

通信与信息工程 综合实验原理与方法

朱秋明 陈小敏 杨建华 徐大专 编著

非外借



科学出版社

通信与信息工程综合实验原理与方法

朱秋明 陈小敏 杨建华 徐大专 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书分四篇：第一篇是实验平台介绍，包括通信原理综合实验箱和软件无线电实验箱的两个硬件平台介绍；第二篇是基础实验，包括通信原理重要知识点的实验，以及基于 MATLAB 的模拟和数字通信传输实验；第三篇是基于 MATLAB 或 FPGA 的课程设计实验，包括通信系统综合仿真实验、模拟通信系统综合实验和通用数字调制系统实验；第四篇是综合课程设计实验，包括衰落信道的模拟及其对无线通信系统的性能评估及验证。

本书可作为高等院校电子信息类专业本科生的实验教材，也可供参加电子竞赛的学生使用，还可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信与信息工程综合实验原理与方法/朱秋明等编著. —北京：科学出版社，2018.12

ISBN 978-7-03-059265-1

I. ①通… II. ①朱… III. ①通信工程—实验②信息工程—实验
IV. ①TN91-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 246730 号

责任编辑：余 江 张丽花 高慧元/责任校对：王萌萌

责任印制：张 伟/封面设计：迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 12 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2018 年 12 月第一次印刷 印张：11

字数：268 000

定价：39.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前言

“通信原理”是通信与信息工程类专业的重要专业基础课程，在整个课程体系中起着承上启下的关键作用。该课程课堂理论教学较为抽象，给学生的直观感受不强，导致学生较难理解。目前，大部分学校开设了通信类实验教学课程，通过实际操作让学生理解抽象的通信理论，同时培养学生的工程实践和创新能力，这也符合国家对“新工科”人才培养的宗旨。

本书在 2007 年出版的《通信原理实验指导》(杨建华编著，国防工业出版社)基础上，对原有实验进行了优化整合，新增了基于 MATLAB 和 FPGA 的通信系统仿真及综合课程设计实验，并在实验案例设计中引入了课题组的科研成果。全书分四篇：第一篇是实验平台介绍，包括通信原理综合实验箱和软件无线电实验箱的两个硬件平台介绍；第二篇是基础实验，包括通信原理重要知识点的实验，如码型变换实验、调制/解调实验和编码/译码实验等，以及基于 MATLAB 的模拟和数字通信传输实验；第三篇是基于 MATLAB 或 FPGA 的课程设计实验，包括通信系统综合仿真实验、模拟通信系统综合实验和通用数字调制系统实验；第四篇是综合课程设计实验，包括衰落信道的模拟及其对无线通信系统的性能评估及验证。各部分实验的学时安排建议如下：基础实验为 2 学时/实验，课程设计为 1 周/实验，综合课程设计为 2 周/实验。

本书主要由朱秋明和陈小敏规划、统筹定稿，杨建华编写基础实验的实验 1~实验 7，陈小敏编写基础实验的实验 8、实验 9 以及课程设计的实验 10，朱秋明编写课程设计的实验 11、实验 12 以及综合课程设计的实验 13，徐大专编写实验平台介绍以及进行全书审订。参加初期实验研发工作的硕士研究生包括于晓丹、周生奎、黄攀、谭伟、戴秀超、朱益民、刘星麟、薛翠薇、苏君旭、李浩、胡续俊、赵智全、方竹等。另外，王亚文、朱煜良、戴政、蒋珊和姚梦恬等硕士研究生参与了书稿的编辑与校对，正是他们的辛勤付出使得本书能够如期和读者见面。

编者要感谢南京航空航天大学电子信息工程学院和深圳市依元素科技有限公司为实验研发与出版提供项目资助，包括教育部产学研合作协同育人项目(赛灵思 201601014024)和“十三五”专业建设项目(1804ZJ02JC01)；特别感谢南京展鹄电子科技有限公司鲁彩侠老师、深圳市依元素科技有限公司夏良波经理和科学出版社编辑为本书提供的诸多技术支持与宝贵意见。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2018 年 9 月

目 录

第一篇 实验平台介绍

实验平台 1 通信原理综合实验箱	1
1.1 实验系统简介	1
1.2 用户操作流程	2
实验平台 2 软件无线电实验箱	6
2.1 实验平台简介	6
2.2 用户操作流程	7

第二篇 基础实验

实验 1 幅度调制系统实验	8
1.1 实验目的	8
1.2 实验仪器	8
1.3 幅度调制	8
1.4 双边带调制	11
1.5 单边带调制	14
1.6 实验报告及要求	17
实验 2 HDB ₃ /CMI 码型变换实验	18
2.1 实验目的	18
2.2 实验仪器	18
2.3 AMI/HDB ₃ 码型变换	18
2.4 CMI 码型变换	23
2.5 实验报告及要求	27
实验 3 QPSK 传输系统实验	29
3.1 实验目的	29
3.2 实验仪器	29
3.3 实验原理	29
3.4 实验步骤	31
3.5 实验报告及要求	33
实验 4 MSK 传输系统实验	34
4.1 实验目的	34
4.2 实验仪器	34
4.3 实验原理	34

4.4	实验步骤	35
4.5	实验报告及要求	37
实验 5	数字频带调制系统实验	38
5.1	实验目的	38
5.2	实验仪器	38
5.3	FSK 调制/解调	38
5.4	BPSK 调制/解调	49
5.5	DBPSK 调制/解调	64
5.6	实验报告及要求	71
实验 6	模拟信号的数字传输实验	72
6.1	实验目的	72
6.2	实验仪器	72
6.3	PAM 编译码	72
6.4	PCM 编译码	75
6.5	实验报告及要求	79
实验 7	汉明码实验	80
7.1	实验目的	80
7.2	实验仪器	80
7.3	实验原理	80
7.4	实验步骤	84
7.5	实验报告及要求	86
实验 8	基于 MATLAB 的模拟信号传输系统实验	87
8.1	实验目的	87
8.2	实验仪器	87
8.3	实验原理	87
8.4	实验内容及步骤	91
8.5	实验仿真结果	95
8.6	实验报告及要求	98
实验 9	基于 MATLAB 的数字信号传输系统实验	99
9.1	实验目的	99
9.2	实验仪器	99
9.3	实验原理	99
9.4	实验内容及步骤	103
9.5	实验仿真结果	105
9.6	实验报告及要求	106

第三篇 课程设计

实验 10	基于 MATLAB 的通信系统综合仿真实验	107
10.1	实验目的	107

10.2	实验仪器	107
10.3	实验原理	107
10.4	实验内容及步骤	111
10.5	实验仿真结果	111
10.6	实验报告及要求	112
实验 11	基于 FPGA 的模拟通信系统综合实验	113
11.1	实验目的	113
11.2	实验仪器	113
11.3	实验原理	113
11.4	实验方案	118
11.5	实验步骤	119
11.6	实验结果	125
11.7	实验报告及要求	132
实验 12	基于 FPGA 的通用数字调制系统实验	133
12.1	实验目的	133
12.2	实验仪器	133
12.3	实验原理	133
12.4	实验方案	138
12.5	实验步骤	139
12.6	实验结果	145
12.7	实验报告及要求	148

第四篇 综合课程设计

实验 13	衰落信道下 QPSK 系统性能评估及验证	149
13.1	实验目的	149
13.2	实验仪器	149
13.3	实验原理	149
13.4	实验方案	155
13.5	实验步骤	156
13.6	实验结果	161
13.7	实验报告及要求	167
参考文献		168

第一篇 实验平台介绍

实验平台 1 通信原理综合实验箱

1.1 实验系统简介

通信原理综合实验箱采用模块化结构，如图 a 所示，主要模块如下：显示控制模块、FPGA 初始化模块、信道接口模块、DSP+FPGA 模块、D/A 模块、中频调制模块、中频解调模块、A/D 模块、测试模块、汉明编码模块、汉明译码模块、噪声模块、电话接口模块、DTMF 模块、PAM 模块、ADPCM 模块、CVSD 发模块、CVSD 收模块、帧传输复接模块、帧传输解复接模块、AMI/HDB₃ 码模块、CMI 编码模块、CMI 译码模块、模拟锁相环模块、数字锁相环模块和信号源模块等。在每一个模块中，都有测试点与测试插座对应信号点的定义。为便于学习和实验，各项实验内容以模块进行划分，每个测试模块可以单独开设实验。

通信原理综合实验箱中，电源插座与电源开关在机箱的背面，电源模块在该实验箱电路板的底部，它主要完成交流 220V 到+5V、+12V、-12V 的直流变换，给整个硬件箱供电。

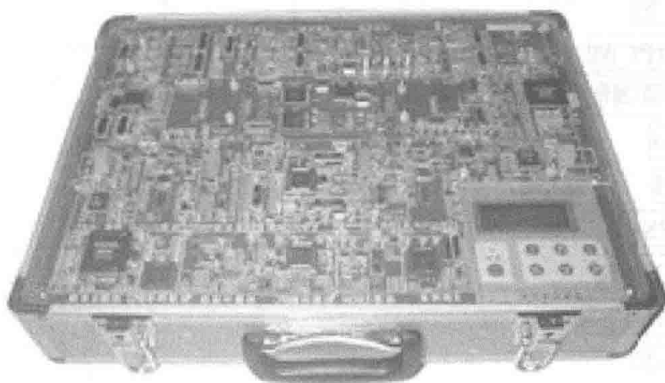


图 a 通信原理综合实验箱

1.2 用户操作流程

各模块功能的实现，需初始化不同的 FPGA 程序与数字信号处理 (DSP) 程序，并对它们进行一定的管理，这些都可以通过操作界面进行选择和控制在。

实验箱通电之后，按照上次关机前选择的模式进行初始化，在这期间 DSP+FPGA 模块中的初始化灯 (DV01) 熄灭。当初始化完成之后，初始化灯亮。5s 之后，完成相应模式参数的设置。

在这个过程中，液晶显示器一直显示**通信原理实验**。

完成初始化与参数设定后，液晶显示**调制方式选择**。

将等待用户输入，用户必须按下箭头键 (除复位键外，其他键将不起作用) 进行设置。

用户通过上下箭头键进行下列菜单的选择。

菜单 1: **调制方式选择** (该菜单上只有下箭头和右箭头起作用)

菜单 2: **FSK 传输系统**

菜单 3: **BPSK 传输系统**

菜单 4: **DBPSK 传输系统**

菜单 5: **调制器输入信号**

菜单 6: **外部数据信号**

菜单 7: **全 1 码**

菜单 8: **全 0 码**

菜单 9: **0/1 码**

菜单 10: **特殊码序列**

菜单 11: **m 序列**

菜单 12: **工作方式选择**

菜单 13: **匹配滤波**

菜单 14: **PCM**

菜单 15: **ADPCM**

菜单 16: **增强调制选择**

菜单 17: **AM**

菜单 18: **FM**

菜单 19: **QPSK**

菜单 20: **OQPSK**

菜单 21: **PI4QPSK**

菜单 22: **MSK**

菜单 23: **GMSK**

菜单 24: **16QAM**

菜单 25: **64QAM**

菜单 2~菜单 4 是调制方式选择；菜单 6~菜单 11 是输入数据选择；菜单 14 和菜单 15 是语音编码方式选择；菜单 17~菜单 25 是有关现代调制方式的选择。

通过移动上下箭头可以在菜单 1 ～菜单 25 进行选择。如要选择某一种模式，当箭头移至该菜单时按确认键即可。已选择的模式或参数的菜单会显示打勾，否则显示手形图标。

当学生在菜单 2～菜单 4 和菜单 17～菜单 25 任一菜单上进行确认时，系统对选择的模式进行初始化，在这期间左边的初始化灯 (DV01) 熄灭。当初始化完成之后，初始化灯亮。经过 5s，完成相应模式参数的设置，并且在该菜单上打勾。

菜单 13 是一个复选菜单：第一次按确认为选择该模式，菜单会显示打勾；再一次按确认则取消该模式的设置，显示手形图标。

通信原理综合实验箱布局如图 b 所示，其中的跳线器默认位置状态如图 c 所示，各测试孔默认位置状态图如图 d 所示。

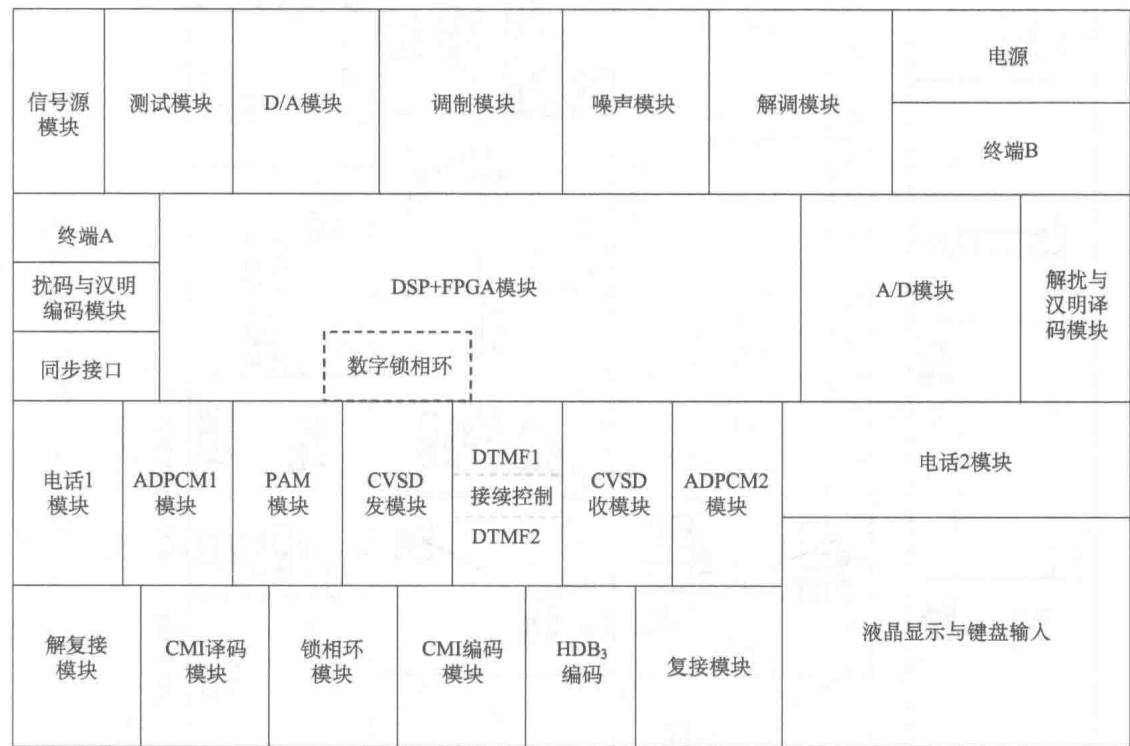
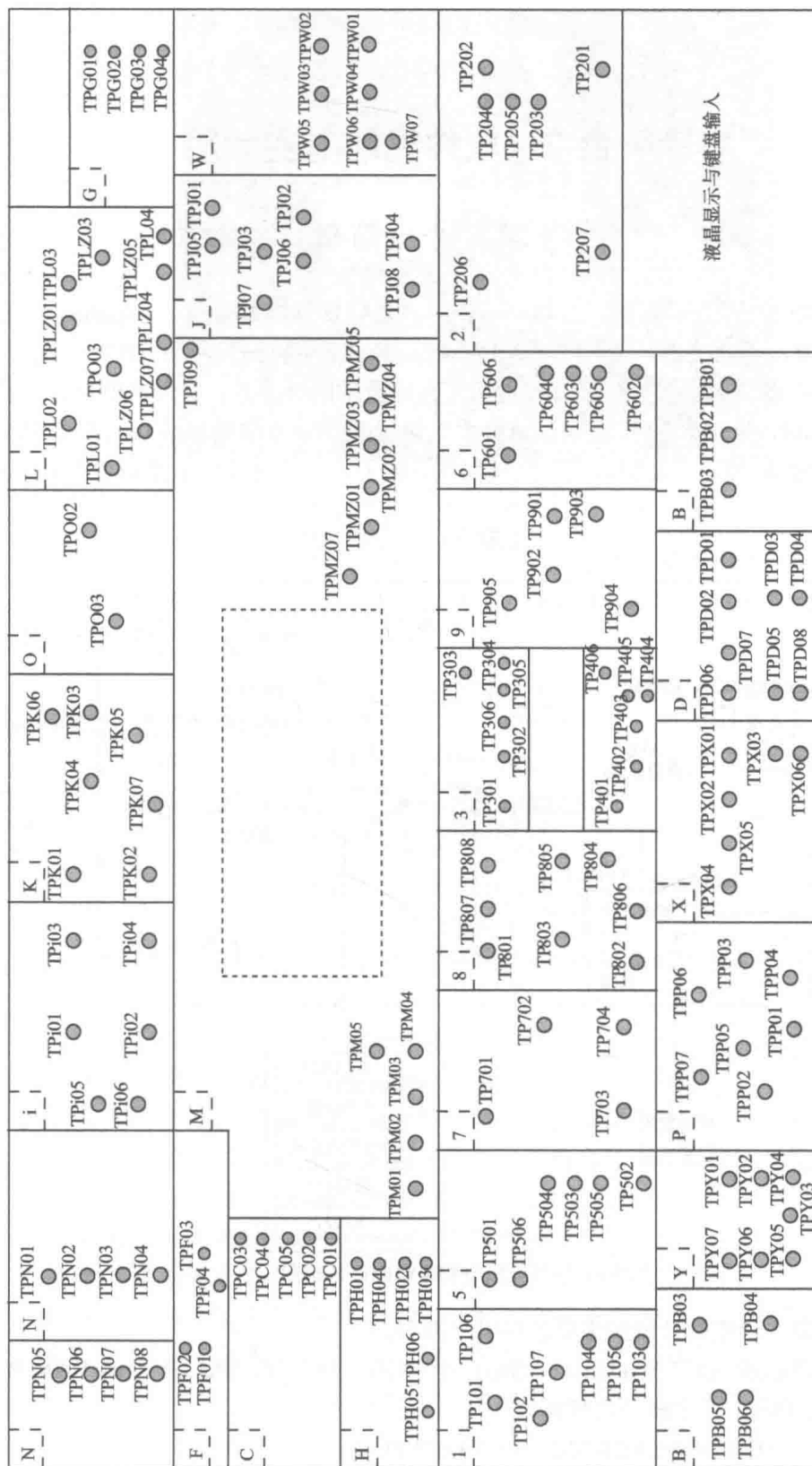


图 b 通信原理综合实验箱布局图



图 c 跳线器默认位置状态图



图d 测试孔默认位置状态图

注：虚线框内字母为测试孔TPX0Y中的X

实验平台 2 软件无线电实验箱

2.1 实验平台简介

软件无线电实验箱采用 Spartan-6 系列的 FPGA 作为核心器件。Spartan-6 系列的 FPGA 拥有丰富的逻辑资源，并集成众多 DSP48A 资源，可以满足复杂 DSP 算法的需求。实验箱板载 DDR3 存储芯片，以及高性能可任意配置的时钟芯片，同时提供双通道的高性能可配置 DA/AD 芯片及中频 VGA，支持中频输入/输出。实验箱集成双路基带 DA/AD，支持零/低中频输入/输出。实验箱硬件结构如图 e 所示，软件无线电实验箱如图 f 所示。

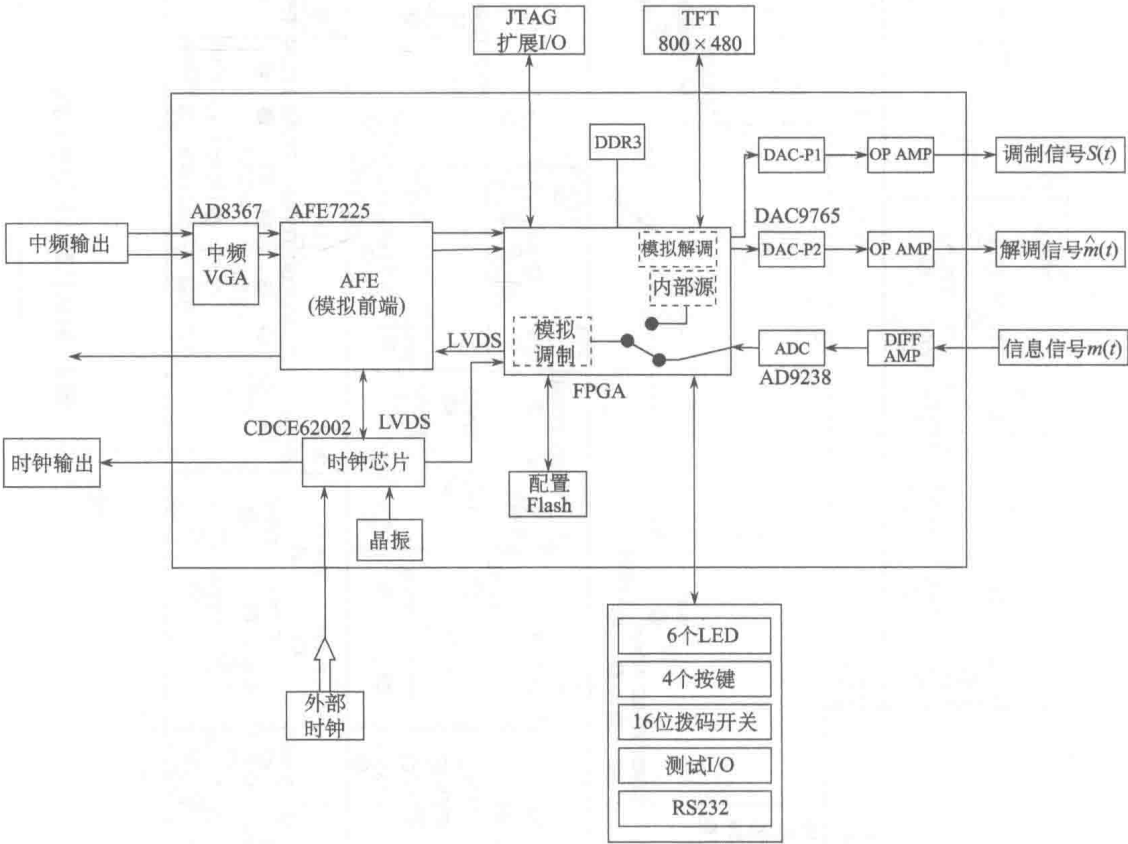


图 e 软件无线电实验箱硬件结构图

软件无线电实验箱硬件资源主要包括以下部分。

- (1) FPGA (XC6SLX45T Spartan-6) : 43661 个可编程逻辑单元, 2088KB Block RAM Blocks, 58 个 DSP48A 单元, 4 个时钟管理模块。
- (2) 存储器: 1GB DDR3 SDRAM, 32MB SPI Flash。
- (3) 中频 DAC/ADC: 双通道 12bit 250MSPS DAC, 双通道 12bit 125MSPS ADC, SMA 接口。

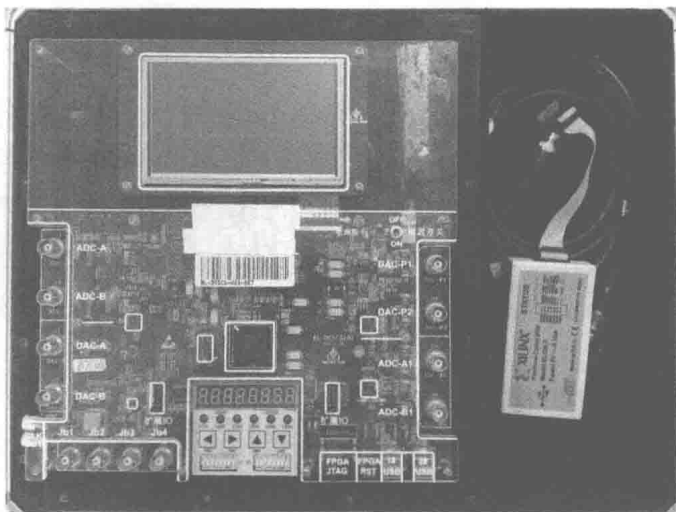


图 f 软件无线电实验箱

(4) 中频 VGA: 可调增益范围 $-2.5 \sim +42.5\text{dB}$, 3dB 截止频率 500MHz。

(5) 时钟: 板载 10MHz 高稳定度有源晶振, 10MHz 参考时钟输出, 提供外部参考时钟输入。

(6) 基带 DAC/ADC: 双通道 12bit 125MSPS DAC, 双通道 12bit 40MSPS ADC, BNC 接口, 可对接选配射频盒。

(7) 人机交互接口: TFT 液晶屏(800×480), RS232 串口, 6 个 LED, 4 个按键, 16 位拨码开关, JTAG 调试口, 扩展 I/O 接口, 测试 I/O 接口。

2.2 用户操作流程

软件无线电实验箱需接入 220V 电源, 与计算机连接就可以进行所有实验, 使用中的注意事项如下。

- (1) 打开实验箱, 检查所有设备是否都完好无损。
- (2) 检查编程器的下载线同主板连接是否正确。
- (3) 开启实验箱电源, 主板电源指示灯亮起。如果指示灯不亮, 请检查电路系统是否上电。
- (4) 实验箱正常工作后, 根据硬件原理图和引脚约束文件进行代码开发, 并将代码下载到实验箱中验证, 在下载前请及时确认引脚约束文件是否正确。
- (5) 根据实验现象观察实验结果是否符合实验要求。
- (6) 实验结束后请关掉电源, 整理好所有配件, 合上实验箱盖子。
- (7) 实验中严禁带电插拔, 以免损害相关器件。如果出现异常请及时切断电源排除故障。

实验箱可以直接连接标准电源线(市电 AC220V, 箱体左侧上方), 打开开关, 内部指示灯亮起, 实验箱主板上有个拨动开关控制 PCB 供电, 拨到 on 位置即开启供电。

第二篇 基础实验

实验 1 幅度调制系统实验

1.1 实验目的

- (1) 掌握幅度调制的工作原理与实现过程。
- (2) 掌握双边带调制的工作原理与实现过程。
- (3) 掌握单边带调制的工作原理与实现过程。

1.2 实验仪器

- (1) 通信原理综合实验箱一台。
- (2) 示波器一台。
- (3) 频谱仪一台。

1.3 幅度调制

1.3.1 实验原理

由语言、音乐、图像等信息源直接转换得到的电信号称为基带信号。基带信号可以直接通过架空明线和电缆等有线信道传输，但不可能在无线信道中直接传输。为了使基带信号能够在频带信道中传输，同时为了能在有线信道上传输多路基带信号，就需要采用调制和解调技术。

在发送端把基带信号频谱搬移到给定信道通带内的过程称为调制，而在接收端把已搬到给定信道通带内的频谱还原为基带信号频谱的过程称为解调。幅度调制 (Amplitude Modulation, AM) 是诸多调制方式中最简单的一种模拟调制方式。AM 调制信号一般可以表示为

$$s(t) = A[1 + am(t)]\cos(\omega_c t) \quad (1.1)$$

其中， a 为调幅系数； $m(t)$ 为调制信号。

AM 调制信号具有双边谱，同时包含载波分量

$$S(f)=\frac{1}{2}Aa[X(f+f_c)+X(f-f_c)]+\frac{1}{2}A[\delta(f+f_c)+\delta(f-f_c)] \tag{1.2}$$

其时域波形与频域波形如图 1-1 和图 1-2 所示。

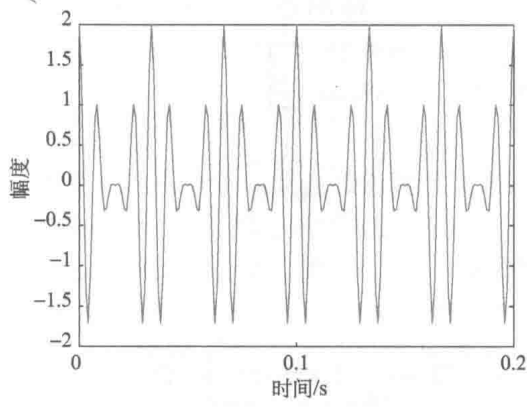


图 1-1 AM 信号的时域波形

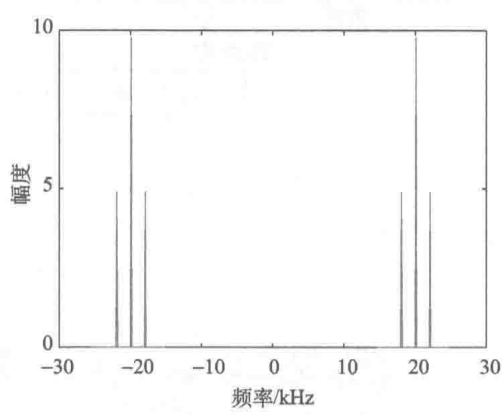


图 1-2 AM 信号的频域波形

低频信号源的产生如图 1-3 所示。

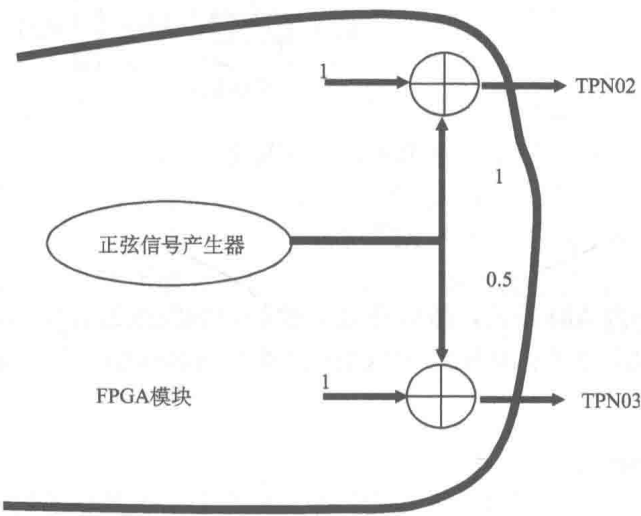


图 1-3 低频信号源产生模块

在实验过程中，说明以下几点。

- (1) 将 Ki01 和 Ki02 断开 (如果 Ki01 和 Ki02 连接, 则乘法器的输入信号来自其他模块)。
- (2) 通过通用连接线连接 TPN02 与 TPK01 (此时调制指数为 1)，在 TPK03 测量 AM 调制输出信号 (或在 K002 的中频输出 Q9 连接器端测量)。
- (3) 若用连接线连接 TPN03 与 TPK01，则此时调制指数为 0.5。

AM 信号的调制、解调实现框图如图 1-4 与图 1-5 所示。

对于 AM 的解调可采用检波滤波与相干解调。在本实验中，通过调整接收端的 VCO 使其与发送端的载波相位达到一致，从而完成相干解调。

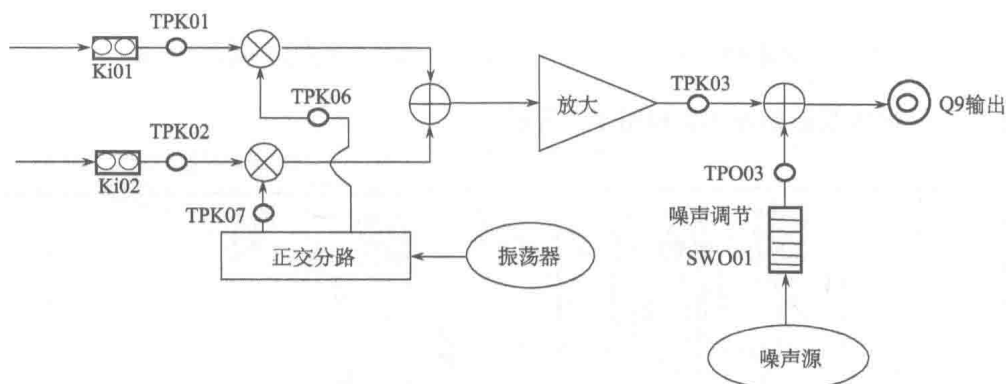


图 1-4 调制模块

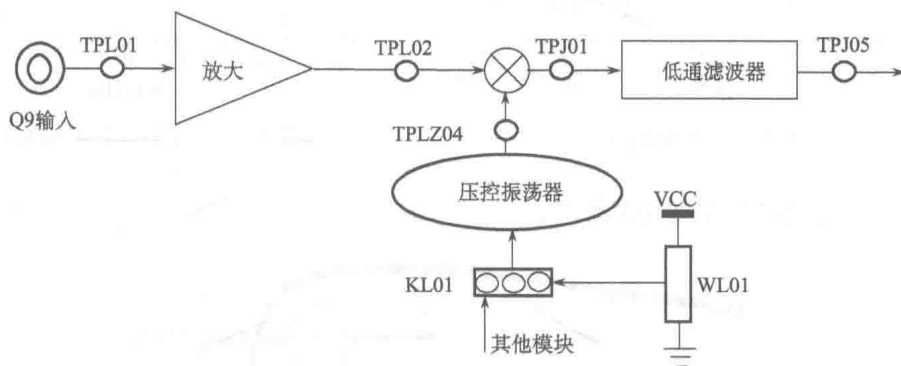


图 1-5 解调模块

1.3.2 实验步骤

首先将菜单选择为 AM 模式，然后将 D/A 模块内的跳线器 Ki01 和 Ki02 断开，最后将噪声模块内的噪声输出电平调整开关 SWO01 设置为 10000001，同时准备一根连接软线，具体实验步骤如下。

1. AM 基带信号观测

- (1) TPN02 基带信号波形(在测试模块内)：观察并记录该信号的频率、幅度及直流偏移。
- (2) TPN03 基带信号波形(在测试模块内)：观察并记录该信号的频率、幅度及直流偏移。

2. 载波信号观察

在测试点 TPK06 观察本地载波信号，测量并记录其频率与信号幅度。

3. 调制指数 $\alpha=1$ 的 AM 调制波形观察

- (1) 用短路线连接 TPN02 与 TPK01，TPK02 悬空。
- (2) 观察 AM 调制信号：TPK03 是已调 AM 信号的波形。用 TPN02 作同步，观察 TPK03。
- (3) 用 TPK06 作同步，观察 AM 调制信号，并对观察到的现象进行解释。