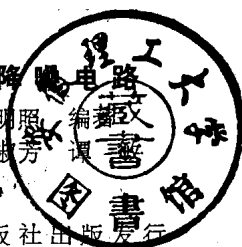


声 频 系 统 降 噪 电 路

陈其津 王明照 编著

声频系统降噪电路

陈其津 王明照 编著
责任编辑 李淑芳 译



重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆建筑专科学校印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张: 4.5 字数: 101千 插页: 3
1987年9月第一版 1987年9月第一次印刷

印数: 1-2,500

标准书号: ISBN 7-5624-0033-4 统一书号: 15408·25
TN·1 定 价: 0.78元

目 录

第一章 绪论

- 一、压缩-扩张作用 (1)
 - 1. 动态范围的压缩扩张 (1)
 - 2. 降低噪声作用 (2)
 - 3. 动态降噪作用 (3)
- 二、压扩器的应用 (5)
 - 1. 模拟信号的处理 (5)
 - 2. 数字信号的处理 (7)
 - 3. 一些概念问题 (8)

第二章 压扩原理

- 一、概述 (11)
- 二、声频与射频削波 (15)
 - 1. 声频削波 (15)
 - 2. 射频削波 (16)
- 三、基本压扩方式 (18)
 - 1. 基本结构 (18)
 - 2. 自动增益控制原理 (21)
 - 3. 压控衰减器件 (23)
 - 4. 自动增益控制环路的时间常数 (25)
 - 5. 立体声信号的自动增益控制 (26)
- 四、基本电路 (28)
 - 1. 控制管增益的电路 (28)
 - 2. 改变负载的电路 (28)
 - 3. 控制负反馈的电路 (31)

4. 压控衰减器电路..... (32)
5. 立体声电平控制电路..... (40)
6. 单片集成电路组成的压扩器..... (43)

第三章 互补型双端降噪系统

- 一、杜比降噪系统..... (47)
 1. 概述..... (47)
 2. 杜比 B 型系统原理..... (49)
 3. 实用电路..... (55)
- 二、自动降噪系统 (ANRS)..... (60)
 1. 概述..... (60)
 2. 工作原理..... (61)
 3. 系统原理..... (63)
- 三、dbx 降噪系统..... (66)
 1. 概述..... (66)
 2. 工作原理..... (67)
- 四、“再加入”型压缩器与“自适应”型扩张器..... (69)
 1. 概述..... (69)
 2. 压扩原理..... (72)
 3. 实用压扩器..... (77)

第四章 非互补型(单端)降噪系统

- 一、动态滤波器降噪电路..... (80)
 1. 概述..... (80)
 2. 原理..... (81)
 3. 电路介绍..... (81)
- 二、杜比 HX 系统..... (89)
 1. 概述..... (89)
 2. HX 系统原理..... (93)
 3. 电路说明..... (93)

三、声频限制器.....	(95)
1. 概述.....	(95)
2. 场效应管声频限制器.....	(96)
3. BFM-1514 R 立体声声频限制器.....	(99)
第五章 其他降噪系统	
一、多重控制环路的压扩系统.....	(102)
1. 双重控制系统.....	(102)
2. 三重控制系统.....	(104)
二、多频道与多重时间常数系统.....	(105)
1. 双频道控制的压扩系统.....	(105)
2. 多重时间常数控制系统.....	(107)
三、数字压扩系统.....	(115)
1. 概述.....	(115)
2. 常用压扩特性.....	(116)
参考文献	(120)

第一章 绪 论

一、压缩-扩张作用

1. 动态范围的压缩扩张

人们日常所处理的信号，其强弱变化往往是很大的，通常用动态范围来表示信号的强弱变化范围。例如，音乐演奏的动态范围可达 110 dB 以上^[1]。但是这些声频信号经过录制处理后，其动态范围常常被减小到 60 dB。这是因为一般录音设备的动态范围只有 60~65 dB 的缘故。因此，一个动态范围达 100dB 以上的声频信号被录音机记录以后再重放，必然会产生很大的动态范围失真。

磁带录音机可能记录的最大信号电平受饱和录音电平限制，或称限幅电平限制，当信号电平超过限幅电平时，信号产生失真；而可能记录的最小信号电平则受噪声电平限制，当信号电平低于噪声电平时，信号将被噪声掩盖。

由此可见，一个动态范围达 100dB 以上的音乐信号被动态范围只有 60 dB 的录音机记录下来再重放时，不仅会产生动态范围的失真，而且在信号很强时会产生非线性失真，信号很弱时会被噪声掩盖。

以上所叙及的信号用磁带储存时会产生动态范围失真的问题，对于唱片储存系统也同样存在。

同理，信号通过传输设备也会产生动态范围失真。例如，当音乐或语言信号通过无线电发射机传送时，对调幅发射机来说，如果信号电平过强会产生过调制，不仅造成信号

失真，也将使发射机过负载；如果信号太弱，则会被发射机噪声所掩盖。通常调幅发射机的动态范围大致为 40 dB 或更低，最大为 50 dB 左右。

通常一些音响、记录或传送设备极少给出动态范围的指标，即使是放大器也很少给出动态范围指标。不过，可以从设备的信噪比来衡量其动态范围。譬如，调幅发射机的信噪比（即百分之百调幅时的信号电平与无调制时的噪声电平之比）为 50 dB，则其动态范围不会大于 50 dB，因为信号电平过高会产生过调幅失真；如果信号电平比百分之百调幅时的电平还低 50 dB，则信号会被噪声掩盖。

综上所述，为了避免信号在记录和传输过程中产生失真、被噪声掩盖或使传输设备过负载，必须把信号的动态范围压缩为和记录或传送设备相应的动态范围。也就是说，在把信号输入到记录或传输设备之前，先通过信号电平压缩器把信号的动态范围加以压缩，在记录器的重放端或传输设备的信号解调终端，再加一个信号动态范围扩张器，恢复信号原来的动态范围。图 1-1 示出压缩和扩张的工作原理。压缩器与扩张器又简称为压扩器。

还应指出，在多路信号传输系统中，压扩器还起着避免或减小多路信号的通道之间相互串音干扰的作用。

2. 降低噪声作用

使用压扩器不仅可以改变记录或传输设备的动态范围，避免过负载失真或信号被噪声掩盖，而且还可以改善设备的输出信噪比。

假设一部录音机的噪声电平为 -45 dBm (dBm 为毫瓦分贝)，用来录取低于 -50 dBm 的信号时，显然这段信号将被噪声淹没。但是，若把此信号送进一个 2:1 的压缩器，经

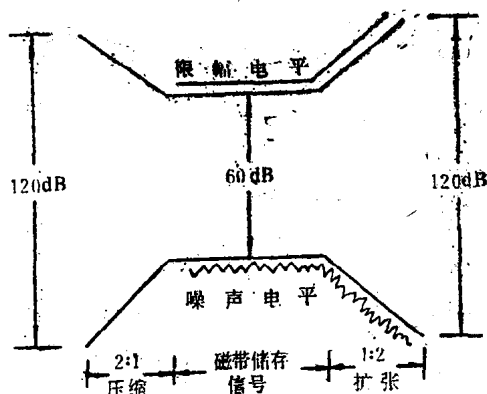


图 1-1 压扩器工作原理

过压缩后再输入录音机，此时， -50dBm 的信号被压缩到强度为 -25dBm ，比 -45dBm 的噪声已强 20dB 。在重放录音信号时，经过 $1:2$ 的扩张器，信号被扩张还原到 -50dBm ，而噪声也等量地扩张了 -25dBm ，变为 -70dBm ，信号仍然比噪声强 20dB ，可见压扩器起到了降低噪声、改善信噪比的作用。

3. 动态降噪作用

为了防止在强信号时记录或传输设备过负载，人们早就采用了限幅器或限幅放大器（简称限放器）。通常限放器又分为峰值限放器和音量限放器[2]。限放器的作用在于当输入信号峰值或平均值超过某一些预定值后，限放器输出信号的幅值保持恒定，具有如图 1-2 所示特性。限放器的缺点是波形易于失真，重放的信号将有很大的动态范围失真。因此，在高质量的设备中，常采用音量压缩器。音量压缩器与限放器不同之处在于，它是对整个工作动态范围进行压缩，压缩器的特性可以是线性的，也可以是平滑曲线性的，如图

1-3 A、B 所示。

采用压扩器可以避免信号顶部削波和动态范围失真，还

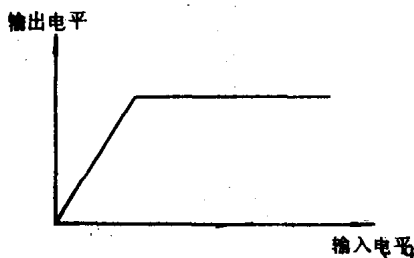


图 1-2 限幅器特性

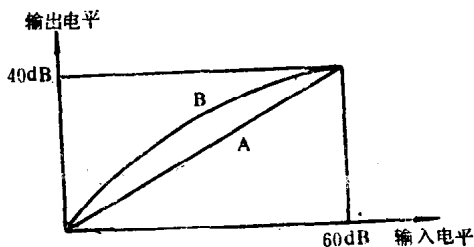


图 1-3 压缩器特性

有可能改善输出信噪比。但是,普遍压扩器还存在一些问题。通常音乐或语言信号的高音频成份比较弱,因此,记录或传输设备重放端的高音频段信噪比较低、中音频段差。上面讨论的压扩器,对整个音频段的信号都采用同样固定的压缩比率和扩张比率,不能较好地解决高音频段信噪比低的问题。

为此,发展了“动态降噪系统”,有的文献也称之为“动态噪声消减系统^[3]”。所谓的杜比(Dolby)降噪系统就是一种动态降噪系统。该系统一方面起压缩-扩张动态范围的作用,另一方面则动态地增强低电平信号,即根据低电平

信号输入电平的幅度高低以及频率的不同作不同程度的提升。对电平较低而频率又较高的信号作较大幅度的提升，从而改善高频低电平信号的信噪比。从以下章节可知，动态降噪系统通常是包含有压扩器在内的。

二、压扩器的应用

1. 模拟信号的处理

限放器或压缩器很早就广泛地用于调幅发射机上，除了可防止输入信号过强造成发射机过载以外，还可以提高调幅发射机的平均调幅度。例如，可使平均调幅度由26~28%提高到33~37%或更高[4]。图1-4是压缩器与发射机的连接图。

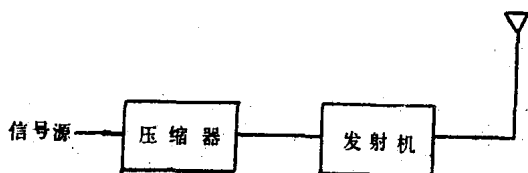


图 1-4

把压缩器用于调频发射机同样具有提高平均调制度和改善输出信噪比的作用。在导频制的调频立体声传送系统以及调频-调频方式的调频双节目传送系统中，由于副信道处在较高和较宽的频带位置，其信噪比较主信道差，故常在副信道接压扩器，以提高副信道的信噪比。

在一些步话机上采用动态压扩器也可改善输出信噪比[5]。传统方法是在步话机的调制器之前设置限幅器或限放器，以限制过大的输入音量。这种限幅或限放器的缺点是，音频信号过强时会因削波产生较大的失真；音频信号过弱时则输出信噪比变劣，往往使话音听不清楚。采用动态压扩器

既可使强音频信号不致产生大的失真，又可对弱音频信号动态地加以提升，使调频步话机的频偏加大，从而提高输出信噪比^[6]。图 1-5 是采用压扩器的通信步话机方块图。

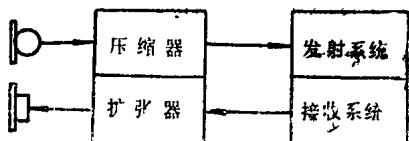


图 1-5

压缩器也被广泛地用于录音设备中，例如，用于磁带录音系统或唱片录制系统。一般磁带录音机的动态范围大致为 60 dB 上下，传统唱片的动态范围也大致如此。因此要获得大的动态范围和高的信噪比，通常都需加压缩器。图 1-6 给出录音机加压缩器的示意图。

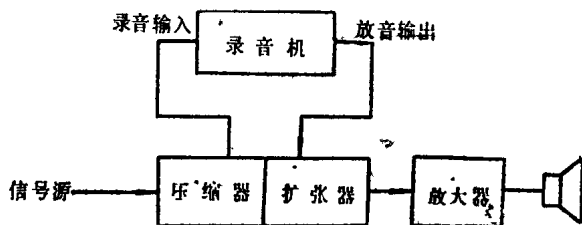


图 1-6

现今已出现多种低噪声压扩系统，其中杜比系统广泛地应用在录音机上。杜比系统有几种类型。最初的杜比 A 型系统主要用于磁带录音机；由于杜比 A 型系统比较复杂，故又发展了杜比 B 型系统，可用于一般发射机和接收机；最近又进一步发展了杜比 C 型系统，能大为提高信噪比。此外，自动降噪系统（ANRS）也是一种有效的低噪声压扩系统，另

一种 *dbx* 低噪声压扩系统，比前两种系统具有更高的信噪比改善，据称可有 30 dB 的信噪比改善。除了上述几种发展较早的低噪声压扩系统外，近几年还发展了所谓的 *High-Com* (*High Compressor*) 低噪声压扩系统，可有近 20dB 的信噪比改善。这种系统已被用于高质量的磁带录音机和一些步话机中。当然，也可用于其他通信系统上。从理论角度来看，这些系统既可用于记录系统，也可用于传输设备。

2. 数字信号的处理

以上述及的压扩器的作用与应用主要是对模拟信号系统而言。但是，压扩器同样对数字信号系统有用。例如，脉冲编码 (PCM) 系统就常常加压缩器以提高小幅度信号的信噪比。典型的实验结果表明：大约在 50% 的时间内，瞬时话音信号的幅度均低于有效信号的 $1/4$ 。所以，如果对脉冲编码调制系统采用均匀量化，则小幅度信号的信噪比将比大幅度信号的信噪比要差^[7]。如先使抽样信号经过压缩器，再进行线性编码，将分层作非线性划分，幅度小的区域，阶距小一些，这样，总的噪声功率将会减小，亦即提高了信噪比。

此外，压扩器也常用来减小脉冲编码信号的传输比特率。例如，一些高质量的数字式立体声信号录音设备，唱片设备或传输系统，为取得 80 dB 以至 90 dB 以上的信噪比，采用 14 比特或 16 比特编码。这样，脉冲编码后传送的数字信号带宽将 10 数倍于模拟信号的带宽。为了压缩脉冲编码信号带宽，亦即压缩传输比特率，可在 14 比特线性编码器之后加一个压缩器，把 14 比特压缩为 10 比特^[8]，这又叫做 10 比特非线性编码。在传输系统的接收终端再加扩张器恢复信号的动态范围。

数字信号传输系统使用的压扩器有 A 律和 μ 律两种压

扩特性。上面提到的数字式立体声信号传输系统，就是采用 A 律压扩特性。

综上所述，压扩器有广泛的用途，可用于各广播、通信传输（发送）系统和各种信号储存系统，如磁带录音系统或唱片系统。不论这些系统是模拟的还是数字化的，采用压扩器的好处都是很明显的，它可提高系统的动态范围和信噪比，压缩数字信号的传输比特率，提高发射机平均调制度，防止过强信号使一些储存与传输设备产生过载，减少多路传输系统各通道之间的串音。一些高质量（高保真度）的信号储存与传输系统几乎都装备了高质量的压扩器。例如，一些盒式录音机由于设置了象 High-Com 之类的低噪声压扩器，使输出信噪比由 58 dB 提高到 78 dB，大为突破传统模拟信号储存处理系统信噪比不超过 60 dB 的限制。

扩张动态范围曾被认为是制造高保真度的储存与传输设备的最后一道难题，这个提法虽然不尽确切，但也说明这是一个有待解决的问题。过去，不论是扩音机还是录音机、不论是发射机和接收机，尽管质量指标多达 10 多项，但都不给出动态范围指标，说明这个问题未能很好解决。近年来，有些扩音机和录音机已经给出动态范围的指标。例如，有的录音机配置了较好的低噪声压扩器，把动态范围扩张至 110 dB，信噪比提高到 91 dB。使得模拟信号储存系统的两项质量指标达到了数字信号储存系统的质量指标。可见低噪声压缩器对提高信号储存与传输设备的质量起着重大的作用。

3. 一些概念问题

在这里对有关压扩器的名称意义再加以说明，压扩器是按其功能来命名的。实际上还有多种称呼：如语言加工器[4]，降噪器[1]、动态噪声抑制器、动态噪声滤波器以及动态噪

声限制器等。亦有叫做音频处理器的。压扩器是对语言或音频信号进行加工处理的一种主要手段，故把压扩器归入语言加工器，称之为音频处理器也未尝不可。但是应指出，语言加工或音频处理并不限于对音频信号进行动态范围的压缩或扩张，压扩也不是唯一的处理手段。音频处理的范围很广，所以一个音频处理器并不等于就是一个压扩器，同样，压扩器可以起降噪作用，但是降噪器也不仅用压扩方式，还可采用其他方法降噪。另一方面，一些限放器、音频或射频削波器，自动音量控制或自动电平控制器也可归属压扩器的范畴。

压扩器利用自动增益控制原理，自动音量控制或自动电平控制也是利用自动增益控制原理，它们采用的电路可以完全一样。那么压缩器和自动音量或自动电平控制器有什么本质上的差别？或者说压缩器和一般自动增益控制电路有何区别？下面对这个基本概念问题加以阐明。

压缩器的一个重要作用是压缩信号的动态范围。也就是说，把信号的最小电平与最大电平之间的相对变化加以压缩。而一般的自动增益控制电路或自动电平控制器的作用则是限制或降低过高的信号电平，而不压缩信号的动态范围。例如在一些无压扩器的录音机中，都设有自动增益控制或自动电平控制电路，以防止在记录信号的过程中，因信号电平过强而导致磁饱和失真，但并不压缩信号的动态范围。

怎样使同一个自动增益控制电路又起自动电平控制作用，呈现压缩作用呢？其关键在于控制电路的恢复时间。压缩器和自动电平控制器都要求动作时间短（后者的动作时间可以较前者长），而自动电平控制器的恢复时间则应较压缩器长得多。因为恢复时间长，则在相当长的时间内，信号的电平不论是高还是低，放大器的增益都被降低了，因此不会产

生信号电平的压缩。如果控制的恢复时间很短，则意味着放大器增益会很快地增大，低电平信号的幅度会有所增高，其结果使得信号的动态范围被压缩。所以，如果自动增益控制电路的恢复时间很短的话，将起到压缩信号动态范围的作用。

在以后的章节中将举出一些实用的自动增益控制电路，既可作自动电平控制器，也可作压缩器，只是控制电路的时间常数不同而已。

在使用压缩器时，下述问题是需要注意的：信号通过压扩系统产生非线性失真，时间常数的选择，喘息效应，调制产物等。它们都会影响压扩器处理信号的质量。在下一章将结合电路分析进一步讨论这些问题，并介绍一些具体的解决方法。

第二章 压扩原理

一、概述

压缩或扩张信号动态范围的方法有多种，实用电路也很多。可以概括为下述三种基本类型：一种是限幅方式，或称削波方式，当输入信号超过某一电平时，其峰值即被削平，使输出信号幅值基本保持不变，或变化很小，某些声频或射频削波就属于这类方式；另一种方式，用自动增益控制（AGC）原理，把输入信号进行放大，整流（检波）后，将得到的直流电压作为一部分偏压，输入压缩器或扩张器（送入的部分偏压为负时，是压缩器，为正就是扩张器），某些自动音量控制（AVC）或自动电平控制（ALC）就是用自动增益控制原理；还有一种方式，利用负反馈原理，把输入信号进行放大、整流后，用所得的直流电压控制场效应管或半导体管的等效电阻，从而改变放大级的增益，或用上述直流电压来控制一系列二极管的导通或截止，以改变放大器的反馈深度和增益，实际上这也是一种自动增益控制方法。

在第一章第一节曾指出，对压扩器的主要要求是能起降噪作用。降低噪声有多种不同的方法^[1]，下面简要地加以介绍。

“静态”降噪方法

在调频信号传送系统中，常采用预加重和减重网络，以减小调频传输系统高频段的噪声。又如唱片系统采用的高音频预加重和减重网络，以及用在磁带录音系统的低频预加

重网络，都是为了减低记录系统高频或端低频端噪声。通常这些预加重-减重网络在时间常数确定后，网络参数和特性都是固定的，和信号的电平无关，所以这种降噪方法又称“静态”方法。

“动态”降噪方法

静态降噪方法的缺点是，低电平信号仍然容易被噪声淹没，为此，人们提出了“动态”降噪方法——根据不同的输入信号电平而作不同程度的压扩。其中只加动态压缩或只加动态扩张的做法叫“单端方式”，动态压缩和扩张同时加到记录或传输系统的做法，叫做“双端方式”或“互补方式”。目前的广播发送系统都加有压缩器或扩张器，但它们都属于单端方式，例如，收音机就极少加有相应的扩张器。

单端方式的传递特性如图 2-1 和图 2-2 所示。图 2-1(a)是最简单的方式，当信号电平低于某一电平时，用门电路（所谓低电平噪声门）把信号和噪声都消除掉，一些接收机设置的静噪电路就是利用这种原理；图 2-1(b)的方式则是采用步进门电路，当信号和噪声低于某一门限值时作有限的衰减，图 2-1(d)是相类似的方式，这两种都是单端低电平扩张方式。人们采用类似图 2-1(b)的方式做出了各种低噪声扩张器，如动态噪声抑制器、动态噪声滤波器以及动态噪声限制器等。图 2-1(c) 和 (e) 给出压缩器特性。

图 2-2(a) 与 (b) 是高电平限幅器与压缩器特性，图 2-2(c) 是高电平扩张器特性。显然都是单端方式。高电平限幅器和压缩器使用很广泛，如移动通信设备、步话机就常用限幅器，一些发射机采用的声频或射频削波器都属于高电平限幅或压缩方式。

单端方式的动态压缩或扩张虽然能够起到降噪作用，但