

无线电爱好者丛书

# 超外差式收音机的统调

李 勇 智 编 著

人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书较详细地介绍了超外差式收音机的统调方法，并提出了比较准确的选点办法，以提高收音机的灵敏度。为了简化数学计算，提出用图解法来修正，并给出了一系列实用数据。

无线电爱好者丛书

### 超外差式收音机的统调

李隽智 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本，787×1092 1/32 1980年12月第 一 版

印张，4 页数，64 1980年12月河北第一次印刷

字数，87 千字 印数：1—295,000 册

统一书号：15045·总2463—无6130

定价：0.30 元



## 中国电子学会科学普及读物编辑委员会

主编：孟昭英

编委：毕德显 吴朔平 叶培大 任 朗 杜连跃  
吴鸿适 童志鹏 陶 棣 顾德仁 王守觉  
甘本祓 张恩虬 何国伟 周炯槃 邱绪环  
陈芳允 秦诒纯 王玉珠 周锡龄

## 丛 书 前 言

电子科学技术是一门发展迅速，应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识，中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》，由人民邮电出版社出版。其余两套是《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版；《电子学基础知识丛书》由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元、器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种常用电子设备（如收音机、扩音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理；提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术，使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学工作者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识，为实现我国四个现代化作出贡献。

## 符 号 说 明

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| $f_{max}$   | 预定接收波段的最高频率;                     |
| $f_{min}$   | 预定接收波段的最低频率;                     |
| $f_n$       | $f_{min}$ 至 $f_{max}$ 之间的任一频率;   |
| $f_{zp}$    | 中频;                              |
| $f_{lmax}$  | 预定接收波段的本机振荡最高频率;                 |
| $f_{lmin}$  | 预定接收波段的本机振荡最低频率;                 |
| $f_{bn}$    | $f_{lmin}$ 至 $f_{lmax}$ 之间的任一频率; |
| $C_k$       | 双连可变电容中输入调谐回路用的一连, 简称信号连;        |
| $C_{kmax}$  | $C_k$ 的最大容量;                     |
| $C_{kmin}$  | $C_k$ 的最小容量;                     |
| $C_{bk}$    | 双连可变电容中本机振荡调谐回路用的一连, 简称振荡连;      |
| $C_{bkmax}$ | $C_{bk}$ 的最大容量;                  |
| $C_{bkmin}$ | $C_{bk}$ 的最小容量;                  |
| $C_m$       | 输入调谐回路布线分布电容;                    |
| $C_L$       | 输入调谐回路电感线圈的固有电容;                 |
| $C_i$       | 输入调谐回路并联微调电容;                    |
| $C_o$       | 输入调谐回路的总并联电容;                    |
| $C_{bm}$    | 本机振荡调谐回路的布线分布电容;                 |
| $C_{lL}$    | 本机振荡调谐回路电感线圈的固有电容;               |
| $C_{bi}$    | 本机振荡调谐回路并联微调电容;                  |
| $C_{bc}$    | 本机振荡调谐回路总并联电容;                   |
| $C_n$       | $f_n$ 时输入调谐回路电容;                 |
| $C_{kn}$    | $f_n$ 时 $C_k$ 的电容;               |
| $C_{bn}$    | $f_{bn}$ 时本机振荡调谐回路电容;            |

- $C_{bk_n}$   $f_{b_n}$ 时 $C_{bk}$ 的电容；  
 $C_{in}$  变频管输入电容；  
 $C_{Mn}$  振荡管输入电容；  
 $L$  输入调谐回路电感；  
 $L_b$  本机振荡调谐回路电感；  
 $\delta f_n$   $f_n$ 时的绝对统调误差，也叫输入调谐回路的失谐；  
 $\frac{\delta f_n}{f_n}$   $f_n$ 时的相对统调误差；

I、I、II 作为选定的准确统调点的频率及相应电路元件符号的脚注；

- $f_2$  两点统调时，波段中部最大失谐点频率；  
 $f_3$  三点统调时，波段内部准确统调点之间、低频部分最大失谐点频率；  
 $f_4$  三点统调时，波段内部准确统调点之间，高频部分最大失谐点频率；  
 $\theta_{2k}$   $C_k$ 的旋转角度（自 $0^\circ$ 至 $180^\circ$ ）。

# 目 录

符号说明

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| 第一章 简述                           | ( 1 )  |
| 第二章 输入回路                         | ( 3 )  |
| 第三章 统调方法                         | ( 12 ) |
| 第一节 概述                           | ( 12 ) |
| 第二节 差容双连统调                       | ( 13 ) |
| 一、基本计算                           | ( 13 ) |
| 二、统调误差与电路调整                      | ( 14 ) |
| 第三节 等容双连补偿统调                     | ( 16 ) |
| 第四章 一点统调                         | ( 18 ) |
| 第一节 原理                           | ( 18 ) |
| 第二节 选点问题                         | ( 19 ) |
| 一、选点与函数逼近理论                      | ( 19 ) |
| 二、最佳选点条件                         | ( 21 ) |
| 第三节 最佳选点方程                       | ( 22 ) |
| 第四节 电路及有关计算                      | ( 25 ) |
| 第五节 $T_{1-1}$ 、 $T_{1-2}$ 统调误差对比 | ( 27 ) |
| 第六节 电路调整                         | ( 29 ) |
| 第五章 两点统调                         | ( 32 ) |
| 第一节 原理                           | ( 32 ) |
| 第二节 选点及最佳条件                      | ( 33 ) |
| 第三节 由最佳条件导出的选点方程                 | ( 34 ) |

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| 第四节 电路及有关计算                     | ( 40 ) |
| 一、并联补偿电路的计算                     | ( 41 ) |
| 二、串联补偿电路的计算                     | ( 43 ) |
| 三、最大统调误差的计算                     | ( 46 ) |
| 第五节 统调误差分析                      | ( 48 ) |
| 一、误差分析                          | ( 48 ) |
| 二、原因分析                          | ( 50 ) |
| 1 调谐可变电容器角度容量特性                 | ( 51 ) |
| 2 $f_n = G(\theta_{CK})$        | ( 53 ) |
| 三、对一些问题的解释                      | ( 57 ) |
| 第六节 选点修正                        | ( 59 ) |
| 一、 $f_n = G(\theta_{CK})$ 的具体数据 | ( 59 ) |
| 二、修正方法                          | ( 62 ) |
| 1 (5—6)式的修正                     | ( 62 ) |
| 2 (5—24)式的修正                    | ( 65 ) |
| 第七节 修正选点举例                      | ( 68 ) |
| 第八节 电路调整                        | ( 72 ) |
| 第六章 三点统调                        | ( 75 ) |
| 第一节 原理                          | ( 75 ) |
| 第二节 选点及常用方程                     | ( 76 ) |
| 第三节 电路及有关计算                     | ( 80 ) |
| 一、并串联补偿电路                       | ( 80 ) |
| 二、串并联补偿电路                       | ( 86 ) |
| 三、最大统调误差的计算                     | ( 87 ) |
| 第四节 误差分析                        | ( 89 ) |
| 一、误差分析                          | ( 89 ) |
| 二、原因分析                          | ( 91 ) |

|      |                              |         |
|------|------------------------------|---------|
| 第五节  | 选点修正                         | ( 92 )  |
| 第六节  | 修正举例                         | ( 94 )  |
| 第七节  | 几个实例                         | ( 98 )  |
| 一、   | $f_n = G(\theta_{CK})$ 理论曲线图 | ( 98 )  |
| 二、   | 中波段应用 $T_{3-1}$ 时举例          | ( 99 )  |
| 三、   | 中波段应用 $T_{3-2}$ 举例           | ( 101 ) |
| 四、   | 短波段应用 $T_{3-2}$ 举例           | ( 101 ) |
| 五、   | 几点说明                         | ( 103 ) |
| 第八节  | 电路调整                         | ( 105 ) |
| 结束语  |                              | ( 106 ) |
| 附录 1 | $T_{3-2}$ 时的选点方程             | ( 108 ) |
| 附录 2 | 内电容耦合输入电路                    | ( 111 ) |
| 附录 3 | 中频选择                         | ( 115 ) |

# 第一章 简 述

超外差式收音机的结构，如图1-1所示。

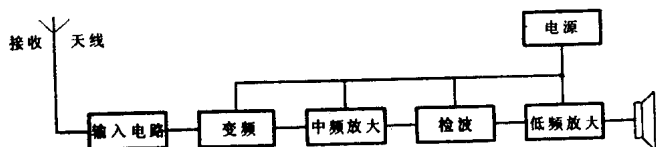


图 1 1 超外差式收音机结构

由收音机天线进入的高频信号，经过输入电路的选择，与收音机本身产生的一个振荡信号（其频率比要接收信号的载频高出一个固定的中频）一同进入变频管内，从而在谐振于中频的变频级负载回路上得到了中频信号。并且，不论要接收的高频信号的频率是多少，总是变成同一个中频，而调制频率的包络不变。经过中频放大之后，由检波级检出低频调制信号，再通过低频放大，最后由扬声器放出声音。

由于超外差式收音机采用固定的中频（我国目前规定为465KHz），中频放大器就可以按最佳放大特性来设计。从而，能使收音机达到较高的灵敏度和选择性。同时，也解决了对不同频率的电台信号放大不均匀的问题。所以，目前收音机的结构基本上都是超外差式。

在超外差式收音机中，输入电路的谐振频率是可以调整的，它可以从众多的电台信号中选择出所要接收电台的信号；本机振荡电路的谐振频率也是可以调整的，但它总是比要接收

的信号载频高一个固定的中频 ( $465\text{KHz}$ )。而这两个电路的谐振频率的统一调整，在无线电接收技术中就称为“统调”。

例如，收音机在接收中央人民广播电台的  $640\text{KHz}$  广播时，输入调谐电路的谐振频率调在  $640\text{KHz}$ ，而此时本机振荡调谐电路的谐振频率就应调在  $640 + 465 = 1105 (\text{KHz})$  才能正常收听。否则收音机对于中央人民广播电台的  $640\text{KHz}$  就处于失谐状态。统调越不准确，失谐也就越严重，最后甚至无法收听。

一般情况下，上述失谐的允许范围限制在通频带的一半以内。当然越小越好。比如，收音机的通频带为  $10\text{KHz}$ ，失谐就应小于  $5\text{KHz}$ 。否则，灵敏度、选择性最后是放音质量都会降低，甚至于无法收听。特别在小信号接收时问题就更明显。

因为统调要求本振频率总是跟踪输入调谐电路的谐振频率变化，因此，统调也称为“频率跟踪”。超外差式收音机的统调是用一个旋钮来同时改变两个调谐电路的电容即双连可变电容来完成的。由于这个方法简单、方便，同时对所用元、器件的精确度没有过高的要求，所以为工业上的批量生产提供了条件。

统调的设计包括准确统调点的选择，以及调谐回路元件计算。其中涉及到调谐回路的谐振频率，通频带及双连可变电容器的角度—容量特性。这里还要用到函数逼近理论的方法和结论。对于这些问题，我们将分别进行讨论。

## 第二章 输入回路

$LC$ 调谐回路如图 2—1 所示。收音机的输入回路就是利用  $LC$  调谐回路的频率选择性从许多电台选出所要接收的电台信号。而选择性与其  $Q$  值有关。如果回路的谐振频率为  $f_0$ ，回路在  $f_0$  时的电阻为  $R$ ，则

$$Q = \frac{2\pi f_0 L}{R} \quad (2-1)$$

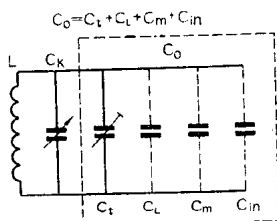


图 2-1  $LC$ 调谐回路

在回路谐振时，感抗和容抗是相等的，所以，上式亦可写成

$$Q = \frac{1}{2\pi f_0 RC} \quad (2-2)$$

式中  $L$  是总电感， $C$  是总电容。 $Q$  越大，选择性越好。但通频带也就越窄，这对接收频域比较宽的音乐是不利的，对统调的要求也十分严格。在分析输入回路的  $Q$  值之前，我们先讨论一下输入回路中  $L$ 、 $C$  元件的计算。

通常天线对输入调谐回路引入的失谐很小，我们可以忽略天线耦合造成的影响。

我们把接收波段的最高频率  $f_{max}$  与最低频率  $f_{min}$  之比称为波段覆盖系数，用  $k$  表示，即

$$k = \frac{f_{max}}{f_{min}} \quad (2-3)$$

因为谐振频率  $f$  与电感  $L$ 、电容  $C$  的基本关系是

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-4)$$

在  $f_{max}$  时, 调谐回路应有最小电容

$$C_{min} = C_{Kmin} + C_0 \quad (2-5)$$

在  $f_{min}$  时, 调谐回路应有最大电容

$$C_{max} = C_{Kmax} + C_0 \quad (2-6)$$

由于  $C_m$ 、 $C_L$ 、 $C_i$ 、 $C_{in}$  是并联关系, 故在这里有

$$C_0 = C_m + C_L + C_{in} + C_i \quad (2-7)$$

因此, 有

$$f_{max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_{Kmin} + C_0)}} \quad (2-8)$$

及

$$f_{min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_{Kmax} + C_0)}} \quad (2-9)$$

将(2-8)、(2-9)两式代入(2-3), 得

$$C_0 = \frac{C_{Kmax} - k^2 \cdot C_{Kmin}}{k^2 - 1} \quad (2-10)$$

根据(2-8)式, 得

$$L = \frac{2.533 \times 10^4}{f_{max}^2 \cdot (C_{Kmin} + C_0)} \quad (2-11)$$

在(2-11)式中,  $L$  的单位为  $\mu H$ ;  $C$  的单位为  $pF$ ;  $f$  的单位为  $MHz$ 。

根据式(2-10)的结果, 考虑到  $C_0$  的定义式(2-7), 可得实际使用的并联微调电容

$$C_i = C_0 - C_m - C_L - C_{in} \quad (2-12)$$

一般说来, 在调幅收音机的中波段, 有

$$C_L \approx 5 \sim 10 \text{ pF};$$

$$C_m \approx 5 \sim 15 \text{ pF};$$

$$C_{in} \approx 3 \sim 10 \text{ pF}。$$

而在短波或调频超短波接收、或者印刷电路结构中，各项电容可能比上述范围的下限还要小一些。

总之，适当估计 $C_L$ 、 $C_m$ 并查找 $C_{in}$ ，最好能使 $C_i$ 的数值在 $5 \sim 20 \text{ pF}$ 左右，以便利用成品半可变微调电容器。如果计算结果与指出范围相差太大，就应力求降低 $C_L$ 、 $C_m$ ，或者另选容量变化范围更大一些的 $C_i$ ，重复计算，使得出的 $C_i$ 比较合适。

运用以上公式，当我们知道了 $f_{max}$ 和 $f_{min}$ 并选定了 $C_i$ 之后（从而 $C_{kmax}$ 和 $C_{kmin}$ 也就确定了），可以较快地求出 $L$ 和 $C_o$ 。这一过程在后面常会碰到。

$LC$ 调谐回路的 $Q$ 值主要由 $L$ 的 $Q$ 值来决定。这是由于电容等其它元件的 $Q$ 值比 $L$ 的 $Q$ 值高很多。具体确定 $Q$ 值时，主要依据选择性和通频带的要求。选择性的要求，有如下三项：

### 1. 邻波道选择性 $S_i$

这是指调谐回路偏离谐振频率 $10 \text{ KHz}$ 时，回路传输系数比谐振传输系数降低了多少。用公式表示为

$$S_i = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{2\Delta f Q}{f_0} \right)^2}} \quad (2-13)$$

式中： $\Delta f$ 为绝对失谐，一般取 $10 \text{ KHz}$ ；

如果用分贝（dB）表示，则为

$$S'_i = 20 \lg S_i \quad (2-14)$$

所以，根据 $S_i$ 的要求，即可求出必须的 $Q$ 值来。在超外差式收音机中， $S_i$ 主要是由中频放大级来保证的，对输入调谐回路并

不作严格的要求。就输入回路而言，若要求在 $535\sim 1605\text{KHz}$ 的中波段， $S_i'$ 不劣于 $-12\text{dB}$ ，则 $Q$ 值为 $100\sim 300$ ，取 $Q$ 为 $100$ 时， $1605\text{KHz}$ 处的 $S_i$ 就要降低；但 $Q$ 取 $300$ ，那么 $535\text{KHz}$ 处的余量又太大了。实际决定 $Q$ 值时就要兼顾。

## 2. 中频选择性 $S_z$

在超外差式收音机中，中频干扰是比较严重的。所谓中频干扰，就是频率等于中频的干扰信号未能被输入调谐回路衰减掉，并进入到变频器的输入端。这样，变频和中放级对它就不再有衰减作用。造成对接收信号的干扰。

为减免中频干扰，应在输入调谐回路想办法。通常，根据要求的 $S_z$ 的数值，可由下式求出所需要的 $Q$ 值来。

$$S_z = \frac{1}{Q \left( \frac{f_{zp}}{f_s} \right) \left[ 1 + \left( \frac{f_{zp}}{f_n} \right)^2 \right]} \quad (2-15)$$

式中： $f_{zp}$ 取我国标准的 $465\text{KHz}$ 。

由于中频干扰在接收波段的低端比较严重，所以对中波段来讲，应取 $f_n=535\text{KHz}$ ，此时式(2-15)可简化为

$$S_z' \approx \frac{5}{Q} \quad (2-16)$$

当 $S_z$ 用 $\text{dB}$ 表示时，则

$$S_z' = 20\lg S_z \quad (2-17)$$

例如，某中波段收音机，要求 $S_z'$ 不劣于 $-40\text{dB}$ ，则

$$Q \approx 500$$

显然，要求的 $Q$ 值太大，实际上不易做到。所以，收音机中是采取另加中频滤波器的方法来满足对 $S_z$ 的要求。

### 3. 镜频选择性 $S_s$

超外差式收音机由于外差作用，还会产生一种特有的“镜频干扰”。

所谓镜频干扰，就是与接收信号载频相差两倍中频频率、而与相应本机振荡频率相差一个中频频率的信号，如果输入调谐回路未能把它衰减掉，也会被变频级差出中频经中频级放大。这种特殊的频率就叫做“镜象频率”。

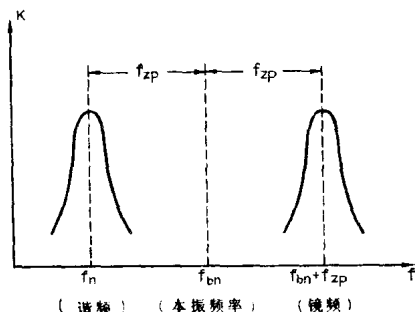


图 2-2 镜象频率

(镜频) 由于它与信号频率对称分布在信号的本机振荡频率两侧，所以有镜象这一称呼。如图2-2所示。

镜频干扰与中频干扰一样，必须引起我们的重视。由于变频和中放级对它没有衰减作用，所以应该在输入调谐回路就把它除掉。

根据以前对 $S_i$ 的讨论可知，只要在 $f_{max}$ 处能使 $S_s$ 满足要求，则 $f_{min}$ 处的 $S_s$ 就自然得到保证。通常就用下式来决定 $S_s$ 。

$$S_s = \frac{f_{max}}{4Q \cdot f_{st}} \quad (2-18)$$

当用dB表示时

$$S'_s = 20 \lg S_s \quad (2-19)$$

例如，某中波段收音机要求 $S'_s$ 不劣于-40dB，则

$$Q \approx 85$$

这是在波段高端时的要求。如果对波段低端，则Q值有30

就能保证 $S_{\beta}$ 。

当 $Q$ 值一定时，回路的通频带也就决定了。通常规定：回路的谐振频率的传输系数下降3dB时的频带宽度称为通频带。它与回路 $Q$ 值的关系为

$$2\Delta f_{0.707} = \frac{f_0}{Q} \quad (2-20)$$

参见图2—3。

如果对通频带 $2\Delta f_{0.707}$ 提出要求，那么就可根据式(2—20)求出必须的 $Q$ 值来。

上述讨论的 $Q$ 值，是指工作状态的 $Q$ 值，即通常说的有载 $Q$ 值。实际由于加上负载后，回路 $Q$ 值有所下降。所以实际制作时要根据

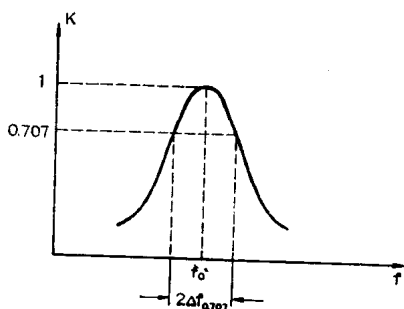


图 2-3 通频带

具体情况而将 $Q$ 的计算值增加百分之十至二十，最后决定一个合适的 $Q$ 值作为实际使用值。

比如，某中波段收音机，按标准要求 $2\Delta f_{0.707}$ 不窄于8 KHz，那么在535 KHz时应有

$$Q \approx 65$$

在1605 KHz时

$$Q \approx 200$$

显然，如果根据低端通频带选择 $Q$ 值，那么高端通频带将宽很多，如果根据高端通频带的要求选择 $Q$ 值，低端通频带又太窄。

根据以上讨论， $Q$ 值的最后决定应以通频带和选择性的综