

雷达接收设备原理

雷达接收设备原理

雷达教研室

中国人民解放军军械技术学院



中国人民解放军军械技术学院

雷达接收设备原理

中国人民解放军军械技术学院

编 者 杨长全

校 对 杨长全

印刷单位 军械技术学院印刷厂

出版时间 一九八四年七月

前 言

本书是根据我院雷达专业《雷达接收设备原理》课程教学大纲编写的。

全书共分七章，内容包括：概述、噪声和噪声系数、高频放大器、混频器、增益控制电路、自动频率控制电路及雷达抗干扰电路。由于学时和篇幅有限，贯常属于接收内容的中频放大器、检波器等章节未列入本书中。凡带有*号的内容非大纲所要求，可供学员课外参考。

本书的基本纲目由雷达教研室和高频原理组部分同志集体研究拟定的，内容的深广度力求达到：既要满足维修专业的实际需要，也要兼顾今后发展的要求。由杨长全同志担任具体内容的编写工作。编写时，着重阐述各种电路的工作原理、主要性能参数的分析及其在雷达中的应用，对于一些定量分析和公式推导则从简。

本书是在参阅有关书籍和资料的基础上，结合教学实践选编而成。注意了选材的系统性、完整性、概念清楚、深入浅出和循序渐进。初稿完成后，李太和、王心如、陈金华等同志分别仔细审阅了全部或部分原稿，并提出了不少宝贵意见。院绘图室绘制了全部插图，院印刷厂等单位也给予了大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

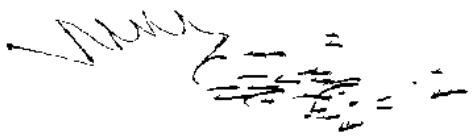
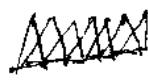
1984年2月



目 录

△重点
*难点

✓ 第一章 雷达接收机概述.....	(1)
§ 1-1 雷达接收机的基本功能.....	(1)
§ 1-2 雷达接收机的组成及各部分的作用.....	(2)
§ 1-3 雷达接收机的基本技术指标.....	(5)
复习思考题.....	(8)
本章小结.....	(8)
△* 第二章 噪声和噪声系数.....	(10)
§ 2-1 接收机中的干扰与噪声.....	(10)
一、什么是噪声.....	(10)
二、接收机中干扰的来源.....	(10)
三、噪声对雷达性能的影响.....	(11)
§ 2-2 电阻热噪声.....	(12)
一、电阻热噪声的由来.....	(12)
二、电阻热噪声的特性.....	(12)
三、电阻噪声的计算.....	(16)
*四、电阻的过剩噪声.....	(18)
§ 2-3 天线热噪声.....	(18)
一、天线热噪声是怎样产生的.....	(18)
二、天线热噪声的大小和特性.....	(18)
§ 2-4 晶体管的噪声.....	(19)
一、晶体管的主要噪声来源及其表示式.....	(19)
二、晶体管的噪声等效电路和噪声频率特性.....	(21)
§ 2-5 电子管的噪声.....	(23)
一、散弹噪声.....	(23)
二、分配噪声.....	(24)
三、栅极感应噪声.....	(24)
§ 2-6 噪声通过线性电路.....	(26)
一、噪声通过线性电路时功率频谱的变化.....	(27)
二、噪声等效通频带.....	(28)
*三、噪声通过线性电路的计算举例.....	(29)
§ 2-7 噪声系数与噪声温度.....	(30)
一、基本概念.....	(30)



二、噪声系数的定义和意义	(31)
*三、噪声系数的计算	(33)
四、用额定功率与额定功率增益表示噪声系数	(38)
五、噪声比	(40)
六、噪声温度	(40)
七、无源四端网络的噪声系数	(42)
§ 2-8 级联电路的噪声系数	(43)
一、级联电路的噪声系数	(43)
二、减小雷达接收机噪声系数的措施	(45)
§ 2-9 接收机的灵敏度	(47)
一、实际灵敏度	(47)
二、临界灵敏度	(50)
§ 2-10 噪声系数的测量	(52)
一、噪声系数的测量原理	(52)
*二、被测设备输出端功率的测读	(54)
三、用噪声发生器测量噪声系数	(55)
复习思考题	(61)
本章小结	(61)
★ 第三章 高频放大器	(63)
§ 3-1 概述	(63)
一、高频放大器的作用和要求	(63)
二、高频放大器的分类	(64)
*§ 3-2 低噪声行波管放大器	(66)
一、结构和功能	(67)
二、行波管放大器的工作原理	(68)
三、行波管放大器的工作特性	(73)
§ 3-3 参量放大器	(78)
一、概述	(78)
二、变容二极管	(79)
三、参量放大器的基本工作原理	(86)
四、双回路负阻式参量放大器的基本分析	(92)
*五、参量放大器的一般设计原则	(108)
*六、参量放大器的调整测试	(110)
§ 3-4 微波晶体管放大器	(113)
一、概述	(113)
二、微波晶体管	(115)
三、微波晶体管的S参数	(119)
四、微波晶体管放大器的功率增益	(122)

五、微波晶体管放大器的稳定性.....	(126)
六、微波晶体管放大器的噪声系数.....	(132)
*七、微波晶体管高频放大器的线路和设计.....	(138)
* § 3—5 电子管高频放大器.....	(144)
一、共阴极放大器.....	(145)
二、共栅极放大器.....	(146)
三、共阴共栅级联放大器.....	(147)
§ 3—6 天线收发开关.....	(149)
一、天线收发开关的作用和工作原理.....	(149)
二、气体放电器的结构和性能.....	(149)
三、用放电器构成的天线收发开关电路.....	(153)
四、用环流器构成的天线收发开关电路.....	(155)
复习思考题.....	(157)
本章小结.....	(158)
△ 第四章 混频器	(159)
§ 4—1 变频器概述.....	(159)
一、变频器的作用和组成.....	(159)
二、变频器的工作原理.....	(161)
三、对混频器的主要要求.....	(167)
§ 4—2 晶体二极管混频器的分析.....	(168)
一、传输特性.....	(168)
二、噪声特性.....	(177)
三、混频器工作状态的选择.....	(183)
*四、镜频回收与镜频抑制概念.....	(184)
§ 4—3 微波单端混频器.....	(188)
一、微波混频晶体二极管.....	(189)
二、微波单端混频器的结构.....	(196)
§ 4—4 微波晶体二极管平衡混频器.....	(201)
一、平衡混频器的作用.....	(201)
二、平衡混频器的工作原理.....	(202)
三、几种常用的平衡混频器介绍.....	(209)
§ 4—5 反射速调管振荡器.....	(222)
一、反射速调管的结构.....	(222)
二、反射速调管的工作原理.....	(224)
三、反射速调管的工作特性.....	(230)
四、反射速调管振荡器的调谐.....	(232)
§ 4—6 转移电子器件振荡器.....	(234)
一、转移电子器件的结构和特性.....	(235)

二、基本工作原理	(239)
*三、转移电子器件的振荡模式	(240)
四、转移电子振荡器的结构	(246)
五、转移电子振荡器的噪声	(251)
§ 4—7 混频器性能的测量	(253)
一、变频损耗的测量	(253)
二、噪声系数和噪声比的测量	(254)
三、输出电阻的测量	(256)
四、混频器信号输入端驻波系数的测量	(257)
五、本振—信号端口之间隔离度的测量	(258)
复习思考题	(259)
本章小结	(259)
第五章 增益控制电路	(261)
§ 5—1 概述	(261)
一、增益控制电路的作用	(261)
二、增益控制电路的分类	(262)
三、增益控制的实现方法	(263)
§ 5—2 手动增益控制 (MGC)	(266)
一、手动增益控制的一般设计原则	(266)
二、手动增益控制的线路举例	(269)
§ 5—3 自动增益控制 (AGC)	(270)
一、自动增益控制电路在跟踪雷达中的作用	(270)
二、自动增益控制的工作原理	(272)
三、自动增益控制系统的一般组成	(280)
四、对自动增益控制系统的要求	(281)
*五、自动增益控制系统的特性曲线	(283)
六、自动增益控制系统的线路实例	(284)
复习思考题	(286)
本章小结	(287)
第六章 自动频率控制电路	(288)
§ 6—1 概述	(288)
一、自动频率控制电路的作用	(288)
二、自动频率控制电路的分类	(289)
三、自动频率控制电路的基本原理	(291)
§ 6—2 误差信号产生器	(293)
一、鉴频器的质量指标	(294)
*二、相位鉴频器	(295)
三、参差调谐鉴频器	(296)

§ 6—3	AFC系统的一般组成及特性曲线	(303)
一、	AFC系统的一般组成	(303)
二、	AFC系统的特性曲线	(304)
§ 6—4	跟踪式自动频率控制系统	(308)
一、	AFC系统的平衡点和稳定过程	(308)
二、	剩余失谐 Δf_s 的确定	(309)
三、	平衡点稳定性的判别	(311)
四、	频率捕捉范围和频率保持范围	(312)
§ 6—5	搜索式自动频率控制系统	(314)
一、	频率搜索的必要性	(314)
二、	将跟踪式改为搜索式的方法	(315)
三、	用双基极二极管构成的控制设备	(318)
四、	线路举例	(327)
§ 6—6	自动频率控制系统的错误控制及其避免方法	(330)
一、	鉴频特性的极性不正确引起的错误控制	(330)
二、	本振镜像频率引起的错误控制	(331)
* 三、	放电管引起的错误控制	(332)
* 四、	谐波工作引起的错误控制	(333)
§ 6—7	自动频率控制系统的调整测试	(335)
一、	各级电路的调整测试	(335)
二、	开环测试	(336)
三、	闭环测试	(337)
	复习思考题	(340)
	本章小结	(340)
△ 第七章	雷达抗干扰电路	(342)
§ 7—1	雷达干扰与抗干扰的斗争	(342)
一、	雷达电子战概述	(342)
二、	雷达干扰的分类	(343)
三、	雷达抗干扰的一般方法	(346)
§ 7—2	抗过载电路	(348)
一、	过载现象及其危害	(348)
二、	瞬时自动增益控制电路	(351)
三、	近程增益控制电路	(353)
§ 7—3	双增益级对数中频放大器	(355)
一、	对数放大器的基本概念	(355)
二、	双增益级对数中频放大器构成对数特性的原理	(360)
三、	对数特性的指标分析	(364)
四、	双增益级对数中放的线路介绍	(367)

* 五、对数放大器的调整与测量	(368)
§ 7—4 “宽—限—窄”抗噪声调频干扰电路	(370)
一、噪声调频波干扰对雷达接收机的作用	(371)
二、“宽—限—窄”电路抗噪声调频波干扰的原理	(374)
三、“宽—限—窄”电路的参数选择	(376)
四、“宽—限—窄”电路的改善系数	(379)
五、“宽—限—窄”电路的线路实例	(380)
§ 7—5 频率捷变雷达	(380)
一、频率捷变雷达的优点	(382)
二、用旋转式磁控管实现频率捷变	(383)
三、具有频率合成器的频率捷变雷达	(396)
四、自适应频率捷变	(399)
§ 7—6 微波抗饱和电路	(400)
一、PIN二极管	(400)
二、PIN管电调衰减器	(405)
三、PIN管限幅器	(407)
复习思考题	(409)
本章小结	(409)
主要参考资料	(410)

第一章 雷达接收机概述

§1-1 雷达接收机的基本功能

雷达接收设备和其它无线电接收设备一样，它的作用是通过接收天线将空间的电磁波转换成接收机输入端的电压或电流，然后利用接收机将该射频电压或电流转换成具有雷达信息的信号，并送到终端设备进行信号处理。在信号处理过程中，回波信号的波形参数、频谱结构和能量关系，在接收机各功能单元中均产生相应的变化，最后为雷达各测量系统和控制系统提供包含目标信息的各种必须的信号。

接收机的形式虽然很多，用途很广，但要完成的基本功能主要有下列几点：

1、选择信号

众所周知，在现代空间中总是同时存在着各种各样的无线电波，其中有各种雷达、无线电设备和工业电器设备辐射的无线电波，还有宇宙空间各个天体产生的各种干扰等。而我们要接收的仅仅是其中之一，即所谓有用信号，其它所有的无线电波都称为干扰。所以接收机的重要任务之一，就是选择信号，抑制干扰。接收机选择信号抑制干扰的能力称为选择性。在接收机中这种选择信号抑制干扰的作用是利用固定调谐或可变调谐的谐振电路来实现频率选择的。

选择信号还有另外的一个意思，即所谓时间选择。在跟踪雷达中，通常只需对某一个目标进行自动跟踪，但当在同一方向上出现多批目标时，这些目标回波的载波频率均相同，但它们在到达接收机的时间上却有先有后，此时可以根据这些目标回波在时间上的差异进行时间选择，它是由选通电路来实现的（由时间上可以移动的选通波门进行控制）。

2、放大信号

因为天线上所接收到的回波信号通常是很微弱的，一般仅几微伏到几十微伏的范围，而终端设备要求几伏以上的电压才能正常工作，所以接收机应能把接收到的微弱信号放大到所需要的数值。这个放大信号的作用是由接收机中的各种放大器共同完成的。

3、变换信号

由于雷达接收机收到的信号是脉冲调制的射频信号，这些信号已不同于雷达发射机的调制信号，所以，不能直接将这些信号送到终端设备中去，而必须利用接收机中的非线性电路把射频已调波恢复成原来的调制信号才能显示出来。接收机中的这一过程称为“解调”，它是由检波器完成的。

应该指出，随着雷达发射机中的调制方式不同，接收机中相应的解调方式也随之不同。如发射机中采用频率调制，那么接收机中必须相应地采用频率检波器。

4、抑制干扰

我们知道，任何雷达在使用过程中总会或多或少地遇到各种自然的或人为的干扰。这些

干扰妨碍我们对目标的正常观测，或造成错误的判断，严重时甚至会完全破坏接收机的正常工作。为此，一部性能良好的雷达必须具备良好的抗干扰性能。

§ 1—2 雷达接收机的组成及各部分的作用

目前，雷达接收机大都采用超外差式电路，它是在检波视放式和高放检波式接收机的基础上逐渐发展改进而成的。

检波视放式接收机组成方框图如图1—1所示。来自天线的高频信号直接由晶体检波器检

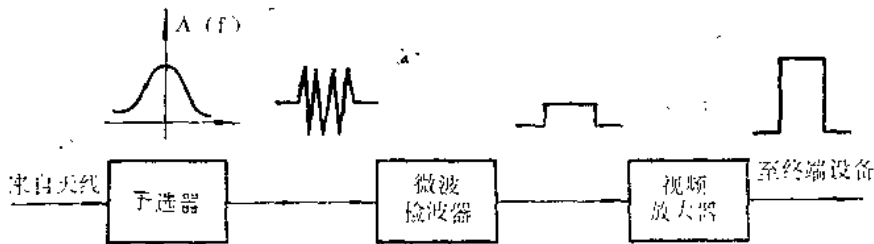


图1—1 检波视放式接收机的组成方框图

波，再经过视频放大后输出。这种接收机由于没有高频放大，所以灵敏度很低，选择性也很差。为了克服这些缺点，在晶体检波器之前可用高频放大器对高频信号进行预先放大，然后再送到检波器进行检波，这样灵敏度和选择性都可以得到提高。人们将这种接收机称为高放检波式接收机或直放式接收机，它的组成方框图如图1—2所示。但是这种高放检波式接收机仍

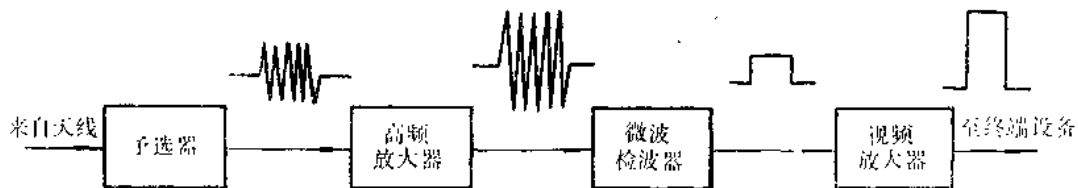


图1—2 高放检波式接收机的组成方框图

具有严重的缺点。首先，若把回波信号从几微伏放大到几伏以上，放大倍数至少需要 10^6 倍。直接放大这样的高频信号不可能得到那样高的增益，这是由于放大器本身的放大能力随频率的升高而显著地减小，同时分布电容的分路作用，引线电感的影响也都变得十分突出，因此导致高频放大器的增益严重地下降；其次在高频进行放大很容易发生自激振荡，工作很不稳定。另外频率越高，谐振回路的Q值越低，谐振曲线不能做得很尖锐，所以选择性仍然较差，而且当发射机的频率改变时，所有的谐振回路必须同步调谐，特别是当级数较多时将使调谐机构变得十分复杂。

为了克服上述缺点，当今的接收机几乎都毫无例外地采用超外差式接收机。超外差式接

收机区别于其它型式接收机的主要特征，就是在电路组成上具有变频器（包括混频器和本机振荡器）与中频放大器，其基本组成方框图如图1—3所示。各部分的作用简述如下：

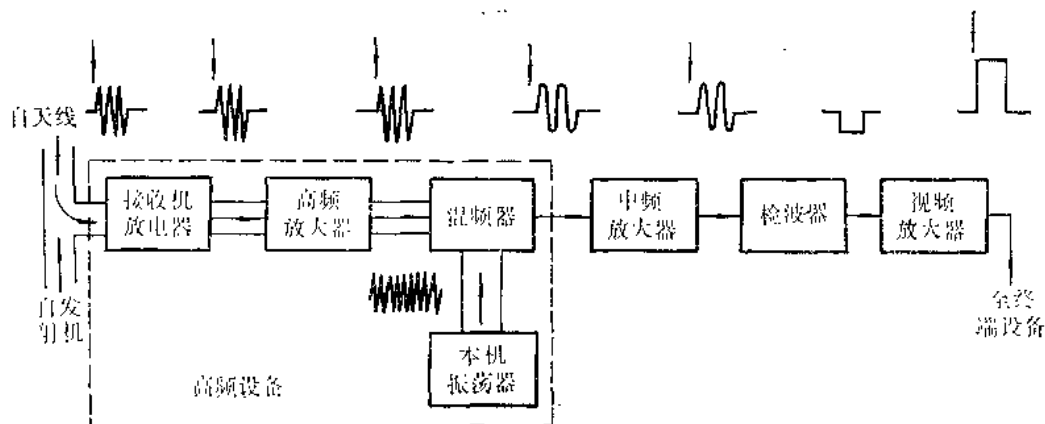


图1—3 超外差式雷达接收机的一般方框图

接收机放电器（亦称收发开关）对雷达的工作来说是十分重要的。通常雷达发射机和接收机共用一套天线馈线系统，当发射机工作时，让发射脉冲顺利地通过天线，与此同时发射机产生的强大能量自动切断接收机支路，否则发射时漏过来的搜索脉冲功率将使接收机各级严重地、长期地过载（或阻塞），因而妨碍对近距离目标回波的接收，如果漏过来的功率很大，还会直接损坏接收机元件（不到一瓦的功率就足以使混频晶体损坏或质量显著变坏）。另一方面，在接收时，只让微弱的射频回波信号顺利地进入接收机而切断发射机支路，不然的话就有一部分回波功率漏到发射机去，使接收机的灵敏度降低。长期以来使用的收发开关是气体放电器件，目前已能用铁氧体环流器与半导体功率限幅器相组合做成固体化的收发开关。

回波信号和干扰经天线收发开关送到输入电路，由于接收机放电器和输入电路中都含有谐振回路，具有频率选择作用，因此它们能来自天线的各种信号中选出回波信号，并尽可能地抑制干扰和噪声。所以输入电路的设计和调整都是以获得最大的信号噪声比为目的。

高频放大器将微弱的高频回波信号放大到一定程度，以起到降低接收机噪声系数，提高接收机灵敏度的作用，但它自身必须是低噪声的微波放大器。在变频器之前是否采用高频放大器，唯一的要看高频放大器能否提高接收机的灵敏度。

变频器由混频器和本机振荡器组成。它的作用是将回波信号的频率降低为固定的中频，同时保持信号的调制特性和形状不变。因为放大频率较低的中频信号较之放大频率很高的高频信号容易得多。混频器是一个非线性电路。在这里，高频脉冲信号与来自本机振荡器的等幅高频信号发生混频作用。混频器的输出是这两个高频信号频率之差的中频信号。

中频放大器是把变频后的中频信号电压充分放大后，送到检波器。中频放大器是含有谐振电路的多级放大器，一般有5~9级，总放大倍数可达数十万倍，接收机的放大任务主要由中频放大器完成。在微波雷达接收机中，由于有的中频离开混频器距离较远，而所用的中频频率又相当高（如30MHz），为了减小在连接电缆中信号的损失，不使信噪比变坏，在混频器近旁先使用前置中频放大器（2~4级）将中频信号放大到一定程度后再用电缆送出。

检波器也是一个非线性电路，它具有“解调”作用，以获取中频脉冲信号的包络，即把中频信号还原成原来的调制脉冲波形。

视频放大器是把检波后的视频脉冲信号放大到所需要的程度，以便送到显示器观察。

不同波段和不同用途的雷达接收机，都是以上面各部分为基础组成的。但为了保证接收机的正常工作，使它具有完善的性能，通常接收机还有几种辅助性电路——手动增益控制电路、自动增益控制电路、自动频率控制电路和各种抗干扰电路等。一般来说，米波警戒雷达接收机的组成同图1—3所示方框图没有什么大的差别，而厘米波瞄准雷达接收机则需要增加自动频率微调电路和自动跟踪电路，其组成方框图如图1—4所示。

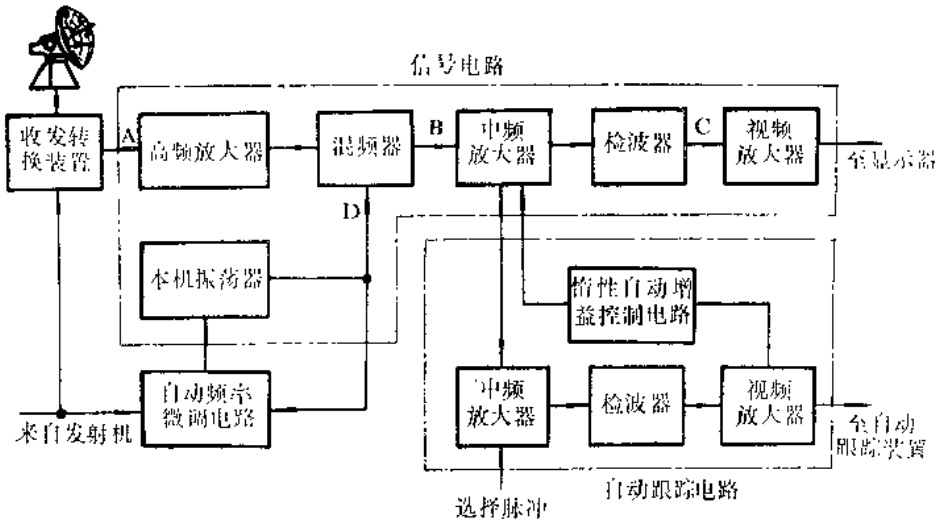


图 1—4 厘米波瞄准雷达接收机方框图

厘米波雷达接收机信号电路的组成部分同米波雷达接收机的基本相同，区别只是因为厘米波波段，一般的静电控制高频电子管已不可能用来进行放大、振荡及混频，所以它的高频部分采用行波管放大器或参量放大器等，本机振荡器普遍用反射速调管或微波晶体管作成，而混频器则由微波晶体二极管担任。

自动频率微调电路的作用，是保证在发射机或本机振荡器的振荡频率发生变化时，混频器输出的中频信号的频率仍能保持不变。比如，若发射机的振荡频率下降，该电路就控制本机振荡器的振荡频率使之作相应地下降，因此两个频率的差值（中频）可以保持不变；反之亦然。

自动跟踪电路由中频放大器、检波器、视频放大器以及惰性自动增益控制电路组成。在选择脉冲的控制下，视频放大器只输出选定的目标回波，一路送到自动跟踪装置，用以控制天线对该目标进行自动跟踪；另一路送到惰性自动增益控制电路，用来控制中频放大器的增益，以保证自动跟踪装置稳定地工作。

此外，在雷达接收机中，根据实际需要，还可能其它的附属电路，如有的接收机中增加了动目标接收系统，它由相参电路和对消电路两大部分组成，是为了消除地物回波等消极干扰以改善雷达的低空探测性能而专门设置的。

§ 1—3 雷达接收机的基本技术指标

为了衡量接收机性能的优劣，人们规定了许多技术参数作为接收机在电性能、工艺结构、体积重量等方面的质量指标，下面仅介绍几个主要的电性能指标。

1、灵敏度

灵敏度表示接收机接收微弱信号的能力。接收机接收微弱信号的能力越强（即能接收的信号越微弱），则接收机的灵敏度越高，雷达的作用距离就越远。

雷达接收机的灵敏度，通常是用保证接收机的终端设备能正常接收时，接收机输入端所需的最小可辨信号功率（ $P_{s, \min}$ ）或天线上所需的最小感应电动势（ $E_{s, \min}$ ）来表示的。

这里需要解释两个问题：①“最小可辨”的含意是什么？②限制接收机灵敏度的根本因素在哪里？

我们知道，接收机在接收回波信号的同时，不可避免地会受到外部噪声和接收机内部噪声的干扰。回波信号和噪声在接收机中一同放大，最后在显示器的荧光屏上显示出来，如图 1—5 所示。可见，信号是在噪声的背景中检测的。这种在显示器上看到的犹如“茅草”般的噪声，是一种杂乱起伏的电压或电流，占有极宽的频带，并且其能量在频带范围内是均匀分布的，因此，对于任何波段的接收机来说，其影响都是不可避免的。由此看来，在噪声中检测信号，信号功率不能太小，否则信号将被噪声淹没以致无法辨认出来。我们通常用信号与噪声功率的比值来衡量噪声对信号检测的影响程度。如果接收机输出端的信噪比达到某一数值，接收机就能正常接收并刚能识别出该信号，这时天线输送给接收机的信号功率 $P_{s, \min}$ ，就是接收机的灵敏度。如果信号功率低于此值，该信号就不能被辨别出来，所以 $P_{s, \min}$ 即为最小可辨信号功率。

从原则上讲，如果没有噪声的干扰，那么无论目标距离多么远，回波信号怎样微弱，我们总可以用提高接收机增益的方法，将微弱信号放大到可以辨别的程度。在噪声电平比较低时，加大接收机的增益能使接收机灵敏度提高；但当噪声电平与输入信号电平相近时，无限制地加大接收机的增益对提高灵敏度将无济于事，这是因为噪声与信号同样地被放大，使信号仍然淹没在噪声之中而不能被辨别出来。由此看来，接收机灵敏度的极限值受噪声电平所限制。要提高接收机的灵敏度，就必须尽量减小噪声电平，同时还要有足够高的增益。雷达工作于超高频波段，外部干扰影响较小，因此尽量减小接收机的内部噪声是提高雷达接收机灵敏度的关键。雷达接收机通常采取了很多措施来减小内部噪声的影响，例如采用低噪声混频器和前置中频放大器，尽量缩短高频馈线的长度等；特别是当雷达接收机采用了低噪声高频放大器（如参量放大器）后，接收机的灵敏度可以明显地得到提高。

目前，超外差式雷达接收机的灵敏度一般是 $12^{-12} \sim 10^{-14} W$ ，保证得到这样高的灵敏度所需要的接收机增益—

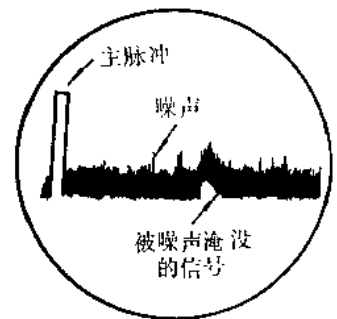


图 1—5 显示器上所看到的信号与噪声

一般是120~160dB（即 $10^8 \sim 10^9$ 倍），这么高的增益主要是由中频放大器来实现的。

需要指出的是，灵敏度的数值是由接收机输出端信噪比确定的。需要多大的信噪比，就能辨别或检测信号，将因终端设备不同而异，同时还与雷达的许多参数有关。为此，人们有时用接收机的噪声系数（或噪声温度）来直接衡量内部噪声的大小及其影响程度。当接收机噪声系数及输出端的信噪比给定后，接收机的灵敏度也就确定了。关于这个问题，将在第二章里讨论。

2、选择性

选择性表示接收机选择所需信号而抑制邻频干扰的能力。雷达接收机必须能在一定的频率范围内接收目标反射的信号，而尽量不接收其它频率的信号。如图1-6所示，若接收机高、中频部分的通频带 B_{RI} 越窄或谐振曲线趋于矩形，则在接收所需信号的同时所收到的邻频干扰就越小，选择性就越好。通常，选择用“矩形系数”来衡量，它表示接收机（或放大器）的谐振曲线接近矩形的程度。

厘米波雷达接收机所遇到的邻频干扰较少，一般对选择性要求不高。但当在同一区域的雷达数目较多（例如在舰船、基地、靶场等地），且频率比较接近时，对选择性这一技术指标就应予以重视。

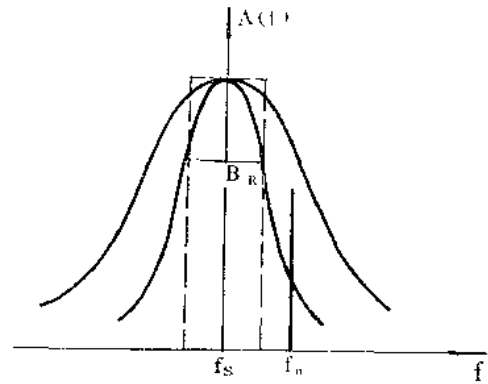


图1-6 选择性 $\bar{}$ 与通频带的关系

3、波形失真

波形失真表示接收机的输出信号波形对其输入的高频信号包络波形的失真程度。

雷达接收机的高频脉冲波形及其能量频谱与视频脉冲波形及其能量频谱如图1-7所示。

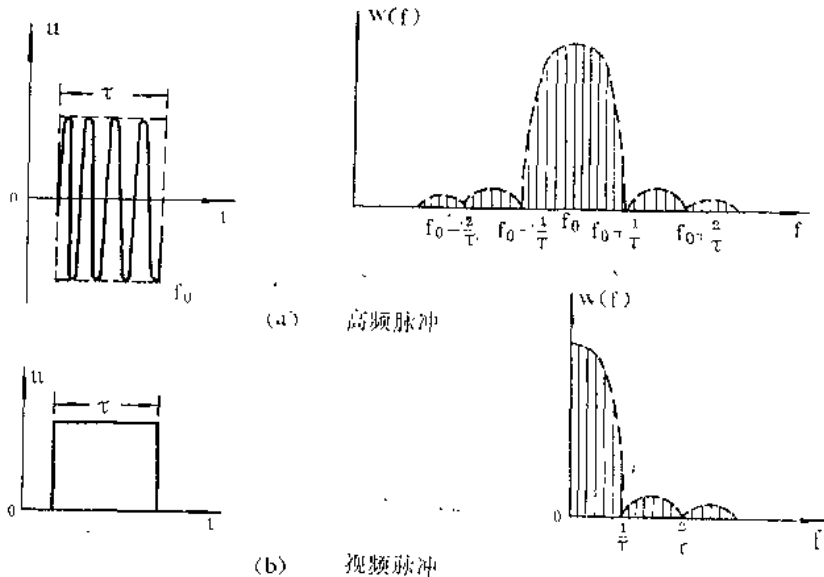


图1-7 脉冲波形及其频谱

由频谱分析可知：一个矩形脉冲调制的高频脉冲，其能量频谱是分布在频率从 $0 \sim \infty$ 的区间，但其绝大部分（将近90%）是集中在载频 f_0 附近、宽度为 $2/\tau$ 的频域内。同理，一个矩形视频脉冲的能量频谱也是分布在频率从 $0 \sim \infty$ 的区间，但其绝大部分（将近90%）是集中在零频附近、宽度为 $1/\tau$ 的频域内。

如果雷达接收机的通频带无限宽，能使所有的频率分量都能通过，那么就不会产生波形失真。但实际上，接收机的通频带是不能无限宽的。因此就会使一部分边频能量不能通过，接收机的输出波形就会产生失真，如图1—8所示。

波形失真的表现及危害如下：

(1) 脉冲前沿不再陡直，上升时间 t_r 增大。 这样就不能精确地测出回波脉冲与搜索脉冲之间的时间差值，使测距精度降低。

(2) 脉冲后沿不再陡直，下降时间 t_f 增大。 这样就会使雷达对相距很近的两个目标的距离鉴别率降低。如图1—9所示。

(3) 脉冲顶部发生顶部降落 Δ ，并出现正向肩峰；脉冲尾部也出现反向肩峰。 这样就可能会使接收机发生过载，因而会丢失目标。

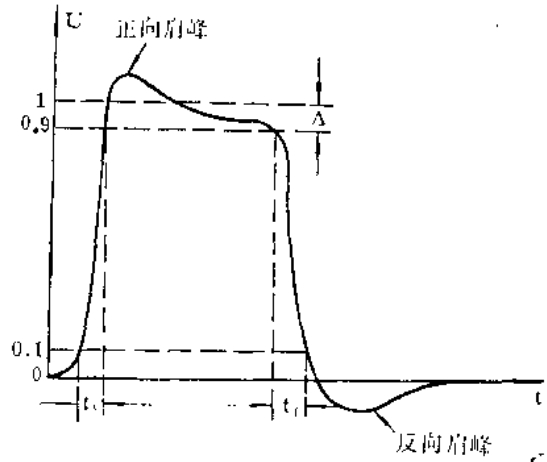


图1—8 接收机输出波形的失真

当脉冲宽度 τ 一定时，要波形失真小，接收机的通频带就要宽。但是通频带太宽时会使得通过的噪声增加，从而使接收机的灵敏度降低，因此应该根据雷达的不同用途来确定接收机的通频带。

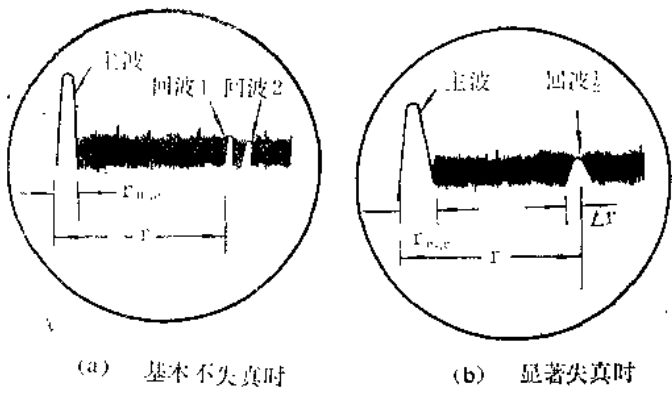


图1—9 波形失真对测距精度和距离分辨率的影响

4、工作稳定性

接收机要能可靠地正常工作，就必须具有良好的工作稳定性，这就是要：

(1) 接收机不应自激。中频放大器的增益很高，最容易发生自激而破坏接收机的正常工作，因此尤需要加以注意；

(2) 在使用过程中，接收机的参数（例如增益、通频带等）会因电源电压和环境温度的变化而变化，但不应变到允许范围之外；

(3) 当发射机频率有漂移时，接收机应仍能正常工作。为此，在接收机中通常要有自动频率控制电路。

5、抗干扰性

抗干扰性表示接收机抗干扰的能力。这些干扰可能来自：目标附近物体的反射回波；其它雷达的搜索脉冲和反射信号；敌人干扰机施放的干扰。在未来的反侵略的战斗中，雷达的干扰与抗干扰斗争是十分激烈的。如果抗干扰能力低，则雷达接收机的正常工作会遭到破坏，甚至会使雷达机完全失去作用。因此要求雷达接收机的抗干扰性要好，这就需要在雷达接收机中增加各种抗干扰电路。

6、动态范围

接收机正常工作时，如果输入信号增大，其输出信号也会随之增大。但当接收机的输入信号大到某一电平时，其输出信号就会不再随之增大，反而会随之减小，接收机会暂时停止工作，这是由于强信号使放大器工作于饱和状态，失去了放大作用，这种现象称为“过载”。当接收机刚发生过载时，输入信号电平与最小可辨信号电平的比值称为接收机的“动态范围”。

由于雷达目标有大、有小，有远、有近，因此回波信号强度的变化范围是很大的，接收机应该保证对强、弱信号都能正常地接收，也就是说，接收机的动态范围要大。为要得到大的动态范围，需要在雷达接收机中采用一些抗过载的措施和电路，例如采用对数放大器的抗过载电路。

7、恢复时间

当接收机发生过载以后，即使其输入信号电平恢复到正常数值，接收机也不会立即恢复正常工作，而是需要经过一段时间之后才能恢复到正常工作，这段时间称为接收机的“恢复时间”。要接收紧随在强信号之后的微弱信号，就要求接收机的恢复时间很短。

当发射机发射信号时，漏入到接收机中的能量也会使接收机暂时停止工作，为了能接收近距离的目标回波，也要求恢复时间短，使搜索脉冲过后接收机就能很快地恢复到正常工作。

除了上述主要技术指标以外，对雷达接收机还有其它的一些要求，如体积小、重量轻、造价和用电经济、结构坚固可靠、使用和维修简便，能适应各种气候环境等等。这些要求也是很重要的，在某种条件下甚至是更重要的。但是，对于任何雷达接收机来说，实际上不可能也没有必要面面俱到，必须根据雷达的具体任务，着重满足其中重要的，有决定意义的一些要求，适当兼顾其它方面的要求。例如：对于警戒和引导雷达来说，提高灵敏度是个重要问题；对于炮瞄雷达来说，减小波形失真比提高灵敏度更为重要；舰船上的雷达接收机要求防潮、防震，防盐雾；而对于飞机上的雷达接收机对防震、体积重量的要求也极为重要。

复习思考题

- 〔1—1〕 试画出图1—4中A、B、C、D各点的频谱图。
- 〔1—2〕 在超外差式接收机中的混频器有何作用？
- 〔1—3〕 是否接收机的放大量越大，接收机的灵敏度就越高？

本章小结

雷达接收机的基本任务和作用是：用谐振回路选择出所需信号，用高频放大器、中