

压缩扩张器原理与应用

黄允祺 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了载波通信设备中广泛使用的晶体管压扩器和集成电路压扩器。首先讲述了压缩与扩张的基本概念,然后分别阐述晶体管压扩器和集成电路压扩器的工作原理、性能指标的测试、使用、维护和修理,以及压扩器的设计。文字通俗易懂,由浅入深,全书侧重物理概念的分析,有关压扩器主要参数进行的理论分析,设在附录中,以便于感兴趣的读者查考。

本书主要供从事载波设备研制、生产和维护的人员学习,也可供通信院校师生参考。

压缩扩张器原理与应用

黄允祺 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河南邮电印刷厂印刷

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12月第一版
印张: 9 16/32 页数: 152 1987年12月河南第1次印刷
字数: 216千字 印数: 1—1 650册
统一书号: 15045·总3395—有5513
定价: 1.80元

目 录

第一章 压缩与扩张的基本概念

- 1.1 压缩——扩张器的作用..... (1)
- 1.2 信号电平动态范围的压缩与扩张..... (2)
- 1.3 压扩器的几个基本概念..... (5)
- 1.4 压扩器的工作原理简述..... (13)
- 1.5 压扩器抑制电路串杂音的原理..... (19)

第二章 晶体管压扩器

- 2.1 变耗管的特性..... (27)
- 2.2 压缩器变耗电电路及压缩原理..... (37)
- 2.3 扩张器变耗电电路及扩张原理..... (46)
- 2.4 压扩器的整流控制电路..... (53)
- 2.5 压扩器放大器的原理和特点..... (65)
- 2.6 压扩器电路的工作原理..... (71)
- 2.7 非线性失真..... (81)
- 2.8 瞬变失真..... (95)
- 2.9 频率特性..... (105)
- 2.10 稳定性..... (110)

第三章 集成电路压扩器

- 3.1 差分变耗电电路与压扩原理..... (117)
- 3.2 集成运放整流控制电路..... (125)
- 3.3 实用电路..... (129)
- 3.4 非线性失真..... (136)

3.5 瞬变失真.....	(144)
3.6 频率特性.....	(146)
3.7 动态范围与压扩偏差.....	(150)
3.8 稳定性.....	(158)
3.9 噪声.....	(167)
3.10 介绍另一种集成压扩器.....	(168)

第四章 压扩器的设计

4.1 压扩器的技术指标.....	(171)
4.2 晶体管压扩器的设计举例.....	(175)
4.3 集成电路压扩器的设计举例.....	(191)

第五章 压扩器的调测

5.1 测试仪表和必要的测试工具.....	(212)
5.2 动态特性的调测.....	(217)
5.3 频率特性的测试.....	(224)
5.4 瞬态特性的测试.....	(227)
5.5 非线性失真的调测.....	(234)
5.6 其它指标的调测.....	(237)
5.7 压扩器抑制串杂音的测试和通话主观评价...	(239)

第六章 压扩器的使用和维护

6.1 压扩器的利弊.....	(245)
6.2 压扩器适用的范围及注意事项.....	(246)
6.3 日常调测和维修.....	(249)
6.4 故障检修的一般方法.....	(250)
6.5 晶体管压扩器典型故障及检修.....	(251)
6.6 集成电路压扩器典型故障及检修.....	(254)

附表 几种压扩器直流工作点参考数据.....	(257)
------------------------	---------

附录一 晶体管压缩器变耗电电路非线性失真的定

量分析·····	(260)
附录二 减小压缩器非线性失真的分析·····	(264)
附录三 扩张器变增益电路非线性失真的分析···	(266)
附录四 控制电路滤波不净造成的非线性失真 的分析·····	(268)
附录五 压缩器启动与恢复时间计算公式的推导	(273)
附录六 扩张器启动与恢复时间计算公式的推导	(277)
附录七 压扩器的瞬态失真相互抵消的条件·····	(279)
附录八 差放输入失调引起的非线性失真的公式 推导·····	(281)

附图

附图一 ZM203Ⅲ型压缩器电原理图·····	(285)
附图二 ZM203Ⅲ型音放扩张盘电原理图·····	(286)
附图三 TS—305型压缩器电原理图·····	(287)
附图四 TS—305型扩张器电原理图·····	(288)
附图五 QH—714型压缩器电原理图·····	(289)
附图六 QH—714型扩张器电原理图·····	(290)
附图七 环十路压缩器电原理图·····	(291)
附图八 环十路扩张器电原理图·····	(292)
附图九 12伏电源的集成电路扩张器·····	(293)
参考文献·····	(294)

第一章 压缩与扩张的基本概念

本章首先概述压缩器与扩张器在通信系统中的作用，接着介绍信号电平动态范围的压缩与扩张，压扩器中的几个基本概念，然后对压扩器的一般工作原理作简要介绍，以便为分析压扩器的具体电路打下基础。本章最后简单分析了压扩器抑制电路串杂音的原理。

1.1 压缩——扩张器的作用

电话信号在通信系统中传输时，不可避免地会受到各种噪声和串音的干扰，从而影响电话通信的质量，在干扰严重时甚至使通信无法进行。

串杂音对通话质量的影响主要取决于信号电平与串杂音电平的差值（称为信噪比）。如果信号电平与串杂音电平的差值越大，即信噪比越大，信号抗干扰的能力就越强，听到的话音就越清晰。一般说来，在没有超过通信系统的负荷时，电平高的信号总要比电平低的信号抗干扰的能力强。但是，人们讲话的音量大小是不同的、电话用户线的长短也是不同的，因此经过电话局送到载波通路输入端的信号电平的大小也就不同。由于线路对信号一般都有衰耗作用，所以通路输入端的信号电平通常都低于测试电平（ 0 dBm *）。例如，国际电报电话咨询

* dBm 表示换算到零相对电平点以 dBm 表示的绝对功率电平的单位。详见参考文献1《电信传输手册》一书。

委员会（简称CCITT）建议：电话信号的平均负荷为 -15 dBm₀。

为了提高弱电平信号的抗干扰能力，我们可以在通路的输入端加上压缩器，把弱信号的电平提高，使信号在传输过程中有较强的抗干扰能力。信号传到对方后，又用扩张器将信号电平还原，使信号不致于产生失真现象。所以压缩器与扩张器在通信系统中的作用就是提高信号的抗干扰能力，或者说是抑制串杂音的干扰。由于压缩器与扩张器总是分别装在电路的两端配合使用，不能分开，因此通常又统称为压缩——扩张器，或者简称压扩器。

目前，压扩器已经在载波通信设备中广泛地运用，收到了明显的效果。CCITT还对电话压扩器的特性、压扩器如何在电路中使用，以及什么样的电路需要使用压扩器等作出了详细的建议，读者可从本书以后章节中得到了解。

1.2 信号电平动态范围的压缩与扩张

人们在讲话时音量的大小是变化的，而通过受话器把话音转变成电信号后，电信号的大小也随之变化。

人讲话时最大音量与最小音量的比值用对数来表示称为话音的动态范围。音量的大小在物理上是用声压来表示的。声压的单位是帕（ $1\text{帕} = 1\text{牛顿/米}^2$ ）。话音的动态范围可用下式计算：

$$\text{话音的动态范围(分贝)} = 20\log_{10} \frac{\text{最大声压(帕)}}{\text{最小声压(帕)}}$$

(1-2-1)

话音的动态范围一般不超过40分贝，即最大声压与最小声压的比值为100。

话音变成电信号后，最大信号电平(P_{max})与最小信号电平(P_{min})的差值称为信号电平的动态范围：

$$\text{信号电平动态范围(分贝)} = P_{max} - P_{min} \quad (1-2-2)$$

一般说来，信号电平的动态范围与话音的动态范围并不完全一致，这是由于受话器的特性以及传输方面的原因。考虑到电话用户线的长度不同，衰减也不同，如果再经过几次交换或转接，则载波通路输入端的信号电平动态范围最大可达60分贝。例如，以载波通路的测试零电平(0 dBm0)为标准，信号电平的最高值为+8 dBm0，最低值为-52 dBm0。信号电平的动态范围为+8 - (-52) = 60(dB)。相当于电压比为1000。

要无失真地传送动态范围这样宽的信号，对载波电路的要求是很高的。信号电平动态范围的上限受载波通过负荷点的限制；动态范围的下限则被通路的噪声所限制。

为了便于在载波通路中传送，特别是为了增强弱信号的抗干扰能力，在通路的输入处需要把信号电平的动态范围加以压缩。即把电平高的信号降低，而把电平低的信号提高。例如把高电平+8 dBm0降低为+4 dBm0，把低电平-52 dBm0提高为-26 dBm0，这时信号电平的动态范围由60dB压缩为30 dB。而后再将这种电平压缩的信号送入通路。到了通路的输出处，又需要把信号电平的动态范围加以扩张，以恢复信号电平的动态范围。例如把上述的+4 dBm0升高为+8 dBm0，把-26 dBm0降低为-52 dBm0，从而恢复了原信号60dB的动态范围。信号电平动态范围的压缩与扩张，一般简称为电平的压缩与扩张。

压缩信号电平动态范围的装置称为压缩器。扩张信号电平

动态范围的装置称为扩张器。压缩器和扩张器分别用图1-2-1 (a)与(b)所示的符号来表示。

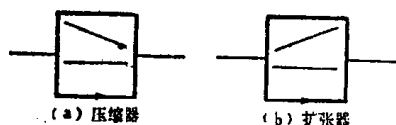


图1-2-1 压缩器与扩张器符号

虽然压缩器对信号的作用用衰耗表示,但信号电平动态范围的压缩与信号电平的衰耗是两个完全不同的概念。

衰减器对所有不同电平的信号都一律对待,即都衰减一个固定值,信号通过衰减器后,其电平的动态范围保持不变。例如上述从+8 dBm到-52 dBm的信号通过一个10 dB的衰减器后,信号衰减为-2 dBm~-62 dBm,其动态范围仍然保持60 dB不变。最大信号电压 U_{max} 与最小信号电压 U_{min} 的比值为:

$$\frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{10^{\frac{P_{max}/20}}}{10^{\frac{P_{min}/20}}} = 10^{\frac{P_{max} - P_{min}}{20}} = 10^{\frac{\Delta P}{20}} = 1000$$

$\Delta P = P_{max} - P_{min} = 60$ (dB) 为电平的动态范围。衰减前后的电压比值是相同的。

而信号通过压缩器后,电平的动态范围发生了变化。最大信号电压与最小信号电压的比值由压缩前的1000变为压缩后:

$$\frac{U'_{max}}{U'_{min}} = 10^{\frac{\Delta P'}{20}} = 10^{\frac{30}{20}} = 31.6 = \sqrt{1000}$$

$\Delta P' = P'_{max} - P'_{min}$ 为压缩后的电平动态范围。

压缩前后的电压比值成平方关系。

扩张与放大也是两个根本不同的概念。所有不同电平的信号通过放大器后,都以相同的倍数被放大,信号电平的动态范围保持不变,而扩张器则改变了信号电平的动态范围。但扩张

器对信号的作用仍用增益表示。

压缩器与扩张器有上述相反的作用，因此在电路中，压缩器与扩张器一般都应该配合使用，以保证信号电平通过载波通路后，输出与输入电压保持线性关系。

压缩器（或扩张器）的输出与输入信号不呈线性关系，这是对不同时间加不同电平的信号而言。从后面分析将看到，在同一瞬间，对加上不同电平不同频率的信号，压缩器（或扩张器）应具有同样的衰耗或增益。也就是说，在同一瞬间，压缩器（或扩张器）对不同频率信号其输出与输入电压间的关系仍保持线性。在理想情况下，信号通过压扩器不应产生频率失真或互调现象。

1.3 压扩器的几个基本概念

压扩器装设的位置

在载波设备中，压缩器与扩张器一般分别装于通路四线电路的两端。压缩器装于发信支路，通路调幅器之前；扩张器装于收信支路，音频放大器之后。两个装置的位置如图1-3-1所示。

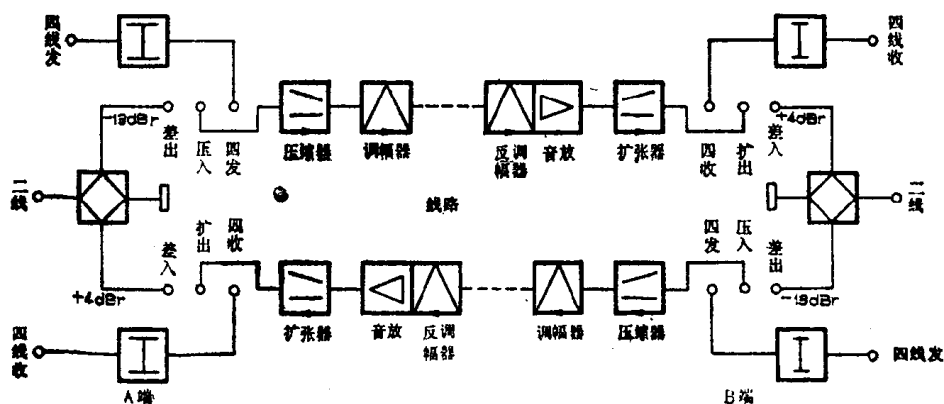


图 1-3-1 压缩器与扩张器在载波通路中的位置

压缩器的零增益电平

压缩器所在的“通路调幅入”点的测试电平是 -13dBr^* 。为了使在发送支路加或不加压缩器情况下，后面各点的测试电平均保持不变，可以适当地调整压缩器，使它在 -13dBm 、 800Hz 的信号输入时，输出端的电平仍为 -13dBm 。显然，在输入这一绝对电平时，压缩器对信号既无增益又无衰耗，因此称这个绝对电平（ -13dBm ）为压缩器的零增益电平 P_{oc}^{**} 。

扩张器的零增益电平

扩张器通常装在收信支路的音频放大器输出端，这点的测试电平为 $+4\text{dBr}$ 。因此可以适当地设计和调整扩张器，使扩张器在输入 $+4\text{dBm}$ 、 800Hz 的信号时，其输出端的电平仍然为 $+4\text{dBm}$ 。在这个绝对电平时，扩张器既无增益又无衰耗，我们称这个绝对电平为扩张器的零增益电平 P_{op} 。

一般说来，压缩器与扩张器的零增益电平就是装压扩器点的测试电平。也就是说，零增益电平原则上应该是 0dBm_0 。这样，在加装压扩器后，载波电路各点的测试电平才不致发生变化。但是在通路较多时，零增益电平也可以调整到 0dBm_0 以下，以减少载波群路设备过负荷的危险，有关这一问题，将在第六章叙述。

压缩比与扩张比

当压缩器的输入信号电平高于零增益电平 P_{oc} 时，压缩器

*根据国家标准GB3384—82《模拟载波通信网络接口参数》的规定，对于“四线发”电平，新设计的设备应该改为 -14dBr ，老设备可继续采用 -13dBr 。对于“四线收”电平，一律应该采用 $+4\text{dBr}$ 。考虑到在本书出版时，现有设备的“四线发”电平都是 -13dBr ，而“四线收”电平虽然为 $+4.3\text{dBr}$ ，但与 $+4\text{dBr}$ 的误差不大，因此在本书中，“四线发”电平按 -13dBr ，“四线收”电平则按 $+4\text{dBr}$ 来考虑。

**CCITT的G162号建议，定义“Unaffected Level”直译为“不受影响电平”。考虑到我国的习惯，仍然采用“零增益电平”这个词。

将对信号产生衰耗作用；当输入信号电平低于零增益电平 P_{0t} 时，压缩器对信号产生增益。我们仍以前述动态范围为 $+8 \sim -52\text{dBm}$ 的信号为例，说明压缩器输入与输出端的电平关系。

设压缩器的零增益电平为 -13dBm 。在输入端， $+8\text{dBm}$ 相当于绝对电平为 $-13 + 8 = -5(\text{dBm})$ ；而 -52dBm 相当于 $-13 + (-52) = -65(\text{dBm})$ 。

1.2节已指出，信号通过压缩器后， $+8\text{dBm}$ 压缩为 $+4\text{dBm}$ ，相当于绝对电平为 $-13 + 4 = -9(\text{dBm})$ ；而 -52dBm 被压缩为 -26dBm ，相当于 $-13 + (-26) = -39(\text{dBm})$ 。对于中间其他任何输入电平值，也可以得到相应的输出电平值。压缩器的输出与输入电平的关系——即压缩特性——可以用图 1-3-2(a) 或 (b) 来表示。

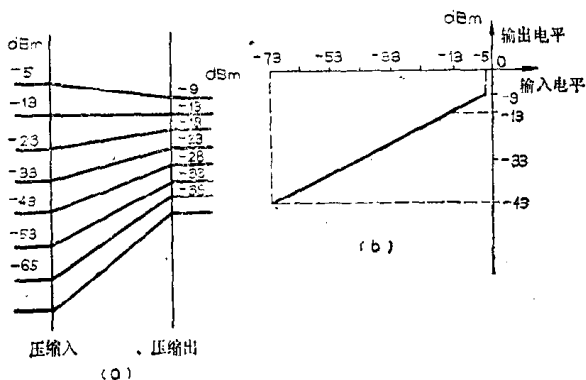


图 1-3-2 压缩器的输出与输入电平的关系

图 1-3-2 所示的电平关系，可用下式来表示：

$$\alpha = \frac{P_{cin} - P_{ec}}{P_{cout} - P_{ec}} \quad (1-3-1)$$

*“压缩器”英文为 Compressor，扩张器为 expander，因此压缩器脚标用 c 表示，扩张器用 p 表示；而 in 表示输入，out 表示输出。下文均采用这些记号作为脚标。

式(1-8-1)中, P_{oc} 为压缩器的零增益电平(dBm); P_{out} 为压缩器的输出电平(dBm); P_{in} 为压缩器的输入电平(dBm); α 称为压缩器的压缩比, 它表示输入电平变化量与输出电平变化量的比值。

把图1-8-2(a)所示的任一条线两端的数值代入式(1-8-1), 即可计算压缩比 α 。

例如, $P_{in} = -5$ dBm时, $P_{out} = -9$ dBm, 则有:

$$\alpha = \frac{-5 - (-13)}{-9 - (-13)} = 2$$

又如, $P_{in} = -43$ dBm时, $P_{out} = -28$ dBm

$$\alpha = \frac{-43 - (-13)}{-28 - (-13)} = 2$$

由此可见, α 等于一个常数2。

在模拟载波通信中, 压缩器的压缩比 α 一般取值为2*。这个数值应该在规定的动态范围内近似不变。

在其它电子设备中使用时, 压缩比也可以比2大得多, 也可以不是一个常数。例如, 自动增益控制(AGC)放大器就是一种压缩比很大的特殊压缩器。当输入电平变化达几十分贝时, 输出电平的变化仅几个分贝或零点几分贝, 它的压缩比可达几十到几百。但是自动增益控制放大器的增益往往是靠载波电平或导频电平来控制的, 与本书叙述的音节压缩器是不同的, 对此本书不再讨论。

本书在不特别说明时, 都认为压缩比 α 为2, 因此, 将式(1-8-1)适当变换后可得:

*有些文章中, 压缩比的定义为本书定义的压缩比的倒数, 取值为1/2。本书与CCITT的G162号建议一致。

$$P_{\text{out}} = \frac{1}{2} (P_{\text{cin}} + P_{\text{oc}}) \quad (1-3-2)$$

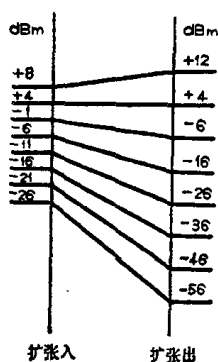
式(1-3-2)可以很方便地计算压缩器在任一输入电平下的输出电平值。例如, 设 $P_{\text{cin}} = -65\text{dBm}$ 时,

$$P_{\text{out}} = \frac{1}{2} [-65 + (-13)] = -39(\text{dBm})$$

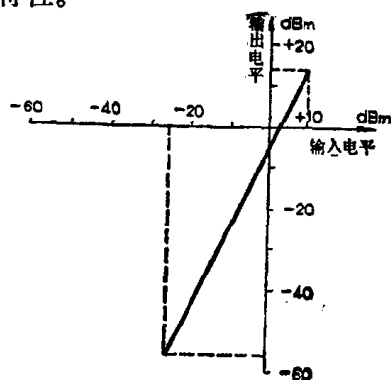
又当 $P_{\text{cin}} = -13\text{dBm}$ 时,

$$P_{\text{out}} = \frac{1}{2} [-13 + (-13)] = -13(\text{dBm})$$

对于扩张器, 零增益电平为 $+4\text{dBm}$, 我们也可以像压缩器那样, 绘出它的输出电平与输入电平的关系, 见图1-3-3所示。这种关系称之为扩张特性。



(a)



(b)

图1-3-3 扩张器输出电平与输入电平的关系

扩张器的扩张比, 定义为扩张器的输出电平变化量与输入电平变化量的比值, 可用下式表示:

$$\beta = \frac{P_{\text{out}} - P_{\text{op}}}{P_{\text{in}} - P_{\text{op}}} \quad (1-3-3)$$

式 (1-3-3) 中, P_{0p} 为扩张器的零增益电平 (dBm), P_{0in} 为扩张器的输入电平 (dBm), P_{0out} 为扩张器的输出电平 (dBm), β 为扩张比。

在模拟载波中, 扩张器扩张比的优选值也是 2。在其他设备中, 例如, 导频扩张器, 扩张比就远大于 2, 达几十到几百, 本书也不将其作为讨论的内容。下文在不特别说明时, 也认为扩张比 β 等于 2。

将式 (1-3-3) 适当变换后, 可得:

$$P_{out} = 2P_{in} - P_{0t} \quad (1-3-4)$$

利用式 (1-3-4), 也可以根据扩张器的输入电平计算其输出电平值。例如 $P_{in} = -22$ dBm 时, $P_{out} = 2 \times (-22) - 4 = -48$ (dBm)。

用 dBm0 表示压扩器的电平关系

为了更清楚地表示装上压扩器后, 整个载波通路电平变化的情况, 我们给出载波通路的电平动态范围压缩与扩张的电平图, 见图 1-3-4。其中线路部分实际包括整个载波通路在压缩器与扩张器之间的所有部分, 即包括通路调制器与反调制器, 群路设备和线路等。

压缩器与扩张器的电平关系用绝对电平 dBm 来表示不太方便, 图 1-3-4 就比较复杂。而且当压缩器或扩张器的零增益电平改变时, 图中标注的数值都要相应改变, 本书以后各章节的许多公式和解释也会变得很繁琐。为叙述方便, 把压缩器和扩张器的输入与输出电平, 都折算到零相对电平点计算, 用 dBm0 表示, 即

$$dBm0 = dBm - dBr$$

dBr 是该点的测试电平, dBm 是信号的绝对电平。

由于压缩器的零增益电平一般等于压缩器安装点的测试电

平值, 所以 $P_{oc} = -13\text{dBm}$, 用 dBm_0 表示为:

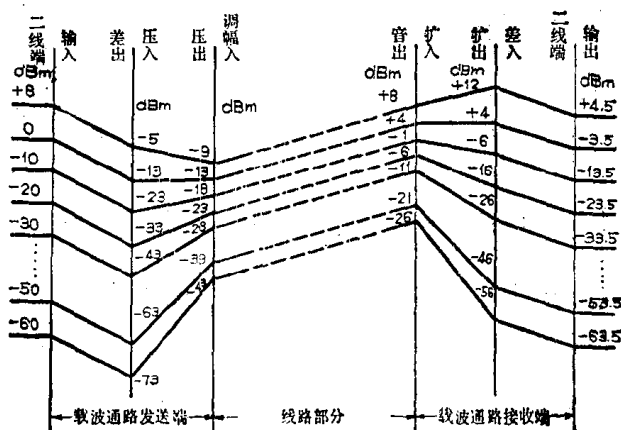


图 1-3-4 载波通路信号电平动态范围的压缩与扩张

$$P_{oc}^{\circ} = -13 - (-13) = 0 (\text{dBm}_0)$$

P° 表示用 dBm_0 作单位的电平。

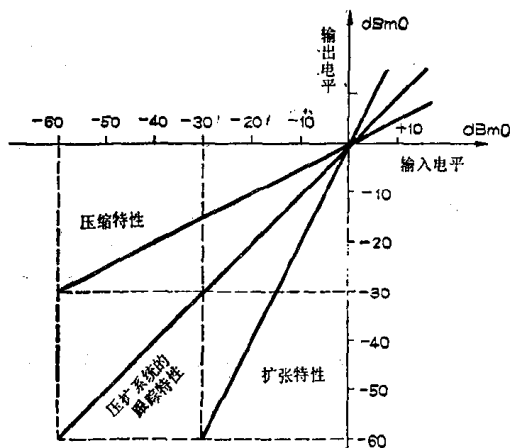


图 1-3-5 压扩器的压扩特性

同样, 扩张器的零增益电平 $P_{op} = +4\text{dBm}$, 用 dBm_0 表示时, $P_{op}^{\circ} = 0\text{dBm}_0$

用 dBm_0 表示电平后, 可以把压缩器与扩张器的电平关系用图 1-3-5 表示。

横坐标表示输入电平, 纵坐标表示输出电平, 单位均为 dBm_0 。

这种表示法简明扼要, 以后要经常采用, 希望大家熟悉。

用dBm0表示时，式(1-3-2)可简化为：

$$P^{\circ}_{out} = \frac{1}{2} P^{\circ}_{in} \quad (1-3-5)$$

式(1-2-4)也可以简化为：

$$P^{\circ}_{out} = 2P^{\circ}_{in} \quad (1-3-6)$$

这样，扩张器的输入电平 P°_{in} 就等于压缩器的输出电平 P°_{out} 。将式(1-3-5)代入式(1-3-6)可得：

$$P^{\circ}_{out} = 2P^{\circ}_{in} = 2P^{\circ}_{out} = 2 \times \frac{1}{2} P^{\circ}_{in} = P^{\circ}_{in} \quad (1-3-7)$$

式(1-3-7)表示在压缩比与扩张比都等于2的理想情况下，信号电平通过压扩系统后，电平关系完全不变。对这种情况，我们称压扩器的电平是完全跟踪的，见图(1-3-5)所示。

但是，实际制作的压缩器的压缩比与扩张器的扩张比不可能保持不变，即使在要求的动态范围内，也有一定偏差，对此，可分别用压缩偏差或扩张偏差来表示。而压扩系统不能完全跟踪所产生的偏差则称为跟踪偏差，对其详细情况将在后面相关章节中介绍。

用dBm0表示压扩器电平还有一个优点，即如果知道某个输入信号的dBm0值，这个信号通过压缩器（或扩张器）后受到多大的衰耗（或增益）就立刻可知。上面讲过，压缩器对信号的作用用衰耗来表示。例如，-20dBm0的信号输入压缩器，它应该受到 $\frac{1}{2} P^{\circ}_{in} = \frac{-20}{2} = -10(\text{dB})$ 的衰耗，即电平提

高10dB。而+8dBm0的信号输入，则应受到 $\frac{8}{2} = 4(\text{dB})$ 的衰耗。