

教育部高职高专通信类专业教学指导委员会推荐教材

通信系统基础

Basis of Communication Systems

刘建成 主编

教育部高职高专通信类专业教学指导委员会推荐教材

通信系统基础

Basis of Communication Systems

主 编 刘建成

副主编 黄巧洁 徐献灵 叶 林

参 编 赖绮雯 邓 楠 张文梅



内 容 简 介

本书主要包括高职高专通信专业需要了解的通信基础知识。全书共9章,内容包括信号基础知识、通信系统概述、模拟信号的数字化、数字信号多路复用与复接、数字信号的基带传输、模拟信号的调制与解调、数字信号的调制与解调、同步技术、信道的差错控制编码。其中第1章可作为选读。从第2章开始,内容力求简单明了,全书概念清晰,同时增加实际示例,提高教材的可读性。

本书可作为高职高专院校通信类专业通信基础课程的教材,也可供相关通信工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信系统基础/刘建成主编. —天津:天津大学出版社,
2009.8

教育部高职高专通信类专业教学指导委员会推荐教材
ISBN 978-7-5618-3102-1

I. 通… II. 刘… III. 通信系统—高等学校:技术学校—
教材 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 129030 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
印 刷 迁安万隆印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 169mm × 239mm
印 张 12
字 数 256 千
版 次 2009 年 8 月第 1 版
印 次 2009 年 8 月第 1 次
印 数 1—3 000
定 价 26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

通信高职人才是直接在生产、管理、服务第一线从事经营管理、技术应用的高级应用型人才。这类人才要求有一定的理论、很强的应用能力与实际动手能力,有较宽、较广的知识面和解决实际问题的能力。本教材以目前高职高专院校中通信专业开设的“通信原理”课程为原型,按照高职高专应用型人才的培养目标和教学要求,以作者多年的教学经验,与企业一线技术人员合作重新编写,并更名为《通信系统基础》。

目前,我国高职高专学生的招生是“3+X”和“3+证书”两类,以这些学生为教学对象,要考虑到他们的实际情况,因人施教。因为有些高职高专通信专业没有开设“信号与系统”课程,所以根据实际情况,即便没有第1章的基础知识,在后续章节里也尽量使之明了易懂。在编写中,根据国家对职业教育“少学时、宽内容”的要求,按照“以应用为目的,以必须够用为度”,以及“工学结合和工作过程理念为指导,讲清概念、强化应用为教学重点”的原则,为后续专业课程的衔接作准备,精选教学内容。

为了帮助任课教师更好地备课,按照教学计划顺利完成教学任务,对选用本教材的授课教师免费提供一套包括电子教案、教学大纲、教学计划、教学课件等在内的完整的教学解决方案,从而为读者提供全方位的、细致周到的教学资源增值服务。(索取教学资源的联系电话:022-85977234。电子邮箱:zhaohongzhi1958@126.com)

限于编者的水平和经验,本书难免存在不足之处,敬请广大同行及读者批评、指正。

另外,对本书中引用的参考文献的所有作者表示衷心感谢。

编 者

2008年10月

目 录

1 信号的基础知识	(1)
1.1 信号的描述与分类	(1)
1.1.1 信号的描述	(1)
1.1.2 信号的分类	(2)
1.2 周期信号的频谱	(5)
1.2.1 傅里叶三角级数形式	(5)
1.2.2 傅里叶指数形式	(5)
1.3 非周期信号的频谱	(6)
本章小结	(7)
实训	(8)
习题与思考题	(8)
2 通信系统概述	(9)
2.1 通信的定义	(9)
2.2 通信系统的构成	(9)
2.3 通信系统的分类	(10)
2.3.1 数字通信系统及其主要技术	(11)
2.3.2 数字通信的主要特点	(12)
2.4 通信传输方式	(13)
2.4.1 单工方式	(13)
2.4.2 双工方式	(13)
2.4.2 全双工方式	(13)
2.4.3 串行传输	(13)
2.4.4 并行传输	(13)
2.4.5 异步传输	(14)
2.4.6 同步传输	(14)
2.5 通信系统传输的基本概念	(14)
2.5.1 电磁波	(14)
2.5.2 信息	(15)
2.6 数字通信系统的质量指标	(16)
2.6.1 二进制码的概念	(17)
2.6.2 多进制码的概念	(17)
2.6.3 数字通信系统有效指标的计算及概念	(18)

2.6.4 电平的定义	(19)
2.7 通信滤波器的概念	(20)
本章小结	(22)
实训	(22)
习题与思考题	(22)
3 模拟信号的数字化	(24)
3.1 脉冲编码调制	(24)
3.1.1 抽样	(24)
3.1.2 均匀量化	(26)
3.1.3 非均匀量化	(35)
3.1.4 编码	(40)
3.1.5 译码	(44)
3.1.6 编码直接查表法	(45)
3.1.7 PCM 信号的码元速率和带宽	(48)
3.2 差分脉冲编码调制(DPCM)	(49)
本章小结	(51)
实训	(51)
习题与思考题	(52)
4 数字信号多路复用与数字复接	(54)
4.1 信道复用	(54)
4.1.1 频分复用(FDM)	(54)
4.1.2 时分多路复用(TDM)	(56)
4.1.3 实例——PCM 13 折线 30/32 路电话终端设备原理	(58)
4.2 数字复接的概念和方法	(59)
4.2.1 数字复接	(59)
4.2.2 方法	(60)
4.2.3 基本概念	(61)
4.3 光纤通信复用技术简介	(66)
4.3.1 同步数字系列(SDH)复用技术	(66)
4.3.2 SDH 复用技术与 PDH 复用技术比较	(68)
4.4 波分复用技术	(69)
本章小结	(70)
实训	(70)
习题与思考题	(70)
5 基带数字信号的传输	(72)
5.1 基带数字信号的波形与频谱	(72)

5.1.1	基带数字信号的常用码型	(72)
5.1.2	基本基带波形变换方法	(75)
5.1.3	常用基带信号的频谱	(76)
5.2	数字基带传输系统	(77)
5.2.1	理想基带传输系统	(77)
5.2.2	数字基带信号传输的基本准则	(78)
5.2.3	信道的影响	(80)
5.2.4	码间串扰的消除	(82)
5.3	实线上的基带传输	(82)
5.3.1	短距线路	(82)
5.3.2	再生中继系统	(84)
5.3.3	眼图	(85)
5.3.4	多电平传输	(87)
	本章小结	(89)
	实训	(90)
	习题与思考题	(90)
6	模拟信号的调制与解调	(92)
6.1	常规双边带调幅(AM)	(92)
6.2	单边带调制(SSB)	(95)
	本章小结	(96)
	实训	(97)
	习题与思考题	(97)
7	数字信号的调制与解调	(98)
7.1	二进制振幅键控(2ASK)	(98)
7.2	相移键控	(101)
7.2.1	二相绝对相移键控(2PSK)	(101)
7.2.2	二相相对相移键控(2DPSK)	(103)
7.2.3	四相绝对相移键控(4PSK/QPSK)	(109)
7.2.4	四相相对相移键控(4DPSK)	(116)
7.2.5	交错正交相移键控(OQPSK)	(119)
7.2.6	$\frac{\pi}{4}$ QPSK	(121)
7.3	频移键控	(122)
7.3.1	二相频移键控(2FSK)	(122)
7.3.2	最小频移键控(MSK)	(127)
7.3.3	高斯滤波的最小频移键控(GMSK)	(132)

本章小结	(134)
实训	(134)
习题与思考题	(134)
8 同步技术	(136)
8.1 同步技术概述	(136)
8.1.1 不同功用的同步	(136)
8.1.2 锁相环	(136)
8.2 载波同步	(144)
8.2.1 直接提取法	(145)
8.2.2 插入导频法	(147)
8.3 码位同步	(149)
8.3.1 插入位定时导频	(149)
8.3.2 定时专用通路	(152)
8.3.3 脉冲锁相环自同步	(153)
8.3.4 数字锁相环自同步	(155)
8.4 码群同步	(159)
8.4.1 帧同步脉冲配置	(160)
8.4.2 帧同步捕捉	(161)
8.4.3 帧同步保护	(165)
8.5 网同步	(166)
本章小结	(167)
实训	(167)
习题与思考题	(168)
9 数字信道的差错控制编码	(169)
9.1 基本概念	(170)
9.1.1 通信信道的概念	(170)
9.1.2 码组结构	(170)
9.1.3 码组检错和纠错的基本原理	(171)
9.2 线性分组码	(172)
9.3 卷积码	(178)
本章小结	(180)
实训	(181)
习题与思考题	(181)
参考文献	(182)

1

信号的基础知识

1.1 信号的描述与分类

1.1.1 信号的描述

信号是信息的载体,是信息的表现形式。一般讲的信号是指电信号,它的表达形式可以是电压、电流或电场等。信号描述可以有两种方法,即时域法和频域法。

(1)时域法 信号(电压或电流等)随时间变化的情况,可以用观察波形的方法进行。例如,语音信号、电视信号与时间 t 的关系可用一维函数 $f(t)$ 来描述,如图1.1(a)和图1.2(a)所示。

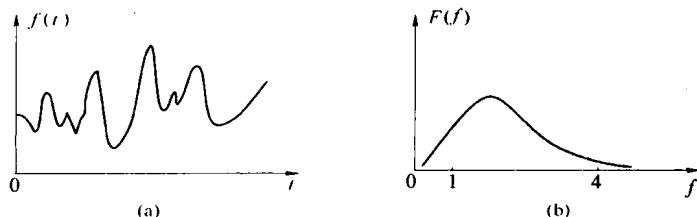


图 1.1 语音信号时域、频域示意图

(a)时域法;(b)频域法

(2)频域法 信号在频域中的分布情况,可用频谱分析仪观察信号的频谱。语音信号的频率范围一般为 $300 \sim 3400$ Hz,电视信号的频率范围一般为 $0 \sim 6$ MHz,分别如图1.1(b)和图1.2(b)所示。

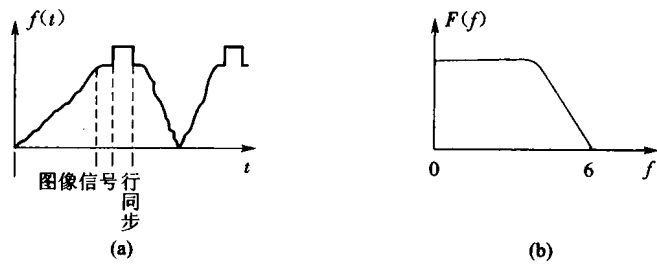


图 1.2 电视信号时域、频域示意图
(a) 时域法; (b) 频域法

1.1.2 信号的分类

以信号参数的状态划分,可分为模拟信号和数字信号等;以频率划分,可分为基带信号和频带信号。

1. 模拟信号(连续信号)和数字信号(离散信号)

1) 模拟信号

模拟信号是指随时间连续变化的信号。因此,模拟信号也叫连续信号,如图 1.3 所示。

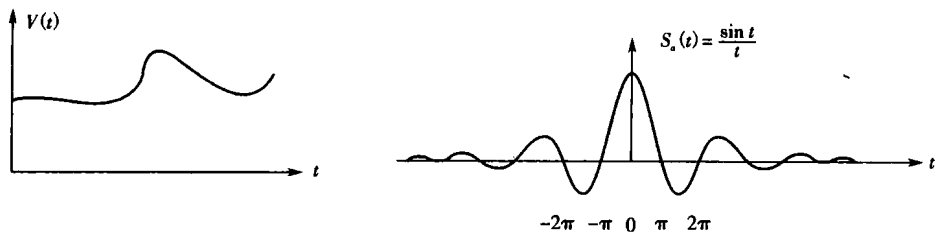


图 1.3 模拟信号示意图

2) 数字信号

数字信号是指电信号的取值是离散的,且只有有限个状态的信号。因此,数字信号也叫离散信号,如图 1.4 所示。

2. 基带信号和频带信号

1) 基带信号

基带信号是指含有低频成分甚至直流成分的信号,通常原始信号都是基带信号。基带信号在信道上的传输能力弱。

2) 频带信号

频带信号指有一个中心频率,还有一定频率带宽的信号,如 FM 90 MHz——中心频率为 89 MHz,带宽为 1 MHz,在信道上传输能力强。

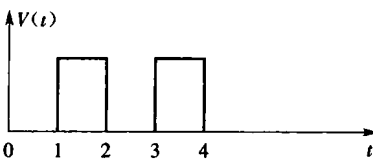


图 1.4 数字信号示意图

3. 确知信号和随机信号

1) 确知信号

有的信号在任何时刻(地点)的数值都能够由其前某一时刻(地点)的数值所确定,比如音叉的声音,不论如何摇动,它总能发出准确的单一频率的声波,由于此波可以由三角函数表示,当观测点确定后,其声波的强度可以准确地表示为时间的函数,这样的信号称为确知信号(Deterministic Signal)。

确知信号中最具代表性的是正弦波信号。随时间 t 变化的正弦波 $f(t)$ 可写成 $f(t) = A \sin(\omega t + \theta)$ 。 A 表示信号的大小,称为振幅(Amplitude); ω 称为角频率(Angular Frequency); θ 称为相位(Phase)。

2) 随机信号

不能用一个确定的时间函数描述的信号称为随机信号。图 1.5 给出了各种随机信号的波形,它们所表示的是完全不同的物理量。既有如图 1.5(a)~图 1.5(c)所示的以时间为变量的信号,也有如图 1.5(d)所示的以物体表面的某一方向的位置为变量的信号。而且,即使都是时间函数的信号,纵轴的刻度也都是完全不同的。也就是说,信号的自变量也可以是任意的,如时间、位置等。传统上,信号所涉及的自变量都是随时间变化的物理量,此时的信号波形被称为时域波形。目前,涉及的信号很多都不是随时间变化的,但仍习惯地称为时域波形。

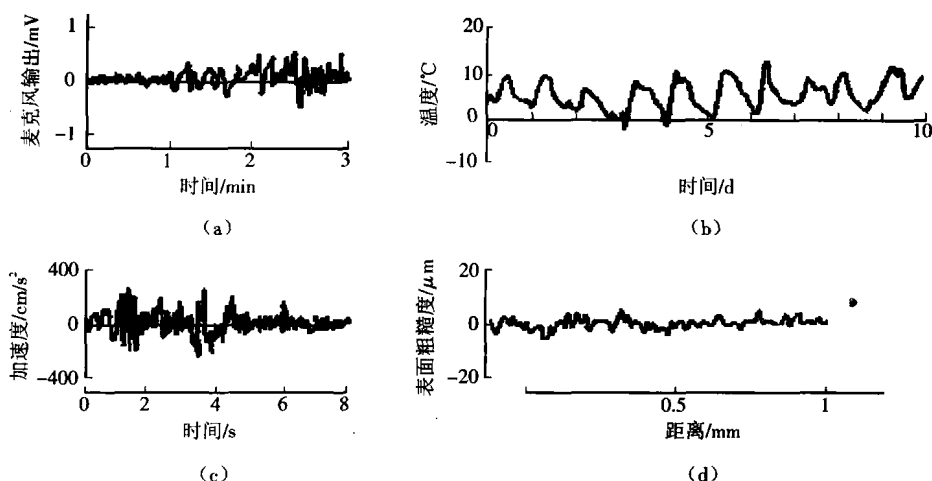


图 1.5 各种各样的随机信号示意图

(a) 语音波形; (b) 气温; (c) 地震波; (d) 金属表面粗糙度

4. 周期信号与非周期信号

在某个确定的时间间隔重现相同波形的信号称为周期信号(Periodic Signal)。当周期信号的周期为 T 时,此信号在时间轴 $T, 2T, 3T, \dots$ 出现相同数值的信号,如图 1.6 所示。此信号可写成一般的形式。对于整数 $n(n=0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ 可写成如

下形式:

$$f(t+nT) = f(t) \quad (1-1)$$

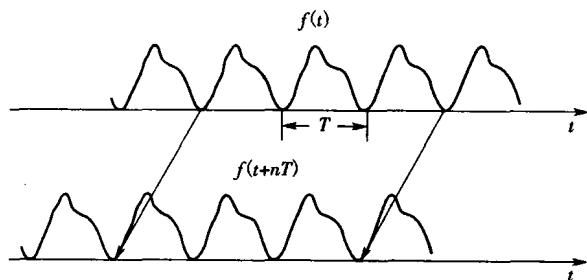


图 1.6 周期信号

如果信号 $f(t)$ 满足式(1-1), 则称 $f(t)$ 为周期信号, T 称为周期。反之, 不能满足此关系的信号称为非周期信号。

例如, 函数 $\sin t$ 在具有周期 $T=2\pi$ 的同时, 也具有 4π 、 6π ……的周期。由此可知, 周期信号是以整数倍为间隔呈周期出现的。最短的周期称为基本周期。

除正弦波以外, 常见的周期信号有方波(矩形波)、锯齿波和三角波等。

非周期信号如: 在某一短时间内能量集中的单个信号称为脉冲信号, 如图 1.7 (a) 所示。在稍微广泛的意义上, 把能量为有限的、经历足够短的时间后完全消失的信号称为孤立波, 如图 1.7 (b) 所示, 即可以视为周期在无限区间上的信号。

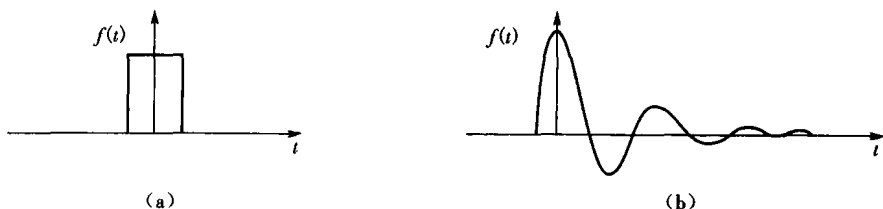


图 1.7 非周期信号

(a) 单个脉冲信号; (b) 孤立波

5. 功率信号和能量信号

如果一个信号 $x(t)$ (电流或电压) 作用在 $1\ \Omega$ 的电阻上, 瞬时功率为 $|x(t)|^2$, 在 $(-T/2, T/2)$ 时间内消耗的能量为

$$E = \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt \quad (1-2)$$

而平均功率

$$P = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt \quad (1-3)$$

当 $T \rightarrow \infty$ 时, 如果 E 存在, 则 $x(t)$ 称为能量信号, 此时平均功率 $P=0$ 。反之, 如果 $T \rightarrow \infty$ 时 E 不存在(无穷大), 而 P 存在, 则 $x(t)$ 称为功率信号。

周期信号一定是功率信号;而非周期信号可以是功率信号,也可以是能量信号。

1.2 周期信号的频谱

1.2.1 傅里叶三角级数形式

任意一个周期为 T_0 的周期信号 $g(t)$, 只要满足狄里赫利条件, 则可以展开为傅里叶级数:

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (1-4)$$

其中, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ 为基波角频率;

$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g(t) dt; \quad (1-5)$$

$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g(t) \cos n\omega_0 t dt; \quad (1-6)$$

$$b_n = \frac{2}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g(t) \sin n\omega_0 t dt. \quad (1-7)$$

1.2.2 傅里叶指数形式

根据尤拉公式

$$\cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2} \quad (1-8)$$

可得

$$g(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} G_n e^{jn\omega_0 t} \quad (1-9)$$

其中

$$G_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} g(t) \sin n\omega_0 t dt \quad (1-10)$$

【例 1.1】 试求图 1.8 所示周期性方波的频谱。

解: 设一周期性方波的周期为 T , 宽度为 τ , 幅度为 1。

$$f(t) = \begin{cases} 1 & -\tau/2 \leq t \leq \tau/2 \\ 0 & \tau/2 < t < (T - \tau/2) \end{cases}$$

求频谱

$$G(jn\omega_0) = \frac{1}{T} \int_{-\tau/2}^{\tau/2} e^{-jn\omega_0 t} dt = \frac{1}{T} \left[-\frac{1}{jn\omega_0} e^{-jn\omega_0 t} \right]_{-\tau/2}^{\tau/2}$$

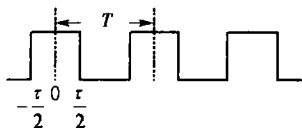


图 1.8 周期性方波

$$= \frac{1}{T} \times \frac{e^{jn\omega_0 \tau/2} - e^{-jn\omega_0 \tau/2}}{jn\omega_0} = \frac{2}{n\omega_0 T} \times \sin n\omega_0 \frac{\tau}{2}$$

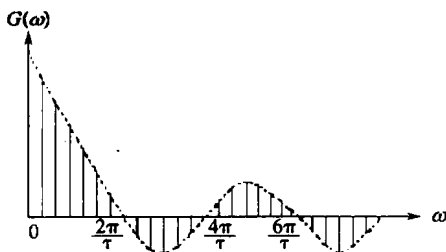


图 1.9 周期性方波的频谱图

画出频谱图如图 1.9 所示。由图 1.9 可以看出,周期信号的频谱函数由一系列的离散谱线构成。它的频谱是离散谱,两谱线的间隔为 $\frac{2\pi}{T}$ 。脉冲重复周期越大,谱

线越靠近,但包络也是 $\frac{\sin x}{x}$ 形。当 $\omega = \frac{2m\pi}{\tau} (m=1,2,3,\dots)$ 时,谱线包络经过零点。

周期性方波信号包含无穷多条谱线,但主要能量集中在第一个零点以内,通常把在第一个零点以内的频率范围称为周期性方波信号的频带宽度,即

$$B_{\omega} = \frac{2\pi}{\tau} \text{ 或 } B_f = \frac{1}{\tau} \quad (1-11)$$

如果脉冲宽度缩到无限小,则脉冲变成冲击函数,频谱在整个频域内均匀分布。

在 $\tau = \frac{T}{2}$ 的特殊情形下,矩形脉冲序列成为交替开关的方波,傅氏级数写为

$$g(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \omega_0 t - \frac{2}{3\pi} \cos 3\omega_0 t + \frac{2}{5\pi} \cos 5\omega_0 t - \frac{2}{7\pi} \cos 7\omega_0 t + \dots \quad (1-12)$$

这时,信号仅包含直流和基波及奇次谐波,而谐波的幅度与频率成反比。如矩形脉冲序列成为双极性交替开关方波,正的幅度为 1,负的幅度为 -1,那么傅氏级数没有直流分量,而基波和奇次谐波幅度比以前加倍,即

$$g(t) = \frac{4}{\pi} \cos \omega_0 t - \frac{4}{3\pi} \cos 3\omega_0 t + \frac{4}{5\pi} \cos 5\omega_0 t - \frac{4}{7\pi} \cos 7\omega_0 t + \dots \quad (1-13)$$

如果脉冲宽度 τ 保持不变,脉冲间隔 T 加得很大,则频谱线的数目加得很多,它们的包络依然是 $\frac{\sin x}{x}$ 形。最后,到了极限, T 变成无限大,只有单个矩形脉冲,具有连续的 $\frac{\sin x}{x}$ 形频谱。这时,傅氏级数变成非周期信号傅氏积分,就是 1.3 节的情形。

1.3 非周期信号的频谱

对于非周期信号,可由其傅里叶变换求其频谱函数,即

$$\begin{cases} g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{j\omega t} d\omega \\ G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt \end{cases} \quad (1-14)$$

其中, $g(t)$ 称为时间函数, $G(\omega)$ 称为频谱函数。时间函数和频谱函数有一对傅里叶变换与反变换的关系。

【例 1.2】试求图 1.10 所示单个矩形脉冲的频谱。此单个矩形脉冲的幅度为 A , 宽度为 τ , 在时间轴原点两边对称。

解: 其函数为 $g(t) = \begin{cases} A & |t| \leq \tau/2 \\ 0 & |t| > \tau/2 \end{cases}$

则它的频谱密度就是它的傅里叶变换, 即

$$\begin{aligned} G(\omega) &= \int_{-\tau/2}^{\tau/2} g(t) e^{-j\omega t} dt = \frac{A}{j\omega} (e^{j\omega\tau/2} - e^{-j\omega\tau/2}) \\ &= A\tau \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \end{aligned}$$

画出频谱图如图 1.11 所示。

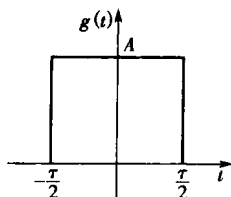


图 1.10 单个矩形脉冲

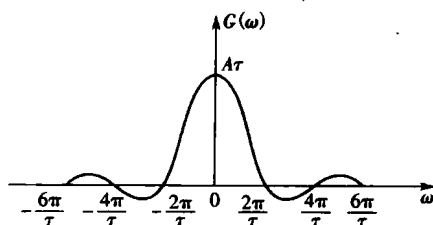


图 1.11 单个矩形脉冲的频谱

单个矩形(非周期信号)的频谱函数是一连续频谱。当 $\omega = 0$ 时, $G(0) = A\tau$, 当 $\omega = 2\pi/\tau$ 时, $G(\omega) = 0$, 是 $G(\omega)$ 的第一个零点, 代表宽度为 τ 的矩形脉冲自身的频带宽度, 即

$$B_f = \frac{1}{\tau}$$

可见, 频带宽度与脉冲宽度成反比。欲传输窄脉冲, 就需要较宽的频带。

本章小结

本章是从信号的定义开始的。信号描述可以有两种方法, 即时域法和频域法。按信号分类可以有多种方法, 其中模拟信号与数字信号, 周期信号与非周期信号是较重要的。理解它们有利用学习后面课程内容。

信号的自变量可以是任意的, 如时间、位置等。传统上, 信号所涉及的都是随时间变化的物理量, 但是, 即使都是时间函数的信号, 纵轴的刻度也可以不同。

对于参量随时间连续变化的信号是模拟信号, 如强弱连续变化的语言信号、亮度

连续变化的图像信号等都是模拟信号。变量和测定值(函数值)被离散化的信号统称为数字信号。

如果信号 $f(t)$ 满足 $f(t) = f(t + nT)$,则称 $f(t)$ 为周期信号, T 称为周期。反之,不能满足此关系的称为非周期信号。

信号还可以在频域上表示。周期信号的频谱函数是由一系列的冲激离散频谱构成的,而非周期信号频谱函数是由连续频谱构成的。作为数据传输的矩形脉冲需要用频谱来解释,所以时域和频域之间变换是傅立叶变换与反变换的关系。

实 训

1.1 用信号发生器和示波器两种仪器去观察正弦波、方波、三角波,并读取其幅度、周期、频率。

1.2 用信号发生器和频谱仪两种仪器去观察正弦波、方波、三角波的频谱分布图。

习题与思考题

1.1 试举例并说明实际中信号存在的现象。

1.2 什么是模拟信号和数字信号?什么是基带信号和频带信号?什么是周期信号与非周期信号?

1.3 什么是信号的频谱?信号的带宽是如何确定出来的?

1.4 周期矩形信号与非周期矩形信号各自的频谱有什么特点?

1.5 将函数 $f(t) = |t|$ 在区间 $[-\pi, \pi]$ 展开为傅里叶级数。

1.6 试求图 1.12 所示的单个矩形脉冲的频谱。

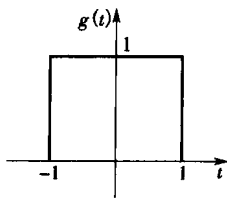


图 1.12 单个矩形脉冲

2

通信系统概述

2.1 通信的定义

通信就是克服距离上的障碍,迅速而准确地交换和传递信息。信息常以某种方式被载荷在电信号的某一参量上,以实现存储、交换、处理、变换和传输。

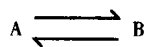


图 2.1 A、B 两地
信息传递

根据消息的不同,通信系统可以分成电报通信系统、电话通信系统、数据通信系统、图像通信系统等。基本的点对点通信,均是把发送端 A 的消息通过某种信道传递到接收端 B,也可把 B 作为发送端,将 B 点的消息通过信道传输到接收端 A 点,这样就实现了 A、B 两地的信息传递,如图 2.1 所示。

2.2 通信系统的构成

传递或交换信息所需的一切技术设备的总和称为通信系统。通信系统的一般模型如图 2.2 所示。通信系统一般由以下几部分组成。

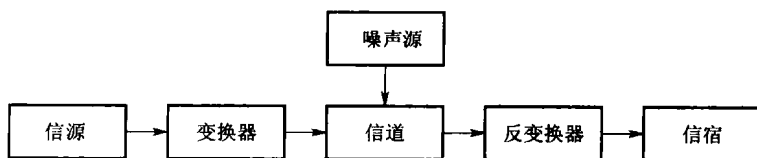


图 2.2 通信系统的模型