

目次

緒論

1. 引言
2. 历史的回顧

第 一 編

电 子 过 程

第一章 阴极—栅极空間的几个現象

1. 一般問題
2. 阴极—栅极空間中的电荷的影响
3. 超高频之下的电子放射
4. 电子在阴极—栅极空間中的运动
5. 放射电子分类
6. 阴极—栅极距离接近临界值的情况
7. 論阴极—栅极距离超过临界值时的工作

第二章 三极管栅极—阳极空間中的現象 (窄脉电子流脉冲)

1. 概况
2. 关于电子效率的討論
3. 正常全制动状态
4. 正常状态下阳极振荡系統的效率与渡越角的关系
5. 外部电路的阻扰
6. 栅极—阳极空間的电荷的影响
7. 电子穿过栅极平面的初速的影响

第三章 三极管栅极—阳极空間中的現象 (寬脉电子流脉冲)

1. 概况

2. 电子效率和它穿过栅极平面的相位的关系
3. 平均电子效率
4. 外部电路的电流
5. 計算峰例(穿过栅极平面的电子脉冲形状为已知)
6. 栅极—阳极距离和状态强度的選擇根据
7. 輸入导納

第四章 三极管电子状态的一般問題

1. 概況
2. 三极發生管的工作条件在工作波長縮短时的变化
3. 关于三、四极管發生器的理論最短波長
4. 論电子在三极管中的橫向運動
5. 中短波的極略公式
6. 設計和計算电子状态的大略步驟

第五章 四极管的电子現象

1. 概況
2. 电子在帘栅和阳极之間的運動条件
3. 全制動条件
4. 寬闊电子流脈冲的情况
5. 外部电路的阻扰
6. 空間电荷的影响
7. 各种超高频發生器的电子过程的比較

第 二 編

第六章 超高频發生器的电磁系統

1. 封閉諧振器
2. 封閉諧振器的基本形式
3. 調諧法和耦合法

4. 振盪系統的中間形式

5. 發生器的電磁系統

第七章 封閉振盪系統的等效參數

1. 概說

2. 主要外部參數

3. 電抗

4. 封閉振盪體系的耦合

5. 作為四端網絡的封閉諧振器

第八章 封閉諧振器的電磁場結構和參數的計算

1. 一般法則

2. 表面電阻

3. 柱形諧振器

4. 當做輻射綫看待的柱形諧振器

5. 環形諧振器

6. 同軸式諧振器

7. 一端短路、一端接電容的同軸式諧振器

8. 同軸諧振器的向角諧波

9. 平行綫諧振器

10. 分枝同軸諧振器

第九章 論超高頻自激發生器的電磁系統的計算

1. 引言

2. 超高頻自激狀態的特點

3. 共柵極雙回路自激發生器

4. 共陰極雙回路自激發生器

5. 共陽極雙回路自激發生器

6. 复合同援情况下的共栅极自激发生器
7. 波段复盖条件
8. 封闭谐振器式发生器
9. 双栅式发生器

第十章 超高频发生器的另件

1. 超高频三极管的发展
2. 隔流元件
3. 调谐活塞
4. 耦合元件和中和元件
5. 与负载的耦合

文献

超高频三、四极管发生器

第二编

电磁系统

第六章

超高频发生器的振荡系统

(一) 封闭谐振器

到了超高频。由电感线圈和电容器构成的振荡回路就不宜再用作振荡系统了。

它们的主要优点本来是可以利用比较小巧的器件获得很长的谐振波长，现在这个优点却丧失了它的价值。工作波长一缩短，它们在超高频之下的缺点就越来越暴露，内中主要是：

1. 辐射损耗、电流在接点和导线上造成的损耗、周围物体的感应电流的损耗、介质滞后的损耗和绝缘体的损耗都加大了，所以质量因数也比较低。

2. 散杂场很强，造成不希望有的耦合和周围元件中的损耗。

3. 谐振频率的标准度低（谐振频率不能长期保持不变）。

发生器振荡系统的损耗决定于下面的公式：

$$P_{\text{ном}} = \frac{1}{2} U^2 \omega^2 C^2 r = \frac{1}{2} \frac{U^2 \omega C}{Q}$$

振荡系统上的电压振幅 U 是由发生管的正确工作条件来决定的，降低它，就不能不损害它的工作状态。电容 C 的最小值要受到电子管极间电容的限制。工作频率一提高，这个电容就会加大，因为极间距离减小了。因此损耗公式的分子随频率的上升而加大。所以说，在超高频范围内，为着保持发生管的正确工作条件，必须采用高质量因数的振荡系统。

超高频三、四极管发生器

因此在超高频之下，采用不同于电路的其它振荡系统是适宜的，甚至是必要的。

超高频用的振荡系统的主要形式，就是由金属外壳构成的空腔。一旦振荡起来，这内部空间中就会产生电磁场。

基本特点就是金属外壳内壁上在振荡期间有高频电流流动，振荡电磁场终止在它的内部表面上。

这种振荡系统名叫封闭谐振器，也叫做空腔谐振器。有时候又把它叫做空腔式回路。我们以后要用第一个名词。

最简单的封闭谐振器是各种形式的旋转体，图 VI 1 便是它们的剖视图。

封闭振荡系统的型式很多。此外，每一种谐振器的几何形状尽管变化它的主要性能却不受影响。其所以如此，是因为封闭振荡系统的性能基本上只由导电外壳的拓模学性质决定，而这一方面的性质在外壳变形时却是不大改变的。

振荡系统的几何形状既然有这样大的伸缩余地，我们就可以使它适应结构方面的要求或发生器中安排另件的条件。

因为外壳是封闭的，所以外在空间中沒有高频电磁场，这就消除了散杂场、辐射损耗和感应电流在邻近另件上所造成的损耗。

金属壳外部表面沒有高频电流和电磁场，这在另外一个方面实际上也是很有好处的，这就是可以随意采用紧定设备和机架，也可以随意采用冷却和辅助设备，无论如何不会造成高频损耗或对振荡系统的电磁性能产生

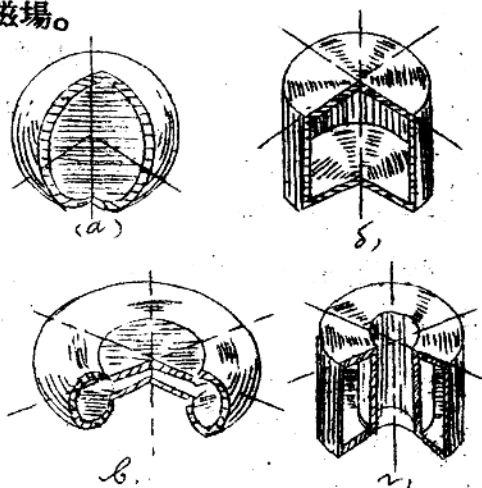


图 VI 1. 封闭谐振器形状的几个例子：

- a) 球形；b) 柱形；c) 环形；
d) 同轴式 或双柱式。

其他影响。

封閉振盪系統可以有很高的質量因數。

为了减小傳导电流的損耗，可以把电流波腹附近与电流方向垂直的导电表面的周长加大一些。如果接点的周长很大，而且結構合适，那么接点損耗也会是小的。前面又說过，采用封閉諧振器以后，輻射損耗和感应电流的損耗都沒有。最后，形成金属表面的金属結構足夠牢固，用不着絕緣材料。因此介質滯后的損耗多半等于另或減到最小。

經驗証明，正确設計的封閉諧振器的質量因數总是几百、几千，在某些情况下甚至大到几万。

應該指出，超高频发生器件用的封閉諧振器还有几个特别的优点。

如果发生管各个电极和引綫的結構是恰当的，那么电极就直接成为封閉諧振器外壳的一部分。在这种情况下，电子管的电极和振盪系統联合成一个整体，所以电极之間用不着接綫，这在超高频範圍內是非常重要的。

最后，采用封閉諧振器，还能做出最适合厘米波段之用的所謂全金属电子管結構，对于大功率來說，分米波段甚至米波段也可以用它。

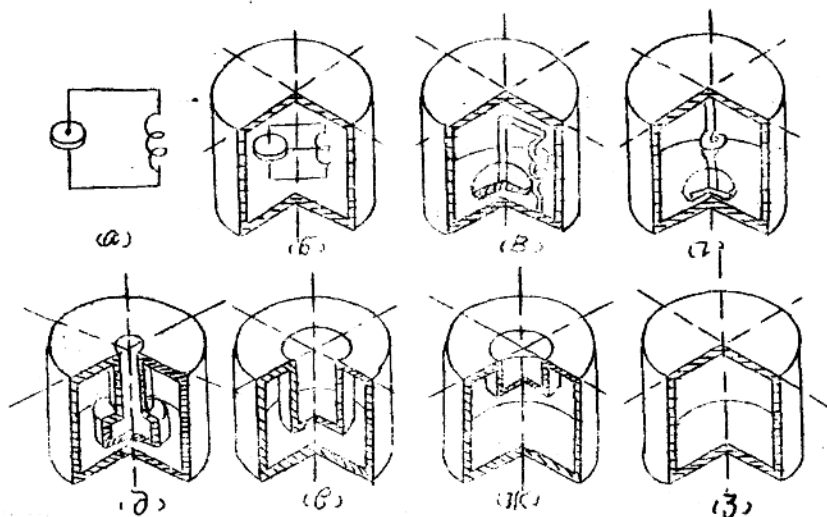


图 VI 2. 由振盪回路到柱形諧振器的几种过渡形式。

这个結構的要点就是把电子管的真空腔擴大成整个封閉諧振器的內腔。

于是谐振器的金属外壳就有了隔绝电子管的真空腔和四周大气的功用，不必再用玻璃或其他介质的管泡。

由此可见，谐振器的金属外壳有着一系列的功用，就是充当电子管的电极、真空壁、机械紧定装置和电导体，并散发电子撞击内壁和传导电流流过表面时所产生的热量。

应当注意，封闭谐振器可以看做普通振荡回路为适合超高频的要求而逐渐演变的结果。这种演变的主要步骤，就是先加上一个隔离罩，然后逐步把回路和隔离罩结合起来，同时减小线圈的电感量和电容器的电容量，并且使这两个元件合而为一。

为了说明这个问题，图 VI 2 上又画出几个图形，来表示长波工程中用的普通振荡回路可能通过那几种过渡形状演变成柱形封闭谐振器。

过渡振荡系统实际上用在超短波的低频部分，即米波段，在功率非常小的发生器中，有时还在分米波段使用它。

(二) 封闭谐振器的基本型式

封闭谐振器的型式很多，现在只讨论其中的三类。这三类型式可以暂且叫做凸形、环形和同轴式谐振器。

外壳形状最简单的莫过于凸形，比方说，是两端盖着平板的圆柱，或是方柱。图 VI 3 a 是柱形谐振器内在最简单的振荡型式之下的电磁场。

电力线和心轴平行，磁力线位于横断面内，形成一个一个的同心圆。这系统的电场强度在心轴上最大，越接近柱面越小，一直减小到另。

图 VI 3. 6 表示传导电流密度在外壳内壁上怎样分布。电流沿柱面纵向流动，又在两端平板上顺着半径方向流动。

凸形谐振器的质量因数最高，并且可以容纳最大的无功功率而不致击穿。可是一直到现在，发生器里都很少用它，因为它不便和电子管的电极直接配合。要做到这一点，外壳的某一部分必须紧密相对排列，充当电极。电子就在其间运动。

从这一方面来看，环形谐振器很方便。图 VI. 4 是其中的三种。如果对面排列的两块平板靠得很近，中间的距离比其他尺寸都小得多，那就可以近似地把这种系统看成一个似稳系统，也就是说，可以认为基本振荡型式的磁场和电场各分布在不同的部位。

图 VI 5 表示电场和磁场的分布特点。对面排列的两块平板构成一

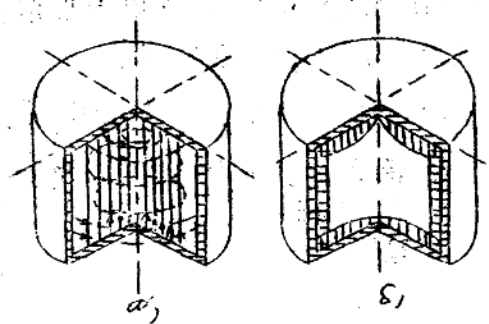


图 VI 3 激发最简单的振荡时的柱形谐振器：

a) 电力线和磁力线；b) 传导电流在外壳内壁上的分布。

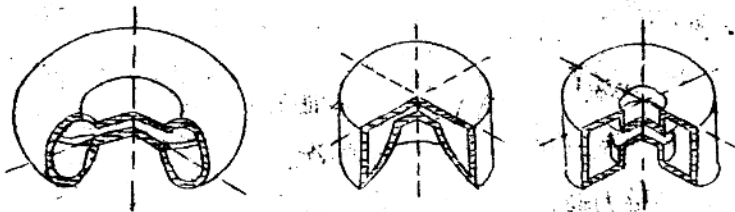


图 VI 4 几种环形谐振器

个电容器，电场主要分布在这里。磁力线的形状是许多同心圆周，主要分布在球形空间中，环绕着电容器的位移电流。箭头表示空腔内壁上在某一瞬间的传导电流的方向。

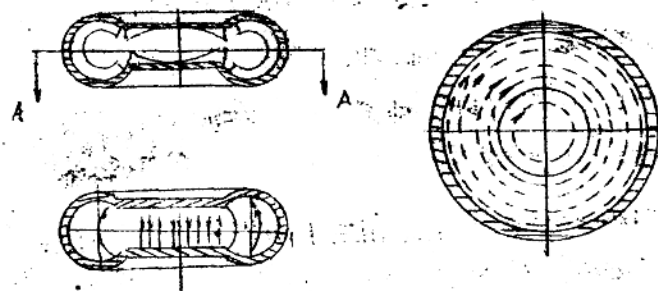


图 VI 5 环形谐振器的电力线、磁力线和传导电流方向。

实际上环形腔中也有一部分电力线，两块平板中间也有一部分磁力线，所以电磁场的分布就被破坏了。

除环形谐振器以外，广泛使用的还有同轴式谐振器，它是由两个同轴柱形结构形成的。图 VI 6 是这种谐振器的几个主要形式。

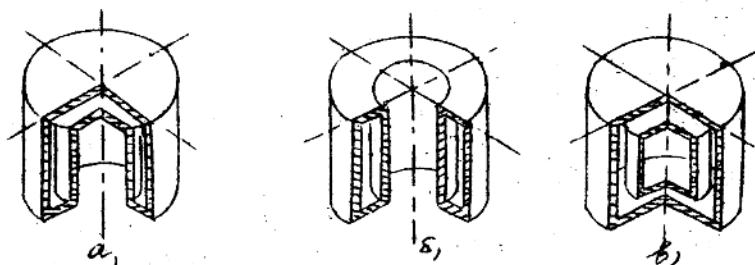
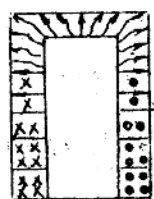


图 VI 6 最简单的同轴谐振器。

对于最简单的振盪型式来说，这一类谐振器都可以看成一段封上导电端板的均匀同轴线。所以这种振盪系统往往又叫做封闭谐振同轴线。

图 VI 6, a 的系统是一段下端短路上端开路的长线。因此，对于最简单的振盪型式来说，这条线上有四分之一或其奇数倍的驻波，磁场和电流波腹在短路端，电磁场和电压最大值在开路端。图 VI 7 便是基本振盪型式的电磁场分布情况。电力线的方向和半径相同，磁力线的方向和向角一样。



在同轴系统的开路端附近，因为端板之间有附加的电容，图 VI 7 同轴谐振器的电力线。电磁场分布有一些变化，这里的电力线变了方向，数目也比均匀长线的多一些。

一端开路的系统不会有偶次纵向谐波。

图 VI 6, b 的系统两端都短路。在基本振盪型式之下，心轴上一共有两个四分之一驻波。两端都是电流和磁场波腹，中间是电压和电场波腹。电磁场结构和均匀长线一样。所以这种系统的谐振波长恰好等于端板内壁距离的两倍。

图 VI, 6B 画的第三种封闭谐振器相当于两端各有一个电容的长线。所

以振盪也只能对应于偶次纵向諧波，即心軸上一共有偶数个四分之一波长（要根据电容进行修正）。电场最大值在两端，电流和磁场波腹在中間。两端的电场都有些变化，这里的电力綫比較密集，这是因为内外柱面两端的空隙之間有电容的原故。所以基本諧振波长大于諧振器长度的两倍。

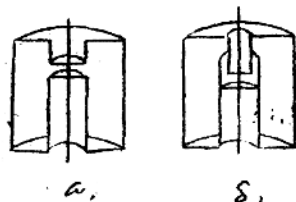


图 V8 同軸諧振器的两种形式（用两端的平面作为电极）。

封閉諧振器用作发生器的振盪系統时，外壁的某些部分就是电极，这里的距离应该非常小。这个距离和电极的横寬尺寸都要根据发生器电子状态方面的考虑来决定。所以这一段的电容也是指定数值。同时我们又希望把其余的电容一概减到最小，以便减小传导电流的損耗。因为有这样一情况，再加上結構方面的考虑，我們就不用形状简单的同軸振盪系統了。在利用端板作为电极时，往往要采用图 V 8 的两种形式。

在采用柱面电极的时候，振盪系統最好是图 V9 的形状。后两种形式对应于一个情况，就是心軸长度等于四分之三波长或四分之一波长，但是电极不在电压波腹附近。在計算图 V9 的几个系統的基本振盪型式时，可以把它們看成复杂的長綫，內中包括好几段，每一段有每一段的波阻抗。

图 V10 是相似的同軸振盪系統，不过里面只激发偶次纵向諧波。

还有一种同軸振盪系統也应当提一提，如果希望把它的长度尽量缩小（比方說，波长比較大的时候就希望这样做），那就最好采用这种形式。这就是多柱面式諧振器或重入式諧振綫（图 V. 11a）。

这諧振器外面是一个柱面，两端盖着平板。內部装着半径比較小的同軸柱面系統，柱面一端懸空，另一端輪番紧定在上部端板和下部端板上。

这种设备可以看做一个同軸饋綫系統。里面的同軸綫一段接着一段，互相串联。这条長綫一端开路（半径最小的柱体的末端），另一端由下面的平板短接（最大的柱面的末端）。除内外两个柱面（半径最大的和最小

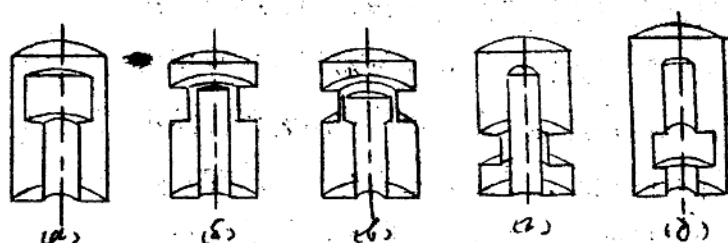


图 V9 几种配合柱面电极的同轴谐振器结构。

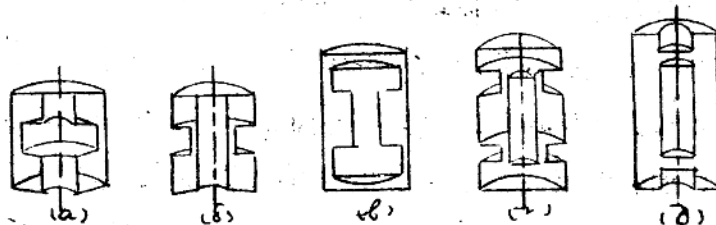


图 V10 几种对称同轴谐振器。

的)以外,其余几个柱面都是一充两用:外部表面作为一段馈线的内管,内部表面作为另一段馈线的外管。

如果每一段的波阻抗都一样,那么这个系统的谐振波长就大致等于

$$\lambda_0 = 4nl,$$

式中 l 是系统的长度, n 是馈线的段数,它等于同轴柱面的数目减 1。

这样就可以在系统比较短的时候得到比较大的波长。

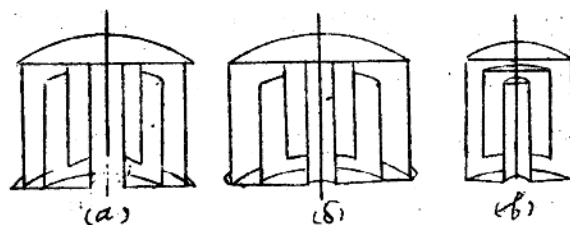


图 V11 重入式谐振器。

图 V.11, a 和 V11. B 是重入式谐振器的另外两种形式。前一种的轴馈线系统两端短路,所以在激发基本型式振荡时,两端都是电流波腹。后一种正相反,同轴线系统的两端都是端板之间的电容,所以在谐振的

这个地方的电压最大。

三、調諧法和耦合法

有好几种方法可以把閉路諧振器調到指定波长或覆盖一个波段。

图 VI. 12a 表示怎样用短路活塞来調整同軸式諧振器。利用外面的抽動活塞，諧振器的內腔长度和諧振频率就会改变。活塞調整法可以覆盖很寬的波段，实际上也用得多。这种方法的主要缺点是电流波腹上有許多摩擦接点，如果接点压力不夠，就可能造成很大的附加損耗。实际上用的有各式彈簧接点，也有所謂“不接触式”的特殊活塞。活塞結構这个問題以后还要詳細討論（第十章）。

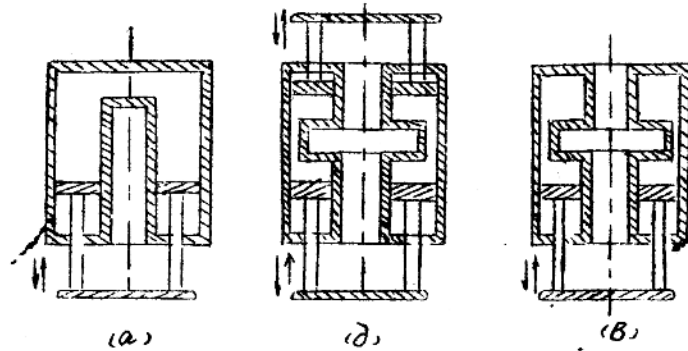


图 VI.12 有活塞的諧振器。

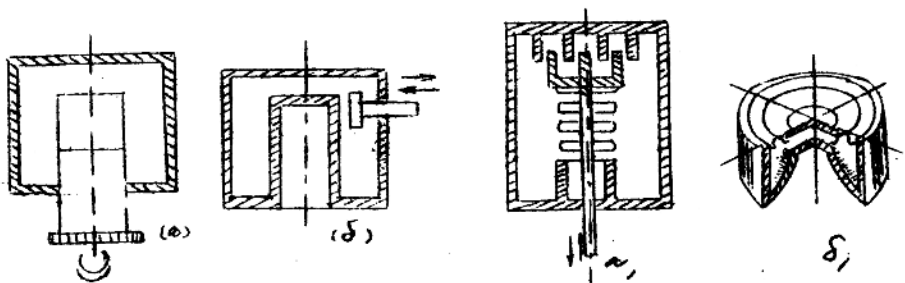


图 VI.13 有柱塞的諧振器。

图 VI.14 有可变电容的諧振器

图 VI.12. a 和 VI.12. b 表示对称同軸式諧振器中用活塞覆盖一个波段的两种方案。采用两个活塞，就能覆盖更寬的波段，因为在改变調諧情况而且两个活塞同样抽動时，系統的纵向对称並不会受到破坏。如果只用一

个活塞，结构就简化了，但是中心容积一般就是极际空间——却离开了电极板，这就降低了基本振荡的谐振阻抗。因此基频振荡不容易激发，并且有了激发纵向谐振波的倾向。所以在必须覆盖宽频波段的情况下，最好是采用两个对称活塞。

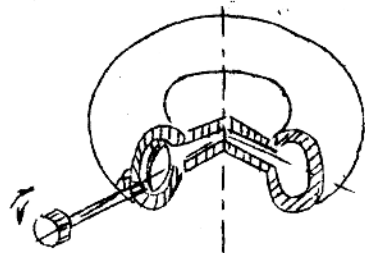


图 VI 15 有微调盘的谐振器。

图 VI 13 . a 表示利用螺桿（柱塞）使封闭谐振器覆盖一个波段的方法。把螺桿旋出来，谐振器就是一个柱形谐振器。把螺桿拧进去，谐振器就逐步变成一个环形谐振器，同时谐振波长加大。这样就可以覆盖宽频的波段。发生器中一般都用柱塞在小范围内进行细致的调整（图 VI 13 . b）。

这种方式再一演变，便是利用可变电容器。这电容器的活动部分通常都是往复抽动的。图 VI 14 是这种设备的几个类型。为了消除摩擦接点，常用手风琴式金属结构或波纹薄膜。

在谐振器内磁场最强的地方装一个短路环或圆盘，也能微微调整波。如果环或盘同磁力线垂直，上面就会感应出很大的涡流。这电流的磁场削弱原初磁场，因而缩短谐振器的谐振波长。把环或盘转动 90° ，涡流和它的影响就消失了，说得严格一些，就是大大削弱了。图 VI . 15 表示怎样用这种设备来微调环形谐振器。

下面再讨论封闭谐振器的耦合方式问题。谐振器既需要激励，又需要把能量送进负载，从这两方面来看，耦合都是必

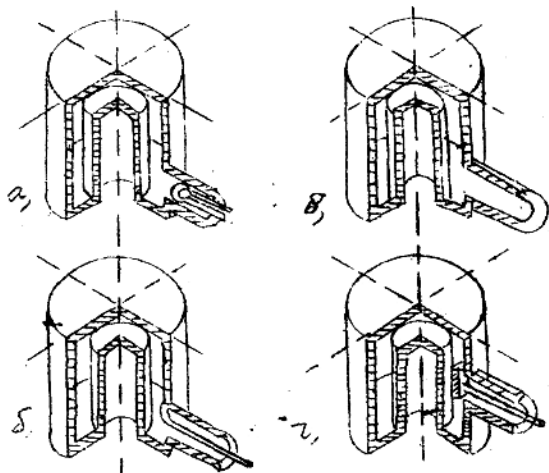


图 VI . 16 耦合方式的几个例子；

a) . b) 电感式；B) 传导式；2) 电容式

需的。耦合方式可以分成这样几种：

- 1) 利用线环形成磁耦合；
- 2) 利用电极形成电耦合；
- 3) 利用孔穴形成辐射耦合；
- 4) 电子耦合。

磁耦合可以是感应式的，也可以是传导式的。图 V. 16a 和 V. 16.6 是利用线环形成感应耦合的例子。图 V. 16. B 是传导耦合的例子。这里线环换成了一根短棒，一直通到对面的空腔壁。其实感应耦合和传导耦合的区别只是结构不同。在后一种情况下，空腔壁就是耦合环的一部分。

把一个电极穿过空腔壁，伸进空腔内部，但是不和对面的空腔壁接触，就能实现电容耦合（图 V. 16. 2）。如果耦合电极再伸进去，一直碰到内壁，电容耦合就变成了传导耦合。

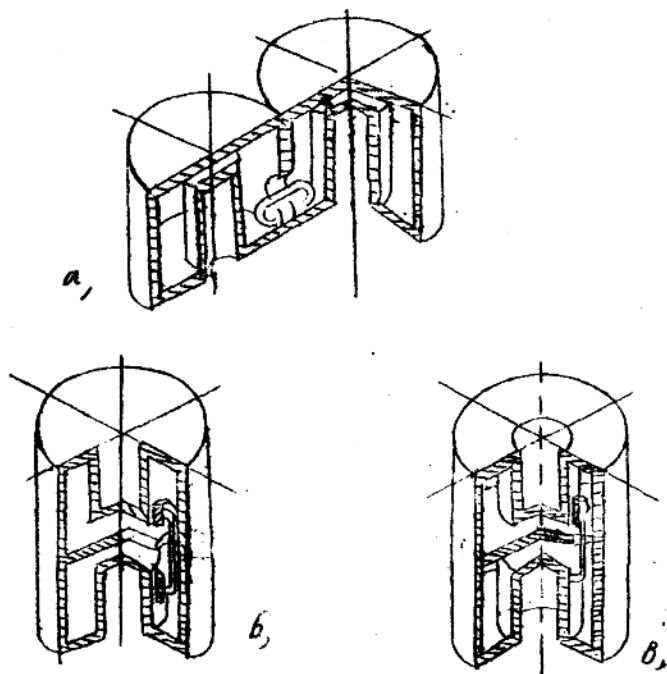


图 V. 17 谐振器耦合方式举例。

图 V. 17 是用上述方法耦合两个封闭谐振器的例子。

感應式、傳導式和電容式耦合在米波段、分米波段和一部分厘米波段中都廣泛使用。可是，如果頻率非常高，或者功率非常大，也許就不如：壁上鑽孔來實現繞射耦合。這種耦合可以是磁的、電的，或綜合的，究竟怎樣，要看洞的位置在磁場波腹附近，還是在電場波腹附近，還是在兩者之間。

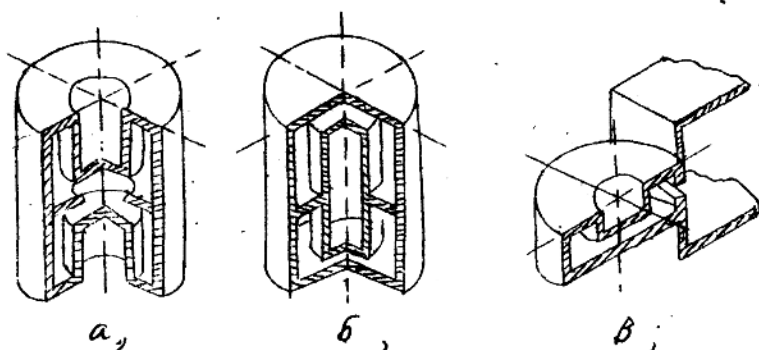


圖 VI.18 諧振器之間和諧振器與波導之間的繞射耦合。

一般都是挖一條和磁力綫平行的矩形槽來實現繞射磁耦合，挖一個圓洞或方洞來實現繞射電耦合。圖 VI.18 是諧振器之間和諧振器與波導之間的幾種繞射耦合。

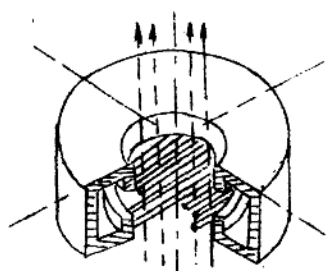


圖 VI.19 諧振器的電子耦合。

使電子流通過諧振器的內腔，就能形成電子耦合。因為電場對電子的影響比磁場大得多，所以一般都使電子束順着電力綫的方向通過電場波腹區域。為避免渡越時間過長，必須把這個地方的空腔壁排得很近。光通進電子流，必須把一個或兩個空腔壁換成柵網，並且要有足夠讓電子通的面积。如果只有一面換成柵網，另一面就要當做陽極或陰極使用。

圖 VI.19 是用電子流激勵諧振器的一個例子。如果電子流的密度已經預先受過調變，那麼諧振器的感應電流就會是周期性的，只要它的頻率和諧振器的諧波波长相合，就會激發振盪。對於感應電流來說，諧振器比一個並聯諧振的回路。

假如諧振器的振盪是由外在能源激发的，那么图 VI. 19 的系统就可以用来調变均匀电子流的密度或速度。这种調变所以能够实现，是因为諧振器的电场輪番制止和驅动电子的原故。

(四) 振盪系統的中間形式

封閉振盪系統虽然有許多长处，却也有几个缺点，便是結構比較复杂，而且龐大沈重。这两个缺点在厘米波段內还不要紧，到了分米波段、米波段以后，影响就大起来了，尤其在小型发生器的情况下，更是这样。除此以外，也不見得每一种发生管的結構都能适应封閉諧振器。

因此，在米波段內，——在小型发生器的情况下，甚至在分米波段內，——往往要用别的振盪系統，也就是介于普通振盪回路和封閉諧振器之間的各种过渡形式。

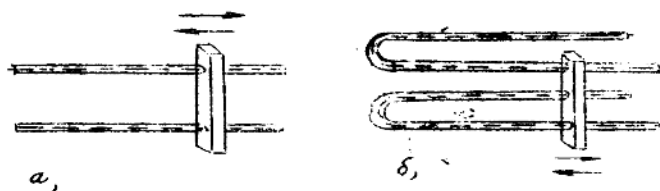


图 VI. 20 双綫諧振器。

这一类系統的一种便是对称双綫，它的一端用可动短路桥短路，抽动短路桥，便能調变波长（图 VI. 20）。对称长綫最适合推挽发生器。在波长較大的时候，往往把对称长綫折弯，以便縮減它的尺寸（图 VI. 20, б），有时甚至还捲成两条螺綫。在这种情况下，短路桥和引綫都用接触滑輪或接触刷来联接长綫（图 V. 21）。

有时候需要覆盖的波段很寬，或者频率比較低，碰到这种情况，就在长綫开路端装一个可变电容器（图 VI. 22）。