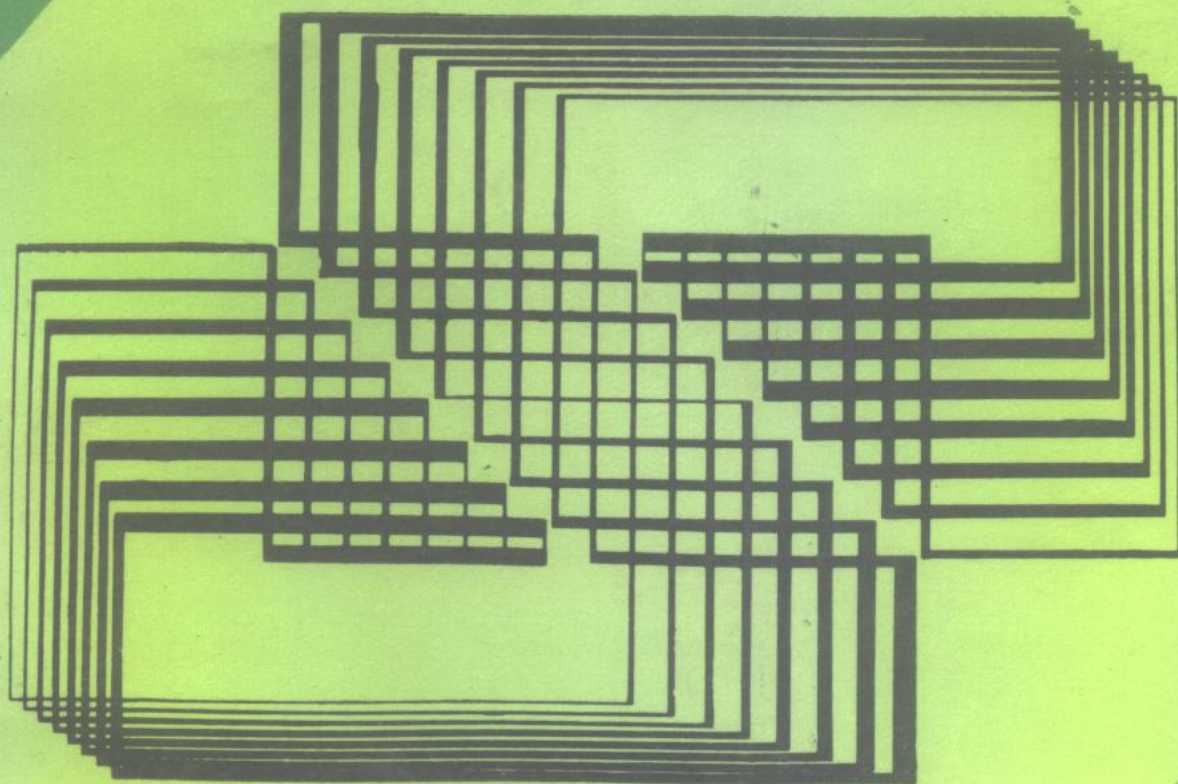


收录机特殊电路及机构

原理与检修

曹国初 单金德 编著



科学出版社

收录机特殊电路及机构

原理与检修

曹国初 单金德 编著

科学出版社

1993

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了当前国内外收录机中所用的新技术,以及所用的新电路和新机构的基本结构、工作原理及使用维修方法。主要内容有:自动降噪系统,自动选曲和电脑选曲系统,选曲收音自动暂停机构、电子控制自动停机机构、自动反转机构、轻触机构,高速录音机构,图示均衡器,自动偏磁与自动均衡电路,数字调谐系统及数字磁带录音机等。

本书内容丰富,重点突出,基本概念明确清晰。可供从事收录机和音响设备研制的工程技术人员、高等院校有关专业的师生阅读。对从事收录机和音响设备维修的技术人员,以及无线电爱好者更是一部难得的好书。

收录机特殊电路及机构

原理与检修

曹国初 单金德 编著

责任编辑 唐正必

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

北京市东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1993年11月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1993年11月第一次印刷 印张: 13 3/4

印数: 1—2,940 字数: 314,000

ISBN 7-03-003650-6/TM·38

定价: 13.00 元

前 言

自丹麦工程师波尔森 (V.Poulsen) 于1898年研制成功磁带录音机至今, 已近一个世纪, 但磁带录音机的发展仍方兴未艾, 新技术、新电路不断涌现, 新品种、新产品层出不穷, 目前正在向高性能、多功能和自动化方向发展. 例如, 在机芯中使用直接驱动 (DD) 方式、双主导轴方式, 提高了运带性能; 采用自动反转机芯、轻触操作机构、倍速复制电路、图示均衡器等, 完善了录音机的功能和改进了操作性能; 利用金属带和降噪系统等, 提高了录音机的录音和放音性能. 在电路方面, 大规模集成化也改善和提高了录音机的性能和可靠性, 并使录音机的体积进一步缩小.

近年来, 随着数字电子技术的发展和集成电路技术的进步, 诸如选曲系统、数字调谐系统、自动均衡和自动偏磁等新技术、新电路在磁带录音机中的广泛应用, 录音机在高性能、多功能和自动化方面取得了显著的进展. 尤其是最近几年内迅速发展起来的数字式磁带录音机更是引人注目, 它使磁带录音机的性能和功能达到了前所未有的水平. 为了适应录音机的不断发展, 满足广大读者对新技术、新知识的渴求, 特撰写此书.

本书全面系统地阐述了当前盒式收录机中所用的新技术, 新电路的基本结构、工作原理、使用方法和维修技术, 并对数字录音机的结构和工作原理作了较详细的介绍. 在讲述过程中, 力求重点突出, 基本概念清晰, 并尽可能做到深入浅出.

作者在撰写本书过程中, 得到不少单位和同行的大力支持和鼓励, 丁传礼工程师绘制了书中的全部插图. 在此, 谨致以衷心的感谢.

由于作者水平所限, 书中错误和不妥之处, 恳请读者不吝指正.

作者

1992年8月于长沙

目 录

第一章 盒式收录机中的降噪系统	1
1.1 磁带录音机的噪声	1
1.1.1 磁带录音机噪声的种类	1
1.1.2 降低录音机噪声的方法	2
1.2 杜比降噪系统	4
1.2.1 信号的压缩扩展原理	4
1.2.2 杜比A型降噪系统	6
1.2.3 杜比B型降噪系统	7
1.2.4 杜比C型降噪系统	13
1.3 dBx降噪系统	19
1.3.1 dBx降噪原理	19
1.3.2 dBx降噪电路	20
1.3.3 实用dBx降噪电路举例	22
1.4 杜比降噪电路的常见故障与检修	24
第二章 自动选曲和电脑选曲	26
2.1 人工选曲——快速选听和复听	26
2.1.1 人工选曲的基本原理	26
2.1.2 人工选曲的操作机构	27
2.2 自动选曲系统	28
2.2.1 基本原理	29
2.2.2 APSS自动选曲电路分析	30
2.2.3 AMSS自动选曲电路分析	36
2.2.4 常用自动选曲集成电路	37
2.2.5 自动选曲系统的机芯	48
2.2.6 自动选曲系统的故障分析与检修	53
2.3 电脑选曲系统	64
2.3.1 电脑选曲基本原理	64
2.3.2 电脑选曲电路分析	69
2.3.3 几种常用电脑选曲集成电路	80
2.3.4 电脑选曲系统常见故障分析与检修	91
2.4 选曲放音自动暂停机构	104
2.4.1 基本原理	104
2.4.2 实用电路分析	105
第三章 收录机中的特殊机构	110
3.1 自动停机机构	110
3.1.1 半自动停机机构	110

3.1.2	全自动停机机构	111
3.1.3	自动停机机构的故障分析与检修	124
3.2	自动反转机构	139
3.2.1	自动反转机芯结构	139
3.2.2	自动反转用的磁头及电路	143
3.2.3	自动反转信号的检测	145
3.2.4	自动反转机构的故障分析与检修	146
3.3	轻触操作机构	147
3.3.1	机械逻辑轻触方式	147
3.3.2	集成逻辑轻触操作方式	148
3.3.3	集成逻辑操作的逻辑电路	150
3.4	倍速录音机构	152
3.4.1	倍速录音基本原理	152
3.4.2	典型电路分析	156
3.4.3	倍速录音机构的故障分析与检修	158
第四章	其它新型电路	162
4.1	图示均衡器	162
4.1.1	模拟电感电路	164
4.1.2	多频段补偿电路的工作原理	165
4.1.3	频率均衡器特性	167
4.1.4	集成图示均衡器	169
4.1.5	图示均衡器的常见故障与检修	169
4.2	自动偏磁与自动均衡	171
4.2.1	自动偏磁/自动均衡原理	172
4.2.2	自动偏磁/自动均衡系统	173
4.3	数字调谐系统	180
4.3.1	锁相环频率合成器的基本原理	180
4.3.2	脉冲吞咽计数原理	181
4.3.3	数字调谐系统	183
第五章	数字磁带录音机	186
5.1	概述	186
5.2	数字声频系统的原理与组成	187
5.2.1	数字声频系统的基本组成	187
5.2.2	PCM编码原理	188
5.2.3	纠错编码的基本原理	193
5.3	旋转磁头方式数字录音机	197
5.3.1	R-DAT的基本组成	198
5.3.2	R-DAT的主要技术规格	200
5.3.3	R-DAT的走带机构	202
5.3.4	R-DAT的磁带	203
5.3.5	R-DAT的子码	208

第一章 盒式收录机中的降噪系统

随着录音机的日益发展与普及,对录音机的高保真特性提出了越来越高的要求。人们在录制节目时,总是希望声音清晰、噪声小。然而,要达到这一目的却存在着许多困难,因为即使信号源的信噪比是高的,但在录放音过程中,往往要引入各种噪声,尤其是立体声录放音,因声道的增加使磁迹宽度变窄,从而使信噪比降低。因此,设法消除噪声便成为磁性录音技术中一项极为重要的课题。

本章将介绍磁带录音机中噪声的种类,叙述降低噪声的方法,以及降噪系统的常见故障及维修方法。

1.1 磁带录音机的噪声

1.1.1 磁带录音机噪声的种类

在录、放音过程中,除了所需要的信号之外,由其它原因所产生的一切声音统称为噪声。录、放音过程中的噪声可分为三类,即背景噪声、调制噪声和窜渗噪声。

1. 背景噪声

背景噪声是一种与录音信号无关的噪声,主要表现在无信号输入时,录音机放音输出中出现的“咝咝”声、“沙沙”声或“嗡嗡”声。背景噪声主要来源于录音磁带和放大器部分。来源于磁带的称磁带噪声,来源于放大器的称系统噪声。

由磁带引起背景噪声的主要原因有:磁性体的涂布和磁粉分布不均匀,磁带抹音不完善,直流抹音时产生的饱和剩磁,磁头因直流带磁而使录音磁带直流磁化。此外,磁头铁芯损耗也会引起噪声。这类噪声遍布整个频带,但主要分布在中、高频段,表现为“咝咝声”,所以有时又称磁带噪声为咝噪声。

由放大器部分引起的背景噪声有:构成放大器的元器件如晶体管、电位器及电阻、电容器等的固有噪声,话筒噪声,放大器的元器件及电源、电动机等的杂散磁场对磁头所引起的噪声(如散射磁场及静电场对放音磁头所引起的交流声)。这类噪声可采用妥善安置各零件的办法和采取严格的屏蔽措施,以及采用低噪声放大器来加以防止,现代电子技术可使这类噪声作得很小,但却很难完全消除。

2. 调制噪声

如果情况发生变化,原来的稳定磁场会引起调制,调制所产生的噪声叫调制噪声。调制噪声是由于信号的存在而出现的。调制噪声可分为振幅调制噪声、频率调制噪声和内在调制噪声三种。

引起振幅调制噪声的主要原因是磁带磁性材料的不均匀(或涂敷不均匀)、磁粉脱落、混入灰尘或其它杂物,以及磁带与磁头接触压力不均匀等。

频率调制噪声主要是由于磁带走带速度不均匀,以及走带时所产生的纵向抖晃使输出信号的频率产生瞬时变化所致。频率调制与调频波相同,只不过是信号因带速变化而被调制,从而在信号中增加了噪声的频率成分。调频噪声的强度、频率大小与磁带种类、磁带的张力、磁头位置等有关。

内在调制噪声的产生,则是由于磁头、磁带的磁性及放大器的非线性特性,使录音信号的不同频率之间发生相互调制作用。由于互调的影响,使其它噪声随音频信号的强弱而产生相应的变化。故在声音休止时就听不出来,而在放音时就出现讨厌的“呼呼”声,这是超音频偏磁录音的缺点之一。

3. 窜渗噪声

窜渗噪声的来源主要有三个途径:即录音放大器与放音放大器之间的信号窜渗;录音磁头和放音磁头之间的信号窜渗;磁带的复印效应。前两种噪声只有在录放磁头、录音和放音放大器分开的录音机中才出现。对此可用严密的屏蔽措施加以防止。由复印效应引起的噪声不可能完全防止,但可设法将其限制在一定的范围之内而不使其产生明显的影响。

综上所述,磁带录音机中产生噪声的原因很多,其中尤以录放过程中来自磁带的噪声为突出,且这种噪声分布在整个频段内,在2kHz以上更为明显。显然,设法降低磁带噪声电平,特别是2kHz以上频段的噪声便成为提高录音机信噪比,改善音质的关键。

1.1.2 降低录音机噪声的方法

据上所述可知,降低磁带固有噪声的措施之一是改善磁带的性能,提高偏磁的稳定性。目前虽已研制出了各种低噪声磁带,但是仅靠改进磁带本身的性能来改善信噪比,效果极为有限,一般仅为几分贝。显然,要想使磁带噪声减小到最低限度,还需采用有效的降噪措施。作为一个理想的降噪系统,必须满足下列条件:

- (1) 应能恢复音质的全部动态范围;
- (2) 放音信号与原信号在听感上应相同;
- (3) 降噪系统本身不应产生失真和噪声;
- (4) 容易制作且性能稳定、可靠。

目前录音机中常用的降噪方法有单端降噪法和互补型降噪法两种。单端降噪法又称非互补型降噪法。这种方法是指在录音或放音时使用专门的电路对信号进行处理,从而达到抑制噪声的目的。单端降噪法大多用于放音电路,其优点是在录音时未经处理的磁带也能应用,而且电路简单。但是,由于信号不是采用相补的处理方法,所以最终得到的信号与原信号有所不同,难以满足高质量录音的要求。单端降噪法在中档录音机中应用较多。属于单端法的降噪系统有DNR(动态降噪)系统和普通使用的静噪电路。

互补型降噪法又称压扩法,是针对单端法的缺点而提出来的。它是在录音前先对信号进行压缩处理(或称编码),在放音时再对信号进行扩展处理(或称解码)的一种方法。压缩处理和扩展处理可使特性互补,所以这种降噪方法可以使信号完全复原。但是互补型降噪法必须在录音与放音时同时配合使用,如果放音时使用的信号处理系统与录音时的不同的话,非但得不到降噪效果,还会使频响反常。

互补型降噪系统的类型较多，主要有：英国杜比（R.M.Dolby）博士发明的杜比降噪系统（分A型、B型和C型），美国dB公司的dBx-Ⅱ降噪系统，日本胜利公司的ANRS（自动噪声抑制）系统、Super ANRS（超级自动降噪）系统，东芝公司的ADRES（动态范围自动扩展）系统，德国德律风根公司和日本中道公司共同研制的海康（Hi-gh-Corn）Ⅱ降噪系统，日本三洋公司的Super D（超动态音响方式）降噪系统，日本日立公司和广播协会共同研制的Lo-D压扩器式降噪系统等。

表1-1列出了几种主要降噪系统的性能，目前在盒式磁带录音机中使用最多的是杜比B型、杜比C型和dBx型三种降噪系统。

表 1-1 各种降噪系统性能比较表

名 称	杜比B	ANRS	Super ANRS	杜比C	dBx Ⅱ	adres	海康 I	SuperD	Lo-D 压 缩 扩展器
研制厂家	杜比研究所	胜 利		杜比研究所	dBx	东 芝	德律风根、中道	三 洋	日 立
研制年度	1969	1972	1973	1980	1971	1976	1978	1978	1978
日本采用厂家	各 厂	胜 利		索 尼	蒂亚克，松下，山叶	东 芝	中道爱和	三 洋	日 立
降噪效果	10dB(>5kHz) (5dB 1kHz)	10dB(>5kHz) 5dB(1kHz)		10dB (<1kHz)	30dB以上	30dB (10kHz) 20dB (1kHz) 17dB (100Hz)	20—25dB	35—40dB	20dB
压缩扩展特性	对电平	可 变	可 变	可 变	线 性	可 变	可 变	线 性	线 性
	对频率	可 变	可 变	可 变	—	可 变	可 变	—	—
	压缩比	—	—	—	1:2	1:1.5 1:1	1:2/1:1	1:2	1:1.5
	高电平压缩	—	6dB(10kHz)	40dB(10kHz)	1:2	1:1.5	1:2	1:2	1:1.5
频率分割	—	—		—	单一频带控制	单一频带控制	2频段	2频段 (4.8kHz)	单一频段控制
电平检测	有效值	有效值		有效值	有效值	有效值	有效值	峰 值	峰 值
电平检测通道	左右独立	左右独立		左右独立	左右独立	左右独立	左右独立	左右独立	左+右
加重	固定+可变	固定+可变	可变	固定+可变	固 定	可 变	可 变	固 定	—
线性改善	—	只有高频		只有高频	全频带	全频带	全频带	全频带	全频带
电平匹配	要	要		要	不 要	要	要	不 要	不 要
上升时间(ms)	1	1.5—2.0		1	几毫秒		1		高电平：快 低电平：慢
恢复时间(ms)	300	100		300	编码200 译码400	100			200
抗喘息措施	不 要	不 要		不 要	加重高电平录音	减小压缩比 可变加重	减小压缩比 频带分割	频带分割	减小压缩比
抗削波措施	上升快限幅	上升快		上升快限幅 防饱和电路 偏移电路	上升快 计权电路	计权电路	上升快	计权电路	高电平 上升快

1.2 杜比降噪系统

杜比降噪系统是目前应用最广泛的一种降噪系统，分为A型、B型、C型和HX型等几种，其中A型用于专业录音机，而B型、C型和HX型则广泛用于盒式收录机中。

1.2.1 信号的压缩扩展原理

杜比降噪系统是一种压扩（互补）型降噪系统，为此，先介绍信号的压缩扩展原理。

大家知道，人的听觉有一种特性，当相差悬殊的两个声音同时进入耳朵时，往往只听到大的声音，而觉察不出小的声音，也即小声被大声掩盖了，这种现象叫做人耳的掩蔽效应。上节的讨论告诉我们，对磁性录音而言，即使信号本身的信噪比很高，但在录放过程中往往会引入各种噪声，而且其中有些噪声（如磁带的背景噪声）是难以避免的，因此在磁头的输出中就有一定的噪声电平。根据人耳的掩蔽效应，录在磁带上的信号电平必须高于这个噪声电平。若被录信号的电平低于噪声电平，便会被淹没在噪声之中而辨别不出来。另一方面，过强的信号又可能会引起磁带饱和失真，这样也无法获得正常放音的效果。背景噪声电平与最大不失真信号电平之间的范围，就是磁带的动态范围，如图1-1所示。由于受磁带动态范围的限制，经过磁带录音后的输出信号，信噪比就变差了，尤其是小信号经过录放音过程就会被淹没在背景噪声之中。可见，如何降低磁带的背景噪声电平，是提高信噪比的关键。

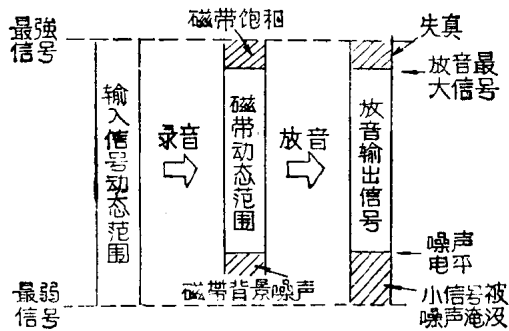


图 1-1 磁带的动态范围

为了克服磁带的背景噪声，压扩型（互补型）降噪系统采取了图1-2所示措施，即在录放音之前后分别接入特性互补的压缩器和扩展器，在录音时，输入信号被压缩器所压缩，放音时则通过扩展器将信号扩展还原。

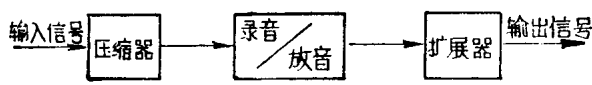


图 1-2 压扩型降噪系统简化方框图

杜比降噪系统成功地采用了压缩扩展原理，其具体作法如图1-3所示。在录音前对小信号进行压缩处理，即将小信号提升。例如，将 -60dB 的小信号提升到 -50dB ， -50dB 的信号提升到 -40dB ，等等。信号越大提升量愈小，对大信号则不作处理。这样一来，便使录在磁带上的小信号电压足以超过磁带的背景噪声电平，输入信号的动态范围便被压缩了。放音时，对放音信号作相反的处理（即扩展），即将原来已被提升的小信号进行相应的等量衰减，例如，将 -50dB 的信号衰减到原来的 -60dB ，从而使信号复原。显然，经过这样的处理之后，放音中 -52dB 的背景噪声电平亦将被衰减到 -62dB 。可见，放音中的噪声降低了 10dB 。这就是杜比降噪系统中所采用的基本降噪措施。

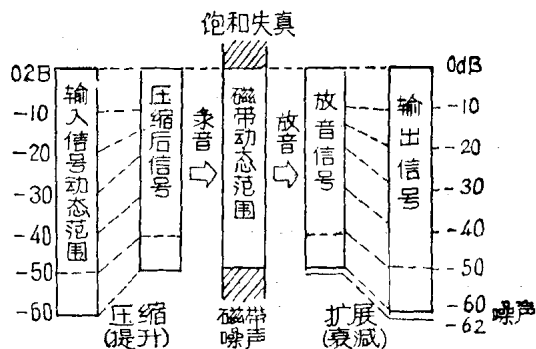


图 1-3 信号的压缩和扩展原理示意图

利用压缩扩展器降噪的方法，在通信技术中早已应用。在一般的压缩扩展系统中，通常都使用如图1-4 (a)，(b) 所示的压扩方法，它们都是通过控制可变增益元件增益的大小来进行压缩扩展的。图1-4(a)的方法是在压扩器中将输入信号经过可变增益元件后再导出一个控制信号进行压缩，然后在扩展器中使用相反的过程进行扩展。不过这种压扩系统存在一些缺点，例如难于使压扩两端获得完全互补的特性；容易产生失真；信号突增时容易产生过冲；容易出现噪声喘息现象，即噪声的大小随信号电平的增减而变化等。因此，它不宜作高保真放音降噪使用。但是，经过某些改进，这种方法仍用于dBx降噪系统、伯温 (Burwen) 降噪系统和自动降噪系统 (ANRS) 等的压缩扩展器中。

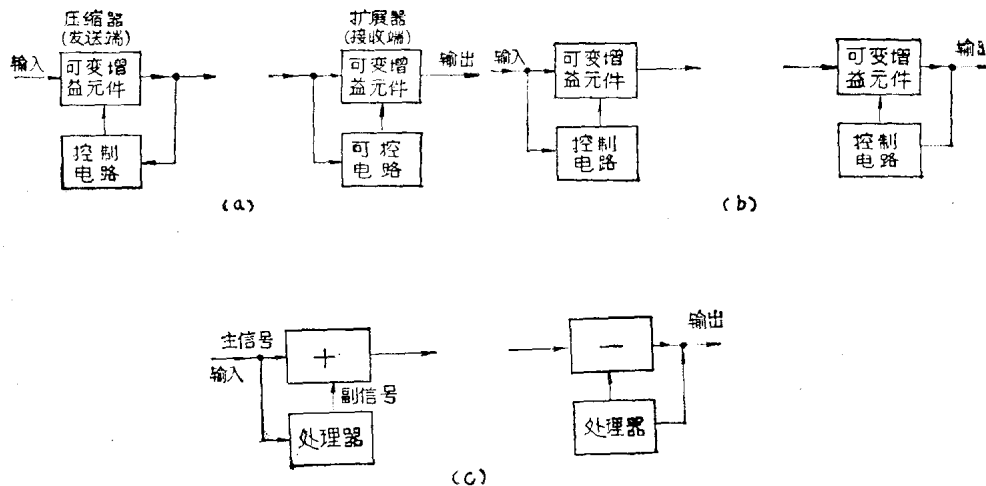


图 1-4 常用的压缩扩展方式

图1-4(b)的方法与图 (a) 的相似，但它是在压缩器中的可变增益元件之前取出控制信号，在扩展时则在可变增益元件之后取得控制信号。

杜比降噪系统则采用完全不同的处理方法.如图1-4(c)所示,它是在进行压缩时从输入信号中导出一个特殊的低电平信号(副信号),然后加到主信号之中,在扩展时则从主信号中减去这个副信号.图1-4(c)中的副信号通路中的处理器,可以采用图1-4(a)所示的压缩方法.在这种杜比处理方式中,副信号分开处理,副信号通路不需要对整个范围的信号进行处理,而且经过线性通道的主信号,也不会受到可变增益通道的影响,从而保证了音质.此外,从图1-4(c)还可看出,录音和放音的处理电路甚为相似,因此可以通过开关转换使录音和放音共用一组电路.

1.2.2 杜比A型降噪系统

杜比A型降噪系统是英国杜比博士于1966年研制成功的,该系统性能比较完善,主要用于专业录音.

根据实验分析结果,音乐节目的信号大部分集中在80—3000Hz频段内,在高频及低频段的信号都比较低.为此,杜比A型降噪系统便采用滤波器将整个音频段划分成四段(如图1-5所示),即80Hz低通,80—3000Hz带通,3000—9000Hz带通,9000Hz带通.并在每一频段上设置一套由差分网络组成的压缩扩展器(如图1-6所示),分别对所

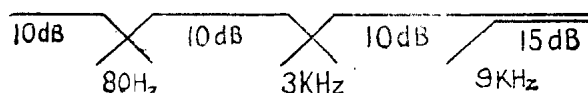


图 1-5 杜比A型降噪系统四段式频率分隔

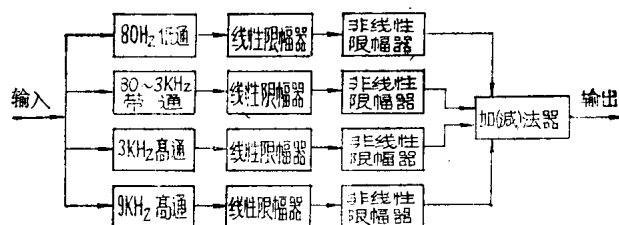


图 1-6 差分网络方框图

在频段的压缩扩展处理进行控制.其中低频段和中频段的压缩量为10dB,高频段为15dB.采取分段处理的优点是:一方面因各频段上的压缩扩展器是分开设置的,在一个频段内的信号不会影响其他频段信号的降噪,因而可抑制噪声调制;另一方面,频带相对变窄,从而使各种控制电路的启动和衰减时间值更为合理.这样,不仅能使呼吸噪声¹⁾得到基本解决,而且还能使瞬态特性得到进一步改善.总之,在正常的操作使用下,该系统在整个音频段的噪声抑制作用能得到充分的发挥,可获得约10dB的降噪效果.在高频段的降噪作用更为明显.图1-7为杜比A型降噪系统录音电路的原理方框图.

杜比A型降噪系统能在整个音频段上获得约10dB的降噪效果,其性能比较完善.但是其电路结构复杂,价格昂贵,故只适用于专业录音机.

1) 呼吸噪声也称喘息噪声,由于扩张器的增益随信号电平而变化,扩张了的噪声也随信号电平的变化而变化,听起来就像呼吸声一样,因此称之为呼吸噪声,

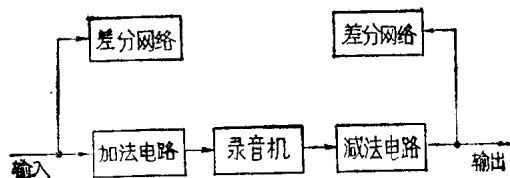


图 1-7 杜比A型降噪系统方框图

1.2.3 杜比B型降噪系统

1. 降噪原理

为了克服杜比A型降噪系统电路复杂，价格较贵，不易普及推广等缺点，杜比实验室于1969年又研制成功了杜比B型降噪系统。该系统是根据以下两个原则进行设计的：

首先，由人耳的掩蔽效应可知，在磁性录放音过程中，对于幅度大的信号来说，其信噪比不成问题，重要的是如何降低小信号时的噪声。为此，杜比B型降噪系统中所采用的处理方法是：信号越小，对其进行压缩与扩展的幅度就越大，如图1-8所示。

其次，对于磁性录音来说，磁带的噪声主要分布在中频和高频段，而对音乐信号和语言信号的分析测定表明，信号在中频段（400—2kHz）的功率谱密度最大，在低频段和高频段则较小。因此，在声音信号比较集中的中频段，信号在听觉上掩盖了噪声，使噪声很难被听出来。但在低频和高频段，噪声被淹没的机会就很少。由于人耳对低频“哼哼”噪声的敏感程度不及高频的“滋滋”噪声，即低频噪声人耳不易察觉。所以，杜比B型降噪的重点是抑制小信号的高频噪声。为此，如图1-8中所示，它只对高频段（500Hz到听觉上限频率范围）进行动态压缩与扩展处理；而且，为了在压缩时不使加到磁带上的磁场比不加压缩时更强而造成失真，对0dB以上输入几乎不进行压缩扩展处理。

杜比B型降噪系统采用图1-4(c)所示的压扩方式。现设压缩器的输入信号电压为 V_{Ri} ，压缩器副信号通路的传递函数（增益）为 A_R ，压缩器的输出电压为 V_{Ro} ，扩展器的输入电压为 V_{Pi} ，输出电压为 V_{Po} ，其副信号通路的传递函数（增益）为 A_P ，则有

$$V_{Ro} = V_{Ri} + A_R V_{Ri} = (1 + A_R) V_{Ri} \quad (1-1)$$

$$V_{Po} = V_{Pi} / (1 + A_P) \quad (1-2)$$

若

$$V_{Ro} = V_{Pi} \quad (1-3)$$

则

$$V_{Po} = \left(\frac{1 + A_R}{1 + A_P} \right) V_{Ri} \quad (1-4)$$

上式表明，若 $A_R = A_P = A$ ，则 $V_{Po} = V_{Ri}$ 。这就是说，要保证信号经压缩和扩展处理

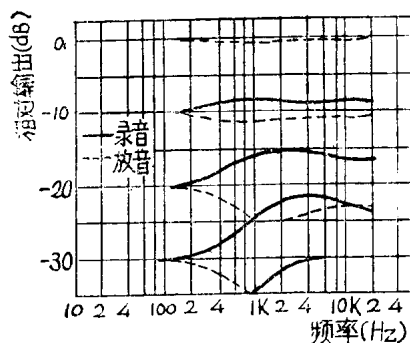


图 1-8 杜比B型降噪系统的频率特性

之后不失真，必须使压缩器和扩展器中的副信号通路的传递函数相等。因此，通过转换开关而共用同一组电路，这样既能保证信号不失真，又可节省电路，降低成本。

2. 电路组成及工作原理

图1-9是杜比B型降噪系统基本组成部分的方框图。由图可见，该系统的压缩和扩展采用同一套电路进行处理，由开关进行转换。录音时，输入信号通过放大器（A）之后，分为主信号通路和副信号通路。送入副信号通路的信号由于可变高通滤波器（C）的作用，只让输入信号中的低电平高频成分通过，经放大器（D）放大和限幅器（E）送到放大器（B）（加法器）与主信号同相组合（相加），在输出端即可获得低电平高频加强的信号。

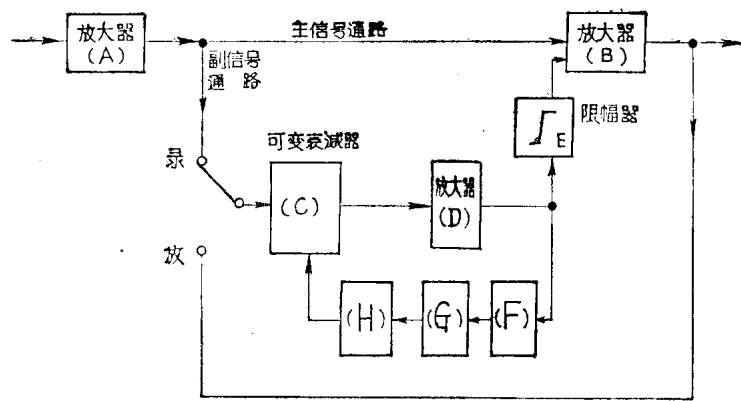


图 1-9 杜比B型降噪电路基本组成方框图

放音时，因信号在进入可变高通滤波器之前，先经过了放大器（B）倒相，从而使副信号通路的信号反相了 180° ，在放大器（B）中进行反相组合（相减），这样便得到了和录音时相反的特性。图1-10给出了杜比B型降噪系统的输入-输出特性。显然，录音和放音的特性是互补的。

在图1-9所示框图的副通路中，可变截止频率的高通滤波器是关键部分，滤波器的结构及其控制电路如图1-11所示。由图可知，截止频率可变高通滤波器由 C_1R_1 和 C_2R_2 及场效应管的漏源电阻 R_{Ds} 构成的两级RC滤波器组成。这里采用两级RC高通滤波器的

目的是为了有效地防止通带外的大信号对高频提升或衰减的影响，使滤波器在过渡带内具有12dB/倍频程的斜率，这样可以比一级RC滤波器更好地防止噪声调制。

由 R_1C_1 组成的第一级固定高通滤波器，其转折频率设计为1.5kHz左右，这是因为人耳对1kHz以上的高频噪声最为敏感，在此范围内噪声分布也最集中，根据转折效率

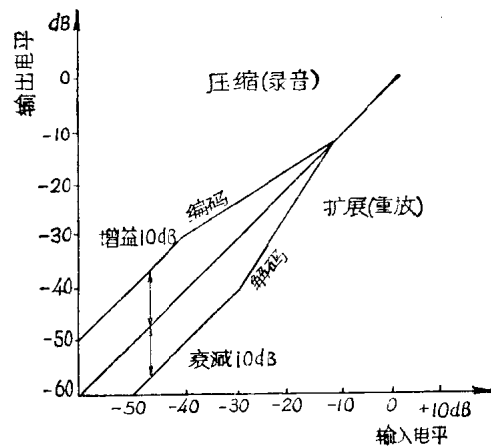


图 1-10 杜比B型降噪系统的输入-输出特性

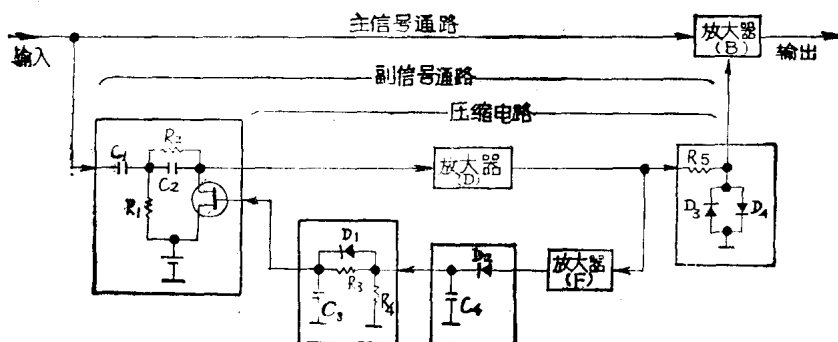


图 1-11 可变高通滤波器及其控制电路

$$f = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 1.5\text{kHz}$$

所以取

$$R_1 = 3.3\text{k}\Omega \quad C_1 = 0.0033\mu\text{F}$$

由 $C_2 R_2$ 和场效应管的漏源电阻 R_{DS} 组成的第二级滤波器是一种可变高通滤波器，当栅极受反馈电压控制的场效应管的漏源电阻 R_{DS} 变化时，其转折频率变化，同时还因 R_{DS} 与 R_2 构成分压器，使滤波器的衰减量也随之变化。

如果不考虑 C_2 的影响，则 R_{DS} 和 R_2 构成的分压器的作用是：当输入信号频率低于第一级 RC 滤波器的通带范围时，不论其幅度大小都不能进入副通道，或者虽在通带范围内，但幅度甚小，这时因控制电压很小使 R_{DS} 值接近无限大。因此滤波器对高音的衰减量为最小，即在压缩器输出的高频成分获得最大的提升（压缩），约为 10dB（即 3.6 倍）。当输入信号的高频成分足够大时， R_{DS} 随控制电压的增大而变小，即副通道的高音分量被衰减，相对的提升量就较前为小。输入高频幅度越大，衰减也越大，当高频幅度增大到接近杜比电平时，其衰减接近最大值，于是输出端将得到几乎没有提升的原始信号。这时，因掩蔽效应使噪声不明显，无需降噪。所谓杜比电平是指在该电平（标为 0dB）以下开始压缩和扩展，高于这个电平就无压缩和扩展作用。按照国际标准，盒式磁带的杜比电平定为 200nWb/m（对 400Hz）。

现在再考虑 C_2 的作用。若高电平的输入信号在滤波器通带内，当 R_{DS} 变小时，时间常数 $(R_{DS} \parallel R_2) \cdot C_2$ 变小，使高通滤波器的转折频率向高频方向偏移，从而构成一个通带可变的高通滤波器。这样，当输入的信号频率接近高通滤波器的转折频率时，若副通道的高频通带是固定的，虽然用了两级 RC 网络，仍然可能影响正常的高音频提升，产生噪声调制。现在滤波器的通带可变，遇到这种情况时，滤波器的通带会自动向频率高的方向偏移，使上述输入信号频率在通带频率以下，不影响正常的提升。图 1-12 表示三种不同频率（100Hz，500Hz，2kHz）高电平输入时，对于低电平的高频信号的频率响

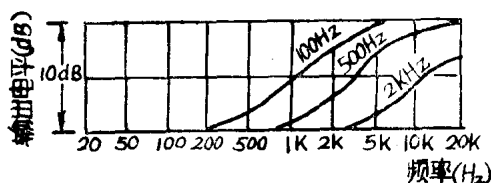


图 1-12 不同频率高电平输入时的响应曲线

三种不同频率（100Hz，500Hz，2kHz）高电平输入时，对于低电平的高频信号的频率响

应。例如,输入500Hz高电平信号时,对10kHz高频提升8—9dB,也就是可以降低噪声8—9dB;输入2kHz高电平信号时,对10kHz高频尚可使噪声下降4dB左右。若通带是固定的,当输入高电平的中音信号时,降噪量将很小。

场效应管漏源电阻 R_{DS} 的改变,是靠加在栅极上的反馈电压(直流)来控制的。经可变高通滤波器的副信号经放大器(D)放大后,取出一部分再经放大器(F)放大后,由二极管 D_2 进行整流,再经 C_3R_3 组成的平滑电路送到场效应管的栅极,当信号电平的变化量很小或变化缓慢时,二极管 D_1 不导通, C_3R_3 具有较大的时间常数(约100ms),整流电压的纹波完全被滤除,因而不会因残余纹波引起信号调制。当输入信号变化快或变化量大时, D_1 导通使时间常数减小,上升时间缩短至1.2—2ms左右,整流电压迅速地使 R_{DS} 变小,于是副通路的输出被封锁,从而避免了信号的过冲现象。可见,积分电路的时间常数能随信号电平的变化而变化。

对于大幅度的输入信号,为了使得输出中不致出现过冲,在副通路的输出端[放大器(D)之后]加接了一个由电阻 R_5 、二极管 D_3 和 D_4 组成的瞬时动作(非线性)限幅器,使过冲限制在2dB以下,时间在1—2ms之内。因为人耳对一个突增声音信号在开始的1ms内是辨别不清的,也即允许存在一些过冲。以上所述的过冲是不易察觉的。

另外,控制电压信号的恢复时间也要适当短。在一个高电平信号后紧跟着低电平信号时,控制信号既要能及时建立,又要在恢复正常听觉之前复原,但恢复时间也不能短到形成附加低频或产生调制失真。实践表明,当信号突然消失后,电路的恢复时间在100ms左右较为恰当,这时因信号的剩余掩蔽占优势,有噪声也难以听到。在恢复期内,因 C_3 放电, D_1 截止,故图1-11中 C_3 的放电时间常数为 $C_3(R_3 + R_4)$ 。

3. 实用杜比B型降噪电路分析

(1) 分立元件杜比B型降噪电路。

图1-13是用在盒式录音机中的一种比较典型的分立元件杜比B型降噪电路。图中的 T_1 , T_2 , T_7 构成录音时的主通道, T_3 为记录时的加法器, T_2 兼作放音时的减法器。 C_2 , C_3 , R_7 , T_3 (场效应管)构成截止频率可变的高通滤波器。 T_3 的预偏压由电位器 W_1 从公共电源取得,且可调整。 D_5 , R_{23} , C_{12} 为非线性积分电路,起平滑作用。 T_4 , T_6 构成瞬时动作的限幅器。 S_1 为杜比通、断开关。置于“断”的位置时,就将副通道信号短路到地,无扩展(预加重)输出,故总的记录输出无提升(加重)作用。

杜比放音时,将录、放转换开关 S_2 置于重放位置,经过高频扩展(预加重)处理后副通道信号就由 T_3 的发射极送到 T_2 的输入端,与 T_1 送出的主通道信号因相位相反而相减,于是经 T_2 的放音输出就是高频压缩(去加重)的信号,放音时, T_7 , T_3 不起作用。场效应管 T_3 的漏源电压很小,约2V左右,可用 W_1 来调整其内阻 R_{DS} 的极限值。

在小信号时, T_6 的输出很小,直流控制电压很低, T_3 很难导通;大信号时, T_3 完全导通,使 T_4 基极信号几乎被完全旁路,辅助通道无信号输出,故录音时不会有高频提升,放音也没有高频衰减作用,电路成为线性的。

(2) 集成杜比B型降噪电路。

随着集成电路工艺的迅速发展和杜比电路的不断完善,目前杜比B型降噪电路已集成化。图1-14是采用美国国家半导体公司生产的LM1011杜比B型集成块构成的降噪电

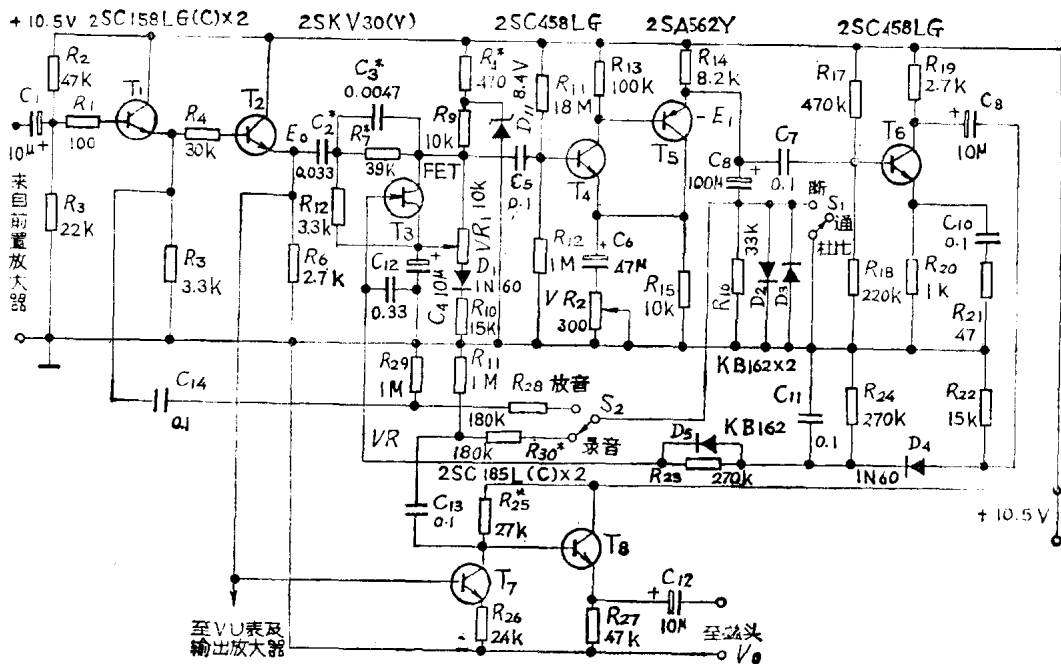


图 1-13 分立元件杜比B型降噪电路

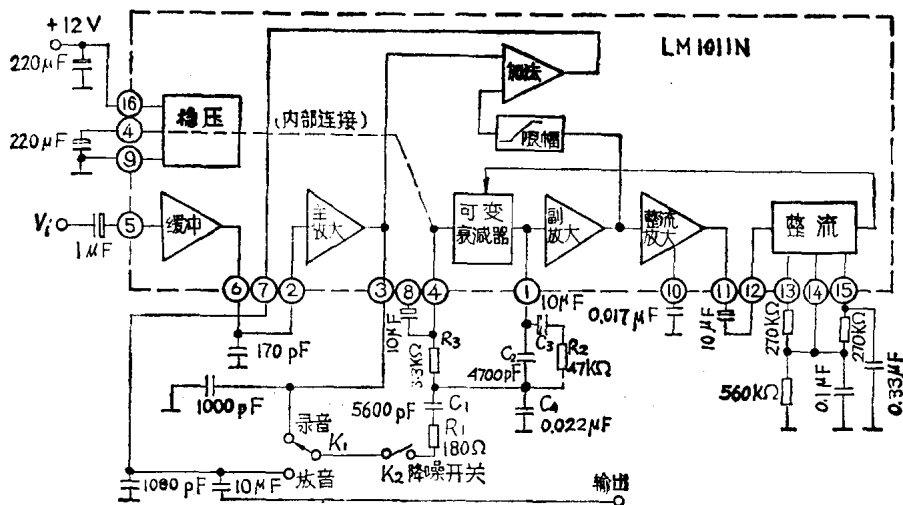


图 1-14 集成杜比B型降噪电路原理图

路。该集成电路内部由缓冲放大器、反相放大器、加法器、副通路放大器、限幅器、整流放大电路、非线性积分电路和可变电阻等部分组成。其特性参数如表1-2所示。其中缓冲放大器(⑤与⑥脚之间)的增益为10dB,反相放大器(②与③脚之间)增益为16dB。③与④脚之间的加(减)法器无增益(0dB)。在录音时,LM1011N的电路组成和作用基本上与图1-13相似。