

**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

# XL60XX系列SEPIC恒流产品设计指南



V1.1

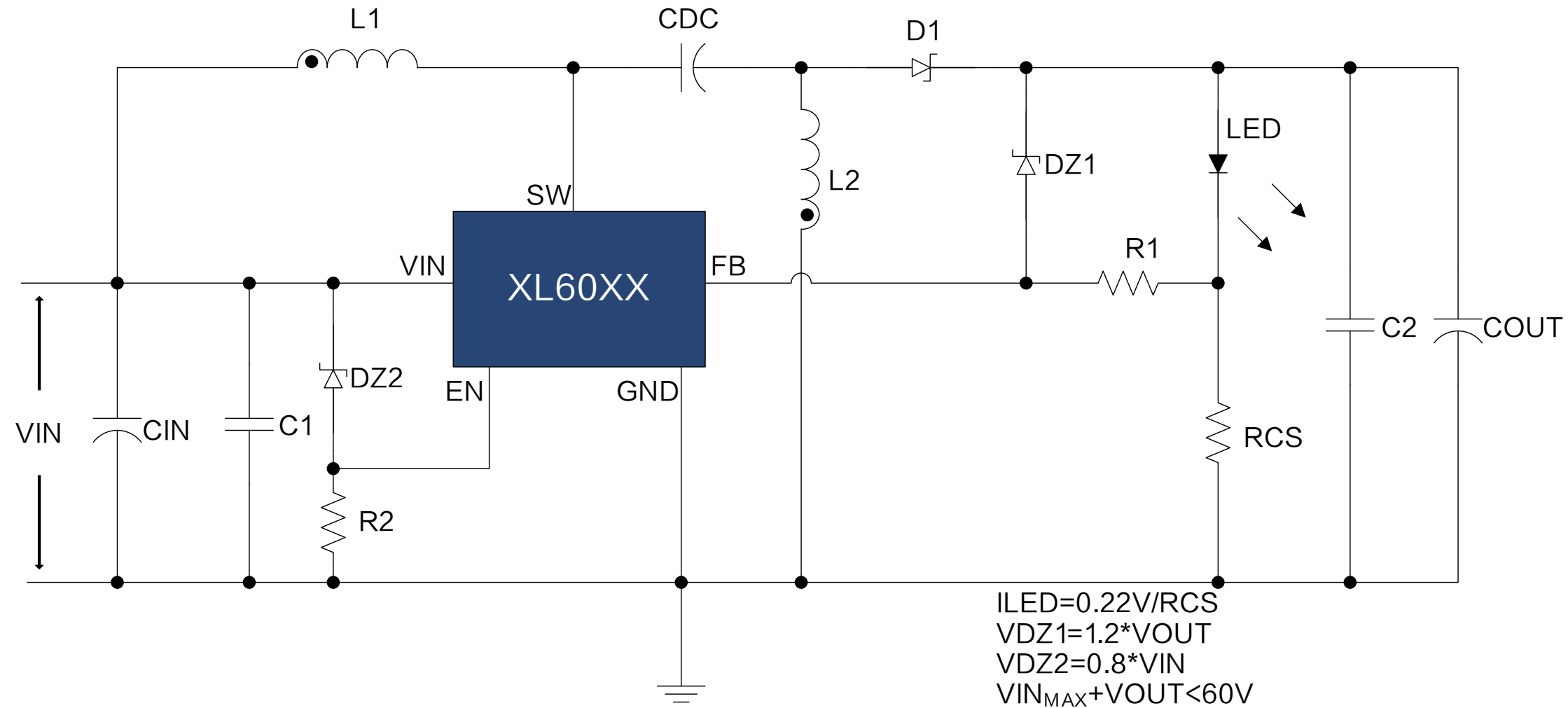
# XL60XX系列快速选择表

**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
XL6013	5V-40V	2A	400KHz	5V~30V	4串1W LED	85%	SOP8	≤8W
XL6005	3.6V-32V	4A	180KHz	5V~30V	4串2W LED	87%	TO252-5L	≤20W
XL6006	5.0V-32V	5A	180KHz	5V~30V	4串4W LED	87%	TO263-5L	≤50W

# 典型应用电路图



## 电感选择

➤ SEPIC转换器中的两个电感可使用两个独立电感，也可使用同轴磁芯的耦合电感，使用耦合电感可获得更高的转换效率与更好的性能。

$$I_{L1MAX} = I_{INMAX} = I_{OUTMAX} * \frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}} \quad I_{L2MAX} = I_{OUTMAX} \quad D = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} + V_{OUT} + V_D}$$

VD为最大输出电流条件下，输出续流二极管的压降。

➤ 开关电流等于IL1+IL2，最大开关电流平均值计算如下：

$$I_{SWMAX} = I_{L1MAX} + I_{L2MAX} = I_{OUTMAX} * \left( 1 + \frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}} \right) = I_{OUTMAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}}$$

➤ 最大开关电流峰值计算如下：

$$I_{SWPEAK} = 1.2 * I_{OUTMAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}}$$

➤ 开关纹波电流：

$$\Delta I_{SW} = 0.4 * I_{SWMAX} = 0.4 * I_{OUTMAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}}$$

## ➤电感纹波电流:

$$\Delta IL1 = \Delta IL2 = 0.5 * \Delta ISW = 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}}$$

## ➤连续模式电感最小值计算公式如下:

### ➤使用分离电感时:

$$L1 = L2 = \frac{VIN_{MIN}}{0.5 * \Delta ISW * FSW} * D_{MAX}$$

### ➤使用耦合电感时:

$$L1 = L2 = \frac{VIN_{MIN}}{\Delta ISW * FSW} * D_{MAX}$$

## ➤电感峰值电流:

$$IL1_{PEAK} = IL1_{MAX} + 0.5 * \Delta IL1 = IOUT_{MAX} * \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}} + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}}$$

$$IL2_{PEAK} = IL2_{MAX} + 0.5 * \Delta IL2 = IOUT_{MAX} + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}}$$

## ➤选用低直流电阻的电感可获得更高的转换效率。

## 输入电容

➤一般条件下，输入电容容量选择在10uF~100uF之间，只需要RMS电流满足即可，输入电容RMS电流计算如下：

$$I_{RMS} = 0.3 * \Delta I_L$$

- 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。

## 计算最大输出电流

➤SEPIC转换器内部电流限制的是功率管与电感上的峰值电流 $\Delta I_L$ ，最大输出电流取决于输出电压、最小输入电压、 $\Delta I_L$ 与效率，计算如下(预留10%以上裕量)：

$$I_{OUT_{MAX}} < \frac{I_{LIM} - \Delta I_L}{\frac{V_{OUT}}{V_{IN_{MIN}} * \eta} + 1} = \frac{I_{LIM} - 0.5 * \Delta I_{SW}}{\frac{V_{OUT}}{V_{IN_{MIN}} * \eta} + 1} = \frac{I_{LIM} - 0.5 * 0.4 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}}}{\frac{V_{OUT}}{V_{IN_{MIN}} * \eta} + 1}$$

## 输出电流设计

- FB为芯片内部基准误差放大器输入端，内部基准稳定在0.22V；
- FB通过检测外部采样电阻电压，对输出电流进行调整，输出电流计算公式为： $I_{LED} = 0.22V / RCS$

采样电阻功率为：

$$PRCS = 0.22V * I_{LED}$$

- 输出电流精度取决于芯片VFB精度、RCS精度，选择精度更高的电阻可以获得精度更高的输出电压，RCS精度需要控制在 $\pm 1\%$ 以内。

## 续流二极管选择

- 续流二极管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的1.5倍；
- 续流二极管反向耐压大于最大输入电压与输出电压之和，建议预留30%以上裕量。

## 耦合电容选择

- 耦合电容CDC耐压大于最大输入电压与输出电压之和，建议预留30%以上裕量；
- 耦合电容容量计算如下：

$$CDC \geq \frac{I_{OUT_{MAX}} * D_{MAX}}{0.05 * F_{SW}}$$

- 耦合电容RMS电流计算如下：

$$I_{RMS_{CDC}} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN_{MIN}}}}$$



## 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。
- 输出电容容量与输出电压纹波计算如下：

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT_{MAX}}}{V_{OUT_{RIPPLE}} * F_{SW}} \quad V_{OUT_{RIPPLE}} = \frac{(1 - \frac{V_{IN}}{V_{OUT}}) * I_{OUT}}{C_{OUT} * F_{SW}}$$

$$ESR \leq \frac{V_{OUT_{RIPPLE}}}{ID}$$

- $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT}$ ;
- 输出电容最小RMS电流计算如下：

$$I_{RMS} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}}}$$

## 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。

## 系统输入输出规格参数

- 输入电压：  $V_{IN}=10V\sim 30V$ ，典型值为12V；
- 输出电压：  $V_{OUT}=13.2V$ ；
- 输出电流：  $I_{OUT}=1.2A$ ；
- 转换效率：  $\eta=87\%$ ；
- 输出电压纹波：  $1\%*V_{OUT}$ ；
- 芯片选用XL6006；
- 开关频率：  $F_{SW}=180KHz$ 。

## 选择电感:

$$D = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} + V_{OUT} + V_D} = \frac{13.2 + 0.45}{13.2 + 12 + 0.45} = 0.532$$

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN_{MIN}} + V_{OUT} + V_D} = \frac{13.2 + 0.45}{10 + 13.2 + 0.45} = 0.577$$

$$I_{L1_{MAX}} = I_{IN_{MAX}} = I_{OUT_{MAX}} * \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}} = 1.2 * \frac{0.577}{1 - 0.577} = 1.64A$$

$$I_{L2_{MAX}} = I_{OUT_{MAX}} = 1.2A$$

$$I_{SW_{MAX}} = I_{L1_{MAX}} + I_{L2_{MAX}} = I_{OUT_{MAX}} * \left(1 + \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}}\right) = I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 2.84A$$

$$I_{LSW_{PEAK}} = 1.2 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 1.2 * 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 3.40A$$

$$\Delta I_{SW} = 0.4 * I_{SW_{MAX}} = 0.4 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 0.4 * 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 1.13A$$

$$\Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} = 0.5 * \Delta I_{SW} = 0.5 * 0.4 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 0.5 * 0.4 * 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 0.567A$$

## 选择电感:

使用分离电感时:

$$L1=L2=\frac{VIN_{MIN}}{0.5 * \Delta ISW * FSW} * D_{MAX} = \frac{10}{0.5 * 1.13 * 180 * 1000} * 0.577 = 98.3\mu H$$

使用耦合电感时:

$$L1=L2=\frac{VIN_{MIN}}{\Delta ISW * FSW} * D_{MAX} = \frac{10}{1.13 * 180 * 1000} * 0.577 = 49.2\mu H$$

$$IL1_{PEAK} = IL1_{MAX} + 0.5 * \Delta IL1 = IOUT_{MAX} * \frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}} + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}} = 1.92A$$

$$IL2_{PEAK} = IL2_{MAX} + 0.5 * \Delta IL2 = IOUT_{MAX} + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}} = 1.48A$$

选择分离电感时, L1, L2电感量为110uH,饱和电流3A;

选择耦合电感时, L1, L2电感量为56uH,饱和电流3A。

## 计算输入电容：

$$\Delta I_L = \Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} = 567mA$$

$$I_{RMS} = 0.3 * \Delta I_L = 0.3 * 567mA = 170.1mA$$

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

选择CIN容量100uF,RMS电流大于170mA，耐压大于等于45V。

## 计算采样电阻：

$$R_{CS} = 0.22V / I_{LED} = 0.22V / 1.2A = 0.183\Omega$$

$$P_{RCS} = V_{FB} * I_{LED} = 0.22V * 1.2A = 0.264W$$

可以使用2个0.36Ω并联，考虑到功率，可以选择1206封装。为了保证精度，请至少选用1%的电阻。

## 续流二极管选择:

➤ 二极管额定电流:

$$I_D = 1.2 * I_{OUT} = 1.5 * 1.2 = 1.8A$$

➤ 反向耐压:  $V_{IN_{MAX}} + V_{OUT} = 30 + 13.2 = 43.2V$

➤ 选择2A,60V肖特基。

## 选择输出电容:

➤ 输出电容容量:

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT_{MAX}}}{V_{OUT_{RIPPLE}} * F_{SW}} = \frac{1.2}{0.01 * V_{OUT} * 180K} = 50.5\mu F$$

➤ 输出电容ESR:

$$ESR \leq \frac{V_{OUT_{RIPPLE}}}{I_D} = \frac{0.01 * 13.2}{1.2} = 110m\Omega$$

## 选择输出电容：

➤  $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT} = 1.5 * 13.2V = 19.8V$

➤ 输出电容最小RMS电流计算如下：

$$I_{RMS} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}}} = 1.2 * \sqrt{\frac{0.577}{1-0.577}} = 1402mA$$

➤ 选择25V，容量大于68uF，RMS电流大于1402mA电解电容。

## 选择耦合电容：

➤ 耦合电容耐压， $V_{CDC} \geq V_{IN_{MAX}} + V_{OUT} = 30 + 13.2 = 43.2V$

$$C_{DC} \geq \frac{I_{OUT_{MAX}} * D_{MAX}}{0.05 * F_{SW}} = \frac{1.2 * 0.577}{0.05 * 180 * 1000} = 76.9\mu F$$

$$I_{RMS_{CDC}} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN_{MIN}}}} = 1.2 * \sqrt{\frac{13.2 + 0.45}{10}} = 1402mA$$

➤ 选择60V,容量大于100uF,RMS电流大于1402mA电解电容。



# 常见问题与解决方案

## ➤ Q1. 输入正负极接反芯片损坏

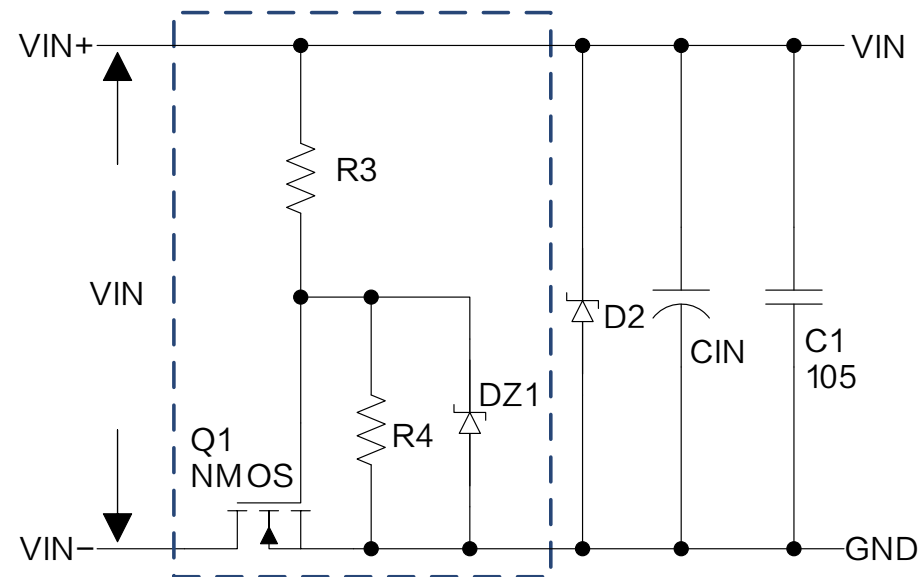
➤ 解决方案：添加防反接电路(右图蓝色虚线框中电路)。

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

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

R3: 20K;

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

➤ 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:  $V_{DS} \geq 1.5 * V_{INMAX}$ ;

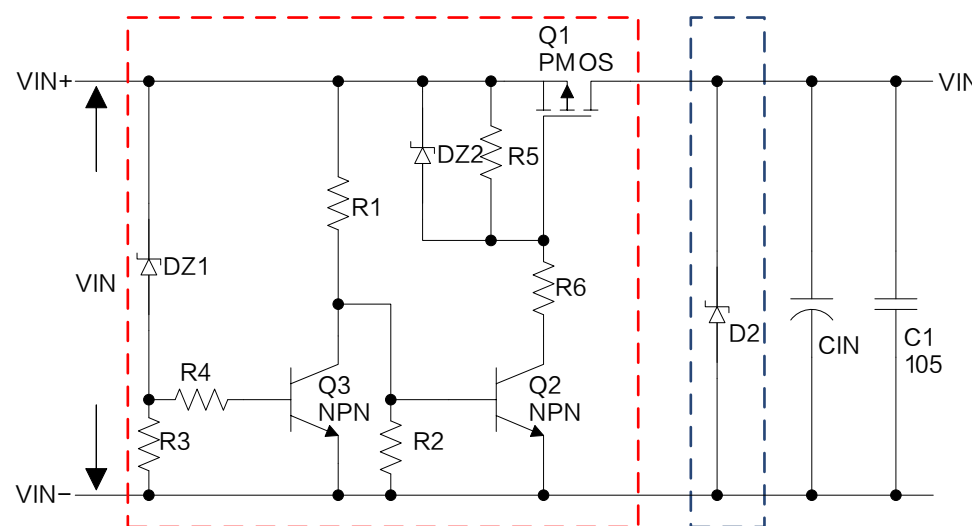
DZ1:  $V_{DZ1} = 1.2 * V_{INMAX} \leq 40V, 500mW$ ;

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

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

R2: 10K;

Q2, Q3:  $V_{CE} \geq 1.5 * V_{INMAX}$ 。



## ➤ Q3. 如何调光

➤ 更改采样电阻RCS;

➤ PWM信号变化占空比调节输出电压(见右图)。

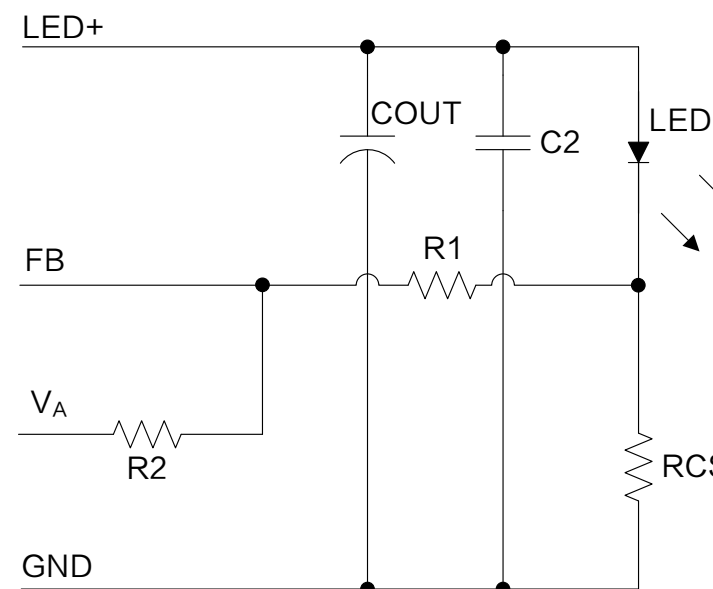
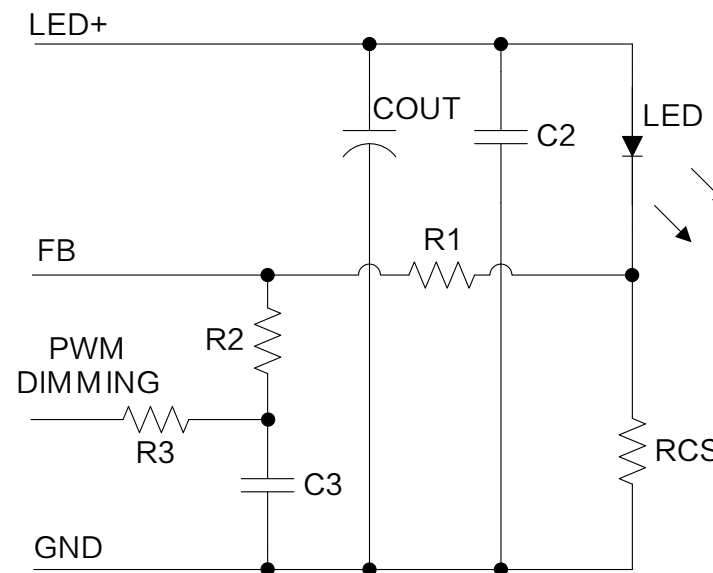
满足下公式:

$$I_{LED} = \frac{1}{R_{CS}} * \left( V_{FB} - \frac{V_{PWM} * DUTY * R1}{R1 + R2 + R3} \right)$$

➤ 使用模拟调光(见右图), 满足下公式:

$$I_{LED} = \frac{1}{R_{CS}} * \left( V_{FB} - \frac{V_A * R1}{R1 + R2} \right)$$

可以通过改变 $V_A$ 电压实现调光, 也可以通过改变R2阻值实现调光。

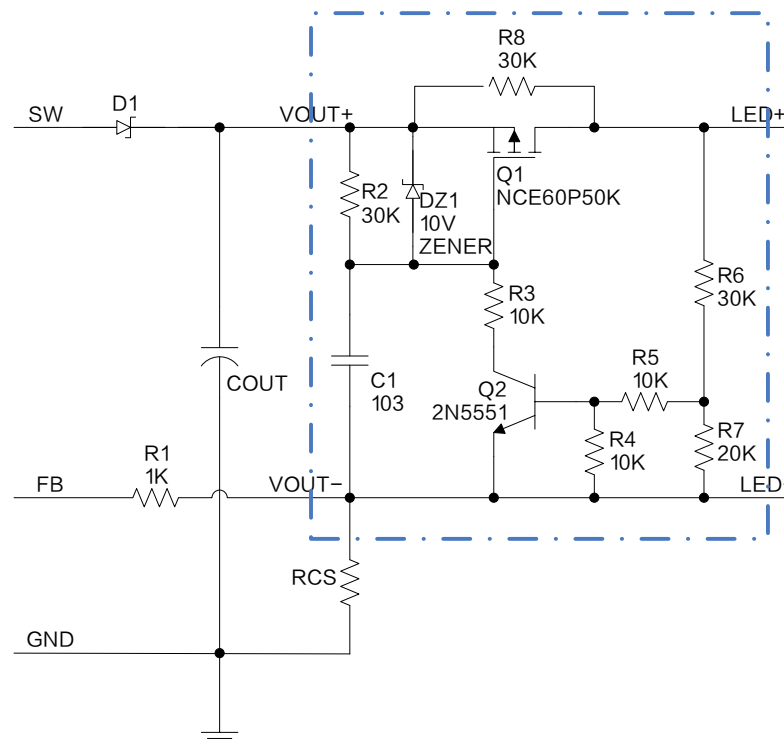


## ➤ Q4. 输出短路保护怎么实现

➤ 解决方案：输出添加短路保护电路(右图蓝色虚线框中电路)

Q1:  $V_{DS} \geq 1.5 * V_{OUT}$ ;  $I_D \geq 2 * I_{OUT}$

RDS越小损耗越小，Q1发热量越低。



## ➤ Q5. 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。

## ➤ 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;

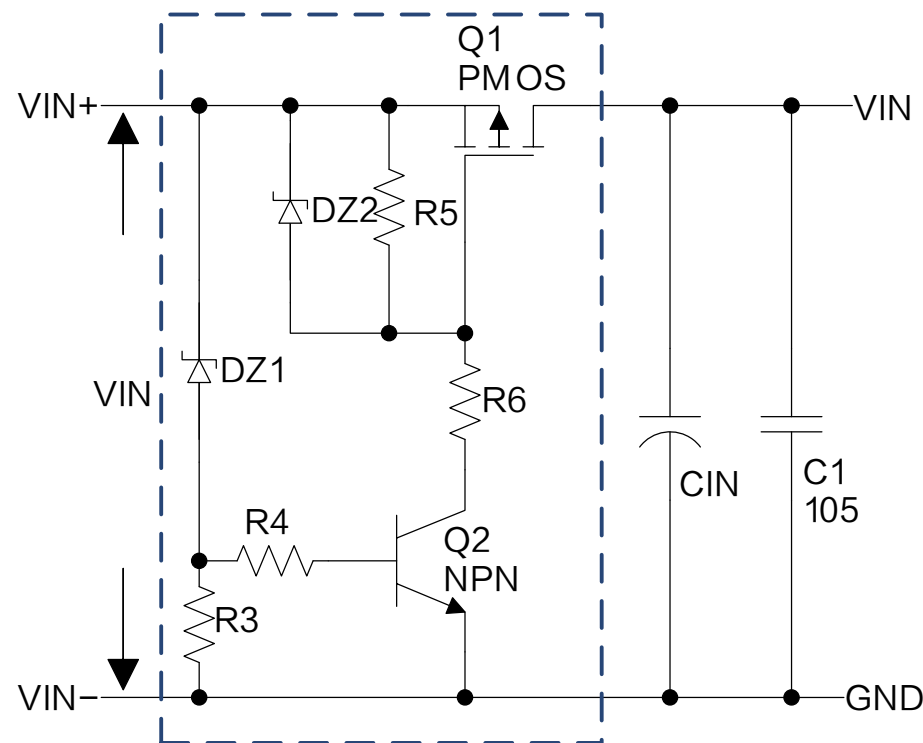
DZ2:  $V_{DZ2}$  = 10V, 500mW;

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

Q2:  $V_{CE} \geq 1.5 * V_{INMAX}$ ;

R4, R5: 20K;

R3, R6: 30K。



## ➤ Q7. XL6005、XL6006芯片背铁电气属性

➤ 背铁电气属性与芯片第3脚一致。

# 常见问题与解决方案

## ➤ Q8. 怎么关闭芯片不工作

➤ 解决方案一：FB加高电平，芯片不工作(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)，输出等于0。

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

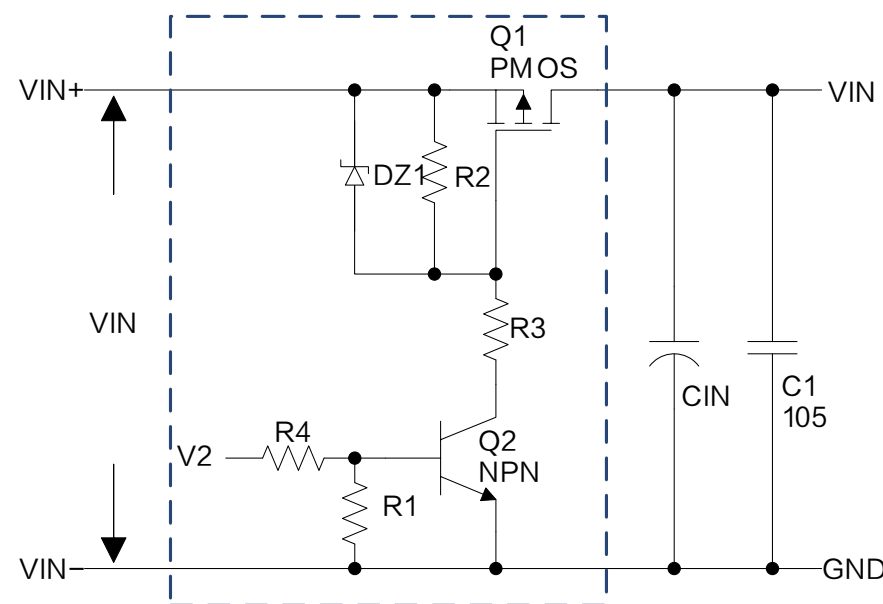
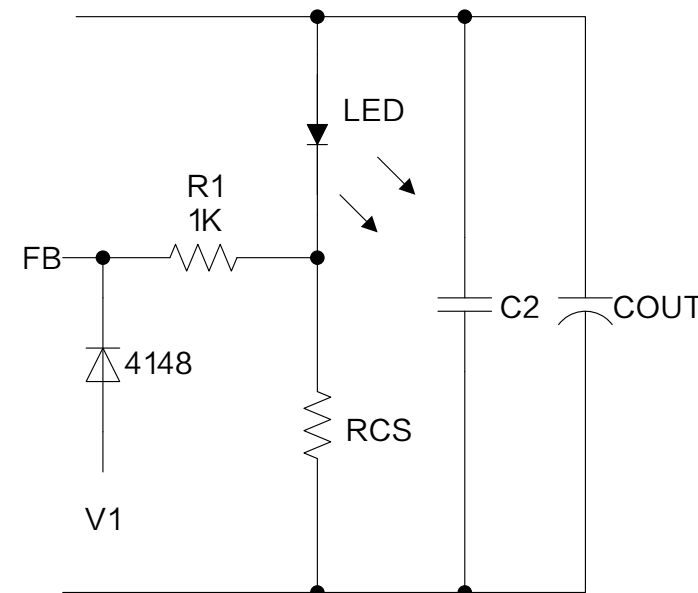
Q1:  $V_{DS} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$ ；

DZ1:  $V_{DZ1} = 10V, 500mW$ ；

R1, R2, R4: 20K；

R3: 30K；

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



## ➤ Q9. 芯片不工作

➤ 添加欠压保护的应用中，确认欠压保护电路参数是否有误(DZ2取值不合适，EN脚对地电压低于0.8V)；

## ➤ Q10. 输出电流与设定值差异较大

➤ 确认FB走线是否靠近开关器件；

➤ 输入电容是否靠近芯片VIN与GND放置；

➤ 输出电容容量是否足够；

➤ 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。