

無線電工程

第一冊

無線電工程

第一冊

陸鶴壽編

中華書局印行

序

今日無線電發展之路途有三：(一)電視 (Television)、(二)調週 (Frequency Modulation)、及(三)超高週 (Ultra High Frequency)。我國在此方面之進步，遠不如人。在抗戰期內，困難衆多，研究工作無法推進，自屬實在；抗戰勝利以後，我人自當迎頭趕上。唯國內無線電圖書對此三者，極少著述，本書爲補此缺憾，特別重視此種發展，對於電視、調週、及超高週，均特立專章，詳細介紹，俾國內人士對此新趨勢，可得初步認識。

無線電工程有理論及實用二方面，本書雖不能包括全盡，但在可能範圍內已將二方面之資料盡量採納。討論學理時，書內實用資料可以刪略；實用時，本書亦不失爲重要之參考。

本書對於公式之選擇極爲謹慎，凡非必需者均不列入。但從另一方面言，公式之化導程序，若不加以詳細說明，或不逐步列出，則在教學方面不免多一困難；且課內外之複習及進修，亦須有適當之習題或顯明之實例，方易領悟。凡此諸點（公式之化導、習題、及實例等）將彙編輔導書一種，以資補充。

本書對於設計部份，未加指示，讀者可參閱拙編無線電設計。而無線電設計書中說明較少，讀無線電設計者，亦須對照參考本書，以收事半功倍之效。

編著本書時參攷之西文書籍及論著甚多，所採資料，本應一一註出其來源，以昭信實；唯因現在排版異常困難，西文腳註事實上不可能，故祇得從略，深引爲憾。待國事安定得重排時，當逐一補註，以便參考。

無線電工程之著述，有一極大困難，即真空管電路之代表法。美國 E. F. Terman 教授所著之 Radio Engineering 一書，在我國流行已有多年，其內容完善，確爲難得之善本。然就其電路符號詳細研究後，即感其與美國無線電工程師學會 (Institute of Radio Engineers) 及美國電機工程師學會 (American Institute of Electric Engineers) 所訂之標準相差極多。Terman 氏對於其著作，有一統之作風，此種符號之不

同，自屬不可避免。美國最近出版 Reich、Eastman、及 Fink 諸氏所編之電子管書籍，對於此點，確有一種新趨勢，一致採用標準符號。我國對於技術標準運動，正在推進，編者平常參考書籍論著，深感符號歧異之不便；本書內關於電子管電路之符號，亦根據新趨勢，實行標準化代表法，符號如此，名詞亦然，希讀者注意。

陸鶴壽識於四川重慶

目次

序	1
---	---

第一章 無線電波

1.1 電波及正弦波	1
1.2 正弦波的有效值及平均值	2
1.3 組合波	2
1.4 成音週率與射電週率	4
1.5 無線電波的傳播性能	4
1.6 無線電波發射的條件	6
1.7 調幅波的大意	7
1.8 無線電波接收的條件	9

第二章 電阻及電容

2.1 電阻概述	11
2.2 有效電阻及皮膚作用	13
2.3 電阻器的種類及特性	15
2.4 電容概述	17
2.5 電容器的種類及特性	20

第三章 電感及磁鐵特性

3.1 電感概述	23
3.2 線圈Q值改變的因素	26
3.3 空心線圈的種類	28
3.4 鐵心電感圈的特性	29

3.5	交直電流混合電路中鐵心線圈的特性	32
-----	------------------	----

3.6	線圈的隔離	34
-----	-------	----

第四章 電子及電子發射

4.1	電子基本特性	37
-----	--------	----

4.2	運動電子的特性	38
-----	---------	----

4.3	熱游子發射	41
-----	-------	----

4.4	空間電荷	45
-----	------	----

4.5	二次發射	47
-----	------	----

4.6	光電發射	48
-----	------	----

4.7	電子發射體的種類及其特性	50
-----	--------------	----

第五章 電子管(一)

5.1	基本二極管	53
-----	-------	----

5.2	三極真空管	55
-----	-------	----

5.3	三極真空管的基本常數及特性曲線	57
-----	-----------------	----

5.4	四極真空管	61
-----	-------	----

5.5	五極真空管	64
-----	-------	----

5.6	集射管	65
-----	-----	----

5.7	可變放大因數管	66
-----	---------	----

5.8	變波管及混合管	67
-----	---------	----

5.9	各種多極多組管	69
-----	---------	----

第六章 電子管(二)

6.1	氣體管的特性	71
-----	--------	----

6.2	整流管	73
-----	-----	----

6.3	電柵管	75
-----	-----	----

6.4	陰極射線管	77
-----	-------	----

6.5	光電管	79
-----	-----	----

6.6	電視攝像管	80
-----	-------	----

6.7	特種電子管	82
-----	-------	----

第七章 電子管規範及分類

7.1	接收管新廠定額的標準·····	85
7.2	發射管基本廠定額的標準·····	87
7.3	優選式接收管及其特性規範·····	88
7.4	電子管規範的運用·····	119
7.5	接收管的分類·····	124
7.6	發射管的分類·····	129

第八章 基本電路

8.1	阻抗及導納·····	137
8.2	基本電路的分析法·····	139
8.3	四端電路·····	141
8.4	基本電路定理·····	143
8.5	串聯諧振·····	145
8.6	並聯諧振·····	148
8.7	諧振銳度·····	152

第九章 耦合電路

9.1	互感·····	155
9.2	耦合電路的概論·····	156
9.3	調諧耦合電路的初步分析·····	159
9.4	調諧耦合電路的特性·····	162
9.5	單調諧耦合電路與雙調諧耦合電路的比較·····	164
9.6	去諧的影響·····	165
9.7	複式調諧耦合電路·····	167

第一章 無線電波

1.1 電波及正弦波

無線電的傳遞是一種複雜而靈巧的程序。當言語音樂在播音室中發出時，先有聲波，經傳聲器的變換作用，聲波的波動即在發射電路中改成性質類似的電波(Electric Wave)再發射到空間，廣播到各地。在收發機件之間，並無實際的金屬電路，空間電訊的傳遞，乃得益於無線電波(Radio Wave)。在接收方面，經相反的作用，又能使無線電波翻成原型聲波，從揚聲器傳出。這種波動的變化，在形態上雖有不同，其基本特性則始終如一，不因變形而失真。且不論在電路中，或在空間，各種波動均是電波的一種。所以在討論無線電收發技術之前，電波的基本特性，實應先加研究。

各種電波的實際性質及形態，常須先化到一共同的基礎，再分析其內含。這共同的基礎就是一種週期性單純基本波動的正弦波(Sinusoidal Wave)。若以數學公式表明之，這是

$$e = E_m \sin(\omega t + \theta) \quad (1.1)$$

其中 e 是波動的瞬時值(Instantaneous Value)； E_m 是波動巔值(Peak Value)； $(\omega t + \theta)$ 是波的相位(Phase)， $f = \omega / 2\pi$ 是週率(Frequency)； θ 是相角(Phase Angle)。假使電波巔值及週率不變(相角可以是零或任何一固定的正值或負值)，則電波的瞬時值亦將在 $+E_m$ 值及 $-E_m$ 值間發生

對稱性的變動，這種波形(Wave Form)可見圖 1.1。這是代表相角是零的圖形。圖中乙及丙是波幅(Amplitude)的最大(正值)及最小(負值)處，亦就是正弦波的巔。從甲到丁成一

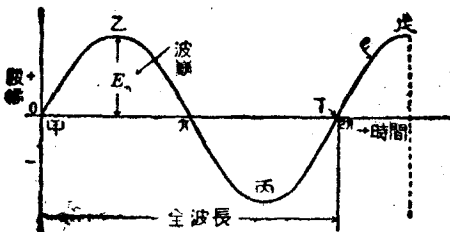


圖 1.1 正弦波的波形圖

完全循環，稱爲一週波 (Cycle)。所占的距離是波長 (Wave Length)。反過來說，波長是波動循環中位置相同重覆點中的距離，自然這距離不必在原始點開始計算。故在圖 1.1 中，甲及丁的距離固是一全波長，即乙及戊的距離亦是一全波長。週率則表示在一秒鐘中波動或全循環的次數，亦是週期 (Period) 的倒數。

電波的速度 (Velocity) 與光速相同，即每秒鐘 300,000,000 (3×10^8) 公尺，或 186000 英里。根據普通物理關係，波速、波長、及週率的關係應如下式。就是：

$$V = \lambda f = 3 \times 10^8 \text{ (公尺/秒)} \quad (1.2)$$

其中 V 是波速 (公尺/秒)； λ 是波長 (公尺)； f 是週率 (週)。由此可知：電波的波長增加後，必使週率依反比例減低。如果波長是 30 公尺，週率將是 10 兆週 (10^7)。當波長是 3000 公尺時，週率將是 100 千週 (10^5)。這種關係雖屬簡單，一切無線電波的特性，均不出這範圍。

1.2 正弦波的有效值及平均值

從上節簡單說明可知，電波均是時間的函數。在應用上，各種電波的構造、週率、及相位，並不必盡同，但亦須能在一固定的基礎上創立一實用的單位，這就是有效值 (Effective Value) 及平均值 (Average Value)。

有效值是一全週波瞬時值的均方根值 (Root-mean-square Value r.m.s.)。從公式 1.1，這種關係不難求得。正弦波的有效值是其巔值的 0.707 倍。在這定義下，正弦波可以代表一電壓波，亦可代表一電流波。交流市電的有效值是 220 伏，其巔值必是 311 伏。同樣，如果天線上的巔值電流是 10 安，則其有效值必是 7.07 安。

平均值代表交流電波的等值直流量。純粹正弦波的平均值是其巔值的 0.636 倍，在上述的實例中，311 伏巔值的交流電壓與 198 伏直流相等。同理，10 安電流的平均值應該是 6.36 安。歸納後可知，有效值還比平均值大 1.11 倍。

1.3 組合波

組合波 (Composite Wave) 是若干基本正弦波所疊合組成的。

在這組合波中，各部份波的週率、波幅、及相角間的相互關係，均可差異不同。因此，組合波可以仍舊保持其正弦波的特性，或者，組合波的波形已改變成複波（Complex Wave）或非正弦波（Non-sin-

soidal Wave）。圖 1.2

及圖 1.3 所示者是不同形的組合波。從其部份波的原質可知，週率、波幅、及相位對於組合波的波形有極大的關係。

組合波亦能用數學公式表明。這種公式就

圖 1.2 組合波的波形圖 二部份波的週率及波幅不同 $e = 4A \sin \theta + A \sin 3\theta$
 $e_1 = A \sin 3\theta$ $e_2 = 4A \sin \theta$

是傅立葉級數（Fourier Series）。根據這種級數的特性可知：組合的複波必定仍是一有週期性而繼續不斷的單值函數。再從公式的組織觀之，還可知道複波必是由其基本週率的正弦波，與多數諧波（Harmonics）組合而成。公式 1.3

就是複波基本形式的一種：

$$e = A + A_1 \sin \theta + A_2 \sin 2\theta + A_3 \sin 3\theta + \dots + A_n \sin n\theta \quad (1.3)$$

其中 A 是一固定值； A_1 是基本波（Fundamental Wave）的最大值； $A_2 \dots \dots A_n$ 是各諧波的最大值。各 θ 值是從同一點計算的電角。普通交流電波的 A 值常是零，所以波動在時軸上下成對稱性。

組合波的有效值是各部份波有效值自乘和的平方根。所有各部份波間的相位關係及波動原始點，對於有效值並無關係。組合波的平均值就是傅立葉級數中第一項固定值 A ，其他各項的平均值全是零。

在無線電路中，電波性質屬於複波者最多。電源整流器的輸出波就是脈動性的單向交流電壓。在電源濾波器輸出端的電壓又係直流電

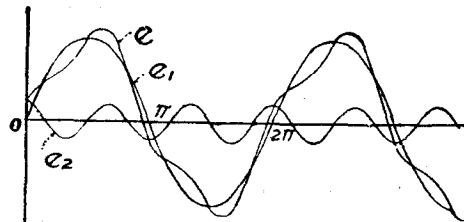


圖 1.3 組合波的波形圖 二部份波的週率、波幅及相位均不同 $e = 4A \sin \theta + A \sin (3\theta + 90^\circ)$
 $e_1 = 4A \sin \theta$ $e_2 = A \sin (3\theta + 90^\circ)$

波上疊加微小波紋部份的組合波。此外真空管的屏極電流、檢波輸出電壓、及揚聲器的聲圈電壓等，均是性質各異的組合波。

1.4 成音週率與射電週率

當言語或音樂在播音室經傳聲器(俗稱話筒)或拾音器收集後，所有代表言語或音樂的聲波，即變成一種性質相似的電波。這種電波的週率不高，有用的範圍通常是每秒鐘數十週到數千週，最高亦有達一萬數千週的。言語或音樂的音質不同，而每一種單音的電波又均有一定的週率。音調愈尖，電波的週率愈高。所以普通言語或音樂的正確代表必定是一種多數週率互關電波的組合波。當然這種組合波中，各部份波的波幅並不相同。事實上亦是如此，除去最低週率電波性質重要外，其餘各週率電波的波幅均較小，且是最低週率的諧波。這種週率統稱成音週率(Audio Frequency)，簡稱音週，在波譜(Spectrum)上占最低一小段的地位，廣泛的代表一切言語及音樂。

不過成音週率並不能作輻射之用。在實際傳播時，還需利用週率較高的射電週率(Radio Frequency)。就電波的本身說，射電週率波與成音週率波的基本特性並無差異。而這二種週率的界限亦沒有明白的規定。大概言之。在有用的音週範圍以外，先有超音週率(Super-sonic Frequency)，大約是5千週到20千週。這種週率雖可改成聲波，可惜人耳沒有感覺。如果求其輻射，設備上亦極不經濟，並不能實用。在超音週段以上，就是射電週率。現在射電週率的最高限度還未確定。在實驗時，401兆週的通信亦已經利用而成功。這種射電週率範圍最廣，各週率的傳播性能亦各不相同，下節將詳細說明。

1.5 無線電波的傳播性能

在空間，無線電波就是射電週率波，這是由互成直角的靜電場(Electrostatic Field)及磁場所組成。在這二部份場中，各有電波中全部電能的半數，所以二者形影相依，缺一不可。

無線電波的週率各不相同，在應用上自有重大的關係。現在不論季候及電離層(Ionosphere)的影響，先作一番簡略的分析。

(一)低射電速率：這是長波，速率的範圍是10千週到550千週（或30,000公尺到545公尺）。這種無線電波以地波（Ground Wave）最是重要，所能傳遞的距離大約是0到1000英里。天波的傳播範圍則是從500英里到8000英里。長距離的越洋無線電通信就採用這種電波，一部份指向（Direction Finding）電台的速率亦在這速率段內。日夜及季候對於這種速率的傳播性能又少影響，通信亦比較穩定可靠。

(二)廣播速率：這是中波，速率的範圍是550千週到1600千週（或545公尺到187公尺）。地波傳遞的範圍不遠，大約可達100英里。天波的傳遞區域是100英里到1500英里。廣播速率在夜間及冬季傳遞性能較優，所以冬季夜間廣播成績最優。夏季日夜的傳播性最劣。同樣，日間利用天波可傳達幾百哩的廣播電台，夜間常遠及千哩以外。廣播速率愈高，這種現象亦愈是顯著。

(三)高射電速率 這就是習知的短波，速率範圍是由1600千週到30兆週（或187公尺到10公尺）。地波範圍僅達50英里，天波傳遞區域是由50英里到3000英里。所以實際的遠距離通信或廣播，幾乎全賴天波的反射作用，然受到電離層變化的影響，傳播的地區亦隨日夜、及季候循環而有變動（參見第廿三章）。短波應用最廣，不論固定或移動電台多屬之，廣播電台的一部份亦已移在這速率段內，俾廣播的距離可以大量的增加。不過在長距離通信時，實用的速率常日夜不同，因為這樣才可確定通信的效能。

(四)超高速率：這是超短波，速率的範圍是30兆週到300兆週（或10公尺到1公尺）。這種無線電波又全賴地波的傳播，因為天波常不反射，或反射而不能回到地球面上。速率既高，地波衰減亦迅速。傳遞的距離常僅是視線所及的區域，100英里可說是最高的可能傳達距離，所以應用上亦受到限制。在目前，大部份的用途不外電視（Television）、調週（Frequency Modulation）通信及廣播、航空指向、中繼或移動電台、及警用等等。

(五)微波速率：微波（Microwave）速率在今日尚在試驗期中。速率範圍是300兆週到3000兆週（或1公尺到10公分），傳遞的距離自然亦是視線所及處，對於電視及調週通信的應用，已有規定。自從導波法（Wave Guide）發明後，將來的發展自然無限，因亦不可忽視這種微波速率。

1.6 無線電波發射的條件

無線電發射的基本條件是射電速率無線電波的產生。現在有熱電子真空管(Thermionic Vacuum Tube)可以應用，發射設備已能極度的簡化。先有真空管組成振盪電路(Oscillating Circuit)，利用電感及電容的諧振作用，經正確的設計，已經能夠取得所需要的射電電波，雖在最高及最低週率的極限，亦沒有困難。這種振盪電路的輸出量常較低，不敷發射的需要，於是在發射方面還利用真空管的放大性能，將振盪電路輸出的電力，分級逐漸提高。普通可達50千瓦之巨大發射電力，再高，500 千瓦的電台，亦已習見不鮮。

近年來，自從採用壓電石英晶體(Piezo-electric Quartz Crystal)後，振盪電路的構造又略有改良。輸出電波的週率已能維持一固定的數值而少移動。不過振盪輸出的最高週率亦有限制。在這種條件下，發射機件中必定另外加配多級的倍週器(Frequency Multiplier)，不難將振盪器週率加倍提高到實需數，再經普通的放大作用後，發射的電力自然亦能提高。

發射的第二步工作是將已得的射電電波輻射到天空中，傳播到各地。這裏利用天線(Antenna)，就能將電路中的射電電波變換成天空中的電磁波。在這變換的程序中，變換效率最是重要。在普通的情形下，天線的長度與無線電波的波長不能相差過遠。舉例說明：100千週(合80000公尺)的電台，天線長度雖達100公尺，仍舊無濟於事，輻射的可能性極其微弱。假使電台的速率是30兆週(合10公尺)，天線雖祇有5公尺長，輻射的效率反而極高。因為很顯然，100公尺與30000公尺相差過遠，5公尺與10公尺反而極相近似。所以欲求輻射的效率，天線的長度必與電台週率成反比例。

電力的輻射量可從天線中的射電電流計算。照基本電力公式，電力必是電阻與電流自乘值的乘積。假使電阻不變，電流愈大，電力的輻射亦是愈大。無線電發射機的天線電路，經過調諧到諧振週率時，天線電路中的阻抗(Impedance)已經減到極小。所以天線端所施的電壓雖小，天線電流仍可較高，電力的輻射效率亦是最高。

無線電波所須傳遞的是一種有意義的符號，或是言語音樂。前者

是無線電報，而後者方是無線電話。傳遞無線電報時，發射機先產生一種波幅繼續不變的射週電波，文字亦經譯成電碼，根據電碼的組織，無線電波的發射可用電鍵(Key)加以控制，而成斷續性的等幅波。如果言語或音樂亦須輻射，這亦無困難，僅須先經調幅作用，使發射機的射週等幅波循音週言語或音樂的起仰而變化。最近盛行的調週法是使射週電波的週率照成音週率變化，方法雖不同，意義及功效則盡同。至於無線電視的傳遞，則是使射週電波循一種代表影像黑白的像週(Vedio Frequency)而變化。本書均將陸續加以詳細的分析。

1.7 調幅波的大意

電波的調幅是傳遞言語或音樂的主要機能。先有言語或音樂的等值電波，性質與原有聲波完全相同。當發射機產生一射週電波時，調幅的程序就是利用具有輻射性的射週電波擔任傳遞媒介，將成音週率電波載於其上而同時輻射。調幅以前，射週電波是一種繼續波，波幅恆定不變。調幅後，射週電波又照音週電波的波形，發生類似的變化。這種實在性，亦可用數學公式代表。假使射週電波的公式是

$$e = E \sin 2\pi ft + mE \sin 2\pi fts \sin 2\pi f_1 t \quad (1.4)$$

其中 e 是調幅波的瞬時值； E 是射週等幅波的波幅，這等幅波是一單純的正弦波，週率是 f ； m 是調幅量(Degree of Modulation)，亦就是調幅後波幅的變化量與射週電波波幅的比率； mE 自然代表音週電波的波幅； f_1 是成音週率。這公式的第二部份表示二種電波的差拍(Beat)作用，化導後得：

$$e = E \sin 2\pi ft + \frac{mE}{2} \cos 2\pi (f - f_1)t - \frac{mE}{2} \cos 2\pi (f + f_1)t \quad (1.5)$$

從這公式得知：(一)調幅波是由三部份波組成。(二) $E \sin 2\pi ft$ 是原有的射週電波，工程上的名稱是載波(Carrier)，波幅不受調幅的影響。所以不論有無調幅，不論調幅量是多少，這載波的波幅總不變。(三)其餘二部份波幅相等，但是其週率則各不相同。一高於載波週率，一低於載波週率。其與載波週率的週率差數，則是調幅的成音週率。這二部份波實際上代表音週電波，因其位在載波的二旁，所以是旁

波帶(Sideband)。(四)旁波帶必是成雙存在，旁波帶的波幅就是調幅量的代表。圖1.4是調幅作用的圖示。圖中(甲)是等幅性的載波，(乙)是音週電波的表示。(甲)及(乙)二圖中亦略以週波數的多少表示射週及音週的差別。當(乙)波疊加於(甲)波上時，即得(丙)圖的波形，這就是調幅波(Modulated Wave)。

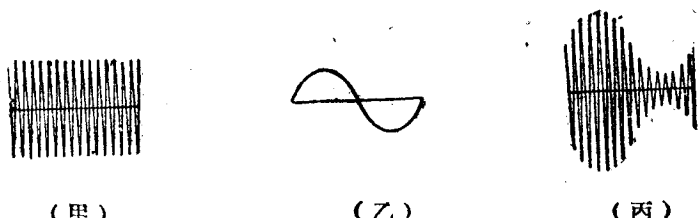


圖1.4 調幅作用的圖示 (甲)載波波形 (乙)音週波波形
(丙)調幅波波形

假使調幅的成音週率比較複雜，調幅結果亦相似，僅旁波帶內的組織更是複雜。每一成音週率必在上下二旁波帶內各產生一新週率。例如1000週(即1千週)的成音週率在1000千週載波上調幅後，即得999千週($=1000-1$)及1001千週($=1000+1$)二旁波帶週率。如果在1千週外，還有一2千週的成音週率，調幅波的成分必是998千週、999千週、1000千週(載波)、1001千週、1002千週等，並不雜亂。

旁波帶是調幅波中的主要部份，一切言語及音樂的內容，完全包含在旁波帶內，載波祇負傳遞的任務。在實用上，欲得調幅效率高，自然旁波帶的電力部份須達最高的限度；亦就是說，調幅量須達百分之100(全量調幅)，這時調幅波的波幅可達零值。反過來，如果調幅量(或可稱作調幅百分數)不及百分之100，旁波帶的電力必不達最大值，同時調幅波的波幅變化範圍亦對照減小。

照現行的標準，旁波帶的闊度是5千週；亦就是說，雙旁波帶無線電訊的波道(Channel)必是10千週，二電台的距離遂亦是至少10千週。在事實上，這5千週的旁波帶闊度亦屬必需，因為言語及音樂均是由多數週率綜合組成，傳遞不失真，旁波帶內必須包含所有能代表言語及音樂的成音週率。根據音波分析的結果，這5千週的波闊已敷作高逼真度(Fidelity)的傳播。波闊再增高，音週的傳遞自然可有改

良，但是雜聲亦隨波闊而同增，得不償失，非有特殊緣由，波闊照現行標準已能適宜合用。

1.8 無線電波接收的條件

在地球上任何一處的空間，均充滿了各種性質的無線電波，週率有高低，強度有大小。其來源固不相同，內容亦各異。聽衆對於這種複雜交錯的無線電波，在接收之時，第一步必須設法能從波羣中自由選擇所需要的任何一電波，同時其他不需要的電波，又必須不發生干擾現象。這種選波問題，並不難解決。先有天線，使空間無線電波的電磁通量切過導線而產生電壓，這天線電壓就是天線的有效高度與電波場強度的乘積。這裏天線的長度亦須符合發射時的條件，優良的發射天線，自然亦是優良的接收天線。

天線中的應電壓爲數仍多，選波的第二步遂在設法保留需要的電訊，而刪去其餘的部份。這種隔離作用是利用電感及電容的並聯諧振電路，經正確調諧後得到。這時祇有與電路諧振週率相同的無線電波能產生較大的電壓，方法簡單而有效。

諧振電路所應的電訊電壓，與電台發射的電波完全相同，除去射週的載波外，還有二旁波帶。不過這種電壓極微弱，大約遠弱電訊強度是 50 微伏（即 0.00005 伏）；普通電訊約有 5 毫伏（即 0.005 伏）；本地近電訊約達 0.1 伏；如果這是強電訊，則所應的電壓亦可達 2 伏之譜。

電波既經選出，次一步工作當是使人耳發生感覺。這程序的第一步名是檢波（Detection）或去調幅（Demodulation）。這是使旁波帶脫離載波的聯繫，而回到波譜上原占的位置。故當外來電訊經過檢波後，如再觀察其電壓波形，已僅有收到電波的半截剩餘。這半截電壓波原是旁波帶性質的代表，其波廓（Envelope）亦完全循成音週率電波形態而變化。所以檢波器已將調幅作用除去。

檢波器輸出的電波，雖已將言語或音樂的內容由射電週率恢復到成音週率的原位上。但這仍是電波，人耳感覺不到。於是第二步的工作是再將電波改變成聲波。普通的變換器就是耳聾或聽筒，因為電波的變化能激勵聽筒的薄膜，空氣及耳膜諸振共鳴時，聲音乃告重生。

現在爲使多人收聽便利起見，還可以用揚聲器 (Loudspeaker) 代替聽筒。

現在無線電波接收的程序業已完成。不過這種重生的聲音，一定極度微弱。欲增收音的成績，顯然這種收到的電訊尚須再加放大作用。在檢波以前是射週放大 (R.F. Amplification)，在檢波以後是音週放大 (A.F. Amplification)。這樣可使電訊的強度增加到任何數量。大型收音機的輸出量亦有達廿瓦左右，能使揚聲器發聲，而聲達極遠的距離。