

无线电爱好者丛书

调频收音机原理与制作

俞锡良 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书比较全面地介绍了调频收音机(包括调频立体声收音机)的制式、基本工作原理、特点、各种参数的含义、电路和各参数间的关系、各分段电路原理、整机电路,以及安装、调试方法,并举出几个便于业余爱好者自己实验试装的电路。附录中还有新的部标:《调频广播接收机分类和基本参数》以及国标:《调频广播接收机测量方法》(提要)。

无线电爱好者丛书

调频收音机原理与制作

Tiaopin Shouyinji Yuanli Yu Zhizuo

俞锡良 编著

责任编辑:沈成衡

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

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 1987年3月第 一 版

印张: 12²⁸/₃₂ 页数: 206 1987年3月天津第一次印刷

字数: 295千字 插页: 9 印数: 1—20,000册

统一书号: 15045·总3335—无6401

定价: 2.40 元

目 录

第一章 概 述

1.1	调幅广播的音质问题	1
1.2	调频广播的方式	4
1.3	调频信号的频带	6
1.4	调频信号对相位特性的要求	9
1.5	调频广播的频率范围和传输特性	12
1.6	调频广播的抗噪声特性	16
1.7	调频广播的动态范围	23
1.8	调频广播的优缺点	23
1.9	立体声调频广播	24
1.10	辅助信道广播 (SCA)	28
1.11	调频双节目广播	29
1.12	调频收音机的电路结构和增益分配	30
1.13	调频收音机对低放部分的电声要求	34
1.14	组合机中调频调谐器的接口关系	39

第二章 调频收音机的主要参数

2.1	单声道和立体声共同的参数	41
2.2	立体声部分的参数	59
2.3	调频收音机各部分电路和主要参数的关系	68

第三章 高频电路

3.1	概述	82
-----	----------	----

3.2	输入不调谐式高频电路	83
3.3	输入调谐式高频电路	88
3.4	自动增益控制电路	91
3.5	自动频率控制电路	98
3.6	场效应管的应用	105
3.7	电调谐式调频调谐器	113
3.8	高频电路的集成化	118
3.9	频率合成、数字显示式调谐器简介	125

第四章 中频放大器

4.1	对中频放大器的要求	129
4.2	中频放大器电路	130
4.3	中频放大器的增益	133
4.4	中频放大器的稳定性	139
4.5	LC中频滤波器	143
4.6	陶瓷滤波器	150
4.7	声表面波滤波器	154
4.8	静噪调谐电路	158
4.9	调谐指示器	162
4.10	中频放大器的集成化	163

第五章 鉴频器

5.1	鉴频器的作用	181
5.2	比例鉴频器	186
5.3	相移鉴频器	197
5.4	移相乘积鉴频器	200
5.5	脉冲均值鉴频器简介	215

5.6	锁相环鉴频器简介	218
5.7	跟相环鉴频器简介	222

第六章 立体声解调器

6.1	立体声解调器的种类	225
6.2	立体声指示灯和单声道转换	228
6.3	分立元器件电子开关式立体声解调器	229
6.4	集成电路电子开关式立体声解调器	236
6.5	锁相环立体声解调器	241

第七章 分立元器件调频收音机整机电路和组装调试

7.1	简单调频调谐器	264
7.2	独立本振简单调频调谐器	281
7.3	输入调谐式调频调谐器	281
7.4	立体声调频调谐器	282
7.5	调频和调幅电路的组合	285

第八章 集成电路调频收音机整机电路和组装调试

8.1	用LA1201集成电路的调频调幅调谐器	292
8.2	用 μ PC1018C集成电路的调频调幅调谐器	297
8.3	用HA12413集成电路的调频调幅调谐器	300
8.4	TA系列集成电路的调频立体声和调幅调谐器*	303
8.5	低电压TA系列集成电路的调频立体声和调幅收音机	308
8.6	ULN2204单片集成电路调频—调幅收音机	315
8.7	低压TA系列单片集成电路调频—调幅收音机	323
8.8	AN7001单片集成电路调频立体声—调幅调谐器	327

8.9	TDA7000及TDA7010单片集成电路调频收音机	330
附录一	调频收音机用的集成电路	346
附录二	中华人民共和国电子工业部部标准	
	调频广播接收机分类与基本参数SJ2597—85	355
附录三	中华人民共和国国家标准《调频广播接收机测量方法》GB6163—85(提要)	368

第一章 概 述

1.1 调幅广播的音质问题

我们在聆听了电唱机、录音机放的乐曲和电视机的伴音后，再打开普通的调幅广播收音机，就会感到声音发闷，许多高音乐器的声音很微弱，甚至听不到了。另外，用调幅收音机收听远一些的电台时还会出现许多干扰杂音。这些缺陷，是由调幅广播制式本身的特性所决定的。

图1.1是一般调幅广播电台发射机的方框图。它发送出的信

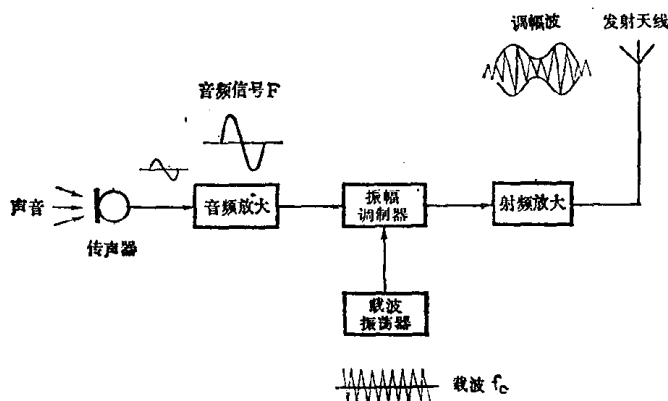


图 1.1 调幅广播电台发射机方框图

号是调幅波，就是说它的载波频率不变，而其包络波的频率和幅度则是随着音频调制信号的频率和幅度而变化。若用一个单一的音频频率 F 去调制载波 f_c 时，调幅波的频谱是由载波和上下两个对称的边带波所组成，边带波的频率是 $f_c + F$ 和 $f_c - F$ ，见图1·2。如果以某一音频频段的音频信号 ($F_d \sim F_g$) 去调制载波时，则在载波两旁依次由低音调制波 (F_d) 到高音调制波 (F_g)，形成对称排列的边带波，见图1·3。

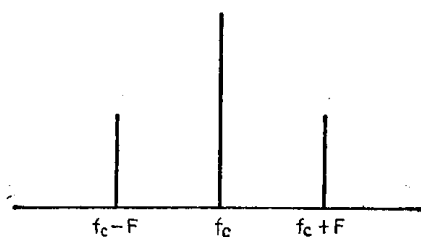


图 1·2 用单频信号调制的调幅波频谱

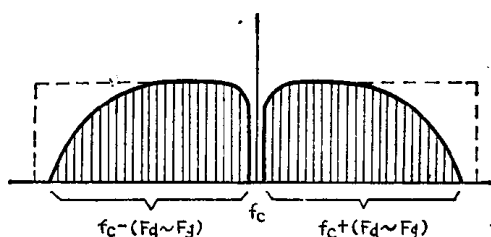


图 1·3 用 $F_d \sim F_g$ 的一段音频信号调制的调幅波频谱

调幅波的边带波，既然是按低音到高音的调制频率次序，以载波为中心左右对称分布，如果只取出中间的一小段，则将缺少高频的调制波而感到高音不足。因此，发射机和接收机必须有足够的带宽，能够通过两边最高音调制波在内的所有边带，才可获得较满意的音质。但是，调幅电台比较拥挤，为了能够多安排一些电台，国际上统一规定各电台之间的频率间隔为

9kHz, 因而两个边带宽度要受到限制。但因为实际的音乐节目中高音成分的幅度比中音的小, 两个电台之间的高音调制波部分有适当交叉, 并不会引起明显的干扰, 因此高音调制频率不需要限制到4.5kHz, 而可以保留到7~8kHz。然而遗憾的是, 一般普及型收音机, 为了照顾选择性, 避免邻近电台之间的串音, 中频放大器的通带不能做得很宽, 衰减6dB的通带大都只有6kHz左右, 即边带波的边缘被限制在 $f_c \pm 3\text{kHz}$ 左右, 所以还原后的音频信号, 其高音频率只有3kHz左右了, 见图1.4。这样窄的高音范围, 就使得原节目中很多高音成分都听不到了, 因而保真度很差。

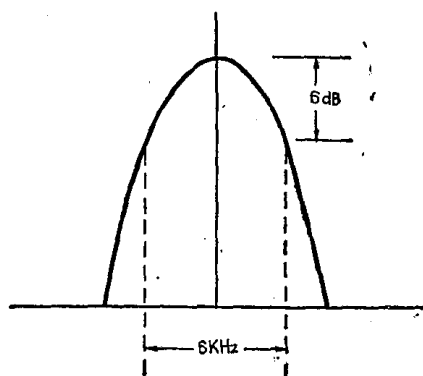


图 1.4 普及型调幅收音机中频通带

此外, 调幅信号受到幅度上的杂音干扰后, 杂音会随着音频信号一起被检波出来, 很难分开和消除, 所以抗干扰能力差。特别是夜间, 中波的传播方式除地面波外, 还有天波, 致使许多远地电台都传送过来, 使得各电台间的间隔极小, 从而产生差拍哨叫, 再加上天电和各种电器干扰, 杂音就更多了。近年来由于调幅广播电台的不断增多和功率不断加大, 相互之间的干扰日趋严重, 收听的质量就愈来愈成问题。在较大城市

里的用户会有这样的体会，到了晚上有许多电台都听不清楚，并伴随着各种讨厌的哨叫杂音和串台声音。

开设调频广播，是实现高保真的声音重放，减轻电台拥挤和干扰的重要途径之一。在一些先进工业国家，调频广播已经非常普及，并早已普及双声道的立体声调频广播，且正在进一步研究多声道的立体声调频广播。

1.2 调频广播的方式

调频广播的调制方式与调幅广播不同，音频信号是对载波的频率进行调制，而调制波的幅度不变，如图 1.5。调频波的载波频率随着音频调制信号的变化而在载波中心频率（即未调以前的载波频率）两边变来变去。频率相对于载频的变化值叫作频偏。对正弦调制波来说，每秒钟频偏来回变化的次数，和音频调制频率相一致。例如音频调制频率为 1kHz，则载波频偏每秒来回改变 1 千次。而频偏的大小，则随着音频调制信号的振幅大小而定。在调频发射机中，将最大频偏限制在 ± 75 kHz。这时的调制度作为 100%。于是频偏也可按百分比表示，例如，若有一音频信号的振幅能使载波产生 ± 22.5 kHz 的最大频偏，则 $\frac{22.5}{75} = 0.3$ ，就称为 30% 的调制度。如果频偏超过 ± 75 kHz，则称为过调制。这和大家熟悉的调幅中用调幅度的百分数来表示调制度相似。但是调频的 100% 调制和调幅的 100% 调制的具体意义是不同的。

调频波的频谱和调幅波截然不同。用一个单一频率的音频波 F 去调制载波时（调频），如果调制度较深，会产生许多多个上下边频。这些边频频率为 $f_c \pm nF$ ，其中 n 为任意整

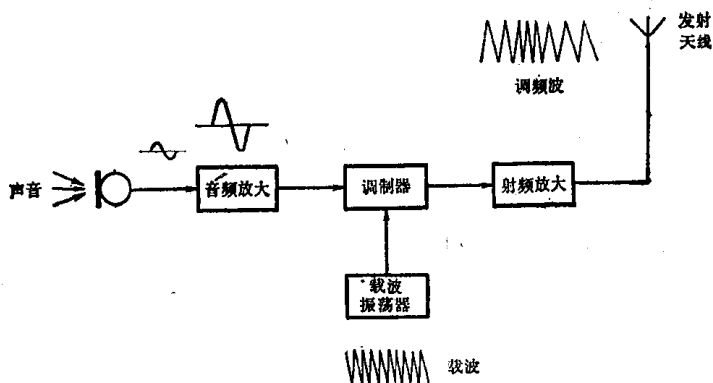


图 1-5 调频原理方框图

数，它们对称地分布在载波中心频率两旁，见图 1-6。各个相邻边频之间的频率间隔等于音频调制信号的频率，各个边频的振幅则有高有低，按一种复杂的数学规律分布。

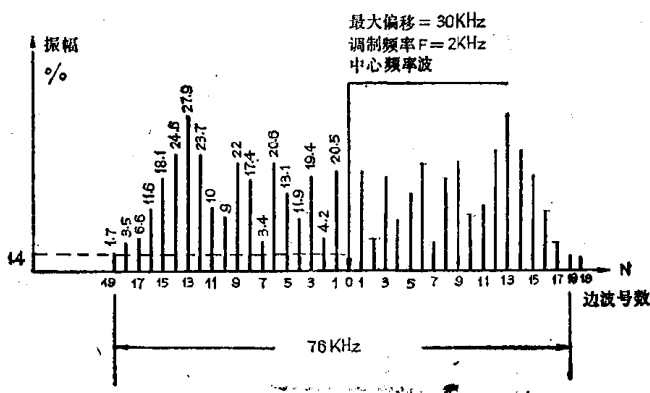


图 1-6 调频波频谱（用单一信号调制）

若同时有几个音频信号调制载波时，则调频波的总频谱中不仅有每个音频信号本身所形成的许多对边频，而且还有那些音频信号相互之间加减的互调信号所形成的许多边频。为简单

起见，这里仅举用 F_1 和 F_2 两个音频信号来调制载波的情况为例说明。这时调频波除载波频率以外，边频成分有 $f_c \pm nF_1$ 、 $f_c \pm nF_2$ 、 $f_c \pm (pF_1 \pm qF_2)$ ，式中 n 和 p 、 q 均为任意整数。所以，若用一整段音频信号的频带调制载波时，调频波的边频波极为复杂，而且低音边频和高音边频不象调幅波那样分高低次序排列，而是各自按自己的频率间隔混合排列。其中载波的振幅在调制后总比调制前要小，其能量转移到各边带波中，输送边带波不需要另外消耗功率。因此，调频广播的功率比较节省。如果在同一地点接收到同样功率的信号时，调频广播比调幅广播能节省约3/4的功率。

1.3 调频信号的频带

调频波中既然是高低音所调制的边频各自按自己的频率间隔混合排列，因此若取中心一段不宽的频带，只要到中心的宽度超过最高音频的第一个间隔，其中就包含了所有高低音频的上下边频成分。这样一来，即使发射机和接收机没有很宽的通带，也能还原出高低音频信号的基频，高音总是较丰富的，这是调频的特点之一。但是，并不能由此得出错误结论，认为调频机的通带就可以做得很窄了，相反，调频机的通带仍然需要很宽，而且比调幅机还要宽得多。这是因为调频机的通带窄了，会引起另一个问题，即波形失真。如前所述，音频调制波中的任一个音频频率信号波在调频波中分散为许多不同幅度的边频分量，那么，检波后还原的音频信号波形也必须把这些分量重新合成才行。如果通带窄，只取了一部分边频分量，则检波后虽然音频信号的高低频率都有了，但各音频信号的波形还是不完整的，声音就要失真了。由于调频波的边频分布太广，

如果全部收集进去，通带实在太宽，无法实现。幸而离开载波中心频率两旁较远的地方，边频波的幅度也逐渐减小，把小于未调制波幅度某一百分比的幅度分量舍去不要，对失真的影响也不大，于是通带就可以收缩许多。剩下的幅度较大的边频数目称为有效边频数，而能容纳有效边频数的频带，称为有效频带。

调频波的理论 and 实践都证明：有效边频的数目随着频偏大小和音频调制频率而变，频偏愈大，音频调制频率 F 愈低时，有效边频的数目愈多。通常把频偏 Δf 和调制音频 F 的比值 m 称为调制指数。

$$m = \frac{\Delta f}{F} \quad (1.1)$$

边频的数目可以用与 m 有关的式子来表示。一般舍去幅度小于未调载波幅度的10%的分量，大部分能量也能被传输，这时每边有效边频的数目 n 大致为

$$n = m + 1 \quad (1.2)$$

知道了有效边频的数目后，所需的通带就可以计算出来了。因为边频中各个调制频率的间隔为各个音频调制频率 F 本身，所以每个调制频率每边有效通带应为 $n \times F$ ，而以载波为中心包括两边的有效通带 B 则为

$$B = 2nF \quad (1.3)$$

图1.7为 F 或 Δf 保持不变时，频带宽度随 m 变化的关系。从图形以及上面一些公式中可以看出，若音频调制频率 F 不变，频偏 Δf 愈大时，调制指数 m 愈大，有效边频数 n 也愈大，故有效频带愈宽。另外，若频偏 Δf 不变，则音频调制频率 F 愈低，调制指数 m 愈大，有效边频数 n 愈多，似乎有效频带也愈宽。其实不然，我们可以举例简单计算一下就可以弄明白，设频偏固定在 75kHz，试比较在音频调制频率 $F_1 = 10\text{kHz}$ 和

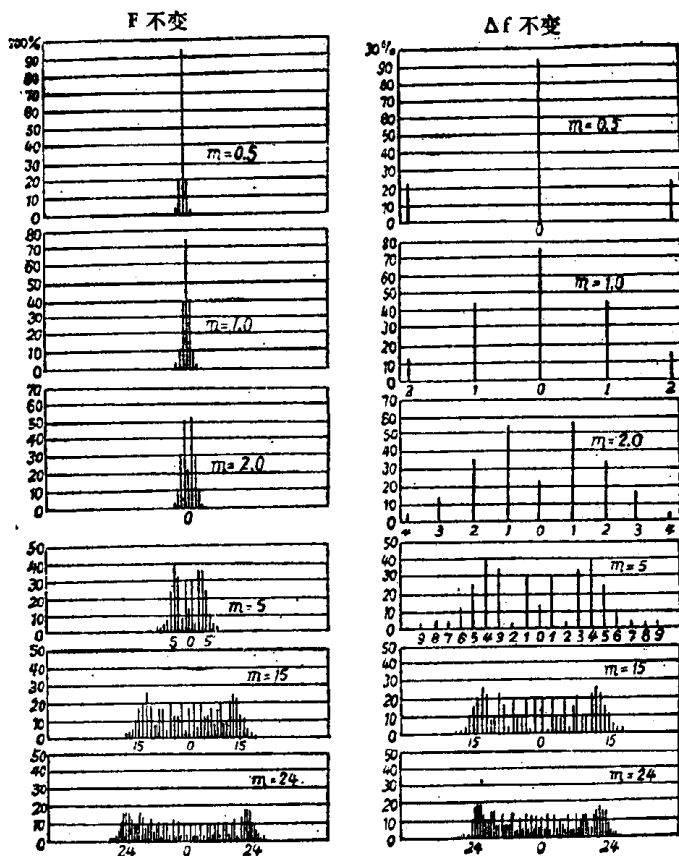


图 1.7 频带宽度随 m 变化的关系

$F_2 = 5\text{kHz}$ 两种情况下, 哪一种有效频带宽?

$$(1) m_1 = \frac{\Delta f}{F_1} = \frac{75}{10} = 7.5$$

$$n_1 = m_1 + 1 = 7.5 + 1 = 8.5$$

$$B_1 = 2n_1 F_1 = 2 \times 8.5 \times 10 = 170\text{kHz}$$

$$(2) m_2 = \frac{\Delta f}{F_2} = \frac{75}{5} = 15$$

$$n_2 = m_2 + 1 = 15 + 1 = 16$$

$$B_2 = 2n_2F_2 = 2 \times 16 \times 5 = 160\text{kHz}$$

由此可见，当频偏不变，音频调制频率变低时，虽然边波数目增多，但每边频之间的距离变小，总的有效频带不但没有增宽，反而变窄了。当 m 值较大时，带宽基本上由频偏所决定。

因此，只要有满足最大频偏 $\Delta f_{\max}$ 和最高音频调制频率 $F_{\max}$ 时的有效通带，则其他情况下都能满足。将上面式1.1~1.3结合起来，便可得到一个直接计算通带的公式

$$B = 2(\Delta f_{\max} + F_{\max}) \quad (1.4)$$

在调频收音机中，规定最大频偏为 $\pm 75\text{kHz}$ ，最高调制音频为 15kHz ，代入式(1.4)，便可计算出有效通带为 180kHz 。这就是调频收音机的一般通带要求。

实际上，广播时总是有许多音频频率信号同时调制载波，这时的边频成分要比单个的音频信号调制时多得多，所占的总频带似乎也应更宽才行。但是由于发射机把全部调制信号的总频偏限制在 $\pm 75\text{kHz}$ 的最大频偏值，所以各个音频信号同时调制时，各个音频信号所分配到的频偏有所减小，于是每个频率的调制指数 m 减小，其边频总数也相应减小，而其和差组合频率所形成的边频，也会随着 m 的减小而很快地减少，所以总的调频频谱所需的通带宽度并不需要额外增加。

1.4 调频信号对相位特性的要求

上面谈到的通带问题，只是讨论了调频信号的幅度频率特性，调频信号还有另一个重要的问题是相移频率特性。我们已知调频信号的特点是， m 较大时，即使是一个单一的音频信

号，调频波的频谱中也有许许多多多个边频，两个边频之间相隔的频率距离等于该音频信号的频率。这许多边频对原来的音频信号来说是各次谐波分量的关系，好像是将音频信号分解成了许多谐波，并且各自被调制成了一个边频波一样，它们之间都保持着一定的相位关系。调频收音机不仅要有足够的通带使调频信号的有效边频分量都能通过，而且还要有线性的相移频率特性，即相位变化的倍数与频率变化的倍数要一样，才能保证调频波解调后各谐波分量之间仍然保持原来的相位关系，合成以后波形与原来的音频调制信号一样，不产生失真。如果相位关系改变，则合成的波形也就变了样，因而会产生失真。我们可以举一个简单的例子来说明。设一个只有基波和三次谐波合成的波形通过一个具有线性相移特性的网络，基波和三次谐

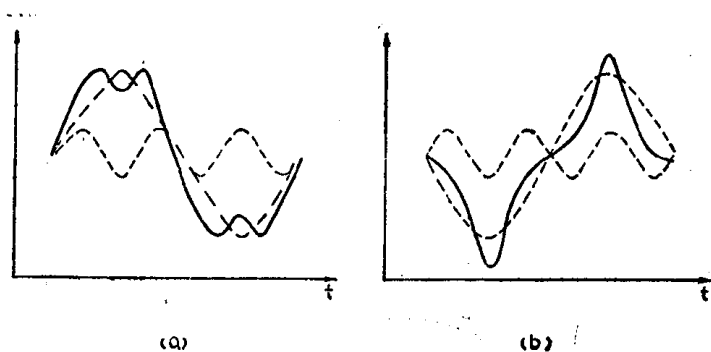


图 1·8 相移形成的失真

波的相对相位关系不变，合成波形仍与原来一样（图1·8a）。若相移不是线性的，如（b）图那样，基波的相位超前半个周期（ 180° ），和三次谐波的相对位置发生了变化，则合成的波形就与原来的大不相同，即失真了。这种失真叫作相移失真。比这个例子更复杂的调频波的情况也是一样。

直接用相移频率特性来分析问题往往很不方便。大家知道，当一个信号通过某网络而有相移时，也就是有时间的延迟，即输出信号比输入信号要延迟一点时间。我们可以用各频率的电波群通过网络的相对延迟时间 $\tau_g = \frac{\Delta\theta}{\Delta\omega}$ 来代替相移特性，称为群时延特性。相移频率特性和群时延特性的两个座标系统之间是相关的，如果相移频率特性是线性的，则群时延特性就是一条水平线，表示各频率的电波通过网络的时间延迟是一样的，如图1·9。用群时延特性来表示，由谐波合成的信号通过具有线性或非线性相移网络的情况，比较直观和简单。当由许多谐波分量合成的调频波通过群时延特性为水平线的网络时，由于对各谐波分量的相对延迟时间一样，合成后的波形就一点也不会失真；如果各频率的相对延迟时间不一样，合成波形就会和原来波形不一样，产生失真。这种失真叫作群时延失

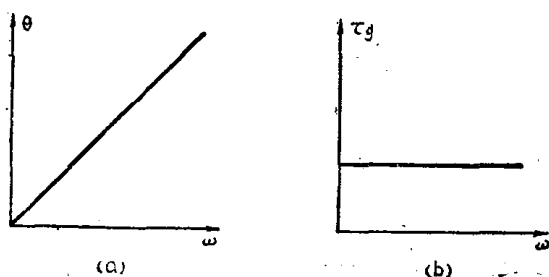


图 1·9 相移频率特性与群时延特性

真。群时延失真和相移失真只是同一个事物的不同表示方法。在调幅信号中，因为一个音频信号调制载波后只有一对边频，并没有被分成许多分量，所以对该单一频率不存在群时延失真的问题。不过对整个音频调制频谱来说，仍有群时延的问题，