

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

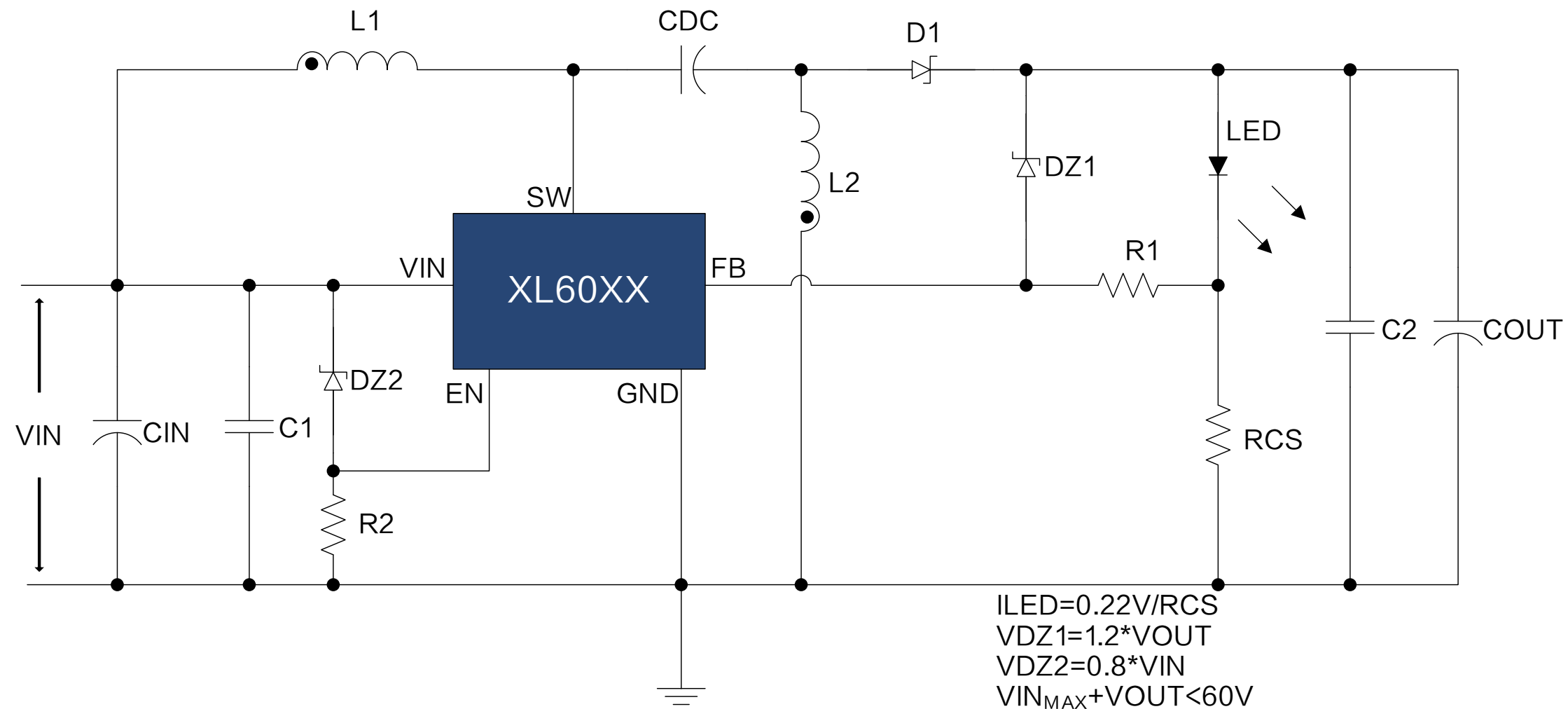
专业 专注 务实 创新 高效 沟通

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

XLSEMI

专业 专注 务实 创新 高效 沟通



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。

$$IL1_{MAX} = IIN_{MAX} = IOUT_{MAX} * \frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}} \quad IL2_{MAX} = IOUT_{MAX} \quad D = \frac{VOUT + VD}{VIN + VOUT + VD}$$

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：

$$ISW_{MAX} = IL1_{MAX} + IL2_{MAX} = IOUT_{MAX} * \left(1 + \frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}} \right) = IOUT_{MAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}}$$

➤最大开关电流峰值计算如下：

$$ILSW_{PEAK} = 1.2 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}}$$

➤开关纹波电流：

$$\Delta ISW = 0.4 * ISW_{MAX} = 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}}$$

➤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 ΔI_L ，最大输出电流取决于输出电压、最小输入电压、 ΔI_L 与效率，计算如下(预留10%以上裕量)：

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

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：

$$P_{RCS} = 0.22V * I_{LED}$$

- 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

XLSEMI

专业 专注 务实 创新 高效 沟通

➤Q1.输入正负极接反芯片损坏

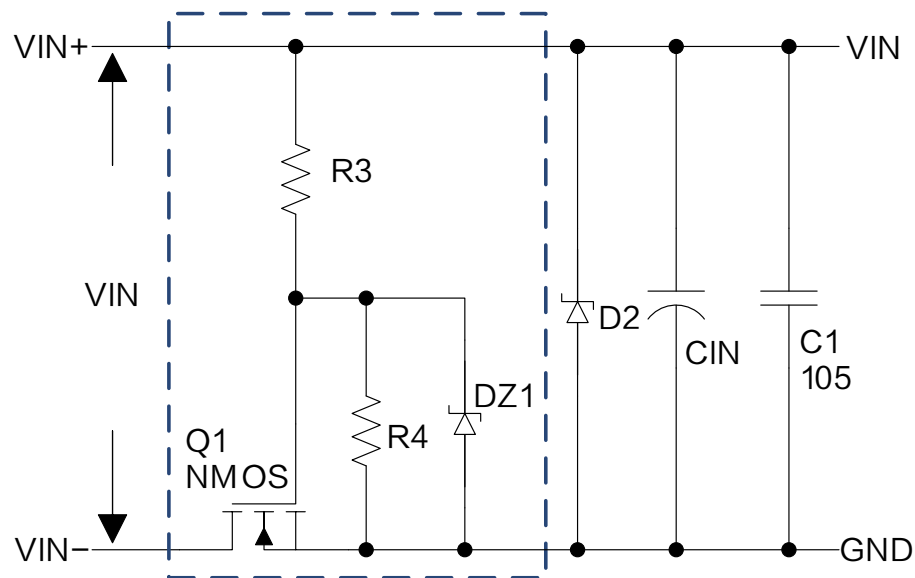
➤解决方案：添加防反接电路(右图蓝色虚线框中电路)。

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

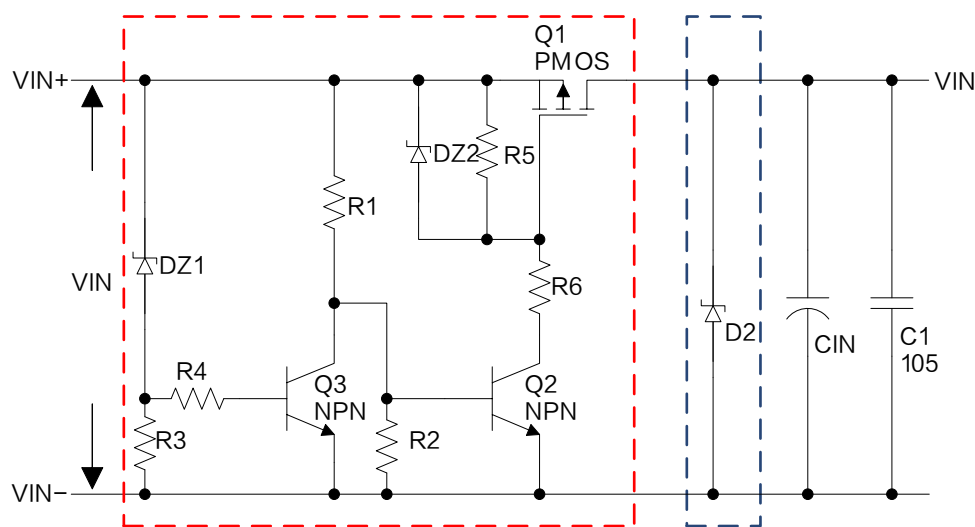
DZ1: $V_{DZ1} = 1.2 * V_{INMAX} \leq 40V$, 500mW;

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

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

R2: 10K;

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



常见问题与解决方案

➤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)。

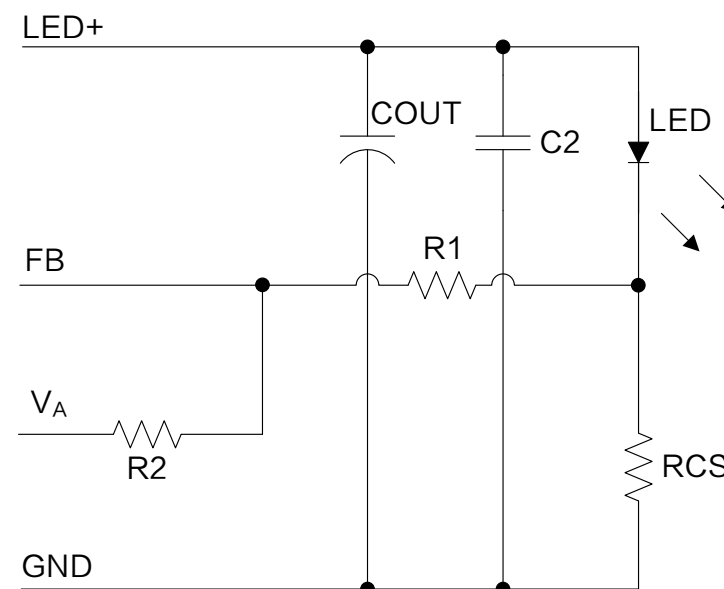
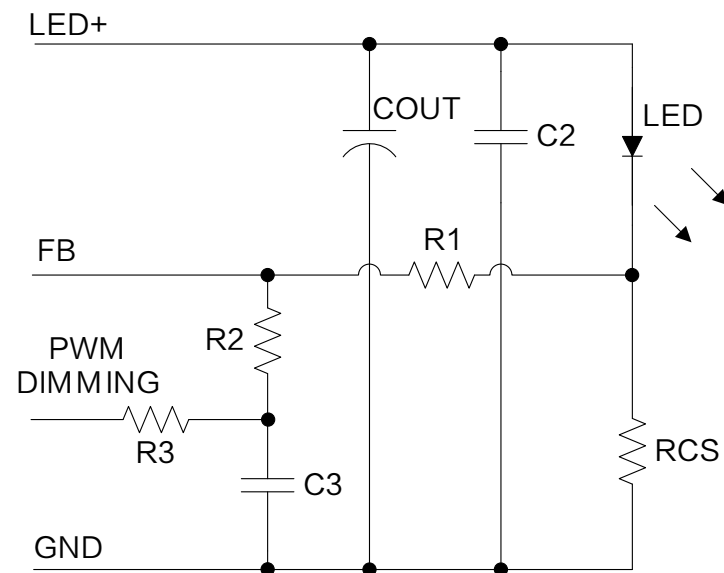
满足下公式:

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

➤使用模拟调光(见右图), 满足下公式:

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

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。



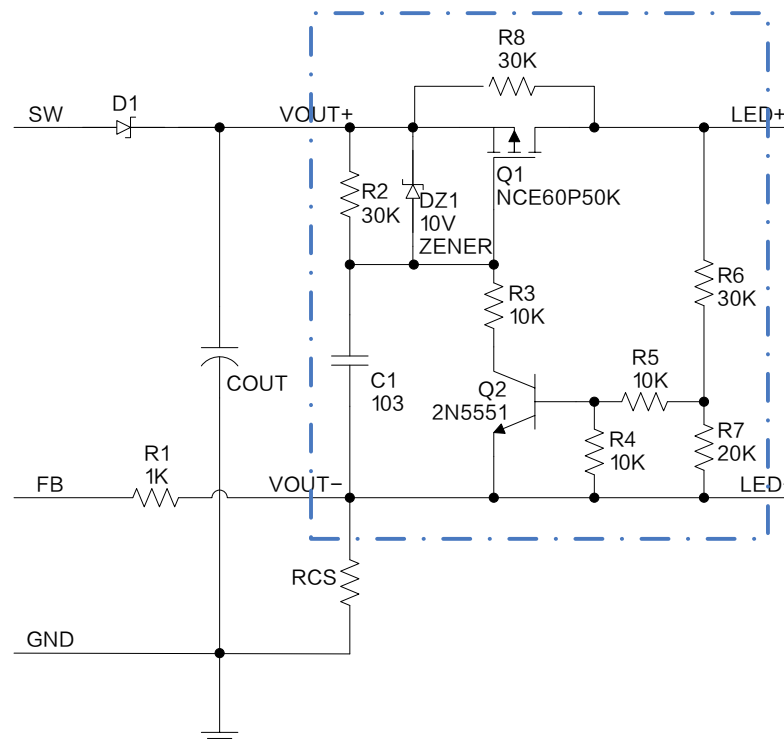
常见问题与解决方案

➤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:VDZ1=欠压保护电压, 500mW;

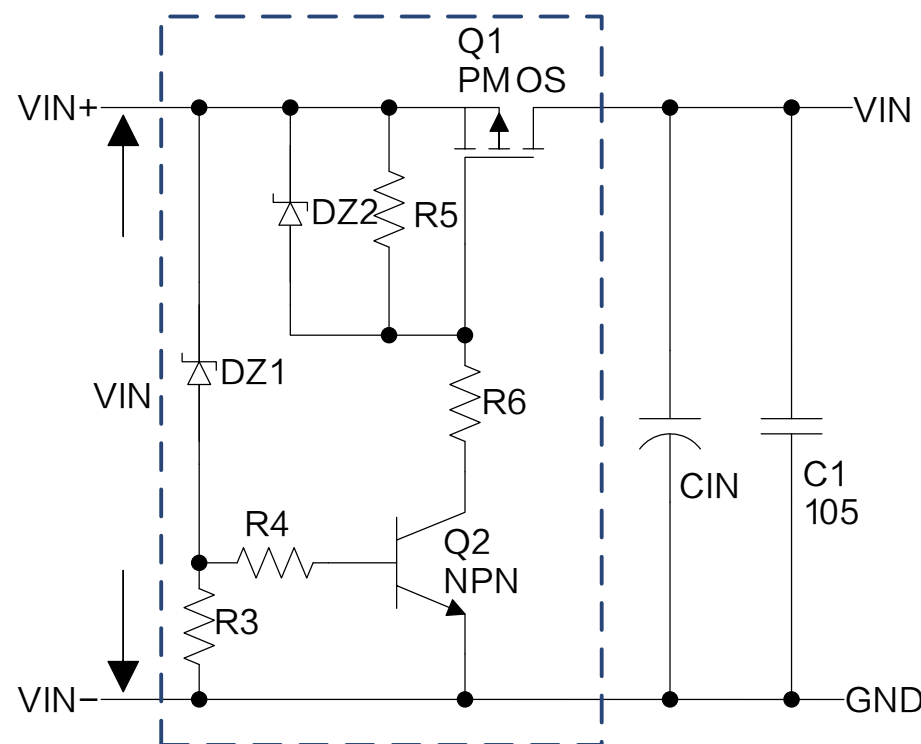
DZ2:VDZ2=10V, 500mW;

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；

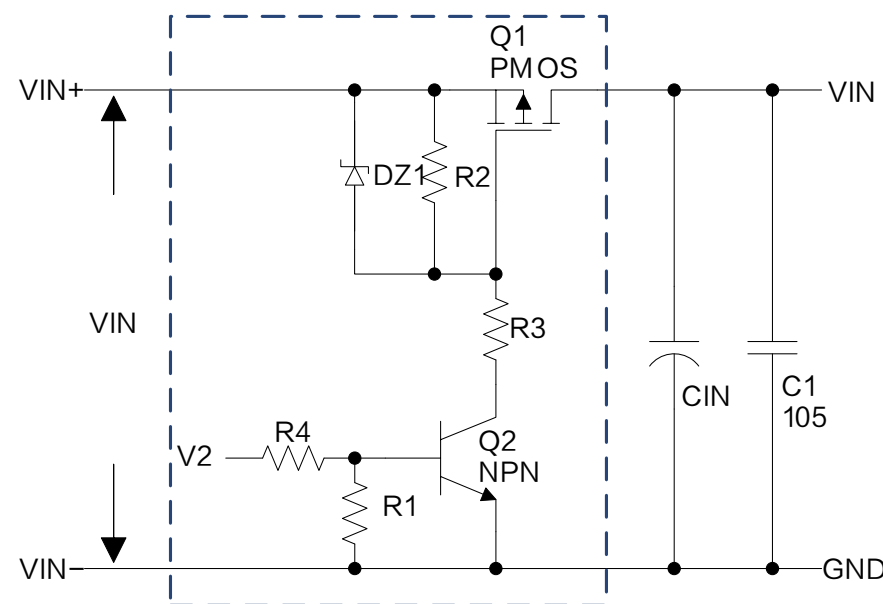
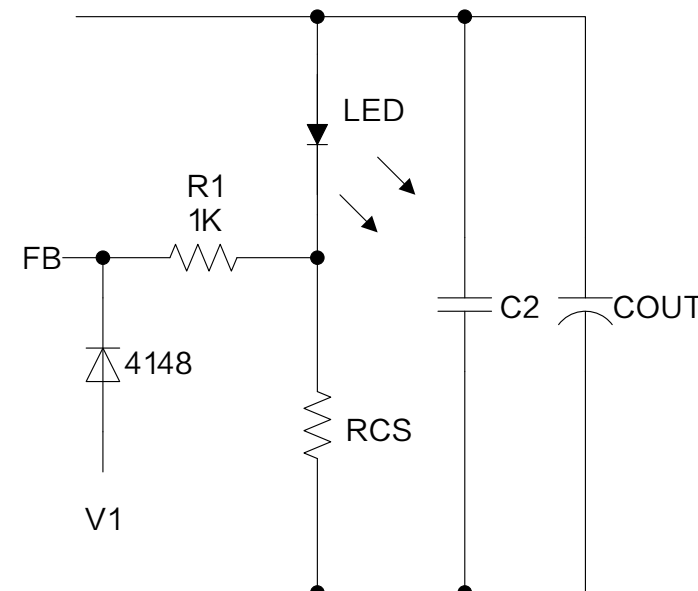
$Q1: V_{DS} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$ ；

$DZ1: V_{DZ1} = 10V, 500mW$ ；

$R1, R2, R4: 20K$ ；

$R3: 30K$ ；

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



➤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。