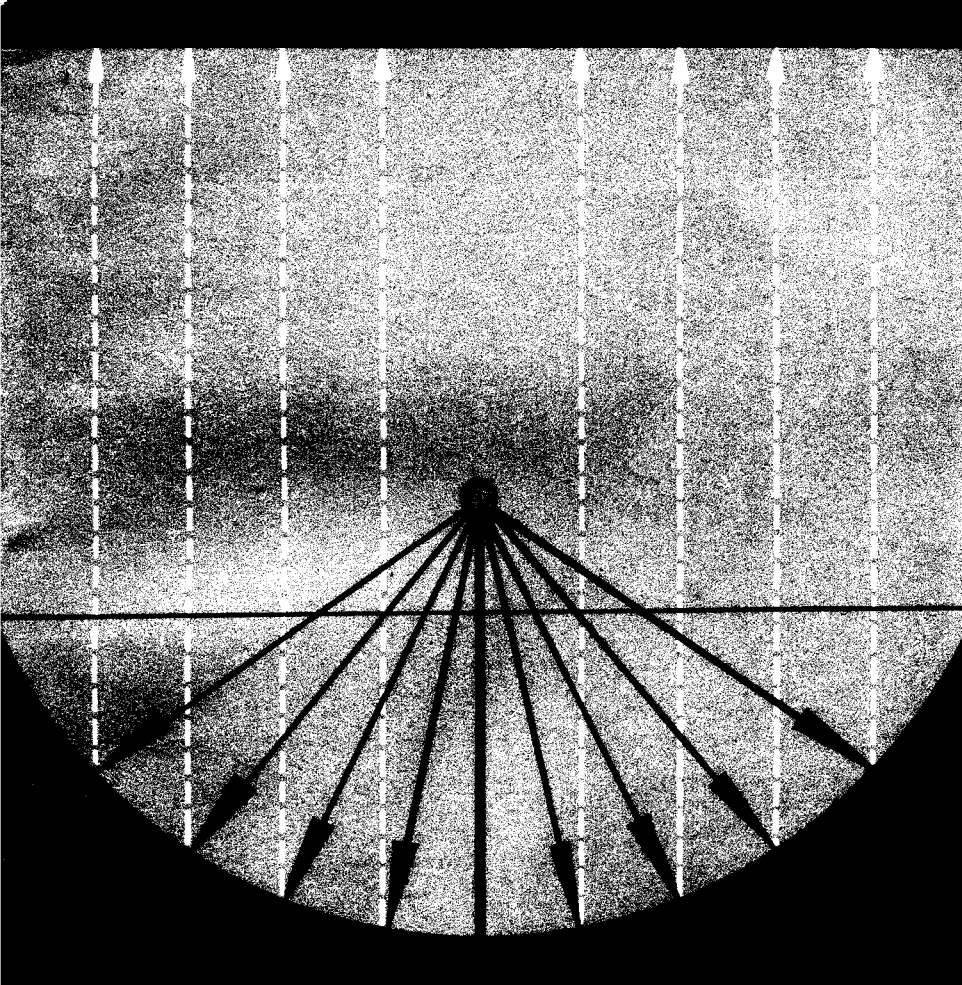




微波通信

Télécommunications
Par faisceau hertzien
MARC MATHIEU

Dunod technique, 1979

内 容 简 介

本书是法国高等电信学校基础教材。主要供教学用，但也适用于研究、制造和使用微波通信电路的工程技术人员。有关模拟、数字调制、电波传播等方面的基本知识就是为后者增加的。

本书着重实用，就是供工程师们建设、维护微波电路时使用，因而对发展中的理论谈得较少，而对实例和具体情况谈得较详细。为便于读者查阅，各章均可分开阅读。

微 波 通 信

〔法〕 M. 马特 著
马树云 译 姚永炆 校
责任编辑：俞天林

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
轻工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1984年4月第一版
印张：11 24/32 页数：188 1984年4月北京第一次印刷
字数：251 千字 印数：1—5,500册

统一书号：15045·总 2836-无6271

定价：1.45元

译 者 序

法国的微波通信网是从五十年代初开始建设的。当时主要是适应电视节目长距离传输的需要。经历了将近卅年的努力，目前的微波通信技术已达到了较高的水平，这特别反映在微波传播研究上；各类微波元器件的研制与生产工艺水平上；各种大、中、小容量的微波设备上；总体设计以及微波网的建设与维护使用等方面均已达到当今国际上的先进水平。微波通信已成为法国国内重要传输手段之一，并与同轴电缆系统平分秋色而又相辅相成地传输着各类通信业务。

法国微波通信网的建设大致可分为三个阶段，而每阶段所经历的时间，又恰好为十年左右。

第一阶段，即五十年代初至六十年代。在此期间，建设了四条由首都巴黎辐射出去的星形微波干线，所用的微波设备主要能传送每波道 300 路电话或一路黑白电视加伴音。六十年代以前，每个接力站都是有人值守的，并且也没有远程监控设备，可靠性较差，更由于是交流市电直接供电，也造成运行及质量上的问题。与此同时，法国的对流层散射与视距范围内的传播研究仍处于初期阶段，基本理论研究、各种测试、分析工作亦不甚深入。然而由于法国的微波干线设计者充分利用了法国国内公路网较为发达、易于选择站址的好条件，重视天线塔的基础建设，并应用逐步积累起来的经验以确定天线的高度等等，这样，在建设上实际并未走多大的弯路。同时这十年的实践——即科研、生产、建设以及运行

维护方面也涌现出一批在国内外有一定声誉的微波专家，如利布瓦 (Libois)，布塔斯(Boithias)，马涅 (Ma Gne) 等。他们各自在调频理论、电波研究、系统设计等方面都进行了较深入的探讨与研究。然而，早期建设的微波系统所承担的长话业务也仅占总业务量的 6 %。显然，微波通信这个新的具有强大生命力的传输手段，在当时的法国国内通信网中所起的作用是不大的。

第二阶段，即从一九六〇年至一九七〇年，这十年间，法国微波干线的建设基本上处于停滞不前的状态，而侧重发展在当时技术条件下，可靠性较为领先的电缆传输系统，以致造成不利于协调法国的电信网路的后果，而恰在此时，世界上其它一些通信发达的国家正处于微波方兴未艾的极盛时期，更由于在散射通信和微波通信的元器件理论的基础上结合了人造卫星的技术而发展了卫星通信，这一崭新通信手段的出现无疑又更加促进了微波元器件高可靠性和更新领域的研究。因此，法国的一些著名厂商，如汤姆逊无线电公司在国内市场停滞的情况下千方百计打入国际市场。这样，他们就在微波设备的技术性能、系统容量以及元器件等方面投入了很大的研制力量。努力的结果，例如在长寿命、高可靠性行波管等方面跃入领先的行列。

法国电信研究中心 (CNET) 在此期间加强了各种基础研究，从一九六三年到一九七〇年，先后共七年时间研制成具有一定水平的每波道1800话路的大容量模拟微波设备，并在巴黎——波尔多干线上正式交付使用。它所采用的行波管的寿命均在三年以上。

所以，尽管在这十年间，法国微波干线的建设发展很慢，但从主管部门来讲却加强了科研工作，微波技术本身的发展

并未停顿，而得到了一定的巩固与提高，为后来的微波建设的进一步发展打下了良好基础。

第三阶段，即从一九七〇年起到现在，这十年是法国微波通信网飞速发展时期。

直接原因是由于微波设备的技术进步。微波通信的突出优点是使用灵活、投资少、成本低、可靠性高和通信容量大，能适应各种通信业务传输的技术性能要求，以上事实已经充分地法国规划人员所公认。据一九八〇年的官方统计数字表明，法国至今已建成 500 个微波站，干线总长度已达 25000 公里，微波承担长话业务量已达全部长话业务量的 47%。法国微波通信发展之快，其传输容量的年增长率高达 20%，这在世界上也是罕见的。

在大力建设微波的过程中，技术又有了新的进展。

首先，电信研究中心的传播研究人员在传播研究上，除对视距范围内微波传播情况进行接收电平波动的统计与数学处理外，对雨量做适时测量统计，还引入了计算机辅助技术以提高统计的精度。使法国的传播研究人员在国际电信联盟的专业会议上也提供出一些有价值的文稿。

微波元器件方面，重点解决了长寿命、高可靠性的问题。而 4 个频段(3.6—4.2GHz, 5.9—6.4 GHz, 6.7—7.11GHz, 10.7—11.7GHz) 天线的研究进一步达到了使用和批量生产的水平，应该指出，多频段天线不仅适应了国内微波建设的需要，而且技术本身也是法国独特的成果之一。

法国的微波通信，继一九七〇年研制成每波道 1800 路设备后，又于一九七六年研制成每波道 2700 路的设备，从而在微波的各个频段上以及容量由 300 路直到 2700 路的系列上，已经比较齐全了。其典型设备为各频段的每波道的话路数分

别有 4 GHz 960路; 6 GHz 1800路; 6.5GHz 2700路; 以及 8 GHz 960路和 11GHz 1800 路等系列; 数字微波则有 2 GHz 30路 (2 Mb/s) , 2 GHz 120 路 (8 Mb/s) , 13 GHz 720路 (52Mb/s) 以及 11 GHz 1920 路(140Mb/s) 等系列。为了使模拟微波更好更快地向数字微波过渡, 法国也发展了数字微波和模拟微波相兼容的技术。另外, 单边带调幅技术也在研制。今后几年内, 由于电视会议和图象传输网等新业务的需要, 远程传输的52—140Mb/s的数字微波估计还会增长。不过, 目前在本地网短距离使用的数字微波大多是每波道 120 路的, 一九七六年在巴黎市中心一幢大楼上建成了一个分别向六个方向辐射的数字市话微波网, 容量为每波道720路电话。

综上所述可看出, 微波发展的三个特点是: 容量越来越大、频段越来越高、数字化系列越来越普遍。法国自一九七〇年模拟微波实现全晶体管化以来, 其技术已趋成熟。

此外, 最近几年法国还大力研究并生产出低功耗、高可靠性的微波设备。一套 960 路的微波收发信机, 平均故障间隔 (MTBF) 约为30万小时, 总功耗仅为 15 瓦。这比六十年代初期, 同样容量的设备功耗降低了将近五十倍, 这就为风力、太阳能电池组等新能源应用于微波通信奠定了基础。

在努力提高设备性能的同时, 也十分重视整个微波网的维护工作, 不断地改进和讲究效率。其方法, 一是在现场检修, 二是在现场检修不了的直接送到微波维修中心, 那里重点配备有测量射频、中频及基带部件故障的仪表, 而有个别微波维修中心难以检修的部件与设备则要送往全国修理中心或退给原生产厂家。由于建立了比较完善的检修制度及程序, 从而大大缩短了故障检修的时限, 干线畅通率目前可达

到99.985%。

鉴于本书比较全面地记叙了法国发展微波通信的经验，我们从为我所用出发，高兴地将他们的经验介绍给国内读者。

翻译本书，我们力图维持原意，个别有疑问的地方都适当地做了一些注释。原书章节将第二、三、两章列为第一部分——调制；第四、五、六章列为第二部分——载波；第七、八、九章列为第三部分——设备；第十至十五章为第四部分——线路质量。译出时已将“第×部分”取消，使各章连接更紧凑些。

由于我们的外语水平所限，译文中难免有不妥甚至错误之处，请读者指正。

在翻译本书过程中，曾得到邮电部邮电科学研究院及邮电部科学技术情报研究所同志们的支持和帮助，在此一并表示谢意。

姚永炆 马树云

代 序

有关微波通信的法文书还是很少的。以前由利布瓦，法古及马涅著的书已过去二十年：这就是说，二十年来，法国通信，尤其是微波通信在此阶段发展得是很慢的。

距第一次用一个微波波道传输几百路电话或一路黑白电视信号已有二十多年了；当时，微波系统主要用的频段是 $4GHz$ ，还有 $7GHz$ 的小容量微波系统。当时的微波设备全都是电子管的，这给微波的运行和维护带来了很大的不便。

从一九六二年起开始了对1800路具有国际水平的微波系统的研究是当时的重要事件，由于此种努力，在法国开始生产了一代大容量全固体化微波系统。今日，一些大容量全固体化系统业已普遍使用，这就使法国微波通信网再次迅速发展，然而基础的奠定只不过十年。

现在，从 $2GHz$ 至 $15GHz$ 各个频段，容量直到每波道2700路电话、数字信号速率为几兆比（ Mb/s ）的微波体系业已完成；对 $11GHz/140Mb/s$ 数字微波设备的初期研制正在进行，而 $18GHz$ 甚至更高频段的数字微波也在着手研究。

本书的出版背景完全不同于上述提到的那两本书，无论就已使用或预计中的微波系统的深度与广度都与前者有着根本性区别。

与先前著作相比的另外一显著特点是，这本书不是出自那些只在实验室从事研究或搞微波系统技术发展或工业发展工作的工程师之手，而是出自一位主要是设备应用者，一位维护工程师之手；事实上，作者马特先生担负法国电信局安

装微波网设备有关的各种工作。

因此，这本书基本上着眼于实用，它汇集了目前微波范围内很广的主要概念，这对那些愿意有效利用微波做传输手段的工程技术人员来说是很必要的。诚然，本书对在微波技术中出现的理论问题没有象先前出版的那两本书力图做深入探讨，在这点上，先前的书都有它们的独到之处。不过，本书确对便于理解有关的理论也扼要做了介绍，这也恰好为作者马特先生在这方面所做的努力；况且本书对此附有相当完整的参考资料。

反之，微波使用者将从该书看到很多数字方面应用的情况，同时也能对其良好运行的技术条件及其在网中的使用能力有所了解。为便于读者查阅，本书采用分章节叙述的方法。

还需指出，这里所涉及的问题仅在几年前还考虑不多，而今，由于微波网的迅速发展，这些问题已变为现实。以系统之间的干扰计算和关于对噪声总的研究为例，随着通信网越来越密集，这些问题越来越显得严峻；同样，对考虑使用更高的频率也是如此，当然可用合适尺寸的反射器来建设无源接力站，但要实现这样的微波系统却是相当困难的。

本书用了很大篇幅研究实现数字调制微波时所出现的问题；脉冲编码调制 (PCM) 电话复用设备的发展，时分交换的发展以及目前各种信号，包括可视信号在内的数字化等都要求这种变革。因此，书中用了若干章节对数字调制技术及数字系统中的质量问题做了阐述，而对正在演变中的问题亦有所交待。

这里，还要说明的一点就是对构成数字微波链路各部件在调幅时保持线性的新重要性。微波通信中，几乎无例外地

采用调频达三十多年之后，数字技术的出现可以说更新了技术研究领域的，这可从掌握线性问题，有效地利用多状态相位调制以及在发展数字微波高频谱效率上体现出来。

这样说来，阅读马特先生写的“微波通信”一书，将获得为有效地建设现代微波相当广泛的实际知识。事实上，本书毋宁说是新形势下的反映——因为微波技术不再象过去那样仅仅是少数专家们的事，而今应该变为与在通信网各条战线上从事设备制造及运行都有关的工作，对上述人员来说，本书期望能帮助他们找到解决现存问题的较好方法。

以上有限的叙述，对马特先生这本书应该讲的大概都讲到了。

电信总局总工程师 J·魏里

目 录

第一章 微波通信简介.....	(1)
第二章 模拟微波通信的调制与解调.....	(5)
1. 调制.....	(5)
1.1 调制方式的选择	(5)
1.2 调频与调相	(6)
2. 调制信号.....	(8)
2.1 模拟多路电话	(8)
2.2 电视信号	(11)
3. 多路复用信号或电视信号的调制.....	(14)
3.1 已调载波的频谱	(14)
3.2 模拟多路复用的应用	(15)
3.3 视频信号的应用	(16)
3.4 主要调制参数的选择	(16)
3.4.1 调制频率	(16)
3.4.2 频偏	(16)
4. 调制器与解调器的结构.....	(17)
4.1 调制器	(18)
4.2 解调器	(19)
5. 存在噪声时的解调.....	(20)
5.1 信号理论的说明	(21)
5.2 解调后噪声的计算	(22)
5.3 工作门限	(25)

第三章 数字微波通信的调制与解调	(32)
1. 简介.....	(32)
2. 相移调制.....	(34)
2.1 相干调制	(34)
2.2 用直接编码的两状态调制*.....	(34)
2.3 用转换编码的两状态调制	(36)
2.4 用直接编码的四状态调制*.....	(37)
2.5 用转换编码的四状态调制	(38)
3. 解调——再生——译码.....	(40)
3.1 相干解调	(41)
3.1.1 两状态调制	(41)
3.1.2 四状态调制	(42)
3.2 差分解调	(43)
3.2.1 两状态调制	(43)
3.2.2 四状态调制	(44)
3.3 再生	(46)
3.4 译码	(47)
4. 传输链路的构成.....	(48)
5. 频谱占用.....	(49)
6. 存在噪声和失真时的解调.....	(51)
6.1 热噪声的影响	(51)
6.2 失真的影响	(53)
7. 数字调制的进展.....	(54)
附录1	(57)
附录2 数字调制中的误码率, 相干解调	(58)

• 译注: 两状态调制或译两相调制, 四状态调制或译四相调制。

1. 序言	(58)
2. 发射信号和噪声的矢量表示	(58)
3. 可约性	(60)
4. 判决区	(60)
5. 两状态数字调制	(61)
两状态相移调制误码率、差分解调	(66)
1. 问题的提出—判决区	(67)
2. 误码率	(67)
第四章 频率分配	(70)
1. 微波通信的频段范围	(70)
2. 频段的配置	(72)
2.1 信号双向传输时的所需频率	(73)
2.2 多种信号的同时传输	(75)
2.2.1 相邻波道的最小间隔	(75)
2.2.2 半频带	(76)
2.2.3 正确选择载频	(79)
2.3 频率分配举例	(79)
2.3.1 5.9—6.4 GHz 频段	(79)
2.3.2 12.75—13.25 GHz 频段	(80)
2.4 频谱占用指数	(81)
3. 在指定地区内频率的利用	(82)
第五章 自由空间的传播	(85)
1. 说明：天线等效面积与增益	(85)
1.1 发射增益与方向图	(85)

1.1.1 增益的定义.....	(85)
1.2 接收等效面积	(86)
1.3 增益与等效面积的关系	(87)
2. 有源接力站的电路段的能量分配.....	(87)
2.1 接收功率的计算	(87)
2.2 举例	(89)
3. 无源接力站的电路段.....	(89)
3.1 接收功率的计算	(89)
3.2 无源反射器的使用	(91)
3.3 计算举例	(92)
4. 在自由空间中接收的干扰功率的计算.....	(93)
4.1 干扰类别	(93)
4.2 同极化上的干扰	(94)
4.3 不同极化上的干扰	(94)
4.4 交汇点的特殊情况	(95)

第六章 厘米波的视距传播..... (97)

1. 大气的影响.....	(98)
1.1 折射	(98)
1.1.1 波束曲率	(98)
1.1.2 正常梯度的大气	(100)
1.1.3 “假设地球”.....	(100)
1.1.4 阻挡物的高度变化	(101)
1.1.5 大气波导传输.....	(103)
1.2 反射	(105)
1.2.1 大气中由于多径引起的衰落.....	(105)
1.2.2 多径引起的选择性衰落	(107)

1.2.3 分集技术	(109)
1.3 吸收	(111)
1.3.1 大气气体的吸收	(111)
1.3.2 水蒸气引起的损耗	(113)
2. 大地的影响	(115)
2.1 绕射	(115)
2.1.1 概况	(115)
2.1.2 余隙的选定	(116)
2.1.3 路径阻挡情况	(119)
2.2 地面上的反射	(121)
2.2.1 现象分析	(121)
2.2.2 反射效应对接收功率的影响	(125)
3. 结论	(128)
3.1 余隙的规定	(128)
3.2 不稳定的反射情况	(128)
3.3 由多径引起衰落的分布规律	(128)
3.4 雨水引起的损耗	(129)
附录 1: 绕射	(129)
1. 惠更斯——菲涅尔原理	(129)
2. 有阻挡物时点源的照射	(130)
附录 2: 传播统计	(134)

第七章 收—发信机、收—发信机与天线

之间的馈线	(137)
1. 收—发信机	(137)
1.1 主要性能	(137)
1.2 直接放大的收—发信机	(137)

1.3 中频变换的收一发信机	(141)
1.3.1 发信机	(141)
1.3.1.1 方框图	(141)
1.3.1.2 用于发信混频器的放大器	(142)
1.3.1.3 发信混频器	(142)
1.3.1.4 发信本地振荡器	(144)
1.3.1.5 高频放大器	(145)
1.3.2 收信机	(145)
1.3.2.1 方框图	(145)
1.3.2.2 收信混频器	(146)
1.3.2.3 收信本地振荡器	(147)
1.3.2.4 前置中频放大器 (前置中放)	(147)
1.3.2.5 中频放大器 (主中放)	(148)
1.3.2.6 中频滤波器	(148)
1.3.2.7 群时延均衡器	(149)
1.4 收一发信机附加性能	(149)
1.4.1 发信机附加性能	(149)
1.4.2 收信机附加性能	(150)
2. 收一发信机与天线之间的馈线	(151)
2.1 分路系统	(151)
2.2 传输馈线	(156)
2.2.1 波导管	(156)
2.2.2 同轴电缆	(158)
2.2.3 减少馈线的长度	(158)

第八章 天线..... (159)

1. 平坦的等效相位的开口特性..... (159)

1.1	增益 辐射方向图	(159)
1.2	等效相位开口辐射的形成	(161)
2.	开口辐射构成的天线	(163)
2.1	辐射喇叭	(163)
2.2	反射面天线	(165)
2.2.1	结构	(165)
2.2.2	增益——效率	(169)
2.2.3	辐射方向图	(170)
2.2.4	匹配	(175)
3.	反射面	(176)
3.1	近场反射面 (潜望镜天线)	(176)
3.2	远场反射面 (无源接力)	(180)
第九章 辅助系统		(182)
1.	业务信息	(182)
1.1	业务信息的分类	(182)
1.2	业务信息的特性	(183)
1.3	业务信息的传输	(183)
1.3.1	独立于主线路的传输	(185)
1.3.1.1	在电缆上传输	(185)
1.3.1.2	辅助微波通道	(185)
1.3.2	主线路上的传输	(185)
1.3.2.1	次基带传输	(186)
1.3.2.2	超基带传输	(186)
1.3.2.3	其它方案举例	(187)
2.	波道倒换	(187)
2.1	概述	(187)