

信号调制度测量装置

摘要: 目前信号调制度测量装置在市面上并不常见, 本文对信号调制度(调幅调频)原理进行相关分析, 通过使用 vivado 调用 dds、fft、fir、cordic 等 IP 核控制 FPGA, 将 FPGA 发送的数据输送到 arduino, 从而计算出调制度, 具有一定的便利性和稳定性的优点。

关键字: FPGA (Basys3) FFT DDS IP 核 arduino

1、方案描述

1.1 预期实现目标与系统原理

调制度 (degree of modulation), 是已调波的一个重要参数, 定义为调制波幅值与载波幅值的比值, 反映了载波的幅度、频率或相位受低频调制信号控制的程度。

本系统期望实现对于来自任意波形发生器产生已调制的正弦信号进行采集、变换、计算, 获得信号的调制度, 显示结果, 并能够在示波器上输出解调波形。

测量装置的主要原理是使用包络检波分析输入已调制信号的调制类型, 然后计算调制度, 当输入信号为调频波时显示最大频偏。

本系统原理如下:

主要采用 FPGA 进行软件实现, 具体原理为: 被测信号经放大等调理过程进入 ADC 进行 80M 采样, 而后通过下变频将信号向低频移动, 输出的两路信号进入低通滤波器, 抽样后采样率降低两倍, 再经过 FFT 求模找最大值, 与 DDS 产生的固定频率信号混频后, 最终实现将信号零中频, 然后再经过低通滤波器, 降低采样率至合适数值, 再将输出的两路信号输入至包络检波, 通过观察解调结果判断信号调制方式, 若检波结果为曲线, 则为 AM 调制; 若结果为直线, 则为 FM 调制或未调制, 如果为 AM 调制, 则求出调幅度并显示在屏幕上; 如果为 FM 调制或未调信号, 则退回一步, 通过 FFT 得出频谱, 单频则为未调波, 多频则为 FM 调制波, 如果为 FM 调制波, 则寻找基频信号来求出频带宽度和频域跨度, 通过公式算出调频度与最大频偏并显示在屏幕上。

1.2 技术方案分析比较

近年来, 可编程逻辑器件迅猛发展, 对于高频信号数据处理处于优势。

可编程逻辑电路实现包络检波或鉴频解调并不困难, 难点在于如何提升采样频率。根据奈奎斯特抽样定理, 在进行 A/D 信号的转换过程中, 当采样频率 f_s

大于信号中最高频率 F_{\max} 的 2 倍时，采样之后的数字信号完整地保留了原始信号中的信息。要想采得 10M-30M 的载波信号，采样率至少要达到 60M 以上，而在实际应用中，采样率应高于 5 倍的 F_{\max} 。显然，这在普通的 A/D 采样模块上是达不到的。

这时，低通采样定理已经不能满足实际中的使用要求，从而催生了带通采样的应用。

带通采样定理：设一个频率信号 $x(t)$ 的频带限制在 (f_L, f_H) 内，采样速率 f_s 满足式：

$$f_s = \frac{2(f_L + f_H)}{2n + 1}$$

式中， n 取能满足 $f_s \geq 2(f_H - f_L)$ 的最大整数 $(0, 1, 2, \dots)$ ，则用 f_s 进行等间隔采样所得到的信号采样值 $x(nT_s)$ 能准确地确定原信号 $x(t)$ 。

由于输入的已调制信号为单音调制信号，频带为带通，但不一定满足采样定理中零中频的条件，因此我们需要使用混频以达到频谱搬移的效果，从而在较低采样速率下准确获取信号波形信息。

虽然现有的解调制硬件十分成熟，但由于外部直接解调会造成载波信息的丢失，无法获取所需要的调制度，我们选择可编程逻辑器件集采样、解调、分析和计算于一体得出最终结果。

2、理论分析与计算

2.1 调幅度计算

设载波电压为

$$u_c = U_c \cos \omega_c t$$

调制电压为

$$u_\Omega = U_\Omega \cos \Omega t$$

根据振幅调制信号的定义，已调信号的振幅随调制信号 u_Ω 线性变化，由此可得：振幅调制信号振幅 $U_m(t)$ 为

$$\begin{aligned} U_m(t) &= U_c(t) \\ &= U_c + k_a U_\Omega \cos \Omega t \\ &= U_c (1 + m \cos \Omega t) \end{aligned}$$

式中， $\Delta U_c(t)$ 与调制电压 u_Ω 成正比，其振幅为 $\Delta U_c = k_a U_\Omega$ 与载波振幅之比称为调幅度

$$m = \frac{\Delta U_c}{U_c} = \frac{k_a U_\Omega}{U_c}$$

式中， k_a 为比例系数，一般由调制电路确定。

2.2 调频度及最大频偏计算

设调制信号和载波信号分别为

$$u_\Omega = U_\Omega \cos \Omega t$$

$$u_c = U_c \cos \omega_c t$$

根据频率调制的定义，高频载波信号的频率与调制信号呈线性关系，即其瞬时角频率为

$$\begin{aligned}\omega(t) &= \omega_c + \Delta\omega(t) \\ &= \omega_c + k_f u_\Omega \\ &= \omega_c + k_f U_\Omega \cos \Omega t \\ &= \omega_c + \Delta\omega_m \cos \Omega t\end{aligned}$$

式中， $\Delta\omega(t) = k_f u_\Omega$ 为顺势（角）频偏； k_f 为调频系数，； $\Delta\omega_m = k_f U_\Omega$ 为最大角频偏。

$$\begin{aligned}\varphi(t) &= \int_0^t \omega(t) dt = \omega_c t + \Delta\varphi(t) \\ &= \omega_c t + k_f \int_0^t U_\Omega \cos \Omega t dt \\ &= \omega_c t + \frac{k_f U_\Omega}{\Omega} \sin \Omega t \\ &= \omega_c t + \frac{\Delta\omega_m}{\Omega} \sin \Omega t \\ &= \omega_c t + m_f \sin \Omega t \\ \Delta f_m &= \Delta\omega_m / 2\pi\end{aligned}$$

式中： $m_f = \frac{\Delta\omega_m}{\Omega}$ 为调频指数， Δf_m 为最大频偏

同时, $m_f = \Delta\omega_m / \Omega$, (F 为调制频率)
 $= \Delta f_m / F$

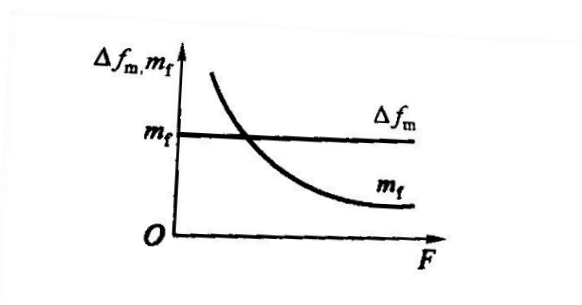


图 7-2 调频波 Δf_m 、 m_f 与 F 的关系

3、电路与程序设计

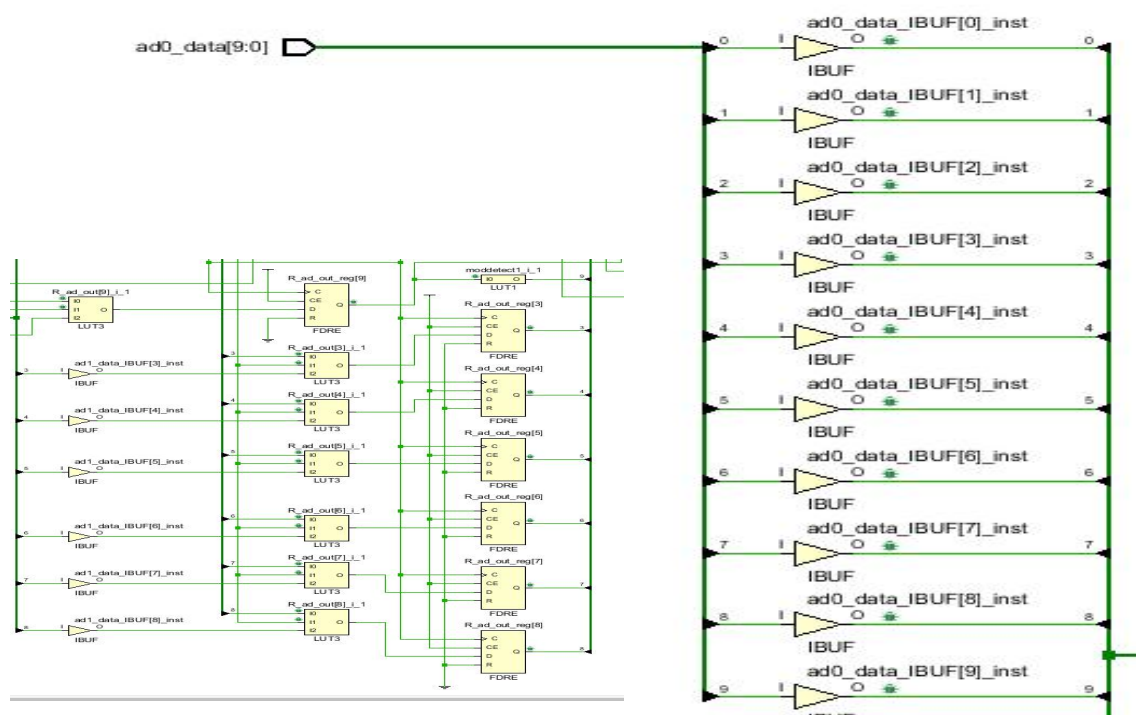
3.1 电路设计

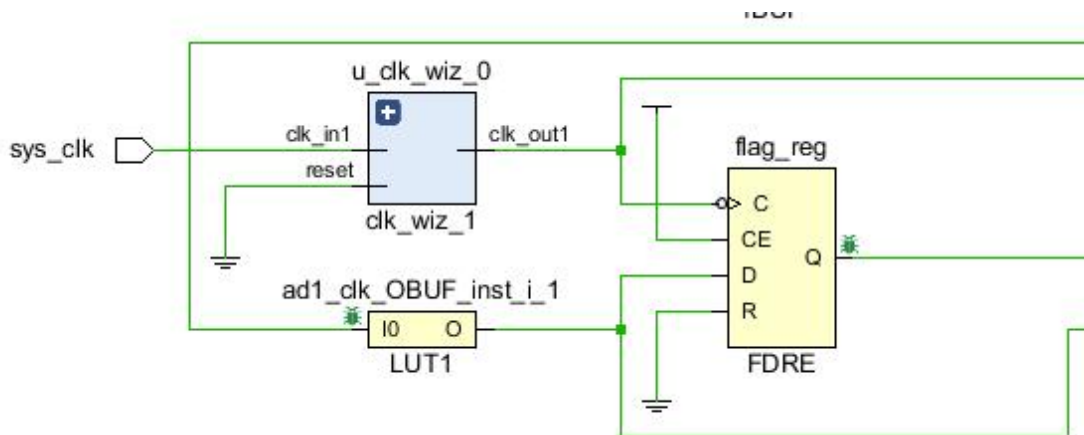
我们通过 PCB 电路扩展版引出 I/O 口, 将 FPGA 与外接模数转换模块、数模转换模块、arduino、串口屏相连, 从而使其更具有整体性。

3.2 程序设计

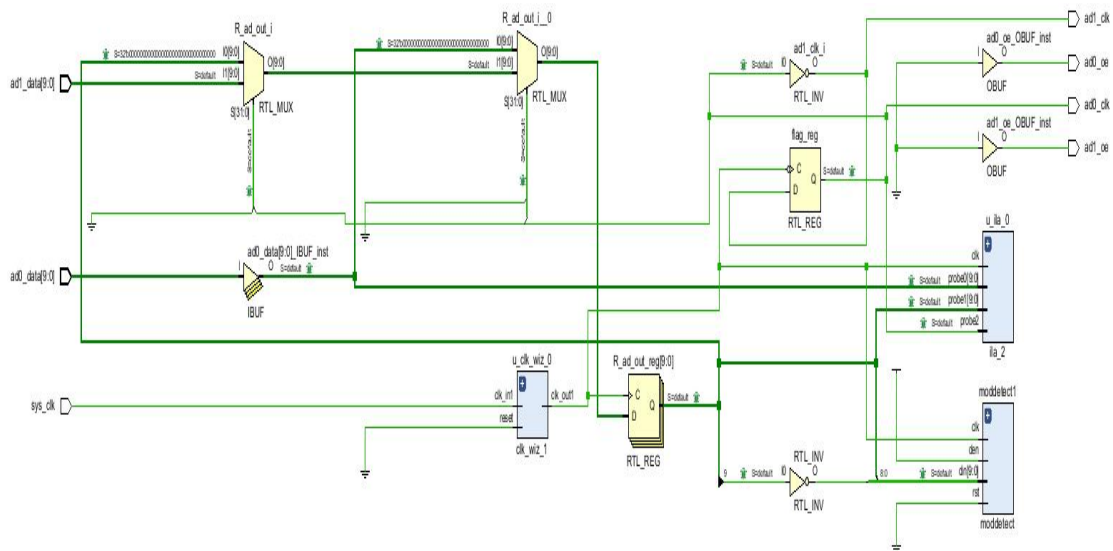
我们通过调用多个 vivado 中 IP 核, 比如: clk_wiz、dds、cmpy、fir、fft、cordic 等, 从而使代码更加简洁、便于修改。以下是我们的部分逻辑图:

ad 逻辑图



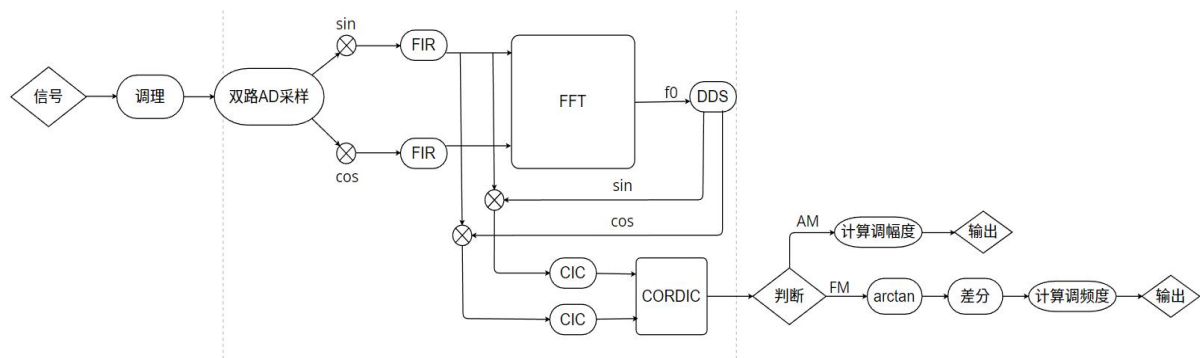


时钟逻辑图



包络检波逻辑图

3.3 整体流程图与原理框图:



4、测试方案与测试结果

当测量使用 20MHz、2V_{pp} 的载波信号 AM 调制的 2kHz、2V_{pp} 和 1V 偏移的已调信号时，测量数据如下：

参数	value
调幅度测量值	0.32
调幅度实际值	0.39
测量误差绝对值	0.07

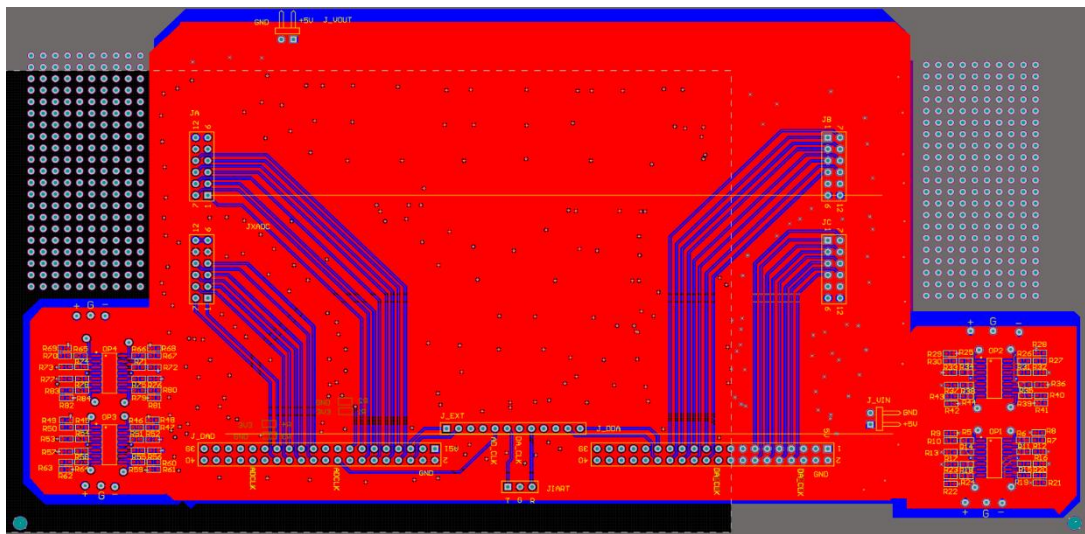
当测量使用 20MHz、2V_{pp} 的载波信号 FM 调制的 4kHz、2V_{pp} 和 1V 偏移的已调信号时，测量数据如下：

参数	value
调频度测量值	2.7
调幅度实际值	2.9
测量误差绝对值	0.2
最大频偏	24kHz

当测量使用 20MHz、2V_{pp} 的载波信号以未知方式调制的 3kHz、2V_{pp} 和 1V 偏移的已调信号时，测量数据如下：

参数	value
调制方式	AM
调幅/频度测量值	0.46
调幅/频度实际值	0.51
测量误差绝对值	0.05
最大频偏	无

附件：



PCB 板线路图

