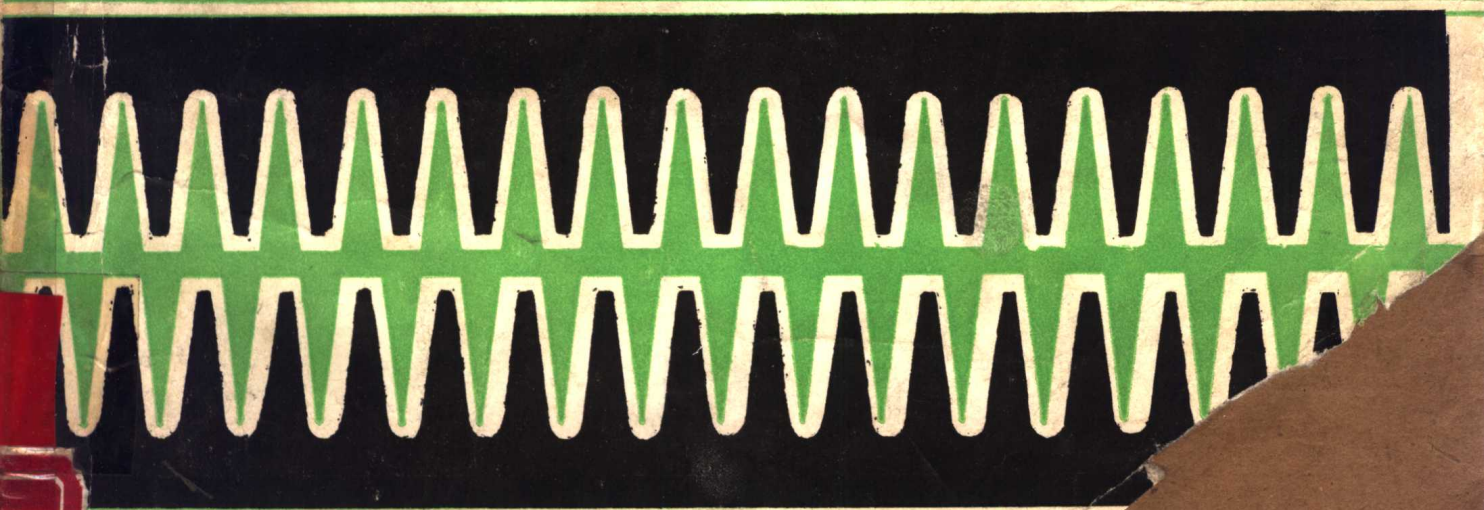


高等学校教学用书

微波固体电路

■ 黄香馥 陈天麒 张开智 ■



成都电讯工程学院出版社

高等学校教学用书

微波固体电路

黄香馥 陈天麒 张开智

成都电讯工程学院出版社

• 1988 •

内 容 提 要

本书是为高等学校通信、雷达、测量等专业本科高年级学生撰写的教材。主要论述现代微波系统中常用的基本微波固体电路。内容包括：微波混频器；参量放大器；倍频器；微波晶体管放大器；微波固体振荡器及微波固体控制电路。本书对有关微波器件的工作原理、电路结构和设计方法都作了详细而严格的论述，列举了大量实例以便读者正确掌握理论和设计方法。为使读者开阔思路和深入学习，各章均附有习题和参考文献。

本书除可作为有关专业本科生的教材外，还可作为有关专业研究生和微波电路工程技术人员参考书。

高等学校教学用书

微波固体电路

黄香馥 陈天麒 张开智

*

成都电讯工程学院出版社出版

成都电讯工程学院出版社印刷厂印刷

四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 425 千字

版次 1988 年 4 月第一版 印次 1988 年 4 月第一次印刷

印数 1—5,000 册

中国标准书号：ISBN 7-81016-019-2/TN·11

(15462·27) 定价：2.90 元

目 录

导 论	(1)
第一章 非线性电阻微波混频器	(11)
§1-1 概述	(11)
1-1-1 变频器的组成和概况	(11)
1-1-2 微波混频二极管及其参量	(11)
§1-2 二极管阻性混频器的基本电路和工作原理	(14)
1-2-1 单端混频器	(14)
1-2-2 单平衡混频器	(18)
1-2-3 双平衡混频器	(26)
§1-3 二极管阻性混频器的理论分析	(30)
1-3-1 最简单的线性周期时变电阻网络的基本关系	(30)
1-3-2 Y混频器的分析	(35)
§1-4 混频器的噪声特性和低噪声混频电路	(45)
1-4-1 混频器的噪声系数	(45)
1-4-2 滤波器型电抗镜像终端混频器	(48)
1-4-3 镜像回收混频器	(51)
1-4-4 窄频段平衡混频器的设计举例	(52)
§1-5 宽频段混频器	(56)
1-5-1 微波宽带巴仑介绍	(56)
1-5-2 宽频段混频器举例	(59)
第二章 参量放大器和参量变频器	(64)
§2-1 概述	(64)
§2-2 参量放大器的基本工作原理	(64)
2-2-1 可变电抗中能量转换的物理过程	(64)
2-2-2 非线性电抗中的一般能量关系	(66)
2-2-3 变容二极管	(70)
2-2-4 周期时变电容网络的小信号分析	(75)
§2-3 非简并负阻参量放大器的基本分析	(80)
2-3-1 非简并负阻参量放大器的等效电路	(80)
2-3-2 非简并负阻参量放大器的功率增益及稳定性	(82)
2-3-3 非简并负阻参量放大器的带宽特性	(85)
2-3-4 非简并负阻参量放大器的噪声特性	(87)
2-3-5 参量放大器展宽带宽的原理	(90)

§2-4 非简并负阻参量放大器的结构与计	(95)
2-4-1 非简并负阻参量放大器的结构	(95)
2-4-2 非简并负阻参量放大器的设计	(97)
§2-5 参量变频器	(99)
2-5-1 小信号和频上变频器的性能和结构	(99)
2-5-2 功率上变频器介绍	(102)
第三章 微波倍频器	(109)
§3-1 概述	(109)
§3-2 变容管倍频器	(109)
3-2-1 变容管倍频器的电路与分析	(109)
3-2-2 变容管倍频器电路参数的计算	(111)
3-2-3 变容管倍频器的设计数据	(120)
3-2-4 变容管倍频器电路举例	(125)
§3-3 阶跃管倍频路	(126)
3-3-1 阶跃管和它的特性	(126)
3-3-2 阶跃管倍频器工作原理与分析	(128)
3-3-3 阶跃管倍频器电路举例	(138)
第四章 微波晶体管放大器	(140)
§4-1 概述	(140)
§4-2 S参量及其物理意义	(140)
4-2-1 S参量方程	(140)
4-2-2 S参量的定义及其物理意义	(142)
4-2-3 S参量与频率和工作状态的关系	(143)
§4-3 微波晶体管放大器的基本分析	(144)
4-3-1 功率增益	(145)
4-3-2 稳定性	(150)
4-3-3 噪声系数	(157)
4-3-4 放大器特性的图解分析	(158)
§4-4 单端放大器的结构与计	(163)
4-4-1 匹配网络的基本形式	(163)
4-4-2 绝对稳定情况下的设计	(165)
4-4-3 潜在不稳定情况下的设计	(169)
4-4-4 多级放大器的设计	(172)
§4-5 微波晶体管放大器的 CAD	(172)
4-5-1 计算机优化设计基本概念	(172)
4-5-2 直接优化元件值设计法	(175)
§4-6 微波晶体管功率放大器	(178)

4-6-1	微波晶体管功率放大器的特点	(173)
4-6-2	微波晶体管功率放大器的结构与设计	(179)
4-6-3	功率合成的基本概念	(183)
附录	二端口网络噪声系数公式的推导	(184)

第五章 微波固体振荡器 (190)

§5-1	概述	(190)
§5-2	雪崩二极管振荡器	(190)
5-2-1	雪崩二极管的工作原理	(190)
5-2-2	IMPATT二极管小信号理论分析	(192)
5-2-3	IMPATT二极管振荡器	(198)
5-2-4	TRAPATT二极管振荡器	(201)
§5-3	转移电子器件振荡器	(203)
5-3-1	转移电子器件特性	(204)
5-3-2	转移电子器件振荡器的工作模式	(211)
5-3-3	转移电子器件振荡器	(216)
§5-4	微波晶体管振荡器	(217)
5-4-1	晶体管振荡器S参量分析	(218)
5-4-2	两端口负阻振荡器设计	(219)
§5-5	振荡器的频率稳定度	(221)
5-5-1	振荡器的相位噪声	(221)
5-5-2	微波振荡器稳频方法简介	(224)
附录 I	感应电流的概念	(229)
附录 II	雪崩区传导电流微分方程	(230)

第六章 微波固体控制电路 (234)

§6-1	概述	(234)
§6-2	PIN管原理及其特性	(234)
6-2-1	PIN管的低频特性	(234)
6-2-2	I层电荷控制与微波电流	(235)
6-2-3	实际PIN管及其等效电路	(236)
§6-3	微波开关	(238)
6-3-1	单刀单掷(SPST)开关	(239)
6-3-2	单刀双掷(SPDT)开关	(243)
6-3-3	开关的功率容量和开关时间	(247)
§6-4	微波限幅器和可变衰减器	(250)
§6-5	PIN管移相器	(253)
6-5-1	开关线移相器	(254)
6-5-2	负载线移相器	(256)

6-5-3	反射型(混合型)移相器	(260)
6-5-4	希夫曼 (schiffman) 移相器	(267)
6-5-5	四位移相器	(269)

导 论

所谓“微波段”通常是指电磁波谱中波长(或频率)从 1m(300MHz)至 1mm(300GHz)的一个特殊波段(或频段),如图 0-1 所示。在雷达和通讯中常用 L、S、C、J、X 等英文字

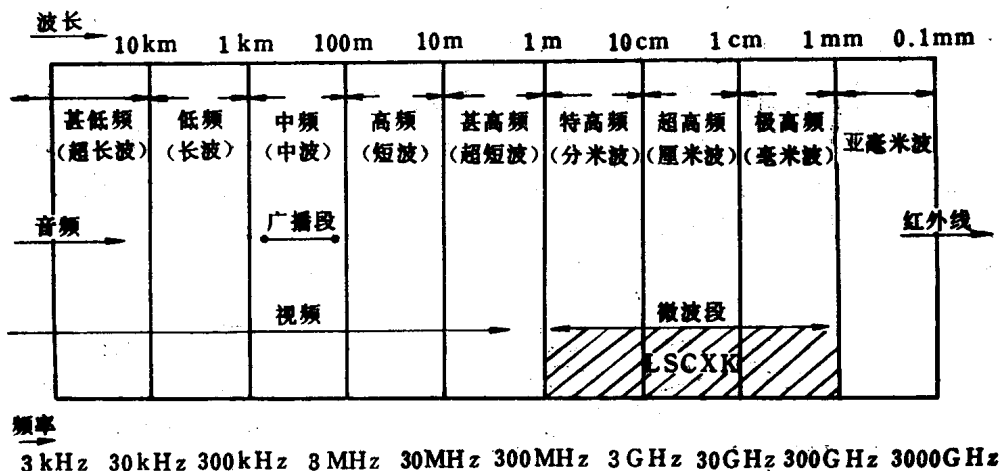


图0-1 微波段和电磁波谱

母来表示微波段中一些波段,这是第二次世界大战中英美等国家为了保密而采用的,以后就一直沿用下来,我国也经常采用。表 0-1 列出了这些频段和它们所对应的频率范围。

表0-1 微波频段代号及其对应频率

频段名称	P	L	S	C	X	K	Q	V	W
频率范围 (GHz)	0.225 ~0.39	0.39 ~1.55	1.55 ~3.9	3.9 ~6.2	6.2 ~10.9	10.9 ~36	36 ~46	46 ~56	56 ~100

在整个电磁波谱中微波段是很有用的波段。由于微波波长短,容易实现窄波束定向辐射,这就为无线电定位提供了有效的手段。目前广泛使用的各种雷达,例如远程和超远程警戒雷达、炮火控制和瞄准雷达、火箭及航天器的制导雷达、导航、气象雷达、汽车防撞雷达、防盗报警雷达等,它们的工作波段几乎都是微波波段。由于微波频率高、频带宽、信道容量大,因此现代多路通信系统,包括卫星通信系统,大多采用微波波段。微波的传播是视距传播,能穿透电离层到达外层空间,这就为地球和太空之间提供了一个窗口。卫星通讯和射电望远镜就是利用微波的这一特性而有效地工作的。

五十年代前后,分米波·厘米波波段得到了充分的发展和应用。六十年代之后,人们开始向毫米波和亚毫米波开拓。毫米波与厘米波相比,波长更短,频率更高,因而毫米波系统具有较小的天线,较好的抗干扰能力,对多普勒速度效应更灵敏,而且能提供更宽的频带和更好的分辨率;与光系统相比,毫米波系统对云雾烟尘具有较好的穿透能力,因而具有全天候的性能。同时,由于其体积小、重量轻、结构灵巧等特点,毫米波特别适用于机动通信、

空间通信及火箭制导等系统。

总之，微波能提供大带宽和高速数据传输，这对电子学许多领域的发展都具有重要意义。

通信与雷达系统介绍

为了了解微波系统的基本组件和它们的功能，现在我们介绍典型的通信与雷达系统的方框图。图 0-2 是 C 波段卫星通信地面站的典型方框图。图中接收机接收从卫星发来的 $3.7 \sim 4.2 \text{ GHz}$ 频段内的射频信号，由低噪声放大器(砷化镓场效应晶体管 GaAs-FET 放大器)放大后，通过两次变频变成 70 MHz 的中频信号(带宽为 36 MHz)。经放大后送至调制解调器。在发射机中，来自调制解调器的 70 MHz 中频信号(带宽 36 MHz)，经放大和变频(上变频)后，变成频率为 1182 MHz 的信号。此信号再经放大和变频，变为 $5.9 \sim 6.4 \text{ GHz}$ 频段内的射频信号，然后由末级功率放大器将它放大到 10 W 信号电平，经正交模式转换器由天线发射到卫星，以完成卫星通信。整个系统都可用固体电路构成。

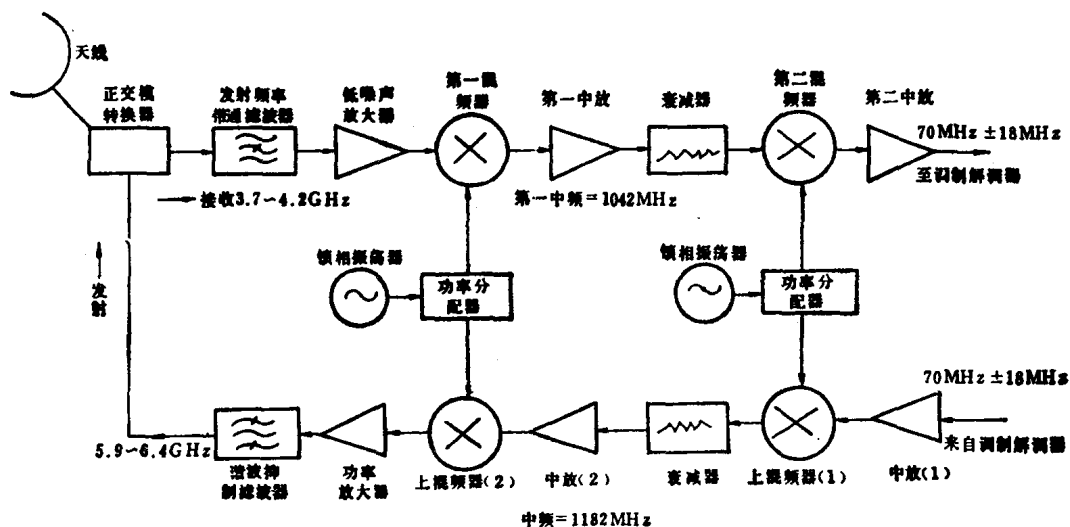


图0-2 C波段卫星通信地面站方框图

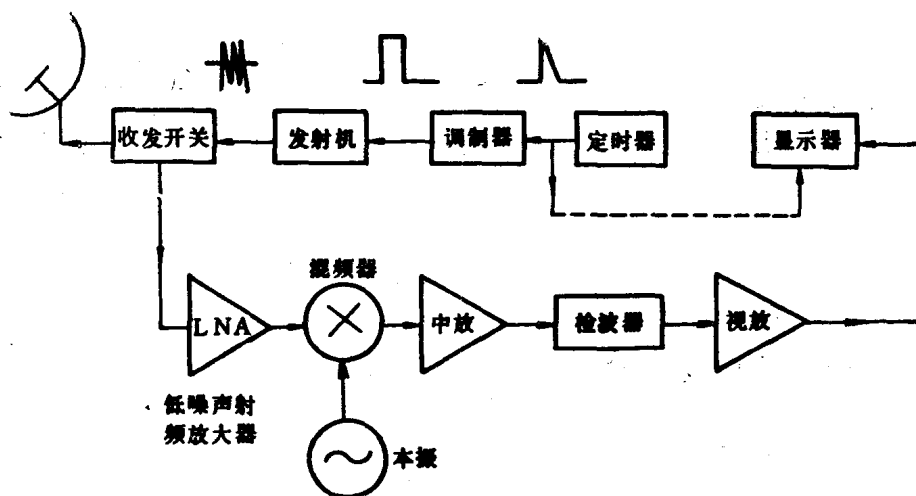


图0-3 脉冲雷达简化框图

图 0-3 是普通的脉冲雷达简化方框图。它主要由天线和天线开关、发射机、接收机、终端设备和定时器等组成。雷达工作时, 定时器产生定时脉冲以控制发射机, 使其产生高频大功率的脉冲串, 经定向天线向空间辐射电磁波。天线控制设备使天线波束按照指定的方式在空间扫描。当天线波束照射到目标时, 电磁波被目标反射, 其中一部分电磁反射波又到达雷达天线, 再经接收机进行放大、混频和检波等处理后, 送到雷达的终端设备(显示器), 以进行对目标的观测。图中的发射机一般有两种工作方式: 一种是以大功率振荡器作为发射机末级, 如磁控管振荡器, 这种方式称为功率振荡式或单级振荡式, 另一种是以功率放大器作为发射机的末级, 这种方式称为功率放大式或主振放大式。图 0-4 是美国韦斯汀豪斯(Westinghouse)W-200 海军固体雷达中的 L 波段固体发射机结构。发射机是主振放大式的, 末级功率放大器是由 112 个 2.5 kW 固体放大组件构成, 它们进行功率合成后可得到 240kW 脉冲功率输出。主控振荡器是由固体微波源组成。为了获得频率稳定的微波源, 通常是将石

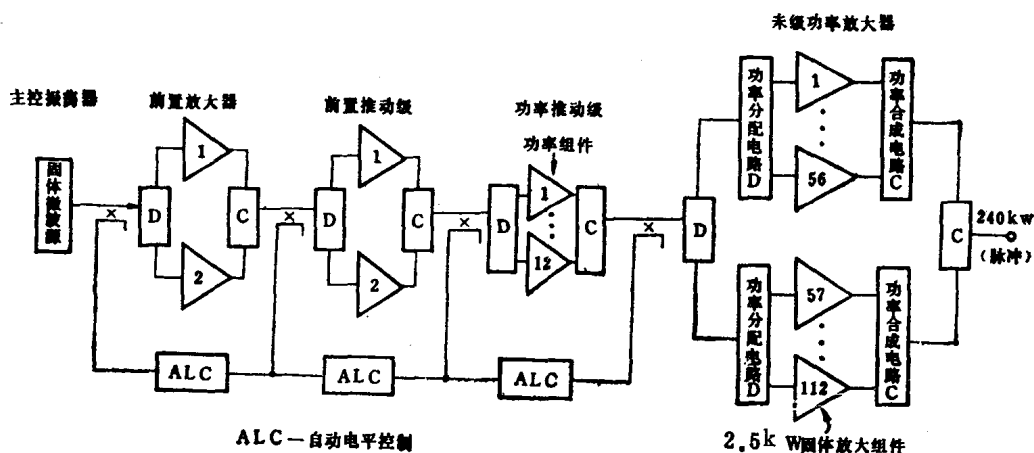


图 0-4 L 波段 240kW (脉冲) 固体雷达发射机框图

英振荡器的低频率信号, 经过倍频放大达到所需的微波频率。

从上面所介绍的微波系统我们可看出, 构成微波系统的基本单元是, 微波振荡器、微波放大器(低噪声放大器和功率放大器)、微波混频器、微波倍频器以及各种微波控制电路(如衰减器、移相器和微波开关等)。

六十年代以来, 微波半导体器件工艺得到了飞速发展, 硅双极晶体管(Si-BJT), 砷化镓-金属-半导体场效应晶体管(GaAs-MESFET), 雪崩二极管, 耿氏(Gunn)二极管, 隧道二极管和 PIN 管等现在已广泛用于各种微波系统。与此同时, 采用平面微波传输线(微带线)和薄膜淀积与光刻技术的微波集成电路(MIC)也取得迅速发展。利用单片集成工艺可将微波电路淀积在一个半导体芯片上, 不需要调整就可达到性能指标, 因此能够大量生产以降低成本。经过过去几年的发展, 单片 GaAs 集成电路技术现在已经成熟, 低噪声放大器、混频器-中频放大器组件以及中功率放大器等单片组件已研制成功。目前不仅微波接收机已集成化和固体化, 而且中功率的微波发射机也可固体化, 图 0-4 所示的 L 波段 240 kW 固体雷达发射机就是一个例子。固体电路的主要优点是: (1) 可提高系统的可靠性(其平均无故障的间隔时间约为 $10^5 \sim 10^6$ 小时)。这一方面是由于器件本身具有高的可靠性, 另一方面是因为在

组合运用时可设置备份件随时替换损坏的器件，从而提高了系统可靠性；(2)体积小和重量轻。例如一个 50W X 波段固体源，其体积为 $12.7 \times 7.62 \times 2.54 \text{cm}^3$ ，重量为 0.37kg；(3)成本低。当固体组件作为标准件而大量需要时，可大量生产而降低成本；(4)系统设计快速简便。由于现在已具备多功能和高性能的各种固体组件或膜块，系统设计者只需要选用合适的固体组件就可构成新的系统，就象采用预制件来建筑新房子一样，既快速又简便。微波固体电路的这些优点促进了微波系统的固体化，现在在中小功率的微波系统中已经普遍采用固体电路。

微波固体器件发展概况

整个微波系统的性能与接收机的噪声系数 F 和发射机的输出功率 P_T 有密切的关系。例如，对雷达系统来说，其作用距离 R 与 P_T 和 F 的关系可表示为

$$R \propto \left(\frac{P_T}{T_{0P}} \right)^{1/4} \quad (0-1)$$

式中 T_{0P} 是天线与接收机系统的工作噪声温度，它的定义是

$$T_{0P} = T_A + T_* = T_A + (F - 1)T_0 \quad (0-2)$$

式中

T_A = 天线噪声温度(K)

T_* = 接收机有效输入噪声温度(K)

T_0 = 室温 290K

$$F = \frac{T_*}{T_0} + 1$$

从上述的公式可以看出，要增加雷达系统的作用距离 R ，必须降低接收机的噪声系数 F 和增大发射机的输出功率 P_T 。因此要提高雷达系统的性能，必须发展微波低噪声器件和微波高功率器件。事实上，从微波发展的历史来看，微波的发展与这两种器件的发展是分不开的。因此，下面我们主要介绍微波低噪声固体器件和高功率固体器件的发展概况。

低噪声微波固体器件

在1955年以前，微波接收机还没有可用的低噪声放大器，第一级是晶体(点接触二极管)混频器，当时接收机的噪声系数 $F > 10\text{dB}$ 。在五十年代末低噪声放大器取得了重大进展，量子放大器(Maser, 1956年)、变容管参量放大器(Paramp, 1957年)和隧道二极管放大器(TDA, 1958年)相继出现。它们都是负阻反射型单口放大器件，需要利用环行器将输入与输出口隔离。量子放大器具有超低噪声性能。例如在1~20 GHz的频段内，其等效噪声温度 $T_* < 10\text{K}$ ，相当于 $F < 0.2\text{dB}$ ，是目前噪声最低的器件，但它的频带窄，还需要低温(4.2K)设备，结构复杂，价格昂贵，目前它只用于射电天文望远镜深空探测系统。隧道二极管放大器的噪声系数属于中等(受散粒噪声的限制)。例如在1~5 GHz的频段内， $F = 4 \sim 5\text{dB}$ ，而且其动态范围小，又需要环行器，在六十年代后期就被硅双极晶体管放大器所代替。采用高质量砷化镓变容管的参量放大器也具有超低噪声性能。例如室温参量放大器在1~10 GHz频段内，其 $T_* \approx 30 \sim 75\text{K}$ ，相当于其 $F \approx 0.4 \sim 1\text{dB}$ ，是目前在室温下噪声最低的器件。低温(20 K)参量放大器的 T_* 只比量子放大器的 T_* 高一些。目前参量放大器主要用于卫星通信地面站和射电天文望远镜系统。

由于半导体工艺的改进, 1968 年以来, Si-BJT 低噪声放大器取得了重大进展。其典型噪声系数为: 在 1GHz 频率以下, $F < 1\text{dB}$; 在 1~4GHz 频段内, $F = 1 \sim 3\text{dB}$ 。由于它是双口器件, 不需要环行器, 而且噪声系数比 TDA 的更低, 因此它取代了 TDA。目前它主要用于微波段的低波段作为接收机的前端低噪声放大器, 或者作为混频后的低噪声中频放大器, 图 0-2 中的中频放大器就是 Si-BJT 放大器。

1971 年以后 GaAs-FET 的发展取得了突破, 它比 Si-BJT 具有更高的增益, 更低的噪声和更高的功率放大效率。这是因为: (1) GaAs 材料中传导电子的迁移率为 Si 中的 6 倍, 峰值速度比 Si 中的大一倍。因此器件的寄生电阻较小, 跨导较大; (2) 有效层生长在电阻率大于 $10^7\Omega$ 的半绝缘体砷化镓衬底上, 器件寄生电容可做得小。1971 年至 1980 年, GaAs-FET 放大器的噪声系数逐年降低, 其进展概况如图 0-5 所示。现已达到的性能指标如下: 在 4GHz 频率上, 其噪声系数 $F < 1\text{dB}$; 在 10GHz 上, $F < 2\text{dB}$; 在 18 GHz 上, $F < 3\text{dB}$ 。在

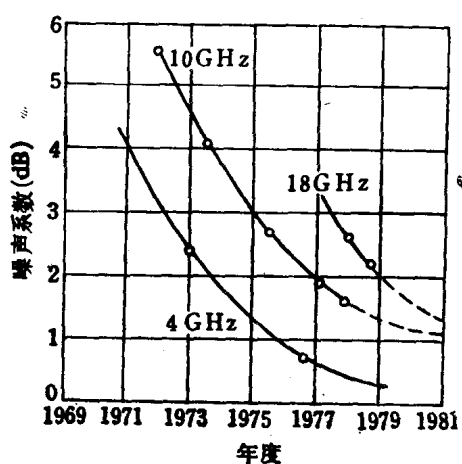


图 0-5 GaAs-FET 放大器的噪声系数随年度的发展概况

低噪声性能方面, GaAs-FET 放大器虽然不如室温参量放大器, 但相差不大。在带宽和动态范围方面, 它比参量放大器优越, 而低噪声场效应管放大器的价格约为参量放大器的十分之一。在可靠性方面场效应管也很高, 平均无故障时间间隔达到 10^8 小时。总之, GaAs-FET 低噪声放大器已成为微波系统接收机的重要低噪声固体器件, 图 0-2 中的低噪声射频放大器就是 GaAs-FET 放大器。1983 年微波晶体管放大器(包括低噪声和功率放大器)在西方国家市场所占的比例, 如图 0-6(a)所示, 而预测到 1990 年所占的比例, 如图 0-6(b)所示。由此可见, FET 放大器占有主导地位。

归纳起来, 各种低噪声和超低噪声放大器的噪声性能水平, 如图 0-7 所示^[4]。

混频器是超外差接收机的关键器件。在低噪声微波放大器未取得进展时, 二极管微波混频器常常作为接收机第一级, 它的噪声性能决定了接收机的噪声性能。因此, 人们在研制低噪声微波放大器的同时, 也对低噪声微波混频器给予特别的关注。随着砷化镓肖特基势垒二极管工艺的进展, 同时采用镜频电抗终端和镜频回收等技术, 窄带混频器的噪声系数也逐年降低。目前的技术水平是: 在 1~100GHz 频段, 混频器-中频放大器组件的总噪声系数 $F \approx 3 \sim 6\text{dB}$, 比起五十年代的混频器-中频放大器组件来说, 噪声系数改善了大约 10 dB。在

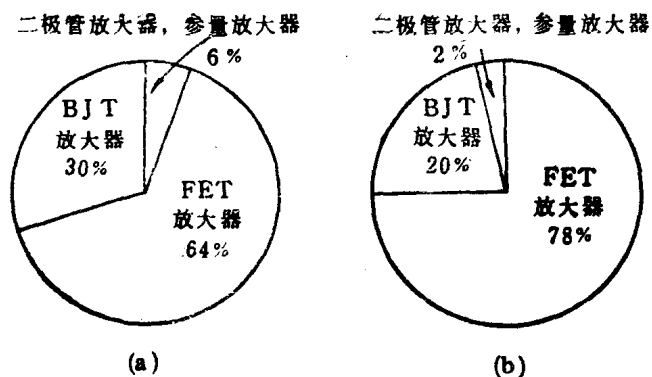


图0-6 微波固体放大器所占市场的比例
(a) 1983年 (b) 1990年

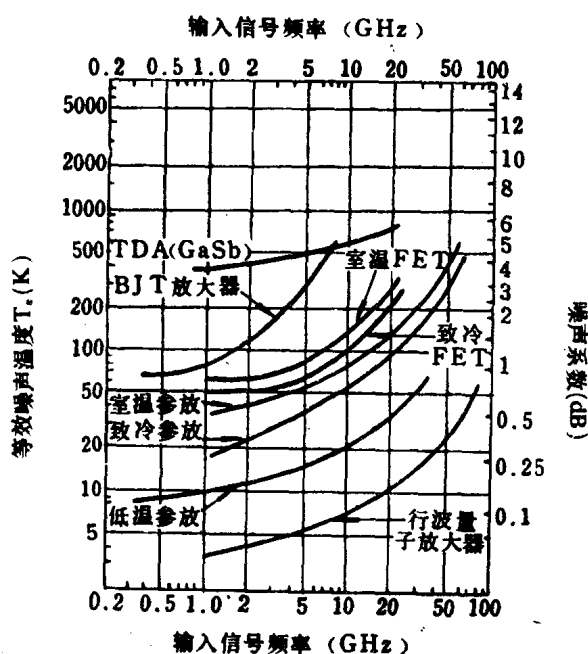


图0-7 低噪声和超低噪声放大器的噪声性能水平

毫米波段，目前还没有在噪声性能方面超过混频器的微波放大器。因此在毫米波和亚毫米波段，砷化镓肖特基势垒二极管混频器是目前最好的低噪声前端器件。在毫米波段，利用参量放大器作为前置中频放大器，并将混频器-中频放大器组件冷却到18 K的低温，可以进一步改善接收机的噪声温度。例如，在81 GHz频段，这种接收机的单边带噪声温度可达300 K ($F \approx 3\text{dB}$)，是目前在这个频段上所得到的最低的接收机噪声温度。当然，这种接收机价格昂贵，只有在特殊系统中才使用它。

固体微波功率器件

在六十年代初期，晶体三极管(如Si-BJT)的工作频率还在1 GHz以下。为了开拓固体微波系统，需寻求新的有实际意义的微波源，当时许多技术工作者都从事于固体微波振荡器

的研究。到 1963 年, 国际商业机械公司的耿氏在研究 GaAs 材料的电子迁移率随高电场变化时发现, 当电场大于 3000V/cm 时, 可以产生微波振荡。这一现象发现后, 许多人便投入到这项研究中来, 而且进展很快, 不久就获得实际应用。目前, 耿氏二极管振荡器作为小功率(几十毫瓦至几百毫瓦)微波振荡器已在 C、X 和 K 等频段得到广泛应用。

1958 年里德 (W.T.Read) 发表了利用 PNIN⁺ 结构的半导体元件中产生雪崩现象和载流子在 i 区的渡越时间, 使其产生负阻而获得微波振荡的理论。但是由于它要求的半导体工艺非常高, 当时很难实现。后来在 1965 年有人发现, 利用简单的 PN 或 PIN 结构的二极管也可得到同样的振荡现象, 这些二极管统称为雪崩二极管, 它的最大优点是可输出很大的微波功率。

雪崩二极管常用的有两种工作模式: 一种是碰撞雪崩渡越时间模, 英文缩写为 IMPATT 模, 简称为崩越模; 另一种是俘获等离子体雪崩触发渡越时间模, 缩写为 TRAPATT 模, 简称为俘越模。IMPATT 模的振荡频率高, 最高频率可达 3000GHz , 但效率较低, 约为 10%。TRAPATT 模振荡频率为几百兆赫, 效率高, 适合于脉冲工作。这个模式是 1967 年美国无线电公司 (RCA) 普拉格 (J.Prager) 和张可南 (K.K.N.Chang) 从实验中发现的, 当时他们利用雪崩二极管获得了在 425MHz 频率上脉冲功率为 435W , 效率为 25% 的实验结果。从材料方面来看, 目前有 GaAs-IMPATT 管和 Si-IMPATT 管两种。在 15GHz 以下的频段, 高功率固体振荡源主要利用 GaAs-IMPATT 管, 它比 Si-IMPATT 管有更大的功率和效率。但在更高的频率上, Si-IMPATT 管却比 GaAs-IMPATT 管更优越。

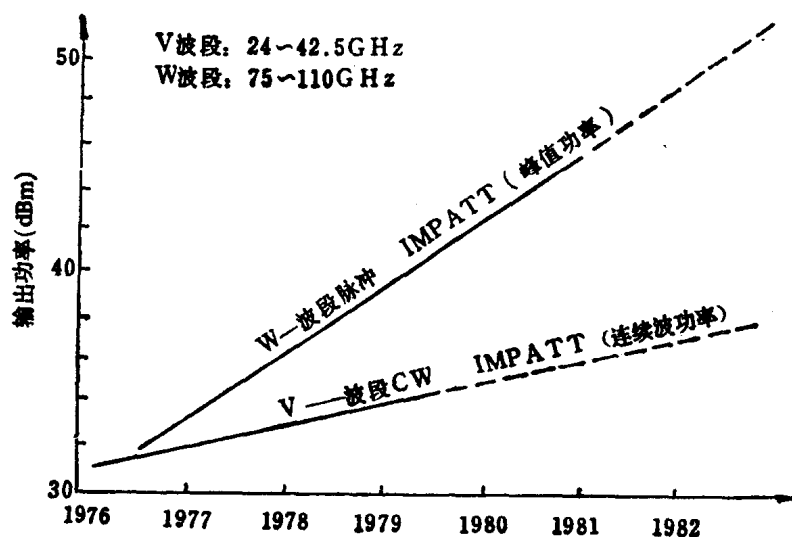


图0-8 固体毫米波源输出功率随年度的进展概况

近几年来毫米波源 IMPATT 管的输出功率随年度而直线增长, 如图 0-8 所示。IMPATT 管的输出功率随频率而变的概况如图 0-9 所示。从图中可见, 在 100GHz 频率以下, 输出功率与频率之积近似为常数, 即 $Pf \approx \text{常数}$, 它反映了器件发热的限制。在 100GHz 频率以上, 输出功率近似与频率的平方成反比, 它反映了线路阻抗和封装寄生参量的限制。

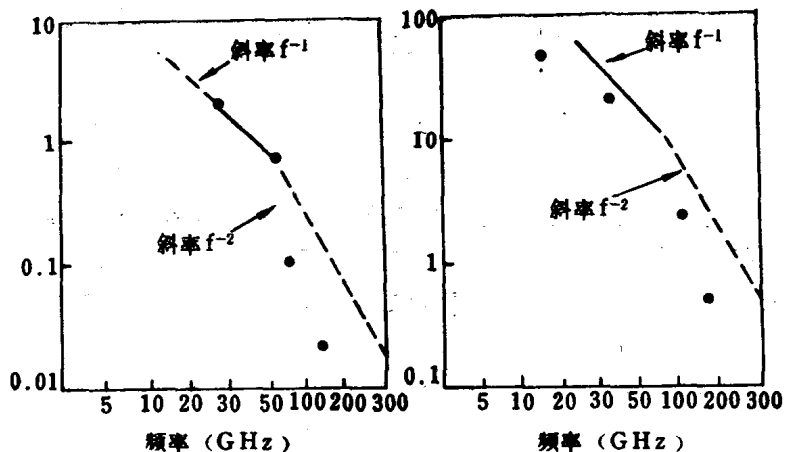


图0-9 IMPATT二极管振荡器的输出功率与频率的关系

雪崩二极管具有微波负电阻，可用来作大功率放大器。例如，在 X 波段利用 砷化镓崩越管作放大器，其连续波(CW)功率输出达 12 W，增益为 12dB，外加功率效率为 23.5%。为了提高输出功率，还可利用功率合成技术。例如，美国休斯公司 (Hughes) 利用 86 只砷化镓崩越管构成的六级放大器，在 10GHz 的频率上，从 1W 输入得到 1 kW 脉冲功率输出，脉宽为 1 μ s，占空比为 25%。

七十年代初期，在研究和发展低噪声 GaAs-FET 的同时，也注意研究功率 GaAs-FET，在 1979 年达到了相当高的水平。图 0-10 描绘了功率 GaAs-FET 输出功率与频率和年度的关系曲线。

功率 GaAs-FET 与 Si-BJT 相比除具有更高的最大振荡频率、更低的噪声和更大的增益外，还有较高的反向隔离度和较低的三次互调失真(由于场效应管的特性曲线接近平方律)。在 4 GHz 频率以上，功率 GaAs-FET 比 Si-BJT 有更好的效率。此外，场效应管不出现二

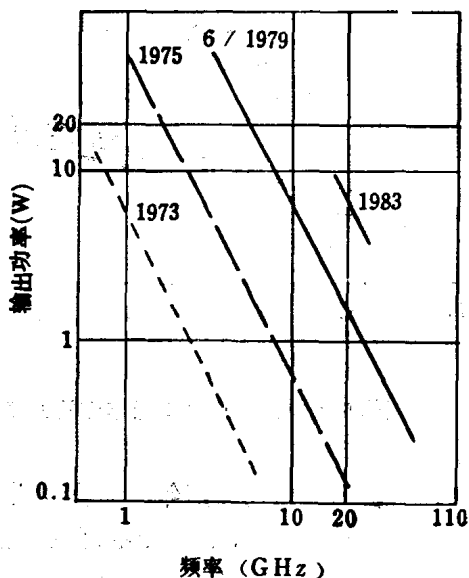


图0-10 功率GaAs-FET输出功率与频率和年度的关系

次击穿, 具有自镇流作用, 并且它本质上有更高的输入阻抗。作为多数载流子器件, 场效应管更不易受中子和 γ 辐射的影响。因此, 功率 GaAs-FET 是重要的固体微波功率器件。

总之, 在固体微波功率器件中, 目前可用的器件有 Si-BJT、GaAs-FET、体效应管和雪崩二极管。大致可以认为: 在 4 GHz 以下频段适合用 Si-BJT; 在 4~20 GHz 频段适合用 GaAs-FET; 20GHz 以上的频段则是体效应管和雪崩二极管的应用领域。

本书内容介绍

本书是为通讯、雷达和测量等专业的高年级大学生而撰写的教材, 内容包括现代微波系统中常用的基本微波固体电路。全书共有六章。

第一章是非线性电阻微波混频器。本章采用时变电抗网络的分析方法, 详细分析了混频器的性能; 介绍了各种混频器的电路结构, 其中包括单平衡混频器和双平衡混频器、镜象电抗终端和镜象回收低噪声混频器, 以及多倍频程的宽带混频器。

第二章是参量放大器和参量变频器。讨论了时变电抗网络中的能量转换过程和门雷-罗威 (Manley-Rowe) 关系; 介绍了参量放大器和参量变频器的电路结构, 详细分析了它们的性能, 为参量放大器和参量变频器的设计提供了基础。

第三章是微波倍频器。它给出了大信号非线性电抗网络的分析方法; 介绍了变容管倍频器和阶跃恢复二极管倍频器的电路结构, 并对它们的性能进行了分析; 给出了倍频器的设计数据表格和设计例子。

第四章是微波晶体管放大器。本章对散射参量 (S 参量) 的定义和物理意义作了详细介绍, 并用 S 参量分析了放大器的性能和稳定性问题; 介绍了硅双极晶体管放大器和砷化镓场效应晶体管放大器的电路结构和设计方法。

第五章是微波固体振荡器。本章详细地介绍了雪崩二极管和体效应管的工作原理, 振荡器的电路结构和分析方法。对振荡器的噪声特性和稳频措施也作了适当的讨论。

第六章是微波固体控制电路。本章详细介绍了 PIN 管的工作原理。给出了微波开关、微波限幅器、可变衰减器和数字移相器等的电路结构和设计方法。

本书是在《微波技术》和《电子线路》等前修课程的基础上编写的。阅读本书的读者需具备微波元件(如微带线、同轴线、波导和各种耦合器等)的知识, 以及电路矩阵表示和矩阵运算的知识。为了使读者开阔思路和深入学习, 本书各章后面均附有一定数量的习题和近期参考文献。

本书由黄香馥教授任主编, 并具体编写了导论, 第一章和第六章; 第二章和第四章由陈天麒副教授编写; 第三章和第五章由张开智副教授编写。

参 考 文 献

- [1] “微波器件的进展” 国外电子技术, pp.71-73, 1, 1978.
- [2] Stacy V. Bearse, “International Solid State Circuits conference: GaAs-FETs Steal the Show (again)”, Microwaves, pp.15-19, No.2, 1980.
- [3] Joseph S. Barrera, “GaAs FETs promise much As They Come OF Age” Microwaves, pp.67-69, No.2, 1980.
- [4] S. Okwit, “An Historical view of the Evolution of Low-Noise Concepts and

Techniques", IEEE Trans. on MTT, pp. 1068-1080, No. 9, 1984.

[5] J. C. Wiltse, "History of Millimeter and Submillimeter Waves", IEEE Trans. on MTT, pp.1118-1127, No.9, 1984.

[6] 黄香馥, "雷达微波固体器件的进展概况", 中国电子学会雷达专业委员会第一次学术年会论文集, 1980.