

国防电子信息技术丛书

Mc
Graw
Hill

Introduction to Radar Systems, Third Edition

雷达系统导论

(第三版)(英文版)

[美] Merrill I. Skolnik 著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

<http://www.phei.com.cn>

内 容 简 介

《雷达系统导论》(第三版)共分11章,主要内容包括雷达基本原理和方程,现代雷达技术体制,动目标指示和多普勒雷达技术,跟踪雷达技术,噪声中信号检测技术,雷达信号的信息提取技术,雷达杂波特性,雷达波传播特点等,并详细介绍了雷达天线、雷达发射机和雷达接收机等分系统技术。本书系统覆盖了现代雷达的理论与技术,内容系统而又完整。每章后都附有大量习题及参考文献,便于读者进一步学习和研究。

本书可作为高等院校电子工程专业的高年级本科生和研究生参考教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

Merrill I. Skolnik: **Introduction to Radar Systems, Third Edition.** ISBN 0-07-118189-X

Copyright © 2001 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Authorized English language reprint edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2007. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书英文影印版由电子工业出版社和美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司合作出版。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2007-2488

图书在版编目(CIP)数据

雷达系统导论:第3版:英文/(美)斯科尼克(Skolnik, M. I.)著. —北京:电子工业出版社, 2007.6
(国防电子信息技术丛书)

书名原文: Introduction to Radar Systems, Third Edition

ISBN 978-7-121-04207-2

I. 雷... II. 斯... III. 雷达—英文 IV. TN95

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第048129号

责任编辑:史 平

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×980 1/16 印张:49.25 字数:1103千字

印 次:2007年6月第1次印刷

定 价:89.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

国防电子信息技术丛书

● 国防电子基础

General Defense Electronics

雷达信号处理基础

现代信号谱分析

微波电路设计 (第二版)

● 天线工程

Antenna Engineering

天线 (第三版)

相控阵天线手册 (第二版)

● 电子战

Electronic Warfare

电子情报 (ELINT) —— 雷达信号截获与分析

● 雷达系统

Radar System

雷达系统导论 (第三版) (中、英文版)

合成孔径雷达——系统与信号处理

● 微波成像

Microwave Imaging

合成孔径雷达图像理解

合成孔径雷达成像——算法与实现

雷达成像技术

● 红外及光学技术

Infrared and Electro-Optical Technology

成像光谱——基本原理与应用

● 建模、仿真与测试

Modeling, Simulation and Testing

雷达系统分析与建模

● 卫星技术及应用

Satellite Technology and Application

全球定位系统——信号、测量与性能 (第二版)

GPS 原理与应用 (第二版)

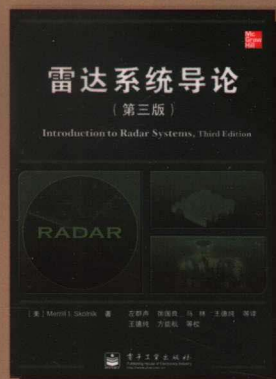
推荐出版及购书热线

Tel: 010-8825 4557

E-mail: malan@phei.com.cn

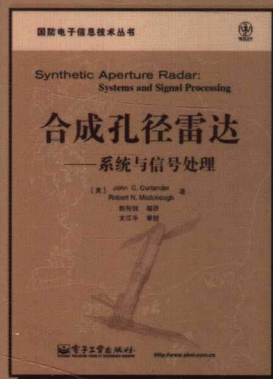
Fax: 010-8825 4560

本书中文版



书号: 7-121-02795-X
定价: 66.00 元

相关图书



书号: 7-121-03263-5
定价: 68.00 元

本书是 SAR 系统和信号处理方面的经典著作之一, 从 SAR 信号处理的角度研究了 SAR 系统设计和实现的有关问题。书中既包括 SAR 的基础入门知识, 又包括大量的 SAR 系统工程实现及成像处理方面的细节。书中详细探讨了 SAR 系统设计和研制、SAR 成像处理以及系统辐射定标和几何定标等方面的基础知识, 并总结了作者多年在 SAR 系统研制和开发方面的实际工程经验。

本书适合作为 SAR 系统设计、数据处理以及 SAR 遥感应用方向的工程技术人员和研究人员的参考用书, 也适合作为高等院校相关专业方向的教学用书。

读者调查表

感谢对我们的支持！非常欢迎留下您的宝贵意见，帮助我们改进出版和服务工作。我们将从信息意见完备的读者中抽取一部分赠阅一本我们的样书（赠书定价限 50 以内，品种我们会与获赠读者沟通）。

姓名：_____ 单位：_____ 职务 / 职称：_____

邮寄地址：_____ 邮编：_____

电话：_____ 手机：_____ E-mail：_____ 专业方向：_____

您购买的出版物名称					
先进性和实用性	☐ 很好	☐ 好	☐ 一般	☐ 不太好	☐ 差
图书文字可读性	☐ 很好	☐ 好	☐ 一般	☐ 不太好	☐ 差
（光盘使用方便性）	☐ 很好	☐ 好	☐ 一般	☐ 不太好	☐ 差
图书篇幅适宜度	☐ 很合适	☐ 合适	☐ 一般	☐ 不合适	☐ 差
出版物中差错	☐ 极少	☐ 较少	☐ 一般	☐ 较多	☐ 太多
封面（盘面及包装）设计水平	☐ 很好	☐ 好	☐ 一般	☐ 不太好	☐ 差
图书（包括光盘）印装质量	☐ 很好	☐ 好	☐ 一般	☐ 不太好	☐ 差
纸张质量（光盘材质）	☐ 很好	☐ 好	☐ 一般	☐ 不太好	☐ 差
定价	☐ 很便宜	☐ 便宜	☐ 合理	☐ 贵	☐ 太贵
您从何处获取出版物信息	☐ 书目 ☐ 电子社宣传材料 ☐ 书店 ☐ 他人转告 ☐ 网站 ☐ 报刊				
您的具体意见或建议					

您或周围人士有何著述计划 _____

您希望我处增添何种类型的图书 _____

电子工业出版社高等教育分社

联系人：冯小贝 E-mail: fengxiaobei@phei.com.cn, te_service@phei.com.cn

地址：北京市万寿路 173 信箱 1102 室 邮编：100036 电话：010-88254555

传真：010-88254560

前 言

自 1980 年本书第二版出版以来, 雷达技术及其应用持续发展。自那时起出现了许多新的雷达系统:

- 增强型气象雷达 (Nexrad 终端多普勒气象雷达、风廓线雷达、TRMM 卫星气象雷达和机载风切变检测雷达)
- 行星探索雷达 (用于探索金星的麦哲伦雷达; 用于探索提坦, 即土星的一个行星的卡西尼雷达)
- 干涉型合成孔径雷达, 用于场景的三维成像和对慢速运动表面目标的检测
- 逆合成孔径雷达, ISAR (用于舰船识别的 APS-137)
- 地面穿透雷达
- 相控阵雷达的批量生产 (“爱国者”、“宙斯盾”、“铺路爪”和 B-1B 轰炸机雷达)
- 有源孔径相控阵雷达
- 弹道导弹防御雷达 (地基雷达 GBR 和 “箭” 式导弹防御系统)
- 高频超视距雷达 (ROTHR 和 Jindalee)
- 战场监视 (JSTARS) 雷达
- 用于环境遥感的雷达
- 改进的空中交通管制雷达
- 具有复杂多普勒处理的新型多功能军用战斗机 / 攻击机机载雷达

此外, 在利用数字技术进行信号处理、数据处理和雷达控制方面已经取得广泛进展; 利用多普勒现象对严重杂波环境中小运动目标的检测取得显著改善; 对来自地面和海面的雷达回波特性有了更好的理解; 检测决策和信息提取实现了自动化; 目标识别; 固态发射机及功率电子管的进展; 无人值守高可靠雷达系统的研制。而且, 由于隐形 (低横截面积目标)、低空/高空高速攻击机的发展, 以及电子战技术能力的提高, 都推动着军用雷达进行重大改进。

《雷达系统导论》第三版和先前两版一样, 是以介绍雷达和雷达系统各方面基本原理的一学年研究生教材为基础的。本书可用于自学, 也适合于从事雷达及有关系统的研制、采购、制造和应用各领域的工程师和管理人员参考。

对大多数工学院的课程目录的查阅表明, 与系统有关的课程很少, 而正是有了系统, 才有电子工程的存在。工程的核心就是设计一个系统以实现某些有用的功能。雷达是电子工程系统的一个典型的例子, 它利用了被电子工程师们实际应用的许多专业技术, 包括信号处理、数据处理、波形设计、电磁散射、检测、参数估计、信息提取、天线、传播、发射机和接收机等。由于这些专题对雷

达系统会产生影响,因此,是本文中对雷达讨论的一部分内容。有些只是一带而过,对另一些则做比较详细的讨论。

本书还包括一些关于雷达的专门内容:对雷达基本了解所必需的并可作为系统设计工具的距离方程;在动目标显示(MTI)雷达和脉冲多普勒雷达中一样,都是利用多普勒频移将运动目标回波从接收到的静止(杂波)环境回波中区分开来;用单脉冲和圆锥扫描雷达跟踪目标;用监视雷达跟踪目标;雷达信号的检测;使信-噪比最大的匹配滤波器;雷达测量精度,以及影响雷达性能的自然环境回波的特性。

第三版和第二版一样,进行了大量修订。几乎每一段都有改变或整段替换。章节的顺序也重新安排,以反映作者在他自己讲授的研究生课程中是如何讲授这些材料的。第一学期(第1~4章)通过非常重要且广泛应用的雷达距离方程的推导,利用多普勒频移从非常严重的陆地杂波和海杂波回波中提取微弱的运动目标回波,以及利用雷达进行运动目标跟踪等介绍许多基本的雷达概念。第8章关于雷达波传播的大部分材料通常包括在第一学期中,并且作为第2章雷达方程的一部分来讨论。第二学期(第5~7章和第9章)涵盖噪声中信号检测、雷达信号中信息提取、波形,当限制雷达性能的主要因素是杂波而不是噪声时的目标检测和雷达天线的许多形式。当时间允许时,讨论雷达发射机和接收机,以及回顾一些重要的雷达应用(不是本书的一部分)。有时,发射机或接收机课题在第一学期中通过让学生提供关于这些雷达分系统某一方面的小论文来介绍。

第二版中许多课题由于有许多新的资料和其重要性的提高,在第三版中得到了扩充。由于出版商要求本书保持一个合理的字数,因此,不得不去除一些课题以允许其他内容的扩充。去除的是一些已变得过时的课题,例如,相控阵天线中移相的一些方法和用于调频脉冲压缩的各种色散延迟线。第二版第3章关于连续波雷达和调频雷达由于利用这两种雷达越来越少而被略去了。低功率连续波雷达和调频连续波雷达还将用于一些特殊应用,因而,简要地包括在本书第3章末尾,但远程高功率连续波雷达由于其收、发需要单独分开的天线,基本上已被采用单个天线的脉冲多普勒雷达所取代。另外被删除的是第二版的最后一章,该章由关于各种系统课题的简短概述组成,如合成孔径雷达、高频超视距雷达、对空监视雷达、测高仪和三坐标雷达、ECCM、双基地雷达和毫米波雷达。虽然这些仍然是重要的雷达课题,但如果本书要涵盖其他雷达课题方面的进展的话,它们就不能是本版内容的一部分。还有值得讨论的其他雷达系统应用,但要恰当地将雷达的所有重要内容涵盖在一本书中是困难的。

在第一版中关于雷达天线为单独一章。在第二版中天线被涵盖在两章中:一章是关于反射面天线的,另一章是关于相控阵的。在第三版中,天线又被编在一章中,是本书最长的一章。将天线归为一章而不是两章,使处理反射面天线和阵列天线二者共同的课题更容易。天线这一章很长,还因为天线在雷达系统中的作用独特而重大。

本书中包含了通常两学期研究生课程所不能涵盖的更多课题。其中的许多课题是给做实际工作的工程师或管理人员使用本教材作参考资料用的。因此,教师们应根据特定课程的目的选择哪些课题应该省略。

人们认识到“米-千克-秒”单位制通常用于大学课程和世界上大多数国家,但在本版中仍然沿用混合单位。因为在工程上,特别是在美国,混合单位看来目前仍在使用(例如,国际空中交通

管制系统仍然用海里表示距离,用英尺表示高度)。而且,在本书中当某一量的值是从发表的文章中引用来的时候,就采用该文章中采用的单位而没有把它转换成其他单位。有一天,所有单位可能将是“米-千克-秒”单位制,但到那时之前工程师仍应熟悉混合制单位,因为实践中仍然采用这些单位。

分贝或 dB 贯穿使用在整个雷达工程中,并且广泛用于本教材。有些学生似乎对其使用太熟练。这里提醒一下, dB 定义为功率比或与功率单位有关的参数(如天线增益)的对数的 10 倍,即 $10\log$ (功率比或与功率单位有关的参数)。当考虑 dB 时,如果始终取两个功率之比,则决不会因为是乘以常数 10 还是 20 而引起混淆;它将始终是 10。利用方程时还必须注意,有些参数虽然以 dB 给出,但在方程中该参数是一个数字。dB 必须转换成数字而不是将 dB 值直接代入方程。

本版在每章的结尾提供了习题和问题,以方便读者(及教师)将本书作为雷达课程的研究生教材。这些习题和问题也应是在职工程师自学的辅助工具。作为一门面向系统的课程,要提供往往在工程学校中所教的解决问题的课程中所出现的那类问题是困难的。在有些习题和问题中,求出答案的方法或方程可在本教程中找到,而且它们有助于强化所涵盖的内容。不过,其他习题试图扩大在本教材中的材料,因此,读者必须扩展自己的思路来寻找答案。从出版商 McGraw-Hill 处应能获得这些习题和问题的解答手册。

在自己的雷达课中,我发现学期综合论文是一个重要的学习工具。我通常尝试着提出一项相对直截了当的,学生不可能在发表的文献中找到的“概念设计”任务(在过去的若干年中由于雷达的进展变得越来越难做)。学期论文总是在第二学期中指定。有时我在第一学期就已指定了一篇比第二学期中用得比较简单的课题论文,以往我已采用或考虑的学期论文题目也列入了解答手册中。

如同其他两版那样,我努力提供足够的参考文献来说明我的资料来源,并指明在读者有兴趣进一步深入时在什么地方可获得某一特定课题的更多资料。《雷达手册》,也由 McGraw-Hill 出版,是获得本书中许多课题方面更多先进资料的一个很好来源。《雷达手册》的每一章都由一名或多名精通本章所涉及的特定领域方面的专家撰写。

在第一版(1960年)的《雷达系统导论》中,几乎所有的参考文献都是“最近的”,因为当时雷达还年轻。有关雷达的早期出版物在 20 世纪 40 年代后期开始出现于文献中,大约在本书第一版出版之前 15 或 16 年。因此,第一版包括了许多“最近的”参考文献。在第三版中,如果有的话,我已努力连同早期的一起提供最近的参考文献。这并不总是可能的,因为有些仍然重要的课题已经成熟,并且近年来没有太大进展。因此,本版中大量参考文献已有 30~40 年的历史。有些包含在第一版或第二版中,但少数较老的参考文献没有包含在前两版中,因为它们所涵盖的课题已经沉睡多年直至技术赶上和/或需要它们时才需要参考它们。

这类性质上涵盖雷达许多方面、许多不同课题的书,内容上多依靠雷达工程师撰写的公开技术文献。我依赖这些文献编写了本书,并且我要感谢从目前存在的浩瀚的雷达文献中所得到的重大帮助。

Merrill I. Skolnik

Contents

Chapter 1 An Introduction to Radar	1
第 1 章 雷达简介	
1.1 Basic Radar	1
基本雷达	
1.2 The Simple Form of the Radar Equation	5
雷达方程的简单形式	
1.3 Radar Block Diagram	7
雷达框图	
1.4 Radar Frequencies	11
雷达频率	
1.5 Applications of Radar	13
雷达的应用	
1.6 The Origins of Radar	14
雷达的起源	
References	26
参考文献	
Problems	27
习题	
Chapter 2 The Radar Equation	30
第 2 章 雷达方程	
2.1 Introduction	30
引言	
2.2 Detection of Signals in Noise	31
噪声中信号的检测	
2.3 Receiver Noise and the Signal-to-Noise Ratio	33
接收机噪声和信 - 噪比	
2.4 Probability Density Functions	35
概率密度函数	

2.5	Probabilities of Detection and False Alarm	39
	检测和虚警概率	
2.6	Integration of Radar Pulses	45
	雷达脉冲的积累	
2.7	Radar Cross Section of Targets	49
	目标雷达横截面积	
2.8	Radar Cross-Section Fluctuations	65
	雷达横截面积的起伏	
2.9	Transmitter Power	73
	发射机功率	
2.10	Pulse Repetition Frequency	74
	脉冲重复频率	
2.11	Antenna Parameters	76
	天线参数	
2.12	System Losses	80
	系统损耗	
2.13	Other Radar Equation Considerations	88
	其他有关雷达方程的考虑	
	References	94
	参考文献	
	Problems	98
	习题	
	Chapter 3 MTI and Pulse Doppler Radar	104
	第3章 MTI 雷达和脉冲多普勒雷达	
3.1	Introduction to Doppler and MTI Radar	104
	引言	
3.2	Delay-Line Cancelers	112
	延迟线对消器	
3.3	Staggered Pulse Repetition Frequencies	125
	参差脉冲重复频率	
3.4	Doppler Filter Banks	131
	多普勒滤波器组	
3.5	Digital MTI Processing	136
	数字 MTI 处理	
3.6	Moving Target Detector	141
	运动目标检测器	

3.7	Limitations to MTI Performance	149
	MTI 性能的限制	
3.8	MTI from a Moving Platform (AMTI)	161
	运动平台的 MTI (AMTI)	
3.9	Pulse Doppler Radar	171
	脉冲多普勒雷达	
3.10	Other Doppler Radar Topics	182
	其他的多普勒雷达	
	References	197
	参考文献	
	Problems	205
	习题	
	Chapter 4 Tracking Radar	210
	第 4 章 跟踪雷达	
4.1	Tracking with Radar	210
	用雷达跟踪	
4.2	Monopulse Tracking	213
	单脉冲跟踪	
4.3	Conical Scan and Sequential Lobing	224
	圆锥扫描和顺序波束转换	
4.4	Limitations to Tracking Accuracy	229
	跟踪精度的限制	
4.5	Low-Angle Tracking	238
	低角跟踪	
4.6	Tracking in Range	246
	距离跟踪	
4.7	Other Tracking Radar Topics	248
	其他有关跟踪雷达的专题	
4.8	Comparison of Trackers	255
	跟踪雷达的比较	
4.9	Automatic Tracking with Surveillance Radars (ADT)	257
	监视雷达自动跟踪	
	References	266
	参考文献	
	Problems	273
	习题	

Chapter 5 Detection of Signals in Noise	276
第 5 章 噪声中的信号检测	
5.1 Introduction	276
引言	
5.2 Matched-Filter Receiver	276
匹配滤波器接收机	
5.3 Detection Criteria	284
检测准则	
5.4 Detectors	287
检波器	
5.5 Automatic Detection	290
自动检测	
5.6 Integrators	291
积累器	
5.7 Constant-False-Alarm Rate Receivers	295
恒虚警率 (CFAR) 接收机	
5.8 The Radar Operator	301
雷达操作员	
5.9 Signal Management	302
信号管理	
References	305
参考文献	
Problems	309
习题	
Chapter 6 Information from Radar Signals	313
第 6 章 雷达信号的信息	
6.1 Introduction	313
引言	
6.2 Basic Radar Measurements	313
基本雷达测量	
6.3 Theoretical Accuracy of Radar Measurements	317
雷达测量的理论精度	
6.4 Ambiguity Diagram	331
模糊图	
6.5 Pulse Compression	339
脉冲压缩	

6.6 Target Recognition	369
目标识别	
References	389
参考文献	
Problems	397
习题	
Chapter 7 Radar Clutter	403
第 7 章 雷达杂波	
7.1 Introduction to Radar Clutter	403
雷达杂波介绍	
7.2 Surface-Clutter Radar Equation	404
表面杂波雷达方程	
7.3 Land Clutter	410
地杂波	
7.4 Sea Clutter	423
海杂波	
7.5 Statistical Models for Surface Clutter	436
表面杂波的统计模型	
7.6 Weather Clutter	442
气象杂波	
7.7 Other Sources of Atmospheric Echoes	449
大气回波的其他来源	
7.8 Detection of Targets in Clutter	455
杂波中目标的检测	
References	469
参考文献	
Problems	478
习题	
Chapter 8 Propagation of Radar Waves	482
第 8 章 雷达波的传播	
8.1 Introduction	482
引言	
8.2 Forward Scattering from a Flat Earth	483
平坦地面的前向散射	

8.3	Scattering from the Round Earth's Surface	490
	球形地球表面的散射	
8.4	Atmospheric Refraction — Standard Propagation	494
	大气折射——标准传播	
8.5	Nonstandard Propagation	502
	非标准传播	
8.6	Diffraction	518
	绕射	
8.7	Attenuation by Atmospheric Gases	521
	大气衰减	
8.8	External, or Environmental, Noise	524
	环境噪声或外部噪声	
8.9	Other Propagation Effects	527
	其他的传播影响	
	References	530
	参考文献	
	Problems	536
	习题	
	Chapter 9 The Radar Antenna	538
	第9章 雷达天线	
9.1	Functions of the Radar Antenna	538
	雷达天线的功能	
9.2	Antenna Parameters	540
	天线参数	
9.3	Antenna Radiation Pattern and Aperture Illumination	545
	天线辐射方向图和孔径照射	
9.4	Reflector Antennas	553
	反射面天线	
9.5	Electronically Steered Phased Array Antennas	559
	电子扫描相控阵天线	
9.6	Phase Shifters	567
	移相器	
9.7	Frequency-Scan Arrays	581
	频率扫描阵列	
9.8	Radiators for Phased Arrays	589
	相控阵的辐射器	

9.9 Architectures for Phased Arrays	594
用于相控阵的结构	
9.10 Mechanically Steered Planar Array Antennas	615
机械扫描平面阵列天线	
9.11 Radiation Pattern Synthesis	620
方向图综合	
9.12 Effect of Errors on Radiation Patterns	628
误差对方向图的影响	
9.13 Low-Sidelobe Antennas	638
低副瓣天线	
9.14 Cost of Phased Array Radars	646
相控阵雷达的成本	
9.15 Other Topics Concerning Phased Arrays	651
关于相控阵天线的其他论题	
9.16 Systems Aspects of Phased Array Radars	658
相控阵雷达系统结论	
9.17 Other Antenna Topics	661
关于天线的其他论题	
References	672
参考文献	
Problems	684
习题	
Chapter 10 Radar Transmitters	690
第 10 章 雷达发射机	
10.1 Introduction	690
引言	
10.2 Linear-Beam Power Tubes	694
线性束功率管	
10.3 Solid-State RF Power Sources	702
固态射频功率源	
10.4 Magnetron	708
磁控管	
10.5 Crossed-Field Amplifiers	712
正交场放大器	
10.6 Other RF Power Sources	715
其他射频功率源	

10.7 Other Aspects of Radar Transmitters	720
雷达发射机的其他方面	
References	722
参考文献	
Problems	725
习题	
Chapter 11 Radar Receiver	727
第 11 章 雷达接收机	
11.1 The Radar Receiver	727
引言	
11.2 Receiver Noise Figure	729
接收机噪声系数	
11.3 Superheterodyne Receiver	732
超外差接收机	
11.4 Duplexers and Receiver Protectors	745
收发开关和接收机保护器	
11.5 Radar Displays	751
雷达显示器	
References	757
参考文献	
Problems	760
习题	
Index	762
索引	

chapter

1

An Introduction to Radar

1.1 BASIC RADAR

Radar is an electromagnetic system for the detection and location of reflecting objects such as aircraft, ships, spacecraft, vehicles, people, and the natural environment. It operates by radiating energy into space and detecting the echo signal reflected from an object, or target. The reflected energy that is returned to the radar not only indicates the presence of a target, but by comparing the received echo signal with the signal that was transmitted, its location can be determined along with other target-related information. Radar can perform its function at long or short distances and under conditions impervious to optical and infrared sensors. It can operate in darkness, haze, fog, rain, and snow. Its ability to measure distance with high accuracy and in all weather is one of its most important attributes.

The basic principle of radar is illustrated in Fig. 1.1. A transmitter (in the upper left portion of the figure) generates an electromagnetic signal (such as a short pulse of sinewave) that is radiated into space by an antenna. A portion of the transmitted energy is intercepted by the target and reradiated in many directions. The reradiation directed back towards the radar is collected by the radar antenna, which delivers it to a receiver. There it is processed to detect the presence of the target and determine its location. A single antenna is usually used on a time-shared basis for both transmitting and receiving when the radar waveform is a repetitive series of pulses. The range, or distance, to a target is found by measuring the time it takes for the radar signal to travel to the target and return back to the radar. (Radar engineers use the term *range* to mean *distance*, which is