



国防电子信息技术丛书

EW103: Tactical Battlefield Communications
Electronic Warfare

通信电子战

[美] David L. Adamy 著

楼才义 等译 杨小牛 审校



本书含CD光盘1张



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国防电子信息技术丛书

EW103：通信电子战

EW103: Tactical Battlefield communications Electronic Warfare

[美] David L. Adamy 著

楼才义 等译

杨小牛 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面、清晰地介绍了通信电子战系统所涉及的各种基本理论、基本技术和主要功能。全书共 9 章, 第 1 章主要介绍 dB 这个单位的换算与应用; 第 2 章介绍各种数字、模拟、跳频、直扩等信号的产生与特点; 第 3 章主要介绍天线的波束、增益、极化、阵列等概念; 第 4 章主要介绍超外差、信道化、压缩等各种接收机, 信号的数字化, 以及接收机的各种指标; 第 5 章主要介绍信号传播特性和链路预算; 第 6 章主要介绍搜索策略、系统配置、对各种低截获概率信号的搜索等内容; 第 7 章给出了各种测向、定位的方法及其能达到的精度; 第 8 章给出了低截获概率信号、强信号影响下弱信号的侦收方法; 第 9 章讨论了对跳频、直扩、蜂窝等通信信号的各种干扰方法。

全书深入浅出、通俗易懂、图文并茂, 与实际应用联系紧密, 通信电子战实践特色明显, 是通信电子战专业研究人员实用的参考资料和快速查阅手册。该书适合广大通信电子战领域的专家、研发人员、应用人员和管理人员使用。

Authorized translation from English Language Edition entitled **EW 103: Tactical Battlefield Communications Electronic Warfare**, by David L. Adamy, ISBN: 978-1-59693-387-3, published by Artech House, Copyright ©2009 Artech House

Simplified Chinese Edition Copyright © 2010 by Publishing House of Electronics Industry.

All rights reserved.

本书中文翻译版专有出版权由 Artech House, Inc. 授予电子工业出版社, 专有出版权受法律保护。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2010-0256

图书在版编目 (CIP) 数据

EW103: 通信电子战/(美)戴维·阿达米(David L.Adamy)著; 楼才义等译. —北京: 电子工业出版社, 2017.3
(国防电子信息技术丛书)

书名原文: EW103: Tactical Battlefield Communications Electronic Warfare

ISBN 978-7-121-31023-2

I. ①E… II. ①戴… ②楼… III. ①电子对抗 IV. ①E866

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 043445 号

责任编辑: 竺南直

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

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: 787×1 092 1/16 印张: 15.25 字数: 400 千字

版 次: 2017 年 3 月第 1 版

印 次: 2017 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 48.00 元 (含 CD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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, 88258888。

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

本书咨询联系方式: davidzhu@phei.com.cn。

译 者 序

该书是 EW100 系列的第三本。本书是以美国老乌鸦协会会刊《电子防御杂志》一个很受读者欢迎的专栏中的文章为基础写成的。该书全面、清晰地介绍了通信电子战系统所涉及的各种基本理论、基本技术和主要功能，该书的通信电子战实践特色明显、实用性很强。全书共 9 章，主要内容为：第 1 章：引言，主要介绍了 dB 这个单位的换算与应用；第 2 章：通信信号，介绍了各种数字、模拟、跳频、直扩等信号的产生与特点；第 3 章：通信天线，主要介绍了天线的波束、增益、极化、阵列等概念；第 4 章：通信接收机，主要介绍了超外差、信道化、压缩等各种接收机，信号的数字化，以及接收机的各种指标；第 5 章：通信信号传播，主要介绍了信号传播特性和链路预算；第 6 章：通信辐射源搜索，主要介绍了搜索策略、系统配置、对各种低截获概率信号的搜索等内容；第 7 章：通信辐射源定位，给出了各种测向、定位的方法及其能达到的精度；第 8 章：通信信号截获，主要给出了低截获概率信号、强信号影响下弱信号的侦收方法；第 9 章通信干扰，讨论了对跳频、直扩、蜂窝等通信信号的各种干扰方法。

全书深入浅出、通俗易懂、图文并茂，与实际应用联系紧密，是通信电子战专业研究人员实用的参考资料和快速查阅手册。该书适合广大通信电子战领域的专家、研发人员、应用人员和管理人员使用。

本书前言、第 1 章、第 4 章由楼才义翻译；第 5 章、附录 A 由郑仕链翻译；骆振兴翻译了第 2 章；李新付翻译了第 3 章；张东坡翻译了第 6 章；贾璐翻译了第 7 章；章军翻译了第 8 章；王晓音翻译了第 9 章；张永光参加了部分章节的翻译和审校工作。楼才义负责对全书的统稿，杨小牛对全书进行了仔细的审校。

由于译者技术水平和翻译水平所限，对书中的一些技术术语难免把握不准，译著中肯定会有各种错误，敬请读者批评指正。

译 者

原 著 前 言

这是 EW100 系列丛书的第三本。与前两本书一样，它是基于电子防御杂志的讲座性文章 EW101 系列编写而成的。而这本书着重讨论针对敌通信信号的电子战实际应用方面的内容。

与前两本书一样，本书的读者对象包括：刚进入电子战行业的从业人员、电子战某些领域的专家、电子战外围技术领域专家以及电子战项目管理者。

在本书交付出版的时候，EW101 系列讲座还在继续，本书的某些素材将会出现在未来的栏目中。通过对过去或将来栏目中出现的所有资料进行重新组织，并加入引言和衔接性的内容，就可以形成各章内容。与 EW102 一书一样，这本书也有一个包括问题和解决方案（不仅是答案）的附录。

这本书的另一个新特点是使用一个能快速计算出天线和传播问题答案的计算尺。与此类似的滑动计算尺很多，但这本书的计算尺新设计了一些其他计算尺所没有的功能刻度。

最后，本书附有一张 CD，内含用于计算传输损耗、接收信号强度、有效范围、干信比以及其他类似重要数值的计算公式。这些公式都以电子数据表格形式给出，因为大多数技术人员都有该软件。MATLAB 程序会更简洁，但软件价格非常昂贵。如果读者愿意，欢迎将电子数据表的公式（已经提供）转换成 MATLAB 或其他程序。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

| | |
|---------------------|----|
| 第 1 章 概述 | 1 |
| 1.1 通信的特征 | 1 |
| 1.2 频率范围 | 1 |
| 1.3 本书的架构 | 2 |
| 1.4 数学上的 dB | 3 |
| 1.4.1 dB 值 | 3 |
| 1.4.2 与 dB 形式之间的转换 | 3 |
| 1.4.3 用计算尺来实现 dB 转换 | 4 |
| 1.4.4 用 dB 形式表示的绝对数 | 5 |
| 1.4.5 dB 公式 | 6 |
| 第 2 章 通信信号 | 7 |
| 2.1 模拟调制 | 7 |
| 2.2 数字调制 | 9 |
| 2.2.1 模拟和数字信息的传输 | 9 |
| 2.2.2 数字化 | 9 |
| 2.2.3 数字射频调制 | 11 |
| 2.2.4 数字信号带宽 | 13 |
| 2.2.5 数字信号的结构 | 15 |
| 2.3 噪声 | 16 |
| 2.4 LPI 信号 | 18 |
| 2.4.1 伪随机码 | 20 |
| 2.4.2 跳频信号 | 22 |
| 2.4.3 Chirp 信号 | 25 |
| 2.4.4 直接序列扩频信号 | 27 |
| 2.4.5 混合技术 LPI 信号 | 29 |
| 2.4.6 蜂窝电话信号 | 30 |
| 2.5 数据链信号 | 32 |
| 2.5.1 Link 4A 数据链 | 32 |
| 2.5.2 Link11 数据链 | 35 |
| 2.5.3 Link16 数据链 | 37 |
| 2.6 信道编码 | 40 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第 3 章 通信天线 | 50 |
| 3.1 天线参数..... | 50 |
| 3.1.1 天线类型..... | 50 |
| 3.1.2 不同类型天线的基本特点..... | 51 |
| 3.2 几种重要的通信天线..... | 53 |
| 3.3 天线波束..... | 53 |
| 3.4 有关天线增益的附加说明..... | 54 |
| 3.5 极化..... | 55 |
| 3.6 相控阵..... | 55 |
| 3.6.1 相控阵天线的波束宽度和增益..... | 56 |
| 3.7 抛物面碟形天线..... | 58 |
| 第 4 章 通信接收机 | 64 |
| 4.1 接收机的种类..... | 64 |
| 4.1.1 脉冲接收机..... | 65 |
| 4.1.2 超外差接收机..... | 66 |
| 4.1.3 调谐式射频接收机..... | 68 |
| 4.1.4 固定调谐接收机..... | 68 |
| 4.1.5 信道化接收机..... | 68 |
| 4.1.6 布拉格小盒 (Bragg Cell) 接收机..... | 69 |
| 4.1.7 压缩接收机..... | 70 |
| 4.1.8 数字化接收机..... | 71 |
| 4.2 数字化..... | 72 |
| 4.2.1 采样速率..... | 73 |
| 4.2.2 数字化波形..... | 73 |
| 4.2.3 数字化技术..... | 74 |
| 4.2.4 I、Q 数字化..... | 74 |
| 4.2.5 ADC 的性能指标..... | 75 |
| 4.3 数字化信号质量问题..... | 80 |
| 4.3.1 伪码检测..... | 80 |
| 4.3.2 跳频信号截获..... | 81 |
| 4.4 接收系统的灵敏度..... | 82 |
| 4.4.1 kTB..... | 84 |
| 4.4.2 噪声系数..... | 84 |
| 4.4.3 检波前所需信噪比..... | 85 |
| 4.5 接收系统的动态范围..... | 89 |
| 4.5.1 模拟与数字动态范围..... | 89 |
| 4.5.2 模拟接收机动态范围..... | 90 |
| 4.5.3 数字动态范围..... | 92 |
| 4.6 典型接收机系统配置..... | 93 |

| | | |
|--------------|-------------------------------|------------|
| 4.6.1 | 多接收机侦察和电子支援系统 | 93 |
| 4.6.2 | 多接收机系统 | 94 |
| 4.6.3 | 远距离接收系统 | 96 |
| 第 5 章 | 通信传播 | 97 |
| 5.1 | 单向链路 | 97 |
| 5.2 | 单向链路方程 | 98 |
| 5.3 | 传播损耗 | 99 |
| 5.4 | 视距传播 | 100 |
| 5.5 | 双线传播 | 102 |
| 5.6 | 菲涅耳区 (Fresnel Zone) | 105 |
| 5.7 | 刃峰绕射 (Knife-Edge Diffraction) | 107 |
| 5.8 | 大气以及雨损耗 | 109 |
| 5.8.1 | 大气损耗 | 109 |
| 5.8.2 | 雨雾损耗 | 109 |
| 5.9 | HF 传播 | 110 |
| 5.10 | 卫星链路 | 112 |
| 第 6 章 | 通信辐射源搜索 | 115 |
| 6.1 | 截获概率 (POI) | 115 |
| 6.2 | 搜索策略 | 115 |
| 6.2.1 | 常规搜索 | 115 |
| 6.2.2 | 指定搜索 | 115 |
| 6.2.3 | 序贯寻优搜索 | 116 |
| 6.2.4 | 有用的搜索工具 | 116 |
| 6.2.5 | 影响搜索的实际因素 | 117 |
| 6.3 | 系统配置 | 117 |
| 6.3.1 | 搜索接收机种类 | 119 |
| 6.3.2 | 数字调谐接收机 | 120 |
| 6.3.3 | 数字接收机 | 121 |
| 6.3.4 | 测频接收机 | 121 |
| 6.3.5 | 能量检测接收机 | 121 |
| 6.4 | 信号环境 | 123 |
| 6.4.1 | 角度覆盖 | 123 |
| 6.4.2 | 信道占用率 | 124 |
| 6.4.3 | 灵敏度 | 124 |
| 6.5 | 无线电视距 | 125 |
| 6.6 | 低截获概率信号的搜索 | 128 |
| 6.6.1 | LPI 信号的搜索策略 | 128 |
| 6.6.2 | 跳频信号 | 128 |
| 6.6.3 | Chirp 信号 | 129 |

| | | |
|--------------|---------------------|------------|
| 6.6.4 | 直接序列扩频 | 129 |
| 6.7 | 间断观察 (Look Through) | 130 |
| 6.8 | 己方自扰 | 131 |
| 6.9 | 搜索策略举例 | 132 |
| 6.9.1 | 窄带搜索 | 132 |
| 6.9.2 | 从宽带接收机中转接 | 134 |
| 6.9.3 | 利用数字接收机的搜索 | 134 |
| 第 7 章 | 通信辐射源定位 | 135 |
| 7.1 | 辐射源定位方法 | 135 |
| 7.1.1 | 三角测量法 | 135 |
| 7.1.2 | 单站定位 | 137 |
| 7.1.3 | 方位角和仰角 | 137 |
| 7.1.4 | 其他定位方法 | 138 |
| 7.2 | 精度定义 | 138 |
| 7.2.1 | 均方根 (RMS) 误差 | 138 |
| 7.2.2 | 圆概率误差和椭圆概率误差 | 139 |
| 7.2.3 | 校准 | 141 |
| 7.3 | 测量站的位置和基准方向 | 141 |
| 7.4 | 中等精度定位技术 | 143 |
| 7.4.1 | 瓦特逊·瓦特测向技术 | 144 |
| 7.4.2 | 多普勒测向技术 | 145 |
| 7.5 | 高精度定位技术 | 146 |
| 7.5.1 | 单基线干涉仪 | 146 |
| 7.5.2 | 多基线精确干涉仪 | 149 |
| 7.5.3 | 相关干涉仪 | 149 |
| 7.6 | 精确辐射源定位 | 149 |
| 7.6.1 | 到达时差法 | 150 |
| 7.6.2 | 到达频差法 | 151 |
| 7.6.3 | FDOA 和 TDOA 的组合 | 153 |
| 7.7 | 辐射源定位——误差估计 | 154 |
| 7.7.1 | 合成误差 | 154 |
| 7.8 | 扩频辐射源的定位 | 155 |
| 7.8.1 | 跳频信号的定位 | 156 |
| 7.8.2 | Chirp 辐射源 | 159 |
| 7.8.3 | 直接序列扩频辐射源 | 159 |
| 7.8.4 | 低截获辐射源的精确定位技术 | 160 |
| 第 8 章 | 通信信号的截获 | 161 |
| 8.1 | 截获链路 | 161 |
| 8.1.1 | 截获定向发射 | 162 |

| | | |
|--------------|-----------------------|------------|
| 8.1.2 | 截获非定向发射 | 163 |
| 8.1.3 | 机载截获系统 | 164 |
| 8.1.4 | 截获非视距信号 | 165 |
| 8.2 | 在强信号环境下截获弱信号 | 166 |
| 8.3 | 低截获 (LPI) 信号的截获 | 166 |
| 8.3.1 | 截获跳频信号 | 167 |
| 8.3.2 | Chirp 信号的截获 | 167 |
| 8.3.3 | 截获直接序列扩频信号 | 168 |
| 8.4 | 通信信号参数估计 | 169 |
| 8.4.1 | 采样定理 | 169 |
| 8.4.2 | 信号参数估计 | 171 |
| 8.5 | 通信信号解调 | 174 |
| 8.5.1 | 模拟信号解调 | 174 |
| 8.5.2 | 数字信号解调 | 177 |
| 8.6 | 信道编码分析 | 180 |
| 第 9 章 | 通信干扰 | 188 |
| 9.1 | 干信比 | 188 |
| 9.1.1 | 干信比计算 | 188 |
| 9.1.2 | 其他损耗 | 190 |
| 9.1.3 | 有利位置干扰 | 190 |
| 9.2 | 数字与模拟干扰 | 190 |
| 9.2.1 | 数字与模拟干扰 | 190 |
| 9.2.2 | 脉冲干扰 | 191 |
| 9.3 | 干扰扩频信号 | 192 |
| 9.3.1 | 部分频带干扰 | 192 |
| 9.3.2 | 跳频信号干扰 | 194 |
| 9.3.3 | Chirp 信号干扰 | 196 |
| 9.3.4 | 干扰直扩信号 | 197 |
| 9.3.5 | 组合模式扩频信号的干扰 | 198 |
| 9.4 | 纠错码对干扰的影响 | 198 |
| 9.4.1 | 蜂窝电话干扰 | 200 |
| 9.4.2 | 干扰上行链路 | 201 |
| 9.4.3 | 干扰下行链路 | 201 |
| 9.5 | 多目标干扰 | 202 |
| 9.5.1 | 频分多目标干扰 | 202 |
| 9.5.2 | 时分多目标干扰 | 204 |
| 附录 A | 问题及答案 | 207 |
| 附录 B | 参考书目 | 225 |
| 附录 C | 使用随书附带的 CD | 228 |
| 作者简介 | | 231 |

第 1 章 概 述

作者试图使本书成为一本容易阅读的书籍。本书用物理学的方法而不是用数学的方法、术语对硬件和技术进行解释。大部分公式采用简单的 dB 形式表示，以便于记忆和使用。

与以前两本 EW100 系列书籍一样，技术内容力求准确，而不是精确。在大部分情况下，所给出公式和例子的计算精度为 1dB。但是，为了便于把那些公式用于更高精度的场合，所提供的常数项精度是很高的。

本书关注的是通信电子战（EW），因此，没有涉及雷达威胁、搜索、截获、干扰、诱饵等内容。这些问题可以参看书籍 EW101 和 EW102。

1.1 通信的特征

通信电子战（EW）是针对所有通信的，所以我们会以适当的篇幅讨论通信信号、通信传播和硬件组成的本质特点。重点在于 VHF、UHF 和低频段微波等频率范围的战术战场通信。同时也涉及低频段传播、指挥和数据链路、卫星通信等。

通信的目的在于把某个点的信息传送到远方的另一个点，因此（不像雷达），它天生就是单程的。虽然存在“突发”通信这种时间非常短的信号，但是大部分通信信号或长或短总是有一段持续时间的，从几秒钟到连续存在。

通信信号一般是窄带的，但也有一些通过调制人为地把信号带宽扩展至远超过承载信息所需要的带宽上。这样做是为了防止被敌方检测到，或降低受有意或无意干扰的影响。

通信信号可以是模拟信号，也可以是数字信号，而数字信号现在使用越来越普遍。EW 系统中处理这两类信号的方法存在很大差别。对于数字通信信号而言，敌方可以通过使用保持信号完整性的各种先进技术，使得电子战任务实现起来更困难。

1.2 频率范围

表 1.1 给出了用于通信的频率范围及其典型应用、传播模式和传播问题。

表 1.1 频率范围

| 频率范围 | 缩 写 | 信号类型和特征 |
|---------------------|-------------|-------------------------------------|
| 甚低频，低频和中频：3kHz~3MHz | VLF, LF, MF | 极远距离通信（在海上的船只等），商用 AM 无线电广播。环绕地球的地波 |
| 高频：3~30MHz | HF | 超视距通信，信号通过电离层反射 |
| 甚高频：30~300MHz | VHF | 移动通信，电视，商用 FM 无线电广播。要求视距 |
| 超高频：300MHz~1GHz | UHF | 移动通信和电视。要求视距 |
| 微波：1~30GHz | MW | 电视和电话信号传输链路，卫星信号传输链路。要求视距 |
| 毫米波：30~100GHz | MMW | 极短距离通信。要求视距，雨、雾对其具有高吸收性 |

注意到低频段传播的特点在于对视距的低依赖性，地波和电离层反射使得通信范围得到极大的扩展。但是低频也具有窄带的特点，低频段相对带宽宽给天线和放大器性能的提高带来了困难。通常相对带宽在 10% 时性能还算好，当带宽大于 10% 时，就会牺牲性能。

VLF 和 LF 链路通常承载低速率数字信号或莫尔斯电码，而 MF 链路则具有足够的带宽承载语音信号。商用 AM 无线电在 MF 频率的高端进行广播。大约在 30MHz 以上，无线电会穿透电离层，因此，频率较高的信号不能通过电离层反射传播。它们只能依靠视距或近视距传播路径。

VHF 和 UHF 传播可以提供足够的带宽，不仅可以承载语音和数据，还可以传输视频信号，包括商用电视广播。微波频率用宽带宽来承载大信息容量信号。宽带微波点对点链路承载大批量的电话信号、电视信号和宽带数据。通信卫星链路也位于微波频段，作为无人航空飞行器 (UAV) 与其控制站之间的指挥和数据链路。

1.3 本书的架构

- 在概述中，我们将讨论 dB 值和公式。
- 第 2 章讨论包括模拟调制、数字调制、低截获概率调制的通信信号。本章的大部分内容将涉及数字信号和相关的纠错编码问题。
- 第 3 章涉及用于通信和通信电子战的各类天线。包括用于通信频段所有常用天线的应用和典型性能参数。
- 第 4 章讨论用于通信和通信信号截获的各类接收机。同时也包括通信接收机灵敏度和动态范围的计算。
- 第 5 章是关于无线电传播的。重点在 VHF、UHF 和微波低端通信，但也包括 HF 和较低频段的传播问题以及通信卫星的传播问题。
- 第 6 章是有关搜索技术的。包括对固定频率和低截获概率通信信号的搜索。
- 第 7 章是关于敌通信辐射源的定位。介绍了常用的方法和技术。对每种方法的应用、预期精度以及其他性能和实现问题进行了讨论。
- 第 8 章涉及通信信号的截获——常规和低截获概率调制。对各种类型信号的搜索和截获概率相关问题进行了讨论。
- 第 9 章是关于通信干扰的。它讨论了传统信号干扰，接着讨论对所有常用低截获概率信号的干扰技术。
- 附录 A 是一系列覆盖了本书所有讨论内容的问题。每个问题都进行了解答，给出了解答步骤。
- 附录 B 为参考文献，包括用于进一步学习的参考资料信息。详细列出了供进一步学习的书籍。给出了每本参考书籍的出版社和 ISBN，用几句话介绍了每本书的要点。
- 附录 C 为如何使用本书 CD 的一个说明。
- 本书附有一张内含通信公式的 CD。

1.4 数学上的 dB

本节涉及基础的数学问题，为其他各章的电子战概念讨论打下基础。其包括数值的 dB 形式和 dB 公式。

1.4.1 dB 值

任何涉及无线电传播的专业活动中，信号强度、增益和损耗通常以 dB 形式表示。这使得公式可以采用 dB 形式，一般来说，dB 形式的公式比原来的公式应用起来更容易。dB 数字很吸引人的特点之一在于它是对数形式的，因而用它可以方便地对非常大和非常小的数进行比较。由于发射信号和接收信号之间的强度差可以达到 20 个数量级，所以这是一个重要问题。

用 dB 表示的任何一个数值都是对数形式的。为了方便起见，我们把非 dB 形式的数值称为“线性的”，以与对数形式的 dB 数值相区别。dB 形式的数值因其易于处理，而具有很大的吸引力：

- 线性数值相乘，把它们对数形式的数值相加即可；
- 线性数值相除，把它们对数形式的数值相减即可；
- 一个线性数值增大 n 次方，把它的对数形式数值乘以 n 即可；
- 求一个线性数值的 n 次方根，把它的对数形式数值除以 n 即可。

为了最大限度利用这种便利，在处理过程中尽可能早地把数据转成 dB 形式，尽可能晚地把数据转换回线性形式（如果最终需要线性形式）。在很多情况下，最常用的结果形式为 dB 数值形式。

理解以下这一点很重要：任何以 dB 为单位表示的数值必须是一个比值（并被转换成对数形式）。在通信中最常见的比值例子为放大器或天线增益以及电路或无线电传播中的损耗。

1.4.2 与 dB 形式之间的转换

用下述公式可以把一个线性形式的数值 (N) 转换成 dB 形式的数值：

$$N(\text{dB}) = 10 \log_{10}(N)$$

在本书的大多数等式中，我们只是写 $10 \log(N)$ ，认为对数的底为 10。如果用科学计算器进行这个运算，输入线性形式数值，然后按“log”键，再乘以 10 即可。

用下式可将 dB 形式数值转换成线性形式数值：

$$N = 10^{N(\text{dB})/10}$$

用一个科学计算器，输入 dB 形式的数值，除以 10，然后按“= (等号)”键，接着按第二功能键，再按“log”键。这个过程也被描述成 dB 数值除以 10 的“反对数 (antilog)”。这可以表示为：

$$N = \text{Anti log}[N(\text{dB})/10]$$

举个例子来说，如果放大器的增益为 100，我们说它具有 20dB 增益，因为：

$$10\log(100) = 10 \times 2 = 20\text{dB}$$

把这个过程反过来，可以求出 20dB 增益放大器的线性形式增益为：

$$\text{Anti log}[20/10] = 100$$

表 1.2 列出了某些重要比值和 dB 的对应关系。注意到比值为 2 转换成 3dB，比值为 1/2 转换成 -3dB。在第 3 章中，我们将会讨论到天线波束的半功率点，就是“3dB 点”。另一个有趣的点就是比值为 1 的点，对应于 0dB。因此，两个值相等时，我们说它们的比值为 0dB。

表 1.2 线性形式比值及其对应的 dB 值

| 比 值 | 对应 dB 值 | 比 值 | 对应 dB 值 |
|------|---------|------|---------|
| 1/10 | -10 | 1.25 | 1 |
| 1/4 | -6 | 2 | 3 |
| 1/2 | -3 | 4 | 6 |
| 1 | 0 | 10 | 10 |

注意 1dB 对应的比值为 1.25。这意味着当我们把计算精度精确到 1dB 时（通常都这样计算），实际的计算精度仅为 25%。虽然，这个精度看起来有点粗，但对于无线电信号传播计算来说这已经足够了，因为信号强度可以在几个数量级之间变化。

由于比值 10 对应于 10dB，数值上改变一个数量级，转换成 dB 形式时只要加上或减去 10dB 即可。

除了上述转换规则之外，还有一条：电压比转换成 dB 用公式 $20\log_{10}$ (电压比)。

1.4.3 用计算尺来实现 dB 转换

本书介绍的计算尺可以使我们完成许多不同的计算，各种计算都将在本书适当的章节中予以讨论。第一种运算就是线性形式的数值到 dB 形式的转换，以及 dB 形式到线性形式的转换。

图 1.1 示出了计算尺的两面。注意到，在计算尺的左端，一面上有一个数字 1；在另一面的同一个位置有一个数字 2。我们将用这两个数字来指示计算尺的这两个面。同时，请注意，滑块必须适当插入尺体中——否则，刻度线就无法与窗口上的线对准。

图 1.2 显示了计算尺第 2 面底部的窗口。这个窗口可以实现比值与 dB 数值之间的转换。本尺的计算范围为：比值从 0.01 到 100 之间，dB 值从 -20dB 到 +20dB 之间。如图所示，移动计算尺，使窗口顶部的箭头指向 2，我们将看到，窗口底部的箭头指向 3。这表明，比值 2 等于 +3dB。现在我们移动滑块，使顶部箭头指向 0.5。注意到，底部箭头指向的值为 -3dB。

这个例子涉及大量的 dB 应用场合。0.5 比值对应的点经常被称为“3dB 点”。举个例子来说，当讨论天线方向图时（见第 3 章），天线的视轴通常为具有最大天线增益的方向。如果旋转至某一角度，使得天线增益下降一半，我们说，我们看到的为半功率点，或者说 3dB 点。两个半功率（3dB）点（位于视轴的两边）之间的角度称为天线的 3dB 波束宽度。当

讨论一部接收机或一个带通滤波器的频率覆盖范围时，我们会谈到它的 3dB 带宽。3dB 带宽就是滤波器输出或者是接收机灵敏度为最大值一半时的最高频率与最低频率之差。

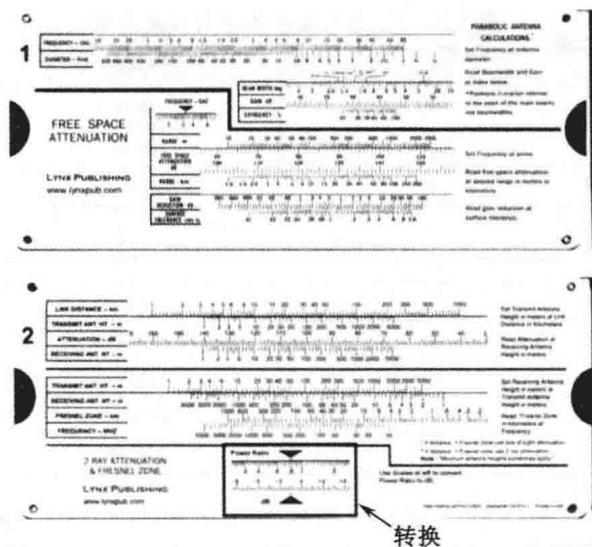


图 1.1 天线和传播计算尺（加深部分为 dB 转换刻度）

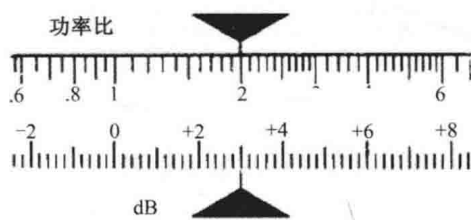


图 1.2 计算尺上比值与 dB 值之间的转换

1.4.4 用 dB 形式表示的绝对数

为了把绝对数表示为 dB 数值形式，首先要把这个数转换成一个与我们所熟悉的常数的比值。最常见的例子是用 dBm 表示信号强度。为把功率转换成 dBm，我们把功率除以 1 毫瓦，然后转换成 dB 形式。比如，4 瓦特等于 4000 毫瓦。把 4000 转换成 dB 形式变成 36dBm。这个小写的“m”表示这是与 1 毫瓦的比值。

$$10 \log(4000) = 10 \times 3.6 = 36 \text{dBm}$$

于是，转换成瓦特：

$$\text{Antilog}(36/10) = 4000 \text{毫瓦} = 4 \text{瓦}$$

由于在 EW 中，广泛采用 dBm 表示信号强度，表 1.3 给出了用常用单位表示和用 dBm 表示的信号强度对照表，供读者方便使用。我们从表中选择一些数值：1 毫瓦是 0dBm，1 瓦特是 30dBm，1 千瓦是 60dBm。当计算传输信号强度时，这个表是非常有用的。因为接收信号强度通常远小于 1 微瓦，通常的做法是用 dBm 形式表示。比如，接收到信号的电平

为-100dBm。

其他绝对数用 dB 形式表示的例子见表 1.4。

表 1.3 用 dBm 表示的信号强度等级

| 信号强度 | dBm | 信号强度 | dBm |
|---------|-----|--------|-----|
| 1 μW | -30 | 100W | 50 |
| 10 μW | -20 | 1000W | 60 |
| 100 μW | -10 | 1kW | 60 |
| 1000 μW | 0 | 10kW | 70 |
| 1mW | 0 | 100kW | 80 |
| 10mW | 10 | 1000kW | 90 |
| 100mW | 20 | 1MW | 90 |
| 1000mW | 30 | 10MW | 100 |
| 1W | 30 | 100MW | 110 |
| 10W | 40 | 1000MW | 120 |

表 1.4 常用的 dB 定义

| | | |
|-----------------|------------------------|---|
| dBm | =功率/1 毫瓦的 dB 值 | 用于描述信号强度 |
| dBW | =功率/1 瓦的 dB 值 | 用于描述信号强度 |
| dBsm | =面积/1 平方米的 dB 值 | 用于描述天线面积或雷达截面积 |
| dB _i | =天线增益相对于各向同性天线增益的 dB 值 | 根据定义, 0dB _i 是全向 (各向同性) 天线的增益 |

1.4.5 dB 公式

为了方便起见, 本书中大量采用 dB 形式表示的公式。这些公式具有如下形式之一, 但是可以有任意项:

$$A(\text{dBm}) \pm B(\text{dB}) = C(\text{dBm})$$

$$A(\text{dBm}) - B(\text{dBm}) = C(\text{dB})$$

$$A(\text{dB}) = B(\text{dB}) \pm N \log(\text{不是用 dB 表示的数值})$$

式中, N 为 10 的倍数。

最后一个公式用于平方 (或更高次) 运算, 它的一个重要例子是用于无线电传播中扩散损耗的计算 (将在第 5 章详细讨论) 公式。

$$L = 32 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

式中, L 为扩散损耗 (单位为 dB);

d 为链路距离, 单位为 km;

f 为传输频率, 单位为 MHz。

数字 32 是转换因子, 加上它之后, 使得输入参数为最常用的单位, 而计算结果为所期望的单位。它实际上是 4π 的平方, 除以光速的平方, 乘以或除以一些单位转换因子——所有这些转换成 dB 形式, 并取整, 使其成为一个整数。重要的是要理解这个转换因子 (和包含这个因子的等式) 只有使用了正确的单位, 它才是正确的: 距离的单位必须是 km, 频率的单位必须是 MHz——否则, 计算出来的损耗值是不正确的。