

对数放大器基础知识

对数放大器的基本概念和术语

“对数放大器”这个术语有点用词不当，“对数转换器”更为贴切。将信号转换成其等效对数值涉及到一种非线性运算，如果不甚了解的话，其结果可能令人十分费解。必须注意，许多耳熟能详的线性电路概念与对数放大器毫无关系。例如，当输入接近零时，理想对数放大器的增量增益会接近无穷大，并且对数放大器输出的失调变化相当于其输入的幅度变化，而不是输入的失调变化。

为便于讨论，我们假定对数放大器的输入和输出均为电压，尽管也可以设计对数电流放大器、对数跨阻放大器或对数跨导放大器。

如果考虑等式 $Y = \log(X)$ ，我们会发现，每当 X 乘以常数 A ， Y 则按另一个常数 $A1$ 递增。因此，如果 $\log(K) = K1$ ，则 $\log(AK) = K1 + A1$ ， $\log(A^2K) = K1 + 2A1$ 且 $\log(K/A) = K1 - A1$ 。结果得到图1所示的曲线图，其中，当 X 为单位值时， Y 为零；当 X 接近零时， Y 逼近负无穷大；当 Y 为负时， X 无值。

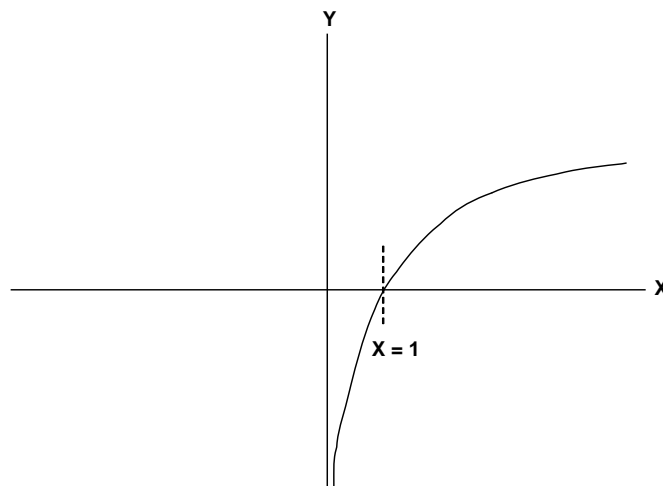


图1: $Y = \log(X)$ 的曲线图

总体而言，对数放大器的表现与此不同。除了很难排列无穷大负输出电压以外，这种器件实际上用处不大。

对数放大器必须满足以下传递函数：

$$V_{OUT} = V_Y \log(V_{IN}/V_X) \quad \text{等式 1}$$

其输入值范围可能为100:1 (40 dB)至1,000,000:1 (120 dB)以上。

当输入非常接近零时，对数放大器的表现不再具有对数特性，此时多数对数放大器会遵守线性 V_{IN}/V_{OUT} 法则。这种行为往往在器件噪声中丢失。噪声通常会限制对数放大器的动态范围。常数 V_Y 具有电压维度，因为输出是电压。输入 V_{IN} 除以电压 V_X ，因为对数的自变量必须是简单的无量纲比值。

对数放大器的传递特性曲线如图2所示。横轴(输入)为对数刻度，理想的传递特性为直线。当 $V_{IN} = V_X$ 时，对数为零($\log 1 = 0$)。因此， V_X 称为对数放大器的“截止电压”，因为其曲线在 V_{IN} 等于此值时与横轴相交。

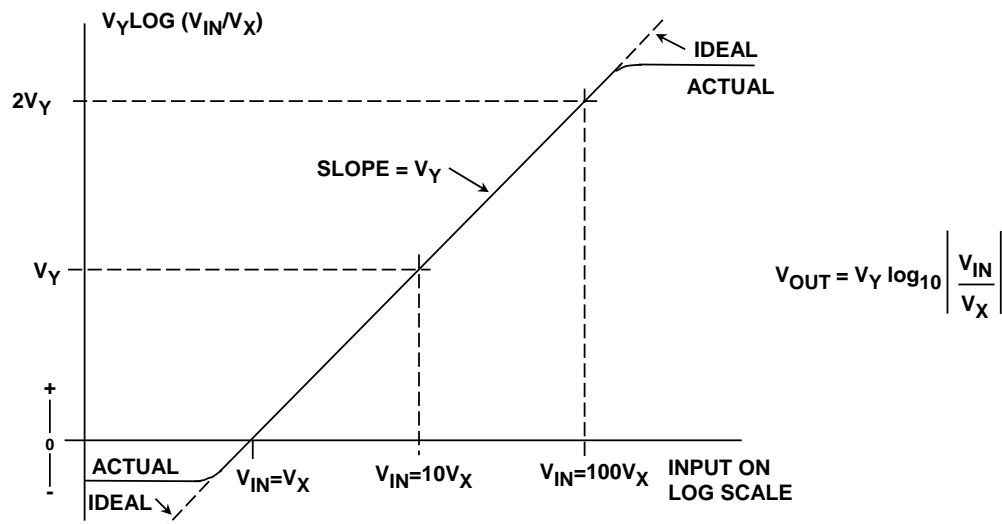


图2：对数放大器的传递函数

该曲线的斜率与 V_Y 成比例。在设置刻度时，通常采用基数为10的对数，因为这样可以简化其与分贝值的关系：当 $V_{IN} = 10V_X$ 时，对数值为1，因而输出电压为 V_Y 。当 $V_{IN} = 100V_X$ 时，输出为 $2V_Y$ ，依此类推。因而，可以将 V_Y 视为“斜率电压”或“V/10倍频程系数”。

当 x 为负值时，对数函数的值不确定。对数放大器可能以三种不同方式响应负输入：(1) 可能产生满量程负输出，如图3所示。(2) 可能产生与输入绝对值的对数成比例的输出，并忽略其符号，如图4所示。这类对数放大器可以视为具有对数特性的全波检波器，通常称为“检波”对数放大器。(3) 可能产生与输入绝对值的对数成比例的输出，且符号与输入相同，如图5所示。这类对数放大器可以视为具有对数特性的视频放大器，可以称为“对数视频”放大器，或者有时也称为“真对数放大器”。

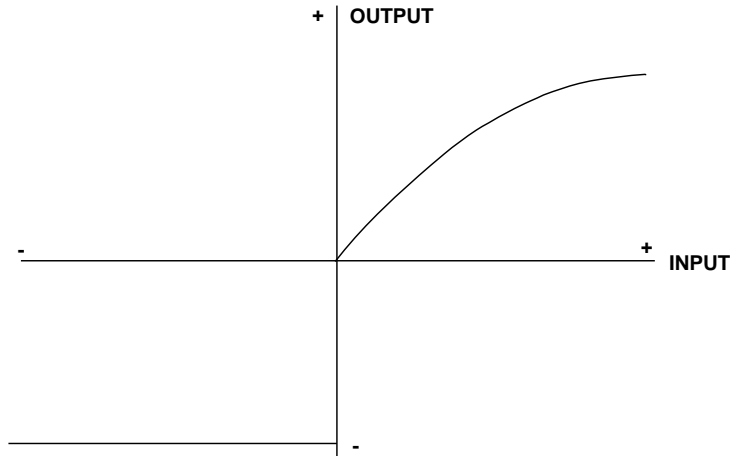


图3：基本型对数放大器(负输入时饱和)

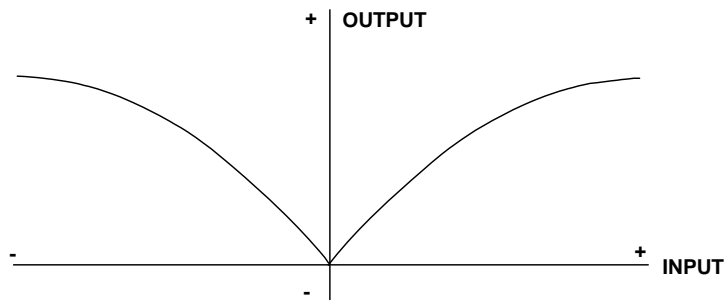
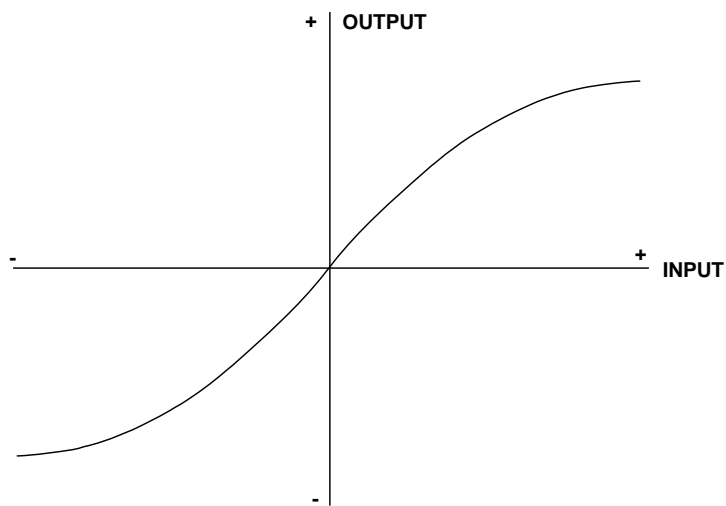


图4：检波对数放大器(输出极性与输入极性无关)



**图5：对数视频或“真对数放大器”
(对正或负信号的响应具有对称性)**

对数放大器的架构

对数放大器有三种基本架构可用：基本二极管对数放大器、连续检波对数放大器和基于级联半限幅放大器的“真对数放大器”。

硅二极管上的电压与流过它的电流的对数成比例。如果在反相运算放大器的反馈路径中放置一个二极管，则输出电压将与输入电流的对数成比例，如图6所示。

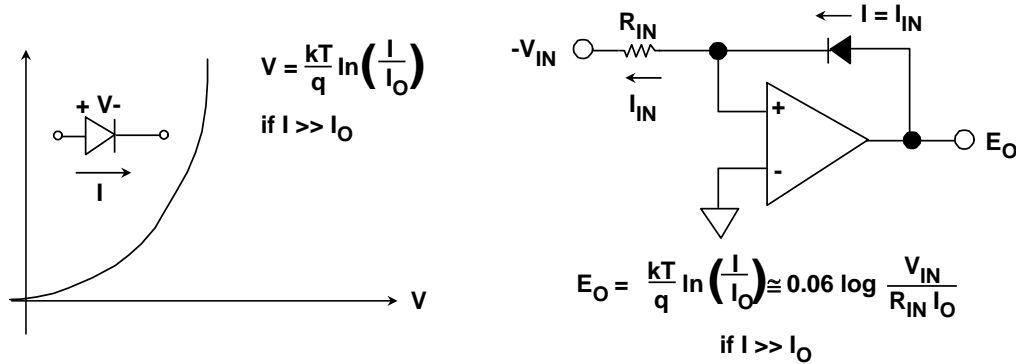


图6：基于二极管/运算放大器的对数放大器

实践中，这种配置的动态范围限制在40-60 dB之间，因为二极管的特性不甚理想；但是，如果用一个以二极管连接的晶体管取代这个二极管(如图7所示)，则动态范围可以扩展至120 dB或以上。

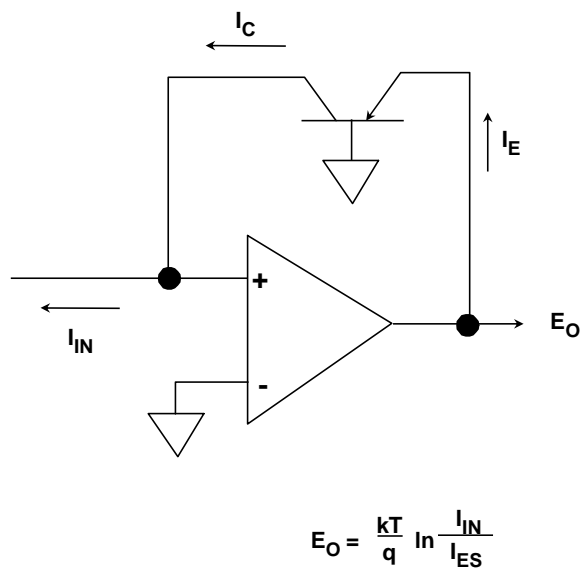


图7：基于晶体管/运算放大器的对数放大器

这类对数放大器有三个缺点：(1) 斜率和截距都受温度影响；(2) 只能处理单极性信号；(3) 其带宽受限且受信号幅度影响。如果在单个芯片上使用多个此类对数放大器来构建同时执行对数和反对数运算的模拟计算机，则在对数运算中，温度变化无关紧要，因为这会由反对数运算中的类似变化进行补偿。

[AD538](#)因此得以诞生，这是一款单芯片模拟计算机，可以进行乘法、除法和幂运算(见图8)。不过，实际进行对数运算时，AD538及类似电路需要温度补偿。对于高频应用，这类对数放大器的主要缺陷是频率响应受限——而且无法克服。无论设计放大器时如何谨慎，从输出到输入之间始终都存在残余反馈电容 C_c (通常称为密勒电容)，结果使高频响应受限(见图7)。

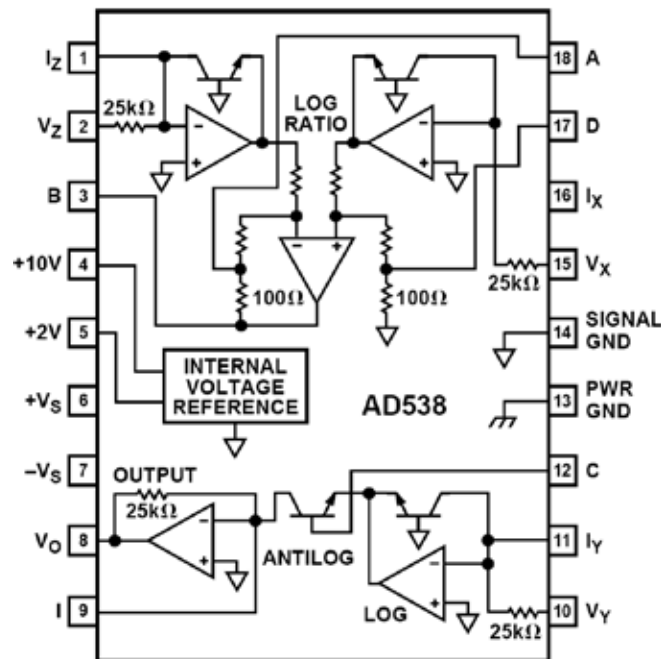


图8: AD538对数放大器的原理示意图

密勒电容的最大问题是，发射极-基极的结阻抗与流入它的电流成反比——因此，如果对数放大器的动态范围为1,000,000:1，则其带宽也会按1,000,000:1的比例变化。实际操作中，变化要小一些，因为其它考虑因素会影响大信号带宽，但是，很难使这类对数放大器的小信号带宽大于几百kHz。

适用于高频运算的对数放大器详见[指南MT-078](#)。

参考文献:

1. Hank Zumbahlen, *Basic Linear Design*, Analog Devices, 2006, ISBN: 0-915550-28-1. Also available as [*Linear Circuit Design Handbook*](#), Elsevier-Newnes, 2008, ISBN-10: 0750687037, ISBN-13: 978-0750687034. Chapter 2, 4.

Copyright 2009, Analog Devices, Inc. All rights reserved. Analog Devices assumes no responsibility for customer product design or the use or application of customers' products or for any infringements of patents or rights of others which may result from Analog Devices assistance. All trademarks and logos are property of their respective holders. Information furnished by Analog Devices applications and development tools engineers is believed to be accurate and reliable, however no responsibility is assumed by Analog Devices regarding technical accuracy and topicality of the content provided in Analog Devices Tutorials.