

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

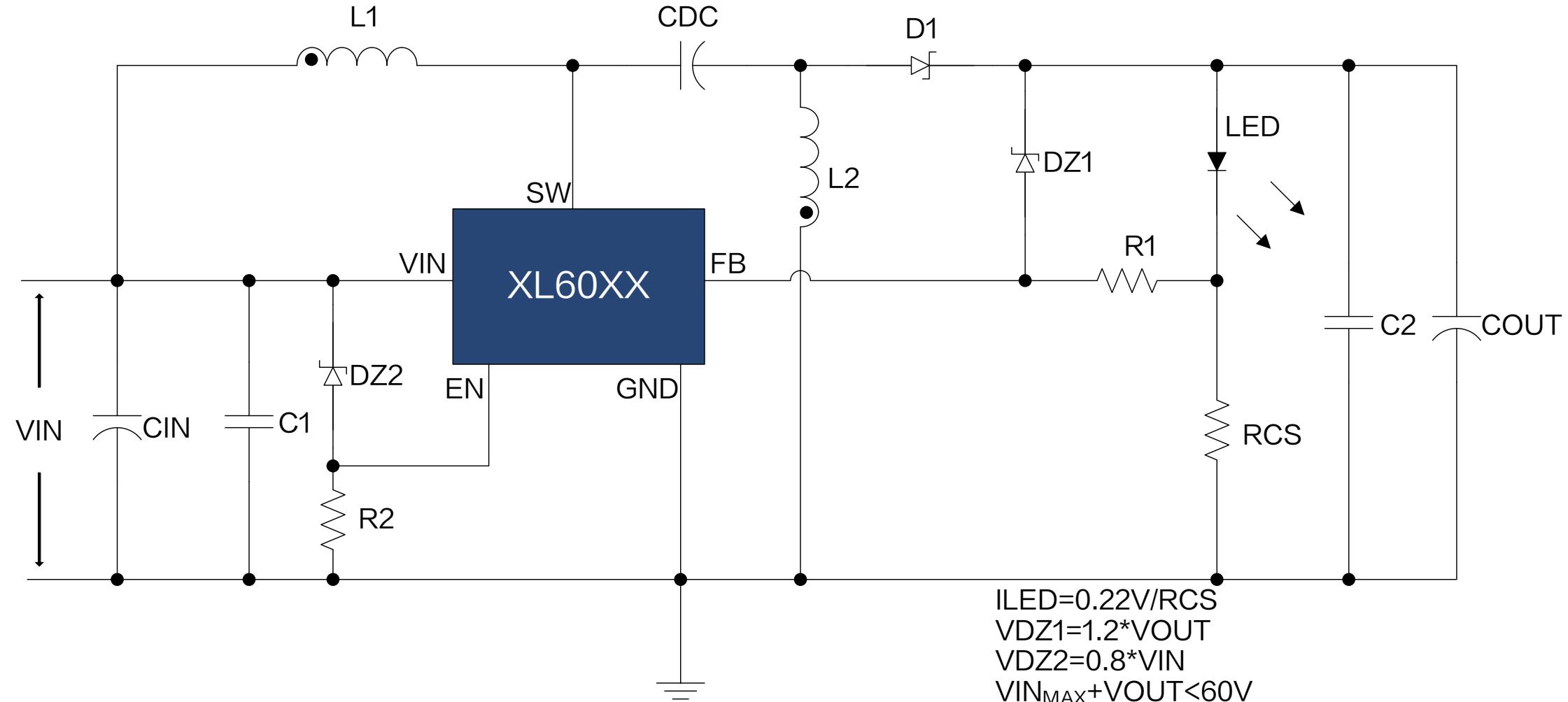


V1.0

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%	TO252-5L	≤8W
XL6006	5.0V~32V	5A	180KHz	5V~30V	4串4W LED	87%	TO263-5L	≤20W

典型应用电路图



系统应用设计

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。

$$IL1_{MAX} = IN_{MAX} = IO_{MAX} * \frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}} \quad IL2_{MAX} = IO_{MAX} \quad D = \frac{V_{OUT} + VD}{VIN + V_{OUT} + VD}$$

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：

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

➤最大开关电流峰值计算如下：

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

➤开关纹波电流：

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

系统应用设计

➤电感纹波电流：

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

➤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：

$$IL1PEAK = IL1MAX + 0.5 * \Delta IL1 = IOUTMAX * \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}} + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUTMAX * \frac{1}{1 - D_{MAX}}$$

$$IL2PEAK = IL2MAX + 0.5 * \Delta IL2 = IOUTMAX + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUTMAX * \frac{1}{1 - D_{MAX}}$$

➤选用低直流电阻的电感可获得更高的转换效率。

系统应用设计

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：

$$IRMS = 0.3 * \Delta IL$$

- 输入电容耐压按照 $1.5 * VIN_{MAX}$ 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 ΔIL ，最大输出电流取决于输出电压、最小输入电压、 ΔIL 与效率，计算如下(预留10%以上裕量)：

$$IOUT_{MAX} < \frac{I_{LIM} - \Delta IL}{\frac{VOUT}{VIN_{MIN} * \eta} + 1} = \frac{I_{LIM} - 0.5 * \Delta ISW}{\frac{VOUT}{VIN_{MIN} * \eta} + 1} = \frac{I_{LIM} - 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1 - D_{MAX}}}{\frac{VOUT}{VIN_{MIN} * \eta} + 1}$$

系统应用设计

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±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。

系统应用设计

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：

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

- 耦合电容RMS电流计算如下：

$$IRMS_{CDC} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} + VD}{VIN_{MIN}}}$$

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：

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT_MAX}}{V_{OUT_RIPPLE} * FSW}$$

$$V_{OUT_RIPPLE} = \frac{(1 - \frac{V_{IN}}{V_{OUT}}) * I_{OUT}}{C_{OUT} * FSW}$$

$$ESR \leq \frac{V_{OUT_RIPPLE}}{ID}$$

➤ $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT}$;

➤ 输出电容最小RMS电流计算如下：

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

系统应用设计

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: $V_{IN}=10V \sim 30V$, 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: $F_{SW}=180KHz$ 。

设计实例

选择电感：

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

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

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

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

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

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

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

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

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：

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

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

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

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。

设计实例

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。

设计实例

续流二极管选择：

- 二极管额定电流：

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

- 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：

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

设计实例

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， $V_{CDC} \geq V_{IN_{MAX}} + V_{OUT} = 30 + 13.2 = 43.2V$

$$CDC \geq \frac{I_{OUT_{MAX}} * D_{MAX}}{0.05 * FSW} = \frac{1.2 * 0.577}{0.05 * 180 * 1000} = 76.9\mu F$$

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

➤ 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: $V_{DS} \geq 1.5 * V_{INMAX}$;

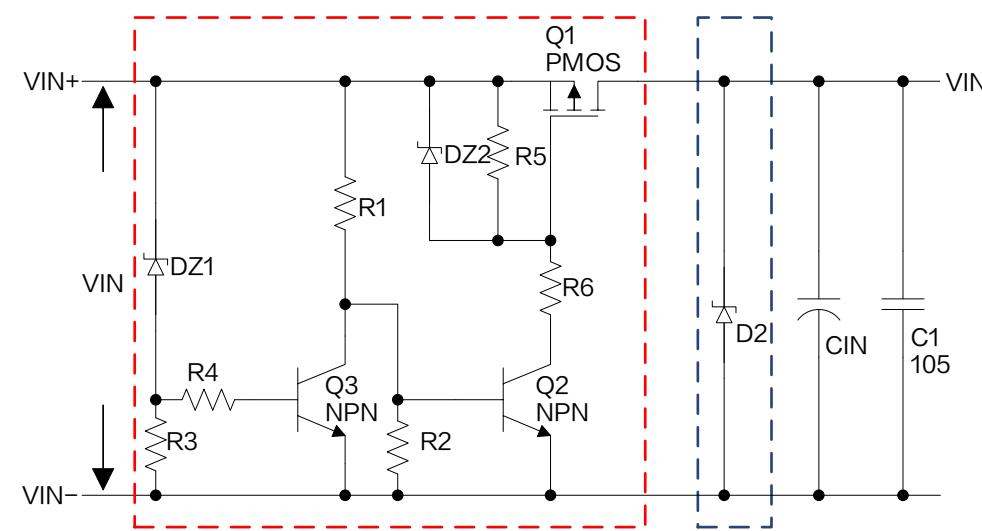
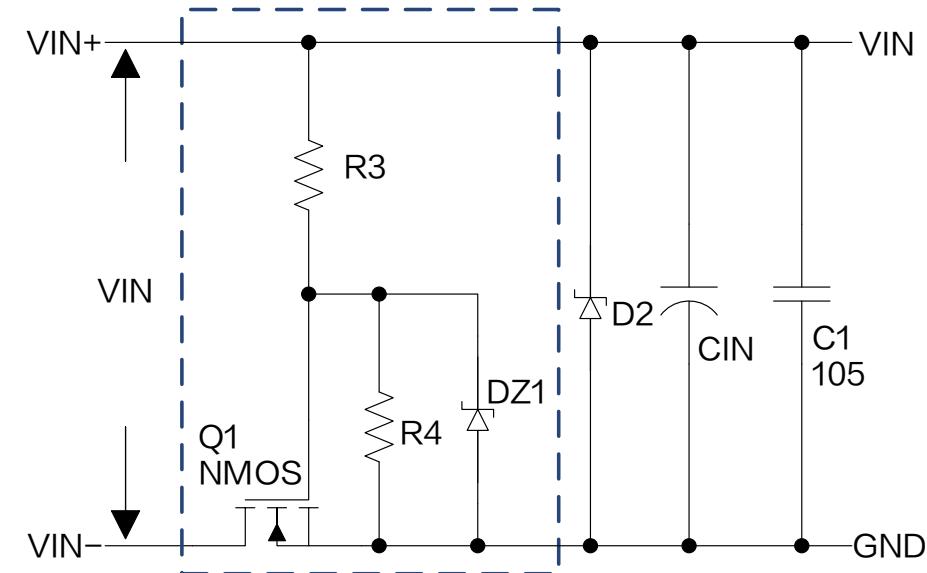
DZ1: $V_{DZ1} = 1.2 * V_{INMAX} \leq 40V, 500mW$;

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

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

R2: 10K;

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



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)。

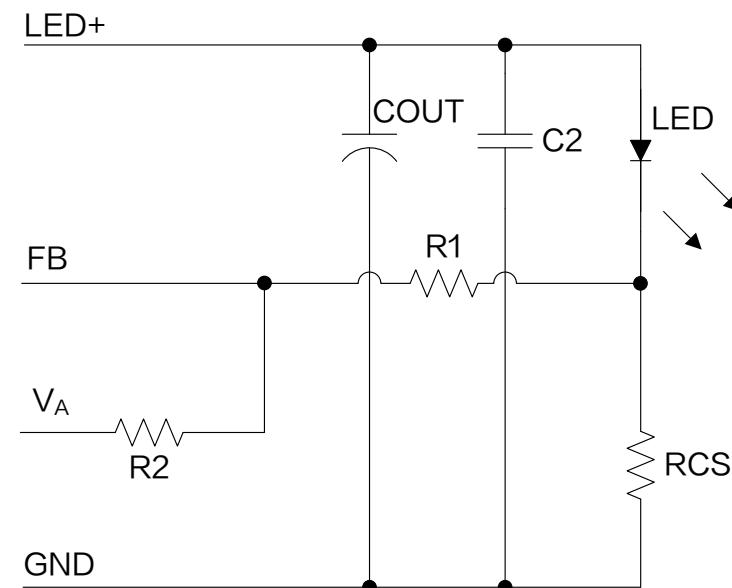
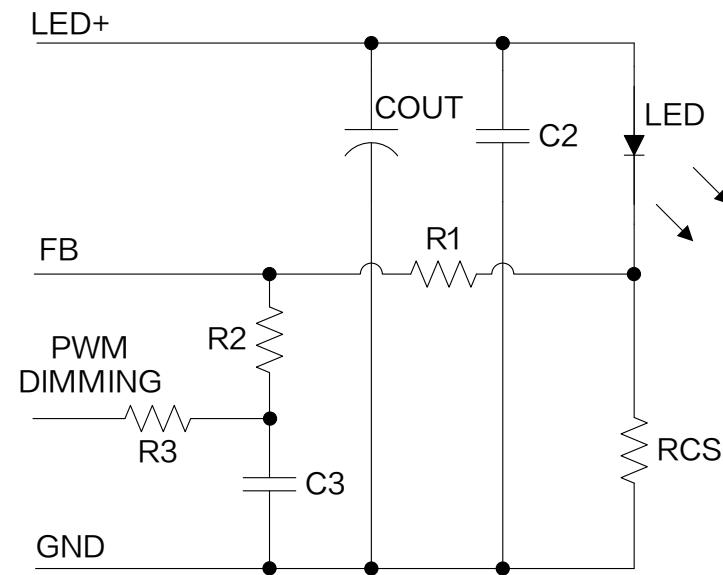
满足下公式:

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

- 使用模拟调光(见右图), 满足下公式:

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

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。



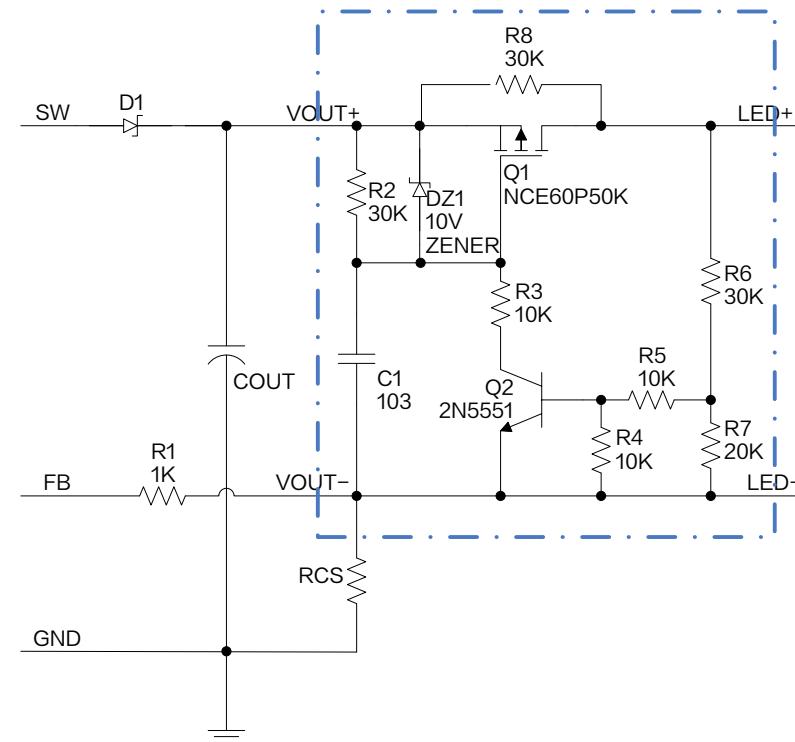
常见问题与解决方案

➤ 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。

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;

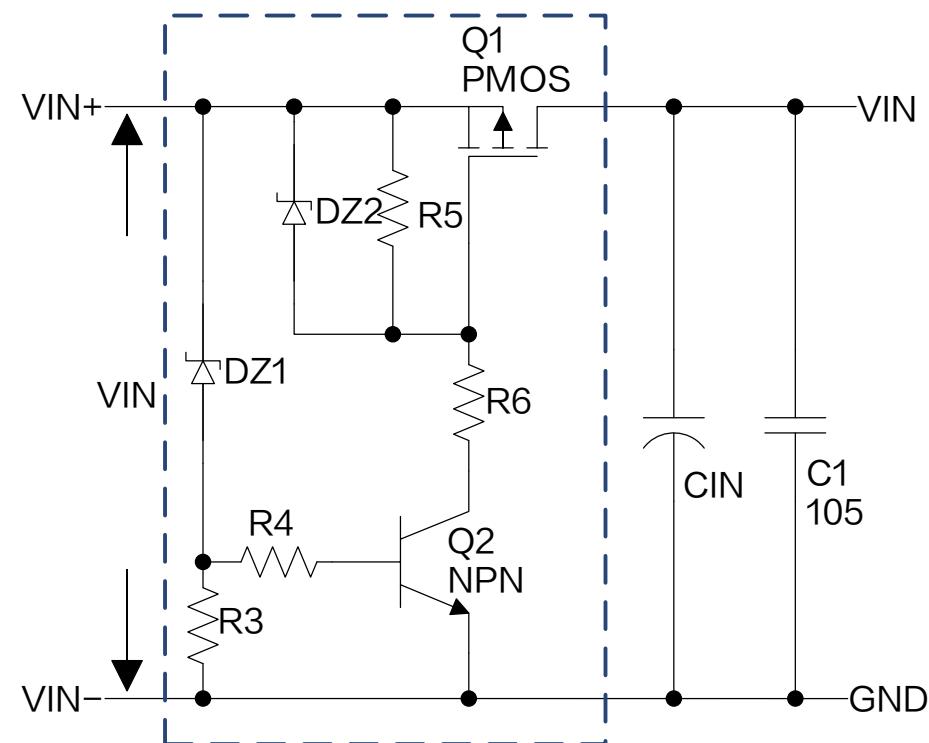
DZ2:VDZ2=10V, 500mW;

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

Q2:VCE $\geq 1.5 \times V_{INMAX}$;

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）；
 $V1: 2.5 \leq V1 \leq VIN$ 。

- 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；

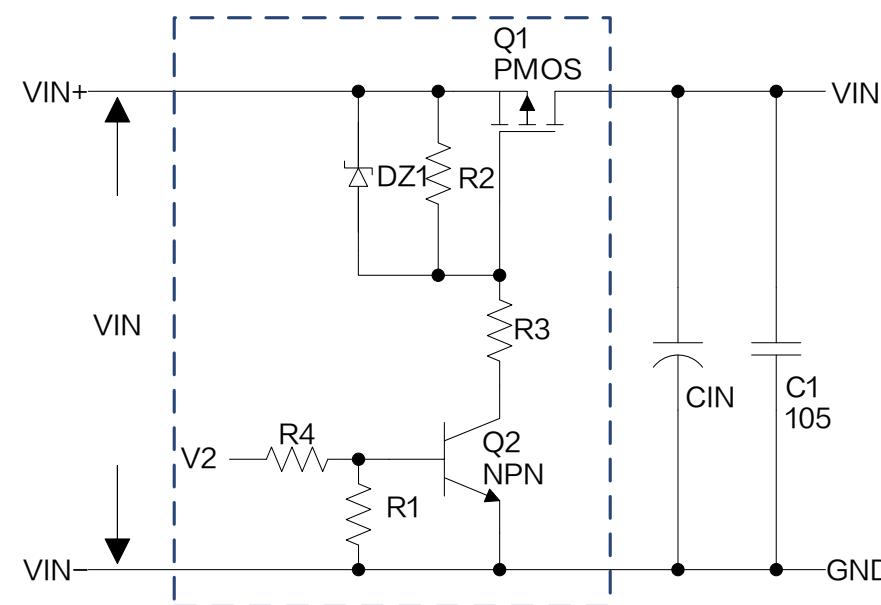
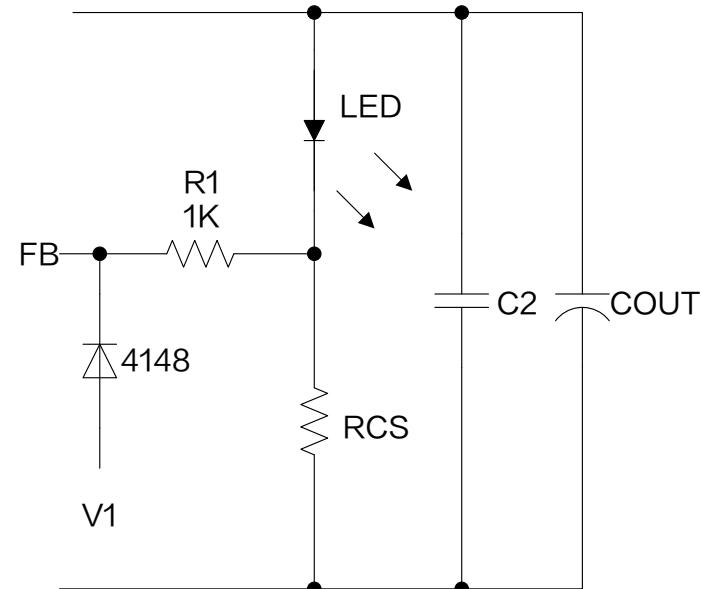
Q1: $VDS \geq 1.5 * VIN_{MAX}$ ；

DZ1: $VDZ1 = 10V$, 500mW；

R1,R2,R4:20K；

R3:30K；

Q2: $VCE \geq 1.5 * VIN_{MAX}$ 。



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。

网站: www.xlsemi.com

邮箱: sales@xlsemi.com

XLSEMI总部

地址: 中国(上海)自由贸易试验区金豫路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号南航大厦10A

电话: 0755-86134051