

# 低噪声 Silent Switcher $\mu$ Module 和 LDO 稳压器可改善 超声噪声和图像质量

Yu Lu, 现场应用工程师,  
Hugh Yu, 医疗健康系统应用经理

## 摘要

本文将简要介绍超声成像系统进行, 并详细分析超声电源管理设计方面的一些挑战和解决方案。文中主要讨论了4个设计考虑因素: 系统噪声水平、开关噪声、电磁干扰(EMI), 以及超声中与电源相关的热耗问题。本文还将说明 Silent Switcher<sup>®</sup>  $\mu$ Module<sup>®</sup> 和低噪声 LDO 技术如何帮助解决常见的问题并改善系统噪声, 提高图像质量。

## 简介

自2000年(GE)首次推出数字超声技术以来, 超声市场发展迅速。超声技术已从基于静态转向动态, 并从黑白转向彩色多普勒。随着超声应用越来越多, 对组件的要求也不断提高, 例如与探头、AFE和电源系统相关的要求。

在医疗诊断领域, 越来越多的应用需要超声成像系统输出更高的图像质量。提高图像质量的关键技术之一是提高系统的信噪比(SNR)。下文将讨论影响噪声的不同因素, 特别是电源。

## 超声的工作原理是什么?

超声系统由换能器、发射电路、接收电路、后端数字处理电路、控制电路和显示模块等组成。数字处理模块通常包含现场可编程门阵列(FPGA), FPGA根据系统的配置和控制参数生成发射波束合成及相应的波形模式。然后, 发射电路中的驱动和高压电路生成高压信号来激励超声换能器。超声换能器通常采用PZT陶瓷制成。换能器将电压信号转换为超声波进入人体, 同时接收人体组织产生的回波。回波转换成微小电压信号, 并传输至发射/接收(T/R)开关。T/R开关的主要目的是防止高压发射信号损坏低压接收模拟前端。模拟电压信号经过信号调理、放大和滤波后, 传输至集成ADC的模拟前端, 然后转换成数字数据。数字数据通过JESD204B或LVDS接口发送到FPGA进行接收波束合成, 然后再到后端数字部分进一步处理, 从而生成超声图像。

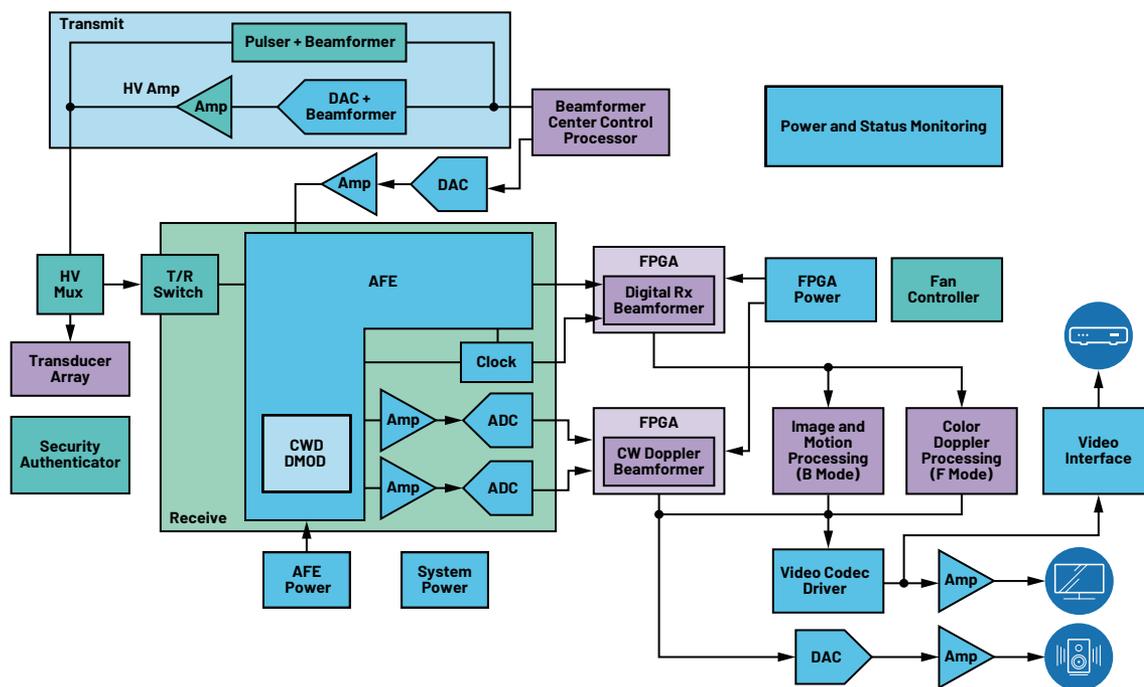


图1. 超声系统方框图。

## 电源如何影响超声系统？

从上述超声架构来看，系统噪声会受到许多因素的影响，如发射信号链、接收信号链、TGC增益控制、时钟和电源。在本文中，我们将讨论电源如何影响噪声。

超声系统提供不同类型的成像模式，每种成像模式对动态范围有不同的要求。这也意味着，SNR或噪声要求取决于不同的成像模式。黑白模式需要70 dB动态范围，脉冲波多普勒(PWD)模式需要130 dB，连续波多普勒(CWD)模式需要160 dB。对于黑白模式，本底噪声非常重要，它会影响到在远场能够看到的最小超声回波的最大深度，也就是穿透，这是黑白模式的关键指标之一。对于PWD和CWD模式，1/f噪声尤为重要。PWD和CWD图像均包括1 kHz以下的低频信号，相位噪声会影响1 kHz以上的多普勒频谱。由于超声换能器频率通常为1 MHz至15 MHz，因此该范围内的任何开关频率噪声都会对其造成影响。在PWD和CWD模式中如果在其频谱

(从100 Hz至200 kHz)中存在交调频率，多普勒图像中将会出现明显的噪声频谱，这在超声系统中是不可接受的。

另一方面，通过考虑和上面相同的这些因素，良好的电源可改善超声图像。设计人员为超声应用设计电源时，需要考虑多个方面的因素。

## 开关频率

如前所述，必须避免在采样频带(200 Hz至100 kHz)内引入不需要的谐波噪声。在电源系统中，很容易找到此类噪声。

大多数开关稳压器使用电阻来设置开关频率。该电阻的误差会在PCB上引入包含主频及谐波频率的不同频率噪声。例如，在400 kHz DC/DC稳压器中，1%精度电阻提供±1%误差和4 kHz谐波频率。更好的解决方案是选择具有同步功能的开关电源。外部时钟将通过SYNC引脚向所有稳压器发送信号，使所有稳压器切换到相同频率和相同相位下工作。

此外，出于EMI考量或更高的瞬态响应，一些稳压器的开关频率会在主频20%内变化，这会导致400 kHz电源中产生0 kHz至80 kHz谐波频率。恒频开关稳压器有助于解决这一问题。ADI的Silent Switcher稳压器和 $\mu$ Module稳压器系列具有恒定频率开关功能，同时能在不开启扩频的情况下，仍保持出色的EMI性能，以及出色的瞬态响应。

## 白噪声

超声系统中也有许多白噪声源，这会导致超声成像中出现背景噪声。该噪声主要来自信号链、时钟和电源。

目前，使用LDO作为模拟器件的模拟供电引脚输入是最常见的做法。ADI的下一代LDO稳压器具有大约1  $\mu$ V rms的超低噪声，可以提供200 mA至3 A的电流。电路和规格参数如图2和图3所示。

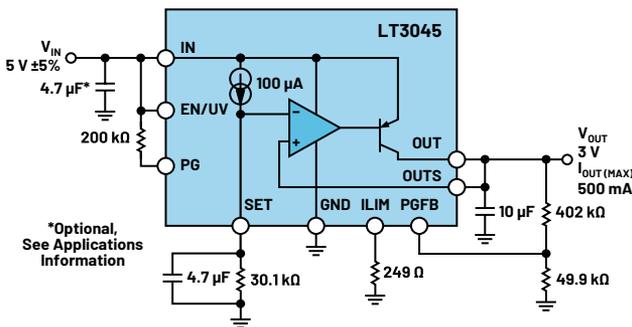


图2. 下一代低噪声LDO稳压器。

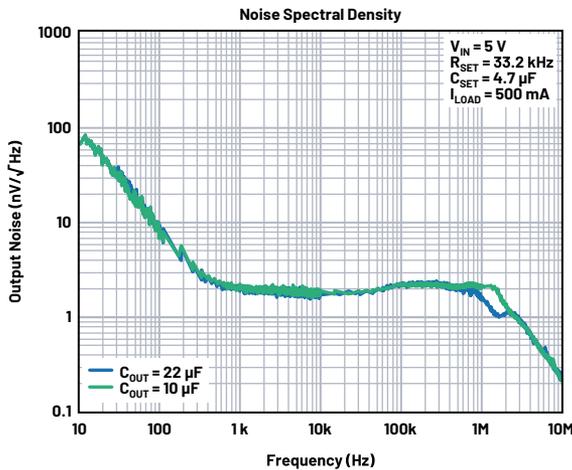


图3. 下一代LDO稳压器LT3045中的低噪声谱密度。

## PCB布局

在设计超声系统中的数据采集板时，通常需要考虑电源部分的大电流和信号链部分的噪声敏感之间的权衡。开关电源产生的噪声很容易耦合到信号路径走线中，并且很难通过数据处理去除。开关噪声通常由开关输入电容（图4）以及上管和下管组成的热回路产生。添加缓冲电路可帮助管理电磁辐射；但同时也会降低效率。在这种情况下，Silent Switcher架构可以帮助在高开关频率下，优化EMI性能，并且保持高效率。

## 手持式数字探头

除了因吸收超声能量而引起的发热，换能器本身的温度对换能器附近的人体组织的温度影响很大。通过向换能器施加电信号，可生成超声脉冲。有些电量在换能器基元、镜头和衬底材料中转换成热能，导致换能器发热。此外，对换能器探头中收到的信号进行电子处理也可能产生电热。从换能器表面排出热量会使表面组织的温度升高几摄氏度。IEC标准60601-2-37（2007版）中指定了最大容许换能器表面温度( $T_{SURF}$ )。<sup>1</sup>当换能器对着空气发射超声波时，换能器表面容许的最大温度为50°C；当发射到合适的体模时，该温度为43°C。后一项限制意味着，皮肤温度（通常为33°C）最高可升高10°C。换能器发热是复杂的超声探头设计中重要的设计考量，在一些情况下，这些温度限制可能会明显地限制输出的声功率强度。

当换能器向空气发射超声时，安全标准IEC 60601-2-37（2007版）<sup>1</sup>将换能器表面的温度限制到50°C以下，当换能器在33°C（对于外部应用的换能器）或37°C（对于内部换能器）与体模接触时，该标准将其表面温度限制到43°C以下。通常这些温度限制（而不是对波束中最大强度的限制）约束了换能器的声功率输出。Silent Switcher产品将电源以最高效率（和宽范围开关频率）转换为不同电压给数字探头供电。这意味着，功率转换期间的功率损耗很低。这对冷却系统大有帮助，因为没有太多额外功率以热量形式损耗。

## Silent Switcher $\mu$ Module稳压器大有帮助

Silent Switcher  $\mu$ Module稳压器技术是进行超声电源轨设计时的明智选择。引入该模块技术是为了帮助改善EMI和开关频率噪声。传统上，我们应该关注每个开关稳压器在热回路上的电路和布局设计。对于降压电路，如图4所示，热回路包含输入电容、顶部MOSFET、底部MOSFET，以及由走线、路由、边界(bounding)等引起的寄生电感。

Silent Switcher模块主要提供两种设计方法:

第一, 如图4和图5所示, 通过创建反向的热回路, 由于双向辐射, 大多数EMI将被抵消。通过该方法, 将优化辐射近20 dB。

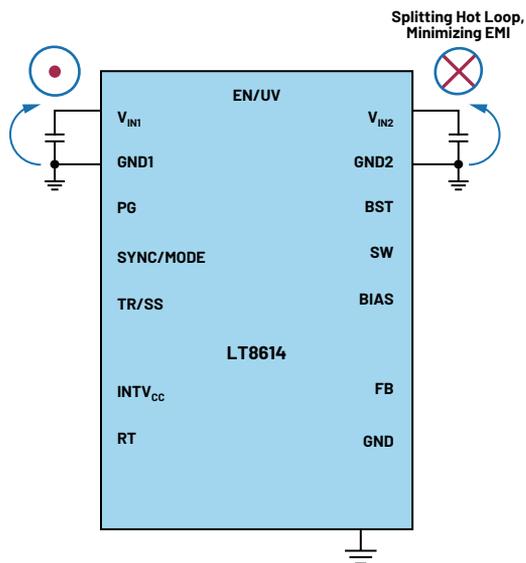


图4. 拆分热回路的原理图。

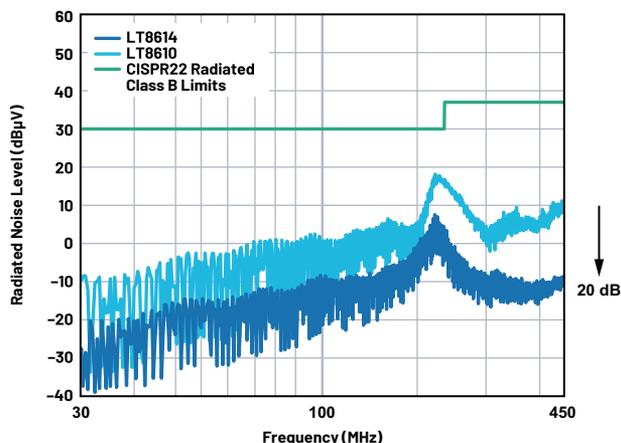


图5. 比较Silent Switcher和非Silent Switcher EMI性能。

第二, 如图6所示, Silent Switcher模块不是直接在晶圆周围绑定接线, 而是采用铜柱倒装芯片封装, 有助于减少寄生电感, 优化尖峰和死区时间。

此外, 如图7所示, Silent Switcher技术提供高功率密度设计, 并且能够在小封装中实现大电流能力, 从而保持低 $\theta_{JA}$ , 实现高效率(例如, LTM4638能够在6.25 mm × 6.25 mm × 5.02 mm封装中实现15 A)。

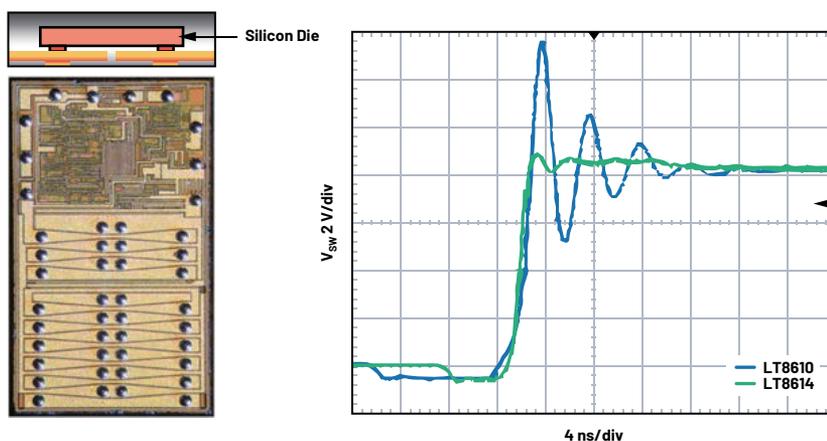


图6. 与传统绑定技术(LT8610)相比较的铜柱倒装芯片封装及其性能(LT8614)。

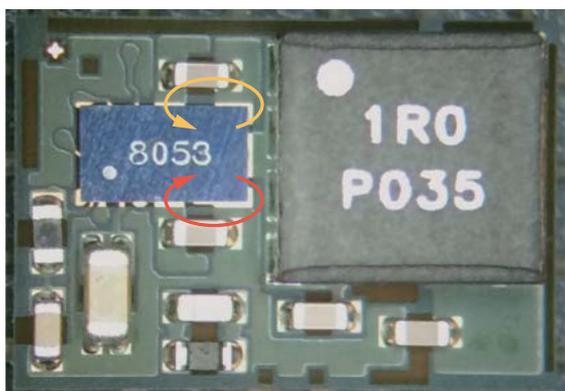


图7. Silent Switcher μModule稳压器封装内视图。

表1. Silent Switcher产品概览

	低频噪声	开关噪声谐波	高散热性能
架构	Silent Switcher 3设备中的超低噪声基准	Silent Switcher技术与铜柱封装	封装中的Silent Switcher技术与散热器
特性	在低噪声方面，性能与LDO稳压器相同	低EMI，低开关噪声 快速开关频率，短死区	高功率密度 更小的热阻
应用中的优势	不再需要后置LDO稳压器，同时保持相同的图像质量	高频率与高效率 更高的频率，更小的滤波器尺寸	对于相同电流电平，最大程度减小降幅



### 作者简介

Yu Lu于2015年获得法国里昂国立应用科学学院的电气工程硕士学位，并于2016年加入Maxim，担任系统工程师，开始其职业生涯。自2019年起，他加入ADI（上海）公司，担任医疗健康市场的FAE（现场应用工程师）。联系方式：[yu.lu@analog.com](mailto:yu.lu@analog.com)。



### 作者简介

Hugh Yu于2001年毕业于南京邮电大学，获电子与信息工程硕士学位。2002年至2005年，他在通用电气医疗系统中国有限公司超声部门担任高级硬件工程师，2005年至2010年，在西门子中国研究院担任研究员。目前在ADI（上海）公司担任亚太区医疗健康系统应用经理。联系方式：[hugh.yu@analog.com](mailto:hugh.yu@analog.com)。

表2. 采用Silent Switcher技术的热门超低噪声电源解决方案

	开关频率	控制模式	开关抖动	功率级架构	EMI	有效值噪声
LTM8053-1	200 kHz至3 MHz	固定频率峰值电流	小	Silent Switcher 2模块	超低	0.8 μV rms (带有LT3045)
LTM8060	200 kHz至3 MHz	固定频率峰值电流	小	Silent Switcher 2模块	超低	0.8 μV rms (带有LT3045)
LT8625S	300 kHz至4 MHz	固定频率峰值电流	小	Silent Switcher 3变换器	超低	4 μV rms (不带LT3045)

此外，许多Silent Switcher μModule稳压器也具有固定频率、宽频率范围和峰值电流架构，从而实现低抖动和快速瞬态响应。该产品系列中的热门产品参见表2。

### 结论

ADI的Silent Switcher电源μModule稳压器模块和LDO产品为超声电源轨设计提供了完整的解决方案，尽可能减少了系统噪声电平和开关噪声。这有助于改善图像质量，而且有助于限制温度升高，并简化PCB布局设计复杂性。

### 参考资料

<sup>1</sup> IEC标准60601-2-37。2007。

