



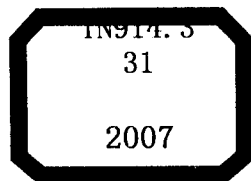
教育科学“十五”国家规划课题研究成果

数字通信

许学梅 苏利敏 主编
杨延嵩 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

数 字 通 信

许学梅 主编

许学梅 苏利敏 杨延嵩 编著

高等教育出版社

内容提要

本书是教育科学“十五”国家规划课题研究成果。

本书重点介绍数字通信的基本原理,按信号在通信系统中处理、传输的顺序进行编写,同时对涉及的最新数字通信技术与应用进行介绍。

全部内容共分10章,包括:数字通信系统概述、信道与噪声、信源编码/译码技术、数字信号的基带传输技术、信道的多路复用与数字复接技术、数字信号的频带传输技术、数字信号传输的同步技术、差错控制编码技术、多址技术与扩频通信技术、伪随机序列及其在通信中的应用。

本书以应用性为原则,内容编排连贯,取材先进,系统性强,层次分明,突出基本概念、基本原理的阐述;注重通信技术在实际通信系统中的应用,理论联系实际,注意知识的归纳、总结。并在每章后附有小结和适量的习题,便于学生理解和掌握通信系统的基本概念、分析方法及相关技术。

本书可作为高等院校通信、电子信息专业本科学生的教材,也可供计算机通信、信息技术类本科学生和其他相关科技人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信 / 许学梅主编; 许学梅, 苏利敏, 杨延嵩编
著. —北京: 高等教育出版社, 2007.3
ISBN 978-7-04-020618-0

I. 数… II. ①许…②许…③苏…④杨… III. 数
字通信—高等学校—教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第008442号

策划编辑 李 慧 责任编辑 孙 薇 封面设计 李卫青 责任绘图 尹 莉
版式设计 王艳红 责任校对 姜国萍 责任印制 韩 刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http:// www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http:// www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http:// www.landracom.com
印 刷	北京汇林印务有限公司		http:// www.landracom.com.cn
		畅想教育	http:// www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2007年3月第1版
印 张	24.5	印 次	2007年3月第1次印刷
字 数	450 000	定 价	28.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20618-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在做研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此，在课题研究过程中，各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果，并和教学实际结合起来，认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革，组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师，编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案，以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信，随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入，特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施，具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

随着全球数字化的发展,数字通信作为信息传输的重要手段,在移动通信、卫星通信、微波通信、互联网等各个领域获得了日益广泛的应用。目前我国通信网中传输的信号主要是数字信号,已经基本上实现了数字化。近年来,个人通信系统与超高速通信网络的飞速发展对如何更加有效、可靠地进行数字传输提出了更高的要求。

本书以数字通信系统的基本组成为基础,按信号在通信系统中处理、传输的顺序进行编写,同时对涉及的最新数字通信技术与应用进行介绍,书中标有星号(*)的内容属于选学内容。

全书共分 10 章:

第 1 章:数字通信系统概述。介绍通信系统构成、基本工作原理、通信使用的频段及频段的划分、主要性能指标及计算与分析方法、信息及其信息量的表示与计算方法、通信标准的基本概念。

第 2 章:信道与噪声。介绍信道的定义、分类与模型、恒参信道的传输特性及对所传信号的影响、随参信道的传输特性及对所传信号的影响、通信中常见的几种噪声、多径传播与多径效应、随参信道特性的改善方法——分集接收技术,并介绍了信道容量的概念及其计算方法。

第 3 章:信源编码/译码技术。介绍模拟信号的数字传输技术、脉冲编码调制(PCM)技术、抽样定理及抽样、均匀量化与非均匀量化及其特性、增量调制(ΔM)技术、差分脉冲编码技术,并简要介绍图像与音频信号压缩编码技术。

第 4 章:数字信号的基带传输技术。介绍数字基带传输系统的组成、数字基带信号常用的传输码型及其特点和频谱特性、数字基带信号的码元速率与带宽的计算、基带传输系统的特性及码间串扰、无码间串扰的基带传输系统的抗噪声性能、眼图及工程应用、消除码间串扰的时域均衡技术、时域均衡的原理、时域均衡器的实现、部分响应技术。

第 5 章:信道的多路复用与数字复接技术。介绍信道的时分多路复用原理与技术、PCM 30/32 路基群帧结构及其码元传输速率、统计时分复用(STDM)、高次群数字复接技术、同步复接与异步复接、数字复接的码速调整、同步数字 SDH 技术、STM 的帧结构及其工作原理与复用方法。

第 6 章:数字信号的频带传输技术。介绍二进制数字调制/解调技术(2ASK/

2FSK/2PSK/2DPSK)、二进制数字调制系统的抗噪声性能、多进制数字调制系统(MASK/MFSK/MPSK/MDPSK)、绝对相移键控技术与相对相移键控技术,特别介绍现代数字调制/解调技术:现代数字多相相移键控技术、正交幅度调制(QAM、MQAM)技术、最小频移键控(MSK)技术、高斯最小频移键控(GMSK)技术、网格编码调制(TCM)、各种数字调制技术在通信系统中的应用。

第7章:数字信号传输的同步技术。介绍通信系统中同步的重要性和各种同步的作用、载波同步技术及实现的方法、位同步技术及实现的方法、帧(群)同步技术及实现的方法、帧同步系统的性能指标、对帧同步系统的要求,还介绍了网同步技术。

第8章:差错控制编码技术。介绍纠错控制编码的基本概念和分类、纠错控制编码检错/纠错的基本原理和方法、常用的检错/纠错码的编/译码原理及其应用、线性分组码的编/译码原理及其应用、卷积码的编/译码原理及其应用。

第9章:多址技术与扩频通信技术。介绍多址技术的原理和应用、扩频通信技术的原理和应用、扩频通信系统的主要技术指标。

第10章:伪随机序列及其在通信中的应用。介绍伪随机序列的产生及其在通信中的应用以及地址码与扩频码的产生、区别及应用。

本书以应用性为原则,内容编排连贯,取材先进,系统性强,语言简练、通俗易懂、层次分明,突出基本概念、基本原理的阐述,适用面宽。本书注重通信技术在实际通信系统中的应用,理论联系实际;注意必要的数学分析、避免了烦琐的数学公式推导,运用物理概念和直观的波形分析方法,对系统基本性能的物理意义解释明确;同时注意知识的归纳、总结,并在每章后附有小结和适量的习题,便于读者理解和掌握通信系统的基本概念、分析方法及相关技术。

本书可作为高等学校通信专业本科学生的教材,也可供计算机通信、信息技术类本科学生和其他相关科技人员学习和参考。

本书第1、2、4、5、6、9、10章由许学梅编写,第7、8章由苏利敏编写,第3章由杨延嵩编写。全书由许学梅担任主编。张新政教授详细审阅了全部书稿,并提出了许多改进意见,在此特表谢意。同时感谢鲍泓教授、李哲英教授、李金平教授、赵亦松副教授、张宁博士后、高等教育出版社的李慧编辑给予本书的指导。

对本书中的缺点和不足之处,希望读者不吝批评指正。

编 者

2006.9.10

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 数字通信系统概述	1
1.1 数字通信的基本概念	2
1.1.1 通信的定义	2
1.1.2 通信发展简史	2
1.1.3 通信的分类	5
1.1.4 通信的方式	6
1.1.5 通信频段的划分	8
1.2 数字通信系统的组成	10
1.2.1 通信系统的基本构成	10
1.2.2 模拟通信系统的构成	11
1.2.3 数字通信系统的构成及各部分功能	11
1.3 数字通信的特点	15
1.4 衡量数字通信系统的主要性能指标	17
1.4.1 数字通信系统的有效性指标	17
1.4.2 数字通信系统的可靠性指标	19
1.5 数字通信系统主要研究的技术	21
1.6 信息及其信息量的表示与计算方法	21
1.6.1 信息的概念	21
1.6.2 信息的量度	21
1.6.3 信息量的计算	22
1.7 现代通信技术及其发展趋势	25
1.8 通信标准	28
小结	29
习题	30
第 2 章 信道与噪声	32
2.1 信道的定义、分类与模型	32
2.1.1 信道的定义和分类	32

2.1.2 信道模型	34
2.2 信道的传输特性	36
2.2.1 信道传输的一般特性	36
2.2.2 恒参信道的传输特性及对所传信号的影响	37
2.2.3 随参信道的传输特性及对所传信号的影响	40
2.3 随参信道特性的改善方法——分集接收技术	45
2.4 通信系统常见的几种信道噪声	47
2.5 信道容量的概念及其计算方法	52
小结	53
习题	54
第 3 章 信源编码/译码技术	57
3.1 模拟信号的数字传输	57
3.2 脉冲编码调制技术	58
3.2.1 抽样定理与抽样	59
3.2.2 量化	68
3.2.3 编码和译码	75
3.2.4 PCM 信号的码元速率和带宽	80
3.2.5 PCM 编译码器芯片	80
3.3 增量调制(ΔM)技术	82
3.3.1 增量调制的基本原理	83
3.3.2 增量调制的量化误差与编码的动态范围	85
3.3.3 增量调制系统的抗噪声性能	88
3.3.4 PCM 与 ΔM 系统的性能比较	89
3.3.5 增量调制解调器芯片	91
3.4 差分脉冲编码	93
3.4.1 差分脉冲编码调制 DPCM	93
3.4.2 自适应差分脉冲编码调制 ADPCM	94
3.5 图像与音频信号压缩编码技术综述	94
3.5.1 语音和声音压缩编码技术	95
3.5.2 图像信号压缩编码技术	97
3.5.3 图像压缩编码标准简介	100
小结	103
习题	104

第 4 章 数字信号的基带传输技术	106
4.1 数字基带传输系统的组成	107
4.2 数字基带信号	108
4.2.1 传输码型的选择和设计要求	108
4.2.2 数字基带信号常用的传输码型及其特点	109
4.2.3 数字基带信号的频谱特性	115
4.2.4 数字基带信号的码元速率与带宽的计算	119
4.3 数字基带传输系统的特性及码间串扰	120
4.3.1 数字基带传输系统的特性分析	120
4.3.2 码间串扰的消除	122
4.4 实用的无码间串扰的基带传输系统	124
4.5 无码间串扰的基带传输系统的抗噪声性能	127
4.5.1 数字信号基带传输的误码性能分析	127
4.5.2 最佳判决门限 V_d^* 的确定	129
4.6 数字基带传输质量的工程测量——眼图	133
4.7 消除码间串扰的时域均衡技术	134
4.7.1 时域均衡原理	135
4.7.2 时域均衡器的组成结构	136
4.7.3 时域均衡的分析	136
4.7.4 均衡效果的衡量	139
4.7.5 时域均衡器的实现	140
4.7.6 预置式均衡器及相关技术	144
4.7.7 自适应均衡器及在基带传输系统中的应用	145
*4.8 部分响应技术	146
4.8.1 部分响应波形及特性	146
4.8.2 部分响应系统的实现	150
4.8.3 部分响应系统的推广	150
小结	153
习题	153
第 5 章 信道的多路复用与数字复接技术	156
5.1 信道的时分多路复用技术	156
5.1.1 时分多路复用技术的基本原理	157
5.1.2 时分复用的 PCM 系统	158

5.1.3	PCM 30/32 路典型时分多路复用终端设备	159
5.1.4	时分多路复用 PCM 30/32 路基群帧结构与传输速率	159
5.1.5	统计时分复用 (STDM)	162
5.2	高次群数字复接技术	163
5.2.1	数字复接系统的构成及复接等级	163
5.2.2	数字复接的码速调整	165
5.2.3	准同步数字系列 (PDH) 的缺点	167
5.3	同步数字系列 (SDH)	168
5.3.1	SDH 的复接原理和复接方法	168
5.3.2	SDH 的帧结构与传输速率	168
5.4	SDH 复用系统	171
5.4.1	SDH 的复用结构	171
5.4.2	SDH 的终端复用设备与交叉连接设备	173
5.4.3	SDH 的交叉连接设备与交换机的区别	175
	小结	176
	习题	176
第 6 章	数字信号的频带传输技术	178
6.1	信号调制的意义	178
6.2	二进制数字调制/解调技术	180
6.2.1	二进制幅移键控技术(2ASK)	180
6.2.2	二进制频移键控技术(2FSK)	182
6.2.3	二进制相移键控技术(2PSK)	186
6.2.4	二进制相对相移键控技术(2DPSK)	189
6.3	二进制数字调制/解调系统的性能比较	192
6.3.1	2ASK/2FSK/2PSK/2DPSK 信号功率谱的特点	192
6.3.2	各系统的信道带宽、频带利用率及相互间的比较	195
6.3.3	二进制数字调制系统的抗噪声性能比较	197
6.4	多进制数字调制系统	208
6.4.1	多进制数字幅移键控系统(MASK)	209
6.4.2	多进制数字频移键控系统(MFSK)	211
6.4.3	多进制数字相移键控系统(MPSK、MDPSK)	213
6.5	现代数字调制/解调技术	220
6.5.1	现代数字多相相移键控技术	221
6.5.2	正交幅度调制技术(QAM、MQAM)	227

6.5.3 最小频移键控(MSK)	233
6.5.4 高斯最小频移键控(GMSK)	237
6.5.5 网格编码调制(TCM)	244
6.6 各种数字调制技术在通信系统中的应用	249
小结	250
习题	251
第7章 数字信号传输的同步技术	254
7.1 同步的定义与分类	254
7.1.1 同步的定义	254
7.1.2 同步的分类	255
7.2 载波同步技术	256
7.2.1 插入导频法	256
7.2.2 直接法	259
7.2.3 载波同步系统的性能指标	262
7.3 位同步技术	262
7.3.1 插入导频法	263
7.3.2 自同步法	264
7.3.3 位同步系统的性能指标	268
7.3.4 位同步相位误差对系统误码率的影响	271
7.4 帧(群)同步技术	272
7.4.1 起止式同步法	273
7.4.2 加高式或加宽式同步法	273
7.4.3 连贯式插入法	274
7.4.4 间歇式插入法	278
7.4.5 帧同步系统的性能指标	279
7.4.6 帧同步的保护	281
7.5 网同步	283
7.5.1 主从同步方式	284
7.5.2 相互同步方式	285
7.5.3 独立时钟同步方式	286
小结	288
习题	289
第8章 差错控制编码技术	290
8.1 差错控制编码的基本概念	290

8.1.1 差错控制方式	291
8.1.2 差错控制编码的分类	293
8.1.3 纠错控制编码的基本原理	293
8.2 常用的几种简单分组码	297
8.2.1 奇偶监督码	297
8.2.2 二维奇偶监督码	298
8.2.3 恒比码	298
8.2.4 反正码	299
8.3 线性分组码	300
8.3.1 线性分组码的基本原理	300
8.3.2 监督矩阵和生成矩阵	302
8.3.3 伴随式、检测与纠错	304
8.3.4 纠错译码器的实现	305
8.3.5 检错和纠错能力	306
8.3.6 交织技术	307
8.4 循环码	308
8.4.1 循环码的基本原理	308
8.4.2 循环码的特性	309
8.4.3 循环码的编码及实现电路	312
8.4.4 循环码的译码及实现电路	314
8.5 几种重要的循环码	315
8.5.1 BCH 码	316
8.5.2 RS 码	317
8.5.3 CRC 码	318
8.6 卷积码	318
8.6.1 卷积码编码器的结构	319
8.6.2 卷积码的图解表示方法	321
8.6.3 卷积码的生成多项式和生成矩阵	324
8.6.4 卷积码的译码	327
小结	333
习题	333
第 9 章 多址技术与扩频通信技术	336
9.1 多址技术的原理及特点	336
9.1.1 频分多址(FDMA)技术	337

9.1.2 时分多址(TDMA)技术	340
9.1.3 码分多址(CDMA)技术	342
9.1.4 空分多址(SDMA)技术	343
9.2 扩频通信技术	344
9.2.1 扩频通信的基本原理及特点	344
9.2.2 扩频技术的种类	347
9.2.3 直接序列扩频技术	347
9.2.4 跳频(FH)扩频方式	350
9.2.5 混合式扩频方式	351
9.3 扩频通信系统的主要技术指标	351
小结	352
习题	353
第 10 章 伪随机序列及其在通信中的应用	354
10.1 伪随机序列及其产生	354
10.2 m 伪随机序列的性质	357
10.3 M 序列	359
10.4 伪随机序列在通信中的应用	361
10.4.1 在码分多址通信中的应用	361
10.4.2 在码分多址直接序列扩频通信系统中的应用	363
10.4.3 地址码和扩频码的生成及其特性	364
10.4.4 通信加密与解密	366
10.4.5 在误码率测量中的应用	367
10.4.6 用作噪声产生器	368
10.4.7 应用于数字信息序列的扰码与解扰	368
10.4.8 应用于时延测量	369
小结	370
习题	370
英文缩略词英汉对照表	372
参考文献	374

第 7 章

数字通信系统概述

本章提要:

- 数字通信的基本概念、通信的分类与方式
- 通信使用的频段及频段的划分
- 数字通信系统的组成模型及各部分的功能
- 数字通信的主要特点
- 数字通信系统的主要性能指标及其计算方法
- 信息及其信息量的表示与计算方法
- 数字通信涉及的主要技术及应用
- 现代通信技术发展的概况及趋势
- 建立通信标准的基本概念

数字通信是信息传输与交换的重要手段。通信系统又是完成信息传输过程的全部设备和传输媒介的组成结构。

现代的各种通信系统,如微波通信、卫星通信、移动通信、光纤通信、计算机网络通信以及不断涌现的新技术、新设备都是建立在数字通信技术基础上的,并且它们可以不断满足人们在各个方面对通信的越来越高的需求。

在当今信息化的时代,信息已成为最重要的资源,信息可以数字化处理和传输。信息的获取、交换、存储及应用又进一步推动着人类文明社会的进步与飞速发展。数字通信技术的应用也越来越广泛,因此,了解和掌握数字通信原理与技术显得尤为重要。

本章目标是通过通信的基本概念、通信系统的组成及各部分的功能介绍,让大家了解实现通信全过程所涉及的主要技术、通信系统各模块间的相互关系,掌握通信系统的主要性能指标及其计算方法、信息及其信息量的表示与计算方法,并建立通信标准的基本概念。

1.1 数字通信的基本概念

1.1.1 通信的定义

通信(Communication)就是由一个地方向另一个地方进行信息的有效传递与交换。或者说通信是信息或其表示方式的时间和空间的转移。

随着通信技术和计算机技术的发展及它们的密切结合,通信已能克服空间和时间的限制,实现大量的、远距离的信息传递、交换和存取。

自从人类组成社会以来,就有了通信。

远古时代的人类用表情和动作进行信息交换,这是最原始的通信。在漫长的生活和劳动中,人类创造了语言和文字,进而用书信进行通信。

在电信号出现之前,人们还创造了许多信息传递的方式进行远距离通信,如我国古代的烽火台、鼓声、消息树、旗语、航行用的信号灯等,这也是最初的数字通信的方式。

现代的通信方式以电子技术为基本手段,借助电信号和光信号实现信息的有效传递和交换,应称为电通信,简称为通信。因为光也是一种电磁波,所以,光通信也属于电通信。

电通信迅速、准确、可靠,且不受时间、地点、距离的限制,因而近百年来得到了迅速的发展和广泛的应用。

1.1.2 通信发展简史

在人类社会走向现代文明的初期,通信就成为被人们关注并率先突破的技术领域之一。

1800年,伏打(Volta)发明电池以后,人们就试图用电技术进行通信,通信的发展进程由此展开,至今已有100多年的历史。简要地回顾这一历程,纵观通信技术突飞猛进的发展,将有助于对通信的发展有一个更全面的了解。

1837年,莫尔斯(Morse)发明了电信号的通信,即有线电报通信。并于1844年建立了第一条试验型电报线路。这种通信是利用导线中电流的有、无来区别“信号”和“空号”,用变长三进制莫尔斯码传输电报信息,这亦是数字通信的雏形。实时性长途通信开始启动。

1864年,麦克斯韦(J. C. Maxwell)提出了电磁波辐射的存在,并创立了麦克斯韦方程,为无线电通信奠定了理论基础。

1876年,当电磁感应现象被发现后,贝尔(Bell)利用电磁感应原理发明了