

无线电原理讲义

—飞机无线电师学员用—

(下 册)

中国人民解放军第一航空机务学校

一 九 七 七 年 一 月

目 录

第四章 振荡器	383
第一节 振荡的产生和维持	383
第二节 振荡的振幅	393
第三节 回路振荡器电路分析	403
第四节 振荡频率的稳定	417
第五节 超高频振荡器	428
第六节 阻容振荡器	436
第七节 负阻振荡器	439
第五章 调制、检波和变频	443
第一节 调制	443
第二节 检波	472
第三节 变频	485
第六章 整机电路	501
第一节 发射机电路	501
第二节 接收机电路	515
第三节 电子稳压器	541
第七章 脉冲电路	546
第一节 脉冲的基本概念	546
第二节 微分电路、积分电路和耦合电路	550
第三节 钳位电路	559
第四节 限幅电路	565
第五节 锯齿电压产生器	576

第六节	多谐振荡器	583
第七节	间歇振荡器	614
第八节	用仿真线和振荡回路形成脉冲	625
第八章	厘米波振荡器的工作原理	634
第一节	速调管振荡器的工作原理	634
第二节	磁控管振荡器的工作原理	647

第四章 振 荡 器

内 容 提 要

振荡器是用来产生交流电的，它的应用很广。在发射机中，用作高频振荡源；在接收机中，用作本机振荡源；在测量仪器中，用作标准振荡源等等。所以，对振荡器的主要性能要求是：输出一个频率标准而又稳定并有足够强度的正弦交流电。

振荡器同放大器的主要区别，在于它能够在没有外加激励电压的条件下，依靠电路自身的作用，产生所需频率和振幅的正弦振荡。毛主席指出：“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。”^① 振荡器之所以与放大器有本质上的差别，就在于振荡器电路中具有不同于放大器的电路结构，即在放大电路基础上加有正回授电路，因而使得电路具有特殊的矛盾，能在没有外加激励电压条件下，自激地产生正弦交流电。我们分析振荡器工作原理，就是分析它的特殊矛盾。

正弦振荡器电路的基本结构是在放大器的基础上加上正回授电路，故这类振荡器称为回授式振荡器，这类振荡器应用最广泛，是本章要分析的重点；另外还有利用电子管的负阻特性进行振荡的，称为负阻振荡器，因应用较少，仅作介绍。

常用的回授式振荡器的具体电路结构各不相同，但振荡原理却是共同的，本章先以典型的调阳式振荡器为例，分析振荡器的基本原理和基本性能，然后以此基本原理为指导再进一步分析各种具体振荡器的特点。

通常，振荡器的信号较强，电子管工作于非线性段，所以分析振荡器工作原理时多采用图解法。

第一节 振荡的产生和维持

一、振荡的产生

振荡器是在放大器的基础上将输出信号回授一部分给栅极作为激励信号而工作的，它

^① 《矛盾论》，《毛泽东选集》，人民出版社1967年11月横排袖珍本，第283~284页。

的基本组成包括放大电路和回授电路两部分，图 4—1 所示即为一简单的调阳式振荡器原理电路，它由电子管、阳极回路以及电源组成放大电路；以回授线圈 L_g 与放大器输入端联接组成回授电路。由于 L 、 C 回路接在阳极电路中，故称为调阳式振荡器。回路中的电阻 R 用来表示耗能电阻。

如图 4—1 所示联接的电路，如果回授电路与放大电路的输入端不联接，上述电路就是放大器。在栅极加上激励电压 U_g 时，则在阳极回路中产生一高频振荡；将激励电压撤去时，阳极回路也就没有交流电输出。

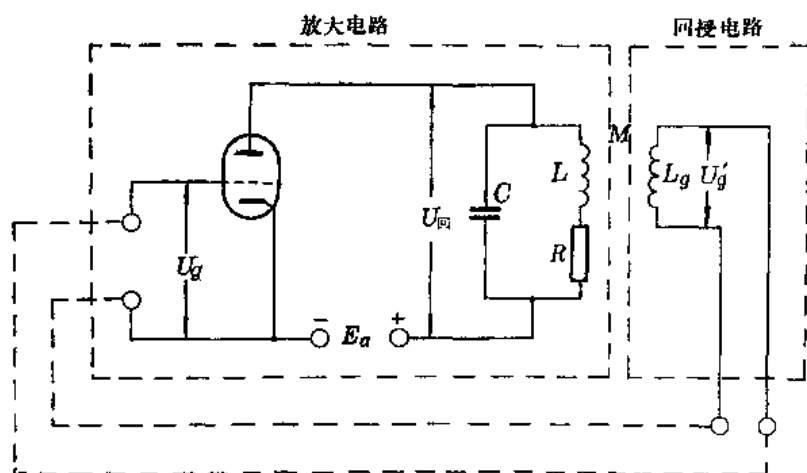


图 4—1 调阳式振荡器

当接上回授电路后，情况就不一样了。回授电感 L_g 与回路电感 L 有一定的互感耦合，使 L_g 两端产生一电压 U_g' ，如果此电压 U_g' 与原激励电压 U_g 大小正好相等，且相位完全一致的话，那么就可将此电压 U_g' 接在栅阴之间去代替外加激励电压 U_g 控制阳流，使阳回路产生同样的高频振荡。

通过上述耦合后，电路就可以不再需要外加激励电压，只依靠电路本身的回授作用，而产生高频等幅振荡。电路就变成了振荡器。

(一) 起始振荡

上面是振荡已经产生后的稳定工作情况。人们一定要问振荡器最初的激励电压 U_g 是从哪里来的？同自然界的许多事物一样，振荡信号也是从小到大逐渐发展起来的。

“世界上没有绝对地平衡发展的东西”^①。当振荡器接通电源后，或由于阳极电流发生变化、或由于电子管阴极放射电子不均匀、或由于外界电磁场的感应等等，使阳极回路产生

① 《矛盾论》。《毛泽东选集》，人民出版社1967年11月横排袖珍本，第301页。

了很微弱的自由振荡。如果这时不给回路补充能量，由于回路存在耗能电阻 R ，自由振荡就会很快停止；若适时补充足够的能量，振荡便能维持，当补充的能量大于电路的消耗时，振荡便能逐渐增长起来。

(二) 振荡的增长与维持

在回路中出现最初交流电的同时，由于线圈 L_g 与回路间的耦合作用，在线圈 L_g 上产生最初的感应电压也就是回授电压 U_g' ，将此回授电压加到电子管的栅极与阴极之间，作为放大电路最初的激励电压 U_g ，激励电压经过电路的放大后，给回路补充能量，因为补充的能量大于消耗的能量，在回路上产生的电压也就必定大于最初的自由振荡电压，这时，在线圈 L_g 上再次产生的回授电压也就大于最初的回授电压。又把它回授到电子管栅极和阴极之间，作为新的激励电压，新的激励电压也必定大于最初的激励电压，此电压再经放大和回授，如此循环不已，就使振荡不断增长，如图4-2所示。

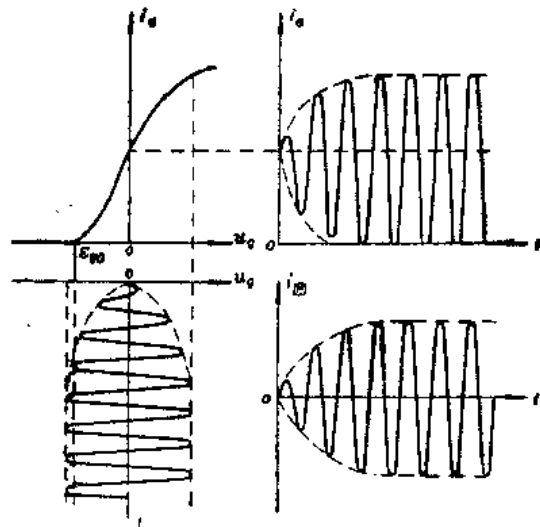


图4-2 产生振荡时电流、电压波形

联系图4-2，振荡是不能无止境地增长的。当振荡增长到一定强度后，由于激励电压的正半周工作在 i_a-u_g 特性曲线的上弯曲部分，负半周超过了电子管的断流点，阳极脉冲也就不能再增大，阳极回路电压和回路电流也就不再增大，回授电压也就不再增大。以后，在每一个循环中，回授电压与激励电压大小相等，即

$$U_g' = U_g$$

振荡不再增强，振荡器产生了等幅振荡。

上述振荡的增长稳定过程所需时间极为短暂，在实际应用中一般是不去考虑它的。

(三) 振荡频率

振荡器在产生振荡过程中，由于回路具有频率选择作用，电路只对某一频率的交流电有较大的放大作用和足够的回授电压，因而只对这一频率产生足够强的振荡。对其他频率的交流电，则放大作用很弱，回授电压也很小，不能形成振荡，所以振荡器电路只产生某一频率的交流电。振荡频率 f 主要由回路参数 L 、 C 决定，同时也与电子管参数有关，一般可近似地认为振荡频率即为回路自然频率 f_0 ，即

$$f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

要改变振荡器的振荡频率，可以改变回路中的电容 C 或电感 L 的大小，通常都是改变电容 C 来改变频率的。

二、维持振荡的条件

通过对调阳式振荡器工作原理的初步分析使我们知道，在振荡器中，激励电压通过放大电路变为输出电压，输出电压通过回授电路变为回授电压，又成为新的激励电压。当回授电压与激励电压达到大小相等、相位相同的平衡状态时，就产生了等幅振荡。

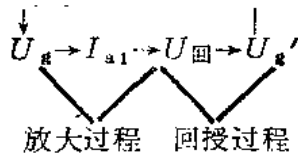
恩格斯说过：“绝对的静止、无条件的平衡是不存在的”^①。在振荡器中，回授电压与激励电压之间的平衡，也不是无条件的。

(一) 振幅平衡

振幅平衡指的是回授电压 U_g' 必须与原激励电压 U_g 大小相等（即 $U_g' = U_g$ ）。只有这样，才能补充回路的损耗，维持等幅振荡。如果回授电压 U_g' 小于原激励电压 U_g （ $U_g' < U_g$ ），振荡就衰减而不能维持。

我们先用物理概念分析在振荡器电路里振幅平衡条件如何实现。

仍以调阳式振荡器电路为例，我们可以把振荡器的整个工作过程分解成三个小过程：栅极激励电压 U_g 控制电子管工作，产生阳交流 I_{a1} ；阳交流 I_{a1} 流经回路，产生回路电压 $U_{回}$ ；回路电压 $U_{回}$ 经回授电路产生回授电压 U_g' 。用符号表示就是：



前两个过程合起来（ $U_g \rightarrow U_{回}$ ），就是放大过程，其放大程度是由电子管性能和回路数据决定的；最后一个过程（ $U_{回} \rightarrow U_g'$ ），就是回授过程，回授强弱是由回授电路参数——如回授线圈 L_g 大小、 L_g 与 L 的耦合程度——所决定的。只有当电路中的放大与回授都足够强，振幅平衡条件实现时，使得回授电压 U_g' 与原激励电压 U_g 大小相等（ $U_g' = U_g$ ）时，振荡才能维持。

如果放大与回授较弱，回授电压 U_g' 小于原激励电压 U_g （ $U_g' < U_g$ ），振荡电路就不能起振，若原先有一强振荡也会愈振愈弱，最后趋于停振，振荡器不能工作。

反之，放大与回授很强，回授电压 U_g' 大于原激励电压 U_g （ $U_g' > U_g$ ），则振荡增

^① 恩格斯：《反杜林论》，人民出版社1971年4月第1版，第59页。

长。联系图 4—2，振荡器起始振荡时，就是这种情况。

下面用数学公式进一步分析振幅平衡条件与那些因素有关。

振幅平衡就是

$$U_g' = U_g$$

在电路中，如何才能满足这一平衡条件呢？这可以从放大电路与回授电路的关系中求出答案。

因为 $U_g' = \beta U_{\text{回}}$

式中 $\beta = \frac{U_g'}{U_{\text{回}}}$ ，为回授系数

$$U_g = \frac{U_{\text{回}}}{K}$$

因此，要达到 $U_g' = U_g$

应使 $\beta U_{\text{回}} = \frac{U_{\text{回}}}{K}$

或 $K\beta = 1$

假设振荡器中放大电路的负载阻抗为 Z ，阳极基波分量为 I_{a1} ，则放大倍数为

$$K = \frac{U_{\text{回}}}{U_g} = \frac{I_{a1} Z}{U_g} = S' Z \quad (\text{式中 } S' = \frac{I_{a1}}{U_g} \text{ 为动态跨导})$$

将这关系式代入上式中便得

$$\beta S' Z = 1$$

上式说明，为了维持激励电压和回授电压大小相等，在振荡器中，回授系数、动态跨导和负载阻抗三个电路参数的乘积必须等于 1。这就是维持振荡的振幅平衡条件式。

由此可知，为满足振幅平衡条件，振荡器的电路参数值必须适当。例如，对于一定的电子管放大电路来说，动态跨导值是随工作状态而变的。当激励电压振幅很小，并工作于电子管特性曲线的直线部分时，动态跨导最大，其值为

$$S'_{\text{最大}} = \frac{I_{a1}}{U_g} \approx \frac{\mu U_g}{(r_a + Z) U_g} = \frac{\mu}{r_a + Z}$$

这时，为维持振荡，回授电路必需的最小回授系数是

$$\beta_{\text{最小}} = \frac{1}{S'_{\text{最大}} Z} \approx \frac{r_a + Z}{\mu Z}$$

即 $\beta_{\text{最小}} \approx \frac{1}{\mu} + \frac{1}{SZ}$ (S 是电子管的静态跨导)

可见，维持振荡所需要的最小 β 值与电子管参数 μ 、 S 和回路阻抗 Z 等参数有关，即与电

子管性能及回路质量有关。若电子管的 μ 、 S 及回路 Z 值愈高，则需要的 β 值就可以愈小。反之， β 值就需要愈大。

上述关系也说明了当电子管性能衰老、工作电压降低或回路 Q 值变低后，本来振荡的电路也可能不振荡的道理。

(二) 相位平衡

相位平衡指的是回授电压 U_g' 必须与原激励电压 U_g 相位相同，即正回授。如果是负回授，即 U_g' 与 U_g 反相 180° ，则回授电压 U_g' 抵消了原激励电压 U_g ，振荡不能产生。我们知道放大器的回路电压 $U_{\text{回}}$ 与栅极激励电压 U_g 同相，而阳极电压 U_a 与 $U_{\text{回}}$ 反相 180° ，即 U_a 与 U_g 反相 180° ，在振荡器中要使回授电压与原激励电压同相，就要使回授电压 U_g' 与回路电压 $U_{\text{回}}$ 同相，而与阳极电压 U_a 反相 180° 。实现这一要求靠电路联接的正确。联系图4—1调阳式振荡器电路，如果回授线圈反绕了或是接到栅极——阴极的两根连线接反了，电路变成了负回授，相位平衡条件被破坏，电路不能振荡。

三、振荡器的自建偏压

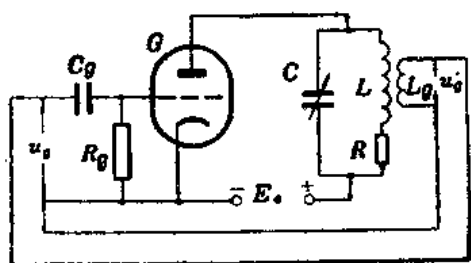
振荡器同高频功率放大器一样，也应工作于丙类，只有这样，才能高效率下输出大功率。但丙类工作时，偏压建立在断流点之后，最初微小的感应不能产生阳流，因而在电路中无法引起自激，所以从能引起自激的角度上看，偏压负值应该很小或没有偏压。对偏压值的这两种不同要求是矛盾的，毛主席教导我们：“一切矛盾都是客观存在的，我们的任务在于尽可能正确地反映它和解决它。”^①采用栅流自建偏压的办法，则可以很好地解决上述矛盾。自建偏压电路如图4—3(a)所示。

起始时，栅偏压为零，振荡能很快增长起来。随着振荡的产生和增长，产生了栅流，栅流的直流成分 I_g 。在偏压电阻 R_g 上产生压降，电压的正极接阴极，负极接到栅极，成为栅偏压。电容 C_g 为旁路栅交流用，以使栅偏压不随交流变动。振荡愈强时，栅流愈大，偏压愈负，最后使振荡器工作于丙类，实现了高效率下的大功率输出。工作波形如图4—3(b)所示。

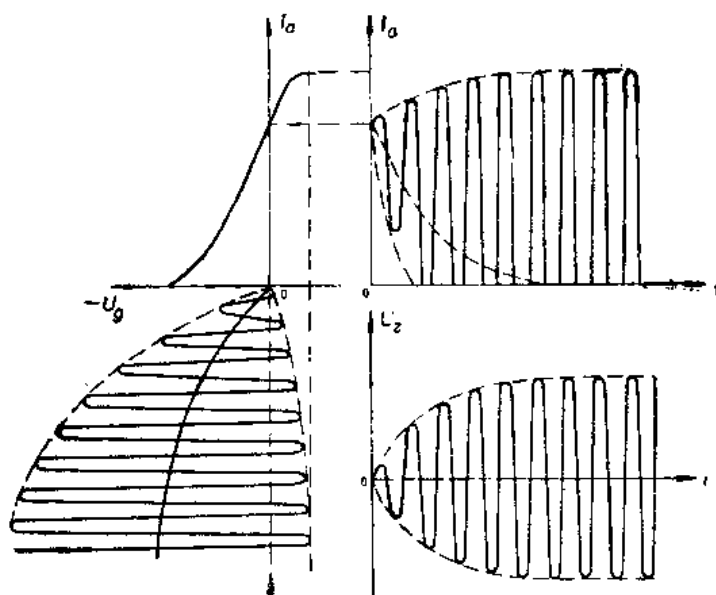
振荡器采用栅极自建偏压的另一优点是：能使振荡振幅稳定。假若由于电子管的性能变差或阳压降低时，振荡强度减弱，但这时由于栅极信号变小，偏压的负值自动地减小，抵消了电子管性能变差或阳压降低的影响，而使振荡强度降低得不多；反之，若阳压升高时，偏压的负值就自动地增大，而使振荡强度增强得不多。总之，栅极自偏压能自动地调节振荡强

① 《关于正确处理人民内部矛盾的问题》，《毛主席的五篇哲学著作》，中国人民解放军战士出版社1970年11月第1版，第311~312页。

度的变化，提高了振荡振幅的稳定性。



(a)



(b)

图 4—3 栅流自建偏压振荡器电路及工作波形

“事物都是一分为二的。”^①采用栅极自偏压也有缺点，这就是当振荡器由于某种原因停止振荡时，偏压就没有了，阳直流会猛增，有损坏电子管的危险。所以，有的振荡器在采用栅极自偏压的同时，还采用阴极自偏压，这样，即使振荡器停振，没有栅极自偏压时，仍有一定的阴极偏压，使阳流不致过大。如飞机上CT—1型超短波电台发射机的振荡器就是同时采用了上述两种偏压电路的。

为了保证栅极自偏压起到应有的作用， $C_g R_g$ 的数值必须选择恰当。常取 R_g 的电阻值

^① 《毛主席论教育革命》。中国人民解放军战士出版社1968年第1版，第77页。

为10~100千欧，偏压电阻适当选大一些可以提高振荡器的效率。 C_g 是使栅流中的交流成分旁路，因此，对交流阻抗要小，通常采用100~1000微微法的云母电容器。

四、振荡的判断

振荡器是否正常工作，是不能直接观察的。毛主席深刻指出：“一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的”^①。振荡器也同其他一切事物一样，它的运动是具有内部规律的，这种规律可从振荡器建立振荡过程的讨论中知道，振荡后的主要特征是栅极上产生了偏压和回路上产生了高频电压，因而可以从这两方面着手，通过直接或间接的测量来判断振荡器电路是否工作。

(一) 检查振荡回路两端有无交流电压

振荡器振荡时，回路两端有了高频电压。因此，检查回路两端有无交流电压，即可判断振荡器是否振荡。

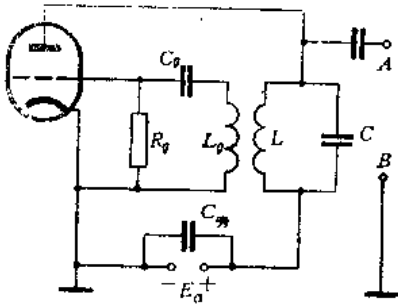


图4-4 检查输出电压以判断振荡器工作

参看图4-4，检查时，可用电子管电压表测量“*A*”“*B*”两端电压，或将“*A*”“*B*”两端电压输至示波器显示。在振荡器功率较大的情况下（如发射机中的振荡器），还可用一些简易的方法来判断，例如，将氖管放在振荡回路高电位端（如“*A*”点）或将验电环靠近振荡线圈，观察氖管或小灯泡是否发亮来判断振荡回路有无振荡电压；此外，用铅笔尖或螺刀轻轻与振荡回路元件或接点接触，看有无火花放电也可判断是否振荡，在采用这种方法时，要注意接触处有无直流高压，以防触电。

(二) 检查振荡器有无栅极电流、栅极偏压

一般振荡器都工作于有栅流状态，栅偏压电阻上有栅流自建偏压，因此检查振荡器有无栅流（直流）或偏压电阻上有无自建偏压就可以判断振荡器是否振荡，参看图4-5（*a*）。由于测量栅流时，需将电流表串接于栅路中，所以，不如测量栅极偏压方便。如果偏压电阻并联于振荡回路两端时，如图4-5（*b*）所示，测量时又并联一电压表，使得振荡回路分流太多，回路两端电压明显减小，可能回授电压 U_g' 会小于激励电压 U_g ，而使电路停振。为了减小这种影响，测量时应采用内阻大的直流电压表，并在表笔上串一高频阻流圈。

^① 《矛盾论》，《毛泽东选集》，人民出版社1967年12月横排袖珍本，第288页。

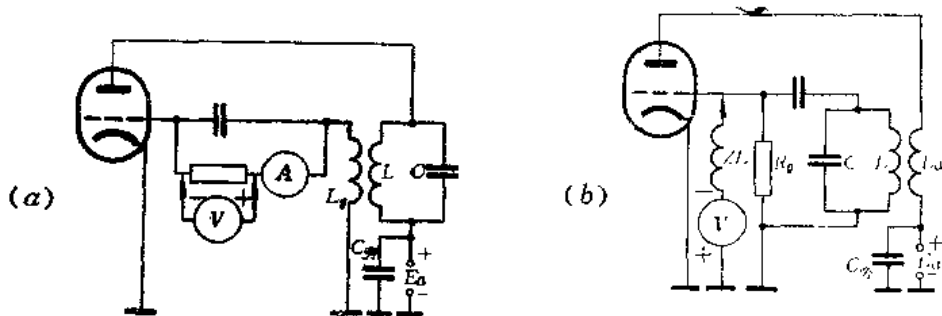


图 4—5 检查栅流、栅偏压以判断振荡器工作

(三) 检查阳极直流电流、直流电压

由于振荡器通常采用栅极自建偏压电路，振荡器工作后，有很负的栅偏压，阳极直流较小，振荡器停振后，栅偏压消失，阳直流增大。因此，可将振荡回路短路使电路停振，若阳直流增大，则表明电路原来是振荡的；若阳直流无变化，则表明电路原来就不振荡。当振荡器阳极电路中没有串直流电流表时，则可测量阳极（或屏栅极）降压电阻两端的直流电压有无变化来说明是否振荡，参看图 4—6 中直流电压表。由于振荡后直流阳流的减小，这些电阻上的降压也会随之减小，因而使直流阳压及屏栅压升高。因此，若测量出直流阳压或屏栅压升高，也可以判断振荡器已经产生了振荡。

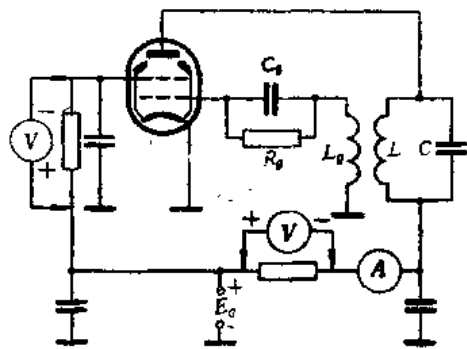


图 4—6 检查阳极直流电流、直流电压以判断振荡器工作

(四) 检查振荡器下级的栅极电流或阳极电流

由于“每一事物的运动都和它的周围其他事物互相联系着和互相影响着”^①，当振荡器下级接有放大器，我们也可以从下级放大器的工作情形来判断振荡器是否振荡。和振荡器相接的放大器一般是高频缓冲放大器，它工作于丙类，振荡器工作有输出时，该放大器栅极便有栅流，故可根据放大器有无栅流来判断振荡器是否工作。如果下级放大器是用固定栅极偏压，电子管的工作点在断流点之后，则只有当振荡器有输出、放大器栅极有输入信号时，电子管才会有阳流。所以，可以从放大器有无阳流来判断前级振荡器是否振荡。但这种方法是不很精确的，因为当下级放大器本身有故障时，也可能没有栅极电流或阳极电流。因此，

① 《矛盾论》，《毛泽东选集》，人民出版社 1967 年 11 月横排袖珍本，第 276 页。

采用这种方法时，应先保证放大器的工作是正常的。

判断振荡器是否振荡的方法很多，在实际工作中究竟采用那一种方法，需要根据具体条件和设备情况而定。例如，在接收机中的本机振荡器一般振荡功率很小，不足以使氖管发亮，栅极偏压也不易测出，所以短路回路，测量阳极降压电阻两端电压是否变化比较方便，而对大功率振荡器则用氖管显示比较方便，不宜采用停振测量，因停振时，阳流很大，容易使电子管阳极损耗过大而损坏。此外，对低频振荡器还可用耳机并联于振荡回路两端听有无声音来判断是否振荡等。

本 节 小 结

振荡器是一种能量变换器，能够在没有外加激励电压的情况下，依靠电路的自身作用产生一定振幅和一定频率的交流电。

在振荡器中，不管初始振荡多么微弱，只要电路对某一频率的振荡具有正回授，而且回授电压大于激励电压的条件，振荡就会由小到大地增长起来。

要维持振荡必须满足回授电压与激励电压之间的振幅平衡与相位平衡。

振幅平衡是， $U_g' = U_g$

在电路中要实现振幅平衡必须满足

$$K\beta = 1$$

或 $S'Z\beta = 1$

它是由电子管参数、工作电压、回路阻抗及回授强弱诸因素决定的。

相位平衡是， U_g' 与 U_g 同相，这是由电路的正确联接来实现的。

振荡频率主要由回路参数决定， $f \approx f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

振荡器多采用栅流自建偏压，它的优点是起振容易，振荡后工作于丙类效率高，此外栅流偏压对振荡强度有自动稳定作用；缺点是停振时，栅偏压等于0，阳流过大，易损坏电子管。

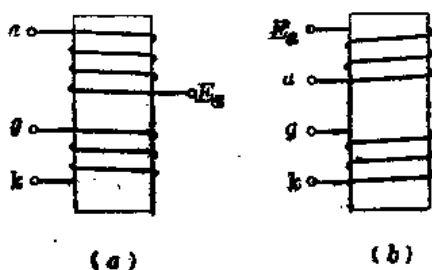
栅流自建偏压振荡器振荡时，不仅有交流输出，而且因偏压增大而使阳直流减小。所以可以从测量有无 $U_{回}$ 、有无 I_{g0} 、 E_g 和 I_{a0} 的大小等来判断电路是否振荡。

练习思考题

4—1 在只有三用表的条件下，有那些方法可以判断出WL—5型无线电罗盘接收机中本机振荡器是否振荡？

4—2 在CT—1型电台接收机中如果用一根导线将 B_{201} “4”号线与 B_{203} “4”号线联接时，为什么电路产生自激？如果 B_{201} “4”号线与 B_{202} “4”号线联接时，是否也会发生自激呢？

4—3 在调阳式振荡器中，若线圈绕向和接法如下图所示，能否振荡？



题4—3图

第二节 振荡的振幅

振荡强度（振幅）是振荡器的重要性能之一。它与那些因素有关呢？这是深入分析振荡器原理时必须解决的问题。

前已明确，振荡器电路包括放大电路与回授电路两部分，所以分析振荡强度问题时也是从放大与回授这两方面来进行。

因为振荡器通常是大信号工作，所以采用图解法来分析比较合适。

一、放大特性曲线和回授线

（一）放大特性曲线

放大特性曲线是振荡电路中栅极激励电压与阳极回路电压之间的关系曲线。这种关系是由决定放大性能的电子管特性、各极工作电压及负载阻抗等因素所决定。这些因素中任一因素的变化，都要影响到放大特性的变化，因而曲线的形状也有所变化。

现在我们以图 4—3 所示常见的栅流自建偏压振荡器为例来分析放大特性曲线。

联系图 4—3 (b) 波形可知，当 U_g 由零逐渐增大时， I_{a1} 逐渐增大，所以阳极回路的电压 $U_{\text{回}}$ 也逐渐增大。起始时， U_g 较弱，工作于电子管特性的直线段大 S 区，动态跨导 S'

很大，阳流变化明显，所以回路电压 $U_{\text{回}}$ 随 U_g 很快的增大，放大特性曲线较陡。

当 U_g 增到相当大时，电子管的动态跨导 S' 减小，阳流变化较缓慢，所以回路电压 $U_{\text{回}}$ 增长也缓慢，放大特性曲线较平坦。

当 U_g 增到很大时，由于自建偏压的原因，放大电路工作于丙类， $\theta < 90^\circ$ ；再加之工作于过压状态，阳流脉冲出现了下凹，使得 I_{a1} 反要减小些， $U_{\text{回}}$ 也要减小些，放大特性曲线下弯。

将上述 U_g 控制 $U_{\text{回}}$ 的关系绘制于图 4—7 所示，图 4—7 即为振荡器的放大特性曲线。

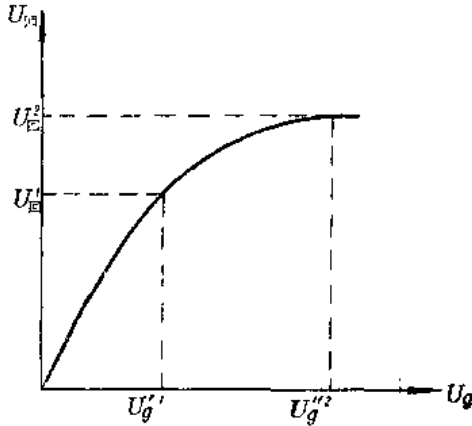


图 4—7 振荡器的放大特性曲线

由于电子管特性曲线的非直线性，所以放大特性曲线也不是一条直线。放大特性曲线的最大点，相应于临界状态。放大特性曲线与放大器中图 3—99(a) 曲线相近似，不同的前者反映 $U_{\text{回}}-U_g$ 关系，后者反映 $I_{a1}-U_g$ 关系，两曲线最大区别是前者从 U_g 为零开始，后者必须 U_g 大到一定值时曲线才上升，这是因为振荡器是栅流自建偏压， U_g 很小时，照样产生小的 I_{a1} 和 $U_{\text{回}}$ ，而高功放加有很负的固定偏压，工作于丙类，小的 U_g 不能产生阳流。

(二) 回授线

回授线是反映振荡器中阳极回路电压引起的栅极回授电压的关系曲线。

有一定的回路电压 $U_{\text{回}}$ 后，经回授电路的作用，就有一定的回授电压 U_g' ， $U_{\text{回}}$ 愈大， U_g' 也愈大，但两者的比例关系 β 是不变的，

$$U_g' = \beta U_{\text{回}}$$

所以，回授线是一条通过零点的斜直线。

回授系数 β 愈大时，同一 $U_{\text{回}}$ 产生的 U_g' 愈大，反映出曲线愈平坦，如图 4—8 所示。

放大特性曲线与回授线的座标一样；都是纵座标为回路电压 $U_{\text{回}}$ ，横座标为栅极电压 U_g (或 U_g')，但是两曲线的意义是完全不同的，放大特性曲线是反映栅压 U_g 对回路电压 $U_{\text{回}}$ 的控制作用，先有栅压 U_g ，后有回路电压 $U_{\text{回}}$ ；而回授线则是反映回路电压 $U_{\text{回}}$ 对回

授电压 U_g' 的控制作用，先有回路电压 $U_{回}$ ，后有回授电压 U_g' 。

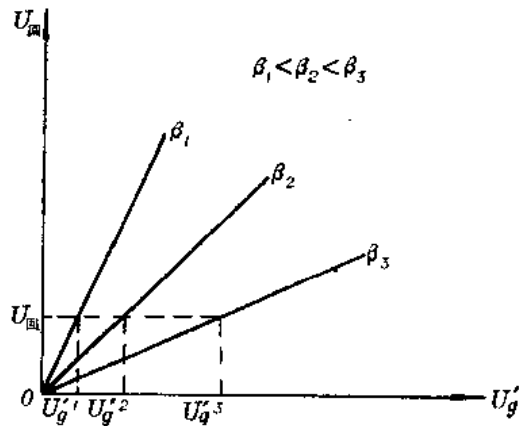


图 4—8 振荡器的回授线

二、振荡幅度的建立过程和幅度的确定

有了放大特性和回授两种曲线后，把它们画在同一个座标内，如图 4—9 所示，便可很方便的求得振荡的建立过程并确定振荡强度。

起始瞬间，振荡器工作于零点。由于某种因素使栅极有一微小电压 U_g^1 ， U_g^1 经电路放大作用在阳极回路上产生一微小压降 $U_{回}^1$ （由放大特性曲线所决定）， $U_{回}^1$ 经电路回授在栅极上产生一回授电压 $U_g'^1$ （由回授线所决定）， $U_g'^1 > U_g^1$ ， $U_g'^1$ 再经放大后产生了新的 $U_{回}^2$ ， $U_{回}^2 > U_{回}^1$ ，……如此不断增长，最后到达 P 点。在 P 点处， U_g^P 产生 $U_{回}^P$ ， $U_{回}^P$ 产生 $U_g'^P$ ，而 $U_g'^P = U_g^P$ ，故 P 点为平衡点，满足了振幅平衡的要求，振荡器就工作于 P 点。上述增长过程见图 4—9。

P 点不仅是平衡点，而且还是稳定平衡点。假若有某一因素突然使 $U_{回}$ 增大到了 $U_{回}^3$ ，从回授线可知 $U_{回}^3$ 产生了 $U_g'^3$ ，又从放大曲线可知 $U_g'^3$ 产生了 $U_{回}^4$ ， $U_{回}^4 < U_{回}^3$ ， $U_g'^4 < U_g'^3$ ，……不断减小，最后仍回

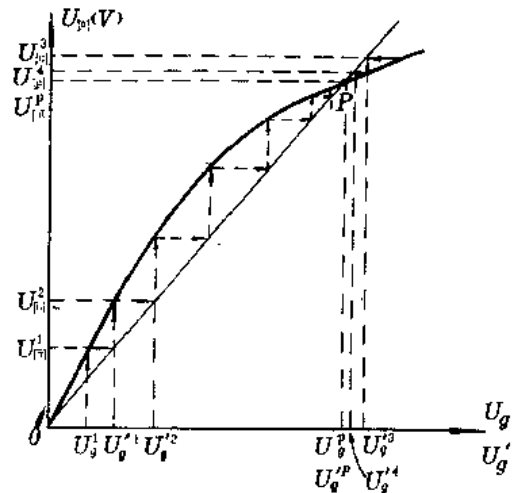


图 4—9 振荡的建立过程和振幅确定

到 P 点，所以 P 点是稳定平衡点。

P 点之所以是稳定平衡点，在于电子管的非线性决定了放大特性曲线是一条弯曲线，先较陡，后较平。所以，电子管特性的非线性是振荡器能增长起振而后又趋于稳定平衡的根本原因，这同第一节波形分析的结果完全一致。

从曲线上看，稳定平衡的条件是，在平衡点处，放大特性曲线较平而回授线较陡，写成公式是

$$\frac{\Delta U_{\text{回}}}{\Delta U_g} < \frac{\Delta U_{\text{回}}}{\Delta U_g'}$$

以后，我们可以用这一关系来确定那些点是稳定的，那些点是不稳定的。

例如，图 4—9，在 0 点处，虽然也满足 $U_g' = U_g = 0$ ，是平衡点，但是 0 点处放大特性曲线较陡，而回授线相对较平，

$$\frac{\Delta U_{\text{回}}}{\Delta U_g} > \frac{\Delta U_{\text{回}}}{\Delta U_g'}$$

很明显，不符合稳定条件，所以，电路的工作不能稳定在 0 点，而是逐渐增长到 P 点。

三、振荡器电路参数改变对振荡振幅的影响

(一) 回授系数改变对振荡振幅的影响

回授系数 β 改变，使得同一 $U_{\text{回}}$ 条件下，回授电压 U_g' 改变，反映出回授线的斜度不同。但因放大电路参数未变，故放大特性曲线不变。

由图 4—10(a) 可见，不同的回授系数，相对应的不同回授线，就有不同的稳定平衡

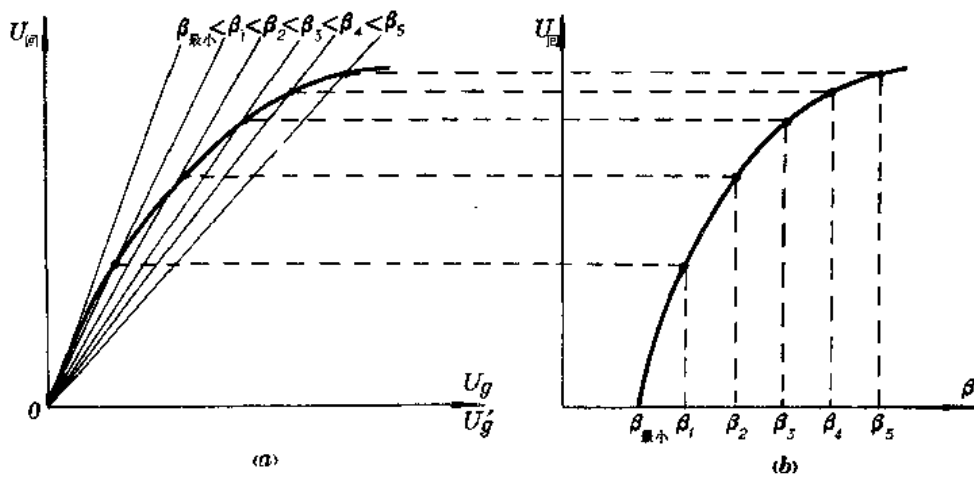


图 4—10 回授系数改变对振荡振幅的影响