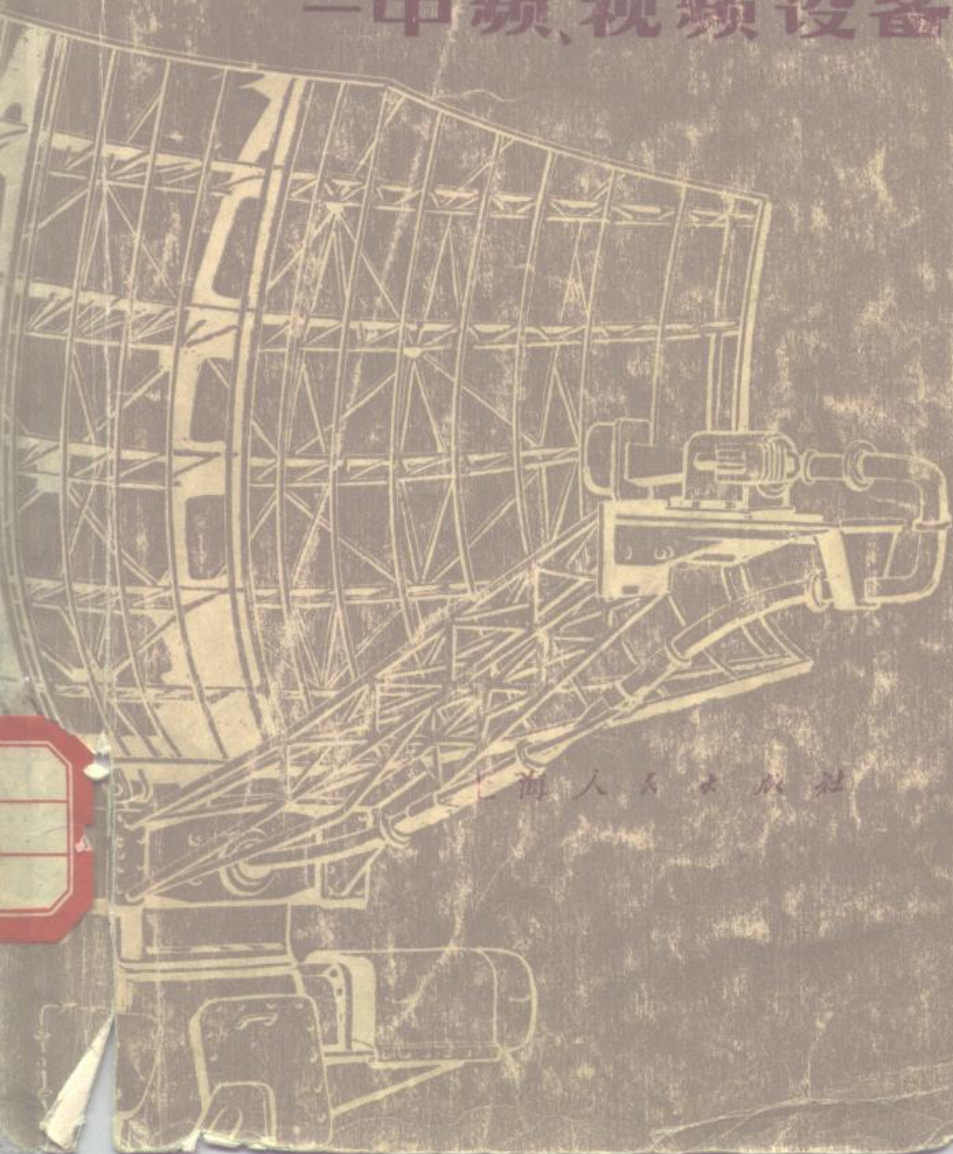


# 雷达接收机

—中频、视频设备



上海人民出版社

73.24

710

·雷达技术·

# 雷达接收机—— 中频、视频设备

《雷达技术》编写组

上海人民出版社

6-85

· 雷 达 技 术 ·

雷达接收机——中频、视频设备

《雷达技术》编写组

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷三厂印刷

开本 850×1156 1/32 印张 9.625 字数 252,000

1977年6月第1版 1977年6月第1次印刷

统一书号: 15171·282 定价: 0.73元

## 内 容 提 要

《雷达接收机——中频、视频设备》内容包括视频放大器、检波器、中频放大器和自动增益控制等。在讨论各电路之前,先介绍有关信号与噪声的分析和接收机的技术指标。附录中还介绍了几种线性集成电路在雷达接收机中的应用。

本书可供雷达专业的工农兵学员和从事雷达研制、生产和使用的读者参阅。

0577/35

## 毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

## 前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，教育革命和工业技术革新、技术改造的形势大好。根据广大工农兵读者和革命技术人员的迫切要求，上海有关的工厂、部队、院校和研究所组成了由工人、解放军战士、革命技术人员和革命教师组成的三结合编写组，拟在若干年内陆续出版有关《雷达技术》方面的书籍。

《雷达接收机》分上下两册出版。上册为中、视频设备，包括雷达接收机中的视频放大器、检波器、中频放大器和自动增益控制等内容。在分析各电路之前，先介绍有关信号与噪声的分析和接收机的主要技术指标。下册为高频设备，包括变频器、固态微波振荡器及倍频器、自动频率微调、低噪声微波放大器、几种常见的雷达体制及雷达接收机的设计和测试等内容。为便于读者阅读，在讨论各章之前，补充了一些常用的高频元件的基本知识。本书附录中还介绍了几种线性集成电路在雷达接收机中的应用，供学习和工作时参考。

《雷达技术》是一套中级技术读物，目的是为雷达技术专业的工农兵学员和从事雷达研制、生产和使用的工农兵读者提供雷达技术的一些基本知识。由于我国半导体技术和雷达技术的迅速发展，新型的器件和电路层出不穷，故不能将所有雷达的电路纳入本书内容。

遵循伟大领袖毛主席关于“教材要彻底改革”的教导，在本书编写过程中，三结合编写组努力按照“独立自主”、“自力更生”和“洋为中用”的方针，力求使本书具有革命性、实践性和先进性。

在本书的编写过程中，得到了上海、南京等地的工人、技术人员、教师的大力支持和热情帮助，许多工厂、院校和研究所参与了本书的审稿和定稿工作，并提出了许多修改意见，对我们修正错

误,提高书稿质量起了十分有益的作用,在此表示衷心感谢。由于我们的实践经验和理论水平有限,书中肯定会有不少缺点和错误,殷切期望广大工农兵读者和技术人员提出批评建议。

本书系由上海市仪表电讯工业局与上海科学技术大学联合举办的《7·27》工人电子训练班编的《半导体雷达接收机电路》(中频、视频部分)一书修订而成。

《雷达技术》编写组

1976年5月

# 目 录

## 第一章 雷达接收机概述

1-1 雷达接收机的组成 .....	1
1-2 雷达接收机的技术指标 .....	3
1-3 雷达接收机的种类及其特点 .....	5

## 第二章 信号与噪声

2-1 信号分析 .....	8
2-2 噪声的来源及特性 .....	14
2-3 信噪比、噪声系数与噪声温度 .....	20
2-4 多级电路总的级联噪声系数与噪声温度 .....	24
2-5 放大器噪声系数的测量 .....	27
2-6 雷达接收机的灵敏度与噪声系数间的定量关系 .....	30
2-7 接收机通频带宽度的讨论 .....	35

## 第三章 中频放大器

3-1 中频放大器概述 .....	38
3-2 晶体管的高频参数及高频等效电路 .....	47
3-3 单调谐中频放大器 .....	67
3-4 双调谐中频放大器 .....	88
3-5 参差调谐中频放大器 .....	95
3-6 前置中频放大器 .....	103
3-7 中频放大器的工程设计 .....	108
附: 采用稳定指数法设计中频放大器 .....	117
3-8 具有窄带滤波器的中频放大器 .....	128
3-9 雷达中频放大器实例 .....	134
3-10 宽频带中频放大器的结构、安装与测试 .....	140



## 第四章 检波器

4-1 幅度检波器 .....	159
4-2 双端式二极管检波器 .....	170
4-3 峰值检波器 .....	171

## 第五章 视频放大器

5-1 视频放大器的分析方法 .....	179
5-2 高频(脉冲前沿)补偿 .....	187
5-3 低频(脉冲顶部)补偿 .....	195
5-4 关于温度补偿问题的讨论 .....	197
5-5 多级视频放大器 .....	200
5-6 雷达中的视频放大器 .....	202
5-7 视频放大器的结构特点、调整及测试 .....	208

## 第六章 雷达接收机中的增益控制

6-1 自动增益控制概述 .....	216
6-2 惰性自动增益控制 .....	217
6-3 选通电路 .....	239
6-4 自动增益控制偏压的获得 .....	247
6-5 近程增益控制 .....	250
6-6 对数放大器 .....	253

附录: 线性集成电路及其在雷达接收机中的应用 .....	280
------------------------------	-----

# 第一章 雷达接收机概述

## 1-1 雷达接收机的组成

雷达接收机通常都采用超外差式，如图 1-1 所示。它由高频设备(包括天线开关、混频器、本机振荡器等)、中频放大器、检波器、视频放大器组成。

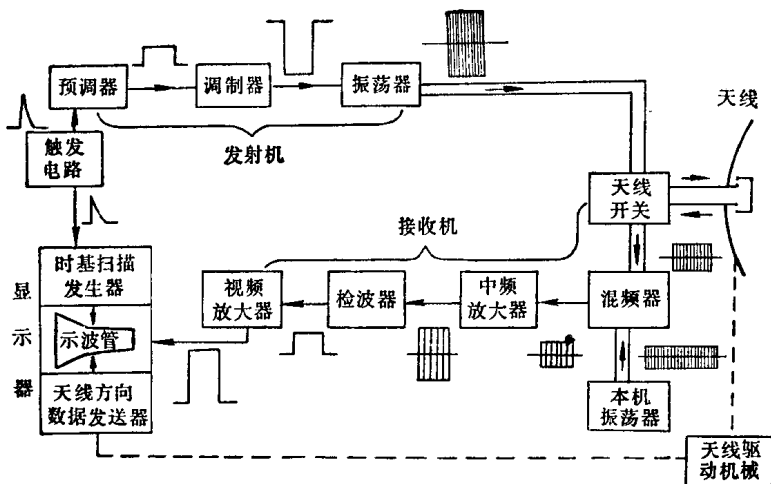


图 1-1 典型雷达的方框图

天线开关亦称收发开关,它的作用是在发射机发射时,让发射脉冲顺利地通向天线,与此同时发射的强大脉冲自动截断接收机支路,以保护“脆弱”的接收机中的晶体混频器(或高频放大器)不致被强大的发射脉冲功率所烧毁。而当射频回波到来时,能让微弱的回波顺利地进入接收机。从天线接收下来的射频脉冲经天线开关加到混频器上,本机振荡器产生的连续振荡功率也同时加到混频器上,混频器输出的信号频率是本地振荡频率和射频之差,称为中频。中频信号经中频放大器放大约一百多分贝(相当信号电

压放大 10 万以上), 用检波器取出其脉冲包络(称为视频脉冲), 再由视频放大器放大到显示器正常工作所需要的电压数值。接收机各级波形如图 1-2 所示。

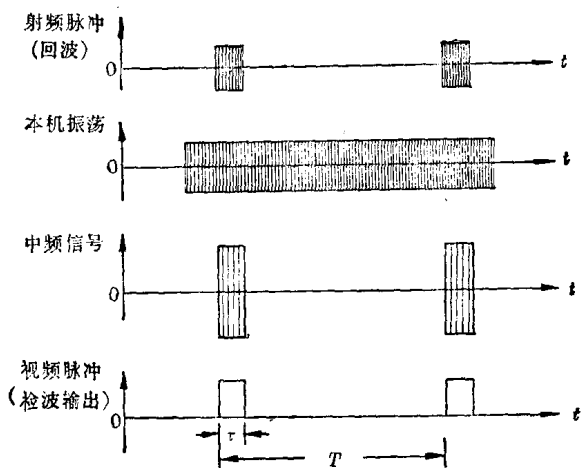


图 1-2 超外差式雷达接收机各级波形

随着我国半导体工业的迅速发展, 雷达接收机中的混频器、中频放大器、检波器和视频放大器都已经半导体化, 只有微波雷达接收机中的本机振荡器还沿用着反射速调管。反射速调管具有调谐方便的突出优点, 这对实现自动频率微调有利。但是目前各种固态微波源已经出现, 例如电调谐的雪崩渡越时间二极管振荡器、体效应器件振荡器等等, 而且已成功地用作雷达接收机的本机振荡器。雷达接收机的全半导体化已经实现。接收机的全集成化也已指日可望。

如果在天线开关与混频器间加一个高频放大器, 则雷达接收机的灵敏度将提高, 雷达站的作用距离将会增加。但在厘米、毫米波段, 长时期找不到合适的低噪声高频放大管, 因而过去厘米、毫米波波段的雷达接收机很多没有高频放大级, 而采用第一级就混频的型式。虽然第二次世界大战后不久就出现了低噪声行波管, 但是由于它要笨重的馈电聚焦系统, 在有些场合不便应用。目前除了低噪声行波管外, 隧道二极管放大器, 半导体参量放大器和

量子放大器已越来越多地被用来作为低噪声的高频放大级，以改善雷达的性能。

## 1-2 雷达接收机的技术指标

根据接收机在整个雷达中的作用，其技术指标可归纳如下：

### 一、选择性

接收机在指定频率或频段内接收目标反射的信号而不接收其他频率信号的能力称为选择性。一般来说，选择性对雷达接收机不太重要，但随着工作在同一地区的雷达机数目的日益增多，就要求它们能在一个波段中同时工作而互不干扰。

### 二、灵敏度

灵敏度表示接收机接收微弱信号的能力。灵敏度越高，就表示接收机接收微小信号的能力越强，因而雷达作用距离就越远。灵敏度通常以所能接收的最小功率(最小可辨功率)来衡量。最大作用距离与接收机最小可辨功率的四次方根成反比，因此减小最小可辨功率，能够使作用距离加大，这和增大发射机功率的效果是一样的。

若要求灵敏度高，即最小可辨功率小，则首先要求接收机应有

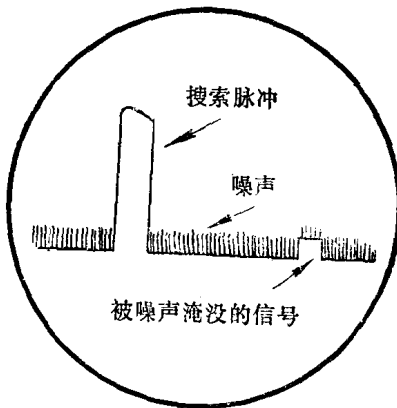


图 1-3 信号与噪声

足够的放大量(增益)。但是尽量加大放大量并不能无限制地提高灵敏度。灵敏度的极限受到接收机外部干扰和内部噪声的限制,这是由于:如果信号电平已低于噪声电平,那末增大放大量时,噪声会和信号同样地被放大,而使信号仍然淹没在噪声中,不能鉴别出来,如图 1-3 所示。因此要提高灵敏度,必须在增大放大量的同时,尽可能地减小接收机的内部噪声,而后者是提高灵敏度的关键。目前,低噪声高频放大器、参量放大器、量子放大器等等已能够将接收机的灵敏度提高到新的水平。

### 三、波形失真

雷达接收机所接收的回波是矩形脉冲调制的射频振荡,经过高放,混频,中放等过程,把信号电平提到适当数值,再经检波,其脉冲包络被取了下来,称为视频脉冲。视频脉冲经过视频放大器放大,才最后加到显示器上。雷达信号的失真将导致测距精度的下降,为了减少信号失真,雷达接收机应具有足够宽的通频带。

### 四、动态范围

动态范围是指接收机在输出电压从噪声电平到饱和(限幅)电平为止,相应的输入信号变化范围:

$$D_i = \frac{U_{i \max}}{U_{i \min}}$$

或用对数表示:

$$D_i(\text{dB}) = 20 \lg D_i$$

要求动态范围大,则接收机在接收小信号时应具有足够高的增益;而接收强信号时,其增益应相应降低。为此,必须对接收机中频放大器的增益进行手动的或自动的控制。有些场合则使用具有对数振幅特性的对数接收机。

### 五、工作稳定性

接收机要能可靠地工作,就必须具有良好的工作稳定性,这也就是:

(1) 接收机不应自激,中频放大器的增益最高,最易自激,所

以要特别加以注意:

(2) 在使用过程中,接收机的参数不应变更到允许范围之外;

(3) 当发射机受到各种不稳定因素的影响而使频率变化时,回波的正常接收应不被破坏。为此,常常在接收机中增加一套自动频率微调(跟踪)系统。

#### 六、抗干扰性

在我们对敌、修、反的战斗中,干扰与抗干扰的电子对抗是十分激烈的。抗干扰能力低,雷达接收机的正常工作可能受到严重破坏,甚至雷达接收机完全失去作用,因此要求接收机具有高的抗干扰性能,以达到“保存自己,消灭敌人”的作战任务。

#### 七、恢复时间

当作用到接收机输入端的信号很强时,接收机的放大量会暂时降低,有时甚至会暂时停止工作,我们称这段时间为接收机的恢复时间。要接收紧随在强信号之后的微弱信号,就必须使接收机的恢复时间很短。

此外,一些其他体制的雷达还有其特殊指标,例如对单脉冲制接收机来说,应具有和支路与差支路之间在振幅及相位上的一致性。

上面介绍了对雷达接收机的主要要求,在结构、使用等方面还有一些要求,如体积小,重量轻,造价和用电经济,结构坚固可靠,使用维修方便,适应各种气候条件等等。这些要求也是很重要的,在某种条件下甚至变得非常重要,例如对舰艇上的雷达则要求防潮、防震、防盐雾。对飞机上的雷达,在体积、重量方面就提出了更严格的要求。

### 1-3 雷达接收机的种类及其特点

雷达接收机可按照波长、线路型式、调制方法和用途进行分类:

(一)按波长分,可分为米波、分米波、厘米波、毫米波雷达接收机,它们的波长和高频设备线路特点见表 1-1。

表 1-1

分 类	波 长 $\lambda$	线 路 特 点
米波接收机	$\lambda \geq 1 \text{ m}$ ( $f \leq 300 \text{ MHz}$ )	1. 采用超高频三极管和集中参数的电路 2. 馈线采用双导线或同轴线
分米波接收机	$10 \text{ cm} < \lambda < 1 \text{ m}$ ( $300 \text{ MHz} < f < 3000 \text{ MHz}$ )	1. 采用超高频三极管或微波二极管, 采用分布参数的电路 2. 馈线采用同轴线
厘米波接收机	$1 \text{ cm} < \lambda < 10 \text{ cm}$ ( $3000 \text{ MHz} < f < 30000 \text{ MHz}$ )	1. 采用微波管和采用谐振腔 2. 馈线用波导
毫米波接收机	$\lambda < 1 \text{ cm}$ ( $f > 30000 \text{ MHz}$ )	同厘米波接收机

(二)按线路型式分, 可分为高频检波式、超外差式和超再生式。

高频检波式接收机是直接用品体检波器对高频信号进行检波后再进行视频放大的, 因而它的选择性和灵敏度都较低, 主要用在雷达侦察接收机中。这种接收机因没有高频和中频放大设备因而线路很简单, 且易得到宽频带工作, 即接收机可以在很大的频率范围内进行调谐。

超外差式接收机是把高频信号经混频器后先变为中频信号来进行放大的, 采用中频放大可以得到很高的灵敏度和选择性, 因而目前雷达接收机都采用这种型式的线路, 这种电路的缺点是比较复杂以及存在象频干扰。

超再生式接收机, 这种接收机的选择性和灵敏度介于高频检波式和超外差式接收机之间, 线路也较简单, 重量轻, 体积小, 所以用在便携式的雷达和敌我识别雷达之中。

(三)按信号调制方式分, 可分为脉冲调制雷达接收机、连续波

雷达接收机和调频雷达接收机。

(四)按雷达体制分,除脉冲制雷达接收机外,常见的有脉冲压缩制雷达接收机、单脉冲雷达接收机、圆锥扫描制雷达接收机和相控阵雷达接收机等。

(五)按用途分,主要分成警戒雷达和跟踪雷达两类,前者要求作用距离远,因而对接收机的灵敏度要求很高,但因对测距精度和鉴别能力要求不严,所以对波形失真的要求就很低。与此相反,自动跟踪雷达接收机则要求有很高的测距精度和鉴别能力,波形失真要尽量小。

本书将以脉冲调制的超外差式厘米波接收机为主要讨论对象,讨论接收机指标的选择,接收机各单元电路的原理和计算以及接收机的测试等。



## 第二章 信号与噪声

雷达站对雷达接收机提出的重要要求有二个：其一是为了增大雷达站的作用距离，要求接收机具有足够高的灵敏度，也就是说要求接收机在放大微弱的回波信号的同时，尽可能地降低接收机的内部噪声。其二是要有一定的通频带，使放大回波信号时，波形失真限制在允许的范围之内，从而保证雷达的测距精度。为了根据不同雷达的具体要求，抓住主要矛盾，合理选择接收机的技术指标，我们对雷达信号和接收机的内部噪声有必要进行较深入的分析。

### 2-1 信号分析

脉冲制雷达接收机中最常见的信号是：周期性的射频和中频脉冲以及经检波后的视频脉冲列。这些信号  $u(t)$  可按福里哀级数展开成如下形式：

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

也就是说，任何一个非正弦的周期信号可以分解为无穷多个谐波分量。这种谐波分析法与迭加原理配合使用，是研究非正弦信号通过线性系统时的常用工具。

(2-1)式中，系数  $a_0$ 、 $a_n$  和  $b_n$  可由下式分别求得：

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} u(t) dt \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} u(t) \cos n\Omega t dt \\ &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} u(\Omega t) \cos n\Omega t d(\Omega t) \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

$(n=0, 1, 2, \dots, \infty)$