

无线电发射机

L. 葛 利 R. 格 拉 汉 姆 著
李昌猷 陈秉鈞 陈景涵 范琪华 译

人 民 邮 电 出 版 社

无 綫 电 发 射 机

(美国) L. 葛利 R. 格拉汉姆 著

李昌猷 陈秉鈞 陈景涵 范琪华译

人 民 邮 电 出 版 社

Laurence Gray,
Richard Graham

Radio Transmitters

McGraw-Hill Book Company, Inc, 1961

内 容 提 要

本书沒有重点地討論一般发送设备理論，而着重地分析了在使用与維護广播、电视、导航、通信（包括短波和微波）等各式无线电发射机时所应当注意的一些特殊的、同时又是关键性的問題。全书共分十四章，分別討論了頻率控制技术、射頻功率放大器、功率管、耦合电路、調制技术、电源设备、控制和保安电路、冷却方法、射頻部件、整机特性、測量技术、使用中的注意事項等問題，均讲得簡明扼要，便于应用。可供各无线电发信台的技术人員及无线电制造厂的设计人員参考。

无 綫 电 发 射 机

著 者：（美国）L. 葛利 R. 格拉汉姆
譯 者：李昌猷 陈秉鈞 陈景涵 范琪华
出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

（北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号）

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂
发行者：新 华 书 店

开本 850×1168 1/32 1965 年 1 月北京第一版
印张 15 6/32 页数 243 1965 年 1 月北京第一次印刷
印刷字数 414,000 字 印数 1—6,150 册

統一书号：15045·总1414—无398

定价：（科 6）2.70 元

前 言

目前在已經出版的大量資料中，有不少是讲无綫电发射机所用电路問題的。关于发射机中的調制、振蕩与发射机測試等方面的专门著作也同样多。但是，着眼于“发射机”来处理內容、詳尽討論为从事发射机工作的工程师和維護人員所关切的問題而写的书尚感缺乏。写这本书就是为了将这方面的資料加以汇编，以滿足无綫电发射机設計工程师及从事发射机的运用与維護的技术人員的需要。书中的某些部分对于具有較高水平的业余无綫电爱好者也会感到兴趣。

作者假定讀者至少已具有一个无綫电台值机員所应具备的基本知識，所以不准备从电方面的基本原理讲起。另一方面，也沒有推导全书所引用的各数学公式，这是本书篇幅所不能容許的。本书只打算就发射机在各方面的运用以及与运用有关的一些特殊問題作实际分析。对于那些遇到的問題需要更完整的分析或者需要更多的数学証明的讀者，每章之末列有文献，为他們提供了找到补充資料的綫索。

本书对发射机工作的分析方法，首先是分类討論各种发射設備所共有的电路和部件。第十二章专讲各种用途的发射机的特殊性能。应用于发射机的特殊測量技术在第十三章里討論，最后在第十四章概述与发射机有关的一些危險事項。

L. 葛利、R. 格拉汉姆

編 者 的 話

随着我国无线电事业的蓬勃发展，应用于广播、电视、雷达、短波通信、微波通信等方面的无线电发射机逐渐增多，发射机的工作波段和功率范围逐渐扩展，质量要求日益提高。专门讨论发射机工作质量及如何正确使用与维护发射机的书籍，各地维护无线电台的技术人员均感到迫切需要。美国 L. 葛利及 R. 格拉汉姆二人合著的无线电发射机一书，内容比较广泛而实用，包括各种用途的发射机，并着重于讨论各种实用电路及各种影响发射机工作状况的实际问题，对从事无线电发射机维护工作的技术人员有一定的参考价值。因此我们将该书翻译出版。

该书系美国出版的，由于资本主义国家的性质和制度的关系书中内容不可能完全适合我国读者需要，甚至有些地方对资本主义制度下的技术和设备有渲染之处，我们对书中介绍的某些产品型号、公司名称、国家主管部门和国际组织的名称，以及感谢一些个别人或公司对作者的帮助的词句或注释，已酌量予以删除，其余原文照译。希望读者阅读时，从中吸取对我们有益的技术资料。

目 录

前言

編者的話

第一章 概述	1
1-1 定义	1
1-2 发給执照和指定呼号	1
1-3 发射机分类	2
1-4 信号传输术语	2
1-5 传输频率	3
1-6 辐射功率电平	4
1-7 调制	5
1-8 供电设备、控制电路和冷却.....	7
第二章 频率控制技术	8
2-1 控制的基本方法	8
2-2 电感-电容振荡器.....	9
2-3 石英晶体	12
2-4 晶体安装	14
2-5 晶体恒温箱	15
2-6 相关晶体频率	15
2-7 晶体振荡器电路	16
2-8 并联谐振电路	17
2-9 串联谐振电路	18
2-10 激励电平.....	19
2-11 可变频率晶体振荡器.....	19
2-12 晶体振荡器的频率稳定度.....	20
2-13 调频发射机的频率控制.....	21
2-14 微波振荡器的频率控制.....	22
2-15 频率合成器.....	24
2-16 倍频器和分频器.....	25
2-17 混频器.....	25
2-18 滤波器.....	28

2-19 无漂移的振荡器·····	28
2-20 合成系統·····	30
第三章 射頻功率放大器 ·····	35
3-1 放大器概述·····	35
3-2 放大器的分类·····	35
3-3 动态工作情况·····	36
3-4 放大器的电路·····	36
3-5 放大器的效率·····	37
3-6 效率和板流的导流角·····	37
3-7 甲类放大器的特性·····	38
3-8 乙类放大器的特性·····	41
3-9 丙类放大器的特性·····	44
3-10 放大器設計的簡化方法·····	45
3-11 阴极接地放大器·····	52
3-12 柵极接地放大器, 一般特性·····	52
3-13 板极接地放大器·····	58
3-14 放大器輸出負載电阻·····	59
3-15 放大器的稳定·····	59
3-16 綫性放大器·····	70
3-17 寬頻带放大器·····	78
3-18 倍頻器·····	80
3-19 实际电路的考虑·····	81
第四章 功率管 ·····	86
4-1 发射管的結構·····	86
4-2 阴极·····	86
4-3 柵极·····	90
4-4 阳极·····	90
4-5 发射管的普通型式·····	92
4-6 速調管放大器电子管·····	92
4-7 反射速調管·····	97
4-8 行波管·····	98
4-9 磁控管·····	100

4-10 泊管, 增幅管和稳频管	102
第五章 耦合电路	104
5-1 耦合网络	104
5-2 并联调谐电路	105
5-3 串联调谐电路	108
5-4 双调谐电路	109
5-5 包络延迟	112
5-6 匹配网络的结构	113
5-7 L、 π 和 T 型匹配网络的基本原理	113
5-8 L 网络	114
5-9 π -网络	116
5-10 T 网络	117
5-11 π -L 网络	119
5-12 电抗性的负载阻抗	119
5-13 链耦合电路	120
5-14 平衡—不平衡耦合网络	123
5-15 匹配网络的效率	125
5-16 传输线上的阻抗匹配	126
5-17 波导电路中的阻抗匹配	129
第六章 调幅	131
6-1 调幅	131
6-2 边带	131
6-3 双边带调幅	133
6-4 启闭键控	134
6-5 二极管调制器	137
6-6 板极调制	138
6-7 栅极调制	144
6-8 已调制射频电压的放大	149
6-9 载频抑制技术	149
6-10 残剩边带传输	151
6-11 相位到振幅调制	151
6-12 负反馈	152

6-13	单边带和一般調幅的比較	154
6-14	单边带的优点、頻譜節約	154
6-15	产生单边带的方法	155
6-16	平衡調制器	159
6-17	石英晶体滤波器	162
6-18	机械滤波器	165
6-19	音頻移相网络	166
6-20	射頻移相网络	168
6-21	单边带发射机中的頻率变换	169
6-22	单边带发射机的綫性測量	170
6-23	信号失真比	173
6-24	边带抑制	173
第七章	角度調制和脉冲調制	177
7-1	角度調制	177
7-2	相角調制产生的边带	179
7-3	边带特性	180
7-4	由相位調制变为頻率調制	181
7-5	产生相位調制的方法	183
7-6	頻率調制的直接产生	186
7-7	脉冲調制	189
7-8	脉冲調制产生的边带	191
7-9	脉冲发生器	191
7-10	脉幅調制	195
7-11	脉冲持續時間調制	195
7-12	脉位調制	196
7-13	脉碼調制	196
7-14	Δ -調制	197
第八章	电源設備	202
8-1	交流穩压器	202
8-2	交流电源电压控制	208
8-3	交流电源电路	211
8-4	整流器	214

8-5 直流电源滤波电路	220
8-6 变压器和扼流圈	224
8-7 电 量	226
8-8 接通灯丝	227
8-9 直流稳压器	231
8-10 直流—直流电源	233
第九章 控制和保安电路	238
9-1 控制和保安电路	238
9-2 控制电路的作用	238
9-3 电源控制	238
9-4 发射机的起动顺序和闭锁电路	241
9-5 指示和告警	243
9-6 发射机的重合电路	245
9-7 遥控	248
9-8 发射机的遙測	252
9-9 发射机的自动調諧	253
9-10 保安电路的功用	254
9-11 保安电路的工作原理	254
9-12 保險絲	256
9-13 断路器	257
9-14 断路器的应用	258
9-15 电子断路器	259
9-16 射頻过载保护	260
9-17 跨綫連接图	261
第十章 冷却	263
10-1 发射机的冷却	263
10-2 电子管的强制风冷	263
10-3 电子管的液体冷却	271
10-4 电子管溫度測量	274
10-5 机箱总冷却	274
第十一章 射頻部件	275
11-1 射頻部件	275

11-2	定向耦合器	275
11-3	假負載	282
11-4	有損耗电介质的負載	283
11-5	射頻滤波器	284
11-6	殘剩边带滤波器	285
11-7	天綫双工器	285
11-8	魔 T	288
11-9	同軸混合环	289
11-10	发射机的同頻率天綫双工法	290
11-11	发射机併机时的特殊調整	292
11-12	功率分配器	293
11-13	傳輸綫換接	294
11-14	微波鉄氧体	296
11-15	隔离器	297
11-16	循环器	298
第十二章	发射机特性	300
12-1	发射机的用途	300
12-2	导航	301
12-3	雷达	302
12-4	电报发射机	304
12-5	电话发射机	308
12-6	移动型发射机	309
12-7	遙测发射机	310
12-8	广播发射机	311
12-9	电视发射机	313
12-10	广播轉播机和变频轉播机	320
12-11	非通信用射頻的产生	321
第十三章	发射机測量技术	325
13-1	发射机測量	325
13-2	功率測量	326
13-3	頻率測量	336
13-4	時間測量	352

13-5 調幅及調頻測量	353
13-6 已解調音頻的測量	359
13-7 電報鍵控測量	364
13-8 寬頻帶無線電系統的測量	366
13-9 脈沖發射機調制的測量	367
13-10 黑白視頻調制測量	367
13-11 彩色視頻測量	380
13-12 天綫測量	385
13-13 發射機失真輸出的測量	397
第十四章 與發射機有關的危險事項	411
14-1 人身危險	411
14-2 觸電	411
14-3 觸電時的處理	412
14-4 預防觸電法	413
14-5 雷擊危險	415
14-6 電源綫短路	416
14-7 X-射綫和射頻輻射的危險	416
14-8 化學變化引起的危險	421
附錄	424
索引	442

第一章 概 述

1-1 定 义

本书中所討論的各种无綫电发射机是指一些能够产生有用的射頻能量、并准备与某种形式的电磁輻射器相連接的发生器。发射能量的“接受器”可以近在咫尺（如在高频感应加热設備或高频电疗机中），也可以远在数千哩以外。

一部发射机是一个射頻发生器、許多放大器、調制器、供电設備、控制电路和冷却設備的組合。对这些組件，将分別詳細討論。

1-2 发給執照和指定呼号

使用一部发射机需有管轄該机安装地点或車輛的政府机构发給的執照。在美国由国家有关机构規定了一个輻射功率值，超过此值的发射机都应有執照。低于此值的設備，称为应急的或輻射受限制的器件。这种机器的頻率如在1,600千赫以上，那末在距离为 $\frac{157}{f_{MC}}$ 呎处，其場强应不超过 15 微伏/米。在 10—1,600 千赫頻率內的限定值列于表 1-1。严禁輻射 500 千赫国际呼救頻率。

表 1-1 无執照发射机的場强限度

頻 率 (千赫)	距 离 (呎)	最大場强 $\left(\frac{\text{微伏}}{\text{米}}\right)$
10—490	1,000	$\frac{2,400}{f_{kc}}$
510—1,600	100	$\frac{24,000}{f_{kc}}$

按此限定，沒有執照的“无綫”传声器和无綫电控制系统 准許使用。

各无綫电傳輸是以发執照时所指定的呼号来鑑別的。在美国，发

射机的使用要遵照国家有关机构所制订的各种規則和条例^[1]。

1-3 发射机分类

为了便于发给执照，发射机都按照带宽、调制方式及所传送的信号种类来分类。类别系以数字和字母组合来区别，如表 1-2 所示。

表 1-2 发射机发射分类

例：3 A 3 a = 单边带电话			
带宽，千赫	调制或发射的型式	信号类别	附加特征
在接收机中正确地恢复消息所需系统带宽 例： A 3 a 声音—3 千赫 A 3 声音—6 千赫 A 5 残留边带电视—6,000 千赫 对于频率低于10千赫的，最多可以给出小数点后面两位重要数字 例： A 1 电报，25字/分—0.10千赫 F 1 电报，100 字/分—1.25 千赫	A—連續波，包括各种方式的調幅 B—減幅波（火花式） F—角度調制（包括頻率調制和相位調制） P—脉冲发射	0—无鍵控或調制 1—等幅电报 2—調幅电报（載波可以是也可以不是受鍵控的） 3—电话 4—传真 5—电视 6—多路电报 9—混合式及不属于上述的其他情况	无字母时表示全載波調幅和各种型式的調頻 a—降低載波的单边带(SSb) b—降低載波的独立边带(ISb) c—其他降低載波的类型 d—脉幅調制(PAM) e—脉寬調制(PWM) f—脉位調制(PPM)

1-4 信号传输术语

通信系統要求的带宽决定于信息传送的速率、调制方式及恢复信号时所允許的失真度。对各种传输方式所需的带宽可参考本章之末所列參考資料^[2]。

电报传输时，传送信息的速率是用波特来表示。在启閉电报中，按鍵或有功率輻射状态相当于传号，而抬鍵状态相当于空号。在移頻

傳輸中，一般以較高的頻率為傳號。所謂以波特計的速率表示每秒發送基本傳號和空號的總數，它等於每秒周數(CPS)的兩倍。

在營業機器和遙測數據的傳輸中，更常採用每秒二進單位或者千二進單位（1000個二進單位）數來表示傳輸速度。每秒二進單位數和波特數代表相等的速度。

電話、傳真和電視的信息傳輸速率即簡單地以赫數來表示。

表 1-3 列有各種電碼^[3]由每分鐘字數變換到波特數或者赫數的換算因數。

表 1-3 各種電碼由每分鐘字數變換到波特數或赫數的換算因數

電 碼	波 特 數	赫
國際莫爾斯	0.9	0.45
美國莫爾斯	0.85	0.425
電纜用莫爾斯	0.4	0.2
起止式電傳打字電報機	0.742	0.371
同步電傳打字電報機（無起止脈沖）	0.50	0.25

1-5 傳輸頻率

分配給各種業務的發射機的頻率隨着技術的發展經常會有變化，本書不擬列舉那些各別的頻率分配。對此問題有興趣的讀者，可參看本章之末參考資料^[1]。

通常的無線電頻譜被分為許多段，分別命名，並給以頻段序數。每段的序數表示該段最高頻率含有10的幾次冪數。常用的名稱和序數見表 1-4。

對特高頻和超高頻段，表 12-1 中還附加字母細分。

對指配的頻率所容許的偏差或變動也已由國際協議規定。有時個別國家可以規定更嚴格的容許偏差。遵守容偏是使得有最大數目的發射機能占用頻譜而互不干涉的重要因素。

表 1-4 无线电频率指配表

频段序号	频率范围	名称
4	3—30 千 赫	Vlf 甚低频
5	30—300 千 赫	l-f 低 频
6	300—3,000 千 赫	m-f 中 频
7	3,000—30,000 千 赫	h-f 高 频
8	30—300 兆 赫	vhf 甚高频
9	300—3,000 兆 赫	uhf 特高频
10	3—30 千兆赫	shf 超高频
11	30—300 千兆赫	ehf 极高频
12	300—3,000 千兆赫	无 定 名

有关频率控制的方法将在第二章中详细讨论。

1-6 辐射功率电平

各种业务容许的最大辐射功率值由国家条例规定。往往在发信台的个别执照上可能更註有辐射功率限制。有些情况，如业余无线电台和水上业务电台等，天线效率不容易标准化，发射机功率的限制不是以辐射功率为准，而是以输入到最末放大级的功率为准。一般以能把发射机功率级限制到最小限度而能进行所需业务为宜。

对射频功率放大的方法将在第三章中讨论。第四章讲功率放大管，而第五章是讨论放大器对天线的耦合方法。在第十一章里，介绍了一些在甚高频和微波段把功率耦合到天线去的问题的特殊部件。

对于每类服务，重要的是应当有99%以上的辐射功率是在允许的带宽以内。频带范围外的乱真辐射会严重地干扰其它业务。最常有的乱真辐射所在的频率是所需频率的倍频或谐频。

另外一种乱真辐射是由于过调制产生的过大的边带。在发射机中，当输出频率系由混频器导来时，应将混频器的不需要的产物充分地减低。同样，当输出频率是由倍频器导来时，一定不能有分谐波频率的辐射。

有时，在一处工作的两部发射机所用的两付天綫之間有了一定程度的耦合，在每部发射机里就会出现相互調制。例如，一部发射机工作在頻率 A 上，另一部在較高的頻率 B 上，第一部发射机会产生 $A - (B - A)$, $A \pm 2(B - A)$, $A \pm 3(B - A)$ 等乱真頻率。同样，第二部发射机也会产生 $B + (B - A)$, $B \pm 2(B - A)$ 等乱真頻率。

在发射机和天綫之間的傳輸綫上加装的滤波器、短綫或其他器件，可以降低乱真輸出頻率。将机箱直接輻射的乱真頻率限制到最小程度是很重要的。

1-7 調 制

信息是通过調制过程加到无綫电发射机的。借助这一过程使一个波的特征为另一个較低頻率的波所改变。人的发音就是一个简单的例子。嘴的活动每秒钟不会超过十次，而人耳的孔径面太小不能够接收这个頻率。声帶可以产生为人耳所能听的較高的頻率，但是这种頻率只有經口对舌調制后才能轉化为有意义的声音，而这較高的頻率叫做載波。

两路或更多路信息可以借一个載波来传送，这时載波为副載波所調制，而副載波为所需传送的信息所調制。对載波調制的方式可以不同于对副載波調制的方式。表明調制方式的标准表示法，是随着信息的趋近于載波依次从左到右記下所用調制方式。例如， $a - m / f - m$ ①表示待传送的信息是先对副載波作振幅調制，而后用副載波对載波作頻率調制。

調制的基本方式有三：振幅調制、角調制及脉冲調制。振幅調制法在第六章中介绍，而角調制（包括頻率調制和相位調制）和脉冲調制法在第七章中討論。

沒有任何一种調制方法在所有条件下都是最佳的^[4]。对于某一給定的用途选择何种最佳方法，取决于許多系統方面的考虑，这不属

① 有时也記作 AM/EM 。