

无綫电发射設備

上 册

陈 行 編

內 部 資 料

北 京 科 学 教 育 出 版 社

1 9 6 1 . 6

目 录

前 言

第一篇 无线电发射设备的基本理论

第一章 绪 论

§ 1—1 基本定义	1
§ 1—2 无线电发射设备发展简史	1
§ 1—3 我国无线电技术的发展	4
§ 1—4 对发射设备的要求	4
1. 电方面的要求	
2. 结构方面的要求	
3. 使用方面的要求	

第二章 电子管发生器的理论基础

§ 2—1 发生器的基本概念及工作原理	7
§ 2—2 准直线性原理	8
§ 2—3 电子管静特性曲线及其解析式	10
1. 三极管	
2. 集射四极管与抑制栅极电压为零 ($e_{g3}=0$) 的五极管	
3. 抑制栅极电压为 e_{g3} 的五极管	

第三章 电子管他激发生器的理论与计算

§ 3—1 工作状态分类	16
§ 3—2 欠压状态下的动特性曲线与阳极电流脉冲波形	18
1. 动特性曲线	
2. 阳极电流的尖顶脉冲及其分解系数	
3. 阳极电流的平顶脉冲及其分解系数	
§ 3—3 关于选择发生器工作状态的一些应考虑的问题	24
§ 3—4 欠压状态发生器与临界状态发生器的计算	
1. 计算发生器的原始数据	
2. 发生器的控制栅极电路	
3. 电子管发生器的计算步骤	
4. 发生器在阳极电流为平顶脉冲时的工作	
§ 3—5 各种电子管的比较	
§ 3—6 过压状态下的动特性曲线与总电流、栅极电流和阳极电流的脉	

1. 栅极电流的动态特性曲线	
2. 过压状态的总电流脉冲和栅极电流脉冲	
§ 3—7 过压状态发生器的计算	42
1. 计算发生器的原始数据	
2. 电子管发生器的计算步骤	
§ 3—8 谐振发生器的负载特性	43
§ 3—9 工作状态对于电源电压的依从关系	46
1. 工作状态对于阳极电压 E_a 的依从关系	
2. 工作状态对于栅极电压 E_g 的依从关系	
§ 3—10 失谐发生器	48
1. 失谐发生器电流电压的相位关系	
2. 发生器的等效电路	
3. 调谐特性	

第四章 他激发生器的主要线路

§ 4—1 他激发生器的主要线路	52
1. 阳极线路	
2. 控制栅极线路	
3. 第二栅极与第三栅极线路	
4. 灯丝线路	
§ 4—2 发生器的高频零件	56
1. 对回路电容及电感线圈的要求	
2. 对隔流元件的要求	
§ 4—3 发生器的并联线路与串联线路	58
1. 发生器的并联运用	
2. 发生器的串联(推挽)运用	
§ 4—4 发生器的输出线路	53
1. 简单输出线路	
2. 复合输出线路	
3. 两种输出线路的比较	
§ 4—5 发射机的中间级	70
§ 4—6 倍频器	70
1. 二倍频	
2. 三倍频	
—7 极间电容对发生器工作的影响, 中和, 共栅极发生器	74
极间电容对发生器工作的影响	
中和电路	
共栅极(栅极接地)他激发生器线路	

激原理

电子管 及 自激振荡器(发生器)维持振荡的条件	78
------------------------------------	----

§ 5—2	平衡条件	79
§ 5—3	振幅稳定条件	82
§ 5—4	振荡器的软自激和硬自激	85
§ 5—5	振荡相位(频率)的稳定	91
§ 5—6	频率拖曳效应和振荡器的振荡型式	94

第六章 稳频原理

§ 6—1	稳频标准	100
§ 6—2	电子管振荡器(发生器)频率变化的物理过程	100
§ 6—3	迴路的标准性	105
§ 6—4	φ_{ks} 变化的主要原因	109
§ 6—5	促使频率不稳的因素及稳定频率的方法	112
1.	零件的机械变形	
2.	温度的影响	
3.	电源电压不稳定的影响	
4.	负载不稳定的影响	
5.	湿度和大气压力变化的影响	
6.	外界物体对电磁场的影响	

第七章 自激振荡器的线路

§ 7—1	自激振荡器的分类	114
§ 7—2	设计自激振荡器的一般原则	115
1.	选定振荡器的工作状态	
2.	计算振荡器回路的原则	
§ 7—3	自耦变压器式振荡器	117
1.	基本计算公式	
2.	振荡器的计算步骤	
3.	数字实例	
4.	自耦变压器式振荡器的实际线路	
§ 7—4	电容回授式振荡器	124
1.	基本计算公式	
2.	数字实例	
3.	电容回授式振荡器的实际线路	
§ 7—5	变压器式振荡器	129
1.	基本计算公式	
2.	数字实例	
3.	变压器式振荡器的实际线路	
§ 7—6	双回路振荡器线路	131
1.	由电子管极间电容耦合的双回路振荡器	
2.	电子耦合双回路振荡器线路(谢别尔线路)	

第八章 石英振荡器

§ 8—1 石英的物理性质	137
§ 8—2 石英的等效电路	138
§ 8—3 石英振荡器的线路	139

第九章 调 幅

§ 9—1 调幅的一般知识	142
§ 9—2 栅偏压调幅	144
1. 原理图与调制特性	
2. 栅偏压调制时对发生器工作状态的选择	
3. 栅偏压调制时发生器的功率和效率	
4. 调制器的功率	
5. 栅偏压调制线路	
§ 9—3 阳极调幅	150
1. 阳极调幅的原理图	
2. 受调发生器工作状态的选择	
3. 阳极调制时发生器的功率与效率	
4. 调制器的负载及其输出功率	
5. 阳极调制线路	
§ 9—4 已调振荡的放大	156
§ 9—5 多栅管调幅	159
1. 四极管调幅	
2. 五极管调幅	
§ 9—6 自动阳极调制	162
§ 9—7 振幅键控	163

第十章 调 频

§ 10—1 概 述	165
§ 10—2 间接调频法	165
§ 10—3 直接调频法	171
1. 电抗管的基本线路	
2. 对电抗管的主要要求	
3. 调制特性及电抗管工作状态的选择	
4. 频移	
5. 频移在波段中的恒定性	
6. 寄生调幅	
7. 直接调频的线路	
§ 10—4 调频发射机的自动频率控制 (自动频率微调)	181
§ 10—5 脉冲调频	183

§ 10—6 頻率鍵控.....	185
------------------	-----

第十一章 特种发射机

§ 11—1 概 述.....	187
§ 11—2 单边带发射机.....	187
§ 11—3 脉冲调制发射机.....	190
1. 脉冲调制的基本形式	
2. 脉冲振幅调制及其特点	
3. 脉冲宽度调制及其特点	
4. 脉冲相位调制	
5. 脉冲编码调制	
§ 11—4 多路通信发射机.....	199
1. 多路传输的基本概念	
2. 频率划分的多路通信	
3. 以时间划分的多路通信	
4. 多路无线电路的制式	

附录1. 发生器电子管的主要参数:

附录2. A.N. 貝尔格表:

附录3. 貝塞尔函数:

附录4. 余弦表:

第一章 緒 論

§ 1—1 基本定义

任何無線电发射設備中，发生着三个基本的物理过程：高频振盪的发生，控制这些振盪来发送信号，以及借無線設備来发射振盪。將直流或者低頻的交流电能轉变成高频振盪的电能叫做“发生”。依照发送信号来变动高频振盪的参数之一（例如：幅度，頻率，相位）叫做振盪的控制或調制。用于发送电报符号的調制叫做操縱。

图 1—1 示出無線电发射設備的方框图。图中 Π 表示供应电源。在现代固定发射机中，往往采用整流器作为电源。在移动发射机中则采用直流电机、蓄电池、干电池或其他电源。高频发生器 Γ 以天綫回路作負載。振盪的控制则借助于一种称为調制器或操縱器的特殊設備 M 来进行。

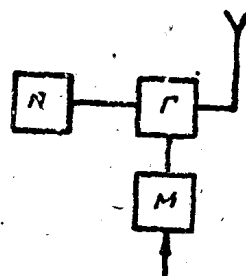


图 1—1 無線电发射設備的方框图

本課程內所要研究的对象是高频振盪的发生、放大和調制。供应电源及天綫是另一些專門課程的問題，因此不在本課程討論。

§ 1—2 無線电发射設備发展簡史

十九世紀末頁，有綫通信技术已有相当的发展与使用，但是随着生产的发展和生产活动范围的扩大，只有有綫通信已不能适应当时生产力进一步发展的要求。1895年，俄罗斯科学家 A. C. 波波夫发明無線电，这絕不是偶然的。

無線电的发明，带来了人类生产实践的重大变改，开辟了人类进入無線电时代的新紀元。

無線电发射技术是無線技术中的一个方面，它的发展过程，也正如毛主席所說的，“一步一步地由低級到高級发展，即由浅入深，由片面到更全面”发展的过程。

图 1—2 示出波波夫的火花式发射机的綫路，图中 K 为电鍵， 3 为断續器， K_p 为感应綫圈， $\Pi\Pi$ 为火花隙。这种发射机的工作原理是这样的：当电鍵 K 按下时，产生时断时續的

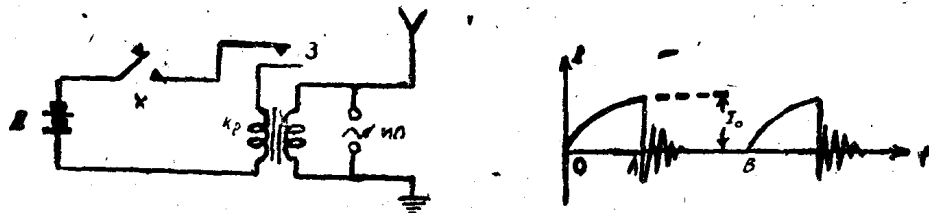


图 1—2 波波夫的火花式发射机的綫路及其产生的阻尼振盪波形

电流，感应线圈次级产生高电压的脉冲。天线被每一个脉冲充电，直至次级线圈上的电压达到火花隙击穿放电为止。火花隙的击穿使次级线圈短路，使天线回路激起高频的阻尼振荡，此种过程将按照火花隙的击穿频率而重复看，直到电键断开为止。

由于火花式发射机发生阻尼振荡，所占的频带极宽，因此造成电台之间的严重干扰。其次，这类发射机的功率提高也受到很大的限制，因为功率决定于电容所蓄的能量， $P = \frac{1}{2} CU^2u$ （C为天线的电容，U为充电电压，u为火花放电频率），所以提高功率就必须增大天线电容和电压，这使得设备庞大不堪。很明显，对于这种非等幅振荡也难以进行电话调制。

由于阻尼振荡带来了严重干扰，所以火花式发射机目前是国际禁用的，但是，当船只遇难时，利用这种发射机来发送求救信号则是被允许的。

火花式发射机的严重缺点，于是使人们开始探求别的办法来产生高频电流。第二种发射机——电弧式发射机——就是在这样的情况下在1912年出现的。

图1—3是电弧式发射机的原理图和电弧的伏安特性。电弧是一个受电流控制的非直线性电阻。在伏安特性的下降部分之内，电弧对交流来说是一个负阻。指定一个起始电流，再把一个足够大的电阻和电弧串联，就可以在这一段特性曲线上确定一个工作点。为要激起振荡，就必须按照图1—3的办法把电弧串联到一个振荡回路中去。如回路损耗电阻小于电弧对小振幅交流在曲线下降部分的电阻，那么不论回路中产生的振荡如何微小（例如电子热骚

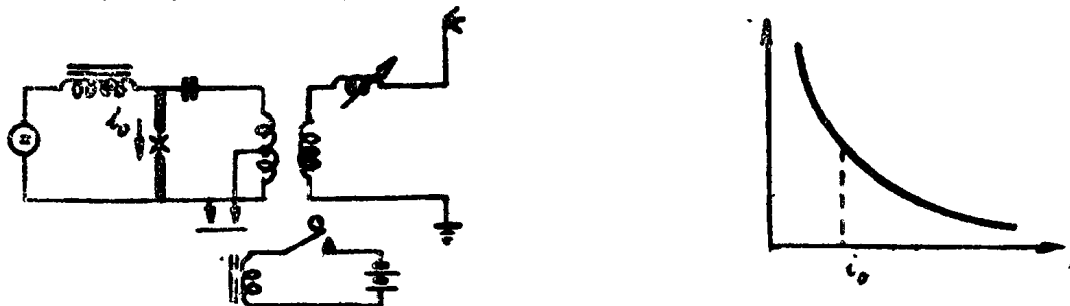


图1—3 电弧式发生器的原理图和它的伏安特性

动所产生的小振荡），它都会不断增大，一直增加到电弧伏安特性上的平均负阻等于回路电阻的时候。电弧发射机中的扼流圈是用来防止高频电流流到电源中去的。

电弧式发射机在启动时，只靠接通电源是不够的，还必须使电极移近，使之燃起电弧。因此，要想在供电电路中串接一个电键来进行键控是不行的。所以在图1—3中可以看到，电弧式发射机是借一部分回路电感的短路（使振荡频率改变）来完成键控的。

由于电弧式发射机发生的是等幅振荡，所以借助于接在天线回路里的话筒，可以达到无线电话通讯的目的。话筒电阻随语言或其它音响的变化引起了天线电流幅度的变化，这样就获得了调幅。但是在当时的技术条件下，要获得深度的调幅是不可能的。

电弧式发射机的缺点是：由于电弧的惰性，不可能得到波长短于1000米的振荡；同时，由于采用改变频率的办法来发送电报信号，也造成了对邻近电台的干扰。

在二十世纪初，人们还曾设计制造过高频发电机，并用来作无线电通信。高频发电机与工业频率的发电机不同，为了获得高频，所以电机的磁极对数很多，周速很高。

高频发电机的优点是在于：频率比较稳定，效率也较高，没有谐波和寄生振荡。但是它也有着不少缺点，这就是：造价较贵，维护比较复杂，而且，由于转子角速度不能无限制提高的原因，它只能工作于窄波范围。

上述三种发射机都不能完善地解决无线电通信的任务。电弧式发射机和高频电机只能使

用在長波範圍，火花式發射機雖可工作于中波甚至短波範圍，但是它不能保證必需的功率。這些發射機都無法使用簡便的方法來進行調制，這就阻礙了無線電和無線電廣播的發展。

在1912—1918年間，無線電工程中開始使用電子管，揭開了無線電技術史中新的一頁。

電子管發射機歸結起來有以下一些主要優點：（1）效率高；（2）實施調制和變控都很靈便；（3）可以產生高達上百兆赫的高頻電流。因此電子管發射機就在很短的時間內排斥了其他型式的發射機。

最初的電子管發射機用單級工作的線路，它的缺點是在於振蕩頻率決定於天線回路的參數。天線參數的變化帶來了振蕩頻率的變化，因此發射機的頻率穩定度是不高的。同時，由於電台數目的增多，頻率不穩定，帶來電台之間的干擾。為了克服這一缺點，發射機開始使用主振放大式的二級線路，以後又發展到使用多級線路。石英振蕩器的使用，使發射機的頻率穩定度有了更進一步的提高。現代廣播發射機全都採用石英主振的多級線路。

最初的電子管發射機是工作于長、中波段的。當人們掌握了電離層對短波的反射現象以後，為適應更遠距離的通信和廣播，使發射機的使用擴展至短波波段。

電話發射機最初採用幅度調制，到30年代中期，人們在實踐中掌握了頻率調制的理論。在傳送調頻信號時，接收機內可以借限幅線路來抑制嘈聲，從而可以提高通信的質量。但是調頻信號所占的頻帶要比調幅時來得寬，這樣，發射機的工作波段又進一步擴展至米波範圍。米波波段占有很寬的頻帶，調頻信號的通帶雖寬，但不致造成電台間的相互干擾。另一情況促成這個因素是，米波發射機的有效工作半徑不超過地球上的視線區域。在此區域外，可以讓其他無線電台工作于同一波長。

電視廣播需要以兆赫計的極寬的頻帶，因此電視發射機也工作于米波範圍。

隨著人們對於高頻領域的探索與掌握，目前無線電通信已擴展至分米波和厘米波的範圍。現在中繼無線電通信工作在这些波段，它具有一系列的收發信台，採用定向天線按裝在直視範圍內，以“接力”的型式來傳送信號，達到遠距離通信的目的。由於在分米波和厘米波段有極寬的頻帶和沒有外來干擾，所以中繼通信于線可以保證許多個電話、電報、乃至電視的波道，並有高質量的傳輸。

隨著無線電技術的發展，它的服務對象已早越出了通信、廣播的領域。由於無線電設備使用範圍的擴大，許多方面向它提出更多更複雜的要求，從而促使無線電技術更迅速地向更高的方向發展。雷達技術的發展，就是其中最明顯的例子之一。

在第二次世界大戰的年代里，雷達技術得到極大的發展。雷達站是利用無線電波來發現目標的技術設備。為了要精確決定目標的座標，在頗大的程度上依賴於天線方向圖形的尖銳性。為了保證以不大的天線來獲得尖銳的波束，這就決定了雷達必須工作于極短的波長範圍。目前雷達站主要工作于米波、分米波和厘米波波段，有的甚至工作于毫米波段。

分米波以下的各波段中，使用適用於長波、短波、甚至米波的電子管是不合適的，其原因是由於電子的惰性，因為電子在管內的渡越時間與振蕩周期相比已到可以較量的程度了。因此，採用不同於一般電子管工作原理的新的電子器件的研究就成為雷達發射技術發展的前提。二十年來，在這一問題上已得到了相當的結果。磁控管、速調管、行波管和其他電子器件的發明和使用，保證了雷達發射技術的發展。

隨著飛行武器速度的不斷提高，提高雷達站探測目標的作用距離具有非常重要的戰術意義。而雷達站作用距離的提高，帶來了提高雷達發射機功率的迫切要求。目前，在這一問題

上已取得了可觀的成就。在第二次世界大戰末期，最大的脈沖發射功率不超過3兆瓦，而目前已比那時已提高了一個數量級，達到數十兆瓦。

為了對抗敵人對雷達的干擾，要求雷達發射機能夠迅速地變換工作頻率。在這方面目前也已取得了一定的成就。

在無線電發射技術的發展過程中，第一個社會主義國家蘇聯的科學技術界建立了卓越的功勳。蘇聯科學技術的迅速發展，已把資本主義國家遠遠拋在後面。這充分說明了社會主義制度的優越性。

§ 1—3 我國無線電技術的發展

與其他科學技術部門一樣，在舊中國，由於帝國主義的掠奪與國民黨反動統治窒息科學技術的結果，使我國無線電技術長期處於極端落後的狀態。那時，郵電通信和廣播很不發達，只有為數很少、電力不足、僅能供反動政府裝璜用的無線電台和廣播台。那時，全國沒有一所自己製造無線電設備的工廠，沒有一個無線電技術的研究機構。

在新中國成立以後，黨和政府十分重視和關懷無線電電子學事業的發展。在1956年制訂的我國科學技術發展的十二年遠景規劃中，對無線電電子學的發展方向、研究計劃、研究機構的設置、工業生產、幹部培養等各方面作了具體的安排。

現在，我國已設置了有關無線電電子學的各种研究機構，在許多高等院校中也已設置了有關現代無線電技術的各类專業，所以無論在科學研究上或者是人材培養上都已取得了極大的成就。在工業方面，我國已建立了完整的無線電工業體系，僅是在第一個五年計劃內，我國無線電工業產值就增加了六倍多。

1958年，中國共產黨八屆二中全會召開以後，黨的“鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社會主義”的總路綫鼓舞了全國人民，掀起了我國社會主義建設的全面大躍進，同時也進一步促進了我國無線電技術的發展。

大躍進的第一年，全國無線電工業產值比1957年增加了二點六倍，超過了第一個五年計劃五年產值的總和。在北京舉行的第一屆全國工業交通展覽會充分表達了我國無線電技術高速度發展的形勢。

在無線電發射技術上我國已能成套地生產功率達100千瓦以上的大型廣播發射機。多路微波通信設備和單邊帶發射機等許多比較複雜的設備都已設計生產了。

現在，全國已有4個城市建立了完全由自己設計製造的電視台，調頻廣播台也已建立。

我國已能批生產功率達100瓦的巨型水冷發射管。磁控管、速調管、行波管等超高频電子器件都已開始製造。

這一切說明了我國無線電技術在中國共產黨的領導下，發展的速度是空前的，取得的成績是巨大的。黨對科學技術的正確領導，充分地發揮了社會主義制度的優越性。這是我國科學技術的發展和今後將繼續迅速發展的根本保證。

§ 1—4 對發射設備的要求

對發射設備的要求視其用途而定，這些要求是：

1. 電氣性能方面的要求

在電氣性能方面的主要要求有：波段、發射功率，效率、頻率穩定度和調制質量等五個方面。

(1) 波段 无线电发射机的波段常作如下划分:

长波 波长大于3000米;

中波 200~3000米;

中短波 50~200米

短波 10~50米

超短波 波长短于10米。

在超短波波段中又进一步划分为以下几个波段:

米波 10~1米 (30~300兆赫);

分米波 100~10厘米 (300~3,000兆赫);

厘米波 10~1厘米 (3,000~30,000兆赫);

毫米波 1厘米以下 (30,000兆赫以上)。

发射机的波段是按其用途来确定的。调幅广播发射机工作于长波、中波及短波范围。用于天线通信的发射机工作于中短波及短波波段。电视和调频广播发射机工作于超短波波段。

供航空与航海定向用的导航电台一般工作于长、中波波段,因为在这些波段内比较容易保证应有的方向精确度。供飞机仪表着陆的发射机工作于超短波范围,因为只有在这个波段内才能用小尺寸的天线获得方向性甚强的发射;同时,小尺寸的天线也比较容易保证飞机的空气动力学性能。

雷达发射机工作于超短波波段。

(2) 发射机功率 无线电通信和雷达探测目标的有效距离及其可靠性,主要决定于发射机的功率。发射机的功率本应理解为天线辐射的功率,因为它决定电台的作用距离。但是,天线辐射功率不但与发射机有关,而且与天线的类型也有关系。故为明确起见,一般都把发射机输入天线的功率称为发射机的功率。

(3) 效率 所谓效率是指发射机输入天线的功率 P_{ANT} 与全部输入功率 $P_{\text{ПОТР}}$ 之比

$$\eta = \frac{P_{\text{ANT}}}{P_{\text{ПОТР}}}$$

提高效率有着两方面的意义:一方面,提高效率可以降低电能的耗费;另一方面,提高了效率就可以减轻电源的重量和缩小它的体积。所以效率是一个重要的经济技术指标。

(4) 频率稳定度 抗干扰性是一切无线电信道的主要质量指标之一,而抗干扰性与发射机的频率稳定度有很大的关系。

若发射机的频率稳定度不高,它所占的频带就比信号本身的频带宽得多,这样接收机就需要较宽的通频带,这就带来了整个无线电信道抗干扰性能的降低,影响工作的可靠性。

现代无线电广播发射机要求频率的绝对稳定度不超过20赫。

对于普通雷达发射机的频率稳定度一般不提出严格的要求,因为接收机与发射机常常放在一起,并且接收机中还有自动频率微调的设备。但应指出,对于动目标显示雷达站的发射机,则对频率稳定度有较高的要求。

(5) 调制的质量 对于无线电电话发射机来说,调制的质量主要反映在:最大调制系数、非线性失真的大小和频率特性的好坏各方面。

对于脉冲雷达发射机来说,调制的质量主要反映在脉冲波形的好坏,因为只有有良好的调制波形的情况下,发射机的稳定工作才有保障。

2. 结构方面的要求

对于发射机结构方面的要求主要有这样几个方面：（1）体积与重量，这对空用及其他移动发射机有特别重要的意义；（2）防止震动与冲击的性能；（3）重要另件的环境适应能力（元件参数不随温度、压力、湿度等等变化的程度）；（4）调谐机构的连续可调等等。

3. 使用方面的要求

对发射机使用方面的主要要求决定于：（1）控制系统，即发射机启动条件和时间、改变波长的手续、替换电子管所需的时间等；（2）测试仪表的数目；（3）安全与信号设备，它应保证工作人员的绝对安全；（4）检修维护的方便与否。

第二章 电子管发生器的理论基础

§ 2—1 发生器的基本概念及工作原理:

变直流电能为交流电能的电子管转换器称为电子管发生器。

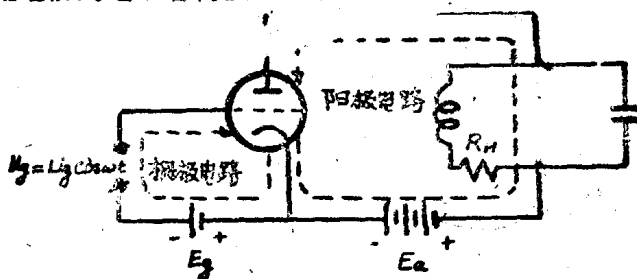


图 2—1 电子管他激发生器的原理图

图 2—1 便是他激发生器（放大器）的原理图。发生器有两个主要电路，这就是阳极电路和栅极电路。电子管、调谐振荡回路和电源是它的主要部分。振荡回路之内串接一个电阻 R_H ，它即是发生器的负载，因为它在这里吸收交流能量。

发生器之所以能够变直流电能为交流电能，乃是由于电子管的作用。电子管具有下列优良的特性：改变控制栅极之电压就能改变阳极电流，同时栅极电路只消耗小量能量，甚至根本不消耗能量。

这是因为利用栅偏压 E_g 就可以使栅极电压始终处于某一负值，这时栅极将不会有电流产生，因而栅极电路并不消耗能量。

但是只有在电子由阴极到阳极的渡越时间还不能和振荡周期相比的时候，也就是说波长还不是很短（在 10 米以上）的时候，上面这个说法才是正确的。在米波波段内尤其是分米波波段之内即使控制栅极的电压为负，栅极也会有交流电流出现，这就使得栅极电路有了能量损耗。由于这样一个情况，所以很难利用普通的电子管来产生厘米波振荡。

如上所述，电子管的特性就是无须在栅极电路中耗费大量能量就可以控制它的阳极电流，这就形成了它的放大性能。假如在电子管的控制栅极上加一个交流电压（图 2—1），那么在一般情况下，它的阳极电路之内就会有波形复杂的电流流通。

这个电流 i_a 包含一个直流分量、一个一次谐波电流和许多高次谐波电流，

$$i_a = I_{a0} + I_{a1} \cos \omega t + I_{a2} \cos 2\omega t + \dots$$

一次谐波在回路中产生之功率

$$P = \frac{1}{2} I_{a1} U_f \quad (2.1)$$

电子管的阳极电压与电压 U_f 大小相等方向相反，记作 U_a ，式中 U_f 是一次谐波电流在回路上造成的电压。

$$U_a = -U_f$$

假如回路失谐，一次谐波电流所产生的功率就等于

$$P = \frac{1}{2} I_{a1} U_f \cos \varphi \quad (2.2)$$

式中 φ_0 是电压与电流之间的相角。

现在有一个问题即振荡回路接在阳极电路之内，其中产生交流功率，那么这个功率究竟是由什么能源供给的？

把能量输送到阳极电路去的唯一能源便是直流电源 E_a ，它供给的功率是

$$P_0 = I_{a0} E_a \quad (2.3)$$

式中 I_{a0} 是阳极电流的直流分量

所以，在这种情况下就有直流电能转变为交流电能，而上面讲的线路就是一个交流电流发生器。

发生器的振荡回路同时执行两重职能：（1）滤除高次谐波（2）使发生器的电阻 $R_{\Sigma r}$ 和它的负载电阻 R_H 匹配。

现在来解释发生器振荡回路的基本职能。

调到谐振的振荡回路只是对基波电流 I_{a1} 来说才呈现一个大的电阻 R_Σ ，只有基波电流才能在回路上形成一个大的电压 U_f 。

$$U_f = I_{a1} R_\Sigma$$

这个电压造成一个大的回路电流 I_k

$$I_k = \frac{U_f}{\omega L}$$

回路电流在负载上产生一个功率

$$P = \frac{1}{2} I_k^2 R_H$$

回路对于高次谐波失谐，所以高次谐波电流只能在回路上造成一个小电压，因而实际上并不在负载上产生功率。

由此可见，不论阳极电流的波形如何复杂，实际上能够在发生器负载上产生功率的却只有基波电流，振荡回路的滤波作用就在于此。

以下再讨论发生器的负载 $R_{\Sigma r}$ 何以必须和负载电阻 R_H 匹配。

只有在电子管发生器阳极回路的等效电阻 R_Σ （也就是电子管阳极和阴极之间的电阻）等于由电子管类型所完全决定的一定数值时，发生器才会以高效率供给足够大的有效功率。这个电阻的数值 $R_{\Sigma r}$ 就是发生器的最佳电阻，为简便起见，以下就把它称作发生器的电阻，以便和内阻 R_i' 区别。

高频功率应当送入负载，但是负载电阻 R_H 一般都远小于发生器所需的电阻 $R_{\Sigma r}$ ，因此要用振荡回路来使这两个电阻互相匹配，从这一点来看振荡回路又是一个阻抗变换设备。

发生器的栅极电路（图2—1）有两个电压，一是直流电压 E_g ，一是交流电压 $u_g = U_g \cos \omega t$ 。

直流电压 E_g 是用来在电子管特性曲线上决定工作点的，它叫做偏压。交流电压 u_g 是用以激励发生器的，因此叫做激励电压。

§ 2—2 准直线性原理：

发生器的主要指标就是有效功率 P 及效率 η 。

研究电子管发生器的主要任务就是要决定 P 和 η 与各极电压以及回路参数和电子管参数的关系。此外，还必须在这几个数量之间找出一个最有利的关系，以便保证发生器以高效率

产生最大的有效功率。

假如阳极电流的波形 $i_a = f(t)$ 与外加电压以及回路参数和电子管参数的关系为已知，这个任务就不难解决。

知道了阳极电流的波形，就不难利用展开成傅里叶级数的方法求出这个电流的一次谐波 I_{a1} 和直流分量 I_{a0} ，然后算出发发生器的有效功率。

$$P = -\frac{1}{2} I_{a1}^2 R_0$$

$$\text{和输入功率 } P_0 = I_{a0} E_a \quad (2.3)$$

输入功率与有效功率之差便是阳极损耗功率 P_a ，这一部分功率主要是在电子管阳极上化为热量，

$$P_a = P_0 - P \quad (2.4)$$

式中 P_a 是阳极平均损耗。

阳极的热惰性相当大，所以它的发热程度决定于平均损耗。

发生器的效率是

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \frac{I_{a1}}{I_{a0}} \frac{U_f}{E_a} \quad (2.5)$$

三极管的阳极电流是各极电压的函数。

$$i_a = f(e_g, e_a) \quad (2.6)$$

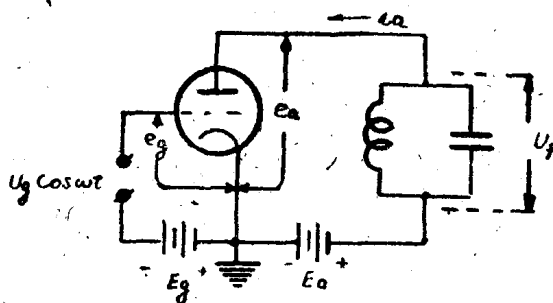


图 2-2 电子管他激发生器的原理图

发生器的阳极电压 e_a (图 2-2) 等于阳极直流电压 E_a 与回路电压降 U_f 之差，而回路电压 U_f 则又是阳极电流的函数。

回路电压 U_f 与阳极电流 i_a 的关系决定于一个微分方程式，把这个微分方程式和方程式 (2-6) 联立，就会得到一个有关电子管阳极电流与各极电压及电子管参数间关系的非线性微分方程。

以上述的非线性微分方程为基础来研究电子管的理论叫做电子管发生器的非线性理论。

在大多数实际情况下，发生器的负载都是一个调到谐振的振荡回路，它的衰减量很小，因此可以忽略阳极电流直流分量及高次谐波在回路上造成的电压降，亦即可以认为：

$$U_f = I_{a1} R_0 \cos \omega t = U_f \cos \omega t$$

而电子管的阳极电压则是

$$e_a = E_a - U_f \cos \omega t$$

把这个阳极电压公式代入电流方程式 (2-6) 得到

$$i_a = f(e_g, E_a - U_f \cos \omega t) \quad (2.7)$$

以下就会講到，在这种情况下，可以引用几个平均参数，譬如电子管的平均（折合）内阻 R_i ，平均跨导 S_{op} 等。

对于发生器的每一个具体的稳定状态来说，这些参数都可以看成常数。

以方程式 (2.7) 为基础的理论叫做准直线性理论，利用这个理论就可以按照下列步骤计算发生器。

假定偏压 E_g 激励电压 U_g 回路电压 U_f 和阳极电压 E_a 都是已知数据。

于是控制栅极电压等于

$$e_g = E_g + U_g \cos \omega t \quad (2.8.)$$

阳极电压等于

$$e_a = E_a - U_f \cos \omega t \quad (2.9.)$$

阳极电流等于

$$i_a = f(e_g, e_a) = f(E_g + U_g \cos \omega t; E_a - U_f \cos \omega t) \quad (2.10)$$

把这个电流展开成傅里叶级数，就能求出它的一次谐波 I_{a1} 和直流分量 I_{a0} 。

以一次谐波电流的振幅 I_{a1} 除回路电压 U_f 便得回路的等效电阻 R_2 ：

$$R_2 = \frac{U_f}{I_{a1}} \quad (2.11)$$

这个电阻可以保证回路电压 U_f 符合预定之值。

其次再按公式 (2.1)，(2.3)，(2.4) 和 (2.5) 计算发生器的各项功率 P , P_a , P_o 和效率 η 。

在计算阳极电流的一次谐波和直流分量时，可以利用图解法也可以利用解析法。

所谓图解法即按照电子管的实际特性曲线。

$$i_a = f(e_g, e_a)$$

和已知的栅极电压和阳极电压

$$e_g = E_g + U_g \cos \omega t$$

$$e_a = E_a - U_f \cos \omega t$$

用作图法求出阳极电流脉冲 $i_a = f(\omega t)$ 的波形，然后再用图解积分的办法求出一 次 谐 波 及其直流分量。

所谓解析法就先要选择一个表示电子管静特性曲线的算式，然后按照已知的电压 e_g 和 e_a ，用解析的办法求出阳极电流的脉冲，再用解析积分法计算这个电流的一次谐波和直流分量。

在大多数情况下，上面讲的这种准直线性理论都能正确的解释发生器中的物理过程，并且还能用以颇为精确的计算发生器。

准直线性理论主要是由苏联科学家创立的，今后我们在研究电子管发生器的理论及计算方法时就使用这个理论作基础。由于图解法虽然可以精确但过于复杂，在工程计算中多不采用，今后我们的计算分析都以解析法为根据。

§ 2—3 功率三极管静特性曲线的理想化及其解析式：

1. 首先看一下三极管的实际特性曲线的理想化，在三极管中一共有三个电流，即阳电流用 i_a 表示；栅极电流用 i_g 表示；阳极电流与栅极电流的总和称作总流，用 i_s 表示。

$$i_s = i_a + i_g$$

实际特性曲线是根据实验得出的，为了要使用解析法来计算发生器因而首先须求得这些实际特性曲线的解析式，但是实际特性曲线的解析式过于复杂，因此设法将之理想化或是近似化，这样作的目的就是使得特性曲线的解析式可以简单，但是这种理想化的方法必须保证工程计算所要求的精确度。把实际的特性曲线理想化可以有好多不同的方法，但在以后的分析中我们将使用一种最简单应用最广的方法，这种方法称为折线法。该法的实质即是用几个直线段来代替实际的静特性曲线，因而使整个特性曲线变成了一些折线。

在图2-3中表示了电子管的实际特性曲线及经过折线理想化以后得到的静特性曲线。图2-3a, 6 虚线系表示栅极坐标系中总流及栅流的静特性曲线，实线表示按折线法理想化之后的静特性曲线，图2-3b系表示阳极坐标系中阳极电流与栅流的实际特性曲线，而图2-3r表示阳极坐标系中理想化以后的总流栅流和阳极电流的特性曲线，图中虚线表示总流的理想化特性曲线的延续而实线则表示阳极电流及栅流的理想化特性曲线。

在r图中如将不同阳极电压下的总流特性曲线上相应于栅流为另的点连接起来，就得到了一条分界线，这条分界线是一条直线称之为临界线。可以明显的看出在临界线右方是低栅流区域，在理想化的特性曲线上可以看出这个区域内栅流等于另， $i_g = 0$ ，阳极电流即等于总

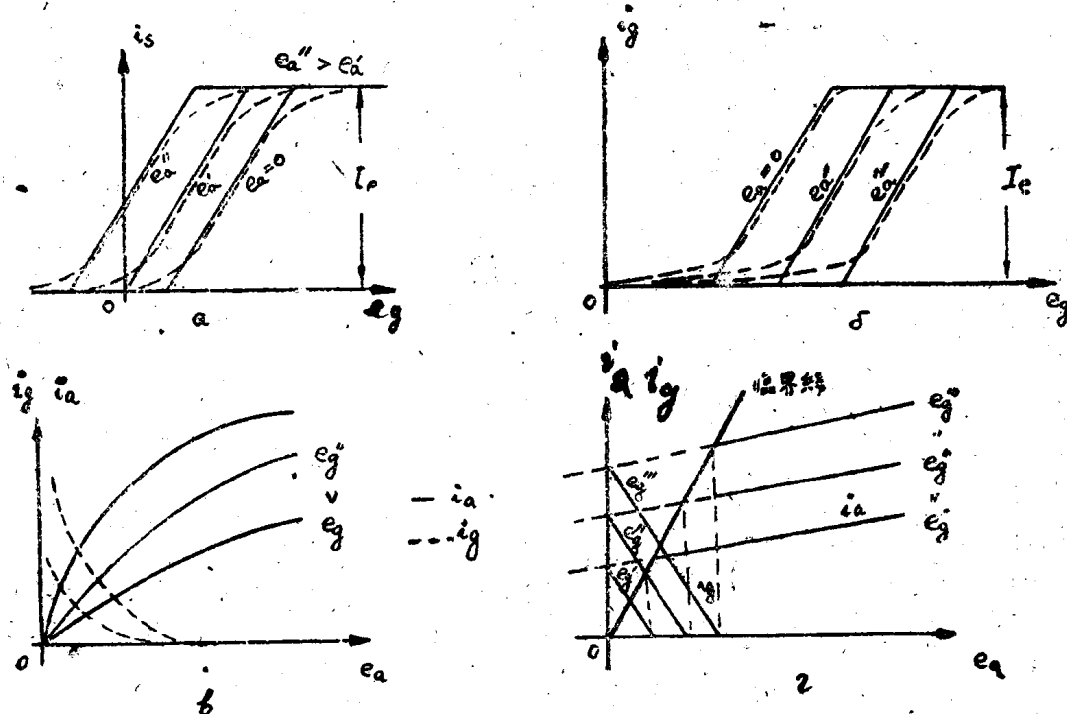


图2-3 三极管的实际特性曲线及理想特性曲线

流 $i_s = i_a$ ，而在临界线的左边则是大栅流区域，在这个区域中阳极电流等于总流与栅流之差。 $i_a = i_s - i_g$ ，同时由于理想化以后的总流及栅流特性曲线均是平行直线，因此在大栅流区所有的阳极电流特性曲线均互相重合，而且与临界线重合在一起。栅流则随阳极电压的降低增长得很厉害。

在栅极坐标中也可以将总流特性曲线上对应于栅流为另的点连接起来得到临界线。由于理想化后的总流及栅流特性曲线均是平行直线，所以临界线在这里也是直线，如图2-4所示。在这里临界线的右方则是大栅流区域而左方则是低栅流区域。

在通常我们称低栅流区域为欠压区，而大栅流（或过栅流）区域为过压区。