

高 等 学 校 教 材

无綫电发送設備

上 册

馮秉銓 黃貫光 編著

人 民 教 育 出 版 社

高等学校教材



无线电发送设备

上册

馮秉銓 黃貫光 編著

人民教育出版社



本书分上、下册出版，上册内容包括高频功率放大器，自激振荡器，调幅，调频和一般发射机的设计。下册内容包括超高频振荡器、磁控管、速调管、行波管和脉冲发射机。

本书可作为高等学校无线电技术专业“无线电发送设备”课程的教材，同时也可供从事发送设备的研究、设计的技术人员参考。

无线电发送设备

上 册

冯秉铨 黄贯光编著

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

统一书号K15010·1142 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 16 $\frac{3}{4}$ 插页 1

字数 335,000 印数 0,001—8,650 定价(7) 1.80

1964年9月第1版 1964年9月北京第1次印刷

序 言

本书是根据作者近十年来在华南工学院对“无线电广播通信”和“无线电技术”专业的学生讲授“无线电发送设备”课程时所用的讲稿略加修订而成的。历年讲稿经过了多次修订，目前基本上趋于定型。1963年华南工学院受中华人民共和国教育部委托负责修订这门课程的教学大纲，经与参加修订的兄弟院校清华大学、西安交通大学、南京工学院、华中工学院会同制定了教学大纲的修订稿(草案)。本书内容基本上是按照教学大纲修订稿(草案)安排的。

本书的对象是五年制无线电技术专业四年级的学生。他们在学习这门课程时已学过无线电技术基础、电子器件、放大整流设备、脉冲技术等课程。与本课程同时学习的还有微波技术、无线电接收设备、天线等课程。本书中尽量指出了本课程与其他课程之间的联系，经常有意識地引用在其他课程中已学过的知識，同时也经常强调指出在其他课程(特别是放大和无线电技术基础)中所得到的某些結論，由于条件不同不能适用于本课程。

作者认为，在高等工业学校中的讲课，主要是把课程的基本理論和不可缺少的基本知識傳授給学生，更重要的是通过这样的傳授，使学生学会正确的思考方法和分析問題的能力。知識是无穷无尽的，随着科学技术的发展，今天出現一种电路，明天又会出现另一种电路。企图把目前常用的各种设备和电路一一介紹出来是不可能的，也是不必要的。相反，假如学生掌握了基本理論和必要的工具，有了分析的能力，不但可以举一反三，而且可能推陈出新。本书是力求根据这一观点来編写的。我們相信，这个观点是符合“少而精”原則的。但是，由于作者水平所限，这一点还作得很不够。

除了教学大纲中所规定的内容外,本书还包括了一部分选读内容,有些是为了更好地与以前课程相联系而作了一些扼要的“回顾”,有些则是为了扩大学生的眼界而介绍了一些新的方法或知识。前者是为了照顾过去基础不够牢固的读者,后者是为了满足基础较好的读者。这些章节都附有星号“*”。企图用这种方式来贯彻“因材施教”的原则,但这仅仅是初步的尝试。

在本书中还经常引用了我国科学工作者过去所发表的著作。这些工作在外国著作中都较少引用,这是不合理的。例如,关于推挽乙类调幅器瞬变失真的分析,原来是由已故的萨本栋教授于1936年提出的,而外国著者提到这一问题时宁肯引用某些外国作者在四十年代后期所发表的类似的著作。本书中对这些情况,都作了作者所认为必要的一些纠正。

本书第一章讲授发射电子管及其特性,重点放在折线分析法的理论基础。关于发射管的类别、特点和阴极等内容,由于主要是叙述性质,可由学生自己阅读,也可在课堂中扼要地介绍。

第二章讲授高频功率放大器和倍频器的计算,重点放在工作状态的分析与计算。本章先讲折线法,后讲图解法。这两种方法各有利弊,是相辅相成的。功率等值线一节,是作为研究方法而引入的,对一般学生可以不讲。关于用折线法计算强过压状态的问题,本书从略。可以在课程设计中作些补充。

第三章讲放大器线路。对每一个问题只举一两个具有代表性的例子。讲授时仍以分析方法为主。

第四章讲振荡器,重点放在振荡频率的稳定度以及常用电路的比较。本章补充的星号“*”内容较多,讲授时可根据实际情况作一定的选择。

第五、六章分别讲授调幅和调频,重点放在调制方法。

第七章带有总结复习的性质,例举了一些实际发射机电路,这不需

要在課堂中讲授，只供讀者參考。

本書每章之後附有一些習題，其中大部分在華南工學院已用過幾次。

本書第一、二、三、四各章是由馮秉銓執筆的，第五、六、七各章是由黃貫光執筆的。此外，簡伯卿同志寫了個別節段的初稿，並整理了本書的索引。全書由馮秉銓作了校閱和修改。

發送設備的內容是極其廣泛的。本書的內容都是前輩科學家們多年勞動的成果，作者在這方面的貢獻是不多的。在編寫本書之前，錢鳳章教授的“無線電發送設備”一書早已問世，本書的編寫雖然基本上是依照本人過去的講稿，但毫無疑問在很多地方是得到了錢著的啟發的，甚至有些資料就是直接從錢著抄來的。在本書將近完成之時，又看到了馮子良先生所寫的講義，其中有很多地方值得借鏡，因此最後校閱時有些地方又照馮編講義作了一些補充和修改。華南工學院歷屆畢業班學生在學習這門課程時所提出的問題，對本書的編寫無疑有很大的幫助。華南工學院黨和行政領導對於這一工作的支持和鼓勵，對於作者工作時間和教學任務上的照顧，是本書之所以能在短期內寫成的主要原因。對於以上所提的各位，作者謹致以衷心的謝意。

錢鳳章教授在百忙中仔細審閱了本書的原稿，提出了寶貴的意見，改正了原稿中某些錯誤和不够嚴謹之處，在這裡作者謹表示最大的謝意。

由於作者水平所限，儘管經過了幾次校訂，難免有錯誤或不盡確切之處，尚望國內專家和讀者予以指正。對於本書的意見請直接寄給作者或由人民教育出版社轉交。

馮秉銓 黃貫光 華南工學院 1963年12月

符 号 表

a	电子管板极, 板流利用系数
C	迴路电容
C'	高频旁路电容或隔直流电容
C_A	天綫迴路电容
C_a	板极迴路电容
C_{ag}	电子管板栅极間电容
C_{ag1}	电子管板极控制栅极間电容
C_{ag2}	电子管板极帘栅极間电容
C_{ak}	电子管板阴极間电容
C_d	电子管动态极間电容
C_g	栅极迴路电容
C_{g1g2}	电子管控制栅帘栅极間电容
C_{gk}	电子管栅阴极間电容
C_N	中和电容
C_0	迴路起始电容
C_φ	整流电源滤波电容
D	渗透率
D_1	第一栅极渗透率
D_2	第二栅极渗透率
D_3	第三栅极渗透率
E_a	板极电源电压(简称板压)
$E_{a(0)}$	未調制时板极电压
$E_{a大}$	調制一周期內板压最大值
$E_{a小}$	調制一周期內板压最小值
E_{a0}	板极起始电压
E_{aN}	額定板压
E_g	栅极直流电压(简称栅偏压)
$E_{g(0)}$	未調制时栅极偏压
$E_{g大}$	調制一周期內偏压最大值

$E_{g小}$	調制一周期內偏压最小值
E_{g20}	帘栅极直流电压
E_{g30}	抑制栅极电压
E_{g0}	栅极起始电压
E_n	饱和电压
$E_{止}(E'_g)$	栅极截止偏压
e	控制电压
e_a	板极电压
$e_{a大}$	板极电压最大值
$e_{a小}$	板极电压最小值
$e_{a小界}$	临界状态时最小板压
e_g	栅极电压
$e_{g大}$	栅极电压最大值
$e_{g小}$	栅极电压最小值
e_{g2}	帘栅极电压
e_{g3}	抑制栅极电压
F_n	n 次諧波迴路滤波度
F	声頻頻率
f	高頻頻率
$f_{大}$	最高使用頻率
$g_1(\theta)$	基波分量波形系数
$g_2(\theta)$	第二次諧波分量波形系数
$g_n(\theta)$	第 n 次諧波分量波形系数
h_n	第 n 次諧波电压对基波电压之比
$I_{(0)}$	未調制时高頻电流幅度
$I_{大}$	調制一周期內高頻电流最大值
$I_{小}$	調制一周期內高頻电流最小值
I_A	天綫电流
I_{a0}	板流直流分量
$I_{a0(0)}$	未調制时板流直流分量
$I_{a0大}$	調制一周期內板流直流分量最大值
$I_{a0小}$	調制一周期內板流直流分量最小值

I_{a1}	板流基波分量
$I_{a1(0)}$	未调制时板流基波分量
$I_{a1大}$	调制一周期内板流基波分量最大值
$I_{a1小}$	调制一周期内板流基波分量最小值
I_{a2}	板流第二次谐波分量
I_o	总流脉冲最大值
I_{o0}	总流直流分量
I_{o1}	总流基波分量
I_f	灯丝电流
I_{g0}	栅流直流分量
I_{g1}	栅流基波分量
I_{g1D}	调制时栅流声频脉冲基波分量
I_{g2}	栅流第二次谐波分量
I_{g20}	帘栅流直流分量
I_{g2D}	调制时栅流声频脉冲第二次谐波分量
$I_{g平}$	调制时栅流声频脉冲直流分量
I_{gD}	调制时栅流声频脉冲最大值
I_n	电子管饱和电流
I_K	回路电流
I_{K1}	回路电流基波分量
I_{Kn}	回路电流第 n 次谐波分量
I_m	板流脉冲最大值
I_N	电子管额定电流
i	总流
i_a	板极电流(简称板流)
i_g	栅极电流(简称栅流)
$i_{g大}$	栅流脉冲最大值
i_{g2}	帘栅极电流
$i_{g2大}$	帘栅极电流脉冲最大值
i_{p3}	抑制栅极电流
i_k	阴极电流
i_D	调制电流

$$j = \sqrt{-1}$$

$^{\circ}\text{K}$	绝对温度
k	耦合系数
$k_{\text{界}}$	临界耦合系数
L	迴路电感
L'	高频抗流圈
L_A	天线迴路电感
L_a	板极迴路电感
L'_a	板极引线电感
L_g	栅极迴路电感
L'_g	栅极引线电感
L'_{g2}	帘栅极引线电感
L'_N	中和电容引线电感
L'_k	阴极引线电感
L'_φ	整流器的滤波器引线电感
M	互感
m	调幅深度
m_a	板极调幅深度
m_g	栅极调幅深度
P_0	板极直流输入功率(简称输入功率)
$P_{0(0)}$	未调制时板极直流输入功率(简称载波时输入功率)
$P_{0\text{大}}$	调制一周期内直流输入功率最大值
$P_{0\text{小}}$	调制一周期内直流输入功率最小值
$P_{0\text{平}}$	调制一周期内平均直流输入功率
$P_{\text{出}(0)}$	未调制时高频基波分量输出功率(简称载波功率)
$P_{\text{出大}}$	调制一周期内高频基波分量输出功率最大值
$P_{\text{出小}}$	调制一周期内高频基波分量输出功率最小值
$P_{\text{出平}}$	调制一周期内平均基波输出功率
P_a	板极热损耗(简称板耗)
$P_{a(0)}$	未调制时板极热损耗(简称载波情况时板耗)
$P_{a\text{大}}$	调制一周期内板耗最大值
$P_{a\text{小}}$	调制一周期内板耗最小值

$P_{a\pi}$	调制一周期内平均板极损耗
P_c	栅极偏压电源损耗(简称栅压损耗)
P_g	栅极热损耗(简称栅耗)
$P_{g\text{大}}$	调制一周期内栅耗最大值
$P_{g\text{小}}$	调制一周期内栅耗最小值
P_{g2}	帘栅极损耗
P_{g20}	帘栅极直流输入功率
P_N	电子管额定输出功率
$P_{\text{出}}$	板极基波分量输出功率(简称输出功率)
$P_{\text{入}}$	高频栅极输入激励功率(简称激励功率)
P_o	声频调幅功率
p	迴路接入系数, 过压强度系数
Q	迴路品质因数
Q_A	天线迴路品质因数
Q_x	空载时迴路品质因数
R_A	天线迴路电阻
R_g	栅极自给偏压电阻
R_i	电子管板极内阻
R_{oe}	板极等效负载电阻
$R_{oe\text{空}}$	空载时板极等效负载电阻
$R_{\text{折}}$	板极折合电阻
R_s	调幅器负载电阻
r	迴路电阻
S	板流跨导(斜率)
S_g	栅流跨导(斜率)
S_d	板极坐标动态线跨导(斜率)
$S_{\text{临}}$	临界跨导(临界线的斜率)
$S_{\text{折}}$	折合跨导
T	周期
t	时间
U_a	板极迴路高频输出电压(简称板压或输出电压)
$U_{a(0)}$	未调制时板极电压(简称载波板压)

$U_{a大}$	調制一周期內板极电压最大值
$U_{a小}$	調制一周期內板极电压最小值
$U_{a界}$	临界情况时板压
U_{a2}	板极电压第二次諧波分量
U_g	栅极高频激励电压(簡称栅压或激励电压)
$U_{g(0)}$	未調制时栅极电压
$U_{g大}$	調制一周期內栅极电压最大值
$U_{g小}$	調制一周期內栅极电压最小值
U_K	迴路电压
U_D	声頻調制电压
u_a	板极高频輸出电压
u_g	栅极高频激励电压
W	功
Y	導納
Z	阻抗
Z_A	天綫迴路阻抗
Z_a	板极迴路阻抗
Z_σ	短路阻抗
Z_g	栅极迴路阻抗
Z_i	調幅器輸出阻抗
Z_m	互阻抗
Z_n	n 次諧波分量迴路輸出阻抗
$\alpha_0(\theta)$	余弦形脉冲直流分量 α 分解系数
$\alpha_1(\theta)$	余弦形脉冲基波分量 α 分解系数
α_C	电容溫度系数
α_f	頻率溫度系数
α_L	电感溫度系数
α_l	长度溫度系数
$\alpha_n(\theta)$	余弦形脉冲 n 次諧波分量 α 分解系数
$\alpha_n(\theta, \theta_1)$	平頂脉冲 n 次諧波分量 α 分解系数
α_e	介质溫度系数
$\beta_0(\theta)$	余弦形脉冲直流分量 β 分解系数

$\beta_1(\theta)$	余弦形脉冲基波分量 β 分解系数
$\beta_n(\theta)$	余弦形脉冲 n 次谐波分量 β 分解系数
$\gamma_0(\theta)$	余弦形脉冲直流分量 γ 分解系数
$\gamma_1(\theta)$	余弦形脉冲基波分量 γ 分解系数
$\gamma_n(\theta)$	余弦形脉冲 n 次谐波分量 γ 分解系数
$\gamma_n(\theta, \theta_1)$	平顶脉冲 n 次谐波分量 γ 分解系数
θ	板流半通角(简称通角)
$\theta_{(0)}$	未调制时通角(简称载波时通角)
θ_1	板流上通角(简称上通角)
θ_2	板流下通角(简称下通角)
$\theta_{\text{大}}$	调制一周期内最大情况时通角
$\theta_{\text{小}}$	调制一周期内最小情况时通角
θ_g	栅流半通角(简称栅流通角)
θ_{g2}	帘栅流半通角(简称帘栅流通角)
$\theta_{g\Omega}$	声频通角
μ	放大因数
μ_g	反作用系数
ξ	板压利用系数
$\xi_{\text{界}}$	临界工作状态时板压利用系数
λ	波长
η	效率
$\eta_{(0)}$	未调制时效率
$\eta_{\text{大}}$	调制一周期内效率最大值
$\eta_{\text{小}}$	调制一周期内效率最小值
$\eta_{\text{平}}$	调制一周期内效率平均值
η_{Ω}	调制器效率
ρ	回路特性阻抗
φ_a	板压超前板流的相角
φ_k	栅压超前板压的相角
φ_s	电子渡越角
Ω	声频角频率
ω	角频率

ω_0	固有角频率
τ	脉冲宽度

下标符号:

A	天线的
a	板极的
d	动态的
g	栅极的
k	阴极的
K	迴路的
n	n 次的
0	直流的
(0)	未调时的
x	开路的
Ω	声频的
大	最大的
小	最小的
平	平均的
入	输入的
出	输出的
折	折合的
界	临界的

目 录

序言	vi
号符表	x
緒論	1
第一章 发射电子管的特点及其特性曲线	11
§ 1-1 发射管的类型	12
§ 1-2 发射管的阴极*	17
§ 1-3 发射管的极限参量	19
§ 1-4 发射管的额定输出功率	22
§ 1-5 发射管的静态特性曲线	23
§ 1-6 折线法与图解法	25
§ 1-7 三极管静态特性的理想化	26
§ 1-8 束射四极管和五极管静态特性的理想化	34
第二章 高频功率放大器和倍频器	40
§ 2-1 高频功率放大器的基本工作原理	40
§ 2-2 准直线性理论	46
§ 2-3 发射管工作状态的分类	47
§ 2-4 极流动态特性	48
§ 2-5 板路中的能量关系	53
§ 2-6 板流脉冲的分解	55
§ 2-7 栅流脉冲的分析和栅路中的能量关系	64
§ 2-8 从仪表读数检验发射管的工作状态	70
§ 2-9 板极等效电路	72
§ 2-10 负载和电压对工作状态的影响	76
§ 2-11 放大器的设计要点	82
§ 2-12 放大器的计算程序	91
§ 2-13 四、五极管放大器的计算特点	96
§ 2-14 放大器的图解计算法	100
§ 2-15 功率等值线图及其应用	105
§ 2-16 倍频器	110
第三章 高频功率放大器线路	120

§ 3-1	电路组成的基本法则	120
§ 3-2	板极馈电线路	123
§ 3-3	栅极馈电线路	126
§ 3-4	灯丝馈电线路	131
§ 3-5	板极输出回路	134
§ 3-6	谐波的滤除	142
§ 3-7	级间耦合线路	146
§ 3-8	电子管的并联与推挽运用	153
§ 3-9	放大器的调谐与调整	162
§ 3-10	中和及其线路	170
§ 3-11	共栅极电路	187
第四章	自激振荡器	199
§ 4-1	基本概念和基本方法	199
§ 4-2	平衡条件	202
§ 4-3	平衡点的稳定性和自激的性质	208
§ 4-4	自激振荡器的频率稳定	218
§ 4-5	频率不稳定的原因和稳定频率的方法	235
§ 4-6	常用的几种振荡器电路	247
§ 4-7	电子耦合振荡器	260
§ 4-8	晶体振荡器	266
§ 4-9	振荡器的设计	281
§ 4-10	振荡器中的频率拖曳现象	291
§ 4-11	寄生振荡	295
第五章	调幅	304
§ 5-1	调幅制的一般问题	304
§ 5-2	栅偏压调幅	309
§ 5-3	已调波放大	322
§ 5-4	板极调幅	330
§ 5-5	自动板极调制	347
§ 5-6	四、五极管调幅	354
§ 5-7	调幅发射机中的失真和减小失真的方法*	360
§ 5-8	单边带发送	366
§ 5-9	电报工作	373
第六章	调频与调相	379
§ 6-1	调频和调相制的一般问题	379
§ 6-2	直接调频——电抗管调频法	385

§ 6-3	电抗管調頻器的頻率偏移	393
§ 6-4	电抗管調頻器的寄生調幅	398
§ 6-5	电抗管調頻器中心頻率穩定問題	401
§ 6-6	电抗管調頻器的設計	404
§ 6-7	間接調頻法	409
§ 6-8	移頻电报	421
第七章	发射机的設計	426
§ 7-1	发射机的技术指标	426
§ 7-2	发射机的設計程序	430
§ 7-3	发射机方框图的拟定	431
§ 7-4	发射机的輸出迴路和耦合迴路*	446
§ 7-5	具体电路举例*	452
§ 7-6	发射机的附屬設備	459
§ 7-7	小結	467
附录 1	余弦脉冲系数表	468
附录 2	平頂脉冲的直流分量系数表	472
附录 3	諧波分析法	476
附录 4	調制管与功率管参量表	480
附录 5	某些发射管的靜态特性曲綫	481
附录 6	振蕩器的工作路	492
索引		457