

TEGAM电压放大器—放大信号源的输出电压和功率

电压放大器或者称为功率放大器，主要用来放大信号源或者波形发生器输出的各种波形信号的幅度和功率，对MEMS、压电、光电、铁电、纳米等器件和电路进行驱动和激励，从而进行相关的研究。TEGAM公司与美国Sandia National Lab合作，提供商业化的电压放大器。

放大器的选择考虑的因素：请参考第7、8页

峰峰值(Vp-p)、有效值(Vrms)、峰值(Vp)三者关系：

$$V_p = \sqrt{2} \times V_{rms} = 1.414 V_{rms} \quad V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = 0.707 V_p \quad V_{p-p} = 2 V_p$$

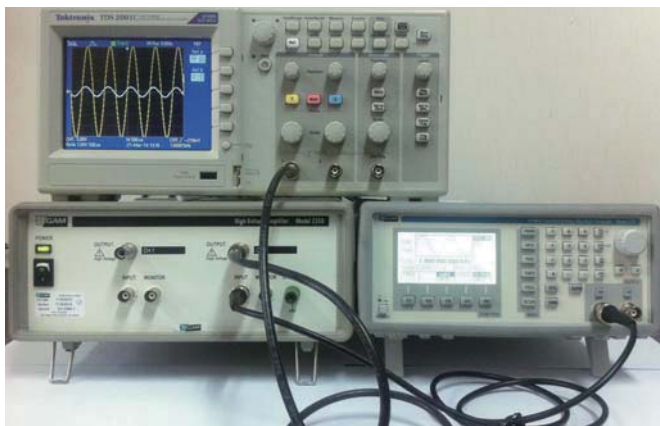


TEGAM 公司放大器主要特点： 稳定可靠，性能优异，指标全面，且确凿可信

- 单、双、四通道选型
- 低失真、高精度信号放大
- 高达800Vp-p (±400V) 高压输出, 40mA
- DC-2MHz小信号带宽 (-3dB)
- 全功率带宽(-0.1dB)：DC至200kHz
- 250V/μs压摆率
- 每个通道独立的200：1电压监视输出
- 输入阻抗50欧姆，或者2K欧姆
- 无额外操作按键，安全
- 对容性负载，可参考电压输出对频率的相应曲线
- 兼容通用任意波形和函数发生器

放大器选型指南：

型号	通道数	带宽 (-3dB)	全功率带宽 (-0.1dB)	输出电压	输出电流	最大输出功率	输入阻抗	电压增益	压摆率	谐波失真 (THD)	方波响应 (10%-90%)	输出电压监控	电流限制
2340	1	DC-2MHz	DC-200kHz	400Vp-p (±200V)	40mA	8VA	50Ω, 可订做2KΩ	x50, 可定制 x10-x100之间的固定值	大于 250V/μs	<0.1%, DC至100kHz, 300Vp-p正弦波	<0.8μs, 200V阶跃信号	衰减 200: 1	带
2350	2	DC-2MHz	DC-200kHz	800Vp-p (±400V)	40mA	8VA	50Ω, 可订做2KΩ	x50, 可定制 x10-x100之间的固定值	大于 250V/μs	<0.1%, DC至100kHz, 300Vp-p正弦波	<0.8μs, 200V阶跃信号	衰减 200: 1	带
2348	1	DC-2MHz	DC-500kHz	50Vp-p (±25V)	750mA	18.75VA	50Ω	x50, 可定制 x10-x100之间的固定值	大于 200V/μs	<0.1%, DC至100kHz, 50Vp-p正弦波	<0.16μs, 35V阶跃信号	衰减 20: 1	带
2375	4	>20kHz	DC-5kHz	-7V至150V	20mA	3VA	10KΩ	x15	大于 5V/μs	<0.1%, DC至5kHz, 150Vp-p正弦波	<25μs, 150V阶跃信号	衰减 100: 1	带



简单的系统搭建
直观的放大效果
可靠的放大性能

左图仪器设置：

任意波形发生器：0.8Vp-p, 1KHz正弦波，50欧姆输出阻抗。

示波器波形一(放大前)：0.8Vp-p, 1KHz, 1V/刻度

示波器波形二(放大后)：40Vp-p, 1KHz, 5V/刻度

放大器增益：50倍

MEMS/压电测试应用



2340/2350是为高压放大应用设计，其电压值超过了大多数波形、函数或脉冲发生器的标准电压限制。

2340/2350单通道拥有400Vp-P的最大输出电压。标准配备50倍固定增益，也可根据具体需求选择从10至100的增益。2350双通道级联可实现800Vp-p输出。

每个通道的额定连续电流输出为40mA，输出阻抗为0.2Ω。每个通道都有一个独立的，带缓冲的，电压监控输出来表示低幅值输出信号。对于50Ω输入，缓冲器产生200:1衰减，1MΩ及以上输入则产生100:1衰减。这一功能可适用于闭环的应用。

在操作中，限流功能在两个方向感应输出电流，给放大器提供最大保护。内置的电源监控通过跟踪直流电源来保护功率放大器。如果发生高压直流故障，监视器将断开电源放大器的电源，重新供电并故障复位。该放大器可驱动高达200pF电容负载同时保持全功率带宽超过200kHz。

为了最大程度保护用户安全，仪器机箱输出接地以防止意外的电压回路。前面板一个接线柱可以使机箱直接接地。

2340/2350专门用于低失真和精确信号放大，具有高性价比。特别适用于高频，高压静电的应用中。

- 低失真、高精度信号放大
- 高达 800 Vp-p(±400 V)高压输出
- DC-2 MHz小信号带宽(-3 dB)
- 全功率带宽(-0.1 dB): DC至200 kHz
- 单 / 双通道
- 每个通道独立的200:1电压监视输出
- 兼容通用任意波形和函数发生器
- 微机电系统、静电、压电应用最佳选择
- 美国桑迪亚国家实验室选用

大电流型功率放大器 型号2348

- 高功率：放大精确和电压稳定
- 50Vp-p及750mA的输出电流
- 带宽从DC到2.0 MHz (-3dB)
- 全功率带宽：直流到500kHz (-0.1dB)
- 精确的电压监控
- 兼容众多函数，脉冲，或任意波形发生器



高电压和低噪声特点也符合质谱和相关科学应用的需求。

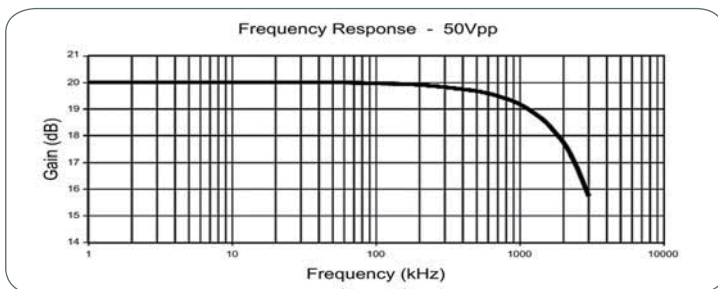
电压在50 Vp - p时可获得750mA的连续电流，实现18.75W的交流或500kHz的全功率输出，带宽范围从DC到2.0MHz。

内置保护

通过2348型内置限流功能在任一极性可感应输出电流，2348型的功率放大器装有热关闭以防止过热。如果有外部故障，内置保护将最大限度地保护放大器的电路。主要输出与地面隔离，前面板的一个接线柱可以使机箱直接接地。

测试的理想选择

在一些闭环的应用中，都需要一个独立的，带缓冲的，电压监控输出。对如于50Ω输入，缓冲器产生20:1衰减，1MΩ及以上输入则产生10:1衰减。2348型的高效解决方案专门适用于低失真和精确信号放大。



图示1：无载增益满载增益 (dB) vs. 频率 (典型)
放大器增益测量50 Vp-p 带宽 2.0 MHz (-3 dB cutoff).

扩展信号发生器的局限性

2348型是一款紧凑而强大的功率放大器，非常适用于需要大电流的中等电压放大的应用，以及超过任意发生器，函数发生器，或脉冲发生器电流范围的大电流应用。

大电流输出

2348型具有的电流能量使其成为信号发生器在电磁或磁激发应用中理想的缓冲。这种独特的放大器能够满足MEMS测试，传感器特性及脉冲应用的要求。2348型稳定的

2340/2350 规格指标

电气指标

通道数	2340 单通道/2350 双通道
输入阻抗	50 Ω 直接耦合; 可定做2K Ω阻抗匹配
输出电压量程	单通道400Vp-p(0至± 200 V), 2350双通道级联可实现800Vp-p
最大输出电流	每个通道 40 mA
输出阻抗	小于 0.2 Ω
电压增益	固定值 x50 (可特别定制 x10- x100之间的固定值)
正弦波失真(THD)	参考图4, 典型值 0.1%@100KHz
小信号带宽	DC 至 2 MHz-典型值(-3 dB)-参考图1
全功率带宽	200 kHz / 400 Vp-p 正弦-典型值(-0.1 dB) (CL<200 pF)
压摆率	大于250 V/μSec
方波响应(10%-90%)	对于200 V 阶跃信号小于0.8 μSec
电压监控输出	50 Ω输入阻抗 (200:1 比率), 大于1 MΩ输入阻抗 (100:1 比率)

安全性

符合 IEC 61010-1, CE 标志认证

环境

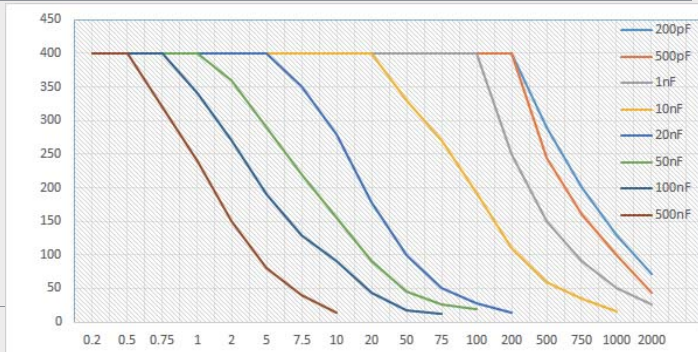
运行温度	环境温度0 °C 至 +45 °C
存储温度	-20 °C 至 +50 °C
湿度范围	小于80% RH 非冷凝

常规

输入电压	110/220V 50/60Hz
额定功率	100 VA; 80 W
尺寸(高 x 宽 x 长)	11.5x25.8x30.0 cm
重量(大约)	4.5kg (10lb)

附件

BNC转高压BNC (SHV-5KV) 电缆 (3 ft)(2340标配1根电缆, 2350标配2根电缆), P/N 740949



2340/2350电压放大器输出随容性负载变化的曲线
横坐标-频率(KHz); 纵坐标-最大输出电压(Vpp)

保修

1 年(部件和人工服务)

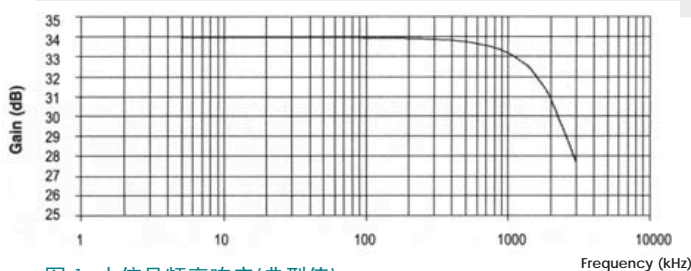


图 1: 小信号频率响应(典型值)

1Vp-p输入时放大器的增益响应, 在2 MHz放大器频率响应降低3dB, 在200KHz放大器频率响应降低0.1dB

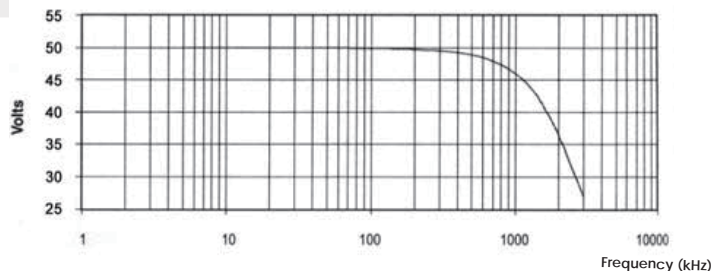


图 2: 小信号频率响应(典型值)

1Vp-p输入时放大器的增益响应, 和图1相同, 但Y轴用电压替换了增益

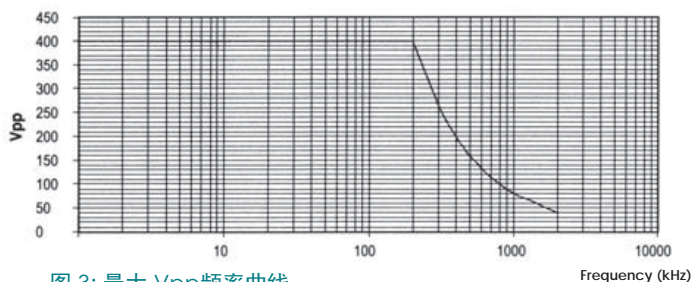


图 3: 最大 Vpp 频率曲线

放大器最大峰-峰值输出随频率变化曲线

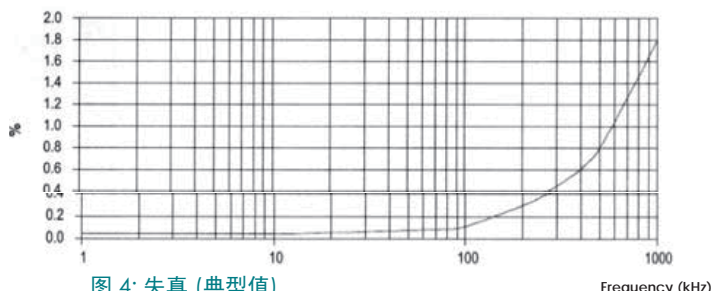


图 4: 失真 (典型值)

按图3所得最大峰-峰值输出的75%来运行放大器测量失真

2348规格指标

电气指标

通道数	1
输入阻抗	50 Ω 直接耦合
输出电压量程	50Vp-p (0至± 25V)
最大输出电流	750 mA
带宽	DC 至 2 MHz, 50 Vp-p 全负载(-3 dB)
全功率带宽	DC 至 500 kHz / 50 Vp-p / 750 mA 正弦 - 典型值 (-0.4 dB) (RL=33 Ω)
压摆率	>200 V/μs
方波响应(10%-90%)	对于35 V 阶跃信号小于0.16 μSec RL=23 Ω - 典型值
偏差	< 2 %
电压输出监控	50 Ω输入阻抗 (20:1 比率),大于1 MΩ输入阻抗 (10:1 比率)



安全性

符合 IEC 61010-1, CE 标志认证

环境

运行温度	环境温度0 °C to +45 °C (+32 °F to +113 °F)
存储温度	-20 °C to +50 °C (-4 °F to +122 °F)
湿度范围	< 80 % RH 非冷凝

常规

输入电压	110/220 50/60 Hz – 后面板可选
额定功率	100 VA; 80 W
尺寸(高 x 宽 x 长)	11.5 x 25.8 x 30.0 cm
重量(大约)	4.5 kg (10 lb)
保修	1 年部件和人工服务

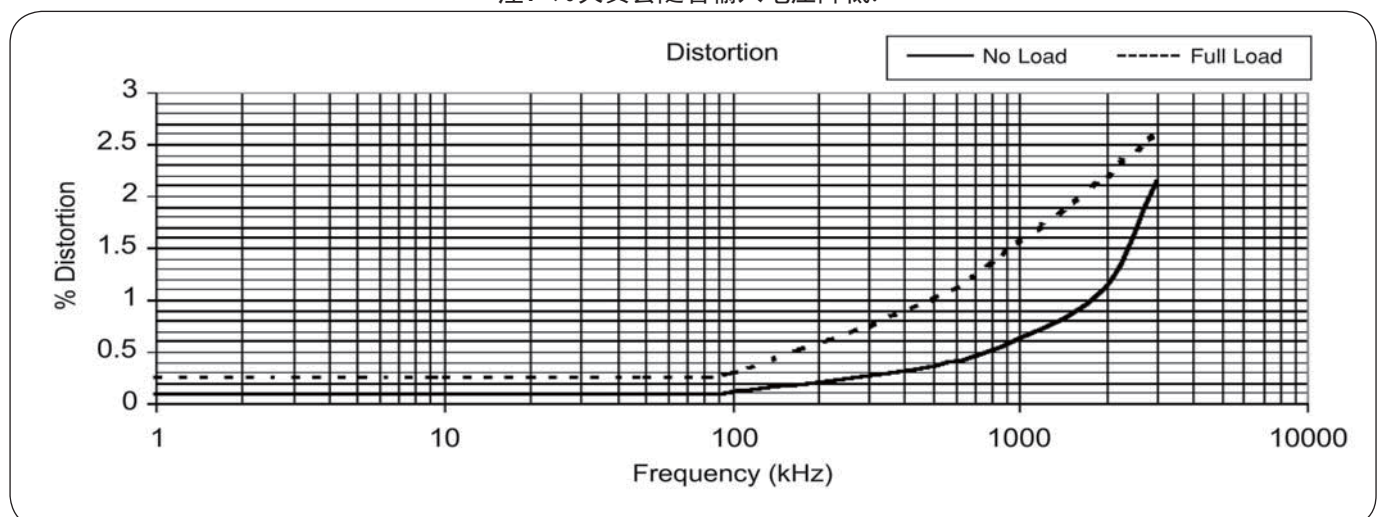
配件

CD 用户手册 P/N 810049-CD
电源线 P/N 600014

可选配件

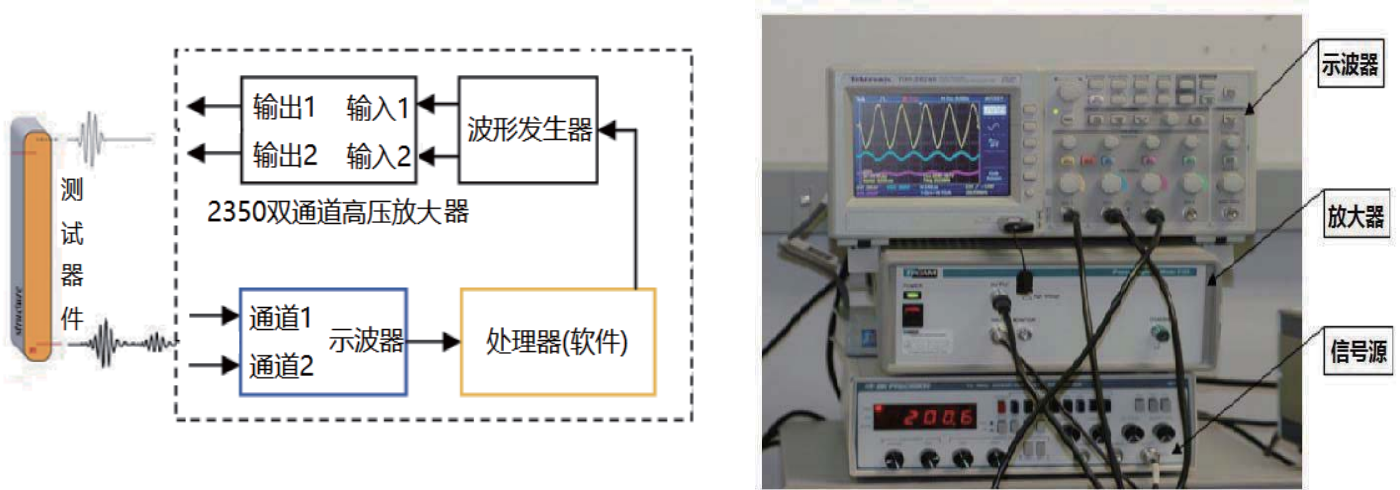
机架安装P/N 740532
标准BNC 电缆 P/N CBL-3102

图 2: 空载和满载%失真 | 50 V P - P
注: %失真会随着输入电压降低.

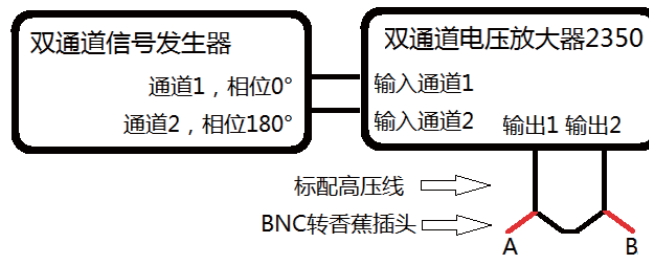


MEMS/压电测试应用

用电压信号驱动或测试器件时，往往需要的驱动电压都较大，在几十伏至上百伏的电压范围，而任意波形发生器的最大输出电压都仅有 $\pm 10V$ ，这时就要用到电压放大器对驱动电压进行放大。下图是2350双通道高压放大器的典型应用框图。



使用 TEGAM2350 型双通道电压放大器实现 800V_{p-p} 输出



注意事项：

⚡ 安全提示：请小心操作，防止高压冲击危险 ⚡

1. 使用双通道信号发生器，输出端口设置反相；
2. 将两个输出端口的公共端相连，测试AB两点的输出；
3. BNC转香蕉插头的形式可以参考右图；
4. 如果两个通道的电缆长度不一样，则需要调整信号发生器两通道的相位差；
5. 用示波器测试输出电压时，示波器要浮地；驱动被测件时无此要求。



备注：2350 的官方指标只针对每个通道即 400V_{p-p} 的输出特性给出，部分指标对两个通道级联后达到的 800V_{p-p} 并不适用。

MEMS/压电测试应用

TEGAM 电压放大器系列最大的特点是性能优越、稳定可靠、操作简单，用户使用 TEGAM 电压放大器之前请阅读本文，对放大器的结构、操作和使用有一个快速而全面的了解。

TEGAM 电压放大器前、后面板介绍



1. 电源开关
2. 电源指示灯：开机时电源指示灯闪；有高电压输出时电源指示灯常亮；无高电压输出时电源指示灭；
3. 输入接口：标准 BNC 接口；
4. 高压输出接口：高压 BNC 接口，连接 TEGAM 标配高压 BNC 电缆；
5. 监控输出接口：按高压输出接口的 200:1 (50Ω) 或 100:1 (高阻) 的比例进行小电压输出，便于监控高压输出；
6. 接地接口：与放大器机壳直连，测试系统需要额外接地时使用 (使用标准三相电源供电时不用额外接地)；
7. 线路电压选择：选择 220V 或 110V 供电线路电压 (中国大陆线路电压为 220V)，设置好之后一般不需更改；
8. 线路电压精确选择：根据实际电压范围选择，设置好之后一般不需更改；
9. 电源线接口和线路保险丝：当线路电压波动较大时，线路保险丝熔断保护；如果正确接通电源并开机后没有任何反应时，请检查线路保险丝是否已经熔断。

验证电压放大器的性能

验证电压放大器性能最直观最简单的方式是，使用任意波形发生器产生电压信号，输入电压放大器，使用示波器检测放大器的输出电压和波形。这时需要注意的事项有：

1. TEGAM 电压放大器的输入阻抗是 50Ω，需要设置任意波形发生器为“50Ω 模式”；
2. TEGAM 电压放大器的输出等效为电压源，测试其电压和波形时，示波器需要设置为“高阻模式”；
3. 将示波器测试结果的显示形式设置为与任意波形发生器相同的形式，例如任意波形发生器设置“电压峰峰值”，示波器显示形式也应该设置为“电压峰峰值”；如果示波器设置“电压有效值”或“电压峰值”等，则无法准确的得到验证结果；
4. 注意电压放大器的输出是否超出示波器的显示范围，超出显示范围时需要使用衰减探头进行测试，这时应按实际衰减倍数对示波器进行设置。



本文应用文章的目的是，旨在帮助不是功率放大器专家的人员了解放大器的基本参数，从而正确选择适用于测试和实验的放大器设备。简单地说，放大器的作用是将信号的大小以一定倍数放大，当信号源不能产生足够用于当前任务的输出电平时，放大器是必需的。要选择合适的放大器，了解一些不同的参数以及它们对性能的影响是非常重要的。要了解的最重要的参数是：

- 增益
- 带宽 (BW)
- 转换率 (SR)
- 总谐波失真 (THD)
- 输入阻抗
- 电流限制

理解这些参数，并认识到每个参数如何影响性能，将有助于放大器选择过程。

1. 增益

增益是放大器输出与输入之比。以电压放大器为例，如果信号为1V，放大器的增益为50倍，则输出为50V。需要注意的是与此同时，信号的电流或功率也可以放大。通常，电压放大器也会提供电流输出，了解最大输出电压以及最大电流很重要。有关更多信息，请参阅限流部分。

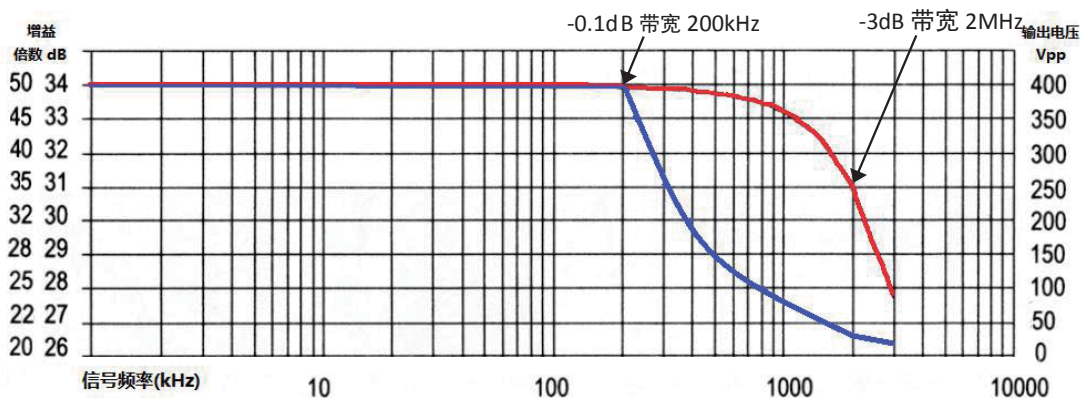
增益可以以“倍数”或“dB”来表示，对于电压增益来说 $G_{dB} = 20 \times \lg G$ 倍数。使用dB表示增益的好处是，当增益较大时，dB形式的数字较小，方便使用(例如5000倍等效于80dB)。

2. 带宽 (BW)

带宽是指信号能够通过放大器的频率。随着信号频率的增加，放大器必须响应更快，此时往往受其设计限制。了解低频率限制是很重要的，因为许多应用需要在直流偏置下操作；通常，低频率对于能够以0Hz或DC运行的放大器来说并不是问题。

随着频率增加，当超过某一频率时，输出电压会缓慢下降。带宽的典型定义是，放大倍数降低-3dB时的频率，也被称为3dB带宽。还有一种带宽表示形式是0.1dB带宽，即放大倍数降低-0.1dB时的带宽。0.1dB带宽更能表征放大器“满电压/功率”的频率范围，因此更为重要。电压、频率和放大倍数的曲线直观的体现这一指标，因此选型时一定要要求放大器厂商提供该曲线。

下图是TEGAM放大器的增益(红色)和最大输出电压(蓝色)随频率变化的曲线。



3. 压摆率 (SR)

压摆率用来描述放大器的输出能够以多快地速度增加或减小。理想情况下，输出应该是即时且准确的；但是，如果输出信号非常大，并且输入端有非常快速的变化，放大器则无法即时、准确的响应。摆率单位是伏每秒(V/S)或伏每微秒(V/μS)，更高的压摆率表明放大器响应速度更快。

4. 总谐波失真 (THD)

THD是表示放大器引入误差的参数，可以用dB或%表示；THD越小越好，因为它表示更准确的信号再现。有时也写成THD + N，表示总谐波失真和噪声的共同影响。噪声对放大器内放大的信号产生不良干扰。THD + N规格将两种误差来源组合在一起，可以在设备之间进行比较。

5. 输入阻抗

输入阻抗表示驱动放大器输入所需的电流。理想情况下，放大器输入阻抗很高，因此需要电流很小。

然而，高输入阻抗会限制放大器带宽，并引入附加噪声。大多数放大器设计为50Ω输入阻抗，与信号源兼容；同时50Ω同轴电缆易于制作，是最佳信号和功率传输的合理折衷。

信号源的输出阻抗和放大器的输入阻抗匹配，以实现精确的信号传输非常重要。在某些情况下，信号源由DAQ卡或插入计算机板组成，与50Ω阻抗不兼容。更高的放大器输入阻抗约2KΩ通常足以解决这个问题，TEGAM电压放大器提供该2KΩ输入阻抗的选项。

6. 电流限制 - 电阻和容性负载

放大器驱动的设备被称为负载。负载决定了在给定电压下，放大器的输出电流。最大输出电流受放大器设计限制，以防止损坏。如果负载基本上是电阻性的，例如加热器元件，则通过使用欧姆定律来验证放大器的电流大小是相当容易的。

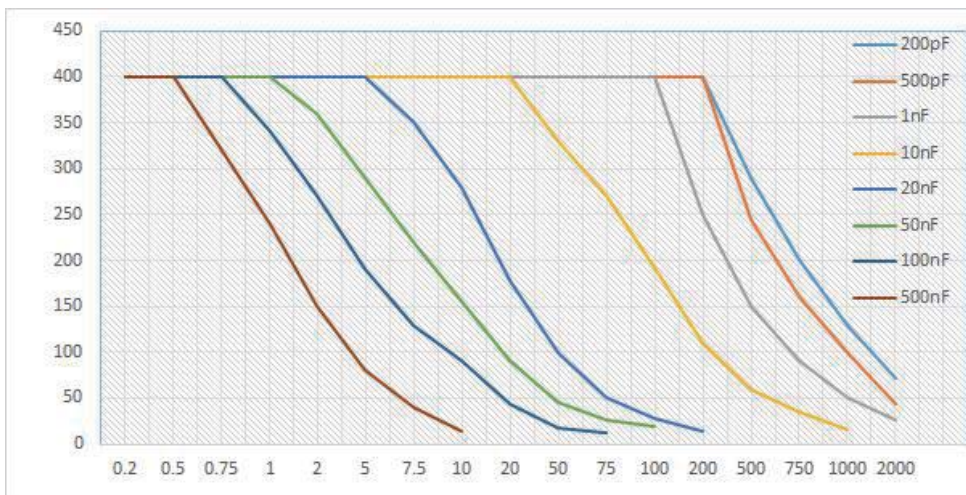


上图：纯电阻性负载，在电压放大器的输出端



上图：容性负载，在电压放大器的输出端，
电流随频率升高而增大

但是压电式传感器（PZT）和MEMS静电执行器等负载主要是电容式，电容器的负载效应随频率而变化，因此必须予以考虑。阻抗表示为： $Z = R + jX$ ；其中，R和X分别是电阻和电抗。随着频率增加，或电容值增大，容抗（ X_C ）会变小；我们知道 Z_C 的幅度可以表示为： $Z_C = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ 。对于容性器件，其电阻R可忽略不计。阻抗 Z_C 随着频率或电容值的增加而降低，此时需要更大的电流，就会受到最大输出电流的限制而无法实现。下图是不同电容值时，TEGAM电压放大器的输出电压随频率变化的曲线，横坐标-频率(KHz); 纵坐标-最大输出电压(Vpp)。



最后一种情况是电感负载，如电磁线圈、电机、继电器线圈和其他机电致动器。与电容器一样，感性负载也随频率而变化。随着频率增加，或电感值增大，其感抗（ X_L ）会变大。因此，感性器件的阻抗 Z_L 在低频时很小，在高频时则很大，甚至等效为开路。

以上这些示例显示了具有不同类型负载的放大器中的不同电流要求。

对于非电气工程师而言，这些参数可能不被普遍理解。但是，阅读该应用文章后，您将获得有关选择放大器的基本信息。如果您有任何意见或想要讨论您的放大器相关问题或需求，请发送邮件至 china@tegam.com 或致电 010-8225 0997、82251181 咨询 TEGAM 工程师。

美国钛淦公司北京代表处 | 北京朝阳马甸裕民路12号元辰鑫大厦E1座603室 100029

电话：010-82250997, 82251181 | 传真：010-82251938 | 邮箱：China@tegam.com | 网址：www.tegam.com.cn