

教育部规划教材

中等职业学校电子电器专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

通信基础知识

张文冬

主编

高等教育出版社

通信基础知识

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组编

张文冬 主编

高等教育出版社

通信基础知识

THE FUNDAMENTAL KNOWLEDGE OF COMMUNICATION

第1版 2008



教育部规划教材
中等职业学校电子电器专业
(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

通信基础知识

全国中等职业学校电子电器专业教材编写组 编
张文冬 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是中等职业学校电子电器类(通信)专业教育部规划教材。全书系统讲述了现代通信的基础知识。

本书共 8 章,从阻抗及阻抗匹配、网络的频率特性、传输特性讲起,然后讲解信道对传输信号的影响、模拟调制方法、数字调制方法、交换的概念及交换技术、数字传输技术,最后简单介绍了差错控制的基本原理。

本书针对中等职业学校的特点,原理讲述以物理概念为主,语言通顺,由浅入深。

本书也可供岗位培训或自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

通信基础知识/张文冬主编. —北京:高等教育出版社,

1999.6

中等职业学校电子电器专业(通信专业)规划教材

ISBN 7-04-007152-5

I. 通… II. 张… III. 通信理论—专业学校—教材 IV. T
N911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 30966 号

书 名 通信基础知识
作 者 张文冬 主编

2168/35

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

电 话 010—64054588

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

邮政编码 100009

传 真 010—64014048

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 中国青年出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 11.5

字 数 270 000

版 次 1999 年 6 月第 1 版

印 次 1999 年 6 月第 1 次印刷

定 价 13.80 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

现代社会正以飞快的速度向“信息化”迈进,特别是电信与电子计算机的结合,更使通信事业一日千里地向前发展,成了各行各业发展的重要支柱。为了能够适应通信技术迅速发展的需要,加强专业基础理论知识的教育是十分必要的。通信基础知识就是一本专业基础理论的教学用书。

本书是中等职业学校教育部规划教材。书中讲解深入浅出,通顺易懂,对各种原理的阐述以物理概念为主。但有些新技术是通过理论推导而得出的,单纯用物理概念是无法阐述清楚的,这样就不得不用一些专业数学来论证。这类专业数学的知识是无法回避的,而且也不该回避,故本书也对这些专业数学进行简单介绍,以使有个起码的数学知识,便于对一些专业技术的理解。

现代通信技术的发展,已打破了有线通信和无线通信的界限,互相之间有区别也有联系。因此,本书也打破了这种界限,将有线通信原理、无线通信原理和数字通信原理都纳入到本书之中,使学生能够对通信原理有个全盘的了解。

本书共有八章:第一章概论,概括地介绍通信和通信系统的基本概念;第二章网络,重点在于加深终端设备的阻抗、特性阻抗、阻抗匹配、频率响应、电平和衰减的概念;第三章信道与噪声,介绍有线信道、无线信道的特性和对信号传输的影响;第四章模拟调制系统,介绍各种模拟信号的调制方式;第五章数字调制系统,介绍各种数字信号的调制方式;第六章交换技术,讲述电路交换、分组交换及ATM交换的基本概念和原理;第七章数字传输技术,介绍数字信号在传输系统中所采用的调制方法;第八章差错控制,简要叙述差错控制的基本思想、原理和方法。

全书由北京邮电大学张仁华副教授审稿,在此向她表示感谢。

由于编者水平有限,尽管在编写过程中,对于每个原理和概念的叙述,都查阅了许多参考资料和书籍,以期作到通俗而不失准确,但书中的缺点和谬误仍可能存在,欢迎广大读者和使用本书的老师们予以批评和指正。

张文冬

1998年6月1日

目 录

第一章 概 论	1	四、周期信号的功率谱	42
§ 1-1 通信的概念	1	§ 3-2 非周期信号的频谱分析	43
§ 1-2 通信的发展简史	2	一、傅氏积分	43
§ 1-3 通信系统的分类	2	二、非周期信号的能量谱	44
§ 1-4 通信系统的性能度量	4	§ 3-3 信道的定义和分类	45
本章小结	5	§ 3-4 信道噪声	45
思考与练习题	6	§ 3-5 信道本身的参数及其对信号传输的 影响	46
第二章 网 络	7	一、恒参信道及其对信号传输的影响	46
§ 2-1 网络的阻抗和频率特性	7	二、变参信道及其对信号传输的影响	49
一、正弦电压和电流	7	本章小结	49
二、阻抗	8	思考与练习题	49
三、二端网络	11	第四章 模拟调制系统	50
四、四端网络	15	§ 4-1 调制的目的和分类	50
§ 2-2 传输电平的概念和测量	19	一、调制的目的	50
一、传输电平的概念	19	二、调制的分类	50
二、传输电平的单位	19	§ 4-2 幅度调制	51
三、绝对电平	20	一、常规双边带调幅(AM)	51
四、相对电平	21	二、抑载双边带调制(DSB/SC)	53
五、相对电平与绝对电平的关系	22	三、单边带调制(SSB)	54
六、总电平的计算	22	四、残留边带调制(VSB)	55
七、电平的测量	23	§ 4-3 线性调幅信号的解调	57
§ 2-3 网络的传输特性	23	一、常规调幅信号的相干解调	57
一、固有传输常数	23	二、抑载双边带(DSB)信号的相干解调	58
二、网络的匹配链接	24	三、单边带(SSB)信号的相干解调	58
三、工作衰减	25	四、残留边带(VCB)信号的相干解调	59
四、介入衰减	26	§ 4-4 线性调幅信号的非相干解调	60
§ 2-4 网络器件	27	一、常规调幅(AM)信号的包络解调	60
一、衰减器	27	二、均值检波器解调 AM 信号	60
二、滤波器	28	三、抑载已调信号载波重新插入法解调	61
三、变量器	31	四、线性调制系统的抗噪声性能	61
四、均衡器	31	§ 4-5 模拟角调制	62
本章小结	35	一、角调制的基本概念	62
思考与练习题	36	二、调频信号的产生	63
第三章 信号、信道与噪声	38	三、调频信号的解调	63
§ 3-1 周期信号的频谱分析	38	§ 4-6 频分复用 FDM	64
一、正弦信号	38	本章小结	66
二、周期信号的频谱	39	思考与练习题	67
三、周期性矩形脉冲信号的频谱	40		

第五章 数字调制系统	68	一、数字信号的频谱	122
§ 5-1 数字通信系统	68	二、传输信道对波形的影响	124
§ 5-2 脉冲编码调制(PCM)	68	三、消除码间干扰的条件	125
一、模拟信号的抽样	68	§ 7-2 信号传输的线路码型	126
二、量化	69	一、对线路传输码型的要求	126
三、编码	73	二、常用码型介绍	126
四、解码	74	§ 7-3 数字信号的调制传输	135
§ 5-3 差分脉冲编码调制	75	一、二进制幅度键控(2ASK)	135
一、差分脉冲编码调制(DPCM)	75	二、二进制频移键控(2FSK)	137
二、自适应差分编码调制(ADPCM)	76	三、相移键控调制(PSK)	139
§ 5-4 增量调制(ΔM)	77	§ 7-4 光纤数字传输系统	158
§ 5-5 时分多路复用 PCM30/32 路系统	78	一、光纤数字传输系统的组成	158
一、时分复用(TDM)原理	78	二、光在光纤中传输的原理	158
二、30/32 路 PCM 基群帧结构	80	三、光纤传输的码型	160
§ 5-6 高次群数字复接	82	四、光纤通信的优点	160
一、数字复接系统和复接等级	82	§ 7-5 数字微波中继通信	161
二、数字复接方式	84	一、数字微波通信系统的组成	161
三、同步复接	84	二、传输码型和调制技术	162
四、异步复接和码速调整	86	三、微波中继通信的特点	163
五、数字复接中的帧同步	88	§ 7-6 移动通信	163
本章小结	89	一、移动通信系统的基本组成	163
思考与练习题	90	二、信道频率复用技术	164
第六章 交换技术	91	三、移动用户的通话过程	165
§ 6-1 电话交换	91	§ 7-7 卫星通信	166
一、电话交换机的任务	91	本章小结	167
二、交换机的分类	95	思考与练习题	168
三、程控交换机的分类和组成	96	第八章 差错控制	170
四、程控数字交换机的交换网络	100	§ 8-1 差错控制的基本思想	170
§ 6-2 分组交换	112	§ 8-2 差错控制的基本方式	170
§ 6-3 ATM 交换	114	一、自动纠错(FEC)	170
一、B-ISDN	114	二、检错重发	170
二、ATM 的复用原理	115	三、混合纠错方式	172
三、ATM 交换机	118	§ 8-3 纠(检)错编码的基本概念	172
§ 6-4 FDM 与 TDM 的转换	119	§ 8-4 常用检错编码方法	173
一、音频转换方法	119	一、奇偶监督码	173
二、载波标准群编码转换	119	二、定比码	173
三、TDM $\rightarrow$ FDM 转换方式	120	三、循环码	174
本章小结	120	本章小结	176
思考与练习题	121	思考与练习题	176
第七章 数字传输技术	122	参考文献	177
§ 7-1 数字信号传输的基本理论	122		

第一章 概 论

§ 1-1 通信的概念

什么是通信？通信就是信息的交流。在人类社会的各项活动中，都伴随着信息的交流和传递。最简单的通信方式就是人与人之间的对话。讲话人的话音以声波的形式通过空气传递给对方，对方听到了讲话人的声音，收到了讲话人传来的信息。讲话人是发信者，也就是消息的来源，称之为信源；空气是传递话音的媒质，称为信道；对方是受信人，也就是消息的归宿，称之为信宿。信源发出信息通过信道传递给信宿，这就是一个简单的消息传递过程，构成了一个通信系统。这种简单的通信方式是不能满足人类社会发展的要求的。从距离上讲，要求信源和信宿可在任何地方；从信息的表现形式上要求不仅是语声，还要有文字、符号、图像等多种媒体，还希望能够进行实时性的通话，并能准确地将信息传递到对方。所有这些要求只有通过电信号的传递才成为可能。用“电”来传递信息的通信方式称为电通信。随着科学技术的进步，特别是将电子计算机技术应用到通信系统中，通信新技术不断涌现，电通信得到了迅猛的发展，电通信几乎成了通信的同义词。本课程所讲述的通信就是电通信。

电通信传递信息时，首先要将各式各样的信息转换成电信号，这种电信号称为原始电信号。然后再通过传输信道送给对方。对方再将所收到的电信号还原成原来的信息。

原始电信号可以在某些信道中直接传输，如模拟话音信号可以直接通过电话线传给对方。但有些信道就不能传输这种原始电信号，还必须将其变换成适合信道传输要求的信号，这种变换称为调制。到接收端再经反变换还原成原始信号，这种反变换称为解调。经过调制后的信号称为已调信号，未经调制的信号称为基带信号。原始信号就是一种基带信号，因为这些信号的频谱都是从零频开始的低频频段。

由此看来，由信源发出的信息首先要变换成基带信号，然后再调制成适合信道传输的已调信号，经信道传送到对方。对方对收到的已调信号进行解调，还原成基带信号，再经反变换，还原成原来的信息。

对信源发出的信息进行变换、调制等加工处理的设备称为发送设备，将收到的信号进行解调和反变换的设备称为接收设备。所以，一个通信系统应该包括信源、发送设备、信道、接收设备、信宿（如图 1.1-1 所示）。在图中的噪声源是信道中的噪声以及分散在通信系统中其他各处的噪声。

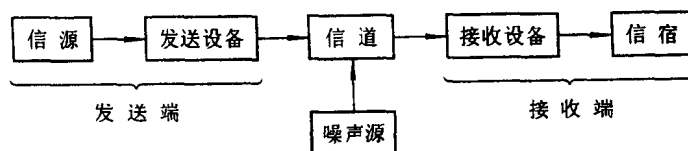


图 1.1-1 通信系统模型

图 1.1-1 的通信系统模型概括地反映了通信系统的共性。由于信息的表现形式是多种多样的,如语声、音乐、数据、文字、图片、活动画面等等,因而通信系统也会有不同的反映其本质的具体模型。

通信原理就是围绕着这些模型而进行讨论的。

§ 1-2 通信的发展简史

1844 年, S·莫尔斯在全世界首先开办了(在华盛顿和巴尔的摩之间的)电报通信业务,宣告了电通信的开始。接着在 1876 年, 亚力山大·格雷厄姆·贝尔发明了电话, 以金属导线作为传输媒质的有线电话通信从此诞生。到了 1895 年, 马可尼首创无线电通信。随后, 由于电子管等器件的出现, 使无线电通信方式向实用化迈出了第一步, 1920 年无线电广播诞生。其后, 有线电通信和无线电通信随着各种新的电子器件的不断出现而获得了迅速发展。在有线电通信方面, 采用了明线三路载波电话, 电缆载波多路通信, 在无线电通信方面有了长波、中波和短波一类的无线电通信。随着调幅无线电广播的广泛应用, 1936 年又有了调频无线电广播, 使调制技术得到了较大的发展。1937 年发明了脉冲编码调制原理, 1938 年开始了电视广播, 在二次大战期间发展了雷达和微波中继通信技术。1948 年制成了晶体管, 出现了香农的信息论。1950 年时分多路通信应用于电话, 1957 年发射了第一颗人造卫星, 1960 年发明了激光, 1961 年制成了集成电路, 1965 年发射了第一颗国际通信卫星。在 60 年代数字传输理论和技术得到了迅速的发展, 70 年代有了大规模集成电路, 微处理器得到了广泛的应用。程控数字交换机的出现, 光纤通信系统的建立, 使通信技术的发展发生了翻天覆地变化。

从通信技术的发展过程中可以看出理论和技术是相辅相成的。根据电磁学的原理, 发明了电报和电话, 又根据电磁感应现象和电磁场理论发明了无线电通信和无线电广播, 反过来又提出了许多新的问题和需要, 推动了信息科学的发展, 形成了“香农信息论”, “纠错编码理论”, “信源统计特性理论”, “信号与噪声理论”, “调制理论”等。在这些理论的指导下, 相继出现了脉码通信, 微波通信、卫星通信、激光通信和计算机通信, 并使数字传输技术得到了广泛地发展和应用。

现代通信与计算机技术紧密结合在一起, 正在向数字化、智能化、业务综合化、宽带化、个人化方向发展。

§ 1-3 通信系统的分类

通信系统的分类方法很多。按传递消息的媒质不同, 可以将通信系统分成两大类: 一类是用导线作为传输媒质来传递消息, 载荷信息的电磁波是沿导线传输的, 这类通信系统称为有线通信, 其传输媒质为架空明线、电缆、同轴电缆、波导管、光缆等; 另一类是电磁波在自由空间传播, 载荷信息的电磁波在自由空间以定向或无定向方式传递消息, 如中、长、短波通信, 微波通信, 这类通信系统称为无线通信。

按传输信号的特征不同, 又可以将通信系统分成两大类: 一类是模拟通信系统, 在这种系统中传输的信号是模拟信号, 信号的状态是连续变化的。另一类是数字通信系统, 在这种系统中传输的信号是数字信号, 信号的状态是离散的。

模拟通信系统(如图 1.3-1)的发送端要对信源所发出的连续消息变换成基带信号,再经调制器将其变换成适合信道传输要求的已调信号送到信道中传输。如果信道是市内电话线路,就不需要进行调制,直接将基带信号送入信道传输即可。如果信道是长途电话线路,为了提高线路利用率,要进行多路复用,这就需要对信号进行调制,使信号的频带搬移,组成频分多路复用系统。如果是无线信道,即要将基带信号调制成高频发射信号送入空中传送。信号传至对方接收端时,再经过反变换,对已调信号进行解调,还原成原来的消息。

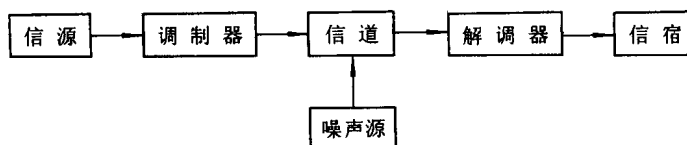


图 1.3-1 模拟通信系统模型

在发送端的发送设备除了对发送的信号进行调制以外,还要对信号进行加工处理,如话筒要将语声转换成电信号(声/电转换)、滤波、放大、变频、天线辐射等过程。在接收端除了解调外,还有接收(天线)、放大、均衡、滤波、电/声转换(耳机)等过程。这些过程的存在主要是为了使基带信号能无失真地、经济地、快速地传到对方。这就要采取一系列措施,消除各种噪声的干扰,提高线路的利用率,等等。因此,要对基带信号的特性,调制解调原理,信道的特性,噪声特性以及在噪声条件下传输系统性能进行分析和研究。

数字通信系统的模型如图 1.3-2 所示。在数字通信系统中突出的问题是如何减少误码的问题,造成误码的原因可能来自信道噪声或干扰,也可能因时钟信息的抖动。因此,在系统中要采取一些差错控制技术和同步措施。

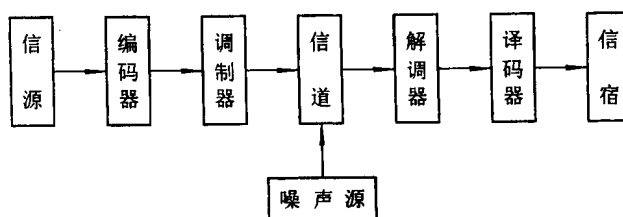


图 1.3-2 数字通信系统模型

信源发出的原始信号(一般是模拟信号)经编码器变换成数字信号,这种数字信号因其频谱也是从零频开始的低频频段,故也称为基带信号。然后将基带信号经调制器调制成适合信道传输的已调信号,经信道送到对方后再进行解调、译码还原为原始信号。

从上述情况可以看出,在数字通信系统中需要研究的基本问题是模拟信号的数字化、基带信号的特性、数字调制与解调原理、信道与噪声的特性、差错控制编码问题、同步问题等。

近年来数字通信发展很快,已有取代模拟通信之势,其主要原因就是因为它有其独特的优点:

1. 抗干扰能力强。由于信号状态只有几个(通常二进制信号只有两个),故信号虽然受到干扰发生畸变,但只要能够识别出它的状态,如“1”还是“0”,就可以进行再生,消除噪声的积累。此

外,利用信道编码技术不但可以发现差错,而且还可以纠正。所以数字通信的传输质量是很好的。

2. 便于与计算机技术结合来处理、存储、交换数字信号,使通信系统通用性强,能够进行多媒体的传输。

3. 易于实现集成化,设备易于设计制造,更易于小型化。

4. 易于加密处理。

5. 便于多路复用。

但是,它也有不足之处,如频带占据较宽,比模拟通信占据的频带要宽数倍甚至数十倍,频带利用率较低。随着通信技术的发展,这些缺点都是可以克服的,如采用多电平调制技术和同频双极化传输等措施,可使数字传输系统的频带利用率赶上甚至超过模拟传输系统。

§ 1-4 通信系统的性能度量

通信系统的基本任务是快速、准确地传递信息。系统性能的好坏,直接关系到信号的传输质量。因此,如何来衡量通信系统的优劣是一个十分重要的问题。但是,制定系统的性能指标又是一个十分复杂的问题,它涉及传输系统的有效性、可靠性、适应性、经济性、标准性以及可维护性等。在这里起主导作用的是有效性和可靠性。有效性主要是指消息的传输“速度”问题,它是用来衡量通信系统在单位时间内传输信息的数量是多少。可靠性主要是指消息传输的“质量”问题,它是用来衡量通信系统传输消息质量的好坏。通信系统的有效性和可靠性是互相矛盾的:要求传输质量好,速度就要受限制;要求传输速度高,质量就要差一些。因此,在实践中,只能依据实际要求取得相对的统一。在满足一定的可靠性指标下,尽量提高传输速度,或在一定的传输速度下,尽量提高传输质量。

在模拟通信系统中,信息传输的有效性常用有效传输频带来度量,信息传输的可靠性常用接收端输出的信噪比来度量。

信噪比

信噪比是信号的平均功率与噪声的平均功率之比,通常采用分贝为单位。其定义式为

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{dB}} = 10 \lg \frac{S}{N} = L_S - L_N$$

式中, S 为信号的平均功率; N 为噪声的平均功率;单位均为毫瓦(mW); L_S 为信号功率电平; L_N 为噪声功率电平;单位均为分贝(dB)。所以信噪比还可定义为信号功率电平与噪声功率电平之差。

信噪比越大,通信质量越好。一般要求信噪比不低于 26dB。有关电平的概念在第二章第二节中将详细叙述。

在数字通信系统中,信息传输的有效性通常用码元传输速率(传码率) R_B 来衡量,或用信息传输速率(传信率) R_b 来衡量。

码元和码元长度

在数字通信中,常用一系列时间等长的电信号波形表示数字信息,这样一个个电信号波形称为码元。一个电信号波形占有的时间间隔称为码元长度,也称为码元周期。

码元传输速率(传码率) R_B

码元传输速率(传码率)定义为每秒钟传送的码元数目,单位为波特(Baud),简称为 B。

比特

比特是信息量单位,常写成“bit”,简称为“b”。每个二进制码元所含的信息量就定为 1bit。

信息传输速率(传信率) R_b

信息传输速率(传信率) R_b 定义为每秒钟所传送的信息量,单位是 bps(过去表示为 bit/s 或 比特/秒),还可用 kbps(kb/s 或 千比特/秒)和 Mbps(Mb/s 或 兆比特/秒)。

传信率也可认为是每秒钟所传输的二进制码元数。

传码率和传信率虽然都用来衡量数字通信系统的有效性,但两者之间是有区别的。在二进制情况下,两者在数值上相等,但是单位不同。在多进制情况下两者间在数值上是不等的,两者间的数值关系为

$$R_b = R_{NB} \log_2 N (\text{bps})$$

式中, R_b 为传信率; R_{NB} 为 N 进制码元速率。

由上式可以看出,若采用多进制码元传输信息,就可以提高传信率。

频带利用率 η

为了能真正体现出信息的传输效率,采用频带利用率 η 这一衡量数字通信系统传输效率(有效性)的指标,它的定义是单位频带内的传输速率。因为在比较不同通信系统的效率时,单看它们的传输速率是不够的,还应看在这样的传输速率下所占的频带宽度。频带利用率

$$\eta = \frac{\text{传输速率 } R_B}{\text{频带宽度 } B} (\text{波特/赫, B/Hz})$$

对二进制信号,也可表示为

$$\eta = \frac{\text{信息速率 } R_b}{\text{频带宽度 } B} (\text{bps/Hz})$$

数字通信系统的可靠性可用差错率来衡量。差错率也有两种表示方法:误码率;误信率(或称误比特率)。

误码率的定义为接收端收到的错误码元数在发送端发出总码元数中所占的比例。

误码率

$$P_s = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}}$$

误信率的定义为接收端收到的错误比特数在发送端发出总比特数中所占的比例。

误信率

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

在二进制中两者相等,即 $P_s = P_b$ 。

本章小结

1. 通信就是信息的交流。为了使信息能够迅速、准确地传递给对方,且双方之间可以相距任何距离,通常要用电通信。电通信系统要对信息进行加工处理,变换为适合信道传输的信号,送到对方还要进行反变换。因

此,一个电通信系统应包含信源、发送设备、信道、接收设备、信宿。此外,还有各处的噪声干扰。

2. 通信技术的发展是非常快的,从莫尔斯电报的发明开始,到现在虽只有一百五十余年,却发生了翻天覆地的变化。由人工到智能化,由单一的业务到多种业务,由点对点到通向四面八方的三维空间,由模拟走向数字化。通信与计算机技术的紧密结合正向数字化、智能化、业务综合化、宽带化、个人化方向发展。

3. 通信系统按传递消息的媒质不同,可分为有线通信和无线通信;按传输的信号特征不同,可分为模拟通信和数字通信。数字通信与模拟通信相比,其优越性为:抗干扰能力强;通用性强,各种类型的信息都可数字化;易于实现集成化;易于加密;便于多路复用。缺点就是占用频带宽,但在现代通信中这已不是什么问题了。

4. 通信系统的性能指标主要有两个:一个是通信的有效性;一个是通信的可靠性。有效性主要指消息的传输“速度”问题。在模拟通信系统中常用有效传输频带来度量;在数字通信系统中常用码元传输速率(传码率)来衡量,也可用传信率来衡量。两者的数值关系为 $R_b = R_{NB} \log_2 N(\text{bps})$,还可利用频带利用率 η 来衡量。可靠性主要是指消息传输的“质量”问题。在模拟通信系统中常用接收端输出的信噪比来衡量,信噪比是信号的平均功率与噪声的平均功率之比,通常采用分贝为单位,其定义式为

$$(S/N)_{\text{dB}} = 10 \lg S/N = L_S - L_N$$

在数字通信系统中常用差错率来衡量。差错率有两种表示方法:误码率;误信率。

$$\text{误码率 } P_s = \frac{\text{错误码元数}}{\text{传输总码元数}}$$

$$\text{误信率 } P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}}$$

思考与练习题

1. 通信系统的基本任务是什么?
2. 什么是基带信号? 模拟信号编码后变成的数字信号是不是基带信号? 为什么?
3. 什么是码元? 什么是码元长度? 什么是传码率? 什么是传信率? 其单位各是什么?
4. 什么是信噪比? 什么是误码率? 什么是误信率?
5. 数字通信系统较模拟通信系统都有哪些优点和缺点?

第二章 网 络

网络是由若干个相关的元器件按着某些特性的要求而组合在一起的电子电路。它是终端设备不可缺少的组成部分。对它的一些特性的了解是为学好各种通信设备原理打下基础。

§ 2-1 网络的阻抗和频率特性

一、正弦电压和电流

在电信网络中,电源所提供的电压或电流,多为正弦电压或正弦电流。它们都是随时间按正弦(或余弦)规律变化的(如图 2.1-1 所示)。

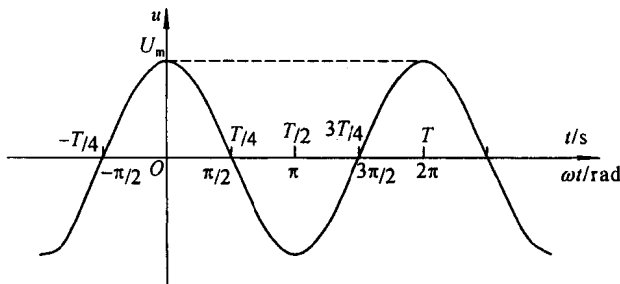


图 2.1-1 正弦电压波形

在图 2.1-1 中所示的电压波形可用数学式表示为

$$u(t) = U_m \cos \omega t \quad (2.1-1)$$

$u(t)$ 称为瞬时值, 括号中 (t) , 表示这个瞬时值是随时间而变化的, 称 $u(t)$ 是 t 的函数。

式中 U_m 为电压的最大值或称振幅, 是一个常量, ωt 是一个随时间变化的角度, 它的单位可用“度”来度量, 也可用“弧度”来度量。弧度可用英文字母 rad 表示。弧度单位也可省略, 如 π 、 $\pi/2$, 后面省略单位。

从图中可以看出, 当 $\omega t = 0$ 时, $u = U_m$, 当 $\omega t = 2\pi$ 时, $u = U_m$, 电压变化了一个循环。一个循环所需的时间为 T , 称为周期, 周期的单位是秒。可见 $\omega T = 2\pi$, 即

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.1-2)$$

式中, f 是频率; 即是正弦信号每秒钟变化的次数。一次即一周, 故 $f = \frac{1}{T}$ 。频率的单位是赫兹, 用 Hz 表示。

ω 是一个与频率成正比的量, 表示每秒钟变化的弧度数 $\left(\frac{2\pi}{T}\right)$, 故称为角频率, 单位为弧度/秒 (rad/s), 也可简写成 1/s。在以后的讨论中, 常将 ω 称为频率。

在作波形图时,常将横坐标定为 ωt ,坐标中的各点用 $\frac{\pi}{2}$ 、 π 、 2π 弧度值等表示。也可将横坐标定为 t ,坐标中各点用 $\frac{T}{4}$ 、 $\frac{T}{2}$ 、 T 等时间值秒表示。这两者之间仅差一常数 ω 值,如图 2.1-1 所示。

在一般情况下,时间的起点不一定恰好选在正弦波的正最大值的瞬间。如图 2.1-2 所示的正弦波,时间的起点选在离正弦波正最大值瞬间之后的 φ 角处。即当 $\omega t = -\varphi$ 时, $u = U_m$ 。因此,正弦电压可表示为

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (2.1-3)$$

式中, φ 称为初相角,简称初相,它反映了 $t=0$ 时正弦波的数值,即 $u(0) = U_m \cos \varphi$

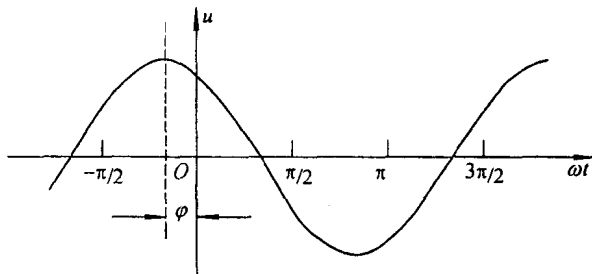


图 2.1-2 初相角

如果正弦波的正最大值发生在时间起点之前,如图 2.1-2 所示,则式(2.1-3)中的 φ 为正值,如果正弦波的正最大值发生在时间起点之后,则式(2.1-3)中的 φ 为负值。初相 $\varphi \leq \pi$,这就规定了正最大值是指最靠近时间起点的那个正最大值而言的。

(2.1-3)式中的 $(\omega t + \varphi)$ 称为相位角,简称相位。不同的相位对应着不同的瞬时值。

由此可见,一个正弦电压或电流,由三个特征量即可完全确定。这三个特征量是:最大值,频率(或角频率,或周期)和初相。通常称为正弦信号的三要素。

对于直流来讲,频率为 0,即 $f=0$, $T=\infty$ 。

二、阻抗

阻抗包括电阻和电抗,电抗又分为感抗和容抗。电阻代表耗能元件,它的数值是由欧姆定律确定,即 $R = \frac{u}{i}$ 或 $u = iR$,它是一个不随电压或电流大小变化的常量。即电压和电流在电阻上是成正比的,比例常数为 R 。电阻上加电压,立即就有电流,所以,电阻中的电压与电流是同相的,如图 2.1-3 所示。

而电容元件则不同。理想的电容元件是不消耗能量的,在电容元件上的电压和电流不遵守欧姆定律的关系。当加在电容器上的是直流电时,电流为 0,即没有电流,相当于开路。只有电压发生变化时,才有电流。这个电流是传导电流,它是搬移电荷而形成的电流。这种电流的大小是与电压的变化率成正比的。电压的变化率就是在单位时间里,电压变化了多少。假设电容器上的电压在一个很短的 Δt 时间里,电压变化了 Δu ,它的变化率就是 $\frac{\Delta u}{\Delta t}$ 。如果 Δt 取得很小,趋于无穷小,就变成了 dt ,则 Δu 就变成了 du , $\frac{du}{dt}$ 就是微分量,就是电压的变化率。所以,电容电

流 $i_C = C \frac{du}{dt}$, 这就是在电容器上的电流与电压的关系, C 就是电容器的电容量。在电容器中的电流和电压的波形如图 2.1-3(b) 所示。从图中可看出, 电容器中的电流超前电压 90° (即 $\pi/2$)。

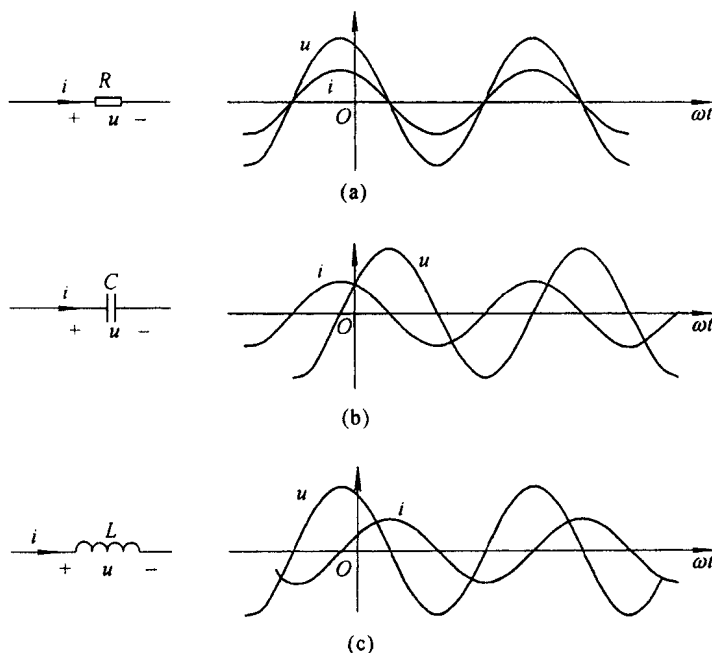


图 2.1-3 元件中的电压、电流波形

对于电感器来说, 如果是一个理想的电感元件, 它也是无损耗的。当在电感中通过直流电流时, 在电感器两端没有电压, 相当于短路。只有当电流变化时, 才在电感器两端产生电压。这个电压实质上是力图阻止电流的变化。所以, 电感上的电压与电感中的电流变化率成正比, 即 $u = L \frac{di}{dt}$ 。这就是在电感器上的电压与电流的关系, L 就是电感器的电感量。在电感器中的电流和电压的波形如图 2.1-3(c) 所示。从图中可看出, 电感器中的电压超前电流 90° (即 $\pi/2$)。

对于正弦信号来讲, 变化率就是乘上一个 ω (角频率) 和移动一个相位 90° 。所以, 电压幅度与电流幅度之比就是电抗元件的电抗值。对于电容器来讲, 其电抗值用 X_C 表示, 称容抗,

$$X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I} = \frac{1}{\omega C}, \text{单位用欧}(\Omega)$$

对于电感器来讲, 电抗值用 X_L 表示, 称感抗,

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I} = \omega L, \text{单位是欧}(\Omega)$$

式中, U 和 I 是有效值; $U_m = \sqrt{2}U$, $I_m = \sqrt{2}I$ 。可见, 容抗是与频率成反比的。当频率为 0 时, 即直流时, 容抗为 ∞ , 呈开路, 当频率增加时, 容抗下降, 当 $\omega \rightarrow \infty$ 时, 容抗为 0, 所以电容通交流, 隔直流。而感抗恰与其相反, 当 $\omega = 0$ 时, $X_L = 0$, 即通直流, 而当频率增加时, 感抗增大, 当 $\omega \rightarrow \infty$ 时, 则 $X_L \rightarrow \infty$, 呈开路状态, 所以电感通直流, 阻交流。

除了幅度关系之外,还有一个相位关系,这又如何解决呢?为了简化交流电路的运算,现引入复数,从而使微分和积分的运算变成了乘和除的四则运算。所谓复数就是实数加虚数。设 $\dot{A}$ 为一复数, a 和 b 分别为实部和虚部,则 $\dot{A} = a + jb$, 其中 $j = \sqrt{-1}$, 为虚数单位,也可写成指数型,即 $\dot{A} = A e^{j\theta} = A \cos \theta + j A \sin \theta = A \angle \theta$ 。采用了复数以后,电流和电压就可分别表示为

$$\begin{aligned} i &= I_m \cos(\omega t + \varphi_i) \rightarrow \dot{I}_m = I_m \angle \varphi_i & \dot{I} &= I \angle \varphi_i \\ u &= U_m \cos(\omega t + \varphi_u) \rightarrow \dot{U}_m = U_m \angle \varphi_u & \dot{U} &= U \angle \varphi_u \end{aligned}$$

在电路分析中,只注意相对关系,故可不考虑 ωt 。这是一种相量表示法, $\dot{I}_m$ 和 $\dot{U}_m$ 均称为

相量, $\dot{I}_m$ 和 $\dot{U}_m$ 称振幅相量, $\dot{I}$ 和 $\dot{U}$, 称有效值相量。当 $\frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}$ 相除时,振幅或有效值可直接相除,而相角则相减,因而运算十分简单。

在电阻中,

$$R = \frac{U \angle \varphi_u}{I \angle \varphi_i} = \frac{U}{I} \angle \varphi_u - \varphi_i = \frac{U}{I} \angle 0^\circ = \frac{U}{I}$$

在电容中,

$$\frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{U_m \angle \varphi_u}{I_m \angle \varphi_i} = \frac{U_m}{I_m} \angle \varphi_u - \varphi_i$$

因为,在电容中,电压落后电流 90° , 所以, $\varphi_u - \varphi_i = -90^\circ$ 。而 -90° 可用 $-j$ 表示,故

$$\frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{U_m}{I_m} \angle -90^\circ = -j \frac{1}{\omega C}$$

在电感中,电压超前电流 90° , 所以 $\angle 90^\circ = j$ 。

$$\frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = \frac{U_m \angle \varphi_u - \varphi_i}{I_m} = \frac{U_m}{I_m} \angle 90^\circ = j \omega L$$

从上面的形式看与欧姆定律的形式十分相似,因此我们将元件在正弦稳态时电压相量与电流相量的比值定义为该元件的阻抗,记为 Z , 即

$$\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = Z = z \angle \theta = R + jX$$

$$z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X}{R}$$

式中, z 是阻抗的模, θ 为阻抗角, 即 $\varphi_u - \varphi_i = \theta$ 。称此式为相量形式的欧姆定律, 或称复数欧姆定律。

在 R 、 L 、 C 串联电路中

$$Z = R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C} = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

阻抗的实部为电阻, 虚部为感抗与容抗之差, 即电抗。当感抗大于容抗时, 电抗为正, 电路呈感性; 当感抗小于容抗时, 电抗为负, 电路呈容性; 当感抗等于容抗时, 电抗为 0, 电路呈纯阻性, 电路处于谐振状态。