



中等专业学校教学用书

无线电通信

編者：成都邮电学校无线电教研組
审編者：邮电院校无线电通信教材审編組

人民邮电出版社

中等专业学校教学用书

无 綫 电 通 信

編 者：成都邮电学校无綫电教研組

审編者：邮电院校无綫电通信教材审編組

人民邮电出版社

1962

內 容 提 要

本書是為郵電中等專業學校綜合專業的学生編寫的。全書共分八章。在前四章中，分別講述了無線電技術和無線電通信的一般概念、無線電技術中的電振蕩、無線電通信的輻射器——天線以及無線電波的傳播；在第五、六章中，分別講述了無線電發信機和無線電收信機的基本原理。在第七章介紹了超短波無線電通信。第八章介紹了無線電話終端機。

本書也可供在職無線電機務員閱讀。

無 綫 電 通 信

編 者：成都郵電學校無線電教研組

審編者：郵電院校無線電通信教材審編組

出版者：人 民 郵 電 出 版 社

北京東四 6 條 13 號

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 廠

發行者：新 華 書 店

開本 850×1168 1/32

1962 年 3 月北京第一版

印張 7 6/32 頁數 280 插頁 1

1962 年 3 月北京第一次印刷

印刷字數 192,000 字

印數 1—3,650 冊

統一書號：K15045 · 總 1287—無 339

定價：(9) 0.90 元

前言

本书系由成都邮电学校无线电教研组部分教师分工编写，并经教研组教师集体讨论，今秋又在成都邮电学校负责主持下，由邮电院校无线电基础教材选编组选编审修而成。选编过程中对初稿的内容、分量依本课程教学大纲要求进行了删改与补充。在内容的重点、系统性、概念的严密性与深度，以及文字表达等方面都作了修订。

本书在分量上，第一、三、八章可能较重，希各校教师根据具体情况酌情取舍。对于超高频通信部分限于课时，比较简略，如需要时，在教学过程中可结合具体情况予以补充。

本书的初稿是由赵锐、彭淮霖、漆逢吉、许冬明等同志编写的。

参加选编审修的教师，除上述参加编写的教师外，尚有石家庄邮电师范学院教师宋锡昌、郑州邮电学校教师严万瑞、山东邮电学校教师李爱生以及成都邮电学校教师金洪生等。

本书的制图及抄缮工作是由成都邮电学校部分教师担任的。

由于经验及水平所限，本书内容难免有不妥甚至错误之处，希望使用本书的教师与同学积极提出宝贵意见，以便今后修订提高。

1961年10月

目 录

前言

第一章 緒論	1
1.1 无线电技术的发展簡史	1
1.2 現代无线电通信原理	3
第二章 振蕩回路	12
2.1 自由振蕩	12
2.2 强迫振蕩与諧振	18
2.3 諧振回路的运用	42
第三章 天綫	43
3.1 一般概念	43
3.2 天綫輻射无线电波的物理过程	44
3.3 非接地振子与接地振子	51
3.4 天綫波长的調节	58
3.5 天綫的发射功率和有效高度	61
3.6 天綫的种类和运用	65
3.7 饋綫的连接和簡單天綫饋綫的計算	77
3.8 天綫的保安装置、架設天綫、饋綫时的注意事項和維護	81
第四章 無綫电波的傳播	83
4.1 大气的結構	83
4.2 电离层对无线电波傳播的影响	86
4.3 长波、中波的傳播	93
4.4 中短波和短波的傳播	99
4.5 超短波的傳播	106
4.6 各波段无线电波的运用	107
第五章 無綫电发送設備	109
5.1 无线电发信机概述	109
5.2 电子管振蕩器原理	111
5.3 晶体振蕩器	118

5.4 电子管振荡器的供电	121
5.5 丙类功率放大器	126
5.6 中和	135
5.7 电报键控法	139
5.8 调幅电路	142
5.9 调频的概念	149
5.10 无线电发信机实例-55型发信机	152
第六章 无线电接收设备	156
6.1 无线电接收设备概述	156
6.2 无线电接收机的一般特性	158
6.3 输入装置	161
6.4 高频放大器	165
6.5 检波器	171
6.6 再生式接收机	180
6.7 超外差式接收机及变频	184
6.8 中频放大器	193
6.9 自动增益控制	198
6.10 普通七灯超外差式接收机电路分析与使用方法	201
6.11 无线电干扰及其防止	205
第七章 超短波通信的概念	207
7.1 超高频振荡器概述	207
7.2 无线电接力通信和多路通信	210
7.3 超高频收发信机方框图	213
第八章 无线电电话终端机设备	215
8.1 无线电电话终端机的概念	215
8.2 音控防鸣电路	218
8.3 保密设备	221
8.4 终端机的其他部件	224

第一章 緒 論

1.1 無線電技術的發展簡史

無線電技術是研究電磁振盪、電磁波及其實際應用的一門科學。我們常把振盪電路里的電場和磁場的相互變化叫電磁振盪；而把空間里周期性變化的電場和磁場傳播的綜合叫電磁波。

馬克斯威爾在總結了前人實驗的基礎上（如法拉第的感應電流定律和安培的全電流定律），又提出了在交變電場中存在着位移電流的概念，因而得出交變電場會隨同出現交變磁場的論斷，從理論上証實了電磁波的存在；並且指出，電磁波在空氣中傳播的速度差不多與光速相同（ 3×10^8 米/秒），而且光也是電磁能的一種，光波也就是一種電磁波。1888年德國物理學家赫芝用實驗方法產生了電磁波，並且証明有輻射場的存在。以後俄國科學家 П. Н. 列別捷夫在實驗中又發現了毫米波。他們的實驗都証實了光波和電磁波的本性相同的理論。

但是，開始把電磁波用於實際的是偉大的俄國科學家 A. C. 波波夫。1895年5月7日，在彼得堡俄羅斯物理化學學會上，A. C. 波波夫公開表演了他自己的第一架無線電接收機（當時稱為雷電指示器）。這一偉大的發明，揭開了科學史和技術史上新的一頁。

A. C. 波波夫不僅做了接收機的實驗，而且在同一年還做了發信機的實驗，實現了距離 60 米的無線電通信。1897 年初又實現了距離 640 米的無線電通信。在 1899 年還實現了距離 50 公里的無線電報通信。在 1900 年他與他的助手創建成了世界上第一條實用雙向無線電路。A. C. 波波夫並發明了天線，同時創造出成套的無線電器件，為現代無線電技術的發展奠定了基礎。

最早的發信機是火花式的，它只能產生衰減的振盪，不能傳送電話信號。後來有了電弧式的發信機和高頻發電機式的發信機，它們

只能产生頻率較低的等幅振盪，而且机器龐大笨重，在通信上实用价值不大。直到1904年和1907年二极电子管和三极电子管的先后出現，并制成了电子管放大器、电子管振盪器以及其它的无綫电技术設備，同时收发信設備也用电子管作为重要的元件，从而使得通信距离大为增长。电子管的发明及使用电子管的无綫电設備进一步的发展，才使得无綫电技术大踏步地向前迈进。

现代无綫电技术的应用是极为广泛的，如通信、广播、工业、医学、航海、航空、国防、地质探测、气象、科学研究等，都应用了无綫电技术。

无綫电发明后的六十余年中，无綫电技术经历了长足的进步与发展。尤其是近年来在苏联及各人民民主国家中，无綫电事业和无綫电技术，和其他科学技术一样，在无比优越的社会主义制度下，发展更快。如苏联的人造卫星发射成功，載人宇宙飞行的成功，这也說明了在无綫电电子学方面的輝煌成就。

无綫电技术发展在我国始于二十世紀初。1908年我国开始使用无綫电通信。当时所用的发信机是从外国买来的火花式的发信机。由于旧中国长期处于半封建、半殖民地状态，帝国主义及反动統治者残酷剝削統治人民，因此无綫电事业在我国长期陷于支离破碎的状态。虽然由于統治阶级的需要，設立了一些无綫通信及广播設備，但一切器材基本都从国外輸入，程式非常杂乱，技术落后，无綫电工业也十分薄弱。

人民革命事业的伟大胜利，为我国的无綫电通信事业和无綫电工业技术的发展，开拓了广闊的道路。解放后由于党和人民政府的正确領導，我国的无綫电事业和无綫电技术水平有了普遍的提高，在兄弟国家的支援之下，无綫电工业也有了飞速的进展。例如我們現在已有現代化設備的电子管厂和无綫电器材厂，能制造各式的收音机，大功率发信机和其他无綫电設備。1958年以来全国一些大城市已开始了电视广播。

可以相信在党的领导下，在总路綫、大跃进、人民公社三面紅

旗的光輝照耀下，我国的無線电工业、無線电通信、广播及电视事业等，必将有着更大的发展。

1.2 現代無線电通信原理

無線电通信是無線电技术应用的一个重要部分。無線电通信就是不用導線傳輸各种电信号，而完成传递信息的过程。

但是，根据电磁波的特性，只有数十万赫以上的高频电流产生的电磁波，才可能传播到遙远的空間。所以在习惯上常把数十万赫以上的电磁波叫無線电波，一般常把它划分成如下几个波段范围。

分 类		頻 率 范 围	波 长 范 围
长 中 中 短 短	波	100 千赫以下	3000 米以上
	波	100 千赫—1.5 兆赫	3000—200 米
	波	1.5—6 兆赫	200—50 米
	波	6—30 兆赫	50—10 米
超 短 波	米 波	30—300 兆赫	10—1 米
	分 米 波	300—3000 兆赫	1—0.1 米
	厘 米 波	3×10^3 — 3×10^4 兆赫	10—1 厘米
	毫 米 波	3×10^4 — 3×10^5 兆赫	10—1 毫米

(米波以下又称微波。——編者)

無線电通信按其通信方式，广义地說可分下列几种：

1. 电报；2. 电话；3. 传真；4. 广播；5. 电视。

前三种無線电通信方式，一般都采用双向制，也就是說通信电路

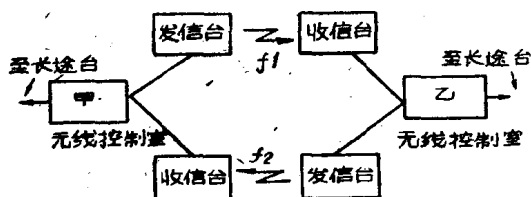


图 1.1 無線电通信系統

两端都能发信及收信。

例如無線电话是两个人会話，双方都要能听能讲，因而在两个互相联絡的地点，任何一端都应该有收发信設備。

其通信系統如图 1.1 所

示。

甲和乙为两方无线电控制室，各自联接发信台和收信台。甲方发信台以一个频率 f_1 向乙方发送，而乙方的发信台用另一个频率 f_2 向甲方发送。

广播和电视则按照另一个方式工作，它是由一个电台向各方面发送消息。这个电台必须有无线电发信设备(广播电台或电视台)。电台发送出的节目由任意数目的无线电接收机接收。这种广播系统和通信系统是不同的，如图 1-2 所示，它只要单方向发送。

但是不管在那一种系统中，都是由发信机、收信机、天线和电波传播媒质来完成信号传递的。

无线电发信机可以用图 1-3 方框图来表示。发信机包括电源、高频振荡器和调制器。高频振荡器的作用是把直流电能转变为高频的振荡电能。调制的作用是使高频振荡随调制信号的作用而发生变化。这种随信号变化的高频振荡能量，从天线上辐射出去，在空间以电磁波形式传播。

无线电接收机可以用图 1-4 方框图来代表。发信机送出的信号

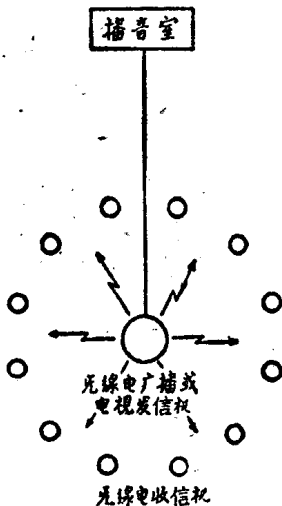


图 1-2 无线电广播系统

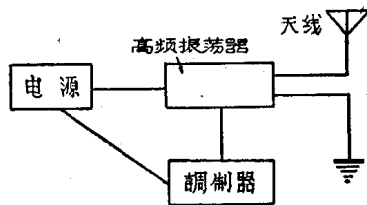


图 1-3 无线电发信机方框图

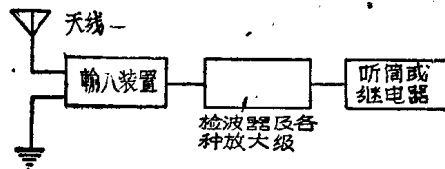


图 1-4 无线电收信机方框图

在收音台被接收天線所接收。但这天線同时也从空間接收其他发信机所送出的信号。为了使所需的信号从其他信号中选择出来，在收音机中就需要有輸入装置。輸入装置所选出的信号送入检波器^①，还原成調制信号（如音频信号）电流。这种調制信号电流經過电报繼电器或电话听筒，就变成电报符号或电话声音。

应指出，图 1·3 和图 1·4 的各部分是无綫电通信设备中最基本的设备（即任何无綫电通信设备中所必需的）。这只是用来说明通信基本原理的。而現代的收发信设备将在收音设备与发信设备章节中詳細研究。

大家知道，当两人相隔一定距离，需大声讲话才可能听到，假使相隔太远了，即使大声喊也听不到了。这是因为声波不能传送到更远的地方，因此不能直接利用声波通信；另一方面声波的传播速度太低，也不能滿足通信要求。

最初是将声能改变为电能，然后用导綫将电能传送至对方，对方再用电声变换装置（例如受話器）又将电能复原为声能。图 1·5a 所示的是用以实现有綫电话通信的最简单电路。被某振盪源所产生的空气质点振动，使炭粉微音器 M 的薄膜发生机械振动。微音器电阻将跟着

微音器薄膜的振动而变化，从而使得电路內电流的值按空气质点振动的节拍而变化。电流的变化使耳机 T 的振动膜发生机械振动，因此耳机旁的空气质点也就按照最初的声頻空气波，对微音器作用的

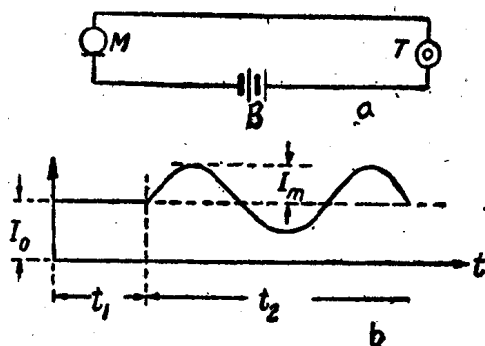


图 1·5

a 有綫电话通信的最简单电路

b 电路內电流曲线

①、在有的收音机中还先經過高频放大器或变频器

同样规律而振动起来。这一过程如图 1.5b 所示。图中所示是某一单频电波作用到微音器的情形。在时间间隔 t_1 之内，微音器不动作，电路内有恒定的电流 I_0 流过，其值和方向都不变；在时间间隔 t_2 之内，微音器被激励，电路里有脉动电流经过，该电流是按作用到微音器上的空气波的节拍而变化的。该电流经过与微音器 M 和电池组 B 串联的耳机 T ，假定说微音器和耳机都不引起失真，则耳机重发出如图 1.5b 曲线所示的声波。用 I_0 表示该电流的直流成份，而用 I_m 表示其交流成份的振幅，则 $\frac{I_m}{I_0}$ 之比可以表明直流电流的利用情况。这一比值叫做调幅系数，用字母 m 代表，并且通常以百分数表示。

较高频率的波如无线电波可以传播相当远的距离。但是，一个连续的高频等幅振荡是不带有任何信号的，因而，也不能达到传递信号的目的。为此必须使高频振荡载着调制信号（如为音频信号）向远方传送。使高频振荡（载波）载有信号的手续叫调制。经调制过的高频振荡叫已调振荡（或已调波）。

当接收机收到已调制的高频振荡后，必须把高频电波转变成低频电波，重现出调制信号而达到通信的目的。这一过程叫检波。它是由检波器来完成的。

当高频电流的振幅随调制信号变化时，叫调幅（振幅调制）；当高频电流的频率随调制信号变化时，叫调频（频率调制）；当高频电流的相位随调制信号变化时，叫调相（相位调制）。

在目前实际中应用最多的是振幅调制。调幅后的高频信号从图 1.6 上可以看出。该图上画出了在无调制和有调制时高频电流波的情况。在时间间隔 t_1 之内，高频电流的振幅不发生变化（无调幅时）。在时间间隔 t_2 之内（调幅时），高频电流波的振幅按照被传输音频波的曲线变化律而变化。至于怎样从收音机上把调制波从已调制的高频波上取下的过程，这可用图 1.7 所示的图解说明如下。1. 接收天线收到已调电波（图 1.7a）；2. 将已调电波检波（即整流，

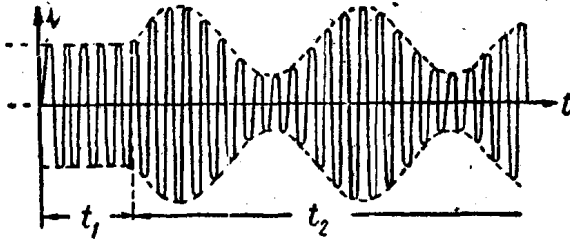


图 1-6 調幅高频电流波的曲线

如图1·7b)；3.让已检波的电流流过耳机等电声变换器，还原成声波（如果是无线电话通信的话），如图1·7c。检波和調幅是彼此相反的两过程，它們都是借高频波传输声波所必需的。

調幅无线电报是借发出許多串单独的高频等幅波来进行的。图1·8a所示是三串这种电波。发送单独的一串串等幅波是很容易的，只要用发报电鍵断續高频振荡器的振盪即能实现。由于高频电波不

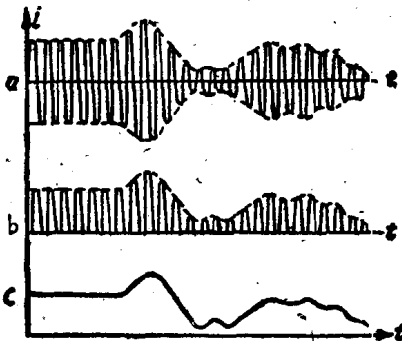


图 1-7 收音点复演声波

- a 所得的已調电波
- b 已調电波经过检波后的情形
- c 耳机里的电流曲线

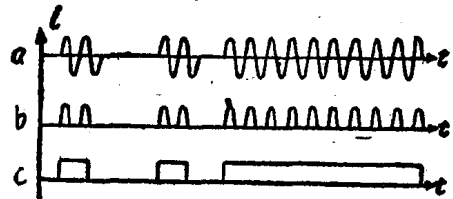


图 1-8 無線电报信号

可能在收音地点直接控制耳机或电报机，故必須將它們检波，把它們变成脉冲电流。图1·8b所示是已检波的电流。再经过滤波装置就成为图1·8c所示的原来的調制信号了。它可以用来控制电报机。因此，要实现无线电报通信，就必须：1.产生高频等幅电波；2.控制

高频电流波的振幅①，使它們接着电碼而中断；3. 将这些已調波发射出去；4. 接收已調波，将它放大（若收到的电波是微弱的），检波；5. 复演成电报符号。因此，无线电报与无线电話一样，都是采用已調波形式进行通信的。

电视和传真等通信过程，其中最基本环节如調制、电波幅射、检波放大……等也是必需的。

由上述可知，不管是那一种无线电通信，調制都起着重要的作用。其中調幅是我們常用的一种調制方法，所以我們专门对已調幅波进行分析。

为了說明問題簡單起見，假設只有一种頻率的声波作用到微音器。那末高频已調振盪电流的振幅 I_M ，从图 1·9a 上直接看出，可以用下式表示。

$$I_M = I_{m0} + I_m \cos \Omega t$$

式中 I_{m0} ——未調高频电流波，即載波的振幅；

I_m ——高频电流波振幅的最大变化值；

Ω ——声波的角頻率。

将 I_{m0} 取出括号外，得

$$I_M = I_{m0}(1 + m \cos \Omega t) \quad (1.2)$$

式中： $m = \frac{I_m}{I_{m0}}$ ，并称之为調幅系数

調幅系数可計算出高频电流的振幅和該电流未調制时的振幅相比的变化程度，或如通常所称的調幅度。

已調幅波电流的最大振幅值将等于 $I_{M\max} = I_{m0}(1 + m)$ ；最小值将为 $I_{M\min} = I_{m0}(1 - m)$ 。第一值是在 $\cos \Omega t = +1$ 时取得的，而后者則在 $\cos \Omega t = -1$ 时取得的。高频已調电流波的瞬間值可以按下式求出，即

$$i = I_M \sin \omega t = I_{m0}(1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t \quad (1.3)$$

式中 ω ——高频电流的角頻率。

① 只指調幅电报，調频电报（或叫移频电报）則变更其頻率。

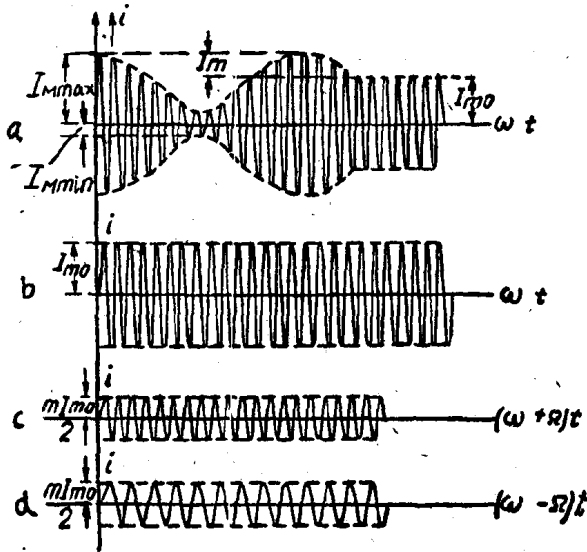


图 1-9 調幅波的組成

为了要了解已調波是什么样子，我們可利用三角关系

$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \sin (\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \sin (\alpha - \beta). \quad (1.4)$$

将 (1.3) 式变换成另一种形式。

令 $\alpha = \omega t$, $\beta = \Omega t$, 并把它們代入 (1.3) 式, 将得到

$$i = I_{m0} \sin \omega t + \frac{m I_{m0}}{2} \sin (\omega + \Omega) t + \frac{m I_{m0}}{2} \sin (\omega - \Omega) t. \quad (1.5)$$

因此被音频电流調幅过的高频电流波, 可以看成三种简单正弦波的总和, 即: 1) 频率 ω 和振幅 I_{m0} 的振盪 (图 1-9b); 2) 频率为 $(\omega + \Omega)$ 和振幅 $\frac{m I_{m0}}{2}$ 的振盪 (图 1-9c), 3) 频率 $(\omega - \Omega)$ 和振幅 $\frac{m I_{m0}}{2}$ 的振盪 (图 1-9d)。第一种振盪的频率与振幅和沒有調幅时一样。它的频率叫做“載頻”。第二和第三振盪的频率各为載頻与調制波之差及和, 叫做“边頻”。在沒有調幅的时候, 只有載頻。在調幅时就額外的出現了两个边頻。 $(\omega - \Omega)$ 叫下边頻, $(\omega + \Omega)$ 叫上

边頻。

我們以上所研究的是最简单的情形，即用单一音頻进行調幅。在实际无綫電話中，調制波通常是用語言和音乐，即包括整个音頻段的頻譜。被音頻 $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_K$ 的电流調幅过的高頻电流的瞬間值可以写成

$$i = I_{m0}(1 + m_1 \cos \Omega_1 t + m_2 \cos \Omega_2 t + \dots + m_K \cos \Omega_K t) \sin \omega t \quad (1.6)$$

式中： $m_1, m_2, \dots, m_K$ ——分別在角頻率為 $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_K$ 时的調幅系数，即

$$m_1 = \frac{I_{m1}}{I_{m0}}, \quad m_2 = \frac{I_{m2}}{I_{m0}}, \quad \dots, \quad m_K = \frac{I_{mK}}{I_{m0}}.$$

式中 $I_{m1}, I_{m2}, \dots, I_{mK}$ 是分別在調制頻率為 $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_K$ 时所得各高頻电流振幅的最大变化。

解开(1.6)式的括弧，并按照(1.4)式和(1.5)式将右边第二项起的各項加以变换，便得到

$$i = I_{m0} \sin \omega t + \frac{I_{m0}}{2} \sum_{n=1}^K m_n \sin (\omega + \Omega_n) t \quad (1.7)$$

因此，被某一低頻頻譜所調制过的高頻电流，可以看成为一系列簡單的正弦波之和。若將角頻率換为頻率，則得到載頻为 f 和两个边带：上边带所占頻率范围是从 $(f + F_{\min})$ 到 $(f + F_{\max})$ ；而下边带則从 $(f - F_{\min})$ 到 $(f - F_{\max})$ 。其中 f 为載頻， $F_{\min}$ 为最低調制頻率， $F_{\max}$ 为最高調制頻率。

这时的載波振幅和用单一音頻調幅的載波振幅相似，也等于未調幅时的高頻波振幅。但边波的振幅則等于 $\frac{m_1 I_{m0}}{2}$ 、 $\frac{m_2 I_{m0}}{2} \dots \frac{m_K I_{m0}}{2}$ 。其中 $m_1, m_2, \dots, m_K$ 是与各調幅頻率相对应的調幅系数；而 I_{m0} 則为載頻电流振幅。

图1.10所示是已調幅波为一整段頻带时的情况。

可見已調幅波是由載頻和具有相当振幅的二边带所組成的。

因之，二最边边頻 $(f + F_{\max})$ 和 $(f - F_{\max})$ 間包括的頻譜，

也就是等于它們二者的差数 $2F_{\max}$ ，被称之为信号頻譜寬度。为了方便起見，通常用 $2F$ 来表示。也就是說一般說的已調幅信号的頻譜寬度是最高調制頻率的两倍。

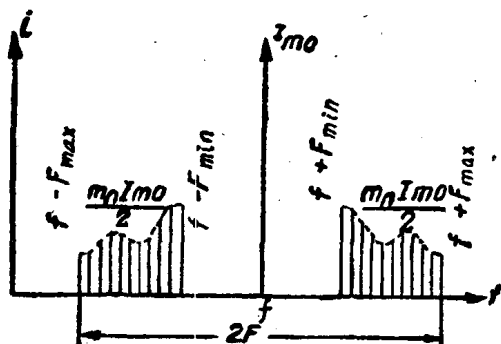


图 1-10 已調幅波的頻譜

例 1. 假設每一广播电台所占頻譜寬度为 $2F = 9 \times 10^3$ 赫，試求在 $\lambda_2 = 10$ 米 $\lambda_1 = 25$ 米的波段內能容納几个电台同时工作(暫不計相隣电台工作頻段間的間隔)。

解：和波长 $\lambda_2 = 10$ 米相当的頻率为

$$f_2 = \frac{C}{\lambda_2} = \frac{3 \times 10^8}{10} = 30 \times 10^6 \text{ 赫,}$$

和波长 $\lambda_1 = 25$ 米相当的頻率为

$$f_1 = \frac{C}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8}{25} = 12 \times 10^6 \text{ 赫.}$$

可能同时在从 $\lambda_2 = 10$ 米到 $\lambda_1 = 25$ 米波段內工作的广播电台数为

$$\frac{f_2 - f_1}{2F} = \frac{30 \times 10^6 - 12 \times 10^6}{9 \times 10^3} = 2000 \text{ (个)}$$

例 2. 頻率 $f = 2 \times 10^6$ 赫，振幅为 20 安的高頻波被 $F = 3 \times 10^3$ 赫的音頻波調制。如果調幅度为 40%，問上下边頻电流的頻率及振幅各为若干。

解：上边頻为

$$f + F = 2 \times 10^6 + 3 \times 10^3 = 2.003 \times 10^6 \text{ 赫}$$

下边頻为

$$f - F = 2 \times 10^6 - 3 \times 10^3 = 1.997 \times 10^6 \text{ 赫}$$

边頻电流振幅为

$$\frac{mI_{m0}}{2} = \frac{0.4 \times 20}{2} = 4 \text{ 安}$$