

# AM 收音機原理與實作

Chia-Chun Tsai, Nanhua University

<http://jendo.org/printOut/%E6%94%B6%E9%9F%B3%E6%A9%9F%E7%9A%84%E5%8E%9F%E7%90%86%E8%88%87%E5%AF%A6%E4%BD%9C.html#.E4.B8.80.E3.80.81.E8.AA.BF.E8.AB.A7.E9.9B.BB.E8.B7.AF>

## 一、概述

- [1.1 調諧電路](#)
- [1.2 檢波電路](#)
  - [1.2.1 二極體整流](#)
  - [1.2.2 電容濾除載波](#)
  - [1.2.3 電阻濾除直流分量](#)
- [1.3 放大電路](#)
- [1.4 連接調諧電路、檢波元件與放大電路並提供電源](#)

## 二、調諧線路的原理與實作

- [2.1 礦石收音機設計](#)
  - [2.1.1 木材盒礦石機](#)
  - [2.1.2 可網購零件礦石機](#)

## 三、電晶體電壓訊號放大原理

- [3.1 NPN 電晶體電流圖示](#)

## 四、另一款簡單的調幅(AM)收音機

- [4.1 更多發想](#)

## 一、概述

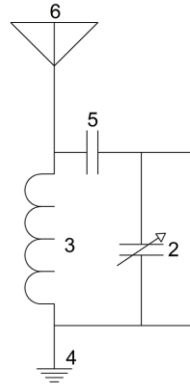
AM 收音機主要分成四個部分：

- 1.1 調諧電路：**負責產生與電台相近頻率的本地振盪，以便與電台天線產生「共振」。不須額外的電源。
- 1.2 檢波電路：**負責將調幅波訊號中的載波與直流分量過濾掉，留下包絡所代表的原始音訊訊號。
- 1.3 放大電路：**負責將收集到的音訊訊號放大。須外加電源。
- 1.4 揚聲器：**負責將音訊訊號電流振動轉變成聲音。

## 1.1 調諧電路

「調諧」是「調變諧振」的意思，即可以調整產生可變頻率的振盪，以與電台天線發出的電磁波諧調成共振狀態。實作上只需要：

1. 一個同時包含電感  $L$  與電容  $C$  的迴路。
2. 天線。
3. 接地。



右圖即為一個調諧電路，其中諸零件為：

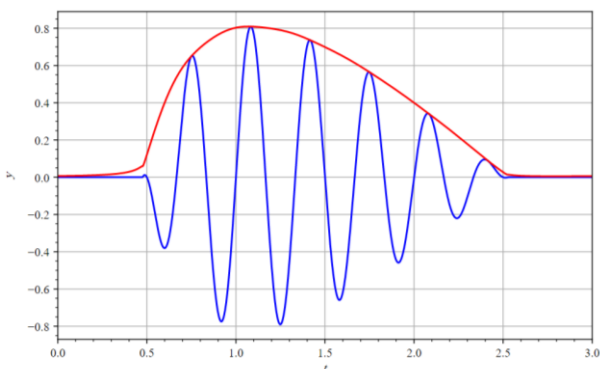
- 2: 可變電容
- 3: 電感(線圈)
- 4: 接地
- 5: 電容(可省略)
- 6: 天線(長金屬物體)

電感-電容 LC 迴路中，電壓的振盪頻率遵守  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。控制頻率的方法有兩種：

1. 固定電感值大小，而改變電容。
2. 固定電容大小，而改變電感。

## 1.2 檢波電路

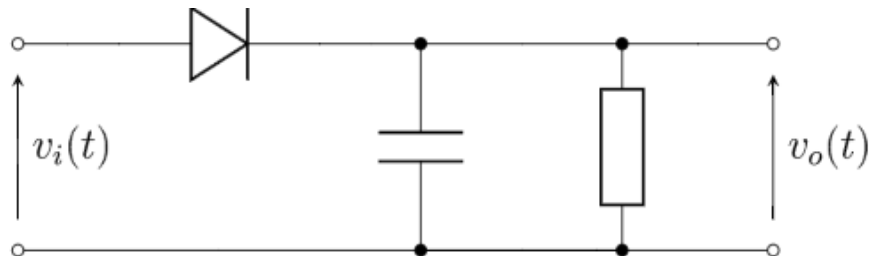
下圖為從調幅收音機天線收下來的調幅訊號。橫軸為時間，縱軸為振幅。藍色為載波；紅色為包絡，包絡即原始音頻訊號。



訊號的中間藍色部分是頻率很高的載波訊號，它的上下端是調幅訊號的包絡，此包絡就是所需要的音頻訊號。音頻的頻率相較於載波低很多。

上包絡訊號和下包絡訊號對稱，但是訊號相位相反，收音機最終只要其中的上包絡訊號，下包絡訊號不用，中間的高頻載波訊號也需要濾除。

如右圖，調幅波訊號由左上方送入，電容與電阻在下方接地。



檢波電路三個元件的作用分別簡述如下：

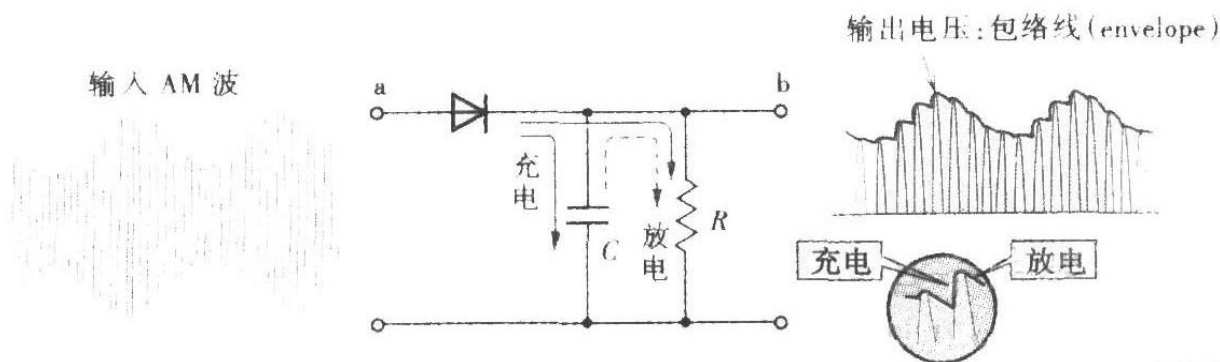
1. 二極體可以整流，濾除下包絡。
2. 電容可以濾除高頻載波，只讓低頻包絡通過。
3. 電阻則濾除直流分量，消除捨棄下包絡時對原始訊號的偏移。

其中濾除下包絡與濾除直流分量連帶，可以同時省略，但用接地的電容濾除高頻載波則無法省略。

### 1.2.1 二極體整流

如圖，調幅訊號在左上，拉開時間軸後，通過二極體之後，下包絡全部被截止濾除，只剩上包絡。

上包絡將再送給電容，透過電容的充電、放電過程，修整出包絡的平滑曲線。



www.dltdf.com

### 1.2.2 電容濾除載波

1. 對於高頻載波而言，其頻率很高，電容對高頻的容抗很小而呈通路狀態，檢波電路輸出端的高頻載波訊號被電容從旁路引到地線，起到高頻濾波的作用。
2. 對於音頻訊號而言，由於高頻濾波電容的容量很小，電容對音頻訊號的容抗很大而相當於斷路，所以音頻訊號不能被電容從旁路引到地線。

- 對於直流電壓而言，電容的隔直特性(註)使電容相當於斷路，所以檢波電路輸出端的直流電壓不能被被電容從旁路引到地線。
- 註，**電容隔直流、通交流特性**：電容接到直流電時，在接通的瞬間是充電，但一旦穩定後，電路中電荷就不再移動，因而電路中也無電流。當電路發生變化，導致電容兩端電壓減少時，電容就會放電。**當電容接交流電而隨著交流電壓不斷變化而不斷的充放電**，因而交流電好像可以通過電容器。當然電容對交流電也有阻礙作用，頻率越低阻礙就越大，反之越小。

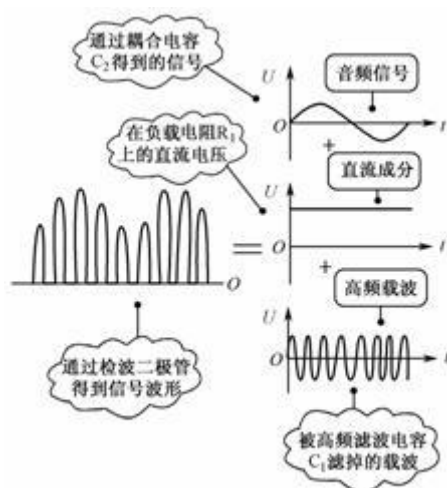
### 1.2.3 電阻濾除直流分量

右圖左邊是剛通過二極體整流的訊號，其中包含三個成分：

- 要還原回來的音頻訊號。
- 直流分量：檢波電路輸出訊號的平均幅值大小，檢波電路輸出訊號幅度大，其平均值大，這一直流電壓值就大，反之則小。透過接地的電阻，訊號的各點電壓幅值均減去平均幅值，音頻訊號向下平移，修正掉原始訊號電壓因為去掉下包絡導致的向上偏移。

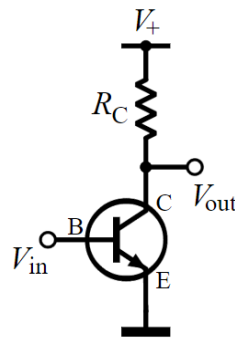
直流成分在收音機電路中用來控制一種稱為中頻放大器的放大倍數(也可以稱為增益)，稱為 **AGC(自動增益控制)電壓**。**AGC 電壓被檢波電路輸出端「耦合電容」隔離，不能與音頻訊號一起送到後面放大電路中，而是專門加到 AGC 電路中。**

- 檢波電路輸出訊號中還有高頻載波訊號，這一訊號無用，在通過高頻濾波電容時，被濾到接地端。



### 1.3 放大電路

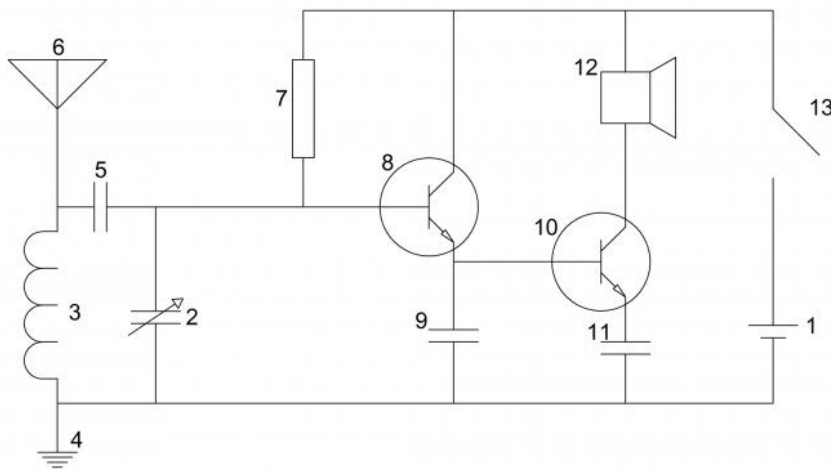
放大電路的主要零件為電晶體，以 NPN 三極體為例，訊號由基極(B)導入 ( $I_B$ )，其電流變化會導致射極(E)與集極(C)間形狀相同但卻放大十數倍至數十倍的電流( $I_C, I_E$ )。



在工作電壓範圍時，射極與集極的迴路中即使加上電阻，電流也不會變小，只是會使得電池消耗得更快而已。

將第一個電晶體的輸出再導入第二個電晶體的基極，可將放大的訊號再次放大。

### 1.4 連接調諧電路、檢波元件與放大電路，並提供電源



## 二、調諧線路的原理與實作

串接電感  $L$  與電容  $C$ ，然後兩端加上電位差。

**電感  $L$  (線圈)**：單位是亨利  $H$  (henry)。  $1 H = 1 Wb/A$  (1 亨利= 1 韋伯/安培)

- 電感 = 單位時間內有單位電流的變化時，產生的感應電動勢。
- 感應電動勢想要抵銷磁通量的變化(電感不希望流經它的電流發生變化)，並正比於磁通量的變化量。。

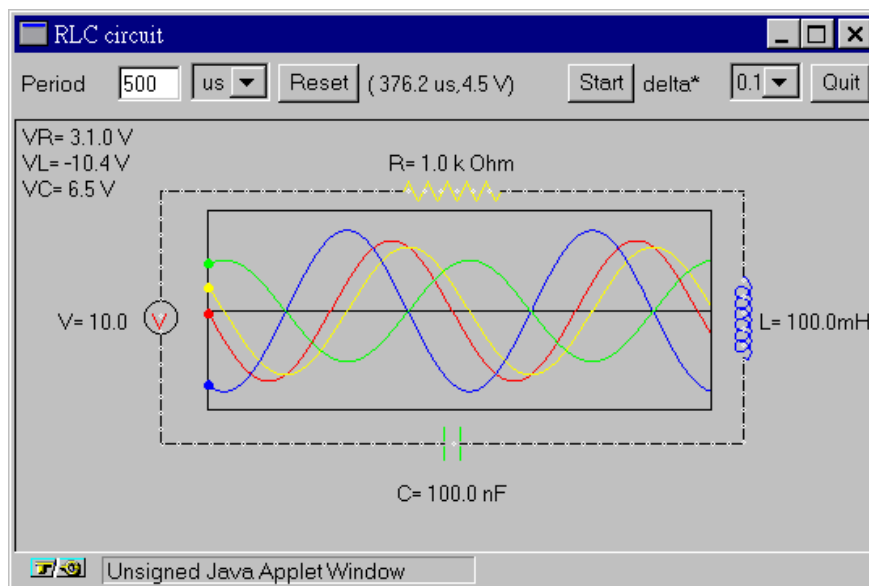


- 電感兩端電壓的變化超前電流的變化。當線圈的電流將要發生改變前，電感便會形成感應電動勢來減緩電流的變化；不是電流已經發生改變了以後，才形成感應電動勢來減緩其變化。

**電容 C (兩塊平行金屬板)**：單位是法拉 F (farad)，常用微法拉( $\mu\text{F}$ ,  $10^{-6}$  法拉)。  
 $1\text{ F} = 1\text{ Q/V}$  (1 法拉 = 1 庫倫/伏特)

- 電容兩端的電壓(電位差)與所儲存的電荷量成正比。
- 電容兩端電流的變化超前電壓變化。

**LC (L 含有電阻 R)共振模擬：**



紅色為電源電壓曲線，黃色為電阻電壓曲線，藍色為電感電壓曲線，綠色為電容電壓曲線。請注意藍綠兩色波幅相反，總和始終為 0。

- 由於線路上會形成電流的變化，於是會在電感兩端形成感應電動勢，並形成電流；電流便會在電容兩端充電，而逐漸形成電位差，
- 電感兩端的電位差便逐漸減少，同時，電流逐漸增加使得電容電壓逐漸增加
- 電感電壓為零時，電流也增至最大，此時電容兩端的電壓等於電源的電壓。
- 電流繼續使電容充電，電容兩端電壓大於電源電壓。
- 由於電流的減少使得電感兩端形成負的電位差。
- 電容電壓 + 電感電壓 = 電源電壓。
- 當回路電流變為零，此時電感兩端有最大的負電壓，電容兩端有最大的正電壓。

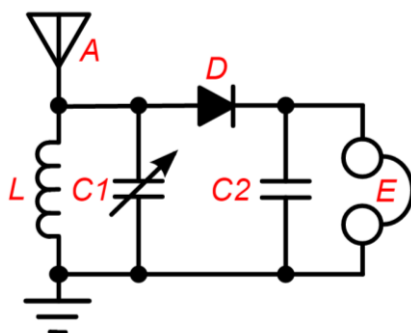
8. 上述過程以特定的頻率  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  周而復始繼續變化。

9. 由於線路中存在電阻，能量會逐漸損耗，實際的最大電流/電壓都會逐漸減少而歸於沈寂。
10. 若要變化繼續維持，可加上交流變化的正弦電壓訊號。當外加的電壓信號頻率與原來振盪頻率越接近時，其電壓/電流也會越大。這種現象稱為「共振」。

## 2.1 礦石收音機設計

礦石機包含：

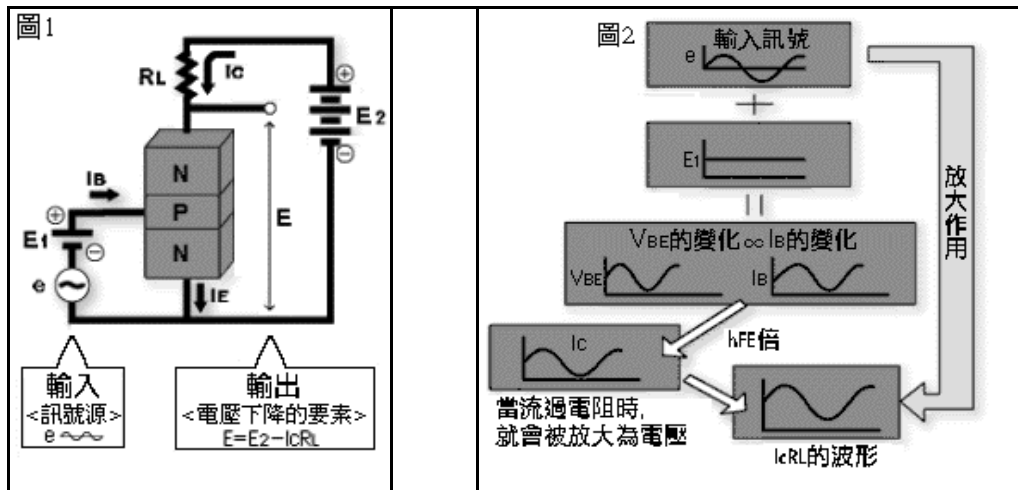
1. 調諧電路：如圖中的  $L_1$ 、 $C_1$ 、天線、地線。
2. 檢波元件：如圖中的  $D_1$ 、 $C_2$ ，其中的二極體有時有天然礦石取代。
3. 耳機。沒有放大電路和電源，所以只能用耳機聽。



## 2.2 火柴盒礦石機

- 設計網頁：  
<http://billydiy.blogspot.com/2015/09/match-box-crystal-radio.html>
- youtube 示範講解影片：  
<https://www.youtube.com/watch?v=7of69KW-JM>
- 礦石機套件：  
[http://www.icshop.com.tw/product\\_info.php/products\\_id/9690](http://www.icshop.com.tw/product_info.php/products_id/9690)

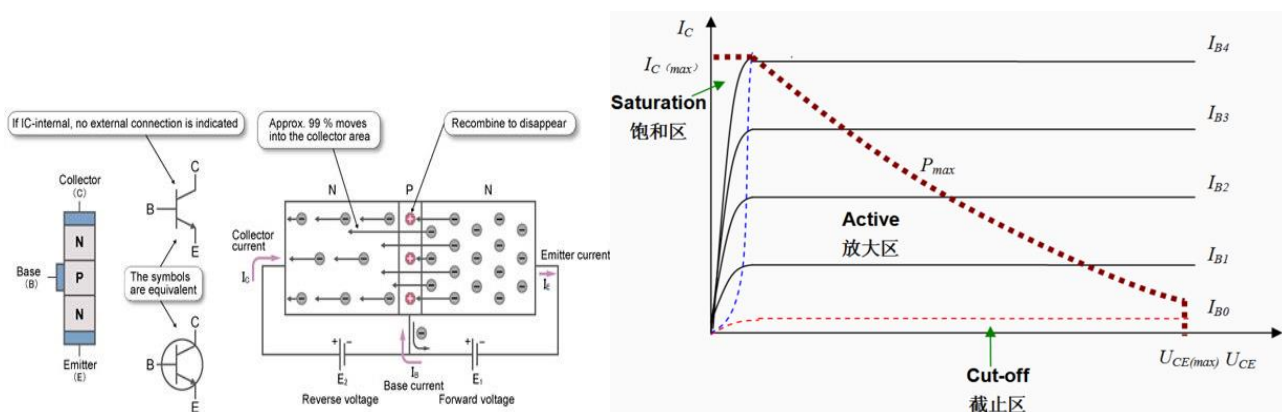
### 三、電晶體電壓訊號放大原理



首先我們先利用輸入電壓  $e$  和偏壓電壓  $E_1$  產生基極-射極間電壓 ( $V_{BE}$ )，並且讓與前述電壓 ( $V_{BE}$ ) 呈等比例的電流 ( $I_B$ )，也就是  $h_{FE}$  (註) 倍的電流 ( $I_C$ ) 通過集極，當集極電流 ( $I_C$ ) 通過電阻  $R_L$  後，電壓  $I_C \times R_L$  就會出現在電阻  $R_L$  的兩端。所以，輸入電壓  $e$  就會被轉換(放大)為電壓  $I_C R_L$ ，並產生輸出。

※註： $h_{FE}$ ，電晶體的直流電流放大率

#### 3.1 NPN 電晶體電流圖示

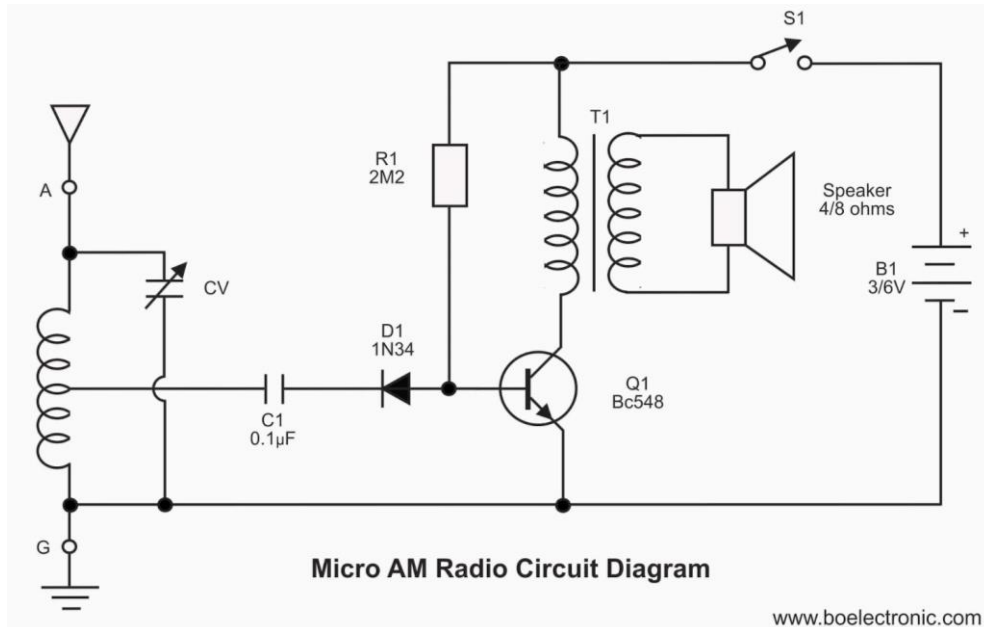


三極電晶體的輸出，橫座標為電位差，縱座標為電流。藍色虛線左邊的區域為飽和區(Saturation)；由藍色虛線、紅色虛線和棕色虛線包圍的區域為主動區(Active)，在這個區域裡，射極電流與基極電流成近似線性關係；紅色虛線下方表示電晶體尚未導通，處於截止區(Cut-off)； $I_{B0}$  為開啟電晶體的最小基極電流；圖中棕色虛線為電晶體的最大集極耗散功率，它與兩條坐標軸包圍的區域為安全工作區，與橫軸的交點為最大集極-基極電壓。



#### 四、另一款簡單的調幅(AM)收音機

如圖，這一款收音機最強的調諧頻率範圍在 530 ~ 1600 kHz 之間。這是一種小型廉價的電晶體收音機，具有低收聽音量，特別是在低功率電台。如果電台功率太弱，請使用低阻抗耳機更換揚聲器。電源由兩個或四個 AA 電池組成，電流消耗非常低，使用壽命長，電路電流僅幾個微安培。



#### 零件清單

1. Q1 - NPN 電晶體 BC548，(用 2N5551 取代)
2. D1 - 鍺二極體 1N34，(用 1N60 取代)
3. L1 - 線圈
4. CV - 可變電容器
5. T1 - 變壓器 1000 : 8
6. SPKR - 微型揚聲器 8 歐姆 x 2 英寸
7. R1 - 電阻 2.2 百萬歐姆，1/4W，5%誤差
8. C1 - 陶瓷或金屬膜電容器 0.1µF
9. S1 - 閘刀開關或滑動開關
10. B1 - 3 至 6V 直流電源或四個 AA 電池

#### 工作原理：

該電路僅使用一個三極電晶體作為放大器，並且使用變壓器驅動小揚聲器。由於電路的放大率非常低，因此需要一支很長的天線。天線應為 15 至 50 英尺長，以獲得最佳效果，良好的接地也很重要。

L1 是一個抽出線頭的線圈，連接到可變電容器 CV。二極體 D1 用來作檢波器，Q1 用來作音頻放大器。T1 是普通電晶體之輸出變壓器，T1 變壓器為 1000 : 8，揚聲器是微型的。使用時，接通 S1 並通過調整 CV 調諧到所需的電台。您可以根據電晶體增益來調整適當的 R1 以獲得最佳結果。

## 4.1 更多發想

要獲得更好的性能：可使用達林頓電晶體（例如 BC517）替換 Q1，並為 R1 找到更好的值，使用在 2.2 到 10 百萬歐姆之間的範圍內的值。

在鐵氧體棒(磁鐵)上將 No.28 線更換為 20 匝，嘗試調諧短波電台。使用長線作為天線。必須仔細研究 L1 抽頭的位置，以獲得最佳選擇性和靈敏度。

在 T1 和揚聲器的地方試驗一個水晶聽筒，一個 1 萬歐姆的電阻應與耳機並聯接線。