

# 基于 STM32 的信号发生装置设计

范越 牛明生<sup>指导老师</sup>

(曲阜师范大学; 物理工程学院)

**摘要:** 本文以 DDS 芯片 AD9834 作为信号发生装置的核心, 以 STM32 微控单元作为信号发生装置的控制模块, 设计并实现了一种可调频率、可调波形、可调相位的信号发生装置。采用 AD9834 模块实现了正弦信号、三角信号、方波信号的发生; 采用 SSD1306 芯片驱动的 OLED 显示屏实现当前模式和输入、输出数据的实时显示; 采用矩阵键盘实现了命令输入功能; 采用 STM32 作为主控模块, 实现了信号发生装置的模式转换功能。经实验结果表明, 该信号发生装置可以输出频率、波形可调节的稳定信号, 信号频率输出范围可以在 10HZ~30HZ 切换。

**关键词:** STM32; AD9834; 信号发生装置

**Abstract:** In this paper, the AD9834 is used as the core of the signal generation device, and the STM32 microcontrol unit is used as the control module of the signal generation device. A signal generation device with adjustable frequency, adjustable waveform and adjustable phase is designed and implemented. The AD9834 module is used to realize the generation of sinusoidal signal, triangular signal and square wave signal. The OLED display driven by SSD1306 was used to realize the real-time display of current mode and input and output data. Matrix keyboard is used to realize the command input function. STM32 is used as the main control module to realize the mode conversion function of the signal generator. The experimental results show that the signal generator can output a stable signal with adjustable frequency and waveform, and the signal frequency output range can be switched from 10 Hz to 30 Hz.

**Keyword:** STM32; AD9834; signal generator

## 引言

可调谐半导体激光吸收光谱 (TDLAS) 技术在化工气体浓度检测[1]、燃烧场温度检测[2]、呼吸气体检测[3]等方面有着广泛的应用, 对于激光驱动设备的集成度要求也越来越高。如果在实验中采用直接吸收光谱技术 (DAS), 通过对比透射光强和入射光强直接获得分子吸收光的信息, 实验结果易受到噪声影响, 只适用于检测高浓度的气体。检测低浓度气体时, 需要引入波长调制法 (WMS)。波长调制法的基本原理为低频信号与高频信号叠加对激光器的输出波长进行调制, 实现了在低频信号中检测浓度转化为在高频信号中提取浓度信息, 抑制了低频噪声的干扰[4]。为了解决 TDLAS 在工业和生产生活中的应用问题, 需要不断完善激光器驱动系统的精度和工作稳定性。目前针对不同气体检测系统设计的激光器驱动日益完善。分布反馈式激光器驱动实现了正弦波与锯齿波信号发生叠加后驱动恒流源电路[5]。频分复用型 TDLAS 激光驱动系统实现了二氧化碳和水汽检测时驱动两路激光器同时工作[6]。综合上述研究现状, 目前需继续提高激光驱动的稳定性、精度、可持续工作性能。本文基于 STM32 和 AD9834 设计了一种稳定的可调信号发生装置, 可将其作为压控恒流源的输入用于驱动激光器实现气体浓度测量。

## 1 系统整体设计

系统设计的整体框图如图 1 所示, 主要分为四个部分, 主控模块、信号发生模块、输入模块、显示模块。主控模块采用的是基于 ARM Cortex-M 内核 32 位的

STM32F103C8T6 微控制器。信号发生模块主要部分是 AD9834, 是一种直接数字合成模拟信号 (DDS) 器件。经实验验证, 该信号发生模块可以输出频率可调的三角波、正弦波、方波信号。STM32 微控制器通过模拟 SPI 通信方式向 AD9834 芯片中的寄存器写入数据并实现对输出波形、频率的控制。输入模块采用 4×4 矩阵键盘, 其成本较低。手动行列扫描软件编程的方法能够实现对矩阵键盘输入指令的读取, 并对信号发生装置的模式进行切换或者选择波形、更改频率。显示模块是 SSD1306 驱动的 OLED 屏幕, 其分辨率为 128×64, 支持 SPI、IIC 两种通讯方式。为了满足控制单元与屏幕间的高速通信, STM32 微控制器通过硬件 SPI 通信方式与屏幕通信完成实时刷新显示。

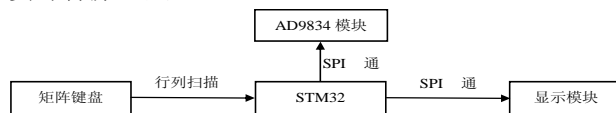


图 1 系统整体框图

## 2 硬件部分

### 2.1 信号发生模块

信号发生模块的核心器件是 AD9834, AD9834 是完全集成的直接数字频率合成 (DDS) 芯片。内部电路主要分为以下五个部分: 数控振荡器 (NCO)、频率和相位调制器、SIN ROM、DAC、比较器以及稳压器。DDS 器件的基本原理是跟据参考时钟的频率, 通过改变输入到频率寄存器中的频率字, 对单位时间内相位累加器累加的相位值进行控制来控制输出信号的频率。累加的相位值被送到

SIN ROM 中通过查找表的方式对应一个输出幅值。数字幅值再通过 DA 转换为输出的模拟量(电压值)。图二为 DDS 器件的工作原理图。手动向 DDS 器件的控制寄存器、频率寄存器、相位寄存器中写入数值的方法可以达到对输出信号波形、频率、相位进行控制或调制。

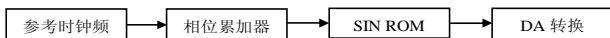


图 2 DDS 基本原理框图

STM32 微控制器通过模拟 SPI 的方式与 AD9834 进行通信。向 STM32 中编写模拟 SPI 通信方式的程序实现主控模块向 AD9834 的寄存器中写入字对输出信号进行控制。

## 2.2 显示模块

STM32 微控器通过硬件 SPI 通信方式和屏幕进行高速数据传输。采用 SPI 单线半双工发送模式; STM32 微控器为主机模式; 屏幕为从模式。STM32 驱动 SSD1306 采用了 SPI 与 DMA 结合发送方式; 将 SPI 设置为允许 DMA 往缓冲区内发送的模式; 保持 DMA 工作在循环传输模式。上述工作可以实现 DMA 从 STM 内部存储中不断搬运数据到 SPI 缓冲区。DMA 快速搬运数据的方式能够使得 CPU 的资源不被过多地占用。编程者在使用硬件 SPI 或者模拟 SPI (软件 SPI) 时, 除了要初始化时钟引脚和数据引脚, 还要在 STM32 上选取一个 IO 口作为 AD9834 的使能引脚, 起到片选作用。当该使能引脚被设置为低电平模式时, 外设被选中, 主机可以与外设进行通信; 反之外设未被选中, 通信无法进行。本文中信号发生装置使用的是 STM32 的 SPI2 和 DMA1 资源。

## 2.3 输入模块

在 STM32 中编写程序, 通过行列扫描的方法对 STM32 的 8 个 IO 口进行高低电平检测, 并在功能函数中返回检测的被按下的按键值。本文的信号发生装置使用了 4×4 矩阵键盘, 键值返回内容包含 0~9 数字值、小数点、确认、返回、波形、频率、复位。通过按下不同的按键可以实现选择波形、修改频率、复位波形等功能。

## 3 软件部分

软件总体架构见图 3 软件流程图。信号发生装置的主控程序在 Keil5 平台上被编译后烧录进 STM32。软件编写实现的功能主要分为四个部分: 信号发生、屏幕显示、按键输入、模式转换。

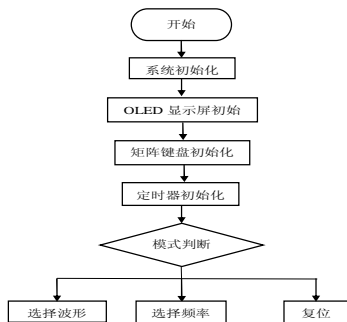


图 3 软件流程图

## 3.1 信号发生任务

### 3.1.1 AD9834 初始化

编写程序向 AD9834 输入 0X0100 命令, 使得 AD9834 控制寄存器中 RESET 位置 1 (设备复位, 此时信号 AD9834 输出中间电平); 向 AD9834 控制寄存器中写入 0XC000 (将 DB14 和 DB15 置 1, 将相位寄存器中的值设置成 0); 向 AD9834 的控制寄存器中写入 0X2100 (将 B28 和 RESET 位置为 1, 将 AD9834 设置为向 28 位的频率寄存器中写入两次写入一个频率字的模式, 第一次写入频率的低 14 位, 第二次写入频率高 14 位)。

### 3.1.2 AD9834 频率写入

向 AD9834 写入一个完整的频率字需要分为两个步骤: 向固定的频率寄存器中写入频率值的低 14 位; 写入频率值的高 14 位。写入频率时, 编程者须通过设置控制寄存器的高两位 DB14 和 DB15 来控制将频率字写入哪个频率寄存器。低 14 位为频率的高 (低) 值。

### 3.1.3 AD9834 波形选择

向 AD9834 的控制寄存器中写入 0X2002 (将 DB1 置成 1, AD9834 内部 DAC 输出三角波); 向 AD9834 的控制寄存器中写入 0X2008 (将 DB1 置成 0, AD9834 内部 DAC 输出正弦波); 向 AD9834 的控制寄存器中写入 0X2038 (将 DB3, DB4, DB5 置成 1, AD9834 能输出方波)。

## 3.2 屏幕显示

### 3.2.1 OLED 初始化

将 STM32 对应的时钟引脚和数据引脚设置为复用输出, 将其余引脚设置为通用推挽输出。STM32 通过硬件 SPI 通讯协议与 OLED 显示屏的驱动芯片 SSD1306 进行通信。因此要在软件中对 SPI 进行初始化, 将 SPI 的工作模式设置 SPI 单线半双工发送, 主机为 STM32 微控器, 从机为 SSD1306, 发送信号的方向为从主机 STM32 向从机 SSD1306 单向发送。并在 SPI 初始化时允许 DMA 往缓冲区内发送数据。相关模式设置完成后, 使能 SPI 外设, 并选中从机。

### 3.2.2 SSD1306 驱动

OLED 驱动芯片 SSD1306 显存的大小为 128×64bit (显存一共被分为 8 页, 每页包含 128 个字节)。由于 OLED 显示屏分辨率为 128×64, SPI 高速刷新在单位时间内需要传输的数据量较大。为了使数据写入 ssd1306 更方便, 并节省 STM32 的 CPU 的资源, 采用 SPI+DMA 高速刷新数据的方式。将屏幕中每一点的信息写入 STM32 的内部缓存中, 在软件中定义一个大小为 128×8 个字节的 OLED\_SRAM, 并在 DMA 初始化时设置好内存的基地址 (即 OLED\_SRAM 的首地址); 将 DMA 工作模式设置为循环模式, 使得 DMA 可以连续地从内部缓存区搬运数据到 SPI 外设, 实现大量数据实时高速输出, 从而达到高速刷屏的效果。每次更新屏幕信息时只需要对 STM32

内的 OLED\_SRAM 缓存区进行更新操作即可。

### 3.3 按键输入

#### 3.3.1 矩阵键盘初始化

P0~P3 引脚与矩阵键盘的行相连, 设置为推挽输出模式; P4~P7 引脚与矩阵键盘的列相连, 设置为上拉输入模式。

#### 3.3.2 行列扫描的方式

调用函数 GPIO\_Write(GPIOA, 0XF0), 在程序中实现对 STM32 的 PA 口整体赋值。将 P0~P3 引脚(对应矩阵键盘的列 C1~C4)的电平设置为高电平; 将 P4~P7 引脚(对应矩阵键盘的行 R1~R4)设置为低电平。在矩阵按键检测函数中先对 GPIOA 口进行整体扫描, 并对列 C1~C4 的电平进行检测, 若列对应的引脚从高电平变成低电平(二进制表示为从 1 到 0), 则以十六进制形式保存该列的列值 Column; 再将行 R1~R4 的电平依次拉高, 每拉高一行, 对 GPIOA 的值进行一次扫描, 判断上一步中变为低电平的列引脚是否变回高电平, 若变回高电平则把此时的行值 Row 保存下来; 最后对行值和列值进行与运算, 得到矩阵键盘的键值  $key = Row \& Column$ ; 定义一个键值查询函数 keyboard\_Getvalue(), 并在函数中定义矩阵 keyboard\_list[], 矩阵的元素为对应的按键返回值。在键值查询函数通过调用 switch 语句将 key 的值对应到按键字符作为函数返回值。

#### 3.4 模式转换

在主函数中定义模式标识符 mode 并将其初值设为 0 (对应复位模式), 在定时器中断函数中调用矩阵键盘检测函数以 500ms/次的速率检测按键的值并通过 if 语句进行判断, 如果按键返回为对应的模式值, 通过 mode ++ 语句改变 mode 值。在主函数 main() 中的 while (1) 循环中进行模式判断: 当 mode 值变为 0 的时候, 执行复位功能, 此时信号发生器输出中间电平; 当 mode 值为 1 的时候, 进入波形选择的模式, OLED 界面切换到波形选择界面, 此时输入 1 信号发生装置输出三角波, 输入 0 信号发生装置输出正弦波, 输入 3 信号发生装置输出方波, 输入 4 关闭方波信号的输出; 当 mode 值变为 2 的时候, 进入频率设置模式, 此时通过按键输入频率值, OLED 界面中显示频率设定值, 输入完毕后按确定键, STM32 将频率值传入 AD9834 的频率寄存器中, 完成信号频率设置功能。

## 4 实验结果及数据分析

### 4.1 实验结果

用示波器对信号发生装置输出的信号进行测量。分别让信号发生装置工作在输出低频、高频的正弦波和三角波的状态下。图 4 中左图为频率设置值 10Hz 正弦波下测量的实际信号; 右图为频率设置值为 1000Hz 正弦波下测量到的实际信号。

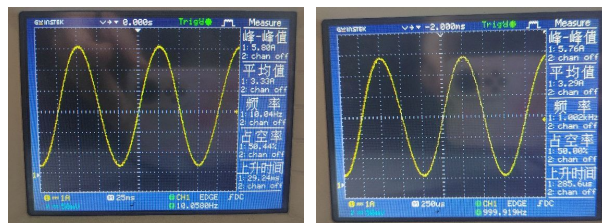


图 4 10Hz、1kHz 正弦波测试图

图 5 中左图为频率设置值 50Hz 三角波下测量的实际信号; 右图为频率设置值为 1000Hz 三角波下测量到的实际信号。

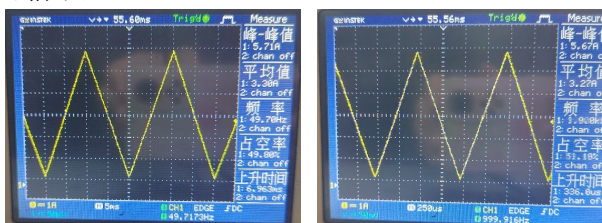


图 5 50Hz、1kHz 三角波测试图

### 4.2 实验总结分析

由于 STM32 与 AD9834 之间通过软件 SPI 的方式进行通信, 信号更新的速度会受到限制, 因此考虑使用 SPI 硬件通信方式进行后续优化。向 AD9834 中两次写入一个完整频率字时, 应当在两次写入之间切换寄存器写入, 以防止写入期间刷新波形导致输出波形有误, 本文中实验编写信号程序时发生尚未在频率寄存器之间切换。考虑到激光器工作时, 应该将输出频率维持在稳定、准确的值, 后续需要加入反馈装置。反馈系统应该实现实时检测到的信号输出频率和幅值等信息反馈给 STM32, 并通过算法对输出值进行自动调控达到频率稳定输出的效果。

#### 参考文献:

- [1] 秦雨婷, 陈红岩. 基于 TDLAS 甲烷检测系统的长光程池研究与设计[J]. 激光与红外, 2024, 54(04): 522-528.
- [2] 黄小东, 郝晓剑, 梁晓东, 王正, 裴攀, 王佳. 基于 TDLAS 的高温氧气标定方法研究[J]. 传感器与微系统, 2024, 43(05): 43-46.
- [3] 何伟杰, 卢俊城, 高璐, 等. 基于 TDLAS 技术的人体呼出一氧化氮在线检测系统[J]. 光学学报, 2024, 44(05): 161-168.
- [4] 冯其栋, 陈淑贤, 罗义郎, 赵美琪, 李栋, 王迪, 周围. 基于波长调制法的氢气激光检测参数优化分析[J]. 光电技术应用, 2023, 38(04): 63-69.
- [5] 熊佳慧, 卜雄洙, 杨昊青, 宋扬. TDLAS 气体浓度检测中 DFB 激光器驱动及温控电路设计[J]. 电子测量技术, 2020, 43(9): 161-165.
- [6] 王彪, 吴剑星, 吕婉凜, 等. 基于 STM32H7A3 的频分复用型 TDLAS 激光驱动系统研制[J]. 激光杂志, 2024, 45(04): 35-39. DOI:10.14016/j.cnki.jgzz.2024.04.035.