

调频立体声收音机

刘卓然 编

陕西省宝鸡市科学技术情报研究所

一九八三年十二月

前 言

调频立体声广播和彩色电视是一个国家广播现代化的标志。由于调频立体声广播抗干扰能力强，噪声小，频带宽，音质优美，能使人得到更高级更美好的音乐享受，因此深受广大听众欢迎。现在，我国一些省市自治区都已开始了调频立体声广播。为了满足无线电工程技术人员和无线电爱好者需要，特编写此书。

调频立体声收音往往和调幅收音、录放一起构成功能齐全的调幅，调频立体声收录两用机。本书仅对调频收音机部分作以讨论。

全书共分七章：第一章概述，系统地讲述了调频信号的特点，调频立体声广播的标准制式，以及调频立体声收音机的方框图。第二章到第六章介绍了调频立体声收音机高放、中放、鉴频、解码、功放各部分的工作原理和具体电路。第七章是辅助电路，包括等响度电路，音调控制电路，显示电路，扩展电路。

本书编写选材力求新颖，采用了大量的新线路和最新技术。本书可供从事音响设计的工程技术人员和无线电爱好者参考。

由于编者的业务水平所限，书中难免有错误和不足之处，敬请读者批评指正。

本书在编写选题过程中，曾得到宝鸡市科学技术情报研究所杜涵明工程师的指导，在此特表示感谢。

编者 1983.12.1

目 录

第一章 概述	(1)
§ 1. 1 调频信号的分析.....	(1)
§ 1. 2 调频立体声广播的标准制式.....	(6)
§ 1. 3 调频立体声收音机的方框图.....	(14)
第二章 高频装置	(18)
§ 2. 1 高频电路(高频头).....	(18)
§ 2. 2 自动频率微调电路.....	(22)
§ 2. 3 TA7335 P调频高放集成电路.....	(23)
第三章 中频放大器	(28)
§ 3. 1 μ P C1018 C 调频中放集成电路.....	(29)
第四章 鉴频器	(34)
§ 4. 1 比例鉴频器.....	(34)
§ 4. 2 移相正交鉴频器.....	(39)
§ 4. 3 锁相环鉴频器(PLL鉴频器)	(41)
第五章 立体声解码器	(43)
§ 5. 1 立体声编码.....	(43)

§ 5. 2	分立元件矩阵式调频立体声解码器·····	(47)
§ 5. 3	分立元件开关式调频立体声解码器·····	(53)
§ 5. 4	集成开关式调频立体声解码器·····	(56)
§ 5. 5	PLL锁相环调频立体声解码器 ·····	(64)
§ 5. 6	PLL锁相环调频立体声解码器 的应用·····	(76)
§ 5. 7	调试用立体声信号波形·····	(81)
第六章	功率放大器·····	(90)
§ 6. 1	LA4100系列音频功放集成电路·····	(90)
§ 6. 2	SF404音频功放集成电路 ·····	(97)
§ 6. 3	TA7240AP音频功放集成电路 ·····	(106)
第七章	辅助电路·····	(115)
§ 7. 1	响度控制电路·····	(115)
§ 7. 2	音调控制电路·····	(123)
§ 7. 3	电平显示电路·····	(131)
§ 7. 4	扩展电路·····	(135)
附 录	·····	(145)
	附录1 收录音机常用集成电路及代换·····	(145)
	附录2 分贝对功率、电压、电流比换算表	(148)

第一章 概 述

大家知道，由于语言、音乐信号的频率很低，要想把这样低的频率直接辐射到天空中去进行广播，将会在实际遇到很多困难和限制，而难于实现。因此，必须把这个低频率的被广播信号先调制到一个高频信号上，然后再将这个被调制了的高频信号辐射到天空去，以实现广播。通常把要广播的语言，音乐信号叫调制信号，而把所要调制的高频信号叫做载波或载频。

在无线电广播领域中，按调制方式分，有调幅制和调频制。调幅制是使高频载波的振幅按调制电压特性而变化，调频制是使高频载波振幅维持不变，而其瞬时频率按调制电压特性变化。

随着科学技术的发展，人民物质文化生活水平不断提高，调幅制广播已不能满足要求。因为调幅制广播，使得中频广播频率拥挤，互相串扰严重，抗干扰性差，带宽较窄，不易实现立体声和多节目广播，而调频制恰好可以克服这些不足。调频制收音机选择性好，抗干扰性强，保真度高，容易实现立体声收音，音质音色逼真，优美动听，深受大家欢迎。

目前，世界各国都广泛采用调频广播，所使用的频率为88~108兆赫。

§1.1 调频信号的分析

如上所述，调频时，高频信号的频率变化正比于调制信号的瞬时电压。所以把调频信号的瞬时角频率写为

$$\omega = \omega_0 + KU_m \cos \Omega t \quad (1-1)$$

式中 K —比例常数；

U_{Ω} —调制电压振幅；

KU_{Ω} —最大角频率偏移，可以用 $\Delta\omega$ 表示， $\Delta\omega = KU_{\Omega}$ ；

Ω —调制电压角频率， $\Omega = 2\pi F$

这样(1-1)式可以表示为

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t \quad (1-2)$$

写成频率的形式，则瞬时频率 f 为

$$f = f_0 + \Delta f \cos \Omega t \quad (1-3)$$

式中 Δf —调频信号的最大频率偏移，简称“频偏”。

$$\Delta f = \frac{\Delta\omega}{2\pi}。$$

由上边的公式可以对单信号调制的调频建立一些概念。调频信号的振幅是一个固定的常数，而其瞬时频率 f 是时间的函数，围绕 f_0 上下变动，最大的变动量，即最大的频率偏移正比于调制信号的振幅 U_{Ω} ，而与调制信号的频率无关。其变动的快慢及随时间变动的规律，则取决于调制信号的频率（ $F = \frac{\Omega}{2\pi}$ ）和波形 $\cos \Omega t$ ，而与其振幅无关。

当频率是时间的函数时，瞬时相位 ϕ 可以表示为

$$\phi = \int \omega dt$$

将(1-2)式代入上式，并进行运算，得到调频信号的瞬时相位值：

$$\phi = \int (\omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t) dt$$

$$= \omega_0 t + \frac{\Delta \omega}{\Omega} \sin \Omega t + \phi_0' \quad (1-4)$$

式中 ϕ_0' 是积分常数，物理意义为初始相位。这样调频信号的表示式可写为

$$\begin{aligned} u &= U_0 \cos \left[\omega_0 t + \frac{\Delta \omega}{\Omega} \sin \Omega t + \phi_0' \right] \\ &= U_0 \cos \left[\omega_0 t + mf \sin \Omega t + \phi_0' \right] \quad (1-5) \end{aligned}$$

式中 $\frac{\Delta \omega}{\Omega}$ — 调频信号的最大偏移角度，称为调频系数，常用符号 mf 表示。 mf 与调制信号的幅度成正比，同时又与调制信号的频率成反比，即

$$mf = \frac{\Delta \omega}{\Omega} = \frac{\Delta f}{F} \quad (1-6)$$

为了分析简化，设初始相位为零，则(1-5)式可以写为

$$u = U_0 \cos (\omega_0 t + mf \sin \Omega t) \quad (1-7)$$

利用三角公式将(1-7)式展开，

$$\begin{aligned} u &= U_0 [\cos \omega_0 t \cdot \cos (mf \sin \Omega t) \\ &\quad - \sin \omega_0 t \cdot \sin (mf \sin \Omega t)] \quad (1-8) \end{aligned}$$

式中的三角函数可以用贝塞尔函数表示(在下边公式中，将 mf 写为 m)，

$$\begin{aligned} \cos (m \sin \Omega t) &= J_0(m) + 2J_2(m) \cos 2\Omega t \\ &\quad + 4J_4(m) \cos 4\Omega t + \dots \end{aligned}$$

$$n = \infty$$

$$= J_0(m) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(m) \cos 2n\Omega t$$

$$n = 1$$

$$(1-9)$$

$$\sin(m \sin \Omega t) = 2J_1(m) \sin \Omega t + 2J_3(m)$$

$$\sin 3 \Omega t + 2J_5(m) \sin 5 \Omega t \dots$$

$$n = \infty$$

$$= 2 \sum_{n=1} J_{2n+1}(m) \sin(2n+1) \Omega t$$

$$n = 1$$

$$(1-10)$$

式中 $J_n(m)$ —— 宗数为 m 的第一类 n 阶贝塞尔函数。

将 (1-9) 式中和 (1-10) 代入 (1-8) 式得:

$$u = U_0 \{ \cos \omega_0 t [J_0(m) + 2J_2(m) \cos 2 \Omega t + 4J_4(m) \cos 4 \Omega t + \dots] - \sin \omega_0 t [2J_1(m) \sin \Omega t + 2J_3(m) \sin 3 \Omega t + 2J_5(m) \sin 5 \Omega t + \dots] \}$$

引用三角函数公式将上式整理后得:

$$u = U_0 \{ J_0(m) \cos \omega_0 t + J_1(m) \cos(\omega_0 + \Omega) t - J_1(m) \cos(\omega_0 - \Omega) t + J_2(m) \cos(\omega_0 + 2 \Omega) t + J_2(m) \cos(\omega_0 - 2 \Omega) t + J_3(m) \cos(\omega_0 + 3 \Omega) t + \dots \}$$

$$n = \infty$$

$$= U_0 \{ J_0(m) \cos \omega_0 t + \sum_{n=1} J_n(m) [\cos(\omega_0 + n \Omega) t + (-1)^n \cos(\omega_0 - n \Omega) t] \}$$

$$n = 1$$

$$(1-11)$$

式 (1-11) 是以式 (1-7) 表示的调频信号的另一种表示形式。由 (1-11) 式可以看到以下关于调频信号的重要概念: 一个余弦高频信号被一个余弦音频信号调频之后, 除原来

的载频之外,又产生无穷多个边频,边频与载频之间的频率差为调制信号频率的整数倍,并且边频以载频为中心成对出现,频率比载频高的称为上边频,低的称为下边频。在公式(1-11)中,第一项相当于载频,相当于上下边频的角频率分别为 $(\omega_c + n\Omega)$ 和 $(\omega_c - n\Omega)$ 。当 $n=1$ 时,称为第一对边频,当 $n=2$ 时称为第二对边频,依此类推。载频与边频之间的相位关系,不仅取决于(1-11)中的符号,还与贝塞尔函数值的正负有关。调频信号的波形图如图1.1所示。

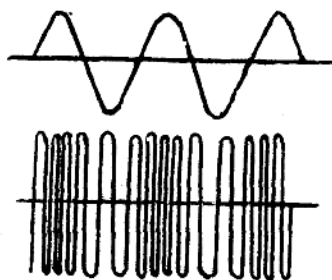


图1.1 调频信号波形

贝塞尔函数值 $J_n(m)$ 可以在专门数学函数表中查到。

公式(1-11)说明了在单音频F调制的情况下,调频信号的频谱,是由载频 f_c 和无穷对边频 $f_c \pm F$, $f_c \pm 2F$, $f_c \pm 3F \dots$ 等组成。可见调频信号占用的频带是很宽的。但是,对于一个调频信号来说,所占用的频带宽度,可以认为相对幅度高于0.1的全部边频所需的频率范围,其余的频率分量可以忽略(这样的忽略,对语言和音乐影响非常小)。

尔函数理论可以证明，当 $n > (m + 1)$ 时， $J_n(m) < 0.1$ 。所以需要考虑的上、下边带的总数为 $2(m + 1)$ 。同时，已知各边频之间的间隔为调制频率 F ，则调频信号频带宽度 B 应为

$$B = 2(m + 1)F \quad (1-12)$$

或引用 (1-6) 公式，用频偏表示：

$$B = 2(\Delta f + F) \quad (1-13)$$

例如：在单声道调频广播时，若最大频偏 $\Delta f = 75$ 千赫，调制频率 $F = 15$ 千赫时，则调频收音机的通频带为 $B = 180$ 千赫；在调频立体声广播时，若最大频偏为 75 千赫，调制频率为 53 千赫，则调频立体声收音机的通频带为 $B = 256$ 千赫。可见立体声收音机比单声道调频收音机通频带要求较宽。

若保留相对振幅高于 0.01 的各次边频，则频带宽度为 $B = 2(\sqrt{m_f + m_f + 1})F$ ，但这样的带宽实际意义不大。因为相对振幅为 0.01 的边频，其能量只占未调制前载频能量的百万分之一。

§ 1.2 调频立体声广播的标准制式。

调频立体声广播的制式有几十种，这些制式可以从广播的内容和调制方式上加以区别，但目前世界上公认最为成熟的并广泛应用的 一种制式是 Fcc 导频制，即 A M—FM (GE—Zenith) 制式，我国的调频立体声广播也采用这种制式。

立体声广播的标准制式是：普通调频广播和立体声广播间具有兼容性和逆兼容性。也就是说，用普通调频收音机能接收立体声广播，但收到的是左右两个传声器的合成音；同样用立体声收音机也能接收普通调频广播，但左右两个扬

声器的声音是相同的。一般所谓兼容性立体声广播，就是它既传递立体声和普通声两者兼容的信号，还传送立体声广播用的附加信号。

所谓Fcc导频制，是指对副载波调幅(抑制载波)对主载波调频的信号调制方式。实际上，对主载波进行频率调制的信号是一个立体声复合信号，它由左声道(L)和右声道(R)的音频信号之和信号($M = L + R$)作为兼容信号，左声道和右声道音频信号之差信号($S = L - R$)作为附加信号，对副载波调幅后，再将副载波抑制了的信号 $(L - R) \cos \omega t$ ，以及导频信号(19千赫)三部分组成。这样，立体声复合信号 $A(t)$ 的数学表达式为

$$\begin{aligned} A(t) &= (L + R) + (L - R) \cos \omega t + P \cos \frac{1}{2} \omega t \\ &= M + S \cos \omega t + P \cos \frac{1}{2} \omega t \quad (1-14) \end{aligned}$$

式中 $\omega = 2 \pi f$;

$f = 38$ 千赫是副载波频率，

$\frac{f}{2} = 19$ 千赫是导频。

P为导频信号的幅值。

图1.2是Fcc导频制立体声标准制式的频谱图。图1.2下边的注释是各部分对主载波的最大调制度之间的关系。

图1.3, 图1.4分别为Fcc导频接收方式的发射和接收系统图, 图1.5为Fcc接收方式矩阵编码构成的立体声复合信号波形图。

现在世界上发射系统编码器有矩阵式和开关式两大类。接收系统几乎全都是带有锁相环的开关式解码器。为了说明原理, 仍以矩码式解码器电路为例来讨论。

在图1.3中, L端输入如图1.5a所示的正弦波信号, R端输入如图1.5b所示的方波信号, 分别经过予加重电路之后, 送到矩阵电路。矩阵电路将输入的L、R信号进行和差变换, 输出和信号 $\frac{1}{2}(L+R)$, 如图1.5b所示。差信号

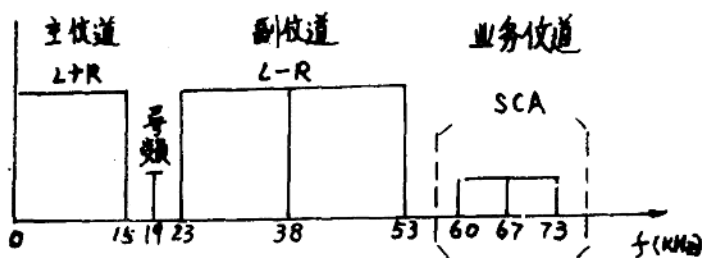


图1.2 Fcc立体声标准制式的频谱图

对主载波的最大调制度		无业务信道:	
L + R信号 (主信道)	80%	90%	
L - R信号 (第一副载波)	80%	90%	
业务信号 (第二副载波)	10%	(一)	
导频信号	8% (最小) 10% (最大)	(8 - 10%)	

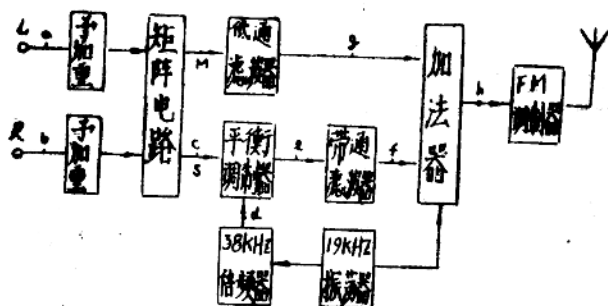


图1.3、导频接收方式发送系统图

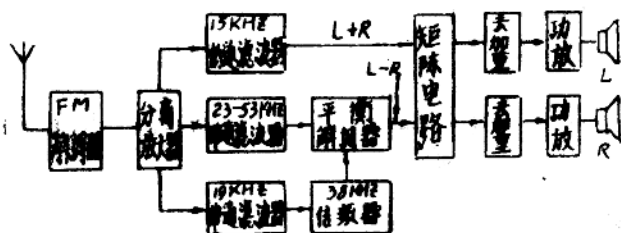
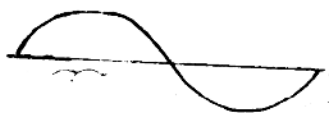


图1.4、导频接收方式接收系统图



a、左路信号 L



b、右路信号 R



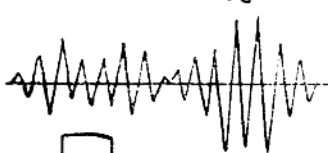
c、差信号 $s = \frac{1}{2} (L - R)$



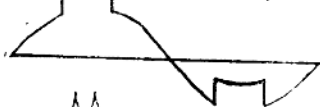
d、38千赫副载波 (ω)



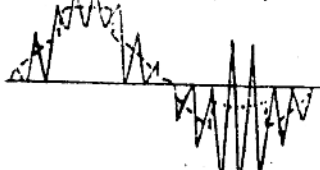
e、平衡调制器输出



f、滤波器输出 $S \cos \omega t$



g、和信号 $M = \frac{1}{2} (L + R)$



h、复合信号 $M + S \cos \omega t$

图1.5、矩阵方式构成立体声复合信号波形图（无导频）

$S = \frac{1}{2} (L - R)$ ，如图1.5c所示。和信号经低通滤波器送

到加法器。差信号先经过平衡调制，构成 $(L - R) \cos \omega t$ 副载波信号，如图1.5f所示，再经带通滤波器送到加法器，经加法器相加构成如图1.5h所示的立体声复合信号，再加上导频，就构成完整的立体声复合信号，调制到主载波上发射出去。在图1.4中，FM解调器输出的是立体声复合信号，它经过解码器还原L、R信号的过程和图1.3中编码过程刚好相反，不再重复。

左、右两路都是声频信号，如果一起直接调制主载波，将使左右两路声频信号混在一起。如果发方采用两部发射机，收方采用两部接收机，并且保持严格同步，可以实现立体声广播，但这样做很不经济。经过长期研究发现，采用频率分割，同时传送“和”、“差”信号的平衡调制法可以很好地解决这个矛盾。发方将左右信号相加 $(L + R)$ 直接调制主载波。将左右差信号 $(L - R)$ 先调制38千赫副载波。再去调制调频主载。这样就把左右信号按频率分开了。为了节省调制功率，将38千赫副载波抑制掉，只传送38千赫副载波的上下边带。在发送和差信号的同时，又发射了副载波的

$\frac{1}{2}$ ，19千赫作为导频信号，以便在收方恢复副载波。

在接收端，从鉴频器输出复合信号后，通过低通滤波器将和信号M取出，再通过带通滤波器将 $S \cos \omega t$ 边带取出，再加上由导频恢复的副载波 $\cos \omega t$ ，通过解调器解出差信号S来。根据和差解调原理：

$$\left. \begin{aligned} M + S &= \frac{1}{2}(L + R) + \frac{1}{2}(L - R) = L \\ M - S &= \frac{1}{2}(L + R) - \frac{1}{2}(L - R) = R \end{aligned} \right\} (1-15)$$

还原得到原来的L和R信号。

导频接收方式的最大优点是主、副信道都能分别对其主载波达到90%的调制度。这是由于导频接收方式巧妙地利用了发送调制主载波的信号，即编码构成的复合信号，其L信号和R信号之和和大时其差必小，其差大时，其和必小这一原理。这样能最有效地利用发射功率。

导频制之所以被广泛采用的原因是：①进行立体声调频广播时，也能收听单声道调频广播。②从调制特性和立体声分离度特性上来看，导频接收方式无论在理论上或是在实用上都比较好的。③接收机价格比其它制式便宜。④可以与业务信道多路并用，并且在运用上优点较多（因为一般收音机收不到业务信道信号）。

应该知道，分离度是衡量立体感的一个尺度，是立体声广播最重要的一项技术指标。其定义为：左右信号互相泄漏量，也就是假设L信道有信号输入，而R通道无信号输入，L通道的信号串入R通道，使R通道输出了与L通道相同内容信号，此时L通道的输出量与R通道的输出量的比就叫分离度，一般用分贝（dB）表示，分离度Se的数学表达式为

$$Se = 20 \lg \frac{M + S}{M - S} \quad (1-16)$$

立体声广播系统中，主信道（M）和副信道（S）之间的幅度关系，主信道和副信道之间的相位关系，以及导频和副载波之间的相位关系，直接影响分离度指标。它们之间的差值越小，分离度越高。

1983年5月广播电视部已经正式规定了我国调频和调频立体声广播的国家标准。其主要性能由下表给出。

我国调频和调频立体声广播的主要性能表

	调 频	立 体 声
频率范围	87.5~108 M Hz	87.5~108 M Hz
最大频偏	± 75 K Hz	± 75 K Hz
最高调制频率	15 K Hz	15 K Hz
予加重时间常数	50 μ s	50 μ s
电波极化方式	水平极化	水 平 极 化
载频允许偏差	20×10^{-6}	20×10^{-6}
频带宽度	200 K Hz	200 K Hz
导频频率		19 K Hz $\pm$ 2 H z
导频信号允许偏差		$\angle \pm 5^\circ$
导频信号对主载波的调制度		8 ~ 10%
副载波频率		38 K Hz
副载波调制形式		抑制副载波调幅
残余副载波的调制度		$\angle 1\%$
左右信号分离度		100~10000 H z $\pm$ 75 K Hz > 30 dB
左右信号电平差		100~10000 H z < 1.5 dB