

高等学校教学用书

无线电发送设备

(上册)

原编者：北京邮电学院无线电发送设备教研组

审校者：邮电学院无线电发送设备教材选编组



人民邮电出版社

高等学校教学用书

无綫电发送設備

(上册)

原編者：北京邮电学院无綫电发送設備教研組

审校者：邮电学院无綫电发送設備教材选編組

人民邮电出版社

1962

內 容 提 要

本书分上、下两册，共三篇。上册为第一篇；下册为第二、第三篇。

第一篇为中、短波发送设备，讨论高频功率放大器基本理论及工程计算、高频功率放大器电路及中和、自激振荡器、晶体振荡器及寄生振荡、调幅、调频与调相等；对无线电报、中、短波发射机、单边带发送等均有专章讲述。第二篇为米波发送设备，讨论米波段发送设备特点、功率放大器及自激振荡器等；对电视发射机亦有专章讲述。第三篇为微波发送设备，着重讨论微波电子管（超高频三极管、速调管、磁控管、行波管）的基本概念及工作原理；对微波调频发送设备及脉冲发送设备等也有专章讲述。

本书可作高等学校无线电通信专业的教学用书，也可供一般参考之用。

无线电发送设备(上)

原编者：北京邮电学院无线电发送设备教研组

审校者：邮电学院无线电发送设备教材编写组

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第0048号)

印刷者：邮 电 部 北 京 邮 票 厂

发行者：新 华 书 局 经 销 店

开本 850×1168 1/32

印张 7 20/32 页数 244

印刷字数 204,000

（北京市书刊出版业营业登记证出字第0048号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第0048号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第0048号）

统一书号：K15045·01279-无333

定价：(10) 1.10 元

序 言

无綫电发送設備在各个波段的无綫电通信系統中都是一个重要的組成部分。随着我国社会主义建設事业的飞跃发展，通信設備的需要量很快地增加，近年来无綫电通信技术設備的发展也极其迅速，作为其中重要組成部分之一的发送設備，引起了极大的重視。为了适应当前发展上的需要，及时总结提高几年来的教学工作經驗，选編这門“无綫电发送設備”課程的教材是很必要的。

本书分中、短波发送設備、米波发送設備和微波发送設備三个部分。編写时，力求理論联系实际，既講述了生产实践中所需的主要理論知識和实用知識，并討論了当前有关无綫电发送設備方面正在发展的科学技术問題，以培养学生有一定的理論水平、实际工作能力和参加科学技术研究工作的准备知識。

本书結合专业，在內容上作了下列安排。在“中、短波发送設備”一篇中，除討論了发送設備的基本理論外，还討論了高次諧波の利用、自动板調、兼容性单边帶广播及双路移頻等理論，在米波发送設備中，除对米波发射机的特点、功率放大器、自激振盪等重要內容作了討論外，同时还考虑到电视广播技术迅速发展的需要，对电视发送設備也用了一定的篇幅来講述。在微波发送設備中，除对微波电子管的基本概念及理論加以闡述外，还着重地討論了微波調頻发送設備及脈冲发送設備。

本书原稿是北京邮电学院无綫电系发送教研組編写的讲义，在1960年教学改革中师生結合曾作过修改，并經教研組于1961年結合教学实践再加以修訂，使內容更切合实际需要。本书是在北京邮电学院負責主持下，經邮电学院发送教材选編組审校，作为无綫电通信及广播专业的教学用书。

参加原稿編写的北京邮电学院发送教研組教师是：黃貫光，賴

永琪、林敬熙、张大奎等。参加教材选編組的成員是：北京邮电学院教师林敬熙、黄貫光、张大奎，武汉邮电学院教师陈沛霖，南京邮电学院教师潘錫圭、薩本驂等。

参加本书繪图、繕稿等工作的有北京邮电学院工程画教研組的教师和一部分同学。

由于业务水平和經驗不足，以及审編時間短促等原因，本书內容难免有不够妥善、甚至錯誤之处，希望讀者、特别是使用本书的教师和同学們，积极提出批評和改进意見，以便今后修訂提高。

1961年11月

緒 論

§ 1 “無線電發送設備”課程的基本內容

在任何無線電發送設備中，都要完成下述三個基本過程，才能把要傳送的信號發送出去：

(1) 產生高頻的振盪，也就是把直流電能變為高頻振盪的能量；

(2) 用要傳送的信號去控制高頻振盪的某一參數（幅度、頻率、相位），也就是用要傳送的信號去調制高頻振盪（簡稱為調制）；

(3) 將已調制的高頻振盪輸送到天綫中去，以電磁波的形式輻射出去。

圖 0—1 示一最簡單無線電發送設備的方框圖。

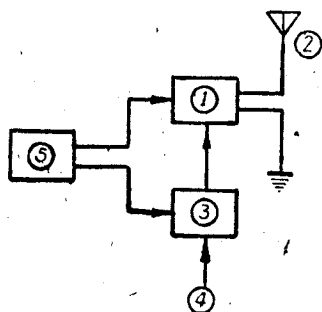


圖 0—1

要傳送的信號④，經過調制器③，去控制（調制）由高頻振盪器①產生的高頻振盪，然後將已調制的高頻振盪送到天綫②，以電磁波的形式輻射出去，便完成了發送過程。高頻振盪器和調制器所需要的電能由電源設備⑤來供給。

在“無線電發送設備”這門課程里，主要是討論：高頻振盪的產生和如何將其振盪功率放大到所需要的數值，以及如何用被傳送的信號去調制高頻振盪。至於天綫、電源設備等方面的問題，系由另外一些課程講述；在這門課程中，只不過講明它們與發送設備之間的聯繫。

§ 2 无綫电发送設備发展的几个阶段

无綫电发送設備技术和所有无綫电技术一样，是一門年輕的科学技术。从无綫电誕生到現在还不到70年的時間。但是，在这短短的時間里，无綫电发送設備已經有了一系列的发展，使这門科学技术有了相当丰富的內容。

到目前为止，无綫电发送設備的发展大体上可以划分为三个时期。

(1) 电子管誕生之前的时期 (1895—1917左右)。在这个时期內有三种形式的发射机被采用：即火花式、电弧式和高頻发电機式的发射机。

在1895年5月7日，无綫电的发明者、杰出的俄国科学家A.C.波波夫，在一次物理化学学会上表演了他所創制的第一个无綫接收机——雷电指示器，无綫电技术从此誕生。1896年3月，波波夫又在这个学会上，发送了世界上第一份无綫电报，当时波波夫所使用的发射机就是火花式发射机。

火花式发射机綫路之一示于图0—2。发射机由天綫A、火花放电器P、感应綫圈H、断續器K和蓄電池B組成。

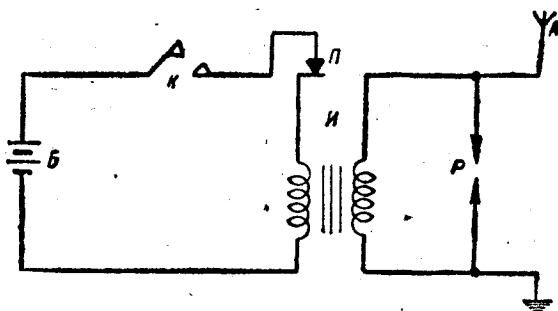


图 0—2

在这个綫路中，当按下电鍵K时，在感应圈的初級有一个断續的电流通过，使次級綫圈中感应一个能够把火花放电器击穿的电

压。当火花放电器击穿时，天綫中产生高频的衰减振盪，并以电磁波的形式輻射到空間去。

这种发射机的缺点是：

1. 由于发射的高频振盪是衰减的，所以电台之間的相互干扰很大；

2. 制造大功率的火花发射机有很大的技术困难；

3. 不能发送无线电话。

由于火花式发射机存在着这些缺点，不久便出现了非衰减振盪的电弧式发射机。电弧式发射机是利用弧光放电时伏安特性下降部分的負阻来产生高频振盪的。由于电弧式发射机发射的不是衰减振盪，因此比火花式发射机干扰小。同时电弧式发射机比火花式发射机容易获得較大的功率。

但是，电弧式发射机也有一系列缺点：

1. 由于电弧放电有惰性，不可能产生波长短于1000米的高频振盪；

2. 频率稳定度很低；

3. 发送无线电话困难。

在这个时期內采用的第三种发射机，是高频发电机式无线电发射机。与前两种发射机相比，它有較高的效率和較高的频率稳定度。

高频发电机式发射机的缺点是：

1. 不可能产生短波高频振盪；

2. 构造复杂，不便維修；

3. 发送无线电话有困难。

(2) 掌握和运用长、中、短波电子管发射机的时期 (大約在1917—1935年)。

电子管是在1913年发明的，电子管发射机的正式开始使用是在第一次世界大战的后期。

最初，电子管发射机的功率較小，但不久便研制出大功率的电

电子管发射机，使电子管发射机迅速地代替了上述三种发射机。电子管发射机与前三种发射机相比，有以下几个主要优点：

1. 可以产生很高的振荡频率；
2. 发送无线电报和无线电话都很简单；
3. 发射机的效率高，频率稳定度也很高。

电子管发射机的波长是由长、中波发展到短波；它的线路结构则是由单级发展为多级；质量指标也同时得到提高。电子管发射机在本世纪20年代已经广泛地应用于无线电广播中。

这个时期内，苏联在制造大功率的发射机方面，在世界上占有领先的地位。苏联的科学家M·A·邦奇-布鲁也维奇在1923年便制造出35瓩的大功率水冷电子管，在1925年又创制了100瓩大功率电子管。在电子管发射机的理论问题和计算方法上，苏联的科学家们也作出了很大的贡献。

在这个时期内，人们已经初步地掌握了长、中、短波电子管发射机的基本技术问题。

(3) 掌握和运用超高频的时期(大约从1935年开始)。

从本世纪30年代中期开始，超高频无线电发送设备逐渐得到迅速的发展。首先是应用米波，然后是分米波和厘米波，现在正在向应用毫米波段方面发展。随着人们对这些波段的技术知识的掌握，无线电发送设备的应用扩展到了无线电多路中继通信、电视、雷达、无线电导航等一系列新型的无线电技术领域，并使无线电发送设备的技术起了根本性的变化。新型的振荡系统——谐振腔，代替了以往由电感和电容组成的振荡回路，同时也制造出适合于米波、分米波波段的新式三极管和四极管。

此外，在这个时期还研究出与以往电子管有根本区别的新的电子器件，这些电子器件不仅可以工作在分米波，而且还可工作在厘米波，甚至毫米波。这些新的电子器件包括：速调管、磁控管、行波管、返波管等。

在这个时期，除了研究获得超高频振荡的方法之外，许多适用

于这一波段范围的新型的调制方法也有很大发展。这些调制方法主要是：調頻、調相和脈冲調制。这些调制方法的优点是抗干扰性强。因此，目前在无綫电多路中繼通信和其他一些无綫电技术领域中获得了广泛的应用。

目前在无綫电发送設備的技术领域中，繼續进行着紧张的研究工作。一方面进一步改进已經掌握了的振盪和調制方法，改善发射机的結構和提高发射机的质量；另一方面繼續进行超高频波段的研究工作，包括：改善已有的产生超高频振盪的电子器件的性能；改进这些电子器件的結構，使它們能够产生更短的波长（毫米波）。

§ 3 无綫电发送設備的分类

現代无綫电发送設備的种类是非常多的。根据发射机的功率、工作的波段范围、传送的信号类型、发射机的用途以及工作条件的不同，发射机的結構有很大的不同。因此，可以按照这些特征对无綫电发送設備进行分类。

按功率来分类：

- (1) 小功率发送設備：功率小于100瓦；
- (2) 中功率发送設備：从100瓦—3 瓩；
- (3) 大功率发送設備：功率在3 瓩以上。

按波段来分类：

- (1) 长波发射机：波长大于3000米；
- (2) 中波发射机：波长200米—3000米；
- (3) 中短波发射机：波长50米—200米；
- (4) 短波发射机：波长10米—50米；
- (5) 米波发射机：波长1 米—10米；
- (6) 分米波发射机：波长10厘米—1 米；
- (7) 厘米波发射机：波长1 厘米—10 厘米；
- (8) 毫米波发射机：波长1 毫米—1 厘米。

按被傳送的信号类型分类：

(1) 电报发射机, 传送慢速度的人工电报 (每分钟15—25字) 信号和传送快速度电报信号 (每分钟几十到几百字) (註);

(2) 传真发射机, 传送静止的图象信号;

(3) 电话发射机, 传送普通无綫电话信号, 或者传送音乐和語言 (广播发射机);

(4) 电视发射机, 传送活动的黑白图象或彩色图象和伴音;

(5) 脉冲发射机: 一种是发送探测脉冲, 也就是周期性地发射高频振盪脉冲, 一种是传送被調制的脉冲信号。

应当指出, 还有些发射机可以設計得不仅传送一种信号, 如有报一話两用发射机等。

最后, 无綫电发送設備可按用途和工作条件来分类。

按用途来分类:

(1) 通信发射机;

(2) 广播发射机;

(3) 雷达发射机;

(4) 导航发射机;

(5) 自动控制用发射机。

按工作条件分类:

(1) 固定发射机;

(2) 移动发射机。

§ 4 对无綫电发送設備的基本技术要求

对无綫电发送設備的基本技术要求, 取决于发射机的用途。这些要求可分成两大类: 电方面的要求和一般性的要求。

(1) 电方面的要求

1. 发射机的功率。发射机的功率决定于所要求的可靠通信距离和通信的可靠性。这里发射的功率是指发射机送入天綫的饋綫中的功率。

(註)指标标准字而言, 每个标准字平均以48个波特計算。

一般通信发射机的功率从十分之几瓦到几百瓦。

2. 发射机的波长范围。波段的选择，主要决定于通信距离和发射机的用途以及电波传播的条件。

一般通信发射机，或者工作在某几个固定波长，或者工作在某一个波段范围内。因为电波传播条件的变化，要求发射机的工作波长可以迅速地改变。这就使发射机的结构比较复杂。

3. 发射机的效率。发射机的效率是指发射机输送到天线的饋线中的功率与发射机所消耗的功率的比值。

对于不同类型的发射机，提高效率的意义是不同的。在大功率发射机中，倘能提高效率，便能大大降低电能的消耗；而对于小功率发射机，倘能提高效率便可减轻电源的重量和减小发射机的体积。

现代无线电通信所用发射机的效率从10%到30%。

4. 频率稳定性和准确度。频率稳定性和准确度也是发射机的重要指标之一。频率不稳和频率不准确，将要求增加接收机的通频带宽度，因此使抗干扰性降低。发射机的频率不稳和频率不准确也会干扰其邻近的无线电台。因此，对于发射机的频率稳定性和其准确度提出了很高的要求。不过也要注意，提高频率稳定度的要求，会使发射机复杂和增加发射机的造价。

对不同型式的发射机，有不同的频率稳定性和频率准确度的要求。对于大功率的固定发射机要求较高；而对于小功率的移动发射机要求较低。同时，在一般情况下，对频率准确度的要求比对频率稳定度的要求要高得多。

5. 高次谐波的滤除。为了提高发射机的效率，发射机的末级电子管工作在特性曲线的弯曲部分。此时，输出级板极回路中除了基波之外，还有很多高次谐波。这些谐波辐射到空间，将对其他电台的接收机产生干扰。为了降低这种高次谐波的辐射，必须在发射机的输出级把它们滤除。对高次谐波滤除程度的要求，决定于发射机的功率、波段和用途。

6. 调制的方式和传送信号的质量。对调制方式和传送信号质

量的要求，决定于发射机的用途。对传送信号的质量要求包括：通频带、调制系数的大小、允许的信号失真、允许的寄生调制的数值等等。

(2)一般性的要求：

1. 保证维护人员没有触到高压的危险；
2. 设备使用的可靠性；
3. 设备的重量和体积适当；
4. 在各种不同的自然条件下设备的适应性；
5. 设备操纵和调整方便；
6. 安装和修理，更换故障的电子管和损坏的元件方便；
7. 在满足一定的技术要求下，设备的造价尽可能地低。

所有以上要求，都是设计和制造无线电发射机的基本依据。

目 录

序 言 緒 論

第 一 篇 中短波发送設備

第 一 章 高频放大器的基本理論和工作状态的計算 (1)

- § 1—1 高频功率放大器概述 (1)
- § 1—2 功率电子管静态特性曲綫的理想化 (8)
- § 1—3 功率放大器工作状态的分类 (18)
- § 1—4 动态特性 (三极管) (21)
- § 1—5 板极电流脈冲分解 (26)
- § 1—6 負載特性 (29)
- § 1—7 高频功率放大器板极电路工程計算 (31)
- § 1—8 高频功率放大器栅极电路計算 (34)

第 二 章 高频功率放大器电路 (39)

- § 2—1 概述 (39)
- § 2—2 板极电路 (39)
- § 2—3 栅极电路 (42)
- § 2—4 級間耦合电路 (45)
- § 2—5 帘栅和抑制栅电路 (50)
- § 2—6 高频功率放大器电子管的并联及推挽电路 (51)
- § 2—7 輸出电路 (58)
- § 2—8 高频功率放大器的調諧 (66)

第 三 章 中和 (68)

- § 3—1 概述 (68)
- § 3—2 单边中和 (70)
- § 3—3 推挽中和 (71)
- § 3—4 中和电路的調整 (73)

§ 3—5 复杂桥式中和	(74)
§ 3—6 栅地电路	(78)
第 四 章 高次谐波利用	(84)
§ 4—1 倍频器的应用	(84)
§ 4—2 忽略板极反作用的倍频器理论	(85)
§ 4—3 离谐放大器工作原理	(87)
§ 4—4 离谐放大器的负载特性	(91)
第 五 章 自激振荡器	(93)
§ 5—1 自激振荡原理	(93)
§ 5—2 综合三端电路	(93)
§ 5—3 自激振荡器电路	(97)
§ 5—4 自激振荡器的工程计算	(131)
§ 5—5 电子耦合电路	(103)
§ 5—6 自激振荡器的频率稳定	(109)
第 六 章 晶体振荡器	(115)
§ 6—1 石英的特性	(115)
§ 6—2 晶体振荡器电路	(120)
§ 6—3 晶体控制的电子耦合振荡器	(123)
§ 6—4 恒温装置	(125)
§ 6—5 高稳定度的晶体振荡器	(126)
第 七 章 寄生振荡	(127)
§ 7—1 概述	(127)
§ 7—2 推挽式寄生振荡电路	(129)
§ 7—3 单边寄生振荡电路	(130)
§ 7—4 寄生振荡的检查方法	(131)
第 八 章 调幅	(132)
§ 8—1 概述	(132)
§ 8—2 栅偏压调幅	(133)
§ 8—3 已调波放大	(146)
§ 8—4 板极调幅	(149)
§ 8—5 多极管调幅	(157)

§ 8—6 自动板极調幅	(161)
第 九 章 調頻与調相	(176)
§ 9—1 概述	(176)
§ 9—2 調頻振盪和調相振盪的性质	(176)
§ 9—3 获得調頻的方法	(179)
§ 9—4 直接調頻法——电抗管調頻法	(180)
§ 9—5 电抗管調頻的中心頻率稳定問題	(185)
§ 9—6 間接調頻法	(187)
§ 9—7 脈冲調相式調頻器	(190)
第 十 章 无綫电报	(192)
§ 10—1 电报工作类别	(192)
§ 10—2 电报信号的畸变	(193)
§ 10—3 等幅电报电路	(195)
§ 10—4 移頻电报电路	(197)
§ 10—5 双路移頻激励器	(198)
第十一章 无綫电中、短波发射机	(201)
§ 11—1 无綫电中波短波发射机概述	(201)
§ 11—2 中、短波发射机的指标	(201)
§ 11—3 中波发射机的特征	(204)
§ 11—4 中波发射机方块图的建立	(204)
§ 11—5 短波发射机的特征	(207)
§ 11—6 短波发射机方块图的建立	(208)
第十二章 单边带发送	(209)
§ 12—1 单边带发送概述	(209)
§ 12—2 获得通信单边带信号的简单原理	(211)
§ 12—3 单边带信号的产生	(214)
§ 12—4 兼容性单边带广播概述	(218)
§ 12—5 单边带广播信号的产生	(219)
§ 12—6 相幅共調兼容性单边带广播激励器	(221)
附录 非正弦形脈冲的系数計算表	(224)

第一篇 中短波发送設備

第一章 高频放大器的基本理論和 工作状态的計算

§ 1-1 高频功率放大器概述

(1) 引言

在緒論中我們說明了无綫电发送設備的基本內容并介紹了最簡單的无綫电发送設備的方塊圖。現代的无綫电发射机，为了提高工作稳定性和易于实现調制，实际一般都是由多級組成的。在图 1—1 里，我們举一个通信和广播发射机的方塊圖为例，來說明多級发射机的組成。

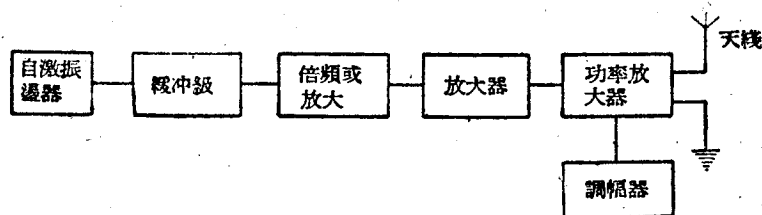


图 1—1

第一級是振盪器，产生高频振盪。其他各級除完成某些特殊作用外，都具有高频放大器的作用，使输出的高频振盪功率达到要求的数值。

緩冲級是一无柵极电流的高频放大級。它的作用是稳定振盪器的振盪頻率(这一点以后分析)。倍頻級也是一个高频放大器，不过它输出的高频振盪的頻率比輸入的高若干倍，因此用一定数量的倍頻級，就可以把振盪的頻率提高到所要求的数值。功率放大器(也称