

GigaDevice Semiconductor Inc.

GD32 MCU EMC 硬件防护设计参考

应用笔记

AN163

1.0 版本

(2024 年 2 月)

目录

目录.....	2
图索引.....	3
表索引.....	4
1. 前言.....	5
2. Global PIN ESD 防护设计.....	6
3. SPI 接口防护设计.....	9
4. CAN 接口防护设计.....	12
4.1. CAN 通讯 ESD 防护.....	12
4.2. CAN 通讯噪声抑制.....	13
5. USB 接口防护设计.....	15
5.1. USB 接口电路设计.....	15
5.2. USB 接口外壳接地处理.....	16
6. Display 防护设计.....	18
7. HXTAL 抗干扰设计.....	21
7.1. HXTAL 振幅范围.....	21
7.2. HXTAL Layout 注意事项.....	21
8. 版本历史.....	23

图索引

图 2-1. TVS 防护原理图	6
图 2-2. PIN&TVS TLP 曲线图	6
图 2-3. PIN&TVS TLP 曲线图	7
图 2-4. 串联电阻增强 ESD 保护示意图	7
图 2-5. TVS 与 PIN 之间串联电阻计算方法.....	7
图 2-6. TVS Layout 示意图.....	8
图 2-7. TVS 过孔放置示意图	8
图 3-1. SPI 接口滤波原理图	9
图 3-2. 3W 布线规则示意图.....	10
图 3-3. 信号线走线示意图.....	10
图 3-4. SPI SCK 波形-50MHz 驱动.....	10
图 3-5. SPI SCK 波形-2MHz 驱动.....	11
图 4-1. MCU CAN 通信电路图	12
图 4-2. CAN 通信 TVS 保护电路图	12
图 4-3. CAN 通信二极管阵列保护电路图.....	13
图 4-4. CAN 通信共模噪声抑制电路图.....	13
图 4-5. CAN 通信终端 RC 滤波电路图.....	14
图 4-6. CAN 通信防护电路图	14
图 5-1. USB 通信接口电路图	15
图 5-2. USB 接口电路 Layout.....	16
图 6-1. LCD 接口滤波电路图.....	18
图 6-2. 导电胶布屏蔽排线辐射	19
图 6-3. LCD 金属板屏蔽结构.....	19
图 6-4. LCD 接口 ESD 防护电路图	19
图 7-1. 推荐的晶振 Layout.....	21
图 7-2. 不推荐的晶振 Layout.....	22

表索引

表 1-1. ESD 防护电阻参考	7
表 7-1. 版本历史	23

1. 前言

MCU 作为通用的控制器件，其应用范围非常广泛。在实际的电子产品中除了实现基本的软硬件功能的基础之外还需要具备一定的 EMC 性能。

MCU 在使用过程中根据 GPIO 的引脚定义不同可大致分为 Global PIN 和 Local PIN。Local PIN 指的是 MCU 的引脚所连接的终端器件在 PCB 板内，不需要通过接口引出，比如通过 SPI 接口外接的 Flash 电路。Global PIN 指的是 MCU 的引脚需要通过接口与其它 PCB 或者设备连接进行信号交互，比如 CAN、USB、UART、Display、SWD、I2C、测试点等。Global PIN 接口一般位于 PCB 的边缘，在产品中能够提供给用户进行接口线缆插拔的操作，这一过程中增加了通过接口引入 EMS 干扰的可能性，且周围带电物体也可能对接口形成静电放电干扰，所以需要在设计过程中关注 EMS 的防护设计。

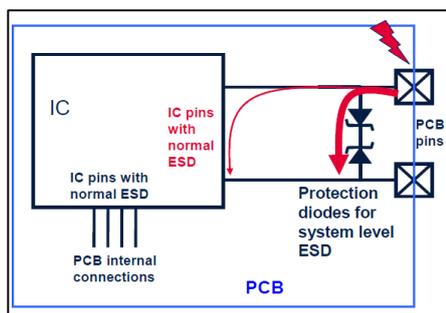
产品设计过程中除了需要考虑 EMS 问题之外，还需要进行 EMI 辐射的控制，在使用一些高速的通信接口时，由于外设的时钟为方波信号，上升沿的多次谐波的频率会出现高于 MCU 外设时钟频率的情况。在 PCB 设计过程中如果没有对高频信号的回流没有提供一定的低阻抗的回流路径以及较小的回流面积的时候则容易出现 EMI 辐射超标的问题。比如通过 SPI 接口读写 Flash 时 SCK 走线以及显示屏数刷屏的过程中排线容易出现 EMI 超标问题。

本文为 MCU 的硬件设计提供了一些硬件 EMC 防护设计的参考，旨在为优化 MCU 在产品应用过程中的 EMC 性能提供帮助。

2. Global PIN ESD 防护设计

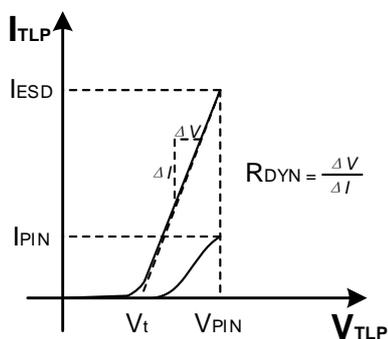
在 MCU 的应用过程中，一般是 Global PIN 需要更加注意 EMC 的防护设计，其中常见的接口有 SWD、UART、I2C、使能控制类引脚、测试点等。在实现基本功能过程中由于 PIN 所连接的负载端可能会因为感性负载的变化而出现瞬态过压或是静电的干扰导致出现功能异常、损伤的问题。针对 PIN 上所承受的瞬态过压或者静电干扰使用 TVS 进行抑制能够起到一定的效果。如 [图 2-1. TVS 防护原理图](#) 所示，TVS 对于 PIN 的防护作用是将大部分的干扰进行泄放到 GND，使得进入到 GPIO 口的干扰降至最小。合理的 TVS 的选型是影响到防护效果的关键因素，关于 TVS 的更多选型细节可以参考 [《AN051 ESD 防护器件之 TVS 选型和使用》](#)。

图 2-1. TVS 防护原理图



TVS 起到防护作用时工作在反向击穿状态，该状态下 TVS 的导通电阻比较小可以流过大电流，瞬间的大电流泄放可以拉低 GPIO 口受到的干扰电压的电平，实现了对过电压的箝位作用。对于 TVS 的使用比较关键的参数是箝位电压和电流泄放能力，同等箝位电压的 TVS 可以通过数据手册上提供的功率参数评判 TVS 的过流能力。TVS 在进行大电流泄放过程中的导通电阻小且处于动态变化之中，导通电阻的大小与泄放电流的大小相关。如 [图 2-2. PIN&TVS TLP 曲线图](#) 所示，合理的 TVS 选择需要满足的条件是 TVS 的箝位电压低于 IC 的失效电压且在 TVS 箝位电压小于 GPIO 失效电压的前提下 TVS 的泄放电流大于 GPIO 的失效电流，这样的 TVS 可以为 GPIO 提供足够的保护能力。

图 2-2. PIN&TVS TLP 曲线图



在使用 TVS 的过程中也存在如 [图 2-3. PIN&TVS TLP 曲线图](#) 所示的情况，TVS 的箝位电压与 IC 的失效电压之间较为相近或者高于 IC 的失效电压，如 [图 2-4. 串联电阻增强 ESD 保护示意图](#) 在这种情况下可以通过串接一个额外的电阻以增加两者之间的差值改善此情况。当 TVS 的箝位电压高于 IC 的失效电压时，串联电阻的计算方法如 [图 2-5. TVS 与 PIN 之间串联电阻计算方法](#) 所示。关于 MCU GPIO 的失效电压和失效电流可以通过 TLP 进行测量，TLP 的测试

的芯片级 IV 结果可以与系统级的 ESD 防护进行协同设计。

图 2-3. PIN&TVS TLP 曲线图

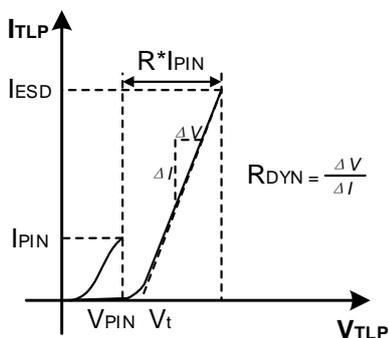


图 2-4. 串联电阻增强 ESD 保护示意图

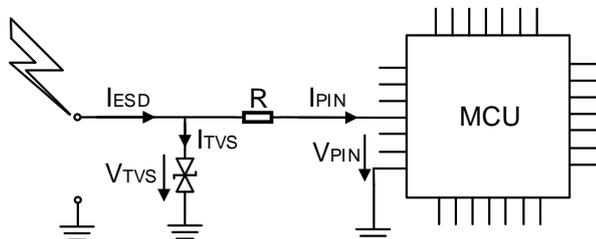


图 2-5. TVS 与 PIN 之间串联电阻计算方法

$$R \geq \frac{(I_{ESD} - I_{PIN}) \cdot R_{DYN} + V_t - V_{PIN}}{I_{PIN}}$$

对于串接电阻的选择会根据引脚的功能有所不同，按照不同的功能类型大致的取值范围可参考如[表 1-1. ESD 防护电阻参考](#)所示。

表 1-1. ESD 防护电阻参考

功能类型	建议阻值
使能控制类引脚	几百~1K 欧姆
SWD	小于百欧姆
测试点	几百~1K(一般建议电阻增加在测试探针一端)
UART	小于百欧姆
I2C	小于百欧姆

对于 TVS 防护效果起到关键影响的另一个方面是 TVS 在 PCB 上的 Layout，如[图 2-6. TVS Layout 示意图](#)。影响到 TVS 对于 ESD 防护能力的因素是 TVS 必须靠近干扰源头将干扰泄放，其次是通过 TVS 泄放的干扰的回流路径对 PCB 上其它器件的影响达到最小。TVS 泄放 ESD 的能量通常是直接在 TVS 的焊盘附近打过孔将 ESD 能量释放到 GND。如[图 2-7. TVS 过孔放置示意图](#)所示，过孔数量可以适当的选择，一般需要在焊盘的每个边打一个过孔，由于 ESD 能量中具有丰富的高频成分，适当增大的过孔尺寸以扩大过孔表面积可以一定程度上的降低趋肤效应的影响以降低阻抗。

图 2-6. TVS Layout 示意图

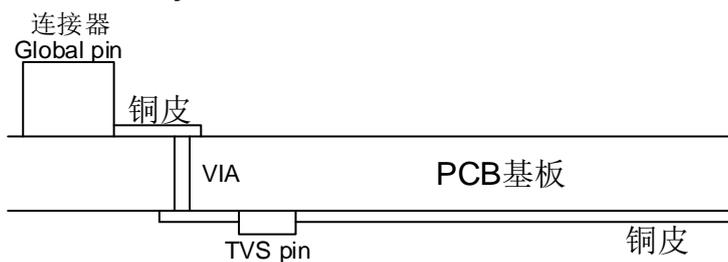
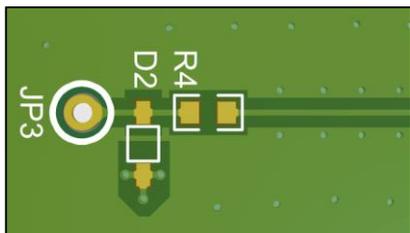


图 2-7. TVS 过孔放置示意图

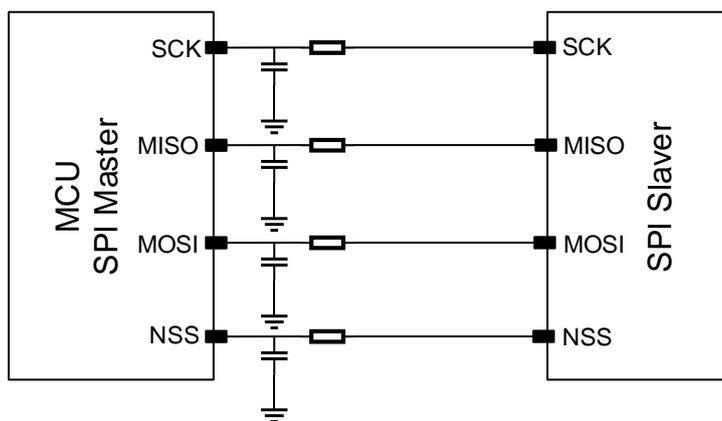


3. SPI 接口防护设计

SPI 总线是一种串行外设通信总线,该总线一般是在 PCB 板载芯片之间组成串行通信的通道,很少将该总线通过长线缆与其他 PCB 板相连接。常见的应用是 MCU 通过 SPI 接口与外部的 Flash、ADC、DAC 等外设连接实现特定功能,MCU SPI 总线的通信速率可达几十 MHz。在使用 SPI 总线进行通信时,需要进行合理的滤波和 Layout 设计以控制 EMI 辐射的能量。

对于 MCU 的 SPI 总线可以从软件和硬件两个方向执行控制措施。硬件方面可以通过增加滤波器的方式减弱辐射量。通常使用的滤波方式有 RC 滤波、LC 滤波、磁珠滤波,靠近辐射的源头处放置滤波器的效果会较好,一般的源头是在驱动器端,如[图 3-1. SPI 接口滤波原理图](#)所示。PCB 板上的辐射源头也可以通过使用近场探头进行定位。SPI 总线的辐射的常见源头为 SPI 时钟线或者 MCU 的电源网络, SPI 时钟线上的时钟频率为几十 MHz 的情况下,其多次谐波可达几百 MHz 以上,如果 SPI 时钟线的回流路径较大形成比较明显的环形天线效应则比较容易产生 EMI 辐射超标的情况。另外一种情况是, SPI 时钟和信号线的快速高低翻转会引起电源网络上的瞬态电流波动,此时如果电源网络所形成的回流路径较大时也会形成 EMI 辐射超标问题。

图 3-1. SPI 接口滤波原理图



SPI 总线的 Layout 对于 EMI 辐射改善也会很有作用, SPI 总线的时钟频率相对较高, PCB 布线时应该尽量按照高速 PCB 的布线规则进行设计, 其中比较关键的几点注意事项如下:

- 尽量满足 3W 布线规则, 如[图 3-2. 3W 布线规则示意图](#)所示。其中时钟线与信号线之间的距离需要时线宽的三倍以上以减时钟线对于信号的串扰影响。
- SPI 的时钟线或者数据线尽量在同层布线, 减少过孔的使用, 如[图 3-3. 信号线走线示意图](#)所示, 走线尽量按照最短路径避免出现来回折叠的 U 形走线。对于走线的转角应避免 90°折线, 采用 45°折线或弧形走线, SPI SCK 信号可以根据项目成本考虑进行特性阻抗控制, 将走线设计为 50Ω 特性阻抗以减小信号反射效应导致的过冲现象从而在一定程度上减小 EMI 辐射。SPI 总线的滤波器可以尽量靠近 MCU 引脚放置, 在驱动端将超标频段进行提前滤除。
- 多层 PCB 板的设计过程中, SPI 总线的走线需要尽量保证有完整的地回流路径, 两层以上的 PCB 板通常会具有完整的地平面, 也可以将 SPI 总线放置在内层进行走线, 通过顶底的覆铜形成屏蔽效果。

图 3-2. 3W 布线规则示意图

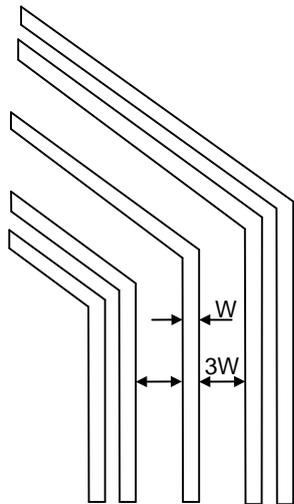
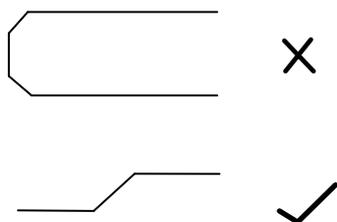


图 3-3. 信号线走线示意图



相对低成本的 EMI 抑制方式是通过软件的方式进行调整，MCU 的 GPIO 具备驱动能调整的功能，GPIO 默认的驱动能力是 50MHz，如[图 3-4. SPI SCK 波形-50MHz 驱动](#)所示，50MHz 驱动条件下的波形上升沿陡峭且存在一定过冲，可以通过软件在初始化的过程中将其设置为 10MHz 或者 2MHz。如[图 3-5. SPI SCK 波形-2MHz 驱动](#)所示，GPIO 口驱动能力调整会在 GPIO 信号翻转的波形上有所体现，当把 GPIO 的驱动速度从 50MHz 调整为 2MHz 时，从波形上可以明显的观察到，调整后的波形的上升沿变缓，同时过冲减小，这种变化代表着波形中部分高频分量被衰减，可以减小 EMI 的辐射。采用这种方法的成本比较低，但是该方法存在一定的弊端。对于 SPI SCK 频率相对较高的应用中，时钟波形的上升沿变长会导致数字信号中采样保持时间的缩短，可能会影响到通信功能，所以使用该方法需要进行波形参数的确认，以确保不影响正常的功能。

图 3-4. SPI SCK 波形-50MHz 驱动

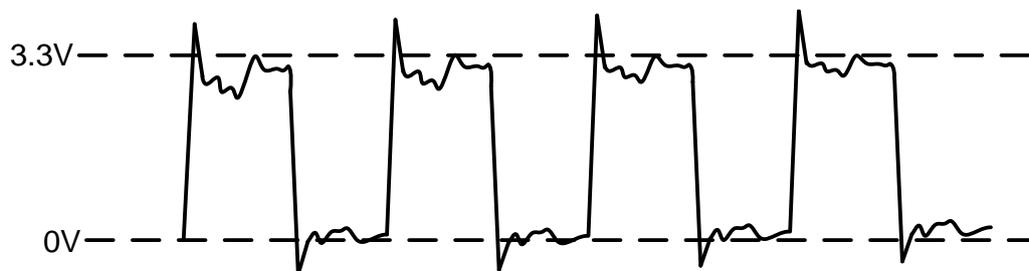
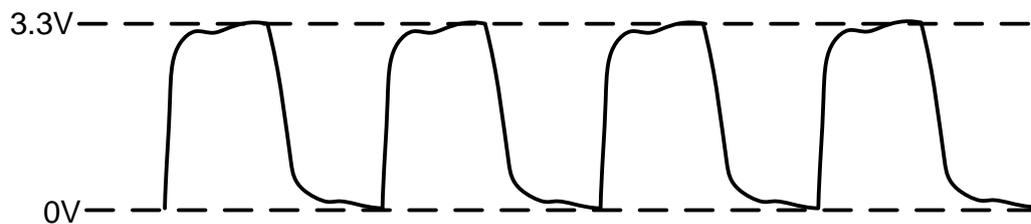


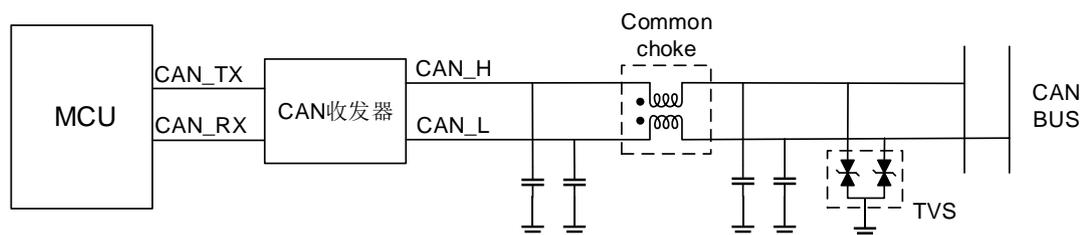
图 3-5. SPI SCK 波形-2MHz 驱动



4. CAN 接口防护设计

CAN 通讯协议从诞生至今被广泛的使用，由于 CAN 通讯协议应用环境相对较为复杂，比如应用在复杂的工业环境和高可靠性的汽车之中，在这些环境中需要为 CAN 总线提供足够的抗干扰能力。GD32 MCU 中有部分型号支持两线 CAN 通讯接口，目前支持的 CAN 通讯协议为 CAN2.0B/CAN FD。具有 CAN 通讯功能的 MCU 内部集成 CAN 控制器，通过外部的 CAN 收发器实现差分信号与 MCU 逻辑电平之间的转换以实现最基本的 CAN 通讯功能，如 [图 4-1. MCU CAN 通信电路图](#)所示。

图 4-1. MCU CAN 通信电路图

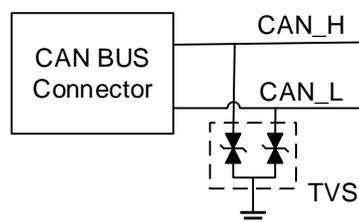


4.1. CAN 通讯 ESD 防护

CAN 通讯是一种局域网络的互联通讯协议，具备 CAN 通讯的各种电子功能模块挂载在同一条总线上实现互相通信。CAN 通讯接口通常是设计在 PCB 板的边缘以方便通信线缆的连接，但是位于 PCB 板边缘的接口受到静电干扰的可能性高于 PCB 板内部的电路功能模块。由于 PCB 板边缘的接口引入的静电干扰会通过传播路径进入 PCB 板内部，干扰较为严重的情况下会造成系统功能的异常。对于 CAN 通讯的 ESD 防护通用的方法是在接口处并联静电干扰抑制器件，通常选用分立 TVS 或 TVS 阵列组成保护电路。

TVS 通过将瞬态高压箝位到安全水平为收发器提供保护。TVS 在击穿电压以下具有高阻抗，在击穿电压以上具有低阻抗。如 [图 4-2. CAN 通信 TVS 保护电路图](#)所示，使用分立 TVS 管组成防护电路。双向 TVS 可以通过组合两个单向二极管而制成，复合器件的箝位电压等于反向偏置二极管的击穿电压加上正向偏置二极管的正向压降。

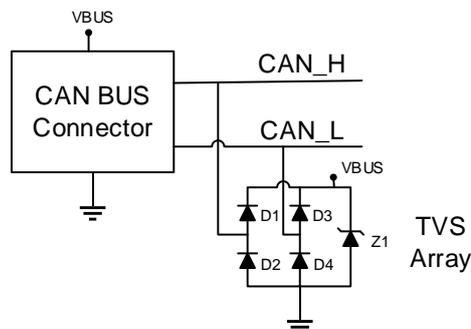
图 4-2. CAN 通信 TVS 保护电路图



如 [图 4-3. CAN 通信二极管阵列保护电路图](#)所示，使用了集成多个二极管和齐纳 TVS 的二极管阵列器件组成保护电路。该阵列由四个标准二极管和一个单向 TVS 组成。对 CAN 总线线路的保护是通过将信号线钳位到高于电源电压的正向二极管电压降或低于地面的正向二极管电压降来提供的。这种电路的一个优点是二极管阵列钳位在更接近波形正常幅度的电压上，二极管可用于消除信号线上的超调或振铃。这种配置的另一个优点是，信号线上的容性负载通常小于 [图 4-2. CAN 通信 TVS 保护电路图](#)所示的双向 TVS 电路。二极管 D1、D2、D3 和 D4 具有

低电容，并且设计成具有快速的导通时间。TVS 二极管 Z1 用于在过压情况发生时耗散大部分能量。由于器件的容性负载在电源线上而不是数据线上，Z1 可以使用大结电容、更高功率的器件。二极管阵列电路的主要缺点是，如果存在共模或偏置电压，则可能箝位 CAN_L 和 CAN_H 波形。二极管阵列电路只应用于能够确保 CAN 模块的接地参考之间的失调电压相对较小且小于二极管的导通电压的系统。

图 4-3. CAN 通信二极管阵列保护电路图

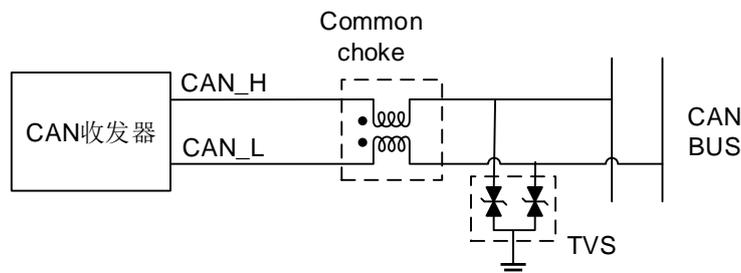


MCU 中的 CAN 总线控制器是基于 MCU 的电源轨，大多数 CAN 收发器需要由 12V 或 24V 电源产生的 3.3V 或 5.0V 供电电压，CAN 收发器的 RX、TX 引脚与 MCU 的 CAN 控制器引脚连接。大多数 CAN 收发器的 CAN_H、CAN_L 信号引脚的设计可以承受信号线上 $\pm 40V$ 或更高的直流电压。而 CAN 收发器中 CAN_H、CAN_L 所连接系统最大供电电压是选择 TVS 设备的一个重要因素。TVS 器件的选择应使二极管最小击穿电压大于最大系统电源电压。TVS 器件的设计目的是耗散瞬态事件的峰值功率，它们不应该被用来调节稳态电压。

4.2. CAN 通讯噪声抑制

共模扼流圈经常被用于衰减两个收发器母线共有的噪声，如 [图 4-4. CAN 通信共模噪声抑制电路图](#) 所示。扼流圈的作用是为共模信号提供高阻抗，为差分信号提供低阻抗，从而提高收发器的共模抑制比 (CMRR)。扼流圈可以在高速数据线上实现滤波，而不会增加大量失真。共模扼流圈通过充当滤波器来限制数据线上过电压浪涌的幅度。因此，建议将 TVS 器件添加到电路中以提供箝位保护。扼流圈有几个缺点，扼流圈的一个问题是，器件的电感、PCB 电路板以及收发器的电容会形成一个谐振电路，会产生振荡。CAN 信号线上的振荡会导致收发器检测到假位。扼流圈滤波器的另一个问题是，两个线圈电感的任何不匹配都会导致信号波形失真。

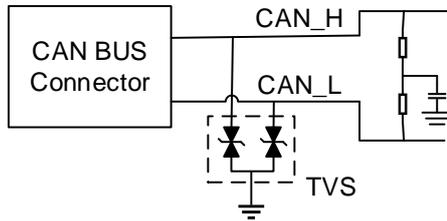
图 4-4. CAN 通信共模噪声抑制电路图



[图 4-5. CAN 通信终端 RC 滤波电路图](#) 显示了一个可用于为 CAN 收发器提供噪声保护的分离端接电路。端接电路作为低通滤波器，由两个等值电阻和一个电容组成。共模信号通过一个将高频噪声信号分流到地的电容终止。端接电阻阻值差异应尽可能小 (R_{tol})。 $\leq 1\%$ ），以保持

CAN_H 和 CAN_L 信号之间的波形对称性。

图 4-5. CAN 通信终端 RC 滤波电路图

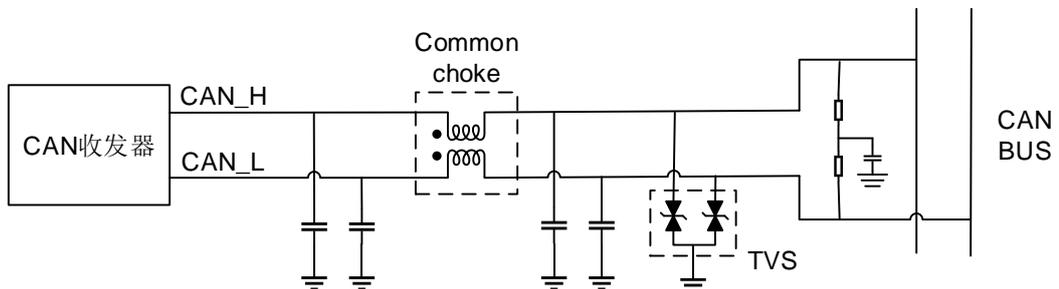


分路终端电路可以与 TVS 二极管管组合使用。电阻-电容(RC)电路通过充当低通滤波器和限制 ESD 或瞬态过电压信号的压摆率来提供保护。在分路端接电路中应增加 TVS 箝位装置，以确保母线线路电压不超过收发器和电容的最大额定电压。

通常，高速 CAN 总线的终端电阻位于网络的两端。如果 CAN 节点位于总线的末端，则使用两个 60Ω 的电阻而不是一个 120Ω 的电阻。如果收发器位于不包含终端电阻的 CAN 节点，则需要更高值的电阻，以使终端电阻的并联值保持在 60Ω 。

共模扼流圈、电容和 TVS 二极管的组合可用于解决 EMI 辐射和抗扰度要求，如 [图 4-6. CAN 通信防护电路图](#) 所示，进入 CAN 节点的噪声由扼流圈滤波器的电感与电容 CH1 和 CL1 形成的二阶滤波器衰减。相比之下，电容器 CH2 和 CL2 提供了一个滤波器，以减少从收发器流出的辐射或噪声。双向 TVS 的功能是将 CAN 总线上的瞬态电压干扰箝位到安全值。

图 4-6. CAN 通信防护电路图



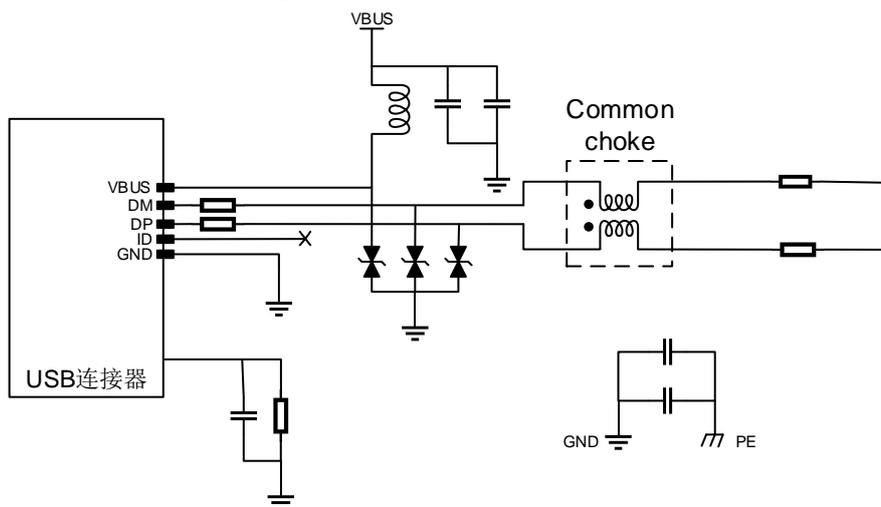
5. USB 接口防护设计

USB 接口是一种在各类外部设备中广泛采用的接口，其具有传输速度快，支持热插拔以及多设备连接的特点。GD MCU 中有部分的型号支持 USB 功能，其中对于 USB 的功能目前支持的版本是 USB 2.0，按照传输速度的不同分为 Full Speed 和 High Speed 两种。USB 接口通常是用于外部设备与主机之间的数据传输接口，其位置往往位于 PCB 板的边缘，在整机外壳上也会为其留有接口。因为 USB 接口的应用特点，其遭受静电干扰的可能性较大，有很多情况下的静电问题都是同过 USB 接口引入到 PCB 内部造成产品出现复位、死机或者其他的功能异常。所以，在产品的电路设计阶段需要引入 USB 接口的防静电设计以提高抗静电干扰的能力。

5.1. USB 接口电路设计

USB 2.0 接口通常包括 VBUS、DM、DP、GND 四根线，支持 OTG 协议的还包括 ID 信号线。在常见的产品设计中采用 VBUS、DM、DP、GND 四根线已经能够满足大多数的应用场景。USB 接口的参考电路设计如[图 5-1. USB 通信接口电路图](#)所示。

图 5-1. USB 通信接口电路图

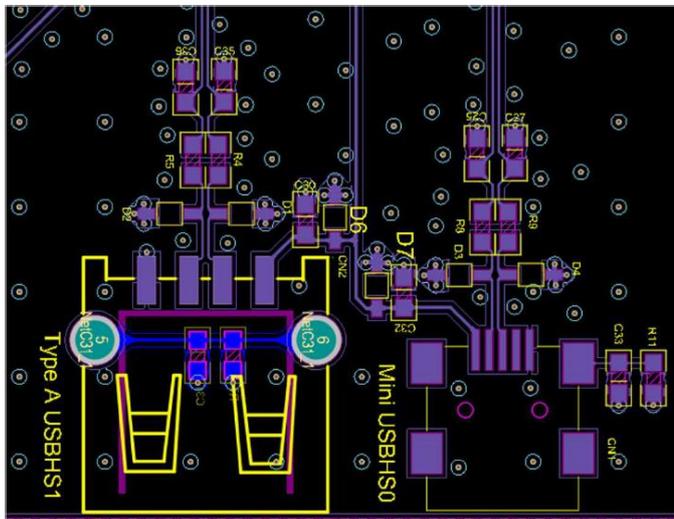


USB 接口的 ESD 防护主要分为 USB 接口的电源与信号线、金属外壳的接地与防护两大部分进行设计。对于 DP、DM 以及 VBUS 的防静电设计，主要是增加合适的 TVS 器件，通过 TVS 器件的瞬态高压脉冲的抑制能力将 ESD 的干扰尽早的泄放至 GND 回路，USB 电路也可以参照 CAN 防护电路使用二极管阵列进行 ESD 的防护。

通常 USB 的接口都位于 PCB 板的边缘，容易受到静电的干扰，在使用 TVS 的过程中尽量将 TVS 放置在靠近接口的位置进行放置，这样有助于将静电的干扰以最小的回路面积泄放至 GND，过大的泄放回路面积影响到的器件数量将会增加。PCB 受到静电干扰之后不仅会包含通过 PCB 走线的传导方式进行传导的能量，ESD 的释放的波形具有 ns 级别的上升时间，而 PCB 的器件与走线的阻抗往往是有突变现象，有一部分的能量会以辐射的方式释放出去且包含的频段非常宽。这样的情况将有可能引发更加复杂的问题。对于 USB 电路以及 TVS 管的 PCB Layout 可以参考[图 5-2. USB 接口电路 Layout](#)的方式进行设计，其中有些关键点需要特别注意。

- 选择 TVS 型号的过程中，除了需要考虑 TVS 的箝位电压之外需要关注 TVS 结电容的大小，一般要求所选择的 TVS 结电容小于 4pF；
- 差分线对要保证等长设计保证 PCB 走线过程中的线长匹配，否则会影响到时序的偏移、降低信号的质量、增加 EMI；
- 差分对之间的间距尽量靠近，保持紧密的耦合，一般需要间距小于 10mm，并增大其它信号线与差分对之间的走线距离，VBUS 的布线也需要尽量远离差分线对；
- 差分信号线之间耦合会影响信号线的外在阻抗，必须采用终端电阻的实现对接差分传输线的最大匹配；
- 差分线的走线应避免 90°的直角和圆弧走线以及，推荐使用 45°大角度折线或者圆弧走线以降低走线的阻抗突变减少信号的反射；
- 在 HS 模式下，对于差分线对的 PCB 走线建议进行 90ohm 的特性阻抗设计以提高信号完整性，其次差分线对的走线尽量在同一层进行布线避免通过过孔进行换层。

图 5-2. USB 接口电路 Layout



5.2. USB 接口外壳接地处理

对于 USB 接口的外壳我们最关注的往往是外壳是否需要接地处理。绝大部分处理方法是直接接地，效果很好，但是干扰较大时，建议通过阻容网络接地。主要的接地方式有三种处理方法：不接地，悬空、直接接地、通过 100k~1M 电阻和 0.1uF 或者 1uF 电容接地。

对于没有 ESD 干扰的情况下这三种方式都是可以正常工作的，我们所关心的是存在 ESD 干扰的情况下以哪一种方式能够更加合适。

一般对于 USB 接口的外壳不推荐直接悬空不接，对于 SMD 封装的 USB 连接器外壳定位引脚不接地只依靠 4 个 PIN 脚的焊接会导致接口的不牢固，可能会在使用过程中脱落；对于通孔封装的 USB 连接器其基本不会出现脱落。采用这种形式的 USB 接口在受到 ESD 干扰时会对外壳接地焊盘附件的网络产生飞弧造成二次的 ESD 干扰。

第二种和第三种接地方式在接口设计过程中都比较常用，一般推荐使用第三种接地方式。第三种接地方式可以对 ESD 静电产生一定的缓冲作用，减小 GND 的电平波动。对于接大地的设备可以采用第二种接地方式，在设计过程中 USB 接地后的 ESD 泄放通路需要离接地尽量

近，因尽量避免 PCB 的电源接地与 USB 的接地处于 PCB 板的对边，那样会导致 ESD 泄放的能量贯穿整个 PCB 板，导致干扰范围扩大。理想的设计方式是 USB 外壳的 ESD 泄放 GND 与 PCB 的电源接地接口处于 PCB 的同一边或者比较近。

对于使用电池供电的浮地设备设计过程中建议使用第三种方式进行设计。电池供电的浮地设备其对于 ESD 的泄放速度要远慢于接大地的设备。ESD 注入到设备的静电能量会在 PCB 上留存一段时间才会慢慢的耗散。电荷的累积会带来电位偏移的问题，以及二次放电的问题。往往引起 MCU 复位或是死机问题都是存在快速瞬态的电压波动，使用第三种方法可以起到缓冲作用，其中电容可以选择不加只保留电阻，且如果使用电容的建议选择耐高压的电容。其次 PCB 上积累的电荷二次放电也会带来 MCU 复位和死机的问题，在测试过程中，待测设备放置在水平耦合板上，过多的电荷积累会发生 PCB 对水平耦合板的放电，造成二次放电。因此对于存在二次放电风险较大的位置需要做一定的防护，在符合测试要求的情况下，测试过程中可以每打一次静电，使用接地刷对已经充电的 PCB 进行放电，然后再进行第二轮测试。

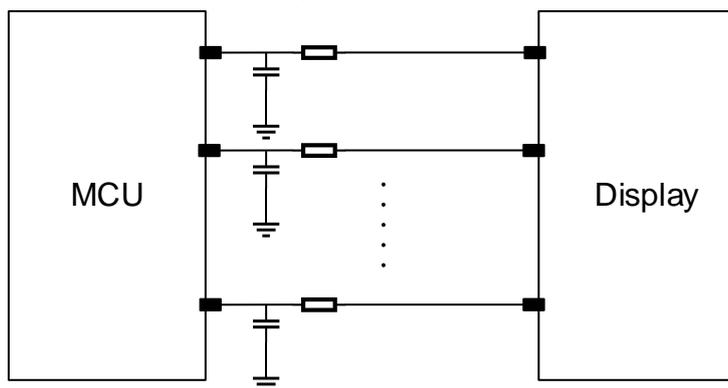
6. Display 防护设计

LCD 显示屏在嵌入式系统的应用为用户提供了界面化的交互接口，MCU 作为嵌入式系统中常用的控制类 IC，经常会用来作为屏幕的控制器。LCD 屏幕类型多种多样，目前比较常用的 LCD 显示屏都会集成驱动电路，外部的 MCU 作为控制器控制屏幕的数据刷新实现画面的显示和切换，LCD 屏幕与 MCU 之间通过排针或者 FPC 排线连接。LCD 的接口通常包含数据线、地址线、控制信号线等，通过 I2C、SPI 等方式实现信号传输，也有部分 LCD 直接通过 I2C、SPI 串口实现控制信号和数据的分时复用达到屏幕的显示功能。由于 LCD 正常工作过程中需要按照一定的刷新率刷新数据，随着数据量的增加，刷新频率也在不断的提高，从而引发的 EMI 辐射问题成为 LCD 在产品应用中需要注意的问题。

LCD 屏幕的 EMI 辐射源通常是屏幕排线、PCB 板上走线等，针对屏幕的 EMI 超标问题采取防护措施包括滤波和屏蔽。滤波通常采用 RC 滤波或者磁珠滤波，如 [图 6-1. LCD 接口滤波电路图](#) 所示。由于 EMI 辐射出现超标的频点在设计之初具有一定的不可预测性，所以滤波器的设计一般需要结合实际的产品进行调节。推荐的做法是提前预留 RC 的位置，PCB 打板贴片的时候建议 RC 的截止频率不低于实际信号频率的 5 倍频，以免过低的截止频率导致构成信号的低倍频谐波出现过度衰减影响到实际的通讯功能。预先设置的截止频率可能并不适合最终测试效果，这种情况下需要结合实际的测试结果进行调整。

RC 滤波的带宽由截至频率决定，属于宽频带的滤波。对于 EMI 辐射出现某些频点的超标的情况可以只保留滤波电容，通过将电容的谐振点与超标频点进行匹配实现窄带滤波。电容的滤波效果与电容的信号回流阻抗密切相关，实际的产品生产过程中会因为成本控制的考虑使用两层板，当器件和走线较密的时候保持完整的地比较困难，这种情况下使用 RC 滤波或者单电容滤波可能会出现所需要滤除的频率分量会在地回路上产生较高的阻抗，从而达不到预期的滤波效果。这种情况下可以使用磁珠替换原有的电阻的位置进行滤波，磁珠滤波同样属于窄带滤波，与电容滤波不同的是磁珠在特定的频点的高阻抗具有能量转换的作用将磁珠内部的场能转换成热量进行耗散。

图 6-1. LCD 接口滤波电路图



一般情况下滤波能够起到降低辐射能量的效果，但是对于辐射能量较高的情况下，只使用的滤波的方法并不能起到较好的效果。这种情况下可以使用屏蔽的方法减弱产品的辐射。常用的屏蔽辐射方式是在 LCD 屏幕的排线上贴导电胶布，将导电胶布与 PCB 的 GND 连接形成屏蔽，如 [图 6-2. 导电胶布屏蔽排线辐射](#) 所示。对于带金属背板的 LCD 屏可以将背板的金属板与 PCB 板的 GND 之间通过导电泡棉搭接，如 [图 6-3. LCD 金属板屏蔽结构](#) 所示，通过这样的结构设

计可以借助 LCD 金属背板形成屏蔽罩效果，可以对 LCD 屏覆盖范围内的器件和走线进行屏蔽。

图 6-2. 导电胶布屏蔽排线辐射

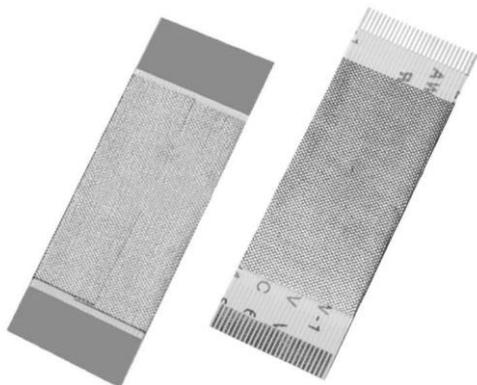
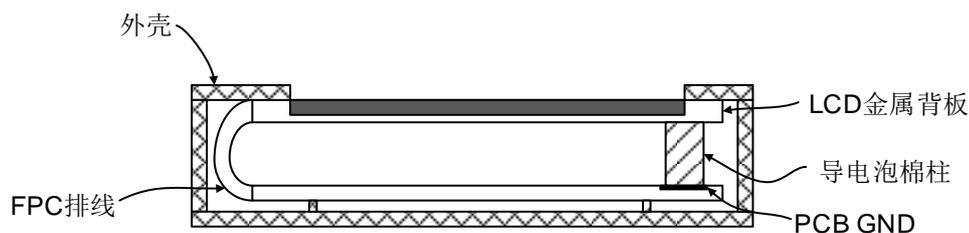
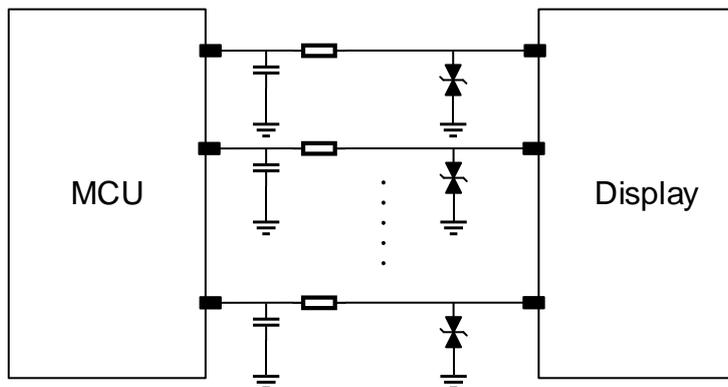


图 6-3. LCD 金属板屏蔽结构



在实际的产品 EMC 测试过程中，除了 RE 辐射类测试还有 ESD 抗扰度的测试也是很很重要的一项。由于成形的产品其具有完整的封装，ESD 测试过程中的放电点通常为屏幕匹配的功能按键、屏幕本体和边框。根据产品的定位和成本等因素，LCD 使用的种类多种多样，常见的有塑料壳体、金属包边、全金属背板等种类。在进行 ESD 测试的过程中对于塑料背板的 LCD 静电会在壳体上积累导致二次放电的问题，这个时候屏幕的排线以及 PCB 上的走线都有可能受到静电的干扰，所以对于屏幕接口的走线需要进行 ESD 防护，添加 TVS 进行瞬态高压抑制，如 [图 6-4. LCD 接口 ESD 防护电路图](#) 所示。

图 6-4. LCD 接口 ESD 防护电路图



带金属边框和背板的 LCD 屏幕在进行 ESD 实验的过程中除了上述的情况外还会造成辐射问

题，金属边框和背板在静电注入的过程中将一部分静电能量辐射出去，在这种情况下如果 PCB 上的走线与辐射的电磁波频段形成天线接收效应也会造成系统功能的异常。对于这种情况可以将金属边框或者背板与 PCB 的 GND 连接以降低辐射效应，同时需要注意连接点的位置，尽量选择靠近供电口的 GND 附近，降低干扰泄放过程中的阻抗。其次，需要优化 PCB 上的走线尽量减小信号的回流路径，对于不便于进行走线优化的 PCB 可以在形成天线效应走线上并联电容进行改善。

7. HXTAL 抗干扰设计

MCU 使用的外部高速无源晶振作为时钟信号源的情况，对于时钟部分的抗干扰性能主要考虑两个方面。第一个方面是选择合适的无源晶体使得其配合 MCU 工作之后振荡在一个合适的幅度范围；第二个方面是晶振电路的 PCB Layout，布局布线处理不当会比较容易拾取到外部的干扰。

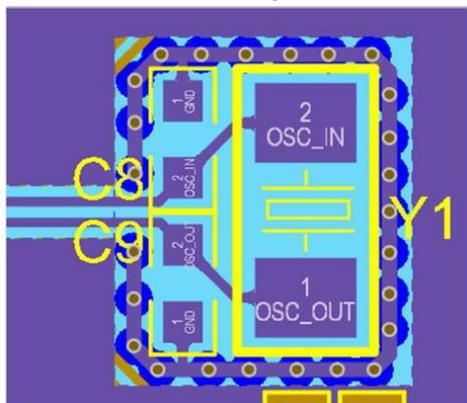
7.1. HXTAL 振幅范围

对于无源晶振其振荡的幅度与 MCU 内部的驱动电路的驱动能力相关，而 MCU 对于 HXTAL 的驱动能力是固定不可调，其次无源晶振模式下振幅还取决于晶振本身的参数（ESR）和板上电容大小，是否有限幅电阻等，通常在能起振并达到一定振幅的情况下，芯片都会把 OSCIN/OUT 管脚上的波形放大整形形成满摆幅的方波，经验上振荡器的振幅大于 0.5V 稳定性更高。

7.2. HXTAL Layout 注意事项

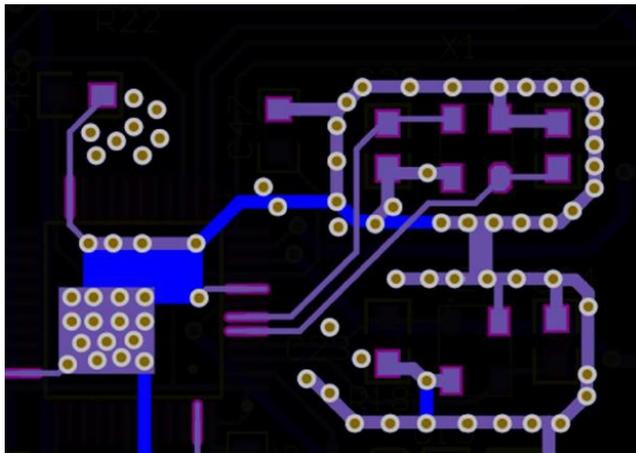
对于 HXTAL 的 PCB Layout 设计，通常的规则是晶振 OSCIN 和 OSCOUT 两条走线要尽可能的短且保持长度相等；其次对于 HXTAL 的包地处理，合适的包地处理可以为 HXTAL 提供干扰的屏蔽作用，在进行包地处理的时候需注意尽量不要将地环直接与 MCU 的 GND 相连且尽量不要形成闭环。如 [图 7-1. 推荐的晶振 Layout](#) 所示，提供了一种推荐的 HXTAL Layout 方式，这种布局设计中将 HXTAL 的包地环路通过过孔之间连接底层，顶层做了割地处理，将 HXTAL 振荡过程中可能产生的干扰信号通过接地环路导入底层的 GND 中，从而尽量的减少了干扰对于顶层 GND 的影响。

图 7-1. 推荐的晶振 Layout



如 [图 7-2. 不推荐的晶振 Layout](#) 所示，在错误的布局设计中，晶振的地环与 MCU 的模拟地 VSSA 之间连接且形成了闭环。这种处理在进行产品的 EMC 抗干扰实验过程中比较容易受干扰信号影响，比如在 RS 试验中会容易拾取射频干扰信号，造成 VSSA 的波动。因此需要在设计中规避这样的现象。关于无源晶振的选型以及电路设计的细节可以参考已发布的应用笔记 [《AN052 GD32 MCU 基于谐振器的时钟电路》](#)。

图 7-2. 不推荐的晶振 Layout



8. 版本历史

表 7-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2024 年 02 月 04 日

Important Notice

This document is the property of GigaDevice Semiconductor Inc. and its subsidiaries (the "Company"). This document, including any product of the Company described in this document (the "Product"), is owned by the Company under the intellectual property laws and treaties of the People's Republic of China and other jurisdictions worldwide. The Company reserves all rights under such laws and treaties and does not grant any license under its patents, copyrights, trademarks, or other intellectual property rights. The names and brands of third party referred thereto (if any) are the property of their respective owner and referred to for identification purposes only.

The Company makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this document or any Product, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The Company does not assume any liability arising out of the application or use of any Product described in this document. Any information provided in this document is provided only for reference purposes. It is the responsibility of the user of this document to properly design, program, and test the functionality and safety of any application made of this information and any resulting product. Except for customized products which has been expressly identified in the applicable agreement, the Products are designed, developed, and/or manufactured for ordinary business, industrial, personal, and/or household applications only. The Products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems designed or intended for the operation of weapons, weapons systems, nuclear installations, atomic energy control instruments, combustion control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, life-support devices or systems, other medical devices or systems (including resuscitation equipment and surgical implants), pollution control or hazardous substances management, or other uses where the failure of the device or Product could cause personal injury, death, property or environmental damage ("Unintended Uses"). Customers shall take any and all actions to ensure using and selling the Products in accordance with the applicable laws and regulations. The Company is not liable, in whole or in part, and customers shall and hereby do release the Company as well as its suppliers and/or distributors from any claim, damage, or other liability arising from or related to all Unintended Uses of the Products. Customers shall indemnify and hold the Company as well as its suppliers and/or distributors harmless from and against all claims, costs, damages, and other liabilities, including claims for personal injury or death, arising from or related to any Unintended Uses of the Products.

Information in this document is provided solely in connection with the Products. The Company reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements to this document and Products and services described herein at any time, without notice.