
2023 年全国高校生电子设计竞赛

信号调制度识别与参数测量估计装置（D 题）



2023 年 8 月 5 日

摘 要

本设计制作了信号调制方式识别与参数估计装置，实现了 AM 信号、FM 信号、CW 信号、2ASK 信号、2FSK 信号、2PSK 信号的解调与波形显示。系统主要由 FPGA 最小系统板、STM32 最小系统板、调幅包络检波模块、调频解调模块等共同组成。系统通过 FPGA 模块对调制信号进行采样处理，由 STM32 单片机模块进行 FFT 数据分析，通过算法分析可准确识别六种信号，并控制硬件检波、解调出调制信号，经测量分析其参数基本符合题目要求。其具有分析速度快，识别准确度高、信号完整、参数准确等优点。

关键词：FPGA，STM32，包络检波，调频解调，FFT 算法

信号调制方式识别与参数估计装置（D 题）

【本科组】

1 系统方案

本系统主要由 FPGA 模块、单片机模块、TA8164 调频解调模块、包络检波模块、电源模块组成，下面分别论证这几个模块的选择。

1.1 单片机的论证与选择

方案一：瑞萨 R5F100LEA

瑞萨 R5F100LEA 芯片虽然具有代码生成快，易操作等优点，但是该芯片片内资源少、代码不够敏捷，且队员对该芯片的运用并不娴熟，同时题目没有限制限制芯片的型号，故不采纳此方案。

方案二：STM32F407

STM32F407 系列芯片具有丰富的 IO 口资源、CPU 强大算力、片内资源丰富等优点，但是该芯片运用不够敏捷，对大数据分析处理能力不足、故也不采纳此方案。

方案三：STM32H750

STM32H750 系列芯片具有丰富的 IO 口资源、CPU 强大算力、片内资源丰富等优点，除此之外，H750 对算法运行较快，对 FFT 大数据分析能力更强、其性能更优。

综合以上三种方案，选择方案三。

1.2 TA8164 调频解调模块的论证与选择

方案一：MC3363DW 调频解调模块

MC3363 调频解调芯片，其调频解调性能优良，对小信号灵敏度高，其常用于窄带调频接收机、调频信号处理。但其频带较窄，不适用于宽带调频处理。

方案二：NE564 调频解调模块

NE564 调频解调模块，其可以用于 FM 解调、2FSK 解调，并且其可以用于宽带调频信号解调。但是由于其载波信号的频率范围为 10MHz-90MHz，并且其 2FSK 解调最

小调频要求为 20MHz，远远大于 2MHz。

方案三：TA8164 调频解调模块

TA8164 调频解调模块，其可以用于调频信号处理，具有优良的灵敏度、良好的带宽，并且其可以任意射频调频信号进行解调，由于其优良的带宽也可以用于对部分 2FSK 信号进行解调。

综合以上三种方案，选择方案三。

1.3 包络检波模块的论证与选择

方案一：ADL5511 射频包络检波器

ADL5511 射频包络检波器，其带宽为 DC—6000MHz，在高频段，检波能力优良，具有较大带宽，但制作不易。

方案二：包络检波电路

包络检波电路，由两个检波二极管以及电阻、电容组成，通过对时间常数的设定，能够很好的达到检波的目的，并且制作简单。

综合考虑采用方案二。

2 系统理论分析与计算

2.1 系统结构的分析

2.1.1 系统结构

通过对题目要求的分析，这是一个识别、测量的系统，需要准确识别并且精确测量调制信号所对应的参数。该系统通过 FPGA 对输入信号进行采样、分析再通过 STM32 单片机进行 FFT 数据分析，通过频谱特征准确识别其调制方式，根据其幅频特性准确的计算出参数值，通过调制方式的不同改变其输出通路得到对应调制信号。

2.1.2 调幅波解调

系统通过将 AM/2ASK 信号放大输入再与 12.7MHz 本振信号进行混频，再通过 10.7MHz 陶瓷滤波器得到其中频信号，由包络检波电路进行检波得到正弦波/方波信号。

2.1.3 调频波解调：

系统通过将 FM/2FSK 信号输入 TA8164 进行调频信号处理，再通过放大器达到其要求幅值，后通过单片机的控制进行选择输出。

2.2 调制参数的计算

2.2.1 调幅系数：

通过分析，调幅度的测量可以通过 FPGA 进析得到其幅频特性与解调波形，根据公式计算调幅度，如式 2-2-1 所示：

$$m_a = (V_{max} - V_{min}) / (V_{max} + V_{min}) \quad \text{式 (2-2-1)}$$

2.2.2 调频系数

通过实践测量与理论分析，其调频系数计算公式如式 2-2-2 所示，最大频偏和调制频率都可以由 FFT 幅频特性测量得到，其中最大频偏与调制信号呈线性关系计算得到。

$$m_f = \Delta f_{max} / F \quad \text{式 (2-2-2)}$$

2.2.3 移频键控系数

通过分析可知，移频键控系数计算如式 2-2-3 所示，其也可通过 FFT 分析，由其幅频特性得到。

$$h = |f_{c1} - f_{c0}| / R_c \quad \text{式 (2-2-3)}$$

3 电路与程序设计

3.1 电路的设计

3.1.1 系统总体框图

系统总体框图如图 3.1 所示，图中输入 100mvpp/2MHz 的调制信号，信号分四路输入，信号通过中频放大提供给 FPGA 最优采集电平，再经过单片机进行数据处理与信号分析，最终于屏幕显示输入信号信息，并控制开关输出。

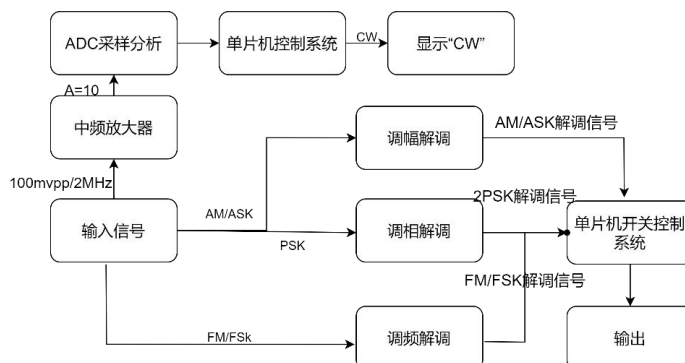


图 3.1 系统总体框图

3.1.2 解调系统框图与电路原理图

包络检波模块框图如图 3.2 所示，当输入信号为 AM/2ASK 信号时，由于两种型号

具有调幅信号特点，均可通过包络检波得到。由于输入信号频率与预计解调频率存在差异，故减器混频、滤波后得到中频，再进行包络检波，经过放大后，对不同信号进行不同处理。

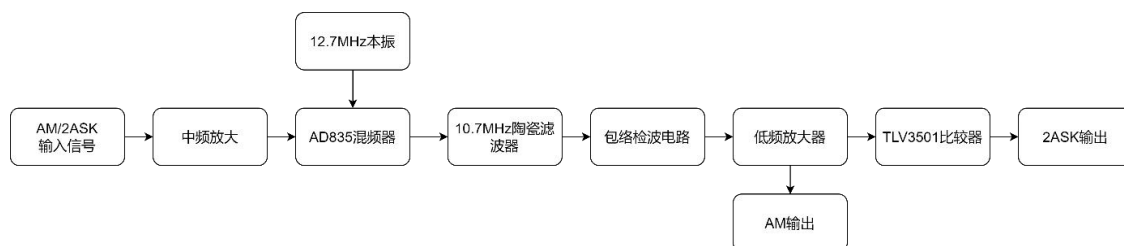


图 3.2 调幅解调子系统框图

调频解调模块框图，如图 3.3 所示。当输入信号为 FM/2FSK 时，其俊具有调频信号的特点，故均可对其进行调频解调。。

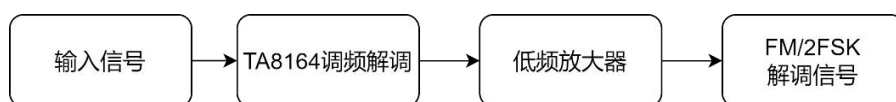


图 3.3 调频解调子系统框图

调幅解调系统子系统部分电路如图 3.4 所示

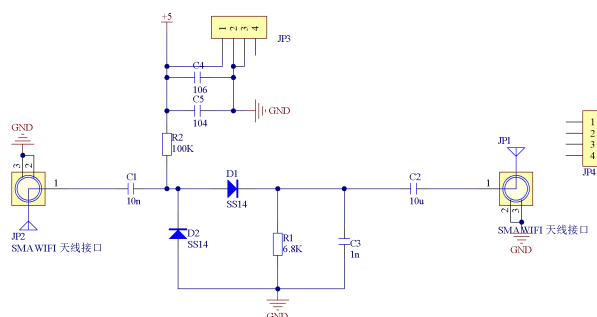


图 3.4 包络检波电路

3.1.3 单片机开关控制子系统框图与电路原理图

单片机开关控制子系统框图如图 3.6 所示，其解调信号进入单片机开关控制系统，由单片机对信号进行识别、分析与处理，再控制其输出，达到相互信号不干扰并且稳定输出的目的。

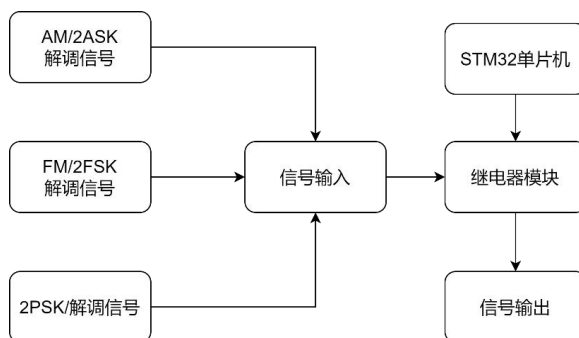


图 3.6 单片机开关控制子系统框图

3.1.4 电源

电源由电源箱供电，再由滤波部分组成。为整个系统提供 $\pm 5V$ 电压，确保电路的正常稳定工作。这部分电路比较简单，故不作详述。

3.2 程序的设计

3.2.1 程序功能描述与设计思路

(1) 程序功能描述

通过 FPGA 直接对 2M 载波信号进行采集，将采集后的结果传输到 STM32H750 单片机进行 FFT、软件检波等算法分析。

该软件系统能够实现对 3 种模拟调制（AM、FM、CW）信号的识别，和 3 种数字调制（ASK、FSK、PSK）信号的识别。并完成了对 AM、FM 的调制信号频率、调制系数的测量，和 ASK、FSK、PSK 的码率、键控系数等测量。

(2) 程序设计思路

信号的识别，将六种信号分类为模拟调制信号和数字调制信号，以模拟调制（AM、FM、CW）为例，通过时域上对波形进行包络检波可以很明显的将 AM、FM 和 CW 分为两组，再通过分析频域峰值检测可明显将 FM 和 CW 区分出来。

信号参数的测量，对参数精度要求较低信号，直接通过对采集信号进行 FFT 分析后得出调制信号频率、调制系数等参数。对参数精度要求较高的信号，通过控制 IO（继电器）选择测量通道，通过测量硬件解调后的信号得到题目要求的参数，并显示到显示屏上。

3.2.2 程序流程图

对于模拟调制信号和数字调制信号的识别与解调软件设计流程图如图 3.7 和图 3.8 所示。

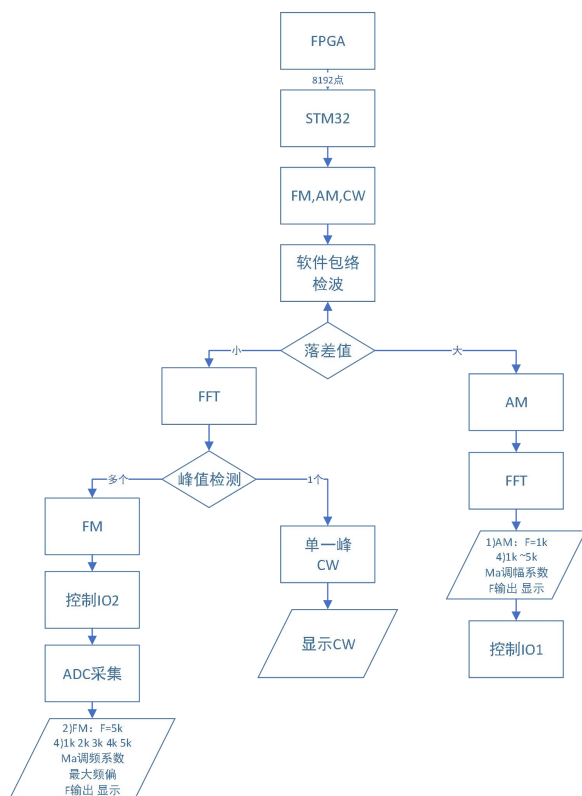


图 3.7 模拟调制流程图

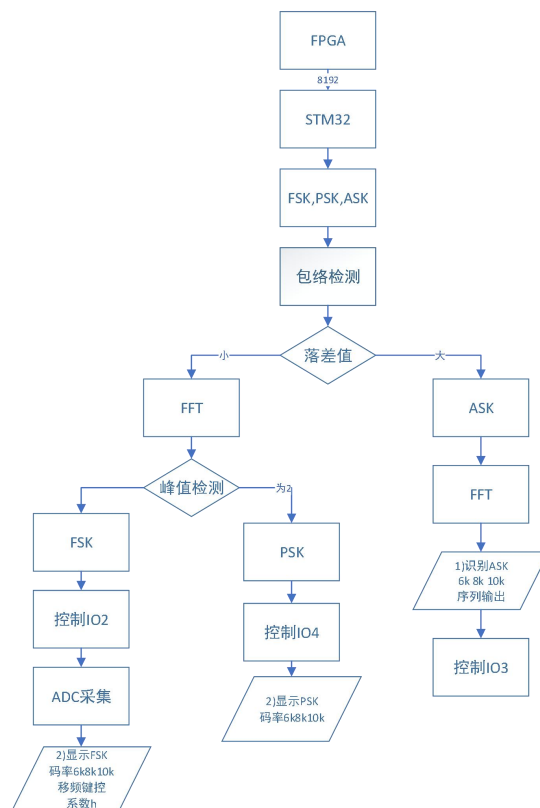


图 3.8 数字调制流程图

4 测试方案与测试结果

4.1 测试方案

4.1.1 硬件测试

通过信号源输入指定信号，再通过示波器进行测量显示。通过信号源进行频率微调观测输出信号频率变化。

4.1.2 硬件软件联调

硬件软件联调：调试时，下载线连接单片机，以便程序执行后实时观测 FFT 算法分析中多个变量，比如调制信号频率、调制度、调频系数等。

4.2 测试条件与仪器

测试条件：检查多次，仿真电路和硬件电路必须与系统原理图完全相同，并且检查无误，硬件电路保证无虚焊。

测试仪器：高精度的模拟示波器，数字示波器，数字万用表，电源箱。

4.3 测试结果及分析

4.3.1 测试结果(数据)

表 4-1 信号测试结果表

输入信号			输出信号		
AM 信号	调制信号频率	调制系数	频率	测量调幅系数	幅值
	1KHz	40%	1.01KHz	45%	1.01V
	3KHz	50%	3KHz	57.21%	1.939V
	5kHz	60%	5KHz	68.21%	2.523V
FM 信号	调制信号频率	输入频偏	调频系数	最大频偏	幅值
	2K	6K	3.01	6.09K	0.855V
	3K	12K	3.93	12.6K	1.51V
	4K	20K	5.01	20.05K	2.314V
2ASK 信号	码速率		测量码速率		幅值
	6kbps		6kbps		0.955V
	8kbps		8kbps		0.955V
	10kbps		10kbps		1.005V
2FSK 信号	码速率	移频键控系数	测量码速率	测量系数	幅值
	6kbps	2	6.054kbps	1.94	0.86V
	8kbps	3	8.007kbps	3.05	1.41V
	10kbps	4	9.960	4.02	1.919V
2PSK	码速率		测量码速率		幅值
	6kbps		5.589kbps		4.4V
	8kbps		7.812kbps		4.4V
	10kbps		9.765kbps		4.51V

4.3.2 测试分析与结论

根据上述测试数据，由此可以得出以下结论：

- 1、该设计软件系统识别反应快，可连续识别并测量信号的类型和参数
- 2、此设计在调制信号解调已经基本符合题目要求
- 3、该设计系统稳定度高

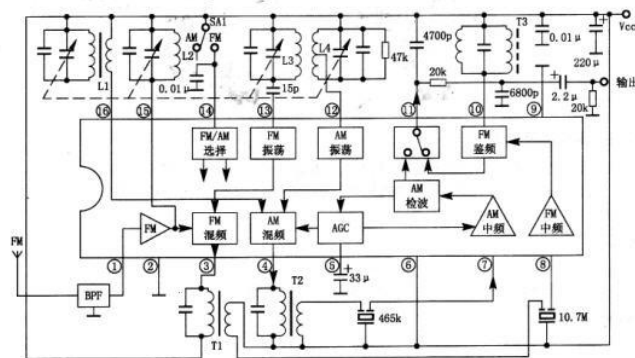
综上所述，本设计达到设计要求。

参考文献

- [1] 高吉祥, 陈威兵. 高频电子线路与通信系统设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2019(4).
- [2] 张肃文. 高频电子线路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009(5).
- [3] 闫军杰. 基于特征提取的通信信号调制识别技术研究[实现][N]. 成都: 电子科技大学, 2019(5).
- [4] 张仔兵, 李立萍, 肖先赐. MPSK 信号的循环谱检测及码元速率估计[N]. 成都: 电子科技大学, 2005.

附录 1：电路原理图

1、TA8164 原理图

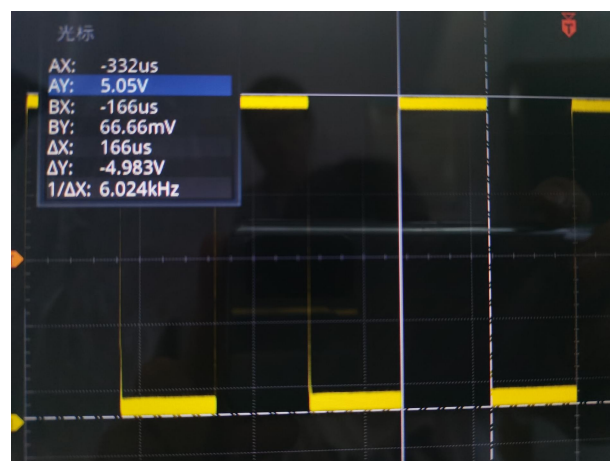


图（一）TA8164 调频接收原理图

2、实物波形图展示



图（二）AM 解调信号



图（三）2ASK 解调信
