

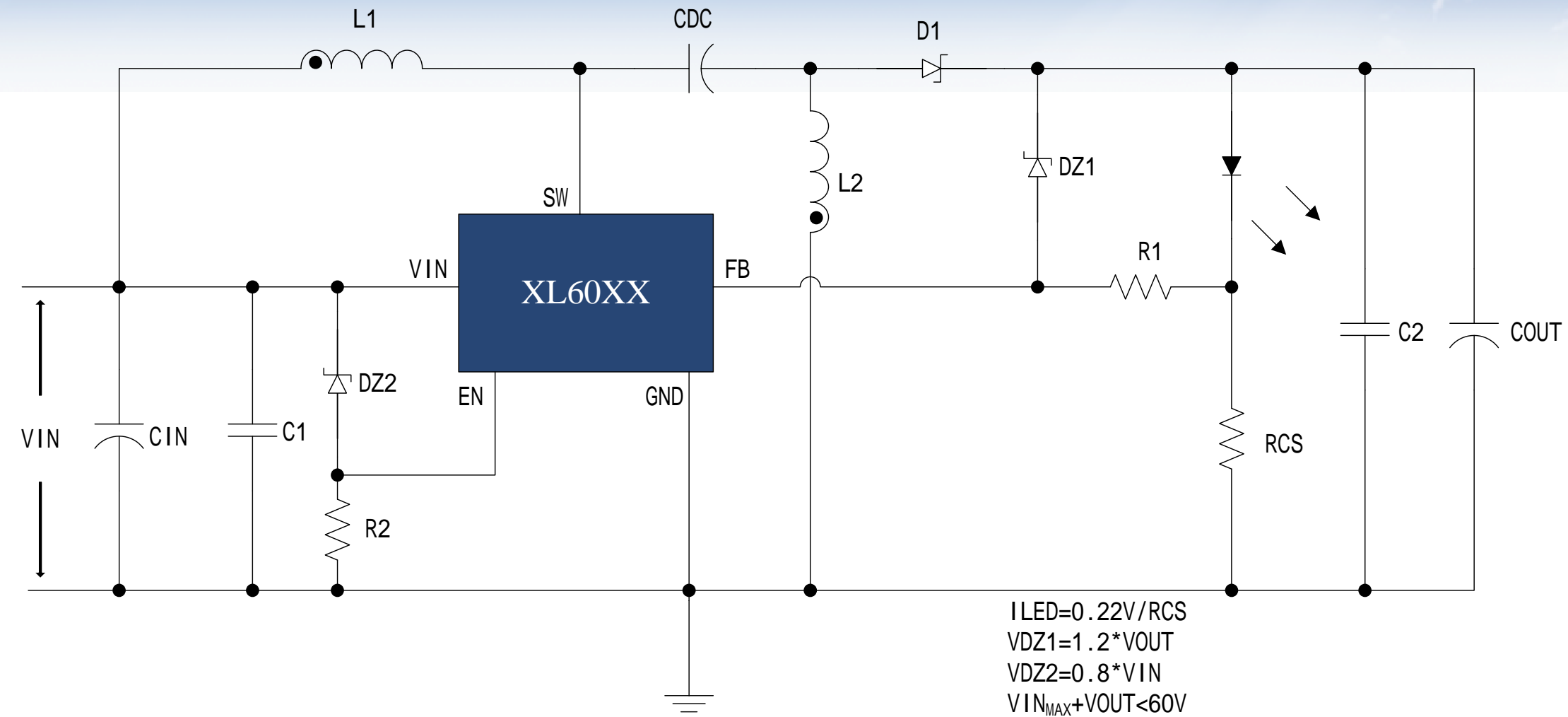
XL60XX系列SEP IC恒流产品设计指南

V1.0

XL60XX系列快速选择表

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%	SOP-8L	4W
XL6005	3.6V-32V	4A	180KHz	5V~30V	4串2W LED	87%	T0252-5L	8W
XL6006	5.0V-32V	5A	180KHz	5V~30V	4串4W LED	87%	T0263-5L	20W

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。

$$IL1_{MAX} = IIN_{MAX} = IOUT_{MAX} * \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}}$$

$$IL2_{MAX} = IOUT_{MAX}$$

$$D = \frac{VOUT + VD}{VIN + VOUT + VD}$$

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：

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

系统应用设计

➤ 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 I_L ，最大输出电流取决于输出电压、最小输入电压、 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：

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

- 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±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：

$$CDC \geq \frac{IOUT_{MAX} * D_{MAX}}{0.05 * FSW}$$

➤ 耦合电容RMS电流计算如下：

$$IRMS_{CDC} \geq IOUT * \sqrt{\frac{VOUT + VD}{VIN_{MIN}}}$$

系统应用设计

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：

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT_{MAX}}}{V_{OUT_{RIPPLE}} * F_{SW}}$$

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

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

➤ $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT}$;

➤ 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：

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

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

$$IL1_{MAX} = IIN_{MAX} = IOUT_{MAX} * \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}} = 1.2 * \frac{0.577}{1 - 0.577} = 1.64 A$$

$$IL2_{MAX} = IOUT_{MAX} = 1.2 A$$

$$ISW_{MAX} = IL1_{MAX} + IL2_{MAX} = IOUT_{MAX} * \left(1 + \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}} \right) = IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 2.84 A$$

$$ILSW_{PEAK} = 1.2 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 1.2 * 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 3.40 A$$

$$\Delta ISW = 0.4 * ISW_{MAX} = 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 0.4 * 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 1.13 A$$

$$\Delta IL1 = \Delta IL2 = 0.5 * \Delta ISW = 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 0.5 * 0.4 * 1.2 * \frac{1}{1 - 0.577} = 0.567 A$$

设计实例

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：

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

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

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

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：

$$\Delta IL = \Delta IL1 = \Delta IL2 = 567mA$$

$$IRMS = 0.3 * \Delta IL = 0.3 * 567mA = 170.1mA$$

$$VCIN = 1.5 * VIN_{MAX} = 1.5 * 30 = 45V$$

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：

$$RCS = 0.22V / ILED = 0.22V / 1.2A = 0.183\Omega$$

$$P_{RCS} = VFB * ILED = 0.22V * 1.2A = 0.264W$$

可以使用2个0.36 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：

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

设计实例

选择输出电容：

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

➤ 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

➤ $V_{CDC} = V_{INMAX} + V_{OUT} = 30 + 13.2 = 43.2V$

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

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

➤ 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

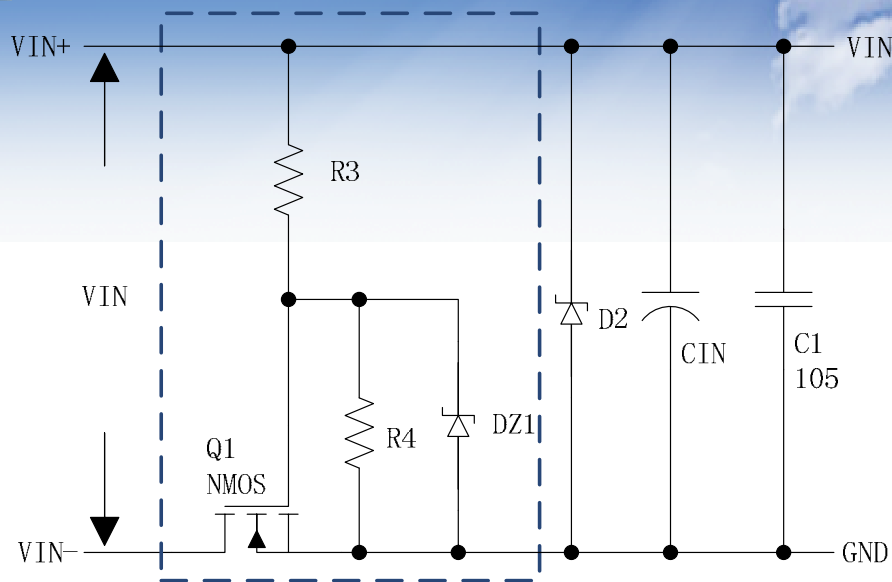
➤ 解决方案：添加防反接电路(右图蓝色虚线框中电路)。

Q1: VDS $1.5 \cdot V_{INMAX}$;

DZ1: VDZ1=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: VD2=1.2 * VIN_{MAX} 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: VDS $1.5 \cdot V_{INMAX}$;

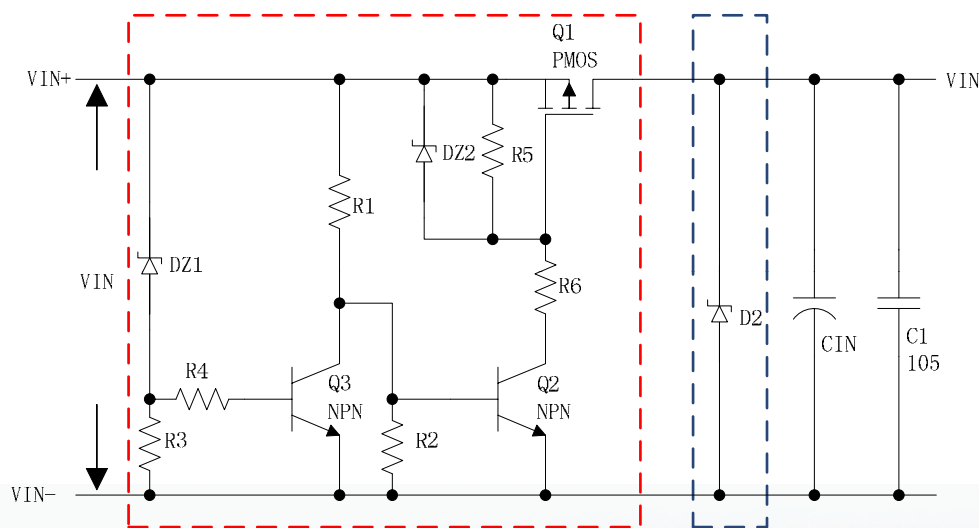
DZ1: VDZ1=1.2 * VIN_{MAX} 40V , 500mW ;

DZ2: VDZ2=10V , 500mW ;

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

R2: 10K ;

Q2, Q3: VCE $1.5 \cdot V_{INMAX}$ 。



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)。

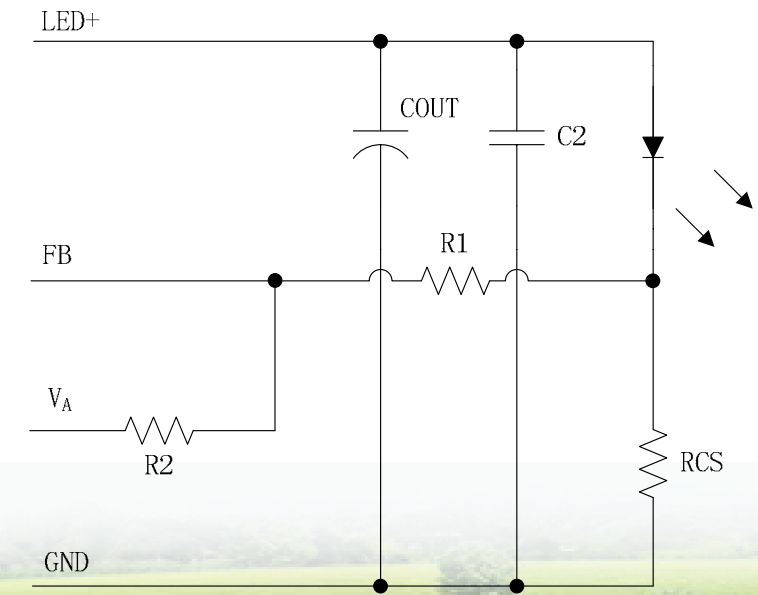
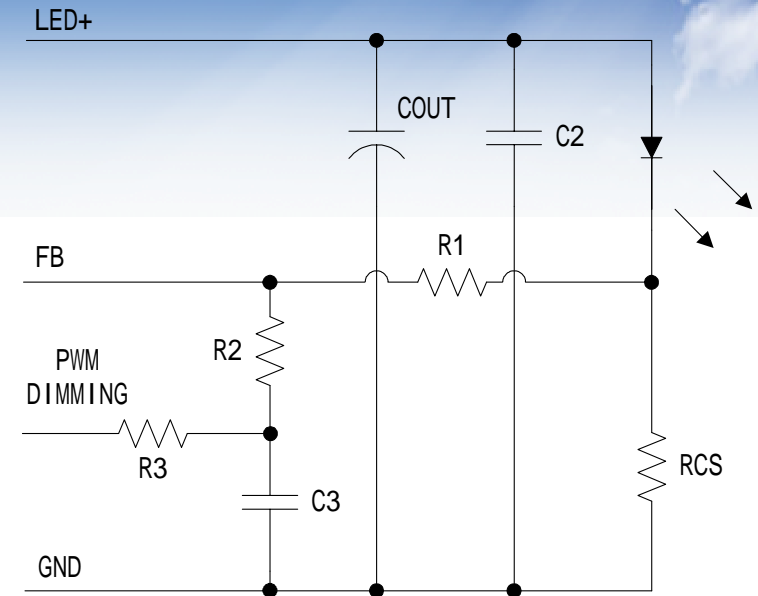
满足下公式：

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

➤ 使用模拟调光(见右图)，满足下公式：

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

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。



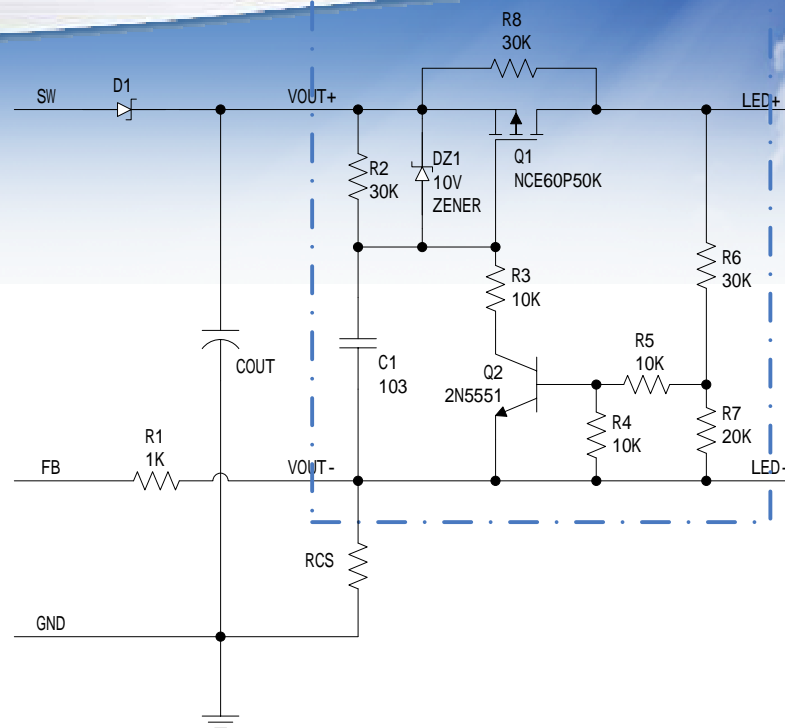
常见问题与解决方案

➤ 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: VDS $1.5 * V_{OUT}$; ID $2 * I_{OUT}$

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。

常见问题与解决方案

➤ 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;

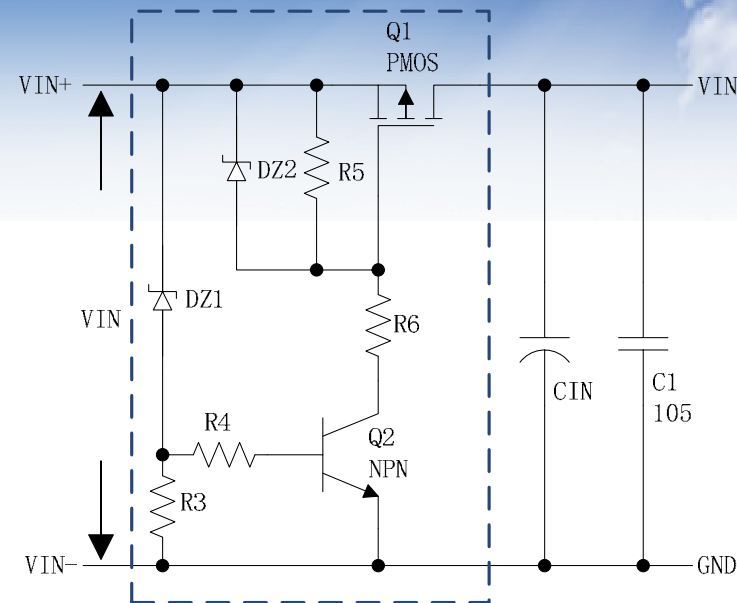
DZ2: VDZ2=10V, 500mW;

Q1: VDS $1.5 \cdot V_{INMAX}$, ID $2 \cdot I_{INMAX}$;

Q2: VCE $1.5 \cdot V_{INMAX}$;

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: 2.5V 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 = 0.6V 关闭输出，V2 = 1.4V 打开Q1，恢复输出；

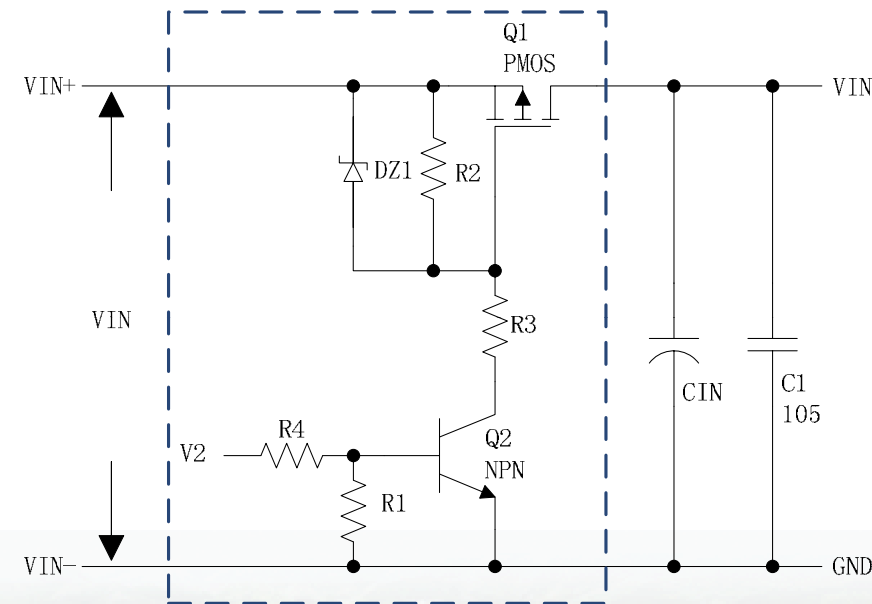
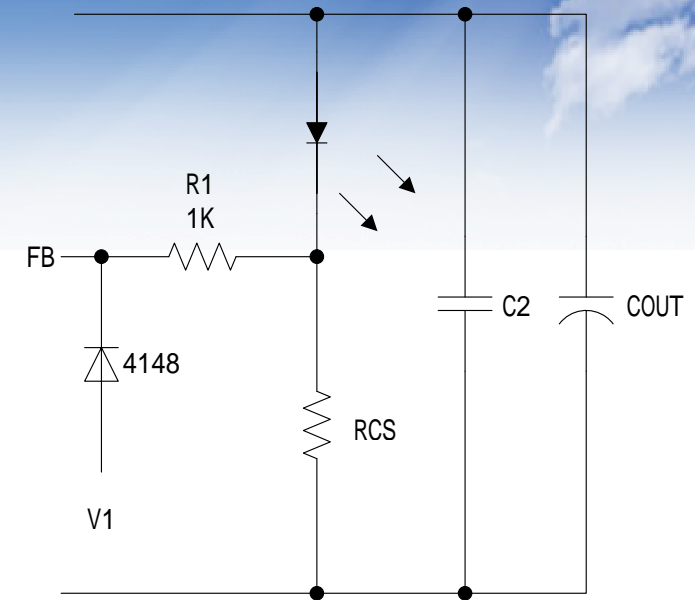
Q1: $V_{DS} = 1.5 * V_{IN_{MAX}}$ ；

DZ1: $V_{DZ1} = 10V$ ，500mW；

R1, R2, R4: 20K；

R3: 30K；

Q2: $V_{CE} = 1.5 * V_{IN_{MAX}}$ 。



常见问题与解决方案

➤ 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。

联系我们

网站：www.xlsemi.com

邮箱：sales@xlsemi.com

XLSEMI总部

地址：上海市浦东新区金豫路251号2幢2楼西

电话：021-33822315 33822319

传真：021-33822313

XLSEMI深圳办公室

地址：深圳市南山区高新北区朗山路7号中航工业南航大厦403, 404室

电话：0755-86134051

XLSEMI