

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系列升压恒流产品设计指南



V1.2

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	5.0V-40V	2A	400KHz	6V~60V	7串1W LED	93%	SOP8	≤8W
XL6005	3.6V-32V	4A	180KHz	5V~60V	7串2W LED	94%	TO252-5L	≤20W
XL6006	5.0V-32V	5A	180KHz	6V~60V	10串3W LED	94%	TO263-5L	≤50W

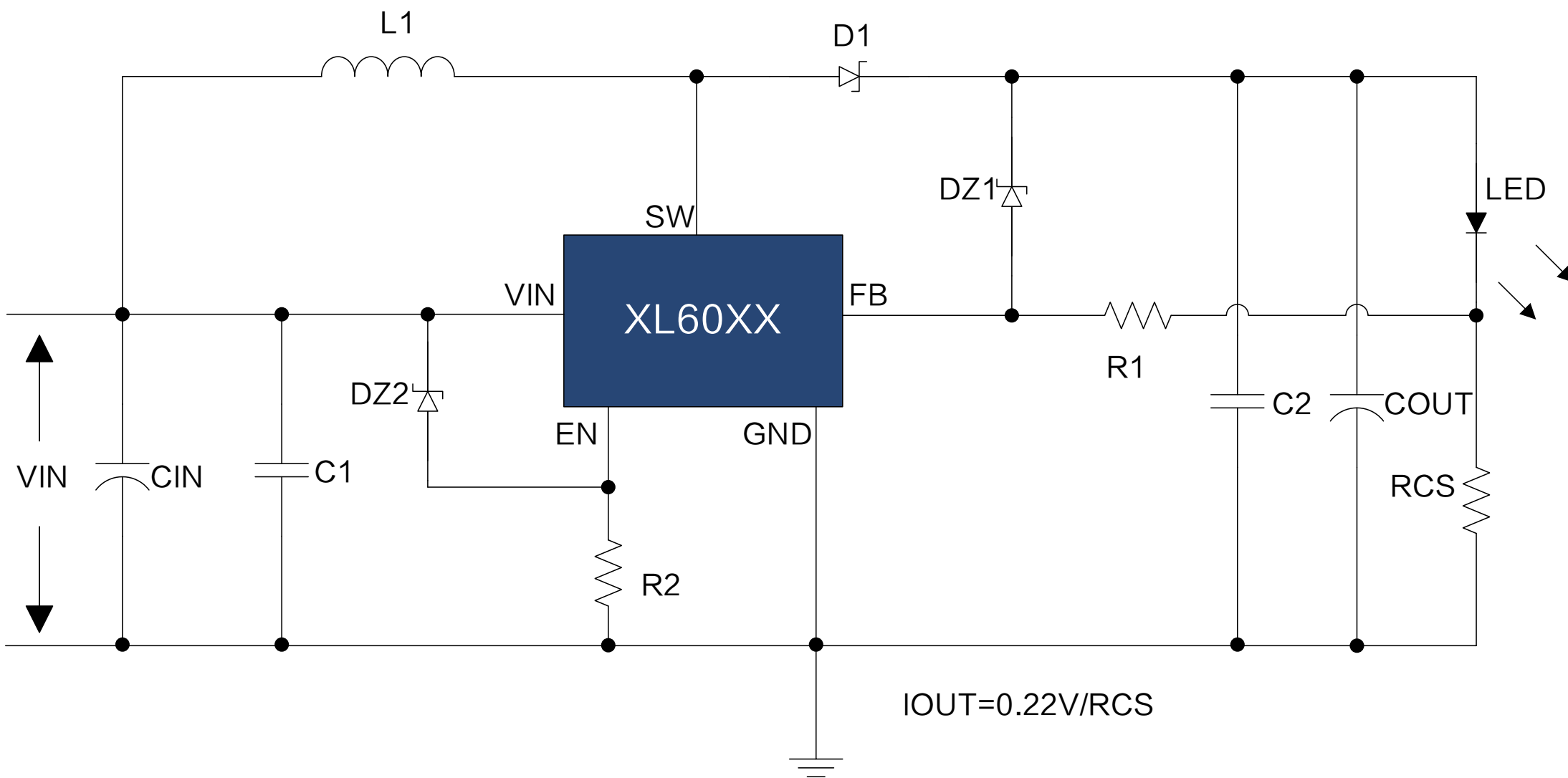
注：

12V输入时，输出40V以内，XL6005推荐输出功率小于15W，XL6006小于25W；24V输入时，输出56V以内，XL6005推荐输出功率小于20W，XL6006小于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

➤电感的选取取决于 V_{IN} 与 V_{OUT} 压差、所需输出电流与芯片开关频率，连续模式电感最小值计算公式如下：

$$L = \frac{V_{IN} * D * (1-D)}{0.3 * I_{OUTMAX} * F_{SW}} \quad D = \frac{V_{OUT} + V_D - V_{IN}}{V_{OUT} + V_D}$$

V_D 为最大输出电流条件下，输出续流二极管的压降。

$$I_{LRMS} = \sqrt{(I_{LDCMAX})^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12}} \quad I_{LDC} = \frac{V_{OUT} * I_{OUT}}{\eta * V_{IN}}$$

$$I_{LPEAK} = I_{LDCMAX} + \frac{\Delta I_L}{2} \quad \Delta I_L = \frac{V_{INMIN}}{L} * \frac{D_{MAX}}{F_{SW}}$$

I_{LDCMAX} 为最小输入电压对应的输入平均电流。

➤选用低直流电阻的电感可获得更高的转换效率。

输入电容

➤升压转换器的输入电流是持续电流，尺寸与容量取决于输入阻抗，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：

$$I_{RMS} = 0.3 * \Delta I_L \quad \Delta I_L = \frac{V_{INMIN}}{L} * \frac{D_{MAX}}{F_{SW}}$$

➤输入电容耐压按照 $1.5 * V_{INMAX}$ 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

➤升压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)：

$$I_{OUTMAX} < \frac{V_{INMIN} * \left(I_{LIM} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) * \eta}{V_{OUT}}$$

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通过外部电阻采样输出电流，对输出电流进行调整，输出电流计算公式为：

$$I_{OUT} = \frac{V_{FB}}{R_{CS}}$$

$$P_{RCS} = V_{FB} * I_{OUT}$$

- 输出电流精度取决于芯片 V_{FB} 精度与 R_{CS} 精度，选择精度更高的电阻可以获得精度更高的输出电压， R_{CS} 精度需要控制在 $\pm 1\%$ 以内。
- 采样电阻 R_{CS} 额定功率建议应至少大于2倍 P_{RCS} 。

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 V_F 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输出电压，建议预留输出电压的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。
- 输出电容容量与输出电压纹波计算如下：

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUTMAX}}{V_{OUTRIPPLE} * F_{SW}} \quad V_{OUTRIPPLE} = \frac{\left(1 - \frac{V_{IN}}{V_{OUT}}\right) * I_{OUT}}{C_{OUT} * F_{SW}}$$

$$ESR \leq \frac{V_{OUTRIPPLE}}{I_D}$$

- $C_{OUT} \geq 1.5 * V_{OUT}$;
- 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

- 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，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: $V_{IN}=10V\sim 14V$, 典型值12V;
- 输出电压: $V_{OUT}=30V$;
- 输出电流: $I_{OUT}=0.8$;
- 输出纹波电压: $V_{RIPPLE}=0.5\%*V_{OUT}$;
- 转换效率: $\eta=90\%$ 。

➤ 选择芯片:

$$P_{OUT}=V_{OUT}*I_{OUT}=30V*0.8A=24W$$

故选择XL6006, 开关频率为180KHz。

选择电感:

$$D = \frac{V_{OUT} + V_D - V_{IN}}{V_{OUT} + V_D} = \frac{30 + 0.45 - 12}{30 + 0.45} = 0.606$$

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUT} + V_D - V_{INMIN}}{V_{OUT} + V_D} = \frac{30 + 0.45 - 10}{30 + 0.45} = 0.672$$

$$L_{MIN} = \frac{V_{INMIN} * D * (1 - D)}{0.3 * I_{OUTMAX} * F_{SW}} = \frac{10 * 0.672 * (1 - 0.672)}{0.3 * 0.8 * 180} = 51.0\mu H$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{INMIN}}{L} * \frac{D}{F_{SW}} = \frac{10}{68\mu H} * \frac{0.672}{180K} = 549mA$$

$$I_{LDCMAX} = \frac{V_{OUT} * I_{OUT}}{\eta * V_{INMIN}} = \frac{30 * 0.8}{0.9 * 10} = 2.667A$$

$$I_{LPEAK} = I_{LDCMAX} + \frac{\Delta I_L}{2} = 2.667 + \frac{0.549}{2} = 2.964A$$

$$I_{LRMS} = \sqrt{(I_{LDCMAX})^2 + \frac{\Delta I_L^2}{12}} = \sqrt{(2.667)^2 + \frac{0.549^2}{12}} = 2.672A$$

选择电感量为68uH;
饱和电流5A。

计算输入电容：

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN}}{L} * \frac{D_{MAX}}{F_{SW}} = \frac{12}{68\mu H} * \frac{0.606}{180K} = 594mA$$

$$I_{RMS} = 0.3 * \Delta I_L = 0.3 * 594mA = 178mA$$

$$V_{CIN} = 1.5 * V_{INMAX} = 1.5 * 14V = 21V$$

选择RMS电流大于178mA，耐压大于21V的电解电容。

计算采样电阻：

$$R_{CS} = \frac{0.22V}{I_{OUT}} = \frac{0.22V}{0.8A} = 0.275\Omega$$

可以使用2个0.56Ω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：

$$I = 1.5 * I_{OUT} = 1.5 * 0.8 = 1.2A$$

➤反向耐压： $30V * 1.3 = 39V$

➤选择2A，40V肖特基。

选择输出电容：

➤输出电容容量：

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUTMAX}}{V_{OUTRIPPLE} * F_{SW}} = \frac{0.8}{0.005 * V_{OUT} * 180K} = 29.6\mu F$$

选择输出电容：

➤ $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT} = 1.5 * 30V = 45V$

➤ 输出电容最小RMS电流计算：

$$I_{RMS} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}}} = 0.8 * \sqrt{\frac{0.606}{1-0.606}} = 0.992A$$

➤ 故可选择33uF/50V陶瓷电容。

➤ 如果选择电解电容，则要选择 I_{RMS} 大于1A，容量大于33uF，耐压大于45V。

常见问题与解决方案

Q1.输入正负极接反芯片损坏

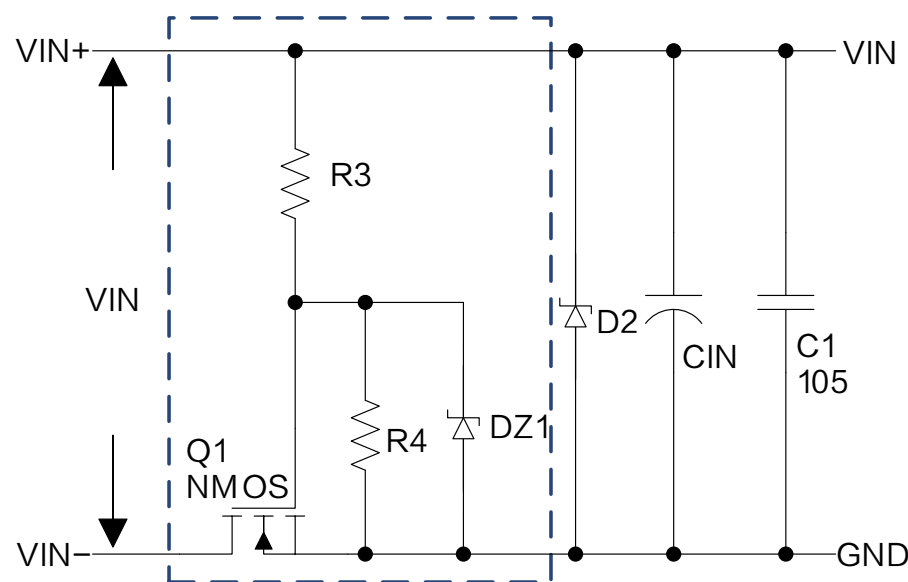
➤解决方案：添加防反接电路(右图蓝色虚线框中电路)。

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

DZ1: $VDZ1 = 10V$, 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: $VD2 = 1.2 * V_{INMAX} \leq 40V$

➤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: $V_{DS} \geq 1.5 * V_{INMAX}$;

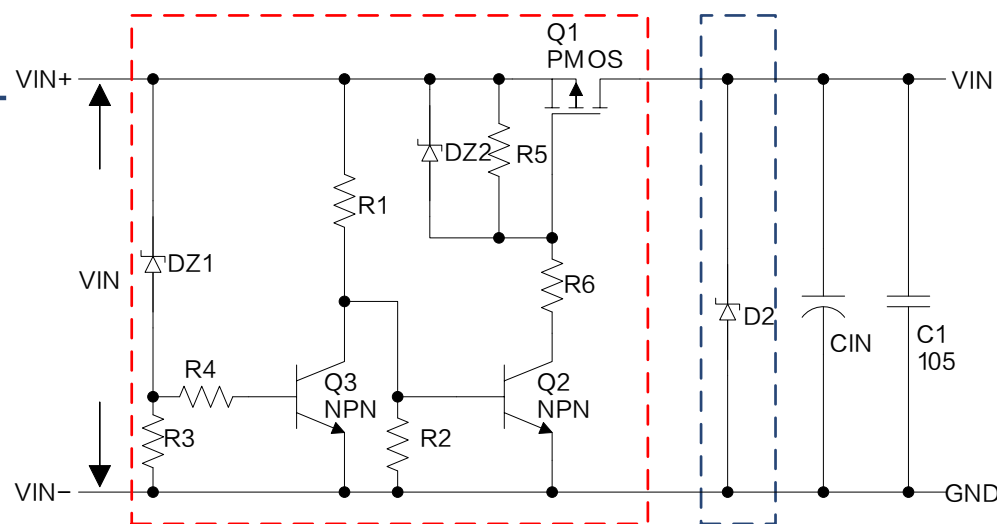
DZ1: $VDZ1 = 1.2 * V_{INMAX} \leq 40V$, 500mW;

DZ2: $VDZ2 = 10V$, 500mW;

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

R2: 10K;

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

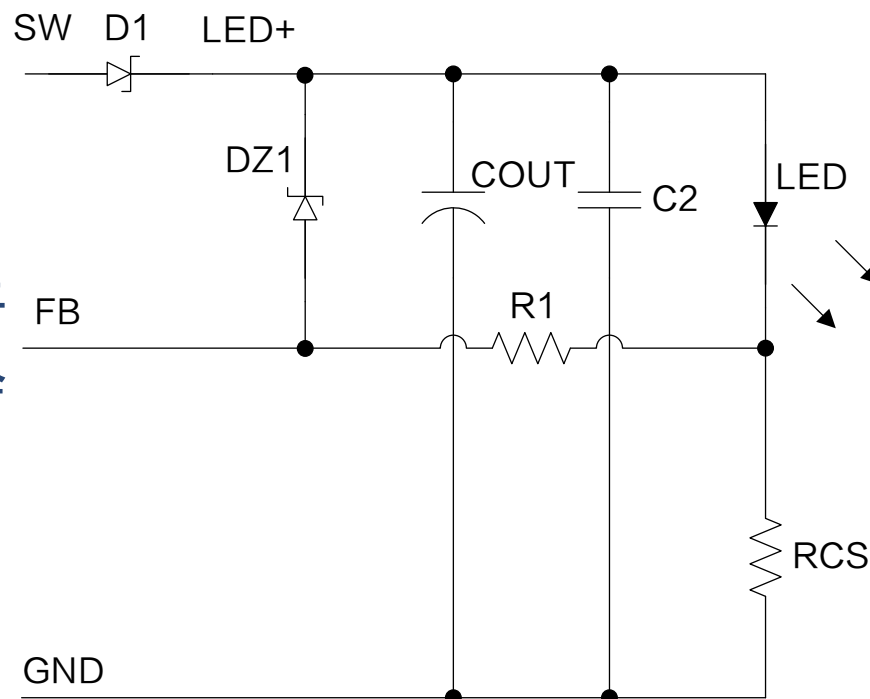


Q3.LED、RCS烧毁、COUT炸开、肖特基损坏

上电时，如果输出开路，FB接地，芯片会以最大占空比工作，输出电压会升的很高。如果电解电容耐压不足，则会炸开；同样，如果肖特基反向耐压不足，则可能被击穿；如果先开路，再接上LED，由于输出电容的电压远高于LED所需电压，接通瞬间电流会很大，可能会导致LED或RCS烧毁。

解决方案：

- 保证输出端一直有负载；
- 增加开路保护电路(见右图)。其中 $R1=1K$ ， $DZ1=1.2*V_{OUT}$ 。增加开路保护后，开路电压约等于DZ1的值。开路后再接入LED时，可以保护LED及RCS，同时，也可以使用更小耐压值的输出电容及肖特基二极管。



常见问题与解决方案

Q4.如何调光

- 更改采样电阻RCS;
- PWM信号变化占空比调节输出电流(见右上图):

PWM:频率1KHz~10KHz;

高电平为5V时, R2选择19K;

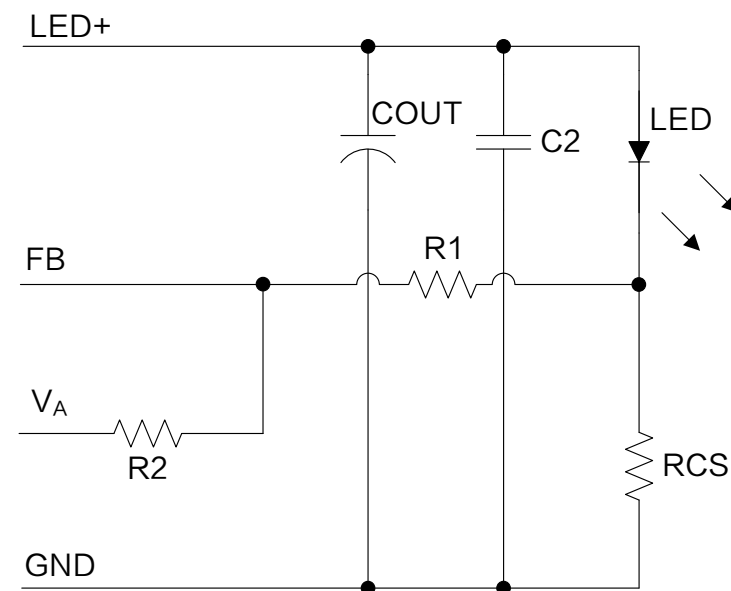
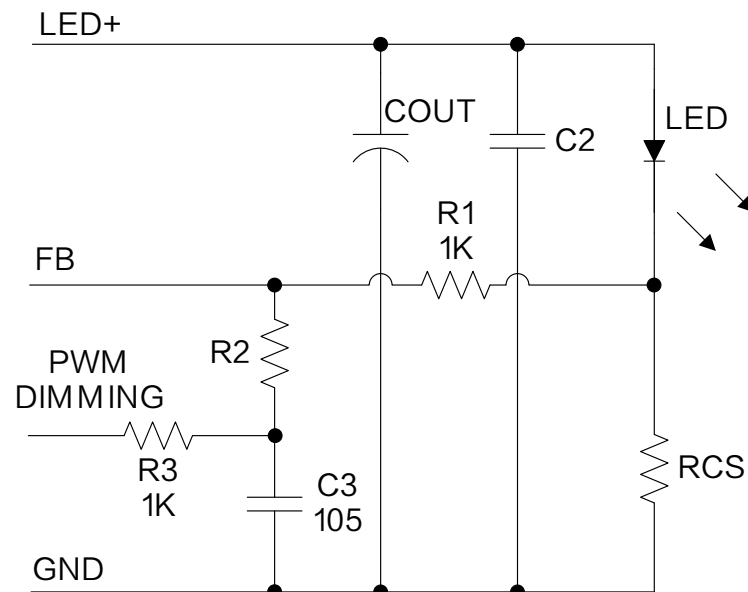
高电平为3.3V时, R2选择12K。

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

- 使用模拟调光(见右下图):

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

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。



Q5.最大输出电压设计为多少合理

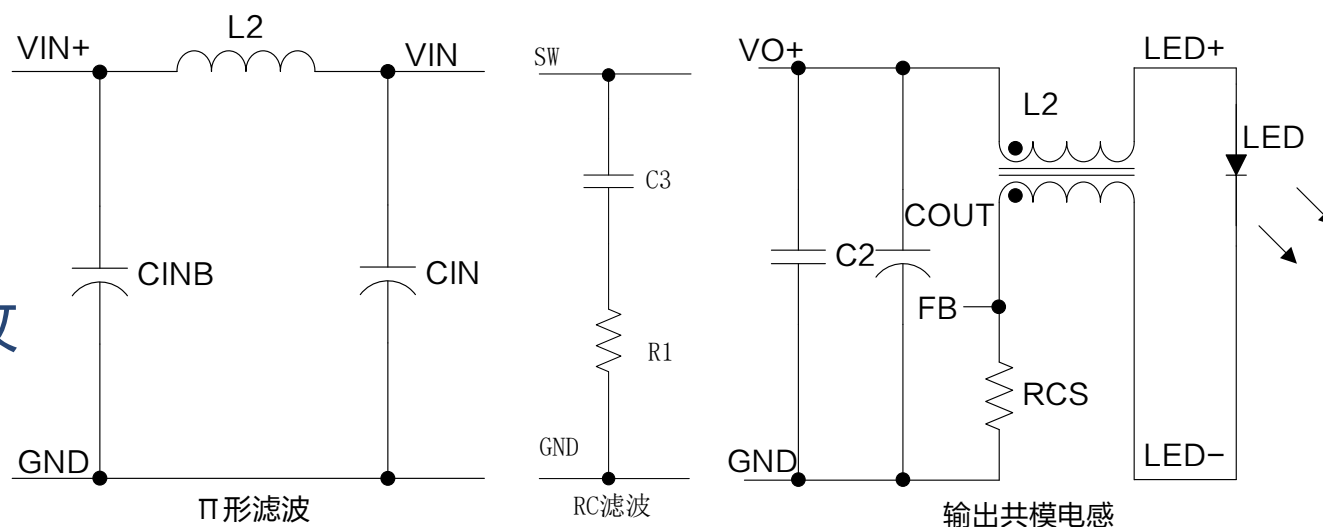
- 与占空比相关，一般将占空比设计在30%~70%之间比较理想，12V输入最大输出电压控制在40V以内，24V输入最大输出电压控制在56V以内，输入输出压差越小，转换效率越高，性能越好。

占空比计算如下：

$$D = \frac{V_{OUT} + V_D - V_{IN}}{V_{OUT} + V_D}$$

Q6.EMC电路

- 传导：输入端加 π 形滤波
- 辐射：SW到地加RC吸收电路，输出加共模电感。



Q7.效率低

- 效率受很多方面影响，与器件的选择和PCB布板都有很大关系，另外，与使用条件也有较大关系。为了得到一个高效率，请遵循以下几点：
- PCB布线要符合规范；
- 元器件选择符合要求，使用低ESR的电解电容，容量要足够；肖特基选用低VF值的；电感可以使用铁硅铝材质；
- 可以适当改变输出LED的串并方式，使 V_{IN} 与 V_{OUT} 的压差不要太大，通常 V_{OUT} 不要超过 V_{IN} 的3倍为佳。

Q8.开关波形有较高的毛刺和负压

- PCB布线要符合规范，尤其要注意肖特基处的走线，减少寄生电感。

Q9.使用交流供电注意事项

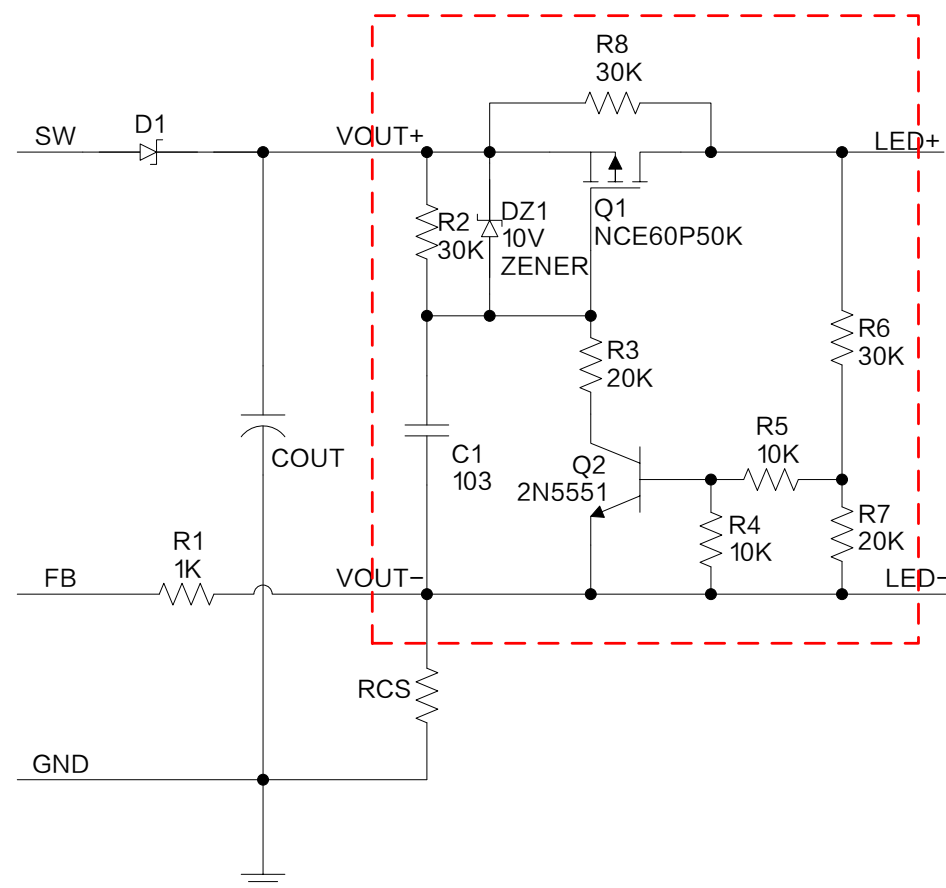
- 整流后的峰值不要超过输出电压；
- 输出电容容量要足够，要使整流后谷值不低于5V，最好整流后谷值不低于输出电压的1/3，以保证正常工作及较高的效率；
- 整流桥使用肖特基二极管，肖特基二极管的VF较低，减小损耗。

Q10.系统短路芯片是否损坏

- 短路后芯片不会损坏，但采样电阻会损坏；
- 增加短路保护电路可(右图红色虚线框中电路)。

Q11.可否使用EN脚调光

- 不可以，EN脚只用来作开关，调光请使用FB脚。



Q12.输入电容可否省略

- 不可以，输入电容要为芯片提供瞬态大电流，去掉会出现芯片工作不正常，甚至损坏。

Q13.输入105陶瓷电容可否省略

- 不可以，陶瓷电容要靠近芯片引脚，滤除高频毛刺，使芯片工作稳定。

Q14.开关波形乱

- 正常的开关波形应该是标准的矩形波，开关波形乱通常会伴随着效率的降低。解决方案：
- PCB布线是否符合规范，重点关注反馈走线是否有靠近芯片开关(SW)，电感，肖特基等处；
- 元器件选择是否符合要求，尤其是输出电解电容和电感值是否偏小。