

Refulator：200 mA精密基准电压源的能力

作者：Michael Anderson



精密模拟设计人员常常依赖安静低噪声的基准电压源来为DAC和ADC转换器供电。这项任务不在基准电压源的基本职责范围内，其表面上的设计目的是为实际电源提供干净精确的稳定电压，即电源转换器的基准输入。考虑一些注意事项，基准电压源通常能够胜任为转换器基准输入提供精密电压的工作，这使得设计人员可以大胆地要求基准电压源为电流越来越高的应用供电。毕竟，如果基准电压源可以为转换器供电，为什么不能为模拟信号链、其他转换器或其他电路供电呢？

任何设计流程通常都涉及到精度与功耗的选择。为了做出选择，粗略方法建议：当要求精度时使用基准电压源，当要求毫瓦级功耗时使用LDO。除了需要额外的电路板空间和成本以外，还必须为不同的信号布线，无论其标称电压相同与否。如果需要高精度电压源来提供毫瓦级功耗，设计人员将不得不缓冲基准电压源。LT6658通过提供两路低噪声、高精度输出来解决这一难题，其合并输出电流为200 mA，且具有世界一流的基准电压源规格。

关于LT6658——基准电压源质量的低漂移稳压器

LT6658是一款精密低噪声、低漂移稳压器，具有专用基准电压源的精度规格和线性稳压器的功率能力——二者的优点结合为ADI公司的Refulator™技术。LT6658的漂移为10 ppm/°C，初始精度为0.05%，两路输出分别支持150 mA和50 mA，每路输出均有20 mA的有源吸电流能力。为了保持高精度，负载调整率为0.1 ppm/mA。当输入电压源引脚连接在一起时，电压调整率典型值为1.4 ppm/V，而当为输入引脚提供独立电源时，电压调整率小于0.1 ppm/V。

为了更好地理解LT6658的特性以及它如何达到如此高的性能水平，图1显示了一个典型应用。LT6658由一个基准电压级、一个降

噪级和两个输出缓冲器组成。基准电压和两个输出缓冲器分开供电，以实现优异的隔离。每个输出缓冲器都有一个开尔文检测反馈引脚，以提供最佳负载调整。

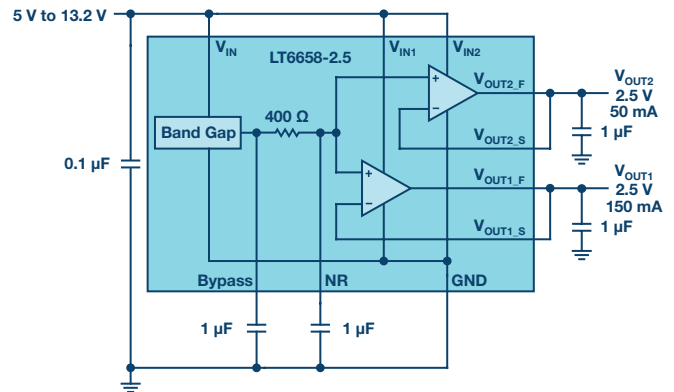


图1. 典型应用

噪级由一个400 Ω电阻和一个用于连接外部电容的引脚组成。该RC网络充当低通滤波器，用来限制基准电压级的噪声带宽。外部电容可以任意大，以便将噪声带宽降至非常低的频率。

快速安静的负载阶跃响应

作为稳压器，LT6658从V_{OUT1_F}引脚提供150 mA电流，并具有出色的瞬态响应性能。图2a显示了器件对1 mA负载阶跃瞬态（从10 mA到11 mA）的响应；图2b显示了器件对140 mA负载阶跃瞬态（从10 mA到150 mA）的响应。输出缓冲器的出电流和吸电流能力支持输出快速建立。瞬态响应时间很短，同时保持出色的负载调整。负载调整率典型值为0.1 ppm/mA。第二路输出V_{OUT2_F}具有类似的响应性能，最大负载为50 mA。

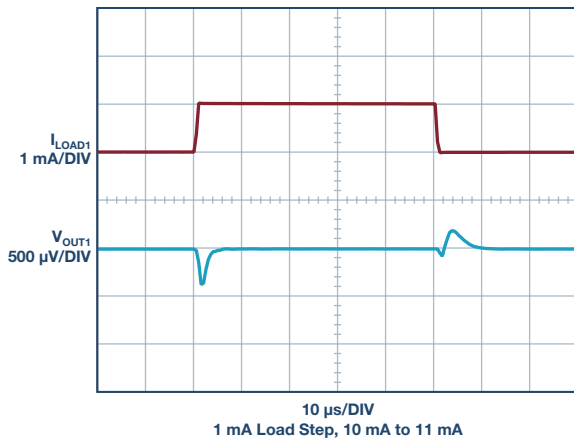


图2a. 1 mA负载阶跃响应

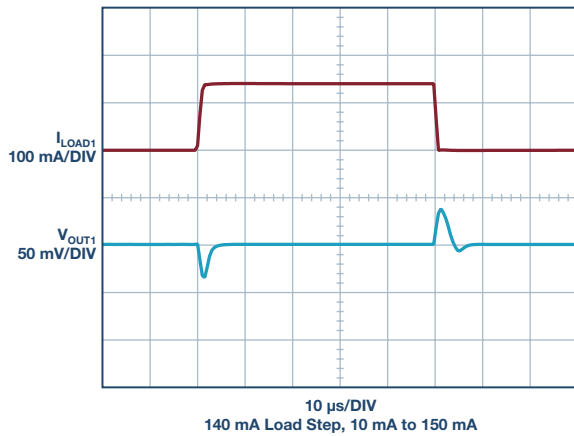


图2b. 140 mA负载阶跃响应

输出跟踪

对于使用不同基准电压的多转换器应用，即使输出设置为不同的电压，LT6658的输出也会跟踪，确保转换结果一致。这之所以可能，是因为LT6658的两路输出由一个公共电压源驱动。输出缓冲器经调整，实现出色的跟踪和低漂移。当 V_{OUT1_F} 上的负载从0 mA增加到150 mA时， V_{OUT2} 输出变化小于12 ppm，如图3所示。也就是说，即使负载和工作条件改变，输出之间的关系也能得到很好地保持。

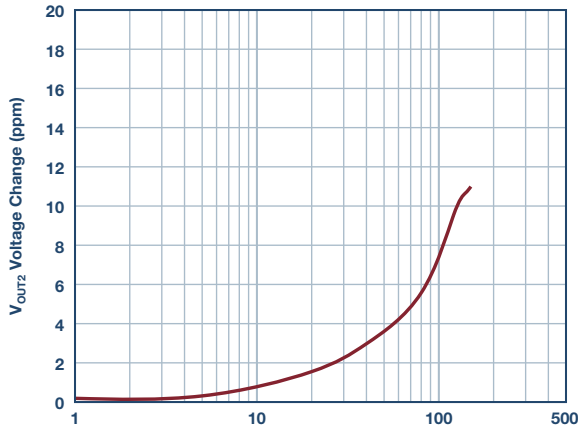


图3. 通道间的负载调整 (已消除发热影响)

电源抑制和隔离

为了帮助实现出色的电源抑制和输出隔离，LT6658提供三个电源引脚。 V_{IN} 引脚为基准电压电路供电，而 V_{IN1} 和 V_{IN2} 分别为 V_{OUT1} 和 V_{OUT2} 供电。最简单的方法是将所有三个电源引脚连接在一起，提供1.4 ppm/V的典型直流电源抑制能力。当电源引脚分别连接且 V_{IN1} 电源切换时， V_{OUT2} 的直流电压调整率为0.06 ppm/V。

表1总结了每个电源引脚从5 V变为36 V时的电源抑制情况。 V_{IN} 电源的灵敏度最高，引起的输出典型变化为1.4 ppm/V。电源引脚 V_{IN1} 和 V_{IN2} 几乎无影响。 V_{IN1} 和 V_{IN2} 栏中的测量结果是输出噪声电平。

表1. 直流电源抑制

阶跃电源	V (5 V至36 V)	V_{IN1} (5 V至36 V)	V_{IN} (5 V至36 V)	$V_{IN} = V_{IN1} = V_{IN2}$ (5 V至36 V)	单位
旁路	0.01	0.02	1.36	1.36	ppm/V
V_{OUT1}	0.07	0.01	1.34	1.43	ppm/V
V_{OUT2}	0.03	0.06	1.39	1.37	ppm/V

表4所示为交流PSRR的两个例子。第一个例子在NR引脚上有一个1 μ F电容，第二个例子在NR引脚上有一个10 μ F电容。较大的10 μ F电容将107 dB抑制能力扩展到2 kHz。

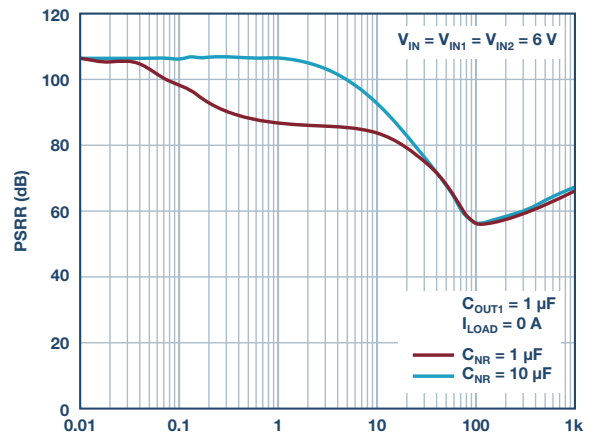


图4. 电源纹波抑制

图5显示了从 V_{IN1} 到 V_{OUT2} 的交流通道间电源隔离。当 $C_{NR} = 10 \mu$ F时，100 kHz以上频率的通道间电源隔离大于70 dB。

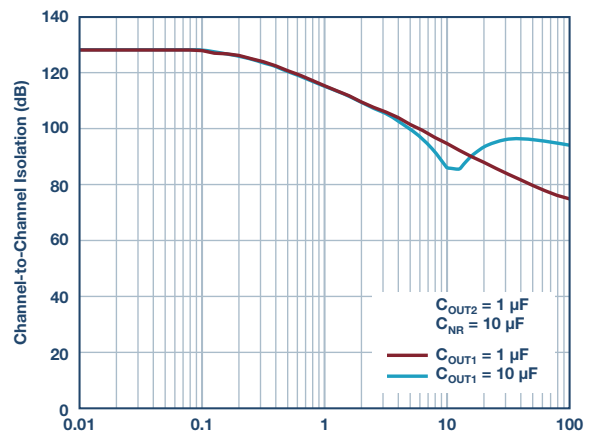


图5. 通道间 V_{OUT1} 至 V_{OUT2} 隔离

负载瞬变对相邻输出的影响极小。图6a和图6b显示了通道间输出隔离。在一路输出以50 mV rms摆动的同时，绘制另一路输出的变化。

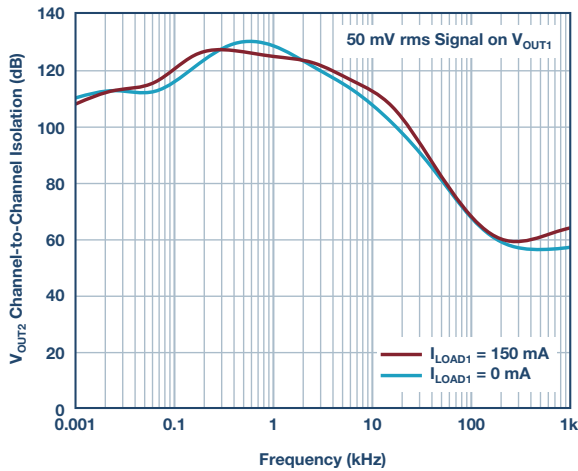


图6a. 通道间 V_{OUT1} 至 V_{OUT2} 负载调整率

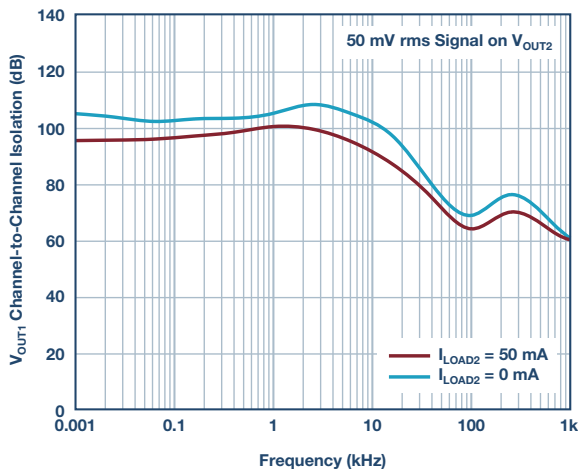


图6b. 通道间 V_{OUT2} 至 V_{OUT1} 负载调整率

使用图7所示电路可以实现非凡的交流PSRR。 V_{OUT1} 输出引导电源 V_{IN} 和 V_{IN2} ，产生一个递归基准电压源。

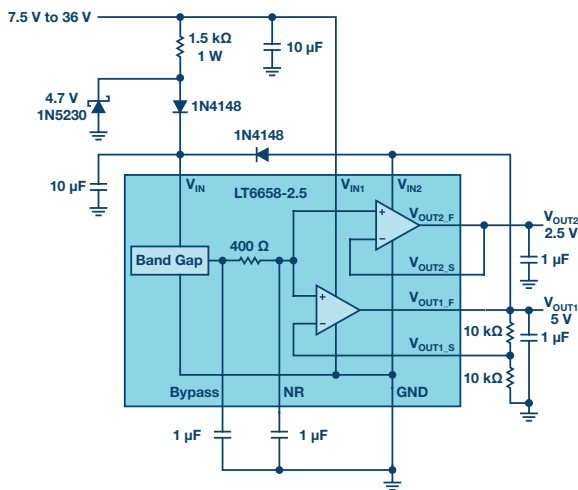


图7a. 递归基准电压源解决方案 (V_{OUT1} 为 V_{IN} 和 V_{IN2} 供电)

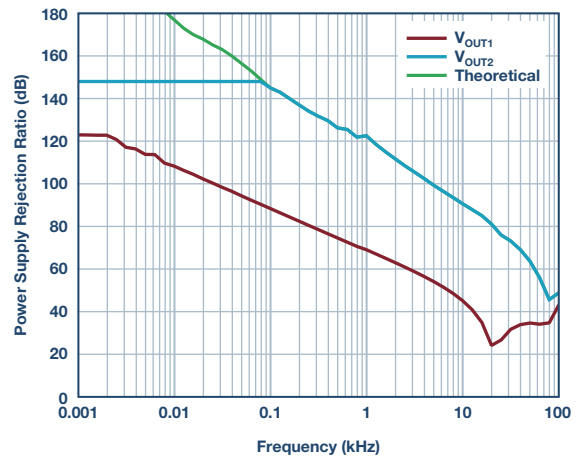


图7b. 递归基准电压源电路的交流PSRR

电源管理和保护

三个电源引脚有助于管理封装的功耗。当提供大电流时，应降低电源电压，以尽量减少LT6658的功耗。输出器件上出现的电压会较小，从而降低功耗并提高效率。

输出禁用引脚OD用于关闭输出缓冲器，并将 V_{OUT_F} 引脚置于高阻态。这在发生故障时很有用。例如，负载可能会受损并短路。此事件可以被外部电路检测到，两路输出均可禁用。此特性可以忽略，当OD引脚悬空或接高电平时，弱上拉电流将使能输出缓冲器。

LT6658采用16引脚MSE裸露焊盘封装， θ_{JA} 低至 $35^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。当电源电压较高时，功率效率较低，导致封装过热。例如，满载时 32.5 V 电源电压会在输出器件上产生 $30\text{ V} \times 0.2\text{ A}$ 的多余功率。 6 W 的多余功率会将芯片内部温度提升到环境温度之上 210°C ，非常危险。为了保护器件，当芯片温度超过 165°C 时，热关断电路会禁用输出缓冲器。

噪声

对于数据转换器和其他精密应用，噪声是一个重要考虑因素。在NR（降噪）引脚上增加一个电容，可以使低噪声LT6658的噪声进一步降低。NR引脚上的电容与片内 $400\ \Omega$ 电阻形成一个低通滤波器。大电容会降低滤波器频率，从而降低总积分噪声。图8显示了增大NR引脚上电容值的影响。使用 $10\ \mu\text{F}$ 电容时，噪声滚降至 $7\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 左右。

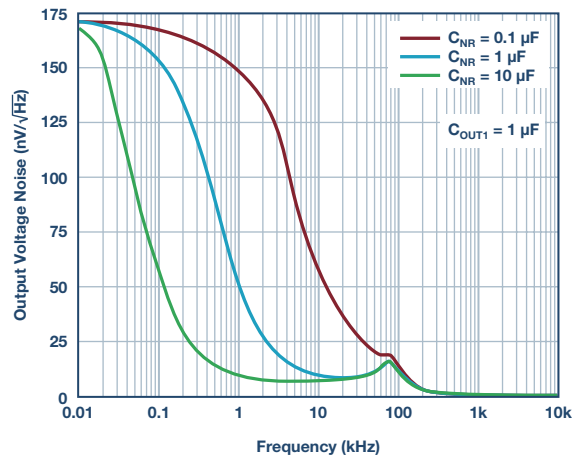


图8. 通过增大 C_{NR} 降低噪声

通过增大输出电容，可以进一步降低噪声。当NR和输出电容均增大时，输出噪声可降至几微伏。输出电容在1 μF 到50 μF 之间时，LT6658可保持稳定。如果并联1 μF 陶瓷电容，则输出在大电容下也能保持稳定。例如在图9a所示电路中，1 μF 陶瓷电容与100 μF 聚合铝电容并联。这种配置在降低噪声带宽的同时仍能保持稳定。图9b显示了不同输出电容值对应的噪声响应。在所有三种情况下，都有一个1 μF 小陶瓷电容与较大电容并联。

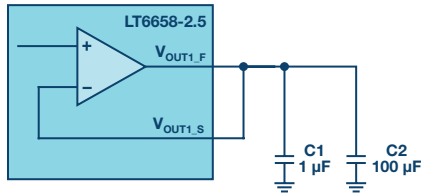


图9a. 通过增大C1降低噪声

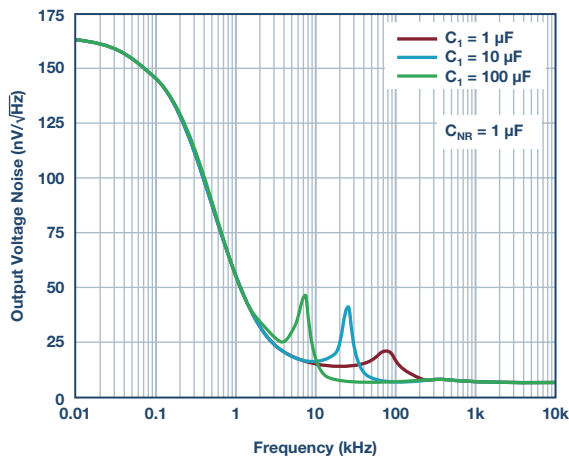


图9b. 通过增大C1降低噪声

这种方案的一个缺点是噪声峰化，这可能会增加总积分噪声。为降低噪声峰化，可以插入一个1 Ω 电阻与大输出电容串联，如图10a所示。输出电压噪声和总积分噪声分别如图10b和10c所示。

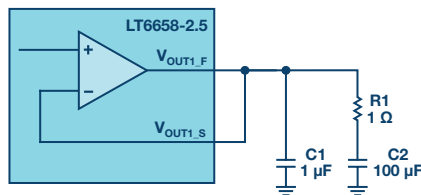


图10a. 通过增加一个1 Ω 电阻与C2串联来降低噪声峰化

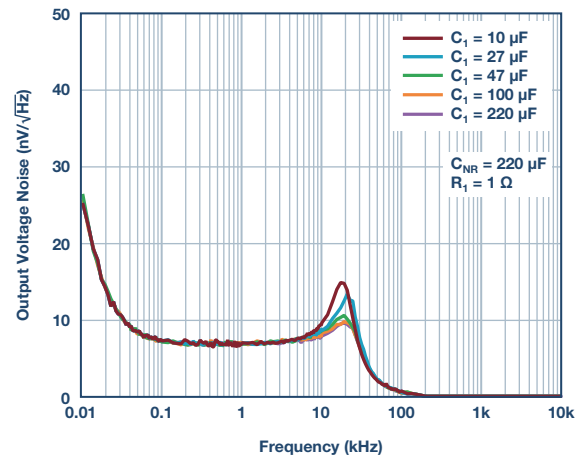


图10b. 通过增加一个1 Ω 电阻与C2串联来降低噪声峰化

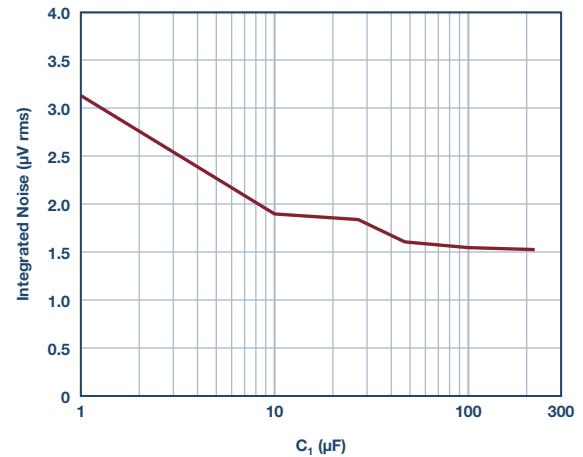


图10c. 通过增加一个1 Ω 电阻与C2串联来降低噪声峰化

应用

LT6658可为许多要求苛刻的应用提供安静精准的电源。在混合信号领域，数据转换器常常由微控制器或FPGA控制。图11显示了基本原理。传感器向模拟处理电路和转换器提供信号，所有这些都需干净的电源。微控制器可能有多个电源输入，包括模拟电源。

作为一般规则，微控制器的高噪声数字电源电压应与干净精密的模拟电源和基准电压源隔离。LT6658的两路输出提供出色的通道间隔离、电源抑制和电源电流能力，确保为多个敏感模拟电路提供干净电源。

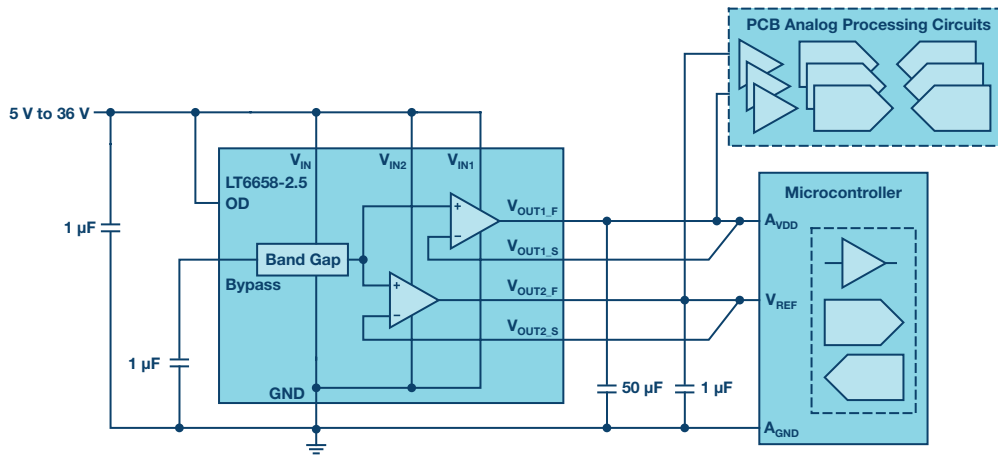


图11. 混合信号应用

LT6658也非常适合工业环境，因为它可以采用高噪声供电轨工作，并且一路输出上的转换造成的负载毛刺对相邻输出影响很小。此外，当一路输出上的负载需要电流时，相邻输出会继续跟踪。

图12显示了一个实际例子，其中LTC2379-18高速ADC电路采用LT6658供电。 V_{OUT2} 上的开尔文检测输入配置为将2.5V输出提升至4.096V基准电压，并为输入放大器LTC6362提供共模电压。 V_{OUT1} 提升至5V，为需要5V电源的LTC6362和其他模拟电路供电。LT6658两路输出分别在 V_{OUT1} 和 V_{OUT2} 上具有150 mA和50 mA的最大负载。

表2. 来自图12的数据采集电路示例

参数	16位SAR	18位SAR
SNR	92.7 dB	97.5 dB
SINAD	92.1 dB	95.9 dB
THD	-101.2 dB	-101.1 dB
SFDR	101.6 dB	103.2 dB
ENOB	15.01位	15.64位

图13中的电路展示了LT6658如何为高噪声数字电路供电，同时为精密ADC提供安静精确的基准电压。在此应用中，LT6658或单独LDO的一个通道为高噪声FPGA (VCCIO)和其他一些逻辑提供3.3 V电源，另一个通道为20位ADC的基准输入提供5 V电源。

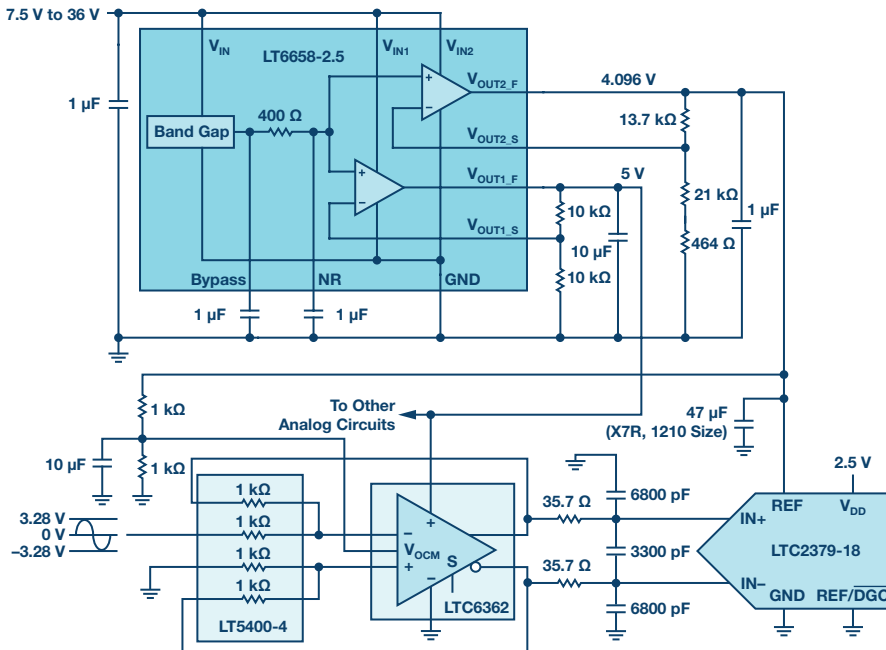


图12. 数据采集解决方案

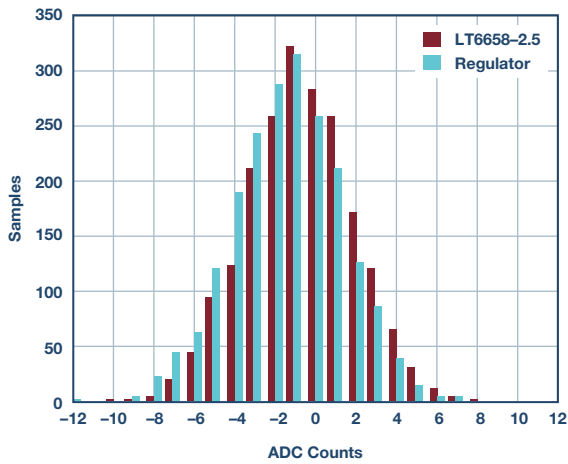


图14. 图13所示电路的测试结果直方图

通过在LT6658和LDO之间切换数字供电电路，我们可以评估LT6658将一个通道上的数字噪声与另一个驱动20位ADC的安静基准输入的通道相隔离的能力。在ADC输入端使用一个干净的直流电源，可以推断出噪声，如图14所示。直方图显示LT6658或LDO为FPGA的VCCIO引脚供电的结果没有明显差异，证明LT6658具有稳健的调节和隔离能力。

结语

LT6658是基准电压源和稳压器发展的下一步。对精密模拟电源而言，从单个封装提供200 mA组合电流的精密性能和能力是一种范式转变。噪声抑制、通道间隔离、跟踪和负载调整，使该产品成为精密模拟基准电压源和电源解决方案的理想之选。采用这种新方法，应用不需要牺牲精度或功耗。

Mike Anderson [michael.anderson@analog.com]是ADI公司和凌力尔特公司（最近担任）的高级IC设计工程师，负责精密基准电压源和放大器信号调理产品。他曾在Maxim Integrated Products担任高级技术人员和部门领导，负责设计ADC和混合信号电路。在1997年前，Mike在Symbios Logic担任原理IC设计工程师，主要负责设计高速光纤通道电路。他获得普渡大学电气工程学士学位和电气工程硕士学位。Mike拥有16项专利，偶尔发表文章。



Michael Anderson