



百科荣创
B I E K E S I T R O I N G

EXPERIMENT GUIDE
BOOK

实验指导书

百科荣创（北京）科技发展有限公司

信号与系统-综合信号源-使用指导书

前 言

百科荣创成立于2003年，是国内领先的新一代信息技术产业高素质工程技术与技术技能人才培养解决方案提供商，设有北京总部、济南分部（产教融合服务中心、企业公共实习实践基地）、深圳分部（研发制造中心）、成都分部（筹），国家级高新技术企业与双软认证企业，国内电子、通信、嵌入式、物联网、人工智能等电子信息领域教育头部企业，面向全国高校、职业院校提供专业共建、人才联合培养、实验实训装备、课程开发、教材联合开发、学生实习实践与就业等产品与产教融合服务。公司自成立以来，坚持秉承“产品就是人品！做企业就是做人！”的经营理念 and “来源于教育，回报于教育”的企业精神，汇聚了一大批电子、通信、嵌入式、物联网、人工智能方向的优秀人才，以培养智能化时代电子信息大类复合型技术技能人才为宗旨，致力于为客户提供最满意的产品和服务，力争成为中国工程教育与职业教育领域的产教融合型领军企业。

十多年来，公司产品行销全国各省、市、自治区、成为众“双一流”高校以及职业院校采购同类产品的首选，公司产品主要涉及职教工程实训和高教实验研究两大领域，涵盖了电子、通信、物联网、移动互联与智能控制、机器人及人工智能等专业学科方向系列实验实训教学及创新设备，用户已遍及清华大学、北京大学、北京理工大学、北京科技大学、天津大学、重庆大学、东北大学、四川大学、深圳职业技术学院、天津电子信息学院、上海电子信息职业技术学院、北京电子科技职业学院等全国各大知名院校。

为了给您提供更加优质的服务，公司设有400开头的免费电话，在使用过程中，如果您有任何问题需要咨询或者需要服务，请与本公司相关部门联系，我们定当竭诚为您服务。服务电话：400-067-7899。

欢迎您在使用的过程中为我们提出宝贵的意见和建议。



目 录

第 1 章 综合信号源.....	1
1.1 项目简介.....	1
1.1.1 产品概述.....	1
1.1.2 规格参数.....	1
1.1.3 功能接口.....	2
1.1.4 详细说明.....	2
1.2 项目功能.....	3
1.2.1 设备使用.....	3
1.2.2 简易 UI:.....	4
1.2.3 进阶 UI:.....	5
1.2.4 设备测试.....	9
1.2.5 注意事项.....	11
1.3 项目设计.....	12
1.3.1 硬件设计.....	12
1.3.2 软件设计.....	14
1.3.3 注意事项:.....	15



第 1 章 综合信号源

1.1 项目简介

1.1.1 产品概述

综合信号源是一款功能强大的信号源，广泛应用于电子实验和通信测试。其核心采用 STM32F427VIT6 主控，配备存储和 SDIO 接口，并提供 Micro-USB 连接。显示方面，配备 OLED 屏幕，用户可通过屏幕进行设置操作。它具有多种主要功能和参数，让用户能够方便快捷地生成各种类型的信号波形。

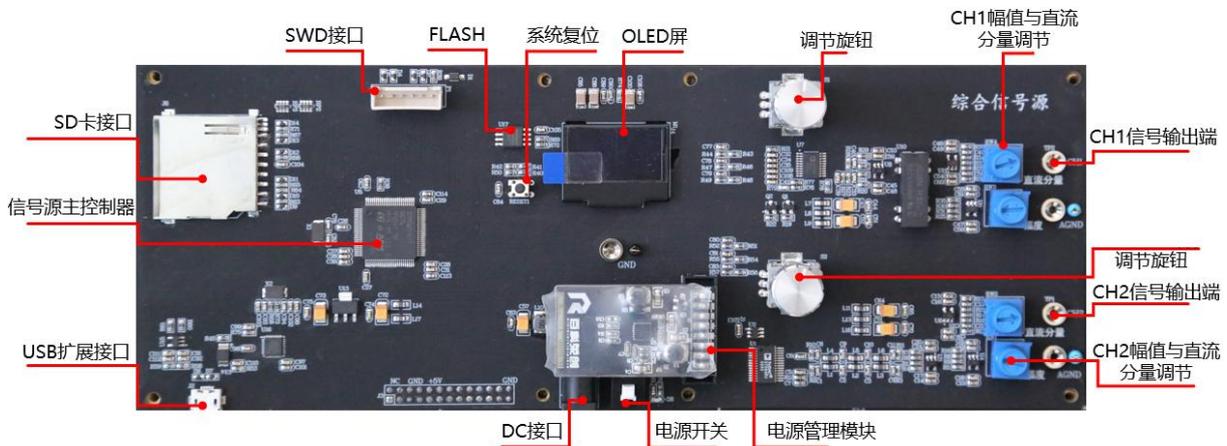


图 1.1 综合信号源实物图

1.1.2 规格参数

硬件参数:

- 主控芯片: STM32F427VIT6
- 存储: 32Mbit
- 接口: 4bit SDIO、Micro-USB
- 显示屏: 128x64 OLED

信号输出:

- 通道 1: 输出 DDS 信号，支持多种波形（正弦波、三角波、方波），可调节输出频率、幅度、直流分量。
- 通道 2: 输出高速 DA 信号，支持多种波形类型（正弦波、三角波、矩形波、锯齿波、阶梯波、衰减信号、高斯信号、抽样函数信号、调幅信号、扫频信号等），可调节输出频率、幅度、直流分量、特俗参数，综合频率误差 $\pm 150\text{ppm}$ 。

功能特点:

- 两路功能调试旋钮,支持通道、波形、频率等参数修改。
- 两路幅度调节旋钮,支持信号幅值调节。
- 两路直流分量调节旋钮,支持信号偏置调节。
- 可实时预览波形效果。
- 可调节特俗波形参数(占空比、阶梯数、衰减指数、脉冲宽、载波频率、调制指数、扫频倍频等)。

1.1.3 功能接口

外部接口:

- 供电:单5V供电,可正负升压至 $\pm 12V$ 。
- 通讯:Micro-USB连接,可进行调试通讯与功能升级。
- 存储:支持4bit SDIO存储,可进行SD卡与功能升级。

拓展功能:(待更新)

- 自定义波形导入。
- 通过示波器XY模式,输出李萨如图形,图片,文本,视频。
- OTG固件升级。

1.1.4 详细说明

信号输出-通道1:

- 正弦波:频率范围0-30Mhz,幅值范围0-20Vpp。
- 三角波:频率范围0-10Mhz,幅值范围0-20Vpp。
- 方波:频率范围0-5Mhz,幅值范围0-20Vpp。

信号输出-通道2:

- 正弦波:频率范围0-1Mhz,幅值范围0-20Vpp。
- 三角波:频率范围0-1Mhz,幅值范围0-20Vpp。
- 矩形波:频率范围0-1Mhz,幅值范围0-20Vpp,占空比0-100。
- 锯齿波:频率范围0-1Mhz,幅值范围0-20Vpp。
- 阶梯波:频率范围0-1Mhz,幅值范围0-20Vpp,阶梯数1-10。
- 衰减指数信号:频率范围0-1Mhz,幅值范围0-20Vpp,衰减指数0.9-0.99。
- 高斯信号:频率范围0-1Mhz,幅值范围0-20Vpp。
- 抽样函数信号:频率范围0-100Khz,幅值范围0-20Vpp。
- 调幅信号:频率范围0-100Khz,幅值范围0-20Vpp,载波倍频0-1Mhz,调制指数0.1-1.0。
- 扫频信号:频率范围0-100Khz,幅值范围0-20Vpp,扫频倍频0-1Mhz。

注意:以上范围为极限范围,可能因损耗、温度等影响信号出现失真情况。

1.2 项目功能

1.2.1 设备使用

交互接口：

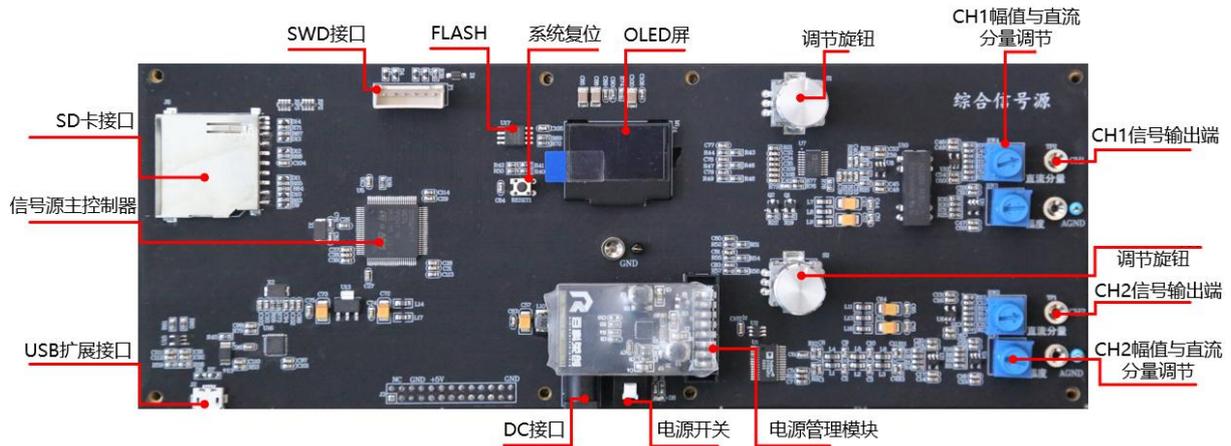


图 1.2 综合信号源接口图

- OLED 屏幕：用于显示交互信息。
- 调节旋钮 S1：用于控制显示交互。
- 调节旋钮 S2：用于控制显示交互。
- 幅度电位器：顺时针倍数增大，逆时针倍数减小
- 偏置电位器：顺时针向下偏置，逆时针向上偏置
- 供电开关：用于进行设备上电 5V。
- 复位开关：用于进行设备复位。
- SDIO 卡槽：用于 SD 卡安装。
- Micro-USB 接口：用于 USB 连接。

UI 交互方式：

开机时默认进入简易 UI，开机时长按调节旋钮 S1 进入进阶 UI。
 幅值电位器默认指向正左，偏置电位器默认指向正右。



1.2.2 简易 UI:



图 1.3 简易 UI 图

简易 UI 控制流程:

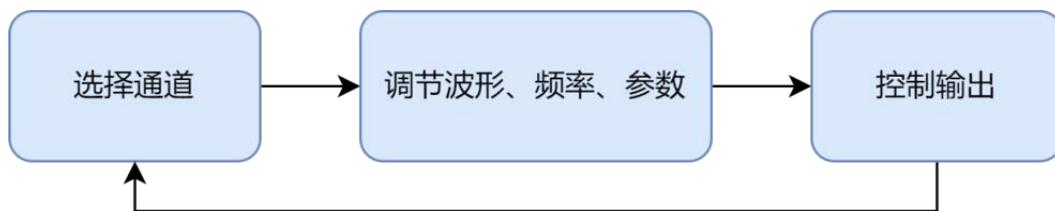


图 1.4 简易 UI 流程图

注意:

在输出时可实时调节参数,但在优先保证波形的情况下,UI 会降低帧率,请尽可能在关闭输出的情况下调节参数。

简易 UI 控制示例:

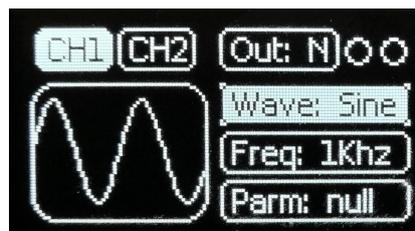


图 1.5 简易 UI 示例图 1

上图界面可通过调节旋钮 S1 控制光标位置:

- 光标选择 CH1 或 CH2 时,按下调节旋钮 S1,则选中通道 1 或通道 2,选中后当前通道为高亮。
- 光标选择 Wave 时,旋转调节旋钮 S2 或按下 S1S2,则控制波形的切换,切换波形后左侧窗口实时显示当前波形。
- 光标选择 Freq 时,旋转调节旋钮 S2,则控制频率*10 或/10,按下 S1S2,则控制频率以当前单位+1 或-1。

- 光标选中 Parm 时，旋转调节旋钮 S2 或按下 S1S2，则控制参数修改，左侧窗口实时显示当前波形参数。
- 光标选中 Out 时，按下调节旋钮 S1，则控制当前通道输出，显示 Y 为使能 N 为禁止，右上角左边为通道 1、2 输出指示灯，输出时高亮。



图 1.6 简易 UI 示例图 2

1.2.3 进阶 UI:

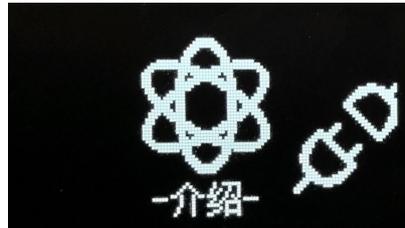


图 1.7 进阶 UI 图

进阶 UI 控制流程:

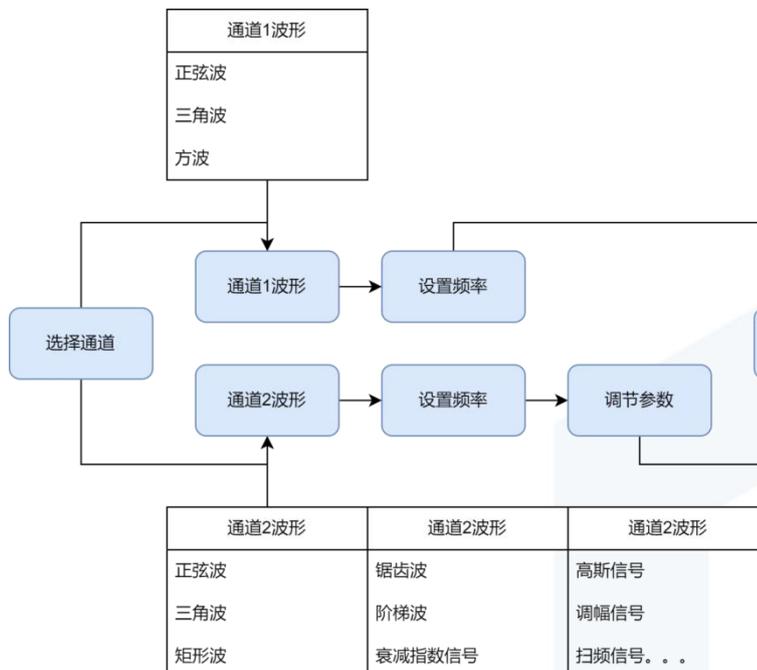


图 1.8 进阶 UI 流程图

注意:

在输出时不能实时调节参数,请在调节完参数后重新使用输出。

进阶 UI 控制示例:

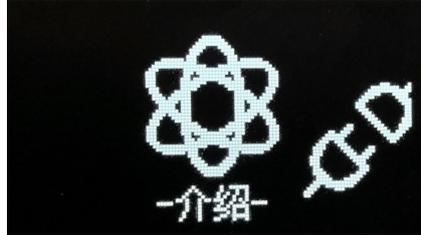


图 1.9 进阶 UI 示例图 1

上图当前界面可通过旋转调节旋钮 S1 控制选择功能,从左到右依次为:

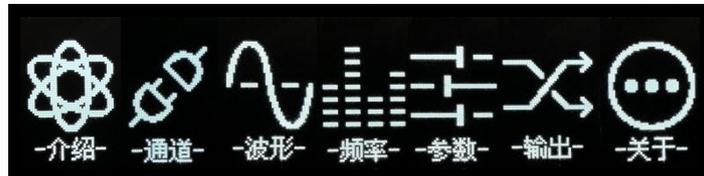


图 1.10 进阶 UI 示例图 2

选择功能后可通过按下调节旋钮 S1 选择功能:

- 进阶 UI 控制示例-介绍:



图 1.11 进阶 UI 示例图-介绍

①返回:按下调节旋钮 S1。

- 进阶 UI 控制示例-通道:



图 1.12 进阶 UI 示例图-通道

- ①选择：旋转调节旋钮 S1。
- ②确认：按下调节旋钮 S1，确认后自动退出当前界面。

- 进阶 UI 控制示例-波形：

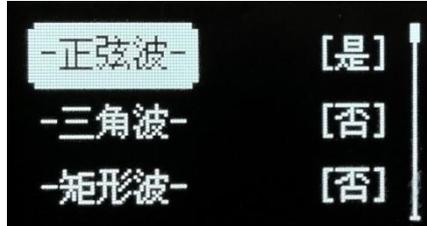


图 1.13 进阶 UI 示例图-波形

- ①选择：旋转调节旋钮 S1。
- ②确认：按下调节旋钮 S1，确认后自动退出当前界面。

- 进阶 UI 控制示例-频率：



图 1.14 进阶 UI 示例图-频率

- ①频率加减：旋转调节旋钮 S1 选择频率单位，按下调节旋钮 S1 确认修改，光标进入闪烁模式，此时旋转调节旋钮 S1 可修改当前单位的数值，再次按下调节旋钮 S1 可保存修改，光标退出闪烁模式。
- ②频率乘除：旋转调节旋钮 S1 选择前方符号+，按下调节旋钮 S1 确认修改，光标进入闪烁模式，此时旋转调节旋钮 S1 可对频率进行*10 或/10 的操作，再次按下调节旋钮 S1 可保存修改，光标退出闪烁模式。
- ③返回：旋转调节旋钮 S1，光标选择到返回位置，按下调节旋钮 S1 返回界面。

- 进阶 UI 控制示例-参数:



图 1.15 进阶 UI 示例图-参数 1



图 1.16 进阶 UI 示例图-参数 2

- ①选择: 旋转调节旋钮 S1。
- ②确认: 按下调节旋钮 S1, 确认需要修改当前参数, 此时背景虚化, 出现参数调节弹窗。
- ③修改: 确认参数修改后, 进入参数调节弹窗, 旋转调节旋钮 S1 可修改当前参数, 按下调节旋钮 S1, 可保存当前参数, 并退出参数调节弹窗, 此时背景实化。
- ④返回: 旋转调节旋钮 S1, 光标选择到返回位置, 按下调节旋钮 S1 返回界面。

- 进阶 UI 控制示例-输出:

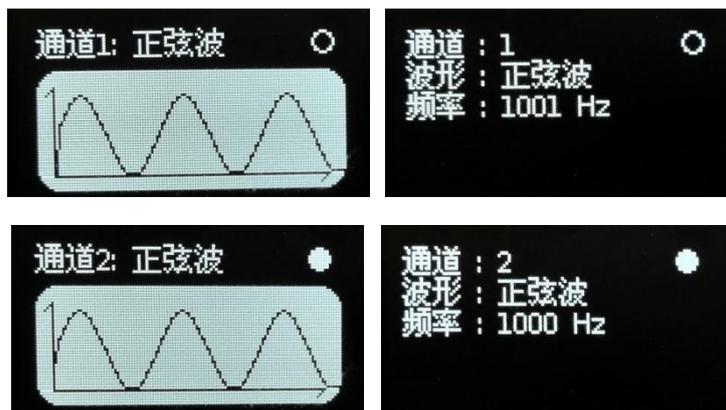


图 1.17 进阶 UI 示例图-输出

- ①切换输出预览: 旋转调节旋钮 S2, 可切换输出预览界面, 从左至右依次为通道 1 波形预览、通道 1 参数预览、通道 2 波形预览、通道 2 参数预览。
- ②确认: 按下调节旋钮 S2, 切换当前波形输出, 输出时右上角指示灯高亮。
- ③返回: 按下调节旋钮 S1, 返回界面。

1.2.4 设备测试

测量仪器：普源 DS2202A 示波器

通道	波形	设定频率	输出频率	备注
通道 1	正弦波	1hz	900mhz	默认波形完整
		10hz	9.9hz	
		100hz	100hz	
		1khz	999.8hz	
		10khz	10khz	
		100khz	100khz	
		1Mhz	1Mhz	
		10Mhz	10Mhz	
		30Mhz	31Mhz	波形部分失真
		12345678hz	12.3435Mhz	
	三角波	1hz	900mhz	
		10hz	9.9hz	
		100hz	100hz	
		1khz	999.8hz	
		10khz	10khz	
		100khz	100khz	
		1Mhz	1Mhz	
		10Mhz	10Mhz	波形部分失真
		1234567hz	1.23459Mhz	
	方波	1hz	900mhz	
		10hz	9.9hz	
		100hz	100hz	
		1khz	999.8hz	
		10khz	10khz	
		100khz	100khz	
		1Mhz	1Mhz	
		5Mhz	5Mhz	波形部分失真
1234567hz		1.23459Mhz		

通道	波形	设定频率	输出频率	备注
通道 2	正弦波	1hz	1hz	默认波形完整
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	
		123456hz	123.483khz	

	三角波	1hz	1hz	
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	
		123456hz	123.483khz	
	矩形波	1hz	1hz	
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	波形少量失真
		123456hz	123.483khz	
	锯齿波	1hz	1hz	
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	
		123456hz	123.483khz	
	阶梯波	1hz	1hz	
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	波形少量失真
		123456hz	123.483khz	
	指数信号	1hz	1hz	(指数 0.9)
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	波形少量失真
		123456hz	123.483khz	
	高斯信号	1hz	1hz	
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	
		123456hz	123.483khz	
	抽样信号	1hz	1hz	
		1khz	1khz	
		1Mhz	1Mhz	波形少量失真
		123456hz	123.483khz	
调幅信号	1hz	1hz	(载波倍频 1)	
	1khz	1khz		
	1Mhz	1Mhz	波形少量失真	
	123456hz	123.483khz		
扫频信号	1hz	1hz	(扫频倍频 1)	
	1khz	1khz		
	1Mhz	1Mhz	(倍频 10 时严重失真)	
	123456hz	123.483khz		

误差=设定频率-测量频率/设定频率×100%

综合误差(百分比) = 0.0126468%

误差 (PPM) = 设定频率-测量频率/设定频率 $\times 10^6$

综合误差 (PPM)=126.468

注意:

该误差抛去通道 1 的 DDS 芯片的最大频率与最小频率误差, 并未测量温漂、损耗, 请以实际结果为准。

1.2.5 注意事项

输出:

- 输出信号受到频率、幅值、直流偏置三方影响, 当信号输出不对时, 请自行调节。



1.3 项目设计

1.3.1 硬件设计

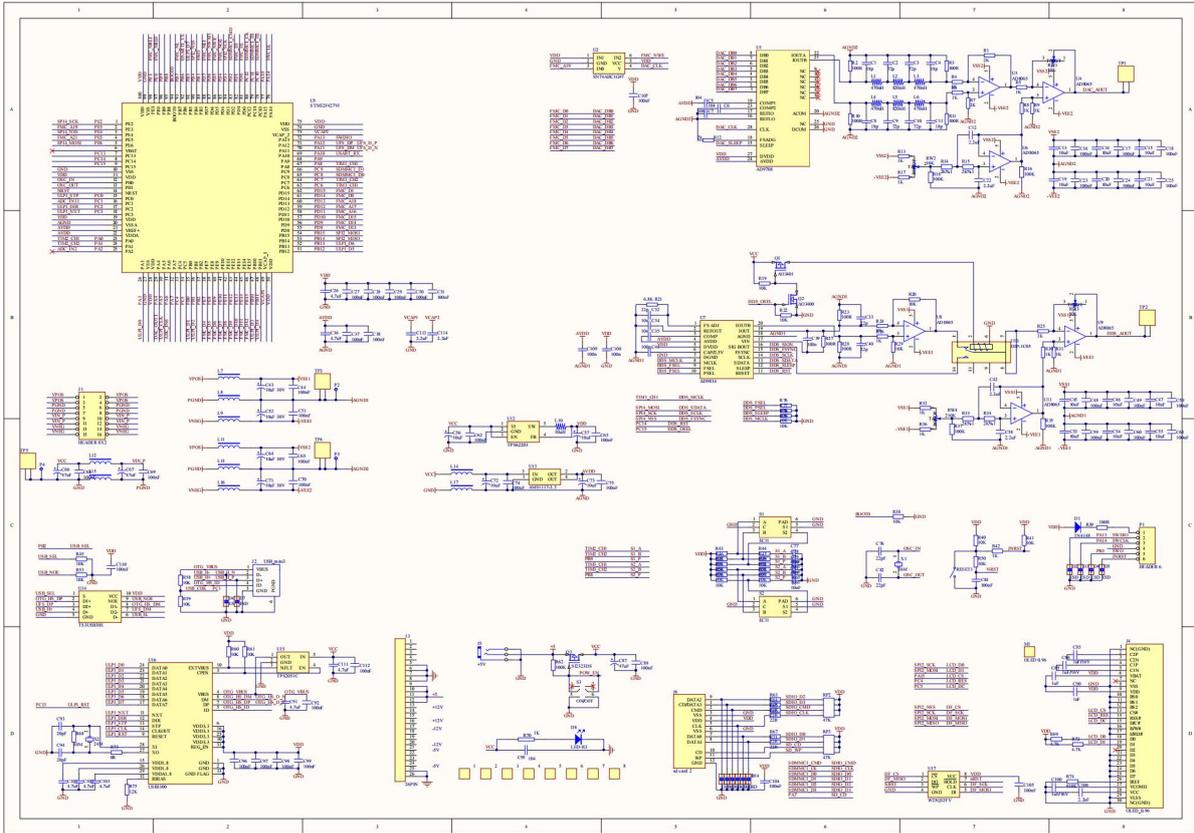


图 1.18 综合信号源原理图

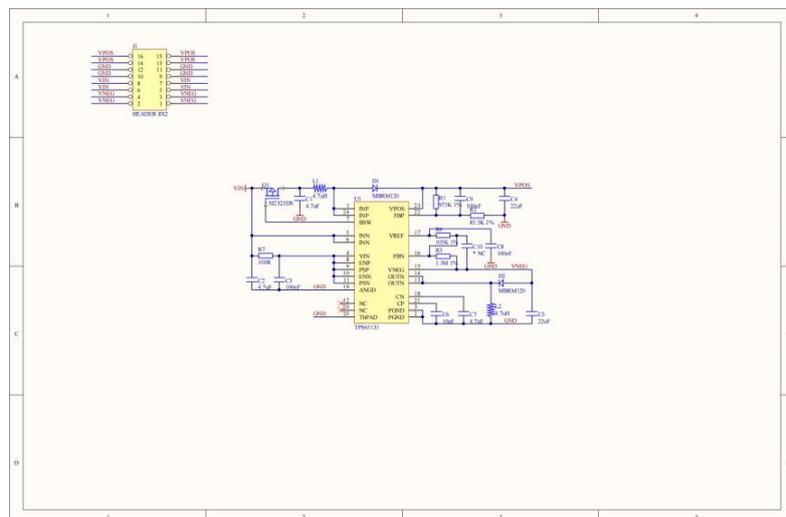


图 1.19 电源模块原理图

主控部分:

- 由 STM32F427VIT6 作为主控芯片,最高工作频率 180MHz,内存 2MB Flash、256KB SRAM。
- 在通过 AMS1117 LDO 电源配合耦合电感与去耦电容作为隔离电源降低干扰与噪声,提高信号精度。

存储部分:

- 使用 W25Q32 作为外部存储单元,支持 SPI 接口,容量 32Mbit 存储。
- 使用 4bit SDIO 接口作为外部 SD 卡存储扩展,提供更大的数据存储空间。

显示部分:

- 由 SSD1306 屏幕驱动芯片加 OLED 屏幕构成显示部分,支持分辨率 128x64,可视角度 160。

信号输出部分:

- 通道 1-使用 AD9834 DDS 芯片作为信号发生器,支持正弦波、方波、三角波的发生,窄带 SFDR>70dB,最高频率 37.5Mhz。
- 通道 2-使用 AD9708 高速 DA 转换器配合主控芯片的 FMC 接口为信号发生器,8 位分辨,最大 125MSPS 更新速率。
- 信号输出-使用 AD8065FET 运放,支持高速-3dB,带宽 145MHz,压摆率:180V/us,高共模抑制比-100dB,低噪声,低失调电压,轨到轨输出,作为构成放大和调节输出信号的幅度和直流分量的信号输出电路。

电源部分:

- 输出电源-通过 TPS65131 正负 DC/DC 升压转换器作为输出信号电源,支持过压保护,欠压闭锁,热关断保护,提供信号输出电路稳定的工作电压。
- 主控电源-通过 TPS62203 DC/DC 降压转换器作为主控电源,提供主控稳定的工作电压。

接口单元:

- 使用 TS3USB30 多路复用开关加 USB3300 USB 与 OTG 芯片实现 Micro-USB 接口数据的输入输出和 OTG 升级。



1.3.2 软件设计

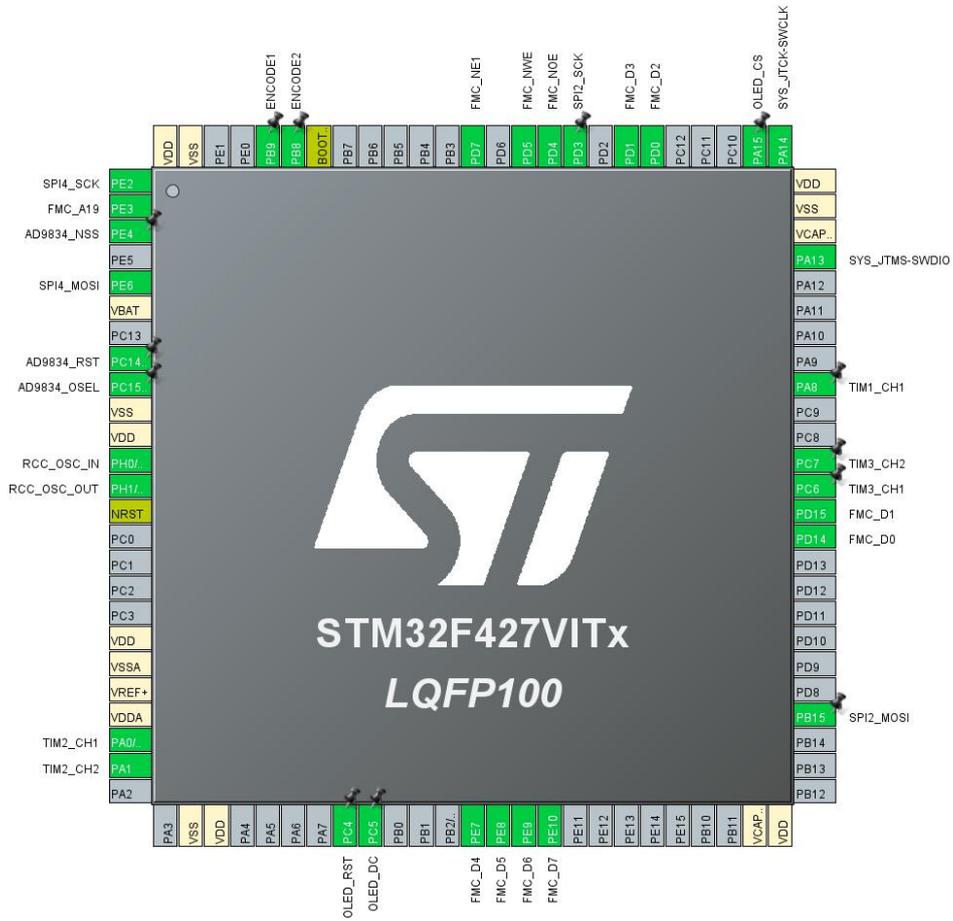


图 1.20 STM32CubeIDE 可视化配置图

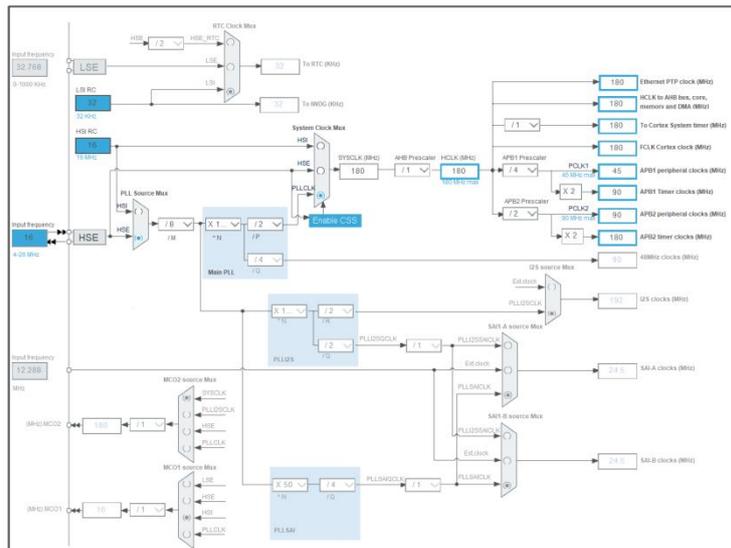
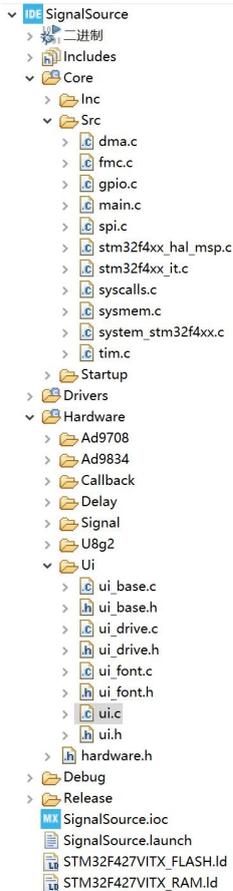


图 1.21 STM32CubeIDE 时钟配置图

代码部分:



01. main.c:主程序

02. Hardwarew 文件夹: 功能模块文件夹

03. -Ad9078 文件夹: 高速 DA 驱动程序

04. -Ad9834 文件夹: DDS 驱动程序

05. -Callback 文件夹: HAL 库回调函数程序

06. -Delay 文件夹: 延时程序

07. -Signal 文件夹: 信号输出程序, 包含信号生成、参数调节、信号输出等。

08. -U8g2 文件夹: 开源 UI 库

09. -Ui 文件夹: (自研 UI 框架)

10. --ui_base.h/.c: UI 框架组件层, 声明定义了 UI 框架与组件的实现, 正常情况无需修改。

11. --ui_drive.h/.c: UI 框架驱动层, 声明定义了 UI 框架的底层驱动的实现, 需要根据使用的底层函数与硬件驱动进行修改。

12. --ui_font.h/.c: UI 框架字库, 声明定义了 UI 框架的字库的实现, 用于添加文字、图标等。

13. --ui.h/.c: UI 框架用户层, 用于调用 UI 框架实现用户所需要的功能。

14. -hardware.h: 功能模块头文件, 包含所有功能模块

15. SignalSource.ioc: 可视化配置文件

1.3.3 注意事项:

1. 在使用 STM32CubeIDE 重新构建 STM32CubeMX 生成代码时如出现中文乱码问题, 需修改 STM32CubeMX 生成代码的编码格式, 操作步骤入下:

此电脑->属性->高级系统设置->环境变量->用户环境变量->新建:

变量名: JAVA_TOOL_OPTIONS

变量值: -Dfile.encoding=UTF-8

后续确认即可, 然后重启 STM32CubeIDE。

(工程需是 UTF-8 的编码, 原因是 U8G2 默认为 UTF-8 的编码)