

无线电技术基础

▲ 赵震初 编著 ▼

(修订版)



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

无线电技术基础

(修订版)

赵震初 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要讨论了信号与线性电路的基本理论和分析方法。其主要内容为谐振电路、双端口网络、滤波器、传输线、无线电信号及数/模与模/数转换。书中着重阐明物理含义,并适当进行定量分析;同时为使学生加深对问题的理解,掌握分析计算方法,还举出了一定数量的例题和复习题,并在书末附有部分复习题答案。本书可以作为高等专科学校、中等专业学校及职业技术学校的教材,也可供从事无线电技术方面的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

无线电技术基础/赵震初编著. —修订版. —北京:北京理工大学出版社,2004.10

ISBN 7-5640-0086-4

I. 无… II. 赵… III. 无线电技术 IV. TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002810 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 850 毫米×1168 毫米 1/32

印 张 / 13.375

字 数 / 337 千字

印 数 / 26001~30000 册

版 次 / 2004 年 10 月第 2 版 2004 年 10 月第 6 次印刷 责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 17.00 元 责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

再版说明

本书1982年7月出版、1988年10月修订再版、1993年12月再次修订出版。多年来,承蒙各类电子技术学校广大师生和社会上众多读者的热爱关心,对该书提出了许多宝贵意见,要求适量增加模拟信号与数字信号的相互转换和传输的内容。作者认为:根据电子技术的发展,各类电子仪器和家用电器数字化的普及,因而在这次修订再版中,增加了数/模和模/数转换这一章,而对其他章节也作了适当的修正。

本书可以作为工科电子类高等专科学校、中等专业学校及职业技术学校的教材,也可供从事电子技术方面的工程技术人员作为参考书之用。

本书在这次修订过程中,第七章由丁宁、赵庆编写,丁丽荣、赵星同志全力合作,在此表示诚挚的感谢。

新版教材中一定还有不少缺点和不足之处,恳请广大读者给予批评指正。

编 者

2004年1月

前 言

无线电技术基础是工科电子类专业的一门重要的理论基础课,熟练地掌握它对于学生学习后续专业课和毕业后从事技术工作都是非常重要的。

本书共分七章。第一章简单谐振电路、第二章耦合谐振电路,这两章是全书的重点和难点,也是理论性最强的两章;第三章双端口网络;第四章滤波器和第五章传输线,这三章是以端口网络为理论基础的实际应用部分。第六章无线电信号着重分析了无线电信号的性质和特性,并适当介绍了数字信号。第七章模/数(A/D)转换与数/模(D/A)转换介绍了几种常用的A/D和D/A转换器。书中在论述基本原理时,注意结合学生的基础知识,着重阐明它的物理含义,并进行了适当的定量分析。为了便于读者掌握分析计算方法,配置了一定数量的例题和复习题,并在书末附有部分复习题答案。

本书可以作为高等专科学校、中等专业学校及职业技术学校教材,也可供从事无线电技术方面的工程技术人员作为参考书之用。

本书在这次修改过程中,得到了丁丽荣、丁宁、赵庆、赵星同志的全力合作,在此表示诚挚的感谢。由于编者的水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论

一、无线电技术的发展与应用	(1)
二、信号分析	(3)
三、无线电通讯的基本原理	(12)
四、本课程的目的、任务和要求	(13)

第一章 简单谐振回路

§ 1-1 引 言	(17)
一、组成谐振回路的元件	(18)
二、串联谐振电路和谐振现象	(20)
三、串联谐振时的能量关系	(26)
§ 1-2 串联谐振回路的幅频曲线和相频曲线	(28)
一、幅频曲线	(28)
二、相频曲线	(33)
三、三信号无失真传输的条件	(34)
§ 1-3 串联谐振回路的通频带	(36)
一、通频带的概念	(36)
二、通频带与回路参数的关系	(37)
三、选择性	(41)
四、矩形系数	(42)
五、信号源内阻及负载电阻对通频带的影响	(43)
§ 1-4 串联谐振回路在无线电技术中的应用	(44)
§ 1-5 简单并联谐振电路和并联谐振	(46)
一、并联谐振	(46)
二、谐振阻抗	(48)
三、谐振时总电流与支路电流的关系	(49)

§ 1-6 并联谐振回路的阻抗曲线	(50)
§ 1-7 并联谐振回路的电压幅频曲线、相频曲线和通频带	(53)
一、电压幅频曲线(也称电压谐振曲线)、相频曲线和通频带	(53)
二、电源内阻和负载电阻对回路通频带的影响	(56)
§ 1-8 复杂的并联谐振回路	(62)
一、并联回路谐振阻抗的一般计算公式	(62)
二、双电感和双电容并联回路的谐振频率和谐振阻抗	(64)
三、接入系数	(68)
四、电源和负载都是部分接入时的复杂并联回路	(70)
§ 1-9 并联回路的滤波作用	(75)
§ 1-10 纯电抗单端口网络的频率特性	(79)
一、由单个电抗元件构成的单端口网络的频率特性	(79)
二、由两个电抗元件构成的单端口网络的频率特性	(80)
§ 1-11 本章内容小结	(85)
复 习 题	(88)

第二章 耦合谐振电路

§ 2-1 概 述	(94)
§ 2-2 耦合系数	(96)
一、各种耦合方式的一般性电路	(96)
二、耦合系数	(97)
§ 2-3 耦合回路的等效电路	(100)
§ 2-4 耦合回路的调谐	(107)
一、部分谐振	(108)
二、复谐振	(110)
三、全谐振	(112)
§ 2-5 双调谐耦合回路的次级频率特性	(117)
一、串联双调谐耦合回路的次级电流频率特性	(117)
二、并联双调谐耦合回路的次级电压频率特性	(123)
§ 2-6 双调谐耦合回路的通频带	(126)
一、临界耦合时,即 $k/k_c=1$ 时的回路通频带与矩形系数	(127)
二、当 $k/k_c>1$ 时的回路通频带	(128)

§ 2-7 本章内容小结	(133)
复 习 题	(135)

第三章 双端口网络

§ 3-1 概 述	(141)
一、双端口网络的一般概念	(141)
二、互易定理	(144)
§ 3-2 双端口网络的基本方程和参数	(147)
一、阻抗方程与 Z 参数	(147)
二、导纳方程与 Y 参数	(150)
三、传输方程与 A 参数	(151)
四、混合方程与 h 参数	(156)
五、实验参数	(159)
§ 3-3 双端口网络的网络函数	(160)
一、输入阻抗和输出阻抗	(160)
二、传输函数	(163)
§ 3-4 线性双端口网络的等效电路	(167)
一、无源线性双端口网络的等效 T 型网络	(168)
二、无源线性双端口网络的等效 π 型网络	(169)
三、对称型的无源线性双端口网络的等效 X 型网络	(172)
§ 3-5 双端口网络的连接	(173)
一、双端口网络的串联	(174)
二、双端口网络的并联	(177)
三、双端口网络的链式连接	(179)
§ 3-6 双端口网络的镜像参数	(181)
一、特性阻抗(镜像阻抗)	(181)
二、传输常数	(184)
三、传输常数与 A 参数及实验参数的关系	(186)
四、匹配链联网络	(189)
§ 3-7 阻抗匹配网络	(191)
一、 T 型和 π 型阻抗匹配网络的计算公式	(191)

二、电抗相移器	(193)
三、衰减器	(194)
§ 3-8 本章内容小结	(201)
复 习 题	(204)

第四章 滤波器

§ 4-1 概 述	(209)
§ 4-2 滤波器的传通条件	(211)
§ 4-3 K 式滤波器	(213)
§ 4-4 m 式滤波器	(222)
一、串联 m 推演式滤波器	(223)
二、并联 m 推演式滤波器	(226)
三、m 式滤波器的衰减和相移常数	(229)
四、m 式滤波器的特性阻抗	(231)
五、m 值的选择及 m 式滤波器的优缺点	(234)
§ 4-5 复合滤波器的设计	(235)
§ 4-6 工作参数滤波器	(239)
一、滤波器的衰减特性	(240)
二、滤波器的归一化(或称标称化)	(241)
三、低通滤波器的设计步骤及举例	(247)
§ 4-7 其他类型的滤波器	(249)
一、晶体滤波器	(249)
二、机械滤波器	(253)
三、声表面波滤波器(简称面波滤波器)	(255)
四、RC 滤波器	(256)
§ 4-8 本章内容小结	(258)
复 习 题	(260)

第五章 传输线

§ 5-1 一般概念	(263)
§ 5-2 传输方程及正弦稳态解	(266)
§ 5-3 均匀传输线上的波	(270)

一、传输线上存在着入射波与反射波	(270)
二、行波	(271)
三、反射系数	(275)
§ 5-4 传输线的特性阻抗与传输常数	(276)
一、特性阻抗	(276)
二、传输常数	(278)
§ 5-5 高频传输线	(279)
§ 5-6 终端短路、开路和纯电抗负载的无损耗线	(283)
一、终端短路的无损耗线	(284)
二、终端开路的无损耗线	(288)
三、终端为纯电抗负载的无损耗线	(291)
四、驻波比和行波系数	(294)
§ 5-7 传输线的应用	(294)
一、传输线用做谐振电路	(295)
二、传输线用做谐波抑制网络	(297)
三、传输线用做阻抗变换器和阻抗匹配器	(298)
§ 5-8 本章内容小结	(300)
复 习 题	(302)

第六章 无线电信号

§ 6-1 概 述	(305)
§ 6-2 非正弦周期性信号	(307)
一、非正弦周期性信号的分解	(307)
二、非正弦周期性信号的频谱	(312)
§ 6-3 非周期性信号	(316)
一、傅里叶级数的复数表示式	(316)
二、非周期信号的频谱函数	(318)
三、傅里叶积分	(320)
四、傅里叶变换的几个基本性质	(322)
五、非周期信号的频谱	(324)
§ 6-4 调幅波信号	(332)
一、调幅波的频谱	(333)

二、调幅波的功率关系	(337)
§ 6-5 调角波信号	(340)
一、一般概念	(340)
二、调角波的频率偏移和调制指数	(343)
三、调角波的频谱	(346)
§ 6-6 数字信号	(352)
一、基本概念	(352)
二、数字信号波形	(354)
§ 6-7 本章内容小结	(356)
复 习 题	(360)

第七章 数/模与模/数的相互转换

§ 7-1 概 述	(364)
一、D/A 转换器与 A/D 转换器的分类	(365)
二、模拟信号与数字信号	(365)
§ 7-2 模拟信号的数字传输	(367)
一、抽样及抽样定理	(367)
二、抽样-保持电路	(370)
三、量化与编码	(371)
§ 7-3 数字/模拟转换(D/A 转换)	(374)
一、R-2R T 型电阻网路 D/A 转换器	(375)
二、倒 T 型电阻 D/A 转换器	(378)
三、权电流 D/A 转换器	(380)
四、权电容 D/A 转换器	(382)
§ 7-4 D/A 转换器中的电子开关	(384)
一、饱和的双极型开关	(385)
二、非饱和的双极型电子开关	(385)
三、CMOS 开关	(386)
§ 7-5 模拟/数字转换(A/D 转换)	(387)
一、全并行比较型 A/D 转换器	(388)
二、并-串型 A/D 转换器	(390)
三、逐次逼近型 A/D 转换器	(391)

四、计数式 A/D 转换器	(395)
五、双积分型 A/D 转换器	(396)
§ 7-6 集成单元 A/D 转换器举例	(399)
一、电路结构特点	(399)
二、工作原理	(401)
三、封装形式与外引线功能	(405)
四、CB14433 的特点	(405)
五、使用说明	(406)
§ 7-7 本章内容小结	(407)
复 习 题	(408)
复习题部分答案	(409)

绪 论

一、无线电技术的发展与应用

很久以来,人们曾寻求以各种方式来实现信号的传输。早在公元前七百余年,我国的祖先就以烽火台的烟火传送敌人入侵的警报。这是历史记载的最早的信号。随后,人们又利用击鼓或鸣钟的音响传达战斗的命令。以后又出现信鸽、旗语、驿站等传送消息的方法。在那时,信号的形式和内容都是简单的,传送信号的方法无论在距离、速度或可靠性与有效性方面仍然没有得到明显的改善。随着人们实践活动和科学技术的日益发展,要求传达的信息内容相继复杂,信号的形式也不断增多,传送的方法要求快和准确。19世纪初,人们开始研究如何利用能够沿导线传输的电信号来传送消息,即所谓“有线电通讯”。1837年莫尔斯发明了电报,他利用点、划、空适当组合的代码表示字母和数字,这种代码称为莫尔斯电码。1876年贝尔发明了电话,直接将声信号(语言)转变为电信号沿导线传送。19世纪末,人们又致力于研究利用能够以电磁波形式在空间传输的无线电信号来传送消息,即所谓“无线电通讯”,简称无线电。1865年美国的麦克斯韦总结了前人的科学技术成果,提出了电磁波的学说,并于1873年发表了关于电磁波方面的著名论文。1887年德国赫兹通过实验证实了麦克斯韦的学说,为电子科学奠定了基础。1895年意大利的马可尼和俄国的波波夫发明了无线电,实现了无线电通讯,从而开辟了无线电技术这一新的领域。随着各类电子器件的出现,无线电技术日新月异地向前发展着,继而出现了无线电广播、传真和电视。到20世纪30年代中期以前,无线电技术主要是在上述通信方面发展,完成了利用电磁波

来传递电码、声音和图像的任务。直到今天,无线电通讯仍在不断提高和发展中。

无线电技术的发展是与电子器件的发展紧密结合的。电子器件是无线电设备的核心元件,无线电技术的发展向电子器件提出新的要求,而新的电子器件的出现又反过来推动无线电技术的跃进。在无线电发展史上,电子管、半导体器件、激光器件、大规模集成电路等的出现,都促使无线电技术发生飞跃,所以无线电技术的发展过程,同时也是电子学的发展过程,由于这个原因,人们常常把无线电和电子学结合起来称为无线电电子学。

无线电电子学最早应用在通信方面,以后随着它的发展,应用范围就不限于通常意义的通信了,而是扩展为各种性质的消息的传递,现在无线电电子学已经广泛地应用在科学技术的各个领域。

电报是将欲传送的电文译成电码,使之成为代表数字或字母的一系列电流脉冲(称为电信号,简称信号),再把这些电信号传送到接收端,最后在接收端将电信号译为原来的电文。

电话是将欲传送的语言或音乐转换成为与之相对应的电流或电压(信号),将它转送到接收端后,利用耳机或扬声器将信号还原为声音。

传真和电视传送的是图像,前者传送的是固定图像,如照片、图表、手稿、资料等;后者传送的是活动图像,如舞台上的表演、生产现场的运行实况,等等。发送设备按一定规律将画面变换成相对应的电信号,该信号在接收设备中再按一定的规律转换为光,显影在感光纸(传真)或荧光屏(电视)上。

雷达也叫无线电定位,它利用电磁波受物体反射的原理来测定空中、水面或陆地上各种目标的位置和运动参数。

无线电遥控是用电信号控制远处机体运行的自动化技术。例如为使导弹紧跟目标,可以用地面雷达测定导弹和目标的相对位置及其他运动参数。地面计算机根据雷达提供的数据计算出修正导弹航向所需的控制量,并将其转换为控制信号由地面的发送设

备发出,弹上接收机收到后再传送给有关部件,以控制导弹的航行。无线电遥测是利用电子学的方法测量远处各种物理量的技术。例如卫星内部的工作情况,宇航员的生理状况,舱内温度、气压等。遥控遥测技术还广泛地应用于工业生产自动化、运输、医疗、勘探和科学研究等许多方面。

电子计算机是近代无线电电子学发展的一大成就,它能够在某种程度上模拟人类大脑活动的过程,能够按照人们预先安排好的程序进行计算;它可以代替上万个熟练计算人员的复杂的脑力劳动,还可以解决因为极度繁杂而人力不能解决的计算问题。微型计算机可以作为智能终端与计算机网接通,可以接收、发送、存贮、处理任何种类的数据信息,包括语言、图像、音乐、文件等等,它既可以协助我们进行工程设计、资料查寻、事物管理、通讯联络、数据处理等等,又可以提供各式各样的视听娱乐。

以上种种,虽然所使用的具体设备各不相同,但都是利用不同形式的信号传送消息(语言、音乐、图像、影物、测量数据等),它们都属于信息的传输。

无线电电子学的内容十分丰富,它的高速发展,特别是电子计算机技术的高速发展和广泛应用,对于实现农业、工业、国防和科学技术的现代化有十分重要的作用。

二、信号分析

我们一般将语言、文字、图像或数据等统称为消息。而将消息给予受信者的新知识称为信息。这就是说,消息不同于信息,在消息中包含有一定数量的信息。人们互相问讯,发布新闻,传递数据或广播图像,其目的就是要传送某些消息,给对方以信息。但是消息的传送一般都不是直接的,必须借助于一定的运载工具,并将消息变换成某种表现形式。我们将消息的运载工具和表现形式称为信号。消息的表现形式可以是光、电、声、力、热等特定的物理形态,用这些物理形态的运动和变化来显示出消息的内容,如光信号、声

信号、电信号等。把上述这种运动着和变化着的物理形态归结为物理量,因此,信号的变化即表现为物理量的变化,而物理量的变化就代表了一定的消息。因此,信号乃是消息在物理形态上的体现者。这是信号的第一层含义。

在可以作为信号的各种物理量中,电量是最为常见和应用最广泛的物理量。这是因为电量容易产生和控制、并且与非电量可以比较容易地互相变换。实用中的电信号大都是随时间而变化的电压或电流。例如放大器的输出电压、扬声器中的电流、心电图中的电脉冲、计算机中的电码等都是电信号。本书只讨论电信号。

为了使信号能从一方传送到他方,就需要有一个客观实体,这样的客观实体,我们可以称之为系统。系统是这样的一个客体,在其中存在着信号按特定规律的运动和变化。系统的一个重要特征是一方面接收外界的信号,另一方面向外界发送信号。前者称之为输入信号,后者称之为输出信号。

一个物理系统乃是一些相互联系和相互作用着的物理元件的合乎规律性的集合。一个物理系统在运行状态下必定受到某些外界信号的驱动和激励(输入信号),同时又必定会产生和发出某些反应(输出信号),我们通常称输入信号为激励,输出信号为响应。

信号与系统有着不可分割的紧密联系。系统和信号的关系,犹如人体同气、血之间的关系。人体是各种有生命力的器官的有机组合,它不能离开气、血;气、血只有在有生命力的器官组合中才能显示其运动和变化的活力。因此,信号是系统中运动着和变化着的特定物质的体现者。这是信号的第二层含义。

信号既然是特定物质的体现者,而物质是在时间和空间中运动和变化的,因此,从一般意义上讲,信号应该是时间、空间的函数。例如,电压信号

$$u(t) = U_m \sin 2\pi ft$$

这表示为时间的函数。

又例如,电流信号

$$i(x, t) = I_m \sin \alpha x \cos 2\pi f t$$

这表示为时间和空间的函数。式中 x 表示空间距离。

在本书中,除了特别指明者外,所谓信号总是指它是时间的函数,称为时间信号。

时间信号主要分为连续时间信号和离散时间信号。

如果一个信号在所讨论的时间区间内,对于所有的瞬间都能规定出确切的数值,称之为连续时间信号,简称为连续信号。如图 0-1 所示。需要注意的是,这里“连续”是指时间,至于信号的幅值可以是连续数值,也可以不是。并且一个连续信号在所讨论的时间区间内,可以允许存在着有限个第一类间断点。如图 0-1 中的 (b) 图,在 $t=\tau$ 处存在着一个第一类间断点。像电话或广播的语言信号,电视的图像信号等都是连续信号。

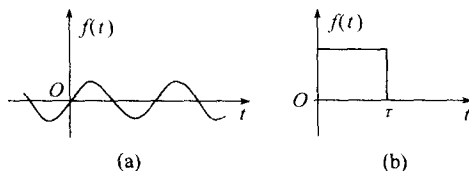


图 0-1 连续时间信号

(a) 正弦波信号; (b) 矩形脉冲信号

如果一个信号在所讨论的时间区间内,只有某些离散的瞬间能规定出确切的数字,则称之为离散时间信号,简称为离散信号,如图 0-2 所示。信号仅在 $t=0, 1, 2, \dots$ 才有确定的幅值。这里“离散”是指时间,至于离散瞬间的间隔可以是均匀的,也可以是不均匀的。像雷达数据、遥控指令等都是离散信号。



图 0-2 离散时间信号
(数字信号)

在某些场合,我们对连续信号只感兴趣于它在特定的离散瞬间的值,这样,可以把一个连续信号取成为一个离