

卫星应

用技术

张清山 李春华 齐怀亮 编著 李同才 审校 海洋出版社

卫星应用技术

张清山 李春华 齐怀亮 编著

李同才 审校

海洋出版社

1990年·北京

内 容 简 介

本书系统详尽地阐述了当前国内外普遍应用的多种卫星系统的理论、技术、工程问题。全书共分十章，内容包括了卫星通信的基础知识和有关的天文知识；无线电波的传播及频段选择、传输损耗和频率干扰协调；卫星轨道及有关航天技术、多址技术以及模拟和数字卫星通信系统的工程设计；地球站设备和系统与设备的测试技术；海事卫星、导航卫星、气象卫星、广播卫星等应用卫星系统。

本书的独到之处在于内容新颖、丰富，实用性强。不仅包括了有关的理论知识，国际卫星组织(如ITU, CCIR, CCITT, INTELSAT, INMARSAT等)公布的建议、规定及规范等，也包括了我国卫星技术工作的大量成果。可供从事卫星应用的工程、设计、科研、维护等工作的技术人员、管理人员阅读，也适合作为大、中专院校航天、通信、导航、气象、广播等专业的教学参考书。

责任编辑 刘莉蕾

责任校对 刘兴昌

卫星应用技术

张清山 李春华 齐怀亮 编著

李同才 审校

*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 昌平兴华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 23.5 字数: 400千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数: 1—2700

*

ISBN 7-5027-0907-X/V·1 定价: 16.50元



序 言

当前我们处在信息化时代，卫星宇航技术是信息化的主要支柱之一。卫星通信对远距离，大容量，高速度，多功能的信息传递和处理起着重要作用。我国国际报话、传真、数据等通信95%以上，电视100%由卫星担任。

中国的空间技术从1958年发展探空火箭开始，1970年4月24日第一颗“SKW-1”卫星发射成功，现已先后成功地研制和发射了几十颗各种类型和用途的人造卫星。这些卫星全部是由我国独立研制的长征系列运载火箭和风暴运载火箭送入太空的。随着空间技术的迅速发展，我们开拓了探测与和平利用外层空间的光辉前景。事实表明，在通信、海事、广播、教育、气象、导航和地球资源探测等各个领域中，卫星有很多优点和实际应用价值。随着科技进步和发展，各部门对卫星技术的需要程度会更加迫切。

本书就是为适应目前的急需而编写的一本实用性较强的综合性卫星应用技术参考书。全书共分十章，系统地阐述了目前国际国内普遍应用的多种卫星系统的理论、技术和工程问题。内容分为三大部分：第一部分（第一、二章）介绍了卫星通信的基础知识和有关的天文知识。第二部分（第三、四、五、六章）详细地叙述了卫星通信的各种理论和实际工程技术问题。内容包括电波传播、频率选择、衰耗计算和频率干扰协调；卫星轨道和有关的航天技术以及新一代国际通信卫星的介绍；多址技术和模拟与数字卫星通信系统的工程设计；典型的地球站设备以及卫星通信系统和设备的测试。第三部分（第七、八、九、十章）详细叙述了目前国际国内普遍应用的几种专用卫星系统，其中有将要启用的新一代海事卫星通信系统，先进的导航卫星系统，同步与随机轨道的最佳气象卫星系统以及广播电视卫星系统等。

全书各部分编录了国际组织有关的标准和建议。

早在70年代初期至现在，我们在建设和改造天线直径为4m至32m的大小不同型式的地球站中，深感没有一本实用的卫星通信技术的参考书，给实际工作带来的困难。在1982年我们就打算总结在卫星通信实际工作中的经验，编写一本实用性强、综合性的卫星应用技术的参考书，以满足工程、设计、科研、教学等方面的需要。

在编写过程中，我们广泛搜集资料，特别注意了近年出现的新技术，力求资料完整先进。书中既介绍了有关的基本概念和基础知识，列出了工程应用的公式图表及设计举例，也有一定的理论分析说明，供各方面的读者参考。

本书第四章由李春华、张清山编写；第五章由齐怀亮、李春华、张清山编写；第六章由李春华编写；第七章由李春华、张清山编写；其余各章由张清山编写。全书经张清山统稿，李同才审校。李本玉也做了大量工作。邝振勋提出了不少宝贵意见。

由于本书涉及的基础知识和专业面过广加之我们水平有限，错误和不妥之处望读者批评指正。

对于为本书出版提供帮助的有关单位和个人表示衷心感谢。

编著者

1989年5月

目 录

第一章 卫星通信基础知识	(1)
1.1 卫星通信的基本概念	(1)
1.2 分贝的定义和表示形式	(2)
1.3 话音的传输	(8)
1.4 音频电路的噪声	(10)
1.5 误码率	(14)
1.6 等效全向辐射功率EIRP (Effective Isotropically Radiated Power).....	(16)
1.7 CCITT 接口及各种通信方式接口电平	(17)
1.8 微波辐射对人体的影响	(20)
第二章 从事宇宙通信需要了解的天文知识	(21)
2.1 卫星通信有关天文名词简介	(21)
2.2 宇宙	(27)
2.3 太阳射电噪声对卫星通信造成的干扰	(29)
2.4 地球的有关参数	(30)
2.5 月球的基本物理参数	(31)
第三章 宇宙通信无线电波传播、频段选择、衰耗计算及相互干扰	(32)
3.1 无线电波工作频段选择和利用	(32)
3.2 无线电波在自由空间内的传播损耗	(37)
3.3 大气层对电波传播的影响	(40)
3.4 其他传播影响	(42)
3.5 电波传输过程中引进的各种噪声	(44)
3.6 地球静止卫星系统间的干扰及协调	(46)
第四章 轨道及有关航天技术	(51)
4.1 轨道要素	(51)
4.2 轨道分类	(53)
4.3 通信卫星制式	(56)
4.4 轨道计算	(59)
4.5 摄动对卫星运动的影响	(66)
4.6 卫星的发射及轨道运动	(67)
4.7 通信卫星	(75)
第五章 卫星通信多址技术和系统工程设计	(85)
5.1 卫星通信系统的多址联接方式及所构成的卫星通信制式	(85)
5.2 卫星通信线路标准和地球站分类	(102)
5.3 卫星通信的加重与加权技术	(111)

5.4	模拟与数字卫星通信的能量扩散技术	(116)
5.5	卫星和地球站的主要性能参数分析	(117)
5.6	卫星通信系统总体设计	(125)
5.7	调频制模拟卫星通信线路设计	(127)
5.8	PSK数字卫星通信线路设计	(142)
5.9	INTELSAT新开辟的通信方式	(148)
第六章	卫星通信地球站设备及其测量方法	(155)
6.1	卫星地球站设备	(155)
6.2	地球站系统性能指标的具体测试	(175)
6.3	地球站的可靠性分析与计算	(198)
6.4	国际卫星通信系统的建设与维护费用	(200)
第七章	海事卫星通信系统	(203)
7.1	海事卫星通信概况	(203)
7.2	国际海事卫星通信系统的构成	(203)
7.3	INMARSAT系统通信联络方式和程序	(216)
7.4	INMARSAT系统提供的电路种类及可供选择的业务项目	(220)
7.5	INMARSAT系统主要技术特性	(224)
7.6	船舶地球站 (SES)	(232)
7.7	海岸地球站 (CES)	(237)
第八章	导航卫星系统	(245)
8.1	概述	(245)
8.2	卫星导航系统有关名词、术语定义与解释	(246)
8.3	导航卫星及其分类	(248)
8.4	实用导航卫星的定位原理	(248)
8.5	子午仪卫星导航系统的构成	(253)
8.6	全球导航卫星定位系统	(258)
8.7	全球导航卫星系统的组成	(268)
8.8	全球导航卫星的应用	(284)
8.9	其他几种导航系统的简介	(286)
第九章	气象卫星系统	(288)
9.1	气象卫星系统简介	(288)
9.2	气象卫星的功能	(289)
9.3	气象卫星对海洋事业与国计民生的作用	(290)
9.4	气象卫星的种类	(292)
9.5	各种轨道气象卫星的比较	(294)
9.6	不同气象卫星的最佳组合	(294)
9.7	两种综合的气象卫星观测系统	(296)
9.8	实用的地球静止气象卫星系统举例	(297)
9.9	日本地球静止气象卫星 (GMS) 通信系统	(299)

9.10	指令和资料接收站(CDAS)	(304)
9.11	三点测距定轨系统.....	(309)
9.12	地球静止气象卫星地面微波中继系统.....	(312)
9.13	地球静止和极轨道气象卫星共用的接收系统.....	(315)
9.14	资料处理及电子计算机系统.....	(319)
9.15	图象处理系统.....	(321)
9.16	地面监控系统.....	(324)
第十章	卫星广播电视系统.....	(323)
10.1	概述.....	(326)
10.2	广播卫星、通信卫星及地面电视广播比较.....	(326)
10.3	卫星电视广播的几种形式.....	(327)
10.4	卫星广播工作频段的选用和频率共用.....	(334)
10.5	卫星广播业务线、圆极化方式之间的选择.....	(336)
10.6	卫星广播业务的轨道选择和可见时间.....	(337)
10.7	卫星广播系统要求的功率通量密度.....	(339)
10.8	卫星广播的调制方式.....	(340)
10.9	空间与星体技术.....	(340)
10.10	广播卫星主地球站	(351)
10.11	广播卫星用户接收设备	(353)
参考资料	(361)
附 录		
1.	CCIR关于集体接收电视系统、个体接收电视系统和个体接收单声道声音广播系统的参数举例.....	(363)
2.	CCITT高次数字复接器传输系统标准, 数字与模拟传输效率比较及各国数字复用等级.....	(367)

第一章 卫星通信基础知识

1.1 卫星通信的基本概念

在宇宙中一个小物体围绕着另一个占优势质量的大物体运动，其运动轨道主要而恒定地取决于该大物体的吸引力，这样一个小物体就称为大物体的卫星。在太阳系中，较小的天体绕着某行星运转，则称较小的天体为该行星的卫星，月球就是地球的卫星。

按一定轨道围绕某一星球运转的人造天体叫人造卫星。围绕地球运转的人造天体叫人造地球卫星。

通信卫星是指对地球站发射的无线电信号进行转发、执行通信业务的人造地球卫星。实际上，它起中继站的作用，把来自一个地球站的信号转发或反射给另一个或多个地球站。

通信卫星的种类，按其结构可分为有源卫星和无源卫星；按其运动轨道可分为静止（同步）卫星和其他轨道卫星，这部分内容将在第四章中详细叙述。

利用人造地球卫星作为中继站转发或反射来自地面的无线电信号，在两个或多个地球站之间进行通信，称为卫星通信。

卫星通信的特点：(1) 通信距离远。利用一个卫星单跳最远通信距离可达18000km，若利用三个卫星中继站，可实现全球通信。(2) 频带宽、通信容量大。卫星通信使用的频段可以从厘米波段到毫米波段。无论哪个波段都具有很宽的频带，可以传输几路彩色电视和几千至万路以上电话。(3) 具有多址联接能力，由于卫星所覆盖的地面区域广，所以在此区域内的所有地球站，皆可利用同一卫星进行通信。(4) 不受大气层骚动的影响，通信质量高、稳定、可靠。(5) 机动、灵活。(6) 不受复杂地形限制。(7) 经济效益高，投资费用与通信距离增加无关等。

卫星通信系统是指利用通信卫星或其他用途卫星上的转发器实现信号转发的一种多址或单址通信系统，主要由卫星（又称空间站）、地球站及与地球站相联系的地面通信设施、测控系统和相应的终端设备等组成。

地球站（EARTH STATION）是设置在地球表面或设置在地球大气层主要部分以内的无线电通信设施。它利用一个或多个通信卫星，与一个或多个同类站进行通信。设置在船上（或飞机上）的地球站被称为船地球站（或飞机地球站）。

宇宙无线电通信（卫星通信）和射电天文学以外的地面之间的无线电通信称为地面无线电通信，实现地面无线电通信的站，称为地面站（TERRESTRICAL STATION）。

地球站分为固定式、可搬运式和移动式。

固定式地球站一般使用大型天线、低噪声宽频带接收机和大功率发射机。多个固定式地球站与通信卫星一起构成全球通信网，实现远距离的干线通信、传输大容量的信息。

可搬运式地球站（TRANSPORTABLE EARTH STATION）也叫半固定式地球站。它要求天线馈源系统、收发信机、终端设备，电源等所有地球站设备轻便简单，易于迅速拆

卸，能够分载于几辆卡车或其他运输工具运到另一地点，并能在一、二天或几小时内迅速安装好，投入工作。因此，要求设备的可靠性高，天线口径一般在10m以下，传输容量较小。

移动式地球站 (MOVABLE EARTH STATION): 通常指安装在舰船上、车辆上、飞机上或人背的卫星通信地球站。以舰船卫星通信地球站为例，它要求舰船即使激烈摇晃，也应保证天线主瓣始终指向卫星，因此天线基座设有陀螺稳定装置。因舰船条件限制，天线直径只能在1m左右，并应防止天线到卫星的视线被其他物体遮挡。舰船上的地球站，一般仅传输低速率数据、普通电报，也传少量电话。

另外还有跟踪、遥测、指令和监视站 (TRACKING TELEMETRY AND MONITOR STATION)：通信卫星在进入预定轨道的过程中和入轨以后都需要由地面跟踪、遥测和指令站对其进行跟踪测量、遥测和遥控。卫星发射信标信号，遥测站跟踪设备接收并跟踪此信号，并获得该站指向卫星的方位、仰角、距离及其变化率等数据，用以计算和预报卫星轨道。卫星内部各种设备工作参数及环境参数经变换为电信号后，调制在信标信号上，向地面发送。地面遥测接收机接收后便可了解卫星工作状况。各种指令信号由地面遥控发射机发向卫星，由卫星遥控接收机接收，按照地球站的指令完成倒换开关、调整轨道等各种动作。跟踪、遥测指令和监视还负有各通信地球站的验证测试、操作测试的监控任务。它往往与一标准业务站设在同一地点，因此，是卫星通信控制中心的主要组成部分。

1.2 分贝的定义和表示形式

1.2.1 分贝的定义

分贝 (dB) 是表示比率或级差的一种单位，主要应用于声学 and 通信中。

对于功率比

$$1\text{dB} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \quad (1.1)$$

对于电压比 (在阻抗相同情况下)

$$1\text{dB} = 20 \lg \frac{V_2}{V_1} \quad (1.2)$$

由对数性质知， $P_2 > P_1$ 时， $\frac{P_2}{P_1} > 1$ ，分贝数为正值；当 $\frac{P_2}{P_1} < 1$ 时，分贝数为负数； $P_2 = P_1$ 时，分贝数为零。如果 P_1 是某一网络的输入功率， P_2 是该网络的输出功率 (见图1.1)，那么 $P_2 > P_1$ 表示该网络使功率得到增益，所以，正分贝数即表示功率增益；而 $P_2 < P_1$ 表示该网络使功率损耗，所以，负分贝数代表功率损耗。 $P_2 = P_1$ ，分贝数为零，



图1.1 用分贝数表示的输入输出功率

表示网络中既无增益，也无损耗。例如，1dB 的增益 (+1dB) 相当于 $\frac{P_2}{P_1}$ 为 1.259，或者说，功率增大了约 26%；1分贝的损耗 (-1dB) 相当于 $\frac{P_2}{P_1}$ 为 0.7943，或者说，功率减少了约

20%。

为什么一定要用分贝这个单位呢？这首先要从我们的耳朵谈起，原来人耳对声音强度变

化的感觉，并不和声音功率的变化成正比，而是和引起这些感觉的声音功率比值的对数成正比。用分贝作单位正好反映了耳朵的这种特性。这样，不管原来的声强大小，只要声音功率变化比值相同，人耳感到的响度变化都是一样的。

采用分贝的好处还使复杂的数字变得简单。如：人耳能听到的声音，从细微的蚊鸣到震耳的响雷，其功率竟相差 10^{12} 倍。要把雷声和蚊鸣之间的各种声音功率进行比较时，经常会遇到几万万倍或几万万分之一等令人头痛的数字。但当采用分贝表示时，雷声和蚊鸣之间相差 $10\log 10^{12} = 120\text{dB}$ 在数值上只差120这就便于记忆、书写和计算。此外，根据对数的性质，把乘除变成加减，也简化了运算。假定有三个网络，它们分别引起20%，50%和75%的功率损失（见图1.2）。如果输入端的功率 P_1 是100mW经过第一个网络后，只剩余80%，即 $P_2 = 0.8P_1 = 80\text{mW}$ ，经过第二和第三个网络后的功率将分别是： $P_3 = 0.5 P_2 = 40\text{mW}$ ， $P_4 = 0.25 P_3 = 10\text{mW}$ ，可见，必须连续三次计算，才能得到输出功率 P_4 的结果。如果这种网络有多个，它们的增益和损耗又各不相同，则用上述方法计算是相当繁杂的。如果用分贝计算，第一个网络损耗分贝数为 $10\lg P_2/P_1$ 、第二个网络损耗分贝数为 $10\lg P_3/P_2$ 、第三个网络损耗分贝数为 $10\lg P_4/P_3$ ，由对数性质知，总的分贝数为

$$\begin{aligned} 10\lg \frac{P_4}{P_1} &= 10\lg \left(\frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_3}{P_2} \cdot \frac{P_4}{P_3} \right) \\ &= 10\lg \frac{P_2}{P_1} + 10\lg \frac{P_3}{P_2} + 10\lg \frac{P_4}{P_3} \end{aligned}$$

即为各网络分贝数之和。在上例中

$$(-1\text{dB}) + (-3\text{dB}) + (-6\text{dB}) = -10\text{dB}$$

100mW的功率经过10dB的损耗后正好得到10mW的结果，这就是说，只要把增益和损耗化成分贝数进行加减运算就可以了。

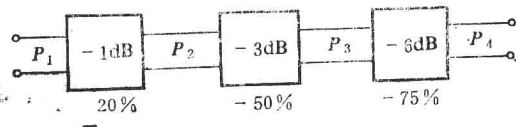


图1.2 用分贝数表示的百分数网络

1.2.2 相对电平和绝对电平

如果一个放大器有10dB增益，就表示它在正常情况下，可以把输入功率放大10倍。我们常把这种表示两个功率比值的分贝数称为相对功率电平或相对电平。放大器增益的相对电平值只能说明输出功率与输入功率的相对关系。

为了确定功率的绝对值，我们规定了一个参考基准。常用的参考基准是1mW（有的也采用1W，1kW，6mW等基准）。功率 P_x 和1mW比较，便可得到一个相应的分贝数，单位记为dBm，这个分贝数表明该信号的实际功率。因此，我们把这种表示电路某点信号实际功率的分贝数称为绝对电平。记为

$$\text{绝对电平的分贝数} = 10\lg \frac{P_x}{1\text{mW}} \quad (1.3)$$

由绝对电平的定义可知，某一功率 P_x 大于1mW时，它的绝对电平分贝数就是正的；当 P_x 小于1mW时，绝对电平分贝数就是负的； $P_x = 1\text{mW}$ 时，绝对电平就是0dBm。

要计算某一绝对电平分贝数所对应的实际功率，只需将该电平对应的功率比值乘上1mW就行了。例如，电路中某点的绝对电平是+3dBm，那么，从对数表中查得功率比值为1.995，这点的实际功率就是 $1.995 \times 1\text{mW} = 1.995\text{mW}$ 。

1.2.3 不同的表示形式

功率 P 和电压 U 、电流 I 以及电阻 R 之间有下列关系:

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

因此, 电路某两点间的相对电平分贝数

$$N_{(\text{dB})} = 10 \lg \frac{\frac{U_2^2}{R_2}}{\frac{U_1^2}{R_1}} = 10 \lg \frac{I_2^2 R_2}{I_1^2 R_1} \quad (1.4)$$

如果这两个电阻相等 ($R_1 = R_2$), 那么,

$$N_{(\text{dB})} = 10 \lg \frac{U_2^2}{U_1^2} = 10 \lg \frac{I_2^2}{I_1^2} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} = 20 \lg \frac{I_2}{I_1} \quad (1.5)$$

由此可见, 在电路两点处的电阻相同时 (或者在电路的同一点上), 可以通过电流比或电压比求得相对电平的分贝数。相对电压电平和相对功率电平的对应关系如表1.1所示。

表1.1 相对电压电平和相对功率电平的对应关系

$\left \frac{U_x}{U_1} \right $	1.122	1.259	1.412	1.995	3.162	10
$\left \frac{P_x}{P_1} \right $	1.259	1.585	1.995	3.981	10	100
dB	+1	+2	+3	+6	+10	+20

和确定功率的绝对电平一样, 也可以规定出绝对电压电平或电流电平的分贝数。但是由于两个相同的电压 (或电流) 在不同电阻上得到的功率不同, 所以规定零电压 (或电流) 电平时, 必须同时指出这个电平是在什么电阻上得到的; 也就是规定出标准电阻。通常以在 600Ω 电阻上得到 1mW 功率的电压 (或电流) 作为参考电压或电流

$$U_0 = \sqrt{PR} = \sqrt{0.001 \times 600} = 0.775\text{V} \quad (1.6)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0.001}{600}} = 1.29\text{mA} \quad (1.7)$$

如果在电路中阻抗为 600Ω 的某点上, 测得电压为 $U_x(\text{V})$, 或电流为 $I_x(\text{mA})$, 则该点的

$$\text{绝对电压电平} = 20 \lg \frac{U_x}{0.775\text{V}} \text{ dB} \quad (1.8)$$

$$\text{绝对电流电平} = 20 \lg \frac{I_x}{1.29(\text{mA})} \text{ dB} \quad (1.9)$$

要求某一绝对电压 (或电流) 电平的分贝数所对应的实际电压 (或电流), 只需把各个电压比 (或电流比) 乘以 0.775V (或 1.29mA) 就行了。

如果电路中的阻抗不是 600Ω , 则不能用式 (1.8)、(1.9) 求绝对电平, 这时最好是把电压或电流变为功率后再求绝对电平。

如果把功率比取自然对数, 再乘以 $\frac{1}{2}$, 就是相对电平的奈培数 (Np)。即

$$\text{相对电平的奈培数} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (1.10)$$

如果以1mW的功率作为零电平，则

$$\text{绝对电平的奈培数} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{1(\text{mW})} \quad (1.11)$$

和分贝的情况一样，在电路某两点的电阻相同 ($R_1 = R_2$) 时，也可以根据电压比或电流比求得奈培数：

$$\text{相对电平的奈培数} = \ln \frac{U_2}{U_1} = \ln \frac{I_2}{I_1}$$

奈培的性质和分贝一样，它们都是表示功率增益（或损耗）和电平高低的。

奈培 (N_p) 和分贝 (dB) 的关系为

$$1\text{dB} = \frac{\ln 10}{20} N_p$$

CCIR, CCITT和我国从1982年起都推荐用dB作为使用单位，而不再用奈培 (N_p) 了。

1.2.4 分贝数的简便计算

不用对数表和计算器，根据对数的运算规律可以计算出分贝值。如现有一损耗为27dB的网络，输入功率为1W，求其输出功率？为了计算方便，先假定这个网络对信号的损耗为30dB，那么，其输出应是输入的1/1000即1mW。27dB比30dB小3dB，相当于27dB网路损耗比30dB网路损耗少损失了一倍的功率。这样，其实际输出应是1mW的两倍，即2mW。

再例如，6dB增益的网络输入为10W时，可以算出其输出大约为40W。即这里得到了一个10的倍数。6dB增益表示大约4倍的功率增益。同样的6dB的损耗表示大约1/4的功率输出。因此不用对数表和计算器就可以算出许多组合情况。

假设有一个增益为33dB、输入为0.15W的网络。其输出应是多少？30dB表示输入功率乘以1000，再加3dB表示再乘以2。在此情况下，输入功率就被乘以2000。于是，输出功率就为

$$0.15 \times 2000 = 300\text{W}$$

表1.2可以进一步帮助读者用分贝求出功率比值。

表1.2 近似功率比

dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
衰 耗	0.8	0.63	0.5	0.4	0.32	0.25	0.2	0.16	0.125	0.1
增 益	1.25	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0

由于平方项的缘故，电压和电流比值的分贝数是功率dB数的两倍。众所周知

$$\text{功率} = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

因此，当计算电流和电压比值时，电压的比值以分贝表示为 $20\lg\frac{U_2}{U_1}$ ，电流的比值以分贝表示为 $20\lg\frac{I_2}{I_1}$ 。

当使用上面所示的关系式时，应记住它们必须在相同的阻抗情况下进行比较。

例1 电压比为100相当于多少dB?

因为
$$\frac{U_2}{U_1} = 100$$

所以
$$20\lg\frac{U_2}{U_1} = 20\lg 100 = 40(\text{dB})$$

例2 如果放大器的电压增益为30dB，此增益相应的电压比是多少? 假定放大器的输入和输出阻抗相等。

因为
$$20\lg\frac{U_2}{U_1} = 30$$

所以
$$\frac{U_2}{U_1} = 3.16$$

对于不同的阻抗 $|Z_x|$ ，通常以600Ω阻抗为基准，再加上修正值，采用下述公式计算：

$$\begin{aligned} P_{\text{dBm}} &= 10\lg\frac{P_x}{P_0} = 10\lg\frac{U_x^2/|Z_x|}{U_0^2/R} = 20\lg\frac{U_x}{0.775} + 10\lg\frac{600}{|Z_x|} \\ &= P_v + 10\lg\frac{600}{|Z_x|}(\text{dB}) \end{aligned} \quad (1.12)$$

式中， P_{dBm} 表示绝对功率电平； P_v 表示绝对电压电平； U_x 为被测点电压值，单位为V； U_0 是参考电压，不管被测点 x 的阻抗是多少， U_0 均选为0.775V， $|Z_x|$ 为被测点阻抗绝对值。式中

$$P_{\text{v dB}} = 20\lg\frac{U_x}{U_0} = 20\lg\frac{U_x}{0.775}(\text{dB}) \quad (1.13)$$

当测试点的阻抗 $Z_x = 600\Omega$ 时，该点的绝对功率电平就等于该点的绝对电压电平。不同 $|Z_x|$ 值相对于600Ω的dB数如表1.3所示

表1.3 不同 $|Z_x|$ 值相对于600Ω的dB值

$ Z_x (\Omega)$	60	75	124	135	150	600
$10\lg\frac{600}{ Z_x }(\text{dB})$	10.00	9.031	6.847	6.478	6.021	0

1.2.4 分贝的导出单位与转换关系

dBm是常用的计量单位，根据定义，0dBm是对应于1mW的绝对功率电平，在通信计量中经常使用。在通信和电信技术中通常以1mW为标准功率，这是因为人讲话时，通常声音的平均功率为10μW，电话机送话器的平均灵敏度为150mV/Pa以上，这时话机的输出功率为1mW。因此，一般电信技术和电信工程中话音功率取1mW为标准功率。某点功率和此标准

功率比较，便可以得到一个相应的分贝数，单位为dBm，表示该点的绝对功率电平。

例如，一个放大器输出功率为20W时，以dBm计，其输出为

$$\text{功率电平 (dBm)} = 10\lg \frac{20\text{W}}{1\text{mW}} = +43\text{dBm}$$

再求解另一个例子：输入到一网络的功率为0.0004W，以dBm计的输入功率是多少？

$$\text{功率电平 (dBm)} = 10\lg \frac{0.0004\text{W}}{1\text{mW}} = -6\text{dBm}$$

dBW是在计算较大信号功率(例如卫星通信中发射功率)时使用的绝对电平计量单位，它是以1W功率作为比较基准而求得的dB值。

$$\text{功率电平 (dBW)} = 10\lg \frac{P(\text{W})}{1\text{W}} \quad (1.14)$$

dBW和dBm之间可作如下转换：

因为1W = 10³mW，所以用dB表示时为

$$0\text{dBW} = 30\text{dBm} \quad (1.15)$$

同理

$$-30\text{dBW} = 0\text{dBm} \quad (1.16)$$

例如，功率为3.9kW，其

$$\text{功率电平} = 10\lg 3900 = 35.9\text{dBW} = 65.9\text{dBm}$$

表1.4 功率电平换算表

dBm	dBW	W	dBm	dBW	mW
+66	+36	4000	+30	0	1000
+63	+33	2000	+27	-3	500
+60	+30	1000	+23	-7	200
+57	+27	500	+20	-10	100
+50	+20	100	+17	-13	50
+47	+17	50	+13	-17	20
+43	+13	20	+10	-20	10
+40	+10	10	+7	-23	5
+37	+7	5	+6	-24	4
+33	+3	2	+3	-27	2
+30	0	1	0	-30	1
			-3	-33	0.5
			-6	-36	0.25
			-7	-37	0.20
			-10	-40	0.10

dBmV是绝对电平计量单位，广泛用在视频传输中。一个电压值可以用加在高于或低于75Ω阻抗上的1mV电压的分贝数表示，当在75Ω阻抗上测量电压时，

$$\text{电压电平 (dBmV)} = 20\lg \frac{U_x \text{mV}}{1\text{mV}} \quad (1.17)$$

表1.5可用作换算使用。

表1.5 电压电平换算表

75Ω上电压有效值 (mV)	dBm V	75Ω上电压有效值 (μV)	dBm V
10000	+80	500	-6
20000	+66	316	-10
1000	+60	200	-14
10	+20	100	-20
2	+6	10	-40
1	+0	1	-60

分贝数的相加相当于对应功率比的相乘。当信号以绝对电平为单位如dBm、dBW相加减时,要注意上述关系。假设图1.3的合成网络在理论上无损耗,则合成网络的输出是+33dBm。

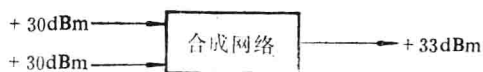


图1.3 合成网络的加减

图1.4的曲线用于直接确定以绝对分贝单位表示的与两个电平和或差相对应的电平,图中的刻度值是相对于某些参考的分贝数。

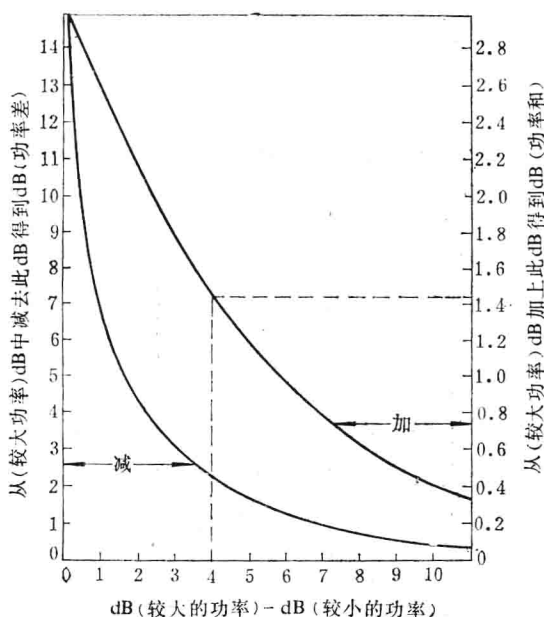


图1.4 对应于两个电平和或差的分贝值

例如,把10dBm和6.0dBm两个功率电平相加。先求出这两个电平间的差为4dB。把这个差值标在曲线水平刻度上(横坐标)。由此点向上投影到与“加”曲线(上面的曲线)相交处。取其与右边刻度对应的数值并把它加到所加的较大电平的数值上。这样得

$$10\text{dBm} + 1.45\text{dBm} = 11.45\text{dBm}$$

假定从10dBm的信号中减去6.0dBm的信号。再次求得其差为4dB。如上同样地把这个值标在水平刻度上。将此点向上投影至“减”曲线(下面的曲线)处取其对应的值,并从较大电平中减去它。于是得

$$10\text{dBm} - 2.3\text{dBm} = 7.7\text{dBm}$$

当需要把以dB表示的几个相等的功率电平加起来时,可把这几个相等功率电平的个数取其常用对数所得电平加到原来的这个电平上去。例如,把四个+10dBm的信号加起来,可得

$$10\text{dBm} + 10\lg 4 = 10\text{dBm} + 6\text{dB} = 16\text{dBm}$$

当相加的电平多于两个,且它们不相等时,可把它们分为几对,并用图1.4求出每一对的和,再用同样的方法第二次分对,求出每对的和直至得到最后结果。

1.3 语音的传输

电话信道也称语音信道,它可以用下列技术参数描述:频带宽度、衰减失真(频率幅度

响应)、相移、噪声和信噪比、电平、与话音信道传输有关的回波损耗、振鸣、稳定性等。

将用于特定用途的最低频率和最高频率的间隔范围定义为带宽。根据用途,在此带宽范围内,一个设备的性能要高于规定的限值。对于滤波器、衰耗器和放大器,其限值一般比通带的平均电平或参考频率(对于话音为1kHz或800Hz)的电平低3dB。3dB点叫半功率点,这种以半功率点确定的带宽称三分贝(3dB)带宽,话音信道的额定带宽通常为4000Hz。现代载波设备的话音信道可用带宽,实际是300—3400Hz。

一般话音的频率分量是在20Hz至20kHz之间。由于人耳对不同频率的敏感性不同,所以,人耳的频率响应在30Hz至30kHz之间为一非线性函数,但话音的主要信息和能量存在于窄得多的频带内。实验表明:600—700Hz以下的低频只传给人耳以很小的信号可懂度。但在此很窄的频带内,却传递着大量的音频能量。为了经济地传递话音信息,需要带宽比20—2000Hz窄很多。事实上,话音信道的标准带宽是300—3400Hz(CCITT建议G132, G151A)。这个频带既考虑了电话用户要求的性能,又考虑了经济问题。然而,许多用户电话机频率响应范围实际上大约不超过500—3100Hz。目前我国自动电话机的工作频率范围大部分是300—3400Hz。

同样,人耳的听觉特性和人眼的视觉特性均与功率变化的对数值成正比。

话音信号在任何实际的通信信道中传输时都要受到各种失真的损害,其中,信道频幅响应不理想引起的失真称衰减失真。

话音通路上的衰减失真是以对参考频率的电平相比较来测量的。CCITT规定参考频率为800Hz,但在北美则使用1000Hz较为普遍,我国800Hz和1000Hz都用。

例如,要求300—3400Hz内电平变化范围不超过-1—+2dB。这样,在通路输入端加上-10dBm的信号,可期望在800Hz时通路输出端为-10dBm(若通路相对增益为0dB时),频带内其他频率的输出电平在-1dB和+2dB间变化。例如,2500Hz时可能为-10.9dBm,1000Hz时为-9dBm(见CCITT建议第三卷G132, G151A)。

“电平”是指功率电平或电压电平,它是一个重要的系统参数。如果放大器工作在饱和电平或接近饱和电平上,就有可能过载,并因此增加互调产物和串音;如电平过低、则音响不够。

在电信工业和电信工程中,工程师们关心的主要是通信系统中各点的电平。而各点的功率、电压或电流是按相对于某一基准值的比值的对数关系进行设计和计算的。由于选取的基准值不同,又可分为绝对电平、相对电平和测试电平,以及广播系统使用的音量单位VU等。

测试电平:是指电路始端电平为0dB时所讨论点上的绝对电平。也就是说,在电路始端接入一个输出电平为0dB的测试振荡源(阻抗匹配时)时,电路中被测点上的绝对电平。该振荡源输出的0dB电平,是指功率或电压电平。

系统电平:通常是指设计者根据需要制定出工程系统电平图,再根据总的系统电平图,确定出各点电平。在电平图中,基准测试电平点是设计者预先确定的,首先规定该点的测试音电平为0dB_r。相对于基准测试电平点的其他点的电平可以用dB_r表示。负值表示该点电平低于基准测试电平点,正值表示高于基准测试电平点。dBm₀是相对于基准测试音电平以dBm表示的绝对功率电平,其关系如图1.5所示。

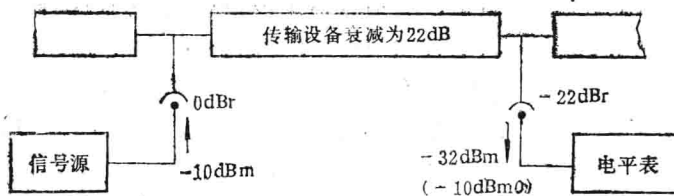


图1.5 dBm、dB和dBm0的关系

音量单位VU：是表示广播节目中语音和音乐的功率电平（音量）的单位。广播系统中常接入一个VU电表来测量语音的音量电平。美国的标准音量指示器包括VU表和一套衰减器。在35—10 000Hz范围内，将1mW正弦信号功率加到阻抗为600Ω的话音电路上时，其值定为0VU，若将一连续正弦信号加至该电路时，按0dBm=0VU计；而所加之信号为音乐和语言等复合波形时，将VU表读数减去1.4，则近似等于语音功率的dBm值。

1.4 音频电路的噪声

在通信系统中，除所需要的有用信号外，其余电信号均称为噪声。由于噪声是影响通信系统性能的重要因素，所以通信工程师们要了解 and 掌握各类噪声的属性、产生的原因及降低噪声的方法。

1.4.1 噪声的分类

噪声通常可以分为热噪声、互调噪声、串音和脉冲噪声四类。

(1) 热噪声是指传输介质和通信设备中，由于电子随机运动所引起的噪声。它的能量谱呈均匀分布，电平呈高斯分布。热噪声是限制接收系统灵敏度的重要因素，其大小与温度成正比，通常用绝对温度（K）表示。同时它也设备的频带宽度成正比。若设备的噪声带宽为B，噪声功率为

$$P_n = kTB(W) \quad (1.19)$$

在1Hz带宽内的热噪声功率为

$$P_{n0} = kT (W/Hz)$$

式中 k ——玻尔兹曼常数， $k = 1.38 \times 10^{-23} J/K$

T ——绝对温度，K。

若环境温度为20℃，则此时的 $T = 273 + 20 = 293K$

因此

$$\begin{aligned} P_{n0} &= 293 \times 1.38 \times 10^{-23} W/Hz \\ &= -203.9dBW/Hz \\ &= -173.9dBm/Hz \end{aligned}$$

若 $T = 0K$ ，则 $P_{n0} = 0$ （此状态目前实际不能达到）

若 $T = 1K$ ，则 $P_{n0} = -228.6dBW/Hz$ (1.20)

式(1.20)描述的是理论极限值，实际上， $T > 0K$ ，其热噪声功率可按下式计算：

$$P_{n0} = -228.6 + 10 \lg T \quad dBW/Hz \quad (1.21)$$

对于一个有限带宽的系统