

**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

# XL4XX1车充系列产品设计指南



V1.2

# XL4XX1系列快速选择表

**XLSEMI**

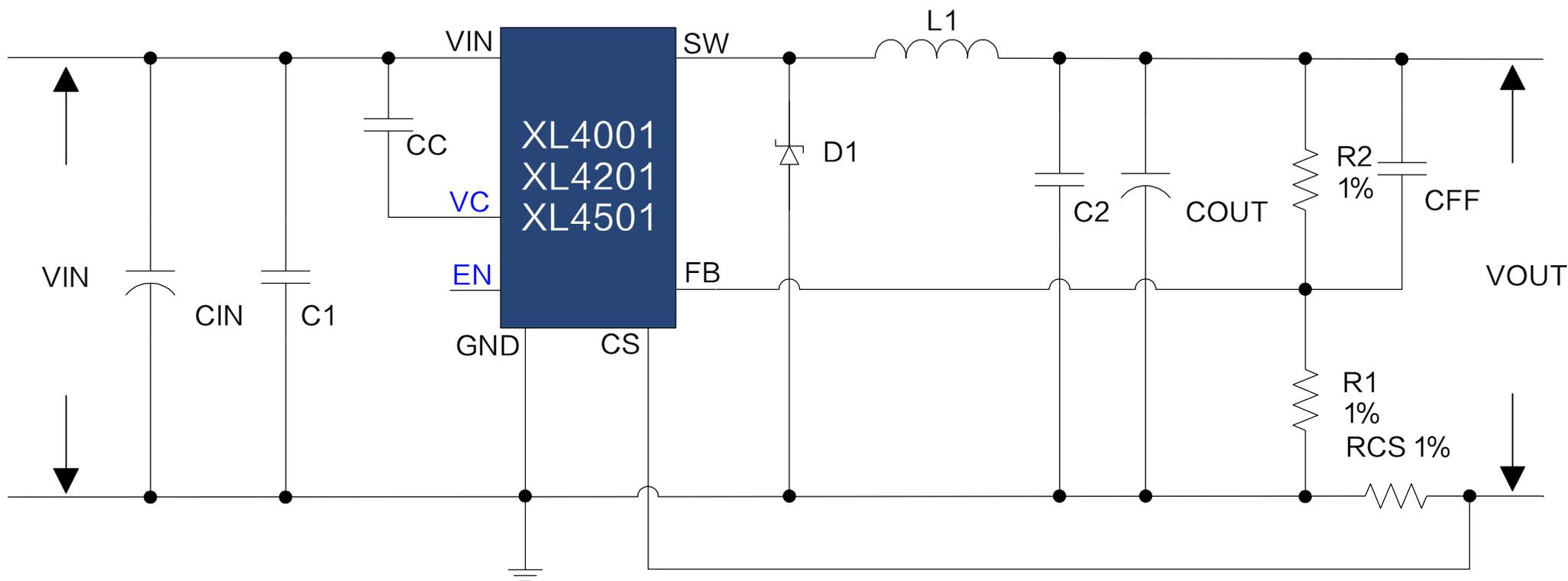
专业 专注 务实 创新 高效 沟通

产品型号	输入电压范围	开关电流	开关频率	恒压设置	恒流设置	效率(Max)	封装类型	典型应用
XL4001	4.5V-40V	2A	150KHz	ADJ(1.235V)	0.155V	84%	SOP8-EP	5V/1.0A
XL4201	8V-40V	3A	150KHz	ADJ(1.25V)	0.11V	93%	SOP8-EP	5V/2.4A
XL4301	8V-40V	3A	180KHz	ADJ(1.25V)	0.11V	93%	SOP8-EP	5V/2.4A
XL4501	8V-36V	5A	150KHz	ADJ(1.25V)	0.11V	92%	TO263-5L	5V/4.2A

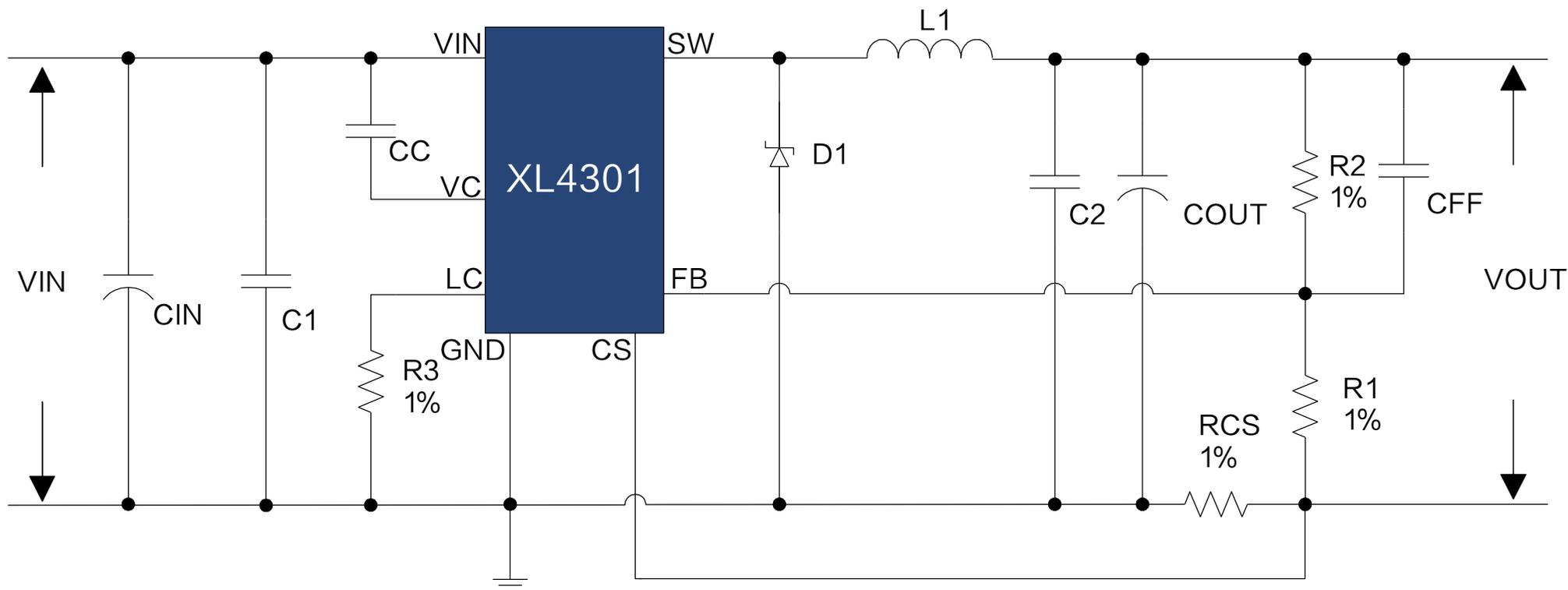
## 特点:

- (1) 输出电压、电流可调，恒流精度高，支持Quick Charge；
- (2) XL4301具有线损补偿功能；
- (3) 占空比支持至100%。

# 典型应用电路图



备注：1.XL4001与XL4501没有VC引脚；  
2.XL4001有EN功能引脚。



备注：XL4301具有线损补偿功能，补偿比例与R3阻值相关，参考规格书。

## 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。

$$C_{IN} = \frac{I_{OUT_{MAX}} * V_{OUT}}{\Delta V_{IN} * F_{SW} * V_{IN_{MIN}}}$$

$\Delta V_{IN}$ 为输入电压纹波， $F_{SW}$ 为开关频率；

➤ 输入电容耐压按照 $1.5 * V_{IN_{MAX}}$ 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 $0.1\mu F \sim 1\mu F$ 的高频贴片陶瓷电容进行高频去耦。

## CC电容

- CC是芯片内部电压调节旁路电容，需要在VC与VIN之间并联1uF电容。

## 电感选择

- 电感的选择取决于VIN与VOUT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：

$$L_{MIN} = \frac{(VIN_{MAX} - VOUT) * D_{MIN}}{0.3 * IOUT * F_{SW}}$$

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

- 电感饱和电流最小为 $1.5 * IOUT_{MAX}$ ；选用低直流电阻、磁芯损耗低的电感可获得更高的转换效率。

## 输出电压设计

- FB为芯片内部基准误差放大器输入端，内部基准为一固定值；
- 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：

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

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。

## 输出电流设计

- CS为芯片内部基准误差放大器输入端，内部基准为一固定值；
- CS通过外部限流电阻，检测限流电阻电压进行调整，输出电流计算公式为：

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

- RCS选用温漂系数小、标称功率是实际损耗功率2倍以上功率电阻，电阻RCS损耗功率计算公式为：

$$P = V_{CS} * I_{OUT}$$

- 输出电流精度取决于芯片VCS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流，RCS精度需要控制在±1%以内。

## 续流二极管选择

- 续流二极管在开关管关闭时有电流通过，形成电流通路；需要选择肖特基二极管，肖特基二极管VF值低，反向恢复时间短；
- 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计算公式如下：

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

- 续流二极管流过的最大电流等于电感的峰值电流；
- 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。

## 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，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 $\Delta V_{OUT\_C}$ (电容充放电引起)和 $\Delta V_{OUT\_ESR}$ (电容的ESR引起)组成，计算如下：

$$\Delta V_{OUT\_C} = \frac{0.3 * I_{OUT}}{8 * F_{SW} * C_{OUT}} \quad \Delta V_{OUT\_ESR} = 0.3 * I_{OUT} * ESR$$

$$\Delta V_{OUT} = \Delta V_{OUT\_C} + \Delta V_{OUT\_ESR}$$

➤输出电容耐压按照 $1.5 * V_{OUT\_MAX}$ 进行选择。

## 输出电容选择

➤输出电容容值及ESR取决于能够允许的最大输出电压纹波和负载电流突变时输出电压的最大偏移量；当负载突增时，转换器需要2至3个时钟周期来对输出电压下降做出反应，在转换器做出反应之前，输出电容需要提供突变的负载电流。

➤在合适的输出电压下冲需要最小输出电容容量计算如下：

$$C_{OUT} > \frac{3 * (I_{OH} - I_{OL})}{F_{SW} * V_{US}}$$

➤在合适的输出电压过冲需要最小输出电容容量计算如下：

$$C_{OUT} > \frac{I_{OH}^2 - I_{OL}^2}{(V_{OUT} + V_{OS})^2 - V_{OUT}^2} * L$$

$I_{OL}$ :负载瞬态电流低值； $I_{OH}$ :负载瞬态电流高值；

$V_{US}$ :输出下冲电压； $V_{OS}$ :输出过冲电压。

## 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，哪里需要稳定就反馈哪里；CS 走线远离电感与肖特基等有开关信号地方，CS、FB 走线使用地线包围更佳；
- 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：VIN=8V~30V，典型值为12V；
- 输出电压：VOUT=5V，满载输出时电压增大0.5V；
- 输出电流：IOUT=2.4A；
- 瞬态响应(0.8~2.4A)：5%；
- 输出纹波电压：100mV。

芯片选择XL4301，芯片开关频率180KHz

计算输入电容：

$$I_{RMS} = I_{OUT} * \sqrt{\frac{V_{OUT} * (V_{IN} - V_{OUT})}{(V_{IN})^2}} = 2.4 * \sqrt{\frac{5 * (12 - 5)}{(12)^2}} = 1183mA$$

$$C_{IN} = \frac{I_{OUT_{MAX}} * V_{OUT}}{\Delta V_{IN} * F_{SW} * V_{IN_{MIN}}} = \frac{2.4 * 5}{0.2 * 180K * 8} = 41.7\mu F$$

$$V_{CIN} = 1.5 * V_{IN_{MAX}} = 1.5 * 30 = 45V$$

选择CIN容量100uF,RMS电流大于1200mA，耐压大于等于45V。

## CC电容选择：

CC电容选择容量为1uF，耐压50V的陶瓷电容。

## 选择电感：

$$L_{MIN} = \frac{(V_{IN_{MAX}} - V_{OUT}) * D_{MIN}}{0.3 * I_{OUT} * F_{SW}} = \frac{(30 - 5) * \frac{5}{30}}{0.3 * 2.4 * 180K} = 32.1\mu H$$

电感最小饱和电流=1.5\*2.4=3.6A

选择电感量47uH，饱和电流4A。

备注：电感在带载时，其磁导率会随安匝数之积增大而减小（电感感量会下降），选取的电感需要在流过3.6A电流时，其感量要大于32.1uH。

## 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：

$$I_{DAVG} = I_{OUT_{MAX}} * \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}} = 2.4 * \frac{30 - 5}{30} = 2.0A$$

二极管流过最大电流等于电感峰值电流

$$\Delta I_L = \frac{(V_{IN} - V_{OUT}) * V_{OUT}}{V_{IN} * F_{SW} * L} = \frac{(12 - 5) * 5}{12 * 180K * 47\mu H} = 0.345A$$

$$I_{D_{MAX}} = I_{OUT_{MAX}} + \frac{\Delta I_L}{2} = 2.4 + \frac{0.345}{2} = 2.573A$$

选择反向耐压40V、电流能力5A、SMC封装的肖特基二极管。

## 分压电阻选择：

假定 $R1=3.3K$ ；

$$V_{OUT} = 1.25 * (1 + \frac{R2}{R1}) \Rightarrow R2 = \frac{(V_{OUT} - 1.25) * R1}{1.25} = \frac{(5 - 1.25) * 3.3}{1.25} = 9.9K$$

选择 $R1=3.3K$ ， $R2=10K$ ，1%精度。计算出来输出电压中心值为5.038V。

## 补偿电阻选择：

输出电压补偿比例为：
$$\frac{\Delta V_{OUT}}{V_{OUT}} * 100\% = \frac{0.5V}{5V} * 100\% = 10\%$$

根据规格书查表可得，输出电压补偿10%时，补偿电阻需选用10K。

## 限流电阻选择（未焊接补偿电阻）：

考虑到限流电阻阻值误差，为保证输出电流达到2.4A，通常在设计时会将输出电流的中心值设置在2.6A左右。

$$I_{OUT} = \frac{V_{CS}}{R_{CS}} \Rightarrow R_{CS} = \frac{V_{CS}}{I_{OUT}} = \frac{0.11V}{2.6A} = 0.0423\Omega$$

## 限流电阻选择（焊接线补电阻）：

考虑到芯片限流点增大比例与输出电压增大比例一致，可以先将实际输出电流2.4A作为计算值来推导出RCS阻值：

$$RCS = \frac{VCS}{IOUT} = \frac{0.11V}{2.4A} = 0.0458\Omega$$

选用2个0.091Ω电阻并联，阻值为0.0455Ω；

输出电压补偿10%后，芯片限流点会增大相同比例，即系统最大输出电流为：

$$IOUT = \frac{VCS * (1 + \frac{\Delta VOUT}{VOUT})}{RCS} = \frac{0.11 * (1 + 0.1)V}{0.0455\Omega} = 2.66A$$

限流电阻最大损耗功率：

$$P = VCS * IOUT = IOUT^2 * RCS = 2.66^2 * 0.0455W = 0.322W$$

限流电阻选用2个阻值0.091Ω，精度1%，功耗1/3W的贴片电阻。

## 输出电容选择:

➤先考虑负载瞬态响应

$$\text{输出下冲电压} < 0.25V \quad C_{OUT} > \frac{3 * (I_{OH} - I_{OL})}{F_{SW} * V_{US}} = \frac{3 * (2.4 - 0.8)}{180KHz * 0.25V} = 106.7\mu F$$

$$\text{输出过冲电压} < 0.25V \quad C_{OUT} > \frac{I_{OH}^2 - I_{OL}^2}{(V_{OUT} + V_{OS})^2 - V_{OUT}^2} * L = \frac{2.4^2 - 0.8^2}{(5 + 0.25)^2 - 5^2} * 47\mu H = 93.9\mu F$$

选择输出电容容量为220uF。

➤再计算输出纹波电压

$$\Delta V_{OUT\_C} = \frac{0.3 * I_{OUT}}{8 * F_{SW} * C_{OUT}} = \frac{0.3 * 2.4}{8 * 180K * 220\mu F} = 2.27mV$$

$$\Delta V_{OUT} = \Delta V_{OUT\_C} + \Delta V_{OUT\_ESR} \Rightarrow \Delta V_{OUT\_ESR} = \Delta V_{OUT} - \Delta V_{OUT\_C} \\ \Rightarrow \Delta V_{OUT\_ESR} = 100mV - 2.27mV = 97.73mV$$

## 输出电容选择

$$\Delta V_{OUT\_ESR} = 0.3 * I_{OUT} * ESR \Rightarrow ESR = \frac{\Delta V_{OUT\_ESR}}{0.3 * I_{OUT}}$$

$$\Rightarrow ESR = \frac{97.73mV}{0.3 * 2.4} = 135.7m\Omega$$

### ➤最后计算耐压

$$V_{COUT} \geq 1.5 * V_{OUT} = 1.5 * 5 = 7.5V$$

选择输出电容容量为220uF，ESR小于0.13Ω，耐压10V。

## ➤ Q1. 输出短路时芯片工作状态

输出短路时，芯片工作状态为降频、降压、限流；开关频率降至50KHz左右，输出电压降低至0.5V以下，短路电流为设定的恒流电流；当撤销短路后，芯片可以自动重启并恢复至正常工作状态。

## ➤ Q2. 芯片加工温度与操作结温

芯片加工峰值温度控制在250℃以内；可操作结温范围是-40-125℃，最高结温是150℃，超过150℃，芯片会出现过温保护。

## ➤ Q3. 输入、输出端105电容是否可以去除

105陶瓷电容不能去除。105陶瓷电容主要用来滤除电路上的高频毛刺干扰，保证芯片稳定运行。

## ➤Q4.芯片背部焊盘电气属性

XL4001芯片背部焊盘为GND属性，XL4201、XL4301、XL4501芯片背部焊盘为SW属性。背部焊盘可以辅助散热，需使用锡膏将焊盘与PCB板上预留的焊盘焊接在一起，提高散热效果。

## ➤Q5.电感磁芯材质与绕线线径

功率电感建议选用磁损小，饱和磁通密度高的铁硅铝磁芯电感。

3A电流选用直径0.6mm铜线，4A电流选用直径0.8mm铜线，5A电流选用直径1.0mm铜线。

## ➤Q6.肖特基规格

输出5V/1.0A方案，选用电流3A，SMA封装肖特基，如SS34；

输出5V/2.1A方案，选用电流5A，SMB封装肖特基，如SK54；

输出5V/2.4A方案，选用电流5A，SMC封装肖特基，如B540C；

输出5V/4.2A方案，选用电流10A，TO-252封装肖特基，如MBR1045G。

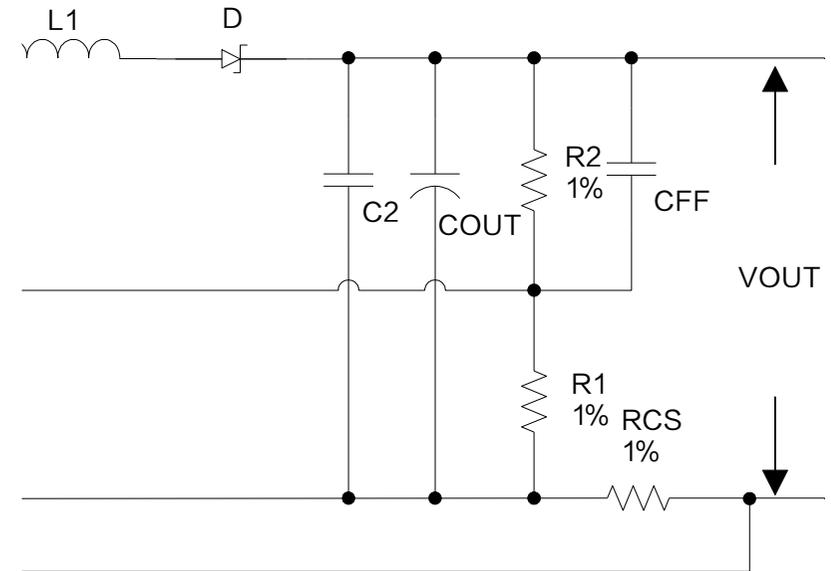
## ➤ Q7. 如何给电池、感性负载（继电器、电机）供电

考虑到输入断电时电池电流会倒灌至芯片内部，感性负载在启停时产生的高压会损坏芯片，可以在输出端添加肖特基来反向隔离。

给电池供电时，肖特基选取原则是，肖特基电流能力是充电电流的2倍以上，充电电流0.8A 可以选用SMA封装的SS34，充电电流0.8-1.5A选用SMB封装的SK54，充电电流1.5A-2.0A选用SMC封装的B540C。

给感性负载供电，负载启停瞬间，电流突变产生的高压比较大，建议选用耐压100V的肖特基或耐压更高的快恢复二极管。

电流突变产生的感应电动势：
$$V = L * \frac{\Delta I}{\Delta T}$$

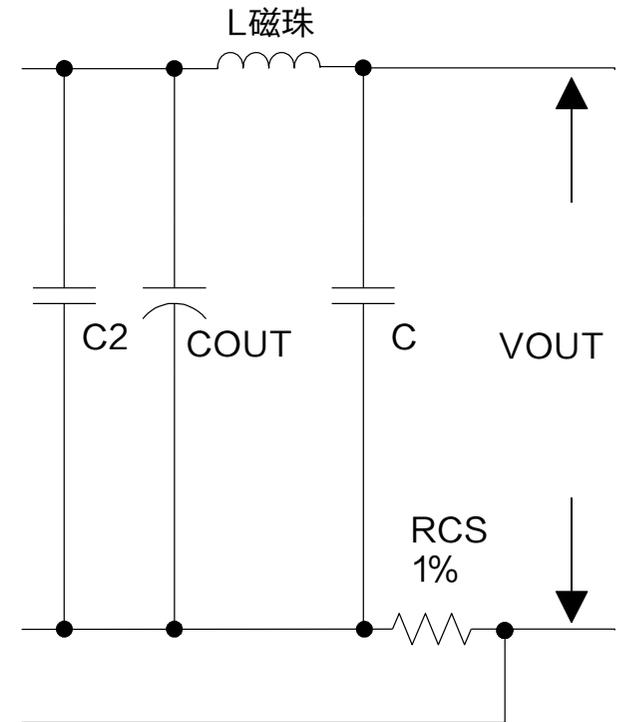


## ➤Q8.如何减小满载时输出纹波电压

方案一、输出端采用高频低阻电容；

方案二、在输出端添加一级LC滤波，

如：12V转5V/2.4A应用，L选用交流阻抗 $80\Omega$ ，电流4A，1206封装磁珠，C选用 $10\mu\text{F}/10\text{V}$ ，X7R，0805封装，可以将满载纹波控制在 $50\text{mV}$ 左右。



## ➤Q9.手机充电电流小

方案一、确认手机电量是否已超过80%；

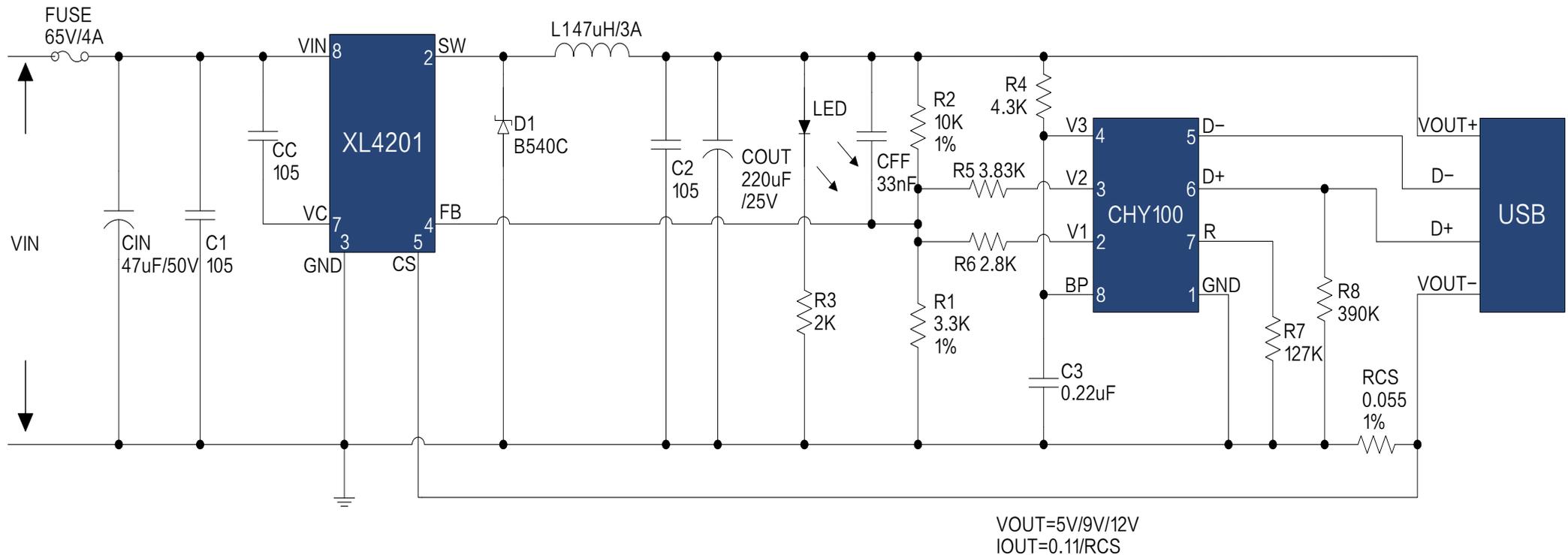
方案二、确认充电协议对否匹配；不同型号的手机，其充电协议不尽相同，若充电协议不匹配，手机只接受500mA左右的充电电流；可通过在输出端添加USB充电协议控制芯片（如RH7901A），自动识别充电设备类型，使之获得最大充电电流，减小充电时间。

各型号对应的充电协议：

	NO.	USB协议	USB端子D+	USB端子D-	最大功率
USB充电协议	1	Divider 1(iphone)	2.0(V)	2.7(V)	5W
	2	Divider 2(iPad)	2.7(V)	2.0(V)	10W
	3	Divider 3(iPad air)	2.7(V)	2.7(V)	12W
	4	D+/D-置 1.2V (三星)	1.2(V)	1.2(V)	
	5	DCP BC1.2	D+与D-通过200Ω电阻短接		
	6	YD/T 1591-2009	D+与D-通过200Ω电阻短接		

## ➤ Q10. Quick Charge方案

选用XL4201与CHY100芯片组合，可以实现Quick Charge-2.0功能。此方案可实现10-30V输入，输出5V/2A, 9V/1.8A, 12V/1.8A( $V_{IN} > 13V$ )应用。



## ➤Q11.EMC对策方式

输入端添加TVS管可以通过ESD与EFT/B等测试，添加 $\pi$ 型滤波电路可以通过传导，肖特基处添加磁珠和RC吸收电路可以通过辐射测试。

如：10-30V输入，输出5V/2.4A应用，TVS管选用1SMA30AT3G；L2选用100 $\mu$ H 1.5A电感，CINA和CINB选用100 $\mu$ F/35V电解电容；磁珠选用交流阻抗80 $\Omega$ ，电流4A，1206封装，C选用1nF/100V，X7R，0603封装；R选用10 $\Omega$ ，0805封装。

