



高等学校信息工程类“十二五”规划教材

可视化通信原理 仿真平台实验教程

蔡良伟 曾 捷 主编◎

KESHUHUATONGXIN YUANLI JIANG
ZHEN PINGTAI SHIYAN JIAOCHENG



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校信息工程类“十二五”规划教材

可视化通信原理 仿真平台实验教程

蔡良伟 曾 捷 主编

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是通信原理实验课程的教材,内容涵盖三个方面:基础实验、原理实验、综合实验。这些实验可以使学生受到科学实验的基本训练,并掌握通信系统仿真和数字处理的硬件实现新方法。本书是在保留并吸收了原有通信原理实验箱的特色实验、经典实验的基础上,一方面结合通信原理课程的教学与改革,另一方面结合通信系统工程发展方向和工程实际应用而编写的。

本书采用灵活的模块化设计方法,在实验平台的公共部分增加了多种接口技术,诸如:无线接口、光纤接口、E1接口、Modem接口、计算机数据接口、数字电话接口、模拟信号输入接口等。

本书适合作为高等院校本科通信工程、信息工程、电子工程专业的实验教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

可视化通信原理仿真平台实验教程/蔡良伟,曾捷主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2014.8

高等学校信息工程类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3399-2

I. ① 可… II. ① 蔡… ② 曾… III. ① 通信原理—可视化仿真—实验—高等学校—教材

IV. ① TN911-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 166574 号

策 划 马晓娟

责任编辑 马晓娟 王维芳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 10.5

字 数 243千字

印 数 1~3000册

定 价 19.00元

ISBN 978-7-5606-3399-2/TN

XDUP 3691001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

通信原理课程是通信工程专业的重要专业基础课,学习通信原理不仅需要掌握理论知识,还要掌握实践知识。本书是我们在多年积累的教学经验和学校使用后的反馈意见的基础上编写的。书中保留了前几款实验箱的特色实验,扩展了实验模块的功能,加强了模块间的系统性实验,大大增加了实验内容。同时,本书突出体现了理论知识的系统性和教学内容的稳定性,使学生能够掌握分析研究通信系统各种部件的基本方法,强调培养学生理论联系实际和研究、开发、创新的能力。

本书的实验内容涵盖了三个方面:基础实验、原理实验、综合实验。仿真是理论到实践的桥梁,通信系统的 Matlab 仿真实验,可以使学生了解仿真的功能,培养学生仿真操作的基础能力。仿真不仅可以增加学生对实验的感性认识,加深对模拟通信和数字通信基本概念的理解,还能很好地锻炼学生独立思考和科学实验的能力,使学生对通信系统硬件实现有新的认识和新的思路。通过仿真,学生可以受到科学实验的基本训练,并掌握通信系统仿真和数字处理硬件实现的新方法。

本书的附录提供了实验室基本配置、拨码器开关设置以及与实验相关的数字示波器简易操作说明。

全书由蔡良伟、曾捷、郑贤木规划设计,由曾捷、郑贤木、聂伟和张志朋负责编写,由曾捷、郑贤木负责实验验证。全书由曾捷、郑贤木统编定稿。

深圳大学信息工程学院通信原理课程组的老师们对本书的编写给予了大力支持,作者在此表示衷心感谢!

我们衷心地希望该书能为广大师生提供良好的参考,为教育事业的发展做出应有的贡献。由于水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

深圳大学信息工程学院
实验教材编写组
2014 年 4 月

说 明

本书中各实验的实验平台要求示波器最低配置为 20 MHz 双踪模拟示波器，示波器的幅度一般设置在 2 V 挡，探头 1X 无衰减。测量时黑色的接地夹子应先接地。

一般情况下，实验平台上元器件的标号都是按照模块划分的。如标号“58TP01 位：A”中的“58”表示模块的标号，“01”表示编号，“TP”表示常规测试点，“位：A”表示此模块需要安置在底板标号为“A”的位置。它们合起来即表示“XXX 模块”需安置在底板标号为“A”的位置。

标号中的首字母有其特定的含义：TP 表示信号波形测量点，P 表示信号输入输出铜铆孔，U 表示芯片集成电路，R 表示电阻，C 表示普通电容，E 表示电解电容，J 表示接插件，JZ 表示晶振或晶体，K 表示选择开关等。

如标号 58P01，即表示一个信号输入(输出)连接点(铜质铆孔)。如果铆孔边的箭头背离铆孔，则表示是信号输出连接点；如果箭头指向铆孔，则表示是信号输入连接点。本实验平台中，所有通信信号都是通过铆孔出来的，实验时需在了解实验结构的基础上，用铆孔连接线连接铆孔构成所需实验系统。连接铆孔时，连接线接头插入铆孔后，轻轻旋转一个小角度，接头将和铆孔锁死；拔出时，回转一个小角度即可轻松拔出，切勿使用蛮力拉扯，以免插头针断在铆孔中。实验操作前，务必预习实验内容，在弄清楚实验要求和各模块功能的基础上，进行实验系统的连接构建。

目 录

第一部分 基础实验

实验 1	555 自激多谐振荡器实验	2
实验 2	模拟信号源实验	5
实验 3	CPLD 可编程逻辑器件实验	8
实验 4	接收滤波放大器实验	12
实验 5	计算机串口实验	14
实验 6	数字光纤通信实验 *	17
实验 7	虚拟仪器使用说明 *	19

第二部分 原理实验

实验 8	抽样定理及其应用实验	22
实验 9	PCM 编译码系统实验	26
实验 10	ADPCM 编译码系统实验	30
实验 11	CVSD 编译码系统实验	34
实验 12	FSK(ASK)调制解调实验	39
实验 13	PSK(DPSK)调制解调实验	43
实验 14	数字同步技术实验	48
实验 15	眼图观察测量实验	52
实验 16	数字频率合成实验	56
实验 17	卷积编译码及纠错能力验证实验	60
实验 18	汉明码编译码及纠错能力验证实验	65
实验 19	汉明、交织码编译码及纠错能力验证实验	68
实验 20	循环码编译码及纠错能力验证实验	71
实验 21	软件无线电技术实验一(FSK 调制解调)	74
实验 22	软件无线电技术实验二(BPSK 调制解调)	77
实验 23	软件无线电技术实验三(QPSK 调制解调)	80
实验 24	软件无线电技术实验四(OQPSK 调制解调)	83
实验 25	软件无线电技术实验五(MSK 调制解调)	86
实验 26	软件无线电技术实验六(直接序列扩频 DS 编解码)	89
实验 27	软件无线电技术实验七(AM 调制)	92
实验 28	软件无线电技术实验八(DSB 调制)	96
实验 29	软件无线电技术实验九(SSB 调制)	99
实验 30	基带信号的常见码型变换实验	103
实验 31	AMI/HDB3 编译码实验	108
实验 32	线路成形与频分复用实验	112

实验 33	码分复用解复用实验	116
实验 34	信道均衡实验	120
实验 35	集成乘法器幅度调制电路 *	124

第三部分 综合实验

实验 36	PCM、HDB3 传输系统实验	130
实验 37	PCM、汉明码传输系统实验	131
实验 38	PCM、汉明、交织码传输系统实验	132
实验 39	CVSD、汉明码传输系统实验	134
实验 40	CVSD、汉明、交织码传输系统实验	136
实验 41	时分复接/解复接系统实验	138
实验 42	CVSD、PSK 传输系统实验	142
实验 43	通信信道误码仪测试实验	144
实验 44	通信信道虚拟误码仪测试实验	146
实验 45	通信大系统测试实验	149
实验 46	单台实验箱实现单工通信系统实验	151
实验 47	两台实验箱实现双工通信系统实验	154

附录 A	实验室基本配置	156
------	---------------	-----

附录 B	拨码器开关设置一览表	157
------	------------------	-----

附录 C	北京普源数字示波器简易操作说明	159
------	-----------------------	-----

第一部分

基础实验

实验 1 555 自激多谐振荡器实验

一、实验目的

- (1) 了解 555 内部结构原理和逻辑功能。
- (2) 掌握 555 构成的各种脉冲电路。
- (3) 了解 PAM 抽样脉冲形成模块的使用方法和有关参数。

二、实验仪器

- (1) 时钟与基带数据发生模块，位号：G。
- (2) 频率计 1 台。
- (3) 20 MHz 双踪示波器 1 台。

三、实验原理

555 定时器是一种功能强大的模拟数字混合集成电路，其电路框图如图 1-1 所示，它的功能表如表 1-1 所示。555 定时器有两个比较器 A1 和 A2；有一个 RS 触发器，R 和 S 高电平有效；三极管 VT1 为跟随器，对清零信号起缓冲作用；三极管 VT2 作为开关使用，以便提高⑦脚端的负载能力；比较器的输入端有一个由三个 5 kΩ 电阻组成的分压器，由此可以获得 $\frac{2}{3}U_{CC}$ 和 $\frac{1}{3}U_{CC}$ 两个分压值，这两值一般称为阈值。555 定时器的①脚是接地端 GND，②脚是低触发端 $\overline{TL}$ ，③脚是输出端 OUT，④脚是清除端 $\overline{R_d}$ ，⑤脚是电压控制端 CV，⑥脚是高触发端 TH，⑦脚是放电端 DIS，⑧脚是电源端 V_{CC} 。555 定时器的输出端电流可以达到 200 mA，因此可以直接驱动继电器、扬声器、发光二极管等负载。

表 1-1 555 定时器功能表

CV	TH	$\overline{TL}$	$\overline{R_d}$	OUT	DIS
	×	×	L	L	L 通
直流 悬空 或 交流 接地	$>\frac{2}{3}U_{CC}$	$>\frac{1}{3}U_{CC}$	H	L L ↓ ↑	L 通 ↓ ↑
	$<\frac{2}{3}U_{CC}$	$>\frac{1}{3}U_{CC}$	H	L H ↓ ↑	L H ↓ ↑
	$<\frac{2}{3}U_{CC}$	$<\frac{1}{3}U_{CC}$	H	H H ↓ ↑	H 断 ↓ ↑

由电路框图和功能表可以得出如下结论：

- (1) 555 定时器有两个阈值，分别是 $\frac{1}{3}U_{CC}$ 和 $\frac{2}{3}U_{CC}$ 。
- (2) 输出端③脚和放电端⑦脚状态一致。输出低电平对应放电管饱和，在⑦脚外接有

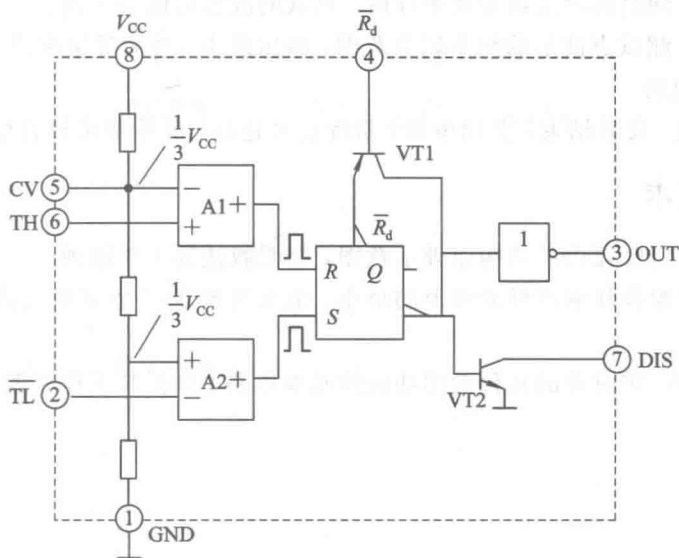


图 1-1 555 定时器电路框图

上拉电阻时，⑦脚为低电平；输出高电平对应放电管截止，在⑦脚外接有上拉电阻时，⑦脚为高电平。

(3) 输出端状态的改变有滞回现象，回差电压为 $\frac{1}{3}U_{CC}$ 。

(4) 输出与触发输入反相。

掌握上述四条结论对分析 555 定时器组成的电路十分有利。

本实验平台采用 555 定时器电路来产生后续实验的抽样脉冲，输出频率覆盖范围为 2~30 kHz。本模块位于底板的左下角。

四、实验设置

W05：抽样脉冲频率调节电位器。

K02：选择开关。“555”挡表示输出 555 定时器产生的矩形脉冲；“C8”挡表示输出与系统时钟同源的 8 kHz 的同步时钟。

P09：抽样脉冲输出连接铆孔。（注意铆孔下面标注的箭头方向。若箭头背离铆孔，说明此铆孔点为信号输出孔；若箭头指向铆孔，说明此铆孔点为信号输入孔。）

五、实验内容及步骤

(1) 插入有关实验模块。在关闭系统电源的条件下，将“时钟与基带数据发生模块”插到底板“G”号的位置插座上（具体位置可见底板右下角的“实验模块位置分布表”）。注意模块插头与底板插座的防呆口一致，模块位号与底板位号一致。

(2) 加电。打开系统电源开关，底板的电源指示灯正常显示。若电源指示灯显示不正常，则应立即关闭电源，查找异常原因。

(3) 开关 K02 拨在“555”挡。

(4) 用示波器和频率计监测 P09 测试点，调节 W05 电位器，以免过载。（由于本信号

带负载能力有限,同时接示波器和频率计后,测试的波形可能会失真。)

(5) 记录 P09 测试点波形的频率调节范围,画出最小、最大等至少三个频率点的波形,注明必要的文字说明。

(6) 关机拆线。实验结束,关闭电源,拆除信号连线,并按要求放置好实验模块。

六、实验报告要求

(1) 画出 555 定时器内部结构原理示意图,简明叙述其工作原理。

(2) 画出本实验模块输出脉冲波形的最小、最大等至少三个频率点的波形,注明必要的文字说明。

(3) 整理出 555 定时器的几种常用功能的基本电路,分析其工作原理。

实验 2 模拟信号源实验

一、实验目的

- (1) 了解本模块中函数信号产生芯片的技术参数。
- (2) 了解本模块在后续实验系统中的作用。
- (3) 熟悉本模块产生的几种模拟信号的波形和参数调节方法。

二、实验仪器

- (1) 时钟与基带数据发生模块，位号：G。
- (2) 频率计 1 台。
- (3) 20 MHz 双踪示波器 1 台。
- (4) 小电话单机 1 部。

三、实验原理

本模块主要功能是产生频率、幅度连续可调的正弦波、三角波、方波等函数信号(非同步函数信号)，另外还提供了与系统主时钟同源的 2 kHz 正弦波信号(同步正弦波信号)。在实验系统中，利用它可定性地观察通信话路的频率特性，也可用作 PAM、PCM、ADPCM、CVSD(ΔM)等实验的音频信号源。本模块位于底板的左边。

1. 非同步函数信号

非同步函数信号由集成函数发生器 XR2206 和一些外围电路组成，XR2206 芯片的技术资料可在网上搜索得到。函数信号类型由三挡开关 K01 选择，类型分别为三角波、正弦波、方波等；峰峰值幅度范围为 0~10 V，可由 W03 调节；频率范围约为 500 Hz~5 kHz，可由 W02 调节；直流电平可由 W01 调节(一般左旋到底)。非同步函数信号源结构示意图如图 2-1 所示。

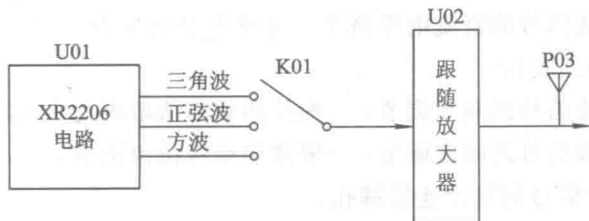


图 2-1 非同步函数信号源结构示意图

2. 同步正弦波信号

同步正弦波信号由 2 kHz 的方波信号源、低通滤波器和输出放大电路三部分组成。2 kHz 方波信号由“时钟与基带数据发生模块”分频产生。U03 及周边的阻容网络组成

一个截止频率为 2 kHz 的低通滤波器，用以滤除各次谐波，只输出一个 2 kHz 正弦波，在 P04 端可测试其波形。用该正弦波作为 PAM、PCM、ADPCM、CVSD(Δ M)等模块的音频信号源，其编码数据可在普通模拟示波器上形成稳定的波形，便于实验者观测。

跟随放大器用来改变输出同步正弦波的幅度。同步信号源结构示意图如图 2-2 所示。

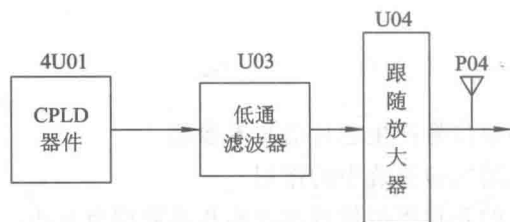


图 2-2 同步函数信号源结构示意图

3. 模拟电话输入电路

本模块提供了两路用户模拟电话接口，图 2-3 是其电路结构示意图。J02A/B 是电话机的水晶头接口，U01 是 PBL38614 专用电话集成电路。它的工作原理是：当对电话机的送话器讲话时，该话音信号从 PBL38614 的 TR 引脚输入，经 U01 内部二四线转换处理后从 T 端输出。T 端的模拟电话输出信号经 P05/P07 铜铆孔送出，可作为语音信号输出用。当接收对方的话音时，送入 U01 芯片 R 端的输入信号可由 P06/P08 铜铆孔送入。此时，在电话听筒中即可听到送入信号的声音。

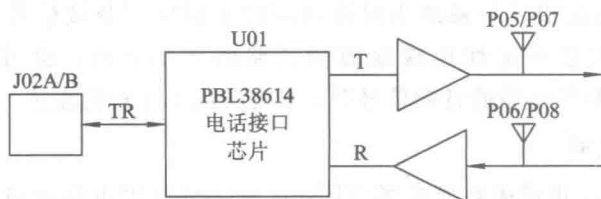


图 2-3 用户模拟电话接口电路结构示意图

四、实验设置

K01: 非同步函数信号类型选择，有正弦波、三角波和方波。

W01: 非同步函数信号的直流电平调节，调节范围至少为 0~2 V，视信号幅度而定，一般调节为 0 V(左旋到底)。

W02: 非同步函数信号的频率调节，一般使用频率值范围为 1~4 kHz。

W03: 非同步函数信号的幅度调节，一般使用峰峰值范围为 0~4 V。

P03: 非同步函数信号的输出连接铆孔。

W04: 同步函数信号的幅度调节，一般使用峰峰值范围为 0~4 V。

P04: 同步正弦波信号的输出连接铆孔。

J02A: 用户电话 A 的水晶头接口。

P05: 用户电话 A 语音发送信号输出铆孔。

P06: 用户电话 A 语音接收信号输入铆孔。

J02B: 用户电话 B 的水晶头接口。

P07: 用户电话 B 语音发送信号输出铆孔。

P08: 用户电话 B 语音接收信号输入铆孔。

五、实验内容及步骤

(1) 插入有关实验模块。在关闭系统电源的条件下, 将“时钟与基带数据发生模块”插到底板“G”号的位置插座上(具体位置可见底板右下角的“实验模块位置分布表”)。注意模块插头与底板插座的防呆口一致, 模块位号与底板位号一致。

(2) 加电。打开系统电源开关, 底板的电源指示灯正常显示。若电源指示灯显示不正常, 则应立即关闭电源, 查找异常原因。

(3) 非同步函数信号源测试。用频率计和示波器监测 P03 测试点, 按上述设置测试非同步函数信号源输出信号波形, 记录其波形参数。

(4) 同步正弦波信号源测试。用频率计和示波器监测 P04 测试点, 按上述设置测试同步正弦波信号源输出信号波形, 记录其波形参数。

(5) 用户电话测试。电话模块接上电话单机, 说话或按住某个数字键不放, 用示波器测试其发端波形; 用信号连接线连接 P03 与 P06/P08 两铆孔, 即将函数信号送入电话的接收端, 调节信号的频率和幅度, 听听筒中发出的声音。

(6) 关机拆线。实验结束, 关闭电源, 拆除信号连线, 并按要求放置好实验模块。

六、实验报告要求

(1) 记录非同步、同步函数信号的幅度、频率、直流分量等参数, 画出测试的波形图。

(2) 记录电话数字键波形, 了解电话拨号的双音多频技术。

实验 3 CPLD 可编程逻辑器件实验

一、实验目的

- (1) 了解 ALTERA 公司的 CPLD 可编程器件 EPM240。
- (2) 了解本模块在实验系统中的作用及使用方法。
- (3) 掌握本模块中数字信号的产生方法。

二、实验仪器

- (1) 时钟与基带数据发生模块, 位号: G。
- (2) 20 MHz 双踪示波器 1 台。
- (3) 频率计 1 台。

三、实验原理

CPLD 可编程模块(芯片位号: 4U01)用来产生实验系统所需要的各种时钟信号和数字信号。它由 CPLD 可编程器件(ALTERA 公司的 EPM240)、下载接口电路(4J03)和一块晶振(4JZ01)组成。晶振用来产生 16.384 MHz 系统内的主时钟, 送给 CPLD 芯片生成各种时钟和数字信号。本实验要求实验者了解这些信号的产生方法、工作原理以及测量方法, 理论联系实践, 提高实际操作能力。

m 序列是使用最广泛的伪随机码之一, 除此之外, 其他伪随机码也会用到, 如 Gold 序列等。本模块采用 m 序列作为系统的数字基带信号源使用, 在示波器上可形成稳定的波形, 方便学生观测分析。下面介绍的 m 序列原理示意图和仿真波形图都在 MAX+PLUS II 软件环境下完成。其中, rd 输入低电平脉冲, 防止伪随机码发生器出现连 0 死锁, 它对应仿真波形的低电平脉冲; clk 为时钟脉冲输入端; out 为 m 序列伪随机码的输出端。

图 3-1、图 3-2 分别为三级 m 序列发生器原理图和其仿真波形图。在实验模块中的 clk 为 2 kHz 时钟, 输出测试点为 4P02, m 序列输出测试点为 4P01。

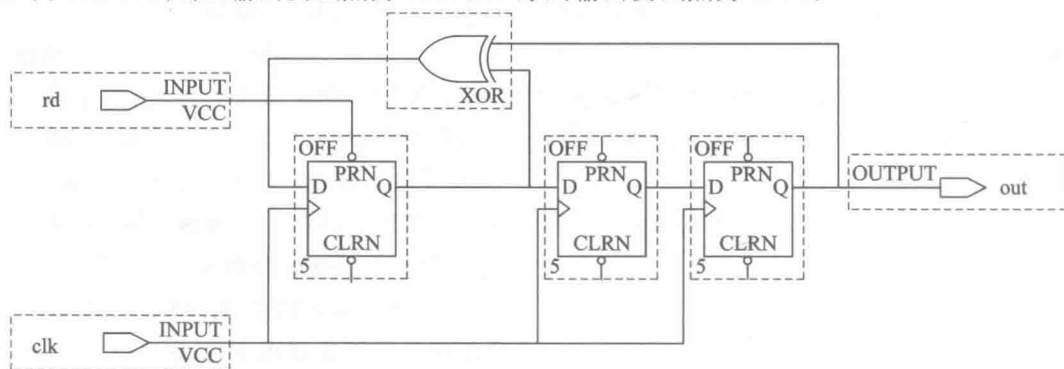


图 3-1 三级 m 序列发生器原理图($m=7$)

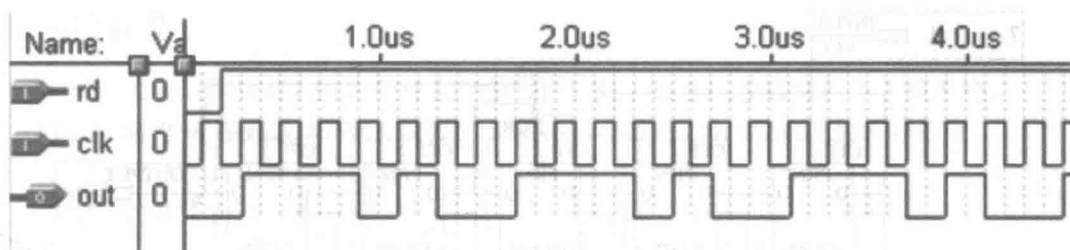
图 3-2 三级 m 序列仿真波形图

图 3-3、图 3-4 分别为四级 m 序列发生器原理图和其仿真波形图。

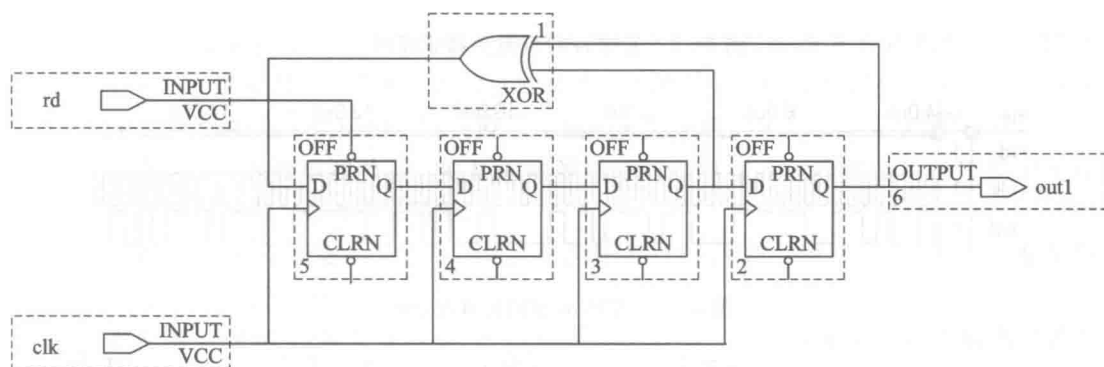
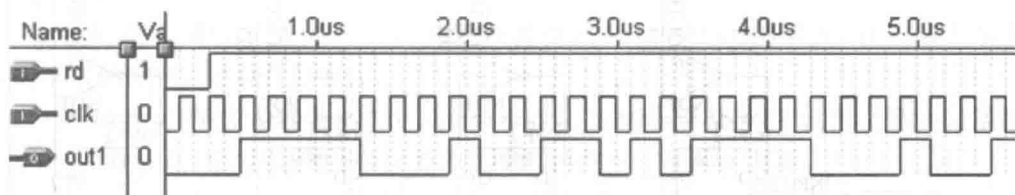
图 3-3 四级 m 序列发生器原理图($m=15$)图 3-4 四级 m 序列仿真波形图

图 3-5、图 3-6 分别为五级 m 序列发生器原理图和其仿真波形图。

图 3-7 是异步四级 2 分频电路原理图，其特点是电路简单，但由于其后级触发器的触发脉冲要待前级触发器的状态翻转之后才能产生，因此其工作速率较低。在对分频输出时钟的相位关系要求严格的情况下，一般采用同步分频法，具体实现原理请自行整理。图 3-8 为异步四级 2 分频电路仿真波形图。实验模块上的输出测试点 4TP01 就是多级分频的 2 kHz 时钟。

另外，在本模块上设计了一个 8 位的拨码器和一个 5 位的拨码器。8 位的拨码器用来设置 8 比特的数字信号源，5 位的拨码器用来控制数字信号的速率、码型和其他模块的工作时钟，具体设置可参见附录 2 中的拨码开关设置说明。

本模块上的 EPM240 芯片的编译环境是 quartusII 软件。

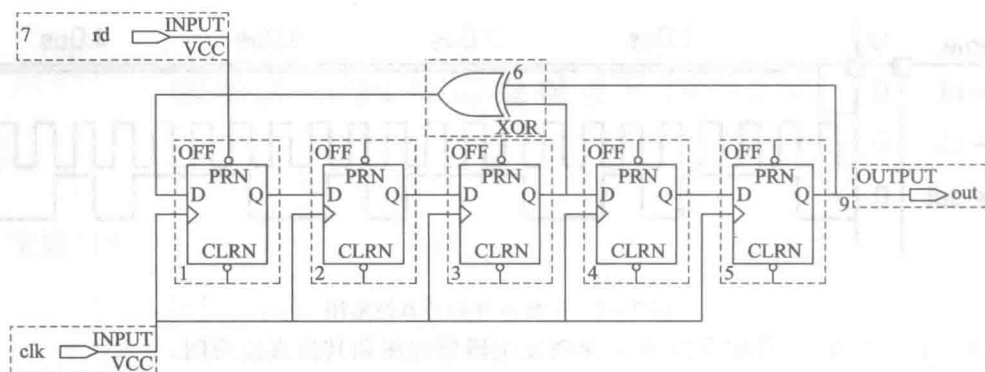
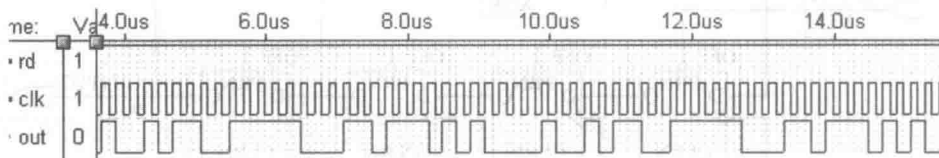
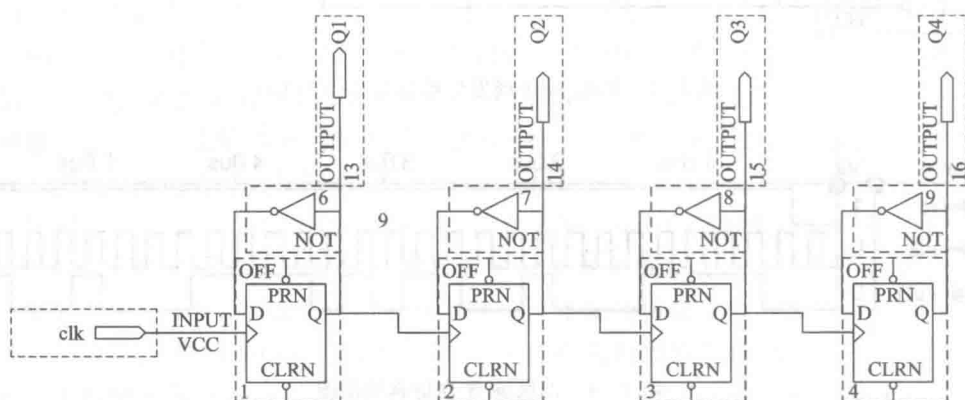
图 3-5 五级 m 序列发生器原理图图 3-6 五级 m 序列仿真波形图

图 3-7 异步四级 2 分频电路原理图

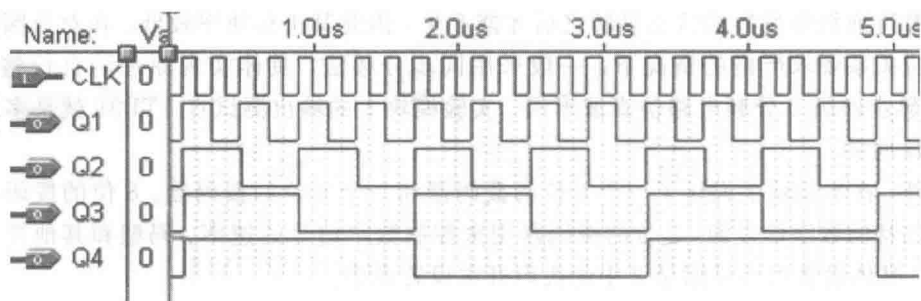


图 3-8 异步四级 2 分频电路仿真波形图