

并联ADP1763 LDO稳压器以支持高输出电流应用

作者: Jason Duan和Justin Zhao

简介

许多高性能混合信号产品，如高速模数转换器（ADC）和数模转换器（DAC）、捷变射频（RF）收发器、时钟、专用集成电路（ASIC）和现场可编程门阵列（FPGA）等，需要超低噪声、低压差（LDO）线性稳压器来提供干净电源，从而最大程度地提高信号链性能。对更多集成功能和更低功耗的高要求，使得这些大规模混合信号集成电路（IC）的设计工艺尺寸越来越小（例如28 nm或更小），以便容纳更多晶体管。这种趋势同样影响了电源要求。近年来，内核电源电压持续降低，但为了支持更多模拟或数字功能，负载电流显著提高（例如3 A以上）。

在特定应用中，要找到能同时满足超低噪声和高负载电流这两个设计目标的合适LDO稳压器是相当困难的，因为市场上的LDO稳压器产品非常有限，即使有合适的器件，用户也可能要支付额外的费用。因此，针对高电流应用，有时候将LDO稳压器并联起来会很有利。在高负载应用中，相比于单个LDO稳压器，并联LDO稳压器具有许多优势，包括热量和功率损耗会分配在多个LDO稳压器封装上。另外，并联LDO稳压器还能改善压差，提高电源抑制比（PSRR）性能，因为与单个LDO稳压器相

比，各LDO稳压器的的工作电流更低。图1所示为一个高性能混合信号产品的电源图。两个ADP1763器件并联以提供内核电压，如图1所示。

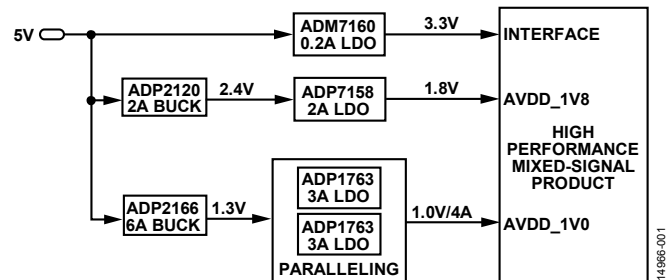


图1. 混合信号产品电源图

本应用笔记介绍两种并联方法：无源和有源。对于无源并联，两个可调ADP1763器件通过镇流电阻并联在一起。对于有源并联，一个低失调轨到轨放大器ADA4051-1调节ADP1763器件的输出电压，通过检测两个ADP1763器件的电流差来实现均流。实验测试结果显示了两种方法的优点和缺点。

目录

简介	1	负载调整率	6
修订历史	2	软启动	6
均流方法	3	噪声频谱密度	7
无源并联	3	热测试结果	7
有源并联	4	结语	7
测试结果	5		
均流精度	5		

修订历史

2016年10月—修订版0：初始版

均流方法

一般而言，用户简单地将两个LDO稳压器并联是不能实现均流的，由于容差，两个LDO稳压器的输出电压可能不匹配；比如LDO基准电压不同、反馈电阻不一致、印刷电路板 (PCB) 寄生特性不一致等。LDO稳压器的输出电压不匹配可能引起负载电流严重不平衡。在最不利情况下，它可能导致一个LDO承受大部分负载，从而触发限流保护。

ADP1763是一款LDO线性稳压器，采用单输入电源工作，输入电压低至1.1 V，无需外部偏置电源，提供高达3 A的输出电流。ADP1763的输出噪声非常低，在100 Hz至100 kHz范围内仅有2 $\mu\text{V rms}$ 。ADP1763的超低输出噪声特性是通过如下方法实现的：LDO误差放大器保持单位增益，并设置基准电压等于输出电压。单位增益架构的优势是LDO输出噪声与输出电压设置无关。更多信息参见图2。

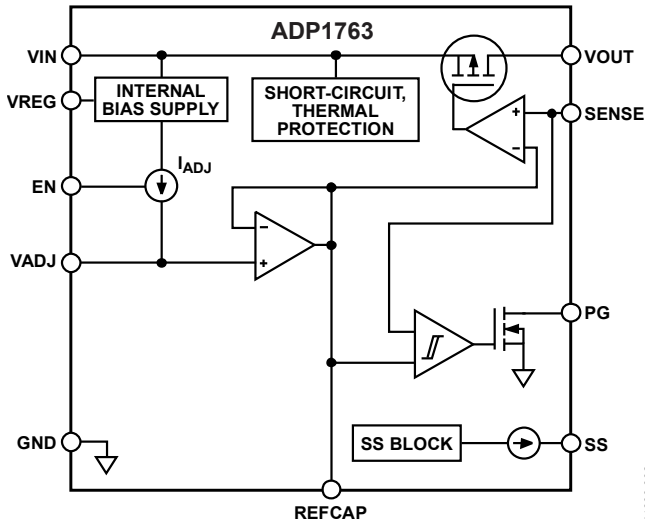


图2. ADP1763内部框图

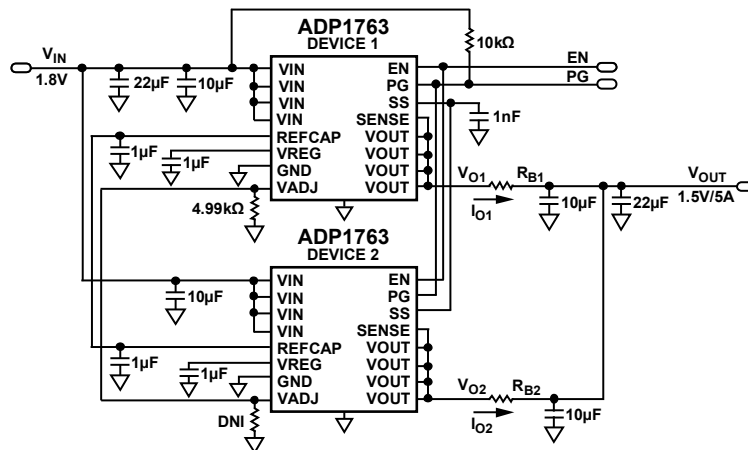


图3. 两个ADP1763器件无源并联

无源并联

一种实用的均流方法是在各稳压器的输出端增加相同的镇流电阻 (R_{B1} 和 R_{B2})，以改善多个LDO稳压器之间的均流性能。为了实现更好的均流性能，最好使用高阻值镇流电阻。然而，高电阻会降低负载调整性能，使得压差变大。设计时必须权衡考虑以选择合适的镇流电阻，扬长避短。图3显示两个ADP1763器件并联。为使输出误差最小，应将各自的REFCAP和VADJ引脚连起来，以在不同器件上实现精密匹配的基准电压。将各自的SS和EN引脚连起来，以在不同器件之间实现同步软启动行为。如果应用需要电源良好指示功能，还应将其PG引脚连起来。

当两个ADP1763器件的REFCAP引脚相连时，主要输出电压误差来源于误差放大器失调电压，误差放大器连接到各ADP1763输出。此误差放大器的失调电压非常低，在 -40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 温度范围内其最大值为 $\pm 1.32\text{ mV}$ 。REFCAP引脚和VOUT引脚之间仅有 $\pm 1.32\text{ mV}$ 误差，此失调电压允许使用小镇流电阻来实现合理的均流精度。此外，小镇流电阻还有低负载调整率和低功率损耗的优势。

为了计算最差情况，假设 V_{O1} 具有最差正失调电压， V_{O2} 具有最差负失调电压。

$$V_{O1} = V_{REFCAP} + V_{OFFSET}$$

$$V_{O2} = V_{REFCAP} - V_{OFFSET}$$

总输出电流 (I_O) = 5 A, $I_O = I_{O1} + I_{O2}$ 。

镇流电阻容差 (R_{S-TOL}) 为 $\pm 1\%$ 。为了计算最差情况, 假设 V_{O1} 电压轨上的镇流电阻具有正容差, V_{O2} 电压轨上的镇流电阻具有负容差。

$$V_{O1} - I_{O1} \times R_B \times (1 - R_{S-TOL}) = V_{O2} - I_{O2} \times R_B \times (1 + R_{S-TOL})$$

当 $R_{S-TOL} = 1\%$ 时,

$$I_{O1} = \frac{I_O \times (1 + R_{S-TOL}) + \frac{V_{O1} - V_{O2}}{R_B}}{2}$$

$$I_{O2} = 5 \text{ A} - I_{O1}$$

$$CS_{ACCURACY} = \frac{I_{O2} - I_{O1}}{I_O} \times 100\%$$

其中, $CS_{ACCURACY}$ 为均流精度。

图4显示了5 A负载时均流精度和压降与镇流电阻阻值的关系。均流精度随着镇流电阻阻值提高而提高。然而, 代价是压降变大。为了实现大约10%的均流精度和最小压降, 选择 $R_B = 5 \text{ m}\Omega$ 。

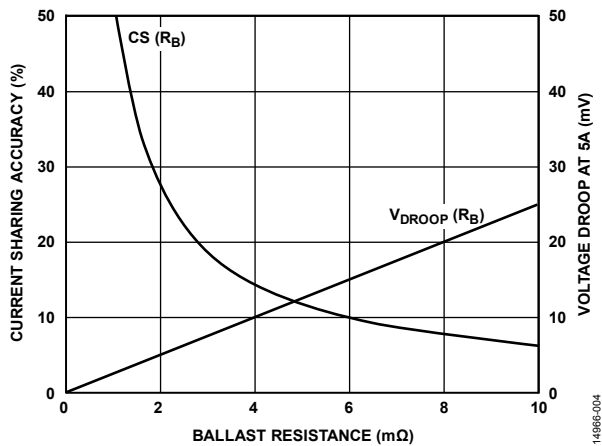


图4. 均流 (CS) 精度和压降与镇流电阻的关系

基于图4中的计算, 5 A负载时最差情况下的均流精度为 $\pm 11.6\%$ 。最大负载电流为2.789 A, 小于额定电流3 A。图5显示了采用无源均流方法时两个通道之间的负载调整率。

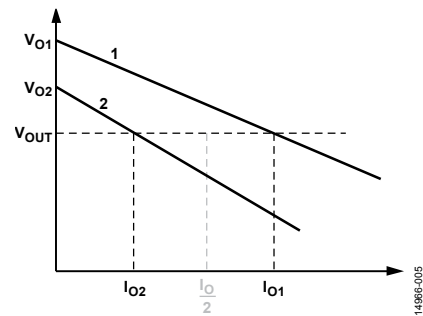


图5. 无源并联负载调整率

有源并联

与无源均流方法相比, 有源均流方法使用有源均流环路来实现主从LDO稳压器之间的电流平衡。图6显示了两个ADP1763器件的有源均流示例。它包括两个ADP1763器件 (第一个ADP1763用作主LDO)、一个输出放大器、ADA4051-1, 和两个10 mΩ均流电阻 (位于各LDO稳压器的输入端)。放大器ADA4051-1检测电流差, 并将其输出送至第二个ADP1763器件的VADJ引脚的反馈节点以调节其输出电压, 使电流平衡。

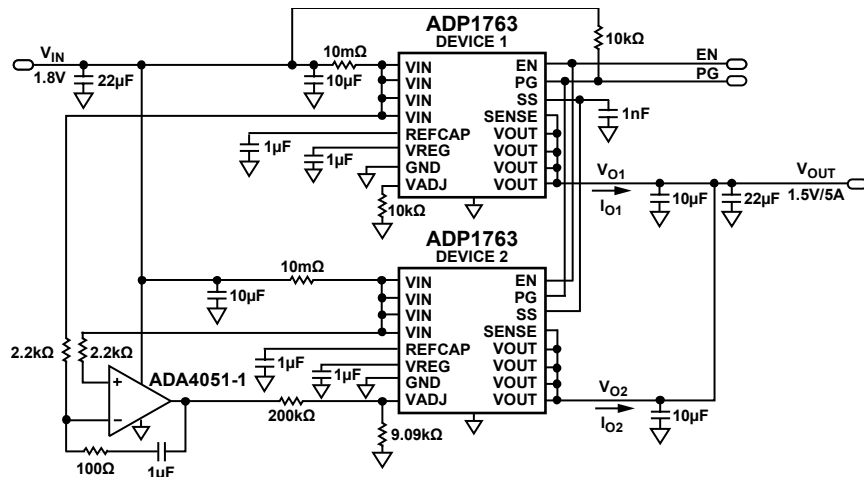


图6. 两个ADP1763器件有源并联

测试结果

为比较两种均流方法，设计了两个ADP1763器件的均流评估板来验证性能，如图7和图8所示。

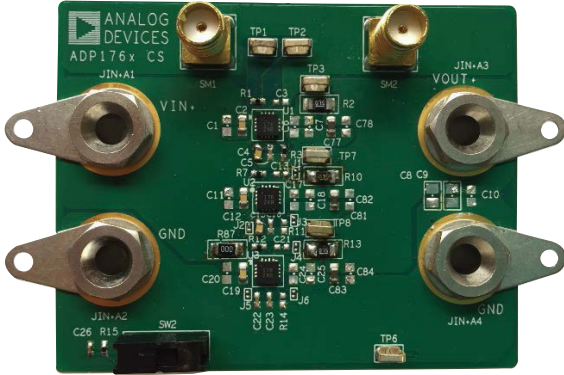


图7. 无源均流评估板

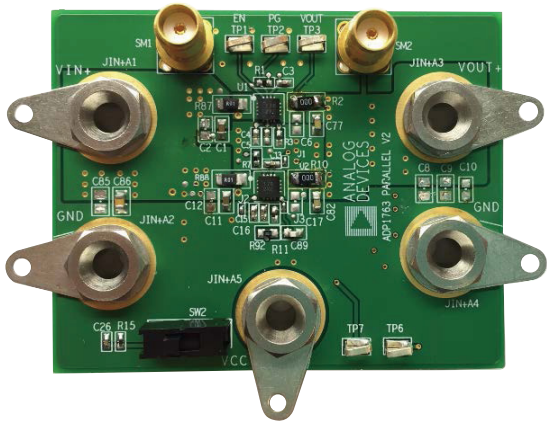


图8. 有源均流评估板

均流精度

图9和图10显示了两种评估板的均流精度。测试结果表明，在很宽的负载范围内，有源均流精度小于 $\pm 1\%$ 。满载时，无源均流精度约为 $\pm 5\%$ ，这对多数应用而言是可以接受的。有源均流方法的均流效果优于无源均流方法，尤其是在小负载条件下，原因是无源均流方法的失调误差是固定的。

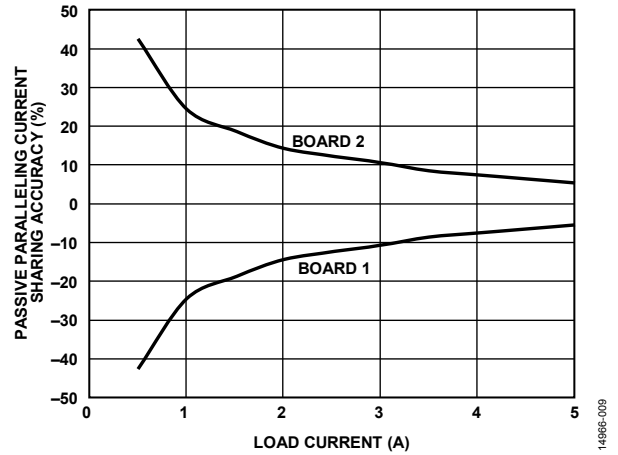


图9. 无源并联均流精度与负载电流的关系

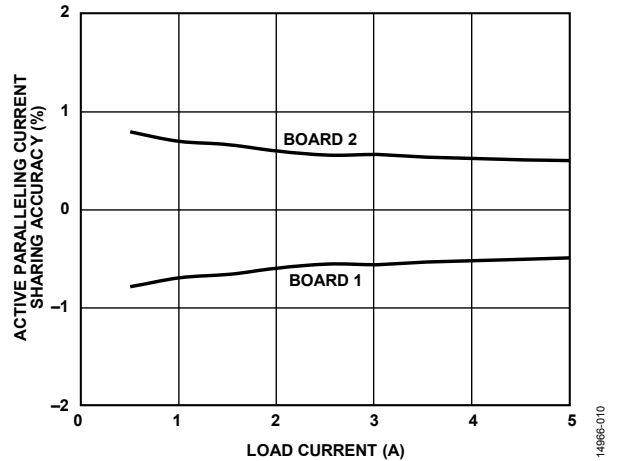


图10. 有源并联均流精度与负载电流的关系

负载调整率

采用无源并联时，各ADP1763器件的输出端有镇流电阻，因此输出电压随负载电流提高而下降。从图11所示测试结果可知，无源并联的负载调整率约为1.3%，而图12显示，有源并联的负载调整率约为0.5%，远低于无源并联。

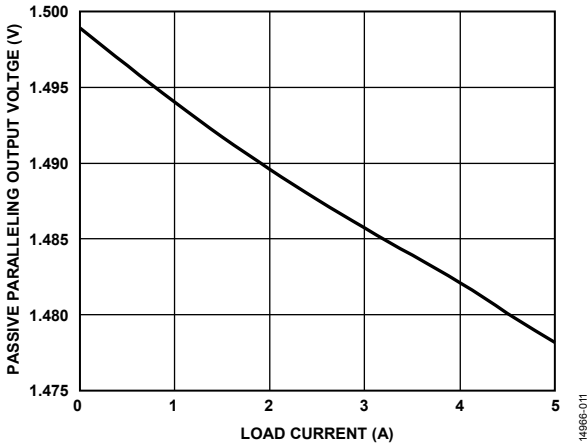


图11. 无源并联输出电压与负载电流的关系

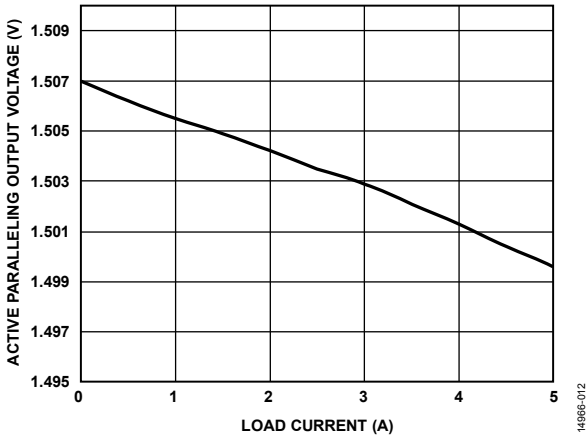


图12. 有源并联输出电压与负载电流的关系

软启动

图13和图14显示了满负载条件下无源和有源并联的软启动波形。如图13和图14中的波形所示，无论无源并联还是有源并联，输出电压都是单调上升。

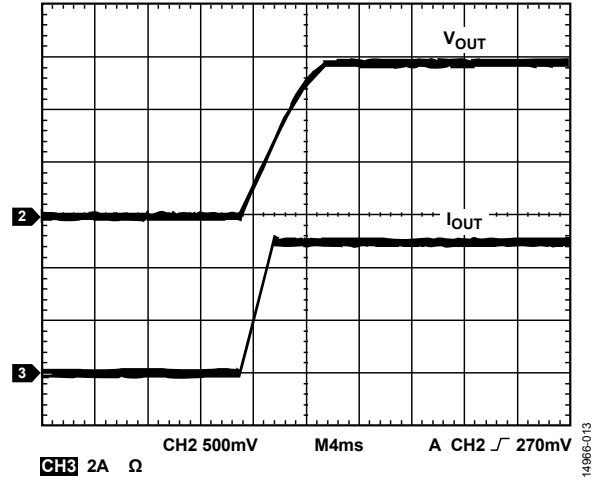


图13. 无源并联软启动

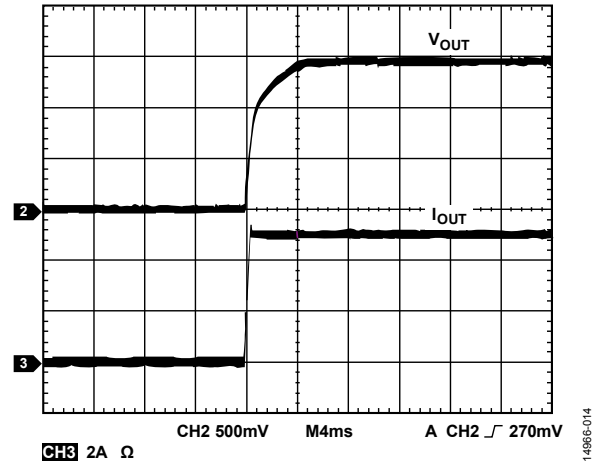


图14. 有源并联软启动

噪声频谱密度

图15和图16分别显示了5 A负载时无源并联和有源并联的噪声频谱密度。测试结果表明，有源并联和无源并联的噪声频谱密度性能相似。

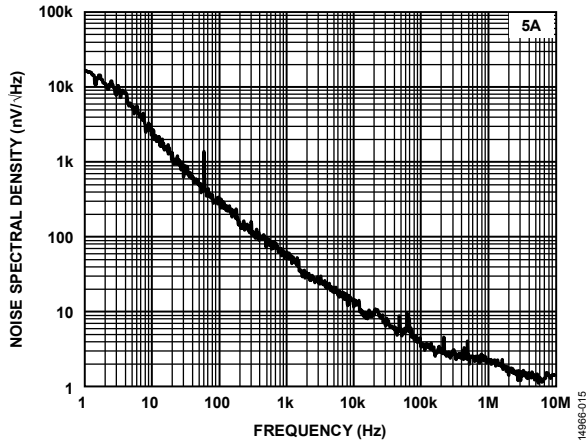


图15. 噪声频谱密度 (NSD) 与频率的关系,
 $V_{IN} = 1.8\text{ V}$, $I_O = 5\text{ A}$, 无源并联的NSD

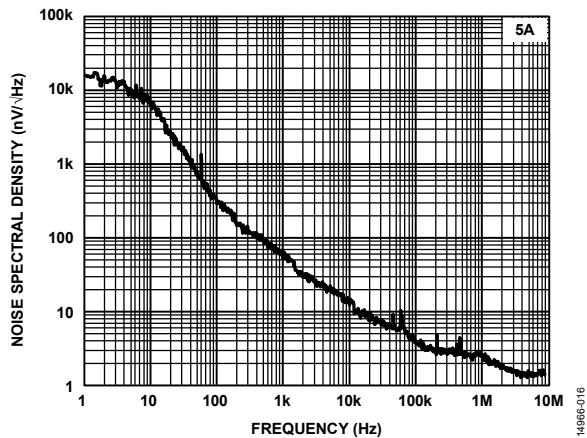


图16. NSD与频率的关系, $V_{IN} = 1.8\text{ V}$, $I_O = 5\text{ A}$, 有源并联的NSD

热测试结果

图17和图18所示为评估板热测试结果。如图17和图18所示，ADP1763器件实现了热平衡。

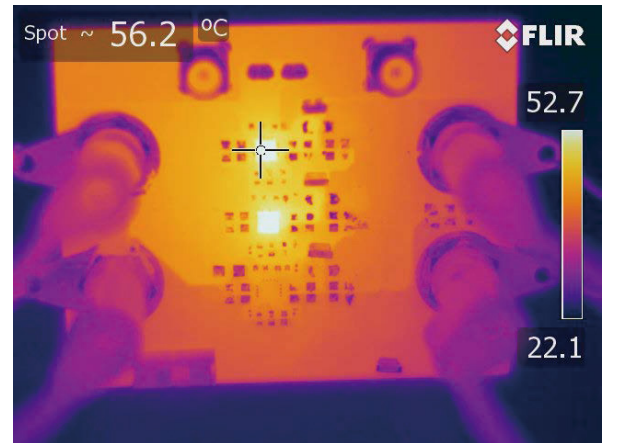


图17. 无源并联热测试

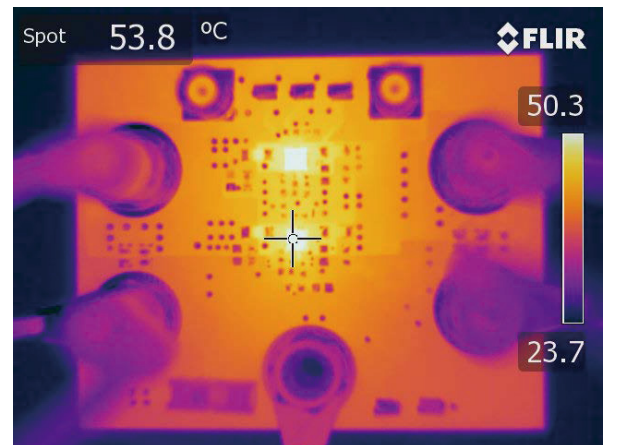


图18. 有源并联热测试

结语

本应用笔记介绍了高输出电流LDO应用中的两种LDO稳压器并联方法，即无源均流和有源均流。文中说明了设计考虑和测试结果，包括均流精度、负载调整率、软启动、噪声频谱密度和热性能。