

变频器

穆平圻 编著

目 錄

一、概論	(1)
二、變頻器的基本原理	(3)
三、變頻管及其電路	(6)
四、混頻管及其電路	(15)
五、三點統調	(20)
六、中間頻率的選擇	(23)
七、本地振盪器的頻率穩定	(27)
八、波段的變換	(32)
九、變頻器的測試與調整	(35)

一、概 論

變頻器是超外差收音機的心臟，變頻器的作用是把外來的各種已調制的高頻信號變成另一個固定的中間頻率（簡稱中頻）的信號，這中間頻率雖比高頻載波的頻率為低，但對於原來的信號形狀則絲毫不改變。把這中頻信號加以放大和檢波後便得到所需要的低頻信號。

圖 1 表示變頻器的方框圖，這變頻器是由本地振盪器、混頻管（有時本地振盪器和混頻管是在同一管內的）和諧振電路三個部分所組成的，外來的高頻信號 f_2 和本地振盪器所發生的，頻率為 f_1 的本地信號同時輸入混頻管，在混頻管中可產生 f_1 ， f_2 ， f_1+f_2 及 f_1-f_2 等一系列的頻率。中頻諧振電路調諧到其中一個頻率（ f_1-f_2 ）上，這一頻率便是中間頻率，簡稱中頻。



圖 1.

使用變頻器的優點如下：

1. 選擇性優良 在超外差式收音機中，因為採用了固定的中頻，所以可以用固定校準好的中頻變壓器作為電子管間的耦合，因而可以得到較理想的諧振特性。因為中頻變壓器是一個調諧的回路，或幾個調諧回路串接，成為一個帶通濾波器，所以它的選擇性是比較好的。另一方面，我們知道調諧電路的選

擇能力和工作頻率有關。例如，設所接收信號的頻率為1000千周，干擾信號是1010千周，他們差1%，這在再生式收音機中是很難避免干擾的。但若採用外差式，它的中頻為460千周，那麼本地振盪是1460千周。這時干擾信號通過變頻後成為 $1460 - 1010 = 450$ 千周。那麼信號和干擾的頻率就相差信號的 $\frac{460 - 450}{460} = 2.2\%$ ，為原來1%的2.2倍，當然就比較容易地將有用信號和干擾分開了，也就是選擇性增加了。

2. 中放的放大倍數大 如果高頻放大級的放大倍數太大，就容易產生振盪，發出嘯叫聲，擾亂收音。因此就不能接收微弱的信號。超外差式收音機採用了中頻後，因中頻放大器的頻率較低，而且頻率是固定的，所以產生振盪的機會也減少。因此中頻放大級的放大倍數可設計得較高。雖然用的是同一類型的電子管，中放級的放大倍數往往要比高頻放大級大，因此超外差式收音機的靈敏度也是較高的。

3. 保真度高 保真度又叫逼真度，是表示收音機音質好壞的程度，亦即保存原有信號形態的程度。收音機的保真度越高，它的失真就越小。由於中頻與信號頻率無關，保持不變，且中頻變壓器是在廠里精密調好的，所以它的各數據與耦合度可以選用最有利的，使它的諧振曲線較合理想。再加中頻放大器一般都採用幾個調諧回路串接，故總的可保證獲得近乎矩形的諧振曲線，使通過較寬頻帶而不損害選擇性。

4. 放大量對各頻率說較均勻 在直接放大式收音機中，要使高頻放大級在整個的波段各個不同頻率上有均勻的放大量是不可能的。但在超外差式收音機中，用的是固定的中頻，它和

外來的信号頻率无关，所以在整个波段內放大量是均匀的。

5. 制作調整方便 我們知道若有兩級高放的收音机，要使他三級調諧电路在全波段中完全同調是很困难的。但在外差机中多級中放就沒有这种困难。

6. 使用方便 因超外差式收音机不要調節再生，故使用起來方便得多。

采用变频的优点已如上述，这些优点大大地提高了收音机的品質。所以我們都广泛地采用超外差式收音机，而超外差式最主要的關鍵在于变频器，所以討論变频器的必要性就很明顯的了。

二、变频器的基本原理

为了易于了解產生差拍頻率的过程起見，可以用圖解方法來說明。如圖 2 所示，假定有两个不同的頻率 f_1 和 f_2 ， f_1 为10周， f_2 为8周。圖上縱軸表示电流的強度，橫軸表示時間为一秒。

圖 2 (甲) 上画的是 f_1 的波形，每秒钟有10个最大值(波峯)和10个最小值(波谷)。圖 2 (乙) 上画的是 f_2 ，每秒钟有8个最大值和8个最小值。当两个不同頻率的电流混

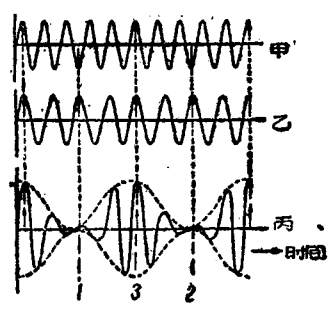


圖 2.

合到一个电路里时，总的电流是它們的代数和。从圖上可以看

出，在橫軸的某些点上，例如 1 和 2，（甲）和（乙）兩條曲線上的數值相加后，使兩者相互抵消，故為零；如曲線（丙）所示。在另外一些點（如 3）兩條曲線上的數值相加后，其結果為正最大值。由曲線（丙）很明顯地可以看出，兩個頻率 f_1 和 f_2 差拍的結果，便可產生一差拍頻率為：

$$f_1 - f_2 = 10 - 8 = 2 \text{ 周}$$

不僅是上面例子中所說的低頻如此，實際上任何頻率都是如此。但要注意，上面所說的差拍雖然它的包線是二周，但這並不是說他產生出新的頻率，在差拍中是分不出這新的 2 周的頻率的。要真的產生新的頻率必須通過非直線性元件才可以。例如當我們收聽廣播段時，如果有兩個電台，其頻率相隔很近，譬如一電台的頻率為 1000 千周，另一電台的頻率為 1009 千周，則收聽時經過檢波器等非直線元件就往往會發生 9 千周差拍頻率的尖銳叫聲。

在超外差式收音機中，有兩個不同的頻率加在變頻管的柵極上。一個頻率是本地振盪器所產生的，頻率是 f_1 ，另一個是外來信號，它的頻率是 f_2 。變頻器的作用就是使這兩個信號相加后產生出一種新的，頻率為 $(f_1 - f_2)$ 的中頻信號。

現在進一步用數學方法來闡明變頻的原理。如果圖 3 的曲線是表示變頻管屏極電流 i_a 和柵極電壓 u_g 關係的特性曲線，當柵極上有本地振盪器所輸入的振盪電壓時，工作點是在特性曲線的 1 和 2 之間周期地移動着，故特性曲線的互導 S 在不同的瞬間是不同的。例如在 t_1 時互導最大，在 t_2 時互導最小。如果柵極上只有固定柵壓時（即未加上本地振盪電壓時）的互導為

S_0 ，由于加上振盪电压后，互導随着振盪电压而变化的值为 $S_1 \cos \omega_1 t$ 。则在振盪电压作用下变频管的互導可用下式来表示：

$$S = S_0 + S_1 \cos \omega_1 t \quad (1)$$

式中 ω_1 为本地振盪的角频率。

圖 4 就表明这一公式所表示的互導变化的关系。

这时如果有外來信号同时作用在这一变频管上，因为变频管的負荷一般比其內阻小得多，所以屏極电流 i_a 为：

$$i_a = S u_c = (S_0 + S_1 \cos \omega_1 t) u_c \cos \omega_2 t, \quad (2)$$

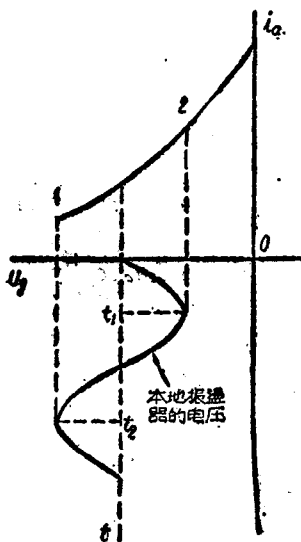


圖 3.

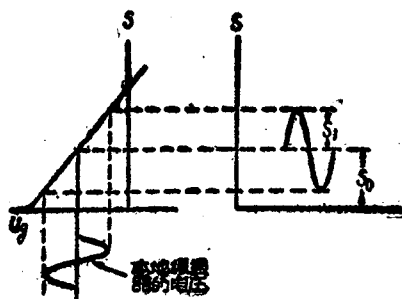


圖 4.

式中 u_c 为栅極电压。利用已知三角公式：

$$\cos A \cdot \cos B = \frac{1}{2} [\cos (A+B) + \cos (A-B)]$$

便可得出屏極电流組成部分:

$$\begin{aligned}
 i_a = & S_0 u_c \cos \omega_2 t + \frac{1}{2} S_1 u_c \cos (\omega_1 + \omega_2) t \\
 & + \frac{1}{2} S_1 u_c \cos (\omega_1 - \omega_2) t = S_0 u_c \cos 2\pi f_2 t \\
 & + \frac{1}{2} S_1 u_c \cos 2\pi (f_1 + f_2) t \\
 & + \frac{1}{2} S_1 u_c \cos 2\pi (f_1 - f_2) t \quad (3)
 \end{aligned}$$

上式說明屏極电流中含有 f_2 , $(f_1 + f_2)$, $(f_1 - f_2)$ 等几个頻率, 最后一个頻率 $(f_1 - f_2)$ 便是所希望得到的中間頻率, 由上式可以看出屏極电流中的中頻 $(f_1 - f_2)$ 的振幅等于 $\frac{1}{2} S_1 u_c$, 它和变频管柵極上外來信号电压的振幅 u_c 是成正比的。也就是說, 屏極电流中頻的振幅和外來信号电压的振幅成直線性的关系。

三、变频管及其电路

变频用的电子管种类很多, 其效用也各各不同, 下面分別討論各种变频管的結構、特性、优缺点和它的电路。

1. 五柵变频管

在过去的几年中, 五柵变频管6A8(玻璃管6A7^①也属于此类型)曾經風行一时, 因为它可以兼司混頻与振盪, 并且效率也并不太差, 它的底座接綫如圖5所示, 它的內部結構如圖6所示。屏極和各个柵極都是成为圓筒狀的(G_2 除外)。 G_1 、 G_3 、 G_4 和 G_5 都是繞成柵狀, 惟有 G_2 却是一对豎立的金屬細桿。这个

註① 这里的6A7不是苏联式的, 因苏联的6A7和美式的6SA7相同。

五柵变频管可以分成一个三极管和一个四极管，陰極是作为三极管的陰極， G_1 和 G_2 是三极管的柵極和屏極。

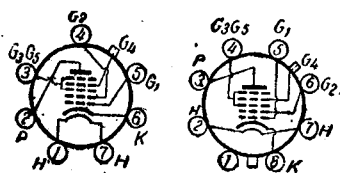


圖 5.

G_3 、 G_4 、 G_5 及屏極組成四極

管，在 G_3 和 G_4 間的电子云組成的空間电荷就是四極管的虛陰極， G_4 、 G_5 和屏極則分別成为四極管的控制柵，帘柵和屏極。这个五柵变频管的三極部分是用来作振盪的，而四極部分则是用来作为混頻的。这两部分合并起来就能完成变频的作用了。

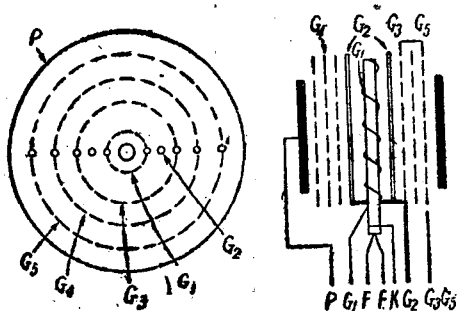


圖 6.

在 G_1 上接上一个調諧回路，再在 G_2 上接上一个反饋綫圈，便成为一个調柵振盪电路(見圖 8)，接上电源后，就能產生振盪。这时在 G_1 上就有一个振盪电压，它的頻率是由調諧回路來決定的。發自陰極的电子流，經過 G_1 受到 G_1 上的振盪电压的作用，所以空間电荷的密度就隨着振盪頻率而周期性地改变。在 G_3 、 G_5 和屏極上加上正的直流电压， G_4 加上外來的信号电压，当然还应当加上适当的直流柵偏压。流过 G_1 、 G_2 后的电子流得到 G_3

正电压的加速而穿过 G_3 后忽然遇到 G_4 的负电位而被阻止在 G_4 和 G_3 之间,这些电子所形成的空间电荷就当作这四极管的阴极,通常称为虚阴极。 G_4 的负电压是这样形成的:前面说过,在 G_4 上要加上一栅负偏压而同时又有外来信号电压(如图7)。如果栅偏压是-3伏,而外来信号电压的振幅值是1.5伏,那末即使在正峰值时, G_4 的电位对阴极来说还是要负1.5伏,所以 G_4 的电位是负的。虽然在图7中所示的外来信号电压是一个正弦波,但从理论上说就是实际广播的调幅波信号亦是一样的。这个假想阴极的电子受到 G_3 和屏极正电压的吸引,就得到了足够的动能,可以冲过 G_4 而奔向屏极,但是在它们穿过 G_4 的时候,却又受到外来信号电压的影响,

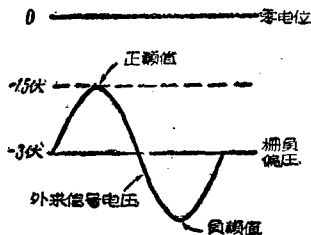


圖 7.

而使电子流又随着外来信号的频率及大小而改变。因此,这个电子管的屏极电流将同时随着本地振荡频率和外来信号频率而改变,这就是说在屏流内将要发生两种频率的混合,再在该管的屏电路中接上一适当的滤波器(中频变压器),我们就可以得到需要的差频来了。

图8示6A8电子管作变频时的线路,图中 C_1 、 C_2 是双连可变电容器, L_1 、 L_2 分别是天线线圈的初次级, L_3 、 L_4 是振荡线圈。 L_3 与 C_2 组成振荡调谐回路, L_4 是振荡反馈线圈, C_3 是振荡栅极耦合电容器, C_4 是垫整电容器, C_5 、 C_6 与 C_7 都是傍路电容器, R_1 是栅漏电阻, R_2 和 R_3 是振荡屏极(G_2)和帘栅极的降

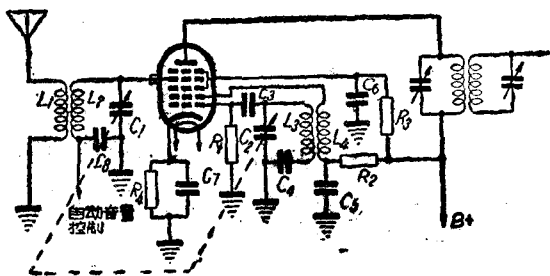


圖 8.

压电阻。

6A8 电子管虽然可以在一个管子内能够完成振荡与混频的两种重要工作，但是它的缺点还是很严重的。这就使得它不得不被逐渐淘汰，而为「后起之秀」的其他变频管来代替它的工作了。它的最主要的两个缺点是：

a. 振荡频率不稳定 在前面曾经提到过6A8类的电子管，它的振荡屏极 (G_2) 是一对竖立的金属棒，在它的上面并没有绕着栅丝①。它处在 G_1 与 G_3 间，并且它和 G_1 、 G_3 的栅丝支柱排列在一个平面内，所以它和阴极之间是被 G_1 的支柱所遮蔽的，因此，电子直接从阴极以最短路线射到 G_2 的数量极少，而主要部分是从阴极射

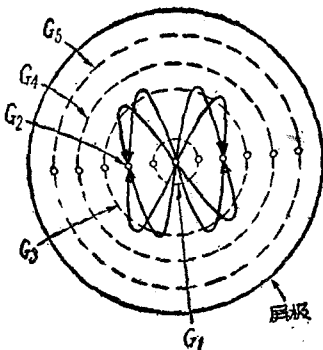


圖 9.

① 为什么 G_2 不做成栅状呢？这是因为要减少它对四极部分屏流的影响。我们知道， G_2 上的电压和 G_1 的电压相位差 180° ，若它对屏流的影响大了将为抵消 G_1 的作用而不能起变频作用了。

出后經 G_1 、 G_3 受 G_4 負電位之減速作用而返轉，並且在返轉過程中再穿過 G_3 而落在 G_2 上（見圖9）。但是我們知道，如在 G_4 上的是一个高頻信號電壓，所以當在正半周的時候，返轉的電子就比在負半周時的少。因此電流 I_{g2} 亦隨着而改變，振盪頻率亦隨之而不穩定了。這現象尤其是在短波中更為顯著。

6. 負電容效應 由於6A8等管中振盪柵 G_1 的電壓對空間電荷，即 G_3 與 G_4 間的虛陰極電子密度影響很大。例如當 G_1 變正時，使虛陰極電子密度增大，故在信號柵 G_4 上感應出正電荷。這個作用正好和一般電容器的作用相反，所以稱為負電容。這就是說在信號柵回路中將會感應出一個振盪頻率的電流。在長波或中波廣播波段中，因信號回路對本地振盪頻率來說失調很厲害，故阻抗很小，幾乎等於短路。因之這現象可忽略不計。但在短波波段中，信號回路對振盪頻率失諧不大，故仍有相當大的阻抗。因之在信號柵上就發生一個與振盪柵反相的電壓，這就等於減低了振盪柵的振盪電壓，因之降低了變頻互導。因為變頻互導的公式為：

$$S_c = -\frac{1}{2} K_c \cdot u_0 \textcircled{1}$$

式中 K_c 是變頻常數，決定於電子管柵極的特性， u_0 表示振盪電壓。由式可知，變頻跨導是決定於電子管的特性和振盪電壓的大小的。所以負電容效應等於使振盪電壓減低也就是使變頻的效率減低了，且頻率愈高，這現象也愈顯著。除此之外，這種效應還可使天線調諧回路的 Q 值降低，因而使靈敏度與選擇性

註① 請參閱Г.А.ТЯГУНОВ著，洪效訓譯“自負空儀器”第五章29節。

大为減低。

6. 四極部分內阻不大 因內阻較小將對其負荷回路有不良影響。

6A8 的這些缺點，使得它的工作性能不能令人滿意，尤其是在短波方面更為顯著。

2. 改良五柵變頻管

近來有一種電子管是6SA7（蘇聯程式為6A7）它是針對着6A8的缺點而加以改進的，但也有五個柵，所以稱為改良五柵變頻管。

6SA7電子管無柵帽，全部引出綫均連接于管腳上。6SA7有金屬殼和玻璃殼的兩種，玻璃的往往加以GT兩字，如6SA7GT，其基本結構是一樣的。

6SA7的結構如圖10，a為管座接綫圖，b為內部結構圖。6SA7是采用電子耦合式振盪，即哈脫萊振盪電路。G₁是振盪

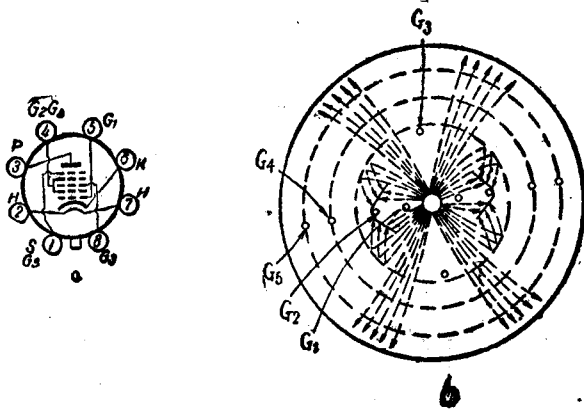


圖 10.

柵， G_2 是振盪屏極， G_3 是信號柵極， G_4 是帘柵極， G_5 是抑制柵極。6SA7增加了一個抑制柵，這樣可減少二次電子，因此可增加它的工作穩定性。

這個管子結構上的特點是 G_2 並不是繞成柵狀，但也不是象6A8的 G_2 那樣是一對豎立的金屬桿，而是象集射功率管的集射屏一樣的一對金屬弓形板。它的作用也是象集射功率管的集射屏一樣是將電子聚集成束，而射向指定的地方。當電子自陰極出發，經 G_1 後受到 G_2 之聚焦，又因 G_3 之兩個支桿，正好針對 G_2 之兩空隙，所以電子束自兩空隙射出後，即被分成四條支路而射向屏極。因為 G_3 是信號柵，其電位較 G_2 為低，故有一少部分電子會折回去，但因在電子的四條“通路”上密度很大，使被折回的電子不易從原路回去，故幾乎全部都落在 G_2 上而不致折回到 G_1 ，因此空間電荷之影響大為減小，對振盪頻率幾乎沒有什麼影響，這是它的優點之一。其次，因 G_2 為振盪屏，且又有隔離之作用，其電極之面積比6A8之細桿大得多，當然振盪電流亦因之增大，所以它的穩定性亦較好了。

6SA7作為變頻時之線路如圖11。

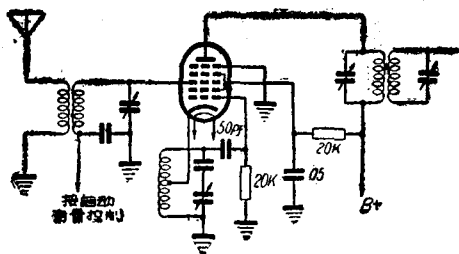


圖 11.

3. 三極六極變頻管

上面講過的兩種變頻管的振盪與混頻間都是用電子來耦合的，這樣由於電子的飛越時間，就使不能應用於較高的頻率。所以在較高頻率應用時，往往是將它們僅作為混頻，而另外再用一電子管作獨立的振盪。6K8等三、六極變頻管就是在一個電子管內裝有兩個電子管，它的一部分是三極管專作振盪用；另一部分是六極管，專作混頻用。這樣可以用在更高的頻率範圍中。因為它是三極管與六極管的複合管，所以我們稱它為三極六極變頻管。

6K8的管座接綫圖和電極結構如圖12a, b所示。它的柵極和屏極是做成平面或扁圓柱狀的，陰極偏在一邊。六極管的 G_1 和三極管的 G_T （振盪柵）

是合用的。六極管的 G_2 與 G_4 亦是合着的，成扁圓形，是六極管的帘柵極， G_3 則處於 G_2 與 G_4 之間，是六極管的信號

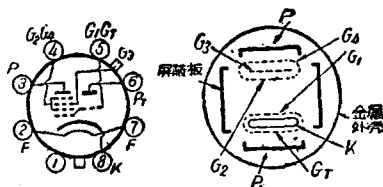


圖 12.

柵。在這整個組織之左右（即三極及六極兩屏極的空隙間）又遮以一對金屬板，與金屬外殼相連。這對金屬板不但有屏蔽作用，並且又有聚集電子流不使電子左右散射的功用。

6K8的工作過程與前述的變頻管差不多，因六極部分的 G_1 與三極管的振盪柵相連，所以在 G_1 上也有振盪電壓，因此六極部分的電子流受到振盪電壓的調制。當此電子流流經 G_3 信號柵時，又受信號電壓的影響，因此在到達六極部分屏極時之電子

流，已經信号与振盪频率的调制了，也就是起变频作用了。

这种电子管振盪部分的电子和混频部分的电子互不关連，因此振盪較穩定，尤其在接收較高频段时更是顯著。但是6K8因構造的关系，它的寿命較短，且易损坏。还有它的內阻較低，且也不能完全避免信号柵和振盪柵間的耦合，在長波和中波段的工作效率，較前述两种变频管为差。

圖13是6K8作变频的綫路圖。圖中R、C₁是帘柵極的降电压电阻和傍路电容器，R、

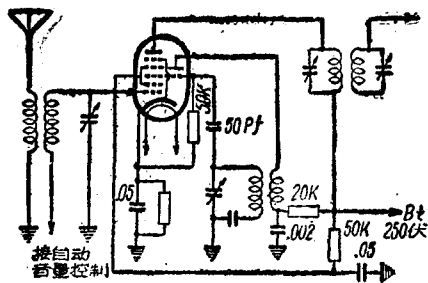


圖 13.

C 是振盪屏極的降电压电阻和傍路电容器。因为6K8的振盪能力特強，所以在接收短波段19公尺至16公尺时往往会因振盪太強而生「撲撲」声。这时須將R数值增

加少許試一試。R的数值通常約为25千歐—50千歐。

4. 三極七極变频管

三極七極变频管有6J8G等，它是一个三極和七極的复合管，內部構造与6K8不同。三極部分和七極部分不是分設在陰極的兩边，而是七極部分在上，三極部分在下，混频部分較6K8多一个抑制柵（圖14中的G₅在管内与阴极相連），G₃是振盪注入柵，与三極部分的振盪柵G_T在管内相連，使振盪电压得以注入，G₁是信号柵。

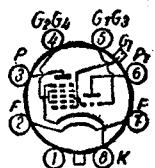


圖 14.

这种变频管的缺点是振荡部分陰極面積較小，故振荡較弱。在短波段工作时，因电子的过渡时间效应，所以效率大減。

上述电子管的变频电路如图15所示。

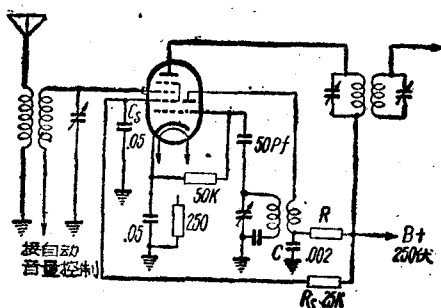


图 15.

四、混频管及其电路

前面所述的几种电子管，都能在同一管内完成振荡与混频作用。所以称它为变频管。这种方法虽然简单经济，但亦有許多缺点。故在要求比较高的收音机上还是將混频和本地振荡分别由兩管担任的。下面將用来作混频的电子管作一简单的介绍。

1. 五栅混频管 五栅混频管專为混频而设计的有6L7等，中有五个栅極，它的电极排列如图16， G_1 为信号栅，是輸入外來信号的； G_3 为振荡注入栅，是輸入本地振荡电压的； G_2 和 G_4 是帘栅極，在管

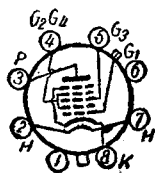


图 16.