文件状态

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 发放部门： |  | 文件受控状态： |  |
| 文件发布状态： |  | 文件生效日期： |  |
| 备注： |  | | |

编制

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **部门** | **职位** | **签章** | **签章日期** |
|  |  | 肖琨 | 2021.10.19 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

评审

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **部门** | **职位** | **签章** | **签章日期** |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

批准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **部门** | **职位** | **签章** | **签章日期** |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

修订历史

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **版本号** | **修订人** | **更改描述** | **更改日期** |
| V1.00 | 肖琨 | 初版 | 2021.10.19 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目录

[1 目的 5](#_Toc98244275)

[2 适用范围 5](#_Toc98244276)

[3 术语定义 5](#_Toc98244277)

[4 单板测试指标 5](#_Toc98244278)

[4.1 缺陷出现概率说明 5](#_Toc98244279)

[4.2 缺陷严重等级说明 5](#_Toc98244280)

[5 单板测试流程 5](#_Toc98244281)

[6 单板测试规范 6](#_Toc98244282)

[6.1 电路性能测试 6](#_Toc98244283)

[6.1.1 基准电路 6](#_Toc98244284)

[6.1.2 滤波电路 6](#_Toc98244285)

[6.1.3 看门狗电路 6](#_Toc98244286)

[6.1.4 ADC电路 6](#_Toc98244287)

[6.1.5 DAC电路 6](#_Toc98244288)

[6.1.6 电池电量电路 6](#_Toc98244289)

[6.1.7 放大电路 7](#_Toc98244290)

[6.1.8 按键电路 7](#_Toc98244291)

[6.1.9 蜂鸣器电路 7](#_Toc98244292)

[6.1.10 LED电路 7](#_Toc98244293)

[6.1.11 按键长按开机电路 7](#_Toc98244294)

[6.1.12 按键长按关机电路 7](#_Toc98244295)

[6.2 整板性能测试 7](#_Toc98244296)

[6.2.1 整板功耗测试 7](#_Toc98244297)

[6.2.2 反复上下电测试 8](#_Toc98244298)

[6.2.3 反复激活测试 8](#_Toc98244299)

[6.2.4 防反接测试 8](#_Toc98244300)

[6.2.5 供电范围 8](#_Toc98244301)

[6.3 电源完整性测试 8](#_Toc98244302)

[6.3.1 电源电压值 8](#_Toc98244303)

[6.3.2 最大负载电流 8](#_Toc98244304)

[6.3.3 上电单调性 9](#_Toc98244305)

[6.3.4 下电单调性 9](#_Toc98244306)

[6.3.5 上电稳定时间 9](#_Toc98244307)

[6.3.6 下电稳定时间 9](#_Toc98244308)

[6.3.7 上电时序 9](#_Toc98244309)

[6.3.8 下电时序 9](#_Toc98244310)

[6.3.9 纹波测试 9](#_Toc98244311)

[6.3.10 噪声测试 10](#_Toc98244312)

[6.3.11 充电波动 10](#_Toc98244313)

[6.3.12 地电平波动 10](#_Toc98244314)

[6.3.13 缓慢上电 10](#_Toc98244315)

[6.4 信号完整性测试 10](#_Toc98244316)

[6.4.1 晶体晶振电路 10](#_Toc98244317)

[6.4.2 复位电路 10](#_Toc98244318)

[6.4.3 IIC电路 10](#_Toc98244319)

[6.4.4 SPI电路 11](#_Toc98244320)

[6.4.5 UART电路 11](#_Toc98244321)

[6.5 无线性能测试 11](#_Toc98244322)

[6.5.1 频偏测试 11](#_Toc98244323)

[6.5.2 发射功率 11](#_Toc98244324)

[7 附录 11](#_Toc98244325)

[7.1 单端逻辑电平 11](#_Toc98244326)

# 目的

本文档用于规范公司单板测试过程。

# 适用范围

本文档适用于进行单板测试的工程师。

# 术语定义

术语定义参考文档《QF 08-02-04 通用术语定义》。

# 单板测试指标

## 缺陷出现概率说明

总是出现：每次测试都能出现的缺陷。

偶尔出现：测试过程出现了一次，重复试验很难复现的缺陷。

经常出现：总是出现及偶尔出现之外的情况。

## 缺陷严重等级说明

致命：不满足产品需求；会导致产品出现不可复原的错误；会危害使用者及操作者的生命安全。

严重：不满足产品需求；会导致产品出现严重的故障，但产品会自动修复；会对使用者及操作者造成危害，但不会致命。

一般：不满足产品需求；不会对使用者及操作者造成危害。

轻微：不涉及产品需求，不改善会对用户造成困扰。

建议：不涉及产品需求，即使该缺陷不修复也不影响产品，但如果改进可以使产品获得更好的用户体验。

# 单板测试流程

单板测试应该按照如下流程测试。

a) 开始条件。硬件PCBA完备，如PCBA需要软件配合，单板测试前软件需具有较为完善的功能；测试前对单板快速上电5次，每次都能正常运行才开始测试，否则直接退回。

b) 信息收集。收集单板测试的相关信息，包括产品名称、项目编号等信息。

c) 开始测试。正式开始单板测试。

d) 数据汇总。汇总测试过程中生产的数据。

e) 文件整理。按照《QF 08-06-05 单板测试模板》生成相应的测试文件。

f) 结果汇报。向研发部门以及相关部门汇报单板测试结果。

# 单板测试规范

## 电路性能测试

### 基准电路

需要测试基准电路的电平、噪声、纹波、稳定时间、负载电流参数。具体测试方法见电源完整性章节。

### 滤波电路

a) 测试方法

使用信号发生器和示波器测试滤波电路。

断开滤波电路在电路上的输入与输出，输入接信号发生器、输出接示波器；根据滤波电路类型（低通、高通、带通或带阻等），使用信号发生器输出合适的电平和频率，并通过滤波电路；使用示波器观察输出波形，将下降3dB的频率标记为截至频率。

b) 判定条件

截至频率应该符合设计要求。

### 看门狗电路

a) 测试方法

使用示波器连接看门狗电路的输出引脚，断开看门狗电路的输入，观察并记录看门狗电路输出变化的时间。

b) 判定条件

复位时间需要符合设计值。

### ADC电路

a) 测试方法

断开ADC电路的输入；稳压源的输出端串联10k电阻，接入ADC电路；根据ADC电路的设计要求，调整稳压源的输出分别为最低电平、最高电平以及中间电平；观察并记录ADC的输出。

b) 判定条件

最低电平、最高电平以及中间电平的误差不超过3%，或遵守设计要求。

### DAC电路

a) 测试方法

断开DAC电路的输出；将示波器连接到DAC电路的输出端；根据DAC电路的设计要求，控制器分别输出DAC电路的最低电平、最高电平以及中间电平；观察并记录DAC电路的输出波形。

b) 判定条件

b.1) 最低电平、最高电平以及中间电平的误差不超过3%，或遵守设计要求。

b.2) 幅值波动不应超过电平的3%，0V电平不超过20mV，或遵守设计要求。

### 电池电量电路

a) 测试方法

断开电池与电池电量电路的连接；使用稳压源代替电池接入电池电量电路；根据电池特性，调整稳压源分别至电池的最低电平、最高电平以及中间电平；使用万用表或直接用控制器读取输出值。

b) 判定条件

b.1) 最低电平、最高电平以及中间电平的误差不超过3%，或遵守设计要求。

b.2) 幅值波动不应超过电平的3%，或遵守设计要求。

### 放大电路

a) 测试方法

断开方法电路的输入以及输出，使用信号发生器连接放大电路的输入，使用示波器同时连接放大电路的输入以及输出；调整信号发生器的电平至一个合适值，并输入不同频率的正弦波，观察并记录示波器的输出波形。

b) 判定条件

b.1) 低频时放大倍数的误差小于设计值的20%，或遵守设计要求；

b.2) 高频时放大电路不发生震荡，或遵守设计要求；

### 按键电路

a) 测试方法

使用万用表连接按键的2个端点，分别记录按键按下及松开的电平。

b) 判定条件

电平的误差不超过3%，0V电平不超过20mV，或遵守设计要求。

### 蜂鸣器电路

a) 测试方法

使用示波器连接蜂鸣器的2个端点，分别记录蜂鸣器开始发声及停止发声时刻的波形。

b) 判定条件

开始发声及停止发声时刻电平的抖动不超过20%。

### LED电路

a) 测试方法

使用示波器连接LED的2个端点，分别测试LED点亮及熄灭时的电平。

b) 判定条件

b.1) 熄灭时的电平不超过20mV，或遵守设计要求。

b.2) 点亮时的电平不超过LED允许值。

### 按键长按开机电路

a) 测试方法

使用示波器测试按键长按开机电路，示波器分别连接按键信号端口以及电源输出口；记录按键按下及松开的电平；记录按键按下后直到电源输出口输出正常波形的时间；在不满足设计延迟时间的几个时间点上松开按键，电源输出口无电源输出。

b) 判定条件

b.1) 电平的误差不超过3%，0V电平不超过20mV，或遵守设计要求。

b.2) 开机时间与设计时间的误差不超过10%。

### 按键长按关机电路

a) 测试方法

使用示波器测试按键长按关机电路，示波器分别连接按键信号端口以及电源输出口；记录按键按下及松开的电平；记录按键按下后直到电源输出口停止输出波形的时间；在不满足设计延迟时间的几个时间点上松开按键，电源输出口无变化。

b) 判定条件

b.1) 电平的误差不超过3%，0V电平不超过20mV，或遵守设计要求。

b.2) 关机时间与设计时间的误差不超过10%。

### 恒流源电路

a) 测试方法

断开恒流源电路的输出，并使用电子负载连接恒流源的输出；电子负载调整到恒电阻模式；直接使用控制器控制恒流源的输出电流分别输出最低电流、最高电流以及中间电流；从小到大调整电子负载的参数，直到恒流源电流小于正常值的95%，记录电子负载参数。

b) 判定条件

b.1) 恒流源的输出电流误差小于5%；

b.2) 恒流源的输出波动误差小于5%；

b.3) 恒流源的带载能力满足设计要求；

### 风扇卡转检测电路

a) 测试方法

使用硬物直接卡住风扇，风扇卡转检测电路的输出电平应该和正常转动的情况相反。需测试5次。

b) 判定条件

风扇卡转的电平和正常转动的电平相反。

### 电池充电电路

a) 测试方法

将电池使用电池测试仪放电完毕，之后接入电池充电电路。测试电池开始充电至充电完毕的时间，并且记录整个充电过程的电池电量。

b) 判定条件

b.1) 电池充电时间需符合设计要求。

b.2) 电池最大充电电流需符合设计要求。

### 电池过热检测电路

a) 测试方法

使用标准电阻箱接入电池温度检测管脚，设置标准电阻箱直到电池过热检测电路发生电平变化。

室温下测试电池温度检测管脚，电阻值需要符合规格书。

b) 判定条件

b.1) 电池过热检测电路发生电平变化时的电阻值需符合规格书。

b.2) 室温下测试电池温度检测管脚，电阻值需要符合规格书。

### 充电过程指示电路

a) 测试方法

在电池没有充满电的情况下，接入充电电源，充电过程指示电路的电平需和没有接入电源时不同。

b) 判定条件

接入充电电源后充电过程指示电路的电平需和没有接入电源时不同。

### 充电完成指示电路

a) 测试方法

在电池没有充满电的情况下，接入充电电源，充电完成后的电平与正在充电时不同。

b) 判定条件

接入充电电源，充电完成后的电平与正在充电时不同。

## 整板性能测试

### 整板功耗测试

a) 测试方法

如果功耗大于等于20mA，直接使用稳压源测试单板功耗。

如果功耗大于2mA且小于20mA，在单板入口处串联一颗5欧姆，精度1%的电阻，使用万用表测试该电阻的电压，之后换算成电流值，并认为该电流值为单板功耗。

如果功耗小于2mA，使用Nordic公司开发的功耗测试板测试单板功耗。

b) 测试项

单板所有的工作状态都要进行测试，例如关机状态、待机状态、低功耗工作状态、正常工作状态等。

c) 判定条件

功耗值应符合设计要求。

### 反复上下电测试

测试整机反复上下电20次，整机能够正常工作（可使用工装测试）。

b) 判定条件

全部测试过程都应该上电成功。

### 反复激活测试

测试整机反复激活5次，整机能够正常工作（可使用工装测试）

b) 判定条件

全部测试过程都应该上电成功。

### 防反接测试

注意：只有设计时支持防反接功能，才可以进行该项测试。

a) 测试方法

直接反接供电线，反复上下电5次。

b) 判定条件

测试过程中不应出现冒烟、着火、爆炸等现象，也不应该出现不正常的声音；测试结束后恢复正常供电，单板可以正常工作（根据具体的单板设置合适的正常工作判定条件）。

### 供电范围

a) 测试方法

按照技术要求，使用稳压源分别设置到最低供电电压以及最高供电电压，分别反复上下电10次。

b) 判定条件

全部测试过程都应该上电成功。

## 电源完整性测试

### 电源电压值

a) 测试方法

使用万用表直接测试。

b) 判定条件

电源电压值应该在设计值的±5%范围内或遵守设计要求。

### 最大负载电流

a) 测试方法

使用电子负载进行测试。切断电源与负载的联系，并连接输出到电子负载；电子负载设置到恒流模式；由小到大调整电子负载的辅助电流，直到电源电压降低到最小供电电压，如果没有规定最小供电电压，则使用正常值的95%作为最小供电电压。

b) 判定条件

最大负载电流应该大于或等于设计值。

### 上电单调性

a) 测试方法

使用示波器触发方式测试，需要抓到完整的上电过程，并将测试图形粘贴到测试报告。

b) 判定条件

电源上电曲线应该单调，或遵守设计值。

### 下电单调性

a) 测试方法

使用示波器触发方式测试，需要抓到完整的下电过程，并将测试图形粘贴到测试报告。

b) 判定条件

电源下电曲线应该单调，或遵守设计值。

### 上电稳定时间

a) 测试方法

在测试上电单调性时一同测试，使用示波器测试电源电压从5%攀升到95%过程中消耗的时间。

b) 判定条件

上电稳定时间应遵守设计值，若没有设计值，上电稳定时间应小于50ms。

### 下电稳定时间

a) 测试方法

在测试下电单调性时一同测试，使用示波器测试电源电压从95%降低到5%过程中消耗的时间。

b) 判定条件

下电稳定时间应遵守设计值，若没有设计值，不做要求。

### 上电时序

注意：只有设计时需要该功能，才进行测试。

a) 测试方法

使用示波器触发方式测试多个通电的上电时序，需要抓到完整的上电过程，并将测试图形粘贴到测试报告。

b) 判定条件

上电时序应符合设计值，若没有设计值，不做要求。

### 下电时序

a) 测试方法

使用示波器触发方式测试多个通电的下电时序，需要抓到完整的上电过程，并将测试图形粘贴到测试报告。

b) 判定条件

下电时序应符合设计值，若没有设计值，不做要求。

### 纹波测试

a) 测试方法

使用示波器进行测试。

如果示波器表笔支持1x档，使用1x挡位进行测试；示波器表笔换用接地弹簧；示波器设置为交流耦合；示波器开启滤波功能；在靠近电源的位置选择一处地电平；可以使用FFT功能进行频率分析。

需要保存测试图形，并将测试图形粘贴到测试报告。

b) 判定条件

纹波幅值应该在设计值的±3%范围内或遵守设计要求。

纹波频率只做测试，没有判定要求。

### 噪声测试

a) 测试方法

使用示波器进行测试。

如果示波器表笔支持1x档，使用1x挡位进行测试；示波器表笔换用接地弹簧；示波器设置为交流耦合；示波器关闭滤波功能；在靠近电源的位置选择一处地电平。

需要保存测试图形，并将测试图形粘贴到测试报告。

b) 判定条件

噪声幅值应该在设计值的±3%范围内或遵守设计要求。

### 充电波动

测试接入充电器的瞬间，单板上各电压有无波动。

b) 判定条件

充电波动幅值应该在设计值的±20%范围内或遵守设计要求。

### 地电平波动

a) 测试方法

以单板输入处GND为唯一参考地，依距离远近使用地环和接地线来测量板上功能模块接地点的地波动，根据单板大小测试点个数灵活调整。

可能需要测试多个点的地电平波动。

b) 判定条件

地电平波动应小于20mV或遵守设计要求。

### 缓慢上电

a) 测试方法

测试各组电源（LDO、DCDC）在缓慢上电时输出是否正常，测试次数5次。

b) 判定条件

全部测试过程都应该上电成功。

## 信号完整性测试

### 晶体晶振电路

由于示波器表笔会引入额外的负载电容，一般不建议使用示波器测试晶体或晶振电路。最好使用频率计进行测试，如果没有频率计可以使用示波器进行粗略测试。

a) 测试方法

使用测试仪接触晶体或晶振电路的输出脚，测试并记录晶体或晶振电路的输出电平、频率参数。

b) 判定条件

b.1) 输出电平误差不超过5%或遵守设计要求。

b.2) 测试频率与设计频率的误差不超过1%或遵守设计要求。

### 复位电路

a) 测试方法

使用示波器连接复位电路的复位信号，分别记录上电复位、手动复位的波形图，并提取复位信号的电平、上升时间（5%-95%时间）以及抖动等信息。

b) 判定条件

b.1) 复位电平误差不超过5%或遵守设计要求。

b.2) 复位电平上升时间不超过50ms或遵守设计要求。

b.3) 复位电平不存在向下的抖动。

### IIC电路

a) 测试方法

使用示波器连接IIC电路的SCL和SDA引线；使用触发方式抓取IIC电路信号；分别记录SCL信号电平、SDA信号电平，计算SCL信号速率，读取建立时间和保持时间参数。

b) 判定条件

b.1) SCL信号电平、SDA信号电平误差不超过5%或遵守设计要求。

b.2) SCL信号速率不超过400kHz或遵守设计要求。

b.3) 建立时间和保持时间符合芯片手册要求。

### SPI电路

a) 测试方法

使用示波器连接SPI总线的4根（最多）接线，如果示波器通道不足可以分别连接CLK线与其他线；记录各电平的速率、建立时间、保持时间等参数。

b) 判定条件

b.1) 各数据线电平差不超过5%或遵守设计要求。

b.2) CLK信号速率不超过8MHz或遵守设计要求。

b.3) 建立时间和保持时间符合芯片手册要求。

b.4) 过冲不超过正常电平的5%。

### UART电路

a) 测试方法

使用示波器分别连接TX或TX接线，分别记录UART电路TX和TX接线的电平及速率。

b) 判定条件

b.1) 各数据线电平差不超过5%或遵守设计要求。

b.2) 各数据线速率符合波特率要求，误差不超过5%。

### 串口电路

a) 测试方法

使用示波器分别连接TX或TX接线，分别记录串口电路TX和TX接线的电平及速率。

b) 判定条件

b.1) 各数据线电平差不超过5%或遵守设计要求。

b.2) 各数据线速率符合波特率要求，误差不超过5%。

### LVDS信号

### RGB并口信号

### USB信号

暂无测试条件，

## 无线性能测试

### 频偏测试

### 发射功率

# 附录

## 单端逻辑电平

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 电平值(V) | VOH(V) | VOL(V) | VIH(V) | VIL(V) |
| TTL | 5 | 2.4 | 0.5 | 2 | 0.8 |
| LVTTL | 3.3 | 2.4 | 0.4 | 2 | 0.8 |
| LVTTL | 2.5 | 2.0 | 0.2 | 1.7 | 0.7 |
| LVTTL | 1.8 | 1.35 | 0.45 | 1.17 | 0.63 |
| CMOS | 5 | 4.45 | 0.5 | 3.5 | 1.5 |
| LVCMOS | 3.3 | 3.2 | 0.1 | 2.5 | 0.7 |
| LVCMOS | 2.5 | 2.0 | 0.1 | 1.7 | 0.7 |
| LVCMOS | 1.8 | 1.35 | 0.45 | 1.17 | 0.63 |

## 单端信号电平

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 名称 | 逻辑1(V) | 逻辑0(V) |
| RS232 | -3~-15 | 3~15 |
|  |  |  |

## 差分信号电平

### LVDS

### RS485

### USB

## 硬件电路速率

|  |  |
| --- | --- |
| 名称 | 速率 |
| I2C | 标准100Kbps、快速400Kbps、高速3.4Mbps |
| SPI | 常规8Mbps、最高50Mbps |
| USB1.1 | 低速模式1.5Mbps，全速模式121.5Mbps |
| USB2.0 | 向下兼容，全速模式480Mbps |
| USB3.0 | 向下兼容，super speed 4.8Gbps |
| RS232 | 20Kbps |
| RS422 | 10Mbps |
| RS485 | 10Mbps |
| Ethernet | 早期10 Mbps、百兆100 Mbps、千兆1 Gbps |
| SATA1.0 | 1.5Gbps |
| SATA1.0 | 3Gbps |
| SATA1.0 | 6Gbps |
| eSATA | 3Gbps |
| SD总线 | 10Mbps |
| PCI 32位 | 1Gbps |
| PCI 64位 | 4Gbps |
| PCI Express x1 | 3814.7Mbps |
| PCI Express x2 | 7629.4Mbps |
| PCI Express x4 | 15258.9Mbps |
| PCI Express x8 | 30517.8Mbps |
| PCI Express x16 | 61035.5Mbps |
| PCI Express x32 | 122071Mbps |

## DDR总线

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DDR SDRAM  Standard | Bus clock  (MHz) | Internal rate  (MHz) | Prefetch  (min burst) | Transfer Rate  (MT/s) | Voltage | [DIMM](https://baike.baidu.com/item/DIMM)  pins | [SO-DIMM](https://baike.baidu.com/item/SO-DIMM)  pins | MicroDIMM  pins |
| DDR | 100–200 | 100–200 | 2n | 200–400 | 2.5/2.6 | 184 | 200 | 172 |
| [DDR2](https://baike.baidu.com/item/DDR2) | 200–533 | 100–266 | 4n | 400–1066 | 1.8 | 240 | 200 | 214 |
| [DDR3](https://baike.baidu.com/item/DDR3) | 400–1066 | 100–266 | 8n | 800–2400 | 1.5 | 240 | 204 | 214 |
| [DDR4](https://baike.baidu.com/item/DDR4) | 800–1200 | 200–300 | 8n | 1600–5067 | 1.2 | 288 | 260 | 214 |