



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪高等学校通信类规划教材

通信原理及系统实验

Experiments on Communication
Principles and System

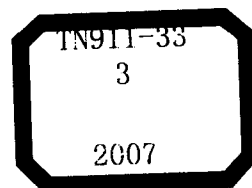
樊昌信 宫锦文 刘忠成 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪高等学校通信类规划教材

通信原理及系统实验

Experiments on Communication Principles and System

樊昌信 宫锦文 刘忠成 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书主要是为满足我国高等学校“通信原理实验”的实施而编写的，并且适当扩展以适应相关公司、工厂和研究单位的需要。全书共分 10 章，重点放在数字通信原理方面的实验上。第 1 章给出一个通信系统的示教和介绍实验所用的信号源。第 2~7 章分别进行通信系统中各部件的实验。第 8 章则进行通信系统的综合实验。第 9 章和第 10 章是关于二次开发和通信系统仿真的实验，这是为通信原理后续课程、研究生教学和从事通信及相关专业工作的工程技术人员编写的。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

通信原理及系统实验 / 樊昌信, 宫锦文, 刘忠成编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.2

(21 世纪高等学校通信类规划教材)

ISBN 978-7-121-03808-2

I. 通... II. ①樊... ②宫... ③刘... III. ①通信理论—高等学校—教材 ②通信系统—系统试验—高等学校—教材 IV. TN911 TN914.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 009040 号

责任编辑: 韩同平 特约编辑: 李佩乾

印 刷: 北京市铁成印刷厂
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 435.2 千字

印 次: 2007 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 25.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

目前在通信原理和通信系统方面的实验课程缺乏正式出版的教材，并且不少院校对于实验课的建设欠投入，影响学生基本动手能力和实际工作能力的培养。而工程技术类的专业课程，非常需要重视培养学生的动手能力。目前越来越多的高校已经意识到实验课程对教学的重要性。这本实验教材将满足国内多数院校的需要，配合通信原理和通信系统的教学内容，充分发挥实验设备的潜力，适应不同专业的教学计划。

为了使教材能兼顾多数院校现有的实验条件，促进实践性教学环节的更新、完善，编者收集了一些院校与公司的众多实验内容。本书讲述的实验内容是参照西安电子科技大学和湖北众友科技实业股份有限公司研制的实验设备的功能选编的，以便适应更多院校的需求，供给相关单位参考和采用。

全书共分 10 章，除了有关信号源、模拟通信系统、数字通信系统的实验外，还包括大量通信系统仿真和二次开发的内容。

本书中有关西安电子科技大学实验箱（简称“西电”）的章节是由西安电子科技大学宫锦文高级工程师编写的；有关湖北众友科技实业股份有限公司实验设备（简称“众友”）的章节是由湖北众友科技实业股份有限公司研发部刘忠成经理编写的。全书由樊昌信教授统编定稿。

本书的编写得到了西安电子科技大学通信工程学院和湖北众友科技实业股份有限公司的大力支持，以及相关同事的帮助，在此向他们表示衷心的感谢。并且真诚欢迎读者对于书中的缺点和错误给予指正。

说明：考虑到本实验教材需与西电及众友的设备配套，为便于学生阅读和指导实验操作，本书部分电路图中的电气图形符号及其标注，未严格执行国标或规范。

本书中所介绍实验设备技术负责人及其联系方式：

宫锦文（西电） 13319209373

刘忠成（众友） 13886083384

编著者

目 录

第 1 章 通信原理实验系统及信号源	(1)
实验一 通信系统示教 (西电)	(1)
实验二 实验系统中的信号源实验 (西电)	(4)
实验三 实验系统中的信号源实验 (众友)	(10)
第 2 章 模拟通信系统	(14)
实验四 线性调制信号的产生和解调实验 (西电)	(14)
实验五 线性调制信号的产生和解调实验 (众友)	(22)
实验六 非线性调制实验系统 (西电)	(27)
实验七 调幅 (AM) 调频 (FM) 解调器信噪比测试 (西电)	(38)
第 3 章 数字基带信号传输系统	(47)
实验八 码型变换实验 (众友)	(47)
实验九 信道模拟实验 (众友)	(53)
实验十 基带数字信号传输系统 (西电)	(60)
第 4 章 模拟信号数字化	(72)
实验十一 脉冲幅度调制 (PAM) 与解调实验 (众友)	(72)
实验十二 脉冲编码调制与解调实验 (众友)	(76)
实验十三 增量调制与解调实验 (西电)	(81)
实验十四 增量调制与解调实验 (众友)	(93)
实验十五 自适应差分脉冲编码调制与解调实验 (众友)	(97)
第 5 章 带通传输系统	(102)
实验十六 二进制移频键控 (2FSK) 实验 (西电)	(102)
实验十七 二进制移频键控 (2FSK) 实验 (众友)	(109)
实验十八 二相移相键控 (西电)	(113)
实验十九 二相移相键控 (众友)	(123)
第 6 章 现代数字调制解调实验	(129)
实验二十 正交振幅调制 (QAM) 与解调实验 (西电)	(129)
实验二十一 MSK 调制与解调实验 (众友)	(141)
实验二十二 4DPSK 调制与解调实验 (西电)	(146)
第 7 章 同步提取	(158)
实验二十三 提取相干载波的锁相环路 (西电)	(158)
实验二十四 提取位同步信号的锁相环路实验 (西电)	(165)
第 8 章 通信系统综合实验	(181)
实验二十五 基带传输系统综合实验 (西电)	(181)
实验二十六 频带传输系统综合实验 (西电)	(183)
第 9 章 二次开发实验 (众友)	(186)

实验二十七	伪随机序列产生实验	(186)
实验二十八	密勒码编码和译码实验	(188)
实验二十九	卷积码编/译码实验	(191)
实验三十	扰码和解扰码实验	(194)
实验三十一	位同步信号提取实验	(196)
实验三十二	帧同步信号提取实验	(198)
实验三十三	BPH 编译码实验	(201)
实验三十四	CMI 编译码实验	(204)
实验三十五	扩展汉明码编译码实验	(208)
第 10 章	通信系统软件仿真	(215)
绪论	System View 动态仿真软件简介	(215)
实验三十六	振幅调制的 System View 仿真及抗噪声性能分析	(227)
实验三十七	调频信号的 System View 仿真	(231)
实验三十八	4DPSK 调制与解调的仿真	(237)
实验三十九	16QAM 系统的 SystemView 仿真	(249)
参考文献		(263)

第 1 章 通信原理实验系统及信号源

实验一 通信系统示教（西电）

一、示教目的

1. 加深理解通信的概念及通信系统所包含的基本问题。
2. 了解数字通信与模拟通信系统的实时工作过程。
3. 建立通信系统组成及主要性能指标测试等整体概念，陶冶对课程学习的情趣。

二、示教内容

1. 数字通信系统的实时工作模型及实时工作过程。
2. 模拟通信系统的实时工作模型及实时工作过程。

三、示教方案

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，可以把相应的通信系统分为两类：模拟通信系统和数字通信系统。无论是模拟通信，还是数字通信，都是已获广泛应用的通信方式。模拟通信系统的概念，在先修课程已经建立。通信原理课程的重点内容是数字通信系统的原理、最佳数字传输系统及重要技术，因而在课程内容即将展开前，有必要向同学们展示两个实际的通信系统并揭示通信系统的基本问题，使同学们初步了解课程的主要内容、明确学习任务、掌握学习的主动权、独立思考如何面对通信中的众多问题，逐步解疑释惑。因而本示教的设置意在提纲挈领，抛砖引玉。

1. 通信系统的模型

通信就是由一地向另一地传递信息。按消息由一地向另一地的传输媒质不同，通信可分为两大类：一类称为有线通信，另一类称为无线通信。所谓有线通信，即指消息传递是以导线作为传输媒质来进行通信的方式，这里的导线可以是架空明线、电缆、光缆等。本示教所展示的两个通信系统都是有线通信系统。点对点通信系统可由图 1.1 所示模型进行概括。

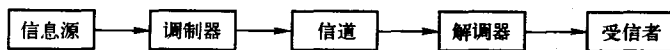


图 1.1 通信系统的组成

图 1.1 中，信号源的作用是把各种可能的消息转换成原始的电信号。例如，可以根据光电转换原理将图像（光信号）经过摄像管转换成电信号（视频信号），经放大耦合到图像调制器。伴音则经过话筒转换为连续的电信号（音频信号），也经过放大耦合到伴音调制器。

图像信号及伴音信号在调制器中分别调制到各自的载波上，从而形成适合传输媒质的高频图像信号和高频伴音信号。在接收端，收端设备将高频图像信号和高频伴音信号进行解调，取出视频信号，馈送给视频放大，由显像管（电-光转换器）重现图像；同时取出音频信号，激励扬声器还原出原声音。

图 1.1 中，信源也可以是代表文字的编码和计算机数据的信号（携带的信息参量仅取有限个数值），经过调制、编码和加密后，送往传输媒质。在接收端，由接收设备完成发送设备的反变换（解调、译码、解密等），最终恢复出原始数据信息。

以上所述的是单向通信过程，但在大多数场合下，通信的双方都要有发送设备和接收设备。

衡量通信系统性能优劣程度的指标很多。在模拟通信系统中，有灵敏度、保真度、清晰度等；在数字通信系统中，有传输速率、差错率等。

2. 示教系统的模型

示教展示的是模拟和数字通信的两个系统。模拟通信系统的演示方框图如图 1.2 所示；数字通信系统的演示方框图如图 1.3 所示。

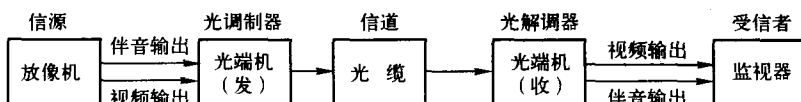


图 1.2 模拟通信（光纤通信）系统演示方框图

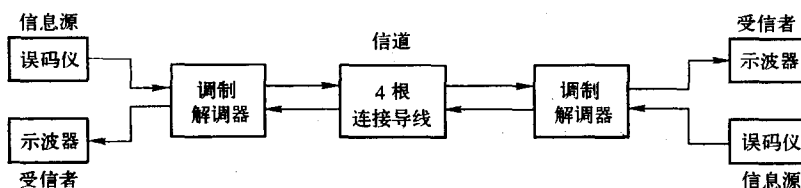


图 1.3 数字通信系统演示方框图

模拟通信系统展示的是一个光纤通信系统，如图 1.2 所示。它与图 1.1 所示的模型是一致的，原始信息来自放像机或影碟机的视频信号和伴音信号，把这两个信号分别送至调制光源上进行调制，经光缆（信道）后馈送至光解调器进行解调，最后把解调得到的视频信号和伴音信号分别加至监视器的相应端口上（此处的监视器为受信者）。显然，展示的模拟通信系统是一种单工通信系统。为了估价该系统的传输质量，我们可以定性地观察，其方法是先不调制，把放像机或影碟机输出的视频信号和伴音信号分别加至监视器的视频、伴音外输入端口，直接观察图像及聆听伴音。再进行调制、传输及解调，然后观察图像、聆听伴音。并将上述两种结果直观比较，估计传输质量。

在图 1.3 中，我们把误码仪输出的 8 种码型（误码仪面板上标记的全 1、全 0、1:1、1:3、3:1、1:7、7:1、511 码）作为信息源送至数字调制器进行数字调制（调制制式为 2DPSK），调制后的信号经信道（4 根导线）送至解调器，经与调制相应的解调器解调后，恢复出与信号源所送出的相同码型，显示于示波器屏幕（受信者）上。本系统的码元速率是 2400 b/s。

在演示数字通信系统时,采用“应答”通信方式体现双向通信过程。将学生分为甲队和乙队,规定甲队为主叫方,乙队为应答方。先由主叫方按照误码仪面板上设定的8种码型,分别发送,乙方在示波器屏幕上每观察到一次码型转换,回答相应的码型,以示收到信息。

示教中按MODEM的要求码元速率选为2400 b/s(在误码仪面板上设定),另一个重要指标——差错率(码元在传输系统中被传错的概率),在本示教中可以测量。具体方法是:甲乙两方都发伪随机码——511 m序列;按误码仪上“码型选择键”,使511码指示灯亮;按“速率选择”键,使“同步”指示灯亮;最后按“启动”键,即开始测误码率,直至误码仪“量程计数”数码管显示“E(End)”或报警蜂鸣器发声,表示所要测得的 10^6 个码测完,最终在多位数码管上可读出错误码元数与总码元数的比值——比率。如果误码仪面板上的按键设置为“计数”,则数码管上显示的是误码的个数。这种情况下,误码率应通过计算求得:

$$P_e = \frac{\text{数码管上显示的错误码元个数}}{\text{误码仪面板上所选择的量程}(10^6)}$$

需要强调的是,在测误码率时,由于是演示性质,没有必要把量程选的过大。可以计算出在码元速率为2400 b/s的系统中传 10^6 个码所需的时间约为7 min;若把量程选为 10^7 ,则消耗的时间约为70 min。在实际测量时应视对通信系统差错率的要求而选择量程。例如,要求通信系统的误码率小于等于 10^{-6} ,则量程起码应选择 10^7 。

差错率也可以通过“眼图”来定性地说明。在测误码率的同时,示范教学的老师应让学生观察解调滤波器输出端的眼图,为后面观察“眼图”起示范作用。

四、示教仪器设备

- | | |
|----------------------|------------------|
| ① 放像机(或影碟机)1台 | ② 光调制器1台 |
| ③ 光缆1根 | ④ 光解调器1台 |
| ⑤ 监视器(带视频和音频端口的彩电)1台 | ⑥ 2DPSK调制解调器2台 |
| ⑦ YWS5211误码仪2台 | ⑧ COS5020双踪示波器2台 |
| ⑨ 导线4根 | |

五、讨论

1. 通信系统由信息源、发送设备、传送媒质、接收设备、受信者等五个部分组成。示教系统中的信息源不同,有模拟信息源、数字信息源;示教系统的发送设备不同,有将模拟信息源和光缆媒质匹配起来的调制光源,也有将数字信息源和架空明线匹配起来的调制解调器;示教中的传输媒质不同,但都是有线媒质。在实验室条件下,导线或光缆都很短,引入的干扰及衰落可以忽略;在实际通信中,则必须考虑。接收设备完成发送设备的反变换;受信者分别是监视器和示波器,示教中选择它是从直观的角度考虑的。

2. 衡量通信系统传输质量的指标可以由测量方法检定。模拟通信系统可以由保真度、清晰度和分辨率等表征;数字通信系统可以由有效性(传码率)和可靠性(误码率)表征。

3. 两个系统中还包含了抗干扰、编码、解码、保密、同步等问题,随着课程有关章节内容的深入会逐一地揭示出来(本示教里并未演示)。

实验二 实验系统中的信号源实验（西电）

一、实验目的

1. 加深理解实验系统中载波、码元时钟、信码等的产生方法及其在整个实验系统中的作用。
2. 学会对载波、正交载波、定时脉冲、基带等信号的时域和频域测试方法。

二、实验内容

1. 观察载波、码元时钟信号。用示波器测量其幅度，用频率计测量其频率。
2. 观察数字基带信号，对全 0、全 1、1:1、1:3、3:1、1:7、7:1 及 63 位 m 序列进行时域和频域的分析比较。
3. 调测正弦波（话音中频）的幅度变化范围。

三、实验仪器

- | | |
|--------------------|-----------------|
| ① 通信原理实验箱 | ② 100 MHz 数字示波器 |
| ③ 20 MHz 双踪示波器（可选） | ④ 频率计 |

四、实验原理

在基带传输实验系统中，需要有数字基带信号、时钟信号；在频带传输实验系统中，需要有载波、数字基带信号、时钟信号；在模拟信号的数字传输实验中，也需要抽样时钟、语音信号。显然，信号源是各个实验系统所共需的。因此，必须首先从感性上认识信号源，了解各种信号的产生原理及实现过程，学会相应的测试方法，为后续的各种系统实验奠定基础。

在每一个实验系统内都设信号源，是基于以下几个方面的考虑：第一，可以省去大量外设的信号源，减少实验设备配置，降低实验成本，简化实验手续；第二，便于用示波器在屏幕上稳定地观察波形。由于实验系统中的各个信号都是从一个振荡源上经运算或编程而得到的，因而是相干信号，这为示波器多踪显示时波形的稳定创造了条件。

在通信原理各个实验系统中的信号源，都由晶体振荡器、分频器、带通滤波器、低通滤波器、信码发生器（七种规则码和一种长度为 63 位的 m 序列）组成。原理方框图如图 1.4 所示。

图 1.4 中，晶体振荡器（晶振）是由晶体、与非门、阻容元件反馈连接而成的。其原理电路图如图 1.5 所示。

分频器 A 将晶振输出的频率 11.0592 MHz 送至分频电路，经 144 次分频得到频带传输实验系统的载波频率 f_c ，第 2 章和第 4 章中所涉及的载频都用 76.8 kHz 正弦波；第 3 章中所用互补取样时钟为 76.8 kHz 的方波；在第 7 章现代数字调制系统中，载波频率也为 76.8 kHz，但要求输出是相位相差 90° 的两个正交载波。正交载波产生电路如图 1.6 所示。

正交信号可由 76.8 kHz 方波信号延迟 1/4 周期得到。由频率关系知，76.8 kHz 的方波信号（半占空比）可从 153.6 kHz 方波信号二分频得到，其波形如图 1.7 所示。图 1.6 中 D 触

发器是上升沿触发的触发器，将图 1.7(a)的脉冲加至图 1.6 上支路 D 触发器的 CP 端，在 Q 端输出波形如图 1.7(b)所示；将图 1.7(a)的脉冲经非门 2 反相，以下降沿作为下支路 D 触发器的时钟信号，Q 端输出如图 1.7(c)所示的波形。图 1.7(c)与图 1.7(b)相比，有 1/4 周期的延迟，即相差为 90° 。

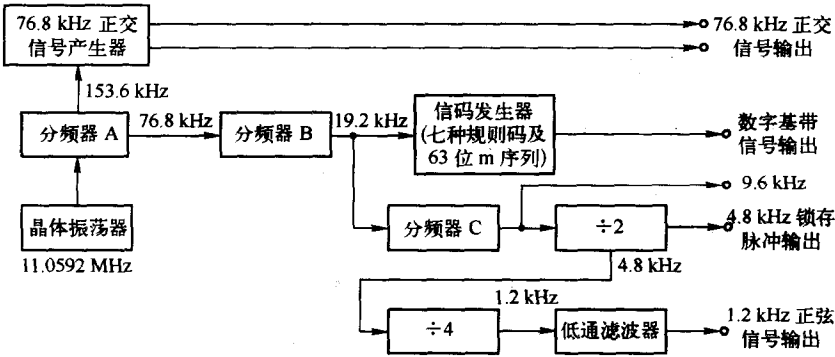


图 1.4 信号源原理方框图

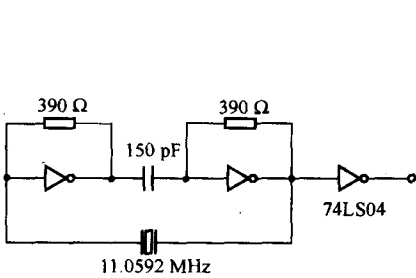


图 1.5 晶体振荡器原理电路图

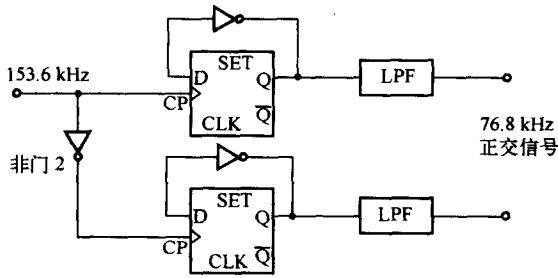


图 1.6 76.8 kHz 方波及正交信号产生电路

图 1.7(b)和(c)所示的方波信号是由基波分量及其奇次谐波分量组成的。欲取出基波分量，需抑制三次谐波以上的各谐波分量。设计两个由四运放 TL064（见图 1.8）连接的二阶巴特沃思（Butterworth）低通滤波器，并将其分别接到图 1.6 中两个 D 触发器的 Q 端，即可取出其基波分量，得到相差为 90° 的两个正弦（余弦）信号。巴特沃思低通滤波器原理电路图如图 1.8 所示。

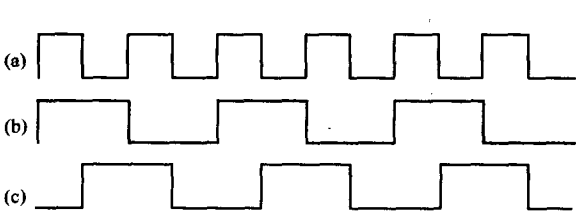


图 1.7 76.8 kHz 正交信号波形图

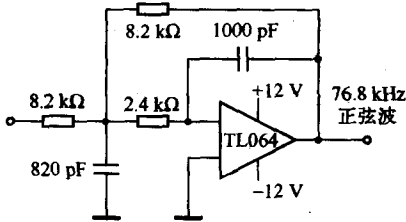


图 1.8 二阶巴特沃思低通滤波器原理电路图

图 1.4 中，分频器 A 输出的 76.8 kHz 方波信号经分频器 B（四分频电路），得到 $f_s=19.2$ kHz 的方波信号，该信号是码元时钟。换言之，数字基带传输系统、数字调制系统及现代数字调制系统的传码率均取 19.2 kb/s。将 $f_s=19.2$ kHz 的方波信号进行二分频、四分频，获得 $f_p=9.6$ kHz

和 4.8 kHz 的锁存脉冲，供第 7 章串/并变换电路使用。

在 19.2 kHz 码元时钟脉冲的节拍下，生成七种规则的测试信号和一种伪随机信号。它们分别为全 0、全 1、1:1、1:3、3:1、1:7、7:1、63 位伪随机码。用八选一开关选择任一路信号输出。这类信号即为本书所称的数字基带信号（单极性非归零码（NRZ））。下面分别介绍八种测试信号的产生电路与有关波形。

1. 全 0 及全 1 信号产生电路

显然，全 0 信号可以由 GND 提供；相应地，全 1 信号可由 V_{CC} 产生。其电路如图 1.9 所示。

2. 1:3 及 3:1 信号产生电路

1:3 及 3:1 信号产生电路如图 1.10 所示。波形如图 1.11 所示。

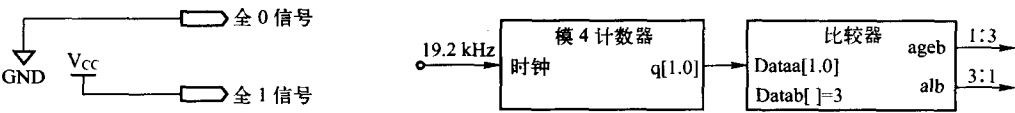


图 1.9 全 0 信号、全 1 信号产生电路

图 1.10 1:3 及 3:1 信号产生电路

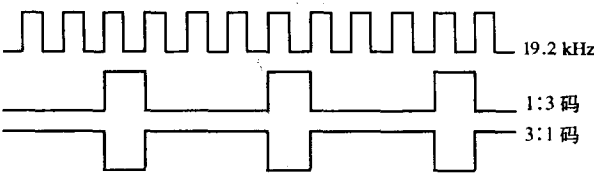


图 1.11 1:3 及 3:1 信号波形

产生原理为：将 19.2 kHz 方波作为模 4 计数器的时钟信号，每到来一个上升沿，计数一次，输出值在 0~3 之间循环变化；然后将计数值输入到与 3 比较的比较器中。当计数值小于 3 时，alb 路输出为 1，ageb 路输出为 0；当计数值等于 3 时，alb 路输出为 0，ageb 路输出为 1。从而得 alb 路为 3:1 信号，ageb 路为 1:3 信号。

3. 1:7 及 7:1 信号产生电路

类似于 1:3 及 3:1 信号的产生原理，1:7 及 7:1 信号产生电路如图 1.12 所示；1:7 及 7:1 信号波形如图 1.13 所示。每到来一个上升沿，计数一次，输出值在 0~7 之间循环变化；然后将计数值输入到与 7 比较的比较器中。当计数值小于 7 时，alb 路输出为 1，ageb 路输出为 0；当计数值等于 7 时，alb 路输出为 0，ageb 路输出为 1。从而得 alb 路为 7:1 信号，ageb 路为 1:7 信号。

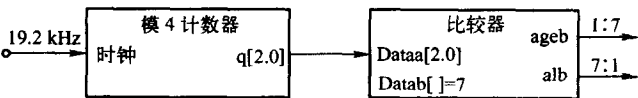


图 1.12 1:7 及 7:1 信号产生电路

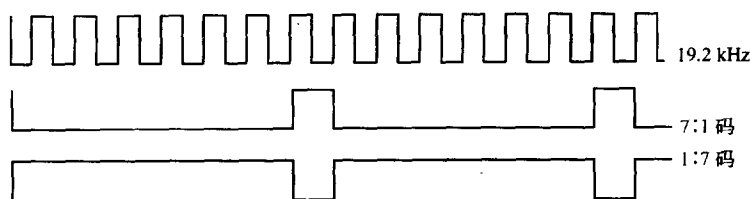


图 1.13 1:7 及 7:1 信号波形

4. 63 位伪随机码产生电路

m 序列也称为伪随机码，其主要特点是：

- (1) 每周期中，“1”码出现 2^{n-1} 次，“0”码出现 $2^{n-1} - 1$ 次，即 0,1 出现的概率几乎相等；
- (2) 序列中连 1 的数目是 n ，连 0 的数目是 $n-1$ ；
- (3) 具有与白噪声相似的随机性。

63 位伪随机码产生电路如图 1.14 所示。

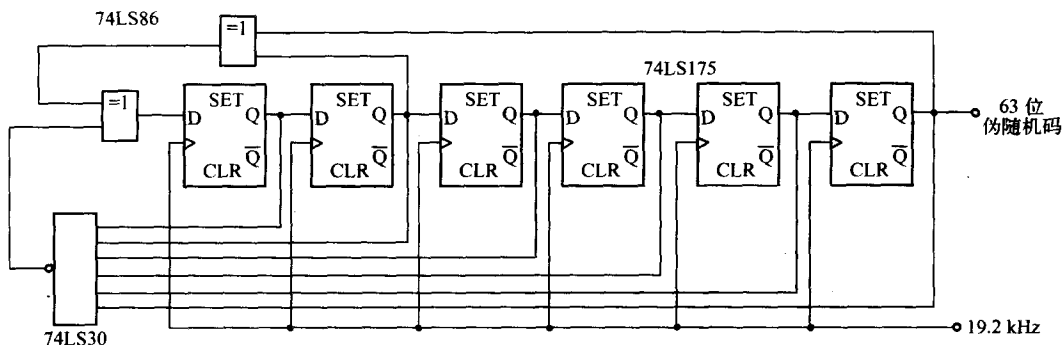


图 1.14 63 位伪随机码产生电路

5. 八选一电路

八选一电路如图 1.15 所示。其中，up 为加计数键，down 为减计数键，它们均为低电平有效。双向计数器 (up-down) 在每到来一个时钟时，若输入信号为 1 则加计数，为 0 则减计数。up、down 键分别经非门反相后再经或门接到双向计数器的时钟端，当 up、down 任一键被按下时，就会产生一个时钟脉冲。若 up 键被按下，输入信号为 1，将进行加计数；若 down 键被按下，则输入信号为 0，将进行减计数，从而产生地址信号，控制选择器选择 8 种不归零信号中相应的一路信号输出。八选一电路的 up 和 down 端口接有外部电路，如图 1.16 所示，图中的发光二极管点亮将指示所输出的是哪一路信号。在实验面板上设置该指示，便于实验者方便地选择基带信号源输出的码型。

实验方案中，数字基带信号产生电路采用的是 EPM7064 (大规模 CPLD) 可编程逻辑器件，由它来生成载波、位定时脉冲、锁存脉冲及八种基带信号。从而大大地简化了硬件电路在实现上的复杂性。

图 1.4 中，分频器 C 输出的 9.6 kHz 经八分频，输出 1.2 kHz 的方波信号，它同样含基波分量和奇次谐波分量，经低通滤波器滤除三次谐波以上的各谐波分量，最终输出 1.2 kHz

的正弦信号，该信号在模拟调制、模拟信号的数据传输（ ΔM 、PCM）实验系统中作为语音中间频率。

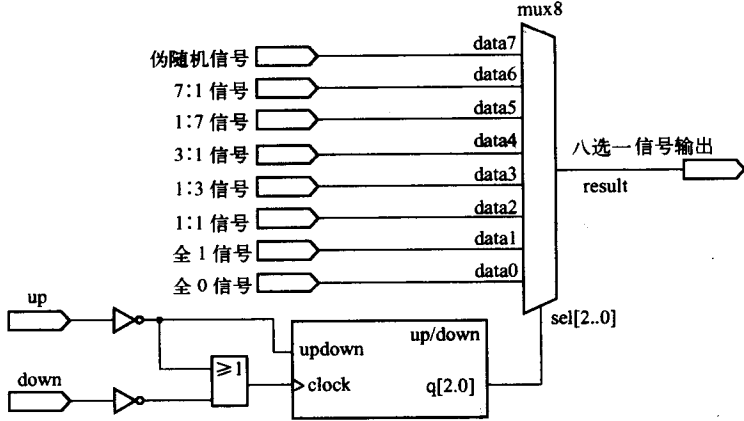


图 1.15 八选一电路

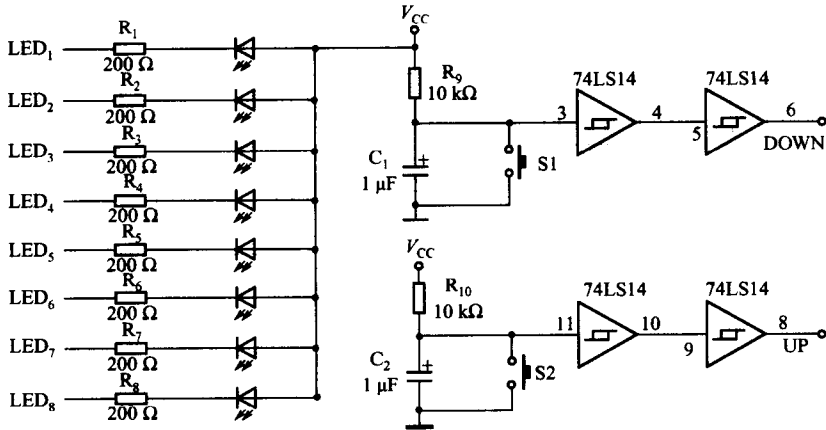


图 1.16 输出指示电路

低通滤波器电路如图 1.17 所示。其截止频率应设计为 1.2 kHz。它的后级为反相放大器，保证 1.2 kHz 的正弦信号最大幅度为 3.6 V_{P-P}。由图显见，调节电位器 W，能使正弦波的幅度变化范围为 0~3.6 V_{P-P}。

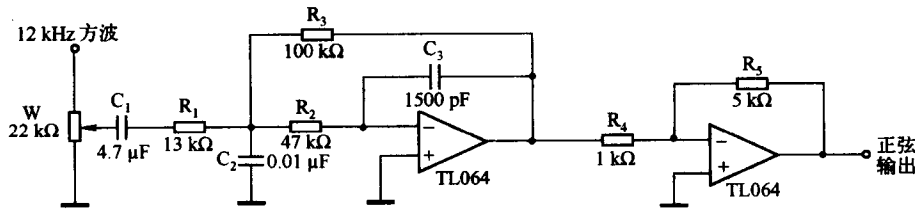


图 1.17 1.2 kHz 正弦波信号产生电路

需要指出，以上所讨论的基带信号是一种单极性不归零码（NRZ）。这种码型含有丰富的直流和低频分量；在信道传输时，会引起严重的畸变。在实际的基带传输系统中，传输

线路上通常采用传号交替反转码 (AMI) 和三阶高密度双极性码 (HDB₃)，这就要求将数字复用设备输出的二进制单极性码 (NRZ) 变换为 AMI 码或 HDB₃ 码。

五、实验步骤

1. 将示波器、实验系统、稳压电源、频率计的地线用粗导线连接起来；要确保电源正确无误地接至实验系统，以免损坏实验系统。

2. 校准示波器。在实验过程中，信号的幅度、周期、相位都是从示波器上读取的，为了保证测量数据的可靠性、可信性，必须分别对示波器的垂直灵敏度“V/div”和扫速“t/div”进行校准，校准步骤和方法可参阅所用示波器的使用说明书。

3. 在实验模块上，确定载波 f_0 、码元时钟 f_s 、串/并变换时钟 f_p 、锁存脉冲 (4.8 kHz)、数字基带信号、1.2 kHz 正弦波等的测试位置，建立如图 1.18 所示的测试模型。

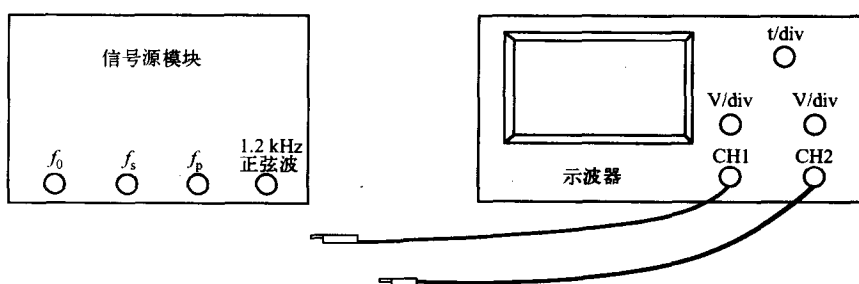


图 1.18 测试模型

(1) 将示波器 CH1 探极接至实验模块的 f_0 端上，CH2 探极接至码元时钟 f_s 端，示波器垂直耦合开关置“DC”挡位，工作方式开关置“ALT”，触发同步开关置“CH1”，改变示波器垂直灵敏度旋钮及扫描速率旋钮至最佳状态，记录载波 f_0 和码元时钟 f_s 的波形及其频谱。

(2) 将探极 CH1 接至 f_s 端，CH2 接至数字基带信号输出端，分别触摸实验系统面板上的 up 键和 down 键，记录八种码型的波形及频谱。

(3) 将示波器 CH1 探极接至 1.2 kHz 正弦波观测端口，测量其幅度变化范围、周期，计算频率值，并观察频谱。

六、实验讨论

1. 信号源是通信实验系统的命脉之一，载波信号是各种调制所必须的传送载体，时钟信号是波形变换的节拍，基带信号是各个实验系统传输的对象。

2. 在各种信号的时域测量时，必须选择正确的参考基准，如 19.2 kHz 是由 76.8 kHz 四分频得到的，因此，在观察 19.2 kHz 的码元时钟脉冲时，应选择 76.8 kHz 为示波器的触发源，详细观察频率倍数关系和触发时刻及触发沿；八种数字基带信号是在 19.2 kHz 的节拍下产生出来的，应选择 19.2 kHz 为示波器的触发源，对比分析各基带码和时钟间的对应关系。

3. 在各种信号的频域测量时，对方波的频谱要做定量的测试，确定其各频率分量相应的幅值 (dB) 和频率值；对经过带通滤波器提纯后的载波应和带通滤波器输入端的方波进行对比分析，体验带通滤波器的作用和滤波效果；对八种基带信号的频谱结构也要做认真的分析研究，为第 3 章、第 4 章所讨论的基带传输方式积累感性认识。

4. 实验中应充分发挥双踪示波器的优势, 两两对应地观察波形, 以利于观察时间关系或频率关系, 观察脉冲跳变沿对下一单元的触发时刻。

七、思考题

1. 在频率稳定度要求不严格的场合下, 用奇数个反相器经电阻和电容的反馈也能产生方波振荡输出, 请选择元器件并画出完整的方波振荡器电路图。

2. 根据图 1.14 给出的结构, 设计一个长度为 511 位的 m 序列, 并画出电路图。

3. 总结三种实验方案的共同点, 分析载波信号、时钟信号、基带数字信号和模拟信号等各信号之间的频率关系。

4. 图 1.17 给出的低通滤波器截止频率的选择原则是什么? 定性画出图 1.8 所示滤波器的幅频特性和相频特性的形状。

5. 用示波器观察两个不相干信号时, 在示波器上能否有稳定的显示波形?

八、实验报告要求

1. 在坐标纸上画出各观测点上的波形;

2. 方波 (76.8 kHz) 中的频率分量有哪些? 若经滤波器, 可取出基波分量, 滤波器应如何设计? (截止频率或谐振频率应如何选择)

实验三 实验系统中的信号源实验 (众友)

一、实验目的

1. 了解频率连续变化的各种波形的产生方法。
2. 了解 NRZ 码、方波、正弦波等各种信号的频谱。
3. 理解帧同步信号与位同步信号在整个通信系统中的作用。
4. 熟练掌握信号源模块的使用方法。

二、实验内容

1. 观察频率连续可变信号发生器输出的各种波形及 7 段数码管的显示。
2. 观察点频方波信号的输出。
3. 观察点频正弦波信号的输出。
4. 拨动拨码开关, 观察码型可变 NRZ 码的输出。
5. 观察位同步信号和帧同步信号的输出。
6. 观察 NRZ 码、方波、正弦波、三角波、锯齿波的频谱。

三、实验原理

信号源模块可以大致分为模拟部分和数字部分, 分别产生模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号源部分

模拟信号源部分可以输出频率和幅度任意改变的正弦波 (频率变化范围 100 Hz~10 kHz)、

三角波（频率变化范围 100 Hz~1 kHz）、方波（频率变化范围 100 Hz~10 kHz）、锯齿波（频率变化范围 100 Hz~1 kHz），以及 32 kHz、64 kHz 的点频正弦波（幅度可以调节），各种波形的频率和幅度的调节方法请参考实验步骤。该部分电路的原理方框图如图 1-19 所示。

在实验前，我们已经将各种波形在不同频段的数据写入了数据存储器 U_{04} ，并存放在固定的地址中。当单片机 U_{03} 检测到波形选择开关和频率调节开关送入的信息后，一方面通过预置分频器调整 U_{01} 中分频器的分频比（分频后的信号频率由数码管 $SM_{01} \sim SM_{04}$ 显示）；另一方面根据分频器输出的频率和所选波形的种类，通过地址选择器选中数据存储器 U_{04} 中对应地址的区间，输出相应的数字信号。该数字信号经过 D/A 转换器 U_{05} 和开关电容滤波器 U_{06} 后得到所需模拟信号。

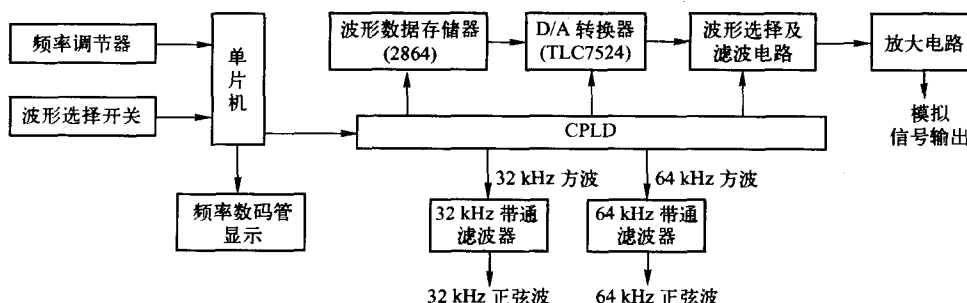


图 1.19 模拟信号源部分电路原理方框图

2. 数字信号源部分

数字信号源部分可以产生多种频率的点频方波、NRZ 码（可通过拨码开关 SW_{01} 、 SW_{02} 、 SW_{03} 改变码型），以及位同步信号和帧同步信号。绝大部分电路功能由 U_{01} 来完成，通过拨码开关 SW_{04} 、 SW_{05} 可改变整个数字信号源位同步信号和帧同步信号的速率。该部分电路的原理方框图如图 1-20 所示。

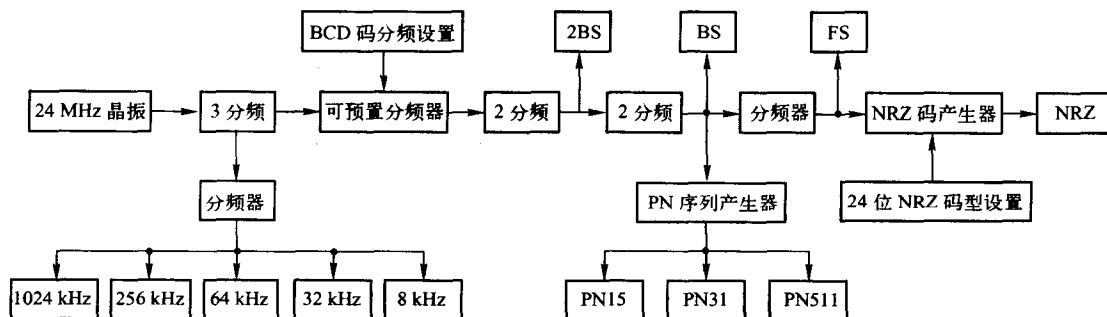


图 1-20 数字信号源部分电路原理方框图

晶振出来的方波信号经 3 分频后分别送入分频器和另外一个可预置分频器分频，前一分频器分频后可得到 1024 kHz、256 kHz、64 kHz、32 kHz、8 kHz 的方波。可预置分频器的分频值可通过拨码开关 SW_{04} 、 SW_{05} 来改变，分频比范围是 1~9999。分频后的信号即为整个系统的位同步信号（从信号输出点“BS”输出）。数字信号源部分还包括一个 NRZ 码