

無線電原理

165.

上 冊

4172/4

中國人民解放軍

高級通信兵學校訓練部

出 版 說 明

这部教材是我校无綫电教研室集体編写的。主要参考依裘莫夫所著的无綫电技术教程、通信学院編印的电子管及无綫电理論基础等書。

此教材分上下两冊，是我校各教学班的基本教材。全部教学時間約需二百二十到二百五十小时。其中部分內容較深者，以小字排印，供學員作进一步鑽研时参考，不屬於正式教学内容。

由于任务紧促，审查不够，編写水平又低，因而無論在取材、順序以及問題講解各方面都会有很多差錯。这是一个初稿，我們希望大家在使用中多提出修改意見。

沈阳高級通信兵学校訓練部

一九五七年十一月

上册目录

緒 論	1
1. 无綫电在軍事与国防上的意义	1
2. 无綫电在发展国民經济、发展科学和 提高人民文化生活中的作用	2
3. 无綫电的发展簡史	3
4. 无綫电在苏联的发展	4
5. 无綫电在中国的发展	5
6. 无綫电頻率的划分	6
7. 无綫电通信的組成和基本原理	8
第一章 振盪电路	13
§ 1—1 自由振盪电路(迴路)	13
1. 产生自由振盪的过程	13
2. 自由振盪頻率	15
3. 自由振盪的衰減	16
§ 1—2 强迫振盪电路	17
1. 串联强迫振盪电路	18
2. 並联强迫振盪电路	24
3. 串联和並联諧振电路的基本应用	28
§ 1—3 耦合电路	29
1. 耦合电路的基本概念	29
2. 互感耦合	32
3. 調諧耦合电路	38
4. 寄生耦合与屏蔽	43

§ 1—4 具有分布常数的电路	46
1. 集中常数和分布常数电路	46
2. 长綫的等效电路及其分布常数	47
3. 載有行波的长綫及其特性阻抗	49
4. 終端开路的长綫 (开路綫)	56
5. 长綫的特殊形式——天綫	62
6. 天綫的饋电和調諧	64
問題与习題	67
第二章 电 子 管	71
§ 2—1 电子管的簡單构造	71
§ 2—2 电子管的分类	75
§ 2—3 电子管的阴极	77
1. 金屬中的电子	77
2. 电子发射的几种形式	78
3. 阴极的构造	80
§ 2—4 二极管	83
1. 二极管中的空間电荷	84
2. 二极管的特性曲綫	87
3. 二极管的内阻	89
4. 二极管的应用	91
5. 二极管的主要定額	94
6. 二极管的型式	96
§ 2—5 三极管	100
1. 柵极的控制作用	101
2. 三极管的靜特性曲綫	103
3. 三极管的靜参数	110
4. 三极管的动特性曲綫	117

5. 三极管的型式与构造	122
§ 2—6 多极管	127
1. 三极管的缺点	127
2. 四极管	129
3. 五极管	134
4. 束射管	144
5. 变频管	147
6. 复合管	149
§ 2—7 充气管	150
1. 原子的激发与电离	151
2. 冷阴极充气管	152
3. 热阴极充气二极管	157
§ 2—8 阴极射线管	159
1. 示波管的构造和工作原理	160
2. 示波管应用的基本原理	163
§ 2—9 超高频电子管	165
1. 普通电子管不能用在超高频工作的原因	166
2. 常用的超高频电子管	173
§ 2—10 半导体	177
1. 半导体的性质	177
2. 半导体二极管	186
3. 半导体三极管	193
§ 2—11 电子管的使用与维护	200
1. 军用机中常用的电子管的规格及管脚符号	200
2. 电子管的失效与使用期限	201
3. 电子管的使用注意事项	203
4. 电子管的检查和更换	203
问题与习题	205

第三章 电子管放大器.....211

§ 3—1 放大器綫路中的电流与电压	211
§ 3—2 放大器的放大能力	217
§ 3—3 放大器的失真	222
§ 3—4 放大器的分类	225
1. 高频放大器及低频放大器	226
2. 甲类、乙类及丙类放大器	229
3. 电压放大器及功率放大器	239
§ 3—5 向电子管供电的方法	241
§ 3—6 放大器的并联与推挽	245
問題与習題	248

第四章 无綫电发信設備.....249

§ 4—1 高频振盪器	250
1. 电子管振盪器的工作原理	250
2. 电子管振盪器产生振盪的条件	252
3. 几种常用的高频振盪器綫路	259
§ 4—2 振盪器頻率不穩的原因及穩定的方法	263
§ 4—3 电子耦合振盪器	267
§ 4—4 晶体和晶体振盪器	269
1. 晶体和它的特性	269
2. 晶体的自然頻率和等效电路	271
3. 晶体振盪器	272
§ 4—5 高频放大器	276
1. 高频功率放大器的功用	276
2. 高频功率放大器工作时电流电压的波形及調諧	277
3. 高频功率放大器的中和电路	280

§ 4—6	倍頻器	281
§ 4—7	无綫电波的調制	282
1.	鍵控	284
2.	調幅	288
§ 4—8	发信机的輸出电路及其調諧	306
§ 4—9	发信机綫路举例	310
§ 4—10	发信机的技术指标 (电气性能)	311
問題与习題		313

緒 論

1. 无綫电在軍事与国防上的意义

无綫电是应用电学的一部分，是研究高频交流电的理論及其实际应用的科学。

无綫电自1895年A·C·波波夫发明以来，已有非常迅速的发展。由于无綫电在軍事上有着巨大的作用，所以无綫电刚一发明就被装备到当时的俄国海軍艦队中去了。到了今天，无綫电这门科学在軍事与国防上的作用不但未見减小，反而更加重大了。

在現代化諸兵种合同作战中，无綫电成为保証在战斗行动中各兵种精确地协同作战的不可缺少的工具，現代化战争主要特点之一是机动性大和情况变化很快。部队的指揮員需要及时而毫不延迟地获得有关战斗进展的情报，并迅速地把自己的命令下达給部屬。因此就需要保証精确而不間断的通信联络。在战斗发起以后，无綫电就是最主要的通信方式，它能保証在远距离外确切而灵活地指揮部队，它是一种机动性最强，最灵活和作用最迅速的通信工具。因此斯大林同志曾給予无綫电以这样的评价：「无綫电是現代战斗中指揮部队最可靠的联络方式和主要工具」。

对于空軍和海軍，无綫电更是主要的通信工具，在这方面，沒有任何其他的通信工具可以代替得了。

而在現代，当无綫电的发展已远远地超过了无綫电通信这一范围时，它在軍事和国防上就更显得重要了。

雷达是防空兵不可缺少的武器，不仅如此，雷达还是空軍、海軍

和陸軍的武器，它不仅是防御的武器，而且也是进攻战斗中的武器。

电视在軍事上的应用已經是可以預計的事了，不久即将有偵察飞机把敌方一切活动通过电视机传送过来，指揮員在电视接收机面前可以把敌方的活动观察得清清楚楚。

导弹的操縱发送和防御，也要靠无綫电，只有无綫电自动操縱才可以使导弹准确地飞向目标。

所以无綫电在現代軍事和国防上有着巨大的意义。

然而，要保証战場上灵活而完善的通信，除了优良的无綫电设备外，还需要有精通技术、掌握通信武器的人。在現代的战争中，很狹窄的区域里会有几千个无綫电台在工作。所以掌握各种无綫电的装备，不仅是无綫电兵的任务，而且也是指揮員必須具有的技能，对于通信部队的指揮員來說，就是更加重要的任务了。

2. 无綫电在发展国民經济、发展科学和 提高人民文化生活中的作用

无綫电的发展到了今天，只在狹义上才是指无綫电通信方面，而在广义上是指使用无綫电技术发展起来的科学，实际上也就是現代所說的无綫电电子学的范围。

无綫电电子学的应用几乎在一切的科学技術部門都得到了发展。苏联 А·И·貝尔格院士說：「人們有时把我們現在这个时代称为原子能世紀。我觉得把它称为无綫电电子学世紀也是同样恰当的，因为只有物理学中采用了无綫电电子学的方法，原子能的应用才有了可能。此外，无綫电电子学渗透到一切科学和技术部門之中，以及十分广泛的无綫电电子学方法的应用也都証实了这一論断」。

首先在原子能的利用上，解放原子能的过程就全部要用无綫电的方法来进行遙控，并使其过程自动化。在其他工业上要进行遙控和生产过程自动化，也要利用无綫电电子学的方法才行。如果考虑到生产过程自动化对发展国民經济的巨大意义，那就不难体会到无綫电技

术在发展国民經济中的作用。同时无綫电技术也被直接应用到生产过程中去,例如,鋼制部件的淬火加工方面,就直接使用高頻率的电流。

在科学部門的各种研究中,几乎沒有能离得开无綫电技术的。因为科学研究常常需要用高速、精确、灵敏等等方面的技术,而无綫电技术正是提供最高速、最精确和最灵敏的主要来源之一。例如原子核的研究需要产生极高速度的带电粒子,而无綫电电子学的成就使得現在已經可以获得非常接近光速的速度。无綫电电子学上的成就已經能够測量出小于千分之一度的温度变化和小于百万分之一毫米的长度变化。同时由于无綫电电子学的发展,已在科学界开辟了新的部門,如无綫电天文学,无綫电气象学等等。

在交通运输和通信中无綫电的作用就不必提了。

在提高人民的文化生活中,无綫电是起着巨大作用的。广播和电视的发展大大地促进了文化交流,充实和丰富了文化生活的內容,它是提高人民文化水平的一种重要工具。斯大林同志在1934年苏联共产党第十七次党代表大会上就曾指出:「无綫电在使乡村居民进入社会主义生活中起着很重要的作用」。

由上可知,无綫电在发展国民經济,发展科学提高人民文化生活中的作用是非常重要的。

3. 无綫电的发展簡史

前面所講的,虽然还很不全面,但已經可以看到今日无綫电发展的大致面貌。現在我們再簡單地來回顧一下无綫电六十余年來发展的情况。

1895年5月7日俄国伟大的科学家A·C·波波夫在彼得堡(今列宁格勒)的一次科学家集会上,报告了自己发明的接收电磁波的装置,并當場做了表演。这是世界上公認无綫电发明的日子,現已訂为无綫电的节日。

无綫电发明到現在还不过六十多年的历史,这段時間可以划分为

三个阶段:

第一阶段——約有30年(1895—1925),在这个时期中无綫电的发展速度較慢,无綫电的应用只停留在通信上,內容方面只有无綫电报,而且发展也比較慢,使用波长只是几千米的长波。只在这一阶段的末几年,才有无綫电话的发明和短波能为电离层反射的发现。

第二阶段——約20年(1925—1945),应当認為是无綫电技术的时期,在这个时期內,无綫电报繼續地发展着,而无綫电话也得到了发展和广泛地使用,无綫电广播发展极为迅速,远距离的传真电报也被掌握了,电视出现了,无綫电导航开始被广泛地使用,雷达(无綫电测位)产生了,并且得到了很大的成就。

由简单的无綫电报发展到其他的技术領域,是因为电子管技术上的成就和新的无綫电波波段的发现、研究以及被应用的结果。在这一时期中,短波、超短波、分米波、厘米波波段的应用都有很大的发展。同时,在这期間无綫电技术形成了独立的科学,产生了无綫电工业。无綫电的理論和科学研究都有巨大的发展,从而建立了无綫电技术牢固的基础。

第三阶段(1945—現在),10年多的時間,实际上不能認為是无綫电技术的阶段,更恰当地應該認為是无綫电电子学时代的起点。在这个阶段中,虽然時間不长,但是,无綫电的范围已大大地超过了无綫电通信广播的范围,无綫电电子学的技术广泛地被运用到一切科学、技术和国民經济部門中去了。这种情况在前面已經談到,至于将来的发展和应用那更是不可限量的。

4. 无綫电在苏联的发展

苏联是无綫电的祖国,它不但是无綫电报誕生的国家,而且也是无綫电话誕生的国家,无綫电事业的发展苏联也居于世界先进的位置。然而,在沙皇統治时代,对无綫电事业是不重視的,自1906年波波夫逝世以后,他的事业几乎被人忘記,而且几乎完全送到了外国人

手中。但在伟大的十月革命以后，由于苏联党和政府的关怀，苏联的无线电事业才得到了迅速的发展，赶上并且超过了资本主义国家的水平。

无线电在苏联的发展是和列宁的名字分不开的，列宁天才地估计了无线电的价值。在苏维埃国家刚一成立，他就签署了两个关于发展无线电事业的命令，其中之一就是成立全苏的无线电实验室和制造厂，这就是有名的尼斯城无线电实验室。领导这个实验室的鲍奇一伯鲁也维奇努力实现列宁的理想——创制无线电电话和无线电广播。在党和政府的关怀和支持下，不过一年就实验成功，并首先建立了正式的无线电电话的电路，而在当时英美各国还有人怀疑无线电电话的可能性呢！

以后苏联的无线电事业的发展就更为迅速了，在第一个五年计划中，苏联建立了强大的无线电工业，仅仅四年就把全部干线通信用的发信机增大了2.8倍。而现在苏联的无线电工业更是远远地超过了第一个五年计划的水平。目前苏联拥有世界功率最大的发信机，世界上质量最好的电视设备，并正在计划彩色和立体电视。苏联工厂用最头等的无线电台来装备强大的苏军。在无线电科学研究方面由于苏联学者们在这方面独特的成就已形成了苏维埃无线电工程师学派。很多无线电技术部门的开拓，都是苏联学者们的功绩，象鲍奇一伯鲁也维奇，舒列金，舒金，曼傑西塔姆，貝尔格，明次等人在无线电技术方面的贡献都是极大的。

5. 无线电在中国的发展

早在1911年我国就开始使用无线电通信，但在旧中国可以说是没有无线电事业的，当时仅有的一点点无线电事业也是操在帝国主义者或其代理人的手中。

我国无线电事业是从新中国成立以后才开始有飞跃地发展的。在三年恢复阶段中，我国的无线电事业不但是恢复了而且有了发展，仅以广播来说：1952年已有475.2千瓦，无线电工业也有了发展，已能制

造各式无綫电机，加强了我軍的无綫电通信設備。而在第一个五年計划中又大大地发展了。拿广播方面來說，規定要达到2650.2千瓦，要比52年增加5.6倍，并預計在58年要建設我国第一座电视广播电台，生产电视接收机。我国除了原有的工业外，并且已建設了包括有新型的完全自动化的电子管制造厂的无綫电企业。

在党中央提出向科学进軍的号召下，我們已編制了长期的科学工作规划，在这规划中无綫电电子学占着重要的地位。在党的号召、鼓舞和支持下，加上我国无綫电科学技术工作者的积极努力，我国的无綫电事业将会更迅速地发展。仅仅从最近的成就来看：复旦大学已試制成功了电子计算机；东北人民大学也已試制成了半导体整流器和三极管；在工业方面我国已試制成了60千瓦的电报广播发信机，已能生产各型的电子管，并进行生产品質精良世界上最新型的电台。以上这些都說明了我們不仅能够超額完成五年計划的任务，而且也一定能够达到「十二年内赶上世界水平」的要求。

6. 无綫电頻率的划分

(1) 波长、頻率的关系

无綫电通信是利用电磁波来通信的，因此我們先說明波在传播时的几个重要的关系。为了清楚起見，先用水波做例子。如果用一根小棒上下打水，就会产生水波，它用一定的速度传开去（图1）。很易知道，如果小棒上下打水的頻率很低，

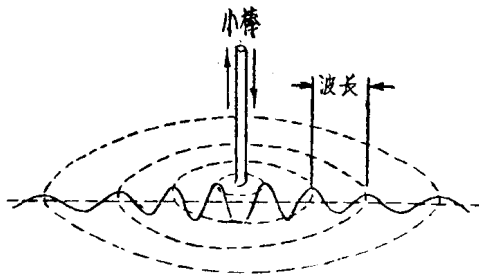


图1 水波的传播

（也就是打得慢）那么前一个水波和后一个水波的距离（称为波长）一定远。相反的，如果頻率高，則波长短。当然这还和水波传播的速度有关系，水波如果速度

快，那么前一个水波和后一个水波距离也就远一些。因此我們可以知道：波长是和波的速度成正比，而和頻率成反比的，用式子表示：

$$\lambda (\text{波长}) = \frac{V}{f}$$

式中 λ 表示波长，单位用米。

V 表示波传播的速度，单位用米/秒。

f 表示頻率单位用周/秒或称为赫。

上面的公式是大家在物理学中已經熟悉了的。无线电波也是一样，不过无线电波在空气中的速度是每秒 3×10^8 米，所以无线电波的頻率和波长的关系是：

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f (\text{赫})} \text{米}$$

或更简单些： $\lambda = \frac{300}{f (\text{兆赫})}$ 米，只是要注意这个式子中頻率的单位要用兆赫。

〔例 1〕頻率为 6 兆赫的电台的它的波长是多少？

$$〔2〕 \lambda = \frac{300}{6}$$

（2）无线电頻率的划分

現代无线电通信使用的頻率大約从 10 千赫到 30,000 兆赫，通常分为四个波段，原因是这些不同波段中的无线电波传播的規律是不一样的。这几个波段如下：

无线电波段的划分

名 称	波 长	頻 率	备 註
长 波	3,000—30,000 米	10—100 千赫	常合称为微波
中 波	200—3,000 米	100—1,500 千赫	
短 波	10—200 米	1.5—30 兆赫	
超米波	1—10 米	30—300 兆赫	
短分米波	0.1—1 米	300—3,000 兆赫	
波厘米波	1—10 厘米	3,000—30,000 兆赫	

同在一地区的电台不能工作在相同頻率上，否則就会产生干擾，因此国家广播电台頻率的使用都經国际會議分配，如中波就划为广播的頻率。在欧洲地区的广播頻率在1950年就在哥本哈根經国际會議确定分配了，但是美帝国主义不仅要侵犯其他国家的領土和主权，即使在无綫电頻率上也不例外。据最近統計，它在东欧設立了123座强力电台，专门占用分配給人民民主国家的頻率，破坏这些国家的广播事业，这完全是不顧国际公約强盜式的行为。

軍用电台的頻率使用不受国际上的限制，由部队規定。但是都在中短波，短波和超短波的波段中。

7. 无綫电通信的組成和基本原理

現在介紹一下无綫电通信的組成和它的基本原理，了解这些是很有用的，因为今后本課程所討論的內容都是为了了解无綫电通信准备基础的。

(1) 无綫电通信电路的組成

无綫电电路可以分为三个主要組成部分就是：

- ① 发信机——发出无綫电波。
- ② 传播无綫电波的媒介質。
- ③ 收信机——接收无綫电波。

一个广播的无綫电电路的組成如图 2 所示。

(2) 无綫电通信的基本原理

下面我們說明发信机和收信机各应有那些主要部分，并从这里說明无綫电通信的原理。

① 发信机的主要組成部分和工作原理

发信机首先应有振盪器，因为发信机的任务是发出无綫电波（也就是电磁波），从电工学知道，只有天綫上的电流是很高的頻率，才能有效地輻射电磁波，因此每一部发射机就必須有振盪器，它的任务就是产生高頻率的电压。

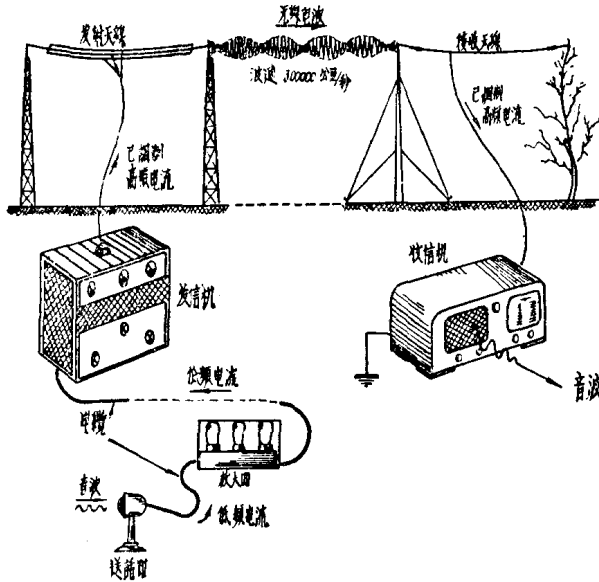


图 2 一个广播无线电路的组成

仅有振盪器还不够，还必须要有控制设备。因为如果不加控制，那么振盪器产生的高频率电压加到天线上后，天线中就永远是同样大小，同样频率的电流。这样也就辐射一样的电磁波，这是不能用来通信的。正好象我们利用灯光来通信（例如海军用的信号灯），如果灯光永远同样地亮着，那是不能代表信号的。必须控制它，最简单的就是使灯光一闪一灭，用亮的时间长短来代表符号或电码，这就可以通信了。无线电报就是用电键来控制，使天线中的电流时有时无来通信。因此无线电报就必须有电键控制设备（简称键控）。这样才能控制天线中高频电流的有无。

功率放大器——过去最简单的无线电报发信机就只有一个振盪器加上电键，但是它的性能不好。第一，发射的功率不够大。第二，发射的频率不稳定。如果在振盪器后再接上功率放大器，它就可以改进上面的缺点。因此现代发信机，功率放大器也是不能少的。

天綫是用来有效地輻射无綫电波的。

无綫电报发信机的工作原理就是：把振盪器产生的，被电鍵控制了的高頻电流加以放大，送到天綫上去，发射出被控制的无綫电波。

无綫电话发信机的工作原理基本上和电报发信机一样，只是不能用电鍵来控制，而是改用話筒(微音器)来控制。对着話筒說話，話筒里就产生和声音变化相同的音頻电压。用这个电压来控制高頻电流的大小(即高頻电流的振幅)，使天綫中高頻电流的大小随声音的改变而改变，因此发出的电磁波也是随着声音变化的，这样可以代表声音，接收时只要想办法把它再变成相应的声音就可以了。用話音电压来控制高頻电流的振幅的方法叫調幅。

話筒里的随声音变化的电压叫調制电压，也叫調幅电压。假設它的波形如图3a，那么受它控制以后高頻交流电流的波形就如图3b。由图中可以很清楚的看出当話筒的电压等于零的时候，天綫中的电流大小是不变的，当話筒电压变正时，天綫电流随之变大，話筒电压变負时，天綫电流减小。已被調幅的电流称为已調幅电流(或幅調电流)

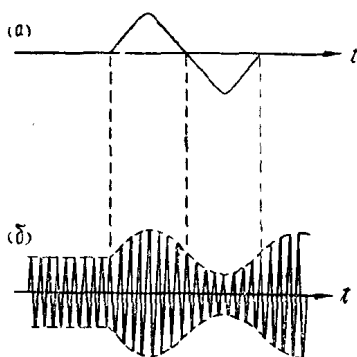


图 3 (a) 調制电压
(b) 已調幅的电流

有的发信机中話筒的电压不用来控制高頻电流的大小，而是控制高頻电流的頻率，这就称为調頻。調頻时，天綫中电流的大小不变，而它的頻率随話筒电压的高低变化，它的波形如图4，从图中可以看出，当話筒电压等于零时，天綫电流的頻率不变，当話筒电压是正的时候，天綫电流的頻率随之增高，当話筒电压是負的时候，天綫电流的頻率随之减低。

因此，无綫电话发信机的工作原理就是把被話筒电压控制了的高頻电流(調幅或是調頻)变为无綫电波发射出去。