

超 高 頻 三、四 極 管 振 盪 器

蘇 聯 M. C. 諾 依 曼 著

葉 曉 之 譯

人 民 郵 電 出 版 社

М.С.НЕЙМАН
доктор техн. наук
ТРИОДНЫЕ И ТЕТРОДНЫЕ
ГЕНЕРАТОРЫ
СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ
ИЗДАТЕЛЬСТВО“СОВЕТСКОЕ РАДИО”
МОСКВА 1950

內 容 提 要

本書很詳盡的敘述了超高頻三極管和四極管振盪器的設計、製造和調整，這樣詳盡的敘述是其他書籍上所沒有的。對於無線電系的大學生、研究生和教員來說，在學習或講授無線電發送設備和電子管課程中有关超高頻部分時，或作畢業設計及課程設計時都有參考價值。對於通信、廣播、電視、雷達、介質加工、無線電測量等方面工作的工程技術人員來說，也是一本很有價值的參考資料。

超高頻三、四極管振盪器

著 者： 蘇聯 М. С. 諾 依 曼
譯 者： 葉 晦 之
出 版 者： 人 民 郵 電 出 版 社
北京東四區六條胡同13號
印 刷 者： 人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 廠
南京太平路戶部街15號
發 行 者： 新 華 書 店

1957年8月南京第一版第一次印刷 1—2,071冊
850×1168 1/32 155頁 印張 $9\frac{2}{3}$ 印刷字數232千字 定價(10)1.40元

★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號★
統一書號· 15045· 首633-無149

目 錄

緒 論

1. 引 言..... (1)
2. 歷史紀要..... (5)

第 一 編 電 子 過 程

第 一 章 陰極—柵極空間中的幾個現象

1. 一般問題..... (16)
2. 陰極到柵極空間中的電荷的影響..... (21)
3. 超高頻之下的電子放射..... (24)
4. 電子在陰極到柵極空間中的運動..... (29)
5. 放射電子分類..... (33)
6. 陰極到柵極的距離接近臨界值但不超過它的情況..... (35)
7. 陰極到柵極距離超過臨界值時的工作情況..... (42)

第 二 章 狹電子流脈沖下三極管柵極到陽極空間中的現象

1. 概 說..... (43)
2. 關於電子效率的討論..... (43)
3. 正常全制動狀態..... (48)
4. 正常狀態下陽極振盪系統的效率與渡越角的关系..... (53)
5. 外部電路的阻抗..... (58)
6. 柵極到陽極空間的電荷的影響..... (62)
7. 電子穿過柵極平面的初速的影響..... (65)

第 三 章 寬電子流脈沖在三極管柵極到陽極空間中的 幾個現象

1. 概 說..... (66)
2. 電子效率和它穿過柵極平面的相位的关系..... (68)
3. 平均電子效率..... (74)
4. 外部電路的電流..... (77)

5. 計算例举)穿柵过極平面的电子脈冲形狀为已知)···(81)
6. 柵極到陽極距離和状态強度的選擇根据·····(84)
7. 輸入導納·····(86)

第 四 章 三極管电子状态的一般問題

1. 概 說·····(92)
2. 三極振盪管的工作条件在工作波長縮短时的变化·····(93)
3. 关于三、四極管振盪器的理論最短波長·····(99)
4. 論电子在三極管中的橫向运动·····(107)
5. 中短波的概略公式·····(114)
6. 設計和計算电子状态的大略步驟·····(119)

第 五 章 四極管的电子現象

1. 概 說·····(122)
2. 电子在屏柵和陽極之間的运动条件·····(124)
3. 全制动条件·····(126)
4. 寬闊电子流脈冲的情况·····(128)
5. 外部电路的阻抗·····(134)
6. 空間电荷的影响·····(136)
7. 各种超高频振盪器的电子过程的比較·····(138)

第 二 編 电 磁 系 統

第 六 章 超高频振盪器的振盪系統

1. 封閉諧振器·····(144)
2. 封閉諧振器的基本型式·····(148)
3. 調諧法和耦合法·····(154)
4. 振盪系統的中間形式·····(159)
5. 振盪器的电磁系統·····(164)

第 七 章 封閉振盪体系的等效参数

1. 概 說·····(174)
2. 主要外部参数·····(175)
3. 电 抗·····(180)
4. 封閉振盪体系的耦合·····(184)
5. 作为四端网络的封閉諧振器·····(189)

第 八 章 封閉諧振器的电磁場結構和参数的計算

1. 一般法則…………… (192)
2. 表面电阻…………… (197)
3. 柱形諧振器 (199)
4. 当做輻狀綫看待的柱形諧振器…………… (211)
5. 环形諧振器…………… (214)
6. 同軸式諧振器…………… (219)
7. 一端短路、一端接电容的同軸式諧振器…………… (223)
8. 同軸諧振器的向角諧波…………… (228)
9. 平行綫諧振器…………… (230)
10. 分枝同軸諧振器…………… (234)

第 九 章 論超高頻自激振盪器的电磁系統的計算

1. 引 言…………… (236)
2. 超高頻自激状态的特点…………… (237)
3. 共柵極双槽路自激振盪器…………… (240)
4. 共陰極双槽路自激振盪器…………… (247)
5. 共陽極双槽路自激振盪器…………… (251)
6. 复合同授情况下的共柵極自激振盪器…………… (255)
7. 波段复盖条件…………… (258)
8. 封閉諧振器式振盪器…………… (261)
9. 双綫式振盪器…………… (265)

第 十 章 超高頻振盪器的零件

1. 超高頻三極振盪管的發展…………… (269)
2. 隔流元件…………… (273)
3. 調諧活塞…………… (279)
4. 耦合元件和中和元件…………… (285)
5. 与負載的耦合…………… (292)

文 献

緒 論

1. 引 言

近來超高頻的產生在無線電技術中成了一個意義重大的問題。毫無疑問，這個意義以後還會加大。

可是，設計和計算低射頻振盪器的方法儘管研究得很透澈，大家也很熟悉，卻不適用於超高頻範圍。

到了超高頻，就不得不考慮低射頻所沒有的兩個基本特點。

一方面，振盪周期和管內電子渡越時間相比，已經不能當做很大的數值看待。另一方面，低射頻所用的振盪系統（電感線圈和電容器構成的振盪系統）到了超高頻就不合用了，所以要用別的振盪系統替換它。

電子從陰極飛到其他電極的時間既然能夠和振盪周期相比，超高頻電子管就不能再看成是沒有惰性的器件，這時振盪管里的現象比較複雜，不象低射頻振盪器那樣，用靜特性曲線做基礎的電子狀態計算法所能應付。在電子渡越時間以內，各個電極的電壓來得及猛烈變化，這就嚴重影響了電子運動的條件和陰極放射電子的條件。此外，每一個電子在管內一運動，都會使外部電路產生感應電流，而在超高頻下，這電流的脈衝寬度已經可以同振盪周期相比了，所以不能再象長波振盪器理論那樣，近似地把它換成一個在電子撞擊相應電極時流通的尖銳脈衝。

這幾個情況使得超高頻範圍內產生了一系列的新現象，這都是比較低的射頻所沒有的，或者是不顯著的。因此振盪器的計算方法也改變了，並且複雜得多了。

电子渡越時間既然对电子管的工作状态有着巨大的影响，我們就不得不把低射頻振盪器的結構作些修改，甚至改用新的振盪原理不同的电子器件。

超高頻振盪器的电磁系統有本質上的特点。这种振盪器的振盪系統的基本型式，就是封閉振盪系統，又叫空腔諧振器。諧振器是由这种或那种形狀的金屬外壳拼合起來的，振盪电磁場就產生在它的空腔里。封閉諧振器的理論和用綫圈、电容器構成的回路的理論有着本質上的不同。它們的結構、調整方法、耦合方法也完全是兩回事。不但这样，在超高頻下，一般还不許用導綫來联接電極和振盪系統。因此振盪管往往裝在振盪系統里面，甚至在結構上也合成一体，电子管的電極就当做封閉諧振器的金屬表面的一部分。

所有这一切，在超高頻振盪器的結構上、以及外貌以至計算和設計方法上都打下鮮明的烙印。

超高頻範圍的界限不很明确。大体說來，从30到 30000 兆赫的頻率（10米到1厘米的波長）都是超高頻。

从產生振盪的技术來看，超高頻範圍的下限是由这样一个波長來決定的，到了这个波長以后，或者需要改用特殊的振盪系統，或者电子渡越時間开始从某一方面顯著影响振盪器的工作。当普通振盪系統的尺寸不再远远小于四分之一波長的时候，第一个情况就發生了，当电子渡越時間不再远远小于四分之一振盪周期的时候，第二个情况就發生了。

当然，从改用特殊振盪系統是不是合宜这一点來看，超高頻範圍的極限波長同振盪器的功率是有关系的。对于功率非常大（連續功率100—200千瓦）的振盪器來說，振盪系統的尺寸很大，所以極限波長在10到15米之間。对于小型振盪器來說，極限波長降低到1—2米之間。

从电子过程这一点来看，超高频范围却在更短一些的波長开始。

以后就会証明，只有滿足这个条件，电子由陰極飛到柵極的时间才能算小，这就是：

$$\lambda \geq 3000 \frac{d_g}{\sqrt{U}}。$$

式中， U 是控制电压的振幅（伏特）， λ 是波長（厘米）， d_g 是柵極到陰極的距离（厘米）。

極限波長大致是

$$\lambda_{zp} = 3 \times 10^4 \frac{d_g}{\sqrt{U}}。$$

其次，穩定状态的放射律还能适用于極限波長，在沒有偏压的时候，它是：

$$i_{g, \text{ макс}} = 2.33 \times 10^{-6} \frac{U^{3/2}}{d_g^2}。$$

式中， $i_{g, \text{ макс}}$ 是放射电流的最大密度（安/（厘米）²）。

由这两个关系，得到：

$$\lambda_{zp} \cong 50 \frac{\sqrt[4]{U}}{\sqrt{i_{g, \text{ макс}}}}。$$

这个極限波長可能落在米波段內，也可能落在分米波段內，要看是什么电子管，才能决定。

超高频范围的上限决定于这样一个最短波長，过了这个波長以后，產生分米波和厘米波的正規方法在技术方面就出問題了。

所有近代超高频振盪器都可以归併成兩类。

如果电子流的控制（調变）过程和电子流能量送進輸出振盪系统的过程各在不同的部位進行，这种振盪器就算是第一类振盪器。

这一类振盪器的主要特点，就是可以从外部調整回授，因而它不但可以依靠自激工作，而且还可以依靠他激工作。三極管、四極管、非反射式速調管等式振盪器以及某些变种都属于这一类。

如果电子流的控制过程和輸出高频能量的过程都在同一个高频电磁場中完成，这种振盪器就算是第二类振盪器。这一类振盪器不需要“外來”回授，所以只适合自激工作。現時使用的全部磁控管振盪器，反射式速調管振盪器，还有減速場三極管振盪器等等，都属于这一类。

本書只討論第一类振盪器，也就是三極管和四極管振盪器。

在發展电子管振盪器及其电磁振盪系統的穩定状态的理論时，必須考慮振盪器中三个主要过程的相互联系，这就是：电子在管内运动的过程，联接各个电極的电磁系統中產生感应电流的过程，各个电極上激發高频电压的过程。

如果已經知道电子的运动，就可以算出这个运动在电極上感应出多少电流。如果知道感应电流，就可以算出这些电流在通过振盪器电磁回路的时候造成什么电極电压。最后，如果知道电極电压，就可以算出电子在这些电压的影响下如何运动。可是这三个情况沒有一个是預先知道的。

由于想求出一般形式的解，非常复雜，所以不如把上面說的三个关系的鎖鍊拆斷，也就是先假定三类数量中的一类。实际上振盪器的振盪总是大振幅振盪，在这种情况下，最适当的方法莫过于假定各个电極的电压。这是因为电子运动的性質非常复雜，事先不能知道。各个电極的感应电流也是波形复雜的周期性函数，事先也不能指定。

尽管这样，电極电压却多半可以足够准确地当做一个正弦波看待，其所以如此，是因为振盪器的电磁系統是直綫性的諧振系統，

它对一切諧波都呈現十分微小的阻抗，就只一种諧波例外（放大或自激时的一次諧波，二倍倍頻时的二次諧波，等等）。

所以，撇开不多的几个参数（振幅、相位），就可以認為电極电压已經是已知的了。电压既然已經知道，那就可以算出电子的运动，根据电子的运动，就可以算出感应电流，特别是感应电流的基波分量。这一部分計算便是电子状态的計算。根据这一套計算，可以从最佳电子效率和所需要的功率出發，考慮电極之間的距离、电極的橫寬尺寸、交流电压的振幅和相位，定出最好是什么量值或者可以是什么量值。

第二步是决定电磁系統的參量，使它保證一点，就是在通進符合計算結果的感应电流以后，各極电压的相位和振幅符合既定的电子状态。

由此可見，振盪器的理論和計算包括兩部分：一是电子状态的理論和計算，一是振盪器的电磁系統的理論和計算。

在討論低射頻振盪器的計算和設計时，一般都不考慮管內的电子过程，也就是把靜特性曲綫当做已知，拿它做根据。在討論超高頻振盪器的时候，这个办法不合用了，就必须考慮电子过程。以后我們要特別注意这一方面的問題。

根据以上所說，下面的全部討論也分成兩部分。首先要討論电子过程及其計算和設計的方法，然后再談振盪器电磁系統的理論、計算方法和零件。在敘述的时候，我們假定讀者已經懂得低射頻振盪器的理論和基本的电动力学。

2. 歷 史 紀 要

从电子管振盪器出世以來，也就是最近30—35年之間，无綫电技术就向波長較短的波段的方向一步一步往前發展。在这个时期

內，無線電技術依次掌握了長波、中波、短波、米波、分米波和厘米波。後面三個波段一般總稱超短波，簡稱 $Y \cdot K \cdot B \cdot$ ，或者更正確些說，叫做超高频 ($C \cdot B \cdot Y \cdot$)。

前面說過，產生超高频的技術是沿着兩條道路發展起來的：一方面，是在低射頻技術上沒用過也不知道的新型電子振盪器，另一方面，改變低射頻所用的振盪器，即三極管和四極管振盪器，不過各個電極的饋電方式還是正常的（陽極為正）。

利用後一類振盪器來產生超高频的問題正是本書的對象。所以我們要說一說這種振盪器在蘇聯發展的幾個階段。

無線電技術第一次和三極管（在陽極電壓為正的條件下）產生的米波見面的時候，它還是長波發射機的他激振盪器的寄生振盪。就我們所知，第一次指出這個問題來的，是“無線電報和無線電話”雜誌1922年6月號的一篇文章[1]，內中講的是 $M \cdot A \cdot$ 邦奇—布魯也維奇實驗室製造的第一部大功率廣播發射機。

現在就從這篇題為“尼日城無線電實驗室報導”的文章中摘引一段來看看：

“ $M \cdot A \cdot$ 邦奇—布魯也維奇實驗室新近制成了一部10千瓦天線功率的電子管無線電話發射機。在連續幾個月的製造過程中，不料碰上了高频放大器工作失常的情況。順便說說，好像是放大級數一多，就特別容易產生各種波長的寄生振盪。有的波長只有幾米。這種寄生振盪主要是在天線振幅最小的一瞬間產生的，現在已經弄清楚，這就是通話失真的主要原因，並且對電子管很有危害”。

米波振盪現象立刻得到了比較詳細的研究。在下一期雜誌上（1922年8月號）[2]，就有了該實驗室的研究結果，里面說，在功率大的時候，還有非常短的波長（1.5米）出現。文章又指出，回授是陽極和柵極之間的電容構成的。

1922年10月[3], 出版了H. 尼基丁和B. 达达林諾夫的著作, 內中專門討論產生超短波的方法。圖1便是這兩位作者介紹的一個電路。

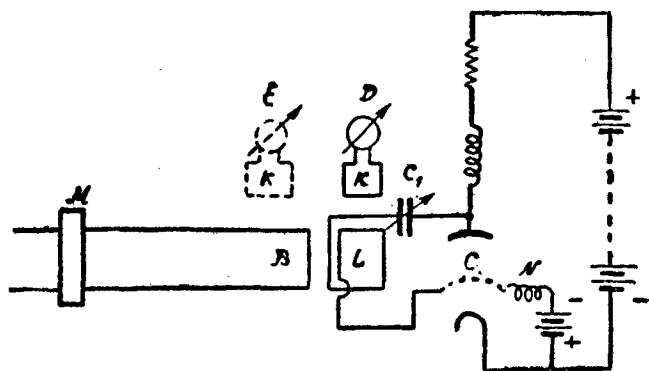


圖 1. H. 尼基丁和B. 达达林諾夫的振盪器電路
(1922年)

應該注意, 这里的主要振盪回路已經接在陽極和柵極之間了, 按它的形式來說, 它同分佈参数系統是相近的。有时候也仍然采用類似的振盪器電路, 只不过可能有些出入, 就是陽極饋電電路不接在電極附近, 而接在電壓波節附近, 與電極隔開一段距離。

圖的左部畫了一付雙根長綫, 有了它, 就可以利用駐波法來測試波長。

据我們所知, 最早的几部三極管米波發射机是C. H. 土尔雷金創造的。他在1924—1925年間寫了一些著作(1927年出版[4])。他用几种單端振盪器作了一系列的實驗, 最后決定还是推挽振盪器好。按照这种方式安裝的發射机工作于5.5米的波長, 天綫功率是150瓦。用的是調幅電報; 因此陽極电压用1000赫的交流电。電鍵接在电源变压器初級繞組中。發射机用了兩個尼日城无綫电實驗室製造的电子管, 每个額定功率150瓦。1925年早春, 这部發射机建

立了20公里的可靠聯絡。

C. H. 士尔雷金同时又截短回路的導綫，做了許多次獲得最短波長的實驗。如同作者所指出的，在這個過程中，他“到底做到了把兩個陽極、兩個柵極‘短接’起來的地步，也就是說，兩個電子管一個挨着一個，中間的導綫是直的，剛够把兩個管子的陽極和柵極

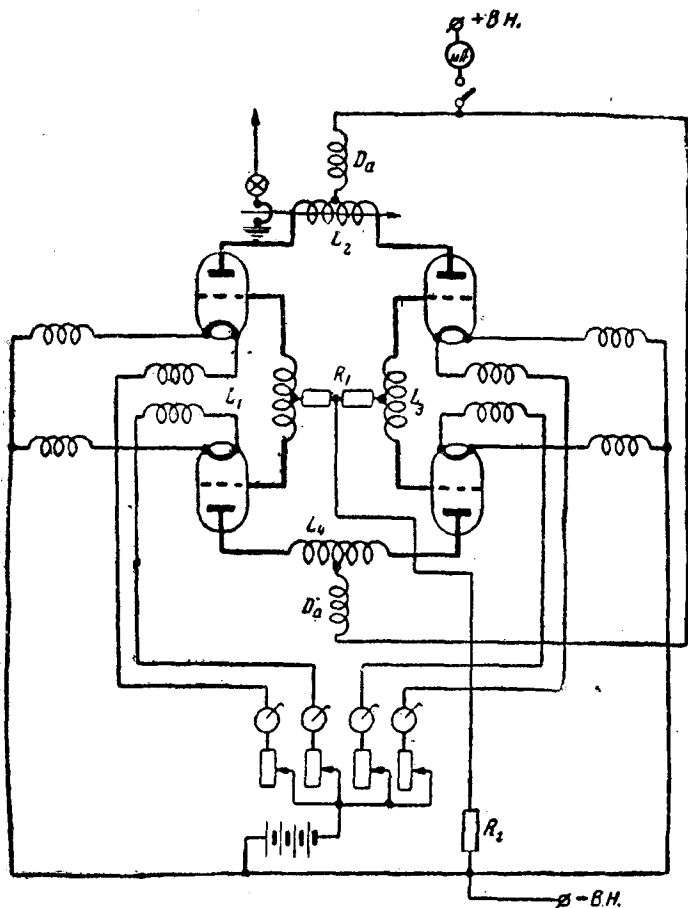


圖 2a. R. B. 西尔科夫的双重推挽式發射机 (1927年)

联接起来”。这样得到的最短波长比2.5米还稍稍小一些，可是“这种振荡的功率却比电子管的额定功率小得多”。

1927年，B.B. 西尔科夫[5]创造了几种超短波复合电路，并且用来通无线电话。他的第一部发射机是双重推挽式的，采用阳极调制，工作波长在5米左右。图2便是这部发射机的电路和外观。

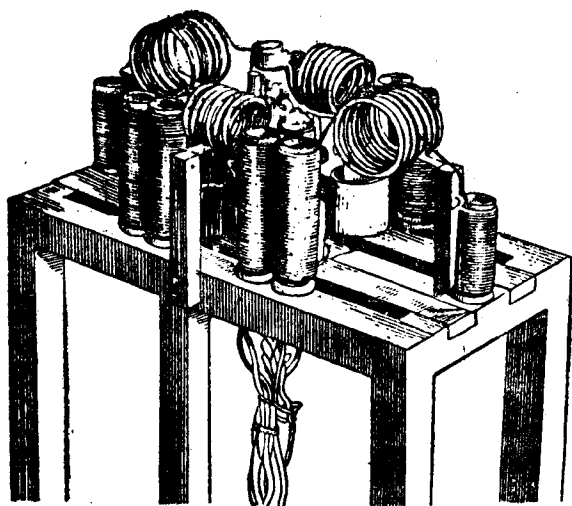


图 25. B.B. 西尔科夫的双重推挽式发射机的外观 (1927年)

1929年，M.A. 邦奇-布鲁也维奇提出了新的超短波振荡放大法，这就是把栅极接地（或接帘栅），把输出振荡回路接在阳极和栅极之间，而不接在阳极和阴极之间。这个方法提出以后，最初几年并没有采用，因为它不适合当时振荡管的结构（阳极到阴极的电容大），可是后来却对超高频振荡器技术的发展起了很大的影响，现在也广泛用来放大米波和分米波的振荡。

近年来的发展路线就是研究各式小型自激振荡器电路，它们的振荡系统都是一圈导线或双根明线（参看A.B. 阿斯塔菲也夫和A.Γ.

阿倫貝爾格的著作[6], H.A.彼得羅夫的著作[7], E.C.安策里奧維奇(的著作[8])。M.M.普魯然斯基的著作也是这个时期發表的,他最先實現了超高頻振盪器的石英穩頻。1929—30年間,他創造了最初几部利用石英穩定頻率的多級振盪器,內中有一級米波倍頻(波長6米,輸出功率20瓦[9,a])。稍后一些,在1933—34年間,他又創造了另外几种石英振盪器,是用石英片激發高次諧波振盪,于是就得到了直接用石英來穩定的米波[9,6]。

在這几年中間,製造了或改制了第一批專供產生超高頻之用的三極振盪管,特別是陽極、柵極、陰極引綫分別引出的三極管。1929年出產的Г—32和БК—500型三極管就是兩個例子。圖3便是這兩個電子管的外貌[10], [11]。

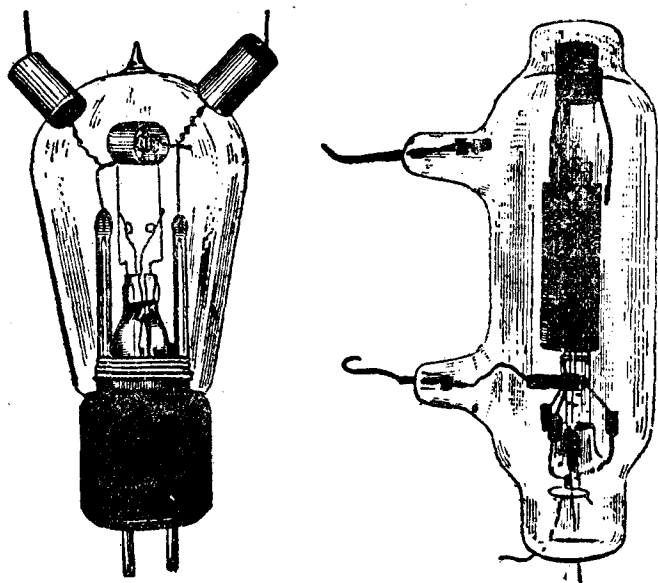


圖 3. Г—32型(左)和БК—500型(右)三極振盪管(1929年)

三十年代初期,又用水冷式電子管製造了几種大功率米波振盪

器。*И.Н.* 安德列夫[12]在1934年論述过几种医学上使用的振盪器，它們的功率大到10个千瓦，波長是4.5—5米。同时 *A.M.* 庫古歇夫又提出一套原理，利用它，就可以結合引綫电感進行振盪器电磁系統的計算[13]。以后，*A.M.* 庫古歇夫（1937年）[14]、*Г.А.* 捷特良諾克（1938年）、*С.А.* 德羅波夫（1946年）、*Е.П.* 柯察金（1947年）又在他們的著作中討論了這個問題[15]。

也是在1934年，*И.М.* 維克斯林[16]制成了一部电视广播用的米波大功率多級發射机。它的末級是一个二倍倍頻器。使用波長是6米，送進天綫饋綫的功率大約是5千瓦。

以后產生超高頻的技术就沿着另一条路綫發展了，这就是采用特殊的振盪系統，并且把电子管和振盪系統結合成一个整体。这种振盪器最先用的是同軸綫。

1937—38年間，本書作者以一般的形式提出超高頻用的封閉振盪系統，內中有重入式、环形、凸形等諧振器，作者又研究了它們的理論基礎以及在电子管振盪器中使用的几种方法[17]，[18]。1938年，作者和他的几位同事制成了第一批具有环形和重入式諧振器的振盪

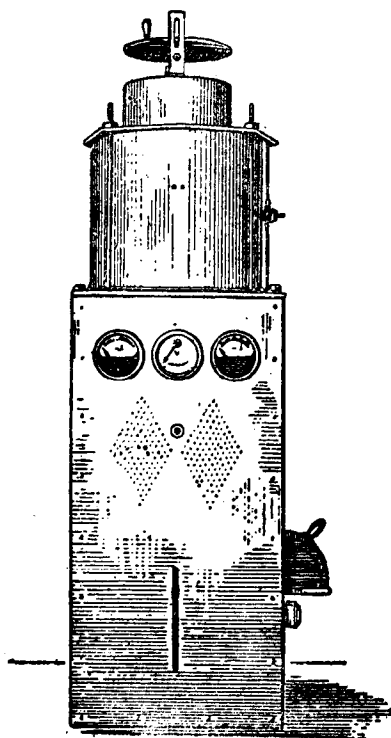


圖 4. 有重入式諧振器（多段諧振綫）的振盪器（1938年）

器[17], [19]。圖 4 和圖 5 是振盪器的外貌。这几部振盪器的封閉振盪系統只用电感同振盪管微弱耦合，以便提高頻率穩定度。接綫上又串接着补偿电容器，以便削弱導綫电感的有害影响。

Н. А. 傑維亞特科夫及其同事在 1938—39 年間做的工作又向前跨了一大步。他們創造了几种新式三極管和三極管振盪器，差不多整个分米波段都能适用。这就使得各种米波產生法也推广到整个分米波段去了。于是就推翻了三極管振盪器不能在分米波段（說得准确些，就是在波長比 50—60 厘米还短的时候）正常工作的意見。Н. А. 傑維亞特科夫及其同事的著作是在 1940—41 年間出版的。

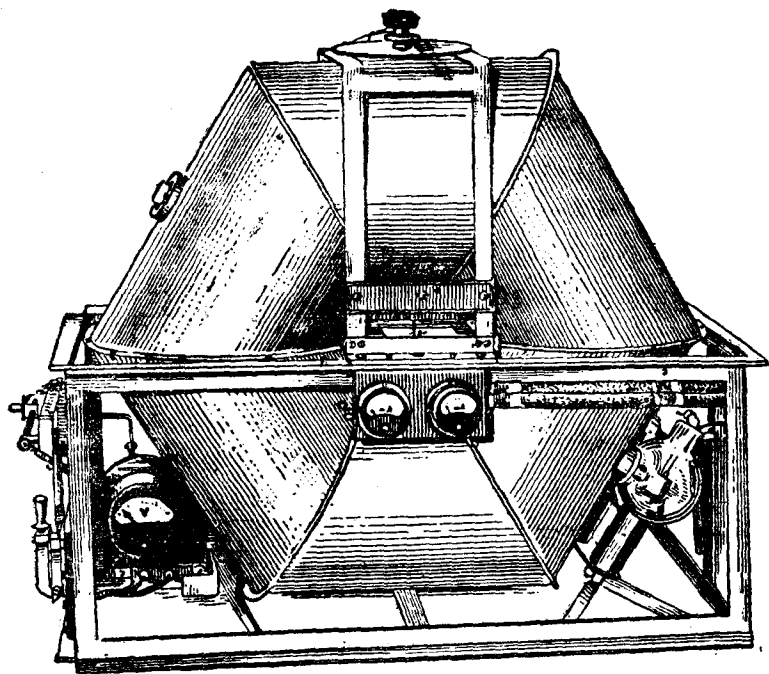


圖 5. 具有环形諧振器的振盪器 (1938 年)

新型振盪器的主要特点是这样的：1) 采用旁热式平板氧化物陰