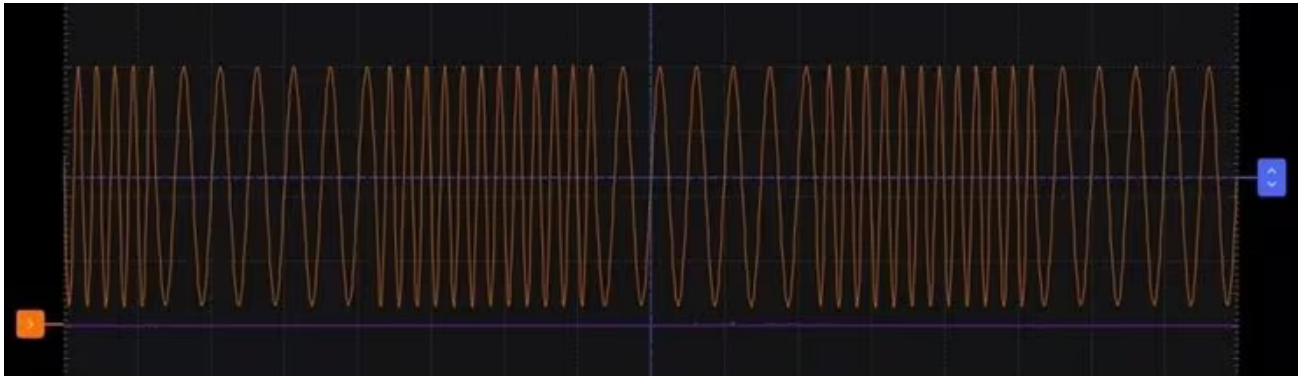
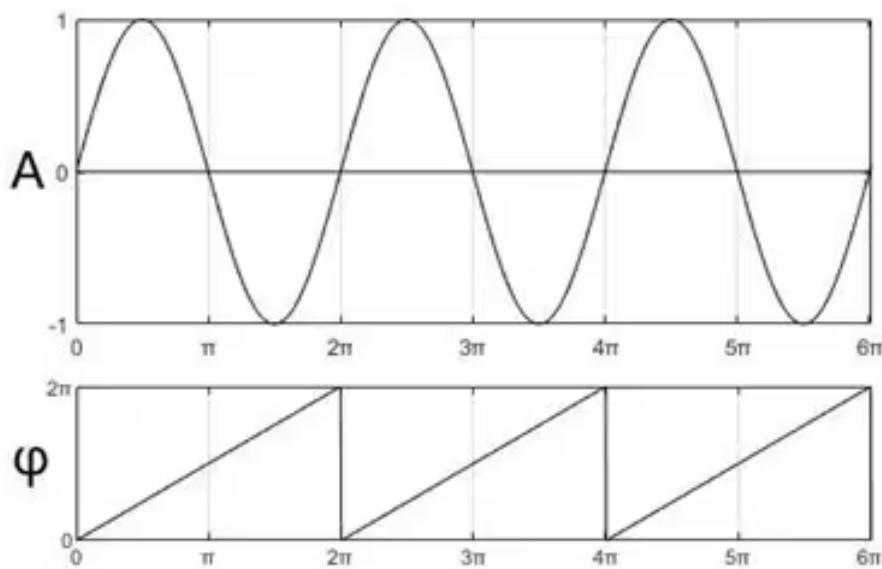


# AD9833调不通？看这篇文章就够了~



## DDS简要基础

直接数字合成是生成模拟信号的一种常用方法，简单意义上的DDS，主要由相位调制器、波形查找表和DAC组成。相位调制器产生一个相位信息，使用该相位信息去波形查找表中查找对应的幅值信息，将幅值送DAC，产生对应的模拟信号，这就是DDS的工作原理。相位调制器一般由相位累加器和相位偏移器组成，先说相位累加器，看图，上半部分为幅值图，下半部分为相位图。

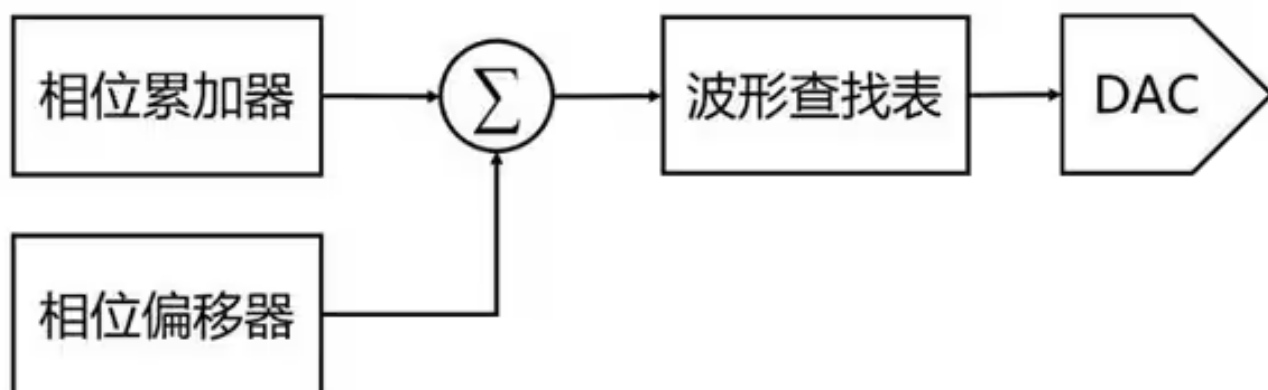


我们知道，对于简单正弦函数，幅值 $A$ 和相位 $\varphi$ 不是线性关系，通过相位 $\varphi$ 求幅值 $A$ ，需要经过 $A = \sin(\varphi)$ 的三角运算；用MCU直接算吗？使用MCU进行三角函数计算的时间开销相对较大，对于频率较高的DDS，略显力不从心，实际DDS中也不是这么搞的。DDS的相位信息被存放在累加寄存器中，虽然幅值和相位不是线性关系，但寄存器累加值和相位可以是线性关系，很容易用寄存器的累加值表达相位信息。

由于累加寄存器的位数是固定的，累加操作从0开始直至寄存器溢出，对应的相位信息

是有限个数，相位对应的幅值信息也是有限个数，对于DDS而言，一种比较高效的方法是，将相位信息和幅值信息制作成查找表，根据累加寄存器的值，去波形查找表中查询对应的DAC数值，送到DAC中产生需要的电压信号。这里需要注意，为了降低系统误差，累加器的位数一般大于DAC的位数。

相位偏移器又是什么呢？一般情况下累加器的值是从0开始加的，输出波形的相位也是从0开始的；如果我想要输出信号的相位从 $90^\circ$ 开始，需要增加一个偏移，从相位累加器取出当前相位+相位偏移器的偏移相位，结果再送波形查找表，即可获得偏移后的幅值信息，DAC就可以输出偏移后的波形啦。流程可见下图：



这里部分朋友可能会产生疑问，相位累加器的原理已经明白了，但频率如何调节？这需要一点数学工具，请看公式推导：

对于简单正弦函数，有：

$f(t) = \sin(\omega * t) = \sin(2\pi * f * t)$  此处 $\omega * t$ 是三角函数的角位移，范围在 $0 \sim 2\pi$ ，可以表示为

$\phi = \omega * t = 2\pi * f * t$  由于DDS是时钟驱动的，时间 $t$ 以固定间隔 $\Delta t$ 前进，设时钟计数为 $\tau$ ，则

$t = \Delta t * \tau$ ，所以有如下等式： $\Delta\phi = 2\pi * f * \Delta t * \tau$

对特定的DDS系统， $\Delta t$ 由驱动时钟的频率确定，设该时钟频率为 $f_m$ ，则 $\Delta t = 1/f_m$ ，于是有： $\Delta\phi = 2\pi * f / f_m * \tau$

在上式中， $f$ 是系统输出信号的频率， $f_m$ 是系统的时钟频率，我们把输出频率 $f$ 放到左边，对等式进行整理： $f = f_m * (\Delta\phi / 2\pi) * (1/\tau)$

现在考虑 $\Delta\phi$ 在DDS中的表示方式，假设DDS系统中存在一个28bit的寄存器，数值范围应为 $0 \sim (2^{28}-1)$ ，为方便表述，将寄存器的最大值用 $C_{max}$ 来表示，则 $0 \sim C_{max}$ 对应角度范围 $0 \sim 2\pi$ ，因寄存器中的数值是离散的，设寄存器数值的单位增量为 $\Delta reg$ ，设累加次数为 $\tau$ ，有： $\Delta\phi = 2\pi / (2^{28}) * \Delta reg * \tau$ ，带入 $f$ 的表达式，有： $f = 1 / (2^{28}) * f_m * \Delta reg$

这个结论太棒了，它表明DDS的输出频率仅和系统的时钟频率 $f_m$ ，寄存器数值的单位增量 $\Delta reg$ 有关，在确定DDS的系统时钟后，通过调整 $\Delta reg$ ，即可实现频率调节！但是单位增量 $\Delta reg$ 看不见摸不着，怎么调它？最简单的做法是，对外暴露一个接口接收目标频率参数 $f$ ，在系统内设置 $\Delta reg = f * (2^{28}) / f_m$ ，这样输出信号的频率和编程写入的频率就一致了。

## AD9833使用指南

先盘一下AD9833的特性，

输出频率：0~12.5MHz（12.5MHz在时钟25MHz时达到）；

工作电压：2.3V~5.5V（最大不超过6V）；

通信方式：三线SPI（最大通信速率40MHz）；

输出波形：正弦、三角、方波；也可软件控制输出复杂波形；

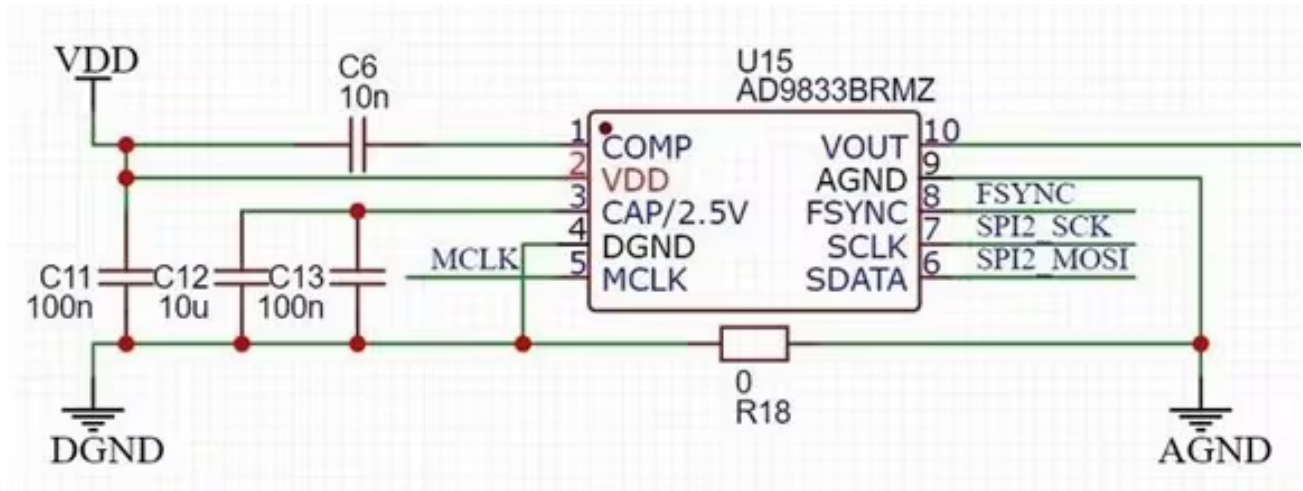
其他特性：睡眠模式（唤醒时间1ms）、脉冲直接输出、DAC关断等。

关于焊接：回流焊温度不应超过220℃！

使用前必知（最重要的3点！）：

1.AD9833是单电源DDS，输出信号没有负电压！2.输出电压最大值为650mV，不是供电电压！3.输出电压最小值为38mV，不是0！

引脚接线方式直接上图比较清晰：



特殊引脚的作用及布线：

- 1.COMP DAC的偏置引脚，用于退耦DAC的偏置电压，经10nF电容连接到VDD；
- 2.CAP/2.5V 内部2.5V稳压器的退耦电容，100nF到DGND；若VDD≤2.7V，将该引脚连接到VDD使内部稳压器旁路；
- 3.MCLK 外部时钟输入，该时钟的质量将直接影响DDS的频率精度和相位噪声；
- 4.FSYNC 通信同步引脚，通信开始时，需将该引脚拉低；
- 5.AGND 模拟地，若没有专用的模拟地，可通过一个0Ω电阻跨接数字地；
- 6.VOUT 模拟信号输出引脚，内部有200Ω负载接地；

AD9833通信约定：

数据以一个16位字的形式，通过SPI传送到AD9833；通信开始前需将同步引脚拉低，且同步引脚拉低时时钟线SCLK应为高电平；

数据可一次传输一个字，传输完成后将同步引脚拉高结束通信；也可一次传输多个字，传输时保持同步引脚为低电平，直至多个字传输完成后拉高。

AD9833内部结构，先上图：

