君正® X2000 硬件开发手册

版本： 1.3
日期： 2022 年 03 月

北京君正集成电路股份有限公司
Ingenic Semiconductor Co., Ltd.

君正 X2000 硬件开发手册

硬件手册

Copyright © Ingenic Semiconductor Co. Ltd 2022. All rights reserved.

Release history

Date	Revision	Change
2022.03	1.3	1 ，补充 2.4 章节 GPIO 使用策略注意事项
2022.02	1.2	1 ，补充描述
2021.07	1.1	1 ，修正一些错误描述
2021.05	1.0.1	1 ，修正一些错误描述
2021.04	1.0	1 ，第一版

Disclaimer

This documentation is provided for use with Ingenic products. No license to Ingenic property rights is granted. Ingenic assumes no liability， provides no warranty either expressed or implied relating to the usage， or intellectual property right infringement except as provided for by Ingenic Terms and Conditions of Sale.

Ingenic products are not designed for and should not be used in any medical or life sustaining or supporting equipment.

All information in this document should be treated as preliminary. Ingenic may make changes to this document without notice. Anyone relying on this documentation should contact Ingenic for the current documentation and errata.

北京君正集成电路股份有限公司

地址：北京市海淀区西北旺东路10号院东区14号楼 君正大厦
邮编：**100193**
电话：**86-10-56345000**
传真：**86-10-56345001**
网址：**Http： //www.ingenic.com**

目录

1 概述 1
1.1 缩写含义 1
1.2 X2000 的系统结构图 2
1.3 X2000 技术指标 2
1.4 主要应用场景 2
2 硬件设计检查项 3
2.1 最小系统 3
2.1.1 电源设计 3
2.1.2 时钟设计 6
2.1.3 看门狗和复位 6
2.1.4 系统启动与安全 7
2.1.5 片上内存 DDR 7
2.2 外设接口 8
2.2.1 以太网 8
2.2.2 显示 9
2.2.3 摄像头 camera 10
2.2.4 USB OTG 11
2.2.5 音频 13
2.2.6 外部存储器 15
2.2.7 WIFI 和蓝牙 17
2.3 PCB 设计 18
2.3.1 PCB 布局建议 18
2.3.2 PCB 叠层和阻抗要求 19
2.3.2.1 PCB 叠层 19
2.3.2.2 阻抗要求 19
2.3.3 电源布局布线建议 19
2.3.4 时钟布局布线建议 20
2.3.5 X2000 到 PHY 间 RGMII 走线建议 21
2.3.6 MIPI 信走线建议 21
2.3.7 模拟信号走线建议 21
2.4 GPIO 使用策略 21
3 用户常见问题自检及解决 23
3.1 常见问题 23
3.1.1 用户设计的开发板出现 PWRON 掉电导致整板无法上电 23
3.1.2 用户设计的开发板 USB 不能被 PC 识别 23
3.1.3 用户设计的开发板不能进入烧录 24

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

1 概述

X2000 硬件开发手册是用于帮助用户快速掌握基于君正 X2000 的开发设计，手册按 X2000 功能模块划分设计要点，且对接口提供参考设计，帮助用户开发自己的功能模块。手册还为用户提供 X2000 设计的必须检查项以及布板布线规则。确保用户首次开发的原型机能成功启动，减少软硬件开发的风险和缩短产品上市的时间。

君正团队提供完整的 X2000 软件开发工具包，和面向消费电子应用的操作系统及相应的开发环境。系统有更快的启动速度和更高的可靠性。

本文帮助用户快速入门并利用已有的软硬件资源开发出自己的产品来。您的参与和建议是对我们最大的鼓励和支持。

X2000 是君正推出的一款高性能、高集成度的综合应用处理器产品，采用 XBurst® 2 逻辑双核 1.2GHz 主频，加 XBurst® 小核 240MHz 主频的构架 X2000，低功耗，主要面向智能物联网和数据控制领域。集成了大量的系统设备，包括 LPDDR3（片内集成 128MB SIP LPDDR3），片内集成高性能 Audio Codec，LCD 控制器，Camera 传感器接口，SSI 控制器，SD/MMC 控制器，I2C 控制器等，支持 USB OTG，UART 接口，支持 OTP，并拥有多个可灵活配置的 GPIO 接口。

1.1 缩写含义

- RMII：Reduced Media Independent Interface 用于传输以太网包
- RGMII：Reduced Gigabit Media Independent Interface 用于传输以太网包
- EMMC：Embedded Multi-Media Card
- SDIO：Secure Digital Input and Output
- OTG：On The Go
- PCM：Pulse Code Modulation
- Quad SPI：Quad Serial Peripheral Interface
- Octal SPI：Octal Serial Peripheral Interface
- I2C： Inter-Integrated Circuit
- UART： Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
- SPDIF：Sony/Philips Digital Interface
- I2S： Inter-IC Sound
- DMIC：Digital Micro Phone
- MIPI：Mobile Industry Processor Interface
- MIPI CSI： MIPI Camera Serial interface
- MIPI DSI： MIPI Display Serial interface
- CIM： Camera Interface Module

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

1.2 X2000 的系统结构图

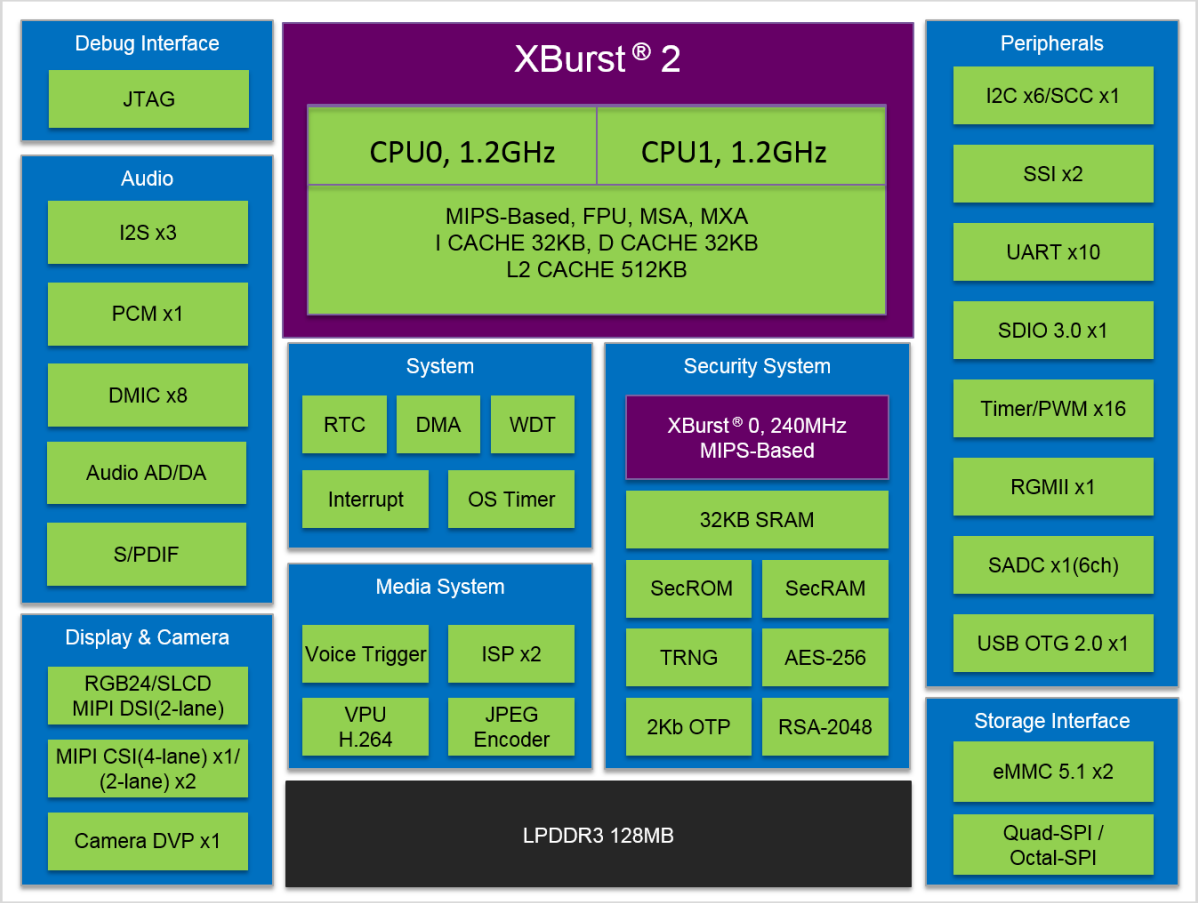

图 1.2.1 X2000 系统结构图

1.3 X2000 技术指标

X2000 是北京君正公司推出的新一代 SoC 产品。该产品有诸多亮点，比如 XBurst® 2 的首次亮相、XBurst® 2 逻辑双核+ XBurst® 0 的三核异构布局、符合 IEEE1588-2002 标准的千兆网口、三个摄像头接入能力、君正低功耗技术的继承和发展等。

X2000 内部除了专用的处理器如 VPU、ISP 以外，其微处理器由 XBurst® 2 和 XBurst0 组成。XBurst® 2 额定工作频率为 1.2GHz，基于 32-bit MIPS32 ISA R5 和 MIPS SIMD 指令集架构(MSA128)。扩展了 Ingenic 128bit SIMD 指令集(MXA128)。基于同步多线程技术(Simultaneous Multi Threading)的逻辑双核，与双物理核相比，双核协同性更强，能效比更高。具有 32KB L1 Instruction Cache、 32KB Data Cache 和 512KB L2 Cache；Floating Point Unit 和 Programmable Memory Management Unit。高级能耗管理，硬件级闲置硬件模块时钟和电源关闭技术。

1.4 主要应用场景

- 智能语音：智能音箱，玩具等
- 图像识别：二维码、条形码扫描设备，人脸识别设备，指纹识别等生物识别。
- 智能家居：智能空调，智能冰箱，智能洗衣等
- 智能办公：云打印机，DTU（Data Transfer Units）

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2 硬件设计检查项

2.1 最小系统

2.1.1 电源设计

X2000 对系统供电电源和复位信号有一定的时序要求，因此系统电源和复位信号的设计必须符合一定的上电时序和稳态原则，以确保处理器实现可靠的工作。与这些时序存在偏差可能导致以下情况：

- 在 GPIO 的电源上电时 IO 不处于 HIZ 状态；
- 系统无法启动；
- 上电过程冲击电流大。

VDDIORTC：VDDIORTC

VDDRTC：VDDRTC

VDDIO18：其他所有 1.8V 电源，包括：VDDIO、VDDIO18、PLLAVDD、VDDIO18_CIM、CSI_AVD18、DSI_AVD18、USB_AVD18、CODEC_AVDD、SADC_AVDD、DDRPLL 和 DDR_VDD1

VMEM：VDDMEM

VDDIO33：全部 3.3V 电源，包括：VDDIO33、VDDIO33_CIM、VDDIO33_SD 和 AVDUSB33

VDD：其他所有 0.9V 电源，包括：VDD、PLLVDD、DSI_AVD09、CSI_AVD09 和 USB_AVD09

AVDEFUSE：AVDEFUSE

表 2.1.1 上电时序参数

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
t_{D_VDDRTC}	Delay between VDDIORTC arriving 50% to VDDRTC arriving 90%[1]	0	–	ms
$t_{D_VDDIO18}$	Delay between VDDIORTC arriving 50% to VDDIO18 arriving 50%[1]	0	–	ms
t_{D_VMEM}	Delay between VDDIO18 arriving 90% to VMEM to be turned on	0	–	ms
$t_{D_VDDIO33}$	Delay between VDDIO18 arriving 90% to VDDIO33 to be turned on	20	–	us
t_{D_VDD}	Delay between VDDIO18 arriving 50% to VDD arriving 90%[1]	0	–	ms
$t_{D_PPRST_}$	Delay between all power rails get stable and power-on reset PPRST_ de-asserted[2]	TBD[3]	–	ms[2]
$t_{D_AVDEFUSE}$	Delay between PPRST_ finished and E-fuse programming power apply	0	–	ms
$t_{H_AVDEFUSE}$	E-fuse programming time	–	200	ms

NOTES：

1 The power rails have a same skew.

2 The PPRST_ must be kept at least 1ms. If mechanical jitter of keys is toke into account, 10ms is recommended.

3 It must make sure the EXCLK is stable and all power supplies (except AVDEFUSE) is stable.

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

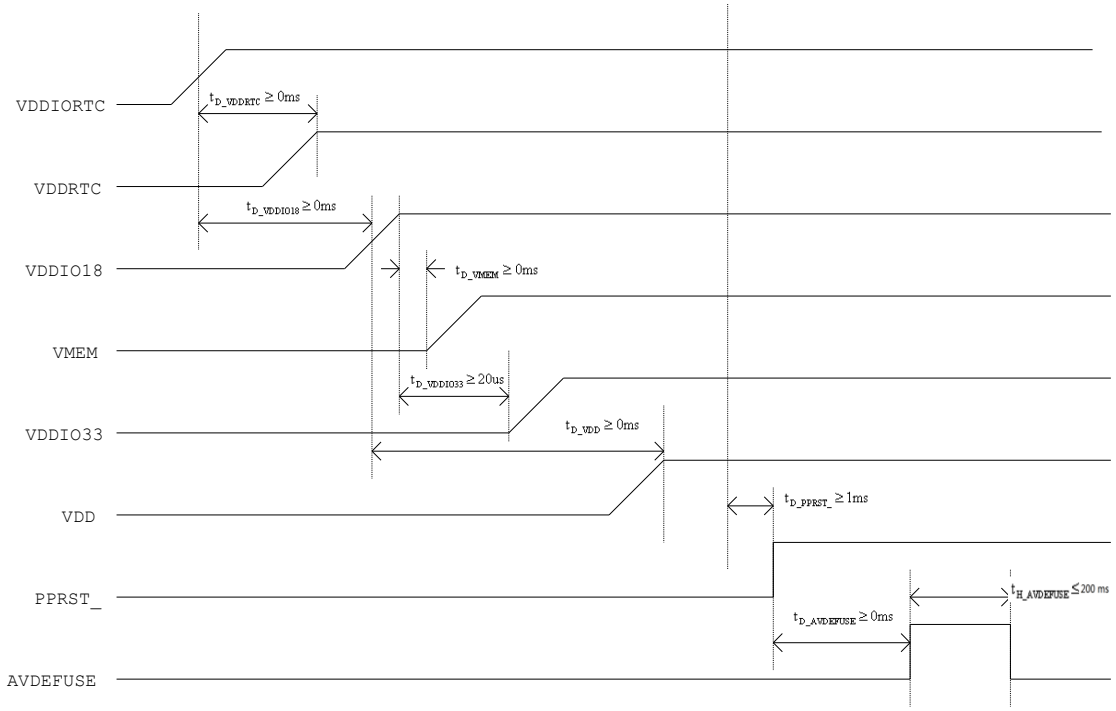

图 2.1.1 X2000 上电时序

X2000 的开发者可以根据以下的 3 原则检查电源设计的上电时序是否正确：

1. VDDIORTC（1.8V）早于 VDDRTC（0.9V）。
2. VDDIO18 早于电源 VDD 以及 VDDIO33。当不需要 RTC 电源独立存在时，可将 VDDIORTC（1.8V）和 VDDIO18 合为 1 路电源，VDDRTC（0.9V）与 VDD 合为一路电源。
3. DDR_VDD1（1.8V）早于 VMEM。当 X2000 应用设计的电源管理需要支持 deep sleep（或者叫 fast boot）时，DDR_VDD1（1.8V）不再属于 VDDIO18，DDR_VDD1 可以与 VDDIORTC（1.8V）合为 1 路电源

下图是 X2000 典型的上电时序设计参考示例，设计兼容支持 2 种休眠省电方案电路设计，hibernate 状态和 deep_sleep 状态（一些文档和设计中 deep_sleep 也叫做 fast boot）区别在于 DDR 的两路电 DDR_VDD1 和 VMEM 是否上电。

方案 1：X2000 进入 hibernate 状态，X2000 输出 PWRON 由高转为低，除 RTC 以外其余电源下电，通过 wake up 按键唤醒。

方案 1 的实现：R143 不上件，R144 上件。如图 2.1.2 供电结构：电源由接口 J34 输入，经过压过流保护芯片 U10 后，作为系统总电源 VSYS，供电给 U7 输出 VDDIORTC，VDDIORTC 再供电给 U6 输出 VDDRTC。一旦 X2000 的 RTC 上电，就会输出 PWRON 为高使能 PMIC U11 的 DCDC3 输出 1V8P，1V8P 再去使能其他 DCDC 输出 1V2P，3V3P 和 0V9P 给 X2000 供电。

方案 2：X2000 进入 deep sleep 状态，X2000 输出 PWRON 由高转为低，RTC 和 DDR 有电，但其他电源下电。同样也是通过 wake up 按键唤醒。但相较于 hibernate，X2000 可以从 deep sleep 下更快速恢复系统，启动速度可以小于 1s。

方案 2 的实现：R143 上件，R144 不上件。电源由接口 J34 输入，经过压过流保护芯片 U10 后，作为系统总电源 VSYS，供电给 U7 输出 VDDIORTC，VDDIORTC 再供电给 U6 输出 VDDRTC，同时

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

VDDIORTC 还供电给 DDR_VDD1 供电，继而使能 PMIC DCDC2 输出 1V2P 给 VDDMEM 供电。而 X2000 的 RTC 上电后，会输出 PWRON 为高去使能 PMIC U11 的 DCDC3 输出 1V8P，1V8P 再去使能其他 DCDC 输出 3V3P 和 0V9P 给 X2000 供电。

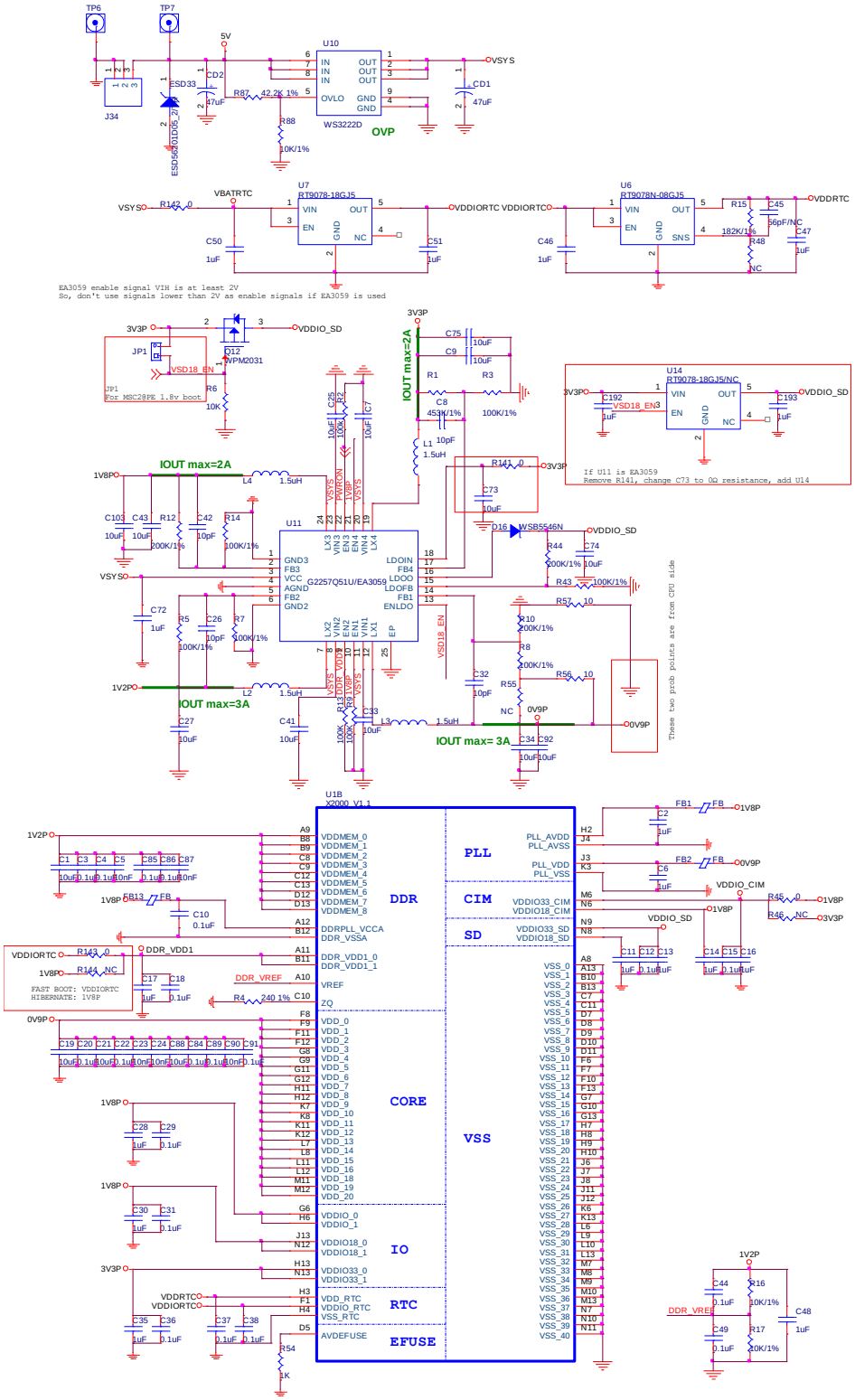

图 2.1.2 X2000 分立电源参考设计

X2000 硬件开发手册， Revision 1.3
Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.1.2 时钟设计

X2000 需要 24MHz 的工作主时钟，芯片内部带有振荡电路，可以支持外接 24MHz 晶体，要求晶体频偏不超过 20ppm，内阻小于 40Ω，设计者可以根据条件选择晶体后，结合晶体的负载电容，再按照下图 2.1.3 参考电路调整电容和电阻进行匹配。或用供电 1.8V 的晶体输出 24MHz±20ppm 的时钟源到 J1 管脚 EXCLK_XI，J2 悬空。

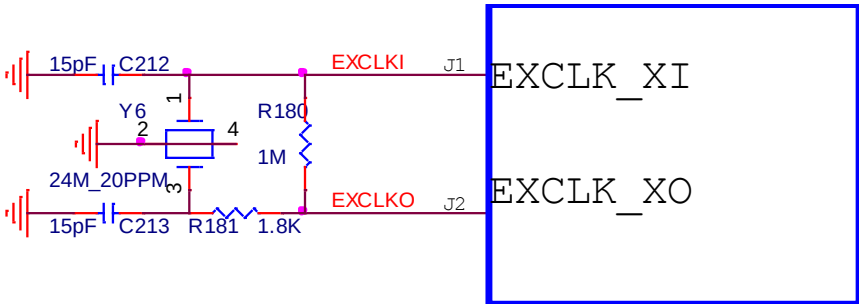

图 2.1.3 X2000 工作时钟参考设计

X2000 还支持 RTC 振荡电路，同样芯片内部带有振荡电路，可以支持外接 32.768KHz 晶体，需外接跨接电阻 10M 欧姆如下图 2.1.4，否则不起振。设计者可以根据选择晶体的负载电容，按照下图参考电路调整电容和电阻进行匹配。或者使用 32.768KHz 独立时钟源接到 G2 管脚 OSC32_XI，G1 脚悬空。去除外接 RTC 时钟源电路不影响系统启动，设计者可以根据是否需求精准的 RTC 时钟自行设计。但如果用户使用 X2000 的 E2 管脚 RTC32K，则必须外接 RTC 晶体或者 32K 时钟源。

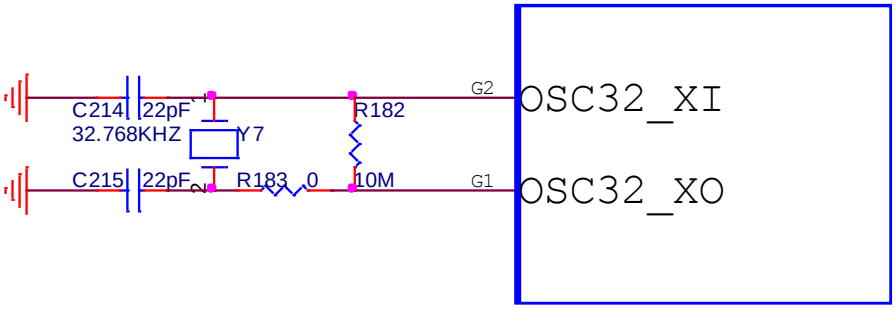

图 2.1.4 X2000 RTC 时钟参考设计

2.1.3 看门狗和复位

X2000 支持内部看门狗，对于需要外部硬件看门狗和复位的电路参考设计如下图 2.1.5，注意选择器件时的电平匹配，选择支持 OD 输出的复位芯片

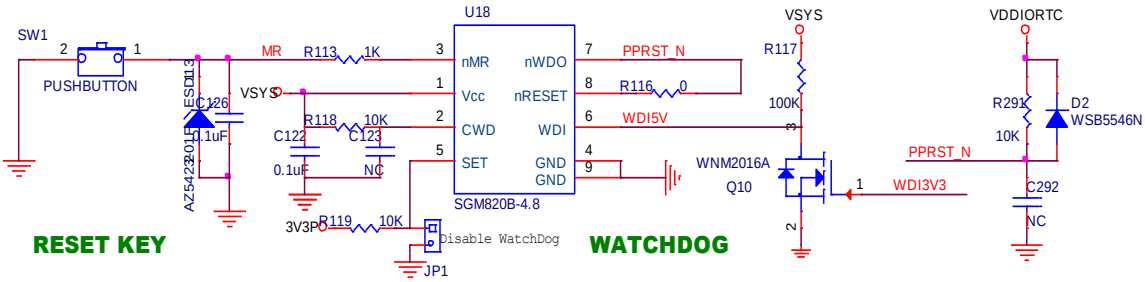

图 2.1.5 看门狗电路参考设计

X2000 硬件开发手册， Revision 1.3
Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.1.4 系统启动与安全

X2000 使用 3 个功能管脚做启动方式配置引脚，X2000 内部有个 Boot ROM，里面的引导程序会在芯片复位后会读取 boot_sel[2：0]值来选择何种启动方式。X2000 支持多种启动方式如下表 2.1.1 表 2.1.2，其中 USB 启动方式就是指烧录，君正为使用者提供了 USBcloner 烧录工具，可以安装在 Windows XP，Windows 7，Windows 8，Ubuntu12.04 等多种系统下，用户只需要使用 USB 线与 PC 相连就可以烧录。更多关于烧录及安全启动细节请参考官网指导手册。

表 2.1.2 启动方式配置列表

boot_sel[2]	boot_sel[1]	boot_sel[0]	Boot configuration
0	0	0	SFC0@PE 3.3v
0	0	1	MSC2@PE 3.3v
X	1	0	USB
0	1	1	Nor flash
1	0	0	SFC0@PD 1.8v
1	0	1	MSC0@PD 1.8v
1	1	1	MSC2@PE 1.8v

X： "Don't Care"

请注意在 GPIO 资源充足时，尽量不要使用这 3 个管脚做其他功能使用。

X2000 支持安全启动，如果芯片的 OTP EFUSE 中使能了安全启动，X2000 就会进入安全启动流程，需要 NKU 和 user's key 才能启动。NKU 和 user's key 是用户通过 USBCloner 烧录进去的。所以 OTP EFUSE 有两种模式，一种是烧写，一种是读。AVDEFUSE 接地时是读模式，当烧写 OTP EFUSE 的时候需要通过软件供电 1.8V±5%，且供电时间最长不能超过 200ms。控制供电的电路如下图 2.1.6。

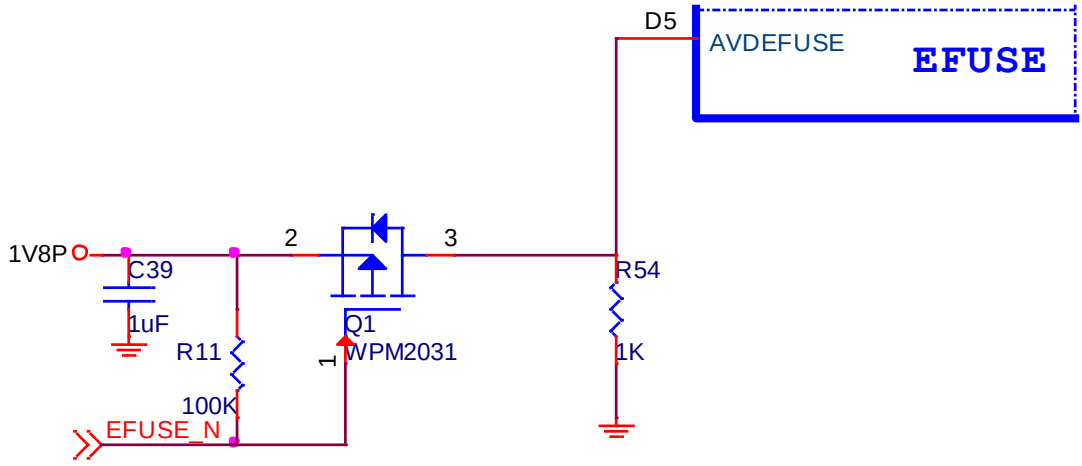

图 2.1.6 OTG EFUSE 控制电路。

2.1.5 片上内存 DDR

X2000 内部封了一颗 128Mbytes 的 LPDDR3，所以 X2000 的 C10 管脚 ZQ 需要外接 240Ω 1% 的电阻，要求 VREF 电压为二分之一的 VMEM，变化范围不可超过 VREFDC 值的±2%。参考设计如图 2.1.2。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.2 外设接口

2.2.1 以太网

X2000 处理器集成了千兆以太网 GMAC 控制器，支持传输速度为 10/100/1000 Mbps，支持 RMII 和 RGMII 两种传输接口，支持 10/100/1000 Mbps 全双工和可配置的半双工操作。以 X2000 搭配千兆以太网 PHY 芯片的参考原理图如图 2.2.1 所示。

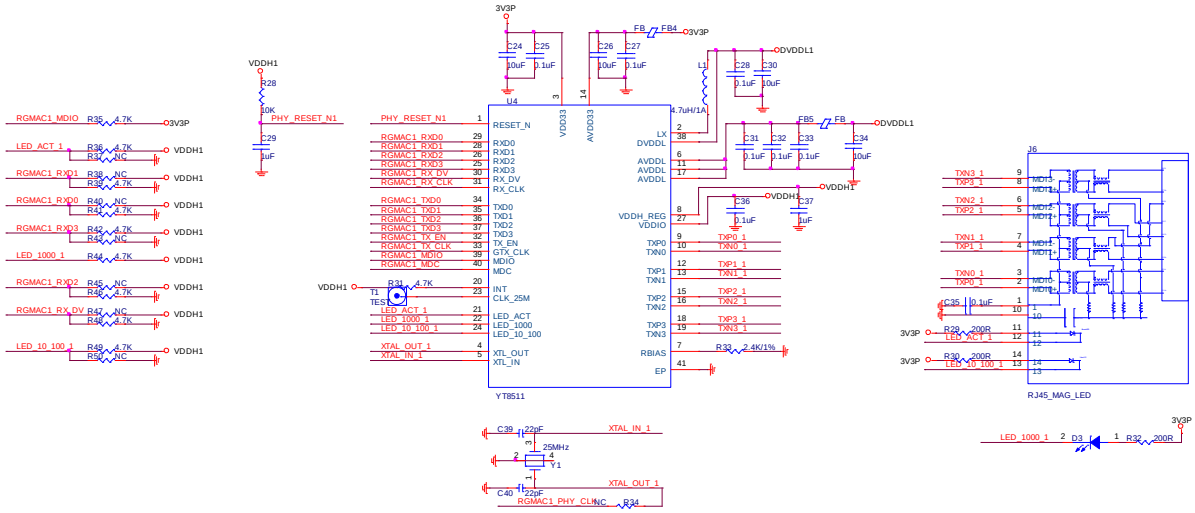

图 2.2.1 千兆以太网收发电路

如图所示设计采用裕泰微电子的一款千兆以太网 PHY 芯片型号 YT8511，控制器和 PHY 芯片之间通过 RMII 或 RGMII 接口进行通信。在使用 RGMII 接口进行通信时，图中设计 PHY 芯片工作时钟可以由晶体和电容搭建时钟振荡电路，也可以用 X2000 的 RGMAC1_PHY_CLK 引脚配置出 25MHz 作为 PHY 芯片的工作时钟。

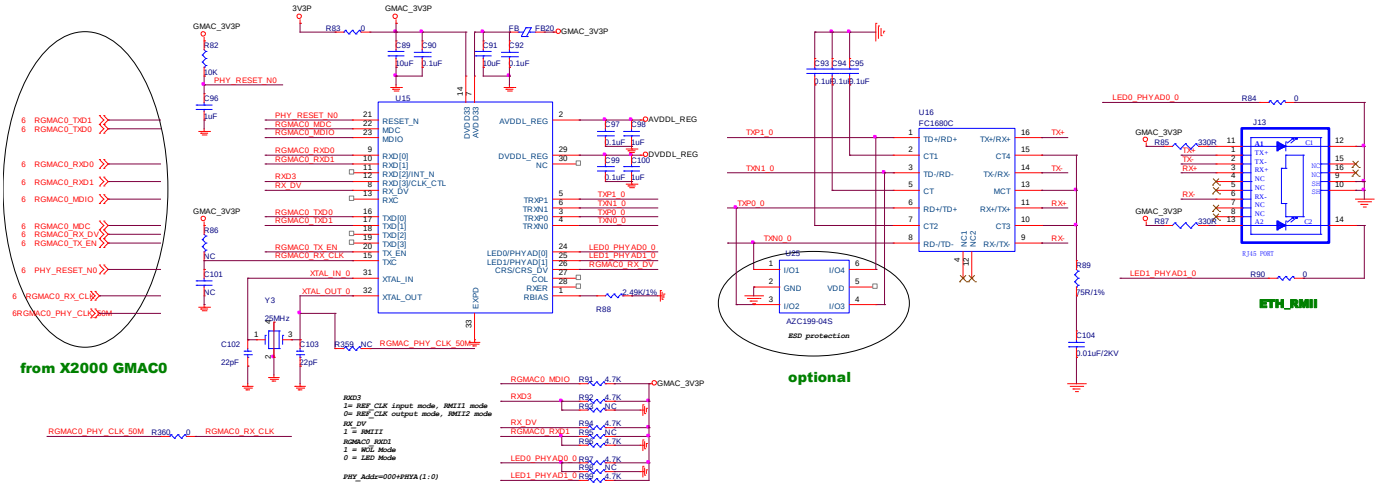

图 2.2.2 百兆以太网收发电路

如图 2.2.2 所示当设计采用一款百兆以太网 PHY 芯片时，RGMAC0_RX_CLK 作为控制器和 PHY 芯片数据通信的参考时钟，使用 RMII 进行通信。在使用 RMII 接口进行通信时，X2000 的 RGMAC0_PHY_CLK50M 可以配置出 50MHz 时钟作为控制器和 PHY 芯片间数据传输的参考时钟 RGMAC0_RX_CLK，也可以用 X2000 的 RGMAC0_PHY_CLK 引脚提供的 50MHz 时钟作为 PHY 芯片的工作时钟。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.2.2 显示

X2000 处理器集成了 SMART LCD 接口、RGB 接口以及 MIPI-DSI 接口，SMART LCD 支持 8/9/16bit，显示尺寸可达 640x480@60Hz；RGB 支持 16/18/24bit，支持 ARGB8888、ARGB1555、RGB888、RGB565、RGB555、YUV422 和 YUV420 输入格式，显示尺寸可达 1280x720@60Hz；MIPI-DSI 接口支持 1-lane/2-lane MIPI，显示尺寸可达 1920x1080@40Hz，24bbp。X2000 开发板 Halley5 采用 2-lane MIPI 的 OLED 屏显示，参考电路如图 2.2.3 MIPI 显示接口所示，屏幕接口采用 40pin 的 FPC 接口。其中 MIPI 的数据线和时钟线 PCB 设计时需要进行 100 欧姆差分阻抗匹配。

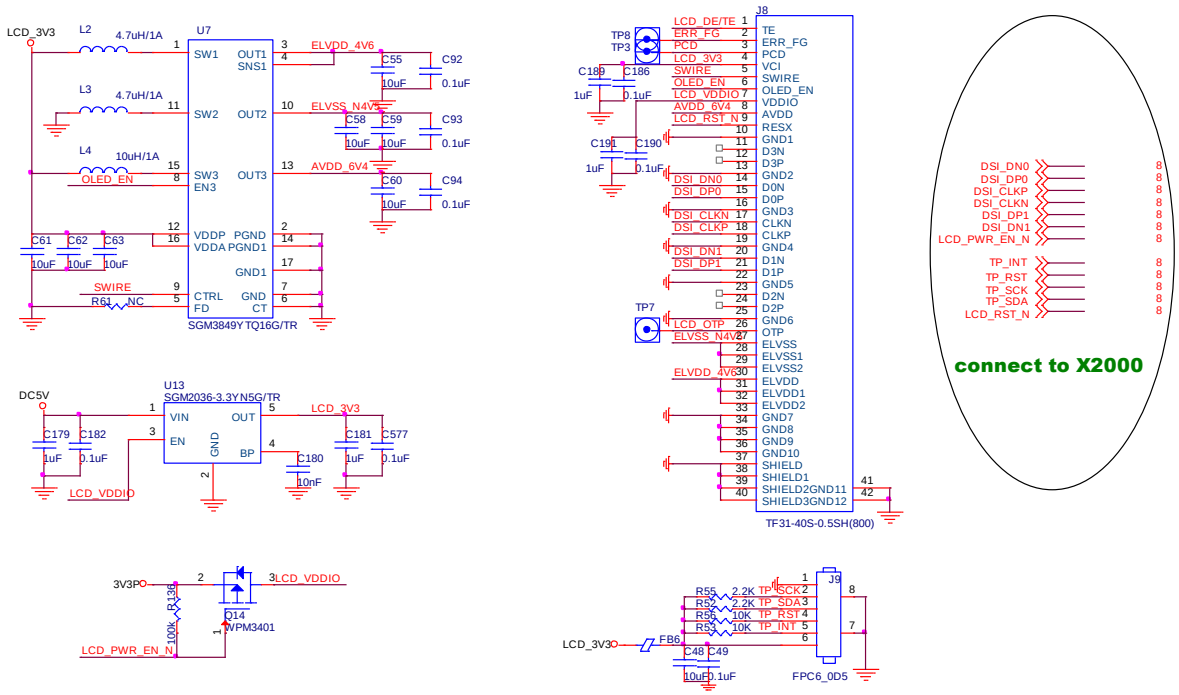

图 2.2.3 MIPI 显示接口

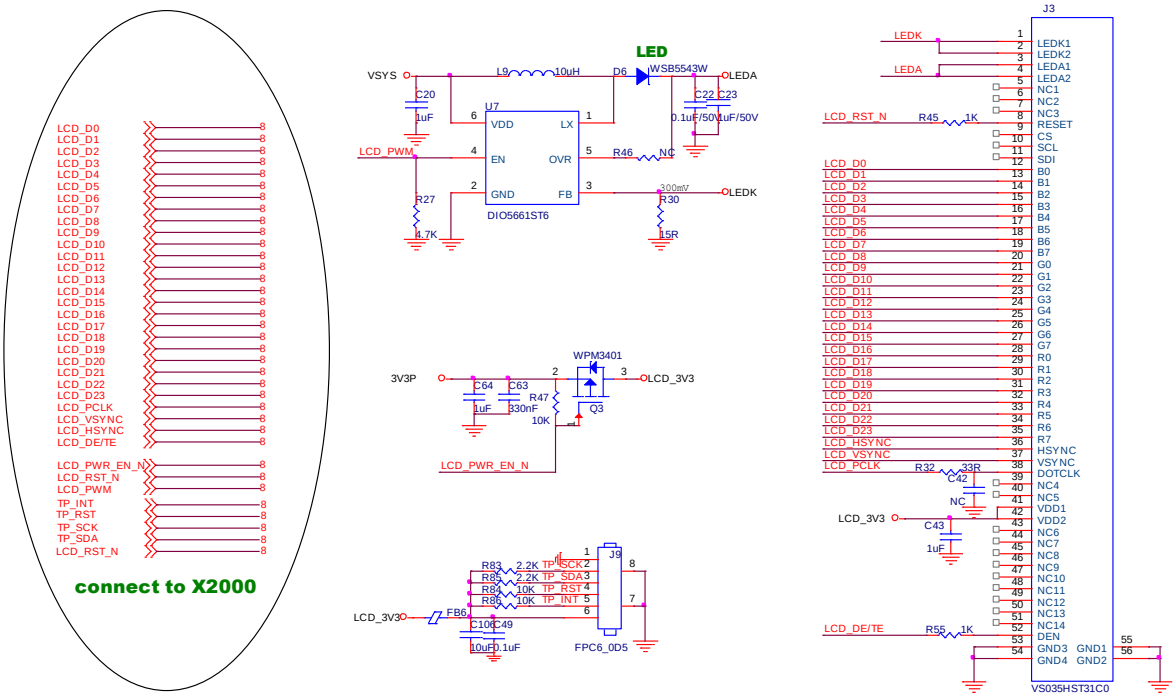

图 2.2.4 RGB 显示接口

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.2.3 摄像头 camera

X2000 处理片上集成了 CIM（camera interface module）和 VIC（Video Interface Control）。CIM 支持 8 bits DVP 和 MIPI CSI（1 / 2-lane）数据格式 ITU656， YCbCr 4：2：2， RGB888， RGB565 和 MONO8 ，分辨率可达到 1080P@30fps。CIM 还支持 Snapshot 和曝光控制。

VIC 支持 raw8 / 10 / 12 / YUV422 （Serial 8bit）数据格式的 DVP 数据，分辨率可达到 1080P@30fps。VIC 还支持 RAW8， RAW10， RAW12（1 / 2 / 4-lane）数据格式的 MIPI 数据，分辨率可达到 1080P@120fps。VIC 支持 2 个 ISP（Image Signal Processors），可以支持双摄同步，2 维降噪滤波器，还支持自动曝光和自动白平衡，去马赛克，色彩渲染，锐化等等功能

X2000 可以支持单摄像头，双摄像头，3 摄像头应用。例如 X2000 开发板 Halley5 支持 3 个摄像头的接口如图 2.2.5，另外因为 X2000 有 2 个 ISP，可以有 2 个摄像头的数据经过 ISP 处理。接单摄像头应用时可以支持 8 / 10 / 12bit DVP 或者 1 / 2 / 4-lane MIPI 如图 2.2.7。双摄像头时可以支持 8 / 10 / 12-bit DVP + 1 / 2 / 4-lane MIPI 如图 2.2.6，或者 dual 2-lane MIPI，但需要注意如果双摄 DVP + MIPI 使用 ISP 的话 MIPI 摄像头需要接 clock1， lane2， lane3。

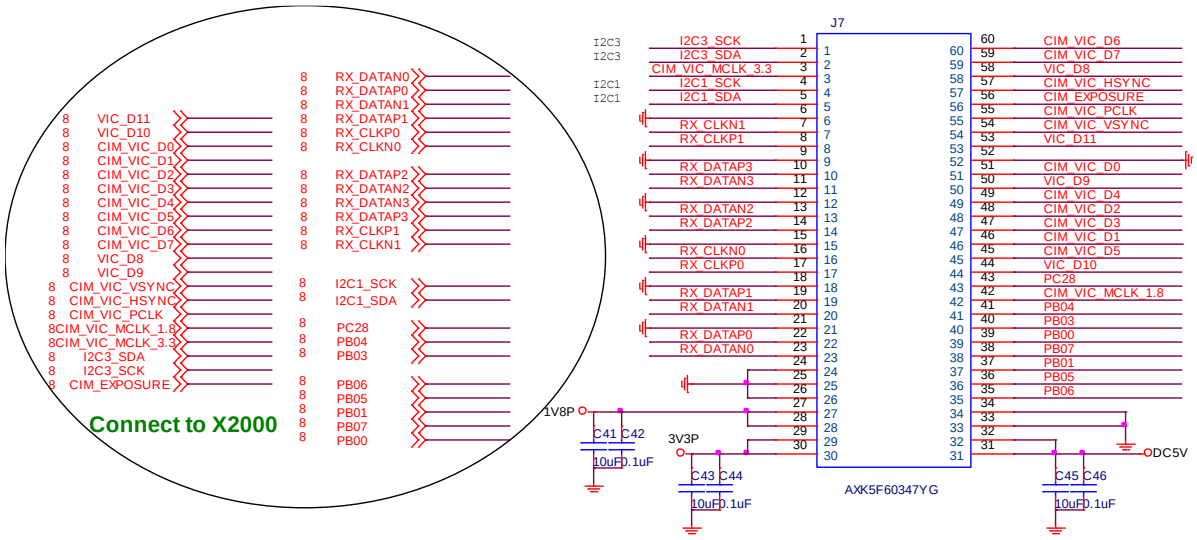

图 2.2.5 三摄像头 DVP+双 MIPI

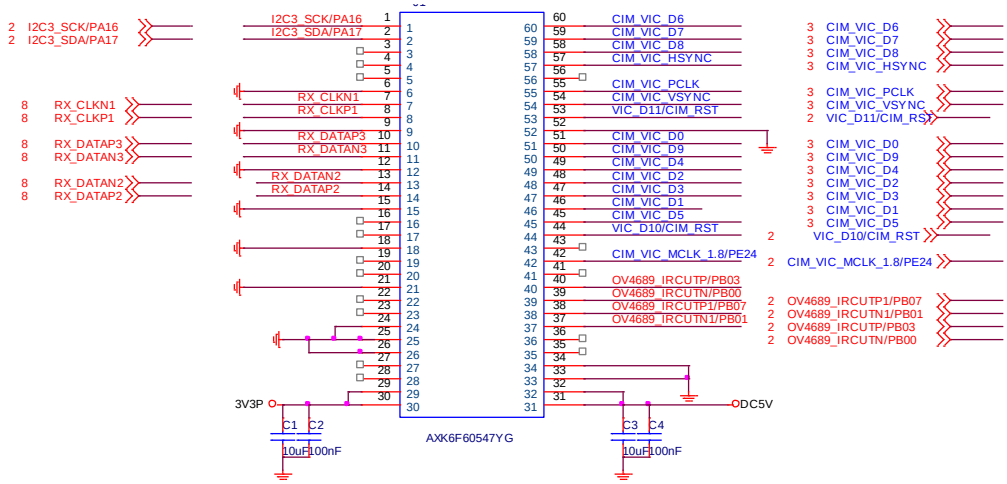

图 2.2.6 双摄像头 10-bit DVP+2-lane MIPI

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

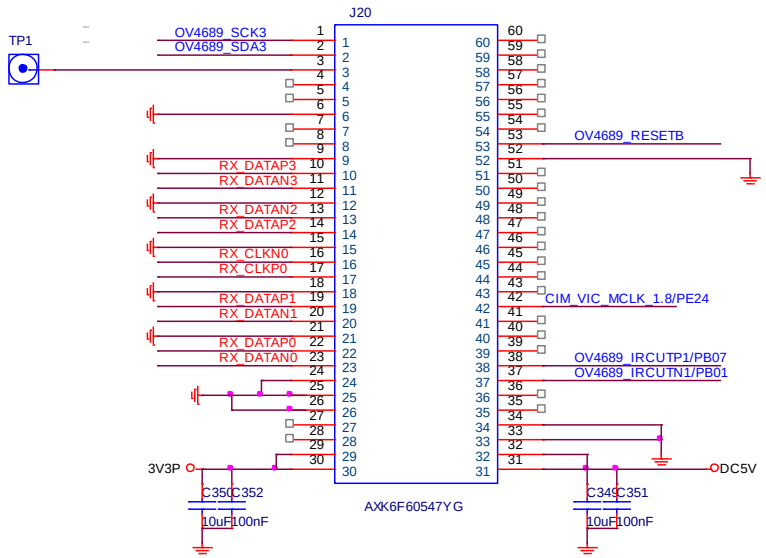

图 2.2.7 单摄像头 4-lane MIPI 接口 CAMERA

2.2.4 USB OTG

X2000 拥有一个可以支持 OTG、host、device 的 USB2.0 接口。如下图 2.2.8 所示包含了 OTG_DM，OTG_DP ，USB_VBUS，USB_ID 等，当 X2000 做 OTG 功能时，USB_ID 悬空或通过电阻上拉到 1V8P 时，X2000 是 OTG 的从设备。当 USB_ID 接地（要求对地阻抗<10Ω）时，X2000 动态切换为 OTG 主设备，同时 USB_VBUS 管脚监测对 USB 外设供电的电源电压，VBUS 电压范围要求 5.25V~4.75V。若 USB_VBUS 检测到外设因电流异常导致拉低接口 VBUS 电压低于 4.6V，X2000 的 OTG 功能会自动关闭。但值得注意的是 X2000 的 USB_VBUS 管脚耐压 3V，不能直接接到 VBUS 上，需对接口的 VBUS 进行 3/5 分压后接入 X2000，如下图 2.2.8

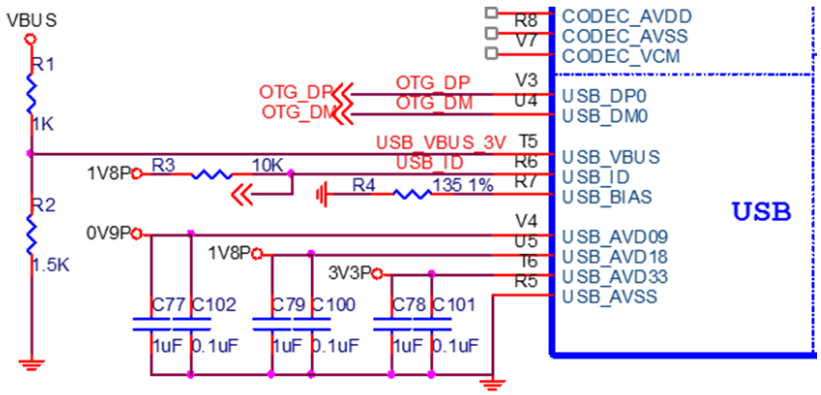

图 2.2.8 X2000 USB 接口

X2000 的 USB 接口，既可用于烧录程序和 debug，亦可用于拓展 USB 设备。如下图 2.2.9 一个 4G 模块应用场景的电路，X2000 的 OTG_DM 和 OTG_DP 接入一个 USB SWITCH 作 host 和 device 切换，默认配置 USB 为 host，并且 host 接口下挂一个 HUB 芯片 XR22404，拓展包括 4G 模块等多个 USB 设备接口；但当 USB 烧录口 J17 插入线缆从 PC 机下载程序时，开关自动切到 device，可以配合烧录按键进入烧录模式，也可以结合软件配置检测 USB_ID 或 DEVICE_EN 让 X2000 做 device 用于 adb 调试。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

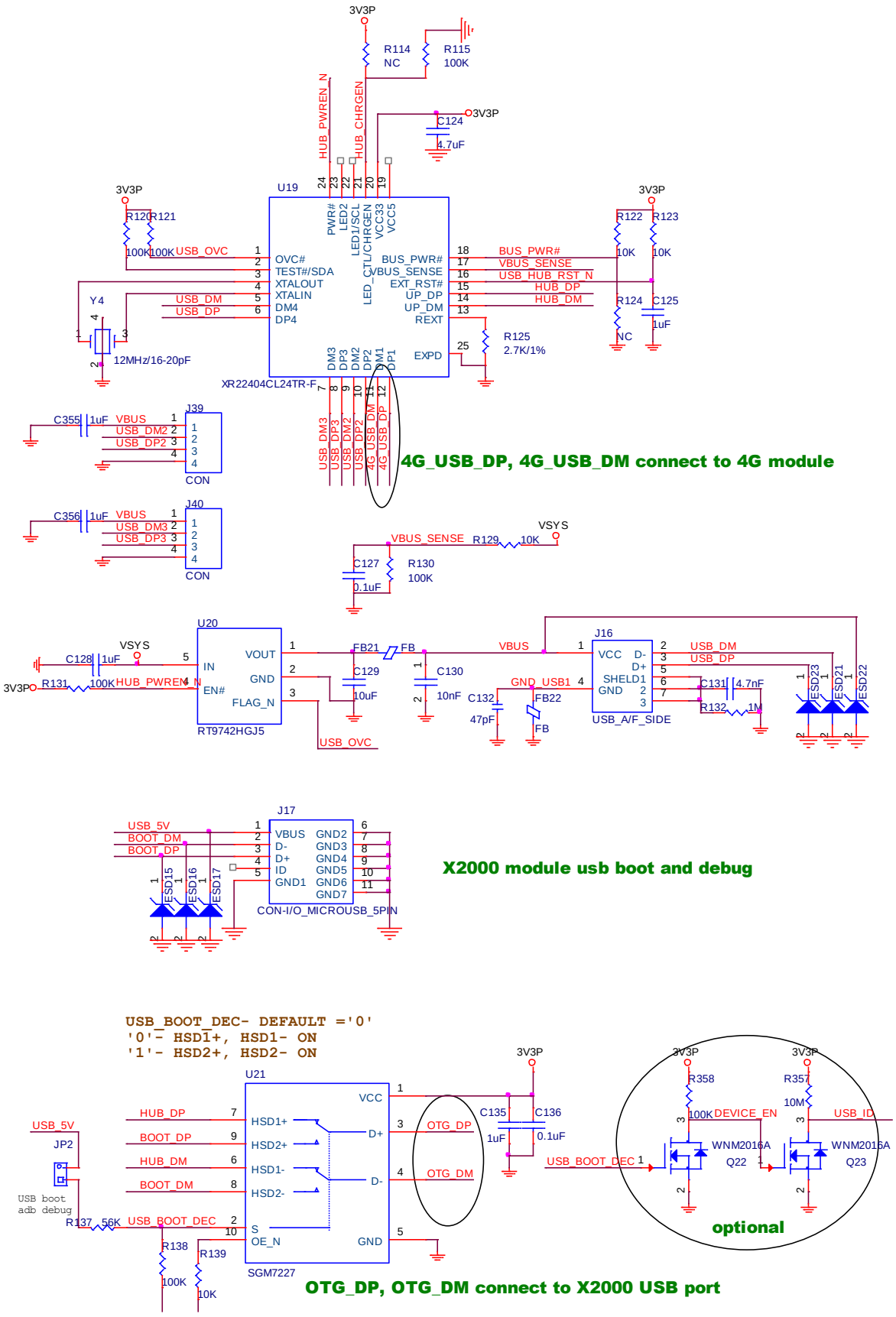

图 2.2.9 X2000 USB 应用电路

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.2.5 音频

X2000 拥有丰富的音频接口资源，可以支持 4 路数字麦克风通道，SPDIF 输入接口和输出接口，PCM，以及内部 codec 和 3 路 I2S，其中 I2S0 可以支持异步录放音，I2S1 只支持录音，I2S3 只支持放音。

1. 数字麦克风通道

X2000 的数字麦克通道可以支持 Voice Trigger 将 X2000 从 sleep 状态下唤醒。还可以参考图 2.2.10 示例支持 8 数字麦克风阵列，下图所示是其中一路数字麦克风通道接两个硅麦克风的接法，两个麦克风的 LR 管脚一个接高一个接低，用来区分数字麦克风通道是在 CLK 的上升沿采样还是下降沿采样。

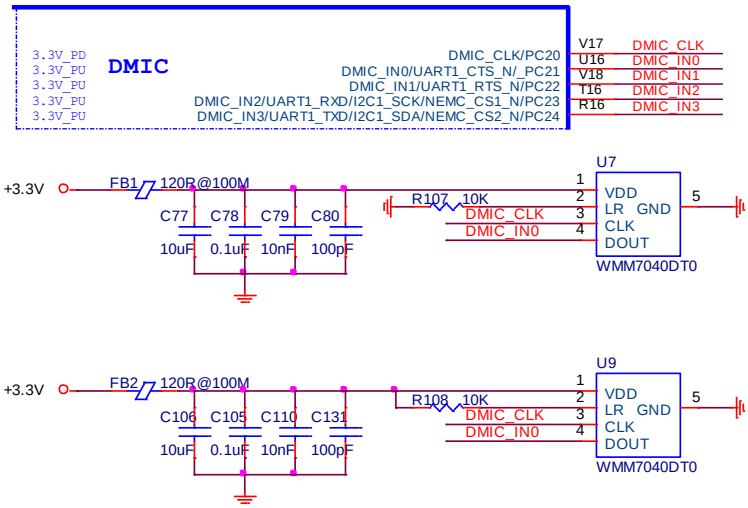

图 2.2.10 X2000 数字麦克风应用电路

2. X2000 支持 SPDIF 输入接口和输出接口，支持 IEC 60958-3。
3. X2000 支持 PCM 音频接口，可做主也可以做从，支持 DSP NORMAL \ LEFT MODE，PCM NORMAL \ LEFT MODE 四种模式，这个接口广泛应用在蓝牙音频传输上。
4. 内部音频 Codec

X2000 集成了高品质音频 Codec，可输出高品质模拟差分音频信号，可外接麦克风进行音频的采集。如下图 2.2.11，CODEC_VCM 需外接 4.7uF 和 0.1uF 滤波电容，保证音频质量。

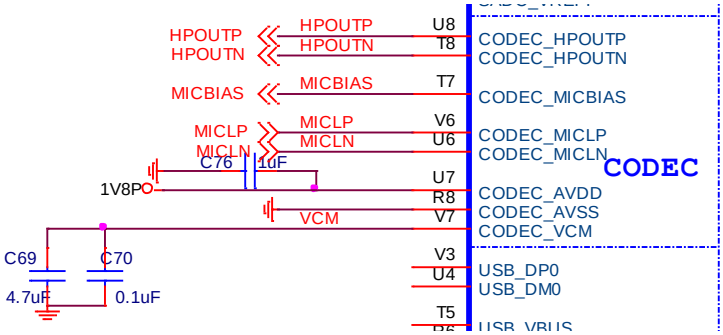

图 2.2.11 X2000 内部 CODEC

a) 模拟 MIC 输入

下图 2.2.12 的电阻的标称值（R491，R119，通常从 2.2kΩ到 4.7KΩ），取决于所选的 EC（驻极体）麦克风。MICBIAS 电压（如果由外部电路供给，0.9V）。

MICBIAS 引脚处的 C285 1nF 去耦电容用于消除芯片的高频噪声。

MICBIAS 的输出电压可调 0.9~1.53V（典型值为 0.9V）。

MICBIAS 输出最大电流为 3mA。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

ESD46 和 ESD47 提供了静电放电保护。

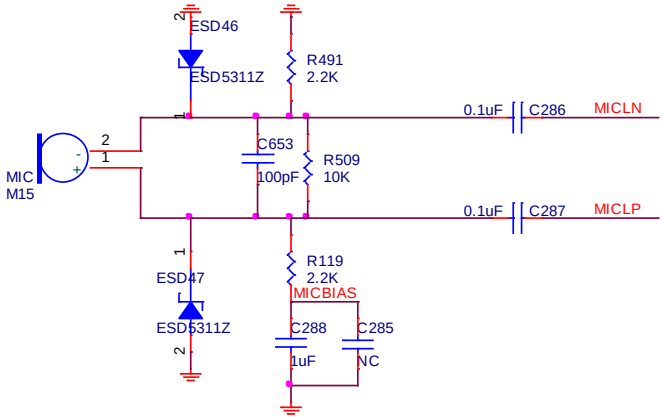

图 2.2.12 X2000 模拟麦克风应用电路

b) 模拟音频输出

HPOUTP/HPOUTN 这两个信号用作模拟音频输出，当用于驱动喇叭时，根据需要外接功放。示例如下图 2.2.13。

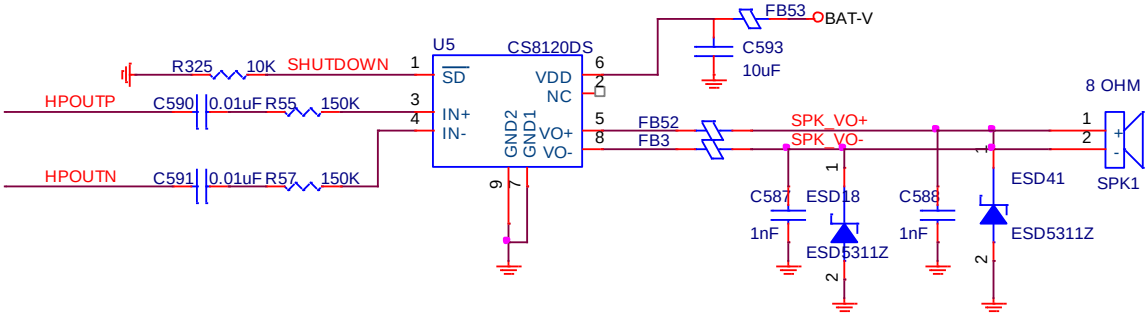

图 2.2.13 X2000 模拟输出应用电路

5. I2S 数字音频接口

若客户需要更好的音质体验，可以通过 I2S 接口扩展更高品质的外部音频 CODEC。

a) X2000 I2S1 支持异步双向传输模式

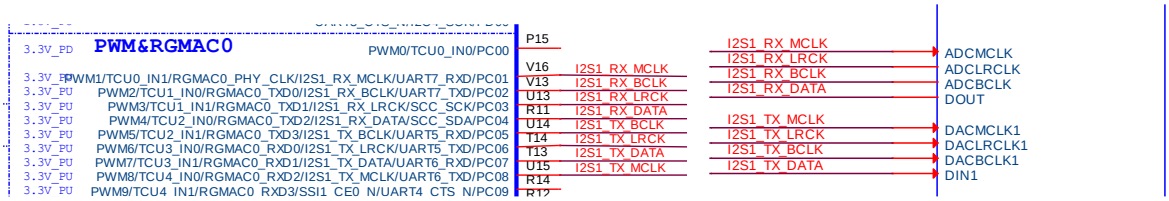

图 2.2.14 X2000 I2S1 接口 split 时钟应用电路示意

b) X2000 I2S1 也支持同步时钟双向传输模式，连接方式如下图

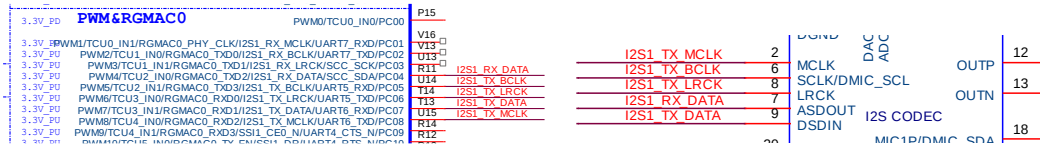

图 2.2.15 X2000 I2S1 接口 share 时钟应用电路示意

c) X2000 I2S2 支持输入模式

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

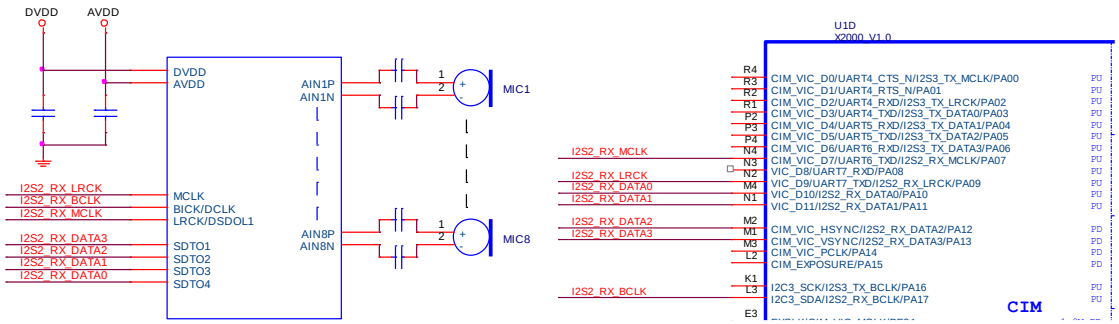

图 2.2.16 X2000 I2S2 接口应用电路示意

d) X2000 I2S3 支持输出模式

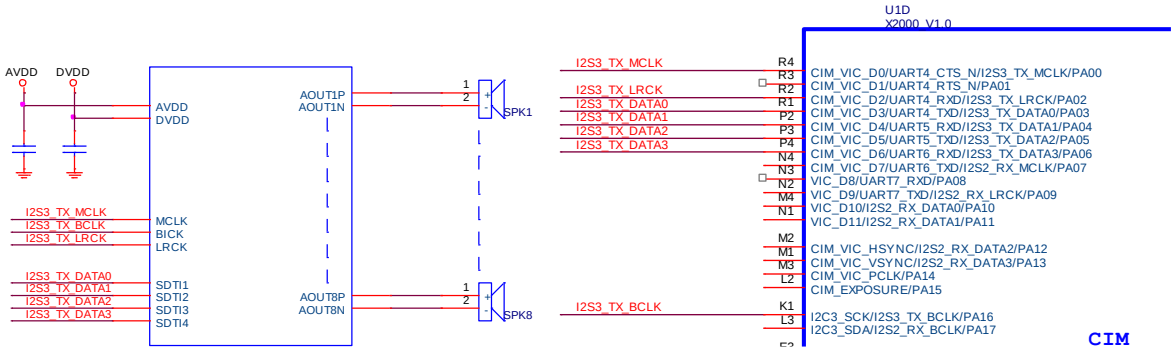

图 2.2.17 X2000 I2S3 接口应用电路示意

2.2.6 外部存储器

X2000 支持外接多种类型存储器，例如 NEMC， 八线或四线 SPI NAND， SPI NOR flash，以及 SD 卡或是 EMMC 存储设备。

1. SPI NAND/NOR Flash

X2000 内部集成 1 个 SFC Controller，支持 1 路八线 SPI 或四线 SPI。根据启动配置表 2.1.2，当 BOOT_SEL[0：2]被配置为 000，复位后 X2000 系统程序将从 3.3V 电平标准的 PE 组 SFC0 接口启动。X2000 开发板 HALLEY5 默认启动代码存储设备为 2Gb SPI NAND Flash，可兼容 SPI NOR FLASH，电路如下图 2.2.18 所示。

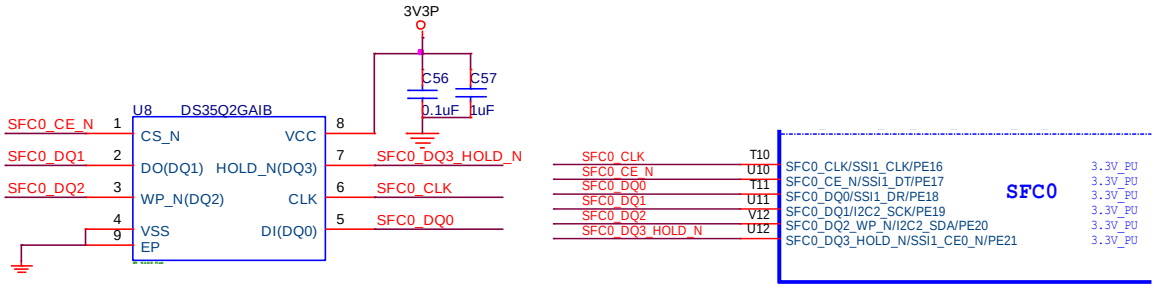

图 2.2.18 SPI FLASH 电路

2. SD/SDIO/EMMC

X2000 处理器内部集成了 3 个 SD/SDIO/EMMC 控制器（MSC0，MSC2，SDIO），均可支持 eMMC5.1 和

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

SD4.0 以及 SDIO3.0 的高速模式，时钟频率可高达 187MHz。其中 SDIO 接口多用于 5G WiFi 接口，而 MSC2 电平电压 1.8V 和 3.3V 可配，适合做高速 TF 卡或 SD 卡的接口。相较于另外两个接口，MSC0 除了支持 1/4bit，还支持 8bit，多用于接高速 eMMC NAND Flash。X2000 开发板 HALLEY5 上连接了 1 组 SD 卡接口，如下图 2.2.19 所示，再结合图 2.1.2，VDDIO_SD 默认 3.3V 在初始化过程中识别出高速卡后动态切换成 1.8V。

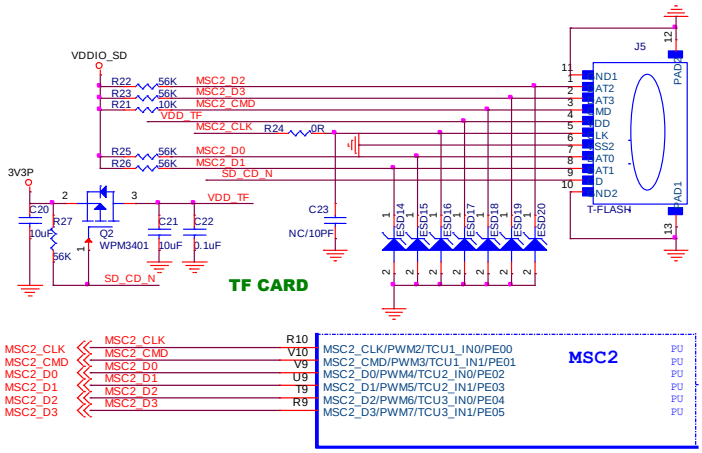

图 2.2.19 SD 卡接口

若是 eMMC 作为启动代码的存储器时，避免出现 eMMC 异常导致系统无法启动，可将 eMMC 的硬件复位与系统复位 PPRST_N 联动，又两个复位信号属于不同的电源域，所以需加两个 MOS 管进行隔离如下图 2.2.20 示例 MSC0 作为 eMMC 接口。

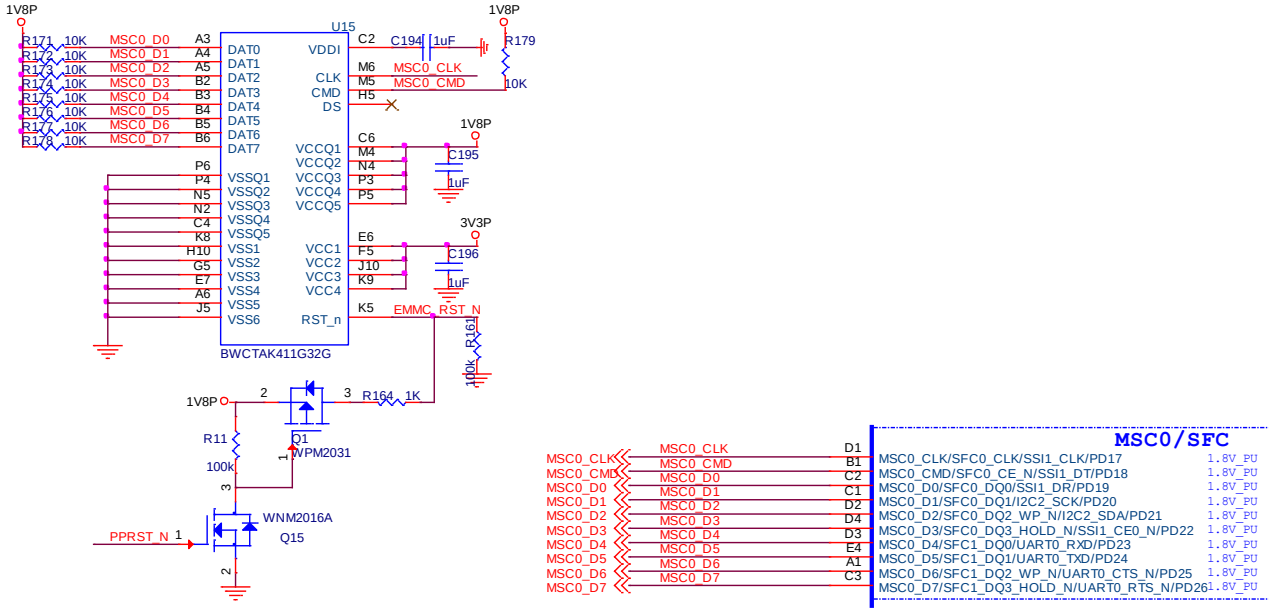

图 2.2.20 eMMC 接口应用

若是 MSC2 作为 eMMC 接口，DATA[4:7]悬空,并应注意将图 2.2.20 eMMC 的 IO 电平 1.8V 改成 VDDIO_SD 一致的电平。

3. NEMC(SRAM)

X2000 处理器还支持 NEMC(SRAM)并行接口，外置 NEMC 接口地址线可达 12bit，数据线可达 16bit，支持 2 个片选信号。也可以用于拓展接口接 FPGA。需注意此接口与并口 LCD 接口为复用 IO 的关系，即使用 NEMC 后，并口 LCD 的功能便不再可用。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.2.7 WIFI 和蓝牙

X2000 处理器拥有丰富的接口资源，除了前面几节提过的音视频接口、RGMII、SDIO 接口和 PCM 接口，还包含 UART 、SSI、I2C、PWM、TCU 等。所以 X2000 处理器拥有强大的互联功能。X2000 使用 SDIO 接口，PCM 接口和 UART 接口与 WI-FI/BT 模组进行通信，下图是 X2000 开发板 Halley5 的 WI-FI/BT 通信模组 AP6256 应用设计，该模组支持双频 Wi-Fi 802.11 b/g/n/ac、Bluetooth 5.0 with BLE，外形尺寸 12X12mm。WIFI 工作频段在 2.4Ghz 和 5Ghz，为了使天线功率达到最大，天线电路需匹配 50Ω阻抗。需注意若下图中的 CLK32K 由 X2000 提供，X2000 的 G1 和 G2 管脚必须要外接 RTC 晶体，电路可参考图 2.2.21。

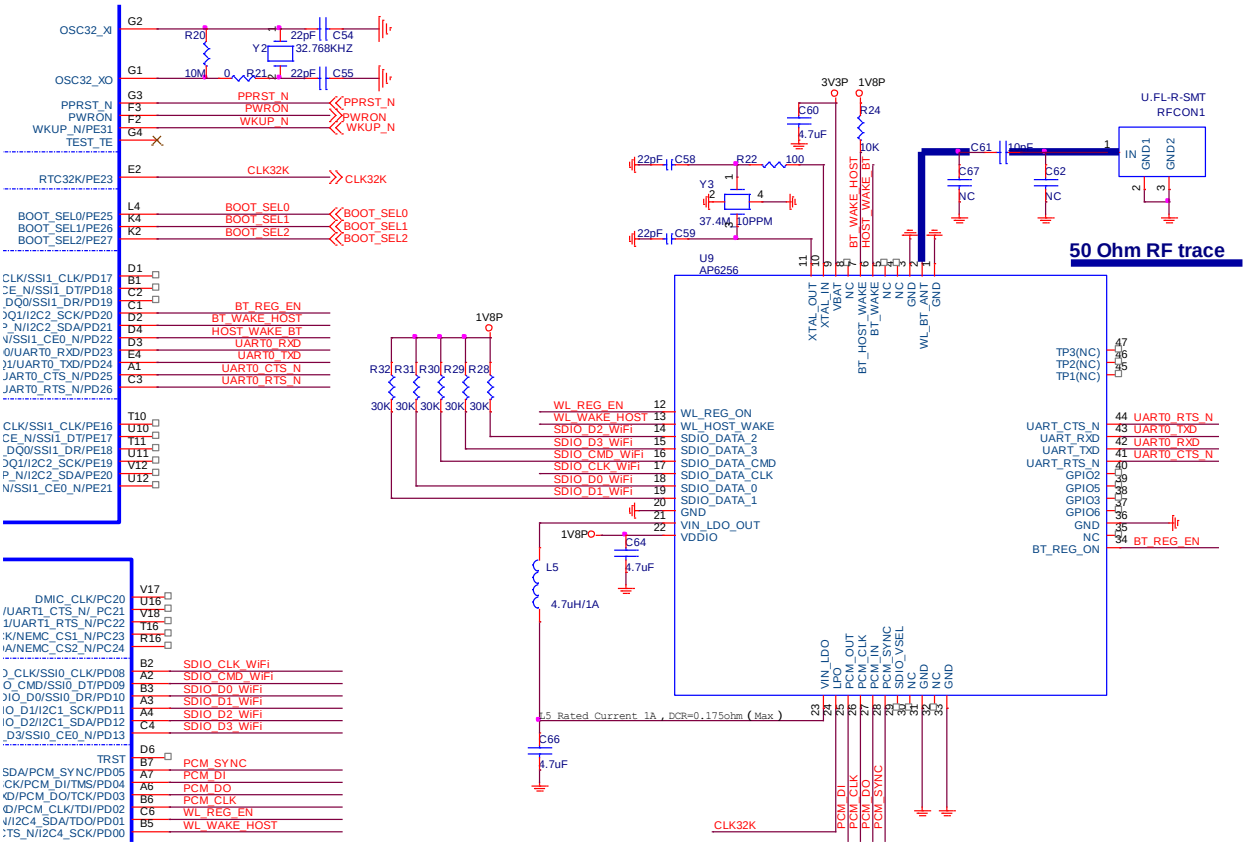

图 2.2.21 WI-FI/BT 电路

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.3 PCB 设计

2.3.1 PCB 布局建议

1) X2000 的 VDD，VDDMEM，PLL_AVDD，PLL_VDD，DDRPLL_VCCA，VREF 等的滤波电容要放在尽量靠近 X2000 PIN 脚的位置上。
2) X2000 相关电容布局：
   a) 第 1 优先级：PLLAVDD，PLLDVDD，DDRPLL_VCCA，VDD，VDDMEM，CODEC_VCM，VREF，DDR_VDD1。
   b) 第 2 优先级：CSI_AVD09，DSI_AVD09，CSI_AVD18，DSI_AVD8，CODEC_AVDD，USB_AVD09，USB_AVD18，USB_AVD33，SADC_AVDD，VDDIO，VDDIO18，VDDIO33，VDDIO18_CIM，VDDIO33_CIM，VDDIO18_SD，VDDIO33_SD。
   c) 第 3 优先级：VDDRTC，VDDIO_RTC，AVDEFUSE。
3) VREF 分压电路要尽量靠近芯片，走线尽量短，建议线宽≥20mil，并且与其他信号线保持 3W 以上的间距，保证不受干扰。
4) VDD，VDDMEM 建议在电源层铺铜，而不用走线的方式。
5) 电源信号换层时都要打足量的过孔，避免成为电源信号的传输瓶颈。
6) 保证 X2000 下方铺铜（地和电源）的完整性及连续性，便于能够提供良好的信号回流路径，改善信号传输质量，提高产品的稳定性；同时也可以改善的散热的性能。
7) PMU 要尽量靠近 X2000 布局。
8) PMU 布局时一定需要注意 DC/DC 输入、输出电容的位置，输入输出电容都要尽量靠近 DC/DC 的 PIN 脚，并且确保它们的地和 X2000 的地之间的距离尽量短。
9) 所有的接地焊盘都要就近打过孔接地层。

以 X2000 开发板设计参考布局图如下图 2.3.1：

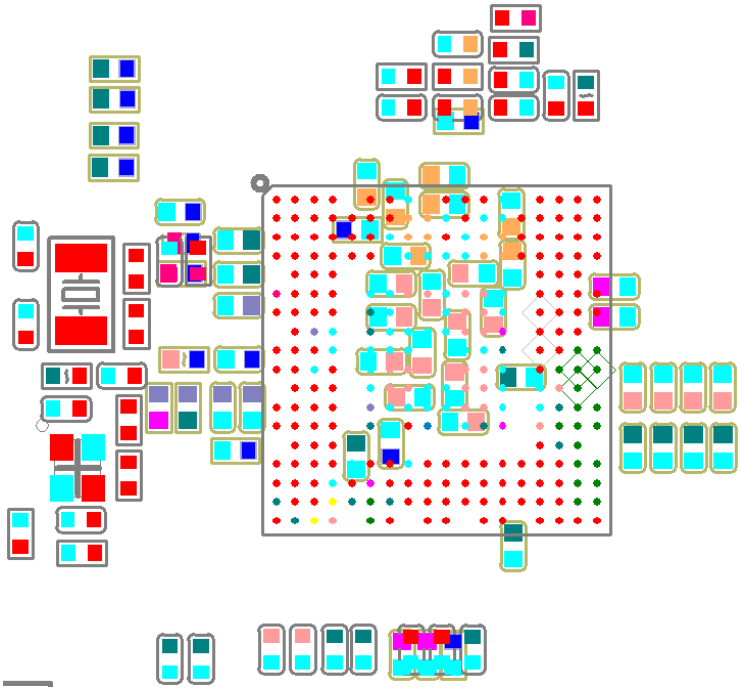

图 2.3.1 X2000 电源退耦电容布局参考

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.3.2 PCB 叠层和阻抗要求

2.3.2.1 PCB 叠层

X2000 推荐采用 4 层以上叠层结构。4 层叠层设置为 TOP - GND - POWER - BOTTOM。TOP 层参考 L2（GND），BOTTOM 层参考 L3 层（POWER）。叠层结构如下图 2.3.2：

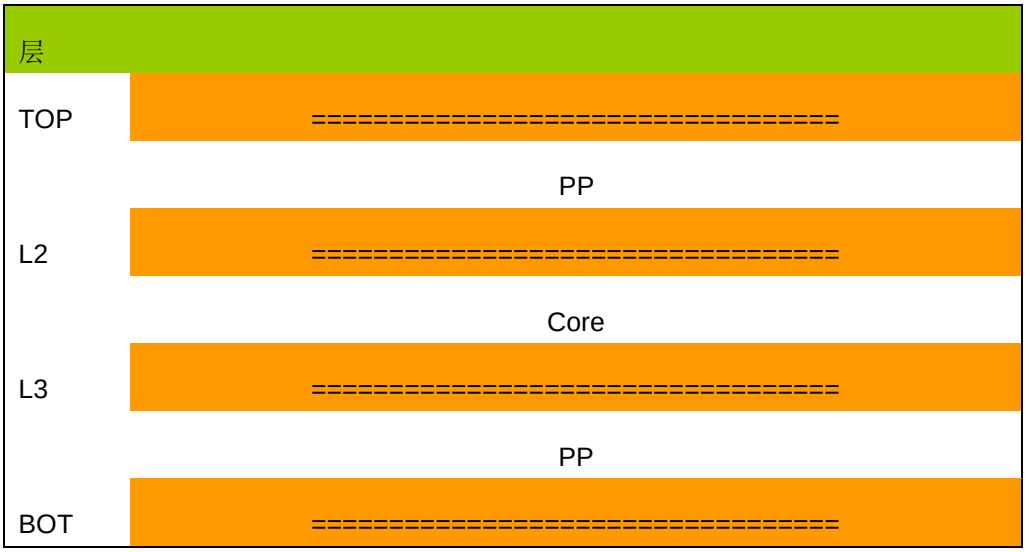

图 **2.3.2** 叠层结构

2.3.2.2 阻抗要求

1) 单端线（WIFI 天线部分）阻抗控制在 50Ω ±10%，参考相邻层。
2) USB 差分信号线（USB_DM0 和 USB_DP0）差分阻抗控制 90Ω ±10%，参考相邻层。内外层布线的阻抗突变应小于 20Ω。
3) 模拟音频信号（包括模拟 MIC 差分信号输入，以及模拟音频差分信号输出）需差分走线，但可以做具体阻抗值的控制。
4) 其余差分信号走线（包含 MIPI_CSI，MIPI_DSI，以及以太网 PHY 芯片到电气隔离器件间差分走线）阻抗控制 100Ω ±10%，参考相邻层。内外层布线的阻抗突变应小于 20Ω。

2.3.3 电源布局布线建议

1) 保证 X2000 下方铺铜（地和电源）的完整性及连续性，便于能够提供良好的信号回流路径，改善信号传输质量，提高产品的稳定性。
2) 所有的接地焊盘都要就近打过孔接主地层。
3) 大电流的走线应尽量短，尽量铺铜设计，以加宽走线宽度，对于内层的走线，应安排在地层的相邻层。

电源地的布局布线如下图 2.3.3：

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

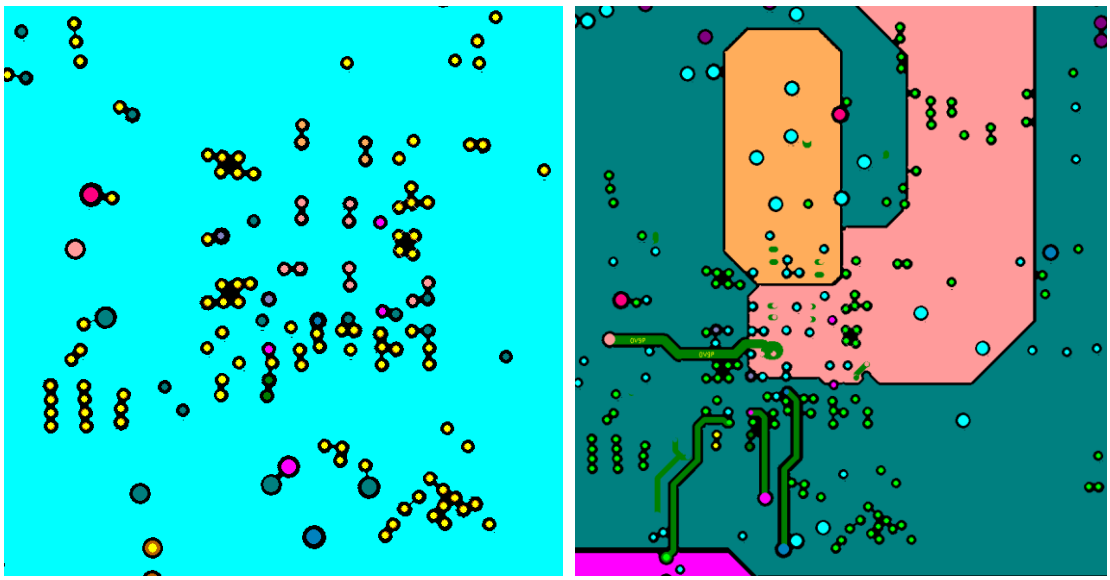

图 2.3.3 电源地的布局布线示意

2.3.4 时钟布局布线建议

1) 24MHz 和 32.768kHz 晶体建议放在 TOP 层，并且禁止晶体下面表层铺铜。
2) EXCLK_XI/XO 和 OSC32_XI/XO 信号线通过 TOP 层直接连到晶体上，注意与相邻线保持 3W 以上的间距，且晶体的地焊盘打孔直接到主地，不要与表层其他地相连。
3) EXCLK_XI/XO 和 OSC32_XI/XO 相邻层的铜皮保证连续性，便于能够提供良好的信号回流路径。

参考布局布线如下图 2.3.4：

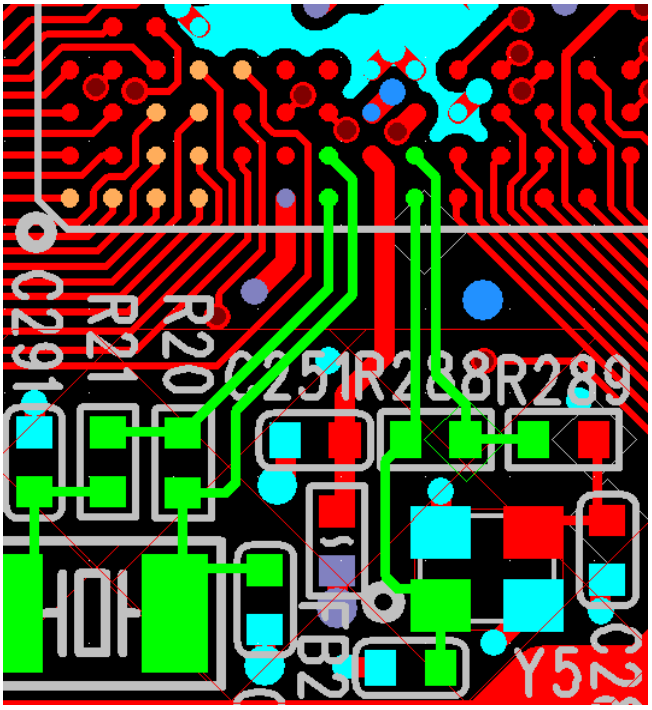

图 2.3.4 时钟走线

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

2.3.5 X2000 到 PHY 间 RGMII 走线建议

1) PHY 芯片要尽量靠近 X2000（小于 15cm）。
2) 为了良好的 EMI 性能，PHY 芯片必须尽量靠近 X2000 芯片（小于 15cm）。
3) RGMAC 信号线必须小于 15cm。
4) TX_CLK 和 PHY_CLK 信号与其他数据线之间建议保持至少 20mil 的间距。
5) RGMAC 信号线与其他信号线建议保持至少 20mil 间距，以减少串扰。
6) RGMAC 的信号线长度要等长，长度相差小于 100mil（不同 PHY 芯片要求可能有差异）。
7) RGMAC 信号线要满足 50 OHM 的阻抗匹配，参考完整的地平面。

2.3.6 MIPI 信走线建议

DSI_CLKP/N， DSI_DP0/DN0， DSI_DP1/DN1 是 MIPI LCD 部分的信号线，全部要求差分走线，不能跨隔离带，包地处理，并且满足 100 OHM 的差分阻抗匹配。

RX_CLKP0/N0，RX_DATAP0/N0，RX_DATAP1/N1，RX_CLKP1/N1，RX_DATAP2/N2，RX_DATAP3/N3 全部要求差分走线，不能跨隔离带，包地处理，并且满足 100 OHM 的差分阻抗匹配。

2.3.7 模拟信号走线建议

1) USB 信号要差分走线，包地处理，并且满足 90 OHM 的差分阻抗匹配。
2) 音频部分走线时要将输入和输出的走线分开。HPOUTP/HPOUTN、MICP/MICN 需要差分走线，包地处理，并且要避免其他信号的干扰。

2.4 GPIO 使用策略

X2000 所有的 GPIO 都有复用功能，所有的 GPIO 都可以做 input，output 或者小于 4 种特定 function 的接口，每个 GPIO 都具体支持哪些 function 详情查看 DS 手册的 2.2 章节 GPIO 列表。

用户设计时需注意，从 VDDIO18 上电开始到 VDD 上电完成期间，GPIO 的状态是 HIZ 状态，一旦系统复位生效所有的 GPIO 都是默认有 pull-up 或者 pull-down 的 input，但是这些 pull-up 或者 pull-down 仅用于给 X2000 内部一个固定状态。若在初始化期间外设要求控制信号固定 high 或者 low 状态，则需要外接上拉电阻到相应电源或下拉电阻到地。

每个 GPIO 都可以配置成电平或者边沿触发的中断可用来触发唤醒 sleep 下的 X2000，且中断亦可选择性的屏蔽或配置。

需注意 X2000 的 F2 管脚 WKUP_PE31 并不是 GPIO，只能做 input，且使用唤醒功能时必须外接上拉电阻到 VDDIO_RTC，用于唤醒 hibernate 下或者 deep sleep 下的 X2000。

X2000 支持通过 E2 管脚 RTC32K_PE23 配置输出 32KHz 的时钟给外设，例如 WiFi 芯片。需要 X2000 的 G1 G2 管脚外接 32.768KHz 晶体或接 32KHz 时钟源到 G1 管脚。

X2000 还支持通过 E3 管脚 EXCLK_CIM_VIC_MCLK_PE24 配置输出 24MHz 的时钟给外设。需要 X2000 的 J1 J2 管脚外接 24MHz 晶体或接 24MHz 时钟源到 J1 管脚 EXCLK_XI。

X2000 的 PA00~PA17 的供电 VDDIO33_CIM 可接 3.3V 或 1.8V，以及 X2000 的 PE00~PE05 的供电 VDDIO33_SD 可接 3.3V 或 1.8V，软件必须根据具体的硬件设计 VDDIO33_SD 连接的电源电平在 POC 寄存器内进行相应的配置，可参考 X2000 PM 手册第 19.2.2.10 章节如下图 2.4.1。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

19.2.2.10 Exclk Drive Strength Register (EXCLK_DS,0xE0)

The Register is a 32-bit read/write register that control EXCLK drive strength. It is initialized to 0x00000002 by reset.

	EXCLK_DS																															0xE0
Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	POC		Reserved						Mac_msc _arbiter																Reserved						DS	
RST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Bits	Name	Description	RW
31:30	POC	0: 3.0v 1: 1.8v 31 bit is mainly controlled SD voltage 30 bit is mainly controlled DVP voltage	RW
23:8	Mac_msc_ arbiter		RW
1:0	DS	Software doesn't change	RW

图 2.4.1 X2000 PM 手册 SD 和 DVP 电平标准配置寄存器 POC

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

3 用户常见问题自检及解决

3.1 常见问题

3.1.1 用户设计的开发板出现 PWRON 掉电导致整板无法上电

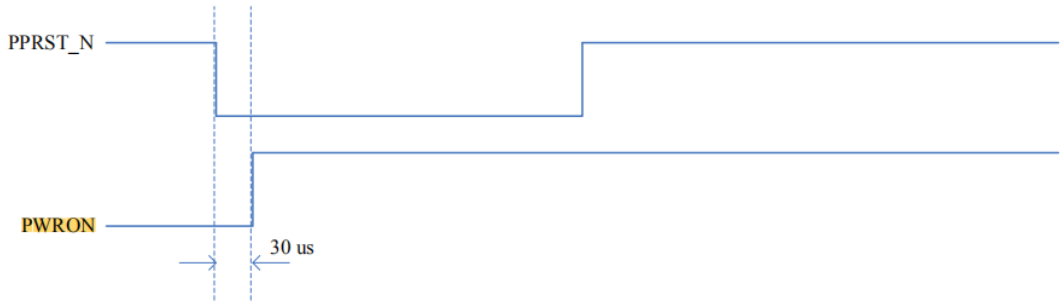

图 3.1.1 X2000 RTC 上电后的 PWRON 波形

如图所示，正常情况下 X2000 的 RTC 上电后只要 PPRST_N 生效后 30us 左右，PWRON 信号就会由低变高。若出现 PWRON 掉电请执行以下步骤自检排除

1. 排除断电状态下，所有相关的电源对地阻抗是否异常（短路），排除异常后进行后续检查
2. 确保插入电源后，RTC 的两路电源均有电并在正常工作电压范围内
3. 按住复位按键拉住 PPRST_N 到 GND 并保持，此时量测 PWRON 电平，若是 0V，请排查检查原理和 PCB 上的物理连接，若是高电平 1.8v，则执行后续步骤
4. 用示波器查看 PWRON 信号由高变低时，VDD 电压的下降沿是否早于 PWRON 下降沿，若是，则由于 X2000 检测到 CORE 电压掉电而触发保护机制输出 PWRON 为低。请排查系统电源稳定问题。
5. 若不是，则需确认板子默认启动方式的 FLASH 内是否有启动代码，若 FLASH 内无启动代码或是错误的启动代码，会导致 X2000 一段时间后输出 PWRON 为低。这种情况可以通过 USB 接口连接 PC 和板子进行烧录启动代码。

3.1.2 用户设计的开发板 USB 不能被 PC 识别

1. 在不插电的情况下，排除 X2000 的各路电源对地的阻抗异常（短路或阻值相当小）
2. 给板子上电，量测各路电源都工作在正常范围内
3. 用示波器量测 24MHz 的工作时钟是否正常工作，排除时钟不起振导致 USB 无法识别
4. 检查 USB 的连接接口是否有接触不良，建议断电后将开发板接口插上 USB 线后通过电表量测两端的阻抗为 0 去判断接口连接正常。
5. 如果以上问题均排除，则检查 USB 路径上无阻抗不匹配导致的 USB 不识别，更换带有屏蔽层质量好的 USB 线进行与 PC 的连接。并检查 PCB 文件走线是否有参考层分割或布局上其他干扰导致，要在开发板加工时要求 PCB 板厂进行差分 90 欧姆的阻抗匹配。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.

3.1.3 用户设计的开发板不能进入烧录

一般情况，当用户设计的开发板第一次上电进行烧录时，不论默认板上配置是哪种启动方式，因为flash上还未烧录任何启动代码，所以X2000内部的BootROM会自动跳转到USB启动方式，也就是烧录模式。将开发板插入 USB 线连接到已安装好 USBCloner（USBCloner 是君正推出的烧录软件，具体信息可在官网查找）的 PC 机后，PC 机会识别出 USB 设备如下图标识，点开烧录器进行烧录操作即可。

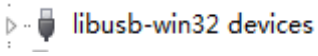

图 3.1.2 开发板 USB 启动模式被识别成功后的图标

如第一次上电烧录就出现无法烧录的情况，则按照以下步骤进行排查

1. 按照参考设计检查 USB 相关的原理图设计正确
2. 并确认 X2000 的 TRST 管脚悬空，排除复位时进入了 JTAG 模式而导致
3. 再将开发板通过 USB 线插入 PC 机，若弹出无法识别的 USB 设备或无任何反应，则按照章节 3.1.2 USB 不能识别进行排查验证。

若第一次上电烧录成功，但后续无法进行烧录

4. 请保证 BOOT_SEL0 和 BOOT_SEL1 的信号状态是是 0 和 1 状态，并按下复位后松开，再查看系统是否识别出图 3.1.2 的标识。如若不能，则建议使用示波器抓取 PPRSET_N 复位过程中 BOOT_SEL0 和 BOOT_SEL1 的 3 个信号的波形，保证 PPRST_N 由低变高时，BOOT_SEL0 和 BOOT_SEL1 为 0 和 1，并检查 X2000 焊接情况。

Copyright® 2005-2022 Ingenic Semiconductor Co.， Ltd. All rights reserved.