

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恒压产品设计指南



V1.3

XL60XX系列快速选择表

XLSEMI

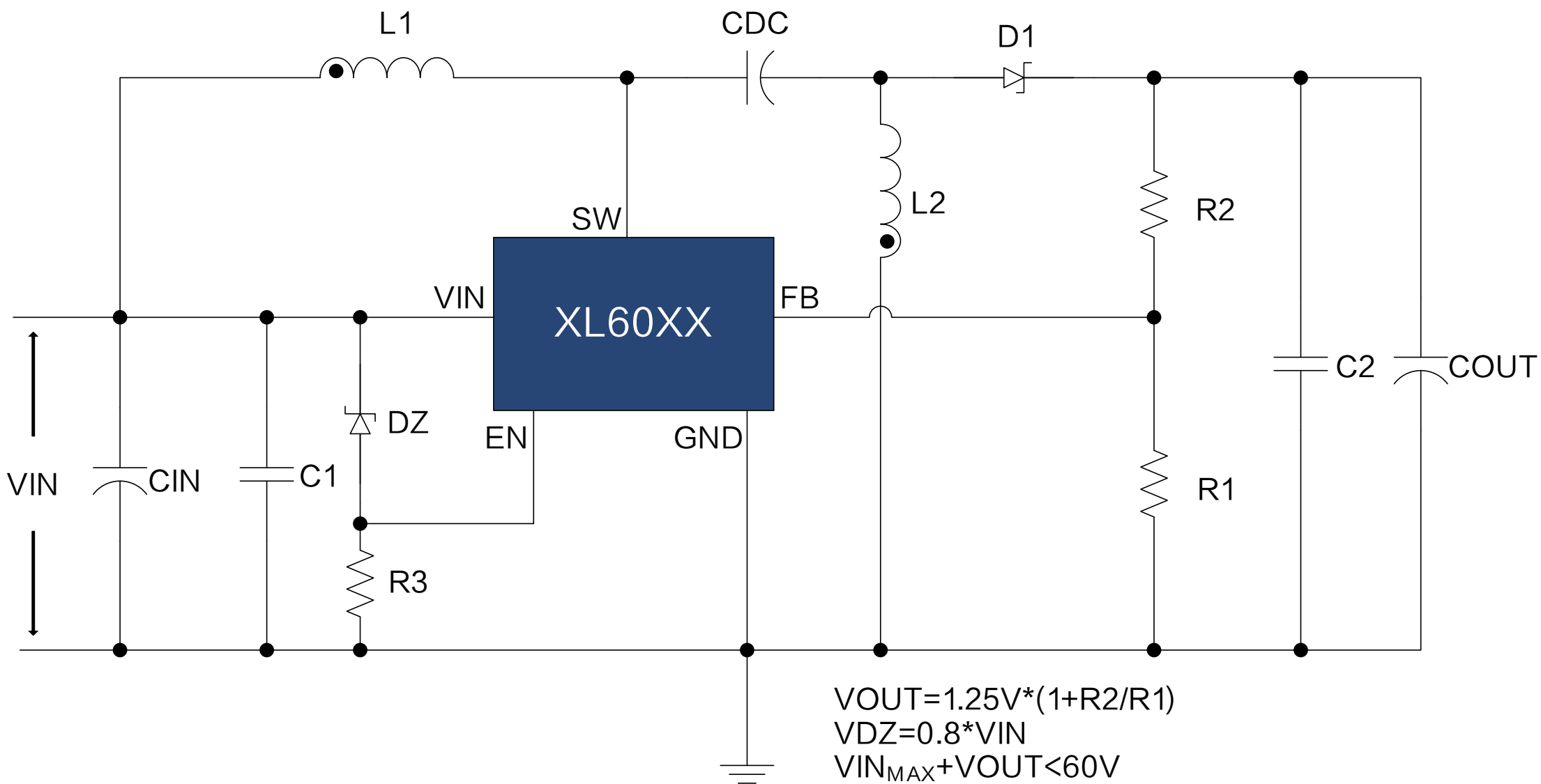
专业 专注 务实 创新 高效 沟通

| 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 |
|--------|----------|------|--------|--------|----------|---------|----------|-------|
| XL6007 | 3.6V-24V | 2A | 400KHz | 5V~30V | 12V/0.3A | 85% | SOP8 | ≤8W |
| XL6008 | 3.6V-32V | 3A | 400KHz | 5V~30V | 12V/0.7A | 85% | TO252-5L | ≤20W |
| XL6012 | 5.0V-40V | 5A | 180KHz | 5V~30V | 12V/1.5A | 87% | TO220-5L | ≤100W |
| XL6019 | 5.0V-40V | 5A | 180KHz | 5V~30V | 12V/1.2A | 87% | TO263-5L | ≤100W |

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)：

$$I_{OUT_{MAX}} < \frac{I_{LIM} - \Delta I_L}{\frac{V_{OUT}}{V_{IN_{MIN}} * \eta} + 1} = \frac{I_{LIM} - 0.5 * \Delta I_{SW}}{\frac{V_{OUT}}{V_{IN_{MIN}} * \eta} + 1} = \frac{I_{LIM} - 0.5 * 0.2 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}}}{\frac{V_{OUT}}{V_{IN_{MIN}} * \eta} + 1}$$

输出电压设计

- FB为芯片内部基准误差放大器输入端，内部基准稳定在1.25V；
- FB通过外部电阻分压网络，检测输出电压进行调整，输出电压计算公式为：

$$V_{OUT} = 1.25 * (1 + \frac{R2}{R1})$$

R1取值范围1KΩ~10KΩ；

- 输出电压精度取决于芯片VFB精度、R1与R2精度，选择精度更高的电阻可以获得精度更高的输出电压，R1、R2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：

$$C_{DC} \geq \frac{I_{OUT_{MAX}} * D_{MAX}}{0.05 * F_{SW}}$$

- 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：

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

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

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

$$V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT}$$

- 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： $V_{OUT}=12V$ ；
- 输出电流： $I_{OUT}=1.5A$ ；
- 转换效率： $\eta=87\%$ ；
- 输出电压纹波： $1\%*V_{OUT}$ ；
- 芯片选用XL6019；
- 开关频率： $F_{SW}=180KHz$ 。

选择电感:

$$D = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} + V_{OUT} + V_D} = \frac{12 + 0.45}{12 + 12 + 0.45} = 0.509$$

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN_{MIN}} + V_{OUT} + V_D} = \frac{12 + 0.45}{10 + 12 + 0.45} = 0.555$$

$$I_{L1_{MAX}} = I_{IN_{MAX}} = I_{OUT_{MAX}} * \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}} = 1.5 * \frac{0.555}{1 - 0.555} = 1.87A$$

$$I_{L2_{MAX}} = I_{OUT_{MAX}} = 1.5A$$

$$I_{SW_{MAX}} = I_{L1_{MAX}} + I_{L2_{MAX}} = I_{OUT_{MAX}} * \left(1 + \frac{D_{MAX}}{1 - D_{MAX}}\right) = I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 1.5 * \frac{1}{1 - 0.555} = 3.37A$$

$$I_{LSW_{PEAK}} = 1.2 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 1.2 * 1.5 * \frac{1}{1 - 0.555} = 4.04A$$

$$\Delta I_{SW} = 0.4 * I_{SW_{MAX}} = 0.4 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 0.4 * 1.5 * \frac{1}{1 - 0.555} = 1.348A$$

$$\Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} = 0.5 * \Delta I_{SW} = 0.5 * 0.4 * I_{OUT_{MAX}} * \frac{1}{1 - D_{MAX}} = 0.5 * 0.4 * 1.5 * \frac{1}{1 - 0.555} = 0.674A$$

选择电感:

使用分离电感时:

$$L1=L2 = \frac{VIN_{MIN}}{0.5 * \Delta ISW * FSW} * D_{MAX} = \frac{10}{0.5 * 1.348 * 180 * 1000} * 0.555 = 45.75\mu H$$

使用耦合电感时:

$$L1=L2 = \frac{VIN_{MIN}}{\Delta ISW * FSW} * D_{MAX} = \frac{10}{1.348 * 180 * 1000} * 0.555 = 22.85\mu H$$

$$IL1_{PEAK} = IL1_{MAX} + 0.5 * \Delta IL1 = IOUT_{MAX} * \frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}} + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}} = 2.544A$$

$$IL2_{PEAK} = IL2_{MAX} + 0.5 * \Delta IL2 = IOUT_{MAX} + 0.5 * 0.5 * 0.4 * IOUT_{MAX} * \frac{1}{1-D_{MAX}} = 1.837A$$

选择分离电感时, L1, L2电感量为47uH,饱和电流4A;

选择耦合电感时, L1, L2电感量为33uH,饱和电流4A。

计算输入电容：

$$\Delta IL = \Delta IL1 = \Delta IL2 = 674mA$$

$$IRMS = 0.3 * \Delta IL = 0.3 * 674mA = 202.2mA$$

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

选择CIN容量100uF,RMS电流大于202mA, 耐压大于等于45V。

计算分压电阻：

假定R1=2.7K；

$$VOUT = 1.25 * (1 + \frac{R2}{R1}) \Rightarrow R2 = \frac{(VOUT - 1.25) * R1}{1.25} = \frac{(12 - 1.25) * 2.7}{1.25} = 23.22K$$

选择R1=2.7K, R2=24K, 1%精度。计算出来输出电压中心值为12.36V。

续流二极管选择:

➤ 二极管额定电流:

$$I_D = 1.5 * I_{OUT} = 1.5 * 1.5 = 2.25A$$

➤ 反向耐压: $V_{IN_{MAX}} + V_{OUT} = 30 + 12 = 42V$

➤ 选择3A,60V肖特基。

选择输出电容:

➤ 输出电容容量:

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT_{MAX}}}{V_{OUT_{RIPPLE}} * F_{SW}} = \frac{1.5}{0.01 * V_{OUT} * 180K} = 69.44\mu F$$

➤ 输出电容ESR:

$$ESR \leq \frac{V_{OUT_{RIPPLE}}}{I_D} = \frac{0.01 * 12}{1.5} = 80m\Omega$$

选择输出电容：

➤ $V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT} = 1.5 * 12V = 18V$

➤ 输出电容最小RMS电流计算如下：

$$I_{RMS} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{D_{MAX}}{1-D_{MAX}}} = 1 * \sqrt{\frac{0.5546}{1-0.5546}} = 1674mA$$

➤ 选择25V，220uF，RMS电流大于1674mA电解电容。

选择耦合电容：

➤ 耦合电容耐压

➤ $V_{CDC} \geq V_{IN_{MAX}} + V_{OUT} = 30 + 12 = 42V$

$$C_{DC} \geq \frac{I_{OUT_{MAX}} * D_{MAX}}{0.05 * F_{SW}} = \frac{1.5 * 0.5546}{0.05 * 180 * 1000} = 92.43\mu F$$

$$I_{RMSCDC} \geq I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN_{MIN}}}} = 1.5 * \sqrt{\frac{12 - 0.5}{10}} = 1677mA$$

➤ 选择50V，100uF，RMS电流大于1677mA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

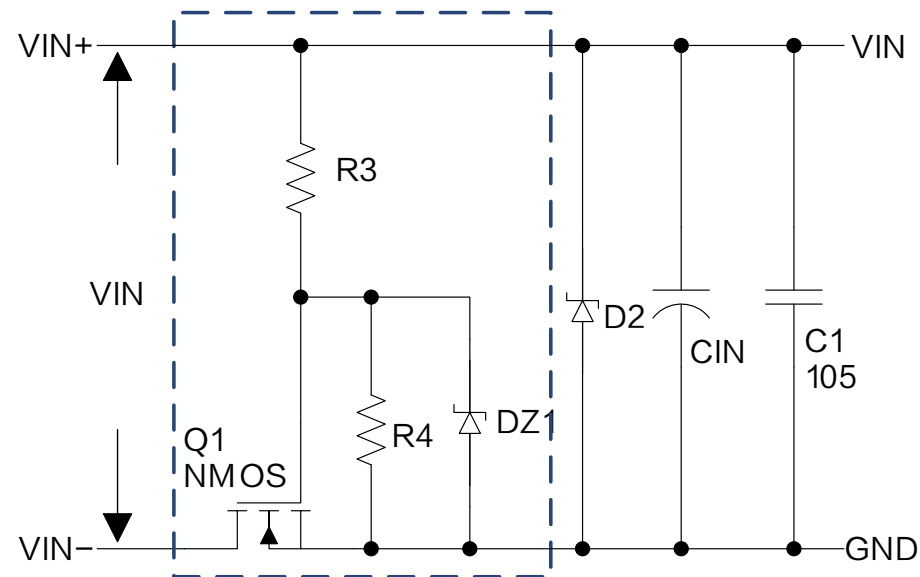
➤ 解决方案：添加防反接电路(右图蓝色虚线框中电路)。

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

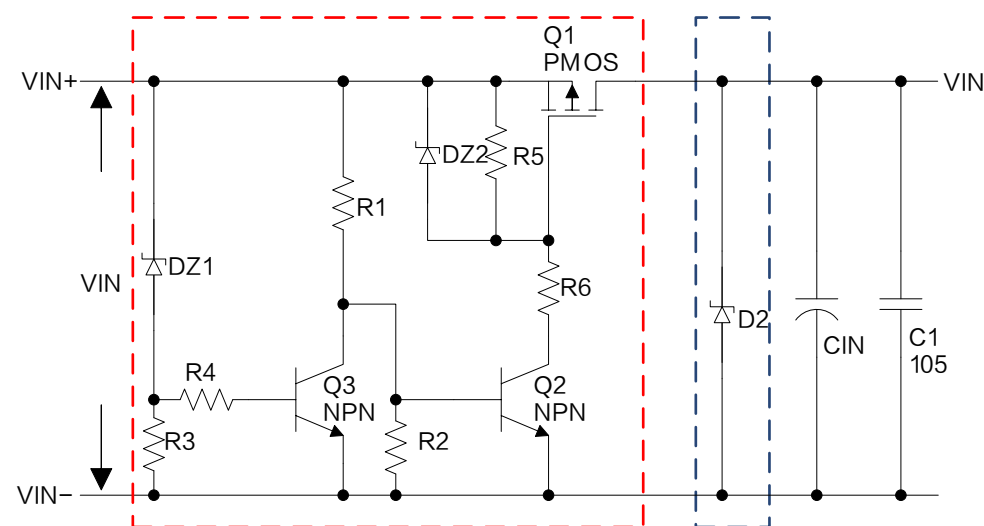
DZ1: $V_{DZ1} = 1.2 * V_{INMAX} \leq 40V, 500mW$;

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

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

R2: 10K;

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



➤ Q3. 输出电压怎么调整

➤ 解决方案一：调节分压电阻(右图中R3)。

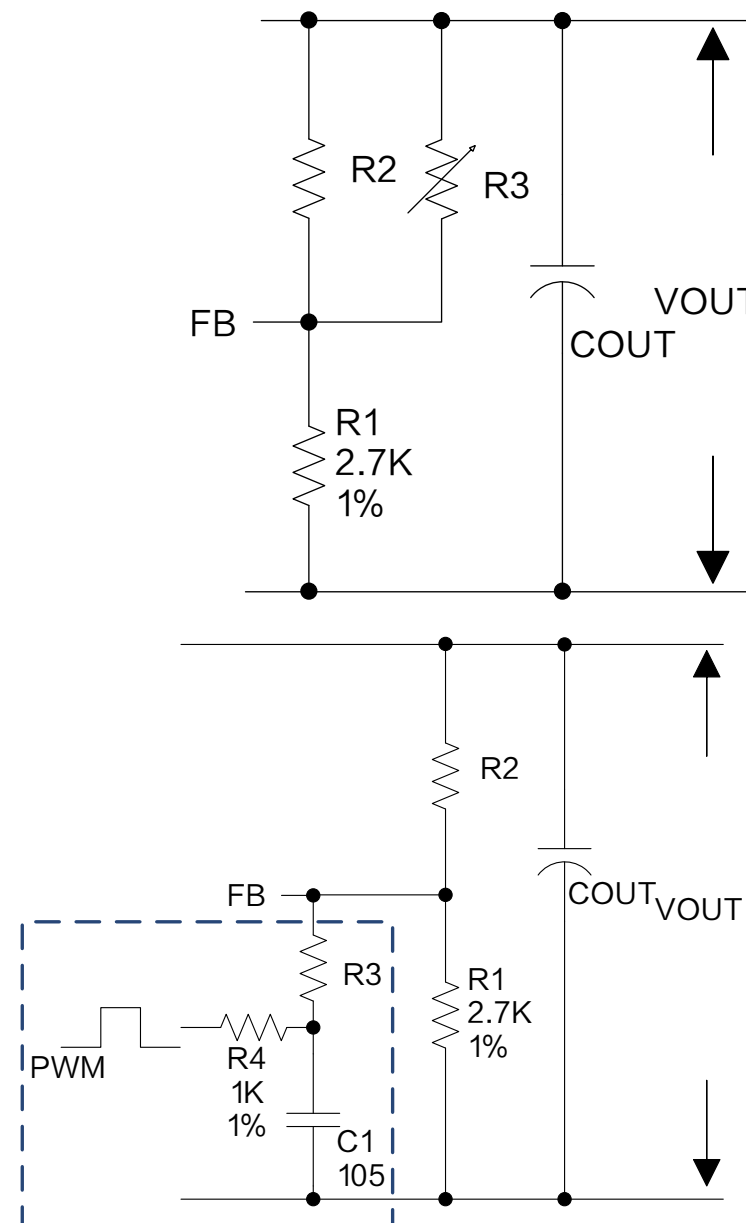
➤ 解决方案二：PWM信号变化占空比调节输出电压(右下图蓝色虚线框中电路)：

PWM: 频率1KHz~10KHz;

高电平为5V时, R3选择4K;

高电平为3.3V时, R3选择0.5K。

$$V_{OUT} = \left(V_{FB} - \frac{R1 * V_{PWM} * DUTY}{R1 + R3 + R4} \right) * \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

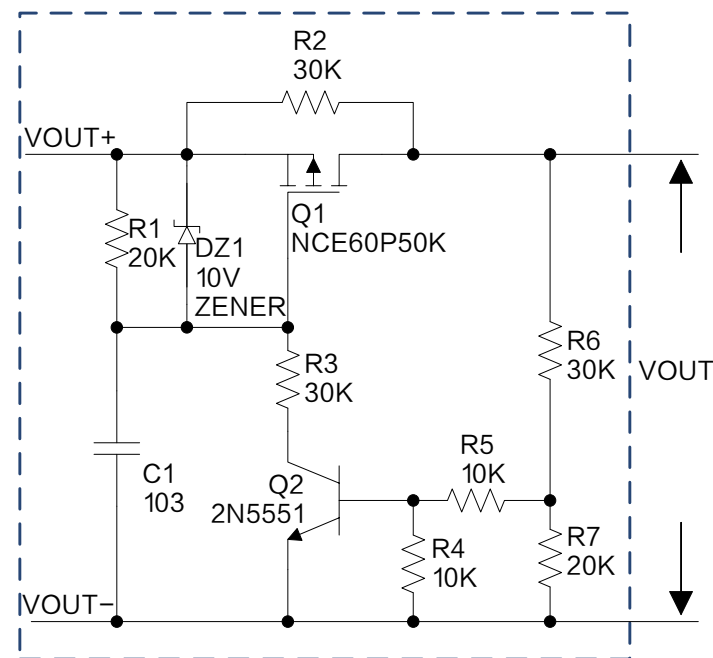


➤ Q4. 输出短路保护怎么实现

➤ 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;

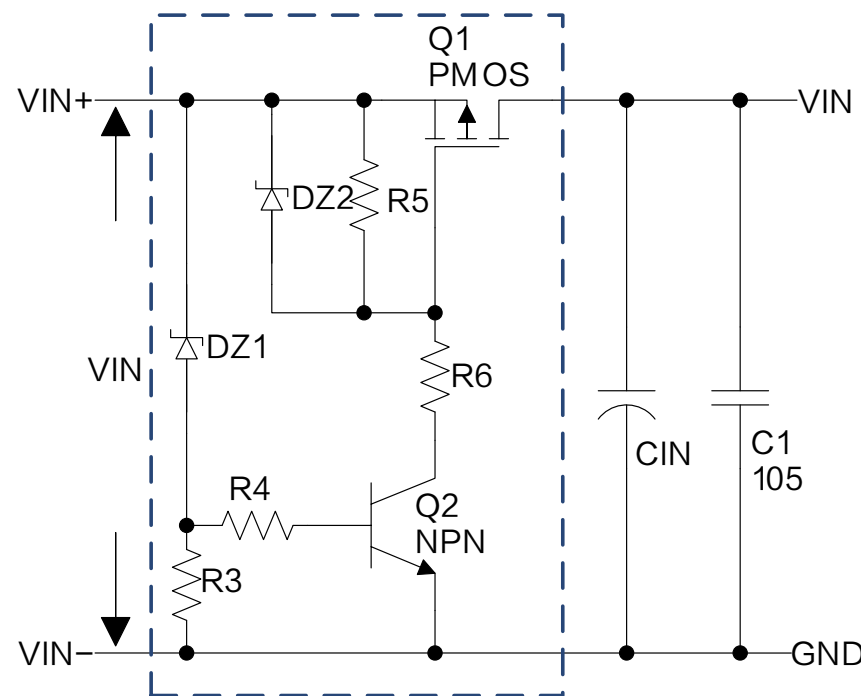
DZ2: VDZ2=10V, 500mW;

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. XL6008、XL6012、XL6019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；

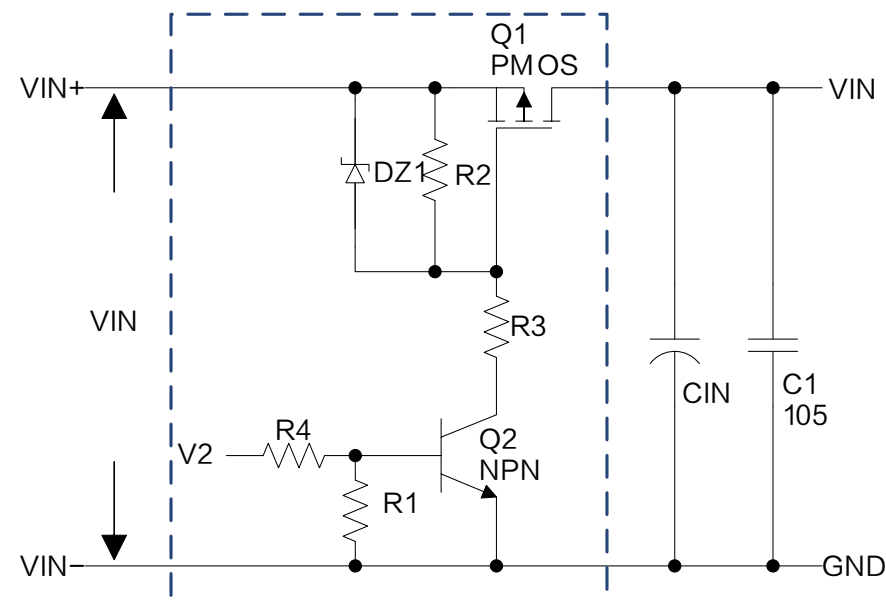
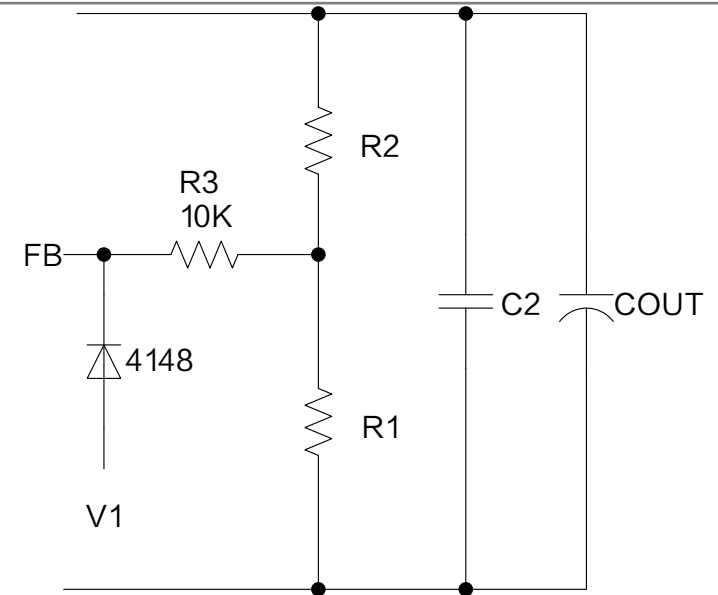
Q1: $V_{DS} \geq 1.5 * V_{IN_{MAX}}$ ；

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(DZ取值不合适，EN脚对地电压低于0.8V)；
- 分压电阻R1是否有虚焊或漏焊。

➤ Q10. 输出电压与设定值差异较大

- 确认分压电阻R1、R2是否虚焊或者漏焊；
- 输入电容是否靠近芯片VIN与GND放置；
- 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。