



AC7801x 硬件设计指南

文档版本: 0.7
发布日期: 2023-11-02

© 2013 - 2023 杰发科技

本文档包含杰发科技的专有信息。未经授权，严禁复制或披露本文档包含的任何信息。
由于产品版本升级或其他原因，本文档内容会不定期进行更新。

修订记录

版本	日期	作者	修订说明
0.1	2020-04-17	Autochips	文档初版
0.2	2021-02-25	Autochips	增加 GPIO 输入电路设计及 PWM 双边沿捕获设计注意事项
0.3	2021-03-29	Autochips	增加PA2、PB4端口使用注意事项
0.4	2021-06-21	Autochips	增加 ACMP_IN0 使用注意事项
0.5	2021-08-09	Autochips	增加 ADC 输入阻抗、LIN、GPIO 中断设计注意事项
0.6	2021-11-02	Autochips	补充 GPIO 输入电路设计注意事项
0.7	2023-11-02	Autochips	更新 GPIO 输入电路设计注意事项

文档目录

修订记录	2
文档目录	3
插图目录	5
表格目录	6
1 概述	7
2 AC7801x 电源引脚和电路设计	8
3 外部时钟振荡器电路设计	10
4 复位电路、NMI_B 及 BOOT 引脚设计	11
4.1 RESET_B 脚复位电路设计	11
4.2 NMI_B 引脚电路设计	11
4.3 BOOT 引脚电路设计	11
4.4 复位电路、NMI 及 BOOT 引脚参考电路	12
5 ADC 模拟输入电路设计	13
6 ADC 采样时间与外部输入阻抗	14
7 ACMP 模拟比较器电路设计	15
8 GPIO 输入电路设计注意事项	16
8.1 GPIO 输入电路设计	16
8.2 GPIO 输入电路设计参考电路	16
9 PWM 双边沿捕获接口设计注意事项	17
10 SWD 调试接口电路设计	18
11 其他	19
11.1 GPIO 外部中断引脚	19
11.2 未用到的 I/O pin 脚处理	20
11.3 LIN 接口注意事项	20
12 PCB 设计建议	21
12.1 电源部分 PCB 设计建议	21
12.2 晶振电路 PCB 设计建议	22

12.3 PCB 走线建议 23

12.4 PCB 接地建议 23

12.5 EMI/EMC and ESD considerations for layout 24

12.6 PCB layer stacking 25

12.7 Injection current 25

Confidential
no disclosure
autochips

插图目录

图 2-1 电源电路参考设计 (LQFP48)	8
图 2-2 电源电路参考设计 (HVQFN32)	9
图 2-3 电源电路参考设计 (TSSOP20)	9
图 3-4 晶振参考电路	10
图 4-5 复位电路、NMI 及 BOOT 引脚参考电路	12
图 5-6 Shielding of analog signals	13
图 6-7 ACMP 电路设计示意图	15
图 7-8 GPIO 输入电路设计参考电路	16
图 10-9 SWD 口参考电路	18
图 12-10 旁路电容 PCB 参考设计	21
图 12-11 外部晶振 PCB 参考设计	22
图 12-12 PCB 走线参考设计	23
图 12-13 消除浮动金属/形状	24
图 12-14 Recommended PCB layer stack-up	25

表格目录

表 2-1 AC7801x 电源引脚名称、分布及功能描述	8
表 3-2 外部晶振参数及负载电容	10
表 4-3 BOOT 模式配置	11
表 6-4 R_{AIN} 计算公式符号定义	14
表 6-5 T_s 对应 ADC $R_{AIN MAX}$ for $f_{ADC}=24MHz$	14
表 10-6 SWD 信号描述	18
表 11-7 GPIO 外部中断引脚分配	19

1 概述

在进行嵌入式系统设计时，硬件电路设计的好坏不仅关系到整个系统的功能实现和可靠性，还会对系统软件的复杂程度产生影响。本章节以 AC7801x 芯片为对象，介绍采用 AC7801x MCU 进行最小系统硬件设计时，需要了解的一些硬件设计注意事项和设计原则。

2 AC7801x 电源引脚和电路设计

AC7801x 支持 2.7~5.5V 宽电压输入，为了提供稳定的电源，芯片使用多组电源引脚分别为数字电路、IO 引脚驱动、AD 转换电路等供电，并且提供多处电源引出脚，便于用户外接滤波电容，改善系统的电磁兼容性。

表 2-1 AC7801x 电源引脚名称、分布及功能描述

引脚名称	功能描述	典型值	引脚号 (LQFP48)	引脚号 (HVQFN32)	引脚号 (TSSOP20)	
电源输入	VDD1	电源输入正	3.3V 或 5V	5	3	4
	VDDA	模拟电源输入正	3.3V 或 5V	6	/	/
	VSS1	电源输入负	0V	7	4	5
	VDD2	电源输入正	3.3V 或 5V	31	21	18
	VSS2	电源输入负	0V	30	20	/

MCU 主电源供电引脚设计：在电路设计时需要在每对引脚外部分别放置至少一个去耦电容（0.1uF 的陶瓷电容）。并且旁路电容的放置必须尽量靠近 MCU 电源引脚，从而最大限度地缩小 VDDx 和 VSSx 引脚之间的电容所形成的环路。

模拟外设电源引脚 VDDA/VSS1，是芯片内部 ADC、DAC 以及 ACMP 等模拟外设的电源输入引脚。为使芯片的模拟外设有稳定的电源，从而得到更好的转换精度，通常需要在靠近 VDDA 引脚的地方并联两个外部稳压电容（100nF 陶瓷电容+10μF 陶瓷电容）。

另外，为限制电源中的高频噪声，在设计时，可以将 AVDD 通过电感、磁珠等阻塞元件与数字电源 VDDx 进行隔离。电路设计可以参考下图。

注：MCU VDDA 不能单独做掉电处理，与 VDDx 供电电压差应小于±0.3V。

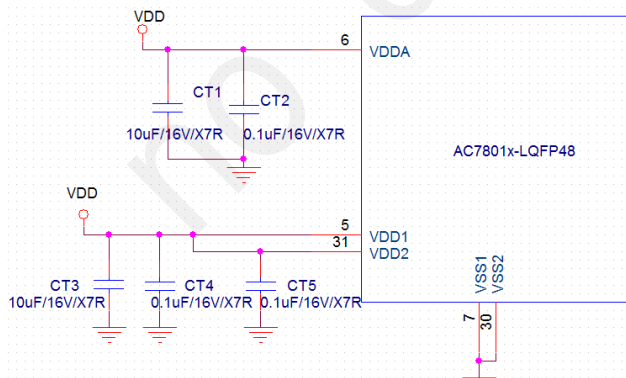


图 2-1 电源电路参考设计 (LQFP48)

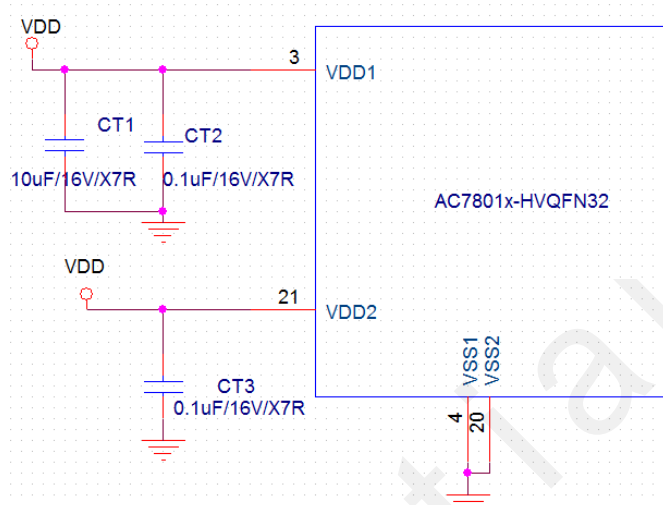


图 2-2 电源电路参考设计 (HVQFN32)

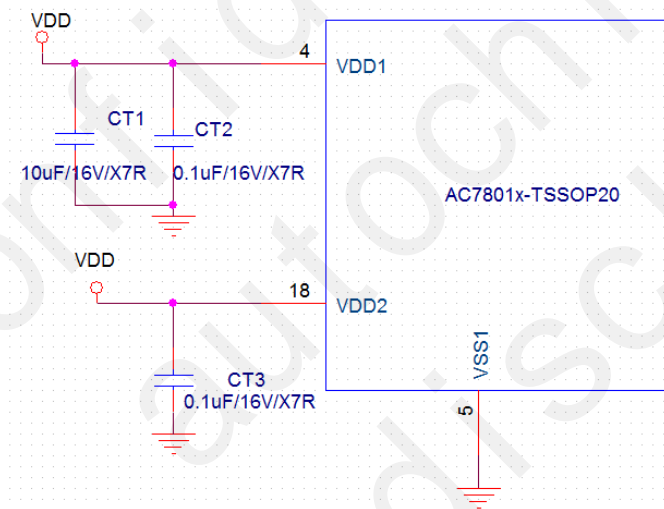


图 2-3 电源电路参考设计 (TSSOP20)

- VDDD 和 VDDA 在板上需连接到同一个供电电源
- 所有的退耦电容都需要使用 X7R 类型的低 ESR 值陶瓷电容，电容值建议是 0.1 uF
- 为了使电源引脚有更好的性能，建议使用 10 uF、0.1 uF 和 1 nF 电容并联形成退耦网络
- 所有的退耦电容都必须尽可能地靠近相应的电源和地引脚放置

3 外部时钟振荡器电路设计

OSC_IN 及 OSC_OUT 脚用于连接外部晶体，当需要使用外部时钟信号或采用有源晶振时请将时钟信号输入到 OSC_IN 脚，OSC_OUT 脚悬空即可。

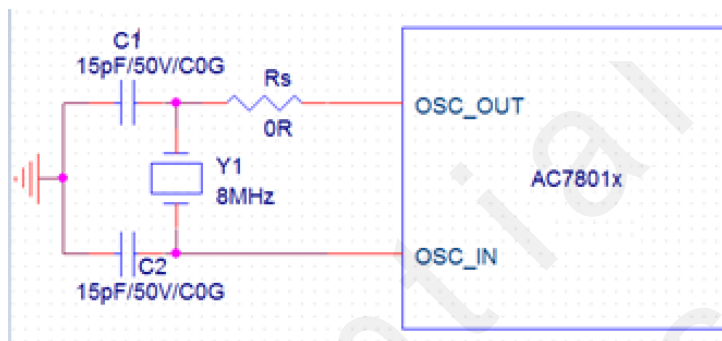


图 3-4 晶振参考电路

表 3-2 外部晶振参数及负载电容

符号	描述	最小值	典型值	最大值
Y1	振荡器频率范围	4MHz	—	30MHz
Rs	串联电阻，可用于激励功率的调整	—	0R	—
C1, C2	晶振负载电容	参见注释		

注释: 对于 C1 和 C2，推荐使用为高频率应用设计、满足晶振需求的高质量外部陶瓷电容。C1 和 C2 通常大小相同。在确定 C1 和 C2 的大小时，需要考虑可能存在的寄生电容。通常有： $CL=C_s+[C1 \times C2 / (C1+C2)]$ ，Cs 为 PCB 和 MCU 引脚寄生电容（5 pF 可做为寄生电容的粗略估计），CL 为晶体规格书要求的晶体负载电容，可由晶体厂家规格书查得。通常有： $C1=C2=2 \times (CL-C_s)$ 。为了更好的评估晶体选用是否 OK，建议将 PCB 板给到晶体厂家进行频偏、激励功率、负阻等参数测试。

4 复位电路、NMI_B 及 BOOT 引脚设计

4.1 RESET_B 脚复位电路设计

RESET_B 引脚为 MCU 专用引脚，用于复位和重启 MCU 所有的模块。由于该引脚是低电平有效，建议在硬件原理图设计中添加外部上拉电阻以防止噪声。同时在 PCB 设计中，复位电路尽量靠近 MCU 复位引脚放置以减小 PCB 走线长度。

在基于 MCU 的系统中，除振荡器输入之外的最敏感的输入信号就是复位引脚。RESET_B 引脚由于内部上拉电阻的存在而呈现高电平，RESET_B 引脚为输入状态。如果用户想使用外部引脚复位(External pin reset)的话，那么要确保该外部复位电路不是推挽输出的，要开漏输出的才行。

4.2 NMI_B 引脚电路设计

NMI_B 引脚是芯片的不可屏蔽中断引脚（低电平有效），该引脚默认功能为 NMI 输入，该引脚内部具有较大的弱上拉电阻，但如果使用 NMI 功能时，建议增加外部 4.7 kΩ 至 10 kΩ 的上拉电阻。

通过NMI电平触发NMI中断默认是关闭的，要想进入NMI中断，还需要软件使能NMI中断控制位。

4.3 BOOT 引脚电路设计

BOOT（PA6）引脚通常用于配合 PA1，PA0 引脚实现 MCU 在不同的 BOOT 模式下运行，通常在系统应用设计过程中将 BOOT 脚用 4.7K 或 10K 电阻下拉到地即可。

表 4-3 BOOT 模式配置

Trap PINs 配置模式 (H:1, L:0)

Mode	PIN Name	BOOT (PA6)	PA1	PA0
default	eflash boot	0	x	x
other boot mode	ISP boot	1	0	0
	sram boot	1	1	0

注意：x 表示忽略，不用关注。

Boot 模式说明

eflash boot: 程序在 eFlash 中运行

ISP boot: 使用 ISP Tool 进行工厂产线烧录（通过 UART 接口）

sram boot: 程序在 sram 中运行，可方便调试软件

4.4 复位电路、NMI 及 BOOT 引脚参考电路

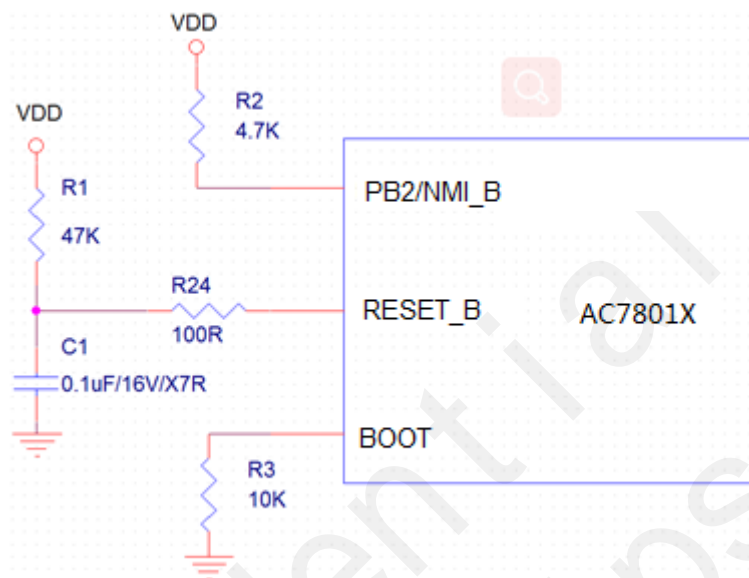


图 4-5 复位电路、NMI 及 BOOT 引脚参考电路

5 ADC 模拟输入电路设计

AC7801X MCU 系列提供 12 位的 SAR ADC，支持 1 个 ADC 模块以及 12 个通道。

MCU ADC 通道的电压检测范围为 $0V \sim AVDD$ 。当外部输入模拟电压大于 MCU $AVDD$ 电压时（如车用模块电源电压范围通常有 $9V \sim 16V$ 或 $18V \sim 32V$ ），需要增加前端电阻分压电路或稳压电路等以保证在全电压范围内给到 MCU ADC 通道的电压不大于 $AVDD$ 电源电压，同时建议在 MCU ADC 通道前端增加 RC 低通滤波器可以更好的滤除干扰。

对模拟输入而言，前端滤波电路的设计非常重要，除了考虑模拟信号的截止频率，还需要考虑源阻抗和采样时间，尤其是对于高分辨率模数转换。常规思想是：快速采样时间与慢速采样时间相比，要求更小的电容值和输入阻抗。

- AD 通道的布线要尽量短
- 尽量将数字部分和模拟部分的电源分开，并分区覆铜，保证模拟地和数字地只在一个点结合，而且这个点要求远离干扰，有时会选用一个磁珠连接
- 走线周围避免放置高噪声元器件，在模拟通道外围使用模拟地进行隔离（如下图）
- 要想得到特别准确的采样结果，一般推荐在输入端加一些 Buffer/跟随运放

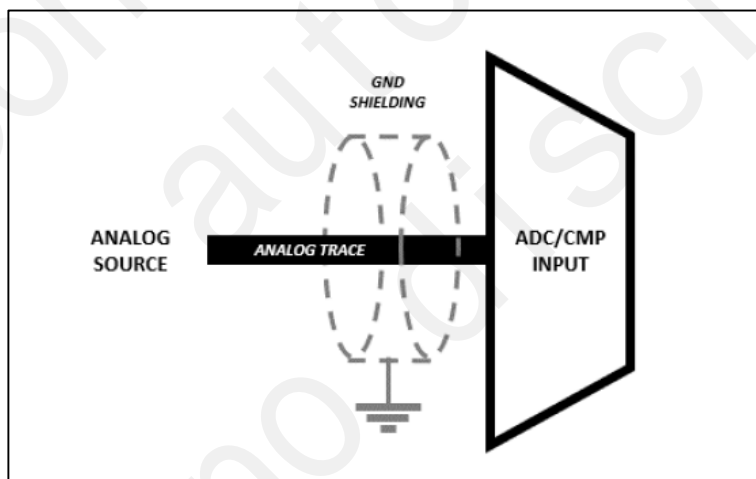


图 5-6 Shielding of analog signals

6 ADC 采样时间与外部输入阻抗

由于外部信号源阻抗或串接与 MCU pin 脚之间的电阻 (R_{AIN}) 会产生压降, 导致采样保持电容需要更长的充电时间, 所以通常更大的外部输入阻抗 (R_{AIN}) 要求更长的采样时间 (T_s)。

在 ADC 精度为 1/4LSB 误差下, 不同采样时间 (T_s) 允许的最大外部输入阻抗 (R_{AIN}) 可由公式:
 $R_{AIN} < T_s / (f_{ADC} * C_{ADC} * \ln(2^{N+2})) - R_{ADC}$ 计算得到。

表 6-4 R_{AIN} 计算公式符号定义

Symbol	Parameter	Value	Unit
R_{AIN}	外部输入阻抗		
R_{ADC}	采样开关阻抗	2.60	K Ω
C_{ADC}	内部采样保持电容	2.30	pF
f_{ADC}	ADC 时钟频率	24.00	MHz
N	ADC 分辨率	12.00	Bit
T_s	采样时间		cycles

表 6-5 T_s 对应 ADC R_{AIN} MAX for $f_{ADC}=24MHz$

T_s (cycles)	MAX (R_{AIN}) K Ω
5	6.734
7	10.468
9	14.202
15	25.403
33	59.006
64	116.878
140	258.758
215	398.771

如果允许 ADC 精度误差大于 1/4LSB, R_{AIN} 可以适当增加。

7 ACMP 模拟比较器电路设计

AC7801x MCU 系列提供 7CHS 可选的 ACMP 的外部输入通道（注：如果使能了 MCU ADC 模块功能，由于芯片内部电路设计要求，请不要使用 PA11 的 ACMP_IN0 的输入功能），由于 MCU 引脚之间可能存在感性/容性耦合及相邻 PCB 走线之间可能存在串扰。高速接口或任何 GPIO 的切换可能会给 ACMP 输入带来噪声干扰。为了避免和减轻高频噪声和任何耦合，在硬件电路设计时建议 ACMP 模拟比较器输入信号阻抗为 50K 或更低（如下图）。

- ACMP 通道的布线要尽量短
- 走线周围避免放置高噪声元器件，在模拟通道走线外围使用模拟地进行隔离

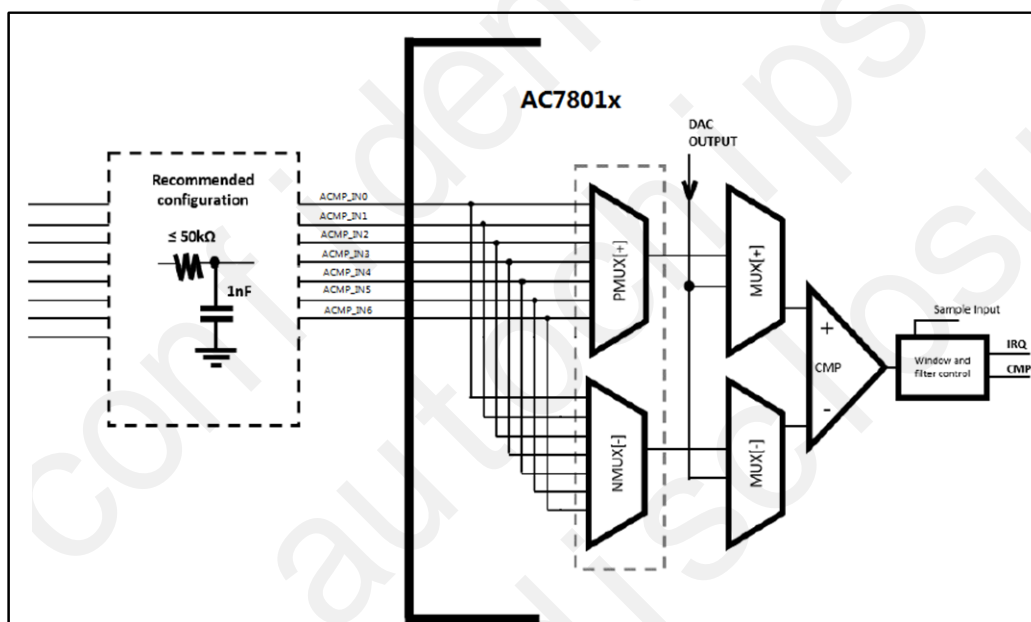


图 6-7 ACMP 电路设计示意图

8 GPIO 输入电路设计注意事项

8.1 GPIO 输入电路设计

由于内部电路设计特性差异，AC7801x 部分 IO 口使用应注意不能存在超压现象。PA2、PB4、PA10、PA11、PA8、PB7 输入电压不能超出 MCU 电源电压 VDD。当用到 AC7801x adc 或 acmp 功能时，所有具有 ADC_INx 或 ACMP_INx 功能的 pin 脚（包含 PA2~PA5、PA7~PA11、PB4~PB5、PB7、PB15、PC0~PC1）输入电压均不能超出 MCU 电源电压 VDD，以免造成 adc 采样电压异常或影响 acmp 功能。

同时为保证 MCU 能可靠识别到高低电平，当 MCU 供电 VDD 为 5V 时，请保证输入到 MCU IO 口上的信号高电平电压 V_{IH} 不小于 $0.65 \times V_{DD}$ ，低电平电压 V_{IL} 不大于 $0.35 \times V_{DD}$ 。当 MCU 供电 VDD 为 3.3V 时，请保证输入到 MCU IO 口上的信号高电平电压 V_{IH} 不小于 $0.7 \times V_{DD}$ ，低电平电压 V_{IL} 不大于 $0.3 \times V_{DD}$ 。车用模块（12V 或 24V 供电）常用 H/L 开关信号输入电路如下图 7-8 所示，供参考。

8.2 GPIO 输入电路设计参考电路

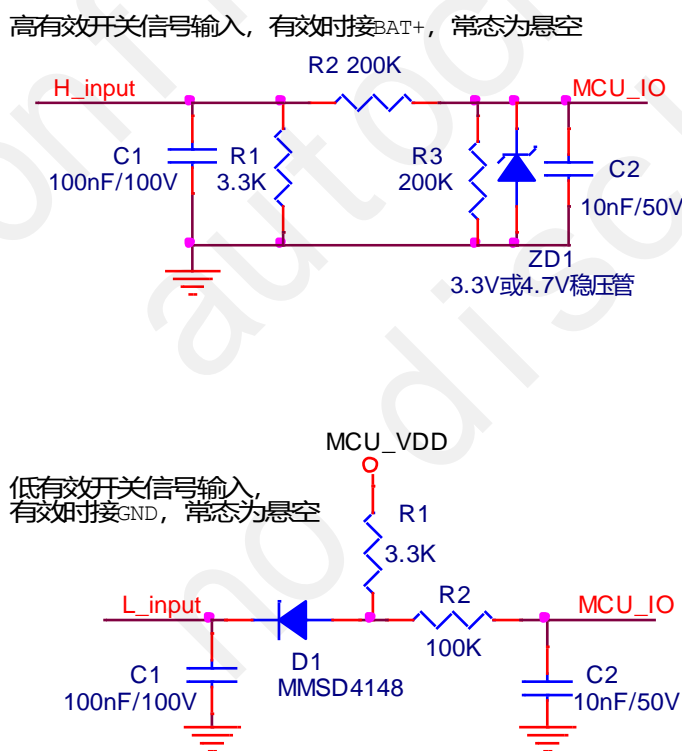


图 7-8 GPIO 输入电路设计参考电路

9 PWM 双边沿捕获接口设计注意事项

如果需要捕获输入信号的脉冲宽度，或需要同时捕获输入信号的频率和占空比，需要用到 PWM 模块的双边沿捕获功能。注意输入信号要放在 PWMx_CHn 通道数 n 为偶数的通道上，同时对应的 PWMx 模块 n+1 通道为不可用。例如：可将输入信号接至 PWM0_CH0、PWM0_CH2 或 PWM0_CH4 功能 PIN 上，而此时 PWM0_CH1、PWM0_CH3 或 PWM0_CH5 相应功能将不可用。

10 SWD 调试接口电路设计

AC7801x MCU仅支持串行线调试(SWD)接口进行编程调试。

除电源外，SWD 接口只需要用到 3 个 PIN 脚（SWD_CLK、SWD_DIO、RESET）。其中 RESET 为 MCU 系统复位信号，可不接。当需要使用仿真器对 MCU 进行复位时建议接上。

SWD在高速模式下更稳定，使用引脚更少。电路设计可参照下图所示。

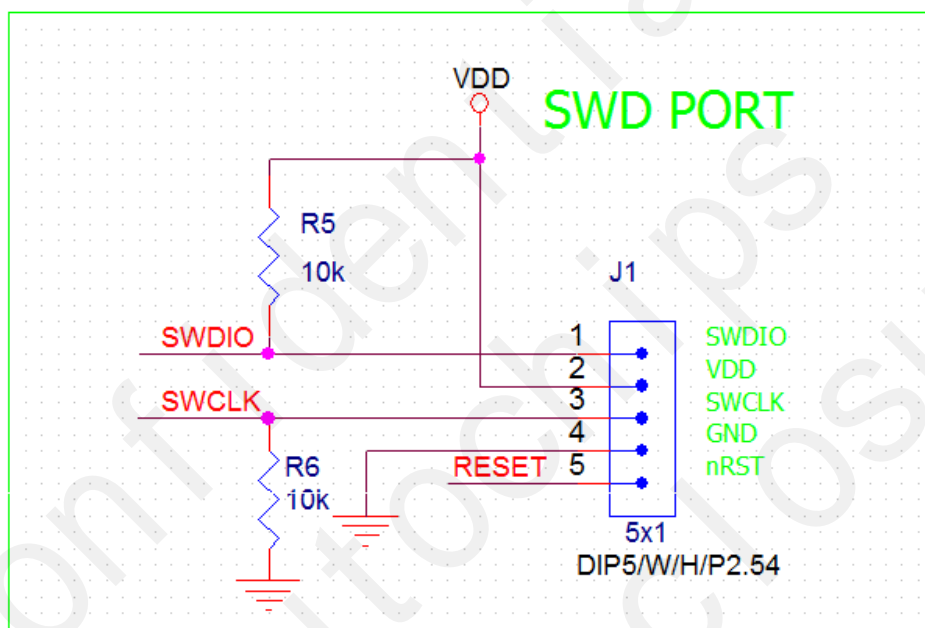


图 10-9 SWD 口参考电路

表 10-6 SWD 信号描述

SWD Mode	Description	MCU Port	Recommendation
SWDIO	Serial Wire Debug Data I/O	PA14	Pull-Up
SWCLK	Serial Wire Clock Input	PA13	Pull-Down
RESET	Reset MCU	RESET_B	Pull-Up

11 其他

11.1 GPIO 外部中断引脚

AC7801x 支持 16 个 EXTI_Line，同一 EXTI_Line 同时只能支持一个外部中断，如果同一 EXTI_Line 同时使能多个 GPIO 外部中断，最后使能的 GPIO 外部中断有效，之前的被覆盖，无效，这点在产品设计中需要特别注意。

如在 AC7801x MCU 低功耗应用中，有多个外部信号需要 GPIO 中断唤醒时，不要将这些信号都放到 PA0、PB0 或 PC0 上面。每个 EXTI_Line 对应的 IO 口如下表，也可见芯片 RM 手册的 16.3.1 外部中断章节。

表 11-7 GPIO 外部中断引脚分配

NO.	GPIO 外部中断	可选 MCU Port	注释
1	EXTI_in[0]	PA0, PB0, PC0	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA0, PB0 或 PC0 上面。
2	EXTI_in[1]	PA1, PB1, PC1	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA1, PB1 或 PC1 上面。
3	EXTI_in[2]	PA2, PB2, PC2	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA2, PB2 或 PC2 上面。
4	EXTI_in[3]	PA3, PB3, PC3	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA3, PB3 或 PC3 上面。
5	EXTI_in[4]	PA4, PB4, PC4	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA4, PB4 或 PC4 上面。
6	EXTI_in[5]	PA5, PB5, PC5	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA5, PB5 或 PC5 上面。
7	EXTI_in[6]	PA6, PB6, PC6	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA6, PB6 或 PC6 上面。
8	EXTI_in[7]	PA7, PB7, PC7	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA7, PB7 或 PC7 上面。
9	EXTI_in[8]	PA8, PB8, PC8	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA8, PB8 或 PC8 上面。
10	EXTI_in[9]	PA9, PB9, PC9	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA9, PB9 或 PC9 上面。
11	EXTI_in[10]	PA10, PB10	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA10 和 PB10 上面。
12	EXTI_in[11]	PA11, PB11	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA11 与 PB11 上面。
13	EXTI_in[12]	PA12, PB12	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA12 与 PB12 上面。
14	EXTI_in[13]	PA13, PB13	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA13 与 PB13 上面。
15	EXTI_in[14]	PA14, PB14	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA14 与 PB14 上面。
16	EXTI_in[15]	PA15, PB15	如有多个信号需要 GPIO 中断时，不要将这些信号都放到 PA15 与 PB15 上面。

11.2 未用到的 I/O pin 脚处理

未用到的 I/O pin 不建议默认浮空，最好应将应用中不使用的 I/O 引脚配置为输出低电平状态。这样还可以尽可能减少电流消耗，或提升 EMC 性能。

11.3 LIN 接口注意事项

AC7801x 支持两路 LIN，分别对应为 UART0、UART1，注意 UART2 不支持 LIN 功能。如需要用到 LIN 通讯功能，请将 LIN 收发器 TX 与 RX 放置到 UART0_TX 与 UART0_RX 或 UART1_TX 与 UART1_RX 功能 pin 上面。

12 PCB 设计建议

12.1 电源部分 PCB 设计建议

为 MCU 添加的退耦和旁路电容器的效果在很大程度上取决于连接位置和顺序，如下图所示。

PCB 布局中 MCU 电源引脚（VDD 和 VSS）的准则如下：

- 将电源引出的电源和接地走线依次连接到退耦电容器、旁路电容器以及 MCU 的 VDD 和 VSS 引脚
- 并行排布电源和接地走线，以最小化环路面积
- 将旁路电容器排布在尽量靠近每个 VDD-VSS 对的位置
- 另外在 PCB layout 过程中应尽量保证 MCU 下方接地平面的完整性，以更好的提升 EMC 性能

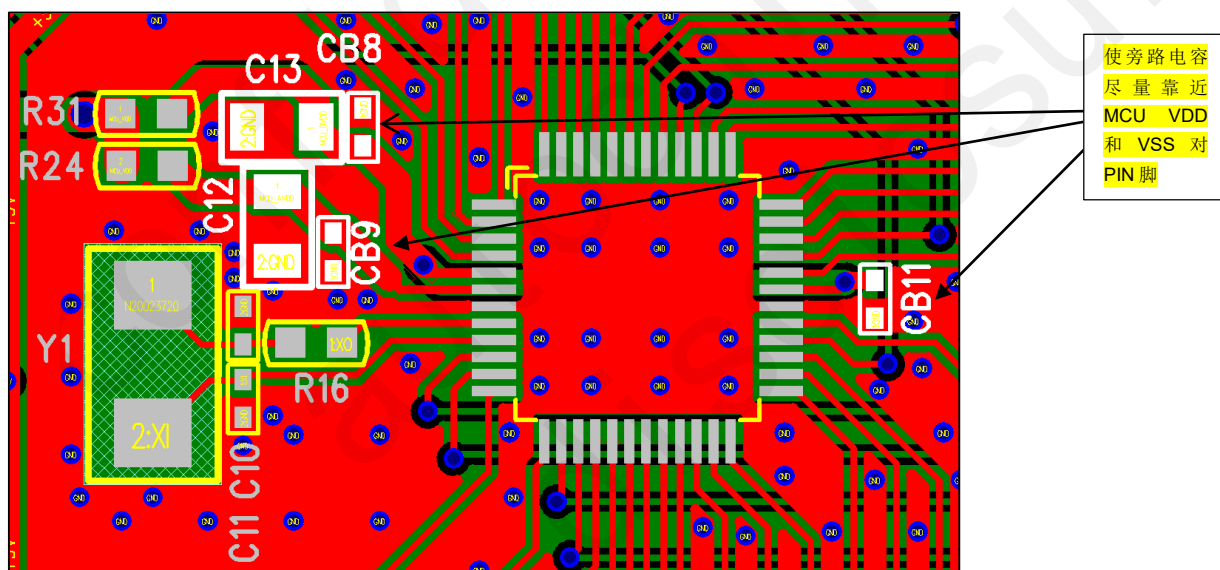


图 12-10 旁路电容 PCB 参考设计

12.2 晶振电路 PCB 设计建议

- 晶体和负载电容需要尽可能近地靠近 MCU 的引脚，以减小输出失真和启动稳定时间
- 晶体正下方的层上不得有任何种类的信号布线
- 合理选用偏置电阻和负载电容，涉及到 EMC 易感性的系统中，应该选用可以使振荡器输入引脚上信号的振幅比较大那种振荡器配置，但带来后果可能是功耗会比较大
- 晶体及其负载元件周围应放置一个防护环，防止安装层上的相邻信号发生串扰。此防护环可以从晶体引脚相邻的 VSS 引脚起始

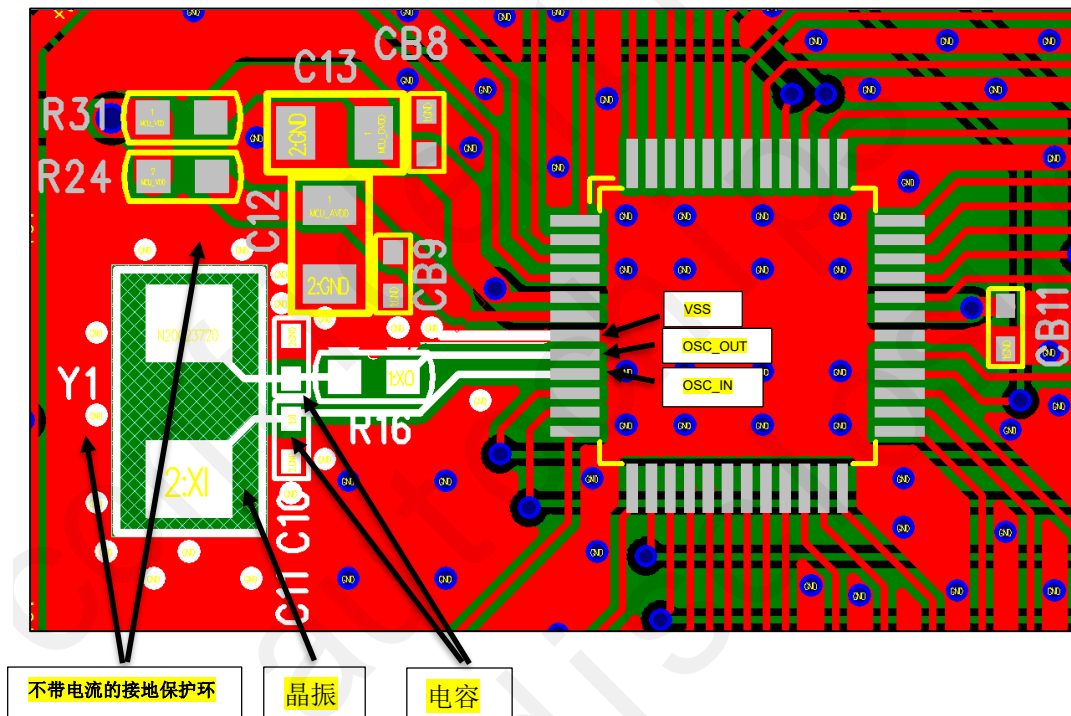


图 12-11 外部晶振 PCB 参考设计

12.3 PCB 走线建议

- PCB 走线应避免采用直角走线，直角走线会使传输线的线宽发生变化，造成阻抗的不连续而走线阻抗的变化对信号产生反射，产生更多的电磁辐射。可以采用 45°或圆弧方式进行 PCB 走线（如下图所示）
- 为了最小化串扰，不同信号层之间的走线也应尽量避免平行走线，可将它们走成彼此垂直（90°）的方式。复杂的板在布线时在使用 Vias 时候也要小心，Vias 会增加额外的电容和电感，同时由于特性阻抗的变化而产生的反射，Vias 也增加了跟踪长度。而在走差分信号时，可在两根走线中同时使用 Vias 或补偿另一根走线中的延时

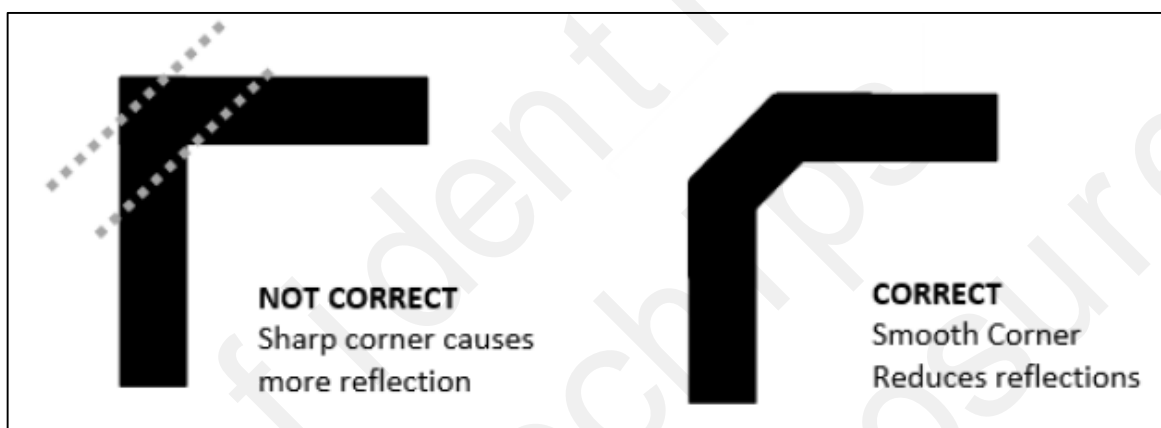


图 12-12 PCB 走线参考设计

12.4 PCB 接地建议

接地适用于多层和单层 pcb 板。接地的目的应使接地阻抗最小化，从而降低接地回路从电路回到电源的电压降。

- 高速信号的走线建议在完整的地平面上面进行走线
- 对于模拟、数字和电源引脚，不要将接地分割成单独的平面，建议采用单面连续接地
- 在微控制器管脚附近的任何区域都不应该有任何形式的浮动金属/形状，在信号面未使用的区域填充铜，并通过 vias 将铜与地平面连接（如下图所示）

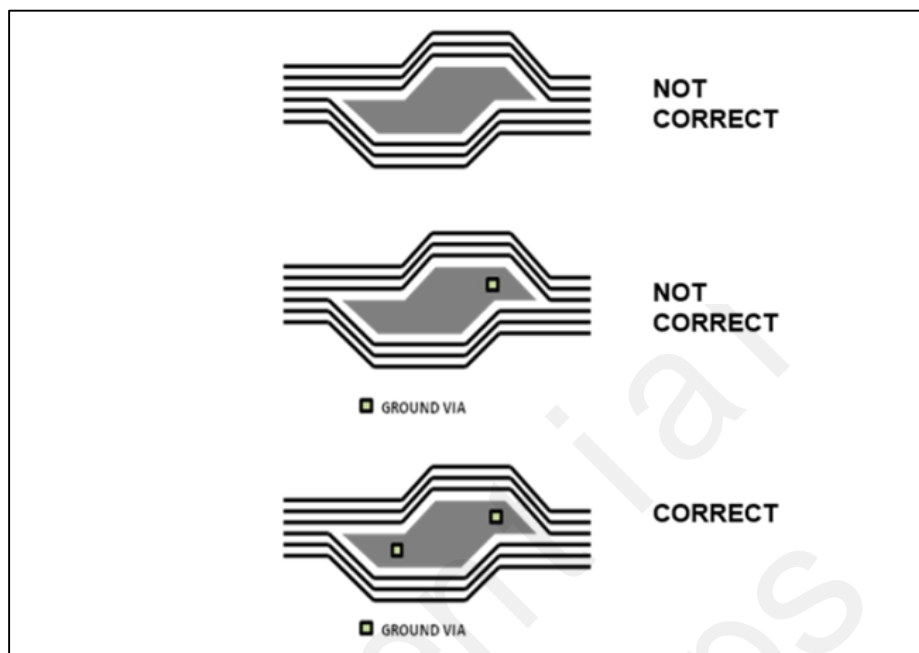


图 12-13 消除浮动金属/形状

12.5 EMI/EMC and ESD considerations for layout

系统的电磁干扰源由 PCB、连接器、电缆等部件组成。PCB 是辐射高频噪声的主要原因。在更高的频率和快速开关电流和电压下，PCB 走线成为辐射电磁能量的有效天线。例如，一个大的信号环路和相应的地平面。主要辐射源有传播数字信号的 PCB 走线、电流环路、电源滤波或去耦不足、传输线效应、电源和接地不合理。快速开关时钟，外部总线和 PWM 信号用作控制输出和开关电源。电源是造成 EMI 的另一个主要因素。射频信号可以从板的一个部分传播到另一个部分产生 EMI。开关电源辐射能量可能无法通过 EMI 测试。

每个电路板或系统在 EMI/EMC 和 ESD 问题上都是不同的，需要有自己的解决方案。但是，减少不必要的电磁能量产生的一般准则如下：

- 确保应用中电源是额定的并通过解耦电容器进行优化
- 在电源上提供足够的滤波电容器，旁路和解耦电容器尽量采用低等效串联电感(ESL)的电容器
- 如果 PCB 层叠上有可用空间，可创建接地平面，将地区域连接到该接地平面
- 尽可能减小电流环路面积，添加尽可能多的去耦电容器
- 保持高速信号远离其他信号，特别是远离输入和输出端口或连接器

12.6 PCB layer stacking

为了达到信号完整性和性能要求，或在采用两层 PCB 没办法达到性能要求时建议使用四层 PCB 来实现系统要求。下面的层堆叠推荐用于四层板。

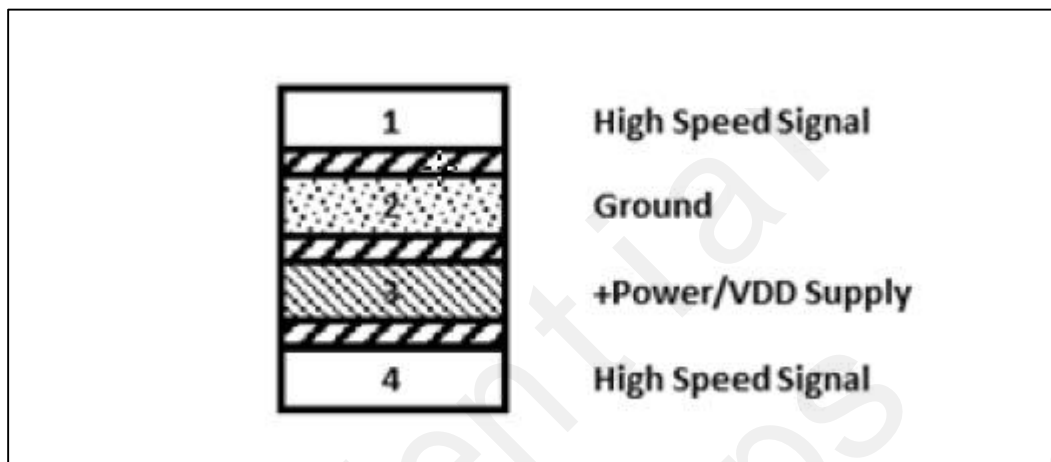


图 12-14 Recommended PCB layer stack-up

12.7 Injection current

MCU 所有的引脚都带有防止静电放电(ESD)的保护二极管。在许多情况下，数字和模拟引脚都需要连接到高于 MCU 引脚工作电压的电压上。

微控制器的内部 ESD 二极管仅设计用于短放电脉冲，它们不能长时间保持恒定的电流。因此，在直流电参数中指定了在其上下限的最大连续电压，并且最大高输入电压不应高于 $VDD + 0.3 V$ ，并且还应当按照 *datasheet* 中的定义限制电流注入的大小。换句话说，输入信号的电压和电流必须在允许的电参数范围内。违反这些规范会导致 MCU 工作异常或损坏。