



中等专业学校教学用书

无线电基础

(上册)

原编者：西安邮电学院

审校者：邮电院校无线电基础教材选编组

人民邮电出版社

中等专业学校教学用书

無 綫 电 基 础

(上 册)

原編者：西 安 邮 电 学 院

审校者：邮电院校无綫电基础教材选編組



人民邮电出版社

1962

內 容 提 要

本书系邮电中等专业学校无线电通信专业教学用书。全书分上、下二册，共包括四大部分：集总常数迴路、分布常数迴路、电磁波的輻射与传播和天线。上册分九章，下册分五章。本书亦可供一般工程技术人員及无线电爱好者参考。

無綫电基础（上册）

原編者：西 安 邮 电 学 院

审校者：邮电院校无綫电基础教材选編組

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

（北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号）

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

发行者：新 华 书 店

开本 850×1168 1/32

1962 年 2 月北京第一版

印張 7 26/32 頁數 250

1962 年 2 月北京第一次印刷

印刷字數 209,000 字

印數 1—10,150 册

統一書号：K15045 · 总1281—无334

定价：（9）0.95 元

序 言

本书是作为中等专业学校无线电通信专业教学用书而编写的。全书共分四大部分：集总常数迴路、分布常数迴路、电磁波的辐射与传播和天綫。集总常数迴路与分布常数迴路部分主要是参考苏联阿馬列茨基所著的“无线电基础”一书进行编写的，而电磁波的辐射与传播和天綫两部分則主要参考苏联別洛采尔科夫斯基所著“天綫”一书进行编写。

全书力求由浅入深，結合我国邮电中等专业学校的特点和实际需要，吸收几年来各校的教学經驗，并对有关新的科学成就做了必要的理論簡介。

本书由西安邮电学院負責主持組織选編，参加选編工作的教师有：西安邮电学院黄嘉义、田士則、张志龙，上海邮电专科学校董民惠，成都邮电学校陶繼昌，江苏邮电学校朱茂等同志。此外，并由西安邮电学院教师关崇煜、郑祖惠、刘天祺、潘順启及王基兆等同志审查修改了部分初稿，刘国雄、倪毅同志参加部分資料翻譯工作，魏上清同志参加部分制图工作。北京邮电学院部分同学参加了本书书稿的校对工作。

选編过程中，因時間仓促，又限于水平以及經驗不足，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们指正和提出改进意見，以便今后修訂提高。

1961年10月

目 录

序言

第一章 緒論 1

§ 1 无线电发展簡史, 我国无线电发展概况 1

§ 2 无线电通信原理 3

§ 3 学习“无线电基础”課程的目的 10

第二章 無綫电元件 13

§ 1 引言 13

§ 2 电阻 13

§ 3 电感 21

§ 4 电容 33

§ 5 互感数值的計算, 变感器 39

第三章 迴路中的自由振盪 42

§ 1 理想迴路中的自由振盪 42

§ 2 实际迴路中的自由振盪 47

§ 3 衰减的对数減量 53

§ 4 自由振盪过程的延續時間 55

第四章 串联迴路中的强迫振盪 58

§ 1 稳定状态下的强迫振盪 58

§ 2 电压諧振的条件 60

§ 3 迴路的参数 61

§ 4 振盪迴路中的未稳定状态 63

§ 5 諧振曲线 67

§ 6 串联迴路的通頻带 74

第五章 并联迴路中的强迫振盪 80

§ 1 諧振时并联迴路的阻抗 80

§ 2 失諧不大时并联迴路的等效阻抗 86

§ 3 总路的电流和迴路支路的电流 89

§ 4 并联迴路的特殊情况 92

§ 5 分給并联迴路的电功率	93
§ 6 并联迴路的諧振曲线、通頻帶	94
§ 7 并联迴路的濾波和匹配	99
第六章 耦合迴路中的强迫振盪	106
§ 1 耦合类型, 耦合系数	106
§ 2 以一个等效迴路来代替两个耦合迴路	109
§ 3 諧振条件, 耦合頻率	114
§ 4 在次級迴路中最大电流的获得	118
§ 5 临界耦合	123
§ 6 耦合迴路的諧振曲线, 通頻帶	125
§ 7 耦合电路內电功率的平衡	130
§ 8 有关耦合迴路理論的各种应用	134
第七章 具有分布常数的电路的理論	140
§ 1 一般概念、电报方程	140
§ 2 无限长线上的电压行波和电流行波	143
§ 3 均匀线上能量移动过程的本质	149
§ 4 衰减常数、相移常数、特性阻抗、波长和传播速度	152
§ 5 从均匀传输线終端的电波反射	158
§ 6 在不同負荷时的理想传输线	162
§ 7 传输线的輸入阻抗、传输线上的諧振現象	173
§ 8 不均匀的传输线	182
第八章 饋线	186
§ 1 对饋线的基本要求, 饋线的型式	186
§ 2 工作于行波状态下的饋线的計算	189
§ 3 行波系数	191
§ 4 饋线衰减常数的計算和測量	193
§ 5 饋线特性阻抗的計算和測量	196
§ 6 負荷电阻不等于特性阻抗的饋线的近似計算	197
§ 7 天线阻抗变换器	200
§ 8 饋线的工程結構	208
第九章 濾波器	218

§ 1	濾波器的類別及工作原理	218
§ 2	濾波器的特性阻抗	221
§ 3	衰減常數和相移常數	222
§ 4	通低頻濾波器	225
§ 5	通高頻濾波器	228
§ 6	通帶頻濾波器	229
§ 7	止帶頻濾波器	234
§ 8	K 式濾波器的優缺點	236
§ 9	M 式濾波器	237
§ 10	其他類型的濾波器	241

第一章 緒 論

§ 1 無線電發展簡史，我國 無線電發展概況

無線電是俄國偉大科學家波波夫發明的。十九世紀末，資本主義經濟已相當發達，雖然採用了車輛、船舶等現代交通工具來傳送消息，但還不能滿足各方面通信聯絡的需要。當時的科學已相當發達，尤其是電磁波的輻射理論已經創立，並且已由實驗証實是正確的。這就形成了利用無線電波來進行通信的現時可能性。1895年，波波夫首次在俄國的物理化學學會物理學部年會上發表了“關於金屬粉末對電振盪的關係”的報告，並用它的“雷電指示器”來演示。這個“雷電指示器”就是世界上第一個用天線的無線電接收設備。

在波波夫發明無線電之前，有許多科學工作者對電磁現象作了研究，其中應該提到的是：(1)1831年法拉第發現了電磁感應定律，為電磁學說奠定基礎。(2)馬克斯威爾總結前人的經驗，創立了有關電磁波輻射理論並預言電磁波的存在，1873年發表了有名的“電學與磁學論文”。(3)1888年赫茲由實驗中產生了電磁波，並証明馬克斯威爾的理論是完全正確的。

1896年波波夫制出了火花式發射機，用來進行無線電通報。

1904—1907年，二極管、三極管相繼發明，電子管的出現，對無線電技術產生了重大影響。1910年以後，用電子管作為主要元件的無線電設備，日益增多。隨着通信的需要，電子管的種類逐漸繁多，質量不斷改善，電路理論也繼續發展與完善。電波傳播規律及天線技術都在不斷研究中得到發展，無線電通信得到迅速的發展。

1913年出現再生式接收線路，1918年出現超外差式接收線路。

發射方面，蘇聯學者米·亞·邦契—布魯也維奇在1923年制成

25 千瓦的水冷管，1924—25 年又制成 100 千瓦的水冷管，為大功率電台的建立創造了條件。

有了電子管以後，無線電通信所用的波段也大大擴展了，而短波就在通信上日益廣泛地運用起來。

在 1930—1940 年，與短波成功運用的同時，米波和微波技術也引起人們很大注意。這時由於速調管、磁控管和空腔波導技術的研究已趨於成熟，這就為無線電通信進入微波通信領域，準備了條件。

1940—1950 年，微波通信技術迅速發展，新的調制方法的採用（如頻率調制、各種脈沖調制等），超高频電子管的改進，空腔與波導技術的進一步掌握，微波天線技術與電波傳播規律的不斷研究與掌握等等，這些都使得微波多路通信發展到逐漸完善的地步。1950—1960 年微波多路通信已達到成熟地步，許多國家已經採用這種比較優越的通信方式。利用對流層的散射來進行微波通信，也在迅速發展着。毫米波通信也在大力研究中。

還應指出，半導體、銨鎂氧、量子無線電技術的迅速發展也對無線電技術的發展起着很大作用。

很長時間以來，無線電通信主要是圍繞着(1)開辟新的可用的通信頻帶；(2)創立各種避免干擾的方法；(3)提高頻率穩定度等方面來進行工作，其目的是為了增加通信的數量與提高通信的質量。

無線電技術的發展，目前已遠遠超出了通信這個範圍，除了廣播與電視而外，它已廣泛地應用於無線電定位、無線電導航，無線電遙控、遙測、無線電天文學、無線電頻譜學、快速計算技術、核反應工程以及其它工業部門中。此外，人造衛星、宇宙飛船、火箭技術與導彈技術等新的技術方面也都和無線電技術緊密相關，互相促進地發展着。

1905 年我國已有無線電報通信，但解放前，無線電設備仰賴進口，發展很慢，技術也很落後。

中華人民共和國成立後，黨和政府非常重視無線電事業的發展：大力培養無線電技術幹部，建設了最新的無線電製造工廠，設

立很多新电台，無線电科学技术的研究等工作也有了很大的发展。

在第一个五年計劃期間無線电工业进行了巨大的建設，建設了一批現代化的無線电企业，并进行了一次全面的技术改造，在苏联及其它社会主义兄弟国家的帮助下，我們迅速地掌握了許多先进的、复杂的技术，拥有了新的生产設備。在这期間生产出我国过去不能自制的精密無線电元件、高級收信机及大功率发信机。

在大跃进的年代，無線电事业在党的总路綫光輝照耀下，也获得了巨大的发展，电视台在全国大城市相繼建立，单边带、移頻等通信設備已成批生产，高速电子計算机、巨型发射管、晶体管……等都已試制成功，有些已投入成批生产。在無線电通信方面，除了国内已建立了通信网外还与世界上許多国家建立了無線电通信关系，并用多种語言向国外广播，在全世界都可以听到我国的广播。

近几年来，我国無線电通信事业，更呈現了蓬勃发展的形势，一个提高与普及相結合的局面已經形成，一方面向許多尖端科学前进，另一方面大办無線电事业、普及無線电技术，不断改进現有通信设备的水平，使国民經济其它部門广泛运用無線电技术。

§ 2 無線电通信原理

無線电通信概念

無線电通信是把要传送的消息（电碼、語言、音乐、图象），以無線电波的形式向空間輻射出去，經過空間的传播到达接收信号的地方，再由接收設備将它恢复成原来的消息，所以無線电通信可以說是利用無線电波的通信。

無線电通信有下列几种方式：

1. 無線电报：把消息譯成点和划所組成的电碼信号然后用無線电波传播出去，接收方面則根据电碼再譯成原来消息。
2. 無線电话：用無線电波传送声音使相隔很远的人們可以直接通話。
3. 無線电广播：用無線电波传送語言和音乐使广大群众都能

利用收音機收聽。

4. 無線電傳真：用無線電波傳播固定的圖象以及任何形式的文件。

5. 電視：用無線電波傳送活動的圖象。

電的通信可分為有線電通信與無線電通信兩種。為了容易理解無線電通信原理，我們先從有線電通信講起。

圖 1-1 為進行有線電通信的簡圖。 B 為電池， M 稱話筒（或稱送話器），它是把聲能轉換為電能的器件。 T 稱為聽筒（或稱受話器），它是把電能轉換為聲能的器件。

當我們對着話筒 M 講話時（圖 1-1），話筒內的電阻就隨着改變，線路中的電流也隨之忽大忽小的變化。電流的變化使聽筒 T 的膜片發生振動，產生了聲波，它和作用在話筒前的聲波相似。

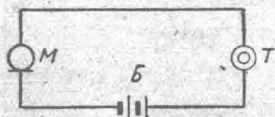


圖 1-1

這過程我們用圖 1-2 來說明，在 T_1 時間內，沒有聲波作用在話筒前（圖 a ），電路中有電流 I_0 ，它的大小固定不變（圖 b ）；在 T_2 的時間內，假定聲波是個最簡單的

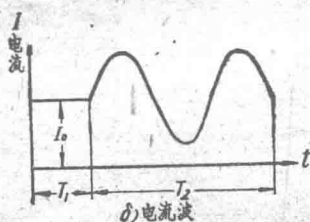
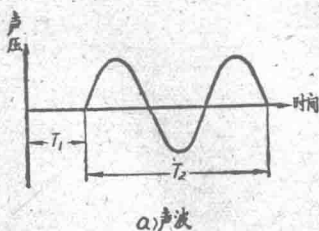


圖 1-2

正弦波作用在話筒（圖 a ），則電路中的電流也就按正弦波形發生脈動的变化，如圖 b 所示，此電流通過聽筒就重新把聲音發出來。

所以，有線電通信就是先把聲波轉換成脈動的電流，這電流是

沿着導線傳輸到接收點，在接收地點再把電流恢復成原來的聲波。

有線電通信必須有導線傳輸，如果要實現無線電通信，就要用高頻率的電流來代替上述直流電流，然後利用天線把高頻電流輻射到空間變成無線電波，無線電波在空間傳送到接收地點，然後利用接收天線把無線電波接收下來，

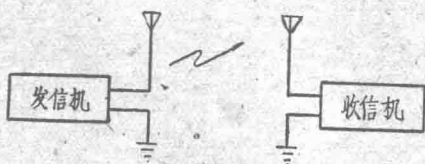


圖 1-3

利用收信機再把它變成原來的聲波（圖 1-3）

因此無線電通信是利用高頻無線電波來傳送信號，代替有線電通信中的導線。在無線電通信中利用高頻率的原因是因為，聲音的頻率太低，不能以電磁波的形式輻射出去。因此就由音頻來控制高頻交流電（與有線通信中音頻控制直流的情況相似），如圖 1-4 所示，圖 1-4(a) 為正弦的音頻電振盪，圖 1-4(b) 為高頻振盪波，當圖 1-4(b) 受到了圖 1-4(a) 的控制（或稱調制）後就成為圖 1-4(c) 所示的形狀，通常稱為調幅振盪或已調振盪。

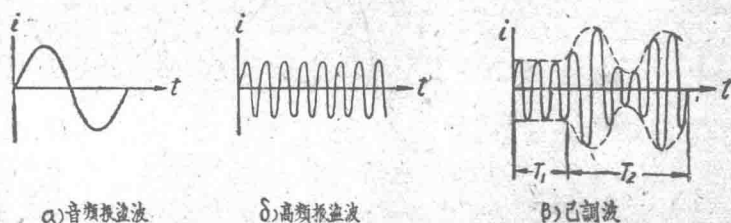


圖 1-4

在接收方面則產生相反的過程，即要把已調振盪還原成為音頻信號。這種與調制相反的過程稱為檢波或反調制。

無線電通信原理

從以上所述可知，要完成通信任務必須具有發信與收信兩個方面，下面先介紹發信方面的原理。在無線電發信方面有以下几个任務：

1. 把信號（例如聲音）變成相應的電振盪。

2. 产生频率足够高, 功率足够大的高频电振荡。

3. 进行调制, 将信号加于高频振荡上。

4. 把高频已调振荡变为无线电波辐射出去。为了完成这些任务发信设备方面至少应包括以下几个部分, 如图 1-5 所示。

1) 话筒: 它的作用就是把信号变成电信号。常用的话筒有炭粉式、电动式、铝带式以及晶体式等。

2) 高频振荡器: 也称高频发生器, 它的作用就是产生频率足够高的高频电振荡, 经信号调制后辐射出去。高频振荡的频率称为载波频率, 简称“载频”。在无线电通信中所使用的载频大约是介乎 10^4 赫芝到 10^{10} 赫芝之间。这么高的频率, 交流发电机是无法产生的。一般是由电振荡回路(电感线圈和电容器组成)和电子管组成的振荡器, 产生这种振荡。振荡的频率一般由下式决定:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

其中 L 为线圈的电感量(亨利), C 为电容器的电容量(法拉)。选择适当的 L 及 C 值, 就可得到所需频率(赫兹)。

3) 高频放大器: 为了得到足够大的辐射功率, 将上述产生的高频振荡加以放大。

4) 调制器: 是一个音频放大器或称低频放大器, 把从话筒送入的信号电流加以放大, 以便进行调制, 调制过程通常是在末级高频放大器中进行的。下面我们对于调制过程进行简单的数学分析。

如果我们把高频电流以下式表示:

$$i_0 = I_m \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (1-1)$$

式中: I_m 是高频电流振幅值, ω_0 是高频电流的角频率, φ 是初相角。

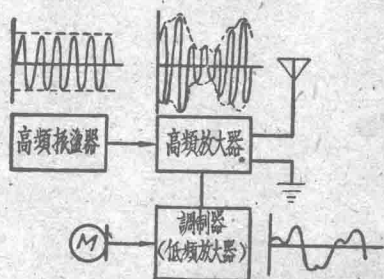


图 1-5

要想得到調制，就必須使振幅，頻率或相角中的任一個量隨信號的振幅而改變，如果它的振幅隨音頻信號而改變稱為調幅，頻率隨音頻信號而改變的稱為調頻，相角隨信號而變化的稱為調相。我們現在以調幅為例說明調制過程。

如果音頻信號為一簡單的正弦波，其角頻率為 Ω ，其電流振幅值為 $I_{m\Omega}$ ，則可用數學式表示為

$$i_{\Omega} = I_{m\Omega} \sin \Omega t \quad (1-2)$$

調制後高频電流的振幅（即已調波的振幅）就按下式變化見圖 1-6

$$\begin{aligned} I_m &= I_{m0} + I_{m\Omega} \sin \Omega t \\ &= I_{m0} \left(1 + \frac{I_{m\Omega}}{I_{m0}} \sin \Omega t \right) \\ &= I_{m0} (1 + m \sin \Omega t) \end{aligned} \quad (1-3)$$

上式中

$$m = \frac{I_{m\Omega}}{I_{m0}} \quad (1-4)$$

m 稱為調幅係數，常用百分數表示，它指出在調幅時振盪的幅度有多少大的改變。或者通常說表示調幅深度， m 的值可以從 0—1，當沒有調幅時即 $I_{m\Omega} = 0$ 故 $m = 0$ 這時 $I_m = I_{m0}$ 是常數；當用音頻 Ω 調幅時，振盪的幅度隨着信號頻率的节拍而改變，改變的深度由 m 值決定。

調制後，式 (1-1) 中 I_{m0} 應換成式 (1-3) 表示，為簡單起見，假設初相角 $\varphi = 0$ 則得到振幅調制的電流解析式為

$$\begin{aligned} i &= I_{m0} (1 + m \sin \Omega t) \sin \omega_0 t \\ &= I_{m0} \sin \omega_0 t + m I_{m0} \sin \omega_0 t \sin \Omega t \end{aligned} \quad (1-5)$$

根據三角公式

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

式 1-5 可化為

$$i = I_{m0} \cdot \sin \omega_0 t + I_{m0} \frac{m}{2} \cos (\omega_0 - \Omega) t - I_{m0} \frac{m}{2} \cos (\omega_0 + \Omega) t$$

上式所得之調幅電流表示式指出：被一簡單的正弦波調幅後的高頻

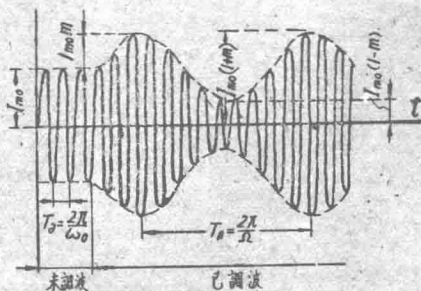


圖 1-6

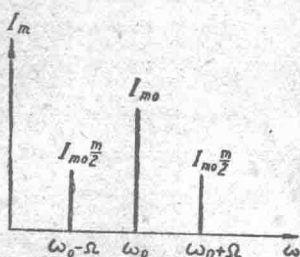


圖 1-7

已調波由三个简单的正弦振盪波組成(圖 1-7)

(1) 頻率為 ω_0 , 振幅為 I_{m0} 的正弦振盪, 即未調幅時的高頻振盪。

(2) 頻率為 $(\omega_0 + \Omega)$, 振幅為 $I_{m0} \frac{m}{2}$ 的正弦振盪, 稱為上旁頻。

(3) 頻率為 $(\omega_0 - \Omega)$, 振幅為 $I_{m0} \frac{m}{2}$ 的正弦振盪, 稱為下旁頻。

第二及第三个頻率與載波頻率相差一個調幅頻率 Ω , 它們總稱為“旁頻”(或“邊頻”)。未調幅時僅有載波頻率, 當調幅時出現了與載頻相差一個音頻 Ω 的上下旁頻。

上面所研究的是僅用一個音頻來調幅的最簡單的情況。實際上無線電話的調制通常均用語言或音樂來進行的, 也就是說要用整個聲音頻譜 $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_K$ 來調制的, 這些音頻的振幅值也不同。根據上面同樣的分析可以推出將有許多的旁頻出現, 我們稱為“旁頻帶”, 上旁頻帶將是 $(\omega_0 + \Omega_1), (\omega_0 + \Omega_2) \dots (\omega_0 + \Omega_K)$, 下旁頻帶將是 $(\omega_0 - \Omega_1), (\omega_0 - \Omega_2) \dots (\omega_0 - \Omega_K)$, 而旁頻帶的振幅則為 $\frac{m_1}{2} I_{m0}, \frac{m_2}{2} I_{m0} \dots \frac{m_K}{2} I_{m0}$, 這裡 $m_1, m_2, \dots, m_K$ 是對應於各調制頻率的調幅係數, I_{m0} 是載頻電流的振幅值。圖 1-8 中總的頻帶寬度可以從圖中看出為 $2\Omega_K$, 即兩倍於最高的調制角頻率, 故發信機所占用的頻帶寬度即為 $2\Omega_K$, 或用 $2F$ 表示, F 為最高調制頻

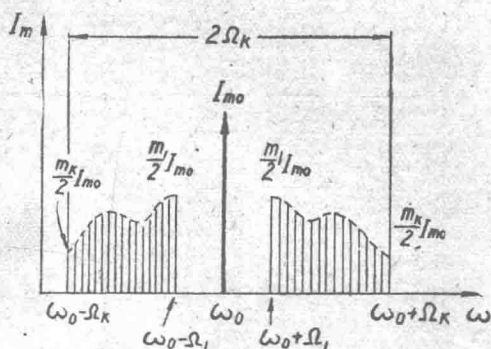


图 1-8

率。例如最高調制頻率是 5000 赫芝則頻帶的寬度為 10000 赫芝。

人耳能听到的声波大概在 20—20000 赫的範圍內，但是在傳送語言和音樂時不必占用這麼寬的全部頻帶，通常都加以壓縮，例如高級廣播接收機傳送頻帶為

50—10000 赫，而普通的電話只要 300—2500 赫就可以了。廣播波段頻率 $f = 500$ 千赫到 1500 千赫之間，假如每個電台所占的頻帶為 10.000 赫，這時工作的廣播電台數目最多不能超過 100 台。

5) 天線：其任務就是將已調制的高頻振盪輻射到空間成為無線電波。

除上述的五部分之外，尚有電源設備。發信設備每一部分均需要電源供給能量，且大部分為直流電能，在圖中我們省略了。

無線電收信原理

接收方面有以下任務

1. 取得無線電波的能量。
2. 在很多電台所發射的無線電波中選出所需要的無線電波。
3. 把所需要的無線電波還原成原來的音頻電流。
4. 把音頻的電流恢復成原信號（如聲音）。

因此一部比較簡單的直接放大式接收機要包括下面幾個部分，如圖 1-9 所示。

1) 天線：接收空間無線電波。

2) 輸入電路：又稱選擇裝置，它的作用是從空間很多無線電波中選擇出我們所需要的無線電波。它是由電感和電容所組成的電路。

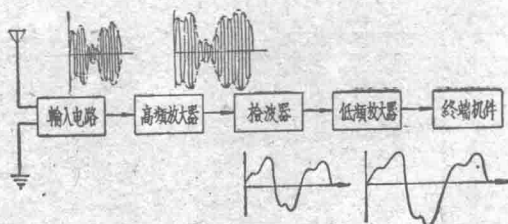


图 1-9

3) 高频放大器：放大由輸入电路接收进来的高频已調振盪。因为接收下来的高频波較弱，故有时需要放大，但并不是每一接收机都需要。

4) 检波器：它的作用就是将高频已調振盪恢复成原来的音频調制信号。

5) 低频放大器：放大检波后的音频調制信号。是为了得到足够大的功率而設的。但也并不是每个接收机都需要。

高频放大器、检波器和低频放大器均由电子管及回路元件(R 、 L 、 C)組成。

6) 終端机件：将音频信号的电能轉換为声能，重新放出了在发信机話筒前的声音。

在收信机的方框图中，我們也省略了电源設備。电源当然也是供給收信設備每一部分所需要的电能。

§ 3 学习“無綫电基础”課程的目的

从現代无綫通訊原理的研究中，从已調波的分析中都指出，要进行无綫通信必須进行下列各步驟：1) 产生高频振盪；2) 控制高频振盪；3) 以給定的已調波的形式将頻带发射出去；4) 了解电磁波的传播規則；5) 接收电磁波；6) 放大；7) 检波；8) 将調制波重新显出来。

只有当所有的无綫电裝置及无綫通訊綫路都正确地工作的时候，才能保証良好的无綫电通信，而要它們正确地工作，則必須很