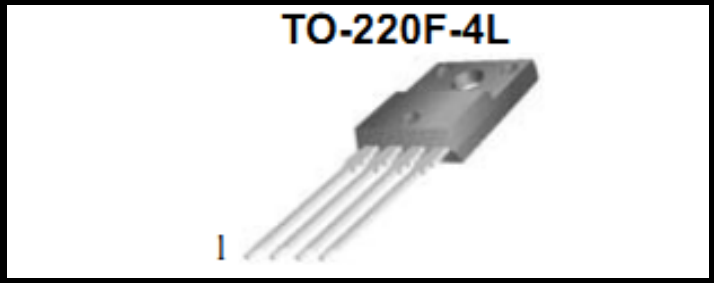
特征：

·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





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

描述：

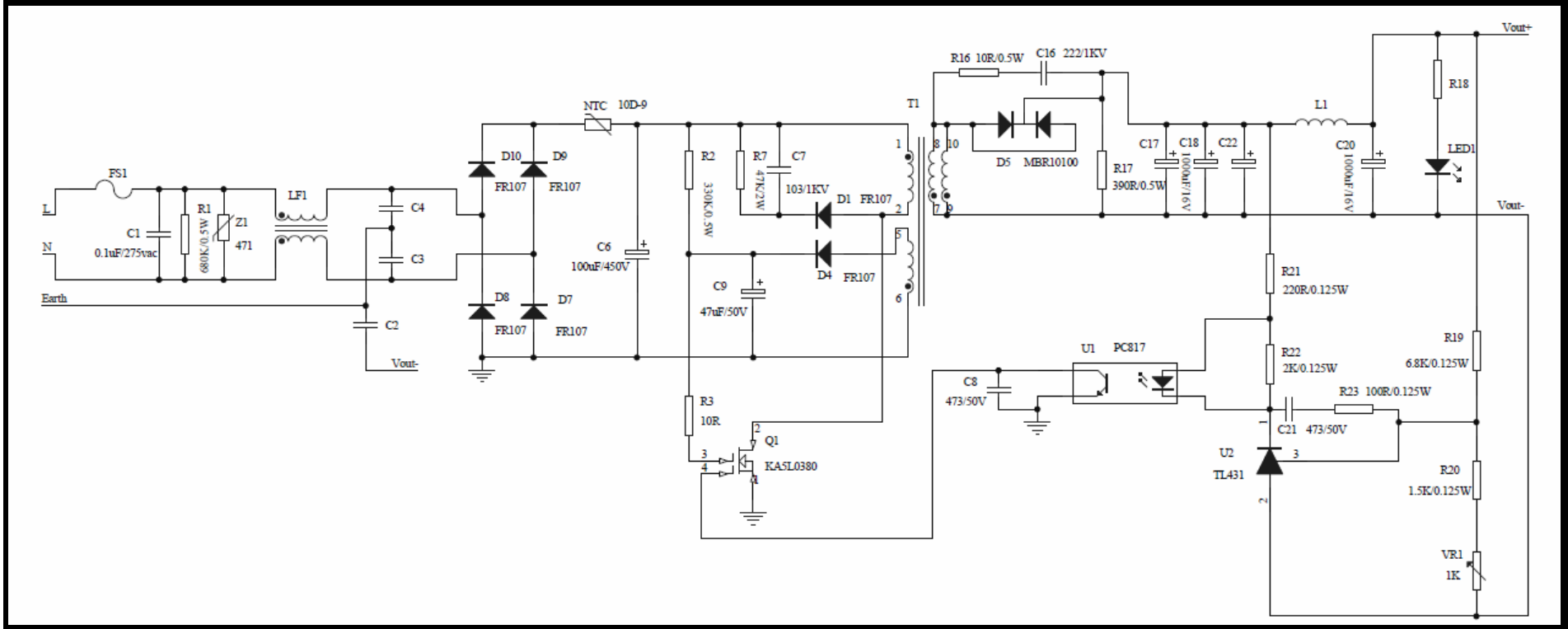
飞兆功率开关系列产品专门为离线式开关电源设计，只需要很少的外围元器件。飞兆功率开关（FPS）集成高压MOS管和电流模式的PWM 控制器，包括固定频率振荡器、欠压锁定、优化的门极驱动器、热关断保护，过压保护。与分立的MOSFET和PWM控制器或RCC方法相比，FPS方法能减少总的元件数目，电源尺寸和重量，同时增加效率和系统可靠性。它非常适合应用于反激或正激变换器中。

最大额定值（环境温度25℃，除非特别说明）

参数	符号	值	单位
KA5H0380R，KA5M0380R，KA5L0380R			
漏—门极电压（Rgs=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℃）	I_D	3.0	A_{DC}
连续漏极电流（T_C=100℃）	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/℃
工作结温	T_J	+160	℃
工作环境温度	T_A	-25-+85	℃
存储温度范围	T_{STG}	-55-+150	℃

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

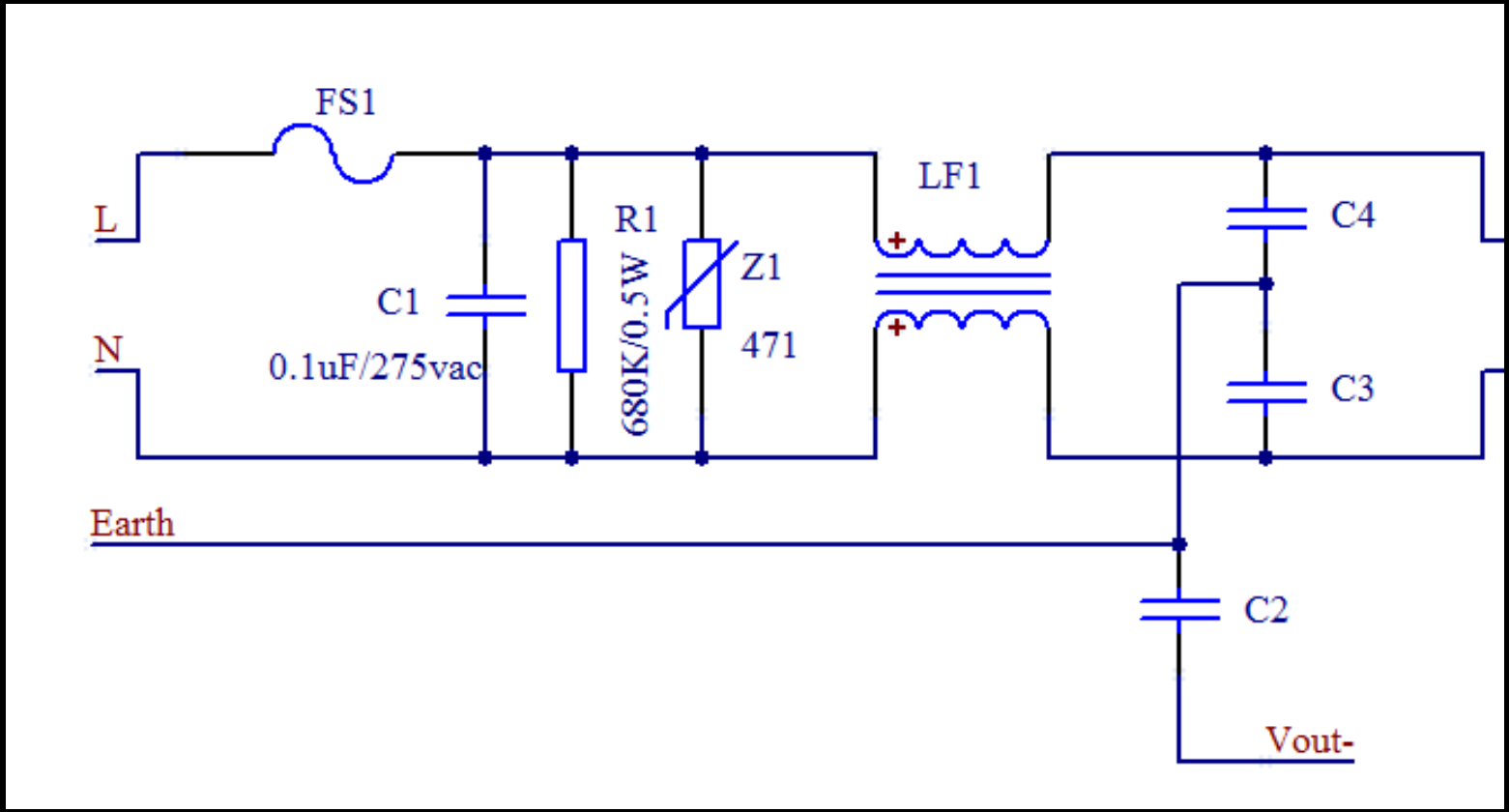
1. 电路工作原理分析

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

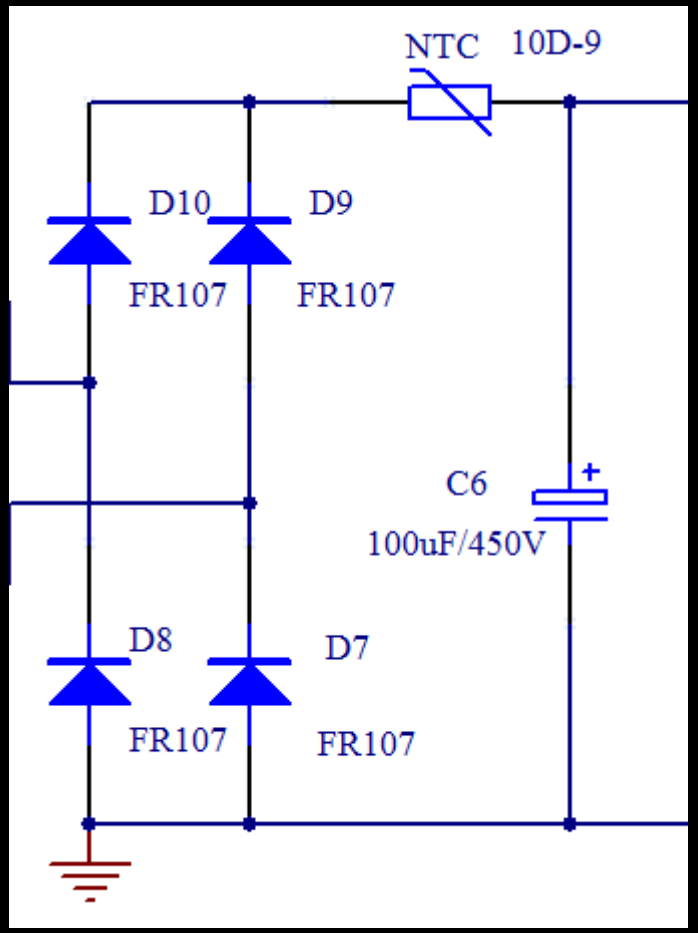


EMI电路

1. 电路工作原理分析

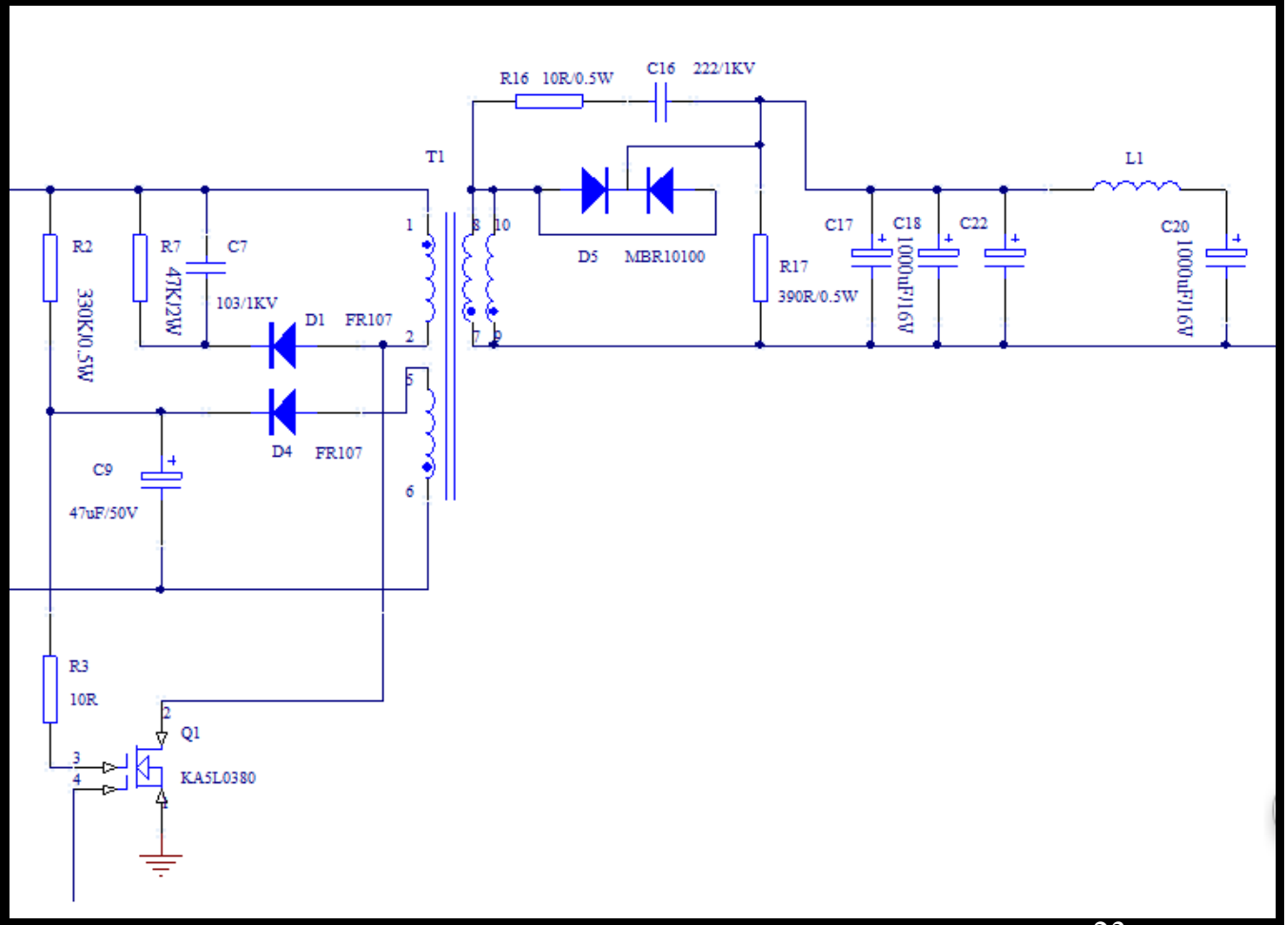
整流储能电路，其中NTC

抑制浪涌电流。



1. 电路工作原理分析

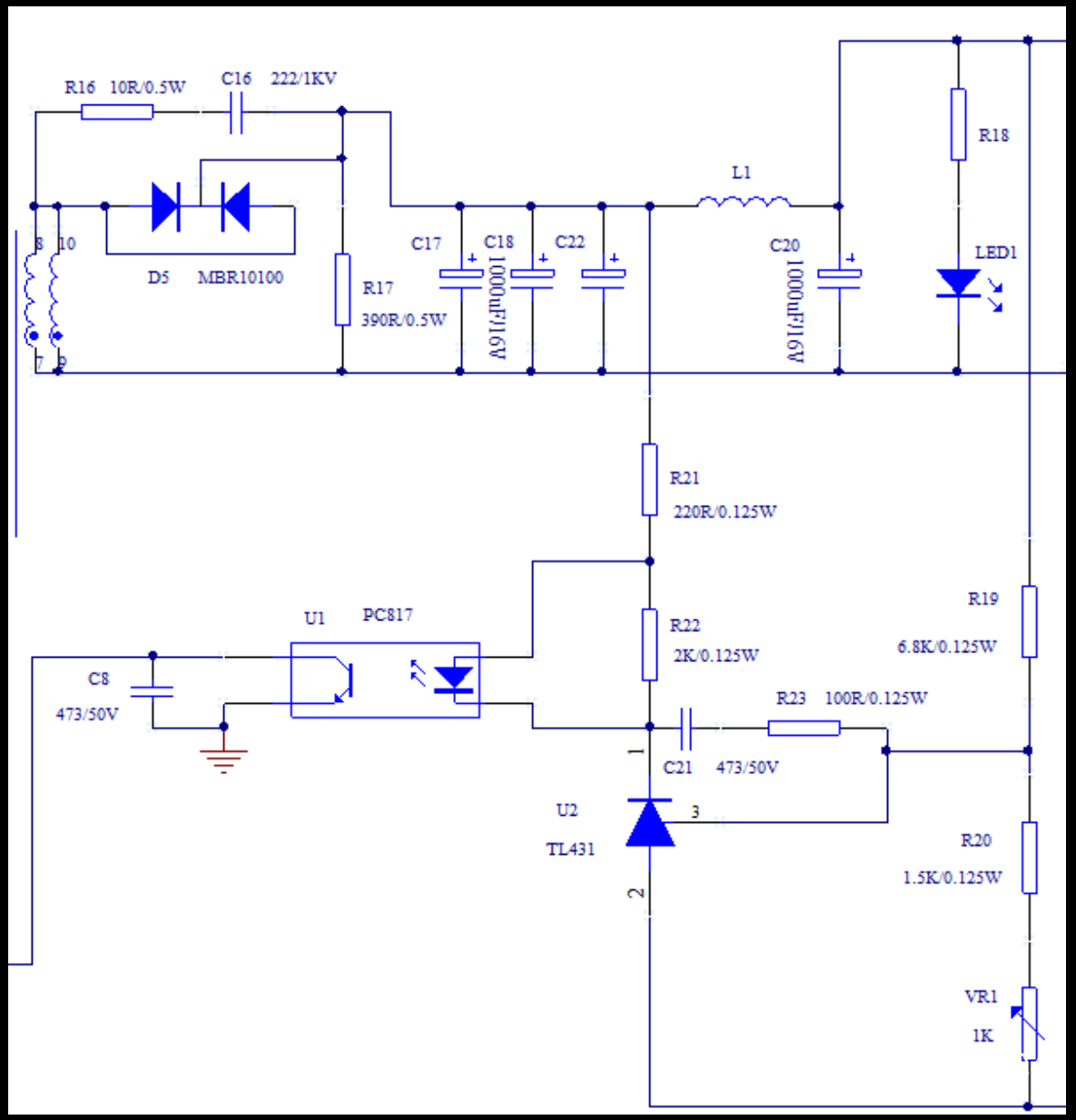
反激和输出整流滤波电路，其中D1、R7、C7构成吸收网络、R16、C16构成吸收网络，L1起平滑电流的作用，R17作为假负载。



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

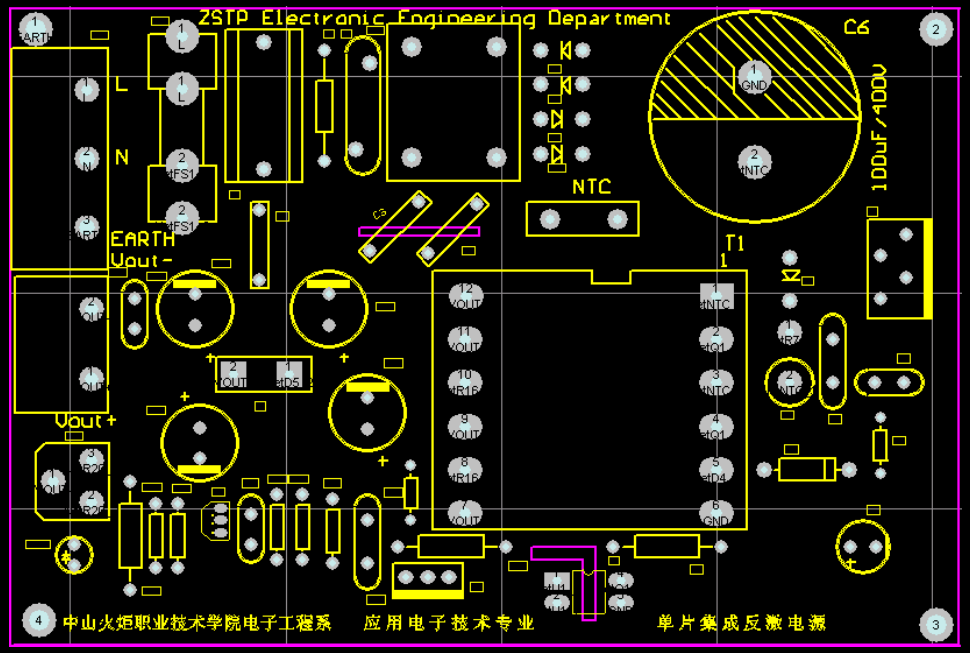
其它电路：变压器辅助绕组3、D_4和C_9给Q_1提

供工作电压，整流滤波电压V_{C6}通过R_2给Q_1提

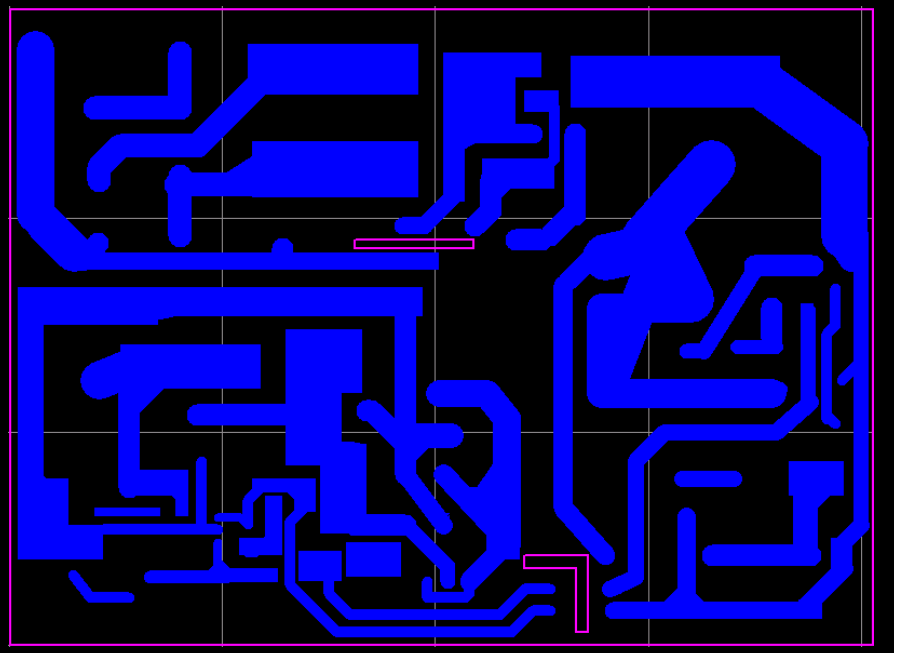
供启动电压。

任务四　电路的制作、调试和测试

1. 印刷电路板



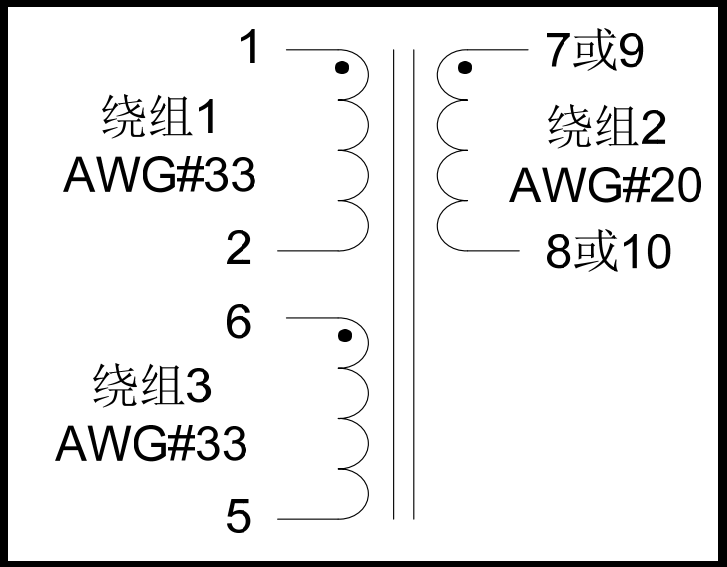
TOP层和丝印层
（元件面）



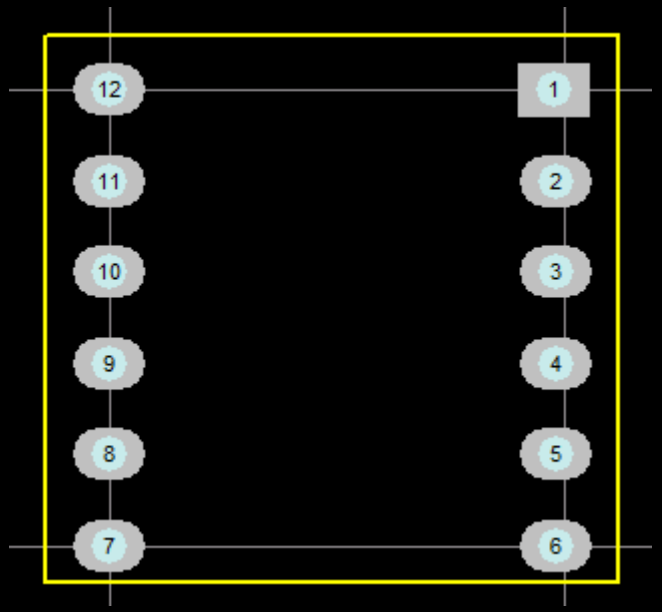
Bottom 层
（焊接面）

2. 反激变压器的制作

变压器引脚示意图

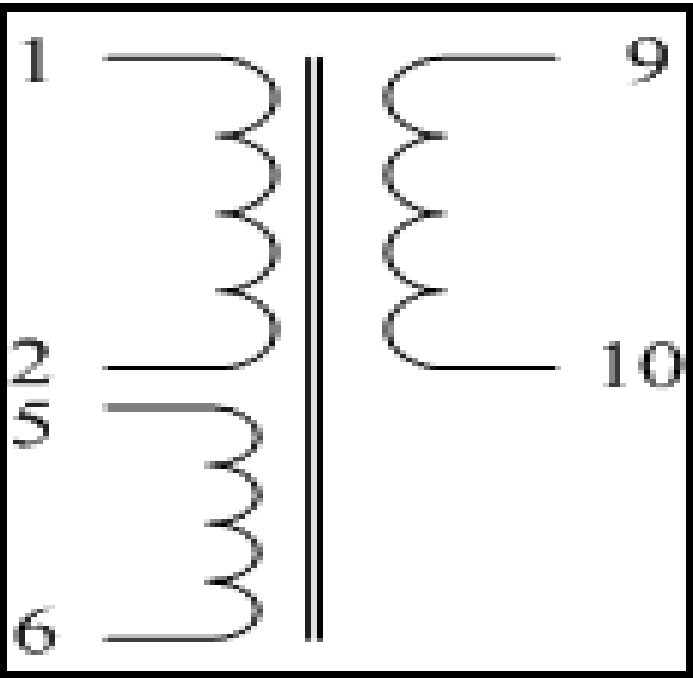


变压器引脚平面分布图



	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

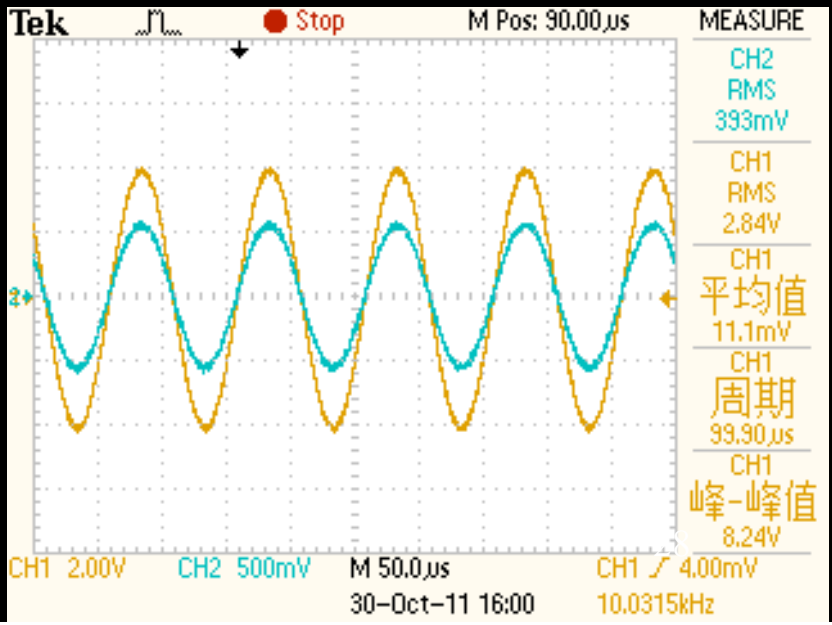


变压器同名端测试方法有两种：

（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

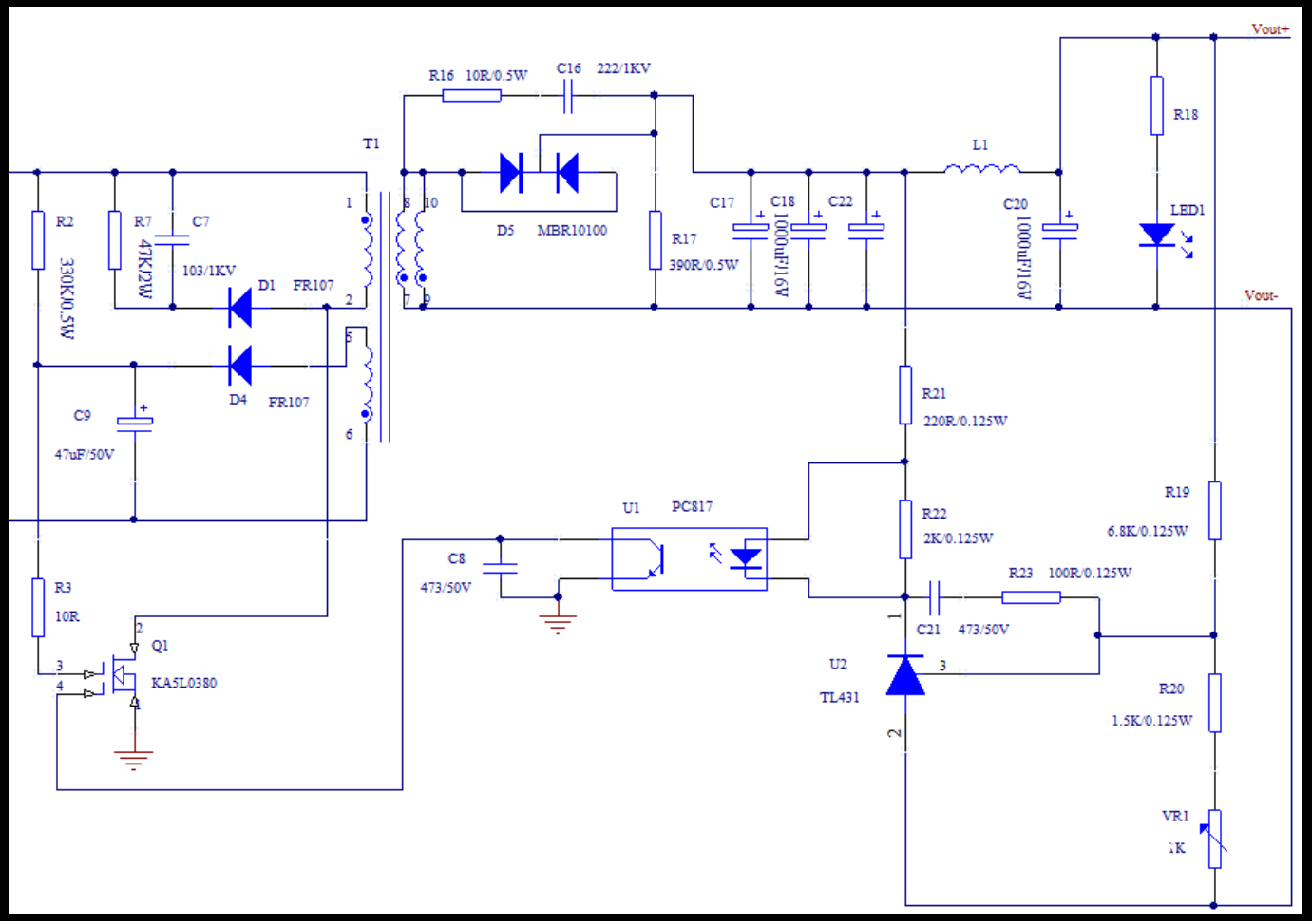
调试电路就是保证电路中每一部分电路是正常工作的，然后才能在输入端上电去测试。

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±0.1V；测量U2的pin1为2±0.1V，U1的pin1为3 .2±0.1V，把万用表调到二极管档位，测量C8两端，会发出响声。

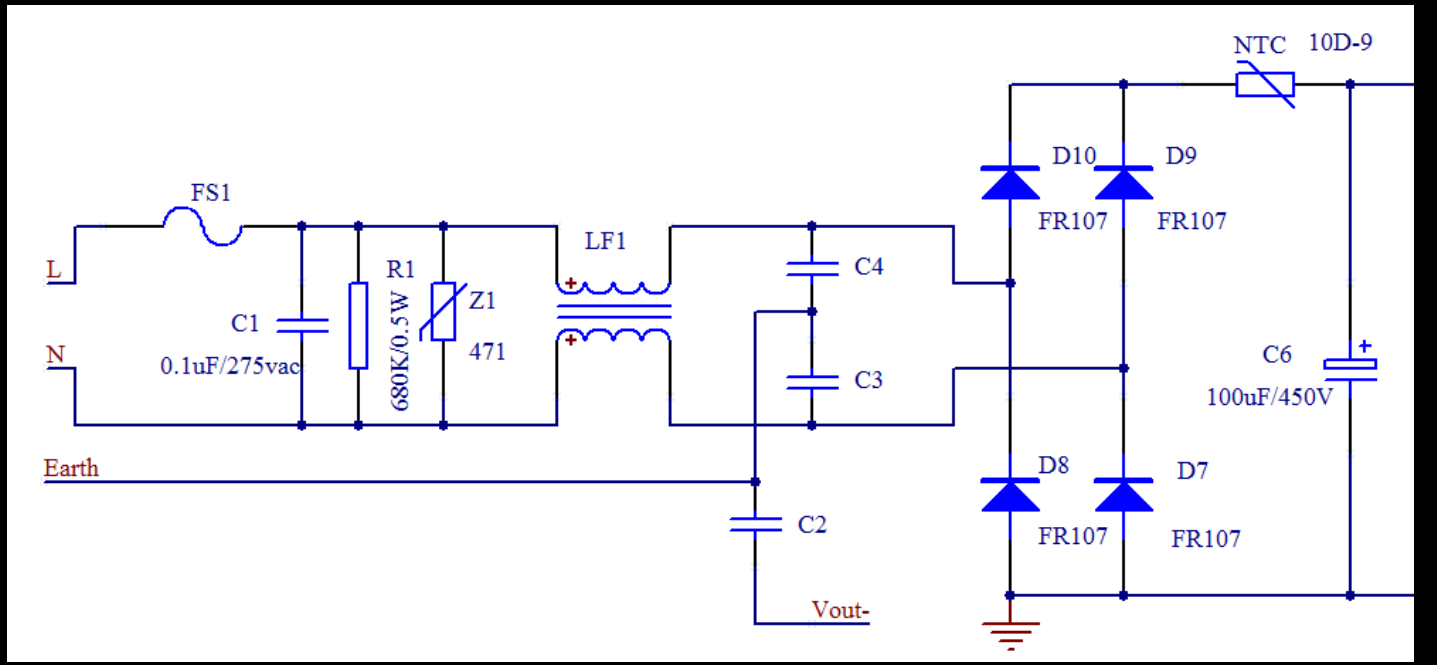


4. 反激电源的调试

（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C_6两端电压为：42±3V，如果C_6两端没有电压，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。

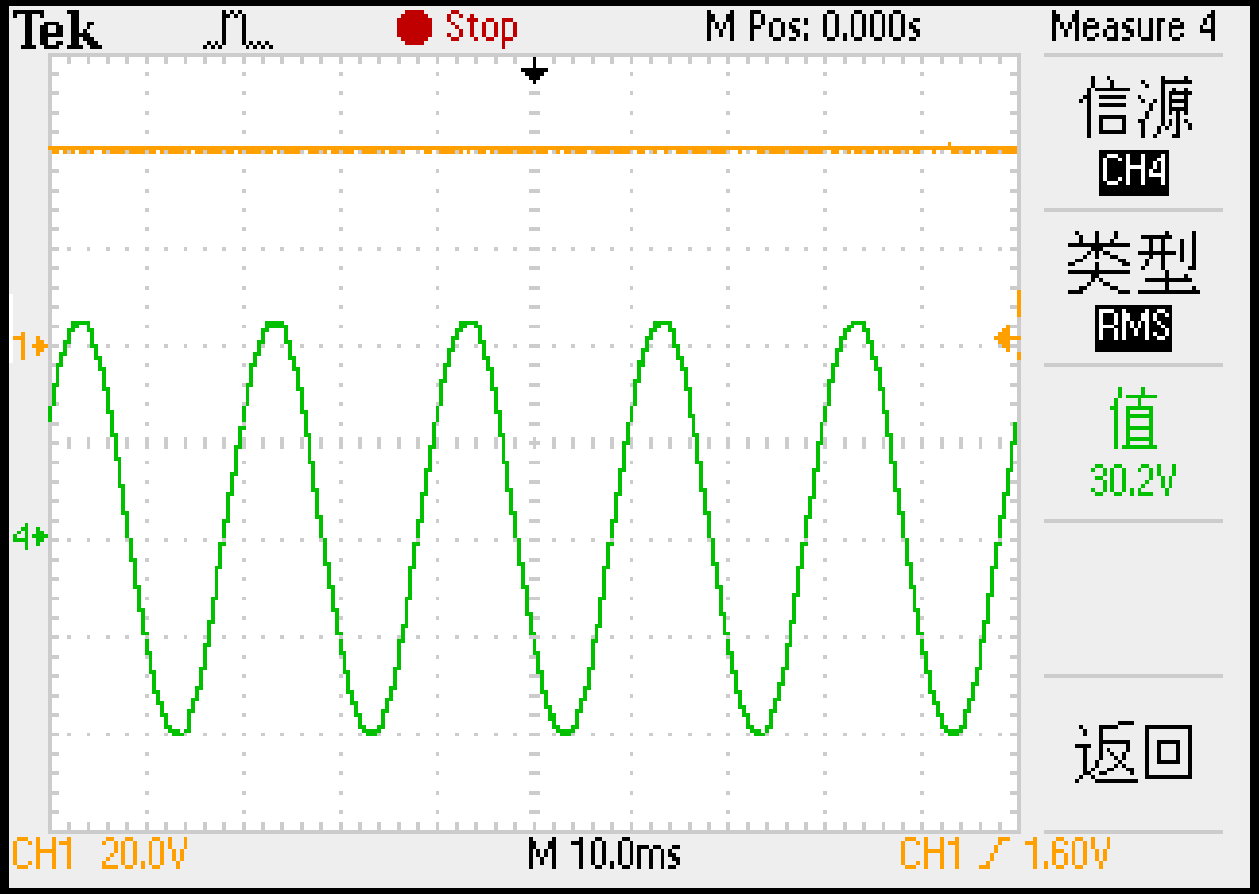
注意：Q1的pin3引脚也可以不要短路到地。



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：

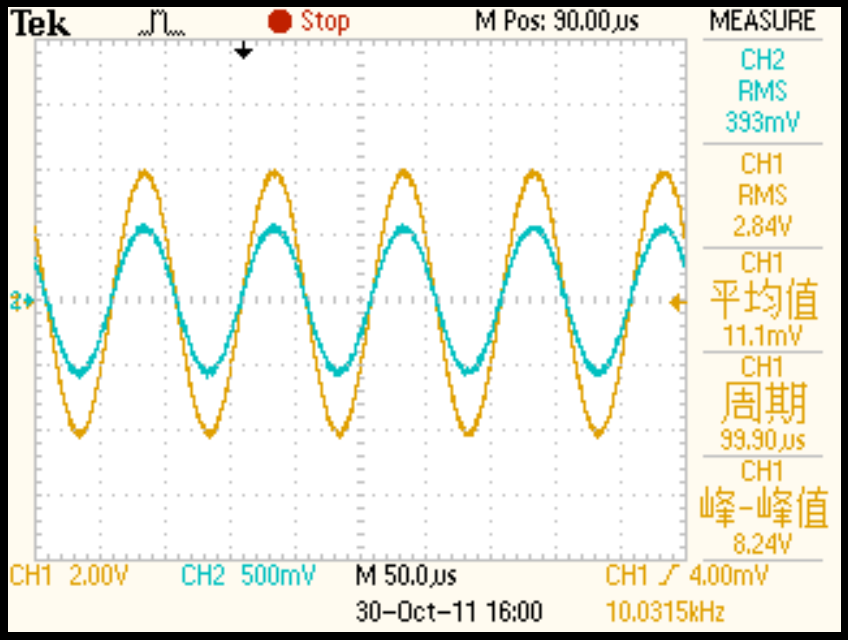


4. 反激电源的调试

(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±1V的正弦波。测得的波形如下：



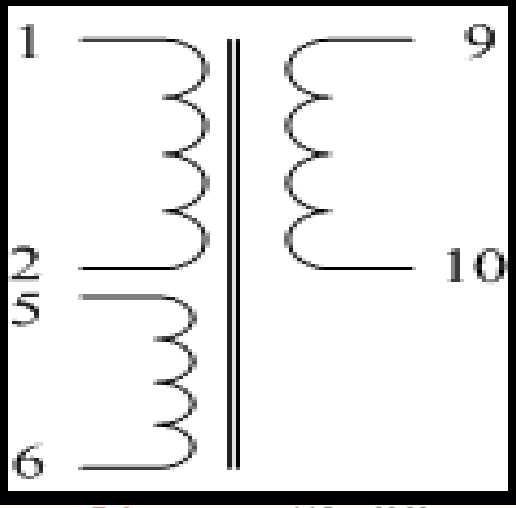
CH1:原边

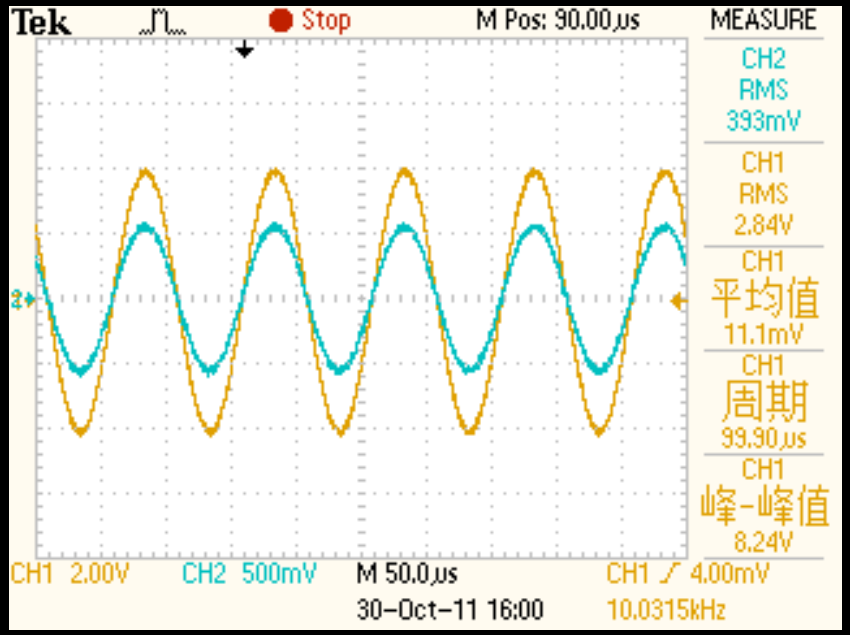
CH2:副边

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

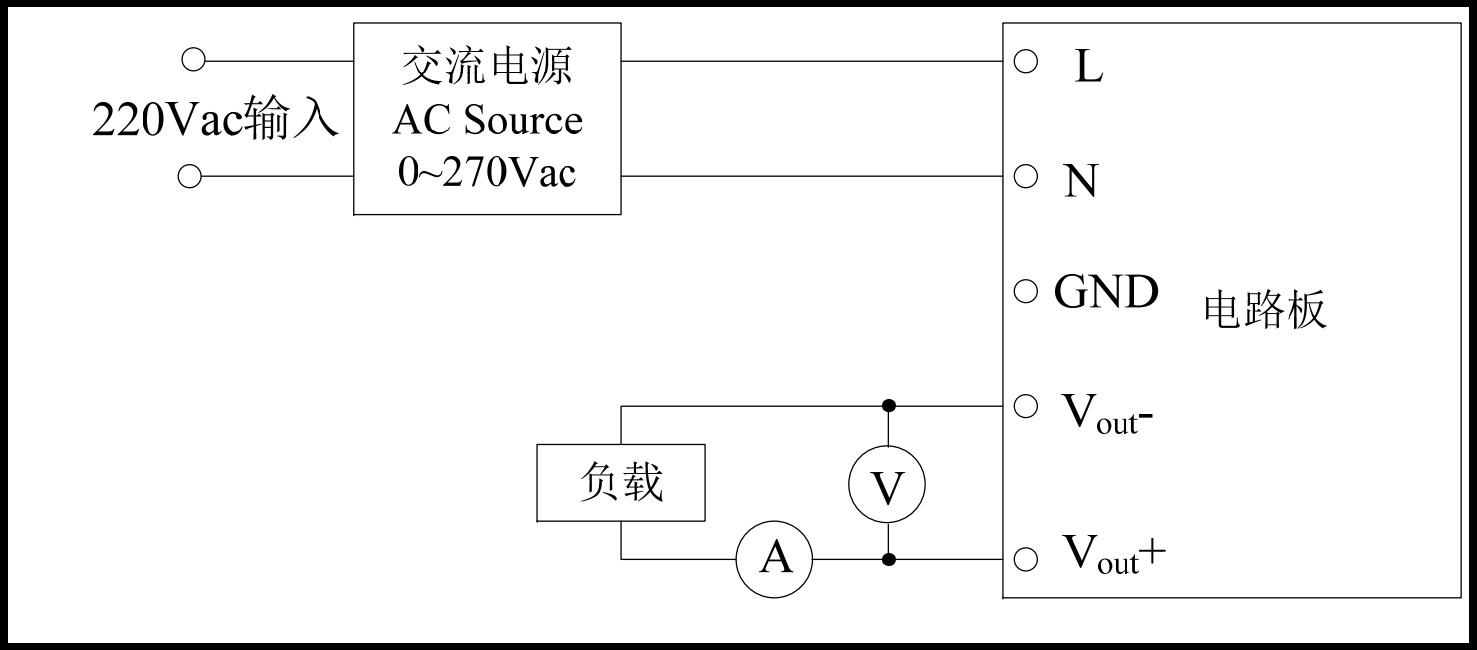
(3) 变压器的测试





5. 反激电源的测试

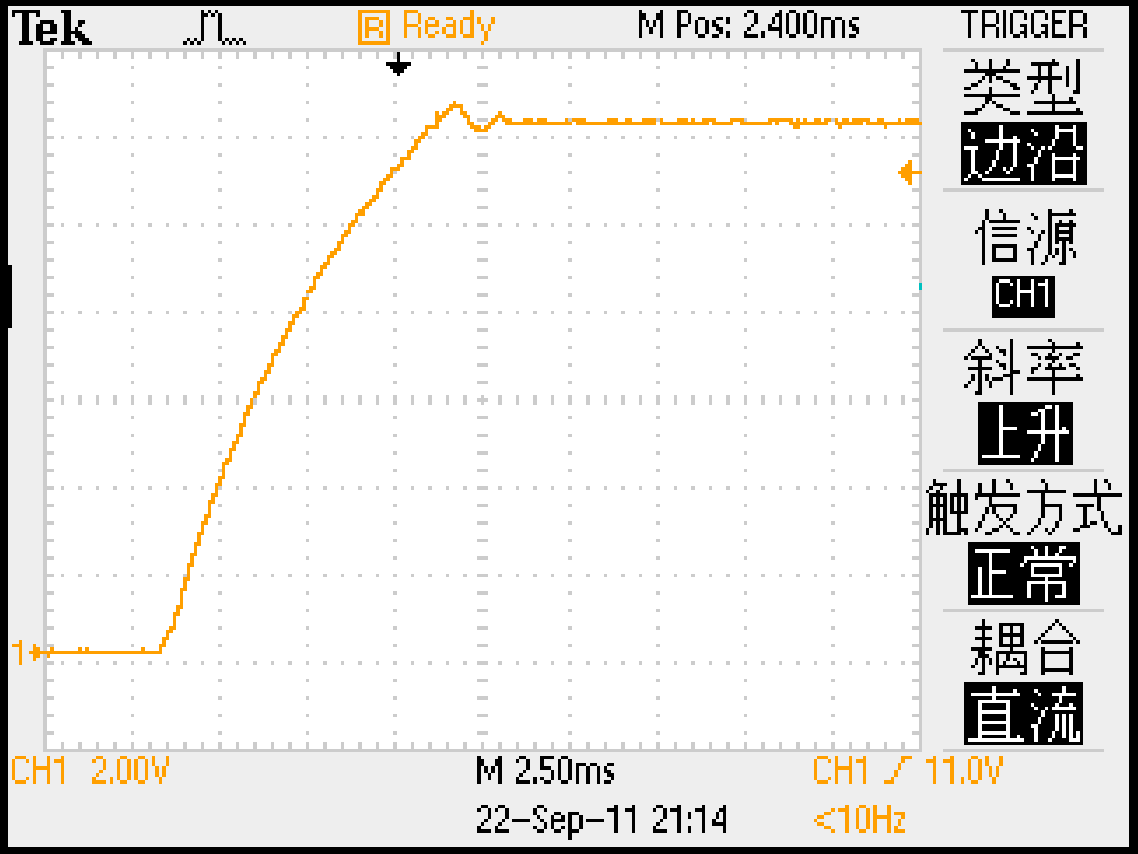
测试电路电路连接图



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。

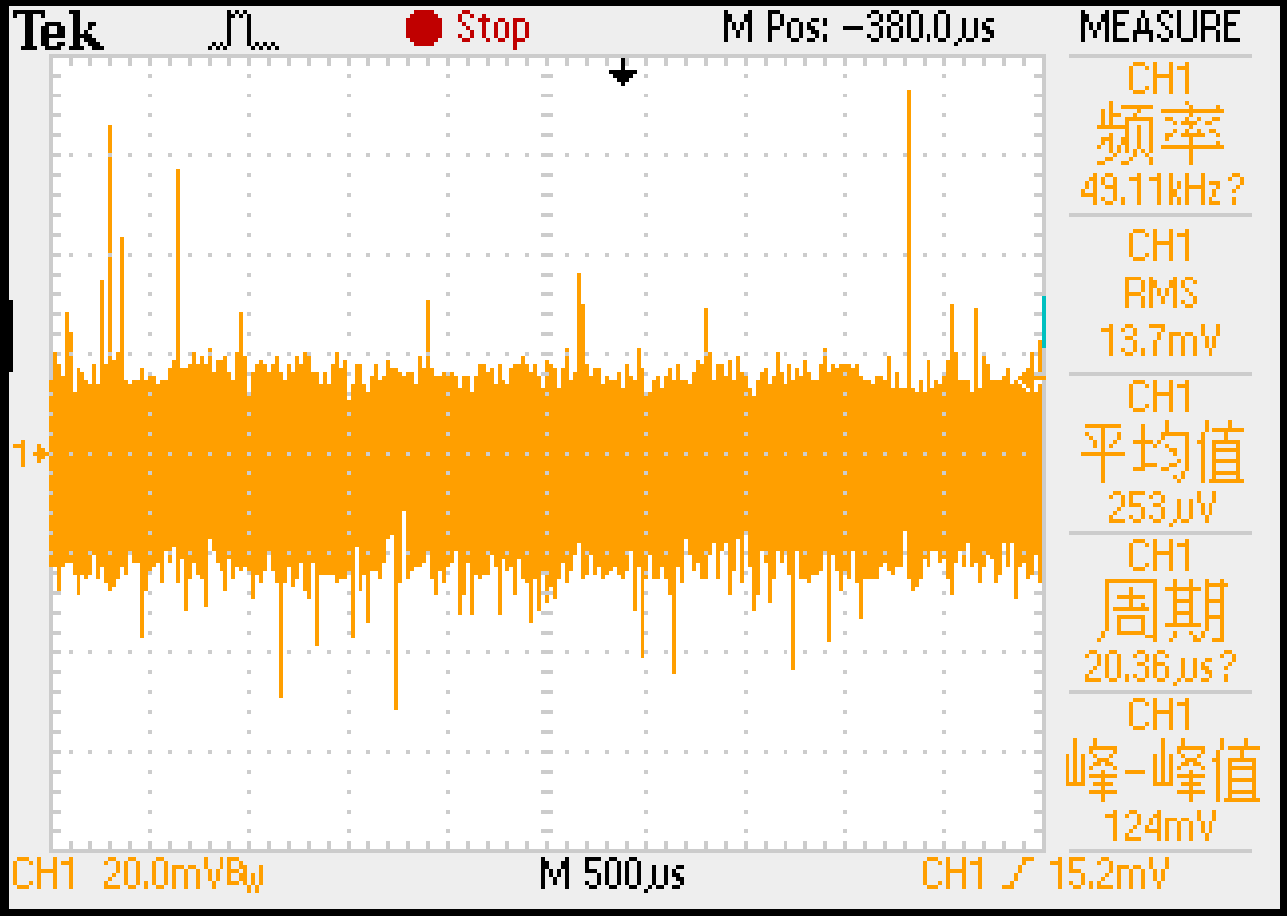
5. 反激电源的测试

（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±0.24V。



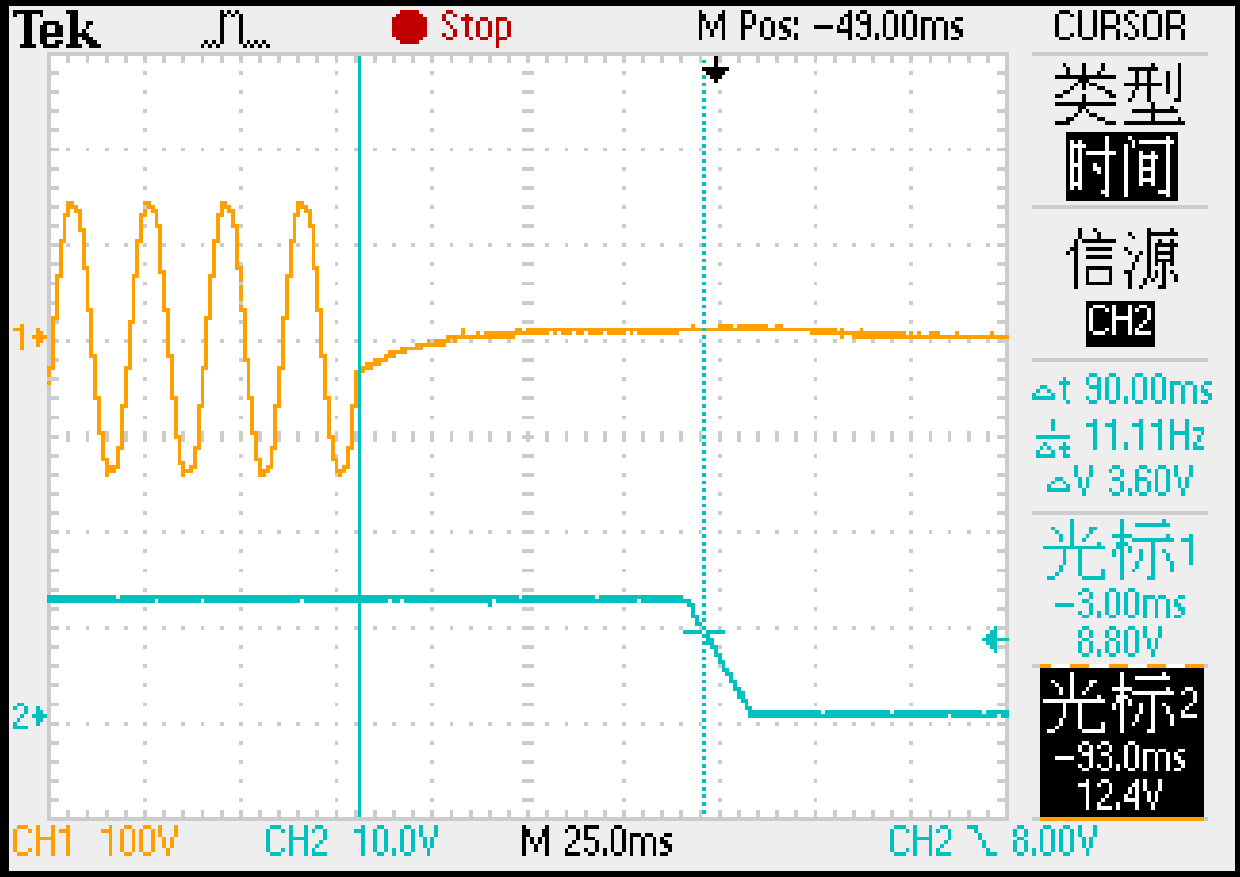
5. 反激电源的测试

（2） 测量输出电压的纹波@ Vin=220Vac，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。

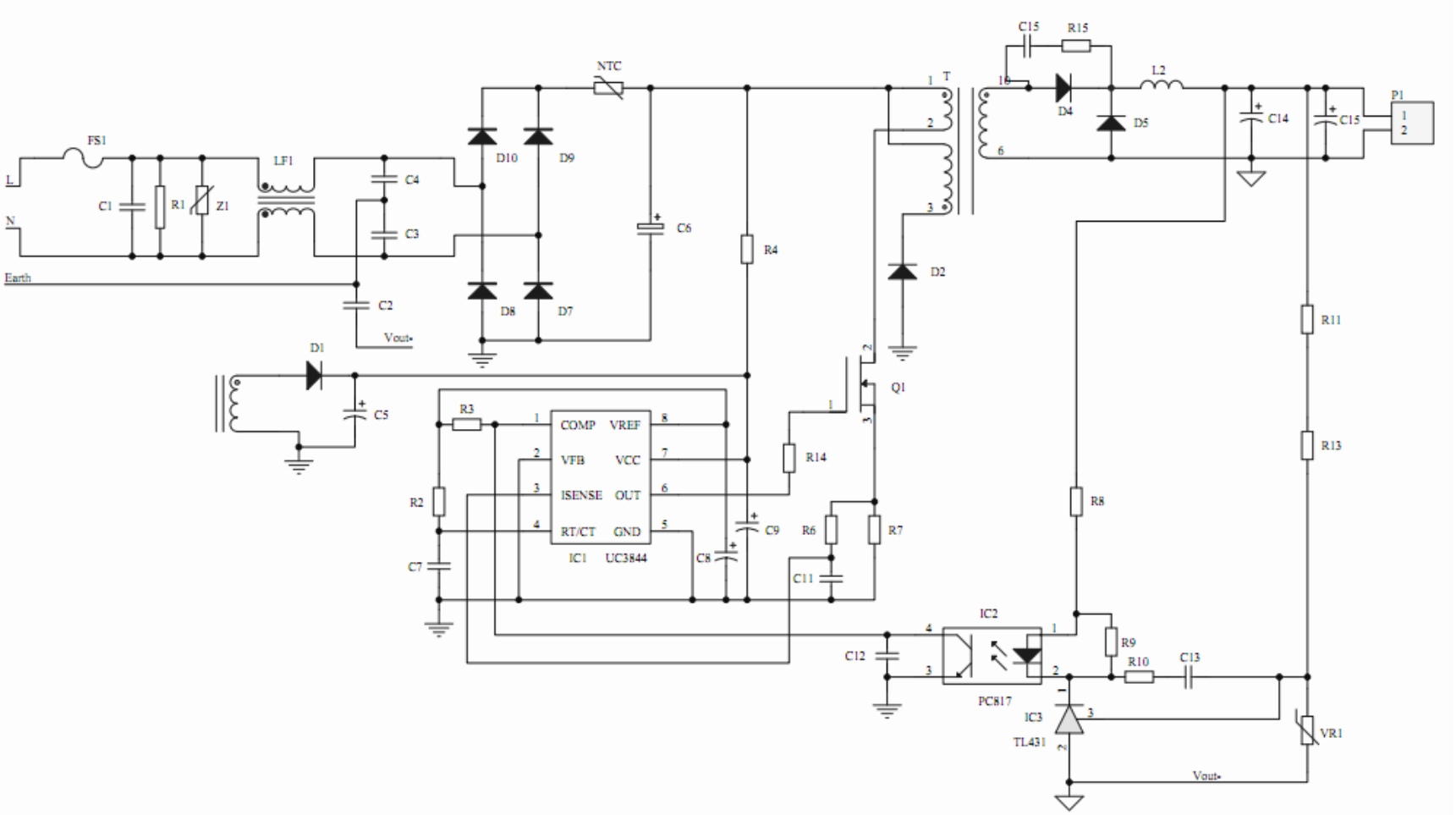
思考与练习

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±12V，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。

学习情境三　正激式电源电路的分析



带磁复位正激式电源电路

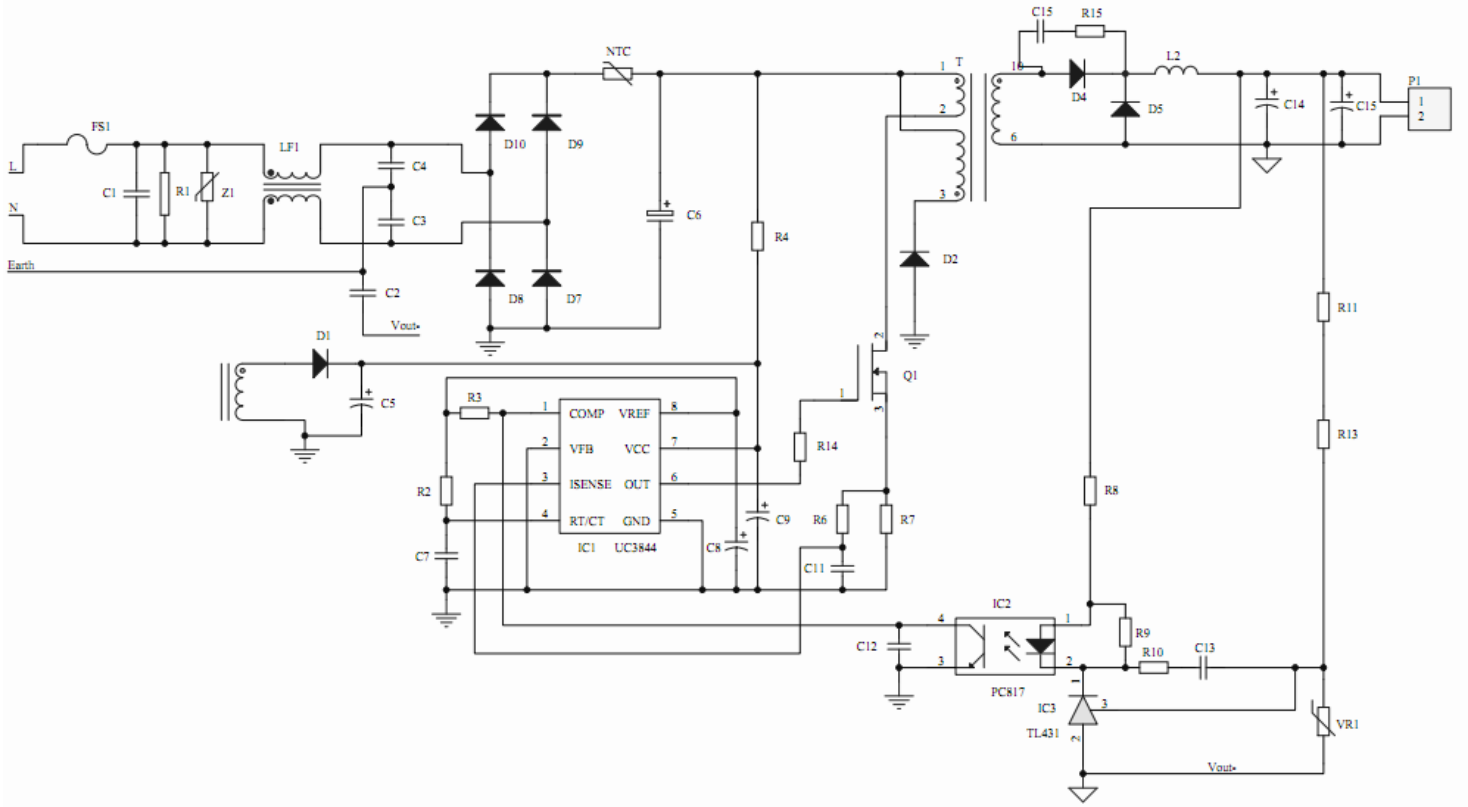
带磁复位正激式电源电路的学习分解成四个任务：

任务一　带磁复位正激变换器的介绍

任务二　控制芯片UC3842的介绍(复习)

任务三　正激式电源电路的分析

任务四　电路的制作、调试和测试



学习的知识点和要掌握的技能：

1. 正激式变换器的分析
2. 电路工作原理的分析
3. 部分电路参数的设计，尤其是变压器的分析及制作
4. 电路的制作、调试和测试

任务一 带磁复位正激变换器的介绍

Buck、Boost和Buck/Boost 变换器都是不隔离的直流变换器。（不隔离就是指输入和输出共地）。 具有隔离的直流变换器也可按单管、两管和四管分类。单管隔离直流变换器有正激（forward)和反激（flyback)两种。两管隔离直流变换器有半桥变换器（half bridge）、推挽变换器（push-pull）变换器和双管正激变换器（double forward），四管隔离变换器有全桥变换器（full bridge）。

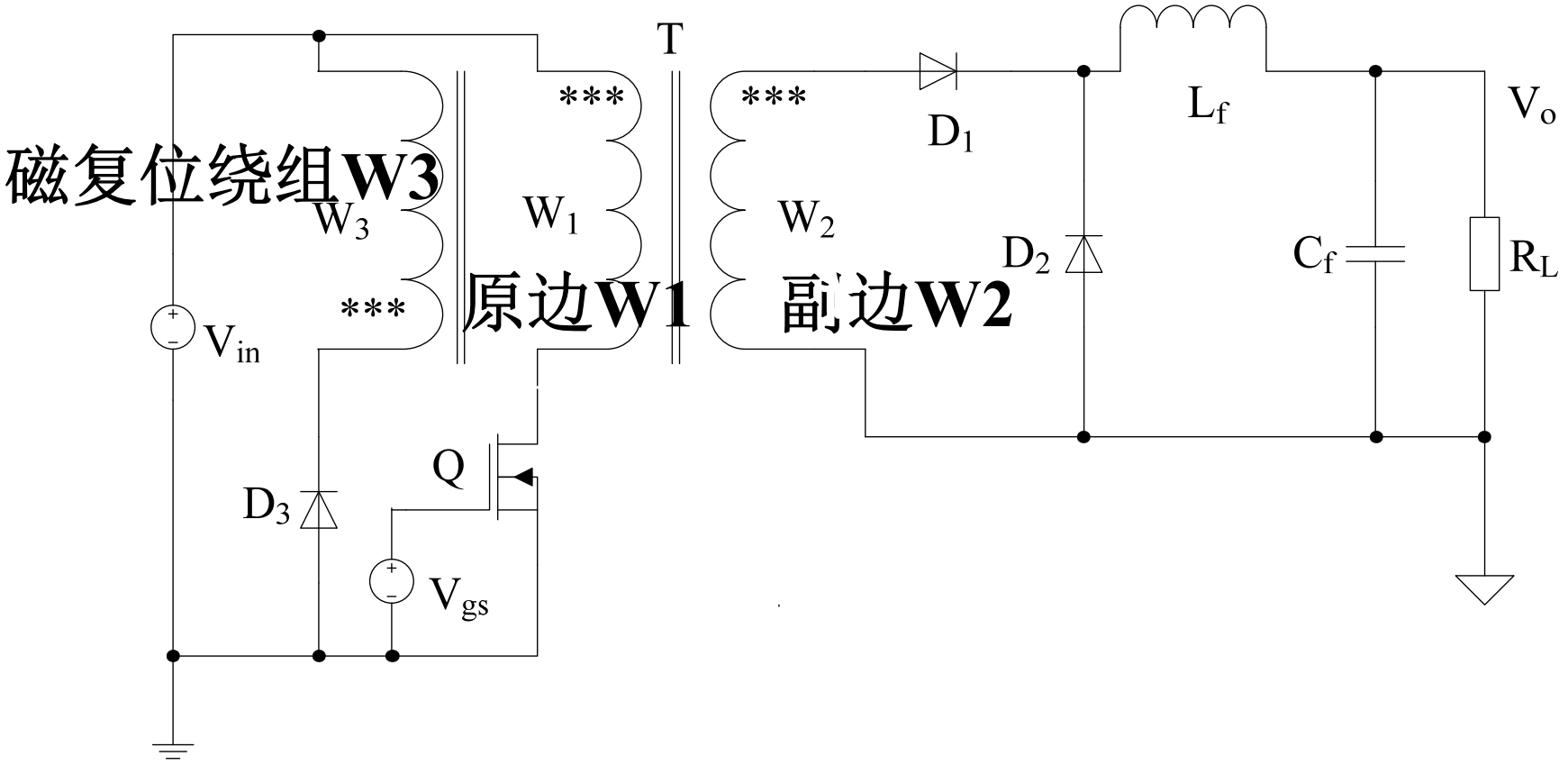
隔离式直流变换器都用变压器实现电气隔离，通常就是指输入和输出不共地。为了减小损耗和改善电力电子器件的工作条件，变压器各绕组应紧密耦合，尽量减小漏磁。

磁复位的引入：

正激直流变换器在工作时需要磁复位电路。变压器铁芯的磁复位有多种方法，在输入端接复位绕组是最基本的方法，其次还有RCD复位，LCD复位和有源箝位等磁复位方法。下面介绍具有复位绕组的正激变换器。

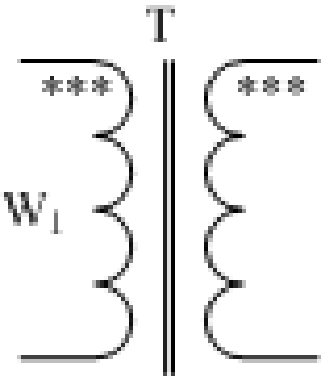
1. 复位绕组的正激变换器的结构

Forward converter with reset winding



正激式变压器的介绍：

Forward Transformer introduction



变压器：原边（原级）primary side

和副边（次级）secondary side

原边电感（励磁电感）--magnetizing inductance

漏感---leakage inductance

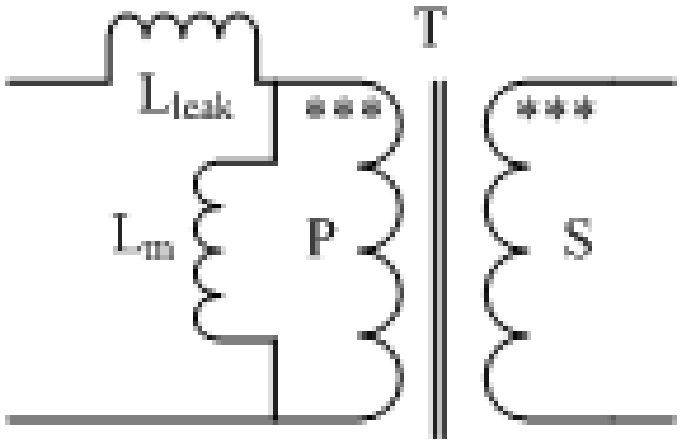
副边开路或者短路测量原边电感分别得励磁电感和漏感

变压器的作用：

1. 电气隔离；2. 变比不同，达到电压升降；

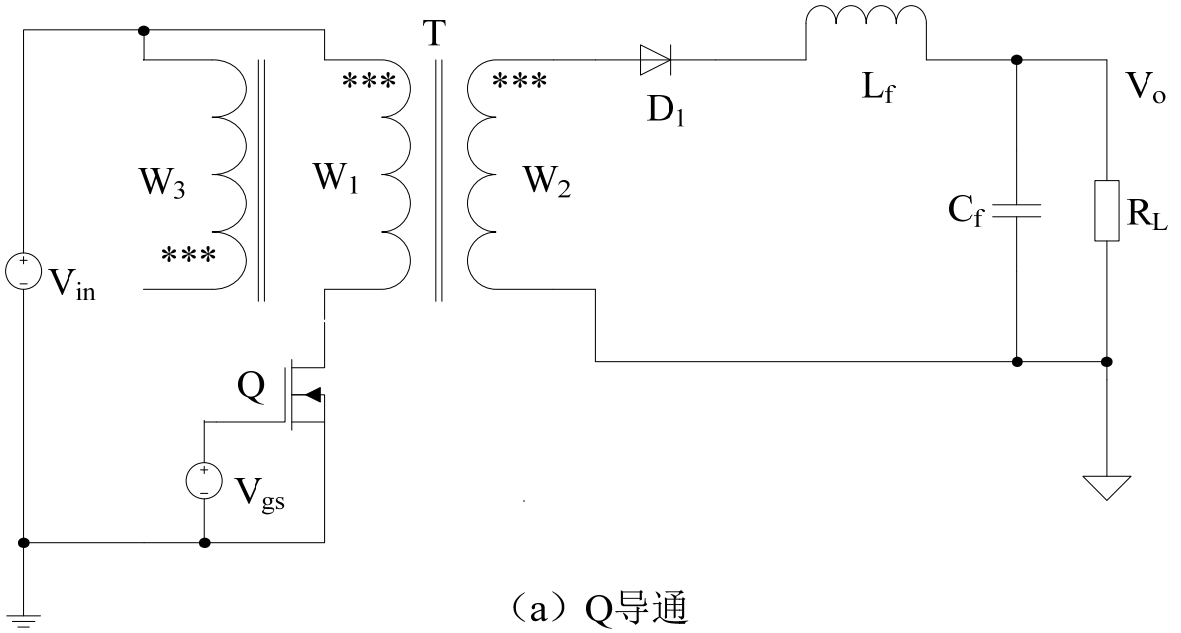
3. 磁耦合传送能量；　4. 测量电压、电流。

正激式变压器的等效电路：

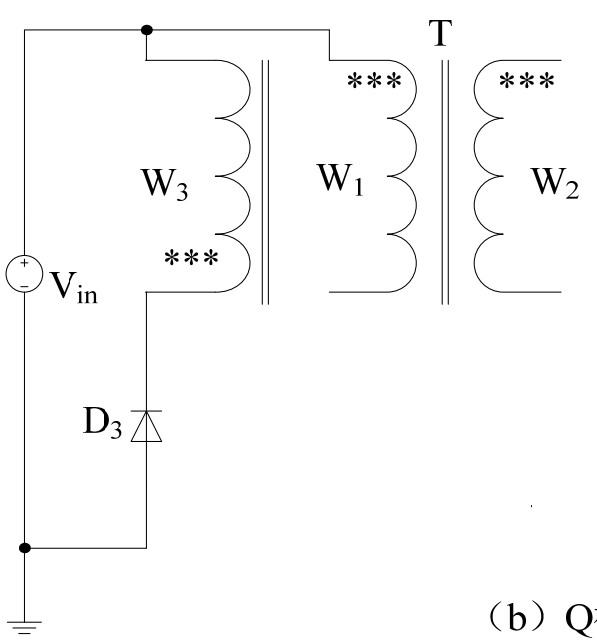


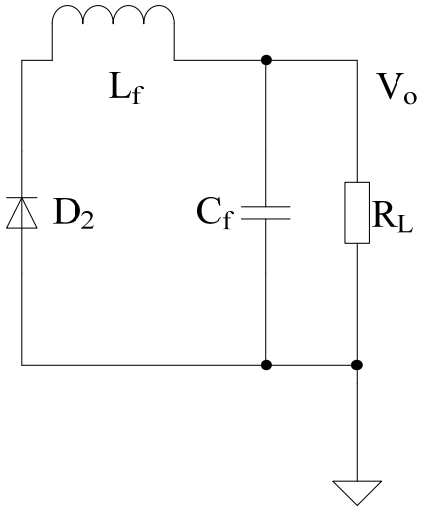
Forward 变换器实际上是降压式变换器中插入隔离变压器而成。变压器中有三个绕组，原边绕组W1，副边绕组W2，复位绕组W3,图中绕组符号标有“*”号的一端，表示变压器各绕组的同名端，也就是该绕组的始端。D3是复位绕组W3的串联二极管。下图a、b、c 给出了变换器在不同开关模态下的等效电路图。

等效电路

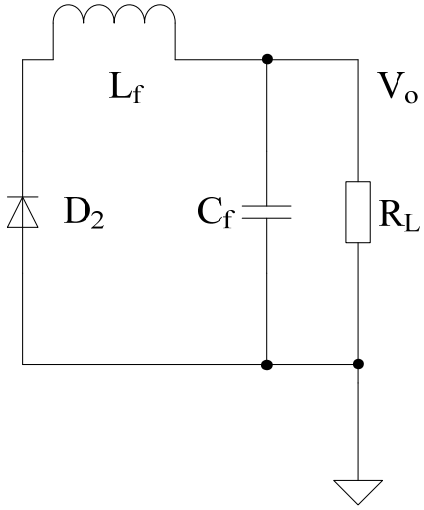


（a）Q导通





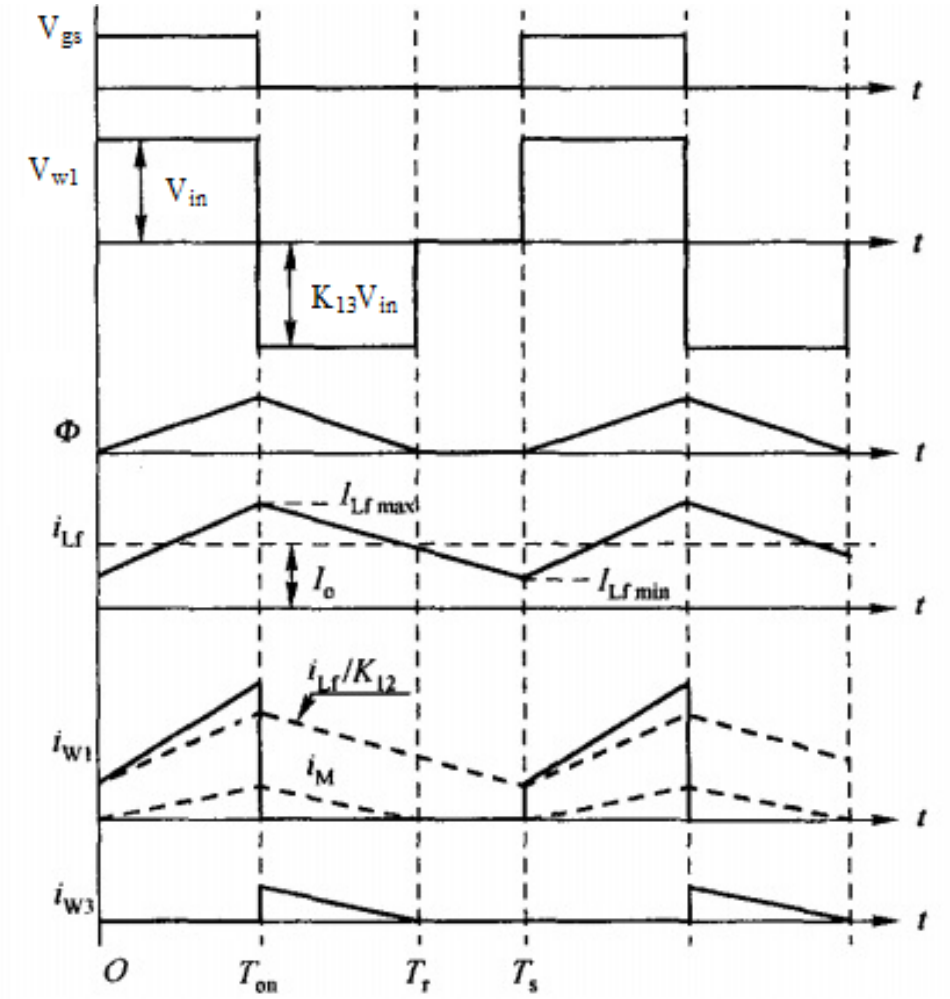
（b）Q截止



（c）Q截止磁复位完成

2. 带复位绕组的正激变换器的工作原理分析

正激变换器的主要理论波形



下面讨论电感电流连续时forward变换器的工作原理：

1. 模态1 [对应于图 (a)] 在t=0时，Q1导通，Vin通过Q1加在原边绕组W1上，因此铁芯磁化，铁芯磁通Ø增加：

$$V_{in} = W_1 * \frac{d\Phi}{dt}$$

在t=Ton时，铁芯磁通Ø的增加量为Vin/W1*D*Ts。

那么副边绕组W2上的电压为：Vw2=W2/W1*Vin=Vin/K12。

式中，K12=W1/W2是原边与副边绕组的匝比。

此时，整流二极管D1 导通，续流二极管D2截止，滤波电感电流iL1线性增加，这与buck变换器中开关管Q1导通时一样，只是电压为Vin/K12。

2. 模态2 [对应于图 (b)] 在Ton时刻，关断Q1，原边绕组和副边绕组中没有电流流过，此时变压器通过复位绕组进行磁复位，励磁电流iM从复位绕组W3经过二极管D3回馈到输入电源中去。那么复位绕组上的电压为：Vw3=-Vin；原边绕组上的电压为：Vw1=-K13*Vin；副边绕组上的电压为：Vw2=-K23*Vin。

式中，K13=W1/W3是原边与复位绕组的匝比，

K23=W2/W3 是副边与复位绕组的匝比。

此时，整流二极管D1 关断，滤波电感电流iL1通过续流二极管D2续流，与buck变换器类似。

在此开关模态中，加在Q上的电压VQ为：

VQ=Vin+K13*Vin。

电源电压Vin反向加在复位绕组W3上，故铁芯去磁，铁芯磁通Ø减小： W3*dØ/dt=-Vin

铁芯磁通Ø的减小量为：Vin/W3*ΔD*Ts。

式中， ΔD=(Tr-Ton)/Ts，是变压器磁芯的去磁时间Tr-Ton与Ts的比值， ΔD小于1-D。

磁电流iM从原边绕组中转移到复位绕组中，并且开始线性减小。

在Tr时刻，iW3=iM=0，变压器完成磁复位。

3. 模态3 [对应于图 (c)]

在Tr时刻，所有绕组中均没有电流，他们的电压均为0，滤波电感电流继续经过续流二极管续流，与buck变换器在开关管关断时一样。此时，加在开关管Q1的电压为Vin。

3. 基本关系式

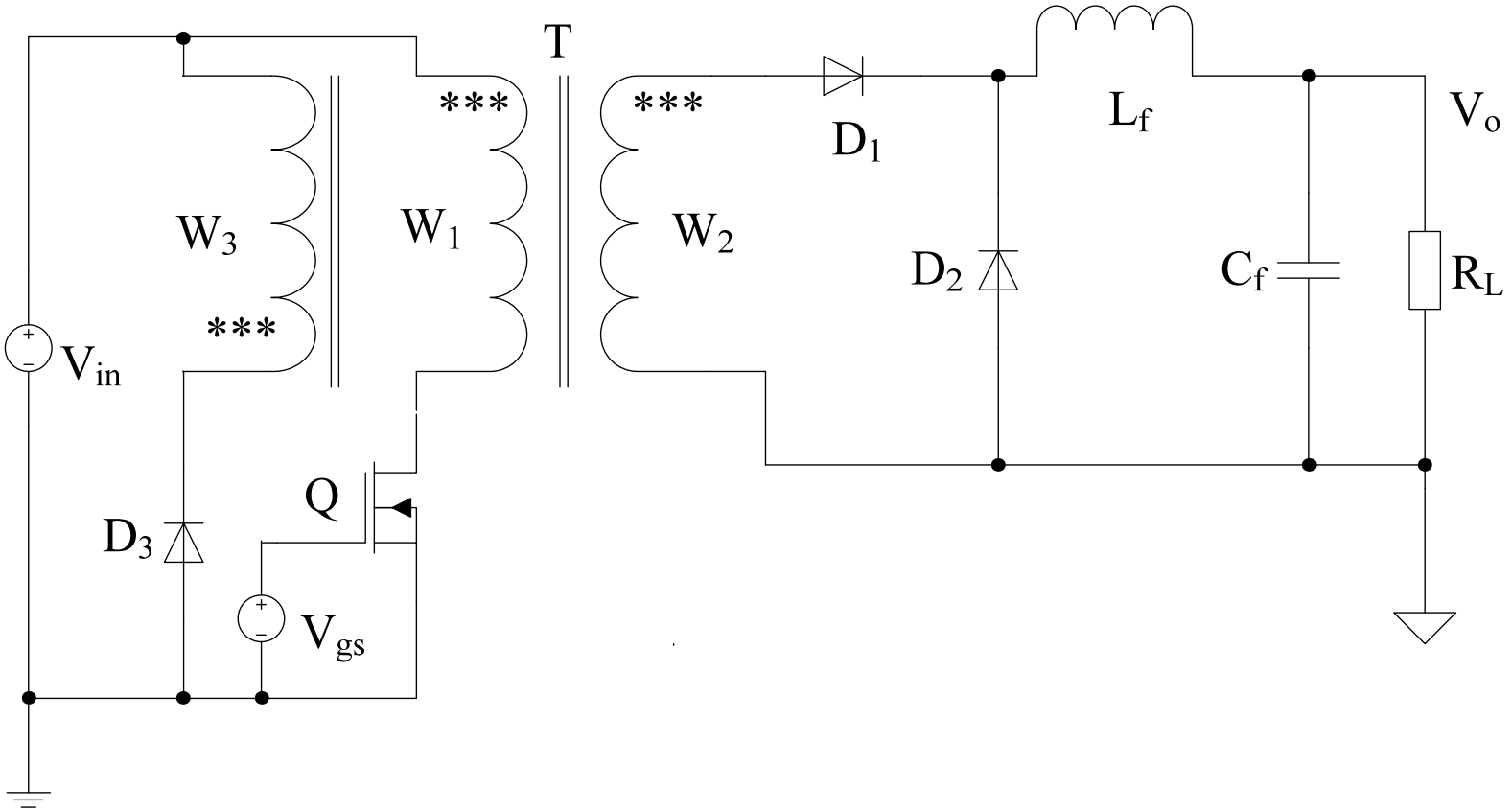
从前面的分析知，forward变换器实际上是一个隔离的Buck变换器，其输入输出电压之间的关系为：

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{N} * D_y$$

在forward变换器中，一个比较重要的概念是：变压器必须要复位，否则它的磁通将不断增加，最后导致磁芯饱和而毁坏。也就是说，磁通的增加量应该等于磁通的减小量，从前面的分析可以得到：

$$\Delta D = \frac{W_3}{W_1} * D_y$$

3. 基本关系式的推导



由于 $\Delta D \le 1 - D_y$ ，要满足上式，必须有：

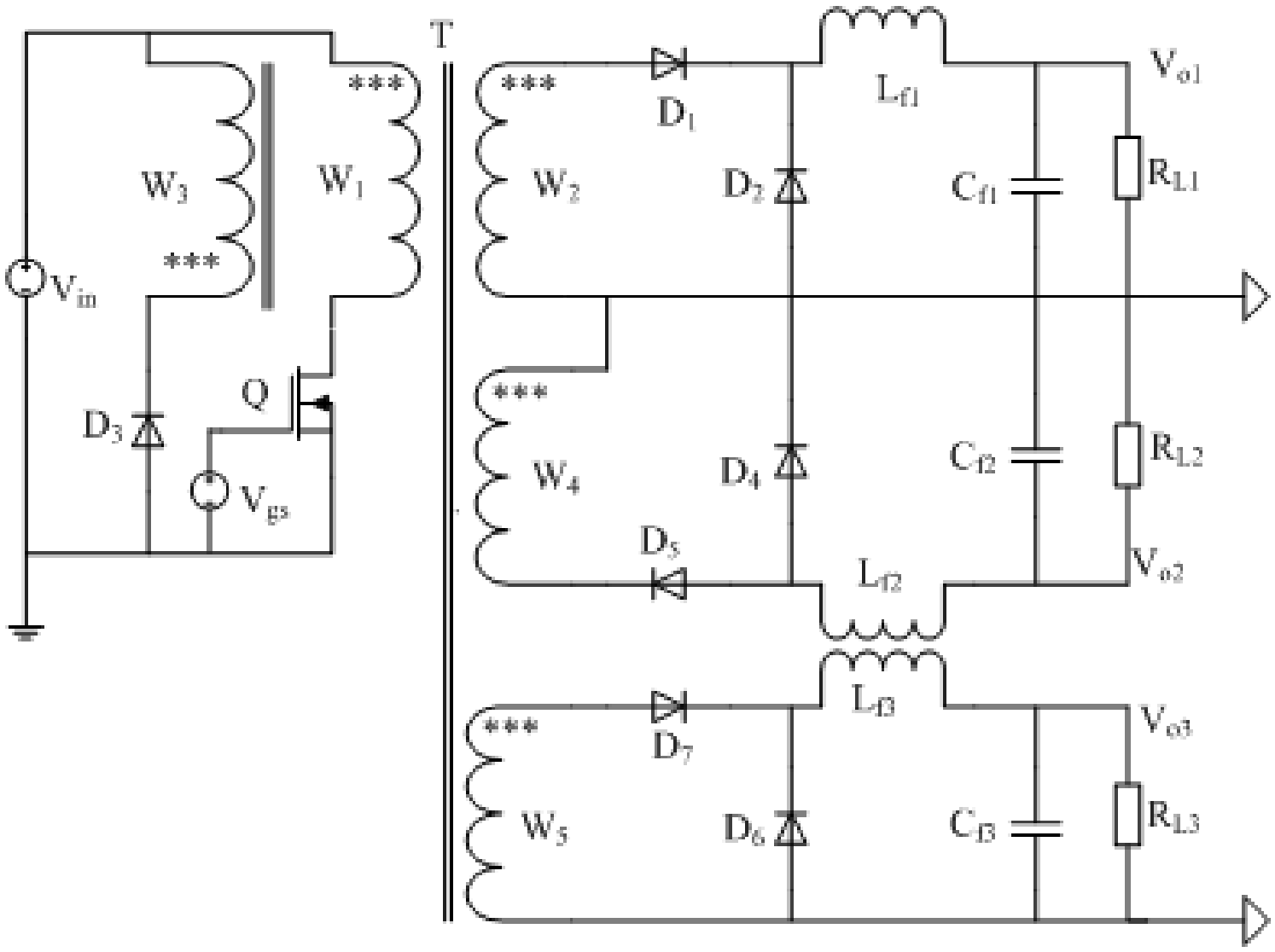
$$D_{y\max} \le \frac{W_1}{W_1 + W_3} = \frac{K_{13}}{K_{13} + 1}$$

K13的大小决定最大的占空比D，小于0.5或者大于0.5

变压器的引入，不仅实现了电源侧与负载侧间的电气隔离，还可以实现多路输出。

4. 多路输出的正激变换器

V1和V3为正电压；V2为负电压

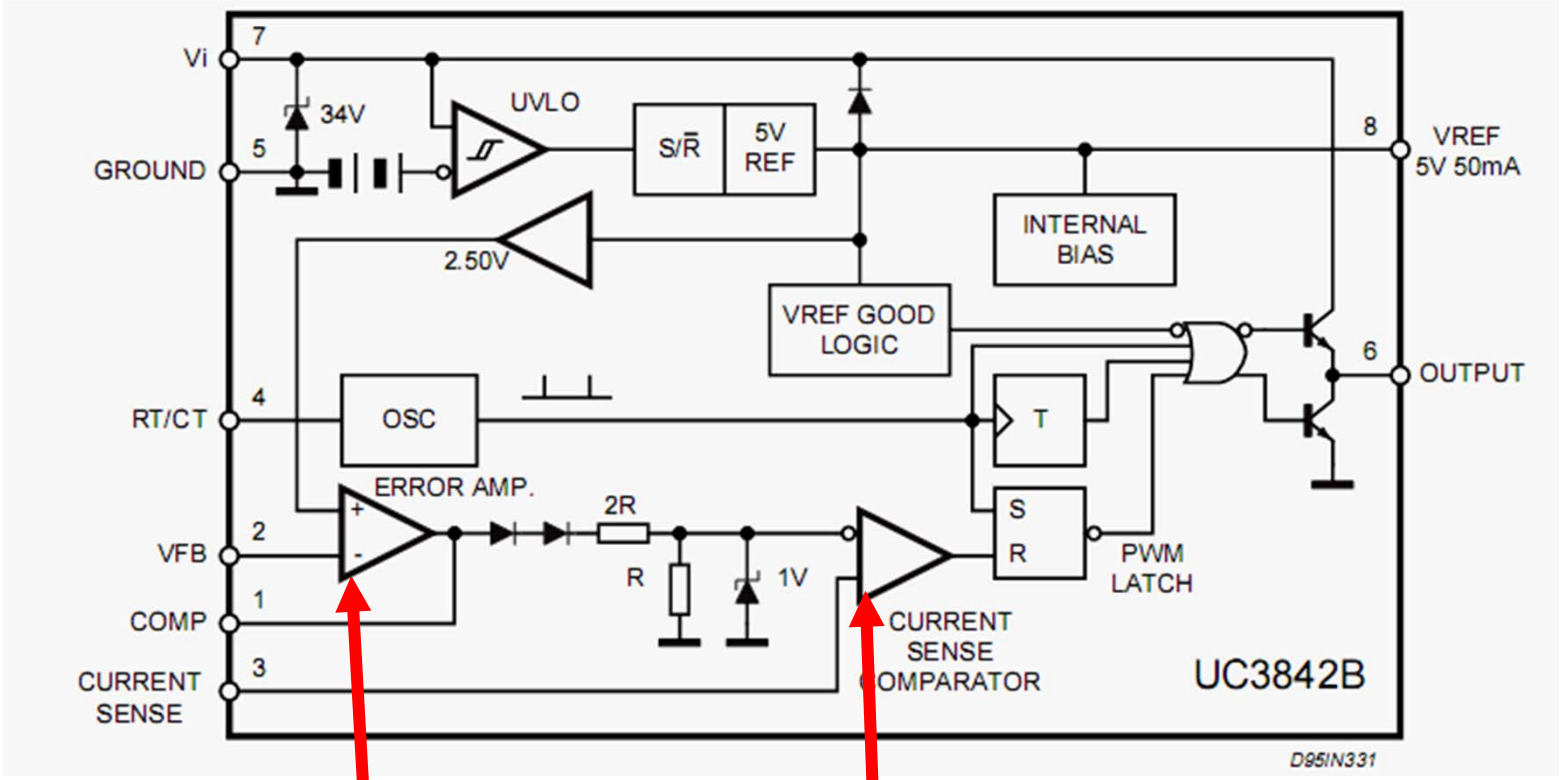


任务二　控制芯片UC3842的介绍（复习）

对于一个PWM控制芯片，要掌握以下几个知识要点：

1. 每个的引脚的名称；
2. 每个引脚的作用，以及它在电路中的连接；
3. 每个引脚正常工作电压的范围或者正常的波形是什么？
4. 控制芯片一定是输出PWM波去控制MOS管，要清楚哪些引脚最容易引起没有PWM波的输出。
5. 尽量找到芯片的application note（应用信息），教我们如何分析芯片的工作方式、与功率电路的连接以及关键元件参数的计算。
6. 弄懂一些简单的曲线图（参数之间的函数关系）比如振荡频率与RT、CT之间的关系。
7. 会用示波器去测试波形，会根据波形分析产生的原因，从而找到解决问题的办法。

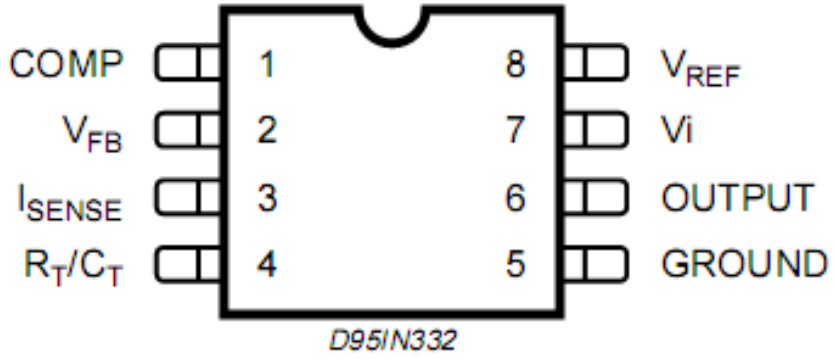
UC384X系列的结构框图

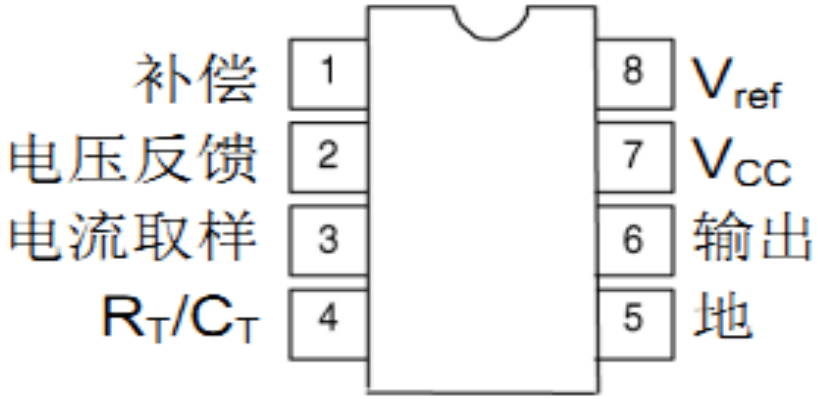


VFB 检测输出电压 –电压误差放大器

比较器---电压误差放大器的输出与检测电感电流的大小进行比较，输出PWM波去控制MOS的导通与关断。

Pin Connection---引脚分布





Minidip/SO8------封装

PIN FUNCTIONS

No	Function	Description
1	COMP	This pin is the Error Amplifier output and is made available for loop compensation.
2	V_{FB}	This is the inverting input of the Error Amplifier. It is normally connected to the switching power supply output through a resistor divider.
3	I_{SENSE}	A voltage proportional to inductor current is connected to this input. The PWM uses this information to terminate the output switch conduction.
4	R_T/C_T	The oscillator frequency and maximum Output duty cycle are programmed by connecting resistor R_T to Vref and cpacitor C_T to ground. Operation to 500kHz is possible.

引脚	功能	描述
1	补偿	误差放大器的输出，可用于环路补偿
2	电压反馈	误差放大器的反相输入端，通过一个电阻分压器连接到输出端
3	电流取样	一个正比于电感电流的电压接至此输入端，PWM用此信息停止开关管的导通

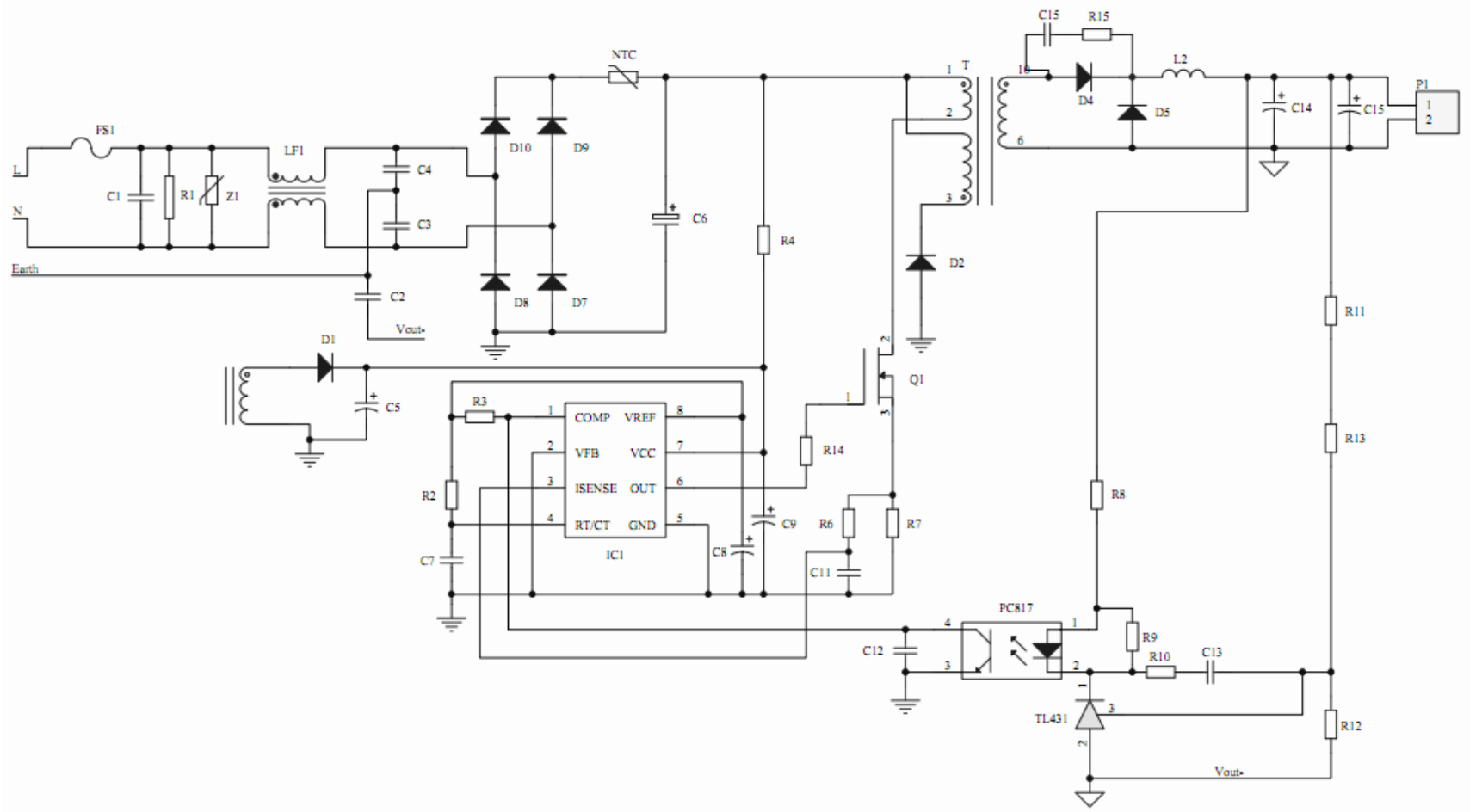
4	R_T/C_T	The oscillator frequency and maximum Output duty cycle are programmed by connecting resistor R_T to Vref and cpacitor C_T to ground. Operation to 500kHz is possible.
5	GROUND	This pin is the combined control circuitry and power ground.
6	OUTPUT	This output directly drives the gate of a power MOSFET. Peak currents up to 1A are sourced and sunk by this pin.

4	**RT/CT**	**通过连接RT到Vref和电容CT到地使振荡器频率和最大占空比可调，输出频率可达到500KHz。**
5	**地**	**此管脚是控制电路和功率电路公共的地。**
6	**输出**	**输出可直接驱动功率MOS管的门极，高达1A峰值电流经过此管脚拉和灌。**

7	V_{CC}	This pin is the positive supply of the control IC.
8	V_{ref}	This is the reference output. It provides charging current for capacitor C_T through resistor R_T.

7	**Vcc**	**此引脚是控制IC的正电源（工作电压）**
8	**Vref**	**该管脚是参考输出（基准电压输出）它通过RT给CT提供充电电流。**

任务三　正激式电源电路的分析



带磁复位正激式电源电路

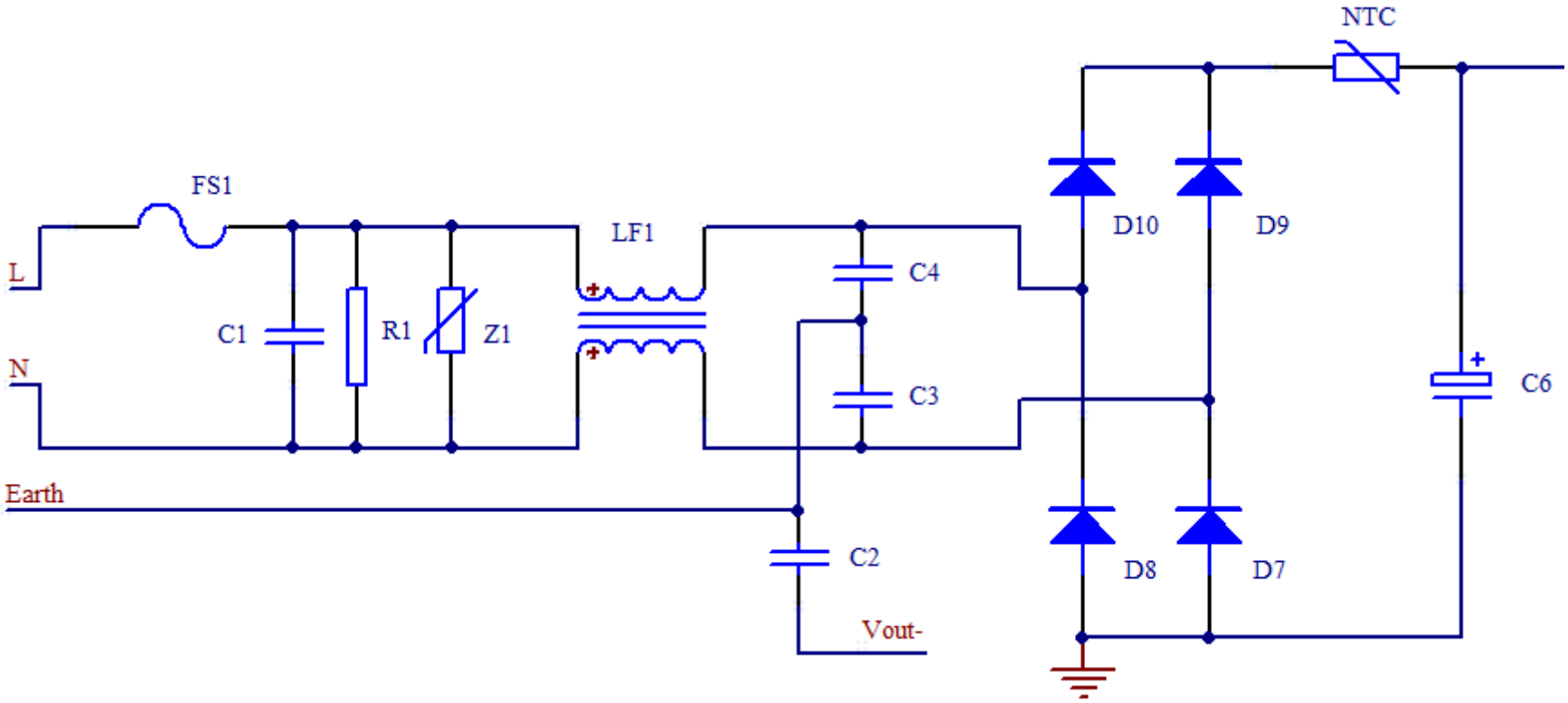
电路工作原理分析

分析电路的基本方法：先从整体上分析电路的结构（说清楚具体的结构），再从局部（或控制芯片引脚的功能）分析每一部分或每个元件的作用。

电路组成结构：

EMI整流滤波电路、磁复位正激变换器、输出检测反馈和控制三大部分电路构成。

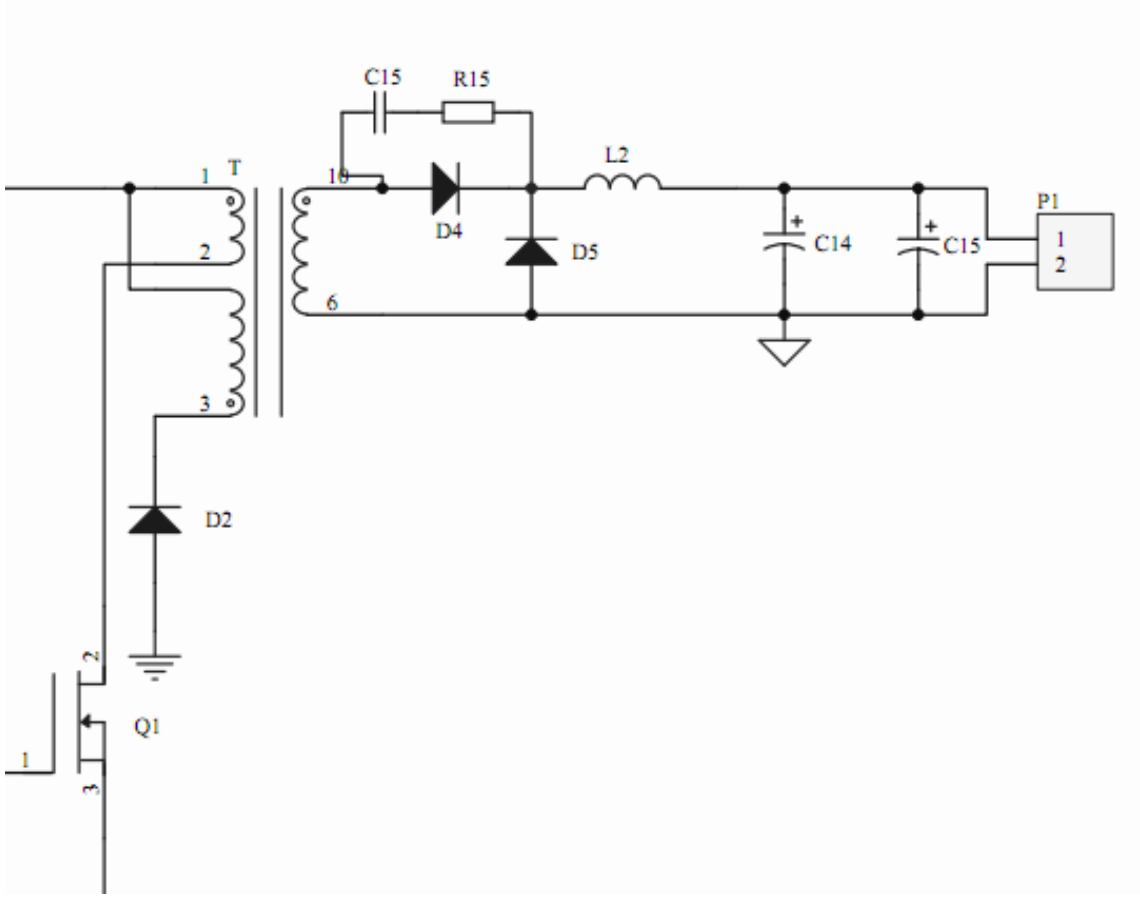
（1）EMI整流滤波电路



NTC抑制浪涌电流

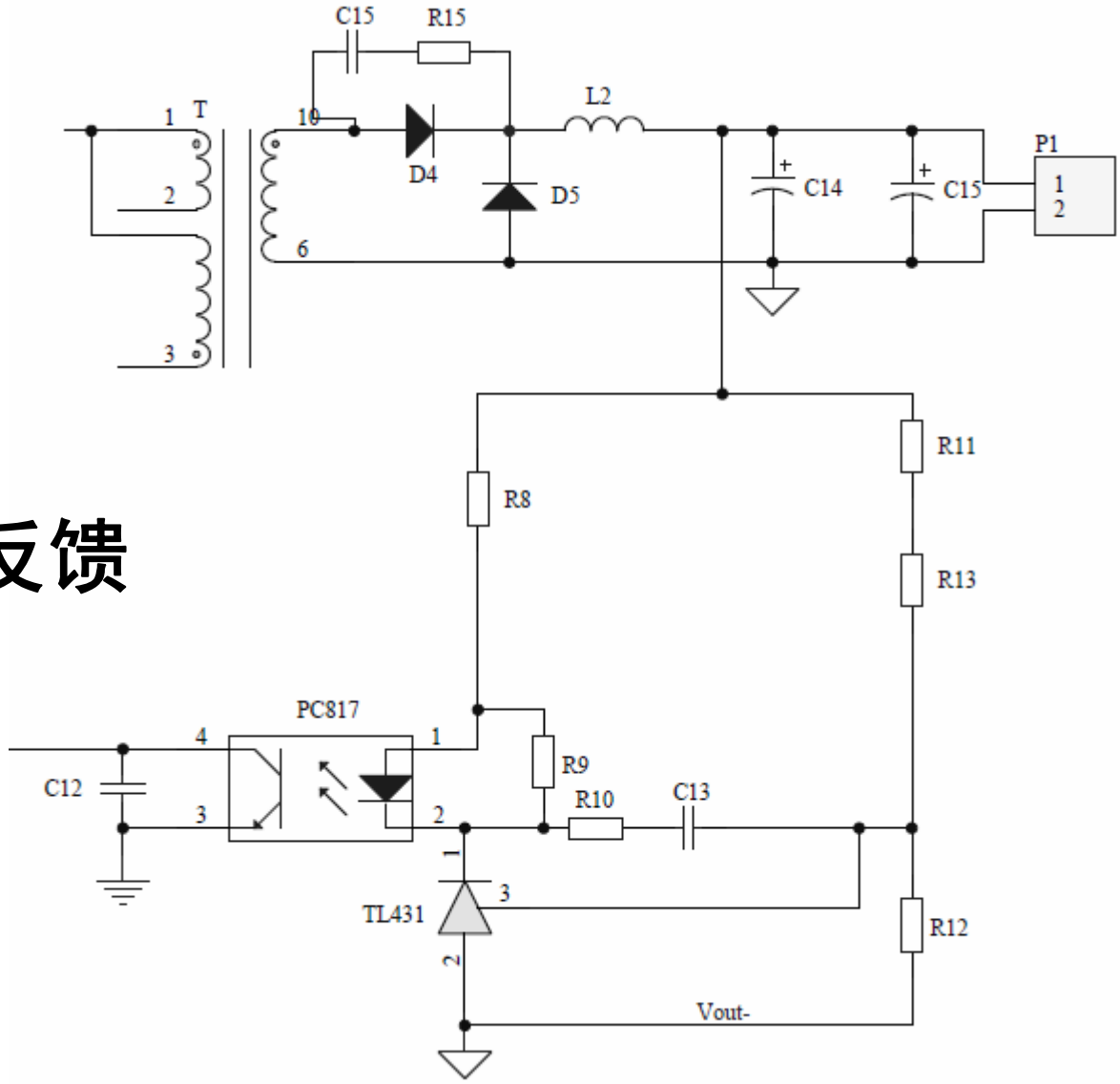
（2）磁复位正激变换电路

其中C_{15}、R_{15}构成吸收网络



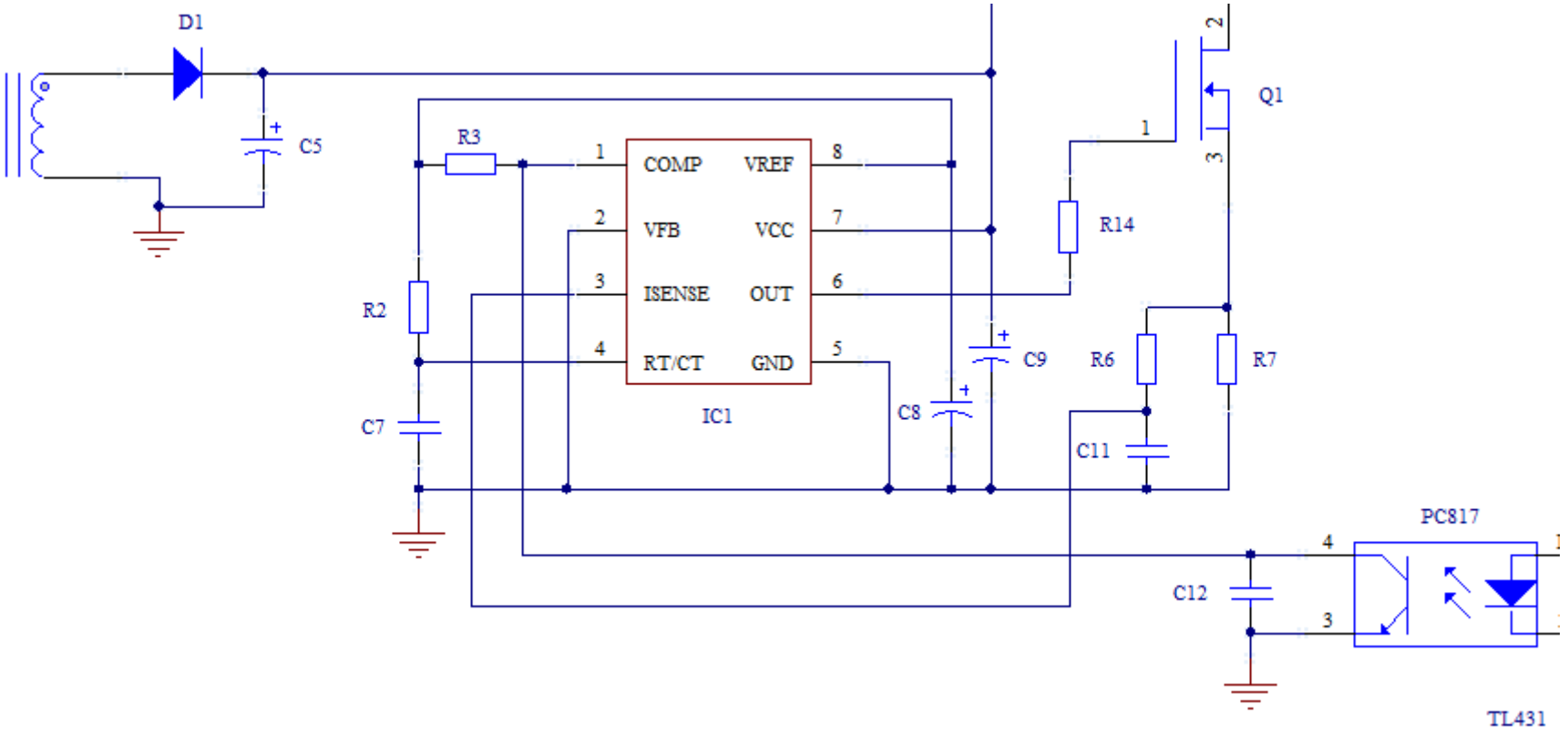
（3）输出检测、反馈和控制

输出检测、反馈



（3）输出检测、反馈和控制电路

控制电路



（4）其它电路

变压器辅助绕组3、D_1和C_5、C_9给IC_1提供工作电压，整流滤波电压V_{C6}通过R_4给IC_1提供启动电压。

任务四 电路的制作、调试和测试

（1）制作电路板

1. 根据电路图和万能板的大小来布局和焊接元器件。

放置元器件时需注意：先确定输入和输出的位置，再放功率电路中的元器件（MOS管，二极管，电感，变压器和输出滤波电容等）和控制芯片，再放小的器件（电阻和电容），放元器件也要考虑布线方便和电路中其它特殊的要求。

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。

（2）调试电路

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整流滤波电路；

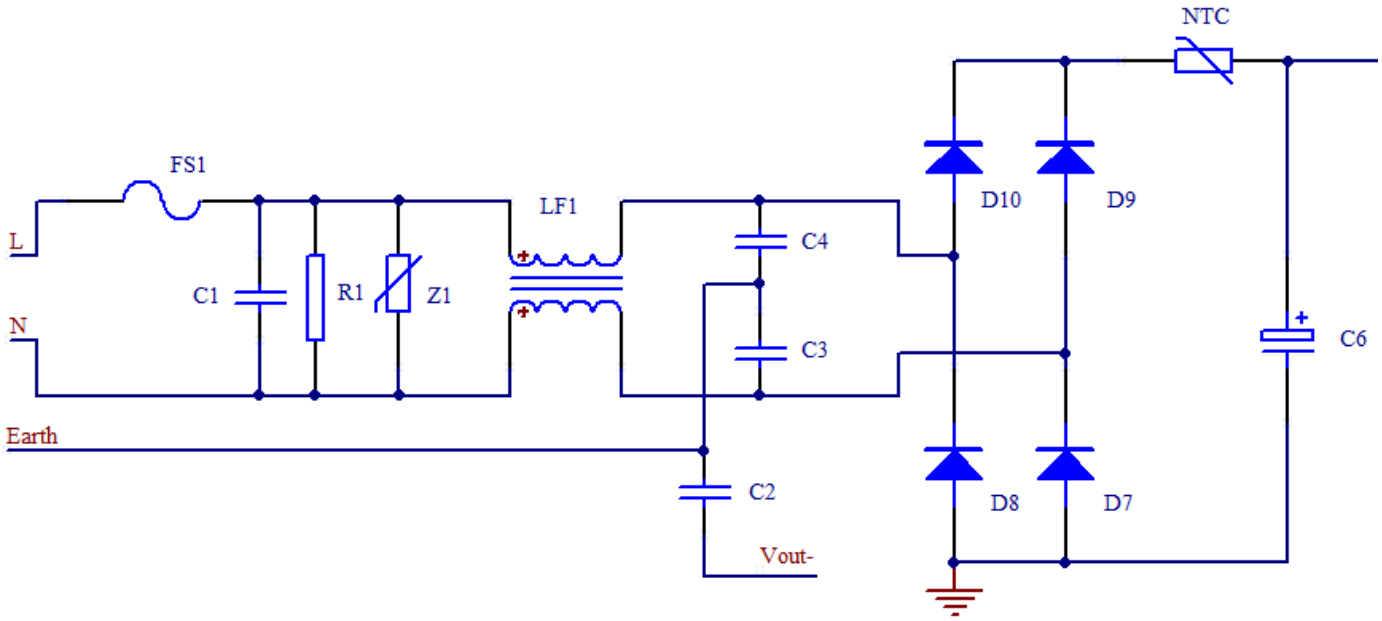
2）带磁复位正激变换器；

3）输出检测、反馈和控制电路。

（2）调试电路

1）EMI整流滤波电路

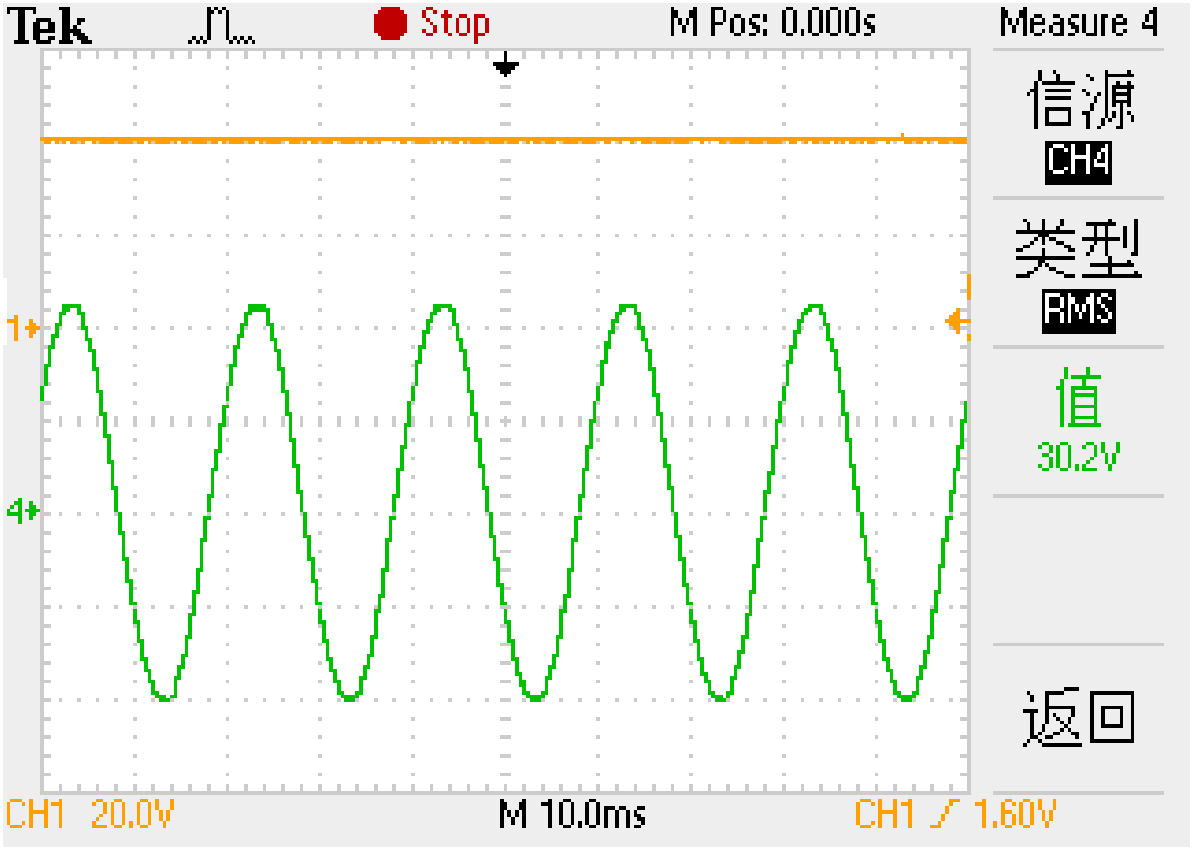
在输入端上电AC30V，测量C_6两端电压为：42±3V，如果C_6两端没有电压，检查共模滤波电感，整流二极管是否接错或损坏，或者其它元器件是否接错或损坏等。



（2）调试电路

1）EMI整流滤波电路

输入电压和C_6两端电压的波形：

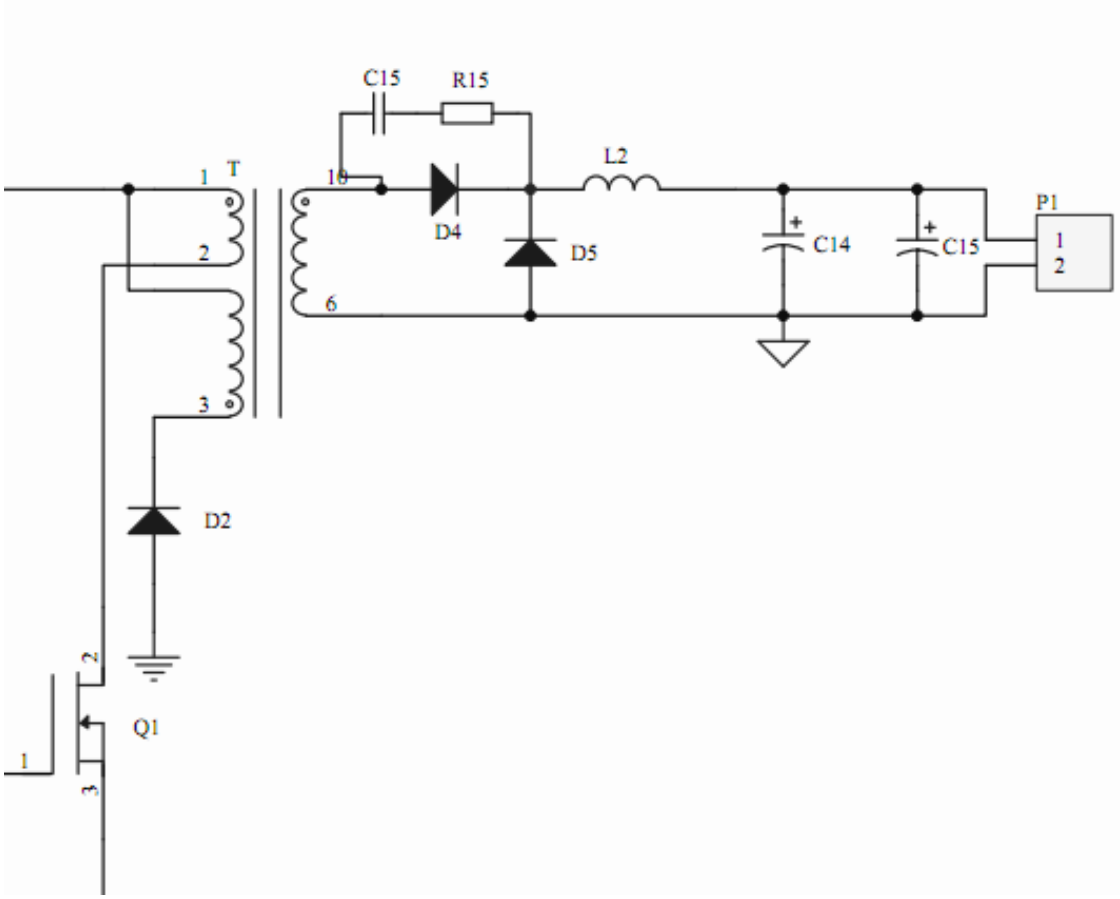


（2）调试电路

2）带磁复位正激变换器

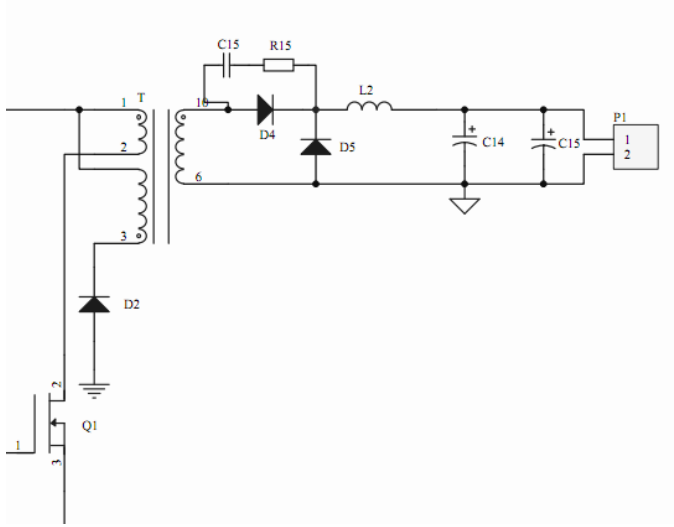
测试变压器的同名端及匝比

用万用表测试MOS管及副边整流、续流二极管等是否正常



（2）调试电路

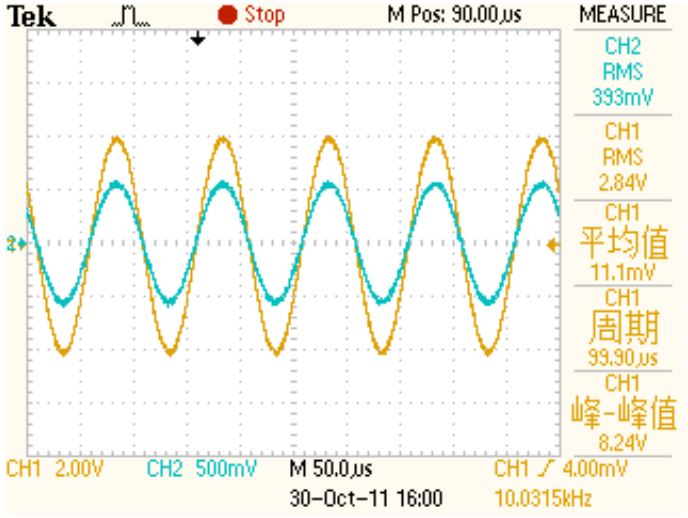
2）带磁复位正激变换器



测试变压器的同名端及匝比

（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±1V的正弦波。测得的波形如下：



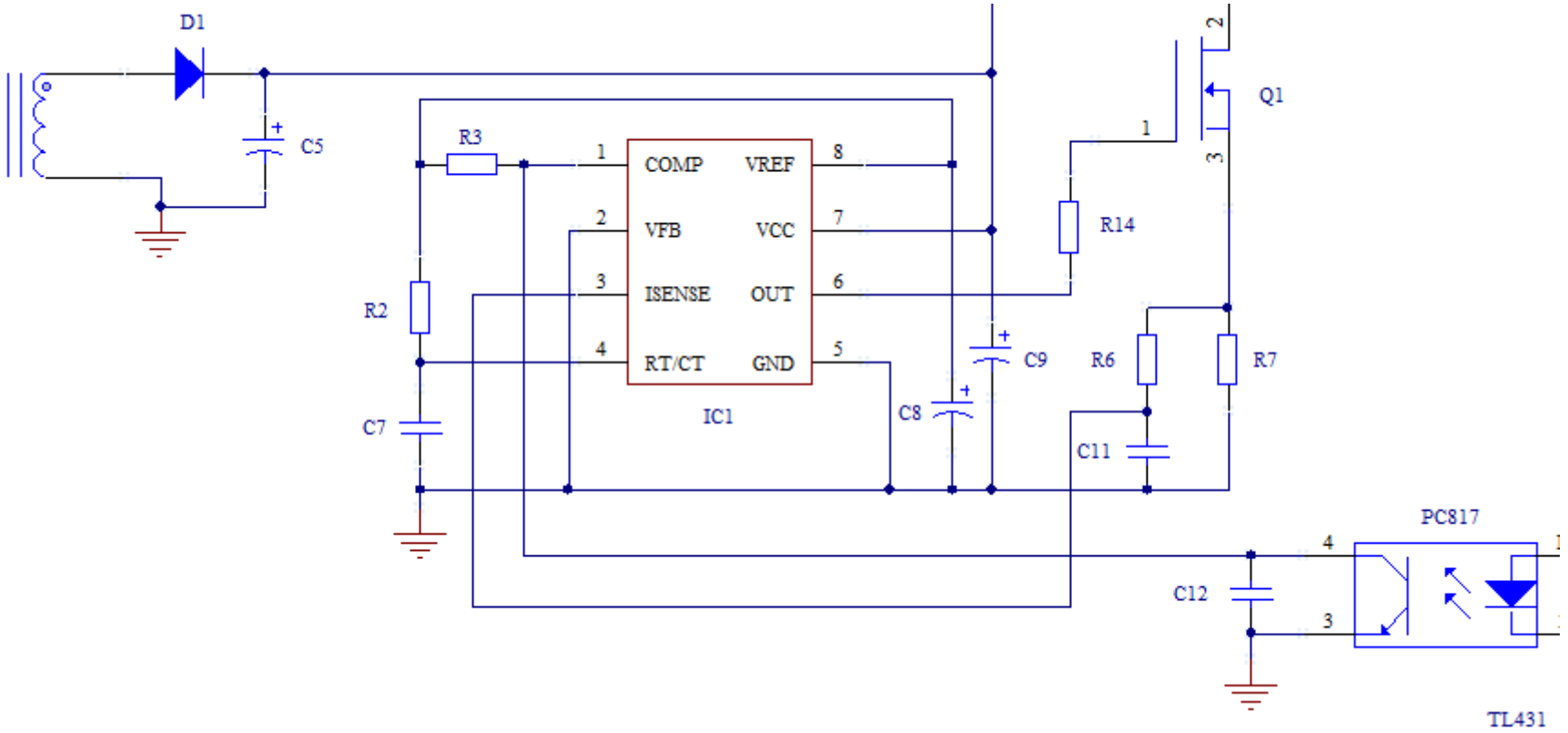
CH1:原边

CH2:副边

（2）调试电路

3）输出检测、反馈和控制电路

控制电路的调试



（2）调试电路

3）输出检测、反馈和控制电路

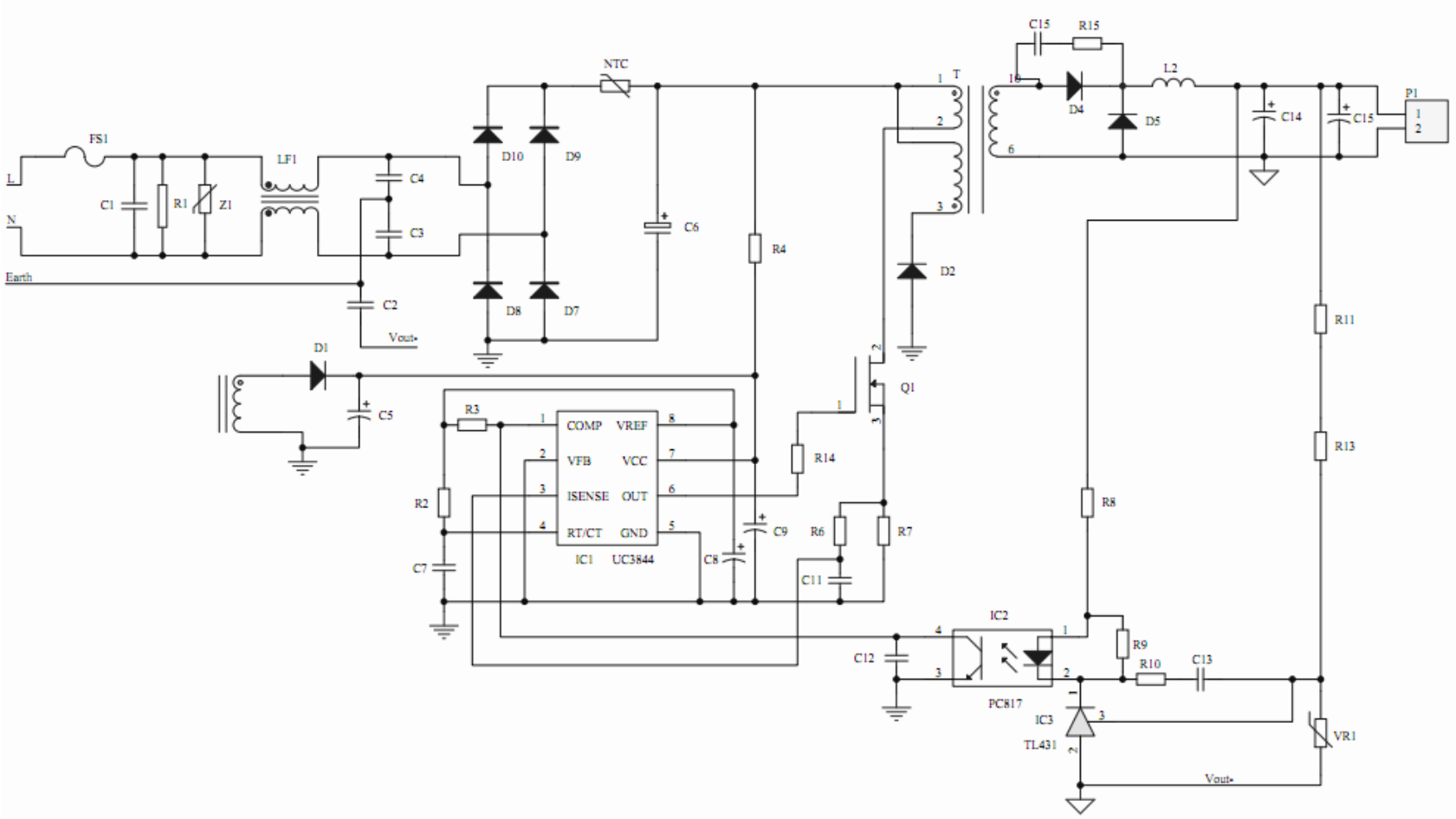
控制电路的调试

在二极管D1的阳极加16.7±0.5V，用示波器测量PIN8（Vref），输出5±2%V，测量PIN4，输出三角波，频率为65±10%KHz，测量PIN6，输出PWM波，频率为65±10%KHz，幅值为15±1V。

（2）调试电路

3）输出检测、反馈和控制电路

输出检测、反馈电路的调试



（2）调试电路

3）输出检测、反馈和控制电路

输出检测、反馈电路的调试

在输出端加24±0.48V电压，二极管D1的阳极加16.7±0.5V，测量TL431的pin3，其值为2.5±0.1V，如果不在此范围之内，调节VR1，达到2.5±0.1V。

测量PC817的PIN4，其值<1V；测量TL431的PIN1，输出2±0.2V；测量PC817的PIN1，其值为3.2±0.2V 。

把输出端的电压降低到20V，测量PIN1（UC3844），其值6±1V。如测量值不在范围之内，检查TL431和PC817的每个引脚是否按电路图连接上。

调试文档

（3）测试电路

调试完之后，对电路板进行功能测试，也就是测试电路的性能指标。电路测试设备连接情况如下图：

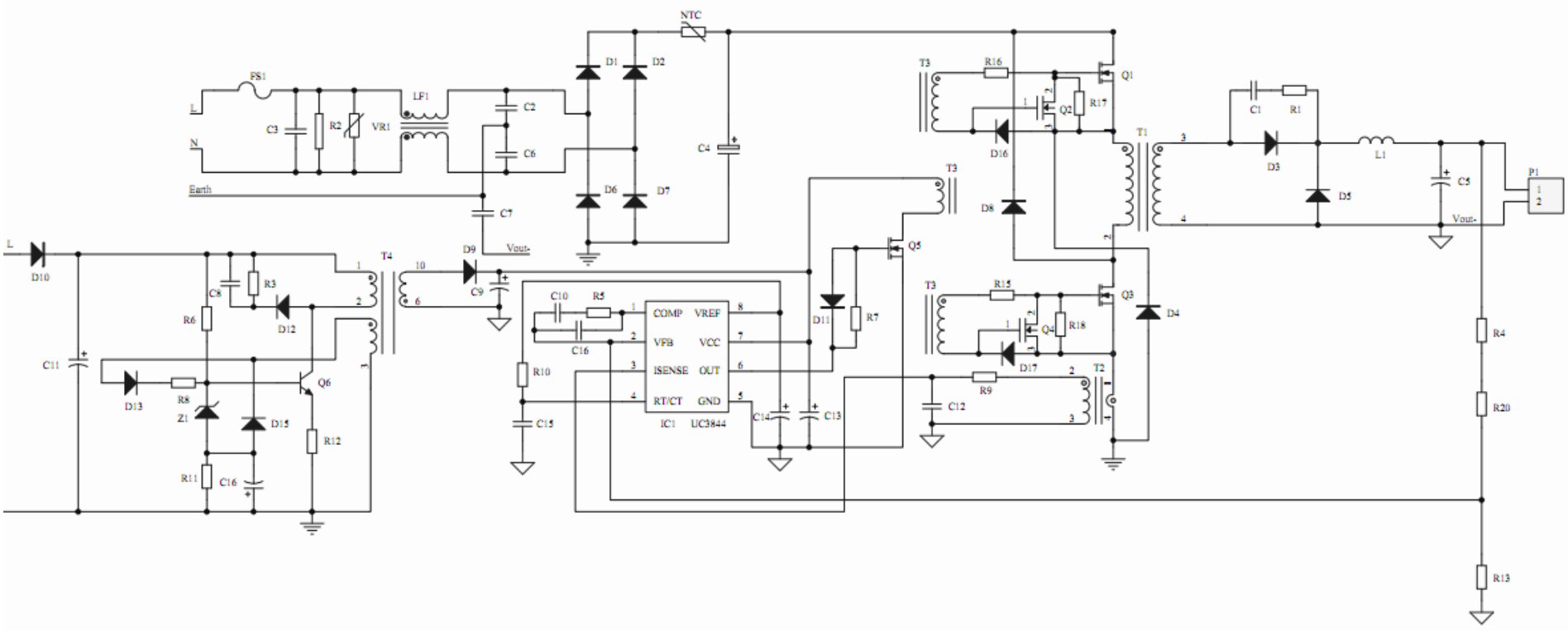
测试电路时注意事项：

按照测试的要求来做，准备好相关仪器设备，如交流电源、电子负载、示波器、功率表和万用表等。按照测试电路连接好被电源和设备，尤其是输出端的+/-不能接反了。

（3）测试电路

电路的性能指标：输出电压的调整率、效率、输出电压纹波、输出电流纹波、输出电压上升时间、维持时间、动态响应等。

学习情境三　正激式电源电路的分析（二）



双管正激电源电路

双管正激电源电路的学习分解成三个任务：

任务一　双管正激变换器的介绍

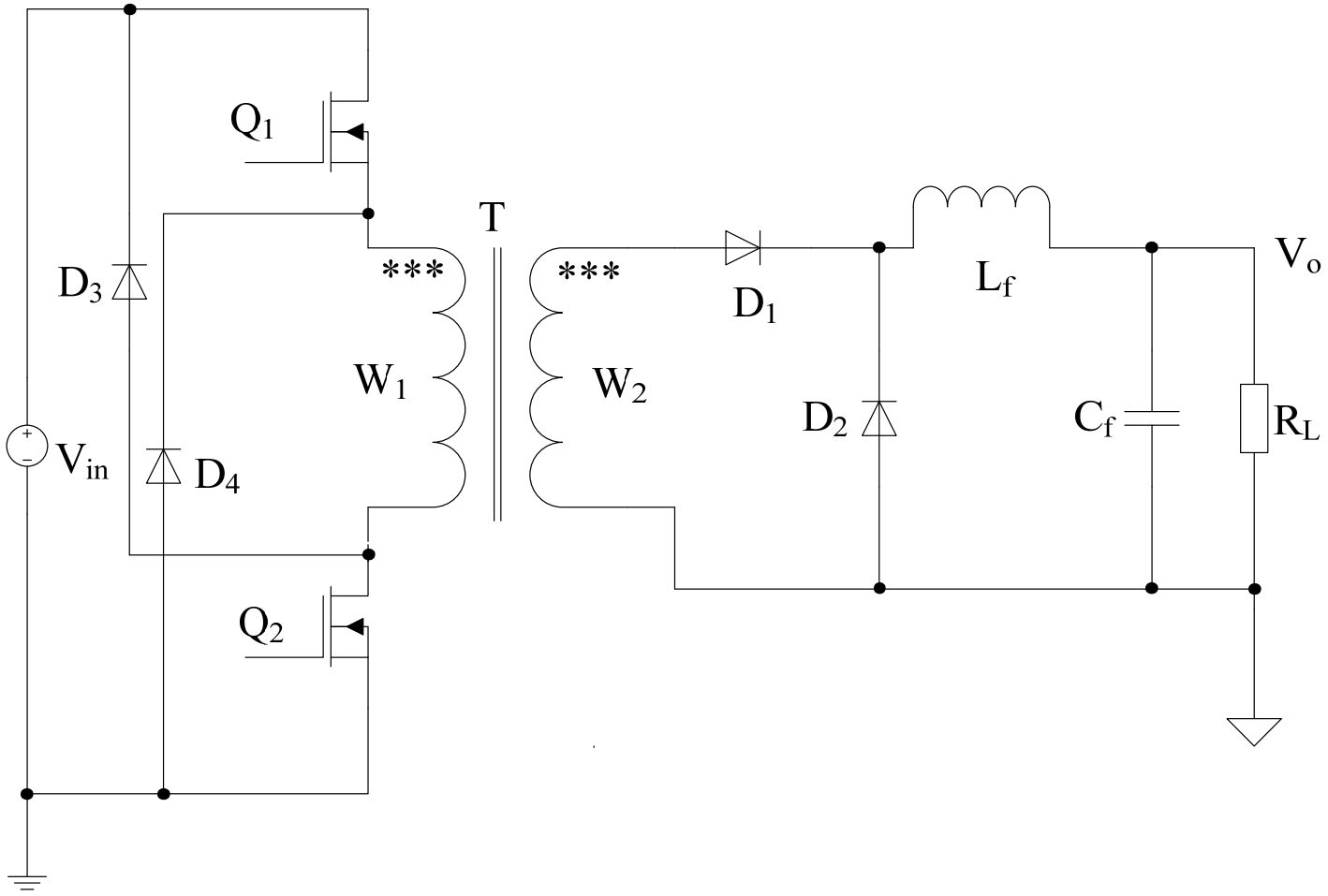
任务二　双管正激电源电路的分析

任务三　正激变换器和反激变换器的比较

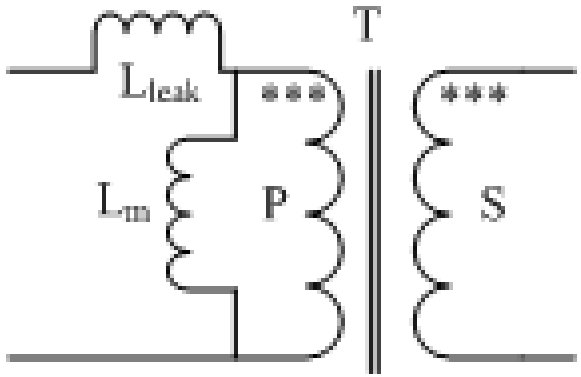
任务一 双管正激变换器的介绍—

double Forward converter

1. 电路结构



回顾：正激式变压器的等效电路：



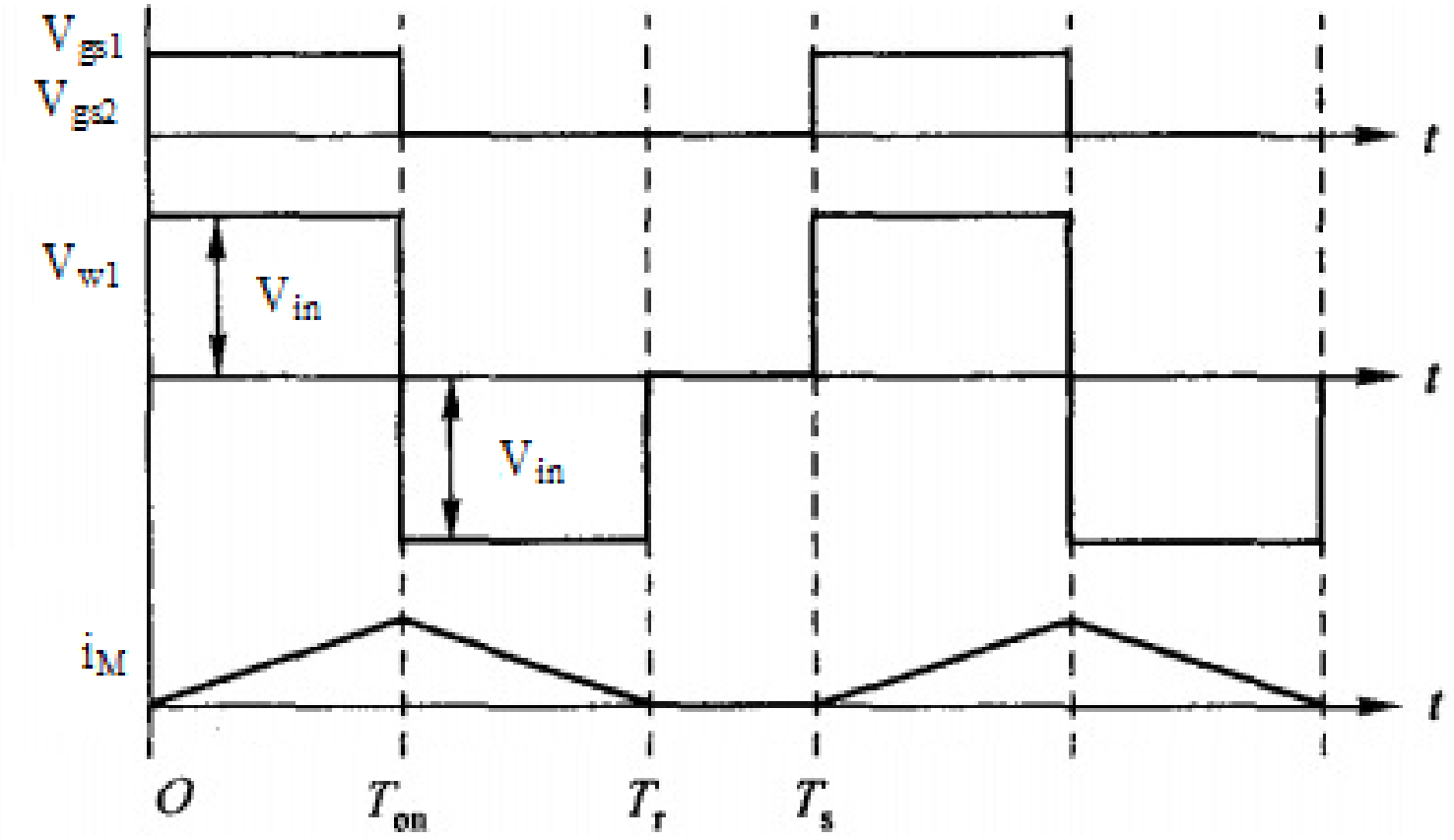
问题：

1.分析正激变换器中最大占空比为多少？

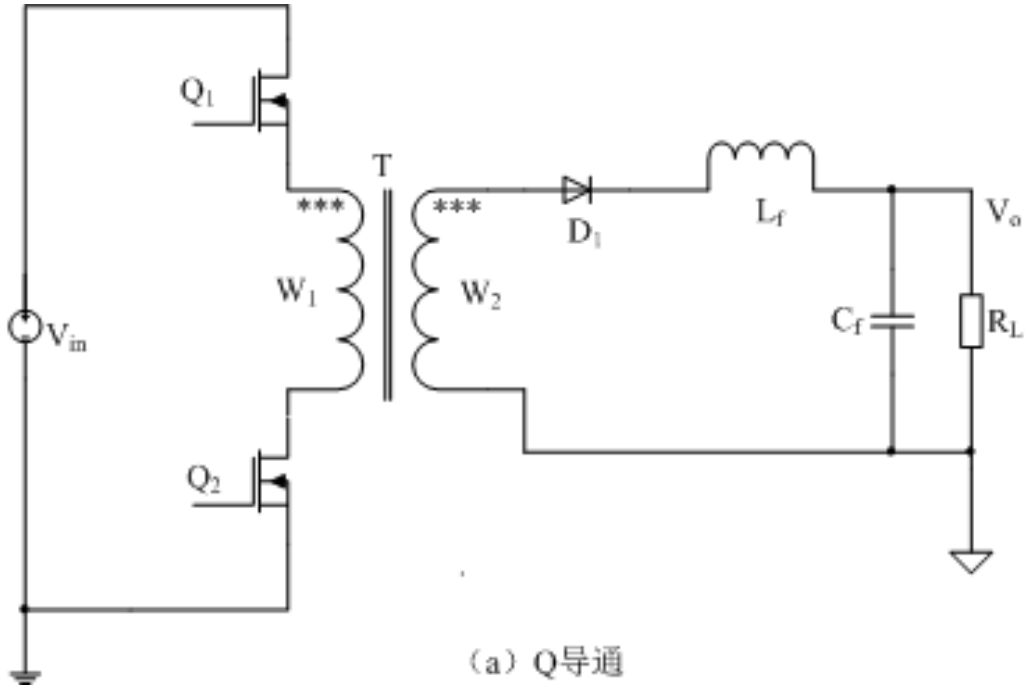
2.驱动信号如何同时驱动两个MOS管？

2. 双管正激变换器工作原理的分析

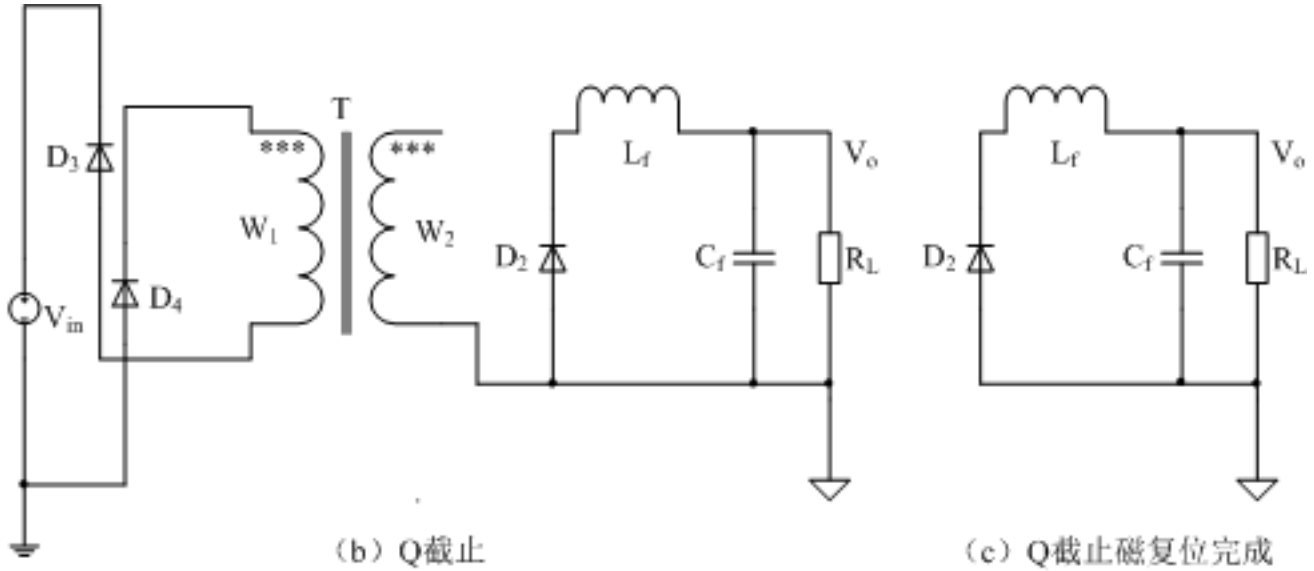
正激变换器的主要理论波形



等效电路



（a）Q导通



（b）Q截止

（c）Q截止磁复位完成

工作原理分析：

(1) MOS管导通时，电源电压加在原边绕组W1上，变压器储存能量，磁通量增加。在导通期间，磁通的增加量为：

$$\Delta\Phi\ (+) = \frac{V_{in}}{W_1} * D * T_s$$

此过程中，副边绕组的电压为Vin/N（N为原边和副边匝数比），整流二极管D3导通，给电感、电容充电和负载供电。

(2) MOS管截止时，变压器原边励磁电感中的电流不能跃变（方向不变，大小连续变化），通过二极管D1和D2继续流通。此时，变压器进行磁复位，变压器上的电压为-Vin。磁通量的减小量为：

$$\Delta\Phi\ (-) = \frac{V_{in}}{W_1} * \Delta D * T_s$$

副边绕组W2，同名端的电压为负，整流二极管D3截止，续流二极管D4导通，电感和电容释放能量，给负载供电。

最大占空比的确定

变压器要进行磁复位，也就是增加的磁通量等于减小的磁通量，即：$\Delta\Phi(+)=\Delta\Phi(-)$

$$\frac{V_{in}}{W_1}*D*T_s=\frac{V_{in}}{W_1}*\Delta D*T_s\Rightarrow D=\Delta D$$

最大占空比

$$D+\Delta D\le 1\Rightarrow D_{\max}=50\%$$

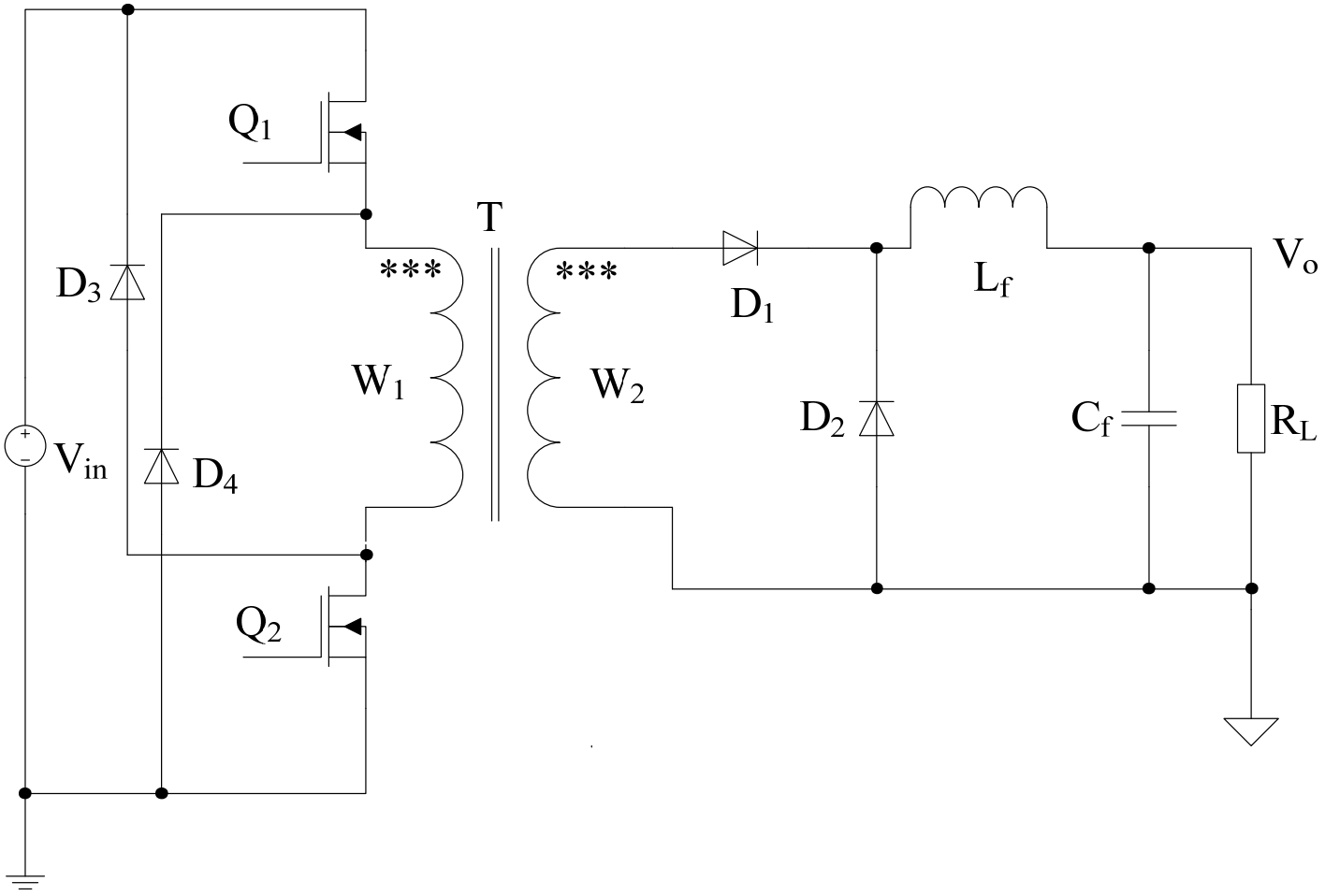
通常，双管正激变换器中，最大占空比为46%左右。

3. 基本关系式

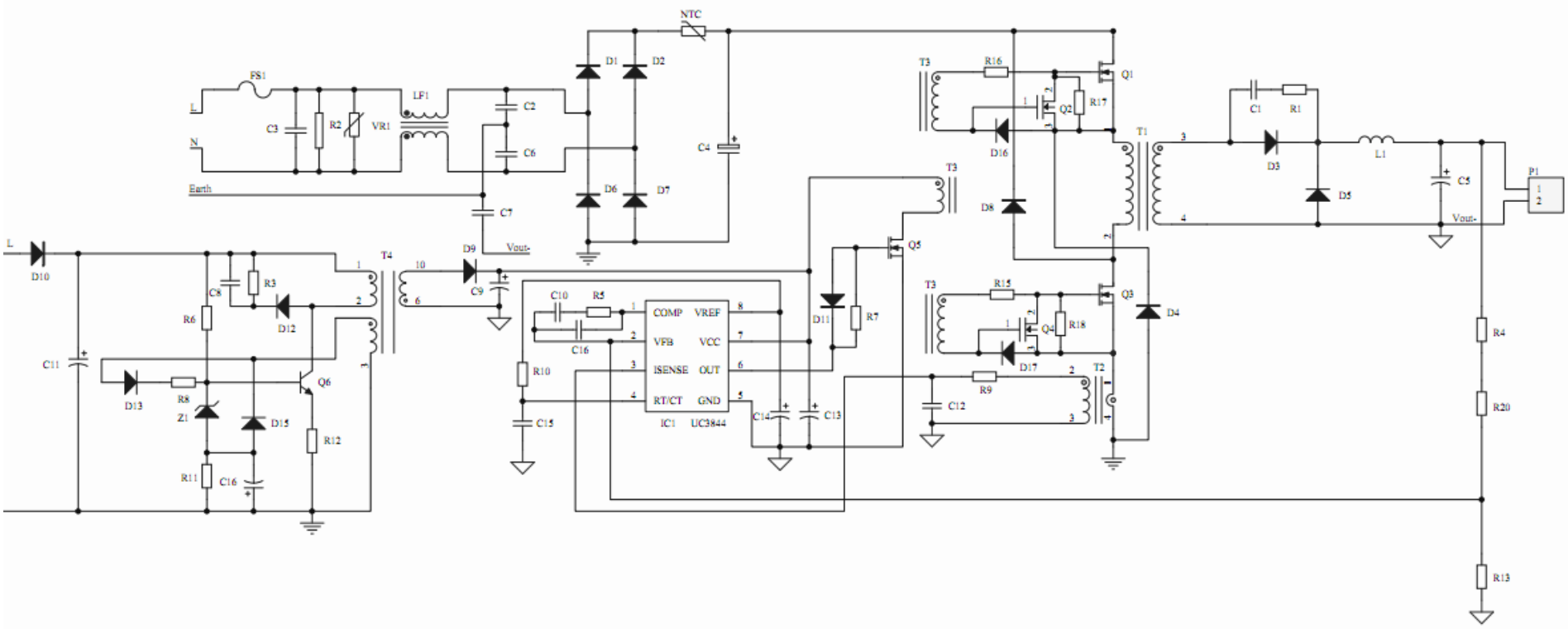
从前面的分析知，forward变换器实际上是一个隔离的Buck变换器，其输入输出电压之间的关系为：

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{N} * D_y$$

3. 基本关系式的推导



任务二　双管正激电源电路的分析



双管正激电源电路

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（说清楚具体的结构），再从局部（或控制芯片引脚的功能）分析每一部分或每个元件的作用。

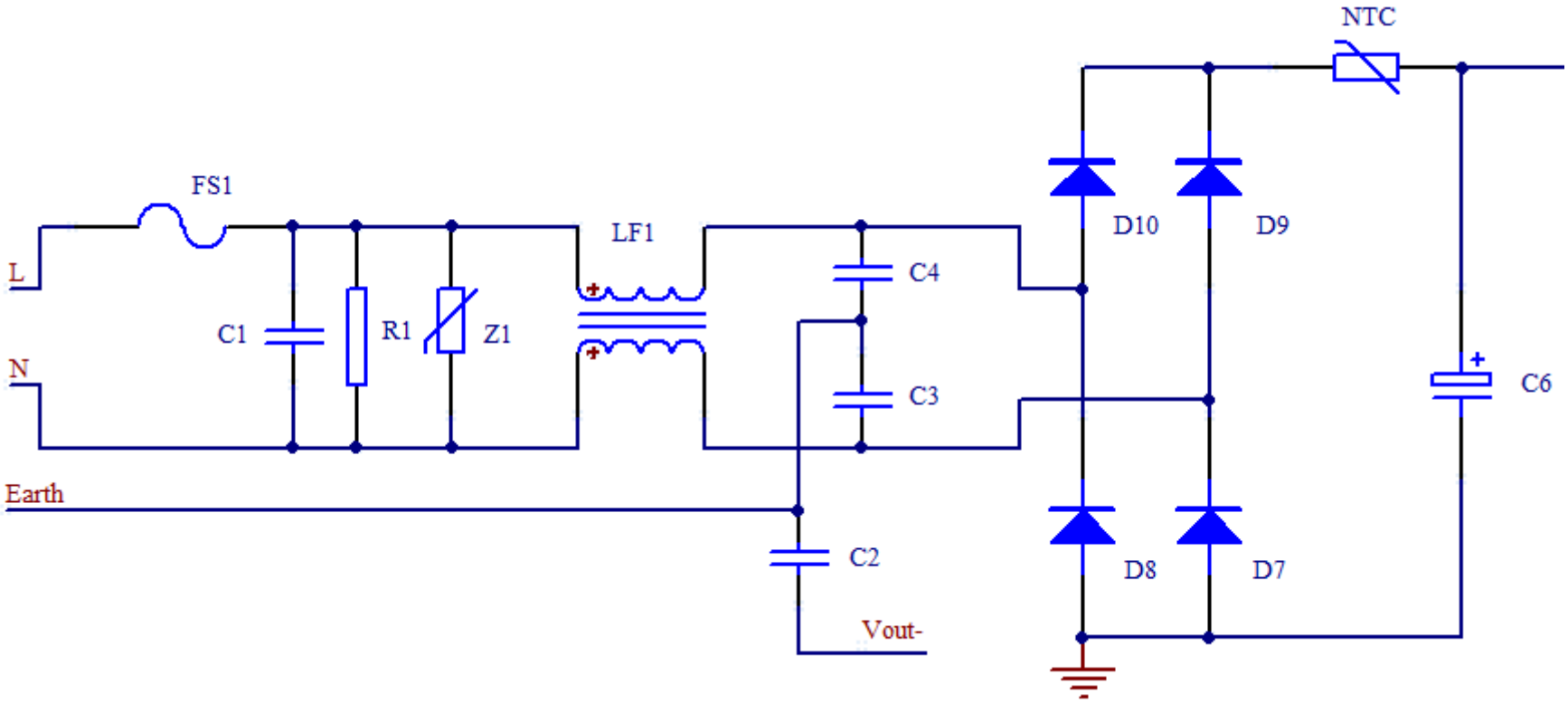
电路组成结构：

EMI整流滤波电路、双管正激变换器、控制电路、芯片Vcc辅助电源电路四部分构成。

控制芯片与功率电路（或拓扑结构）的连接主要是：电流的采样、输出电压的采样、MOS管的驱动以及V_{CC}等。

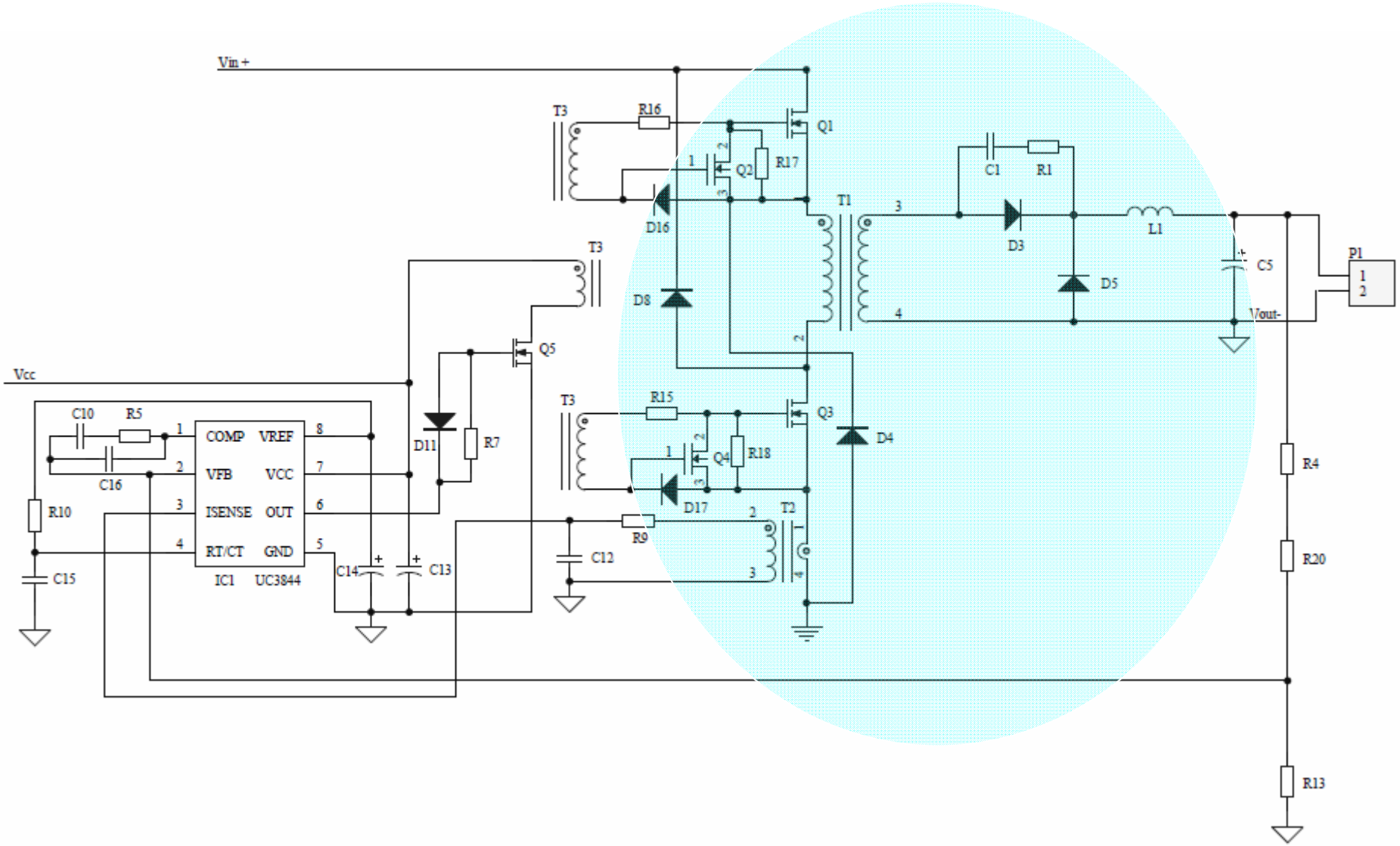
若拓扑结构是隔离式变换器，控制芯片与拓扑结构原边或副边共地。

（1）EMI整流滤波电路



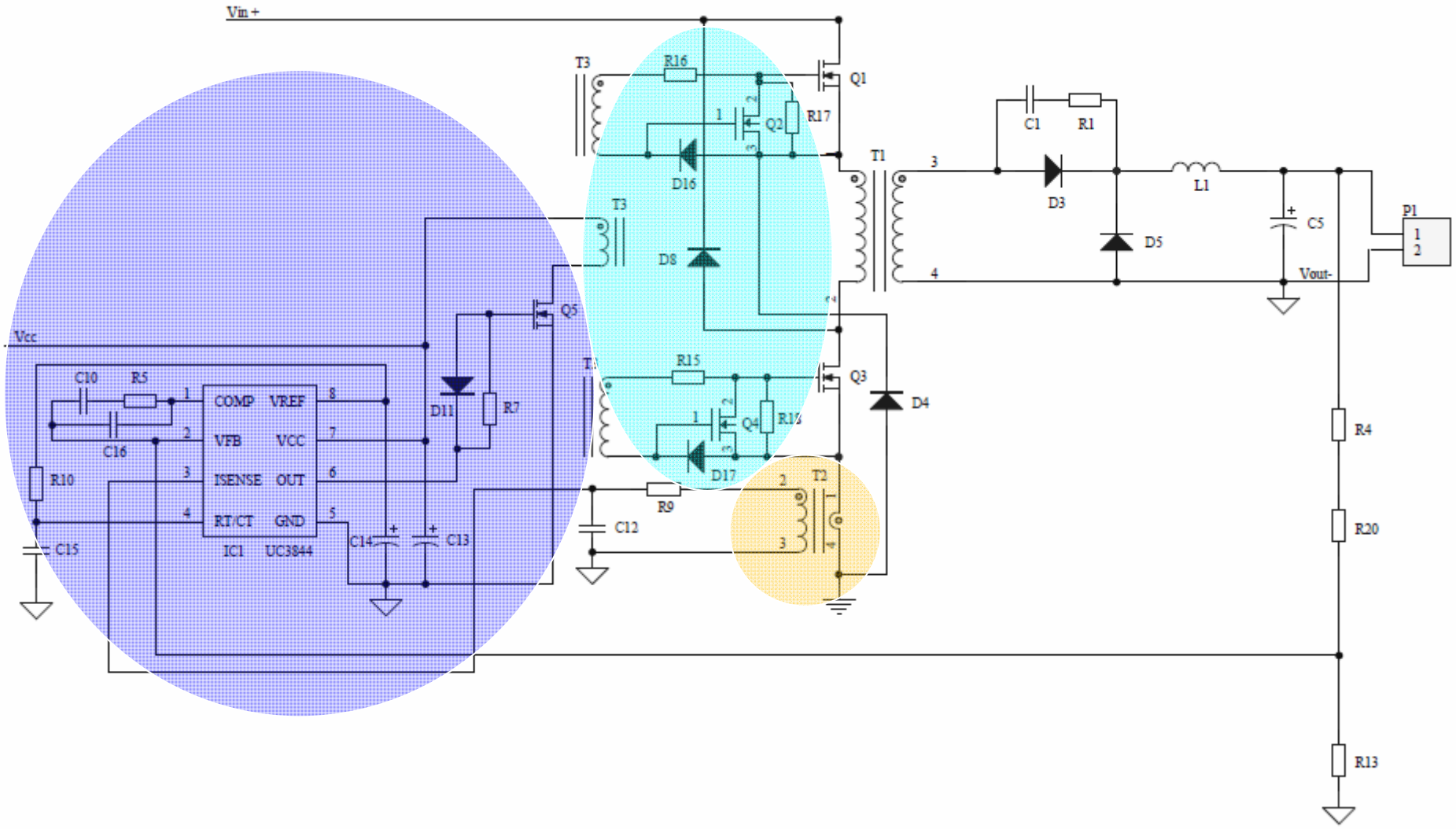
NTC抑制浪涌电流

（2）双管正激变换器


Vin+
T3
R16
Q1
Q2
R17
D16
T1
C1
R1
D3
L1
C5
P1
Vout-
D5
D8
Q5
Vcc
C10
R5
C16
R10
C15
COMP
VREF
VFB
VCC
ISENSE
OUT
RT/CT
GND
IC1
UC3844
D11
R7
R15
Q3
D4
Q4
R18
D17
T2
R9
C12
C14
C13
R4
R20
R13

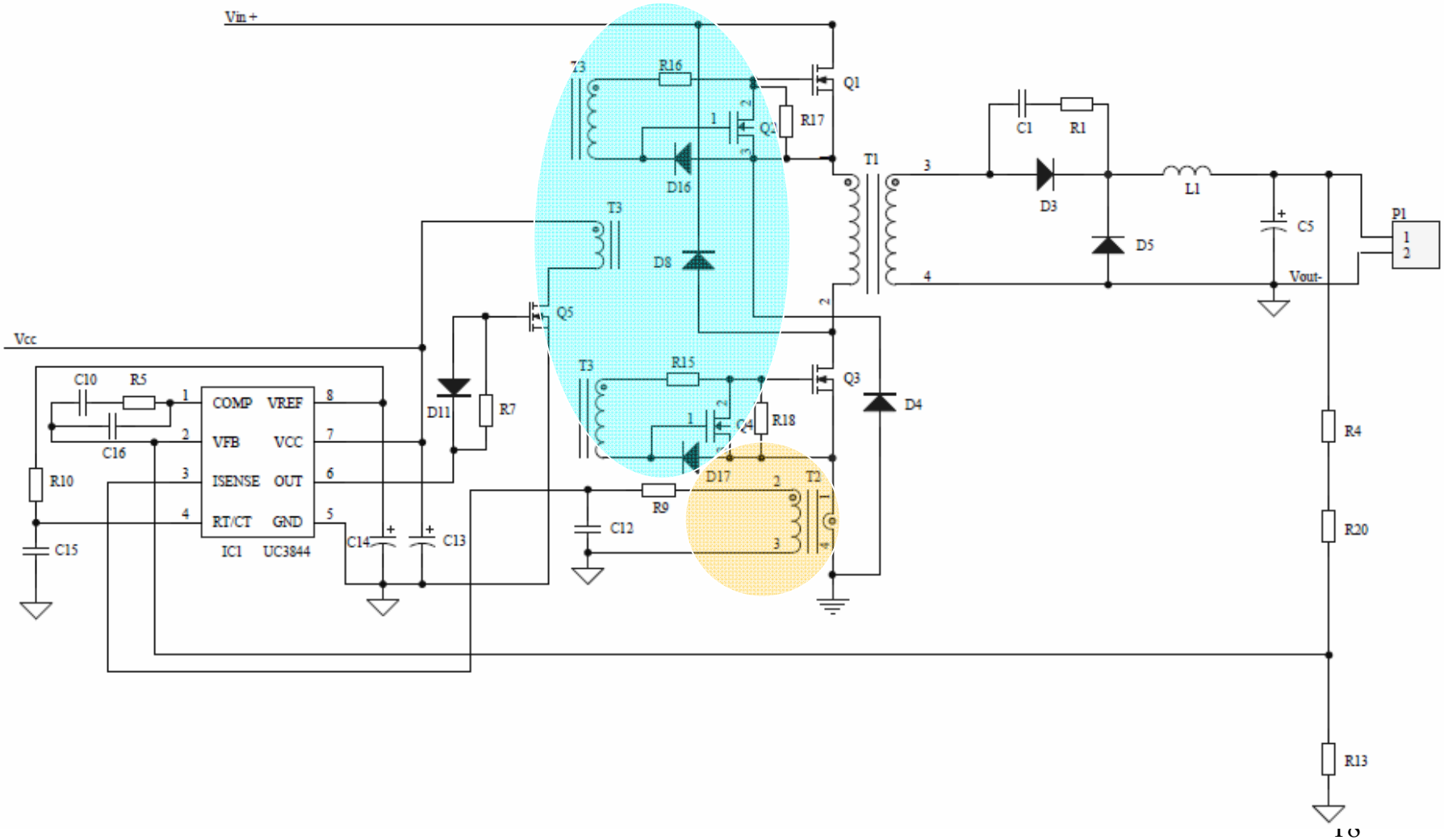
（3）控制电路

控制电路由UC3844构成的，如下标注



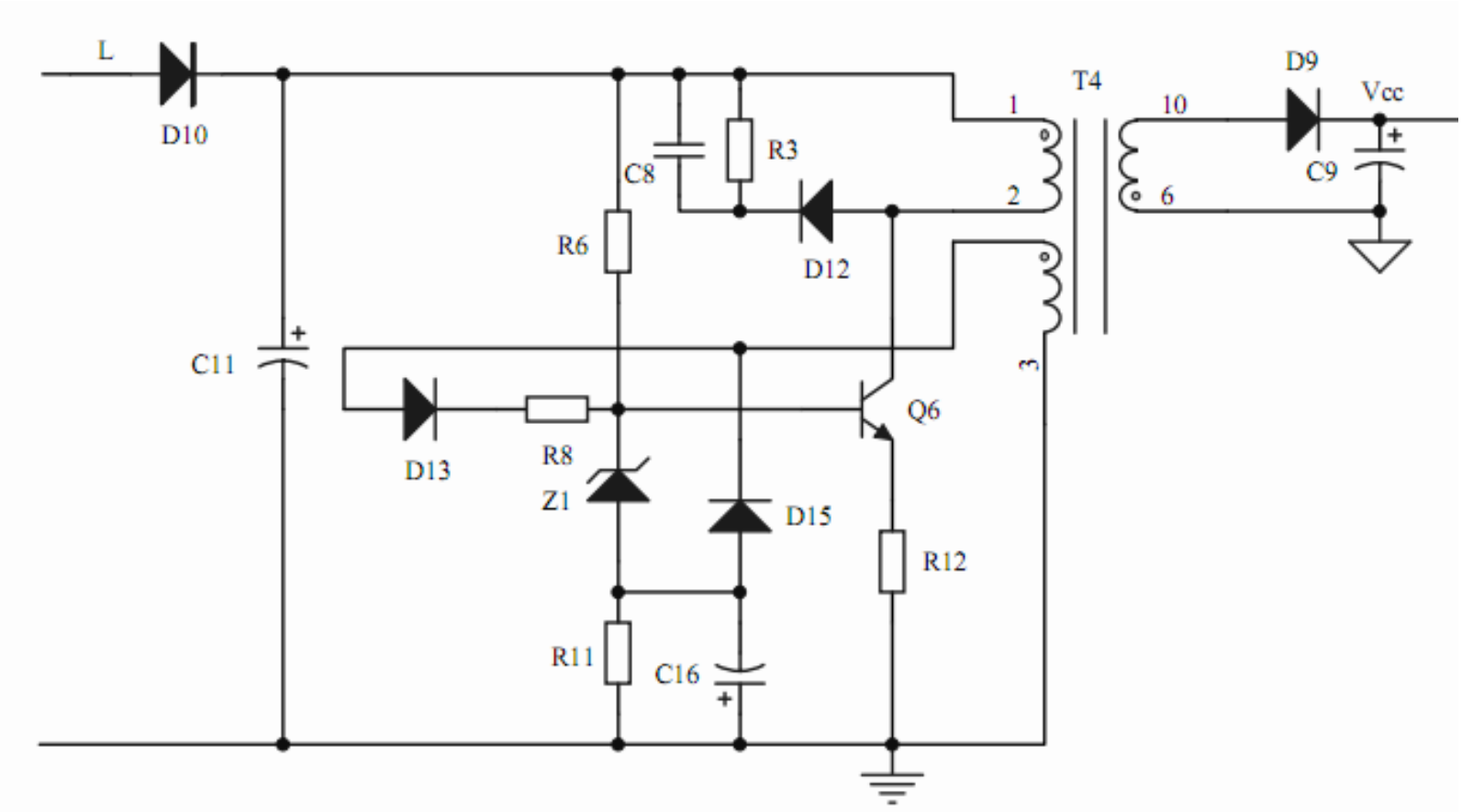
（3）控制电路

电流采样和MOS管驱动如标识



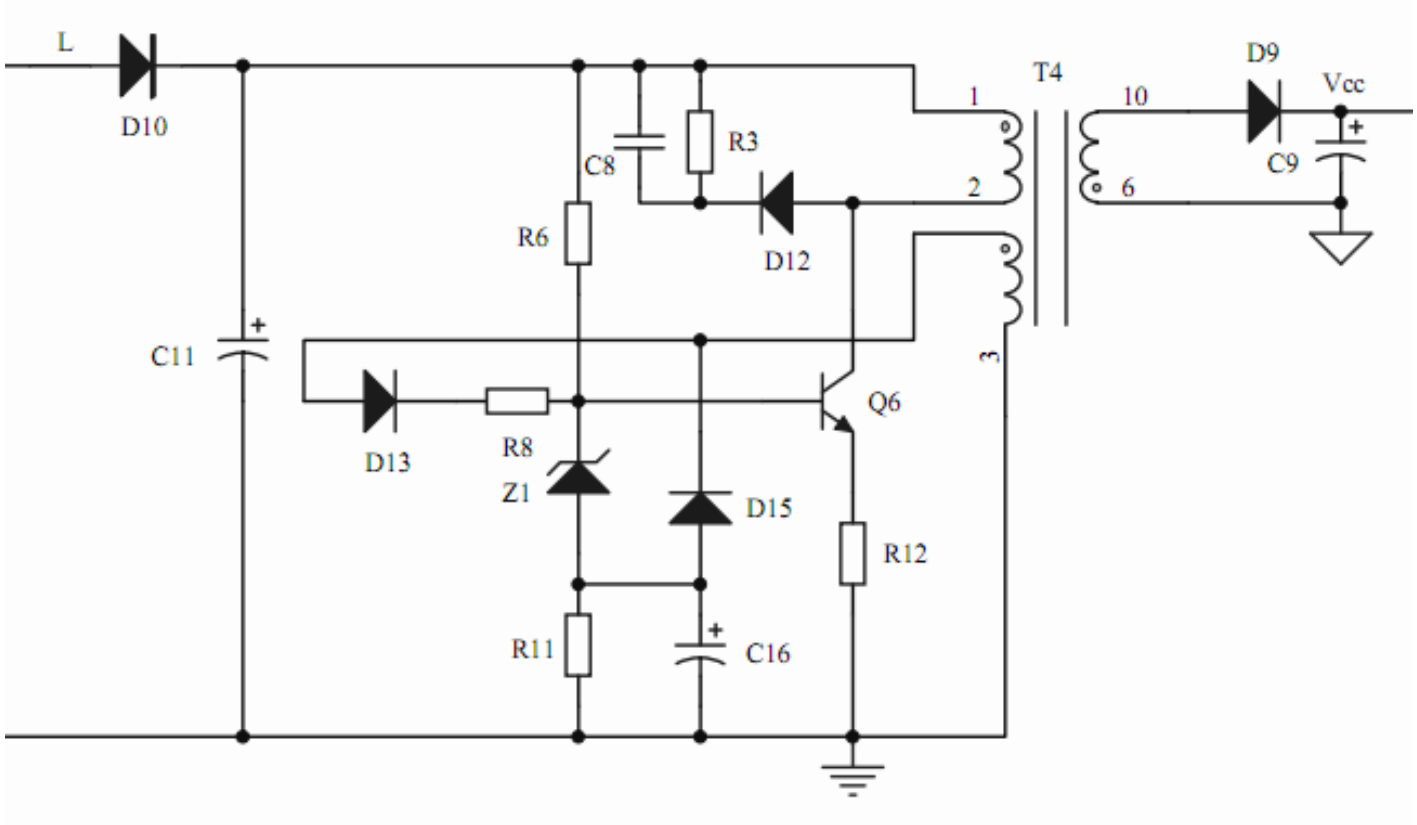
（4）其它电路

RCC电路（自激振荡反激电路）给控制芯片UC3844提供启动和工作电压。

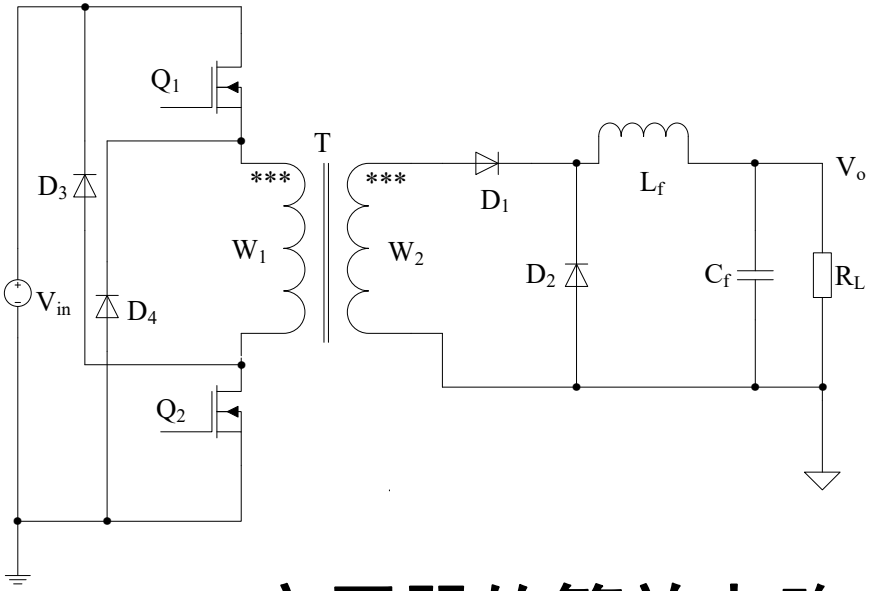


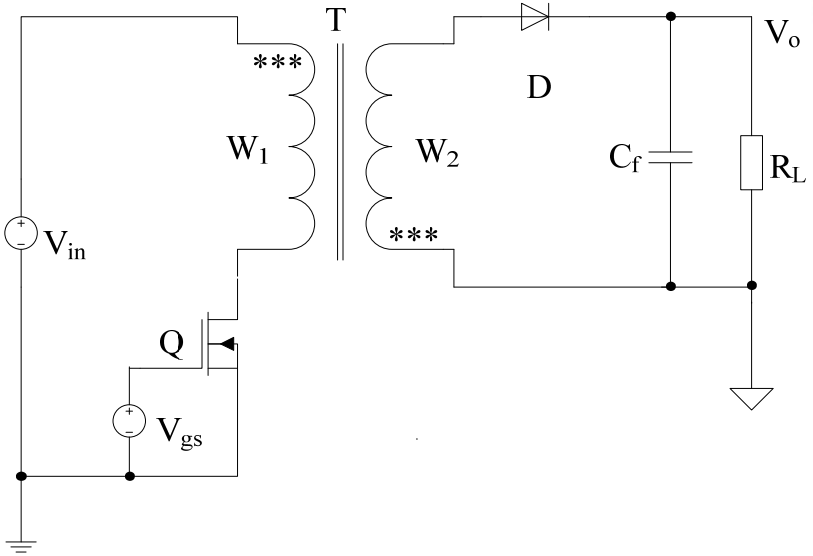
（4）其它电路

自激振荡反激电路的分析：

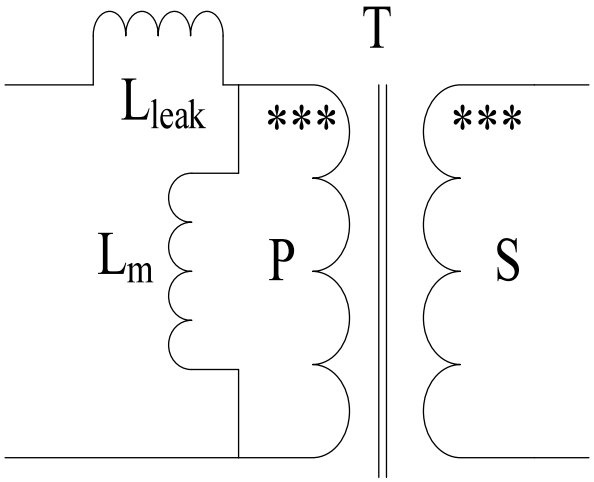


任务三　正激变换器和反激变换器的比较

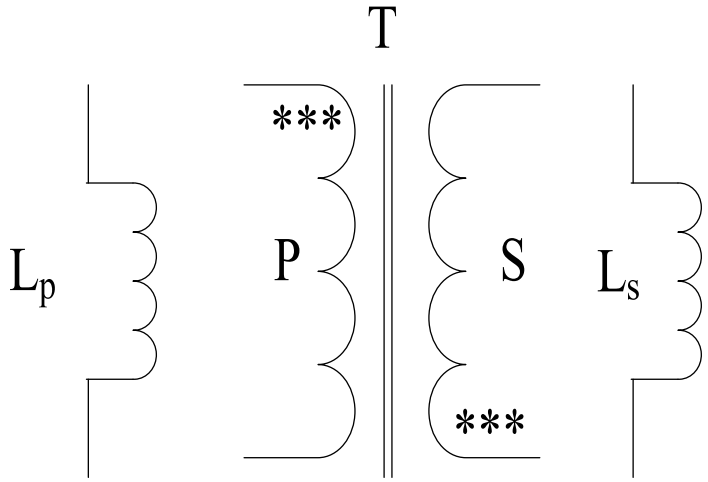




1. 变压器的等效电路



(a)



(b)

2. 正激变换器中原边绕组的电流由两部分组成，一部分是负载电流分量，它的大小与副边负载有关；当副边电流加大时，原边负载电流分量也增加，以抵消副边电流的作用。另一部分是励磁电流分量，主要产生主磁通，在空载运行和负载运行时，该励磁分量均不变化。

3. 工作原理的比较：

反激式变换器工作过程分两步：

（1）MOS管导通，初级绕组将电能转换为磁能存储起来；

（2）MOS管关断，存储的磁能通过次级绕组给电容充电，同时给负载供电。

正激式变换器工作过程分两步：

（1）MOS管导通，初级和副级绕组同时工作，将电能传递到储能电感上；

（2）MOS管关断，副边（和、原边）不工作，复位绕组（复位二极管）工作，变压器进行磁复位。

4. 正激变压器不需要储存能量，但要进行磁复位，由于励磁电感储存了能量，在MOS管关断期间，必须释放完毕；反激变压器需要储存能量，原、副边交替工作。