

电源的介绍

美国国家半导体公司
应用注释 556
2002年9月



引言

实际上每台电子设备，例如电脑及其外设、计算器、TV和Hi-fi设备、以及仪器都是由直流电源供电的，直流电源可以是电池或者有源电源。大多数这类设备要求的不仅是直流电压，而且是经过有效滤波和稳压后的电压。因为电源如此广泛地应用于电子设备，以至于电源器件占了目前世界电子市场中的很大份额，年市场规模超过50亿美元。

当今使用的电子功率转换器件共有三种类别，按照输入和输出电压进行分类：1) 直流-直流转换器；2) 交流-直流电源；3) 直流-交流逆变器。每一类产品都有各自的应用区域，但本文仅重点介绍前两个类别，这也是最常用的两类电源。

以高效率，低成本地将交流线路电压转换为直流电压，

电源必须完成下列功能：

1. 整流：将输入的交流线路电压转换为直流电压。
2. 变压：提供正确的直流电压电平。
3. 滤波：平滑整流后的电压纹波。
4. 稳压：控制输出电压电平至一个固定值，与线路、负载和温度等的变化无关。
5. 隔离：将输出与输入电压源作电气分离。
6. 保护：防止具有破坏性的浪涌电压到达输出端；提供备份电源或在欠压期间关闭电源。

一个理想的电源具有的特性是，无论电压、负载电流或环境温度如何变化，仍以100%的效率提供一个平滑且固定的输出电压。图1比较了实际电源和理想电源，进而阐述了一些电源术语。

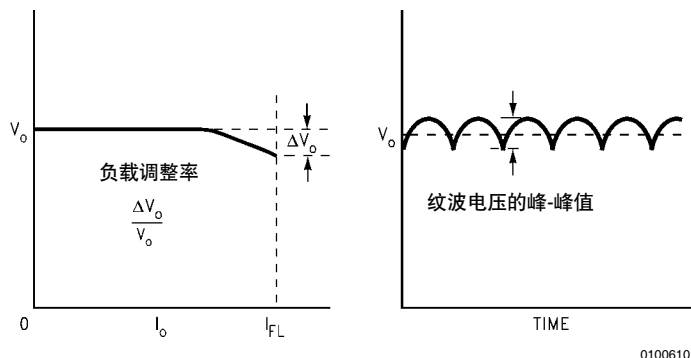


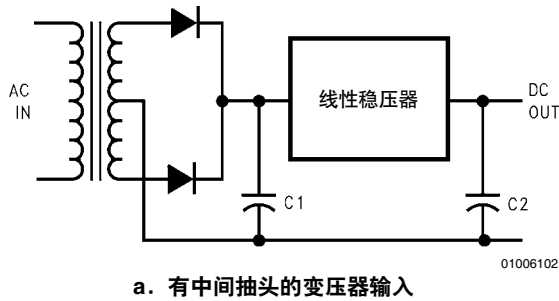
图1. 实际电源相比理想电源所具有的误差

线性电源

图2阐述了两个当前最常用的线性电源电路。所有电路都采用全波整流结构来减少至电容C1的纹波电压。桥式整流器电路有一个简单的变压器，但电流必须通过两个二极管。中间抽头的配置更适合于低输出电压，因为仅有一个二极管的电压降。对于5V和12V输出，与相同规格的快速二极管相比，由于肖特基势垒二极管具有较低的电压降而更为常用，进而提高了电源转换的效率。然而，每个二极管必须承受两倍的反向电压，该电压为相同输入电压时全波桥式转换器结构中单个二极管电压的两倍。

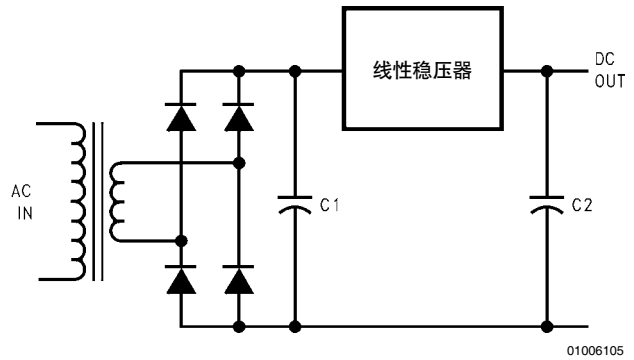
当线性电压稳压器提供精确的输出电压时，它表现的特性犹如在输入和输出之间的一个可变电阻。该电路效率的限制之一，就是由于线性器件必须降低输入和输出之间的电压差。最终，线性器件的功耗是 $(V_i - V_o) \times I_o$ 。虽然这些电源具有许多所需的特性，诸如简单性、低输出纹波、极佳的线路和负载调整率、对负载或线路变化的快速响应时间和低EMI，但是它们也存在低效率和占用较大空间的问题。开关电源正越来越受到欢迎，因为它们为解决这些难题提供了更好的方案。

线性电源 (续)



a. 有中间抽头的变压器输入

01006102



b. 全波桥式输入

01006105

图2. 线性电压稳压器

开关电源与线性电源的比较

由于高效率和高功率密度的优点，开关电源越来越受到欢迎。表1将线性稳压器和开关稳压器的一些主要特性做了比较。线性稳压器的线路和负载调整率通常要优于开关稳压器，调整率幅度有时会低一个数量级。但开关稳压器通常使用线性预稳压器来改善其输出稳压。

直流-直流转换器

广泛使用直流-直流转换器来对系统和仪器中的直流电源进行转换和分配。直流电源通常以系统电源或者电池的形式为应用系统供电。通常是5V、28V、48V或者其它的直流电源电压。下列所有电路都适用于该类应用，因为是低电压，通常不要求隔离。

表1. 线性电源和开关电源的比较 (典型值)

规格	线性电源	开关电源
线路调整率	0.02%–0.05%	0.05%–0.1%
负载调整率	0.02%–0.1%	0.1%–1.0%
输出纹波	0.5 mV–2 mV RMS	10 mV–100 mV _{P-P}
输入电压范围	± 10%	± 20%
效率	40%–55%	60%–95%
功率密度	0.5 W/cu. in.	2W–10W/cu. in.
瞬态恢复	50 μs	300 μs
保持时间	2 ms	34 ms

开关电源

脉冲宽度调制

早在上世纪60年代早期，已经开始设计用于军事用途的开关稳压器，因为其在重量轻巧和效率具有明显优势。用控制负载平均功率的方法来控制负载上的平均电压。实现的方法就是以极快的速度进行开关切换，如图3所示。

负载电阻R上的平均电压等于：

$$V_{o(\text{avg})} = (t_{\text{on}}/T) \times V_i \quad (1)$$

减少 t_{on} 可以降低 $V_{o(\text{avg})}$ 。该控制方法被称之为脉冲宽度调制 (PWM)。

降压稳压器

正如我们所见，存在许多不同的开关电压稳压器设计方法。因为结构简单，所以首先讨论“下冲”型稳压器（图

4），因为按公式（1）给出的输出电压小于输入电压，所以也被称作降压稳压器。典型的应用是将标准的28V军事总线电压降低为5V，为TTL逻辑供电。

在图4中时间 t_{on} 处，控制器已经检测到输出电压 V_o 非常低，开启调整管以建立L中的电流，该电流立刻为电容C重新充电。在 V_o 的预定电平处，控制器关闭调整管Q，强制由L、C和快速二极管构成的通路续流。由此高效地将储存在电感L中的能量传输到电容中。电感和电容以及电容尺寸都与开关频率成反比，这可解释为何开关电源的功率密度会不断增加。由于功率MOSFET的高频性能，所以它正迅速地在调整管位置取代双极性晶体管。因为调整管不仅要承载负载电流，而且要承载二极管D的反向恢复电流，所以强制使用一个超快恢复二极管或者肖特基二极管。

开关电源 (续)

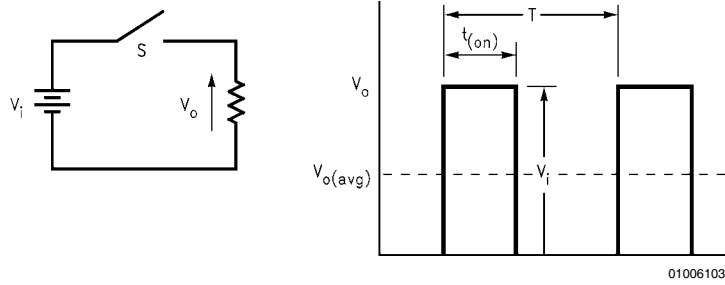


图3. 脉冲宽度调制的实例

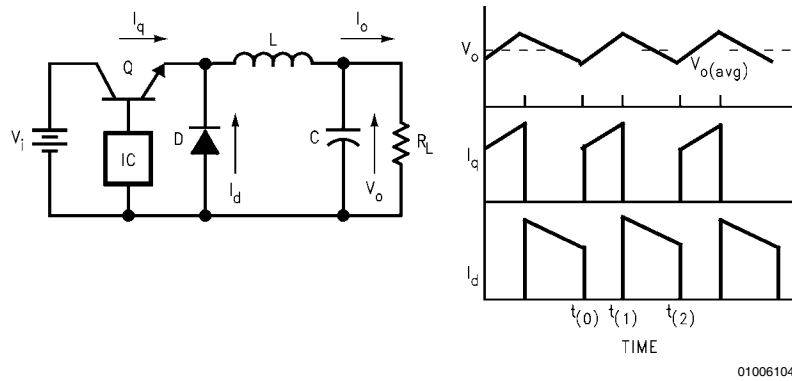


图4. 降压型稳压器及其电压和电流波形

升压型稳压器

如图5所示的第二种类型稳压器能够提高输入电压。应用该电路可将5V的电池电压升高至接口电路的12V，或甚至高达电子发光显示电路需要的150V。

该电路的原理同之前的一样，将存储在电感中的能量迁移到电容上。由于施加满幅输入电压，导致晶体管开关在 $t_{(0)}$

时关闭，电感电流迅速上升。在 $t_{(1)}$ 时晶体管关闭会强制电感电流通过超快速二极管D来为电容充电。因为存储在电感中的能量等于 $L \times I^2 \times \frac{1}{2}$ ，通过增加PWM芯片自身的导通时间，从而在切换前增加电感的峰值电流可以增加PWM芯片的 V_o 。传输函数为：

$$V_o = V_{IN} / (T - t_{(on)}) \quad (2)$$

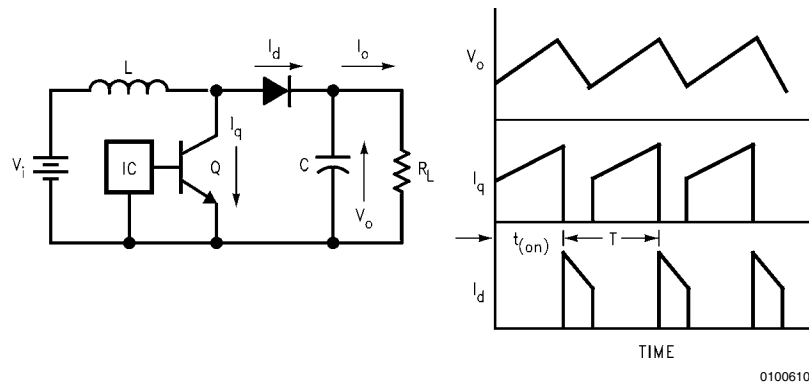


图5. 升压型稳压器和关联的I/V波形

开关电源 (续)

反相稳压器

图6为一个开关电路，能够产生与输入电压极性相反的输出电压。该电路的工作原理与升压型稳压器相同，只是通过变换晶体管和电感的位置来实现电压极性的倒置。该电路也被称作是降压-升压型稳压器，因为其输出电压的绝对幅度可以高于或者低于输入电压，幅度取决于调整管的导通时间与截止时间之间的比值。

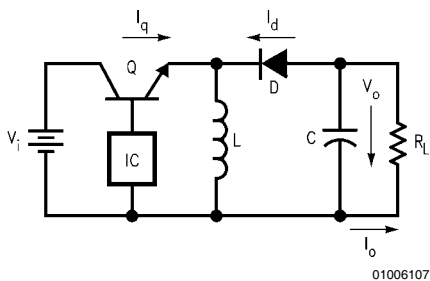


图6. 反相稳压器

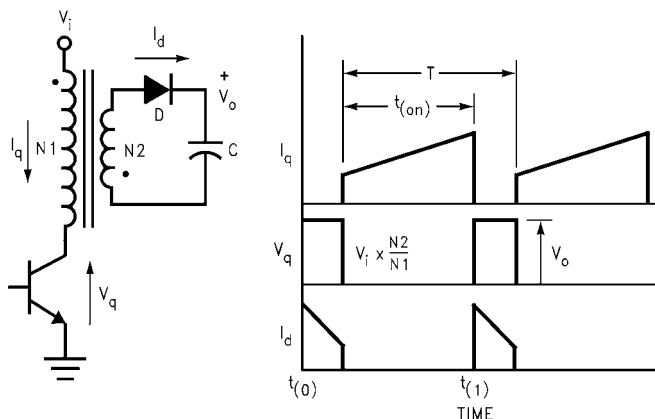


图7. 反激转换器

反激转换器最适合于多路输出和高压电源，因为变压器电感替代了滤波器电感。限制其应用于较低功率电源的主要缺点是：

1. 因为输出电容的半波充电过程，输出纹波电压比较高。
2. 晶体管必须在开关期间承受 $2 \times V_{IN}$ 的电压。
3. 因为仅在一个方向驱动变压器，使得在反激设计中要采用一个比正激或推挽式设计较大的铁芯，这也会增加成本。

反激转换器

之前讨论的三种稳压器适合于无需电气隔离的低压控制，然而，在与110V/220V主电源作离线开关工作时，电气隔离是绝对必要的。这可用一个变压器代替电感来实现。如图7所示的反激转换器通常用于高达150W的电源中，可以满足大多数的个人电脑、许多测试仪器和视频终端等的要求。

因为变压器在高频下工作，其尺寸要远小于如图2所示的50 Hz/60 Hz变压器。在限制的特定频率范围内，变压器尺寸与频率成反比。

检查图7所示的开关波形，电路表现的特性与升压型稳压器极为相似。应将变压器看作是由两个绕组构成的一个电感，一个绕组用于将能量存储在变压器铁芯中，另一个用于将铁芯能量传输到输出电容中。在晶体管的导通时间 $(t_{(0)} - t_{(1)})$ 内，变压器主线圈中的电流增加，请注意，因为次级线圈电压反相偏置二极管D，所以次级线圈中无电流流过。当晶体管关闭时，变压器电压极性倒置，因为它的磁场要求继续维持原先的电流方向。次级线圈中的电流经过二极管为输出电容充电。输出电压通过基本PWM公式乘以变压器线圈匝比 $(N2/N1)$ 得出：

$$V_o = V_{IN} \times (t_{(on)}) / (T - t_{(on)}) \times (N2/N1) \quad (3)$$

通过控制晶体管的导通时间来控制主线圈的峰值电流，从而实现电压控制。

离线开关电源

基于反激稳压器电路的完整离线开关电源如图8所示。电源之所以被称之为“离线”，是因为送到开关的直流电压是从交流线路变换而来。

电路也说明了从输出折回到开关晶体管形成了一个完整的反馈环路。反馈环路必须具有隔离，从而将直流输出电压与交流线路隔离。通常通过一个小变压器或者光耦合器来实现隔离。

开关电源 (续)

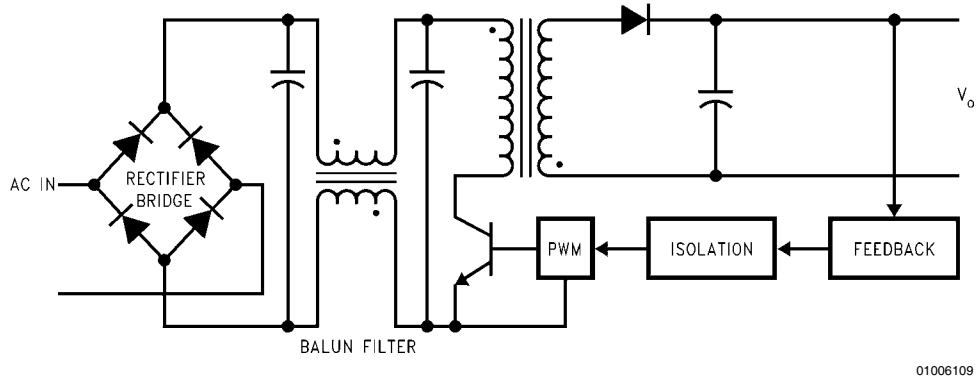


图8. 完整的隔离反激开关电源

为广泛用途而设计开发的开关电源必须满足从115V至230V的可选交流输入电压范围。图9所示为许多开关电源实现这一要求的设计。

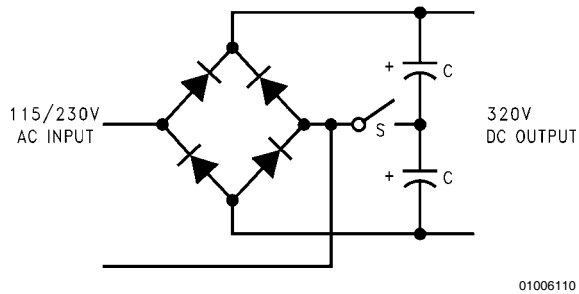


图9. 选择115V/230V输入电压的开关

正激转换器

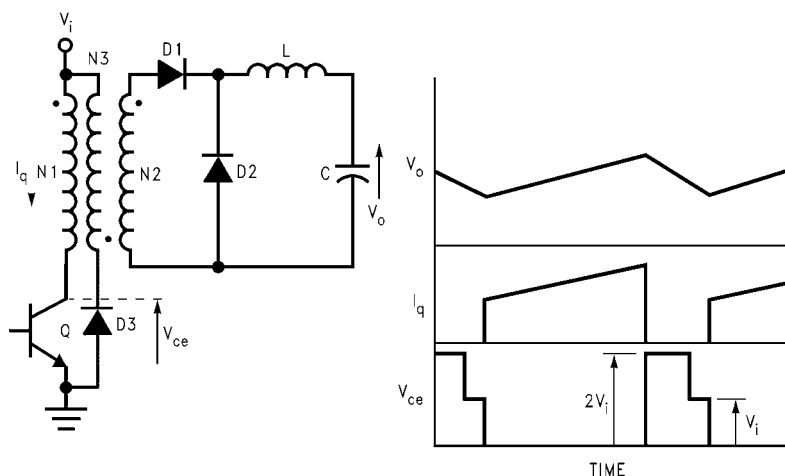
尽管正激转换器并不像反激转换器那么为人熟知，但也正逐渐地应用在100W至500W范围的电源中。图10为正激转换器的基本电路。当晶体管导通时，主线圈中的电流线性上升，次级线圈的电流也通过二极管D1流到电感和电容中。当晶体管开关断开时，电感电流通过电容和二极D2续流。因为对电容持续充电，该转换器产生较少的纹波。在大电流电源中这也是特别值得关注的优势。

该电路的输入和输出电压之间的关系式为：

$$V_o = V_{in} \times (N_2/N_1) \times (t_{on}/T) \quad (4)$$

请注意上图所示的变压器具有第三个绕组和串联二极管D3。设置该绕组的目的在于将变压器铁芯中的电磁能量返回到直流电源，所以不会在晶体管开关或其它电压抑制器中产生功耗。线圈匝比 N_3/N_1 限制了晶体管上的峰值电压，通常选择等于1，使得正激转换器工作在50%的占空比。在这种条件下，晶体管在关闭期间必须承受 $2 \times V_{in}$ 的电压。

开关电源 (续)



01006111

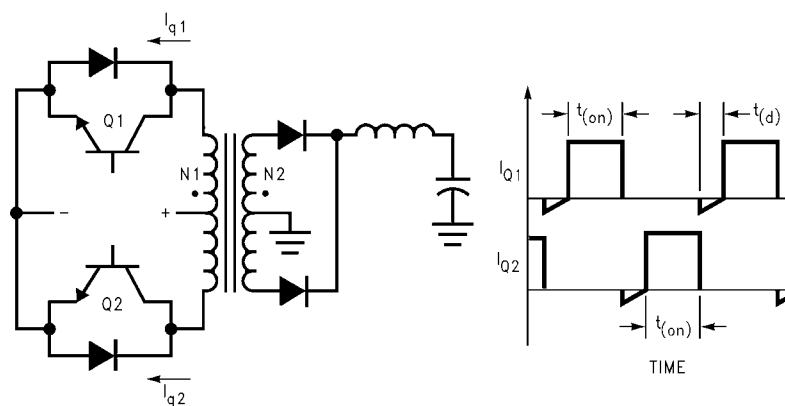
图10. 正激转换器

对称转换器

推挽式转换器

这种广泛应用的转换器电路如图11所示。

晶体管Q1和Q2轮流导通，导通时间为 $t_{(on)}$ 。使得变压器线圈轮换改变其电压极性，其利用率达到最大。传输函数仍遵循基本的PWM公式，但是增加2倍因子，这是因为在整个开关周期内两个晶体管轮流导通部分时间。



01006112

图11. 推挽式转换器

比较下列对称转换器，该电路的优点是两个晶体管开关共享一个公用信号回路。它的主要缺点是变压器中间抽头连接使得变压器设计复杂化，要将主绕组作紧耦合设计，以避免晶体管关闭时出现尖峰脉冲电压。

半桥转换器

该转换器（图12）的工作方式同先前的推挽式电路几乎相同。

$$V_o = 2 \times V_{IN} \times (N2/N1) \times (t_{(on)}/T) \quad (5)$$

需要存在死区时间段 $t_{(d)}$ 来避免在两个晶体管在相同时间内导通，这相当于避免将晶体管进入到短路模式中。输出纹波频率是工作频率的两倍，这会减小LC滤波器元件尺寸。请注意二极管反向并联在每个晶体管上。它们同正激转换器中的二极管D3执行相同的功能，即一旦晶体管关闭时即将电磁能量返送至输入电源。

对称转换器 (续)

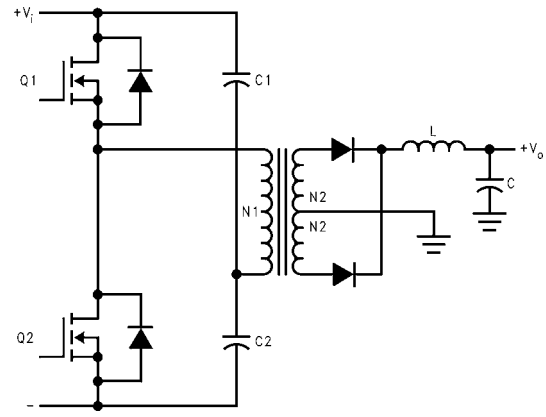
输入电容C1和C2会平等地分割输入电压，所以当任何一个晶体管开启时，都会在变压器主线圈上得到 $V_{IN}/2$ 的电压。因此注意到在下列传输等式中并没有因子“2”。

$$V_o = V_{IN} \times (N2/N1) \times (t_{on}/T) \quad (6)$$

因为两个晶体管是串联的，其上施加的电压不会超过输入电压 V_{IN} 加上无法避免的开关瞬态电压。由于两个晶体管同时导通会导致输入电源的严重短路，所以此处存在死区时间的必要性显而易见。反向并联的快速二极管返回电磁能量，如同在推挽电路中一样，只是在此轮流返回到电容C1和C2。略感不便的是该电路中需要一个绝缘栅驱动器Q1，因为许多实际的栅极驱动电路都使用变压器来进行隔离，所以不必看重该缺点。

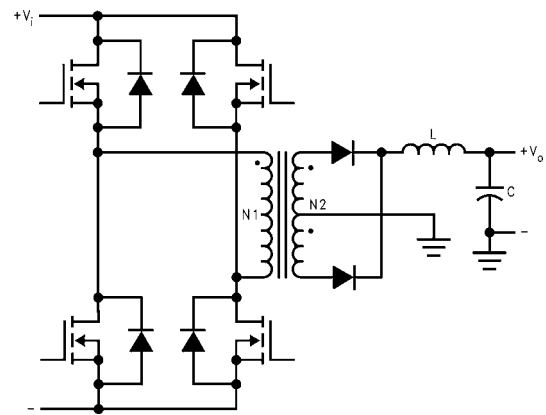
全桥转换器

由于其复杂性和高成本，图13的全桥转换器电路主要用于高功率转换器中。理想情况下，两个晶体管等分所有的电压，所以器件最大的电压额定值能接近 V_{IN} 。



01006113

图12. 半桥转换器电路



01006114

图13. 全桥转换器电路

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: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.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