

DAC

1, DAC简介 (了解)

1.1, 什么是DAC?

DAC, 全称: Digital-to-Analog Converter, 指数字/模拟转换器

各类传感器->ADC->单片机->DAC->模拟控制系统

ADC和DAC是模拟电路与数字电路之间的桥梁

分辨率 表示模拟电压的最小增量, 常用二进制位数表示, 比如: 8、12位等

1.2, DAC的特性参数

建立时间 表示将一个数字量转换为稳定模拟信号所需的时间

转换精度 转换器实际特性曲线与理想特性曲线之间的最大偏差

精度 误差源: 比例系统误差、失调误差、非线性误差

原因: 元件参数误差、基准电压不稳定、运算放大器零漂等

1.3, STM32各系列DAC的主要特性

主要特性	F1	F4	F7	H7
DAC输出类型	电压输出型			
分辨率	8/12位			
DAC时钟频率	36MHz(APB1)	42MHz(APB1) 45MHz(APB1)	54MHz(APB1)	120MHz(APB1)
建立时间	3us			1.7us
供电电压	V _{DDA} : 0V, V _{DDA} : 2.4V~3.6V			
参考电压	V _{REF} : 0V, V _{REF} 一般为3.3V			
输出通道	DAC_OUT1 (PA4)、DAC_OUT2 (PA5) 为了避免寄生电流消耗, PA4和PA5配置为模拟功能 每个通道都有单独的转换器, 可同时对单独转换, 每个通道都有DMA功能			

2, DAC工作原理 (掌握)

2.1, DAC框图简介 (F1/ F4 /F7/H7)

2.2, 参考电压/模拟部分电压

DAC供电电源: VSSA、VDDA (2.4V≤VDDA≤3.6V)

DAC输出电压范围: VREF-≤VOUT≤VREF+ (即0V≤VOUT≤3.3V)

2.3, DAC数据格式

8位模式 只能右对齐 DHR8Rx、DHR8RD(双DAC通道转换用)

12位模式 右对齐 DHR12Rx、DHR12RD(双DAC通道转换用)

左对齐 DHR12Lx、DHR12LD(双DAC通道转换用)

2.4, 触发源

三种触发转换的方式: 自动触发、软件触发、外部事件触发

TENx位置0 (禁止触发) 经过1个APB1时钟周期, DHRx转移到DORx

TENx位置1 (使能触发) TSELx[2:0]≠111 (选择外部事件触发) 经过3个APB1时钟周期, DHRx转移到DORx

TSELx[2:0] = 111 (选择软件触发, SWTRIGx位) 经过1个APB1时钟周期, DHRx转移到DORx

DHRx数据加载到DORx后, 模拟输出电压将经过时间VSETTLING后可用

2.5, DMA请求 DMAENx位置1->产生DMA请求->DHRx转移到DORx

2.6, DAC输出电压

12位模式下, DAC输出电压计算方法:

DAC输出电压 = $\left(\frac{DORx}{4096}\right) * V_{REF+}$

8位模式下, DAC输出电压计算方法:

DAC输出电压 = $\left(\frac{DORx}{256}\right) * V_{REF+}$

3, DAC输出实验 (熟悉)

3.1, 实验简要 (了解)

1, 功能描述 通过DAC1通道1(PA4)输出预设电压, 然后由ADC1通道1 (PA1) 采集, 最后显示ADC转换的数字量及换算后的电压值

2, 关闭通道1触发(即自动) TEN1位置0

3, 关闭输出缓冲 BOFF1位置1

4, 使用12位右对齐模式 将数字量写入DAC_DHR12R1寄存器

3.2, DAC寄存器介绍 (了解)

3.3, DAC输出实验配置步骤 (掌握)

1, 初始化DAC HAL_DAC_Init()

2, DAC MSP初始化 HAL_DAC_MspInit() 配置NVIC、CLOCK、GPIO等

3, 配置DAC相应通道相关参数 HAL_DAC_ConfigChannel()

4, 启动D/A转换 HAL_DAC_Start()

5, 设置输出数字量 HAL_DAC_SetValue()

6, 读取通道输出数字量(可选) HAL_DAC_GetValue()

3.4, 编程实战: DAC输出实验 (掌握)

4, DAC输出三角波实验 (熟悉)

4.1, 实验简要 (了解)

1, 功能描述 通过DAC1通道1(PA4)输出三角波, 然后通过DS100示波器查看波形

2, 关闭通道1触发(即自动) TEN1位置0

3, 关闭输出缓冲 BOFF1位置1

4, 使用12位右对齐模式 将数字量写入DAC_DHR12R1寄存器

4.2, 编程实战: DAC输出三角波实验 (掌握)

void dac_triangular_wave(uint16_t maxval, uint16_t dt, uint16_t samples, uint16_t n)

5, DAC输出正弦波实验 (熟悉)

5.1, 实验简要 (了解)

1, 功能描述 通过DAC1通道1(PA4)输出正弦波, 然后通过DS100示波器查看波形

2, 使用定时器7 TRGO事件触发转换 TEN1位置1、TSEL1[2:0]=010

3, 关闭输出缓冲 BOFF1位置1

4, 使用DMA模式 DMAEN1位置1

5, 使用12位右对齐模式 将数字量写入DAC_DHR12R1寄存器

5.2, DAC输出正弦波实验配置步骤 (掌握)

1, 初始化DMA HAL_DMA_Init()

2, 将DMA和ADC句柄联系起来 __HAL_LINKDMA()

3, 初始化DAC HAL_DAC_Init()

4, DAC MSP初始化 HAL_DAC_MspInit() 配置NVIC、CLOCK、GPIO等

5, 配置DAC相应通道相关参数 HAL_DAC_ConfigChannel()

6, 启动DAM传输 HAL_DMA_Start()

7, 配置定时器溢出频率并启动 HAL_TIM_Base_Init()、HAL_TIM_Base_Start()

8, 配置定时器触发DAC转换 HAL_TIMEx_MasterConfigSynchronization()

9, 停止/启动DAC转换、DMA传输 HAL_DAC_Stop_DMA()、HAL_DAC_Start_DMA()

5.3, 产生正弦波序列函数介绍 (熟悉)

void dac_creat_sin_buff(uint16_t maxval, uint16_t samples)

5.4, 编程实战: DAC输出正弦波实验 (掌握)

6, PWM DAC实验 (熟悉)

6.1, PWM DAC应用背景 (了解)

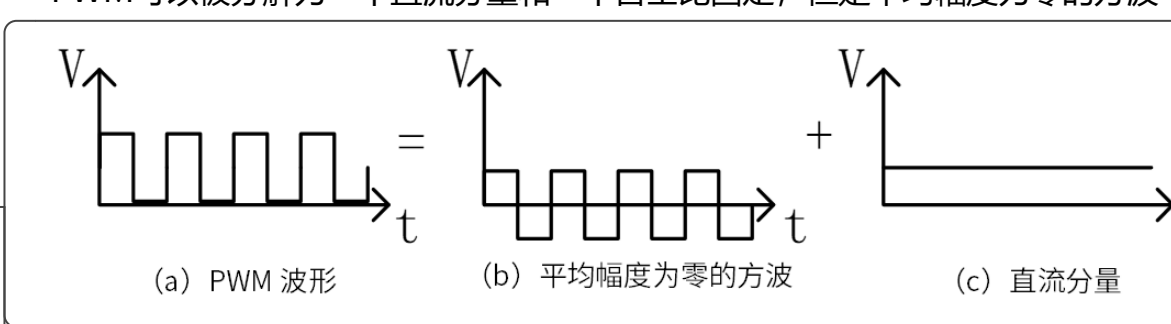
STM32的DAC只有两路输出通道, 有些应用可能需要多路DAC, 外扩DAC成本会高不少

在精度要求不高的场合, 可以用一种廉价的解决方案实现DAC输出: PWM + RC滤波器

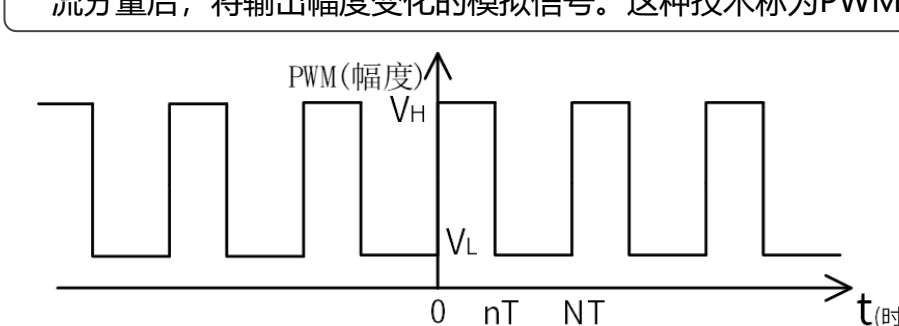
6.2.1, 什么是PWM DAC技术?

PWM是周期固定, 占空比可调的数字信号

PWM可以被分解为一个直流分量和一个占空比固定, 但是平均幅度为零的方波



如果使PWM 信号的占空比随时间改变, 那么其直流分量随之改变, 信号滤除交流分量后, 将输出幅度变化的模拟信号。这种技术称为PWM DAC



6.2.2, 用分段函数表示PWM波

$$f(t) = \begin{cases} V_H, & kNT \leq t < kNT + nT \\ V_L, & kNT + nT \leq t \leq (k+1)NT \end{cases} \quad ①$$

由①式可以得到PWM的占空比 $p = \frac{n}{N}$ ②

回顾定时器如何输出PWM?

PWM周期由ARR(N)决定

PWM占空比由CCRx(n)决定

根据傅里叶理论, 任意周期波形都可以分解为无限个频率为其整数倍的谐波之和

于是将①式展开成傅里叶级数, 可以得到③式:

$$f(t) = \left[\frac{n}{N}(V_H - V_L) + V_L \right] + \frac{2(V_H - V_L)}{\pi} \sin\left(\frac{n\pi}{N}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{NT}t - \frac{n\pi}{N}k\right) + \sum_{k=1}^{\infty} 2 \frac{V_H - V_L}{k\pi} \left| \sin\left(\frac{n\pi}{N}k\right) \right| \cos\left(\frac{2\pi}{NT}kt - \frac{n\pi}{N}k\right) \quad ③$$

1次谐波分量(基波分量)

高次谐波分量之和

想要得到PWM DAC输出, 我们只保留直流分量, 通过低通滤波器过滤掉谐波分量即可

这时候③式可以简化为: $f(t) = \frac{n}{N} V_H$ ④

直流分量从0到V_H之间随n线性变化

由④式可以知道, PWM DAC分辨率的表达式为: 分辨率=log₂ (N) ⑤

6.2.3, 将PWM波分段函数进行傅里叶级数展开

6.2.4, PWM DAC的分辨率

假设n的最小变化是1:

当N=256时, 分辨率就是8位(本实验就是以8位分辨率为例);

当N=4096时, 分辨率就是12位, 以此类推

STM32的定时器都是16位/32位的, 可以很容易得到更高分辨率的PWM DAC

当然分辨率越高, 速度就越慢, 低通滤波电路的要求也越高

6.2.5, 8位分辨率下对RC滤波器的设计要求

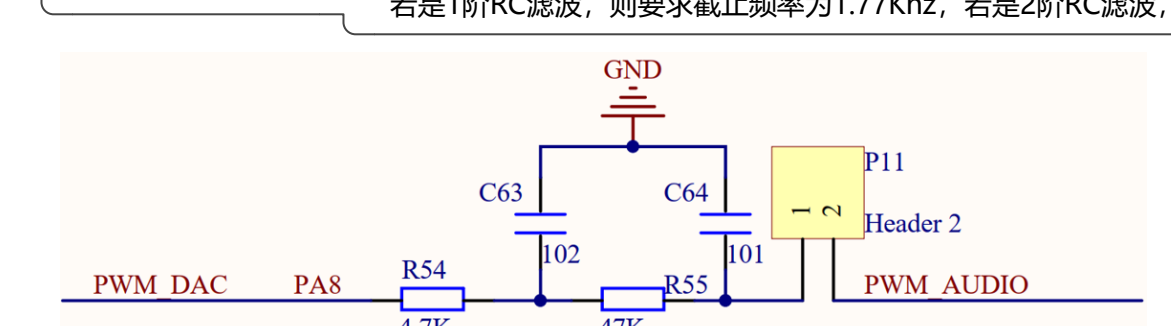
1, 精度要求 一般要求1次谐波对输出电压的影响不要超过1个位的精度, 也就是3.3/256=0.01289V

2, 1次谐波最大值 假设V_H为3.3V, V_L为0V, 那么一次谐波的最大值是2*3.3/π=2.1V

3, RC滤波电路要求 RC滤波电路提供至少-20lg(2.1/0.01289)=-44dB的衰减

4, 截止频率要求 当定时器的计数频率为72Mhz, PWM DAC分辨率为8位时, PWM频率为72M/256=281.25Khz 若是1阶RC滤波, 则要求截止频率为1.77Khz, 若是2阶RC滤波, 则要求截止频率为22.34Khz

6.2.6, PWM DAC二阶低通滤波器原理图



二阶RC滤波器截止频率计算公式: $f = 1/2\pi RC$, 该公式要求R54 * C63 = R55 * C64 = RC

上图中, 二阶RC滤波器截止频率为33.88KHz, 超过了22.34KHz, 原因是该电路我们还需要用作PWM DAC音频输出, 而音频信号带宽是22.05Khz, 为了让音频信号能够通过该低通滤波, 同时为了标准化参数选取, 所以确定了这样的参数。实测精度在0.5LSB以内

6.3, 编程实战: PWM DAC实验 (掌握)

实验功能:

通过定时器1通道1(PA8)输出PWM, 经过二阶RC滤波器, 输出预设电压, 然后由ADC1通道1 (PA1) 采集, 最后显示ADC转换的数字量及换算后的电压值

7, 课堂总结 (了解)