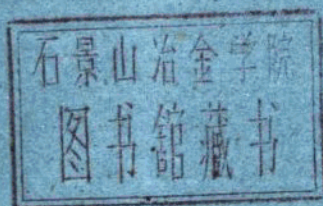


电子学译丛

上海市电子学会編譯委员会編



2

上海市科学技术編譯館

116185-86

电子学译丛(2)

上海市电子学会編譯委员会

上海市科学技术編譯館出版

(上海南昌路50号)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

商务印书館上海厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 4-1/4 字数 130,000

1962年8月第1版 1962年8月第1次印刷

印数 1-2,000

书 号: 5004·37

定 价: 0.90 元

(内 部 发 行)

L1:2

目 录

1. 无綫电电子学的发展方向和有关問題.....	1
2. 微波无綫电通訊的最近发展.....	4
3. 微波今后十年	11
4. 高灵敏度調頻接收系統	13
5. 远距离波导通訊	19
6. 毫米波波导	22
7. 毫米波磁控管	27
8. 寬动态范围的視頻放大器	31
9. 二次发射管脉冲电路的分析和应用	36
10. 一种不破坏磁芯信息的讀数方法...	47
11. 陶瓷中周变压器	57
12. 晶体三极管幻象延迟綫路	59
13. 近代无綫电中的温度概念	64

1. 無線电电子学的发展方向和有关問題

В. И. Сифоров

Радиотехника, 1961, 9, Стр. 5~9 (俄文)

無線电电子学是当代的一門尖端科学。它是無線电技术和由它所产生的电子学相結合的产物。它已經渗透到国民經济各个部門以及技术、文化和人們的日常生活之中。

近几年来,無線电电子学取得了显著的成就,1960 与 1961 年,苏联在掌握宇宙空間方面的偉大业绩中,無線电电子学所起的作用是不可估量的。

尽管在发展与运用無線电电子学方面已經取得了丰硕的成果,但是还不能完全滿足人們对它所提出的要求。

1. 可 靠 性

現代無線电电子学的主要問題之一是提高电子系統、电子设备以及电子元件的可靠性。

現代的电子系統和设备中往往有几十万、几百万以至几千万个单元,一个单元偶而发生障碍,就可能使整个系統发生故障。

要解决可靠性問題,就要从多方面进行工作,在这方面起决定性作用的有:要求原材料有很高的純度、改进制取原材料的工艺过程、改善单元生产的工艺过程、改进电子管及半导体仪器、改进设备结构、研究电子系統和设备的可靠性理論及其计算方法、研究自动搜索并消除障碍的理論等等,从而建立一种其特性在某些方面接近于生物特点的新的电子系統。

此外,对质量的統計控制、对用于試驗元件和设备以及用于研究工作的方法和仪器的改进也需予以足够的注意,鉴定其遇到高温、低温、压力、冲击、振动、潮湿、尘埃、輻射、霉菌及其它因素时的可靠性和稳定度。

要解决提高电子设备可靠性这一复杂問題,必須由数学家、物理学家、化学家以及各专业的技术人员、設計师和工程师共同协作。

2. 小型化和超小型化

現代無線电电子学的第二个重要問題,是电子设备及其元件的小型化和超小型化問題,在这方面

已經取得了良好成績。在制造电子设备时,采用小型化和超小型化零件可以大量节约各种材料,还可以設計出复杂的小型化设备。

小型化与超小型化为制造各种小尺寸的控制机械及电子计算机提供了很大的可能性。例如,采用特高频超小型晶体管,就可以制造包括高速轉換设备和薄膜磁性记忆系統、其容量可与人的大脑媲美的控制器。

为了解决小型化及超小型化問題,在制造小型和超小型的电容器、电阻、电感、半导体与介质放大元件、滤波器、高速开关以及許多現代电子设备的其它元件方面还需繼續努力。在发掘新的材料(介质、杂质极少的半导体材料、鉄氧体等)和探索制造电子设备的新方法上也需繼續努力,这种新方法将建立在采用固体、特别是晶体的各种物理与化学特性的基础上。

3. 新波段的开辟

第三个重要問題是进一步掌握特高频。在無線电技术和电子学发展的整个过程中,从亚·斯·波波夫发明無線电起到目前为止,每掌握一个新的波段,不論是在电子设备的特性或其实际应用方面,都随之出現一次质的跃进。例如,掌握了短波,就有可能实现远距离無線电报和無線电话通信;掌握了超短波,就可以建立起高质量的电视、無線电定位、無線电中继通信綫路、無線电天文学等等。

在掌握特高频方面,我們还面临着許多任务。在制造特高频波段的电子管方面,在磁控管、行波管、倒相波电子管、静电聚焦管、半导体及介质放大器,各种鉄氧体和其它半导体特高频磁性材料、合成晶体等方面还需繼續努力。

采用晶体结构的固体就能为掌握新的波段开辟诱人的前途。例如,采用受不相干强电磁射綫輻射过的合成紅宝石晶体或其它晶体,就可以在寬闊的頻段中——由几兆赫至几亿兆赫——給出相干性振荡或放射电磁振荡。

在这样高的頻率上取得相干性振荡,可以使光

綫集中为非常狭的角寬束,角寬仅为几千分之一度。这种“針”射綫可用来研究各种物质的性能,及用于无綫电中继通信綫路;在工业中可用于各种工艺过程,还可应用于医学、生物学等方面。

这种高频振蕩的“針”射綫,为制造各种电子设备及其应用范围开拓了广闊的前途。相干性辐射应用在这种频率的通信上,可傳輸无限数量的信息。

如同过去一样,掌握新的波段,必将导致电子设备的特性及其应用在质的方面的跃进。无綫电电子学方面的許多疑難問題,也将迎刃而解。可以設想,掌握了新的波段就能解决电视上的許多問題,而在各种定向傳輸系統中,特别是在波导中,研究新波段电磁波的管道,还可以为建立通话容量极大的通信綫路提供可能性。

4. 灵敏度与頻率稳定度

近年来,在提高电子系統、设备及其元件的质量指标方面获得了巨大成就。由于大力研究了无綫电接收设备及其元件的内部噪声以及抗干扰的办法,有可能制造高灵敏度的接收设备。例如,为了接收发射到金星区域的苏联自动行星站所发出的无綫电信号,将天綫与收信放大设备合而为一,它能收到功率为 10^{-20} 瓦/平方米的微弱信号。

借助现代高灵敏度的无綫电接收机,可以揭示光学上无法見到的、远离地球 60 亿光年的空間目的物,这些目的物正以二分之一的光速离开地球。

灵敏度方面所达到的現有成就并非极限。采用低噪声放大器和现代电子学的其它设备,有可能設計出灵敏度更高的接收-放大系統。

提高頻率稳定方面所取得的成果也不可低估。用量子无綫电电子学方法构成的电振蕩发生器,在几百年內仅出現几十分之一的誤差。理論与实验研究表明,这些成績也还没有到达极限。

用电子学方法所取得的振蕩頻率的高稳定度,在我們面前打开了新的、吸引人的远景。譬如,借助于极准确地測試电磁振蕩波的細微变化,就可以測試普通相对論的若干位置,即可以測試地球引力場对時間行程的影响。

在改善电子学设备的其它质量指标方面也取得了很大成績。但是,对于电子设备的要求愈来愈高,因此,提高电子系統、设备及其元件的质量指标,是无綫电电子学方面从事科学研究与实验設計的主要方向之一。

抗干扰性問題是一个极为重要的問題。它产生在无綫电技术发展的初期,但直到目前为止,它仍旧是一个迫切的問題。在这方面,曾做过許多工作,主要是发展抗干扰理論和抑制干扰的方法:

(1) 研究无綫电干扰的形式、大小和构成的統計資料;

(2) 研究干扰对无綫电接收设备及其个别元件的影响;

(3) 寻求无綫电接收设备內干扰抑制方法和减少收訊机内部起伏噪声的方法;

(4) 改进有效信号的傳輸与接收方法,特别是采用了頻率鍵控和单边带脉冲傳輸調制方法以及脉碼調制、相位选择、同步接收方法等等;

(5) 建立并发展了电位抗干扰性理論;即采用理想的无綫电收訊机时可达到的最大可能抗干扰度,在已知的傳輸方法及已知的干扰种类条件下,这种收訊机能保証取得信号畸变干扰与非畸变信号之間的完全适应;

(6) K. 申諾恩与其他科学家发展了信息理論,这是概率論的新顶峰,它研究通信本身及存在干扰时傳輸信息所固有的一般規律,特别是建立并发展了有关通信的通路容量理論及譯碼理論;

(7) 探索建立在应用信息論基础上的傳輸与接收通信的新方法,其中包括語言傳輸、固定与活动形象的傳輸以及經過縮頻綫路的其它通信方法。

今后,在提高电子设备的抗干扰性方面还需要繼續研究。

5. 毫微秒脉冲技术

最近几年来,毫微秒脉冲技术发展很快。它的出現是无綫电电子学发展的总趋势,亦即提高电子设备的动作速度所引起。研究核子物理学对于毫微秒脉冲技术的进展影响极大,因为进行这种研究工作需要有高速度的记录设备和仪表,以測量极短的瞬間,需要有极短脉冲的振蕩器以及各种电子仪表和设备。

振蕩、放大与改变毫微秒脉冲所采用的电子仪表和设备是多种多样的,它們用于研究鉄氧体、酒石酸鉀鈉(鉄电体)、半导体仪表与快速示波器中的瞬变过程。这种设备对于脉碼調制的寬頻帶波导通信綫路所起的作用很大。

一般的多諧振蕩器,其振蕩的前沿斜度每秒不超过 10^8 伏。在毫微秒技术系統中,每秒約为 $10^{13} \sim 10^{14}$ 伏。特别是采用了非线性电感就可得到

持續 10^{-10} 秒的脈沖，振幅達 50 千伏、邊斜度每秒達 10^{14} 伏。

今後在發展超短脈沖技術時，必須改進現有的方法和電路，設計新的電子儀表、新的電路和形成這種脈沖的新方法。

6. 電子計算技術

在最近幾年內，蘇聯製造了很多種類的電子設備，但是，距離滿足國民經濟的需要還很遠。例如，已經生產了大批各種類型的電子計算機，大大地簡化瞭許多繁雜的計算手續，並且提高了腦力勞動的效率。僅僅在 1958 年一年內，蘇聯因採用電子計算機就節約瞭約一億盧布。但由於科學研究規模的迅速增長，電子計算機還只能在很低程度上滿足人們的要求。

應用電子計算機的最主要方面之一是以技術設備來管理國民經濟。因此，研製和生產大量的各種電子計算機是當前的主要任務之一。

建立若干所國家計算中心很有必要。它們彼此之間形成一個電信系統以解決國民經濟計劃和科學技術任務。

在製造專業用的小尺寸電子計算機方面也需要大大努力。主要任務是提高電子計算機的速度和擴大萬能電子計算機的业务記憶容量。

最近三、四年來，作為調度和控制生產過程的電視技術在國民經濟中打開瞭廣闊的應用道路。應該大力發展電視自動裝置這門技術，這種裝置是通過對周圍環境的電子光學辨識過程和借助電子計算機的遠距離控制，來解決生產過程自動調節的複雜任務的。

7. 無線電電子學今後的展望

在我們這個時代里，各類不同的、甚至是相去很遠的科學和技術部門，往往互為影響而構成新的科學或新的技術部門。產生於無線電技術的無線電電

子學就是一個鮮明的例子。又如無線電天文學，它是古老的天文學和年輕的無線電電子學互相影響的結果。電子計算機則是數學和電子學的結晶。

蘇聯在火箭製造方面和征服宇宙空間的光輝成就就是發展一系列新的科學技術和許多重要的實際應用的起點。

無可置疑，不久的將來借助人造地球衛星在整個地球表面傳輸電視的問題即可獲得順利解決。

將來，在火箭技術與無線電電子學的進一步發展以後，就能完成與其它星球上的生物建立聯系這一極為艱巨的任務。它又是發展新的科學和新的實際應用的起點，這種科學對於人類生活的意義，現在還很難斷言。

無線電電子設備和電子系統具有一系列的優點：慣性極小，工作速度快；穩定性和準確性極高；可以把大量單元以非常複雜的結構耦合起來；有可能將單元縮小至分子的大小。

將這些優點結合起來，就很有可能製造擁有新的質量、根本上不同於現有設備的電子機器和電子系統。在這方面，科學家、工程師和設計師們大有用武之地。在建立質量全新的電子系統中，控制論、信息論、譯碼論和自動調節理論方面所取得的成就，將起着巨大作用。

眾所周知，無線電波並不是遠距離傳輸信息時的唯一運載者。現代科學已經掌握了大量可以傳輸信息的運載方式，而且，有些已在使用之中。其中有可見紅外線、紫外線、X 射線、 γ 射線、大量基本粒子以及各種場等等。

毫無疑問，在不久的將來，廣泛地用於信息遠距離傳輸的，既有現在大家已知的各種運載方式，也有今後將被發現的運載方式。

無線電電子學是一門年輕的、正在蓬勃發展中的科學。蘇聯電子學方面的科學大軍，將在建設崇高的共產主義社會事業中作出自己的貢獻。

(聞道晚摘譯 李金定校)

2. 微波無線電通訊的最近發展

Leang P. Yeh

Microwave Journal, 1961, 7, p. 71~78(英文)

一、導 言

隨着技術的發展，工作於 400 兆赫到 10,000 兆赫微波範圍的無線電通訊系統的重要性日益增加。這些系統在許多方面已成為有線、同軸電纜和海底電纜系統的勁敵。本文企圖通過評述有關文獻，從通訊系統和微波傳播的角度概述微波無線電通訊最近發展的情況。

微波無線電通訊的優點在於：(1) 通話容量高而且富有靈活性——少則幾個話路，多則幾個電視綫路（相當於幾千條話路）；(2) 易于擴充容量（基本建設一旦完成，增加容量很方便）；(3) 基本建設時間短；(4) 比較適應不規則地形及自然障礙如海洋、湖泊、叢山或密林地帶，在這些特殊的應用場合，基本建設和維護費用都比有線或電纜通訊低。

它的缺點是：(1) 信號衰落；(2) 選擇適當的終端位置和正規的電源供應有困難；以及(3) 存在高頻干擾。但這些缺點並不是不可克服的。

目前採用的微波無線電通訊系統大体上可分成兩種主要類型：(1) 視距內通訊系統——發訊功率低（不超過 20 瓦），視距綫路每段為 10~50 英里（人造衛星通訊屬於另一種微波視距通訊形式，因為自成系統，所以不擬在本文研究）；(2) 超視距通訊系統——發訊功率大（高達或超過 50 千瓦），超視距綫路每段達 50~500 或 600 英里，包括繞射和對流層散射兩種傳播方式。

二、視距內通訊系統

早在第二次世界大戰前已經證明有用甚高頻和高頻進行無線電通訊的可能。戰後，發展主要集中於甚高頻範圍。這些通訊綫路的质量和可靠性能和同軸電纜相比。

近年來，由於對大頻寬的需要日益顯著，所以開始使用超高頻和微波以適應電話業務的擴充和新興的電視傳輸。

1. 工作頻率

根據一九五九年日內瓦國際會議的決定，分配給點與點之間的無線電通訊頻帶可分成下面幾段：335~420 兆赫；1700~2300 兆赫；3400~4200 兆赫；5925~8500 兆赫和 10,500~13,250 兆赫。

各個國家在對上述頻段的具体分配上，有着很大的差異。

頻率的選擇決定於許多因素。頻率較高，則天綫的方向性會更強，而“第一菲涅耳”間隙更小（就是說可以用較低的天綫鐵塔），可用的頻寬比較大，或許還能使設備更為緊湊。另一方面，隨着頻率的提高，傳播損耗、衰落和收訊機噪音系數都增加。此外，頻率的增加又有可能降低發訊機的有效功率。

除此之外，還有別的限制：頻率在接近或超過 10,000 兆赫時，雨霧和雪有可觀的吸收作用；接近 20,000 兆赫左右時，水氣和氧氣的吸收作用也是不可忽視的；在超高頻頻譜下端，則存在更多的大氣和人工的噪音。由於這些限制，最近各方面的研究都集中在 1000~10,000 兆赫的頻率範圍以內。

2. 复用和調制技術

雖然頻率分割和時間分割兩種制式都在被使用，但是得到較廣泛使用的是頻率分割制，在路數很多的通訊設備中（達到 2500 路）更是如此。時間分割制的应用限於路數較少的通訊設備（48 路以下），因為在傳輸容量相同的條件下，假使採用時間分割，所需要的頻譜就要比頻率分割大得多。

曾有人建議在頻率分割制設備中採用單邊帶調制，但是到目前為止，唯一使用的仍舊是調頻，因為在滿足單邊帶多路設備的線性要求方面還存在着某些困難。時間分割制的設備中有使用調幅的也有使用調頻的。

3. 衰落特性

微波視距內傳輸中的統計性質的衰落產生於大氣曲折的變化和多路傳輸。將天綫架於適當的高地

有可能减少或尽量减少起源于大气曲折变化的衰落。多路传输所产生的衰落根据频率和通路距离的不同表现为各种类型的统计分布（最极端情况接近瑞利分布式）。设计时应允许一些容限。要达到99.99%可靠度，通常需要预计一个比中值大30分贝的容限。

提高工作可靠性和有效度或降低衰落容限的通用办法是采取频率或空间分集收讯方式。采用频率分集收讯需要增加频谱范围。采用空间分集收讯则需要增加天线数量。据报道曾有人用单一天线进行各种不同频率的收讯和发讯。这种方案可使基本建设费用降低。长距离通讯系统需要许多分段。为了防止畸变和杂音的增加，通常使用不解调的中继站。

4. 其他发展

无线电中继通讯所需的频宽愈来愈大，(如发送NTSC 美国电视系统委员会)彩色电视信号(美国标准)需要7~8兆赫；传输2500路电话需要10兆赫。结果当然要求功率更大、频宽更大而噪音系数更低

的电子管以保证标准的可靠性和有效度。行波管的发展满足了这些要求。目前可用作输出器件的行波管数量日益增加。此外已有人建议采用一种全行波管系统了。

到目前为止还没有采用低噪音器件如参量或脉泽放大器来提高设备工作性能的报导，可能是因为这些器件的噪音指数虽获得了几个分贝的增益，但并不足以抵销因此而产生的成本提高、设备复杂和频宽/稳定等问题的缺点。

5. 小 结

表1是三个国家所使用的主要视距内多路通讯系统。趋势似乎是向更高的通路容量发展，载频使用得最多的是4000兆赫。

理论上，假使地形适宜，没有自然障碍，视距内通信系统通过许多中继站的设备，能把通讯距离拉得相当长，比方说3000~4000英里。但是由于经济上的考虑，中继站站与站之间的距离仅限于30~50英里的范围。通讯线路较长时，要采用绕射或对流层散射的超视距传播方式。

表1 视距内多路通讯系统

国 名	美 国			加 拿 大	英 国	
系 统	貝 尔 系 统			貝 尔 系 统	邮 局	
型 号	TD-2	TH	TJ	TD-2	电 话	电 视
频率(兆赫)	4000	6000	11,000	4000	4000	4000
功率(瓦)	0.5	5	0.5	0.5	1	10
调 制	调 频	调 频	调 频	调 频	调 频	调 频
输出管	平面型三极管	行波管	速调管	平面型三极管	行波管	行波管
无线电通路	5	6	3	5	1	1
备用线路	1	2	3	1	1	1
通路总数	6	8	6	6	2*	2*
每一无线电通路中的音频路数	600	2500	600	600	240	960
每一无线电通路中的电视路数	1	1	1	1	—	1
每一无线电通路的基本频宽(兆赫)	4	10	4	4	1	4
中继站数量	125+	125+	6~10	137	—	—
每分段距离(英里)	30~50	30~50	15~30	30~50	30~50	30~50
通讯距离(英里)	4000	4000	100~300	4000	1600	1600

* 两条无线电通路平行地不在同载频上进行工作

三、超視距通訊

1. 繞射方式

很久以前，人們就已經知道在对流层内可以利用繞射进行无线电波超視距傳輸。但是由于地球阴影面，有一个附加的线路损耗。

地球阴影所引起的繞射损耗，随着距离的拉长或频率的提高而逐渐增加，天线高度和地形条件也会在一定程度上对这种损耗发生影响。在进行繞射损耗的理论计算时，地球通常假定是平滑并且是球形的。表2是 Bullington 提供的平滑球形地面上

表2 在自由空間傳輸的繞射损耗*

(地形平滑;标准大气;地面上水平极化;一根天线高于地面 500 英尺另一根高于地面 30 英尺)						
距离(英里)	50	50	50	70	70	70
频率(兆赫)	400	2000	4000	400	2000	4000
自由空間上的附加损耗(分貝)	31	34	36	50	65	79

* 根据 K. Bullington "Radio Propagation Fundamentals" B. S. T. J. 1957, 5, p. 593~626, 第6图

虽然目前可获得的实验数据并不少，但是关于对流层传播原因的解釋却存在非常分歧的观点。为了解釋这种现象，曾提出过許多理論，主要可分成两类：(1)由于大气湍流而产生散射；(2)由于水平层的部分反射；第三类說法是以繞射理論的另一种形式作基础，它把地面无线电繞射問題作为一个具有不同折射率的綫性断面的大气折射問題。各种理論都有它的优缺点。下面的討論大都以实验結果作为依据。

近年来，经过广泛的实验，确定了对流层散射方式的主要特性(虽然还存在一些难以确定的問題，如孔徑媒质耦合损耗，媒质頻寬等)。傳播特性簡述如下：

(1) 散射损耗：

視距內傳輸只有自由空間损耗而超視距傳輸向附加散射损耗。它属于統計性质，受到两种类型的時間变化或衰落的影响。

(a) 快衰落：大家认为快衰落产生于多路效应(各种散射信号的相位不相关性)。这种衰落是瞬时的短期变化。抽样時間为几分钟时(1分~5分钟)，衰落属于瑞利分布式。

(b) 慢衰落：慢衰落迭加于快衰落之上，是大气折射指数变化的結果。慢衰落是中值的长期变化。

几个典型的理論繞射损耗資料。这些資料說明损耗大大超过視距內傳輸。由于损耗随着距离拉长而迅速增加，因此繞射方式的傳輸沒有被用来进行远距离通訊。

2. 对流层散射方式

增加各分段的距离应该采用另一种超視距傳輸技术——对流层散射。我們早已知道 100~4000 兆赫的无线电波的傳播能够超出視距几百英里之多。接收到的信号电平，即使沒有异常情况如波道或陷阱存在，也比按繞射理論推出的大得多，因此，另外一种傳輸机构就应加以考虑了。

以前所用的中值取于每小时，但最近的实验有采用 15~30 分钟的中值的趋势，也有取 5 分钟和 1 分钟的中值的。中值受昼夜、季节的影响，并且和气象和气候条件有关。

(i) 假使抽样時間的周期很长(至少为一个月，經常为一年)慢衰落是高斯分布式，其标准偏移决定于散射角，等于 2~10 分貝。

(ii) 散射损耗长期中值(1分钟，15分钟，30分钟的年度中值或整年的小时中值)极为重要，因为它是系統設計的基础。这种中值决定于距离和频率。

(iii) 根据实验数据，在温带气候情况下，假使散射角为 1° (相当于傳輸距离 90 英里，地形平滑)频率为 400 兆赫，年度中值散射损耗大約等于 57 分貝。散射角大于 1° 时，每度增加 10 分貝左右。频率高于 400 兆赫，但不超过 4000 兆赫时，每倍頻程大約增加 3 分貝。

(iv) 中值散射损耗在寒冷而干燥的气候比热而潮湿的气候来得大。根据观察結果，不同季节的散射损耗和年度中值相比，有 ± 10 分貝以上的变化。平均折射指数和中值散射损耗之間肯定存在着某些关系。根据 CCIR 介紹，空气表面折射指数每一单位的减少使散射损耗增加 0.2 分貝。

(v) 假使距离不超过 90 英里, 繞射或对流层散射傳輸方式都有应用可能。这种范围当然是非常模糊的。一般方法是算出繞射損耗和散射損耗, 設計时則采取損耗值較小的方式。

(2) 孔徑媒质耦合損耗:

由于信号是从一个闊寬的散射体到达收訊机的, 限制天綫束的結果是減小了公共体积。这样就达不到全天綫增益。結果产生一相对的天綫增益損耗名为孔徑媒质耦合損耗。

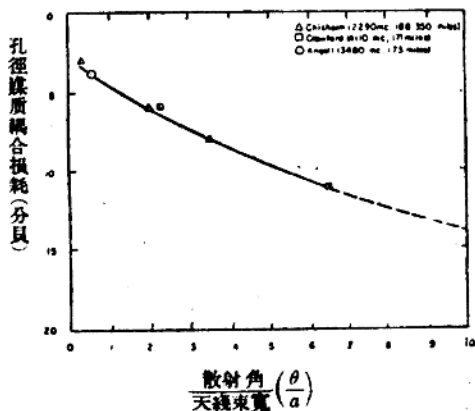


图1 孔徑媒质耦合損耗(实验)

(a) Booker 是第一个研究孔徑媒质耦合損耗的。研究时, 他假定大气湍流是各向同性的, 收发訊天綫都相同。Staras 将 Booker 的研究加以扩充。他假定收发訊天綫两者并不相同也不是圓錐形。他又适当考虑到各向异性的大气湍流情况。Hartman 提供了計算这种損耗的方法。这些理論方法所得到的数值各不相同。

(b) 图1的曲线是根据 Chisholm, Crawford 和 Angell 的实验結果进行繪制的, 这些理論計算中, Staras 的計算似乎非常接近这个实验曲线。由于孔徑媒质耦合損耗的統計属性, 长期中值就成为重要的了。图1所示的所有数据都是中值。似乎有必要設法获得更多的实验数据。

(3) 媒质頻寬:

散射能正确(无严重失真)地担負的頻寬是一个非常复杂的問題。曾經提出几种理論計算方法。Booker, Crawford, Gordon 和 Morrow 都把媒质頻寬定為两条最差路綫之間的多路微分延迟時間的倒数。何謂“最差路綫”各人的見解不同。Staras 从頻率关联函数出发來探討这个問題。其他研究者所估計的頻寬和 Staras 的相差 6~7 倍之多。要解決这个爭論中的問題, 有必要作更多的理論和实验的

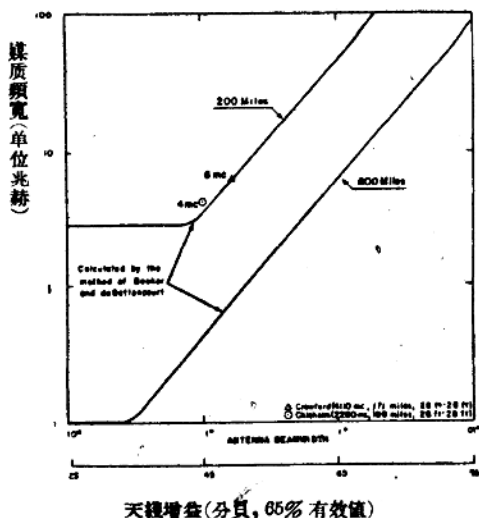


图2 媒质頻寬

Antenna beamwidth: 天綫束寬
Calculated by the method of Booker and de Bettencourt: 根据 Booker 和 de Bettencourt 方法計算
Miles: 英里 ft: 英尺

探討。

(a) 虽然在算出的数值上有分歧, 他們都似乎承认寬束天綫的多路延迟程度或頻寬受大气反常的特性控制(天綫束寬 α 比散射 θ 大得多; 地势平滑时 $\theta = \frac{d}{R}$, 其中 d 是路綫的距离, R 是地球半径三分之一)。天綫为狭束时, 多路延迟程度或頻寬則受天綫束寬控制(α 比 θ 小得多)。

(b) 为了說明問題, 特把 Booker 和 de Bettencourt 所計算的頻寬輸出如图2所示。天綫是狭束时, 頻寬与路綫距离及束寬两者成反比, 而对束寬为更灵敏。图2还繪出 Chisholm 和 Crawford 所作的实验点。实验数值頗与理論符合。对更长的路綫还没有实验数据可以援用。图2表示, 假使要获得足够的頻寬, 一定要采用狭的天綫束。請注意, 上述討論同样适用于应用調幅或单边帶調制进行无綫电通訊的場合。

(c) 在采用調頻的无綫电傳輸中, 如果是頻率分割多路系統, 那末多路延迟会产生互調畸变, 因而限制了可以利用的多路通訊的路数。

3. 新 发 展

以上所述是关于傳播方面最近发展的情况。从系統方式來說, 也有几个值得介紹的新发展。

(1) 角分集收訊 用分集收訊来减少快衰落是大家很熟悉的技术,但是直到目前为止仅限于采用空间和频率分集收訊方式。

角分集收訊是应用于散射傳播一种比較新的方式。它的优点主要在于降低天綫成本。其中有一种方法所用的天綫(例如拋物面天綫)能产生相当于 1° 的分数級的束寬。用許多饋电喇叭激励以后,这种天綫将产生多个束注,每一个束注角度都不同,这样就得到多重分集。由于某些射束并不是注向最佳位置(最佳位置是方位角上的大圈和投射角为无綫电水平綫),分集收訊所获得的增益是以牺牲一些个别束注的中值信号为代价的。它的实用价值尚待进一步的实验証明。

(2) 低噪音放大器 脉澤和参量放大器都是低噪音器件,当作輸入級可提高收訊机的灵敏度。

分子束脉澤(例如氫的分子束脉澤)应用于放大器的价值并不很大,因为它们的增益頻寬乘积小,功率輸出低又缺乏調諧性。目前最得到发展的是采用紅宝石作为順磁材料的三能級空腔型固态脉澤。更先进的类型要算行波器件。它们的增益頻寬乘积有显著的提高。噪音系数接近 $0\sim 1$ 分貝。脉澤最大的缺点是需要在温度 $1^\circ\sim 4^\circ\text{K}$ 进行冷却。冷却一般用液体氮。参量放大器有三种类型:鉄氧体,半导体二极管和电子束。它们都用可变电阻器件。和脉澤相比,参量放大器的动态范围和頻寬都大得多,又不需要进行低温冷却或低温环境。噪音系数接近 $2\sim 4$ 分貝,比較适宜用于对流层散射系統。表3所列是各种放大器包括一般的和低噪音器件的噪音系数。

表3 超高频放大器噪音系数

放大器类型	頻 率 范 圍	噪 音 系 数
三 极 管	30~3000 兆赫	3~10 分貝
半 导 体	300~1000 兆赫	1 分貝
行 波 管	3000~10,000 兆赫	4~10 分貝*
脉 澤	500~10,000 兆赫	0~1 分貝
参 量	50~10,000 兆赫	2~4 分貝**

* 根据最近发展,頻率范围,在10,000兆赫时,噪音系数可达到4分貝。

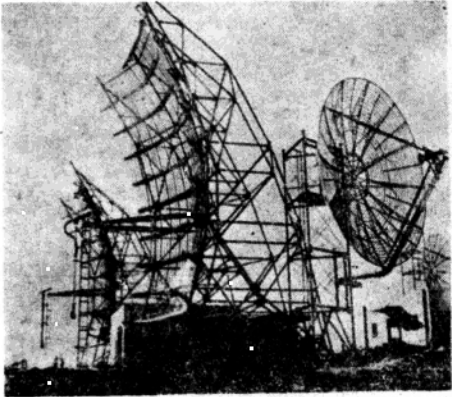
** 根据最近发展,頻率范围在400兆赫时,噪音系数可达到2分貝。

应用低噪音放大器时,应该考虑到各种外杂音如超高频上所存在的大地和地外杂音源。Hausman

曾指出,在100~1000兆赫范围内,由于高外杂音电平的存在,采用低噪音器件后所得增益并不大。

(3) 衰落容限和可靠性 假使从系统的参数中已知衰落容限,那末組合慢和快衰落分布就可确定长期的系統可靠性。

因为两种分布都属于統計性质,采用概率組合法是自然的而且也是合乎邏輯的。这种方法应用于电话通訊设备的設計中。据报导实验結果十分符合理論的概率組合衰落分布。



在利比亚(Libya)建立的典型对流层散射通訊站,天綫都是“牌”型和“盘”型的。

数据傳輸和电报通訊仍旧采用代数組合法。Brennan 解釋他的理由說,假使采用概率函数計算长期的組合分布有可能模糊这样一个問題:非常低的信号的周期究竟是少数长的周期还是很多短的周期。这个問題,特別对数据和电报傳輸來說是很重要的。在这些傳輸所运用的设备中,假定一年内有2小时被損耗,如果这些損耗化整为零地分散成1分钟或2分钟互不相連的小間隔,不致会产生严重后果。但是假使这些損耗集中在两小时范围内,那末后果就非常严重了。特別在綫路距离不大的情况下代数組合法所要求的衰落容限大大超过概率組合法,表4所列是两种方法的对照。

(4) 設計技术的改进 如前所述,設計对流层散射设备时,有必要根据所要求的可靠度允許某些衰落容限。通常利用大型天綫和高的发訊机射频功率来提供这些容限。因为衰落属于統計性质,所以利用设备的极端容量的時間很短。改善这种情况有下列几种方法:

(a) 載波控制:通过包括双向傳輸綫路的閉合

表 4 衰落和可靠性的关系

参 数	代 数 组 合 法						概 率 组 合 法					
线路距离	100 英里			600 英里			100 英里			600 英里		
散 射 角	1.1 度			6.6 度			1.1 度			0.6 度		
分集收訊級数	1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4
衰落容限(单位分贝)(99% 可靠性)	39	29	23	22	12	6	26	20	16	18	8	4
衰落容限(单位分贝)(99.9% 可靠性)	56	41	33	33	18	10	38	28	26	30	15	6

伺服回路,发送一个主导音频,使发射的射频功率尽可能根据衰落情况受到控制。这相当于在发讯机上加一自动增益控制(AGC)以代替收讯机上的 AGC。这种方案使平均主功率节约 98%。但是以提供与载波不受控制时相同的射频功率为条件。

(b) 频宽控制(只适用于调频系统):用话务量来控制中频频宽。这种话务量的昼夜变化非常可观。在这方案中,基频功率(和话务量一样变化)当作控制因素之用。这样就可使系统可靠性略为提高或者使发射机射频功率要求降低 3 分贝左右。

(c) 阈的控制(仅适用于调频设备) 这方案和方案(b)相同,不过控制收讯机中频频宽的是衰落情况。在这方案中所用的控制因素是接收的射频功率(随着衰落情况而变化)。这样就能使发讯机射频功率要求降低几个分贝,代价是降低上通路的质量或减少有用通路的数量。

(d) 反馈技术(这些技术已开始在调频对流层散射设备中应用)。收讯机中频频宽用反馈回路压缩使噪音频宽减小但又不影响系统频移的改善。(此外尚有联合应用反馈和锁相检波的),这能使发讯机功率要求降低 10 分贝。

(e) 话务调节技术:控制每小时的话务量使发送的话务量和衰落情况相适应。接收的射频功率(随着衰落情况而变化)被用于控制收讯机中频频宽和话务通路。由于可以按照最急的通路来进行设计(这种最急的通路通常只占话务量的百分之几)结果使基本建设费用减少。不急的话务可以延迟,等情况好转时再发送。目前已有的一般设备和未来的一般设备都可用这种技术以增加情况好转时的通路数量。

图 3 是根据上面的讨论和目前技术水平对对流

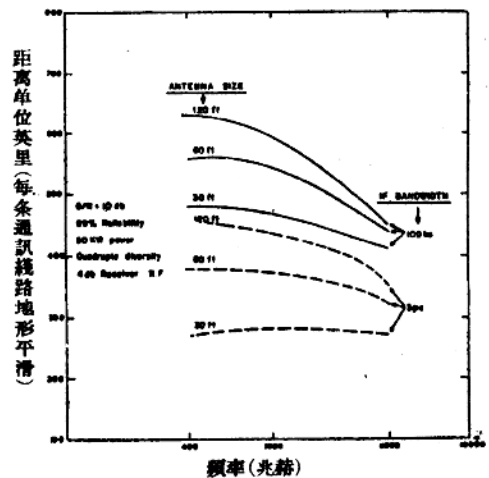


图 3 最高容量(每条线路)

O/N: 信号噪声比
Reliability: 可靠性
50kW power: 功率 50 千瓦
Quadruple diversity: 四重分集
4 db receiver N.F.: 收讯机噪声
系数 4 分贝
IF bandwidth: 中频频宽

层散射线路所能达到的最大容量(以每条线路为基础)所作的估计。这图是依照简单的系统设计方法输出的。从图可以看出距离较长时,使用的频率范围应该是 400~1000 兆赫。

虽然对单边带调制(SSB)设备曾经作过试验并且提倡使用这些设备,目前的设备一般还是调频制,由于所牵涉的各种因素不同,调频和单边带调制系统的优劣很难加以比较。

表 5 列举了若干目前所用的设备。从表中可以看出,对流层散射传播方式已经从试验阶段过渡到为人们所确认的微波通讯的工具之一。

表5 对流层散射系统

国 名	美 国 加 拿 大 挪 威					
系 统	贝尔系统	白阿利斯	Pole Vault	中加拿大	Dew Drop	Ace High的一部分
位 置	迈阿密-哈瓦那	阿拉斯加	纽芬兰-拉布拉达	魁北克-拉布拉达	Cape Dyer-Thule	Oslo-Bodo
频率范围(兆赫)	700~900	750~950	571~731	755~980	350~450	900~2200
平均功率(千瓦)	10	1~10	10	2~10	10	10
调 制	调频	调频	调频	调频	单边带	调频
天线(英尺)	60	30~60	60	30~60	120	30~60
分集收讯	4	2	2	4	4	4
无线电通路	1	1	1	1	1	1
备用通路	1*	1	1	0	0	0
通路总数	2	2	2	1	1	1
每条无线电通路包含的话路	36	12~72	12~36	36~108	24	36
每条无线电通路包含的电视线路	1	0	0	0	0	0
线路数量	1	23	9	5	1	3
每条线路的距离(英里)	185	100~200	130~228	90~137	690	100~200
预计传输范围(英里)	—	3000	2000	—	—	9000

* 备用通路也用于电视传输

四、结 论

在微波无线电通讯中,不论是视距内还是对流层散射系统,它们所具有的宽频容量不仅能满足电话业务不断增长的需要,而且也能满足目前所提出的全球电视传输的要求,到目前为止,除了正在规划

中的人造卫星中继系统外,没有任何其他方式能与之相比。

由于人造卫星中继系统在商业上的应用并不是在最近的将来能够实现的,在未来的一定时期中,似乎只有用视距内及对流层散射进行的微波无线电通讯才能够担任宽频全球通讯的任务。

(陈安民译 汪永年校)

3. 微波今后十年

Benjamin Lax

Microwave Journal, 1961, 2, p. 129~130 (英文)

在60年代开始的第一年——1961年，来展望一下微波科学和技术的未来，将是适时的。

微波科学和技术在前此的二十年里面有了真正的发展。第二次世界大战对雷达及通讯的微波技术的发展提供了巨大的动力，50年代的十年更是令人瞩目。这两个十年标志着微波的发明、革新、和科学的成就时期，今后的年代可能是不能与之相比的。

可是，事物还有它的另外一面。今后，新的发明在数量上可能是比较少，但是它们实际的重要性以及在科学上的意义无疑是深远的。今后，新发展的重点将是微波在空间计划中的应用，无论从哪一点看，空间计划还只是刚刚开始；此外，对微波技术的应用和改进将起重要作用的另一个发展是在固体研究方面。对于前者，不难想象其未来，对于后者这水晶球就比较难以揣测了。

从商业观点说，未来是光明的，因为在我们将来的空间计划中，实用的微波部件和体系将作出重要的贡献，当我们运载工具送进愈来愈远的外层空间时，我们将需要更强力的发射机和更灵敏的接收机以维持与这些高速运载工具的通讯联系。微波频率理想上似乎是可以适应问题的要求的。为了供给地面发射机以必需的大增益，波长愈短，就愈需要大的盘形天线。象 Virginia 州 Sugar Grove 地方那样的直径超过 100 呎的巨大抛物反射体和接近 600 呎的盘形反射体的数量必然会大量增多。自然，当频率增加，尺寸和频率会受到这些大反射体的机械容差所规定的实际限制，另一个限制是发射管的有效功率和我们在实际的波导及传输线中处理它们的能力。因此，3 至 10 千兆周范围的频率应该还是比较合适的频率。

较大功率的速调管，特高频功率放大管，甚至新型的器件的制造无疑将取得进展。在今后的十年内，平均功率电平可能增高到另一个数量级。新的器件也许不是一种电子管而是一种固体发射机，它可以满足对更大功率的要求。可是就我们目前的技术水平来说，下一步还只是一种经过改进的优质电子管，对专用于星际运载工具的航标和发射机而言，

固体发射机当然最为适合；就接收机而言，量子放大器和参量放大器似乎是相宜的，这些放大器将会不断改进。前十年高度发展的微波部件配以增加了的频带宽度和较高的稳定性将使器件更具有吸引力，量子放大器和参量放大器的采用肯定将引起一种新的大天线的設計以配合这些固体接收机的低噪声特性而使它们更为有效。为了进一步减少体系的噪声，采用 Cassegrain 体系以减少输出喇叭与接收机之间的传输损失是可能受到欢迎的，在某些情况下，采用大口径的巨型喇叭可能解决这些问题。

在微波方面我们能希望有怎样的新的和基本的发展呢？我们能不能期望看到象微波谐振现象、铁氧体器件、顺磁量子放大器和参量放大器之类的发现所代表的那些令人惊奇的发展呢？这实在很难预料，但是期刊的评论是从来不在难以预料的事物面前退却的。

有惊人发展希望的一个方面是型式更普通的固体放大器。半导体方面的工程师试图增加二极管和晶体管频率响应范围的努力已取得了一些成就，这种努力的大部分皆未达到微波的频率范围，但参量二极管和隧道二极管则属例外，后者已经扩展到 100 千兆周。可是并未有人认真地试图寻找特性更能满足此高频范围需要的新晶体管材料。这是一个简单的基本物理事实：在室温下大多数固体内的电子撞击损失是够高的，因此，半导体本身的 Q 一般总是小于 1。若在较低的温度下应用足够纯的材料，那么 Q 能提高到 10 甚至 100；在适当的材料内增加载流子的迁移速率(carrier mobility)也能改进受物体尺寸所限制的迁移时间(transport time)，两种因素皆显示高频晶体管和二极管的未来在于低温度和低间隙材料的采用，这将建立高的迁移速率和低的损失，当然，这只有从大量已知半导体混合物、半金属元素和合金中准备好并选择出适当的材料时，才能实现。

一种新的引人注目的基本研究技术是在固体内把光激励和微波谐振结合起来运用。晚近已经可以借微波谐振来在红宝石内调制光，并由此测量在此

材料之內的光激勵狀態的自旋。如果將此技術稍稍變通一下而應用於許多順磁晶體及其他材料，無疑也將提供許多有關這些固體的新的基本資料。利用超高壓力的微波諧振現象已經開始，在今後十年中將繼續發展。有關這方面的另一未定事物是利用以 He^3 恒低溫器或絕熱去磁作用所獲得的低於絕對溫度 1° 的超低溫在僅含極少量雜質的材料內作磁諧振及回旋諧振。微波頻率超聲波的发生不僅可作為研究這些材料中的聲子頻譜的工具，而且對鐵磁、順磁、半導體甚至金屬的各種新器件也將會有實用的結果。

最後，以前我們討論過的毫米波，仍然將是微波方面有重要發展的一個。它將從實用以及作為基本研究工具這兩個方面被更充分的研究利用。對通訊和雷達體系而言，毫米波在外層空間的應用，由於可以升高到大氣層之上，消除了水蒸汽及氧氣的吸收作用而不再受到限制。在這些情況下，通訊，無線電天文学以及無線電測量的可能性變為極其美好。採用在這些頻率已能利用的量子放大器，已經使得總的靈敏度比普通接收機增加了一個數量級以上，第一次採用反鐵磁材料的非可逆器件在今後的幾年將

進一步加以研究和利用。沿特殊圓柱波導的地面通訊體系將處理高至 100 千兆周的寬波段大容量系統，在不遠的將來，利用西林可夫放射效應產生微波及毫米波的可能性將變為現實。有效的媒介可能是一等離子區或是一種其性能能借外部磁場很方便地調節的鐵磁材料。

在基本研究方面，在今後二三年內可取得成果的兩項重要發展將使深入至毫米波及亞毫米波的諧振成為可能，其一是作為高至 300 千兆周的基本訊號源的大功率毫米波管的发展，這甚至允許亞毫米波範圍諧波的发生；另一個發展是數十萬高斯級的強磁場的利用，這將允許在迄今未研究過的材料之內發生毫米波諧振，並擴大對現有材料的分析研究能力。最後，在此頻率範圍將更廣泛的採用相似於在光學波長所應用的那些干涉儀及技術。

有一些極為動人的東西我們這裡沒有述及，因為在目前，我們對這些事物還不能加以想象和推測，但是這方面的關鍵問題一定會被突破，而且肯定將以意想不到的方式改變微波的研究和發展。

(孟侃譯)

4. 高灵敏度調頻接收系統

M. Morita S. Ito

IRE International Convention Record, 1960, Vol. 8, Part 5, p. 228~237 (英文)

一、摘要

一般的調頻接收機，有所謂門限电平限制的缺點。作者在接收設備中設計幾種線路來改進門限电平，使之在此前認為無法工作的弱電磁場中作可靠的無線通信。

方法之一是一方面在檢波之前將高电平的正弦電壓與接收到的調頻信號混合；一方面應用負反饋技術。

另一種方法是除加調頻負反饋外，將本機加入的高电平正弦電壓與接收到的調頻信號之間的相位差別鑑別出來。

已經證明以上方法應用在 60 路多路通訊接收設備中，其效果相當於將發信機功率提高 10 倍以上。與單邊帶通訊系統比較，上述新設計系統不但有同樣的靈敏度及較高的支路信號噪聲比，而且結構上也簡單得多。

二、導言

調頻制在超高頻、甚高頻及至高頻頻段無線通訊中有廣泛的用途，主要因為調頻制用所謂寬頻帶增益方法得到優越的支路信號噪聲比。但是調頻制有一嚴重缺點，就是門限電平的限制，當接收到的場強低於某一數值以下時，信號噪聲比即降低到無法應用。如別的因素不加考慮時，門限值是和接收機的頻寬成比例關係的；頻寬越狹，門限值越好。但是頻寬減小或調頻度減小，就減低了寬頻帶增益，因之嚴重地犧牲了支路信號噪聲比，這一點有使得調頻制在弱信號接收場強中不能與單邊帶相比的危險。

但是不能忘記調頻制可以利用寬頻帶增益改善信號噪聲比的固有優點，如果改進門限电平，調頻制的应用將更為廣泛。

三、調頻負反饋狹帶制式

通常，具有限幅器及鑑頻器的調頻接收機的門

限电平值是：

$$P_{tL} = 8KTBF \quad (1)$$

(1) 式是在噪聲峰值电平等於信號峰值电平的情況下導得的，此時限幅器不能起限幅作用，正常檢波作用也不再可能了。

顯然，假如接收機的噪聲系數不變，減小頻寬 B ，門限电平值將相應地得到改進，但是如果發信機頻偏沒有減低而僅僅減低接收機頻寬，就會引起很大的失真。而從另一方面看，如果將發信機頻偏減低，又將使支路信號噪聲比減小。

圖 1 用輸入信號強度與信號噪聲比的曲線圖來說明這種相反作用的情況。

為了解決上述困難問題，作者在几年前設計了負反饋狹帶調頻式線路，這一設計已經在日本許多微波電路上加以應用。圖 2 為這種接收機的方框圖，本機振蕩頻率是由接收機輸出經負反饋回路所調頻。所以中頻級調頻波頻偏比收信機輸入端調頻波的頻偏小得多。因此中頻信號可以通過很狹頻帶的高 Q 值電路而不引起嚴重失真。就是說在維持高信號噪聲比及少量失真的情況下，能夠改進門限值。

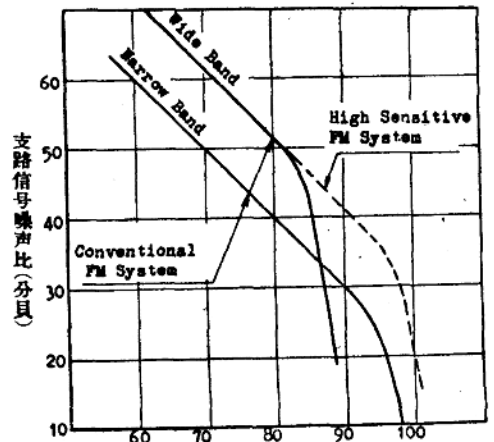


圖 1 接收機輸入功率 (分貝在 1 毫瓦以下)

High sensitive FM system: 高灵敏度調頻制

Wide band: 寬帶 Narrow band: 狹帶

Conventional FM system: 常用調頻制

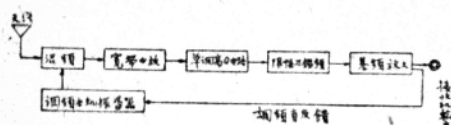


图 2

必須看到，在这种设备内仅一个高 Q 調諧回路用狭頻帶，其他各級仍旧用寬帶調諧，直接应用狭帶中頻放大器，将增加調頻边帶波相位的轉移而导致負反饋电路稳定性的破坏；而在寬帶中頻放大器后而加上狭帶調諧回路，就在一个很稳定的范围内允許合适的反饋控制。这是調頻負反饋狭帶制中最重要的点。

关于調頻負反饋制，过去有很多文章介紹过。1956年起已經有200多套微波机器装置了負反饋电路，在日本正式电路上使用。图3是7000兆赫装用負反饋后的收发信机照片，这套设备在中继站使用，旁边两机架作为对两个方向中继使用的机器，中間一架作为两边公共备用机。

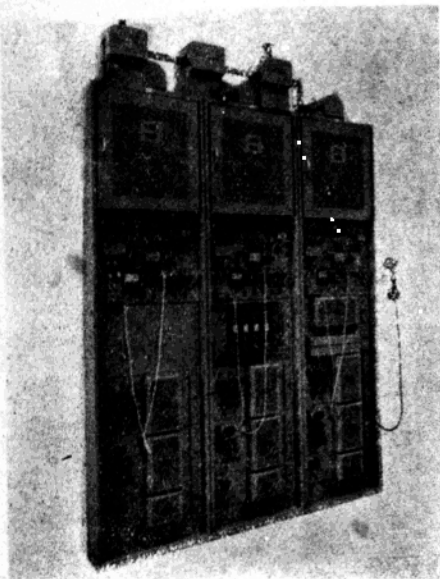


图 3

四、插入負反饋載波制

以上所述是由改狭收音机頻寬而得到門限值的改进，現在这个系統是在接收电路中增加信号波幅来改进它。載波插入法能得到更好的門限电平改进值。

上节(1)式是假設信号与噪声峰值电压相等时

导出的。下式是計算門限电平的普遍公式：

$$G_S P_{th} = 8 G_N K T B F \quad (2)$$

式中， G_S 是信号电压放大倍数；

G_N 是噪声电压放大倍数；

(2)式可写成：

$$P_{th} = 8 \frac{G_N}{G_S} K T B F \quad (3)$$

(1)式系假定： $G_S = G_N$ ，即信号及噪声峰值电压相等；假使 G_N 小于 G_S ，門限电平即改进 $G_N/G_S < 1$ 。一般常用放大器自然不能完成这个任务，但是通过負反饋載波插入法可得到相同的效果。图4中檢波用本机振蕩器产生的正弦波电压，其頻率及相位都被控制，使它和接收机輸入載波信号的頻率及相位相同，但是本机振蕩器的振幅要比收到信号的振幅大得多。本机檢波振蕩电压加在限幅器及鉴頻器以前的信号上。



图 4

接收到的調頻信号 S 用下式表示：

$$S = E_S \sin [Q t + \beta \sin \omega t] \quad (4)$$

E_S ：信号波幅；

Q ：載角頻率；

ω ：調制訊号角頻率

β ：調制指数。

檢波用本机振蕩电压 L_1 以下式表示：

$$L_1 = E \sin Q t \quad \frac{E}{E_S} \equiv \alpha \gg 1 \quad (5)$$

两者合成后加在限幅器上的电压为：

$$S + L_1 = E_S \sin [Q t + \beta \sin \omega t] + E \sin Q t \quad (6)$$

图5为用同相載波插入法后，两者相位关系的矢量图。假定 $\beta \ll 1$ 并加以展开，公式(6)可变成：

$$\begin{aligned} S + L_1 &= L_S (1 + \alpha) \sin \left[Q t + \frac{\beta}{1 + \alpha} \sin \omega t \right] \end{aligned} \quad (7)$$

比較(4)式及(7)式，可以清楚地看出，載波插入法实际上把接收到的小波幅大調制系数的調頻信号，变成了另一种大波幅小

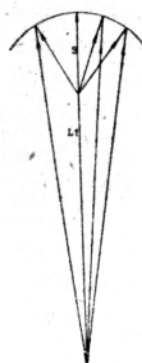


图 5