

长话电信 压缩-扩展器

苏联 B. B. 施塔盖尔 著

刘 侃 译

人民邮电出版社

序

在祖国各个角落建立新的工業中心及組織国营农場和农業机器站，都需要普遍發展技术上完善的長途电话通信。

电话通信主要質量指标之一，是对串杂音干扰的防扰度。^①这本“压缩-扩展器及其在長途电信工程上的应用”^②講义，叙述了几种提高長途电信通路防扰度的方法，从而指出，借助於对傳輸动态范围的压缩和扩展而使通路动态特性發生連續影响的方法，是其中最有效的方法。

講义內对非綫性被控元件的各种变电位电路作了分析。根据这些分析，推論出几种具有直綫性动态特性的压缩器和扩展器电路；說明了主要部件的計算程序，並叙述了电话通路所用的压缩-扩展器的原理电路；举出了對於压缩-扩展器作用的有效度(對於綫路杂音和各回路間串音干扰的遏止作用)的客觀和主觀估計；研究了通路內由压缩-扩展器所引起的各种失真和减小这些失真的方法。在附录中，分列了压缩-扩展器在制造时和运用过程中的配准、調节和測試等問題。

苏联邮电部技术处

譯註(一)，即 Защищённость，有人譯为防礙度，也有人譯为防护度。

譯註(二)，本書改用「長途电信压缩-扩展器」譯名

目 录

序

1. 杂音遏止方法的分类	1
2. 惯性作用式压缩-扩展器的构造原理和动态特性	4
3. 各种变电位电路内元件间的基本关系	11
4. 压缩-扩展器电路主要部件的计算原理	19
5. 关于电话通路压缩-扩展器的原理电路的说明	32
6. 压缩-扩展器作用的有效度	35
7. 压缩-扩展器引起的非线性失真和动态失真及减小 这些失真的方法	41
8. 压缩-扩展器的频率特性以及装置了压缩-扩展 器的通路的频率特性	51
9. 压缩-扩展器特性的恒定度	53
10. 装置了压缩-扩展器的通路的恒定度	58
附 录:	
1. 非线性电阻的测定和挑选	60
2. 电话通路压缩-扩展器的配准和测定	61
3. 使压缩-扩展器电路能够接入 ME-8、CMT-34 和 MG-15 系统而必需的改变	65

杂音遏止方法的分类

电话通路、广播通路和录音系统的线路杂音和设备本身杂音，可以使用各种不同的方法来减低。不过，这些方法中大多数由于效果很小或由于在通路内加入的额外失真很大，在应用方面受到了限制。

圖 1 列出提高电信通路防扰度的各种方法的分类。现在把每一种方法加以讨论。

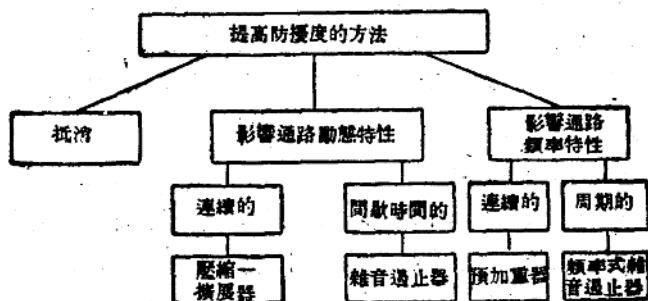


圖 1. 提高电信通路防扰度的各种方法的分类

抵消杂音的方法 只在杂音不断作用着而其特性不随时间变化（或大致不变）的场合才能应用。

影响通路频率特性的方法 可由两种不同的方法实现：連續影响法（以后称做静态影响法）和週期影响法（以后称做动态影响法）。

对通路频率特性給以静态影响，是先把含有常参数的二端

或四端無源網絡接入通路內，這些網絡組成所謂頻率預加重器，使發送頻帶邊緣頻率的電平提高。因此，這些頻率的原來比較低的最高動態傳輸電平得到了補償。在通路的接收部分，根據包括預加重器在內的整個通路所引起的全部振幅-頻率失真來對頻率特性進行修正。

作為預加重器的四端網絡是比較簡單而足夠恒定的，不過，應用頻率預加重的效果並不很大。在雜音能量沿頻譜均勻分佈的情形，頻率預加重方法能夠保證將防擾度提高 $0.2 \sim 0.3$ 奈培（指雜音計量得的雜音電壓比），如果雜音是集中在通路頻帶的中間部分（例如，音頻電話回路相互間有干擾時，這種情況就會發生），則防擾度的改善比上述數值更小，頻率預加重器的應用就沒有意義。

在通路頻率特性的靜態影響方法中，也可以使用其他網絡，把發送的載波頻率遏止，而後在通路的接收部分把載波頻率還原。但是，只有在採用載波頻率傳輸制的情形，才適合連接這種網絡，它可以提高防擾度 $0.8 \sim 1.0$ 奈培。

這樣，通路頻率特性的靜態影響法並不能保證把通路防擾度顯著地提高。

通路頻率特性的動態影響法，主要是使用頻率式雜音遏止器，它的作用是依照訊號電平的降低程度使還原的頻帶縮狹。在話音傳輸的間歇時間，頻帶最狹，因而雜音遏止最多。這種方法也能保證使處在工作動態範圍以內的雜音有些降低。但是，通過頻帶依照傳輸電平的降低而縮狹，會使有用訊號對雜音的遮蓋程度隨着減低，因而遏止雜音的效果亦就減小。

圖 2 示頻率式雜音遏止器方框圖。在這圖中，頻帶借助于可變電容從最高頻率方面縮狹。利用電抗管的動態電容作為可變電容，這動態電容的大小，由控制回路中的已整流訊號調節。

在更完善的這類電路方式中，最高頻率方面和最低頻率方面都能使頻帶縮狹。這時，使用兩個不同的電抗管，

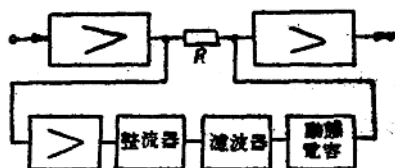


圖 2. 頻率式雜音遏止器方框圖

一個作為可變電容，另一個作為可變電感。這種裝置可使通路的雜音防擾度提高 2 奈培。但在長途電信通路內，依照傳輸電平的降低使頻譜顯著地縮狹是不容許的，因此頻率動態影響法不能應用。

影響通路動態特性法 可以是連續影響的，或者是在傳輸的間歇時間內影響的，這時需要特殊的設備，其傳輸常數依輸入訊號電平的大小而改變。

連續影響的方法通常是利用壓縮-擴展器，它能在發送端改變通路動態特性，並在接收端恢復傳輸動態圖。在壓縮-擴展器輸入端的訊號如有變化，它的傳輸常數即隨着改變。壓縮-擴展器可以是瞬時作用的，也可以是慣性作用的。

在傳輸間歇時間對通路動態特性給以影響的方法，是利用雜音遏止器。雜音遏止器的增益率，可有兩個穩定的工作情況。任何輸入電平的值，如果在工作採用的傳輸動態範圍以內，雜音遏止器的增益率等於 1。如果輸入端訊號電平小於工作

动态范围规定的低限值，则杂音遏止器的增益率小于 1。这就是说，在这种情况下，杂音遏止器引起衰减，它的值可达 2 奈培。上述后一个稳定情况，是在传输的间歇时间，使杂音遏止。

利用压缩-扩展器影响通路动态特性的方法，在所讨论的方法中最为有效，它的应用使加入通路中的额外失真最小，因而它是提高长途电信通路防扰度的主要方法。

2. 惯性作用式压缩-扩展器的构造原理和动态特性

压缩-扩展器是将发送的动态范围连续地压缩，然后在通路的接收端将动态范围扩展。

在通路的发送端，压缩器将动态范围压缩；在通路的接收端，扩展器将它扩展。

压缩器是接在四线通路的输入端，直接接在混合线圈后面；扩展器是接在同一通路的末端，直接接在混合线圈前面。

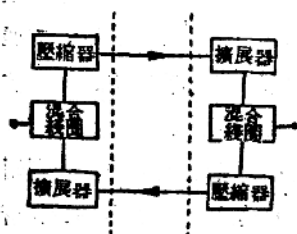


图 3. 压缩-扩展器接入电话通路的简图

这样的压缩器和扩展器布置（如图 3 所示的），不是唯一可能的方式，但它是最适宜的方式，因为它可能把压缩器与扩展器之间所接高频通路设备方面的全部杂音遏止。

凡是和有用信号一同进入压缩器输入端的杂音，或经过扩展

器后进入接收路由的杂音，它们的电平仍旧保留不变。压缩-扩展器能够使传输间歇时间的信号杂音比提高，并且，倘使信号电平低于测试电平，它又能使信号传输时间的信号杂音比提高。

这种设备的作用由图4所示的电平图说明。

图4a示相对传输电平图，这里将测试电平作为零增益电平或零衰减电平^①。

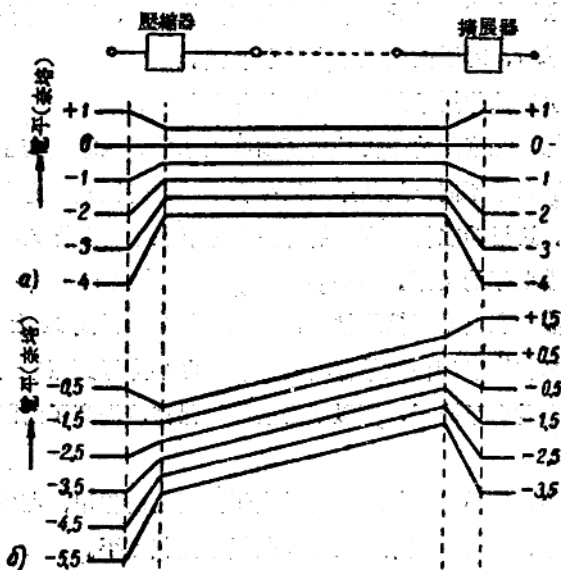


图4. 装置了压缩-扩展器的通路的电平图:

a) 无增益; b) 有增益2奈培

註①: 通过压缩器(或扩展器)没有变化的信号电平称作零增益(或衰减)电平。

当压缩器和扩展器接入长途电信通路时，它们的零增益和零衰减电平通常要选择得使测试电平不致改变。

例如在 B-3 和 B-12 系统内接入的压缩器和扩展器，它们的零增益电平和零衰减电平相应地为 -1.5 奈培和 $+0.5$ 奈培。这种情形（当这些设备连接具有 2 奈培增益的放大器时）的电平图如图 46 所示。

动态范围得以压缩的原因，是由于压缩器传输常数随输入端信号电平变化。对于比零增益电平低的信号，压缩器在通路内给以增益，对于其他信号则给以衰减。

扩展器的作用总是与压缩器的作用相反。

全部动态范围的变化是由压缩度表示的。压缩度与压缩系数和扩展系数不同，这些系数只是表示动态特性某一定点的电平变化。这里动态特性应理解为在稳定状态下设备输入端电平与输出端电平的关系。

传输动态范围压缩的结果，使最弱的信号得到最大的增益。因为扩展器把被压缩器增高的信号电平降低到原来的值，同时把杂音电平降低，所以通路接收端保持着提高了的信号杂音比。

在传输间歇时间遏止杂音是由于扩展器的作用，与压缩器没有关系，因为这些杂音电平总是低于测试电平。

在压缩范围边界的有用信号电平最低时，或在传输间歇时间，获得的杂音遏止最大。

这样，杂音遏止的最大值与压缩度有关，又与低于零增益电平的被压缩动态范围的大小有关。

在圖 4a 所示的圖上，相對電平的低限是 -4 奈培。這電平由壓縮器提高 2 奈培，因而提高的通路防擾度最大達 2 奈培。凡是高于 -4 奈培電平的訊號進入壓縮器輸入端，提高的防擾度將較小，但是隨着有用訊號的提高，訊號遮蓋雜音的效力加大。對於零增益和零衰減相對電平的訊號，壓縮-擴展器並不提高防擾度，但是這時雜音已由訊號遮蓋得足夠好。

如果訊號電平高于零增益和零衰減電平，則壓縮-擴展器將使訊號雜音比減低，但是這時的遮蓋效力最大。

壓縮器（或擴展器）在通路內介入的可變增益（或衰減），是由話音電流振幅包絡的變化自動地調節。

為了調節介入增益或衰減的大小，從設備的輸入端或輸出端分出一部分話音電流能量，使被控元件作用，因而使增益或衰減改變。控制回路是由整流器和濾波器（必要時還有放大器）組成。濾波器的參數決定了設備的慣性作用，因而決定了暫態過程的持續時間。

如果調節電壓是從設備的輸入端分出，則調節增益或衰減稱作順接式，如果調節電壓是從設備的輸出端分出，則稱作反接式。

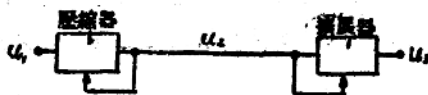


圖 5. 通路裝置反接式調節的壓縮器和順接式調節的擴展器

壓縮-擴展器的動態特性是在穩定狀態確定，這時壓縮器輸入端和擴展器輸出端的訊號電平變動得足夠慢，它們的傳輸常

数在任何时刻都与输入电平相适应。

动态特性对横坐标轴的斜率，决定特性曲线上某一点的压缩系数 γ_c 或扩展系数 γ_p 。这时

$$\gamma_c = \frac{\frac{du_2}{u_2}}{\frac{du_1}{u_1}} \quad \text{和} \quad \gamma_p = \frac{\frac{du_3}{u_3}}{\frac{du_2}{u_2}}, \quad (1)$$

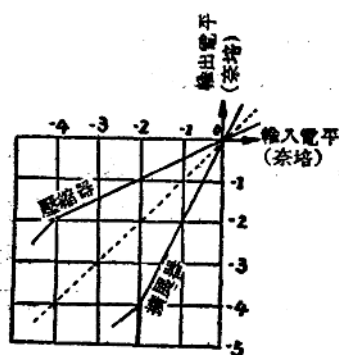


圖 6. 理想的压缩-扩展器动态特性曲线，其压缩和扩展系数是定值

式中 u_1, u_2, u_3 是在回路（圖 5）各个不同点上的信号电压振幅的包络。

扩展器输出端信号电压的包络，应该准确地与压缩器输入端信号的包络相同，即

$$u_3 = u_1,$$

可见，压缩系数与扩展系数应该是互为倒数，即

$$\gamma_c = \frac{1}{\gamma_p}. \quad (2)$$

圖 6 示理想的压缩器和扩展器动态特性曲线，其压缩和扩展系数是定值。如压缩和扩展系数是定值，则动态特性是直线性的。

从式(1)可见，

$$\frac{du_2}{u_2} = \gamma_c \frac{du_1}{u_1}.$$

在 $\gamma_c = \text{定值}$ 的条件下，將此式积分，結果得

$$u_2 = \kappa u_1^{\gamma_c}, \quad (3)$$

式中

$$\kappa = u_0^{1-\gamma_c}. \quad (4)$$

式中 u_0 为在零增益电平下压缩器输入电压振幅的包络。

使

$$\left. \begin{aligned} \frac{u_1}{u_0} &= u'_1 \\ \frac{u_2}{u_0} &= u'_2 \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

得

$$\frac{\ln u'_2}{\ln u'_1} = \operatorname{tg} \varphi = \gamma_c, \quad (6)$$

式中 φ ——动态特性曲线对横座标轴的定值倾角。

具有直线性动态特性曲线的压缩-扩展器，可以根据变电位电路組成，並且容許随便选择压缩器和扩展器的調节方法。应当注意，当使用具有指数律伏安特性曲线的非线性元件（例如，使用整流器）时，动态特性曲线的直线性只有在压缩器是反接式調节而扩展器是順接式調节的情形下才能达到。

这样的調节方法是最适宜的，因为反接式調节扩展器的恒定性比之順接式調节扩展器小得多。在反接式調节的情形，扩展器本身的不恒定性（氧化銅元件电阻的临时变动和放大器增益的变动）將被扩展器作用所加大，而在順接式調节的情形則不会發生。在順接式調节的情形，所放大的不过是扩展器輸入端上的电平变化。

如果动态特性曲线不是直线性而是指数-对数的(例如, 当使用可变互导电子管时), 则压缩器的反接式调节和扩展器的顺接式调节是唯一可能的调节方法, 因为其他方式将使整个系统失去稳定性。

用变电位电路的压缩-扩展器, 如具有直线性动态特性, 则与过去应用非线性动态特性的电子管设备比较, 有重要优点。这些优点的主要方面如下所述:

1. 在用可变互导电子管装置的压缩-扩展器中, 曾观察到特殊的失真——“喀噓声”, 它是由控制电子管的直流偏压急剧变化所引起。

可变电位电路内具有平衡的控制电桥, 放大器的第一级电子管控制栅极上不会发生任何栅偏压变化。因此, 在变电位电路内, “喀噓声”不会发现。

2. 在指数-对数动态特性的情形, 扩展系数 γ_p 可从1变化到5~6, 因而设备对于中间通路的振幅-频率和振幅-相位失真的界限将依动态范围变化而达到很大程度(通路内所有失真在一部分动态范围内被扩展器加大到5~6倍)。在这种情形, 通路的稳定性急剧地降低。

在直线性动态特性的情形, 变电位电路能保证在动态范围内有均匀的界限, 因而能保证通路有更高的稳定性。

3. 电子管装置的设备, 在某些电平下应该调节; 更换控制电子管时, 就必须把全部设备(压缩器和扩展器)充分地重新校准。

变电位电路在配准和调节方面比较简单, 可以容许任一个

壓縮器或擴展器由另一個相同類型的壓縮器或擴展器替換，動態特性曲線的斜率可按兩個點規定。

因此，現時只有用直線性動態特性的變電位電路的壓縮-擴展器設備獲得實際應用。

在直線性特性的情形，當壓縮器是反接式調節和擴展器是順接式調節時，壓縮器和擴展器的傳輸常數 K^c 和 K^p 由下式表達：

$$K^c = C_1(u^c)^{\frac{\gamma_c - 1}{\gamma_c}}, \quad (7)$$

$$K^p = C_2(u^p)^{\frac{1 - \gamma_c}{\gamma_c}}, \quad (8)$$

式中 C_1 和 C_2 是常數， u^c 和 u^p 是壓縮器和擴展器的控制電壓。

在達到匹配條件時，

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= c_2^{-1} \\ u^c &= u^p \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

$$K^p = c_1^{-1}(u^c)^{-\frac{\gamma_c - 1}{\gamma_c}} = \frac{1}{K^c}. \quad (10)$$

現在來研究壓縮器和擴展器可能採用的各種變電位電路型式，並決定在那些條件下，它們可以有直線性動態特性。

3. 各種變電位電路內元件間的基本關係

在變電位電路內，被控元件可使用氧化銅整流器或鋳整流

器，它們的伏安特性曲線具有指數的或平方律的非直線段。選擇不同的電路，可以在相同被控元件上得到不同動態特性曲線的壓縮器或擴展器。

具有特性非線性元件的變電位電路

現在來討論非線性電阻在並聯臂內的變電位電路（圖 7a），非線性元件的動態電阻 R_d ，由下列關係決定：

$$R_d = \frac{du}{di} \quad (11)$$

R_d 在這元件的伏安特性曲線每一點上有一定的值。

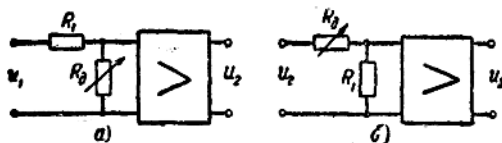


圖 7. 變電位電路：
a) 壓縮器， b) 擴展器

倘使非線性元件的伏安特性曲線是冪的形式，即

$$i = C_1 u^{C_2}, \quad (12)$$

式中 C_1 和 C_2 是常數， $i = i(t)$ ， $u = u(t)$ ，又如不論 R_d 為何值，變電位電路具有下列關係：

$$R_1 \gg R_d, \quad (13)$$

那末，在變電位電路輸出端連接一個直線性放大器，按零增益電平補償電位器的衰減，就可構成壓縮系數是定值的瞬時作用壓縮器。這時，式 (12) 仍舊正確，因為 $u = cu_2$ （直線性放大

的增益只决定系数 C 的大小)。將式(12)微分, 得

$$di = Ku_2^{c-1} du_2, \quad (14)$$

中 K 是常数。

另一方面, 依据式(13), 通过非線性元件的电流只依赖于输入端电压 u_1 :

$$i = \frac{1}{R_1} u_1. \quad (15)$$

于是

$$di = \frac{1}{R_1} du_1. \quad (15a)$$

使式(14)和式(15a)的右边相等, 再把得到的等式积分, 求出 u_2 , 就得

$$u_2 = c_3 u_1^{\frac{1}{c-1}}, \quad (16)$$

式中 C_3 决定于压缩器在零增益电平情况下电压 u_0 的增益情况:

$$u_0 = c_3 u_0^{\frac{1}{c-1}},$$

从而

$$c_3 = u_0^{\frac{c-1}{c-1}}.$$

引用规定值

$$\left. \begin{aligned} \frac{u_1}{u_0} &= u_1' \\ \frac{u_2}{u_0} &= u_2' \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

得

$$u'_2 = (u'_1)^{\frac{1}{c_2}}. \quad (18)$$

式(18)所示的关系証明, 上述电路可以保证訊号的瞬时压缩, 压缩常数等于 $\frac{1}{c_2}$ 。特别是, 在非线性元件的伏安特性是平方律的情形, 压缩系数等于 $\frac{1}{2}$ 。

用同样的方法, 可以得到扩展器电路, 只要非线性电阻放置在可变电位器的串联臂内, 而定值电阻 R_1 放置在并联臂内(圖 7 δ), 並达到下列条件:

$$R_0 \gg R_1.$$

在瞬时作用式压缩器輸出端所产生的訊号非线性失真, 当设备匹配时, 基本上將由扩展器抵消, 但如它們之間的通路的通过頻帶寬度受到限制, 則抵消程度就減少。

指数特性非线性元件的变电位电路

現在来討論另一种变电位电路, 它的非线性元件具有指数律的伏安特性, 这时特性曲線上的工作点决定于控制电流的整流值, 依輸入或輸出訊号电压⁽¹⁾的包絡值而定。

非线性元件的伏安特性由下式表达:

$$i = c_1 e^{u} \quad (19)$$

式中 C_1 是常数。

于是

註① 这时, 与瞬时作用式设备不同, 惯性作用式压缩-扩展器具有傳輸回路和控制回路。