

超 高 頻 參 量 放 大 器

〔苏联〕B. B. 謝尔戈万切夫著

王 鳴 阳 譯

內 容 簡 介

本书对某些资本主义国家研制超高频参量放大器的工作情况作了简要的評述。这种放大器的噪声电平小，因而能够提高超高频接收装置的灵敏度。

本书內容共分四章。第一章討論了基于迴路的某个参量作周期性变化的参量放大的一般原理。此外，还叙述了各种基本类型的参量放大器及其应用等。

第二章至第四章分別闡述了半导体参量放大器、鉄磁参量放大器和电子注参量放大器的各种結構、工作特点及特性等。

书末列有詳細的参考文献索引。

本书适于与超高频技术有关的技术人員閱讀。

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ СВЧ

〔苏联〕Б. В. Сергочанцев

《СОВЕТСКОЕ РАДИО》

1961

*

超 高 頻 参 量 放 大 器

王 鳴 阳 譯

*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

交道口印刷厂印裝

*

787×1092¹/₃₂ 印張 4⁷/₁₆ 93 千字

1965 年 8 年第一版 1965 年 8 月第一次印刷 印数：0,001—3,200 册

統一书号：15034·957 定价：（科七）0.65 元

序

目前，提高超高频无线电接收设备的灵敏度是一个迫切的问题。解决这个问题的途径之一，就是采用噪声电平十分低的放大器作为高频前置放大。大家知道，参量放大器和量子放大器便属于这类放大器。因此，向与超高频技术有关的广大读者介绍这类放大器在国外的研究情况、这类放大器的特点、应用的可能性以及实际结果，是十分必要的。

向读者提供的这一综述，是试图尽可能全面而概括地说明国外期刊上所发表的、在研究和应用几种基本类型的参量放大器方面所作的工作的成果。这几种基本类型的参量放大器是：半导体参量放大器、铁磁参量放大器和电子注参量放大器。在这一综述里，以通俗的形式介绍有关这些放大器的工作原理、结构以及特性的扼要知识，这些知识也是概括或初步地了解这类新的、又极有发展前途的超高频放大器所必需的知识。

叙述基本上带有描述和综述的特点，对各种现象只作极简单的物理解释，而且是针对熟悉超高频技术的人来写的。对工作原理和各种类型参量放大器特点的解释，是与国外文献中的说明一致的。苏联学者曼杰利什塔姆、帕帕列克希等人建立了振动的参量激励和参量放大的深入透彻的理论，但是他们的工作在国外学者的论文中丝毫没有得到反映。因此，除了介绍国外关于这个问题的工作以外，还必须讨论苏联在第二次世界大战前后的工作，何况其中许多工作对很多理论

問題的說明比國外的工作更廣泛和更深入，而且有一些還指出了國外工作中所犯的錯誤。

還應當注意到，蘇聯和國外在參量放大器領域的術語都還沒有確定下來。因此，在這本小冊子里，建議採用一些新的術語和一些與外國術語同義的詞匯。

利用書末所附的國外文獻的詳細索引以及蘇聯論文的簡要目錄，在需要時，讀者可以在對各個問題作初步了解之後，比較容易地轉到他所感興趣的專門問題的深入研究上去。

目 录

序	5
引言	7
第一章 参量放大器的一般知识	13
1. 参量放大器的工作原理	13
2. 参量放大器中的能量关系	19
3. 各种基本类型参量放大器的简介	22
4. 参量放大器的输入电路和输出电路	24
5. 各种类型参量放大器的特性和应用范围	27
第二章 半导体参量放大器	33
1. 半导体二极管的可控电抗	33
2. 具有高频泵浦的再生式半导体谐振参量放大器	37
3. 具有高频泵浦的超再生式半导体谐振参量放大器	48
4. 具有低频泵浦的再生式半导体谐振参量放大器	51
5. 行波再生式半导体参量放大器	55
6. 变频式半导体参量放大器	60
7. 关于半导体参量放大器的和半导体二极管在参量放大器中 的应用和生产情况	66
第三章 铁磁参量放大器	77
1. 利用铁氧体中的非线性现象进行参量放大的可能性	77
2. 具有高频泵浦的铁磁共振参量放大器	80
3. 具有低频泵浦的铁磁共振参量放大器	86
4. 行波式铁氧体参量放大器	89
5. 利用铁磁薄膜的铁磁放大器	91

第四章 电子注参量放大器	92
1. 利用电子注进行参量放大的可能性	92
2. 利用在諧振器中由电子注引入的可变电納的再生式 电子注参量放大器	94
3. 具有快纵向波的电子注参量放大器	96
4. 具有快迴旋波的电子注参量放大器	102
5. 关于具有快迴旋波的电子注参量放大器的生产和应用的 情况介紹	112
6. 利用在普通放大行波管中的参量效应来增寬頻率范围	116
結語	117
編写本书所引用的国外文献题目索引	118
关于振动的参量激励与放大的某些苏联文献	139

超 高 頻 參 量 放 大 器

〔苏联〕B. B. 謝尔戈万切夫著

王 鳴 阳 譯

內 容 簡 介

本书对某些资本主义国家研制超高频参量放大器的工作情况作了简要的評述。这种放大器的噪声电平小，因而能够提高超高频接收装置的灵敏度。

本书內容共分四章。第一章討論了基于迴路的某个参量作周期性变化的参量放大的一般原理。此外，还叙述了各种基本类型的参量放大器及其应用等。

第二章至第四章分別闡述了半导体参量放大器、鉄磁参量放大器和电子注参量放大器的各种結構、工作特点及特性等。

书末列有詳細的参考文献索引。

本书适于与超高频技术有关的技术人員閱讀。

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ СВЧ

〔苏联〕Б. В. Сергочанцев

《СОВЕТСКОЕ РАДИО》

1961

*

超 高 頻 参 量 放 大 器

王 鳴 阳 譯

*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

交道口印刷厂印裝

*

787×1092¹/₃₂ 印張 4⁷/₁₆ 93 千字

1965 年 8 年第一版 1965 年 8 月第一次印刷 印数：0,001—3,200 册

統一书号：15034·957 定价：（科七）0.65 元

目 录

序	5
引言	7
第一章 参量放大器的一般知識	13
1. 参量放大器的工作原理	13
2. 参量放大器中的能量关系	19
3. 各种基本类型参量放大器的简介	22
4. 参量放大器的輸入电路和輸出电路	24
5. 各种类型参量放大器的特性和应用范围	27
第二章 半导体参量放大器	33
1. 半导体二极管的可控电抗	33
2. 具有高频泵浦的再生式半导体諧振参量放大器	37
3. 具有高频泵浦的超再生式半导体諧振参量放大器	48
4. 具有低频泵浦的再生式半导体諧振参量放大器	51
5. 行波再生式半导体参量放大器	55
6. 变频式半导体参量放大器	60
7. 关于半导体参量放大器的和半导体二极管在参量放大器中 的应用和生产情况	66
第三章 鉄磁参量放大器	77
1. 利用鉄氧体中的非綫性現象进行参量放大的可能性	77
2. 具有高频泵浦的鉄磁共振参量放大器	80
3. 具有低频泵浦的鉄磁共振参量放大器	86
4. 行波式鉄氧体参量放大器	89
5. 利用鉄磁薄膜的鉄磁放大器	91

1100966

第四章 电子注参量放大器	92
1. 利用电子注进行参量放大的可能性	92
2. 利用在諧振器中由电子注引入的可变电納的再生式 电子注参量放大器	94
3. 具有快纵向波的电子注参量放大器	96
4. 具有快迴旋波的电子注参量放大器	102
5. 关于具有快迴旋波的电子注参量放大器的生产和应用的 情况介紹	112
6. 利用在普通放大行波管中的参量效应来增寬頻率范围	116
結語	117
編写本书所引用的国外文献题目索引	118
关于振动的参量激励与放大的某些苏联文献	139

序

目前，提高超高频无线电接收设备的灵敏度是一个迫切的问题。解决这个问题的途径之一，就是采用噪声电平十分低的放大器作为高频前置放大。大家知道，参量放大器和量子放大器便属于这类放大器。因此，向与超高频技术有关的广大读者介绍这类放大器在国外的研究情况、这类放大器的特点、应用的可能性以及实际结果，是十分必要的。

向读者提供的这一综述，是试图尽可能全面而概括地说明国外期刊上所发表的、在研究和应用几种基本类型的参量放大器方面所作的工作的成果。这几种基本类型的参量放大器是：半导体参量放大器、铁磁参量放大器和电子注参量放大器。在这一综述里，以通俗的形式介绍有关这些放大器的工作原理、结构以及特性的扼要知识，这些知识也是概括或初步地了解这类新的、又极有发展前途的超高频放大器所必需的知識。

叙述基本上带有描述和综述的特点，对各种现象只作极简单的物理解释，而且是针对熟悉超高频技术的人来写的。对工作原理和各种类型参量放大器特点的解释，是与国外文献中的说明一致的。苏联学者曼杰利什塔姆、帕帕列克希等人建立了振动的参量激励和参量放大的深入透彻的理论，但是他们的工作在国外学者的论文中丝毫没有得到反映。因此，除了介绍国外关于这个问题的工作以外，还必须讨论苏联在第二次世界大战前后的工作，何况其中许多工作对很多理论

問題的說明比國外的工作更廣泛和更深入，而且有一些還指出了國外工作中所犯的錯誤。

還應當注意到，蘇聯和國外在參量放大器領域的術語都還沒有確定下來。因此，在這本小冊子里，建議採用一些新的術語和一些與外國術語同義的詞匯。

利用書末所附的國外文獻的詳細索引以及蘇聯論文的簡要目錄，在需要時，讀者可以在對各個問題作初步了解之後，比較容易地轉到他所感興趣的專門問題的深入研究上去。

引 言

近几年来，国外超高频接收技术的发展的特点是趋于提高接收装置的灵敏度。这种趋势的产生是由于下列原因所引起：接收装置的实际应用提出了许多要求，特别是需要增加远距离探索飞机和洲际弹道导弹的雷达站的有效距离，需要增加跟踪宇宙火箭和人造地球卫星的跟踪站的有效距离，以及需要增加射电望远镜和无线电通讯设备的有效距离；同时，还由于发射机的功率是受到限制的，而且总是希望发射机的功率减小。

超高频接收装置灵敏度的提高，受到出现在接收装置输入电路中各种元件（超高频放大管、晶体混频器、回路本身以及天线）的噪声的限制。如果接收机中使用一个高频放大级，那么接收机的噪声主要是由这一级的电子管的噪声所引起的。电子管中的噪声是散粒效应和别的一些现象造成的。目前国外最好的行波管的噪声温度是 $400\sim 600^{\circ}\text{K}$ ，这相当于噪声系数为 $4\sim 5$ 分贝。

由于在降低超高频电子管噪声的途径上遇到了巨大困难，最近几年来提出了许多降低超高频接收机中噪声电平的新方法和一些在低噪声电平条件下保证获得放大的新的超高频放大原理，并已开始进行研制。

这些工作沿着三个方向发展。

第一个方向是把高频接收系统的个别元件（尤其是晶体混频器）冷却到低温和超低温的温度。美国所做的一些工作的结果表明，在冷却到接近于绝对零度的温度下和没有高频放大器时，可以把厘米波段接收机的噪声系数降低大约一

半。但是这些工作没有得到进一步的发展。

第二个方向与量子（順磁）放大器的研究有关。在该类放大器中，利用了順磁离子（例如含有杂质铬的紅宝石的离子）在所接收的微弱信号的作用下放出等于輸入信号频率的强迫（受激）輻射来获得放大。由于不存在作为超高频电子管噪声主要来源的电子注，同时由于是在接近于绝对零度的温度下进行工作，这种放大器具有的噪声非常小，仅为电子管放大器噪声的几十分之一或几百分之一。尤其是，正如测量所表明，順磁放大器的輸入噪声温度小于 20°K （噪声系数 0.25 分貝）。

順磁放大器在进行工作时需要有一个超高频功率源（用来使順磁离子跃迁到激发能态），它的频率通常高于被放大信号的频率；此外，还需要有用来产生恒定强磁场的磁铁，以及需要使用特殊的致冷装置来保证順磁晶体在通常接近于液态氮的温度下进行工作。因此显而易见，在制造这种放大器时有一系列结构上的困难，而且它们的运用，尤其是在野外条件下的应用是相当麻烦的。

順磁放大器的缺点是在非常弱的信号下（ 10^{-11} 瓦的数量级）即达到饱和，而且恢复时间很长（0.1 秒数量级）。

五、六年以前才在美国开始的关于順磁放大器的工作，已经使得在国外制成了一系列实验性放大器，工作的波段是在：1, 3, 5, 10, 21, 30 厘米和接近 1 米。已经得悉，在美国 3 厘米和 10 厘米波段的放大器已经在进行工业生产，并且已经用在一些正在研制的装置中，例如在远距离宇宙通信的超灵敏的无线电接收系统中、在射电望远镜中、在接收从金星反射回来的雷达信号的设备中（这是在 1958 年 2 月间实现的），

以及在 3 厘米波段的飞机雷达中,都使用了这种順磁放大器。

第三个方向是所謂参量放大器的研制。这类放大器的工作原理是基于迴路电抗(电感或者电容)以确定的頻率作周期性变化。由于向迴路中引入負电阻,因而产生放大效应(类似于再生式接收机)。这类放大器能有不大的固有噪声。最好的参量放大器的有效輸入噪声溫度已达到 $25\sim 100^{\circ}\text{K}$ (噪声系数大約是 $0.4\sim 1.3$ 分貝)。

在参量放大器工作时,也必須有一个高频电源;在大多数已制成的放大器中,这个高频电源的頻率都比被放大信号的頻率高。不过,与順磁放大器不同,参量放大器在进行工作时不需要冷却到超低溫,也不需要恒定磁場,因而它們的运用是很簡便的。

超高频参量放大器分为三类:半导体参量放大器(利用半导体二极管)、鉄磁或鉄氧体参量放大器(利用鉄氧体内的非綫性現象)和电子注放大器(利用群聚的电子注)。

研究超高频参量放大器的工作在美国得到了大規模的发展,美国这方面的工作是三、四年前才开始的^[1]。其它国家的工作开始得稍迟一些;其中日本是例外,日本的第一个实验性放大器在 1954 年就制造出来了^[119]。目前,国外絕大多数工作都属于半导体参量放大器这一范围。已經制成了各种类型的实验性放大器,主要是用于分米波段的,少数是用于厘米波段的。有一些类型的半导体参量放大器已經在进行工业生产,而用于参量放大器的半导体二极管也已投入生产。已經知道在好些地方已用上了半导体放大器,例如,在跟踪宇宙火箭的装置和通信装置中。鉄磁参量放大器的工作暂时还没有越出实验室的范围;文献中描述了几种厘米波段的鉄磁参

量放大器。至于电子注参量放大器,在美国和英国,除了实验性样品的研制以外,一种工作于分米波段的放大器开始投入工业生产,并且正在研究把它们用于雷达装置和其它装置中。

在美国,参量放大器的研究和制造主要是根据军事部门的定货来进行的。参加工作的主要有下面这些商号:贝尔电话实验室、美国无线电(RCA)公司、General Electric 公司、西屋电气公司、Hughes Aircraft 公司、Microwave Associates 公司、斯坦福科学研究所(斯坦福大学所属)。

其它国家特别是英国、法国和日本,也进行了一些参量放大器的研究和制造工作。

在上一世纪,世界各国的研究便奠定了创制参量放大器的基础。

在 1831 年,法拉第研究了力学系统中振动的参量激励现象,即在沒有外力作用下依靠系统参量的周期性变化而得到的振动;后来,在 1859 年,麦利杰也进行了同样的研究。在 1883 年,英国物理学家瑞利发表了对音叉中振动的参量激励所进行的研究结果^[1]。第一次世界大战前不久,印度物理学家拉曼也曾在这个领域内作过研究。描写力学系统中振动的参量激励和放大过程的微分方程是馬梯耶在 1868 年推导出来的。

在 1910~1920 年这段时间里,丘恩、秦涅克、阿列克山杰尔逊和哈特莱(美国)研究了在某种程度上与参量放大器类似的磁性装置中振动的放大和变频。这类器件后来叫做磁放大器。同时,阿列克山杰尔逊提出了一种把声振动变换为更高频率振动的方法,即声振动放大的方法。这种装置的无线电频率装置就是变频参量放大器^[1,15]。

本世纪 20~30 年代,对电振动的参量激励和放大进行

了詳細的研究。进行这种研究的，在苏联有Л. И. 曼杰利什塔姆和И. Л. 帕帕列克希院士，后来又有他們的学生；在其他国家有赫格涅尔等人。曼杰利什塔姆和帕帕列克希首先建議利用参量再生作用来放大无綫电 信号。在1929~1940年期间內，苏联的A. A. 安德罗諾夫、Г. С. 戈列利克、М. А. 列昂托維奇、B. A. 拉扎列夫、М. К. 季維利科夫斯基、С. М. 雷托夫、B. B. 米古林等人在这一領域进行了許多理論上和实验上的研究。在这些工作的基础上制成了曼杰利什塔姆和帕帕列克希的参量机器——交流电发生器和再生参量放大器。但是，曼杰利什塔姆-帕帕列克希学派研究出来的参量放大原理，在当时所用的无綫电波段（长波、中波和短波）內未能得到广泛的实际应用。因为，在这些波段內，对接收-放大装置的噪声特性还没有提出严格的要求，而那时具有的放大器已經完全滿足了使用者的要求。这是由于，在上述波段內，对接收的干扰是来自大气层，而与接收-放大装置的固有噪声无关。当时还没有掌握超高频波段，而在这个波段內，参量放大器能够显示出具有胜于其它类型的放大器的許多优点。

在30~40年代期间，美国在这个領域內进行了一系列的工作。1936年，哈特莱、哈謝和符拉塔尔发表了研究机电参量系統的論文^(2,3)。在1946年，門雷和彼得逊研究了具有飽和磁芯綫圈的电路中的負阻效应⁽⁴⁾。托勒和威特默观察了半导体二极管中的負电导效应（1948年），并且指出，这种效应与加在結电容上的电压有关。同时，他們还研究了利用这种效应来进行放大的可能性⁽⁵⁾。这些工作为創制半导体二极管参量放大器奠定了基础。范·德·賽尔根据理論研究得出結論：参量放大器應該具有非常小的噪声电平⁽⁶⁾。在