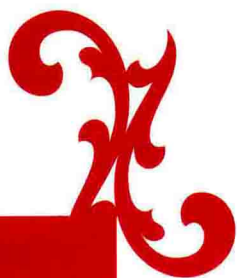




电子信息学科基础课程系列教材

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材



通信原理实验 (第2版)

王福昌 潘晓明 编著

清华大学出版社





电子信息学科基础课程系列教材

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材



通信原理实验 (第2版)

王福昌 潘晓明 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书详细介绍了作者研制的 HUST TX 系列通信原理教学实验系统的工作原理以及采用该实验设备的实验目的、实验内容和实验步骤等。用 HUST TX 实验设备可完成以下 11 个实验：数字基带信号及 AMI/HDB₃ 编译码、数字调制、模拟锁相环与载波同步、数字解调与眼图、数字锁相环与位同步、帧同步、时分复用数字基带通信系统、时分复用 2DPSK、2FSK 通信系统、PCM 编译码、时分复用通话与抽样定理、通信模块设计。

本书可供采用 HUST TX 系列通信原理教学实验系统进行通信原理实验的大学本科和专科生作为实验教材,也可供有关人员设计实际电路时参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

通信原理实验/王福昌,潘晓明编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2014
电子信息学科基础课程系列教材
ISBN 978-7-302-36726-0

I. ①通… II. ①王… ②潘… III. ①通信原理—实验—高等学校—教材 IV. ①TN911-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 115883 号

责任编辑:文 怡
封面设计:常雪影
责任校对:时翠兰
责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:8 字 数:187千字

版 次:2007年5月第1版 2014年8月第2版 印 次:2014年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:22.00元

产品编号:059500-01

《电子信息学科基础课程系列教材》
编 审 委 员 会

主任委员

王志功(东南大学)

委员 (按姓氏笔画)

马旭东(东南大学)	邓建国(西安交通大学)
王小海(浙江大学)	王诗宓(清华大学)
王 萍(天津大学)	王福昌(华中科技大学)
刘宗行(重庆大学)	刘润华(中国石油大学)
刘新元(北京大学)	张 石(东北大学)
张晓林(北京航空航天大学)	沈连丰(东南大学)
陈后金(北京交通大学)	郑宝玉(南京邮电大学)
郭宝龙(西安电子科技大学)	柯亨玉(武汉大学)
高上凯(清华大学)	高小榕(清华大学)
徐淑华(青岛大学)	袁建生(清华大学)
崔 翔(华北电力大学)	傅丰林(西安电子科技大学)
董在望(清华大学)	曾孝平(重庆大学)
蒋宗礼(北京工业大学)	

《电子信息学科基础课程系列教材》

丛书序

电子信息学科是当今世界上发展最快的学科,作为众多应用技术的理论基础,对人类文明的发展起着重要的作用。它包含诸如电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和微波工程等一系列子学科,同时涉及计算机、自动化和生物电子等众多相关学科。对于这样一个庞大的体系,想要在学校将所有知识教给学生已不可能。以专业教育为主要目的的大学教育,必须对自己的学科知识体系进行必要的梳理。本系列丛书就是试图搭建一个电子信息学科的基础知识体系平台。

目前,中国电子信息类学科高等教育的教学中存在着如下问题:

- (1) 在课程设置和教学实践中,学科分立,课程分立,缺乏集成和贯通;
- (2) 部分知识缺乏前沿性,局部知识过细、过难,缺乏整体性和纲领性;
- (3) 教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息学科人才不能很好地满足社会的需求。

在新世纪之初,积极总结我国电子信息类学科高等教育的经验,分析发展趋势,研究教学与实践模式,从而制定出一个完整的电子信息学科基础教程体系,是非常有意义的。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的[2003]141 号文件,教育部高等学校电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会(基础课分教指委)在 2004—2005 两年期间制定了“电路分析”、“信号与系统”、“电磁场”、“电子技术”和“电工学”5 个方向电子信息科学与电气信息类基础课程的教学基本要求。然而,这些教学要求基本上是按方向独立开展工作的,没有深入开展整个课程体系的研究,并且提出的是各课程最基本的教学要求,针对的是“2+X+Y”或者“211 工程”和“985 工程”之外的大学。

同一时期,清华大学出版社成立了“电子信息学科基础教程教研组”,历时 3 年,组织了各类教学研讨会,以各种方式和渠道对国内外一些大学的 EE(电子电气)专业的课程体系进行收集和 research,并在国内率先推出了关于电子信息学科基础课程的体系研究报告《电子信息学科基础教程 2004》。该成果得到教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会的高度评价,认为该成果“适应我国电子信息学科基础教学的需要,有较好的指导意义,达到了国内领先水平”,“对不同类型院校构建相关学科基础教学平台均有较好的参考价值”。

在此基础上,由我担任主编,筹建了“电子信息学科基础课程系列教材”编委会。编委会多次组织部分高校的教学名师、主讲教师和教育部高等学校教学指导委员会委员,进一步探讨和完善《电子信息学科基础教程 2004》研究成果,并组织编写了这套“电子信息学科基础课程系列教材”。

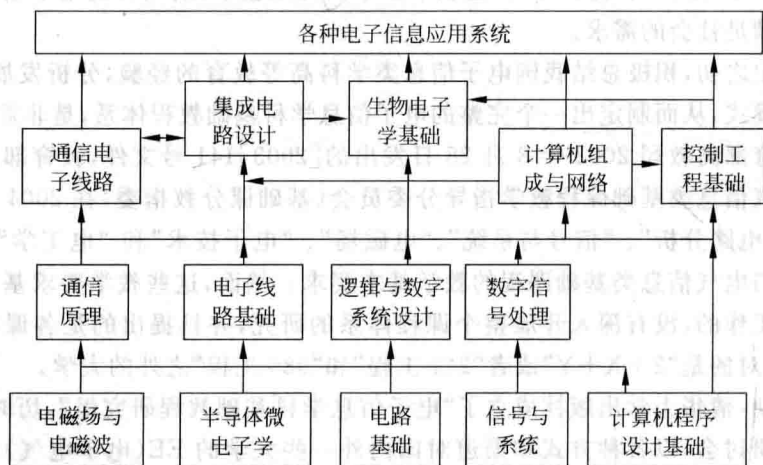
在教材的编写过程中,我们强调了“基础性、系统性、集成性、可行性”的编写原则,突出了以下特点:

- (1) 体现科学技术领域已经确立的新知识和新成果。
- (2) 学习国外先进教学经验,汇集国内最先进的教学成果。
- (3) 定位于国内重点院校,着重于理工结合。

(4) 建立在对教学计划和课程体系的研究基础之上,尽可能覆盖电子信息学科的全部基础。本丛书规划的 14 门课程,覆盖了电气信息类如下全部 7 个本科专业:

- 电子信息工程
- 通信工程
- 电子科学与技术
- 计算机科学与技术
- 自动化
- 电气工程与自动化
- 生物医学工程

(5) 课程体系整体设计,各课程知识点合理划分,前后衔接,避免各课程内容之间交叉重复,目标是使各门课程的知识点形成有机的整体,使学生能够在规定的课时数内,掌握必需的知识和技术。各课程之间的知识点关联如下图所示:



即力争将本科生的课程限定在有限的与精选的一套核心概念上,强调知识的广度。

(6) 以主教材为核心,配套出版习题解答、实验指导书、多媒体课件,提供全面的教学解决方案,实现多角度、多层面的人才培养模式。

(7) 由国内重点大学的精品课主讲教师、教学名师和教指委委员担任相关课程的设计和教材的编写,力争反映国内最先进的教改成果。

我国高等学校电子信息类专业的办学背景各不相同,教学和科研水平相差较大。本系列教材广泛听取了各方面的意见,汲取了国内优秀的教学成果,希望能为电子信息学科教学提供一份精心配备的搭配科学、营养全面的“套餐”,能为国内高等学校教学内容

和课程体系的改革发挥积极的作用。

然而,对于高等院校如何培养出既具有扎实的基本功,又富有挑战精神和创造意识的社会栋梁,以满足科学技术发展和国家建设发展的需要,还有许多值得思考和探索的问题。比如,如何为学生营造一个宽松的学习氛围?如何引导学生主动学习,超越自己?如何为学生打下宽厚的知识基础和培养某一领域的研究能力?如何增加工程方法训练,将扎实的基础和宽广的领域才能转化为工程实践中的创造力?如何激发学生深入探索的勇气?这些都需要我们教育工作者进行更深入的研究。

提高教学质量,深化教学改革,始终是高等学校的工作重点,需要所有关心我国高等教育事业人士的热心支持。在此,谨向所有参与本系列教材建设工作的同仁致以衷心的感谢!

本套教材可能会存在一些不当甚至谬误之处,欢迎广大的使用者提出批评和意见,以促进教材的进一步完善。



2008年1月

通信原理是电子信息类各专业的专业基础课,是一门理论性和实践性都很强的课程。这门课的理论教学方法是:由通信系统的原理方框图得到数学模型,再对数学模型进行数学分析,从而得到关于通信的一些基本概念和重要结论。由于学生在学习这门课时一般只使用过收音机、电视机、电话机及手机等通信工具,而对通信原理特别是数字通信原理缺少实践经验和感性认识,所以往往对理论教学感到枯燥,难以理解理论分析得到的基本概念和重要结论。针对这种情况,目前各学校普遍开设了通信原理实验课,并取得了良好的效果。

为配合通信原理实验教学,作者先后研制了 HUST TX-1、TX-2、TX-3、TX-3B、TX-5、TX-6 及 TX-6B 型通信原理教学实验系统,同时编写了相应的实验讲义。目前,已有许多学校采用该系列实验系统为大学本科生和专科生开设通信原理实验课。为满足使用者需要,作者对原实验讲义进行了修改和补充,交付清华大学出版社正式出版为实验教材。

本书详细介绍了 HUST TX 系列通信原理教学实验系统的工作原理以及采用该实验设备做实验的实验目的、实验内容和实验步骤等。书中还给出了通信系统中的许多实用电路。本书可以作为实验教材,也可供有关人员设计实际电路时参考。

本书由王福昌、潘晓明共同编写,由王福昌定稿。黄本雄老师参加了 HUST TX 实验设备的初期研发工作。参加初期研发工作的还有华中科技大学电信系本科生,他们是:管焯、凌重华、王志坚、罗新宇、刘建宇、田廷玉、卢俊峰、苏梦生、聂春燕、陈卫东。硕士研究生谌璟和张璇参加了实验设备的改型工作。这些老师和同学的工作为本书的编写提供了有力支持,在本书出版之际,作者对他们表示衷心感谢。

作者还要特别感谢清华大学出版社的陈国新老师、文怡老师及其他工作人员,他们的辛勤劳动使本书能如期与读者见面。

本实验教材和 HUST TX 系列实验设备可以与作者编著的《通信原理》(清华大学出版社)及《通信原理辅导与习题解答》(华中科技大学出版社)配合使用,也可与其他通信原理教材配合使用。

HUST TX 实验设备还有待进一步改进,本书中也难免有不当之处,期望使用该系列实验设备和本书的同学、老师及工程技术人员提出宝贵意见。

本书是 2007 年出版的《通信原理实验》的修订版。本版增加了实验设备的使用与维护方面的内容,并对 TX-6B 型设备的某些特殊问题作了说明。

作 者

2014 年 5 月于武汉·华中科技大学

pxmhust@163.com

目录

绪
论

绪论	1
实验 1 数字基带信号与 AMI/HDB ₃ 编译码	7
实验 2 数字调制	21
实验 3 模拟锁相环与载波同步	27
实验 4 数字解调与眼图	34
实验 5 数字锁相环与位同步	41
实验 6 帧同步	50
实验 7 时分复用数字基带通信系统	57
实验 8 时分复用 2DPSK、2FSK 通信系统	64
实验 9 PCM 编译码	67
实验 10 PCM 时分复用通话与抽样定理	77
实验 11 通信模块设计	81
附录 1 信源和 AMI/HDB ₃ 编译码模块中的 CPLD 功能说明	89
附录 2 AMI/HDB ₃ 编译码子单元 CPLD 设计实例	92
附录 3 主要集成电路芯片真值表和封装	99
附录 4 设备的使用与维护	109
参考文献	113

绪论

1. 数字图书馆



2. AMR/SP



图 1 数字图书馆系统架构图

数字图书馆系统架构图

数字图书馆系统架构图

数字图书馆系统架构图

现代通信包括传输、复用与多址、交换、网络等技术。通信原理课程主要介绍传输及复用技术。HUST TX 系列实验系统涵盖了数字信号传输的主要内容及时分复用技术,其设计思路是如图 0.1 所示的两路时分复用 PCM/2DPSK 数字电话系统。

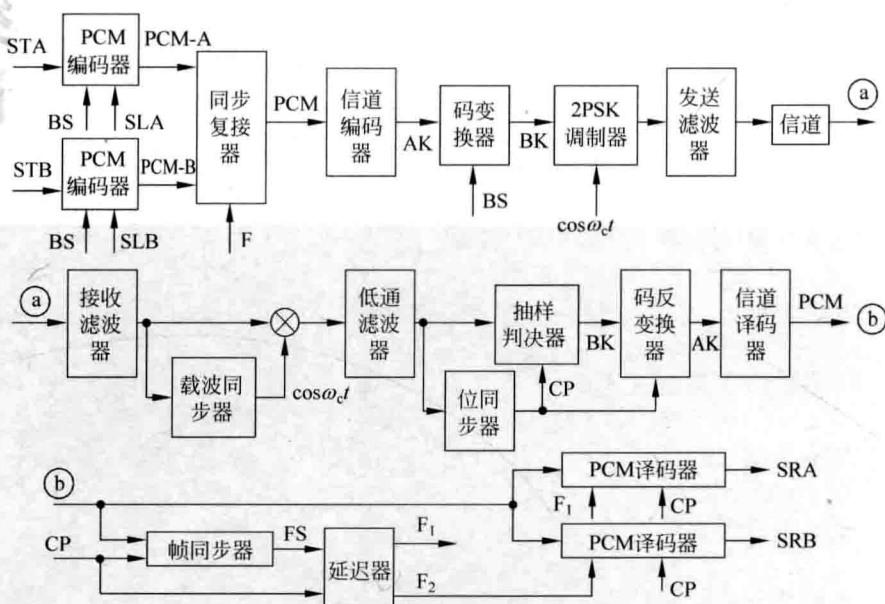


图 0.1 两路时分复用 PCM/2DPSK 数字电话系统

图 0.1 中 STA、STB 分别为发送端的两路模拟语音信号,BS 为时钟信号,SLA、SLB 为抽样信号,F 为帧同步码,AK 为绝对码,BK 为相对码。在接收端,CP 为位同步信号,FS 为帧同步信号, F_1 、 F_2 为两个路同步信号,SRA、SRB 为两个 PCM 译码器输出的模拟语音信号。

图中发送滤波器用来限制进入信道的信号带宽,以提高信道的频带利用率。接收滤波器用来滤除带外噪声,并与发送滤波器、信道相配合使系统的频率特性满足无码间串扰条件。考虑到接收端有关信号波形的可观测性,在 HUST TX 系列实验设备中省略了发送滤波器、信道及接收滤波器,而直接将 2PSK 调制器输出信号连接到载波提取单元和相干解调单元。实验者可以用软件仿真方法观察系统频率特性与码间串扰之间的关系。

对实际的话音信号进行编码而产生的 PCM 信号是随机信号,不适于用示波器观察信号传输过程中的变化。因此本实验设备先用 24bit 为一帧的周期信号作为发送端的 PCM 信号,该周期信号由两路数据(每路 8bit)和 7bit 帧同步码以及 1bit 未定义位复接而成,用此周期信号对载波进行调制。在接收端对数字已调信号进行解调并对两路数据进行分接,形成两路并行码和两路串行码。发送端的 24bit 信号可根据实验需要由实验者任意设置。

由两路实际的话音信号(或两路正弦信号)形成的 PCM 时分复用信号则直接送给

PCM 译码器,实验者可以观察到话音(或正弦信号)的 PCM 信号波形、量化噪声、过载噪声以及频谱混叠对话音波形的影响,并可以体验到存在频谱混叠时的通话效果,从而加深对 PCM 编译码、同步复接以及抽样定理的理解。

HDB₃ 码及 AMI 码是基带传输中的重要码型,其编码规律、位同步提取原理是理论教学的重点和难点,也是本实验系统的重点内容之一。

目前 ΔM 应用不广泛且无统一的国际标准,本实验系统中没有考虑。

TX-6 及 TX-6B 型通信原理教学实验系统由下面 12 个模块构成,图 0.2 为其印刷电路板布局图。

1. 数字信源模块

本模块产生速率为 170.5kbps 的单极性非归零码(NRZ 码),数字信号帧长为 24bit,其中包括两路数字信息,每路 8bit,另外 8bit 中的 7bit 为集中插入式帧同步码,1bit 无定义。本模块还产生长度为 31 位的 M 序列信号。

2. AMI/HDB₃ 编译码模块

本模块将数字信源模块输出的 NRZ 码转换为 AMI 码或 HDB₃ 码,从 AMI 码或 HDB₃ 码中提取位同步信号,并对 AMI 码或 HDB₃ 码进行译码。

3. 数字调制模块

本模块对频率为 2.2165MHz 的正弦载波进行调制,产生 2DPSK 及 2ASK 信号,对频率为 2.216MHz 及 1.608MHz 的正弦信号进行调制产生 2FSK 信号,数字基带信号为数字信源模块输出的 NRZ 信号。

4. 载波同步模块

本模块采用平方环从 2DPSK 信号中提取相干载波。

5. 2DPSK 解调模块

本模块采用相干解调法解调 2DPSK 信号。

6. 2FSK 解调模块

本模块采用过零检测法解调 2FSK 信号。

7. 位同步模块

本模块用全数字锁相环从信源的 NRZ 信号中或从 2DPSK 解调模块(或 2FSK 解调模块)的比较器输出信号中提取位同步信号。

8. 帧同步模块

本模块从信源的 NRZ 信号或从 2DPSK 解调模块(或 2FSK 解调模块)解调输出的 NRZ 信号中提取帧同步信号。

9. 数字终端模块

本模块输入 NRZ 信号、位同步信号、帧同步信号,在位同步及帧同步信号控制下,将两路数字信息从时分复用 NRZ 信号分接出来,并用发光二极管显示。

10. PCM 编译码模块

本模块采用 TP3057 芯片对两路模拟音频信号进行 A 律 PCM 编码和译码。在 TX-5 和 TX-6 型设备中,本单元的抽样频率可以在 8kHz、4kHz 及 2kHz 中任选其一;在其他型号设备中,本单元的抽样频率固定为 8kHz。本模块时分复用 PCM 信号速率为 2.048Mbps。当抽样频率为 8kHz 时,一帧中包含 32 个时隙,但只传输两路数字音频信号,其中一路信号放在第 2 个时隙,另一路可放在第 1、2、5、7 任何一个时隙内,第 0 个时隙中有 7 位帧同步码,其余 29 个时隙为全 0 码。

11. 两人通话模块

本模块包含音频放大器和衰减电路,与 PCM 编译码模块连接后可以进行两人时分复用通话实验。

12. 设计实验模块

TX-6 中,本模块以 Xilinx 的 CPLD 芯片 XC95108 为核心,TX-6B 中,本模块以 ATMEL 的 CPLD 芯片 ATF1508AS 为核心,配合一些外围电路,由实验者通过硬件描述语言自行设计完成某些通信模块的功能。

用上述第 1、3、4、5、7、8、9 等 7 个模块可构成一个理想信道 2DPSK 通信系统,用第 1、3、6、7、8、9 等 6 个模块可构成理想信道 2FSK 通信系统,用第 1、7、8、9 等 4 个模块可构成一个理想信道数字基带通信系统。

利用 TX-6 及 TX-6B 型实验设备,可以进行数字基带信号及 AMI/HDB₃ 编译码、数字调制、模拟锁相环与载波同步、数字解调与眼图、数字锁相环与位同步、帧同步、PCM 编译码等验证性实验以及时分复用数字基带通信系统、时分复用 2DPSK/2FSK 通信系统、时分复用通话与抽样定理等通信系统实验,还可以完成数字基带信号码型变换、位同步提取、帧同步提取、信道编译码等设计性实验。通过这些实验,同学们可以获得数字通信系统的传输技术及时分复用技术的感性认识,巩固课堂上所学的理论知识。

在学习通信原理这门课之前,同学们已基本具备了模拟电路及数字电路的分析、设计及调试能力。通信实验的主要目的是帮助大家理解通信系统的整体概念及基本理论,因此本书没有详细地分析各种电路的工作原理,只说明了它们的作用。

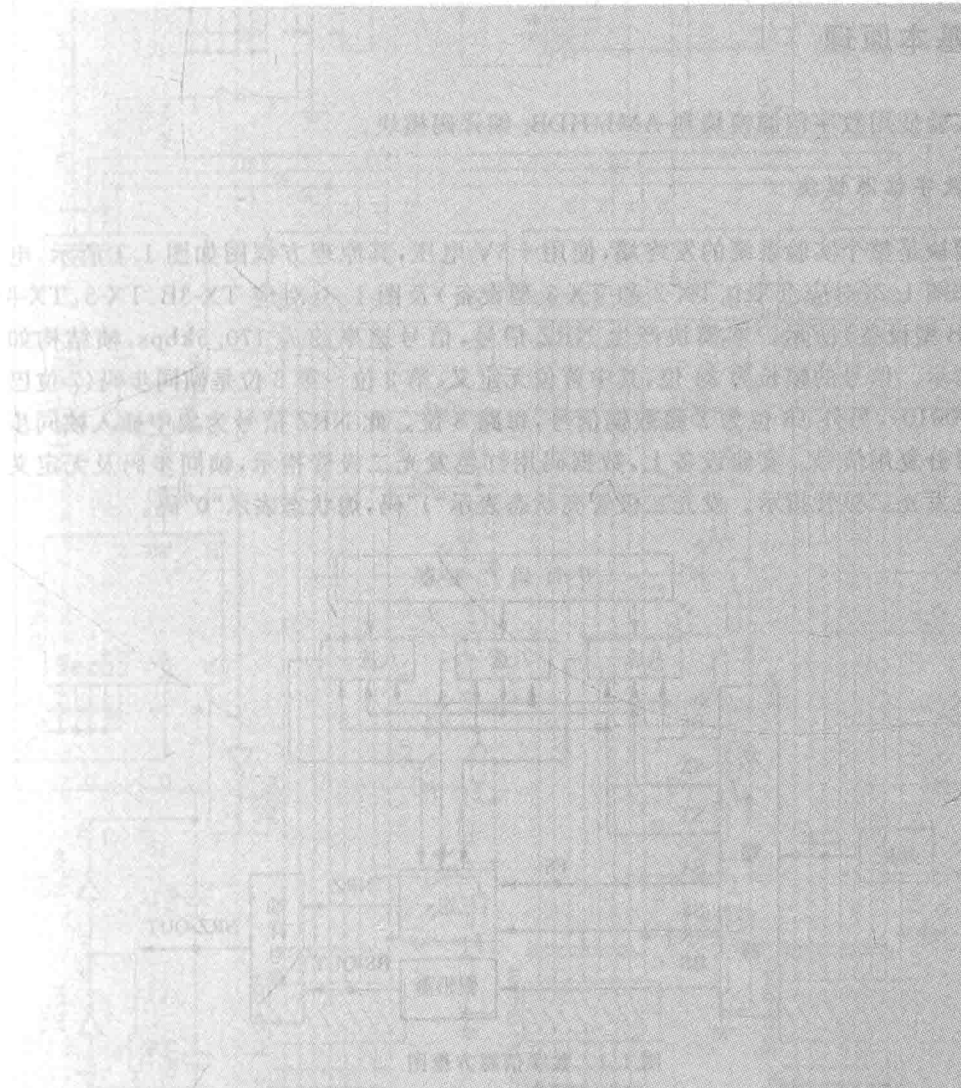
TX-5 型实验设备无设计实验模块,其余模块与 TX-6 及 TX-6B 型实验设备完全相同。其他型号设备的实验内容与 TX-5 型基本相同,只是结构略有区别。

TX-3B、TX-5、TX-6 及 TX-6B 型实验设备所需的三输出直流稳压电源(+5V、3A, +12V、0.5A, -12V、0.5A)已内置,实验时只需外接 220V 交流电。其他型号实验设备需外置三输出直流稳压电源。

实验必备仪器为双踪模拟示波器(至少为 20MHz),设计性实验需要计算机配合。在某些实验步骤中,需用频率计、低失真度低频信号源、失真仪、频谱仪等,但无这些仪器时绝大部分实验内容仍可完成。

实验 1

数字基带信号与 AMI/HDB₃ 编译码



1.1 实验目的

1. 掌握单极性码、双极性码、归零码、非归零码等基带信号波形特点。
2. 掌握 AMI、HDB₃ 码的编码规则。
3. 掌握从 HDB₃ 码信号中提取位同步信号的方法。
4. 掌握集中插入帧同步码同步时分复用信号的帧结构特点。
5. 了解 AMI/HDB₃ 编译码集成电路 CD22103。

1.2 基本原理

本实验使用数字信源模块和 AMI/HDB₃ 编译码模块。

1. 数字信源模块

本模块是整个实验系统的发终端,使用+5V电压,其原理方框图如图1.1所示,电原理图如图1.2(对应TX-1、TX-2和TX-3型设备)及图1.3(对应TX-3B、TX-5、TX-6及TX-6B型设备)所示。本模块产生NRZ信号,信号速率约为170.5kbps,帧结构如图1.4所示。信号的帧长为24位,其中首位无定义,第2位~第8位是帧同步码(7位巴克码1110010),另外16位为2路数据信号,每路8位。此NRZ信号为集中插入帧同步码同步时分复用信号。实验设备上,数据码用红色发光二极管指示,帧同步码及无定义位用绿色发光二极管指示。发光二极管亮状态表示“1”码,熄状态表示“0”码。

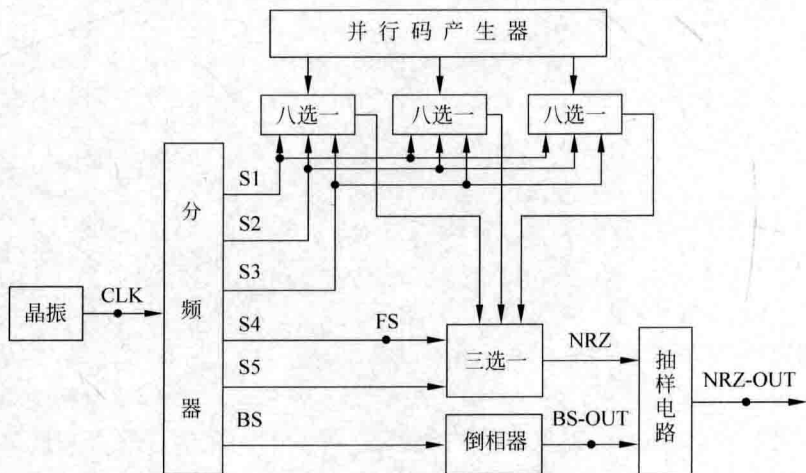


图 1.1 数字信源方框图