

电子技术丛书

597257

50042
7543

调频接收机

陈其津 编著

广东科技出版社



北京科学技术大学图书馆

技术图书馆



***** 电子技术丛书 *****

陆续出版

黑白电视基础 0.50元

可靠性技术入门 0.53元

电子电路分析和计算

——参数分析法 0.80元

半导体收音机的测量与修理(重版) 0.79元

书号 15182·19

定价 0.82 元

电子技术丛书

调频接收机

陈其津 编著

广东科技出版社

电子技术丛书

调频接收机

陈其津 编著

广东科技出版社出版

广东省新华书店发行

广东新华印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 9.625印张 208,000字

1980年8月第1版 1980年8月第1次印刷

印数1—10,500册

统一书号 15182·19 定价 0.82元

出版说明

电子技术是新兴的前沿科学。近几十年来，电子技术的发展日新月异，许多人把电子技术水平作为衡量一个国家的现代化水平的标志。因此，普及电子技术与实现四个现代化有着密切的关系，而电子工业的发展是实现四个现代化的物质技术基础的重要组成部分。为了在提高整个中华民族的科学文化水平的斗争中，为普及电子技术作出应有的贡献，我们编辑出版了《电子技术丛书》。

这套丛书由冯秉铨教授主编。力求坚持以马克思主义的辩证唯物主义和历史唯物主义为指导，结合各个专题，阐述当前国内外研究电子和电磁场运动、电路理论和实践，以及信息传输系统的一般规律及其应用技术，通俗地介绍这些方面的客观规律和技术经验；同时也介绍有关的电子元件、器件、设备和系统，普及这些方面的技术知识，以促进电子技术更加广泛地应用于国民经济、国防和科学技术的各个领域。

本丛书既着眼于当前，也着眼于未来，从国内现有实际技术水平出发，又要有所提高。以具有中等文化水平的工人、技术人员，以及从事电子工业生产和科研的有关人员为主要对象，也可供高等院校、中专电子学专业的师生和业余爱好者参考。

前 言

调频方式是现代传送信息所用的主要手段之一。它的应用范围很广，如无线电通信、广播、遥测、遥控等方面，都可用调频方式传送信号；使用的频率范围也是很宽的，包括中短波段、超短波段、微波或更高波段。

本书编写的目的，主要是阐明调频接收机的基本原理。通信接收机与广播接收机的基本原理是相同的，但按不同的应用目的，在一些具体设备上有所差别，各有特点。例如，对于调频多路通信设备来说，要增加通路数目，一般只需增多副载波，加宽总的通频带和提高主载波频率就可以了；但对于调频广播接收来说，要传送二路或四路立体声则只能在原有的频道和带宽内传送，并要求有兼容性。因此，两者的设计要求和处理方法是有所不同的。本书着重叙述调频广播的接收，电路举例也以调频广播接收机为主。鉴于目前调频广播应用的频段主要是超短波段，一些用调频传送的卫星电视广播也是在超短波和微波段，本书介绍的调频接收机亦以超高频接收机为主。

随着电子技术迅猛发展，依据超外差接收原理的无线电接收设备，其设计及接收功能也日趋复杂和多样化。首先，在元件器件方面，突出的发展是采用了集成电路和固体化，分立式场效应管已可在厘米波段做到噪声系数很低，而基于声表面波原理的固体滤波器和谐振器，可以获得矩形系数几乎为 1 的选择性，以及在分米波段(UHF)做到谐振器的 Q

值可与调谐线比美。以变容二极管取代机械调谐，也是突出变化之一。其次，在系统技术方面，发展也是很迅速的，以数字技术的应用为例，典型的如微型计算机（微型处理器）不仅已应用于在通信机方面，而且在调频/调幅广播接收机方面也开始应用。与数字技术有关的数字式频率显示、频率合成技术，以及锁相技术、红外遥控技术等等系统技术，也不断得到发展应用。当然，无线电接收理论与技术的发展远超过上述这些方面。即使是上述任一方面的系统技术，往往并非一本书所能尽述。当前的一个趋势是，在大规模集成电路日益普及的情况下，专业通信接收技术不断被应用到广播接收机上。因此，本书内容只能在兼顾传统的基本调频接收原理方面，扼要地介绍某些系统技术。

本书第一章简要介绍调频信号的特点。第二章着重介绍如何根据低噪声系数的要求，设计超高频输入电路与放大器，兼及变容二极管调谐原理与有关技术；改善接收机输出信噪比，还可从解调器本身或在调谐器之后来进行，为了叙述方便起见，这方面的内容在第五章的锁相解调器和第六章的动态噪声消减系统中分别介绍。第三章比较详细地讨论包括变频噪声系数在内的变频器参数的计算，并且讨论本振频率稳定度、变频噪声系数与动态范围等有关变频性能的改善。第四章除了一般介绍传统中频放大器外，还着重讨论集中选择性滤波器与宽带集成电路的应用。第五章偏重介绍正交相位解调器、锁相解调器与立体声解调器。最后，第六章简要地介绍了调频接收机中所采用的调频负反馈系统、锁相式频率合成技术和动态噪声消减系统。

在处理各种系统电路时，人们面临的是采用分立元件还是集成电路的问题，虽然，在包括高放与变频的高频系统

中，场效应管仍然具有优越性，但从发展的趋势来看，集成电路的普及与大规模化则是大势所趋。考虑到这些情况，本书除了在各主要章节着重讨论集成电路之外，还在第五章的附录中，介绍了几种包括中放、解调以及其他系统在内的，已经实际应用的单片集成电路，以供参考。

本书编写过程中，徐秉铮教授提出了宝贵意见，谢兴甫副教授提供了有关立体声方面资料，叶新副总工程师及其他同志提供了有关调频接收方面资料，在此表示衷心的感谢。

编 者

一九七九年十月于广州康乐

内 容 简 介

本书是电子技术丛书之一。它主要介绍无线电广播与通信调频接收机的工作原理与有关的系统技术。比较详细地叙述调频接收机的高频放大器、变频器、中频放大器与解调器等方面的工作原理与设计方法。着重介绍调频立体声解调系统与锁相解调系统。此外,本书还介绍了调频接收机所采用的自动增益控制系统、调频负反馈系统、频率合成系统,以及动态噪声消减系统。

本书可供从事调频广播与通信等方面的工程技术人员、工人,以及大专院校有关专业教学参考。

目 录

第一章 调频接收机概述	1
一、调频信号的特点	1
二、调频接收机方框图	4
第二章 高频放大器	7
一、基本放大电路与管的参数	7
1. 基本放大电路	7
2. 管参数	10
二、低噪声输入电路与放大器	16
1. 噪声系数与输入电路的设计	16
2. 影响噪声系数的其他因素	26
3. 改善噪声系数的方法	35
三、放大器工作稳定性与中和	42
1. 放大器的稳定性	42
2. 中和	45
四、放大器的增益与选择性	47
1. 放大器的增益	47
2. 放大器的选择性	52
五、变容二极管调谐	56
六、分米波段谐振回路的计算	66
第三章 变频器	75
一、变频原理	75
二、变频器参数的计算	80

1. 变频互导 Y_{21c} 的近似计算	80
2. 变频互导 Y_{21c} 的近似估值	82
3. 场效应管的变频互导	83
4. 变频器的输入导纳与输出导纳	85
三、变频电路	86
1. 基本电路连接原则	86
2. 本机振荡器	88
3. 常用变频电路	93
四、变频器的噪声系数与动态范围	98
1. 变频器的噪声系数	98
2. 动态范围	109
第四章 中频放大器	114
一、一般中频放大器	114
1. 单调谐回路放大器	114
2. 双调谐回路放大器	117
3. 参差调谐放大器	122
4. 陶瓷滤波器	125
二、集中选择性滤波器、宽带放大器与集成电路	127
1. 概述	127
2. 集中选择性滤波器	130
3. 宽带放大器与集成电路	136
三、限幅器	149
1. 概述	149
2. 半导体管限幅器	150
第五章 调频信号的解调	153
一、斜率鉴频器	153
二、正交相位解调器	156

1. 正交相位解调器的原理	156
2. 普通鉴频器	159
3. 比例鉴频器	165
4. 双平衡型相位解调器	175
三、晶体与陶瓷鉴频器	182
四、锁相解调器	185
1. 锁相环路概述	185
2. 调频信号的解调	203
3. 锁相解调器性能的改善	219
五、调频立体声信号的解调	221
1. 调频立体声信号与接收机	221
2. 简单立体声解调器	227
3. 频分立体声解调器	228
4. 时分立体声解调器	231
5. 四路立体声系统	244
六、其他类型解调器	250
1. 脉冲型解调器	250
2. 数字式解调器	251
3. RC解调器	252
4. 差动峰值解调器	252
附录	254
1. 锁相立体声解调器集成电路	254
2. 电视机伴音用的集成电路	257
3. 调频调幅接收机用的集成电路	258
4. 集成度较高的单片与整机电路	260
第六章 几种技术系统	266
一、自动增益控制	266

1. 自动增益控制的目的和要求	266
2. 控制信号（电压）的来源	267
3. 受控制部分和控制方法	268
二、调频负反馈系统	271
1. 自动频率微调	272
2. 调频负反馈解调系统	277
三、锁相式频率合成技术	280
四、动态噪声消减系统	288

第一章 调频接收机概述

一、调频信号的特点

日常要处理的信号是多种多样的，简单的有电报信号等，比较复杂的有语言信号或图象信号。这些信号如果要向远距离地方传送，可以通过用导线如一般的电话线、同轴电缆线、光导纤维线等来实现，这种方式就是一般有线传送。另一种方式是把高频信号通过天线辐射出去，传送到远方，这就是无线电传送。无论是用导线还是利用无线电波传送信号，每每要把被传送的信号先调制到一个高频信号之上，然后传送出去。譬如，有线传送经常用一条线路同时送出多路信号，这就需要先把每路信号调制到一个较高的频率上；在无线电传送中，由于电报、语言和图象信号的频率较低，不能有效地从天线辐射出去，所以也需要把被传送的信号先调制到一个高频信号之上，再将这个被调制了的高频信号辐射出去。通常把要传送的电报、语言等信号叫做调制信号，而把被调制的高频信号——它起着携带信息的作用——叫做载波或载频。

调制信号对高频信号的调制方法是有多种的，常用的有调幅制、调相制和调频制等。调幅制是使高频信号的振幅随调制信号而变化；调相制是使高频信号的相位随调制信号而

变化；调频制就是使高频信号的频率随调制信号的强弱成比例地变化，而高频信号的振幅则保持不变。对于载频随调制信号变化的这种高频信号，人们把它叫做调频信号。

调频信号的变化规律如下：

$$u = U_m \sin \left[\omega_0 t + \frac{\Delta \omega}{\Omega} \sin \Omega t \right]$$

$$= U_m \sin [\omega_0 t + m_f \sin \Omega t]。 \quad (1-1)$$

式中 ω_0 ——未有调制时的角频率，叫做中心角频率；

Ω ——调制信号的角频率；

$\Delta \omega$ ——最大角频偏，它与调制信号的幅度成正比，而与调制信号的频率无关；

m_f ——调频系数。

$$m_f = \frac{\Delta \omega}{\Omega} = \frac{\Delta 2\pi f}{2\pi F} = \frac{\Delta f}{F}。 \quad (1-2)$$

调频系数 m_f 与调制信号的幅度成正比，同时又与调制信号的频率成反比。

对高频信号进行调频也同时会产生调相，这是因为相位就是频率对时间的积分 ($\varphi = \int \omega dt$)，而调相时也必然会产生调频。

式(1-1)又可以展开如下：

$$u = U_m \{ J_0(m_f) \cos \omega_0 t + J_1(m_f) [\cos(\omega_0 + \Omega)t - \cos(\omega_0 - \Omega)t] + J_2(m_f) [\cos(\omega_0 + 2\Omega)t - \cos(\omega_0 - 2\Omega)t] + J_3(m_f) [\cos(\omega_0 + 3\Omega)t - \cos(\omega_0 - 3\Omega)t] + \dots \}。 \quad (1-3)$$

式中 $J_n(m)$ ——宗数为 m 的 n 阶第一类贝塞尔函数；

$J_n(m)$ ——它的数值在专门数学函数表中可以查到。

上式说明了在单音频 F 调制的情况下，调频信号的频

谱，是由载频 f_0 和无穷对旁频 $f_0 \pm F$, $f_0 \pm 2F$, $f_0 \pm 3F \dots$ 等分量组成。可见调频信号占用的频带是很宽的。在理论上，旁频无穷多，就意味着占有无穷宽的频带。不过，实际上整个调频波能量，大部分集中在载频附近的旁频，而其他较高次旁频的幅度很小，忽略了这些高次旁频对信号失真影响不大。实际的调频信号带宽可用下式计算

$$B = 2\Delta f + 6F = 2(m_f + 3)F. \quad (1-4)$$

在高质量的调频信号传送中，为了得到良好的信号/噪声比值（以下简称信噪比），调频信号频偏一般都取得很大。如取 $\Delta f_{\max} = 50\text{KHz}$ ，传送的调制信号最高频率 $F_{\max} = 15\text{KHz}$ ，根据式(1-4)可以算出信号带宽 B 为 190KHz 。在调频广播上，采用上述宽频带调制可以获得质量较高的信号传送。

采用宽带调制的调频信号传送具有许多优点。首先，接收调频信号所需的信号/干扰比值远小于调幅接收所需的信号/干扰值，即抗干扰能力增加。若要有良好的接收，调幅需要输入的信号/干扰为 $100/1$ ，而调频需要的是 $3/1$ 。其次，调频接收机解调后的信号失真度可小于 1% ，而调幅就做不到。此外，调频信号传送的调制信号频率范围可很宽，例如可宽达 $20-15000\text{Hz}$ ，而调幅信号一般为 $60-6000\text{Hz}$ 。此外，调频信号的调制信号动态范围可以很大，这也是一般调幅信号所不及的。

宽带调频信号由于占用很宽的频带——调频广播信号占用近 200KHz 频带，因此不能用中波或短波段传送，而要用超短波段。这是调频信号传送的一个特点。由于一些调频接收机要工作在超高频，机内噪声对接收机灵敏度的影响也就比较突出。又因超高频传播距离短，如何提高接收机的灵敏

度,以增加接收范围也显得重要。所以,调频接收机要考虑低噪声系数,噪声匹配,功率匹配等问题,而调幅接收机则多考虑选择性和失真等问题。

调频信号传送方式的应用很广泛,既包括宽带调频,也包括窄带调频,使用的频率范围由中短波至超短波和微波。特高频段(UHF)的声音广播和微波段的卫星直播电视,就是采用调频方式传送的,各种遥测、遥控、多路通信等方面也广泛使用调频传送。由于调频传送的基本原理大致相同,所以本书以调频广播信号的接收为主加以讨论。

二、调频接收机方框图

现代调频接收机一般采用超外差式接收原理,它的方框图见图 1-1。

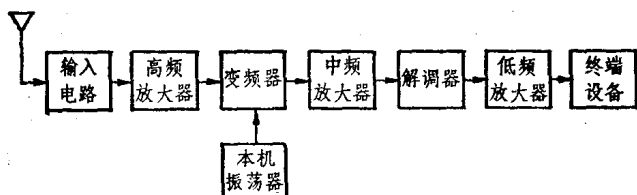


图 1-1 调频接收机方框图

超外差接收机的优点主要是灵敏度高,选择性好。这是由于这种接收机可把接收到的高频信号,经过变频使之成为频率较低的中频信号,然后进行放大并进一步抑制干扰。对同一个半导体管来说,频率愈高,它的放大量就愈小,因而把高的频率信号变成为低的中频信号来放大可提高放大量。同样,谐振回路的选择性也是频率愈高选择性就愈差,频率