

# 超 高 頻 器 件 的 現 狀 和 發 展 趨 向

C. B. 庫 卡 林 編

管 軍 譯

## 出版者的話

本书扼要地叙述了各种超高频器件（磁控管、速调管、行波管、返波管、减速场器件、谐振放大器、晶体检波器、量子器件、参量放大器和其他新型器件）的结构和工作原理。同时，给出了表征器件现代水平的技术数据，并加以评述，从而系统地给出了超高频器件现代水平和发展趋向的概念。

书中所引入的资料都是取自资本主义国家的报刊杂志和报告，一些技术数据多是1959年以前的，显然，不能确切地反映出关于超高频器件现代水平的全部情况，只能作为了解超高频器件现代水平的参考资料。

尽管书中引述的资料不够完整，但是，对从事于超高频器件的研究、生产和使用人员，高等院校相应专业的师生，仍是一本有价值的参考书。

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ

РАЗВИТИЯ ПРИБОРОВ СВЧ

С В КУКАРИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО

“СОВЕТСКОЕ РАДИО” 1962

\*

超高频器件的现状和发展趋向

管 軍 譯

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 1/32 印张 7 13/16 166 千字

1964年4月第一版 1964年4月第一次印刷 印数 0,001—3,600册

统一书号· 15034·717

定价 (科六) 1.00元

# 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 引言 .....                | 5   |
| 第一章 超高频电子器件发展水平总論 ..... | 9   |
| 1. 磁控管 .....            | 9   |
| 2. 速調管 .....            | 21  |
| 3. 減速場振蕩器 .....         | 43  |
| 4. 返波管 .....            | 44  |
| 5. 行波管 .....            | 59  |
| 6. 諧振放電器 .....          | 80  |
| 7. 晶体檢波器 .....          | 89  |
| 3. 参量放大器 .....          | 100 |
| 9. 量子器件 .....           | 114 |
| 第二章 几种新型超高频器件 .....     | 125 |
| 1. 泊管 .....             | 125 |
| 2. 渦輪管 .....            | 127 |
| 3. 卡瑪管 .....            | 129 |
| 4. 奧菲管 .....            | 130 |
| 5. 米管 .....             | 130 |
| 6. 迴旋管 .....            | 132 |
| 7. 旋注管 .....            | 133 |
| 8. 旋束管 .....            | 133 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 9. 靜电聚焦管.....          | 135 |
| 10. 諧波振蕩管 .....        | 136 |
| 11. 波調示波管 .....        | 138 |
| 12. 原子計时器 .....        | 140 |
| 第三章 发展超高频器件的主要趋向 ..... | 142 |
| 参考文献 .....             | 152 |
| 国外超高频电子器件的参考数据 .....   | 156 |

# 超 高 頻 器 件 的 現 狀 和 發 展 趨 向

C. B. 庫 卡 林 編

管 軍 譯

## 出版者的話

本书扼要地叙述了各种超高频器件（磁控管、速调管、行波管、返波管、减速场器件、谐振放大器、晶体检波器、量子器件、参量放大器和其他新型器件）的结构和工作原理。同时，给出了表征器件现代水平的技术数据，并加以评述，从而系统地给出了超高频器件现代水平和发展趋向的概念。

书中所引入的资料都是取自资本主义国家的报刊杂志和报告，一些技术数据多是1959年以前的，显然，不能确切地反映出关于超高频器件现代水平的全部情况，只能作为了解超高频器件现代水平的参考资料。

尽管书中引述的资料不够完整，但是，对从事于超高频器件的研究、生产和使用人员，高等院校相应专业的师生，仍是一本有价值的参考书。

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ

РАЗВИТИЯ ПРИБОРОВ СВЧ

С В КУКАРИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО

“СОВЕТСКОЕ РАДИО” 1962

\*

超高频器件的现状和发展趋向

管 軍 譯

\*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

国防工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 1/32 印张 7 13/16 166 千字

1964年4月第一版 1964年4月第一次印刷 印数 0,001—3,600册

统一书号· 15034·717

定价 (科六) 1.00元

# 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 引言 .....                | 5   |
| 第一章 超高频电子器件发展水平总論 ..... | 9   |
| 1. 磁控管 .....            | 9   |
| 2. 速調管 .....            | 21  |
| 3. 減速場振蕩器 .....         | 43  |
| 4. 返波管 .....            | 44  |
| 5. 行波管 .....            | 59  |
| 6. 諧振放電器 .....          | 80  |
| 7. 晶体檢波器 .....          | 89  |
| 3. 参量放大器 .....          | 100 |
| 9. 量子器件 .....           | 114 |
| 第二章 几种新型超高频器件 .....     | 125 |
| 1. 泊管 .....             | 125 |
| 2. 渦輪管 .....            | 127 |
| 3. 卡瑪管 .....            | 129 |
| 4. 奧菲管 .....            | 130 |
| 5. 米管 .....             | 130 |
| 6. 迴旋管 .....            | 132 |
| 7. 旋注管 .....            | 133 |
| 8. 旋束管 .....            | 133 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 9. 靜电聚焦管.....          | 135 |
| 10. 諧波振蕩管 .....        | 136 |
| 11. 波調示波管 .....        | 138 |
| 12. 原子計时器 .....        | 140 |
| 第三章 发展超高频器件的主要趋向 ..... | 142 |
| 参考文献 .....             | 152 |
| 国外超高频电子器件的参考数据 .....   | 156 |

## 引 言

国外无线电电子学目前发展的特点是越来越广泛地把它  
的成就运用于军事技术、工业、科学研究和日常生活中。最  
近几年来，在继续改善无线电通讯、电视、雷达、无线电导  
航和反雷达的手段的同时，出现了正在蓬勃发展的无线电电  
子学新的分支——电子计算机、无线电天文学、无线电遥测  
和工业电子学。

在资本主义国家中，美国无线电电子工业最发达。根据  
美国专家的一些非官方估计[1]，美国无线电电子工业占资  
本主义国家产品总额的63.3%（表1）。

表 1 1959年资本主义国家间无线电

电子工业产值的分配情况

（这些国家的总产值，按工厂价格计算为 145 亿美元）

| 国 家                                    |        | %     | 国 家    |  | %     |
|----------------------------------------|--------|-------|--------|--|-------|
| 美 国<br>日 本<br>西 德<br>法 国<br>英 国<br>荷 兰 | 意大利    | 63.3  | 意大利    |  | 2.7   |
|                                        | 其他欧洲国家 | 6.4   | 其他欧洲国家 |  | 5.8   |
|                                        | 加 拿 大  | 6.4   | 加 拿 大  |  | 1.8   |
|                                        | 其他美洲国家 | 4.8   | 其他美洲国家 |  | 1.0   |
|                                        | 澳大利亚   | 4.1   | 澳大利亚   |  | 0.6   |
|                                        | 其他国家   | 2.8   | 其他国家   |  | 0.3   |
| 合 計                                    |        | 100.0 | 合 計    |  | 100.0 |

把无线电电子学优先用于军事技术是目前国外无线电电  
子学发展的主要特征。这种片面的发展是西方国家侵略性  
的统治集团所奉行的军备竞赛政策的结果。根据国外专家  
们的估计[1]，美国各工厂生产的无线电电子工业产品的  
销售，

在最近十年內將按表 2 所列方式分配。

表 2 1960~1970 年美国無線电电子工业  
产品的分配 (十亿美元)

| 設 备 · 名 称         | 1960年 | 1961年 | 1965年 | 1970年 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| 軍用設備及研究宇宙用的<br>設備 | 5.2   | 5.9   | 7.8   | 10.0  |
| 工業設備              | 1.8   | 2.2   | 3.3   | 4.75  |
| 日用設備              | 2.2   | 2.2   | 2.5   | 4.55  |
| 配套元件              | 1.0   | 1.1   | 1.4   | 1.7   |
| 合 計①              | 10.2  | 11.4  | 15.0  | 21.0  |

① 設備使用費和維修費約十億美元，沒計算在內。

世界上許多國家每年把巨額的資金花費在制造無線电电子学設備上，有數十萬工人、工程師和科學家從事這類設備及其元件的生產。

根據很不完全的資料〔2〕，美國在 1957 年有 4365 家公司生產無線电电子学設備及其元件。1959 年美國無線电电子工业占有工人及職員的總數約 120 萬人，其中工程師為 14 萬 4 千人〔3〕。1959 年美國花費在無線电电子学產品生產方面的金錢在 100 億美元以上，而花費在配套元件（電真空器件、半導體器件和無線电零件）生產上的 20 億美元還沒算在內〔3〕。

1959 年英國無線电电子学工业產值約為 5 億英鎊，這種工业部門的工人及職員人數達到 35 萬〔4〕。

按照美國 General Electric 公司的一位前領導人的看法，美國無線电电子学經歷了以下四個發展階段：第一階段是通訊和廣播（1915~1939 年）；第二階段是雷達（1939~

1946年); 第三阶段是电视 (1946~1950年); 第四阶段则是导弹 (从1950年起)。根据他的意见, 当前第五阶段的特点是广泛地发展工业电子学, 为生产过程完全自动化和机械化提供可能性。

随着无线电电子学方法的发展及其所能完成的工作的复杂化, 将不断地向电子器件提出更新、更复杂的要求, 并推动其进展。对通讯、雷达、无线电导航、反雷达等无线电电子学设备的输出参量起决定性作用的超高频器件占有重要的地位。

与收讯放大管或半导体器件相比, 超高频器件不属于大量应用的器件之列, 然而生产这种器件所花的金钱却非常多。从表3列举的数字 (摘自文献[1]) 可以得到关于各种超高频器件生产规模的某些概念。

表3 美国超高频器件的预计产值 (百万美元)

| 器 件 类 别 | 1960年 | 1961年 | 1965年 |
|---------|-------|-------|-------|
| 速调管     | 50    | 55    | 80    |
| 磁控管     | 51    | 48    | 44    |
| 行波管     | 17    | 34    | 70    |
| 返波管     | 4     | 7     | 26    |
| 天线开关器件  | 8     | 9     | 10    |
| 合 計     | 130   | 153   | 230   |

近年来, 超高频器件发展的特征是进一步掌握新的频段, 提高脉冲工作和连续工作的振荡器和放大器的输出功率, 扩大振荡器的频率调谐范围和放大器的通频带, 降低放大器件和变频器件的固有噪声电平, 提高器件在设备中使用的经济性和简便性。因此, 国外已经制出了许多用于分米波段,

厘米波段、毫米波段和亚毫米波段的新型超高频器件；大大地提高了速调管、磁控管、行波管的功率电平；创制了频率电子调谐的返波管，宽频带放大速调管和泊管，低噪声行波管和晶体混频器及视频检波器。在研制参量放大器和振荡器，量子放大器与振荡器，以及利用等离子区产生和放大超高频振荡等方面，也展开了广泛的科学研究工作。

由于无线电电子学设备的复杂化及其在控制最新式武器方面的应用，在提高器件的工作可靠性、寿命、作用快速性和对机械负载和气候因素作用的稳定性方面的研究工作就更加重要。最近几年来，国外制出在苛刻条件下使用，保证可靠地工作的器件。

国外文献中登载了许许多多关于新型超高频器件和这方面研究成果的文章、报告和广告。但由于这些资料的分散，无法获得关于国外在每种超高频器件方面所达到的技术水平的全面概念，更谈不到注意其发展的最主要趋势了。

本书的意图就是想根据现有资料把国外关于超高频电子器件方面的成就加以综合和系统化。

# 第一章 超高频电子器件

## 发展水平总論

### 1 磁 控 管

在超高频波段内，广泛地使用多腔磁控管作为大功率振荡源。典型的磁控管结构示于图 1。

磁控管阳极块包括偶数个谐振腔，谐振腔的形状和尺寸根据工作波长选择。在阳极块里面装有用普通热丝加热的圆柱形阴极。

从阴极表面飞出的电子，在交叉的电场和磁场作用之下，在两个电极之间按照摆线轨迹运动。电子在运动过程中从谐振腔缝隙旁边飞过，并在其中激励电磁振荡。

多腔磁控管中可能产生寄生振荡，为了消除寄生振荡和保证在给定的频率下有最大的输出功率，通常要使用跨接綫（隔型带）按照一定顺序把阳极块的突出部分连接起来。另一种分隔频率的方法是采用异腔系統。

在谐振腔的一个腔内，放置着保证从磁控管中输出高频能量的耦合环。在厘米波段的短波部分中多半应用波导能量

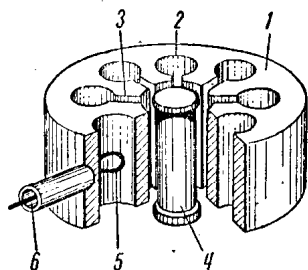


图 1 磁控管结构原理：  
1—阳极块；2—谐振腔；3—縫隙；4—阴极；5—耦合环；6—能量輸出器。

輸出器。

設計出了供在脉冲状态和連續振蕩状态下工作的磁控管。它們不仅在确定的頻率上能得到电磁振蕩，而且还可以在一定的波段内进行頻率調諧。磁控管的頻率調諧主要是通过改变磁控管諧振腔几何尺寸的机械方法来实现的。

在无綫电电子学設備中应用最多的是脉冲磁控管。

### 1) 脉冲磁控管

由于新頻段的掌握，輸出功率电平的提高和磁控管結構的改进，国外生产的脉冲磁控管的品种逐年地增多。最近，可調磁控管型号的增加尤其显著。

根据外国公司的产品目录，国外出产的工作波段从3毫米到30厘米的脉冲磁控管有300多种。其中可調磁控管有100多种。

美国生产磁控管的最大公司之一，Raytheon 公司生产的脉冲磁控管在100种以上。英国最大的公司之一，English Electric 公司生产的磁控管也有50种左右。

在外国公司登过广告的磁控管中有許多陈旧的型号，这些管子的生产，显然只是为了滿足旧式无綫电电子学設備使用上的需要。

关于国外脉冲磁控管的現代水平，可以根据文献中所发表的有关它們的輸出功率、脉冲宽度、頻率調諧范围和使用寿命等数据来判断。

目前成批生产中所掌握的磁控管，最大脉冲功率电平，在23厘米波段是10兆瓦，在10厘米波段是5兆瓦，在3厘米波段是1兆瓦（图2）。

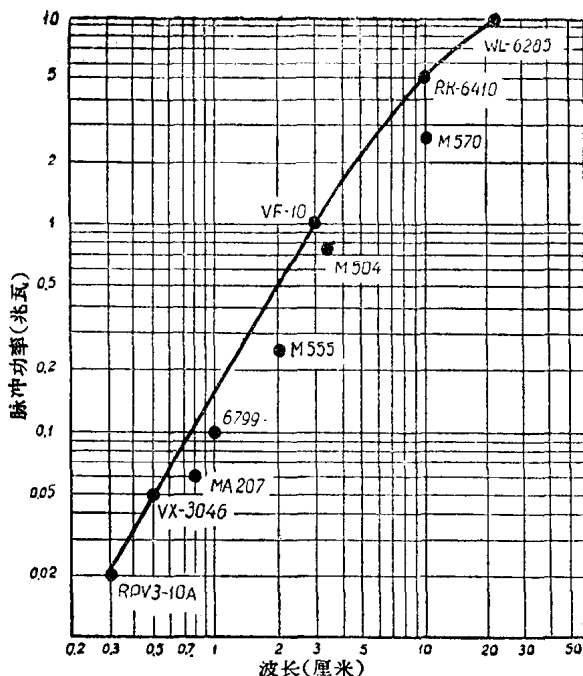


图2 国外脉冲磁控管所达到的最大功率电平图。

但是，在成批生产中所达到的功率电平并不是磁控管的极限功率电平。1958年5月在伦敦召开的国际微波电子管会议的报告〔6〕中指出，实际上有可能制出在10厘米波段中输出脉冲功率约30兆瓦，在3厘米波段中输出脉冲功率3兆瓦，在8毫米波段中输出脉冲功率200千瓦的磁控管。

现代磁控管中，功率最大的还是美国在1953年所制出的WL-6285型磁控管〔7〕。它的平均功率约17千瓦，脉冲输出功率大于10兆瓦，并能在脉冲宽度达10微秒的条件下可靠地工作。在WL-6285型磁控管中，应用以钽和钨粉末混合物制成的金属陶瓷阴极。这种阴极可在阳极脉冲电压

約 70 千伏和脉冲电流約 380 安时保証磁控管穩定地工作。

Westinghouse 公司宣称，使用 WL-6285 型磁控管的雷达是以往任何时候采用的雷达中功率最大的。装置在美国海軍巡洋舰上的这种雷达，能够发现距离 650 公里以外的目标〔8〕。

在毫米波段上，最大功率的磁控管是 1956 年哥倫比亞大学所研制的实验型样品。这种磁控管在 6 毫米波长上输出的脉冲功率达到 170 千瓦，而在 3 毫米波长上达到 20 千瓦〔9〕。

国外的磁控管主要是在 1 微秒左右的脉冲宽度下工作，但是，多数近代磁控管都允許在 2、4、5 和 10 微秒的脉冲宽度下工作（表 4）。

表 4 国外某些型号磁控管的最大脉冲宽度

| 磁控管的型号  | 工作頻率<br>(兆赫) | 脉冲功率<br>(千瓦) | 脉冲宽度<br>(微秒) | 工作比    |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------|
| QK-241  | 5300         | 1000         | 3            | 0.001  |
| QK-172  | 9400         | 440          | 3            | 0.001  |
| RK-6517 | 1300         | 1000         | 3            | 0.0013 |
| RK-4J30 | 1200         | 600          | 4            | 0.002  |
| RK-216  | 1300         | 2000         | 4            | 0.0014 |
| MC-1055 | 3000         | 1200         | 4            | —      |
| RK-6002 | 9250         | 225          | 5            | 0.002  |
| WL-6285 | 1300         | 10000        | 10           | 0.0018 |
| M-554   | 1300         | 6000         | 6            | 0.0015 |
| 4J52A   | 9350         | 80           | 5            | 0.002  |

外国公司出产的脉冲磁控管的頻率机械調諧范围通常是 5~7%（表 5）。

表5 国外某些型号脉冲磁控管的频率机械调谐范围

| 磁控管的型号   | 频率调谐范围     |     | 脉冲功率<br>(千瓦) | 脉冲阳极电压<br>(千伏) | 脉冲阳极电流<br>(安) |
|----------|------------|-----|--------------|----------------|---------------|
|          | (兆赫)       | (%) |              |                |               |
| 5586     | 2700~2900  | 7   | 1000         | 30             | 70            |
| QK-313   | 5450~5825  | 6   | 250          | 25.5           | 24            |
| RK-6344  | 5450~5825  | 6   | 175          | 21.5           | 22            |
| MA-208   | 7175~8500  | 17  | 0.03         | 0.8            | 0.2           |
| RK-6249  | 8580~9600  | 11  | 200          | 28             | 25            |
| MA-209   | 9300~10000 | 7   | 7            | 6              | 5             |
| LT-6543A | 8500~9600  | 12  | 65           | 15             | 15            |
| THF-1025 | 8500~9600  | 12  | 80           | 15             | 15            |

在某些类似于 MA-208 型磁控管的小功率脉冲磁控管中，频率机械调谐范围可以达到15%或者更大。

国外绝大多数型号脉冲磁控管的寿命是500小时，而有些型号则超过1000小时。在表6中列举了寿命超过1000小时的一些型号的脉冲磁控管的数据。

表6 国外几个型号的脉冲磁控管的寿命

| 磁控管的型号  | 工作频率<br>(兆赫) | 脉冲功率<br>(千瓦) | 寿命<br>(小时) |
|---------|--------------|--------------|------------|
| M-564   | 2800         | 5000         | 6000       |
| 6521    | 5450         | 85           | 2000~3400  |
| VX-5027 | 34900        | 50           | 500~2000   |

由表6可以看出，某些超大功率的脉冲磁控管以及毫米波段的磁控管也能有相当长的寿命。

为了保证在设备中可靠地工作，磁控管的工作状态，照例要选择得稍低于它们的最大可能运用条件。在表7中列举了 English Electric 公司出产的 M-554 磁控管[10]的最高状态和工作状态，作为选择磁控管工作状态的一个例子。