

LM4562,LME49710

*Application Note 1651 Keeping Up with the Expanding Demands of
High-Performance Audio*



Literature Number: ZHCA307

紧随高性能音频放大器的扩展需求

美国国家半导体公司
应用注释1651
Joe Curcio
2007年7月



面向高级高保真音响或专业录音市场进行音频设备设计的工程师为满足最终用户对严格的客观指标和卓越的主观评价需求而选择高精度信号放大器时，往往会受到限制。合适的器件必须提供完善的规格，结合低噪声和超低失真性能以及高增益带宽积 (GBP) 和更出色的单位增益稳定性。当几乎所有的供应商都致力于开发并提供为视频、仪器或低功耗应用而优化的器件时，综合这些应用所要求的一揽子规格标准并不一定能完全与高性能音频工程师的需求相适应。针对该种情况，美国国家半导体公司已开发出专为这些应用而进行优化的一系列高性能、高保真音频放大器。

LME49710/LM4562是这个产品线中最具代表性的，专为实现高性能和专业团体来进行优化。它们提供给设计师们无与伦比的总谐波失真 THD (0.00003%) 和互调失真 IM (0.00005%) 以及超低的噪声 (2.7 nV/√Hz)，和55MHz的GBWP以及600Ω负载时的±26 mA输出电流。电源电流特别低，可以满足采用多个放大器的便携式产品以及多媒体设备的需求。

本文将提供采用LME49710/LM4562高性能应用的几种设计实例，展示出它们在满足最高音效要求的能力。

注意到在这里讨论的设计理念和选择经常会将专业的和高标准的团体所信奉的实践作为兼具客观（可测量）以及主观（音质）优点的标准。许多其它文献已经刊登了这些技术贡献的大小，故在本文中未予以讨论。在本方法中包括电容介质的选择，电源阻抗的考虑以及电路拓扑的衡量。

客观地说，一般认为，最佳的实践需要考虑与电路拓扑有关的器件参数，以及接地/屏蔽的实际操作、电源的纯净度，和其它文件所载并通常用于换能器调节和仪器应用的实践经验。

RIAA唱机前置放大器

利用唱机放大器来放大并均衡来自电磁唱头的RIAA标准信号。尽管唱头技术基于电气时代的发展有几种类型，但采用固定线圈（动磁）或者固定磁铁（动圈）设计的电磁唱头很少能实现最高品质。动磁设计提供较高的输出电压，通常记录速率为cm/s的每个轻击的输出在1.0 mV范围内，然而

在相同的情况下，动圈设计提供0.1mV输出。尽管表面上去动磁设计更值得推荐（至少从前置放大器设计者的角度来看），通常认为，动圈结构会提供更出色的音频性能，主要是因为其安装了质量更小的唱头组件。

关于RIAA均衡唱机前置放大器的关键参数是低噪声，低总谐波失真，低互调失真和带宽。当与源阻抗低于100Ω的低输出动圈唱头相接时，第一个放大器的目标输入噪声密度应小于5 nV / √Hz。当然，THD和IMD也应尽可能取低一些。

尽管通常不会强调，在整个信号带宽上的高PSRR对于电路的音频性能的影响极为关键。虽然经常讨论的失真、噪声，带宽和压摆率等规格对于表征放大器的性能非常重要，如果把音频放大器看作将电源电流调制到负载的器件，直接对输入信号响应，那么明显，电源轨必须在音频带宽上表现出一个较低的，和更重要的是平坦的阻抗，从而保持输入信号的音频频谱的平衡和完整。LME49710/LM4562的PSRR在整个音频带宽上表现了出色的PSRR（电源抑制比），因此能避免电源阻抗的非连续性。然而，动圈唱头提供的低电平信号是给定的，效果会更加明显，因此本文会涉及电源轨的阻抗。

为了避免耦合电容引入的失真，讨论的两种电路拓扑都将输入和输出直接耦合。对于全无源均衡设计，总直流增益为74 dB (44 + 30)，对于有源-无源均衡设计，则为70 dB (44 + 26)。LME49710的典型失调电压VOS为0.05 mV，同时Ibias为7 nA。采用上述的直流增益，输出端的电压失调一般会小于1伏。为了补偿并提供完全的直流耦合，将伺服失调放大器U3包含在内。

尽管我们不打算讨论全有源的RIAA设计，但使用这种拓扑时，对压摆率和单位增益稳定性的需求会得到增强。

RIAA均衡

表1所示为RIAA均衡响应，图1为其相应的图形。通常定义响应为相对于1 kHz，且在该频率具有约20 dB的提升和衰减。因为高频滚降的持续超出了可听范围外的第二个高频(2.122 kHz)转折点，总动态范围实际上大于40 dB。

表1. RIAA均衡响应

频率	幅度	频率	幅度
20	19.3	800	0.7
30	18.6	1000	0
40	17.8	1500	-1.4
50	17	2000	-2.6
60	16.1	3000	-4.8
80	14.5	4000	-6.6
100	13.1	5000	-9.6
150	10.3	6000	-8.2
200	8.2	8000	-11.9
300	5.5	10000	-13.7
400	3.8	15000	-17.2
500	2.6	20000	-19.6

已有大量文章讨论了与理想的RIAA均衡的略微偏差对可听度的影响，最终高要求的消费者和专业市场会需要一种高度的精确性。这些追求使得有源均衡和无源均衡方案以及有源/无源方法的拓扑占了主流。最近的文章在数学方面做了研究并提供了设计指南，可以确定这些拓扑中所用的精确值，因此我们在本文中不做赘述。

尽管存在几种通用的电路拓扑，可以实现RIAA唱机前置放大器，在此我们将讨论仅限于高性能应用中较为流行的两种拓扑。它们是图2所示的全无源拓扑和图3所示的混合无源/有源拓扑。



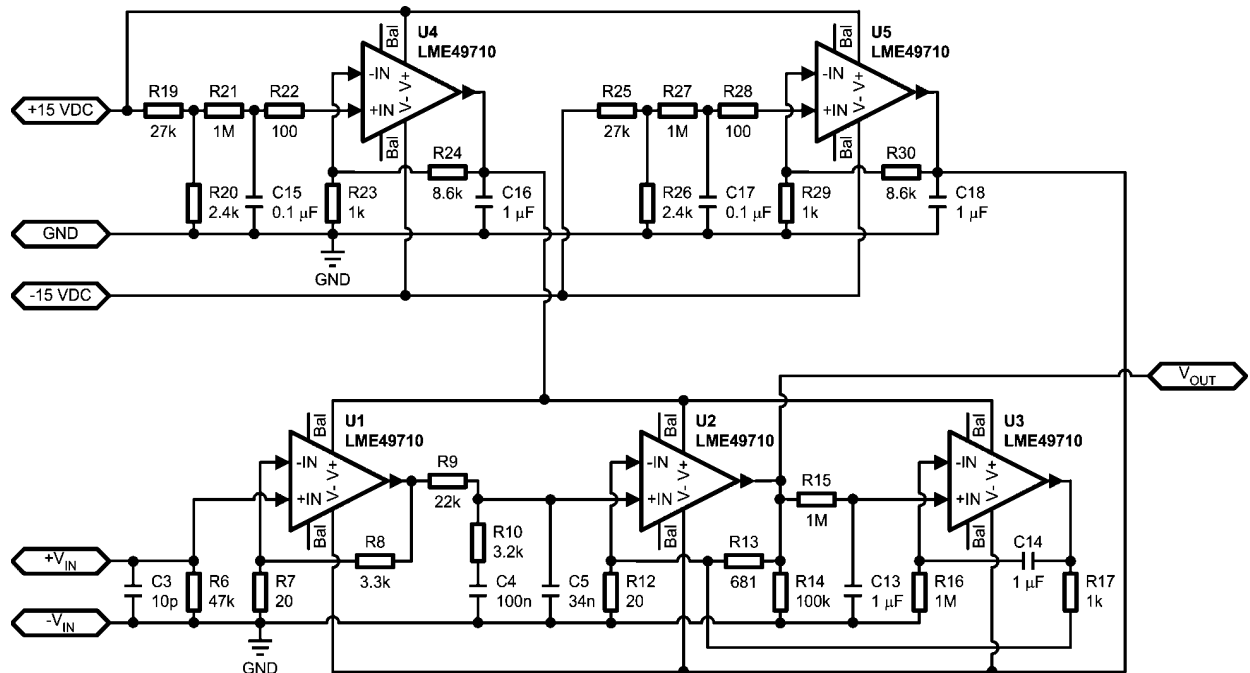
30024301

图1. RIAA均衡响应

注意到有可能包括一个很低频率的滚降来滤除由空间和转盘机械引入的贡献。不管这与理想值怎样存在偏差，我们在本文中不予讨论。然而读者可用反馈引脚到R7接地端的电容组成这个滤波器。

RIAA唱机前置放大器：拓扑1—无源均衡

带低输出动圈唱头接口的无源均衡的RIAA唱机前置放大器的电路拓扑如图2所示。



30024302

图2. 无源均衡RIAA唱机前置放大器拓扑

增益分配

设计的增益分配受到两种因素的制约—噪声和输入过载裕量。为了获得最佳的噪声性能，在U1级中使用高增益和U2级中使用平衡较为可取。与过载看法不同的是，可采取相反的分配办法。通过使用高电源电压，能将第一级的增益扩展到44 dB，并将过载的风险降到最低，特别是采用较低输出的动圈唱头时，（如果正在使用的是动磁唱头，将第一级的增益降低10到15dB是有益的）。为了在中心频率（1 kHz）满足大约55 dB的目标增益，将第二级增益配置为约30 dB（在中心频率处为44 dB + 30 dB -20 dB）。为了在信号路径中完全去除耦合电容，设计全部采用直接耦合。包含伺服放大器U3来补偿电压失调误差并确保输出电压接近零值。

唱头加载

所有的唱头供应商都提供特定的阻性和容性负载推荐值，这些应包含在为专门唱头选择的设计中。动圈唱头负载通常在一个100Ω电阻与一个100 pF电容并联的范围内，而动磁唱头一般要求47Ω电阻与一个300 pF电容并联。所示的电路图确定电路板上一个47Ω电阻与一个100pF电容并联。因此设计师可按照唱头制造商的具体建议（包括电阻和电容）来

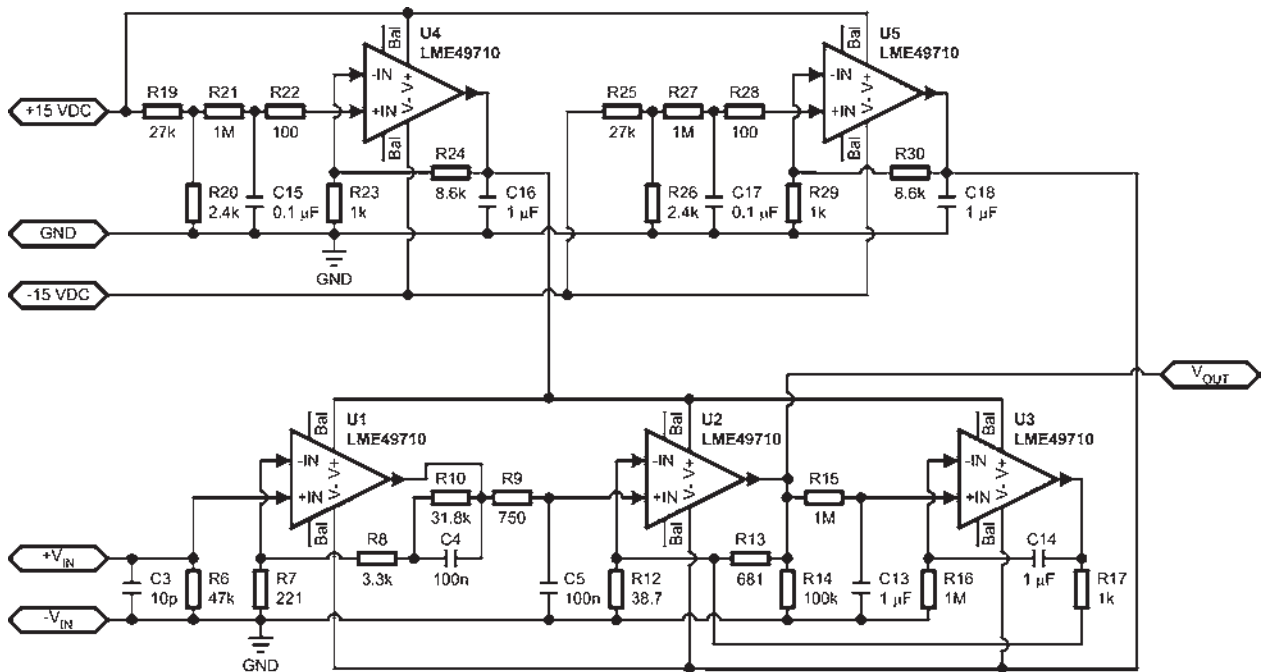
调整负载，在输入连接器端口焊接所需的电阻和电容。一般情况下，使用动圈唱头时一个很好起点是用100Ω电阻（结合了板上已有的100 pF电容）。

RIAA均衡网络

选择网络用以提供RIAA的均衡，如图1所示，由器件R9，R10，C4，和C5组成。所示的数值基于Lipshitz1的工作，并展示了最接近EIA标准的值。强烈推荐采用低DA和DF电容例如聚苯乙烯或者聚丙烯。为了量化与理想值的偏离，对设计用了PSpice软件仿真并制作了电路板，随后在输入端采用倒相式RIAA滤波器进行了测量。倒相式RIAA设计在参考文献2中有具体介绍。我们鼓励设计师制作这种倒相网络，不仅能验证仿真结果，而且作为一种非常方便的器件可以对这个设计以及其它方面进行客观和主观评估。以这种方式，可将信号源而非纯净的唱头用作声源。

RIAA唱头前置放大器： 拓扑2 – 有源/无源均衡

图3所示为RIAA唱头前置放大器的电路拓扑，采用有源和无源均衡的组合，并能与低输出动圈唱头接口。



30024303

图3. 有源/无源唱头前置放大器电路

第一级（U1）与反馈器件R8，R9，和C4的组合确立RIAA均衡的前两个时间常数（3180 μS和318 μS）。这级也提供了约27 dB的中心频率（1 kHz）增益。注意到同样情况下全无源拓扑设计的第一级直流增益为44dB。

最终的RIAA均衡时间常数（75μS）是在第一级和第二级之间用器件R9和C5以无源方式获得。第二级（U2）提供大约25 dB的增益。结果是约52 dB的中心频率增益和约70 dB的直流增益。如同全无源设计的情况一样，将U3作为一个直流伺服放大器来确保输出端V_{DC}接近0V。

静电耳机放大器

如今最常用的扬声换能器是基于电磁原理设计的，并且留有足够的裕量。这些“扬声驱动器”一般会采用圆的刚性“锥形号筒”的形式，宽松地悬挂着，其周边被环绕一块固定磁铁的“音圈”所驱动。通过送到音圈的电流驱使号筒运动。两种自相矛盾的需求——号筒的高刚性和封装的小质量限制了这种设计的性能（尽管平面和带状设计会以增加成本的代价来减小这种矛盾）。

与之相反，静电扬声换能器（参见图4）对一个3至5密耳，采用静电应力悬挂的振膜（通常是聚脂薄膜）提供偏转力。（略微）导电的振膜（约为 $10\Omega/\text{平方米}$ ）悬挂在两个声学上透明的“穿孔极板”之间，它们本身由高电压的异相音频信号驱动（参见图5）。振膜采用一个相对于极板的一个高电压（电平大小依赖于相对的物理距离）来偏置。结果施加在振膜上的推挽力在整个表面上带动了周围的空气。极板通常是隔离的，以防止振膜靠近极板时使其弯曲变形。理论上，静电换能器的优势在于其振膜的小质量（接近空气质量），应力作用在整个表面上，以及推挽应力产生偶次谐波失真。结果是，正确设计的静电换能器将提供低失真，出色的瞬态响应和比偶极平面磁性设计更宽广的带宽。若没有电气和音质挑战，包括有限的动态范围（受到振膜的全冲程限制），低频滚降（由于其双极型空间耦合），高频电波（与振膜的宽度成反比），低失真，和大电压运行范围的需求，就达不到这种优良性能。由于可控制的声学环境，小尺寸和低输出范围的需求，耳机可以将这些挑战降到最低。因此，正确地设计ESL耳机（同时小心注意驱动方法）能实现最清晰的音质重现效果（忽略与空间有关的插入损耗）。

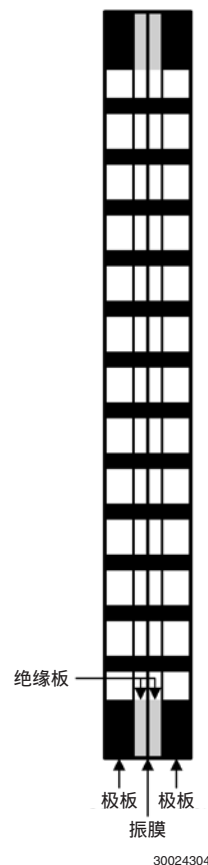


图4. 典型的ESL结构

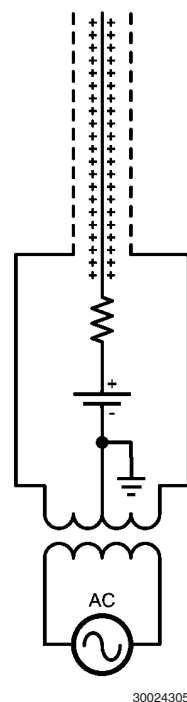


图5. ESL的工作原理

在几乎所有商用设计中使用的静电换能器都是推挽式常量电荷设计，其中振膜都放置在统一的电场中。在振膜上

施加的高阻抗涂层，可在其表面上提供常量电荷。这种设计的出色线性在之前的3, 4, 5节中已做了详细描述，其中不难发现在理论上静电扬声器可以是无失真的，此时振膜上的电荷虽然在极板之间来回移动，仍能保持恒定。在这些情况下，振膜上的应力可以由下式来定义

其中

$$F = Q \cdot E(t) \text{ (牛顿)}$$

$$Q = 2eAV / d \text{ (库伦)}$$

$$E(t) = v(t) / 2d \text{ (伏/米)}$$

$$C = eA / d \text{ (法拉)}$$

因此

$$F = CVv(t) / d \text{ (牛顿)}$$

其中

$$C = \text{换能器的电容值 (振膜到极板)}$$

$$V = \text{偏置电压 (伏)}$$

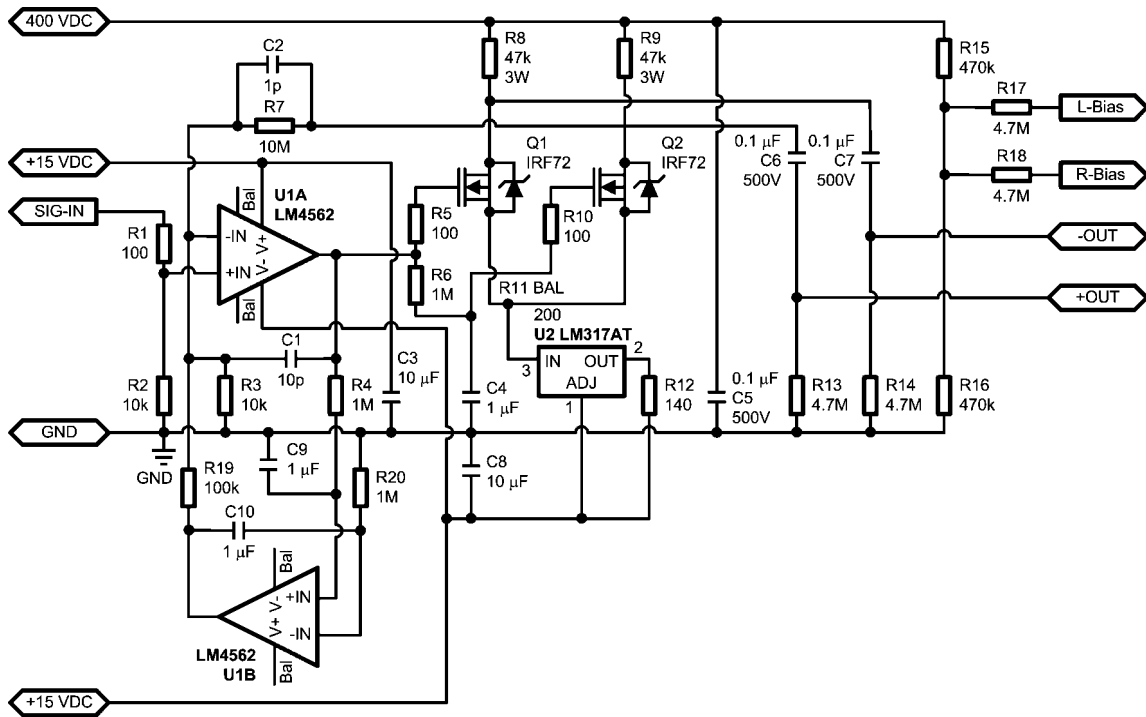
$$v(t) = \text{时变信号}$$

$$d = \text{振膜至极板的间距 (米)}$$

$$A = \text{振膜面积 (平方米)}$$

$$e = 8.85 \times 10^{-12} \text{ (法拉/米)}$$

静电换能器本质上主要是容性的（与低阻抗、最具阻性-感性的电磁换能器的负载相反），因此需要一个输入源，能够传送合适的充电电流。因为商用扬声器的优势是基于电磁场，所有的商用放大器都设计成与这些低阻抗负载接口。相应地，所有的静电扬声器制造商都提供所需的偏置电压和电压放大，以一个“接口单元”附件的形式提供，一般由一个偏置电源和具有合适的高压比的升压变压器组成（图5）。不巧的是，当需要一个高压比时，很难设计出一款性能卓越的宽带变压器。一个更好的解决方案是，直接采用一个能传送换能器造成的容性负载所必需的电流，具有大电压摆幅的宽带放大器对极板进行驱动。



30024306

图6. ESL放大器电路

当与流行的Stax 1类静电耳机连接时，在图6中展示的设计可以在全音频带宽上传送接近200 Vp-p的电压。尽管可以改变电阻分压器以提供高达400 V_{DC}的偏置电压，图中所采用的是直流200 V的偏置。注意到许多种Stax 1类耳机都具有相似的驱动和偏置需求，使得这种设计也同样适用于这些型号。

从图5中显然可以看到需要一个平衡的高压驱动。在本设计中，LM4562的一半用来驱动采用一对高压N-沟道MOSFET的分离差分放大器。采用工作在电流源模式的LM317来确保CMRR高于60 dB。LM4562的另一半则用作一

个伺服放大器。这种伺服系统通过R7可以主动地补偿全部直流反馈，从而确保U1A的输出维持在所需的直流0 V，这是为了正确偏置差分放大器Q1和Q1，从而使V_{out}最大。电位计R11考虑到在MOSFET中产生的变化，而且必须调节到在Q1和Q2漏极端口上产生直流0 V的差值。为了得到最佳性能，应对直流400 V和双通道直流15V电源采用稳压。

除了输出耦合电容之外，从输入端到输出端是全直流耦合设计。采用最佳品质的电容（聚丙烯，聚苯乙烯或者聚四氟乙烯），最终将得到最佳的音频性能。

应当注意的是，已经建立起几种可选的设计方案，包括

全差分拓扑的视听设计，然而最佳音质性能的方案是采用图中所示的拓扑取得的。

注意到，如果需要一个电子管输出级，则有可能用6FQ7/6CG7微型三极管或者6SN7八脚三极管来代替MOSFET管。在这种情况下，将需要一个合适的灯丝电源。

参考书目

1. Lipshitz, S.J., "On RIAA Equalization Networks," JAES Vol 27, No 6, June 1979, pp 458 – 481
2. Lipshitz, Stanley and Jung, Walt, "A High Accuracy Inverse RIAA Network," The Audio Amateur, 1/ 1980
3. Vogt, Hans, "Recent Developments in the Design of Electrostatic Loudspeakers," Radio News, 13, 656 (1932)
4. Walker, P.J., "Wide range Electrostatic Loudspeakers," Wireless World, 41, 20S (1955)
5. Janzen, A.A., Pritchard, R.L., and Hunt, F.V., Electrostatic Loudspeakers, (Office Naval Research NR-014-903, T.M. 17), Cambridge: Harvard University (Acoustics research Laboratory), 1950

注释

注释

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：www.national.com。

生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：（a）打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；（b）支持或维持生命，依照使用说明书正确使用时，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范（CSP-9-111C2）》以及《相关禁用物质和材料规范（CSP-9-111S2）》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。
无铅产品符合RoHS指令。



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: nw.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europa.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品 & TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

产品	应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters
DLP® 产品	www.dlp.com
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers
接口	www.ti.com.cn/interface
逻辑	www.ti.com.cn/logic
电源管理	www.ti.com.cn/power
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys
OMAP 机动性处理器	www.ti.com.cn/omap
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity
德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2011 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司