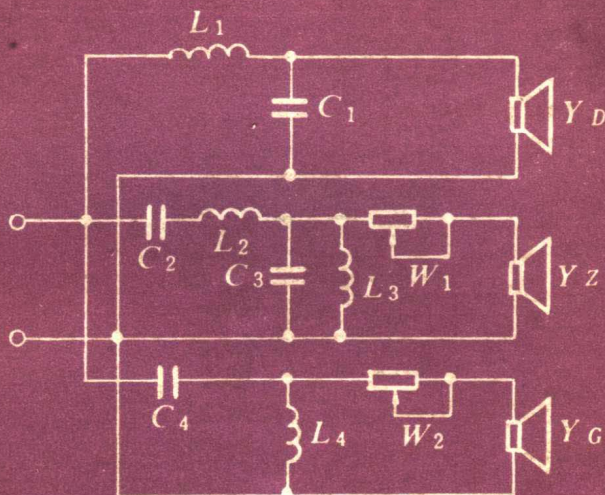


分频器设计
与制作



分频器设计与制作



• 无线电小丛书 •

分频器设计与制作

谢昭光 编著

辽宁科学技术出版社

1985年 • 沈阳

分频器设计与制作

Fenpinqi Sheji Yu Zhizuo

谢昭光 编著

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行 沈阳新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 2 3/4 字数: 60,000

1985年6月第1版

1985年6月第1次印刷

责任编辑: 陈慈良

责任校对: 王 莉

封面设计: 赵多良

印数: 1—33,300

统一书号: 15288·131

定价: 0.45 元

出版说明

随着四化建设的飞速发展，电子技术和无线电在各个领域里的应用越来越广泛。为了满足广大青少年和无线电爱好者的需要，我们组织了有关大专院校的教师和无线电厂的技术人员，编写了这套《无线电小丛书》。

这套丛书的重点旨在介绍各种家用电子设备的制作、使用和修理方法，提供读者所需要的各种数据和资料，具有较强的指导性和实践性，通过学习，使读者既能掌握一定的无线电技术理论，又能从事实际的安装和调试。

我们希望本套丛书的出版有助于电子科学技术的普及，为此，欢迎广大读者提出宝贵的意见和建议。

目 录

一、概 述	1
(一) 分频器的意义和作用	1
(二) 分频器的分类及其特点	2
二、分频器的基本原理	6
(一) 功率分频系统	6
(二) 前级分频	11
三、分频器设计	16
(一) 功率分频系统	17
(二) 前级分频系统	25
四、分频频率和截止带衰减率的选择与使用	34
(一) 分频频率的选择与使用	34
(二) 截止带衰减率的选择与使用	38
五、元件的选配及要求	40
六、电感线圈的设计与制作	42
(一) 技术要求与指标	42

(二) 线圈骨架设计·····	42
(三) 计算公式·····	42
(四) 设计举例·····	44
(五) 图表法设计·····	47
七、衰减器的设计与制作·····	47
八、分频器的阻抗匹配与功率匹配·····	51
(一) 功率分频系统·····	51
(二) 电子分频系统·····	53
九、分频器的相移特性及相位校正·····	54
(一) 6dB 衰减率分频器·····	54
(二) 12dB 衰减率分频器·····	57
十、分频器与音箱的总装调试·····	60
(一) 音箱电声性能简易测试法·····	61
(二) 音箱调试·····	64
(三) 分频器的单元相对位置及分频点响应的调整·····	67
附 录·····	69
一、声频频段和听觉·····	69
二、部分国产扬声器的特性·····	70
三、部分国产漆包铜线规格表·····	72
四、常用电量单位及其换算关系·····	73
五、分贝表·····	74
六、声压—分贝换算表·····	75
七、几种音箱实例图·····	76

一、概 述

在音响学中，分频就是把输入的音频信号分成两个或几个频段，分别传输到工作在不同频率范围的负载上，最终由扬声器发出声音来，以达到声源重放之目的。由此而实现分频任务的电路或装置，就称为分频器。

（一）分频器的意义和作用

众所周知，普通半导体收音机的频响约为 $100\sim 6000\text{Hz}$ ，乐音的频谱一般为 $40\sim 12000\text{Hz}$ ，高级声源还可达到 $20\sim 20000\text{Hz}$ 以上。要使放声设备能够不失真地重放以上整个频带的声音，靠单只扬声器是无法达到要求的。这是因为放声的频带愈宽，对各电声指标的要求愈高。例如现在常用的 YD5—2501 型低频扬声器，它的频率范围为 $55\sim 5000\text{Hz}$ ，低频响应虽然还好，但高频响应就显得不足。又如 YHG5—1 型高频扬声器，它的频率范围为 $2000\sim 15000\text{Hz}$ ，高频响应虽然好了，但低频响应却显得很差。即使是能够覆盖声源较宽频带的单只扬声器，由于所放送的节目中总是一起混有高、中、低音成分，而扬声器的低盆又很难同时对各种不同的声音都忠实地振动，例如中、高音的放声，常常被低频的大幅度低盆振动所干扰，产生出一些声源中所没有的新的频响，即产生互调失真（或互调畸变）。那么，其结果还是不能如实地反映原来声音的真实面貌。因此，在整个声音重放

系统中，扬声器系统依然是一个比较薄弱的环节。

为了高保真地重放信息，人们往往在音响设备中采用分频技术，即发挥大口径低频扬声器和小口径高音扬声器各自的长处，组成复合系统，使单元之间各个扬声器发出的声音，在辐射声场中再合成整个声频频谱。这是克服目前因受制造工艺条件的限制，而还不能做到单只扬声器所具有全面优良电声性能的一种有效的办法。

（二）分频器的分类及其特点

分频器是滤波器的一种，它可以是有源的或是无源的网路。所谓“无源网路”，是指它对信号频率只起滤波器的作用，而不起放大器的作用；而“有源网路”，则两者作用具备。

就分频器的位置设放而言，它有两种不同的系统：一种是功率分频，在功放之后，通过高通、带通、低通滤波器，把高、中、低音信号，分别传输到相应的扬声器中去；一种是前级分频，在主功放以前任何一级，虽然越往前音频电路就越复杂，但性能会相应提高。要求较高的设备应该从前置放大器的等响控制以后分频。这样后级各控制电路，例如音调、通频带控制，可分别放在各自的通道中，使之都能工作在最佳状态。要求不高时就在功放之前分频，前级电路共用，它的最大的优点就是频段可以分得更多一些，借助高通、带通、低通滤波器分频，把分好的各频段的信号电压分别送入相应的功放，直接由功放驱动各自的扬声器。如图 1 所示（图中，各组扬声器只绘出一只，实际上有时由两只或更多只扬声器，以串并联的形式组成。以下均同）。

在功率分频系统中，目前通用的是 LC 无源网路。因其

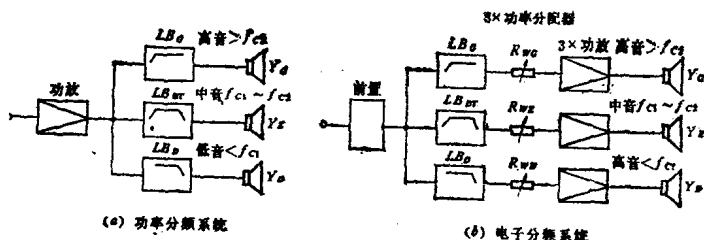


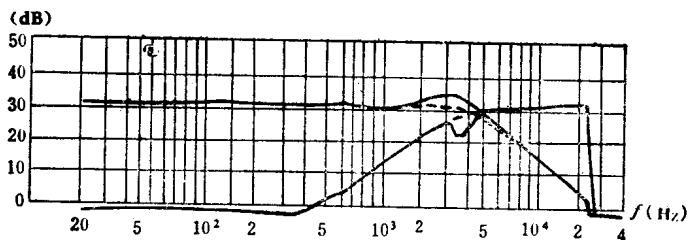
图1 两种分频系统的方式

连接在扬声器端，所以又叫扬声器分频。它的优点是，实行分频以后，各单元分别工作在较窄的频率范围，这对抑制扬声器的互调失真起了很大的作用，从而音质得到改善。在结构上，它还可以与音箱装成一体而独立于有源系统，使用起来很方便。缺点是，分频器中的电感线圈不但体积大，而且不免还有直流电阻，如果把它串接于扬声器的低阻抗电路中，必然会损耗放大器的输出功率；同时，也因此而加大功放内阻，降低阻尼因数（通常，阻尼因数 DF 是扬声器的阻抗 Z_0 与放大器的输出内阻 R_i 之比，即： $DF = Z_0/R_i$ 。 DF 越大，说明 Z_0 相对于 R_i 越小，阻尼因数越好；反之，就不好）。对于滤波元件很多的分频网络，在分频点附近因谐振阻抗很高，更容易失去外电路的阻尼作用。此外，整个电路的设计参数与扬声器的阻抗有关，而扬声器的阻抗又是频率的函数，与标称阻抗值偏离较大，常常引起分频点的严重漂移；但是，由于它的制作工艺比较简单，加之扬声器内部的阻尼元件总是起着较大的作用，并且实践证明采用扬声器分频对音质确有改善，所以一直被广泛应用。

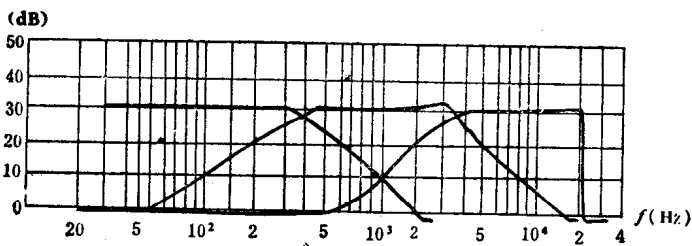
前级分频多是用小功率 RC ，或 RC 有源网络来完成的，其中有源网络也称电子分频器。采用这种分频技术，必

须要有两套或几套独立的功率放大器，来分别推动各自的扬声器。它的优点是，由于功放与扬声器直接耦合，既可以减少扬声器的互调失真，也可以减少放大器中所产生的互调失真；因为滤波器的负载是放大器，所以负载阻抗容易固定。这样，滤波特性就能保持设计的要求。它的缺点主要是放大器的套数增加，电路结构变得复杂，调试困难，成本也很高。但在高质量的放声系统里仍采用此种方式分频。

两种不同系统的分频曲线，如图 2 所示。



(a) 功率分频 (计算分频点 3500 Hz, 实际分频点 5500 Hz)



(b) 电子分频 (计算分频点 $f_{c1} = 350 \text{ Hz}$, $f_{c2} = 3000 \text{ Hz}$,

实际分频点十分接近计算值)

图中实线表示实际分频点，虚线表示设计情况

图 2 两种分频曲线的比较

以频道个数来分，常用的有二分频和三分频。二分频电路一般由高通和低通滤波器组成；而三分频则中间还有带通滤波器。不管是二分频还是三分频，它们要求相邻的两条曲线都在某一频率处相交，相交点即为分频点。在分频点 f_c (或 f_{c1}, f_{c2}) 处，其衰减幅度都是从平坦特性开始下降 $1/\sqrt{2}$ 倍，即频响下降 3 分贝 (dB)。这是指滤波器在规定衰减范围内所通过的频带宽度，称为通频带 (简称通带)。此时，分频点的功率是由相邻的两组功放或扬声器各提供一半，因此分频点也称半功率点。如图 3 所示。

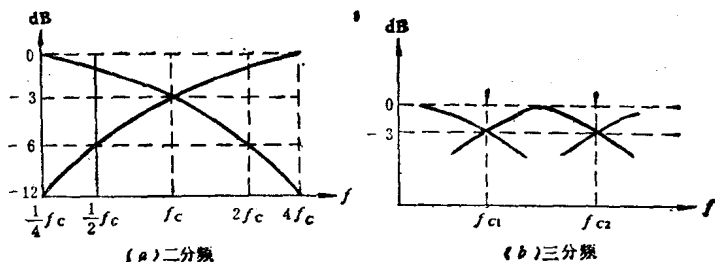


图 3 分频特性曲线图

以截止带衰减率区别，一般又可分为每倍频程下降 6dB、12dB 和 18dB 三种，并且其对应的高、低音频道的电抗元件数各为一个、二个和三个（即网络函数中 $j\omega$ 的最高阶数分别为 1、2、3），因此又分别叫做一阶、二阶和三阶型分频器，或叫一单元、二单元和三单元分频器。所谓衰减率，是指频率每变化一倍，即从分频点 f_c 起，频率 f 每升高 $2f_c$ ，或下降 $\frac{1}{2} f_c$ 时分频曲线下降的斜率（或陡度）。单位记作：分贝/倍频程 ($-dB/oct$)。下降的斜率越大，

分频就越彻底，从而音质越好。但调试较为困难。

此外，在功率分频系统中还可分为并联式和串联式两种。并联式制作调试较容易；串联式则在阻带时，对扬声器有较好的阻尼。但在使用时，两者无多大差异。电子分频均为并联式。

二、分频器的基本原理

(一) 功率分频系统

基本电路如图 4 所示。

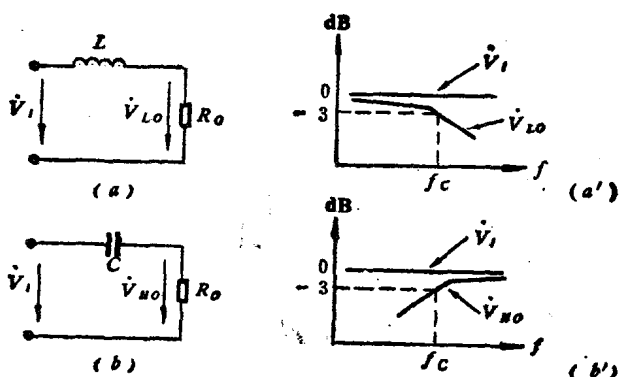


图 4

图4(a)是低通滤波器，(b)是高通滤波器，(a')、(b')分别是低通和高通滤波器的幅频特性曲线， f_c 为转折频率（即分频点，或分频频率，或交叉频率）。如果把(a)、(b)两个滤波器取同一分频频率，适当地联接起来接至功放，便构成如下两种二分频电路。如图5所示（图5中，(a)是并联式，(b)是串联式两路分频）。

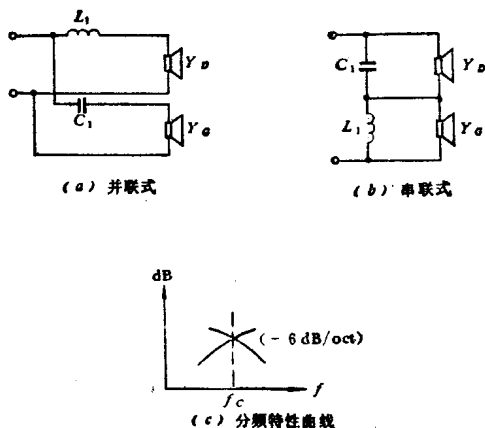


图5 二分频电路原理图

以图5(a)并联式分频器为例。

设以频率为函数的输入信号电压为 $\dot{V}_i$ ($U_i = U_m \sin \omega t$)，而通过 LC 网络，各自传输到低频、高频扬声器的输出音频电压则分别为 V_{LO} 、 V_{HO} 。由于电感的感抗 X_L 是与信号频率 f 成正比 ($X_L = 2\pi fL$)，电容的容抗 X_C 是与信号频率 f 成反比 ($X_C = \frac{1}{2\pi fC}$)，而扬声器的阻抗 Z_0 在某一频段时，可近似地视为不随频率变化的电阻 R_0 ，则它们之间输出与输入的关系分别为：

$$\dot{V}_{LO} = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_L^2}} \dot{V}_i$$

$$\dot{V}_{HO} = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + X_C^2}} \dot{V}_i$$

在分频点 ($f = f_c$) 时, 因为设计已使得 $X_L = R_0$, $X_C = R_0$, 所以代入上述二式得:

$$V_{LO} = \frac{1}{\sqrt{2}} \dot{V}_i$$

$$V_{HO} = \frac{1}{\sqrt{2}} \dot{V}_i$$

用分贝表示, 即为

$$20 \lg \frac{1}{\sqrt{2}} = 20 \lg 0.707 = 20 \times (-0.151) = -3(\text{dB})$$

这就是说, 当输出电压下降到为输入电压的 $1/\sqrt{2}$ (70.7%) 时, 则影响下降 3dB。此时的输出功率为最大输出功率的 $\frac{1}{(\sqrt{2})^2} = \frac{1}{2}$, 所以 3dB 频率又称为半功率点的频率。

因此, 对低通单元来说, 如果 $\dot{V}_i$ 的幅值不变而只改变频率 f , 那么, $\dot{V}_{LO}$ 的幅值就会随信号频率的升高而减小; 但频率低于分频点 f_c 的信号电压基本保持幅值不变。

对高通单元, 由于电路中的元件作用相反, 根据同样道理, $\dot{V}_{HO}$ 的幅值也会随信号频率的降低而减小; 但频率高于分频点 f_c 的信号电压基本保持幅值不变。

频率每升高或降低一倍, 加在单元上的这一频率的信号电压都会被衰减一倍。也就是说, 在通频带之内, 如频率远高于或远低于 f_c 时, 信号输出为 0dB; 在 f_c 时, 输出为 -3dB; 在通频带之外, 当频率 f 到 $2f_c$ 或 $1/2f_c$ 时, 输出为

-6dB; 到 $4f_c$ 或 $1/4f_c$ 时, 输出为 -12dB; 到 $8f_c$ 或 $1/8f_c$ 时输出为 -24dB……余类推。如图 5(c) 所示。

至于串联式, 我们也可以这样来理解: 如在低音范围时, 由于电容 C 的输入阻抗很高, 可近似看作开路, 所以整个电路就可以简化为如图 4(a) 所示的低通单元; 同理, 在高频范围内, 也可以简化为如图 4(b) 所示的高通单元。结果, 同样使低于 f_c 的一切低音频信号, 通过 L 而到达低音扬声器; 而高于 f_c 的一切高频信号, 通过 C 而到达高音扬声器, 起到了分隔还音频率和分配还音功率的作用。

这样的网络, 如果在中间频道再增加一个带通滤波器, 就构成了三分频电路。如图 6 所示。实际上, 它相当于把不同分频点的两个滤波器重合起来, 只是在中间通道多增加了一组 LC 元件而已。

三分频电路的幅频特性曲线, 如图 6(c) 所示。这一特性说明: 当在中音范围时, 对同样振幅的输入信号电压来说, 频率越高或越低, 输出音频电压越小。因此, 中频信号就可以顺利地通过中音扬声器, 而比通频带上限频率 f_{c2} 高与比通频带下限频率 f_{c1} 低的信号都被阻断。事实上, 这两种信号均被分频器的高通、低通滤波器分别通向高音和低音扬声器。

在实际使用中, 还有一种是单电容式分频器。由于低音单元的功率一般余量较大, 因而在这种并联式的电路中, 可以省去电感 L 。但上述优点不复存在。

以两路分频为例。如图 7 所示, 低音扬声器仍为全频带放声 (包括高频声), 而高音扬声器只是用来辅助其高频特性, 即让重放高频的上限频率进一步提高。然而, 这种电路只适用于对音质要求不高的场合, 因为失真大, 高音效率