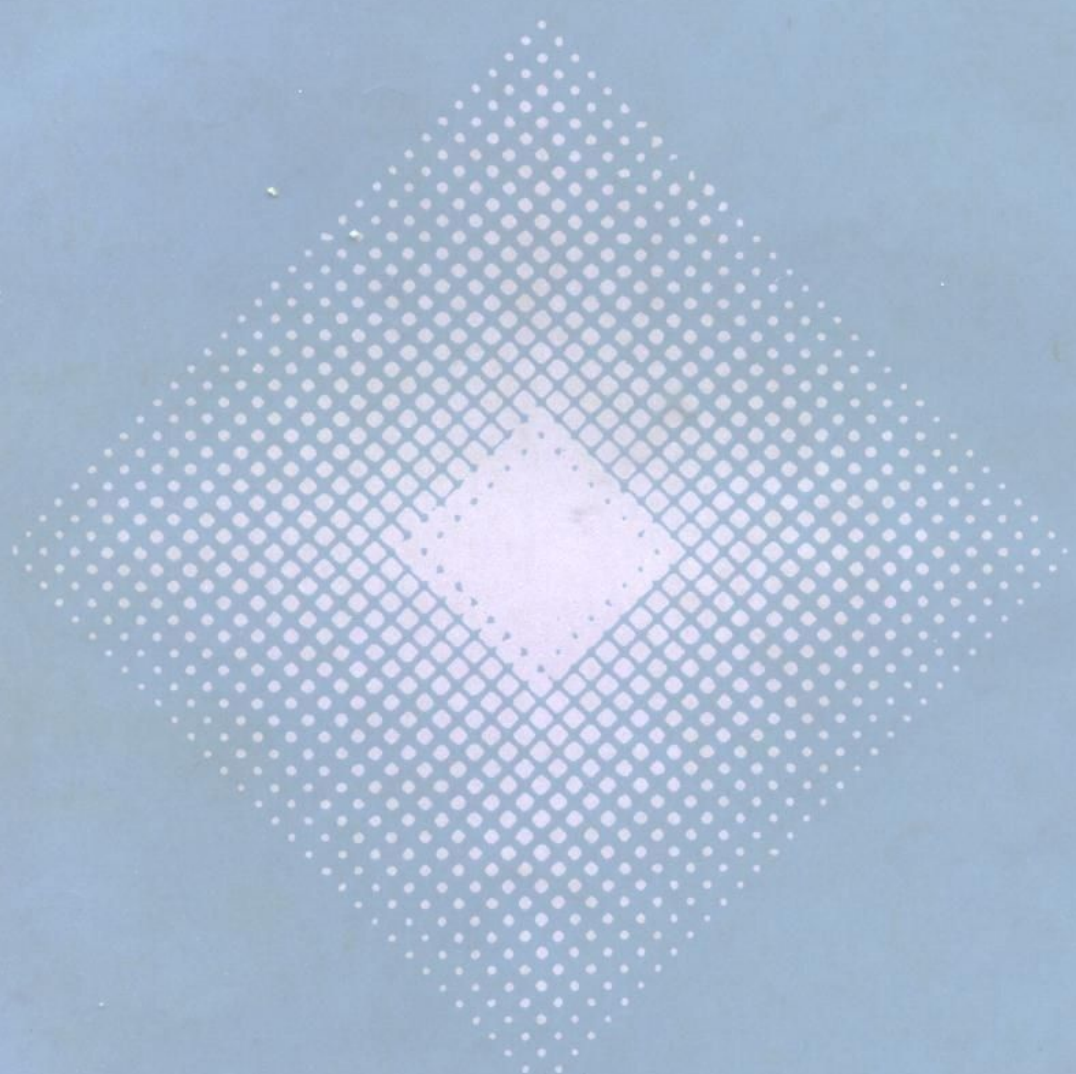


单片收音机

孙景琪 编著



科学出版社



单 片 收 音 机

孙景琪 编著

科 学 出 版 社

1988

内 容 简 介

本书对单片集成电路收音机的原理与电路作了较为详尽的分析。全书共分七章,前四章重点讨论了单片收音机集成块片内片外电路的原理,第五章叙述了集成电路调频立体声收音机的基本原理,第六章以实例介绍了调幅、调频、立体声集成电路收音机的整机电路,第七章简述了上述收音机调测中的一些问题。书末还附有国内外常见音响电路的品种、型号、性能、外型尺寸及国外集成电路的命名法。

本书通俗易懂,说理清楚,层次分明,对了解与掌握单片集成电路收音机的原理与电路会有很大的帮助。

本书可供从事无线电收音机和录音机设计、生产、调试、维修等有关人员以及广大无线电爱好者阅读,也可作为培训班的教材。

单 片 收 音 机

孙景琪 编著

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1988 年 11 月第一次印刷 印张: 16

印数: 0001—12,000 字数: 368,000

ISBN 7-03-000587-2/TN·40

定 价: 5.00 元

前 言

在电子技术的发展过程中,收音机已经历了六十多年的历程。它从第一代电子管式的电子产品,换装到第二代晶体管式的产品。近十多年来,由于集成电路技术在科研、生产等方面的重大突破,使集成电路整机的性能/价格比,远远优于晶体管整机,收音机便由第二代进入了第三代的发展时期。

目前,国内外许多厂商常将收音机中的所有器件或绝大部分元器件集成在一块半导体芯片上,再配以必要的片外元件,即组成一台性能优良的整机,因此称这种收音机为单片收音机。单片收音机在性能/价格指标方面,与晶体管收音机相比,已充分显示出它的优越性。

鉴于目前国内还没有系统介绍单片收音机方面的书籍,因此作者在书中对单片集成电路收音机的原理、典型电路、调试等主要方面作一系统的分析与介绍。本书的前四章较为详细地讨论了单片收音机的片内、片外电路的原理与组成,目的是为阅读整机电路,设计、维护整机打下基础。后三章以典型的整机为例,较详尽地介绍了调幅单片收音机、调幅/调频集成电路收音机、调幅/调频集成电路立体声收音机的整机电路及集成电路收音机调测中的几个问题。在附录中还列举了目前国内外常用的部分音响集成电路和国外集成电路生产厂商产品型号命名方法。

本书可供从事无线电收音机和录音机设计、生产、调测、维修等有关人员学习参考,可作为广大无线电爱好者学习单片集成电路收音机的教材,也可供电类大专院校学生课外参考。

本书在编写过程中,承蒙王大智、郭瑛等同志热情支持与帮助,仅此表示衷心的感谢。

作 者

1987年2月13日

目 录

第一章 概论.....	1
§ 1-1 引言	1
§ 1-2 系统的组成	3
§ 1-3 无线电信号简介	7
第二章 单片集成电路的片外电路.....	16
§ 2-1 概述	16
§ 2-2 单调谐回路	16
§ 2-3 双调谐回路	31
第三章 单片集成电路内的放大电路.....	38
§ 3-1 基本放大电路	38
§ 3-2 集成电路中的恒流源电路	48
§ 3-3 集成电路中的恒压源电路	51
§ 3-4 差动放大电路	56
§ 3-5 调谐放大电路	64
第四章 单片收音机中的非线性电路.....	72
§ 4-1 本机振荡电路	72
§ 4-2 混频电路	81
§ 4-3 检波电路	88
§ 4-4 鉴频电路	96
§ 4-5 鉴相器	109
§ 4-6 模拟乘法器	112
第五章 调频立体声收音机基本原理.....	114
§ 5-1 概述	114
§ 5-2 双声道调频立体声广播	116
§ 5-3 双声道调频立体声收音机	120
第六章 单片收音机整机电路的分析.....	147
§ 6-1 概述	147
§ 6-2 单片调幅收音机	153
§ 6-3 单片调幅/调频收音机	161
§ 6-4 调幅/调频立体声收音机	178
§ 6-5 单片收音机集成电路发展近况	186
第七章 单片收音机调测中的几个问题.....	201
§ 7-1 ULN-2204 单片收音机印制电路底板图及元件值	201
§ 7-2 调幅/调频立体声收音机印制电路底板图及元件值	207
§ 7-3 ULN-2204A 单片机使用注意事项.....	209
§ 7-4 ULN-2204A 单片收音机调测方法.....	211
§ 7-5 AM/FM 立体声集成电路收音机的调测	215

§ 7-6 几个参数与术语的说明	216
附录	219
一、系统集成电路简表(部分)	219
二、集成电路产品的厂商代号(部分)	222
三、国外常用音响集成电路(部分)	223
1. 单通道音频功率放大电路	223
2. 双通道音频功率放大电路	225
3. 前置放大电路	226
4. 中频放大集成电路	227
5. 调频立体声解码集成电路	228
6. 单片收音机及高频调谐器集成电路	229
7. 显示驱动电路及其他	230
四、收音机、收录机常用音响集成电路外形图	231
五、国外 29 家集成电路生产厂商产品型号命名方法	227

第一章 概 论

§ 1-1 引 言

随着电子技术的飞速发展,新的电子元器件层出不穷。电子管是第一代电子器件,晶体管是第二代电子器件。1960年前后,集成电路问世,它不但使电子设备的微小型化成为现实,而且使设备的可靠性、寿命、工作速度、功耗等性能指标有极大的改进和提高。人们习惯上称集成电路为第三代电子器件。

集成电路的出现,首先被广泛应用在电子计算机产品中,随着科学技术的不断发展,大规模以至超大规模集成电路相继把计算机推进到第四代、第五代的阶段。如今,单片计算机已经为人们所熟悉。

在集成电路刚问世后,人们就曾设想将它应用到收音机和电视机系统中,但由于模拟集成电路的发展尚难满足民用产品的需要,且成本较高,一时还不能与分立元器件的同类产品相竞争。1967年制成了第一块集成电路音频功率放大器,随后相继出现音频前置放大器、集成电路解码器、集成化电平指示驱动电路等许许多多音响集成电路。

六十年代中期开始,集成电路很快被电视接收机所采用,为电视机的高性能、低功耗、多功能、高可靠性开辟了一条新的途径。七十年代后期,集成电路才广泛应用到收音机和录音机中,主要原因是由于产品性能价格比的关系,作为产品,尤其是民用产品,只有当集成电路整机的性能价格比远远优于晶体管整机时,它才能获得长足的发展和普遍的应用。

在收音机和录音机中,首先采用的是集成功率放大电路,而后,增加了集成前置放大电路。至于中放、混频、检波、高放等线性和非线性集成电路是1978年以后才引入整机的。单片收音机集成电路是近几年才投入市场的。

单片收音机或录音机集成电路又称为单片式集成系统电路,或简称为单片收音机或单片录音机。这种集成电路,将超外差式收音机的所有功能电路,如混频、中放、检波(或鉴频)、低放、功放等单元电路全部集成在一块芯片之内,只需外接少量元件或部件,如LC调谐回路、高频头等,即可构成一台体积小、质量优、价格低、功耗小的调幅收音机或调幅/调频收音机。表1-1列出了单片收音机(用TA7641BP集成电路组成)与典型的分立元器件六管晶体管收音机在性能指标方面的差别。

由表1-1可见,单片收音机的性能指标与同类晶体管收音机相比,是全面地提高了。所以说,单片收音机的发展有它广阔的前景。

人们对单片收音机是十分关心的,很想了解这种机器的电路原理、结构特点,尤其是想剖析单片集成系统内部电路的组成,掌握内部电路与外部元件间的有机联系。

本书对上述问题将分别进行讨论。

为了分析单片收音机的片内片外电路,需要有基本的电路知识,这些知识既包括在分立元件收音机中常用的低频电压放大器、低频功率放大器、高频调谐放大器、LC正弦波

表 1-1

性能指标 \ 机 型	晶体管收音机 (六管标准型)	单片收音机 (TA7641BP 组成)
功耗(输出功率 $P_o = 30\text{mW}$)	50mW	22mW
效率($P_o = 100\text{mW}$)	45—50%	70%
全谐波失真	大	6—7%
中波灵敏度	0.5—1mV/m	0.3—1mV/m
元件数	约 40 个	约 17 个外接元件
AGC 特性	较 差	好(输入场强变化 60dB/m 时,检波输出仅变化 10dB)
价 格		低于六管机
可靠性	一 般	较 高

振荡器、检波器、鉴频器等,也包括在单片收音机中常出现的稳压源电路、稳流源电路、同步检波电路以及锁相电路、倍频电路等等。限于篇幅,本书不可能对上述各种电路都作出较为详尽的讨论。只能对单片收音机常用的某些电路作一分析和介绍。而对常见的、人们所熟悉的诸如低频放大器等电路,本书就只能结论性地列出电路和有关公式,就不作原理上的阐述了。

单片收音机无非是由一块集成电路芯片和一些片外电路组成的(调频收音机和调频/调幅收音机的集成块可能多于一块),整机电路看起来比较简单,元件也比分立式收音机少得多。但是在单片收音机中,信号从天线进入后,在电路中是怎样流通的;集成电路芯片各管脚有什么功能,信号又是怎样流进流出的;芯片内的各种功能电路与分立式收音机电路有什么异同等等。这些问题的解释与分析要比分立式收音机困难得多,抽象得多。就实际情况而言,单片收音机集成电路内的电路比较复杂,晶体管多达几十只,包括振荡、混频、中放、检波(鉴频)、低放、功放等全部功能单元。如果不对集成电路块的片内、片外电路有个深入了解是很难弄清上述几个问题的。

大量的事实表明,要弄懂走通单片收音机的整机电路,应该搞清楚下述几个问题。一是有关广播系统中常用信号的波形、频谱与表达式。因为各种电路要传输、处理的对象就是信号,掌握了信号的特点和变化的情况,就会了解到各单元电路的功能和要求。

第二是系统的方框图。整机的方框图一般是按电路功能划分的,对于一个较复杂的电路系统,掌握了功能框图就可以“化整为零”,将大电路分解成小电路,将大系统缩成几个小系统,然后按各个单元逐一解决。

第三是功能单元电路结构与原理。收音机中用的放大、混频、解调等是什么工作原理,有什么样的电路,各种电路有什么特点等。这部分知识是读图的基础,是深入学习高级家用电子设备所不可缺少的。

第四是整机电路实例。有了上述三项的基础,还要具体分析几个具体的整机实际电路,这样才可以将单元电路与整机结合在一起,将理论用到实际中去。

本书的内容就是按照上述几个方面安排的,读者如果急于想阅读单片整机电路,也可以先从第一、五、六、七章看起,然后再根据需要返回其他章节的学习。

本书内容的跨度较大,但起点较低,适应面较广,尤其是第二、三、四章的各单元电路

的原理讨论,内容比较系统,涉及到高频电路的主要内容,这些内容对录音机、电视机或其他电子设备的学习也会起到辅导作用。

§ 1-2 系统的组成

一、单片收音机的两个问题

翻开一张单片收音机的电路图或打开单片收音机的后盖板时,我们所看到的是一块集成电路和一些片外电路元件,在片外元件中最主要的是 LC 回路。初看起来,整机电路简单明瞭,结构紧凑清晰,但细细思考,恰有许多问题需要分析。这些问题上面已经提到过,归纳起来,大致是两个方面的:一是关于系统的概念,就是广播收音机由哪些部分组成,集成系统单片收音机的组成与分立元件晶体管收音机有哪些异同点。二是关于单片集成系统内部电路原理、外部电路特点以及他们之间有机联系等问题。

本章先对第一个问题作简单的叙述,以后各章将逐一讨论第二方面的问题。

二、超外差式收音机的组成

无论是电子管收音机、晶体管收音机,还是单片收音机,几乎都是超外差式的。为了能顺利地走通、读懂单片收音机的内部电路,首先必须清楚掌握超外差式收音机的结构模式。这样,就能将一张较复杂的整机电路划分成一个个功能单元,然后再按各功能单元的特点读通电路。

1. 超外差式调幅收音机

超外差式调幅收音机的方框图如图 1-1 所示。各主要点的波形图和频谱图如表 1-2 所示。现对图 1-1 作简单说明。

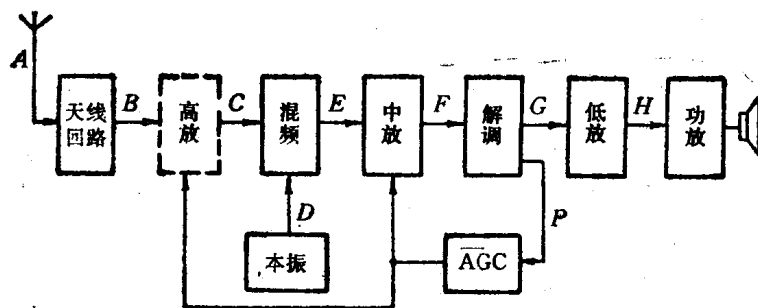


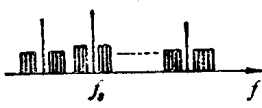
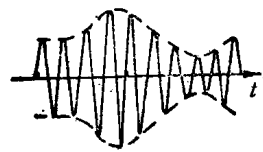
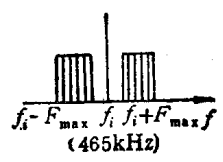
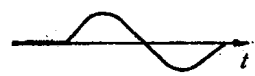
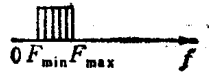
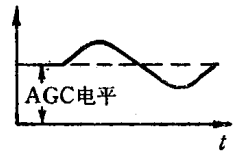
图 1-1 超外差式收音机方框图

接收天线——超外差收音机中常用磁性天线。它能接收自由空间传播来的电磁波,并将它转换成高频电信号。

天线回路——又称输入回路。起选择电台的作用,能从许许多多的电台信号中选取所需的信号。天线回路通常是一 LC 调谐电路,任何种类的收音机,不管它多么简单,电台选择电路是不可少的。

高频信号放大器——由天线回路选得的信号是十分微弱的,常在微伏级或毫伏级范

表 1-2

位 置	波 形 图	频 谱 图	备 注
A (天线入)			A处有多个电台信号
B、C (高放入出)			C点信号的幅度比B点大
D (振荡出)			100—200mV
E、F (中放入出)			$f_i = f_t - f_s$ F点幅度大 (465kHz)
G、H (低放入出)			H点信号强
P (AGC入)			经过低通可取出 U_{AGC}

围,因此,必须经过放大。但在级别较低的调幅收音机中,大多数没有高频放大器,由天线回路获得的信号直接送到混频级,调频收音机常常是有高放级的。

本机振荡器——又称本地振荡器,简称本振。这是一个 LC 正弦波产生电路,给混频器送出一个等幅高频振荡信号,在超外差式收音机中,本机振荡器的频率要比从天线回路选出的已调高频信号的载频高出一个中频值。我国规定中短波收音机的中频频率是 465kHz。因此,如果要接收载频为 640kHz 的中波电台信号,则本机振荡器要产生一频率为 1105kHz($=640 + 465$) 的高频信号;如果要接收载频为 820kHz 的中波电台信号,则本机振荡器要产生一频率为 1285kHz 的高频信号。由此看来,本机振荡器振荡频率的调节应该和天线回路的调谐(选台)同步,这就是所谓的“统调”。

混频器——是一非线性电路,它能把本机振荡器送来的高频信号和天线回路(或高频

放大器)送来的已调高频信号进行差频,产生一已调中频信号。其间,只改变已调信号(即电台信号)的载波频率,使其降至一固定中频 465kHz,但信号的调制规律,如包络的变化规律不能改变。这一点可从表 1-2 的波形图和频谱图得到证明。简单地说,混频器是实现 $f_1 - f_2 = f_3$ 频率变换功能的一个电路。混频可降低各已调高频信号的载频为较低的固有的中频频率,但仍保持信号的调制特征,这种措施可大大改善收音机的性能,提高收音机的灵敏度。混频器在某些场合下又称变频器,有人认为:用一个管子既作混频又作振荡的电路即称为变频电路,若振荡电路是独立的,则称混频电路。其实没有严格区分的必要。

中频放大器——将混频器送出的已调中频信号进行所需的放大。收音机中,主要的放大任务是由中放级承担的,对于调幅收音机而言,中放级的增益约 1000 倍左右,即 60dB 上下。中放级的增益常常被 AGC 电路所控制。

解调器——是非线性电路,能从已调制的中频信号中解调出(还原出)原音频信号。如果是从调幅信号中解调出音频信号,则解调器称为检波器,从调频信号中解调出音频信号,则解调器称为鉴频器。任何级别的收音机,解调器是不可缺少的。

音频放大器——包括音频电压放大器和音频功率放大器。能将解调出的音频信号进行不失真的放大,以满足不同扬声器的需要。

AGC 电路——即自动增益控制电路。它能根据天线收到的电台信号的强弱,自动地控制中放级(也可能有高放级)的增益,使检波器输出的音频信号幅度不受或少受电台信号强弱的影响。例如,当电台信号很强时,AGC 电路会给出一个较大的电平 U_{AGC} ,使中放级的放大倍数减小,反之,会使中放级的增益加大,这样,加到解调器上的信号幅度就不会变化过大,使解调器的输出趋于平稳。

扬声器——将音频电信号转换成声音。

2. 超外差式调幅/调频收音机

调幅收音机只能接收调幅电台的信号,中波波段的频率范围是 525—1650kHz。调幅/调频收音机既能收听调幅电台节目,又能收听调频电台的节目,调频波段的频率范围是 88—108MHz。由于调频波段的频率比调幅中波波段的频率高得多,加之调频信号其他一系列的特点,使这两种收音机在电路组成等方面存在着显著的差异。

超外差调幅/调频收音机的组成可有许多不同的方式,图 1-2 是其中的一种形式。单

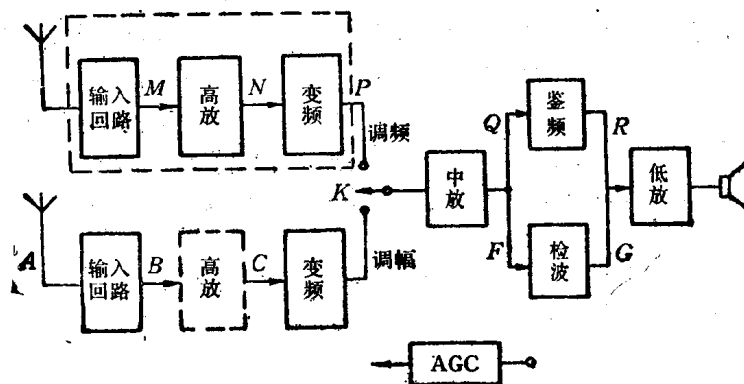
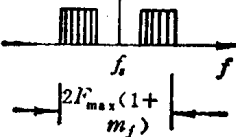
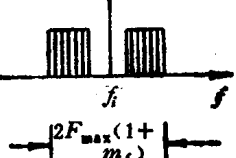
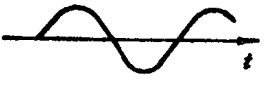
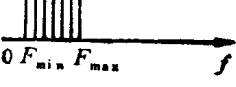


图 1-2 调幅/调频单片收音机方框图

片调幅/调频收音机常采用这种结构。

图 1-2 方框图中各主要点信号的波形图和频谱图列于表 1-3。

表 1-3

位 置	波 形 图	频 谱 图	备 注
A、B、C、 K、F、G	与表 1-2 中 A、B、C、 E、F、G 各点相同	与表 1-2 中 A、B、C、 E、F、G 各点相同	AM 中频 $f_i = 465\text{kHz}$
M、N (调频波)	 载频为高频		m_f 为调频指数 $F_{\max}$ 为最高 调制频率
P、Q (调频波)	 载频为中频		FM 中频 $f_i = 10.7\text{MHz}$
R			与 G 点相同

下面对图 1-2 作简单说明。

调幅收音部分——与图 1-1 完全相同，不重述。

调频收音部分——其组成与调幅收音机相同，但有两个重要特点：

第一，调频部分虚线框内的输入回路、高放、变频等为调频接收机的高频调谐器，俗称高频头，它的主要作用是从 88—108MHz 范围内选择我们所需的高频调频信号（即选择电台），并将此信号作高频放大，然后由变频器将它转换成载频为一固定值的中频调频信号。调频波的中频频率一般规定为 10.7MHz，比调幅波中频 465kHz 高得多。由于高频调谐器的工作频率很高，不易和系统其他单元，如中放、解调、低放、AGC 等电路制造在同一块集成电路块上，仍经常用分立元器件设计，独立在集成块之外。

第二，是鉴频器，调频接收机接收的是调频信号，它的解调器是要从调频波中解调出音频信号来。为了获得较好的鉴频特性，削弱寄生调幅的影响，对于调频信号，中放级的放大量要比对调幅波信号的放大量大，这样有利于对调频波作限幅处理。

3. 单片收音机的主要指标

(1) 频率范围(与晶体管收音机相同)

中波波段 525—1650kHz

调频波段 88—108MHz

- (2) 中频频率(与晶体管收音机相同)
- | | |
|------|---------|
| 中短波段 | 465kHz |
| 调频波段 | 10.7MHz |
- (3) 灵敏度
- | | |
|------|---------------------------------|
| 中波波段 | 200—400 μ V/m (信号噪声比为 20dB) |
| 调频波段 | 2—5 μ V (信号噪声比为 30dB) |
- (4) 选择性
- | | |
|------|-----------------------|
| 中波波段 | ± 10 kHz 时约 -25dB |
| 调频波段 | -6dB 的通频带时约 220kHz |
- (5) 中频选择性(抑制比)
- | | |
|------|----------------|
| 中波波段 | 600kHz 时约 60dB |
| 调频波段 | 90MHz 时约 85dB |
- (6) 镜象选择性(抑制比)
- | | |
|------|-----------------|
| 中波波段 | 1400kHz 时约 50dB |
| 调频波段 | 106MHz 时约 30dB |
- (7) 自动增益控制 (AGC)
- | | |
|------|---------|
| 中波波段 | 40—50dB |
| 调频波段 | 40—50dB |

§ 1-3 无线电信号简介

在讨论各种电子线路时,总是离不开电信号,这一点我们在图 1-1、图 1-2 和表 1-2、表 1-3 中已经看出,就实质而言,电子电路只是产生、传递、处理信号的一种工具罢了,不同的信号、不同的要求,就会有不同的电路。因此,掌握和熟悉无线电信号是任何一个电路工作者的重要任务。否则我们对电路的认识就会停留在一个低水平上。另外,在调试或维修电路与整机时,人们可以借助于示波器观察电路各主要点信号的波形,借助于扫频仪观察电路或系统的频率特性,这样就将看不见、摸不着的电的问题形象化地展现在人们的面前,为解决复杂的电路问题带来极大的方便。

有关信号的详细分析与讨论涉及的数学知识较多,内容较广,限于篇幅和本书的特点,本章只能对收音机中常用的无线电信号作简单的介绍。

信号的表示方法有两种,一为时域表示法,即上述的波形图;一为频域表示法,即上述的频谱图。下面就这两个问题分别作一讨论。

一、信号的时域表示——波形图

1. 信号的三要素

最简单的信号是正弦或余弦信号,如图 1-3 所示。

图 1-3(a)、(c) 是正弦波, (b)、(d) 为余弦波。图 (a)、(b) 波形的初相角为 0, 图 (c)、(d) 波形的初相角 $\varphi_0 \neq 0$ 。它们的数学表示式为

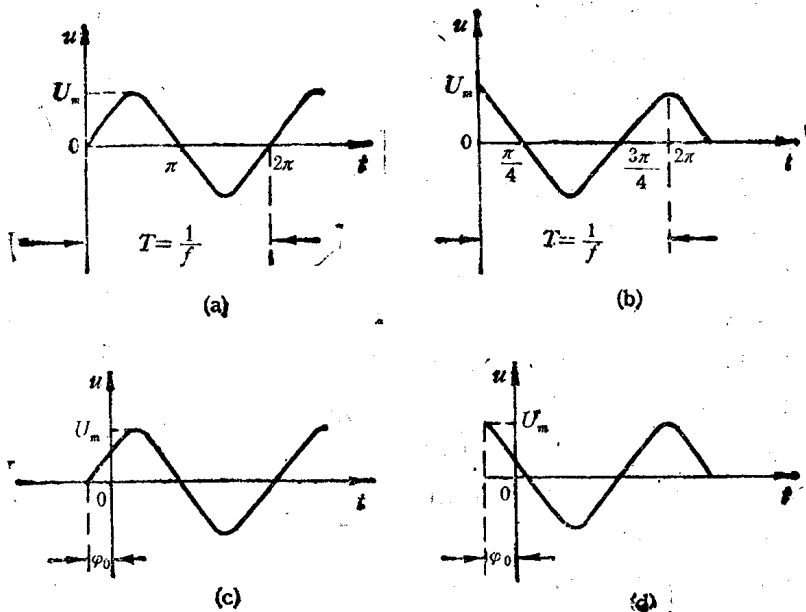


图 1-3 正弦、余弦信号

对图 1-3(a)、(c)

$$\begin{aligned} u &= U_m \sin \omega t = U_m \sin (2\pi f t) \\ u &= U_m \sin (\omega t + \varphi_0) \end{aligned} \quad (1-1)$$

对图 1-3(b)、(d)

$$\begin{aligned} u &= U_m \cos \omega t = U_m \cos (2\pi f t) \\ u &= U_m \cos (\omega t + \varphi_0) \end{aligned} \quad (1-2)$$

由上式可见,信号的三要素是信号的振幅(U_m 或 I_m 等)、信号的周期 T (或频率 f) 和信号的初相角 φ_0 。这三要素对于任一周期信号都是不可缺少的。但为了分析方便,常假定初

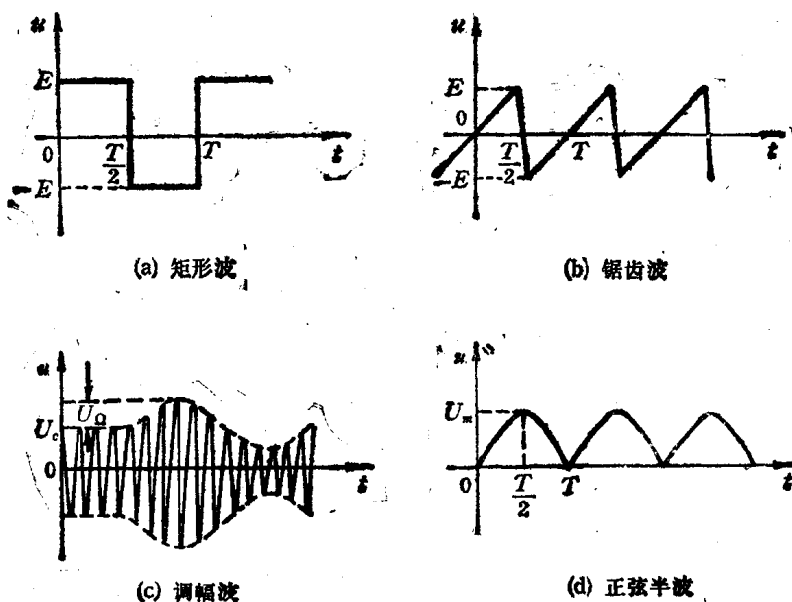


图 1-4 常见信号的波形

相角 $\varphi_0 = 0$ 。至于是正弦信号还是余弦信号倒并不重要,因为正弦和余弦,只差 90° 相角,其他均是一致的,所以在以后的讨论中就任意选用了。

2. 常见的其他信号波形

理想的正弦或余弦信号并不多见,而如图 1-4 所示的方波信号、锯齿波信号、正弦半波信号、调幅信号、调频信号等却是常常碰到的。有必要讨论它们和正弦或余弦信号的关系。

二、信号的频域表示

信号的波形图已在上面画出,它的数学表达式也并不复杂,这就是信号的时域表示法。这种表示法概念清楚、简单明了,可以借助示波器观察波形,是常用的一种方法。但有些信号波形比较复杂,数学式又很繁琐,如多音调幅信号、多音调频信号、音乐信号等等,用时域法就不方便了。于是又出现一种频域表示法,将这种信号所含的频率成分及其幅度用图形表示出来,如表 1-2、表 1-3 中的频谱图就是一例。这种表示法在某种意义上来说,更为直观、更为简单,又可用扫频仪观察,所以应用也很广泛。

那么,这些复杂信号是由什么样的简单信号组成的? 它们各自的频率、幅度又是多少呢? 在数学上这是很好解决的问题,只要对信号的时域表达式进行傅里叶级数展开即可求得。考虑到本书的特点,我们不做更多的数学推导,而是用较为直观的方法,借助于方波信号的合成与分解来建立信号的频谱概念。

1. 方波的合成

一个方波可认为是由许许多多个正弦或余弦信号组成的,详细情况可参看图 1-5。

2. 方波的分解

同样,一个方波也可分解成许许多多多个频率不同、幅度各异的正弦波或余弦波。图 1-6 就是一例。

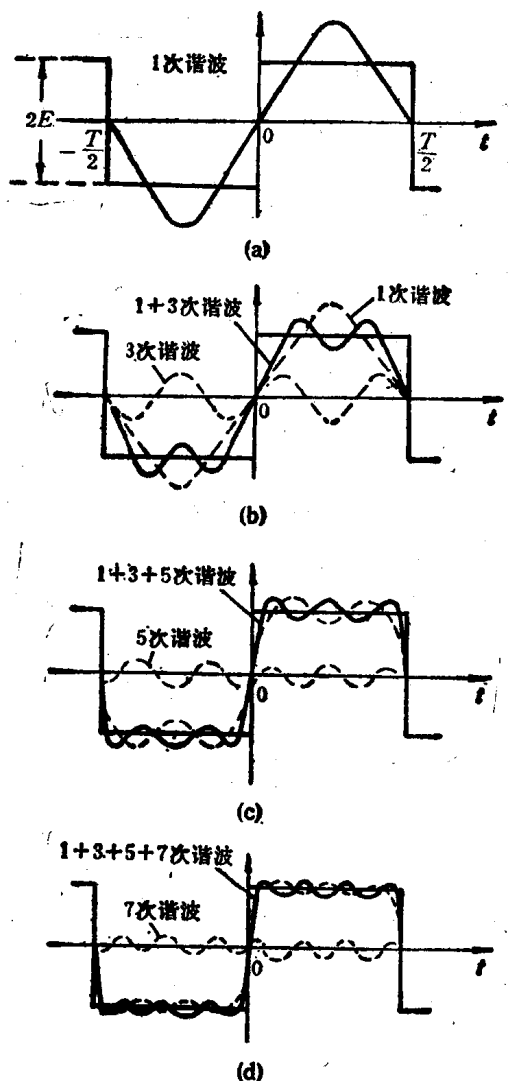


图 1-5 方波的合成

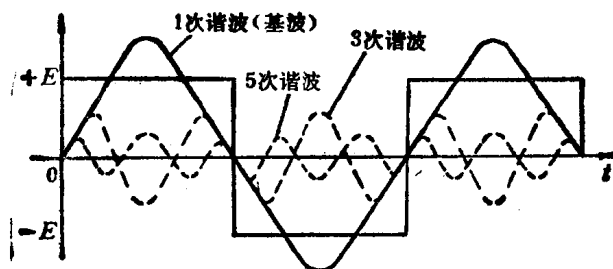


图 1-6 方波的分解

3. 几点有用的结论

由图 1-5、1-6 的脉冲方波的分解与合成,可得出如下几点有用的结论:

(1) 脉冲方波可以分解成许多个振幅不同、频率不同、相位有别的正弦或余弦波,同样,也可用许多个振幅不同、频率不同,相位各异的正弦或余弦波按一定的规律合成一个脉冲方波。

(2) 由分解图形可见,谐频次数愈高的分量振幅愈小;由合成波形可见,参加合成的正弦波或余弦波的谐频个数愈多,则合成后的波形就愈接近理想的方波,但由于高次谐波项的振幅很小,所以取有限个就可以了。到底取多少个,要视不同系统而定。通常取 9—11 次谐频已足够。

(3) 如果方波中缺少高次谐波项,则合成后的方波前沿就不陡,如图 1-5 中的 (a)、(b) 所示。如果缺少低次谐波项,则合成后的方波波顶就不平。这一结论表明了信号的时域特性和频域特性的内在联系,用它来分析电路的特性是十分有利的。例如,用示波器观察一个方波经过一个电路或系统后的波形,若发现方波的前沿失真,变得不陡了,这就说明电路的高频特性不好[高端截止频率太低];若发现方波的前沿很陡,但波顶不平,有下垂现象,则表明电路的低频特性不好,使方波中的低频分量损失严重。

(4) 推而广之,任何一个周期信号均可合成与分解,这一结论对于某些领域是很有用的。例如,有些电子乐器,就可利用不同频率、不同幅度、不同相位的正弦或余弦信号按某种规律合成而模拟某种乐器的波形。管乐以方波为主,弦乐以锯齿波为主。同样,语音也可合成,模仿某一个人的声音也不是不可能的。

4. 信号的频谱图

信号的频谱图就是将信号所含的频率分量及其幅度大小和相位关系表示成的一种图

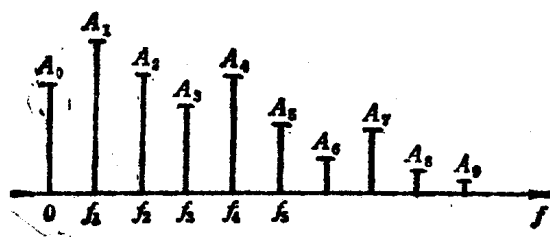
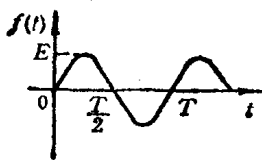
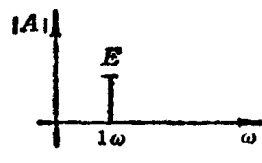
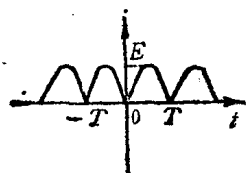
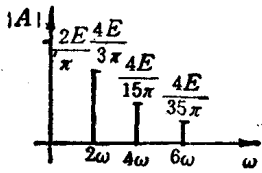
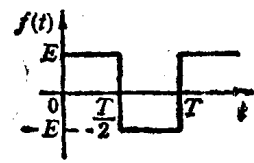
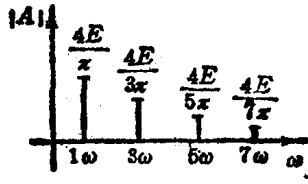
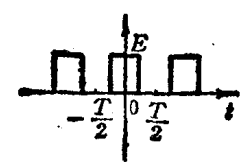
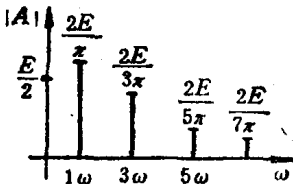
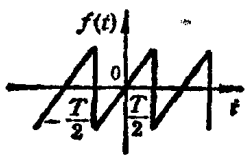
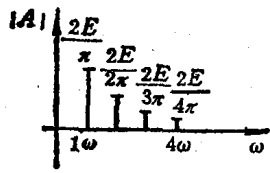


图 1-7 信号频谱图

形。在一般情况下,为了简便,相位关系可以不考虑,频谱图就简化为频率和幅度的关系了。详细情况如图 1-7 所示。

表 1-4 列出了几种信号的波形与频谱,以供参考。

表 1-4

信号波形	信号的傅里叶级数展开式	信号的频谱
	$f(t) = E \sin \omega t$	
	$f(t) = \frac{4E}{\pi} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t + \frac{1}{35} \cos 6\omega t + \dots \right)$	
	$f(t) = \frac{4E}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$	
	$f(t) = \frac{2E}{\pi} \left(\frac{\pi}{4} + \cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \dots \right)$	
	$f(t) = \frac{2E}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{4} \sin 4\omega t + \dots \right)$	

三、调幅波的频谱

调幅波是载频频率保持不变,而幅度随调制信号(音频信号)变化而变化的一种调幅波形。中短波广播采用的就是这种调制方式。

下面着重讨论调幅波的频谱。为简便起见,先从单音调幅波开始。

1. 单音调幅波的频谱

单音调幅波的波形如图 1-8 所示。单音调幅波的数学表示式为

$$u = [U_c + U_D \cos \Omega t] \cos \omega_c t$$