



收音机是 怎样工作的

苏联 K. A. 舒里金 著

姚 恩 溥 译

人民邮电出版社

苏联
北京无线电
丛刊

К. А. ШУЛЬГИН

КАК РАБОТАЕТ РАДИОПРИЕМНИК

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1956

这本小册子以通俗形式叙述真空管收音机和超外差式收音机的构造和作用原理。阐明收音机中发生的物理过程，并对选用电子管收音机中各种部件的数据作了介绍。

本书供初学的无线电爱好者阅读。

收音机是怎样工作的

著者：苏联 К. А. 舒里金
译者：姚恩溥
出版者：人民邮电出版社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第048号)

印刷者：北京市印刷一厂
发行者：新华书店

开本 787×1092 1/32

印张2 1/2 页数34

印刷字数50,000字

印数：1-21,000册

1958年9月北京第一版

1958年9月北京第一次印刷

统一书号：15015·5635-第216

定价：(9) 0.21元

目 录

緒言	1
直接放大式收音机	4
振盪回路	4
輸入裝置	12
低頻放大器	15
高頻放大器	28
檢波	32
再生式接收	37
三管直接放大式收音机	40
超外差式收音机	43
超外差接收原理	43
頻率变换	44
超外差接收的特点	49
超外差式收音机的方框圖	50
超外差机回路的同軸調諧	51
变频綫路	52
中頻放大器	54
自动增益控制	58
調諧指示器	62
超外差式收音机的原理圖	64

每个無線电广播电台都向周圍空間射出**电磁能量**——無線电波。無線电波一遇到接收天綫，便在天綫中激勵出高频振盪。因为电台很多，并且都用不同的波長播音，接收天綫中会产生許多不同頻率的电振盪。这些振盪的幅值可能各不相同，并且由电台的發射功率、电台和接收天綫的距离、天綫結構和天綫在空間的定向来决定。

为了能收听無線电广播，首先必須从很多信号里分出所需要的电台信号。在最簡單的收音机里，利用輸入裝置来实现这项任务，經過輸入裝置可將有用信号电压从天綫傳到收音机第一級的輸入端。在稍复杂的收音机里，分出所需的信号还要加进一些別的級。

收音机能分出所需信号的性能称为選擇性。收音机的選擇性越好，鄰近电台造成的收音干扰就越小。

但是，要想听到广播，仅仅分出所需电台的信号还不够。在广播时，利用高频振盪載送音频振盪，高频振盪的幅度（或頻率）很准确地随着微音器前产生的振盪幅度和頻率而变化（圖1）。这种振盪称为已調制振盪。因此，在接收天綫中激勵的高频振盪是已調制振盪。不論用耳机或揚声器，都不能將这种振盪变成声音。为使無線电播音重放出来，外来信号必需經過檢波——从已調制高频振盪里檢出和發送相应的低频振盪。

所以，即使很簡單的收音机也都應該含有分出电台信号的輸入裝置、將信号变换为低频振盪的檢波器和变换电振盪为声振盪的耳机。这种最簡單的無線电收音机就是矿石收音机。

矿石收音机的严重缺点是不能推动扬声器①、不能收听远地小功率电台以及选择性差。要想用扬声器收听本地电台，必需在矿石机内加一个低频放大器。但是，即使有很良好的放大器也还不能收听远地电台。因为要使检波器正常工作，需要加上足够大的高频电压。而远地电台在输入回路里产生的电压却很小。所以要想收听远地电台，在检波前必须先將信号电压加以放大。用高频放大器可以进行这种放大。

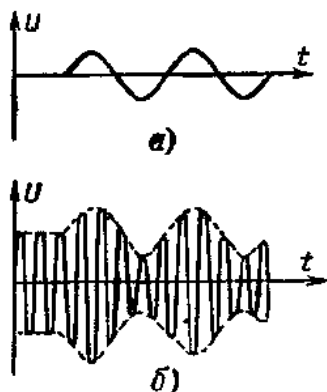


圖 1 振盪波形

α —低頻振盪； δ —已調制高頻振盪

具有輸入裝置、高頻放大器、檢波器和低頻放大器的收音機方框圖列於圖 2。這種型式的收音機叫作直接放大式收音機，圖為檢波器前的信號電壓放大是在所接收電台的播音頻率上進行的。

無調制時，即沒有播音的時候，電台只發出一種頻率，叫作載頻。當談到某一電台的播音頻率時，總是指的這種載頻。

已調制振盪是複雜振盪，它由一系列頻率疊加而成，這一系列頻率稱為頻譜。這個頻譜里含有載頻和邊頻，而邊頻是由於音頻振盪對載頻振盪進行調制而產生的。這樣，每一音頻會在頻譜里產生兩個邊頻，其中一個邊頻低於載頻，而另一個邊頻高於載頻。例如電台載頻為 250 千赫 (250000 赫)，而調制頻率為 5 千赫 (5000 赫)，那麼

① 在適當設計電路和零件的情況下，也可以推動揚聲器。見“無線電”雜誌 1958 年 5 月號“高效率矿石收音機的試制”和“和大家討論無電源收音機”二文——譯者。

第一边頻（下边頻）等于 $250-5=245$ 仟赫，而第二边頻（上边頻）为 $250+5=255$ 仟赫。这个电台的整个頻譜由三个頻率組成：下边頻 245 仟赫、載頻 250 仟赫和上边頻 255 仟赫。播送音調越高，边頻离开載頻就越远。

播送語言和音乐时，同时会有許多頻率不同的音频振盪作用于載頻振盪。因而电台在广播时就發出一系列的边頻，这些边頻叫作边頻帶。要想把播音不失真地重放出来，必需要把全部頻帶接收下来并同样地加以放大。所以，收音机的高頻系統——輸入裝置、高頻放大器和檢波器——应该均匀地通过一定頻帶。

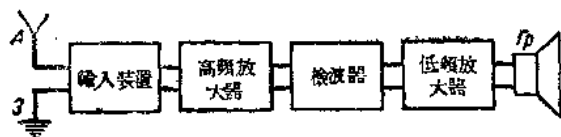


圖 2 直接放大式收音机的方框圖

广播电台在广播时發射的頻譜約 20 仟赫。因此希望收音机高頻系統也能通过这些頻帶。但是以后將會看到，完全能满足这个要求的情况很少，而收音机只能通过較窄的頻帶。这就或多或少地破坏了無綫電的保真度。

除了直接放大式收音机以外，还有更复杂的超外差式收音机。超外差机里把所收电台的高頻振盪变换为另一种叫作中頻的高頻振盪，并在中頻上进行信号的主要放大。超外差式收音机要比直接放大式收音机更灵敏，它有良好的選擇性及其他一些优点。因而目前最为流行。

本書第一部分講兩类收音机都有的电路部份和直接放大式收音机，第二部分講超外差式收音机。

直接放大式收音机

振盪回路

振盪回路是每个無線电收音机、無線电發射机和其他很多無線电技术裝置的必要組成部分。振盪回路这样流行的原因是它能够响应于它所調到的那一频率的振盪。这种現象称为电譜振，它是無線电技术的基础。

回路里的固有振盪 振盪回路（圖3）由电感 L 、电容 C 和电阻 R 組成。而电容 C 包括回路电容器的电容、綫圈本身的电容和回路接綫的电容。

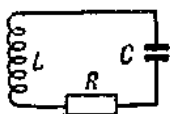


圖 3 振盪回路的等效綫路

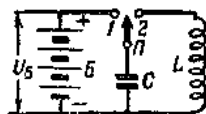


圖 4 解釋在振盪回路里所产生过程的电路

为了研究回路里产生的过程，我們用电池 B 、轉換开关 K 、电感綫圈 L 和电容器 C 按照圖4 做一模型。把轉換开关 K 放到位置 1，讓电容器接到电池上；在电压 U_B 的作用下电容器开始充电。

現在我們把轉換开关搬到位置 2。剛剛充完电的电容器接到了綫圈上，电容器开始放电并有电流流过綫圈。同时在綫圈周圍产生磁場，而綫圈兩端遂生成自感电势。起初，磁場增長速度最大，因而这个电势也最大，其值約等于电容器極板間的电压 U_C 。因为自感电势与电压 U_C 方向相反，那么它就阻止电流急速的增加，所以在最初瞬間放电电流非常小，而电容器

所儲的全部能量几乎仍然聚集在电容器里（圖 5, *a*）。随后，电流不断增加，电容器所儲存的能量也跟着减少并转换为线圈里不断增加的磁场能量（圖 5, *b*）。但其增加速度逐渐减慢，因而自感电势下降。到电容器完全放完电，其极板间电压等于零的瞬间（圖 5, *b*），电路里的电流达到最大值，而自感电势下降到零。

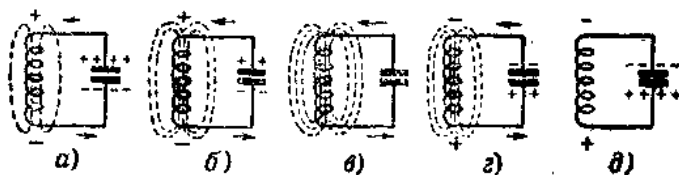


圖 5 在振盪回路里产生的过程

看来，电路里的电流应该终止了。但是并非如此。电流刚一减小，线圈的磁场就要变化，但这时是磁场减小，因而在线圈两端生成的自感电势方向与前相反，这个电势阻止电流的减小，因而回路里继续有电流通过，电流方向与前相同并再向电容器充电。此时电容器下极板带正电位，而上极板带负电位（圖 5, *c*）。磁场能量逐渐减少，而电流也跟着减小。当线圈的磁场消失时，全部能量将回到电容器，于是电容器又充了电（圖 5, *d*）。

接着，电容器又开始放电并重复以前的全部过程，所不同的只是通过线圈的电流方向与前相反——自下极板到上极板——而再一次充电后的电容器电压的极性变成和振荡过程开始时一样。这样，在回路里的振荡过程进行了一个完整的循环。

再次充电后，电容器又重新开始放电。这样下去，在回路里就产生了振荡：电容器电压和线圈电压以及电路中的电流将周期性地变化，而能量将由电容器的电场能量变换为线圈的磁

場能量，然后又变回来。回路里的这种振盪称为固有振盪。

固有振盪的頻率取決于回路的电容和回路綫圈的电感。电容器的电容越大，它充电和放电所需要的时间就越長，因而电容器在 1 秒鐘內完成充电的次数就越少；即固有振盪頻率就越低。从另一方面講，綫圈的电感越大，回路中电流的增長和下降就越慢，这也会使迴路的固有振盪頻率降低。

所以，随着回路的綫圈电感和电容的增加，其固有振盪頻率減低；而当回路的电感和电容減小时，固有頻率增高。假若使其中一个参数为变数，就能够在很寬範圍內連續地改变回路的固有振盪頻率。

当已知回路的电感和电容时，可以利用下式算出其固有振盪頻率

$$f = \frac{159000}{\sqrt{L \cdot C}},$$

式中 f ——單位为仟赫， L ——單位为微亨， C ——單位为微微法。

例如，若回路电容 $C = 200$ 微微法，电感 $L = 600$ 微亨，那么自然振盪頻率

$$f = \frac{159000}{\sqrt{600 \times 200}} = 460 \text{ 仟赫}.$$

实际上常常需要按照已定頻率和迴路的某一参数来决定回路的电感或电容。这可按照下式求出

$$L = \frac{2.53 \times 10^{10}}{f^2 \times C} \text{ 和 } C = \frac{2.53 \times 10^{10}}{f^2 \times L},$$

式中 L ——微亨， C ——微微法和 f ——仟赫。

用可变电容器改变回路固有振盪頻率的波段範圍，決定于回路最大和最小电容的比值。最大电容包括电容器 C 的最大电

容 C_{max} 以及由繞圈本身的电容和回路接繞电容組成的附加电容 $C_{\text{доб}}$ (圖 6)。回路的最小电容包括电容器 C 的最小(初始的)电容 C_{min} 及电容 $C_{\text{доб}}$ ：



圖 6 用可变电容器調諧的振盪回路圖

$$f_{\text{max}} = f_{\text{min}} \sqrt{\frac{C_{\text{max}} + C_{\text{доб}}}{C_{\text{min}} + C_{\text{доб}}}}$$

回路可以調到的最高頻率 f_{max} 和最低頻率 f_{min} 的比值称为波段复盖系数 K_{θ} ：

$$K_{\theta} = \frac{f_{\text{max}}}{f_{\text{min}}} = \sqrt{\frac{C_{\text{max}} + C_{\text{доб}}}{C_{\text{min}} + C_{\text{доб}}}}$$

例如，若回路的全部电容能变化到四倍，那么波段复盖系数 K_{θ} 等于 2，若能变化到九倍，那么 K_{θ} 将等于 3。从列出的公式看出，回路的初始电容越大，则能够复盖的波段就越小。

在研究回路的振盪过程中，我們沒有考虑到充电时电容器所儲存的能量，有一部分消耗于繞圈導綫、接綫、鄰近零件和电容器介質的發热以及輻射等。由于存在这些损耗，每次再充电时回到电容器的能量就越来越少。若不將这些能量损耗补起来，那么每当下一次振盪时，回路电流的最大值將减小；经过若干時間后，就会把电容器从电池所得到的全部能量耗尽，回路中的振盪也就停止。这种振幅不断減小的振盪称为減幅振盪。在每一周期內回路损耗能量越多，那么回路中的振盪就減得越快。

若振盪回路里接有电阻，那么高频电流通过这个电阻时就会使它發热。电阻發热的能量损耗使振盪衰減过程加快。回路中所儲的能量损耗于輻射以及鄰近金屬物的發热等，对回路中的振盪过程也产生同样的影响。因此，研究振盪回路时，可以認為其中存在一些附加电阻，附加电阻对回路中过程的影响和

上述热损耗一样。这个电阻称为反射电阻。

这样，回路的总电阻包含线圈导线的和接线的交流电阻、电容器和线圈架介质损耗电阻以及反射电阻。

为了得到等幅的振荡，需用某种方式增补在回路中所损耗的能量。

回路的选择性 实际上，振荡回路常常处于这样的条件下：不断地由外面向振荡回路输入振荡能量，而且输入振荡的频率不是总能和回路的固有频率一样。

假若利用和回路线圈 L 成电感耦合的耦合线圈 L_{cb} 把能量送到回路（图7）。经过线圈 L_{cb} 的高频电流在其周围产生交变磁场，部分磁力线也将通过回路线圈。因而在回路线圈里感应出电势并在回路中产生交流电流。该电流频率等于输入振荡的频率而与回路固有频率无关。所以回路中产生的振荡不同与固有振荡而称为强迫振荡。

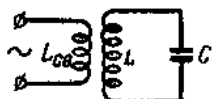


图7 利用电感耦合把高频振荡引到回路里

若使输入振荡的电平保持不变，而改变其振荡频率，那么当频率逐渐趋近回路的固有频率时，回路中的电流将增大；当这个频率与回路固有频率相等时，电流达到最大值（图8）。继续改变频率就会使回路中的电流减小。所以，振荡回路是谐振的回路——它对振荡频率等于其固有频率的振荡有最大的反应。等于回路固有振荡频率的频率称为谐振频率，一般用 f_0 表示。

回路的谐振特性广泛地用来分出各种频率的振荡。的确，如果把一些振幅相等而频率各不相同的交流电压送入耦合线圈，那么只有频率接近于回路谐振频率的振荡才能在回路中引起显著的电流。例如，用可变电容器把回路的固有频率调到等

于某一振盪頻率，就可能如願地分出送到綫圈 L_{co} 的任一振盪。通常就是这样將無線電收音機調到所需要的電台。

由圖 8 看出，不僅頻率為 f_0 的振盪，而且與諧振頻率相差較小的其他頻率的振盪也能在回路中產生巨大的電流。例如頻率為 f_1 和 f_2 的振盪在回路中引

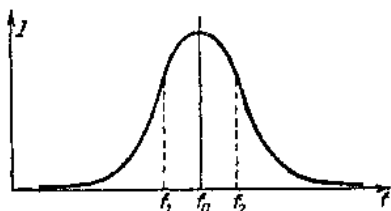


圖 8 回路諧振(頻率)特性曲綫

起的電流只比諧振頻率振盪時的電流小 30%。可見，回路能很好分出的振盪不只是一個頻率而是一個頻帶。振盪回路的這種特性對於無線電接收技術很重要，因為所有無線電廣播台發射的不是一個頻率而是頻率相近的整個頻譜，所有這些頻率都需要選出並加以放大。

回路的放大特性 前曾指出，當回路里通過交流電流時，在綫圈和電容器上即生成交流電壓。出現這些電壓是由於電感綫圈和電容器對於交流電流有某些阻力所致。這些阻力不消耗能量。因而為了與電阻區別起見，把這種交流阻力稱為電抗，並用 X 來代表， X 下面的腳註 L 或 C 分別表明是電感的電抗或是電容的電抗。此外，綫圈和電容器串聯時，電路的總電抗 X_{pes} 並不增加，而是減低，它等於兩電抗的差數：

$$X_{pes} = X_L - X_C.$$

電感綫圈的電抗和電容器的電抗值都由頻率決定：

$$X_L = 2\pi fL \text{ 和 } X_C = \frac{1}{2\pi fC}.$$

式中 X_L 和 X_C ——歐姆(歐)， f ——赫茲(赫)， L ——亨利(亨)和 C ——法拉(法)。

当輸入振盪頻率比回路固有頻率低得很多時($f \ll f_0$)，電容器的容抗很大，並超過線圈的感抗好多倍。因而回路中的電流和線圈上的電壓非常小。而電容器上的電壓值趨於電源電壓。在 $f \gg f_0$ 的情形下，也同樣發生這種現象，不過此時線圈的感抗大，線圈電壓和電源電壓相近，電容器上的電壓趨近於零。當頻率在上述兩個邊界頻率的範圍以內時，電路的電抗要比在邊界頻率時小些（圖 9）。因此回路中的電流也就隨着加大。

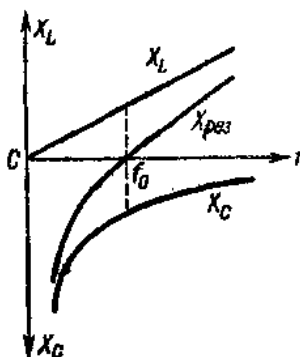


圖 9 回路電容器和感應線圈電抗與頻率的關係

當感抗等於容抗而使感抗上的電壓和容抗上的電壓相等時，回路中的電流達到最大值。因為這時的總電抗 X_{ps} 等

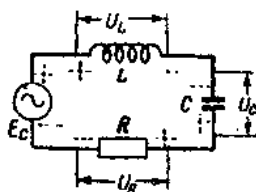


圖 10 具有外加電勢的振盪回路等效電路

於零，而回路的阻抗最小並且僅等於回路的電阻。因而送入回路的全部電壓都加到電阻上。這種現象只有在諧振時才會發生。

電容器和線圈在諧振頻率時的電抗相當大，超過回路的電阻几十倍，有時達到几百倍。因此在電容器和線圈上產生的電壓 U_L 和 U_C 超過外加電勢值 E_C 很多倍。但是這兩個電壓彼此作用相反（圖 10）並相等，結果互相抵消而不影響回路中的電流。舉例說，若從回路的電容器取下電容器上的電壓，我們即可得到信號的電壓放大。

諧振時回路中電容器上的電壓 U_C 與電勢 E_C 的比值表明回路能將信號電壓提高到多少倍，這個比值稱為品質因數，並用字母 Q 表示。回路的電阻 R 越小，那麼回路的品質因數就越大。其值可按照下式計算

$$Q = \frac{0.00628 f_0 L}{R},$$

式中 f_0 的單位為仟赫， L 的單位為微亨， R 的單位為歐。

例如，設 $f_0 = 460$ 仟赫， $L = 600$ 微亨和 $R = 15$ 歐，那麼回路的品質因數為

$$Q = \frac{0.00628 \times 460 \times 600}{15} = 115.$$

用於無線電收音機裝置的各種結構的振盪回路的品質因數在全部波段里都具有同一數量級，通常在 30—40 到 150—200 的範圍內。

品質因數的倒數 $\left(d = \frac{1}{Q}\right)$ ，稱為回路的衰減系數。

振盪回路的選擇性和回路能夠暢通的頻帶（圖 11）決定於回路的品質因數。品質因數越高，諧振曲線就越尖銳，回路就能更好地分出調到回路頻率的信號。但是這時回路能通過的頻帶變窄。

通常把電容器上的電壓減小到諧振時電壓的 $0.707 (1/\sqrt{2})$ 的頻帶寬度作為回路的通帶 $2\Delta f$ 。這個通帶恰好是回路諧振頻率的 Q 分之一：

$$2\Delta f = \frac{f_0}{Q}.$$

例如，設 $f_0 = 460$ 仟赫，而 $Q =$

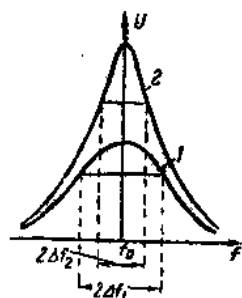


圖 11 諧振曲線形狀與回路品質因數的關係
曲線 1—品質因數較高；
曲線 2—品質因數較低

115, 那么通帶为

$$2\Delta f = \frac{460}{115} = 4 \text{ 千赫.}$$

当回路的品質因数甚高时, 对于滿意的收听無線电广播来说可能感到通帶不够。这就限制了增高回路品質因数的范围, 而回路的选择性也受到限制。以簡單振盪回路用作收音机选择裝置的缺点是不能同时达到高度选择性和足够寬的通帶。更完善的选择裝置是用两个或更多互相耦合的振盪回路系統, 称为帶通濾波器。这种系統能够解决上面指出的选择性和通帶間的矛盾。

若振盪回路接到某一电路上去, 那么回路对交流电流有一阻抗。阻抗值取决于頻率, 并在振盪頻率等于回路的固有振盪頻率时达到最大。此最大阻抗称为諧振阻抗, 以 Z_{pe3} 表示:

$$Z_{pe3} = 0.00628 f_0 L Q$$

或
$$Z_{pe3} = 10^6 \times \frac{L}{CR},$$

式中 Z_{pe3} 和 R 的單位为欧, L 的單位为微亨, C 的單位为微微法, f_0 的單位为仟赫。

从上式可以看出, 回路的品質因数和电感越高, 其諧振阻抗就越大。另外, 若繞圈不动而变动电容器 C 的电容来調諧回路, 那么 Z_{pe3} 随着回路的固有頻率增高而增大 (电容器电容减小); 而減低回路的固有頻率时, Z_{pe3} 就随着減小。

輸入裝置

輸入裝置的用途是把有用信号电压从輸入端傳送到收音机的第一級。最簡單的輸入裝置是調到所接收电台頻率并用某种方法与天綫耦合的一个振盪回路。

依靠輸入裝置回路的諧振性，一般能使回路輸出端的有用信號電壓比天線上的信號電勢大 2—5 倍。表明輸入裝置能放大到多少倍的數字稱為輸入裝置的電壓傳輸係數。

最常見的輸入裝置繞路列於圖 12。各繞路的差別只是回路和天線耦合的方式不同。

天線不應該直接和回路相連接，因為天線對地電容很大，會使回路的最小電容增加很多倍，從而大大減小被回路覆蓋的波段。此外，用這種方法連接天線使天線與回路間的耦合極強（傳送能量很大的耦合稱為強耦合），天線給回路帶來很大電阻，而使回路的品質因數降低。品質因數的降低使輸入裝置的選擇性大大變壞。最後，在很強的耦合時，天線參數的改變以及更換天線都將使回路失諧，因而使收音機靈敏度和選擇性變壞。所以一般都把天線

經過電容器接到回路上（圖 12, a），或者接到回路繞圈的部分繞圈上，最後，或者是使天線和回路的繞圈成電感耦合（圖 12, c）。

當天線和回路成弱

耦合時，輸入裝置的選擇性較好，但是電壓傳輸係數很小。所以，改變耦合電容器 C_{cs} 的電容、變動天線到回路繞圈 L 的接頭位置或繞圈 L_{cs} 和 L 間的距離，都力求選出讓輸入裝置既具有良好選擇性而同時又有較大電壓傳輸係數的天線耦合。根據這個觀點而得到最適宜的耦合是最佳耦合的一半（電壓傳輸係數最大時的耦合稱為最佳耦合）。這時的電壓傳輸係數約等於最大值的 0.8，而回路的品質因數只不過減低 25%。

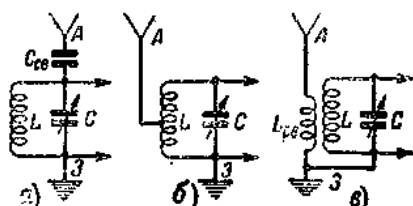


圖 12 輸入裝置的原理圖
a—電容耦合；b—自耦變壓器耦合；
c—電感耦合

天线的电容耦合(圖 12, a)是最簡單的耦合, 用在簡單收音机里。当收音机工作于中波波段时, 最有利的耦合是在 $C_{cg} = 25-30$ 微微法的时候, 而工作于長波段时, 最有利的耦合是在 $C_{cg} = 30-50$ 微微法的时候。

这个线路的严重缺点是电压傳輸系数在波段中很不均衡: 回路調到較高頻率时(調到波段始端时), 电压傳輸系数就剧烈增加; 回路調到較低頻率时(調到波段末端时), 电压傳輸系数减小。这是因为电容器 C_{cg} 的电抗随着頻率的增高而降低, 因而天线和回路的耦合随之加强。此外, 用可变电容器調諧回路时, 波段始端的諧振阻抗增加, 遂使耦合加强, 傳輸系数也随着增大。

自耦变压器耦合的线路略为复杂(圖 12, б), 因为必需从回路线圈 L 引出抽头才能实现自耦变压器耦合。但是这种耦合电压傳輸系数沿波段的变化較电容耦合时小。这里的电压傳輸系数不能恒定的主要原因是在調諧时 LC 回路的諧振阻抗发生变化。

当采用电感耦合线路(圖 12, в)时, 电压傳輸系数在波段中最为均匀。这时, 选择耦合线圈 L_{cg} 的电感, 使天线电路的固有頻率 f_A 小于复盖波段最低頻率 $f_{\text{мин}}$ 的 $2/3-1/2$, 即 $f_A = (0.5-0.7)f_{\text{мин}}$, 可以得到最好的效果。此时波段始端的电压傳輸系数比波段末端的电压傳輸系数略小一些。

天线电路的固有頻率决定于耦合线圈 L_{cg} 的电感、线圈本身的电容以及天线本身的电感和电容。电路中耦合线圈的电感数值对于中波段选在 1—3 微亨以內, 而对于長波段选在 8—15 微亨以內。改变线圈 L_{cg} 和 L 間的距离可以选出最适宜的天线耦合。

为了便于闡明收音机的高頻放大器和檢波級內所产生的过