

无 綫 电 信 号 頻 譜

苏联 M. C. 古列維奇 著

靳 蓀 譯

人 民 郵 電 出 版 社

24.95 07

М. С. ГУРЕВИЧ
СПЕКТРЫ РАДИОСИГНАЛОВ
СВЯЗЬ ИЗДАТ МОСКВА 1963

内 容 提 要

本书研究各种无线电信号的频谱, 以及在最通用的调制形式下防止无线电通信波段内发生相互干扰的措施。书中也叙述了在发送中心和控制室里测量无线电通信波段所占用频带宽度的方法。

本书可供广大的无线电工程师、科学工作者以及高等学校无线电工程专业的研究生和高年级学生学习通信理论之用, 也可供实用电路计算与测量中参考。

无 线 电 信 号 频 谱

著 者: 苏 联 М. С. 古 列 维 奇
译 者: 靳 蓓
出版者: 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 19 号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者: 北 京 市 印 刷 一 厂
发行者: 新 华 书 店 北 京 发 行 所
经售者: 各 地 新 华 书 店

开本 850×1168 1/32 1965 年10月北京第一版
印张 9 20/32 页数 154 插页 1 1965 年10月北京第一次印刷
印刷字数 255,000 字 印数 1—2,750 册

统一书号: 15045·总1441—无410

定价: (科 7) 1.70 元

序

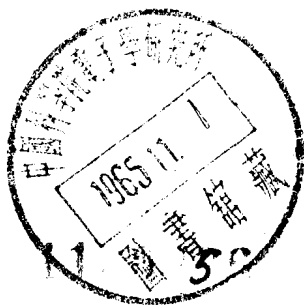
无綫电通信在一个总的电信网中起着十分重要的作用。无綫电通信的进一步发展，主要决定于下列問題解决的順利程度如何：

- 1) 增大无綫电通信系統的通过能力与提高它的抗干扰性；
- 2) 更經濟地利用分配給无綫电波道的頻帶，以便能在有限的頻率範圍內，設置最大数量的、具有最小互相干扰的波道。

为了順利地解决这些問題，需要研究无綫电信号的頻譜，特別是要探討减小无綫电波道頻帶寬度的可能性（頻帶寬度是表征无綫电通信系統和无綫电頻譜利用率的最重要指标）。

尽管人們很早就对无綫电信号頻譜的研究有很大的兴趣，但是对这个領域里許多問題的研究仍然很不够。本书是以作者若干年来所作的研究为基础而写成的。

作者



目 录

序

緒論

1. 无綫电頻譜及其利用	1
2. 作为信号物理特性的頻帶宽度	5
3. 有关无綫电信号頻譜的一些基本概念和定义	6
4. 本书討論的問題	10

第一章 信号的数学表示形式与頻谱概念

11

§ 1.1. 信号表示的一般概念	11
§ 1.2. 指数函数的利用	12
§ 1.3. 正交性与完备性	15
§ 1.4. 延迟函数的方法	19

第二章 在給定頻帶中包含有最大部分能量的有限持續信号

21

§ 2.1. 信号与頻譜間的某些关系	21
§ 2.2. 积分方程的建立	23
§ 2.3. 确定信号部分能量的界限	25
§ 2.4. 利用核的展开来求积分方程的近似解	27
§ 2.5. 把积分方程化为微分方程的边值問題来求解	31
§ 2.6. 参数 k 值較大时对信号 $u(k, \lambda)$ 的研究	40

第三章 傳輸脉冲占用的頻帶

41

§ 3.1. 頻帶中脉冲能量的分布	42
§ 3.2. 矩形脉冲	43
§ 3.3. 梯形脉冲与三角形脉冲	44
§ 3.4. 形状为余弦曲綫一段的脉冲。余弦形脉冲	46
§ 3.5. 具有余弦-平方律圓化的脉冲	54
§ 3.6. 余弦-立方形脉冲	59

第四章 傳輸占用的頻帶寬度和信号的建立時間

61

§ 4.1. 一般概念	61
§ 4.2. 信号建立時間的定义	62
§ 4.3. 评价信号的一般判据	62

§ 4.4. k_y 的数值	63
第五章 以减低带外辐射为目的的信号的形成	67
§ 5.1. 前言	67
§ 5.2. 从仙农理论关于波道通过能力的观点来研究减低带外 辐射能量的可能性	68
§ 5.3. 以函数及其导数的跃变表示的傅里叶积分变换	70
§ 5.4. 脉冲形状与带外辐射衰减速度之间的关系	73
§ 5.5. 频谱减低不慢于 C/ω^{n+1} 的有限持续信号的形状	75
第六章 振幅键控与频率键控时, 传输无线电报信号占用的频带	87
§ 6.1. 振幅键控时传输占用的频带宽度	87
§ 6.2. 频率键控时传输占用的频带宽度	93
§ 6.3. 两种键控形式下占用频带的比较	98
第七章 频率键控时各种不同形状无线电报信号的频谱	99
§ 7.1. 梯形脉冲	100
§ 7.2. 正弦律圆化的脉冲	104
§ 7.3. 频带宽度的计算结果	107
§ 7.4. 不同信号形状的带外辐射	108
第八章 传输占用频带宽度与信号延迟时间之间的关系	115
§ 8.1. 波道的通过能力与延迟时间	115
§ 8.2. 保证传输有限延时信号的通信系统特性	118
§ 8.3. 考虑延时时的波道通过能力	121
§ 8.4. 占用最小频带、频谱有限的信号形状	122
第九章 正规信号序列与随机信号序列频谱间的关系	131
§ 9.1. 初步概念	131
§ 9.2. 用在时间上推移的基本信号来表示消息	132
§ 9.3. 频谱 $R(\omega)$	134
§ 9.4. 相应于重复因子的信号	138
§ 9.5. 各种频谱的能量关系	140
§ 9.6. 结论	145
第十章 传输随机信号序列占用的频带	146
§ 10.1. 确定传输随机信号序列占用频带宽度时所发生的困难	146
§ 10.2. 借相关函数来确定频带宽度	148

第十一章 传输随机信号序列时无綫电通信波道間相互干扰的減低	151
§ 11.1. 研究相互干扰問題的可能方法	151
§ 11.2. 表示为延迟函数級数形式的信号的能量頻譜	153
§ 11.3. 不相关信号的頻譜	154
§ 11.4. 相关信号的頻譜	158
§ 11.5. 結論	158
第十二章 利用振幅、頻率或相位調制的无綫电通信系統間的相互干扰	159
§ 12.1. 原始假定	159
§ 12.2. 各种不同失調下相互干扰能量的变化	161
§ 12.3. 通过与接收机等效的滤波器 F_R 发送的信号最大振幅 A 和能量 W 之間的关系	163
§ 12.4. 当 $P_U < P_R$ 时 A 与 W 之間的关系	164
§ 12.5. 当 $P_U > P_R$ 时 A 与 W 之間的关系	171
§ 12.6. 确定波道間的差值	174
第十三章 信号在发射机中的形成	199
§ 13.1. 选择脉冲形状的一些实际建議	199
§ 13.2. 鍵控回路中的綫性滤波器	204
§ 13.3. 形成信号的非綫性装置	209
第十四章 无綫电报发报机辐射的頻帶寬度的測量	212
§ 14.1. 測量辐射頻帶寬度的方法	213
§ 14.2. 确定測量无綫电报辐射占用頻帶寬度的电平	221
§ 14.3. 遙測无綫电发射机辐射的頻帶寬度	224
§ 14.4. 对試驗确定随机信号序列传输占用頻帶寬度的一些实用建議	229
附录	231
附录 I 各类辐射必需的頻帶寬度	231
附录 II 将积分方程化为微分方程的边值問題	233
附录 III 确定系数 d_n	237
附录 IV 計算积分 $A(k), B(k)$ 与 $C(k)$ 的公式	244
附录 V 洛麦利函数 $S_{\mu, \nu}(Z)$	245
附录 VI 頻率鍵控时梯形脉冲与正弦律圓化脉冲辐射占用的頻帶寬度	296
附录 VII 辐射的分类	297
参考文献	300

緒 論

本章探討無線電頻率不够用的原因和改善對頻譜利用的方法。

文中指出，在確定無線電通信波道通過能力的諸參數中，頻帶寬度起着重要的作用。

確定了輻射所占用的頻帶寬度、必要的頻帶寬度以及帶外輻射的概念。

論證了輻射所占用頻帶寬度的“能量”定義（即包含有輻射功率主要部分的頻帶的定義）的合理性。

舉出了作者打算列在本書中並加以解決的一些主要問題。

1. 無線電頻譜及其利用

如果考察一下無線電技術的發展，就會看到在 $20 \cdot 10^3$ 赫至 10^{11} 赫間極其廣闊的頻率範圍內，人們在利用電磁振蕩方面所取得的巨大成就。在無線電通信、無線電廣播、電視、雷達、無線電導航、遠程控制、遠程測量中，利用無線電波來傳輸信號，在工業與醫學中，也使用高頻電場與磁場。上所列舉，已經足以表明無線電頻率的利用與國家的國民經濟和文化生活是緊密相關的。

無線電通信、無線電廣播以及與之鄰近的一些部門迅速進步所帶來的不利的一面，是愈來愈增加了頻譜的負擔。有關生活方面的許多重要業務使波道的負擔過重，因而互擾電平日益增加。近年來用戶的迅速增多，使無線電頻率更加不够用了。因此，應當將無線電頻譜視作一筆有限的財富，很慎重地予以利用和細心愛護。

當前使用着的頻譜這麼寬，但還不能滿足無線電業務需要，其原因是很多的。

第一個、也是最重要的一個原因，就在於超過 30 兆赫的頻率不如較低頻率用得那麼廣泛。低於 30 兆赫的頻率，適用於距離數千公里的通信中，以及需要很經濟地為散布得很廣的聽眾服務的無線電廣播中；而高於 30 兆赫的頻率，則用在距離不超過一百公里且發

射机功率不太大的通信中。为了长距离、无中继地传输消息，在宽度为一兆兆赫的总频谱范围内，只能够利用 30 兆赫以下的频带。这就是 30 兆赫以下的频谱为什么严重过载的原因。

第二个原因在于，许多新的业务部门，例如采用频率调制的超短波广播、电视与雷达所需的波道，要比旧有的一些业务所使用的波道宽得多。例如，采用频率调制的超短波无线电台所占用的频带，要比采用振幅调制的无线电广播台所占用的频带宽 20 倍。电视波道比用振幅调制方法进行广播的波道要宽 600 倍。雷达站所占用的频带要比无线电报通信所需的频带宽数千倍。

第三个原因是频谱的上段（高于 10,000 兆赫的频率）很难利用。频率达到这个范围时，发射机的功率与接收机的灵敏度都不大。大气成分的不均匀，会使某些频率的传播发生困难。例如，当频率超过 30,000 兆赫时，暴雨可能使电路遭到破坏。

频谱负担过重的第四个原因，是很难将某些业务从它已经“各得其所”的频率范围内，调动至新的、还很少掌握的频率范围中去。

在 most 有效地利用频谱的道路上，究竟存在着哪些技术上的困难呢？

首先要指出这样一个因素，即仅当信号对干扰的比值大大地超过 1 时，通信系统才能很好地发挥作用。最近时期，的确出现了相关法，它能使我们在信号对干扰的比值小于 1 的情况下工作，可是这样却大大地增加了占用波道的时间。因此，实际上信号电平应当比干扰电平高 10 至 50 分贝。

无线电台在超出其工作范围很远的距离内造成强烈的干扰，甚至当无线电台在地域上作最合理的分布，且无线电波传播条件不变化的情况下，每一台发射机对距离超过该电台服务区域半径三倍处、工作频率相同的其他发射机的接收机的接收，会造成强烈的干扰。实际上，任何时候也不能够仅根据地域上的考虑来分布发射机于各地。事实上，信号电平与干扰电平根据大气的条件，特别是电离层

的状态（对約低于 50 兆赫的頻率而言）和对流层的状态（对高于 50 兆赫的頻率而言）而变化。这种变化可能是极大的，并且可能具有不定期的或周期性的特征，几乎不可能对它們預先詳細地确定。此外，传播条件的昼夜变化和季节性变化（特别是对于低于 25 兆赫的頻率而言），要求无线电台备有几种不同頻率，以便根据一天或一年的時間和工作距离来先后选用。

只向有接收机的方向发送信号，只朝有发射台的方向接收信号，亦即采用定向天綫，就可以改善頻譜的利用。定向天綫广泛地用在干綫无线电通信，而很少用在移动的业务中。它們能够而且应当十分广泛地用在整个无线电通信和广播领域中。

因此，我們涉及到布置許多利用同一頻率、且具有最小相互干扰的电台的技术問題。同样重要的是使每一个电台只利用最小部分的頻譜。如果我們希望最大限度地占用頻譜，那末，傳輸所占用頻帶的寬度就应当尽可能地窄，且为信号的頻率分量所緊密充滿，而防护頻帶和頻差容限則应当減至最小值。

現在我們首先來討論不同类型发射机所占用的頻帶寬度問題，和頻率分量如何充滿波道的問題。

在所有有效調制方法中，能量是集中于傳輸所占用頻帶的一定区段上；同时，波道中頻率分量分布密度与調制的方法有关。在某些业务中，适当选择或变更調制方法，可以增大頻率分量密度，并改善頻譜的利用。

最近时期，許多人研究調制方法，借以确定被占用波道的利用效率和抗拒进入波道的干扰作用的效果。

通过抑制一些頻率分量（这些頻率分量重复了包含在另一部分分量中的信息）的办法，可以使調制方法得到改进。例如，可采用将載波与一个边頻帶完全抑制的調制系統。由于設備的情况不正常或調整的状况不适当，常常使无线电台，特别是通信用无线电台所发射的頻譜，比它所需要的頻譜寬若干倍。

其次，还存在着一个頻差容限的問題。可以毫不夸大地說，任

何一种限制傳輸所占頻带宽度的技术措施，若不大大地縮小发射机頻率不穩定性的容限，都不能改善頻譜的利用。

接收机頻率不穩定性的容限也很大；而且許多业务的接收机选择性也是不够的。发射机与接收机的頻率不穩定性，迫使波道間增加分隔，从而大大地增加了所占用的頻带宽度。这通常要比必要的頻带宽度大若干倍。

由于有必要提高頻譜利用的有效度，要求采取一系列的科学技术措施：

1. 系統地探求在整个頻段內，最合理地配置数量最大且互相干扰最低的电台的方法。

2. 将傳輸所占用的頻带宽度限制到接近于必需的頻带宽度值。載波偏移的頻差容限只应当为波道宽度的一小部分。

3. 消除使防护頻带加宽的那些設備上的缺陷，亦即：提高发射机与接收机振蕩器載波頻率的稳定性，提高接收机的选择性，規定适当的調制度。

4. 运用最有效的調制方法，以保証最佳地利用所占用的波道（特别是对那些寬頻带的业务，例如調頻式超短波广播与电视）。

5. 限制电台在其工作区域范围以外所产生的干扰电平，为此，可以降低发射机的功率，抑制諧波輻射，使載波同步（在这样做有实际意义的地方）以及使用定向天綫。

6. 改进对頻譜占用情况的监督和观察方法，特别是改进对輻射所占用頻带宽度的监督。

尽管对无綫电信号頻譜的研究有很大的实际意义，但这个問題研究得仍很不充分，其原因在于研究上述問題时，遇到了理論上与实际上的一些困难。这只需提一下下面的事实就足以說明。权威的学者与无綫电工程师如弗列米格(Флеминг)，在不算太早的1930年，就在《自然》(Nature)杂志上开展的一次辯論中提出^①，証明有实际

^① 这次辯論的詳細資料見斯·姆·雷托夫(С. М. Рытов)的著作[文献8]与[文献10]。

意义的只是“已調制的載波”，而边頻帶——它是計算的方法与数学上的虛构，并不符合于实际情况。

正如斯·姆·雷托夫所正确指出的那样，由此所得到的結論談起来絕對不是什么高深的东西，而是十分迫切和实际的問題。因为根据弗列米格的見解，如果是一个唯一的載波頻率的話，那末就沒有任何根据来确定无綫电台之間的頻率間隔，而“以太”的填充浓度将仅受接收机选择性的限制。尽管很自然地，弗列米格不能始終堅持他的不正确的观点，然而毫无疑問，他否认边頻率的现实性，却延滯了对无綫电通信波道所占頻帶寬度問題的研究。在和弗列米格辯論以后，文献中也还遇到在这个問題上的一些錯誤的言論。

在頻譜概念的发展方面，恩·恩·安得列夫(Н. Н. Андрев)，在1917年曾进行过科学研究，并写出了专题論文[文献1]，在該論文中，以現代的水平，論述了应用頻譜概念来分析电振蕩的問題。

勒·依·馬杰里什坦(Л. И. Мандельштам)和他的学生格·斯·戈列里克(Г. С. Горелик)和斯·姆·雷托夫的工作，以及近年来А. А. 哈尔凱維奇(А. А. Харкевич)的著作[文献23]，均在这个領域中起了巨大的作用。直接与无綫电頻率的利用有关的問題的解法，在姆·符·舒列基(М. В. Шулейкин)[文献22]，符·阿·柯捷里尼可夫(В. А. Котельников)[文献4]，符·伊·西費罗夫(В. И. Сифоров)[文献7]等人的著作中可以見到。

2. 作为信号物理特性的頻帶寬度

为了确定利用信号所可能傳輸的消息数量，并闡明信号特性与通信波道性质之間的关系，必須引入某些能从物理意义上能表征信号的量[文献28]。

如果信号可以某个時間函数来表示，那末，当我們不管用怎样方法确定了这个函数时，信号也随着被确定了。然而，并非总有必要对信号作如此完整的描述。在許多情況下，仅限于更一般的描

述，規定少数綜合測量就已經足够了。通常在通信理論中，为了描述信号的一般性质，采用三种測定：信号的持續時間，信号超过干扰的数值以及信号頻帶的寬度。后者十分方便地表明信号許多重要的性质。通常將这三个量的乘积称为信号容积。如果取干扰为在滤波器通頻帶中具有均匀分布頻譜的噪音，且服从于正态分布規律，那末，如所周知，对理想的系統而言，波道的通过能力將等于

$$C = F \log_2 \frac{P + N}{N} \text{ (每秒二进单位)}, \quad (\text{B.1})$$

式中

C ——波道的通过能力；

F ——波道頻帶的寬度；

P ——信号的功率；

N ——干扰的功率。

由上述公式可以看出，增加頻帶的寬度，或者增大信号的功率（相对于干扰的功率而言），均可提高波道的通过能力。在滿足实有波道通过能力下，可以考虑增大信号对干扰的比值，亦即增大发射机的功率，来减小頻帶的寬度。然而应当指出，節約頻帶所花的代价是十分高的，因为随着功率 P 的变化，对数值变化得很緩慢。例如，当信号对干扰的比值为 30 分貝时，为了补偿 10% 的頻帶减小，需要将发射机功率增大一倍。

由公式(B.1)可以看出，在决定通信波道通过能力的諸参数中，頻帶寬度起着何等重要的作用：在理想的通信系統中，变更頻帶寬度对波道通过能力的影响，要比变更发射机功率大得多。这个結論十分重要，它說明了需很珍惜地利用頻帶寬度的必要性，因为很明显，增大功率是要花費很大的投資才能达到的。

3. 有关无綫电信号頻譜的一些基本概念和定义

为了探討有关在无綫电頻段內通信波道的配置問題，必須精确

地确定每一条波道所占的頻帶寬度。

无綫电报信号的持續時間有限，因此，它們的頻譜一直延續至无穷。故从理論上來說，傳輸这种信号要占用无限寬的頻帶。然而，这一理論上的說明并不会使我們得出任何实用結論，因为无綫电通信所用信号的絕大部分能量，集中在比較狹窄的頻帶中，而距中心頻率較远的頻譜部分，对保持通信并无多大意义。

为了实际确定傳輸所占“位置”，我們不得不在相当任意的程度上，选择預定用来实现通信的輻射功率部分。如果功率的这一部分选定了，那末，根据能量在頻譜中的分配，就可以确定包含有这部分功率的頻譜部分，从而确定所占的頻帶寬度，亦即該种輻射占用的波道寬度。

实际上，可以从两条途径来确定被占用頻帶的寬度：

1) 根据頻率值 ω_k ，在这种頻率下，頻譜的模 $|F(\omega_k)|$ 的值为其最大值的某一部分，亦即

$$\frac{|F(\omega_k)|}{|F(\omega)|_{\text{最大}}} = \frac{1}{d},$$

式中 $d > 1$;

2) 根据頻率值 ω_k ，这个頻率限定着一个頻譜区域，在这个区域内包含有頻譜全部功率的主要部分。

有时候第一种頻帶寬度的定义称为“几何性的”，而第二种頻帶寬度的定义称为“能量性的”。利用此两定义中的任意一个，都可以获得頻帶寬度值，此頻帶寬度值，在一定程度上計及了形成該信号的頻譜的最重要部分。对于每种信号形状，均可确定在此頻帶中的功率的相对含量与在其邊緣上的頻譜分量电平之間的对应关系。

在无綫电通信規程[文献 43]与国际上有关的建議[文献 40]中，載有下列被占用頻帶寬度的“能量性”定义：如下的一种頻帶寬度称为被占用的頻帶寬度，即在該頻帶的下界和上界以外，平均的輻射功率均等于該輻射全部的平均功率的 0.5%。

在某些情況下，例如，在頻率复用的多路系統，当实际采用被

占用頻帶寬度或必需的頻帶的定義時，0.5%的數值可能會造成一定的困難；在這種情況下，另一種百分含量規定就可能有效一些。

應當指出，系數0.5%這個數值是无綫電通信規程與有關國際會議任意選定的，並沒有理論根據。所能確定的是，由於傳輸持續時間有限的信號時，信號的功率是分配在無限寬的頻帶上，故在定義的頻帶中，功率的百分含量應當小於100%。因為包含輻射功率99%的頻帶，大致與優質地重現信號（它具有實際上允許的圓化）所必需的頻帶相當，故從實際觀點來看，系數0.5%在許多情況都是方便的。

儘管系數0.5%是任意選定的，然而上述頻帶寬度的定義在廣泛應用中却是方便的，應當將它看作為國際使用的慣例。如果在廣泛應用中引入某一新的定義，則妨礙了互相比較測量結果的可能性，並使測量問題過分複雜化。

因此，我們將採納、並在以後利用上述无綫電通信規程與國際上有關建議中所採用的“被占用頻帶寬度”的定義。

只可能靠變更信號的形狀來減低一給定持續時間的信號輻射所占用的頻帶寬度。如所周知，圓化了的信號所占用的頻帶寬度比矩形信號小。經驗指出，被圓化到某一程度的信號，在接收時是容易按要求的質量重現的。然而，過度地圓化可能影響接收消息的質量，例如，錯誤的相對數目可能超過規定標準。因此，我們來談一下必需的頻帶寬度的概念。无綫電通信規程[文獻43]與國際上有關文獻[文獻40]建議：必需的頻帶寬度就是輻射所占用頻帶寬度的最小值，以此寬度，該類輻射將能充分保證消息以一定的速度和質量進行傳輸，以滿足在一定條件下運用的系統的要求。

在附錄I的表中，給出不同種類輻射所必需的頻帶寬度值，該表系根據[文獻43]中所列的數據編成的。

如果輻射所占用的頻帶寬度等於必需的頻帶寬度，則輻射是完善的。這就意味着，傳輸所利用的信號，其圓化程度，應能夠保證所需質量的通信。採用更寬的頻帶是多余的，但採用更窄的頻帶，

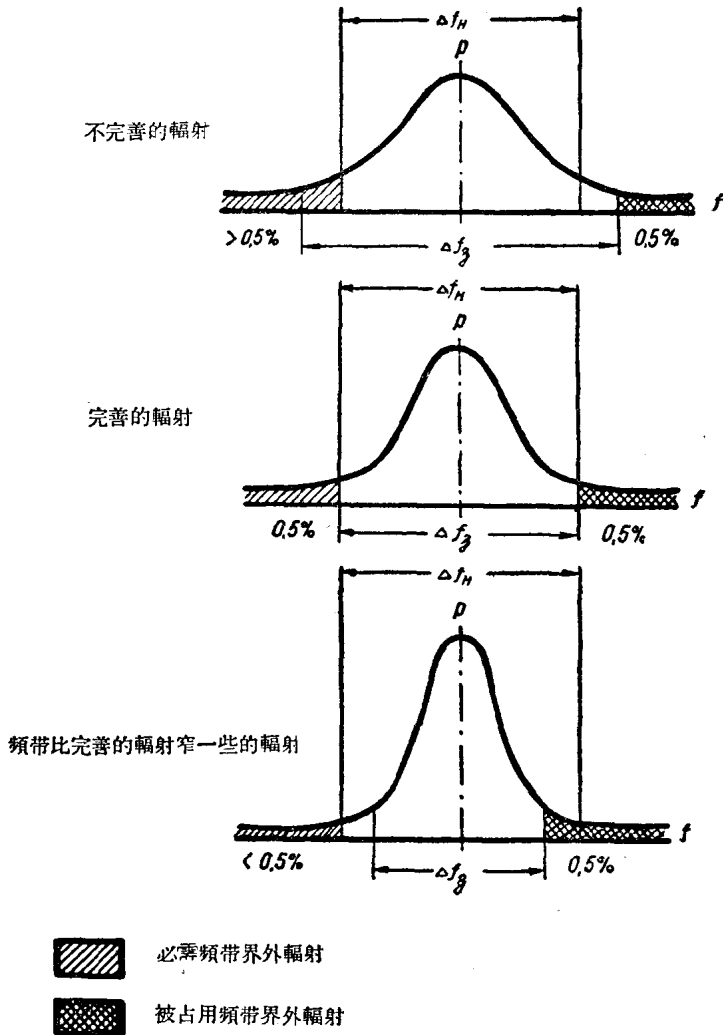


图 B.1. 表明被占用的頻帶寬度、必需的頻帶寬度与帶外輻射的定义的曲線。頻譜假定是对称的:

Δf_H ——必需的頻帶寬度;

Δf_3 ——被占用的頻帶寬度

則可能使通信质量坏到不能容許的程度。

在指配发射机的频率和确定預定用来接收这种发射的接收机的通带宽度时，被占用频带宽度与必需频带宽度是两个重要因素，应当加以考虑。

然而，无线电信号频谱并不受辐射所占用的频带的限制，而按上面采用的定义，应受频带外辐射 1 % 功率所限制。虽然辐射的这一部分并未作用于調諧在辐射频率的接收机上，但它可能在邻近的波道中造成干扰。由此就产生带外辐射的概念。通常 [文献 40] 将必需的频带宽度界外所辐射的功率算作带外辐射。

例如象抑制载波这样的辐射，对接收设备的正常工作有利，系属于必需的频带宽度，而不属于带外辐射。

引用带外辐射的概念，有便于确定辐射的相对不完善性 (图 B.1.1.)。

4. 本书討論的問題

1. 怎样以数学形式来表示信号,使最适于解决与研究频谱有关的实际问题?

2. 信号应当具有怎样的形状,于传输时方能利用最小的频带?

3. 传输各种不同形状的信号各占用什么样的频带?

4. 传输时占用的频带宽度与信号建立时间之間有什么关系?

5. 信号形状如何影响传输占用频带的界外辐射?

6. 在最常用的键控形式下,脉冲辐射占用什么样的频带?

7. 波道中的延迟时间对信号频谱及通信波道通过能力有何关系?

8. 有規則的信号序列的频谱与随机的信号序列的频谱有何关联?

9. 如何确定传输与实际消息相应的随机信号序列占用的频带宽度?

10. 无线电信号频谱与无线电接收机的不同特征对波道間的互

相干扰有何影响?

11. 如何在无线电发射机中实际形成信号?

12. 什么方法是测量无线电报辐射占用频带宽度的最佳方法?

第一章 信号的数学表示形式 与频谱概念

本章提出信号表示所应满足的一些要求, 并指出在解决许多实际问题时, 宜于将信号 $g(t)$ 表示为和

$$g(t) = \sum a_n y_n(t) \quad (A)$$

的形式。

讨论了利用指数函数表示信号的优缺点, 并说明如何由此种表示导出频谱的概念。

指出只有当函数系 $y(t)$ 为完备的情况下, 才可能有如 (A) 的展开形式; 如果该函数系又是正交的, 则系数 a_n 的计算可以简化。

研究了将信号表示为延迟函数级数的形式, 并指出在研究非周期信号的频谱时, 采用此方法特别有利。

§ 1.1. 信号表示的一般概念

为了将信号表示为数学的形式, 譬如表示为抽象符号 G 的形式, 必须首先明确地肯定表示中所希望反映的一些性质。例如, 现在来研究一下语言的信号。我们可能对它的形状、清晰度或含意感兴趣。诚然, 信号的这三个方面相互间有关联, 但这并不意味着对这些方面中的一个 (例如它的形状) 表示得好, 就相应于对其他方面 (例如含意) 表示得也好。

因此, 对信号的表示必须加某些限制。其中第一个限制在于, 我们所企图表征的将是通常称为信号“形状”的那一方面的 G , 并以时间的函数形式给出。其次, 要求我们的表示能减轻计算量, 使得对线路的分析和对信号形成与传输时所发生过程的研究比较容易。