

# 11. 模拟波形实验例程说明

## 11.1 PGX-Nano 开发板简介

PGX-Nano 开发板配有一颗 DAC 芯片用于输出模拟波形，型号为 MS9708；MS9708 是一款高速 8bit、低功耗 D/A 转换器，采样速率高达 125MSPS，相关数据手册存放在开发板资料的 4\_IC\_datasheet 文件夹中。

## 11.2 实验目的

输出模拟三角波波形。

## 11.3 实验原理

### 11.3.1. DAC 芯片

DAC 芯片将数字信号转换为模拟信号，内部包含了一个 PMOD 电流源阵列，最大可产生 20mA 电流，芯片输出两路信号，DAC 电流输出 IOUTA、互补 DAC 电流输出 IOUTB，信号转换的计算方式如下，具体内容请参考 MS9708 数据手册。

$$IOUTA = (\text{DAC CODE}/256) \times IOUTFS \quad (1)$$

$$IOUTB = (255 - \text{DAC CODE})/256 \times IOUTFS \quad (2)$$

$$IOUTFS = 32 \times IREF \quad (3)$$

$$IREF = VREFIO / RSET \quad (4)$$

注：

1、RSET 为图中 R19，REFIO 接地，故使用的是内部 1.2V 基准，VREFIO 为 1.2V。

2、电阻 RSET 在原理图中为 R19。

DAC 芯片原理图如下图所示，详情请参考 MES-ADDA 原理图。

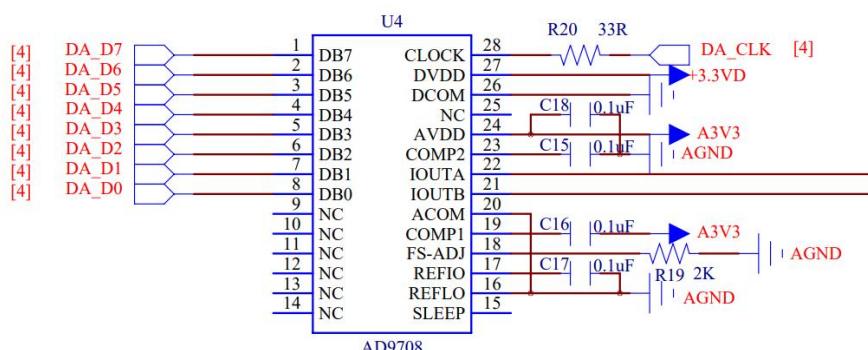


图 4 DAC 芯片

### 11.3.2. 低通滤波电路

低通滤波电路主要用于滤波去噪，使输出波形更加圆滑，电路图如下图所示：

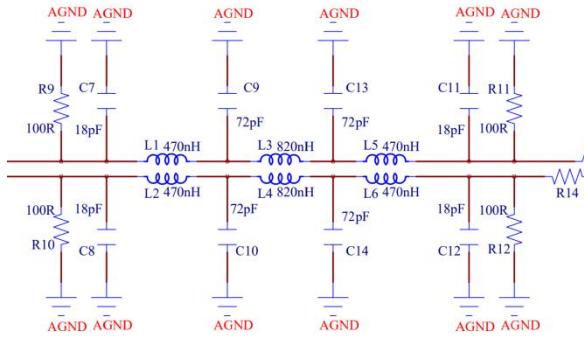


图 5 低通滤波电路

### 11.3.3. 运算放大器

第一级负运算放大器主要将输出电流信号进行减法运算，并且转换为电压信号，输出电压幅值范围：-1V ~ +1V。

需注意的是第一级运算放大器采用负反馈的方式，因此运放输出与 DAC 互补输出信号相位相差 180°。

电路如下图所示：

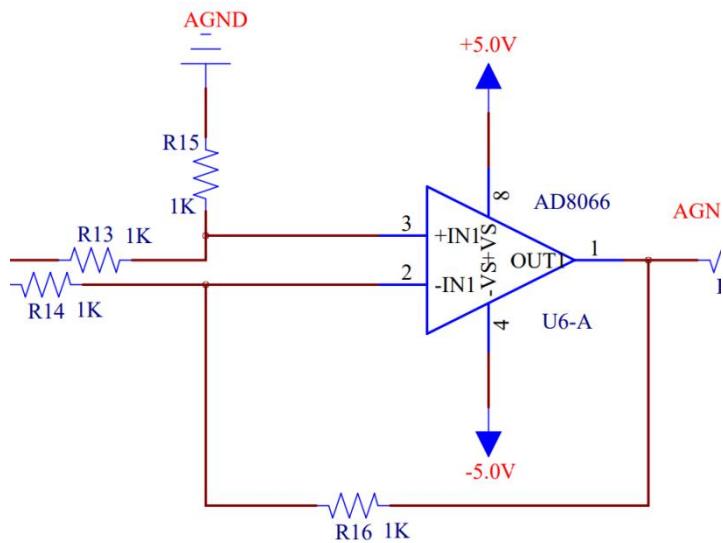


图 6 第一级放大电路

第二级运算放大器可以通过对 W1 旋钮电阻的调节控制放大倍数。测试显示第二级放大电路输出电压控制在 -4.7V ~ +4.7V 范围内，输出波形不失真。

需注意的是第二级运放仍采用负反馈的方式，运放输出与输入相位仍相差 180°。

设  $W1$  的阻值为  $Rf$ , 输出电压  $Vout$ , 输入电压  $Vin$ , 它们的关系如下:

$$Vout = - (Rf/R17) * Vin;$$

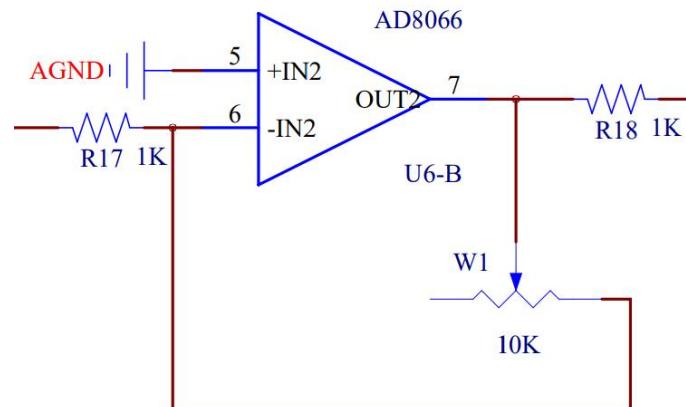
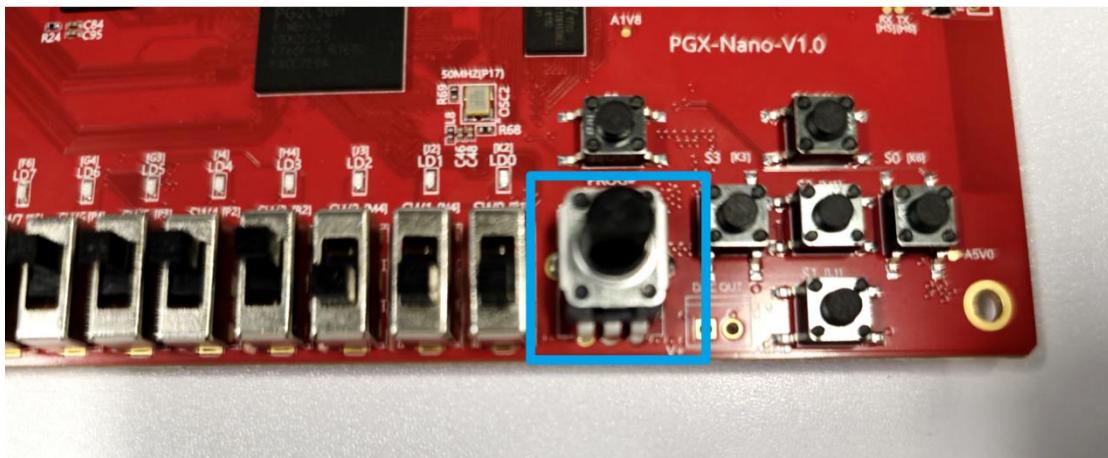


图 7 第二级负反馈放大电路

旋钮电阻的旋钮位置如下:



## 11.4 实验源码

```
module tri_wave(
    input      wire      clk ,
    input      wire      rst_n ,
    output     wire      dac_clk ,
    output     wire[7:0]dac_data
);

reg [7:0]cnt_wave ;
reg flag_down_up ;

always @(posedge clk ) begin
    if (~rst_n)
        cnt_wave <= 8'd0 ;
    else if (flag_down_up)
```

```

        cnt_wave <= cnt_wave - 8'd1 ;
    else
        cnt_wave <= cnt_wave + 8'd1 ;
End

always @(posedge clk ) begin
    if (~rst_n)
        flag_down_up <= 1'b0 ;
    else if (cnt_wave >= 8'd254)
        flag_down_up <= 1'b1 ;
    else if (cnt_wave <= 8'd1)
        flag_down_up <= 1'b0 ;
    else
        flag_down_up <= flag_down_up ;
End

assign dac_data = cnt_wave ;
assign dac_clk = clk ;

endmodule

```

## 11.5 实验现象

使用示波器观察到模拟三角波波形

