对数视频放大器

国防工业出版社

对数视频放大器

〔美〕 理查德 S. 休斯

《对数视频放大器》翻译组 译

国防工业出版社

内容简介

本书译自《Logarithmic Video Amplifiers》一书。全书共分四章。第一章介绍对数视频放大器的基本理论。其余三章介绍各种对数视频放大器的实际设计方法，并且给出了实际电路和具体设计步骤；另外，还介绍了匹配对数对的设计。

本书可供从事通信、雷达、电子对抗等有关方面的工人、技术人员以及大专院校师生参考。

Logarithmic Video Amplifiers
Richard S.Hughes
Horizon House-Microwave, Inc.
1971

*

对数视频放大器
〔美〕 理查德S．休斯
《对数视频放大器》翻译组　译

*

国防工业出版社 出版
北京市书刊出版业营业许可证出字第074号
新华书店北京发行所发行　　各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32　印张5　125千字
1978年12月第一版　1978年12月第一次印刷　印数：00,001—24,400册
统一书号：15034·1736　　定价：0.66元

译 者 序

近年来，对数放大器已经广泛应用在通信、雷达、电子对抗以及各种放大和电子设备中，这是由于它的性能比其他抗过载电路〔例如，瞬时自动增益控制电路（Ｉ．Ａ．Ｇ．Ｃ），灵敏度时间控制电路（Ｓ．Ｔ．Ｃ）等〕更优越。

随着固体组件的出现，特别是全匹配对数中放和对数视放的应用，在电子对抗系统中广泛采用对数相减法测向，例如，在晶体视频接收机中，采用对数视频放大和相减，就可以获得单脉冲比值，而且该比值仅与天线的方向图有关，也就是说该比值仅与目标的到达角有关。因此，测出该比值就可以直接得到目标的角座标。此外，这种接收机不但具有宽的动态范围，而且具有宽的通频带，因为在微波波段很容易得到倍频程带宽的天线和微波检波器。

本书比较详细地介绍了对数视频放大器的理论以及各种对数视频放大器的实际设计方法，并且给出了各种实际电路和具体设计步骤。所以，在设计对数视频放大器时，本书有一定的参考价值。另外，有关对数视频放大器这方面的资料虽然较多，但比较零碎，因此，我们将它翻译出版。

本书由郑同良、张志强、张平定、刘宇明、王拈生、陈瑞源等同志翻译，任桂兴、刘佑民同志校对。但由于译者的水平有限，译稿中的缺点和错误一定不少，希望广大读者批评指正。

序　言

对数放大器具有把大输入动态范围压缩成小输出动态范围的独特性能。这种性能在雷达接收机中是非常有用的，因为雷达接收机的输入信号在很短的期间内可以从几个微伏变到几伏。

对数中频放大器的输出信号经检波后的脉冲强度是中频输入信号强度的对数函数，它已广泛地被用在许多现代雷达接收机中。然而，由于对数中频放大器固有的窄带特性（比如说少于200兆赫），严重地限制了在许多雷达中的应用。解决对数中频放大器窄带限制的一个办法就是先对接收进来的射频或中频脉冲信号进行检波，然后利用对数视频或脉冲放大器对检波后的脉冲进行对数放大。

然而，设计出高质量的对数视频放大器只不过是近五到十年的事。自从固体对数视频放大器组件出现以后，它的用途大大增加，已扩大到象激光测距仪、雷达接收机、医学电子设备和要求把大动态范围的输入脉冲压缩为小输出动态范围的许多其他方面。

本书的目的是介绍对数视频放大理论以及对数视频放大器的设计和分析方面的一些实际问题。第一章讨论对数视频放大理论，使读者从理论上了解对数放大器的特性，其余各章介绍各种对数视频放大器的实际设计方法，所介绍的各种方法都给出了电路实例和设计步骤，并且对于象对数精确度（与理想对数传输函数的偏差）、输出上升时间、对输出信号噪声比的影响和输入占空因数这样一些因素都进行了仔细的考虑。此外，还介绍了匹配对数对的设计。

提出各种对数放大技术的原因，是使读者能够根据上述因素利用这些技术进行单独设计。例如，有一种方法可以得到10毫微秒(ns)的上升时间，60dB的输入动态范围和±0.5dB的对数精确度，但是，它所需的元件比简单的方法多三到四倍。而简单的方法可以得到比较缓慢的上升时间（100毫微秒），更大的输入动态范围(80dB)，和稍微低一些的对数精确度(±2dB)。

本书是作者过去五年发表的论文、政府报告和设计笔记的发展。目的是用作对数视频放大这一重要而且日益发展领域的实用参考资料。本书所介绍的设计方法还有各种各样的变体，这要靠读者去创造性地运用。

目　录

第一章　对数放大的基础

1.1 引　言

许多电量的测量必须在很宽的动态范围内进行；雷达接收机、遥测设备和通信接收机的输入信号常常在很短的时间间隔内从几微伏变到几伏。激光测距仪的回波脉冲可以改变几个数量级，而且还取决于目标的瞬时几何形状。对于这种型式的设备来说，限制瞬时动态范围的因素通常是线性放大器。

线性放大器输出动态范围的下限受所要求的信号噪声比（门限电平）限制，而上限受饱和或限幅电平限制，因此，它的输出动态范围等于饱和电平减去门限电平，如图 1 所示。其输入动态范围和输出动态范围相同（即 $e_{out(max)}/e_{out(min)}=e_{in(max)}/e_{in(min)}$）。

线性放大器总的输入动态范围可以利用可变增益控制来提高（当输出接近饱和时使之增益降低），但是，瞬时输入动态范围仍然不变。大多数线性放大器可用的瞬时动态范围通常小于30dB[●]，这对于许多应用来说太小，但这对输入动态范围的限制，可用对

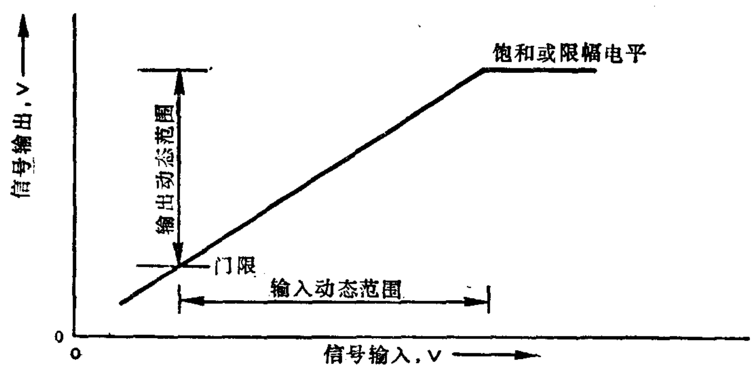


图 1　线性放大器的动态范围

● 分贝(dB)的定义为：$dB=20\log x$，这里 x 是两个电压的比值。

数放大器大大提高。如果适当地设计对数放大器（如第二章所指出的那样）可以得到大于 100dB的输入动态范围。对数放大器的输出动态范围与线性放大器一样(20～30dB)，因此，对数放大器可以瞬时地把大的输入动态范围压缩为小的输出动态范围。

本书讲述适用于对数视频放大的技术，因为在脉冲接收机里，广泛地用它作宽动态范围的放大器，还介绍了直接耦合的基本原理。其中双极性对数放大技术（第二章）具有使输出正弦波电压为输入正弦波电压对数函数的独特能力，而且已用于对数中频(LogIF）放大（所谓对数中频放大器，大多数产生一视频输出，而且该输出是输入中频正弦波的对数函数)。

本书介绍的几种对数放大器，都可以用市场上买来的集成电路来制作，也可以在单个集成电路的基片上制成完整的对数视频放大器。

1.2 对数放大的特性

对数放大器具有由式(1-1）给出的输入输出关系：

$$e_{out}=K_1\log K_2 e_{in} \qquad (1\text{-}1)$$

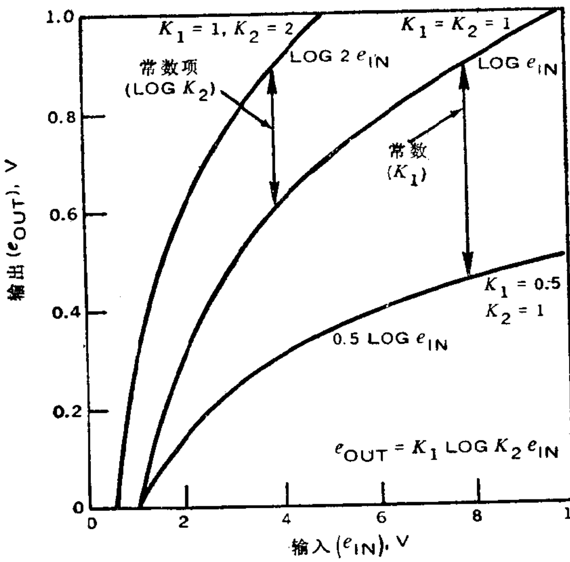
式中 K_1——斜率；

K_2——对数偏差。

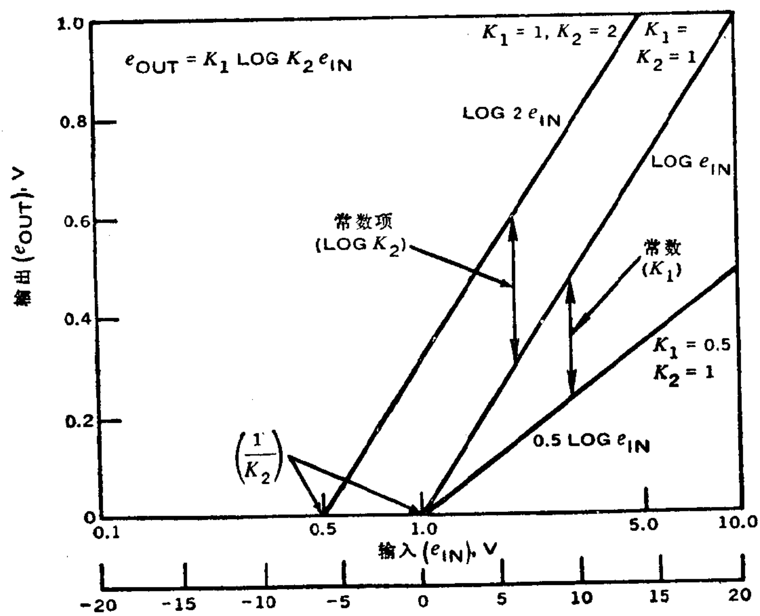
为了研究式(1-1）所示的关系，有许多方法。图 2(a)用线性刻度说明了式（1-1）（对应于 K_1 和 K_2 的两个数值）（为了简单起见，$0<e_{in}<10$，$K_1=0.5$ 和 1，$K_2=1$ 和 2）。正如将要指出的那样，当输入增加时，输出被压缩。图 2(b)也说明了式(1-1)，但是横座标用对数刻度($\log e_{in}$)，如所预料，其输入输出关系为一直线。再把(1-1)式写为：

$$e_{out}=K_1\log e_{in}+K_1\log K_2 \qquad (1\text{-}2)$$

由式(1-2)很容易看出，若增大 K_2，则对于任何输入而言，输出都将增加一个常数项($K_1\log K_2$)而不影响斜率。若增大 K_1，则将增加斜率，并且使输出增加某一常数(K_1)倍。



(*a*)



(*b*)

图 2　式(1-1)的特性曲线

(*a*) e_{in} 为线性刻度；(*b*) e_{in} 为对数和分贝刻度。

研究对数放大器时，输出对数斜率(LS)通常规定以mV/dB为单位。该斜率可以利用图2b(以dB为刻度)求出。因为

$$e_{out_1}=K_1\log K_2e_{in_1} \tag{1-3a}$$

$$e_{out_2}=K_1\log K_2e_{in_2} \tag{1-3b}$$

而Δe_{out}为：

$$\Delta e_{out}=e_{out_2}-e_{out_1} \tag{1-4a}$$

或利用式(1-3a)和式(1-3b)

$$\Delta e_{out}=K_1\left(\log\frac{e_{in_2}}{e_{in_1}}\right) \tag{1-4b}$$

令：

$$\frac{e_{in_2}}{e_{in_1}}=10\text{（或一个十进单位）}$$

这时式(1-4b)可以写为：

$$\Delta e_{out}=K_1\log 10 \tag{1-5}$$

对数斜率

$$LS=\frac{K_1\ \text{伏}}{1\text{个十进单位}} \tag{1-6}$$

一个十进单位等于20dB(20log10=20dB)，所以式(1-6)可以写为：

$$LS=\frac{K_1\ \text{伏}}{20\text{dB}} \tag{1-7a}$$

或者

$$LS=\frac{K_1}{20}(\text{V/dB}) \tag{1-7b}$$

通常对数放大器的输入用dB来表示(dB以1伏为基准)：

$$e_{in}|_{dB}=20\log e_{in} \tag{1-8a}$$

或

$$e_{in}=10^{\frac{e_{in}|_{dB}}{20}} \tag{1-8b}$$

这时式(1-1)可以写为：

$$e_{out}=K_1\log\left(10^{\frac{e_{in}|_{dB}}{20}}\right)+K_1\log K_2 \tag{1-9a}$$

或

$$e_{out}=\frac{K_1 e_{in}|_{dB}}{20}+K_1\log K_2 \qquad (1\text{-}9\,b)$$

于是，从式(1-9 b)，式(1-7 b)和图 2 *b* 可以看出，输入若增加一分贝，输出则增加 $K_1/20$伏。

改变 K_2 将使输出增加一个常数项〔式(1-2)〕，而且也使 $e_{out}=0$ 时 e_{in} 的数值改变(见图 2)。$e_{out}=0$ 时 e_{in} 的数值可以通过令方程(1-1)$e_{out}=0$ 求得。若

$$e_{out}=K_1\log K_2 e_{in}=0 \qquad (1\text{-}10)$$

则

$$e_{in}=\frac{1}{K_2} \qquad (1\text{-}11\,a)$$

如果 K_2 以 dB 为单位($20\log K_2$)，那末 $e_{out}=0$ 时的输入

$$e_{in}|_{dB}=-K_2|_{dB} \qquad (1\text{-}11\,b)$$

任何一个可以实现的对数放大器当输入信号很小时（$0<e_{in}<1/K_2$)，一定与真正的对数特性有偏差，因为 $\log 0=-\infty$(图1)。本书假定在达到线性-对数(lin-log)过渡时的输入 e_t 之前，输出为输入的线性函数，则

$$e_{out}=K_3 e_{in} \qquad (0<e_{in}<e_t) \qquad (1\text{-}12)$$

式中　K_3——线性对数过渡之前的线性增益。

为了求 K_3 对线性-对数过渡的影响，令

$$K_3 e_{in}=K_1\log K_2 e_{in} \qquad (1\text{-}13)$$

由式（1-13）可以看出，有三种可能的线性-对数过渡(图 3)：

第一种情况

如果式(1-13)左边和右边的导数相等，

$$\frac{d\,(K_3 e_{in})}{d\,(e_{in})}=\frac{d\,(K_1\log K_2 e_{in})}{d\,(e_{in})} \qquad (1\text{-}14)$$

那末两条曲线“正好相切”，德·布罗耶克托(de Broekert) 把这种过渡叫做“平滑过渡”(参考资料 1)。

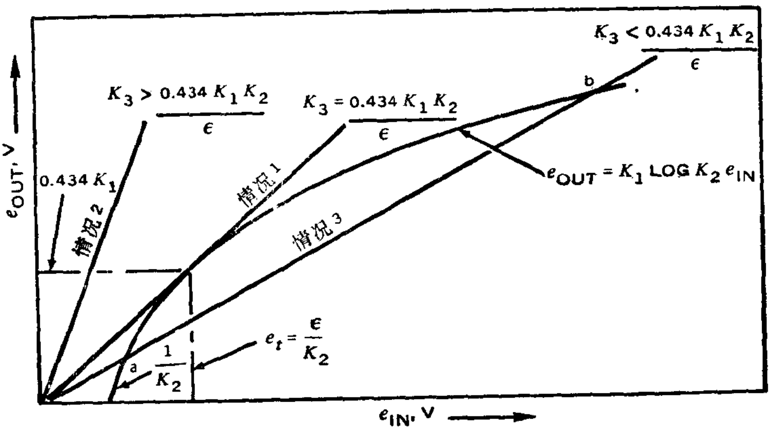


图 3　式(1-13)的三种线性-对数过渡

线性-对数过渡前的线性增益可以通过对 K_3解方程(1-14)求得。由于

$$\frac{\mathrm{d}K(\log U)}{\mathrm{d}x}=\frac{K}{U}\log\epsilon\left(\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}x}\right) \tag{1-15 a}$$

那末

$$K_3=\frac{K_1K_2}{K_2e_t}(\log\epsilon) \tag{1-15 b}$$

式中　$e_t=e_{\text{in}}$——平滑过渡时的输入。

解式(1-15 b)($\log\epsilon=0.434$)得

$$K_3=0.434\left(\frac{K_1}{e_t}\right) \tag{1-16 a}$$

或

$$K_3e_t=0.434K_1 \tag{1-16 b}$$

当输入为 e_t 时，线性增益为 K_3 的放大器输出为：

$$e_{\text{out}}|_t=K_3e_t \tag{1-17 a}$$

或从式(1-16 b)可得

$$e_{\text{out}}|_t=0.434K_1 \tag{1-17 b}$$

根据式(1-1)，放大器“正好进入”线性-对数过渡时的输出

为：

$$e_{\text{out}}|_t = K_1 \log K_2 e_t \tag{1-18}$$

把式（1-17 a）代入式(1-18)，并对 K_2 求解，就可以得到下列结果：

$$K_2 = \frac{10^{0.434}}{e_t} \tag{1-19}$$

或者，由于$10^{\log \epsilon} = \epsilon$，所以

$$K_2 = \frac{\epsilon}{e_t} \tag{1-20}$$

根据式(1-20)可得线性-对数过渡的输入为：

$$e_t = \frac{\epsilon}{K_2} \tag{1-21}$$

应该指出，e_t 与斜率 K_1 无关。

把式(1-21)代入式(1-16 a)，对 K_3 求解就可以得到线性增益 K_3 为：

$$K_3 = 0.434\left(\frac{K_1 K_2}{\epsilon}\right) \tag{1-22}$$

第二种情况

如果

$$K_3 > 0.434\left(\frac{K_1 K_2}{\epsilon}\right) \tag{1-23}$$

那末没有算术过渡出现(图 3)。在实际的对数放大器中，当 e_{in} 变成足够大时($>1/K_2$)，将出现一种过渡，这将在第二章讨论单极性并联相加对数视频放大器时讨论。

第三种情况

如果

$$K_3 < 0.434\left(\frac{K_1 K_2}{\epsilon}\right)^{●} \tag{1-24}$$

● 原文误为 $K_3 = 0.434\left(\frac{K_1 K_2}{\epsilon}\right)$。——译者注

那末将出现两个过渡点(图 3 中的 a 和 b):

a:
$$\frac{1}{K_2}<e_{in}<\frac{\epsilon}{K_2} \tag{1-25}$$

b:
$$e_{in}>\frac{\epsilon}{K_2} \tag{1-26}$$

输入动态范围 DR_I，在对数放大器的许多设计中是非常重要的。输入动态范围的下限受对数放大器热噪声的限制，而其上限受对数放大器饱和（或限幅）电平的限制。如果适当地设计对数放大器，那末可以得到大于 100dB的输入动态范围。输出动态范围 DR_O 定义为最大输出(这时输出开始偏离对数响应)e_{O_H} 与最小输出（这时输出进入对数响应）e_{O_L} 的比值，因此输出 动 态范围可以写为：

$$DR_O=\frac{e_{O_H}}{e_{O_L}} \tag{1-27}$$

或者利用式(1-1)来表示 e_{O_H} 和 e_{O_L}，则

$$DR_O=\frac{\log K_2 e_{I_H}}{\log K_2 e_{I_L}} \tag{1-28}$$

式中 e_{I_H}——对应于 e_{O_H} 的输入；

e_{I_L}——对应于 e_{O_L} 的输入。

德·布罗耶克托(参考资料 1)已经用两个比值计算出输 出 动态范围。第一个比值为：

$$C_1=\frac{e_{I_L}}{e_t} \tag{1-29}$$

它是最小输入（对于对数作用而言）与平滑过渡输入〔式(1-21)〕的比值，

式中

$$e_t=\frac{\epsilon}{K_2} \tag{1-30}$$

第二个比值为：

$$C_2=\frac{e_{I_H}}{e_{I_L}} \tag{1-31}$$

它是输入动态范围 DR_I。

把式(1-29)和式(1-31)代入式(1-28)，输出动态范围变成

$$DR_o = 1 + \frac{\log C_2}{\log C_1 + 0.434} \tag{1-32}$$

实际上平滑过渡的输入 e_t 和开始起对数作用的最小输入电平 e_{I_L} 通常是接近的。如果 $e_t = e_{I_L}$，那末输出动态范围变成

$$DR_O = 1 + 2.3\log DR_I \tag{1-33}$$

图 4 示出了输出动态范围与输入动态范围的函数关系。限制对数放大器最大输出动态范围的因素和限制线性放大器动态范围的因素是相同的。但是由式(1-33)和图 4 所预计出的最大输出动态范围是在实际电路的范围之内。

压缩比，CR是设计和应用对数放大器的一个品质因素。所谓

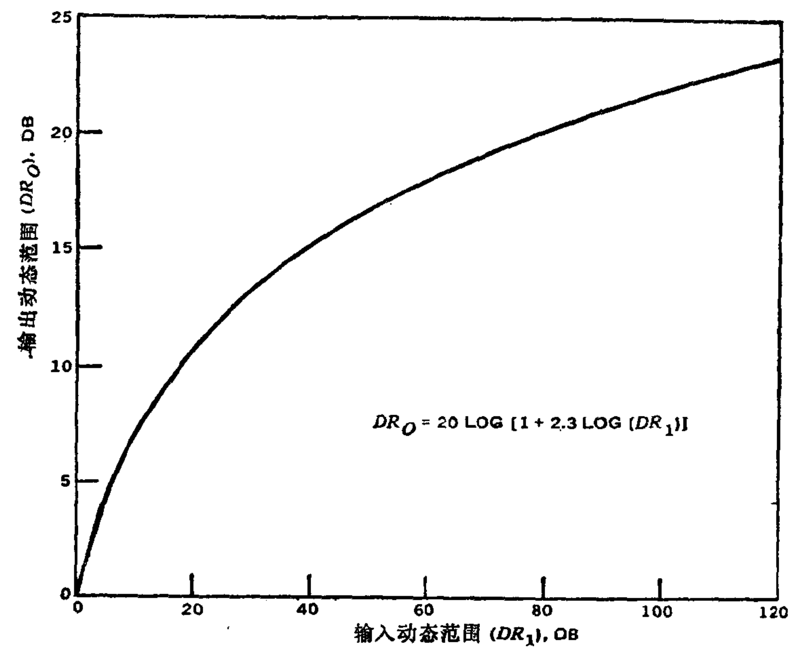


图 4　具有平滑线性-对数过渡特性时 ($e_t = e_{I_L}$) 输出动态范围与输入动态范围的关系

压缩比是指输出相对输入被压缩的倍数,

$$CR=\frac{DR_O}{DR_I} \tag{1-34}$$

例如，假定有一对数放大器，其输入动态范围为100dB，输出动态范围（根据图4）为22dB，那末给出的压缩比为:

$$CR=\frac{22}{100}=0.22 \tag{1-35}$$

或者说，每增加1dB的输入，输出增加0.22dB。

实际上，设计者对于压缩比可以作一些调整，但是究竟可以得到多大是有实际限制的。一个基本的限制是对数放大器后面的处理电路，这最好用一个简单的例子来说明:

如需要一系统记录脉冲幅度，输入动态范围大约为100dB，精度为±1dB(或±12%)，那么，用一峰值检波器跟随一线性放大器就可以实现，因为峰值检波器跟随它的输入达到±12%是容易做到的。应该指出，一线性放大器和峰值检波器具有100dB的动态范围是不实际的，为了满足总的动态范围，可以采用自动增益控制的方法（具有20到30dB的瞬时动态范围），但是，比较简单的解决办法是利用对数放大器。动态范围为100dB的对数放大器的压缩比为0.22〔式(1-35)〕。这样，当输入每增加1dB时，输出只增加0.22dB，因此，峰值检波器跟随对数放大器必须达到0.22dB，或大约为2.3%。这远比跟随线性放大器的峰值检波器的精度高得多。

应该指出，跟随对数放大器的电路一定要比跟随线性放大器的电路具有更高的精确度。

前面早已指出，对于小的输入$\left(0<e_{in}<\frac{1}{K_2}\right)$，任何可实现的对数函数必定偏离真正的对数，这是因为$\log 0=-\infty$。另外，考虑到对数放大后信号噪声比的变化，实际的对数放大器，在小信号时还要设计成为偏离对数函数的。因为对数放大会降低所放大信号的信噪比S/N，这可用图5和图6来说明。图5示出了线