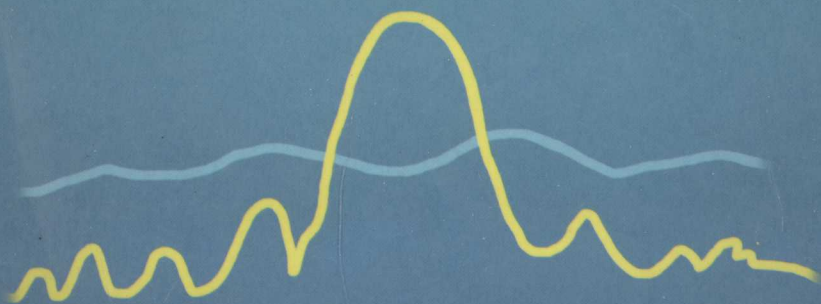


雷达侦察接收机设计

Design for Radar Reconnaissance Receivers

胡来招 著



国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

雷达侦察接收机设计/胡来招著. —北京:国防工业出版社, 2000. 1

ISBN 7-118-02085-0

I. 雷… II. 胡… III. 雷达侦察-侦察接收机-设计
IV. TN971

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 12106 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 ½ 161 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—1500 册 定价:14.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

献 给

费心教育过我的老师们
和正在电子对抗领域内
奋斗的同事们

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就，积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下，国防科工委率先设立出版基金，扶持出版科技图书，这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物，是对出版工作的一项改革。因而，评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进，这样，才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授，以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来，为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗！

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模			
主任委员	黄宁			
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允	曾铎
秘书长	崔士义			
委员	于景元	王小谟	尤子平	冯允成
(以姓氏笔划为序)	刘仁	朱森元	朵英贤	宋家树
	杨星豪	吴有生	何庆芝	何国伟
	何新贵	张立同	张汝果	张均武
	张涵信	陈火旺	范学虹	柯有安
	侯正明	莫梧生	崔尔杰	

自序

电子对抗作为一门新兴的学科和工程技术,已经日益被人们所了解,并且越来越被人们重视。在我们可爱的祖国这一事业也有了40多年的历史,许许多多的教师和工程技术人员们为这一事业做了不懈的以至终身的努力,使电子对抗在我国也已成为一个独树一帜、发展迅猛的学科,相应的设备和专门技术已经有了很多种,越来越多的人在这一领域内学习、研究、创造。不少电子对抗的专家们已经写出了一些本专业的书籍,不少研究所和工厂编发了电子对抗的专门刊物,为后来者提供了很多方便。但是总的说来,我们在这一领域内的知识结晶和普及教育还不多,每当我看到外文书刊时总是想我们自己应多写一点。我的这本书正是想在电子对抗技术范畴内再给中国人增加一点我们自己总结的东西。

我写这本书的初衷并没有想把电子对抗雷达侦察接收机的一切都写进去,也没想把它写成一本系统的、完整的教科书,只是想把自己工作的经验总结一下,把对搞工程的人有用的东西较为清楚地理一下,便于工程师们参考。但就是写这样一本书似乎也不容易,多年的经验好像总使我们习惯把理论与工程分割开;起码在15年以前我就想着做一下,就是在7年前真的着手开始时,也没有想到它会拖这么久,工程的具体事务总是把写书挤到一旁去了,而且多年以前写的一些东西后来一看又觉得不怎么合适了。写这本书的难处还在于书的内容并不局限于编纂,书中不少观点是自己近期的见解。希望本书的内容能满足读者在工程设计上的需求,包括那些可能是我首次在本书中提出来的新的技术观点。

当这本书还没有写完的时候,我就发现必须对书的篇幅作适当的折衷,如果想把全书写成工程师们既拿来就可用,又有具体的

推导,很容易理解,那么它的篇幅就太长了。所以我不得不割爱压缩。好在有了一个纲,再增加或减少一些内容似乎要容易一点了。有些专业内容是以前有过深刻的论述的,比如说接收机切线灵敏度的计算,有些内容在其他的专著上有更详细的介绍,比如某些测向算法在我1996年发表的《测向定位文集》中有更为具体的技术性论述。还有一些我将计划在以后陆续写出,比如采用三相鉴频器的新瞬时测频接收机的原理和设计,数字接收机的测频原理和算法等,希望在最近的将来这些更为具体的设计原理书籍能同正处在工程实践过程中的同行们见面。

写这本书也为了消除对电子对抗专门技术的神秘感。正是由于缺乏系统的参考书,我们往往把电子对抗专门技术看成一种很神秘的技术,但是当我们把它写下来的时候,就不难发现它决不比其他任何专门技术更特殊,很多思维的方式是同样的直接和顺理。但愿读者们在看的过程中能够容易地接受书中的方法,尽管由于我整理问题的习惯方式,当认为问题已经在理论和实践上清楚时,都将尽量简单、近乎压缩地进行描述,以至很多地方可能远远不够细致、具体。

能够写成这本书,首先要感谢那些曾经教育、指导过我的各式各样的老师们(甚至有的人还没有正式被称为老师)。正是他们以自己的心血和精力,培养和扶植了他人,重大科技的成就需要几代人的努力,最后在某个具体的个人身上体现出来。能够写成这本书,还要感谢曾经和正在我国电子对抗领域内工作的各位同事们,正是这样一个群体,创造了我工作的环境,给了我写书的源泉和动力。正如我在本书的封页上所写的语句那样,我想把本书献给那些教育过我的老师们和正在电子对抗领域内奋斗的同事们,借以报答为技术进步作出贡献的同仁们。

胡来招

AUTHOR

Dr. HuLaizhao, was born in 1945, originally graduated from the Harbin Military Engineering College in 1967, and got his doctor degree in electrical engineering from the University of Notre Dame in 1986. He is a researcher full of new ideas and has rich experience doing research in radar reconnaissance receivers and systems. He is active in system integrating, advising engineering research for special equipment and has published many papers in the field of wide band frequency measurement, direction finding, passive locating, ESM signal processing. One of the result of his many years' research is his books, one book named Collections of Direction Finding and Passive Locating has presented to the readers before this book and another book titled Instantaneous Frequency Measurement is going to be published in the near future.

目 录

第一章 概述	1
第一节 概论	1
第二节 雷达侦察对象简析	7
第二章 雷达侦察接收机的指标	13
第一节 接收机灵敏度	13
第二节 接收机动态范围	18
第三节 信号截获概率	20
第四节 信号通过时间和测量时间	22
第五节 测频精度	24
第六节 频率分辨率	26
第七节 测向精度	27
第八节 方位分辨率	29
第九节 参数测量精度	29
第十节 对信号的描述	32
第十一节 其他	35
第三章 雷达侦察接收机的基础设计	37
第一节 接收机的灵敏度	37
第二节 接收机增益的分配	43
第三节 对数放大器	47
第四节 信号截获概率估算	52
第四章 信号频率的测量	55
第一节 测频体制概论	55
第二节 外差式接收机	60
第三节 信道化接收机	69

第四节	鉴频接收机	76
第五节	瞬时测频接收机	82
第六节	数字接收机测频	99
第五章	信号方位的测量	105
第一节	测向体制概论	105
第二节	搜索式测向	111
第三节	比幅法测向	116
第四节	比相法测向	125
第五节	时差法测向	135
第六节	数字接收机测向	141
第六章	信号参数的测量和变换	147
第一节	信号参数的分类和描述	147
第二节	脉冲串时间特性的测量和变换	151
第三节	脉冲群特性的测量和提取	158
第四节	单脉冲特性的测量和提取	160
第五节	信号分选概述	164
第七章	侦察接收机的模拟	170
第一节	接收机工作状态的模拟	170
第二节	接收机输出信息的模拟	177
第三节	雷达信号环境的模拟	186

Contents

Chapter One	Introduction	1
Section One	Introduction	1
Section Two	Objects of Radar Reconnaissance	7
Chapter Two	Specifications for Radar Reconnaissance	
	Receivers	13
Section One	Receiver Sensitivity	13
Section Two	Receiver Dynamic Range	18
Section Three	Signal Interception Probability	20
Section Four	Passing Time and Measuring Time ...	22
Section Five	Accuracy of Frequency Measurement	24
Section Six	Resolution of Frequency Measurement	26
Section Seven	Accuracy of Direction Finding	27
Section Eight	Resolution of Direction Finding	29
Section Nine	Accuracy of Signal Parameters Measurement	29
Section Ten	Description for Received Signals	32
Section Eleven	Others	35
Chapter Three	Design Basic for Radar Reconnaissance	
	Receivers	37
Section One	Receiver Sensitivity	37
Section Two	Gain Allocation in A Receiver	43

Section Three	Logarithm Amplifiers	47
Section Four	Signal Interception Probability	52
Chapter Four	Frequency Measurement	55
Section One	Frequency Measurement Architectures	55
Section Two	Superhetrodyne Receivers	60
Section Three	Channelized Receivers	69
Section Four	Frequency Discrimination Receivers	76
Section Five	Instantaneous Frequency Measurement Receivers	82
Section Six	Digital Receivers for Frequency Measurement	99
Chapter Five	Direction Finding	105
Section One	Direction Finding Architecture	105
Section Two	Scanning Direction Finding	111
Section Three	Amplitude Comparison	116
Section Four	Phase Comparison	125
Section Five	Time Difference Systems	135
Section Six	Digital Receivers for Direction Finding	141
Chapter Six	Measurement And Transformation for Signal Parameters	147
Section One	Category And Description of Signal Parameters	147
Section Two	Time Characteristics of Pulse Series	151
Section Three	Characteristics of A Group of Pulses	158
Section Four	Characteristics of One Pulse	160

Section Five	Brief to Signal Deinterleaving	164
Chapter Seven	Simulation for Reconnaissance	
	Receivers	170
Section One	Simulation for Receiver Working	
	Status	170
Section Two	Simulation for Receiver Output	
	Information	177
Section Three	Simulation for Signal	
	Environment	186

第一章 概 述

第一节 概 论

电子对抗是敌对双方利用电磁频谱,即在可利用的电磁波频率范围内的信号和武器装备争取战争胜利的对抗行动。早在第二次世界大战期间,电子对抗就已经在实战中发挥作用,近几年的局部战争,特别是1991年的海湾战争充分地说明了电子对抗在现代战争中具有特殊的重要意义。对于电子对抗在现代战争中的作用,有人总结说电子对抗是军事力量的倍增器,其意义就在于如果某一方在电子对抗上取得了成功,就等价于增加了本方的其他军事力量,当然反过来说,如果某一方在电子对抗上失败,就等价于缩小了本方的其他军事力量;也有人总结说谁掌握了电磁频谱的主动权,谁就掌握了整个战争的主动权,可以说更强调了电子对抗的重要性。

正由于电子对抗在现代战争中的重要性,电子对抗技术作为一门新的学科正在迅速成长。作为电子技术的一个分支,它一方面继承了整个电子技术领域内的一切基础技术和成果,另一方面,它又有其自身独有的技术特色,我们不得不用和发展它自身的专门技术。敌对双方利用电磁频谱主要的不外乎接收和发射电磁频谱,这样,电子对抗的主流技术也就不外乎接收和发射,我们不妨把它归纳为侦察和干扰。电子侦察的主体部分就是接收,本书仅论述雷达侦察接收机工程设计的若干主要技术,当然,在干扰设备中也将用到侦察接收机,在通信或其他范畴内的对抗中也可参考雷达对抗的某些技术。

一方面,雷达侦察接收机是一种电子接收机,因此一般的通用的接收机的理论均适用于它;另一方面,下面的论述又点明了它完全不同于一般的接收机,本书相当部分的内容正是根据电子对抗接收机的专有特点展开的。接收机是用来接收信息的,无论是通信、雷达还是导航,尽管接收方不知道要接收的信息是什么,比如通信的消息、目标回波到达的时间和强度、导航台或本机的坐标等,但都知道这个信息将以什么方式从另一个端口发送出来,因此接收机的设计是有明确的针对性的。与所有其他的接收机都不相同,电子对抗接收机要接收的电磁信号是敌对方发送的,对方不但不希望自己发送的信息被另一方截获,甚至连在什么时间、从什么地点、以什么方式发射都不希望被另一方了解,用一句话来概括,电子对抗接收机要接收事先什么都不知道的信息。

常规的接收机工作的一个特点是一般都知道被接收的信号的载频,也就是说,接收机的接收频率是可以事先(或者以毫秒量级实时地)调谐好的(或固定的);而电子对抗接收机则不同,被接收的信号的载频本身就是侦察的内容之一,什么频率都要接收,有时甚至要能同时接收,这是电子对抗接收机的第一个特点;这个特点可以通俗地被叫做频率宽开。常规的接收机工作时往往知道被接收的辐射源(或反射体)在什么方位上,或者对信号的方位不感兴趣;电子对抗接收机不知道信号的方位而又需要测出信号的方位;这个特点可以通俗地被叫做方位宽开。类似地,电子对抗接收机不能限定信号的参数,而又想获取信号的参数,可以说它在这一点上也是宽开的。总起来讲,既然电子对抗接收机想要接收我们事先不了解的信号,宽开就成了它的一个最大的特色。

宽开的接收机在工程实现和制作上的难度大大超出了人们最初的估计。人们首先遇到的难处是用于接收机的各种元部件至少应该能在宽频带范围内工作,这方面的技术确实成为发展电子战接收机的奠基性的技术;经过一代人的努力,这个问题得到了不同程度的解决,现在,前沿的问题是向更宽的带宽(频带宽度)和更高的频率发展。但是,甚至在这个基本问题还没有得到初步解决时,

更令人头痛的问题已经提到议事日程上来了,那就是信号环境的复杂和密集。雷达为了自身性能的提高,有了十分明显的发展,这种发展虽然不是针对雷达侦察而来的,但是雷达信号的复杂程度却在二三十年的时间内有了巨大的变化。在积累了若干次电子战争的经验之后,雷达应具有一定的反对抗性已经成为设计雷达的一条必不可少的考虑,这方面部分是直接针对雷达侦察的,使雷达侦察的难度再度升高。随着雷达在近代被日益广泛的应用,雷达侦察所面临的信号环境密度迅速增加,早在10年前,一部雷达侦察接收机所面临的信号环境密度已经高达每秒100万个脉冲。在这种情况下,雷达侦察接收机是否还一定需要宽开就成了一个疑问。正如有人归纳时所说,设计一个好的雷达侦察接收机在于恰到好处地折衷,当我们不可能使接收机在每一项要求上都成为最佳时,设计师的任务就在于作出合理的判断,损失某些项的性能而使另外某些项不至于太差。当然,在工程实现时,人们往往采用另一种办法来使接收机的性能相对地完善,那就是并行地使用几种不同类型的接收机,其中一种接收机的长处可以弥补另一种接收机的短处。电子战接收机虽然起源于宽开,但发展到今天,一个好的电子战接收机不一定必须是宽开接收机,人们应该接受这样一种概念。

接收机技术的发展很迅猛,其中最有特色、在今后最可能改变接收机面貌的应该属数字接收技术的应用。数字接收机是对偶于模拟接收机而言的,但是早几年的接收机已经有相当一部分的数字信息输出,所以数字与模拟两者之间的界限并不那么分明。纯数字接收机似乎可以理解为从天线收到信号就把它数字化,然后送去作处理的接收机;由于大部分雷达都在较高的频率上工作,这就意味着雷达侦察接收机应当是微波数字接收机。即使我们现在手头可用的器件允许我们直接采用这样的方式来设计接收机,对高速采样获得的大量数据目前还无法在工程意义上作出哪怕仅仅是准实时的处理,特别在电子对抗领域内是这样。于是,合理地采用数字技术、尽可能巧妙地组合目前技术上可达到的部件也就成了