

XLSEMI

上海芯龙半导体技术股份有限公司

专业 专注 务实 创新 高效 沟通

XL401X系列降压恒压产品设计指南



V1.4

XL401X系列快速选择表

XLSEMI

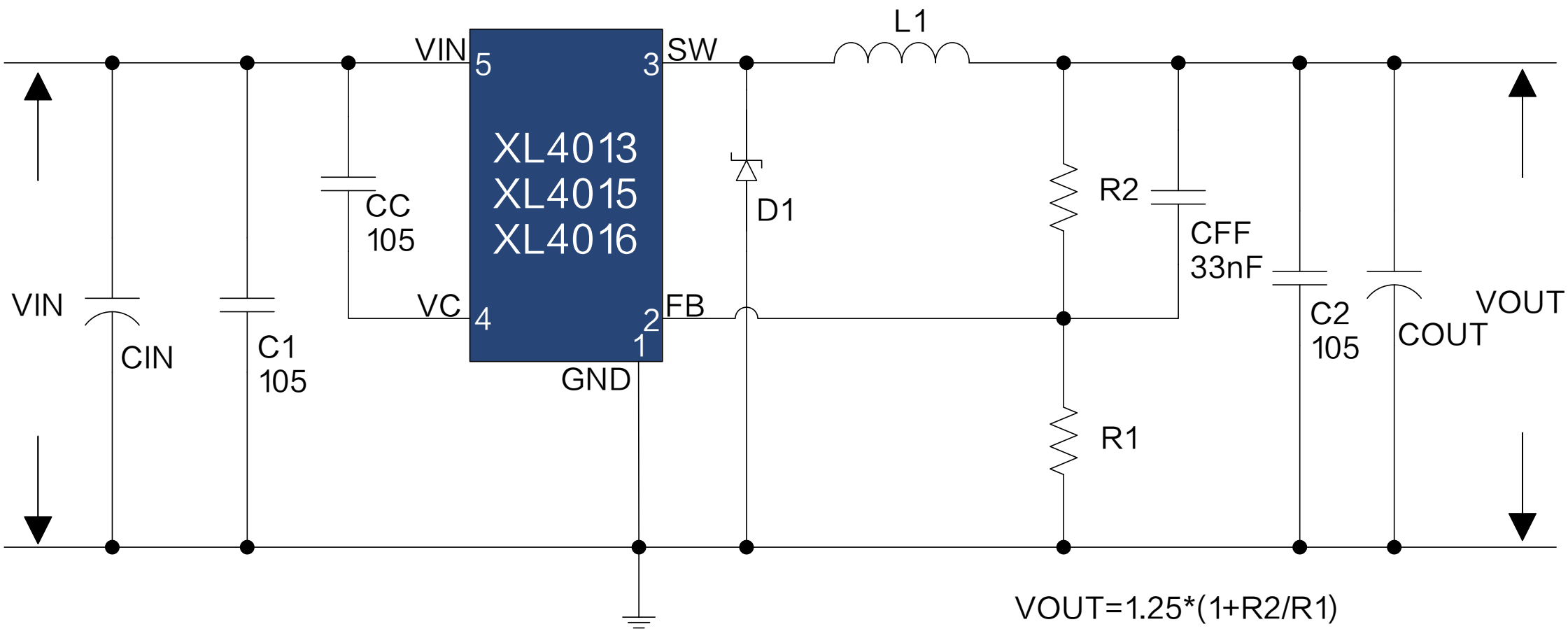
专业 专注 务实 创新 高效 沟通

产品型号	输入电压范围	开关电流	开关频率	输出电压	典型应用	效率(Max)	封装类型	功率
XL4013	8V-36V	4A	180KHz	1.25V~32V	5V/3A 12V/2A	94%	TO252-5L	≤20W
XL4015	8V-36V	5A	180KHz	1.25V~32V	5V/4A 12V/3A	94%	TO263-5L	≤100W
XL4016	8V-40V	12A	180KHz	1.25V~32V	5V/12A 12V/6A	94%	TO220-5L	≤100W

典型应用电路图

XLSEMI

专业 专注 务实 创新 高效 沟通



输入电容

➤ 降压转换器的非持续输入电流会在输入电容上产生较大的纹波电流，输入电容最大RMS电流计算如下，输入电容最大RMS电流产生于50%占空比左右：

$$I_{RMS} = I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} * (V_{IN} - V_{OUT})}{(V_{IN})^2}}$$

➤ 输入电容起到储能、滤波与提供瞬态电流作用，在连续模式中，转换器的输入电流是一组占空比约为 V_{OUT}/V_{IN} 的方波。为了防止大的瞬态电压，必须采用针对最大RMS电流要求而选择低ESR(等效串联电阻)输入电容器。

$$C_{IN} = \frac{I_{OUT_{MAX}} * V_{OUT}}{\Delta V_{IN} * F_{SW} * V_{IN_{MIN}}}$$

ΔV_{IN} 为输入电压纹波， F_{SW} 为开关频率；

➤ 输入电容耐压按照 $1.5 * V_{IN_{MAX}}$ 进行选择；

➤ 在未使用陶瓷电容时，建议在输入电容上并联一个0.1uF~1uF的高频贴片陶瓷电容进行高频去耦。

CC电容

- VC是芯片内部电压调节旁路电容，内部电压调节旁路电容，需要在VC与VIN之间并联1uF电容。

输出电压设计

- FB为芯片内部基准误差放大器输入端，内部基准稳定在1.25V；
- FB通过外部电阻分压网络，检测输出电压进行调整，输出电压计算公式为：

$$V_{OUT} = 1.25V * (1 + \frac{R2}{R1})$$

R1取值范围1KΩ~10KΩ；

- 输出电压精度取决于芯片VFB精度、R1与R2精度，选择精度更高的电阻可以获得精度更高的输出电压，R1、R2精度需要控制在±1%以内。

电感选择

➤电感的选择不取决于VIN与VOUT压差、所需输出电流与芯片开关频率，电感最小值计算公式如下：

$$L_{MIN} = \frac{(VIN_{MAX} - VOUT) * D_{MIN}}{0.3 * IO_{OUT} * F_{SW}} \quad D = \frac{VOUT}{VIN}$$

➤电感饱和电流最小为 $1.5 * IO_{OUT_MAX}$ ；选用低直流电阻的电感可获得更高的转换效率。

续流二极管选择

➤续流二极管在开关管关闭时有电流通过，形成续流通路；需要选择肖特基二极管，肖特基二极管VF值越低，转换效率越高；

➤续流二极管额定电流值大于最大输出电流，正常工作时平均正向电流可计算如下：

$$I_{DAVG} = IO_{OUT_MAX} * \frac{VIN - VOUT}{VIN}$$

➤续流二极管反向耐压大于最高输入电压，建议预留30%以上裕量。

输出电容选择

➤在输出端应选择低ESR电容以减小输出纹波电压，一般来说，一旦电容ESR得到满足，电容就足以满足需求。任何电容器的ESR连同其自身容量将为系统产生一个零点，ESR值越大，零点位于的频率段越低，而陶瓷电容的零点处于一个较高的频率上，通常可以忽略，是一种上佳的选择，但与电解电容相比，大容量、高耐压陶瓷电容会体积较大，成本较高，因此使用0.1uF至1uF的陶瓷电容与低ESR电解电容结合使用是不错的选择。

➤输出电压纹波由 ΔV_{OUT_C} (电容放电引起)和 ΔV_{OUT_ESR} (电容的ESR引起)组成，计算如下：

$$\Delta V_{OUT_C} = \frac{0.3 * I_{OUT}}{8 * F_{SW} * C_{OUT}} \quad \Delta V_{OUT_ESR} = 0.3 * I_{OUT} * ESR$$

$$\Delta V_{OUT} = \Delta V_{OUT_C} + \Delta V_{OUT_ESR}$$

➤ $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT}$

输出电容选择

➤ 输出电容容值及ESR取决于能够允许的最大输出电压纹波和负载电流突变时输出电压的最大偏移量；当负载突增时，转换器需要2至3个时钟周期来对输出电压下降做出反应，在转换器做出反应之前，输出电容需要提供突变的负载电流。

➤ 在合适的输出电压下冲需要的最小输出电容容量计算如下：

$$C_{OUT} > \frac{3 * (I_{OH} - I_{OL})}{F_{SW} * V_{US}}$$

➤ 在合适的输出电压过冲需要的最小输出电容容量计算如下：

$$C_{OUT} > \frac{I_{OH}^2 - I_{OL}^2}{(V_{OUT} + V_{OS})^2 - V_{OUT}^2} * L$$

I_{OL}:负载瞬态电流低值；

I_{OH}:负载瞬态电流高值；

V_{US}:输出下冲电压；

V_{OS}:输出过冲电压。

PCB设计注意事项:

- VIN,GND,SW,VOUT+,VOUT-是大电流途径, 注意走线宽度, 减小寄生参数对系统性能影响;
- 输入电容靠近芯片VIN与GND放置, 电解电容+贴片陶瓷电容组合使用;
- FB走线远离电感与肖特基等有开关信号地方, 哪里需要稳定就反馈哪里, FB走线使用地线包围较佳;
- 芯片、电感、肖特基为主要发热器件, 注意PCB热量均匀分配, 避免局部温升高。

设计实例

系统输入输出规格参数

- 输入电压： $V_{IN}=8V\sim 30V$ ，典型值为12V；
- 输出电压： $V_{OUT}=5V$ ；
- 输出电流： $I_{OUT}=3A$ ；
- 输出纹波电压：0.1V；
- 瞬态响应(1A~3A)：5%；
- 芯片选择XL4013；
- 开关频率： $F_{SW}=180KHz$ 。

计算输入电容：

$$I_{RMS} = I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} * (V_{IN} - V_{OUT})}{(V_{IN})^2}} = 3 * \sqrt{\frac{5 * (12 - 5)}{(12)^2}} = 1479mA$$

$$C_{IN} = \frac{I_{OUT_{MAX}} * V_{OUT}}{\Delta V_{IN} * F_{SW} * V_{IN_{MIN}}} = \frac{3 * 5}{0.2 * 180K * 8} = 52.08\mu F$$

$$V_{CIN} = 1.5 * V_{IN_{MAX}} = 1.5 * 30 = 45V$$

选择CIN容量100uF,RMS电流大于1500mA,耐压大于等于45V。

CC电容选择:

选择CC电容容量为1uF，耐压50V。

计算分压电阻:

假定R1=3.3K;

$$V_{OUT} = 1.25 * (1 + \frac{R2}{R1}) \Rightarrow R2 = \frac{(V_{OUT} - 1.25) * R1}{1.25} = \frac{(5 - 1.25) * 3.3}{1.25} = 9.9K$$

选择R1=3.3K，R2=10K，1%精度。计算出来输出电压中心值为5.038V

选择电感:

$$L_{MIN} = \frac{(V_{IN_{MAX}} - V_{OUT}) * D_{MIN}}{0.3 * I_{OUT} * F_{SW}} = \frac{(30 - 5) * \frac{5}{30}}{0.3 * 3 * 180K} = 25.7\mu H$$

电感最小饱和电流=1.5*3=4.5A

选择电感量47uH，饱和电流5A。

续流二极管选择:

➤ 二极管工作时最大正向平均电流产生于最大输入电压时:

$$I_{DAVG} = I_{OUT_{MAX}} * \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}} = 3 * \frac{30 - 5}{30} = 2.5A$$

➤ 选择反向耐压40V，电流能力大于4A的肖特基二极管。

选择输出电容:

➤ 先考虑负载瞬态响应

$$\text{输出下冲电压} < 0.25V \quad C_{OUT} > \frac{3 * (I_{OH} - I_{OL})}{F_{SW} * V_{US}} = \frac{3 * (3 - 1)}{180KHz * 0.25V} = 133\mu F$$

$$\begin{aligned} \text{输出过冲电压} < 0.25V \quad C_{OUT} &> \frac{I_{OH}^2 - I_{OL}^2}{(V_{OUT} + V_{OS})^2 - V_{OUT}^2} * L \\ &= \frac{3^2 - 1^2}{(5 + 0.25)^2 - 5^2} * 47\mu H = 146.7\mu F \end{aligned}$$

选择输出电容容量为220 μ F。

选择输出电容：

➤再计算输出纹波电压

$$\Delta V_{OUT_C} = \frac{0.3 * I_{OUT}}{8 * F_{SW} * C_{OUT}} = \frac{0.3 * 3}{8 * 180K * 220\mu F} = 2.84mV$$

$$\Delta V_{OUT} = \Delta V_{OUT_C} + \Delta V_{OUT_ESR} \Rightarrow \Delta V_{OUT_ESR} = \Delta V_{OUT} - \Delta V_{OUT_C}$$
$$\Rightarrow \Delta V_{OUT_ESR} = 100mV - 2.84mV = 97.16mV$$

$$\Delta V_{OUT_ESR} = 0.3 * I_{OUT} * ESR \Rightarrow ESR = \frac{\Delta V_{OUT_ESR}}{0.3 * I_{OUT}}$$
$$\Rightarrow ESR = \frac{97.16mV}{0.3 * 3} = 107.96m\Omega$$

➤最后计算耐压

$$V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT} = 1.5 * 5 = 7.5V$$

选择输出电容容量为220uF，ESR小于0.12Ω，耐压10V。

常见问题与解决方案

➤ Q1. 输入正负极接反芯片损坏

解决方案：添加防反接电路(右图蓝色虚线框中电路)。

Q1: $V_{DS} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$

DZ: $V_{DZ} = 10V, 500mW$

R3, R4: 20K

➤ Q2. 输入尖峰电压损坏芯片

解决方案一：输入添加瞬态尖峰电压吸收电路(右图蓝色虚线框中电路)；

D2: $V_{D2} = 1.2 * V_{IN_{MAX}} \leq 40V$

解决方案二：输入添加过压保护电路(右图红色虚线框中电路)。

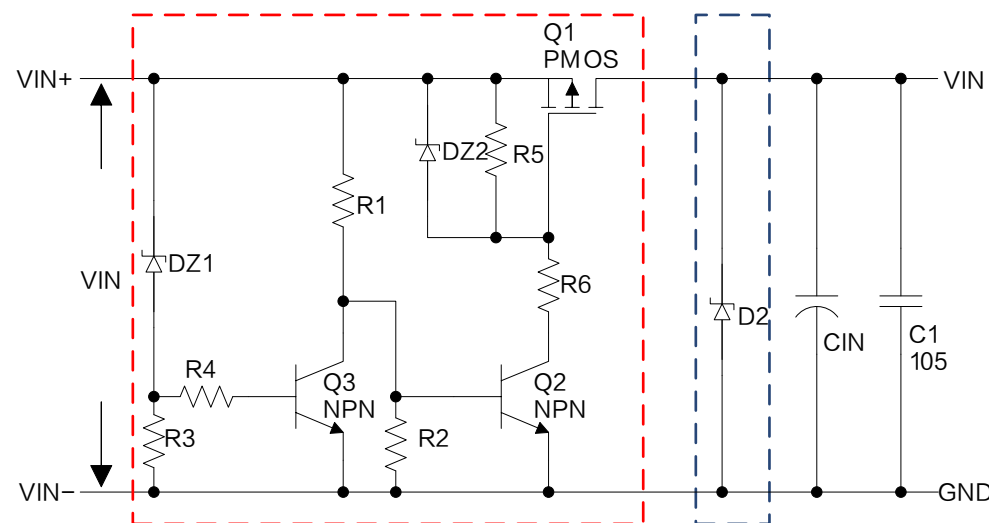
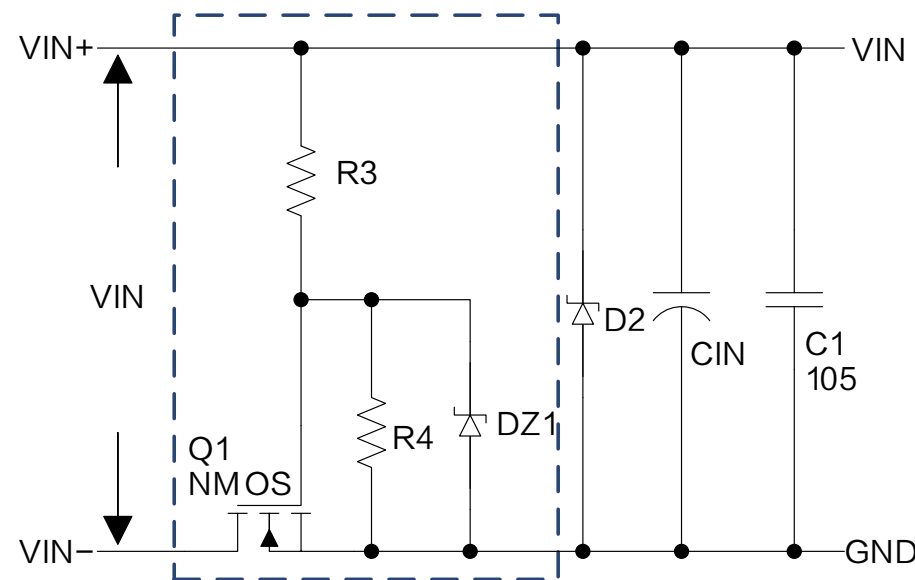
Q1: $V_{DS} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$

DZ1: $V_{DZ1} = 1.2 * V_{IN_{MAX}}, 500mW$

DZ2: $V_{DZ2} = 10V, 500mW$

R1, R3, R4, R5, R6: 20K; R2: 10K;

Q2, Q3: $V_{CE} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$



➤ Q3. 输出电压怎么调整

➤ 解决方案一：调节分压电阻(右图中R3)；

➤ 解决方案二：PWM信号变化占空比调节输出电压(右下图蓝色虚线框中电路)。

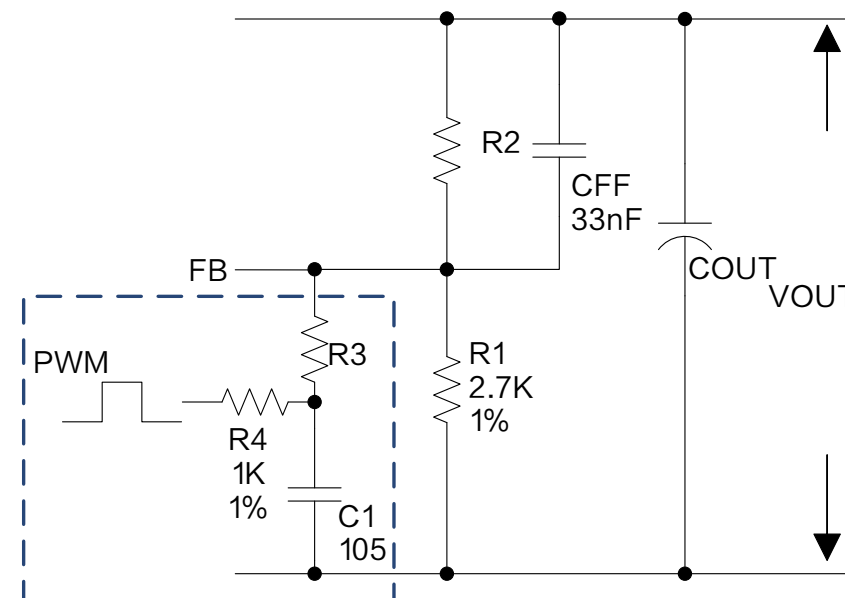
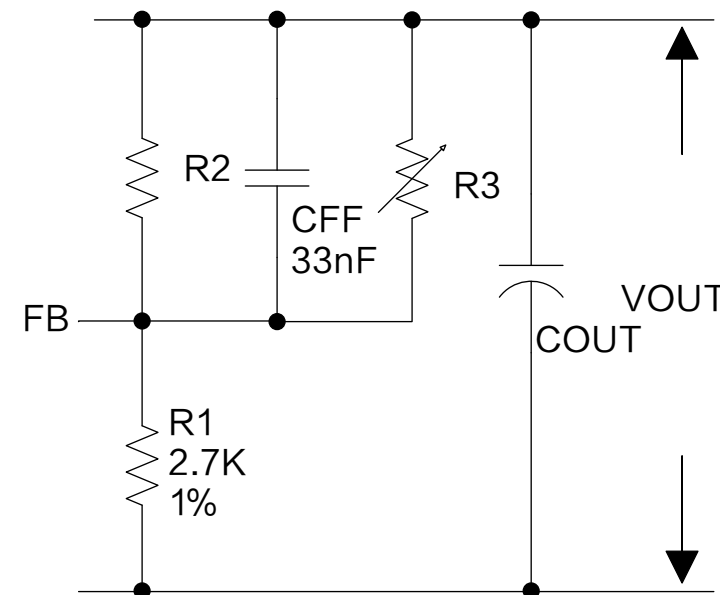
PWM: 频率1KHz~10KHz；

高电平为5V时，R3选择4K；

高电平为3.3V时，R3选择

0.5K。

$$V_{OUT} = \left(V_{FB} - \frac{R1 * V_{PWM} * DUTY}{R1 + R3 + R4} \right) * \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

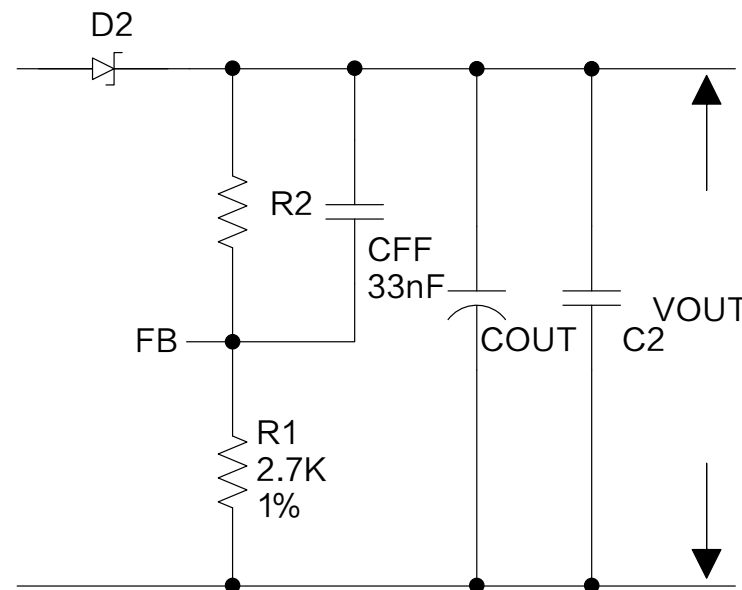


常见问题与解决方案

➤ Q4. 输出接电池或者感性负载时，输入断电芯片损坏

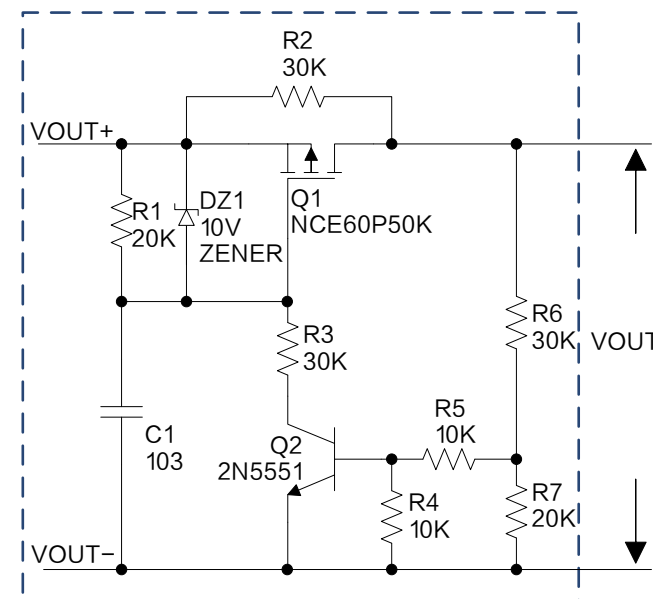
➤ 解决方案：输出添加隔离电路(右图中 D2)

D2: $V_{D2} \geq 1.5 * V_{OUT}$; $I_{D2} \geq 2 * I_{OUT}$



➤ Q5. 输出短路保护怎么实现

➤ 解决方案：输出添加短路保护电路(右图蓝色虚线框中电路)



➤ Q6. 输入欠压保护怎么实现

➤ 解决方案：输入添加欠压保护电路。

DZ1: V_{DZ1} = 欠压保护电压; 500mW;

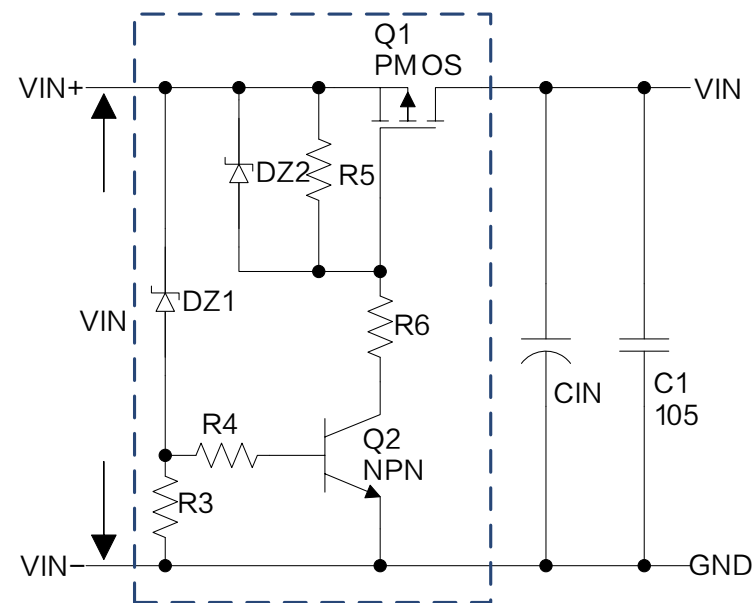
DZ2: V_{DZ2} = 10V, 500mW;

Q1: V_{DS} = $1.5 * V_{INMAX}$, $I_D \geq 2 * I_{INMAX}$;

Q2: V_{CE} = $1.5 * V_{INMAX}$;

R4, R5: 20K;

R3, R6: 30K。



➤ Q7. 芯片背铁电气属性

➤ 芯片背铁电气属性与第3脚一致，为 SW。

常见问题与解决方案

➤ Q8. 怎么关闭输出

➤ 解决方案一：FB加高电平(右上图)；

$V1: 2.5 \leq V1 \leq V_{IN}$

➤ 解决方案二：输入加MOS关断(右下图虚线框中电路)。

$V2: V2 \leq 0.6V$ 关闭输出， $V2 \geq 1.4V$ 打开Q1，恢复输出；

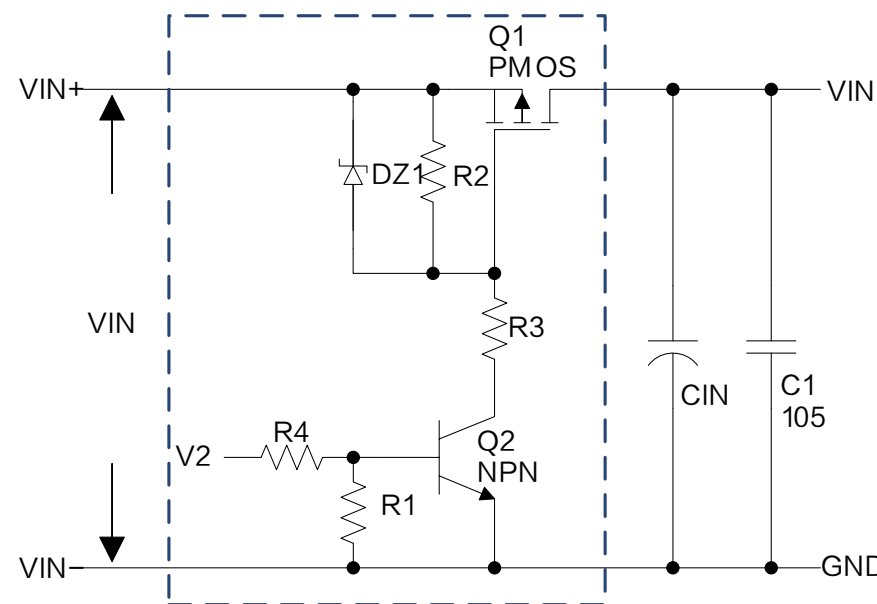
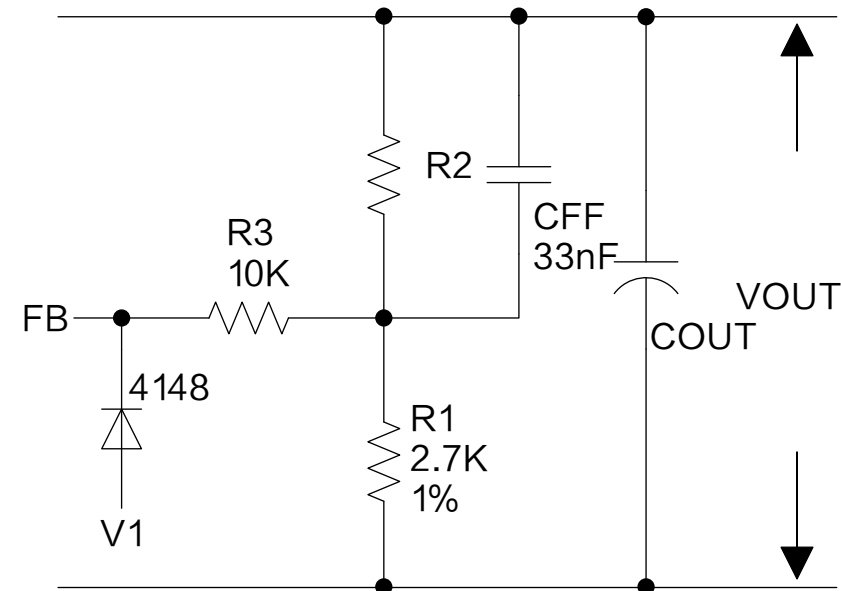
Q1: $V_{DS} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$;

DZ1: $V_{DZ1} = 10V, 500mW$;

R1, R2, R4: 20K;

R3: 30K;

Q2: $V_{CE} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$ 。



➤ Q9. 输出电压与设定值差异较大

- 确认分压电阻R1、R2是否虚焊或者漏焊；
- 输入电容是否靠近芯片VIN与GND放置；
- 大电流途径PCB走线宽度是否足够；
- 电感是否为功率电感，电感量与电流能力是否足够；
- 续流二极管是否选择为肖特基。

➤ Q10. 转换效率低

- 测试误差：用万用表测试输入电压、输入电流、输出电压、输出电流进行计算转换效率，不能使用电源、负载自带显示的数据，误差较大；
- PCB布线：确保大电流途径走线宽度，减少寄生参数对系统性能影响，输入电容靠近芯片VIN与GND放置；
- 元器件参数：系统正常工作时，电感与肖特基对效率影响较大，推荐使用低VF值的肖特基，磁芯损耗较小的功率电感并确保饱和电流能力足够，一般情况下，环形铁硅铝磁芯的电感比黄白环铁粉芯的电感效率高5%左右。