

XL30XX系列降压恒流产品设计指南

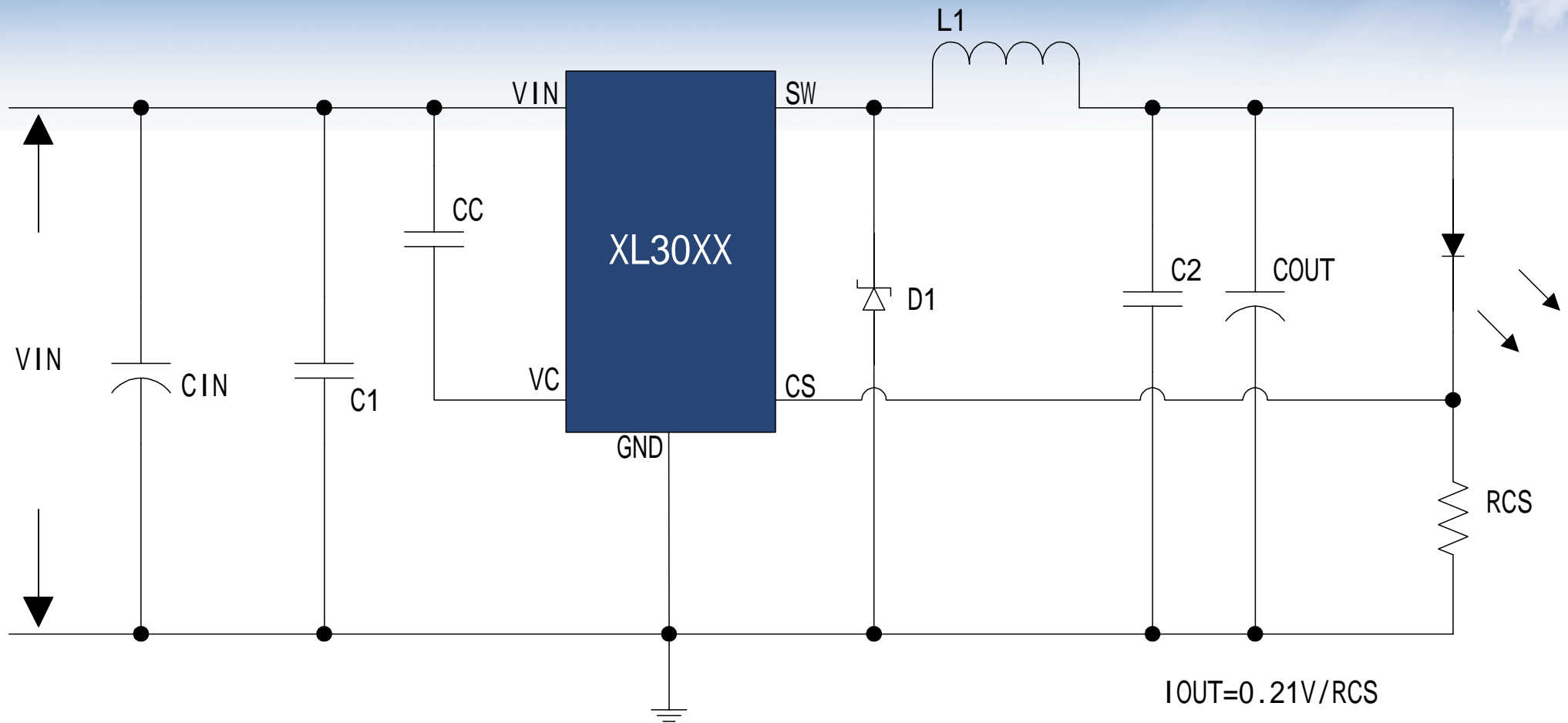
V1.0



XL30XX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
XL3001	8V-40V	3A	220KHz	39V	3串2W LED	98%	SOP8-EP	10W
XL3003	8V-36V	4A	220KHz	35V	6串3W LED	98%	T0252-5L	20W
XL3005	8V-36V	5A	220KHz	35V	8串4W LED	98%	T0263-5L	50W

典型应用电路图



输入电容

➤ 降压转换器的非持续输入电流会在输入电容上产生较大的纹波电流，输入电容最大RMS电流计算如下：

$$I_{RMS} = I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} * (V_{IN} - V_{OUT})}{(V_{IN})^2}}$$

➤ 输入电容起到储能、滤波与提供瞬态电流作用，在连续模式中，转换器的输入电流是一组占空比约为 V_{OUT}/V_{IN} 的方波。为了防止大的瞬态电压，必须采用针对最大RMS电流要求而选择低ESR(等效串联电阻)输入电容器。

$$C_{IN} = \frac{I_{OUTMAX} * V_{OUT}}{\Delta V_{IN} * F_{SW} * V_{INMIN}}$$

V_{IN} 为输入电压纹波， F_{SW} 为开关频率；

➤ 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。

CC电容

- VC是芯片内部电压调节旁路电容，内部电压调节旁路电容，需要在VC与VIN之间并联1uF电容。

输出电流设计

- CS为芯片内部基准误差放大器输入端，内部基准稳定在0.21V；
- CS通过采样电阻检测输出电流进行调整，输出电流计算公式为：

$$I_{OUT} = \frac{V_{CS}}{R_{CS}} \quad P_{RCS} = V_{CS} * I_{OUT}$$

- 输出电压精度取决于芯片 V_{CS} 精度与采样电阻 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流，RCS精度需要控制在 $\pm 1\%$ 以内。
- 采样电阻 R_{CS} 的实际功率要大于2倍 P_{RCS}

电感选择

➤ 电感的选择取决于 V_{INMAX} 与 V_{OUT} 压差、所需输出电流与芯片开关频率，电感最小值计算公式如下：

$$L_{MIN} = \frac{(V_{INMAX} - V_{OUT}) * D_{MIN}}{0.3 * I_{OUT} * F_{SW}} \quad D_{MIN} = \frac{V_{OUT}}{V_{INMAX}}$$

➤ 电感饱和电流最小为 $1.5 * I_{OUT}$ ；选用低直流电阻的电感可获得更高的转换效率。

续流二极管选择

➤ 续流二极管在开关管关闭时有电流通过，形成续流通路；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，正常工作时平均正向电流可计算如下：

$$I_{DAVG} = I_{OUTMAX} * \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}}$$

➤ 续流二极管反向耐压大于最高输入电压，建议预留30%以上裕量。

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，一般来说，一旦电容ESR得到满足，电容就足以满足需求。任何电容器的ESR连同其自身容量将为系统产生一个零点，ESR值越大，零点位于的频率段越低，而陶瓷电容的零点处于一个较高的频率上，通常可以忽略，是一种上佳的选择，但与电解电容相比，大容量、高耐压陶瓷电容会体积较大，成本较高，因此使用0.1uF至1uF的陶瓷电容与低ESR电解电容结合使用是不错的选择。

➤输出电压纹波由下式决定：

$$\Delta V_{OUT} \approx \Delta I_L * \left(ESR + \frac{1}{8 * F_{SW} * C_{OUT}} \right)$$

$$ESR_{MAX} = \frac{\Delta V_{OUT} * L * F_{SW}}{V_{OUT} * \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{INMAX}} \right)}$$

$$\Delta I_L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) * V_{OUT}}{V_{IN} * F_{SW} * L}$$

$$I_{RMS} = \Delta I_L * \sqrt{\frac{1}{12}} \approx 0.3 * \Delta I_L$$

➤ $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT}$;

➤ ESR通常取值不超过0.2 。

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；
- CS走线远离电感与肖特基等有开关信号地方，CS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： $V_{IN}=20\sim 28V$ ，典型值24V；
- 输出电压： $V_{OUT}=12.8V$ ；
- 输出电流： $I_{OUT}=1.5A$ ；
- 输出纹波电压： $V_{RIPPLE}=0.5\%*V_{OUT}$ 。

芯片选择： $P=V_{OUT}*I_{OUT}=12.8*1.5=19.2W$ ，故选用XL3003。

计算输入电容：

$$I_{RMS} = I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} * (V_{IN} - V_{OUT})}{(V_{IN})^2}} = 1.5 * \sqrt{\frac{12.8 * (24 - 12.8)}{(24)^2}} = 748mA$$

$$C_{IN} = \frac{I_{OUT} * V_{OUT}}{\Delta V_{IN} * F_{SW} * V_{INMIN}} = \frac{1.5 * 12.8}{0.2 * 220K * 20} = 21.8\mu F$$

$$V_{CIN} = 1.5 * V_{INMAX} = 1.5 * 28V = 42V$$

CIN选择容量大于22uF，RMS电流大于750mA，耐压大于42V的电容。

设计实例

CC电容选择：

选择CC电容容量为1uF，耐压50V。

计算采样电阻：

$$R_{CS} = \frac{V_{CS}}{I_{OUT}} = \frac{0.21V}{1.5A} = 0.14\Omega$$

$$P_{RCS} = V_{CS} * I_{OUT} = 0.21V * 1.5A = 0.315W$$

可以选择3个0.43 电阻并联，考虑到功率，可以使用1206封装。

选择电感：

$$L_{MIN} = \frac{(V_{INMAX} - V_{OUT}) * \frac{V_{OUT}}{V_{INMAX}}}{0.3 * I_{OUT} * F_{SW}} = \frac{(28 - 12.8) * \frac{12.8}{28}}{0.3 * 1.5 * 220K} = 70.2\mu H$$

电感最小饱和电流=1.5*1.5=2.25A

选择电感量100uH，饱和电流3A。

续流二极管选择：

➤ 二极管工作时最大正向平均电流产生于最大输入电压时：

$$I_{DAVGMAX} = I_{OUT} * \frac{V_{INMAX} - V_{OUT}}{V_{INMAX}} = 1.5 * \frac{28 - 12.8}{28} = 0.814A$$

➤ 选择反向耐压40V，电流能力大于2A的肖特基二极管。

选择输出电容：

$$\Delta I_L = \frac{(V_{INMAX} - V_{OUT}) * V_{OUT}}{V_{INMAX} * F_{SW} * L} = \frac{(28 - 12.8) * 12.8}{28 * 220K * 100\mu H} = 0.316A$$

$$ESR_{MAX} \leq \frac{\Delta V_{OUT} * L * F_{SW}}{V_{OUT} * \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{INMAX}}\right)} = \frac{0.005 * 12.8 * 100\mu H * 220K}{12.8 * \left(1 - \frac{12.8}{28}\right)} = 0.2026\Omega$$

$$I_{RMS} = \Delta I_L * \sqrt{\frac{1}{12}} \approx 0.3 * \Delta I_L = 0.3 * 0.316 = 94.8mA$$

$$V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT} = 1.5 * 12.8V = 19.2V$$

选择输出电容ESR<0.2026（通常取0.2以下），耐压大于19.2V，IRMS电流大于95mA。

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: $V_{DS} \leq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$;
DZ1: $V_{DZ1} = 10V$, 500mW ;
R3: 20K ;
R4: 20K。

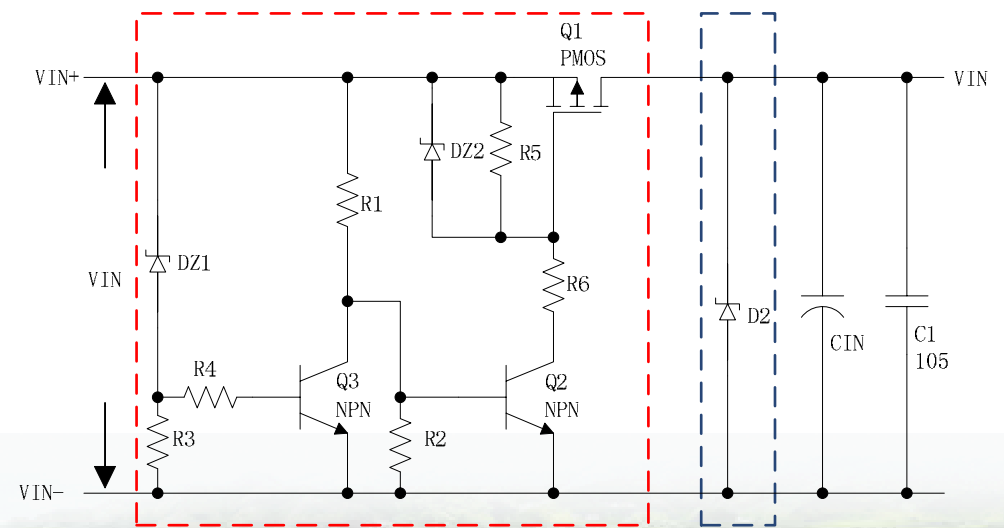
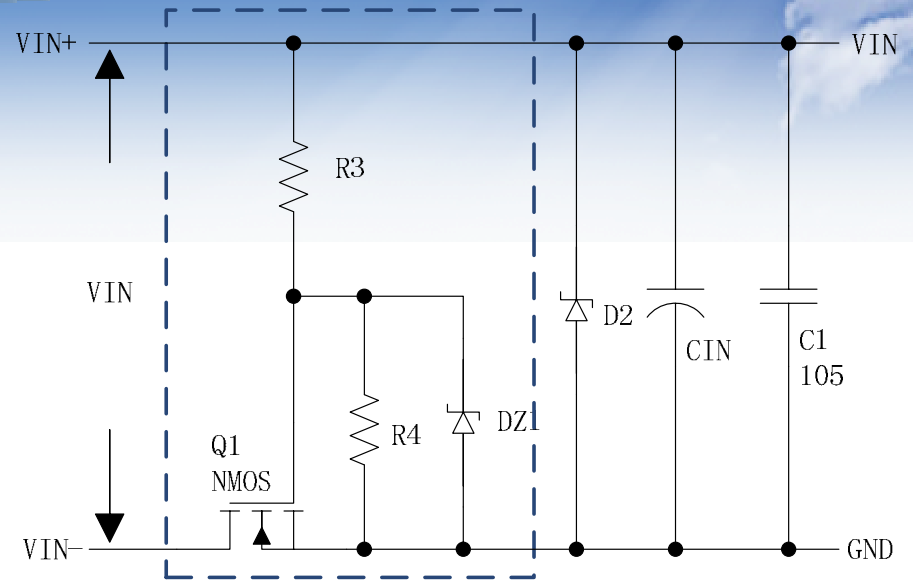
Q2. 输入尖峰电压损坏芯片

➤ 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: $V_{D2} = 1.2 * V_{IN_{MAX}}$ 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: $V_{DS} \leq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$;
DZ1: $V_{DZ1} = 1.2 * V_{IN_{MAX}}$ 40V , 500mW ;
DZ2: $V_{DZ2} = 10V$, 500mW ;
R1, R3, R4, R5, R6: 20K ;
R2: 10K ;
Q2, Q3: $V_{CE} \leq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$ 。

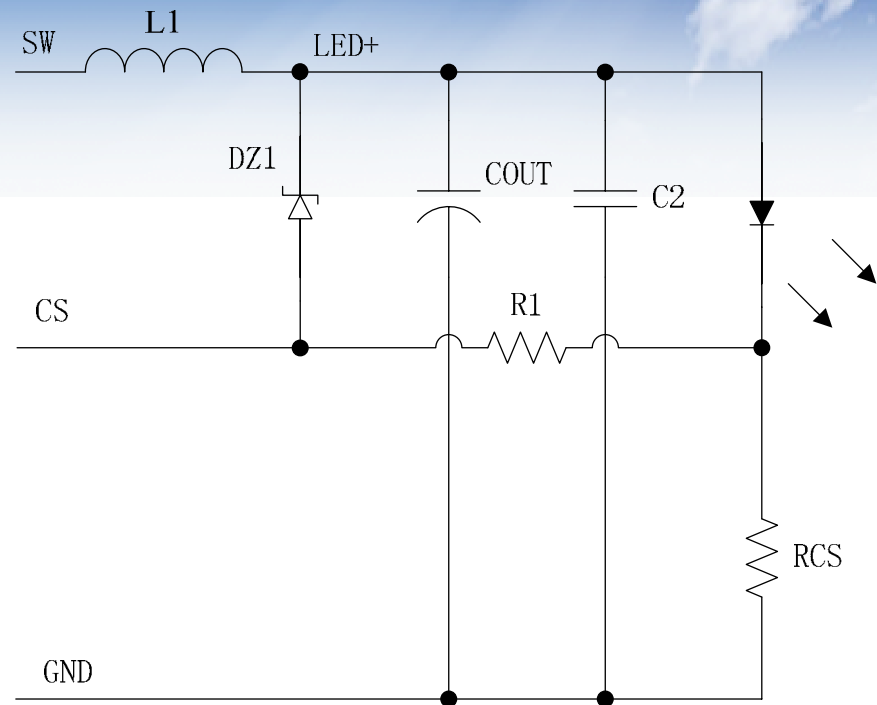


常见问题与解决方案

Q3.LED、RCS烧毁或COUT炸开

上电时，输出开路，由于RCS上没有压降，芯片功率管一直导通，导致输出电容电压等于输入电压，如果电解电容耐压不足，则会炸开；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，从而可以保护LED及采样电阻RCS。



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21K ;

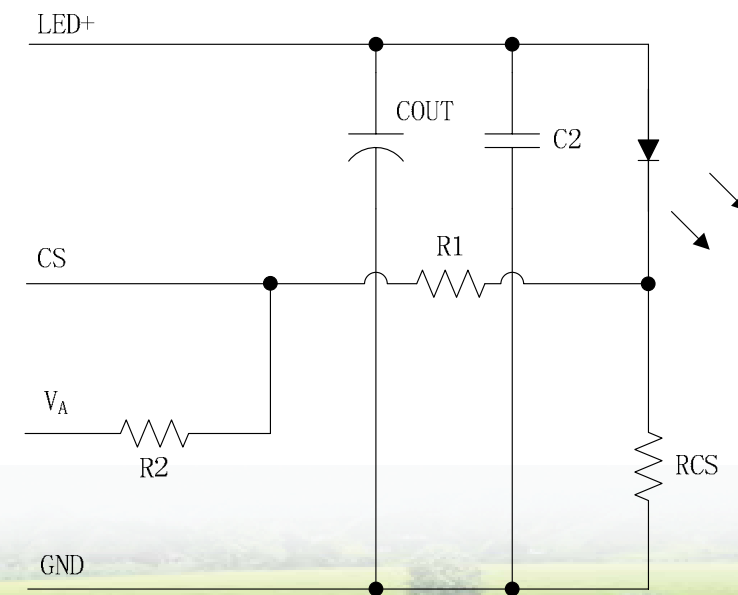
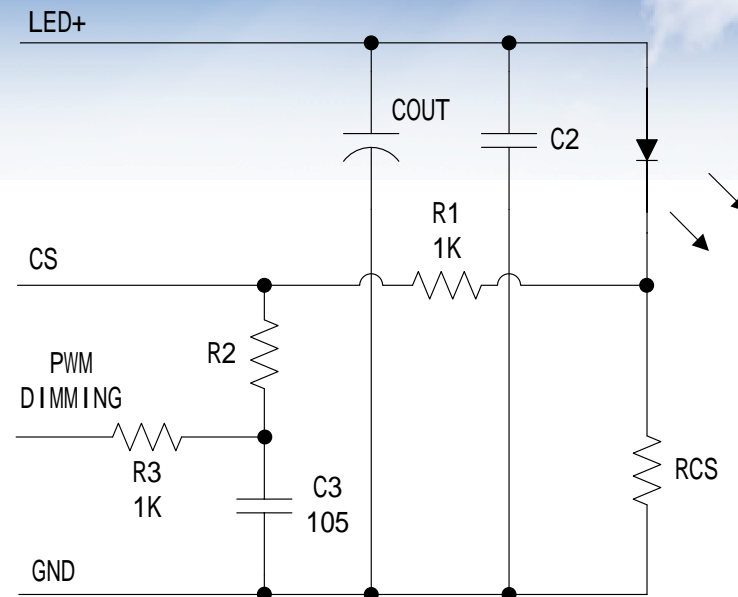
高电平为3.3V时, R2选择14K。

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

- 使用模拟调光(见右下图) :

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

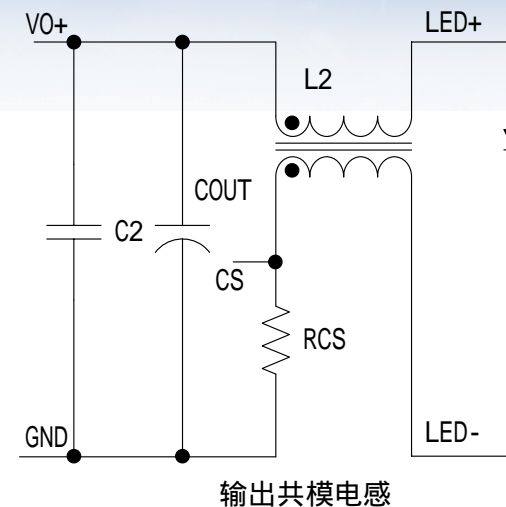
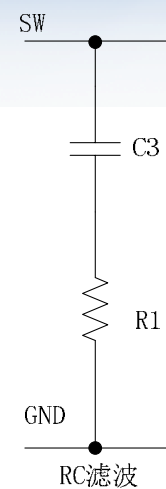
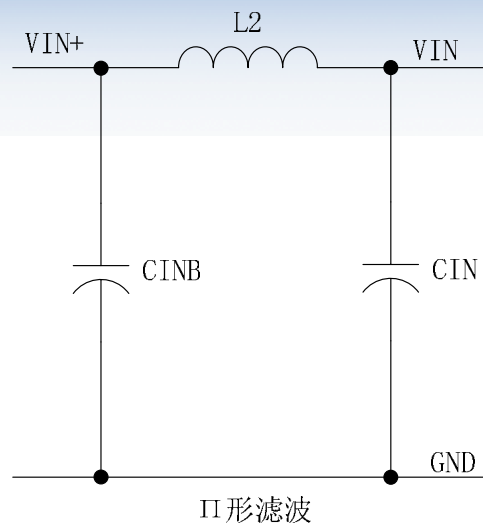
可以通过改变 V_A 电压实现调光, 也可以通过改变R2阻值实现调光。



常见问题与解决方案

Q5. EMC电路

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



Q6. 恒流精度低

- PCB布线要符合规范，通常是CS走线受干扰引起的，检查CS是否靠近SW、电感、肖特基等处；
- 检查输出电容容量是否过小；
- 检查电感量是否过小；
- RCS电阻精度是否过低。

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VIN与VOUT的压差不要太大，通常VIN不要超过VOUT的3倍为佳。

Q8. 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，主要注意下几点：

- 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。

常见问题与解决方案

Q9. 芯片最小工作压差

- 推荐最好有1V以上的压差。

Q10. 开关波形有较高的毛刺和负压

- 注意肖特基处的走线，减少寄生电感；
- 输入电容靠近芯片引脚。

Q11. 当使用交流供电时，输出电流小于设定值

当使用交流时，要先经过整流滤波后变成直流，再送到芯片，如果整流后的最低电压比输出电压低时，就会出现上述情况。解决方案：

- 增加输入电容的容量，使整流后最低电平大于输出电压1V。

常见问题与解决方案

Q12. 在使用交流供电时，为什么要选用肖特基做整流桥

- 肖特基二极管拥有更低的导通压降，减小损耗。

Q13. 系统短路芯片是否损坏

- 如果先短路，再上电，整个系统都不会有损坏；
- 如果先上电，再短路，有一定机率烧毁采样电阻，芯片不会损坏。

Q14. 输入电容是否必要

- 必要，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。

Q15. VIN与VC间的电容可否省略

- 不可以。VC为内部电压调节器旁路电容引脚，在典型应用中，需要在VIN与VC引脚之间连接1个1uF电容。