

通过 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器为噪声敏感型激光雷达 ADC 设计供电



Miguel Lomeli

摘要

- 此电源设计展示了 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器的简易而高效的实现方式，为 ADC12QJ1600-Q1 供电，从而将功耗降低了 1.908W (节电 32%)。
- 模拟电压轨、数字电压轨和时钟电压轨均使用开关稳压器供电，而无需低压降线性稳压器 (LDO)，同时保持与原设计相同的性能。
- 该设计适用于 ADC12QJ1600-Q1 和其他需要低噪声电源、对尺寸和热性能有要求的 ADC。
- 简要说明了 ADC12QJ1600-Q1 并概述了 EVM 修改，以便只使用开关电源，而无需 LDO。
- 主要测量结果以及在采用扩频技术和未采用扩频技术情况下与以前方案的比较，包括输出噪声密度、SNR 和 SFDR。

内容

1 引言和系统说明.....	2
1.1 引言.....	2
1.2 方框图.....	5
1.3 设计注意事项.....	7
2 测试和结果.....	7
2.1 测试方法.....	7
2.2 测试条件.....	10
2.3 测试结果.....	10
3 结论.....	14
4 参考文献.....	15
A 附录.....	16

插图清单

图 1-1. ADC 输出频谱中的电源噪声和纹波.....	2
图 1-2. ADC12QJ1600-Q1 中 VA11 和 VA19 电源的 PSRR.....	3
图 1-3. TPS62913 在 2.2 MHz 下 12Vin 至 3.3Vout 的输出噪声密度与频率.....	4
图 1-4. ADC12QJ1600-Q1 (修订版 A) 评估模块的原始电源方框图.....	5
图 1-5. 用蓝框标出转换器和 LDO 的电路板图像.....	5
图 1-6. 带有 TPS62913 的 ADC12QJ1600-Q1 (修订版 E2) 评估模块的电源方框图.....	6
图 1-7. 用蓝框标出 TPS62913 转换器的电路板图像.....	6
图 2-1. PSRR 和 PSMR 测量的测试配置.....	8
图 2-2. 带强制误差信号的电源抑制比示例.....	8
图 2-3. 带强制误差信号的电源调制比示例.....	9
图 2-4. SNR、SFDR、HD 和 NSD 测量的测试配置.....	9
图 2-5. 信噪比 (SNR) 比较图.....	10
图 2-6. 无杂散动态范围比较图.....	11
图 2-7. 噪声频谱密度比较图.....	11
图 2-8. 原始设计和 TPS62913 的 PSMR 比较.....	12
图 2-9. 原始设计和 TPS62913 在直流处的 PSMR 比较.....	13
图 2-10. 原始开关转换器.....	13
图 2-11. 原始 LDO.....	14

图 2-12. TPS62913 开关转换器.....	14
图 A-1. TPS62913 3.3V 时钟电源原理图.....	16
图 A-2. TPS6913 1.1V ADC 电源原理图.....	16
图 A-3. TPS62913 1.9V ADC 电源原理图.....	17

表格清单

表 1-1. ADC12QJ1600-Q1 评估模块元件比较.....	6
表 2-1. 信噪比 (SNR) 比较表.....	10
表 2-2. 无杂散动态范围 (SFDR) 比较表.....	10
表 2-3. 功耗模式比较.....	13

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言和系统说明

1.1 引言

众所周知，高速模数转换器对电源噪声非常敏感。最大程度地减少该噪音的最常见解决方案是使用线性电源，或由主总线轨供电的开关模式电源 (SMPS) 后接一个低压降稳压器。与线性电源相比，能够单独使用 SMPS 有两大优点：降低功率损耗和减小电源尺寸。要单独使用 SMPS，需要仔细考虑所选的开关电源以及 SMPS 的设计和布局，从而实现更低功耗和更小电路板空间的理想性能。

本应用手册使用 ADC12QJ1600-Q1 作为高性能 ADC 的示例，其中电源已从 SMPS+LDO 方案更改为仅 SMPS 方案。此方案也可用于许多其他噪声敏感型应用。本应用手册中使用的 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器经专门设计，可帮助工程师设计满足噪声敏感型应用噪声和纹波要求的电源。

1.1.1 ADC12QJ1600-Q1 噪声和纹波要求

ADC12QJ1600-Q1 是一系列的 12 位、1.6GSPS 四通道/双通道/单通道模数转换器 (ADC)。由于具有低功耗和高采样率，因此 ADC12QJ1600-Q1 非常适用于光检测和测距 (激光雷达) 系统。ADC12QJ1600-Q1 使用具有多达 8 个串行通道的高速 JESD204C 输出接口，支持高达 17.16Gbps 的线路速率。通过 JESD204C 子类 1 支持确定性延迟和多器件同步，并且与 JESD204B 接收器兼容。该器件具有多项创新同步功能，包括 SYSREF 窗口、具有内部压控振荡器 (VCO) 的内部 PLL、用于 FPGA 或 ASIC 的逻辑和串行器/解串器的多时钟输出，可简化多器件设计的系统设计。

除直流/直流降压稳压器外，原产品评估模块 (EVM) 还采用了低噪声 LDO，从而更大程度减少供电网络的任何不良影响。虽然为 ADC12QJ1600-Q1 指定了电源轨的直流精度，但没有规定电源电压噪声和电源电压纹波。任何电源纹波或噪声在 ADC 的输出频谱上都会出现衰减。这种衰减可以表示为电源抑制比 (PSRR) 和 $PSRR_{MOD}$ (或 $PSMR$)，如图 1-1 所示。

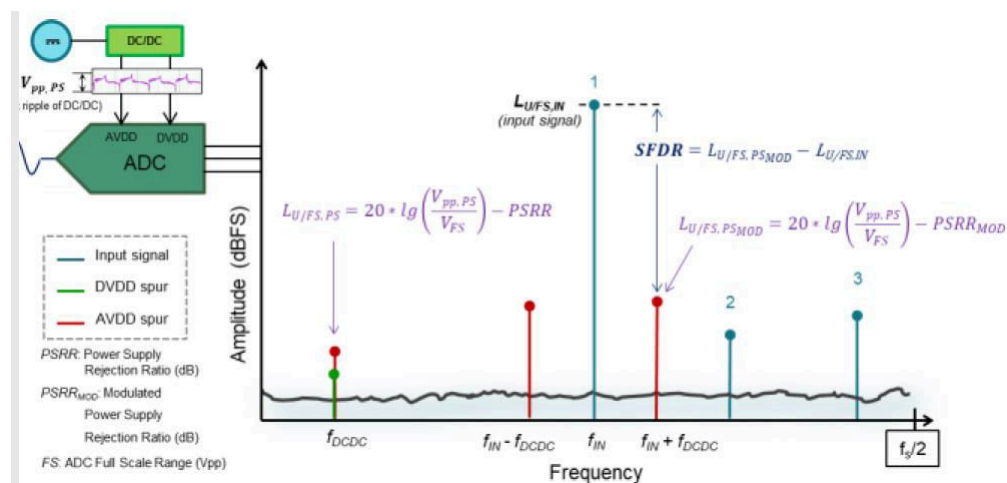


图 1-1. ADC 输出频谱中的电源噪声和纹波

PSRR 是在直流/直流转换器开关频率基波处 (f_{DCDC}) 从 ADC 输入电源纹波到 ADC 输出频谱的衰减。PSRR_{MOD} (或 PSMR) 是输出频谱中 ($f_{in} - f_{DCDC}$, $f_{in} + f_{DCDC}$) 从 ADC 输入到调制杂散的衰减。

PSRR 通常不太受关注, 因为其通常大于 40dB 并且不在目标频率内, 但一些模拟电压轨的 PSRR 可能小于 40dB, 如图 1-2 所示。VA11 和 VA19 模拟电压轨是 ADC12QJ1600-Q1 的超敏感电源。更重要的是 PSMR, 因为对于 ADC12QJ1600-Q1 上的 VA11 和 VA19 等敏感模拟电压轨而言, 从电源轨到调制杂散的衰减可能较低。

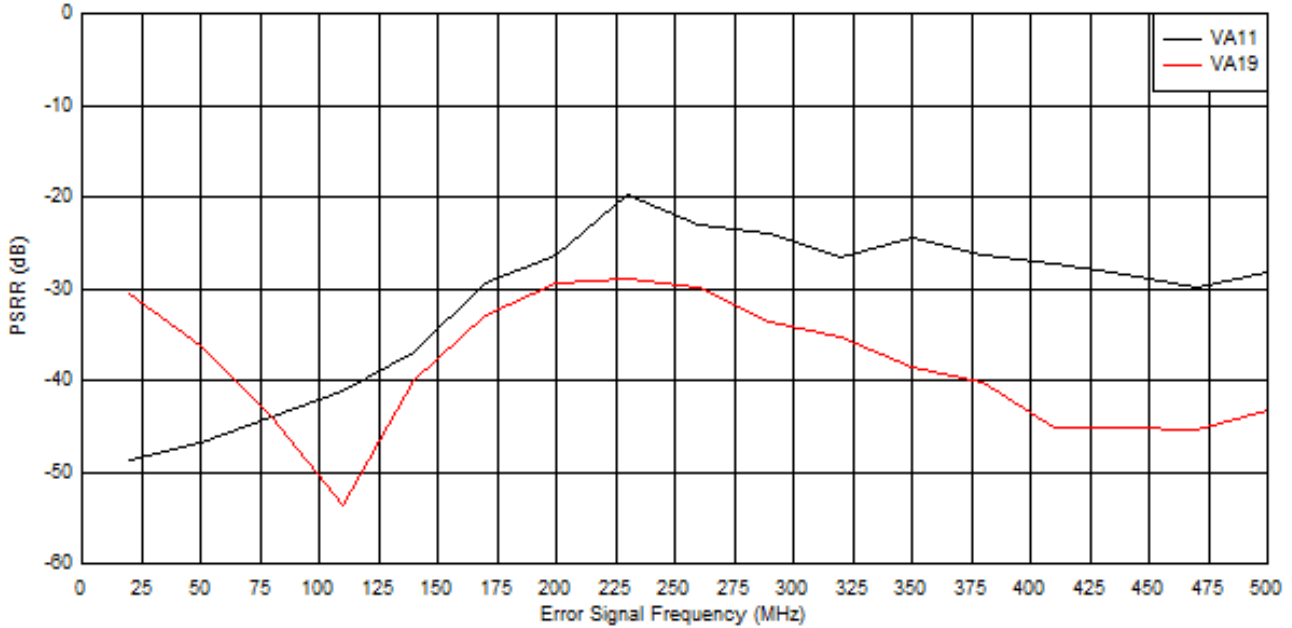


图 1-2. ADC12QJ1600-Q1 中 VA11 和 VA19 电源的 PSRR

1.1.2 时钟的电源要求

在 ADC12QJ1600-Q1 评估模块上，为超低噪声 PLL 提供了一个外部时钟，用于对 ADC 计时。与高速 ADC 类似，频率更高要求电源电流更大。同时，频率更高要求时钟抖动更低，因此也要求相位噪声更低。相位噪声直接受到电源噪声和纹波的影响。TPS62913 的性能如图 1-3 所示。

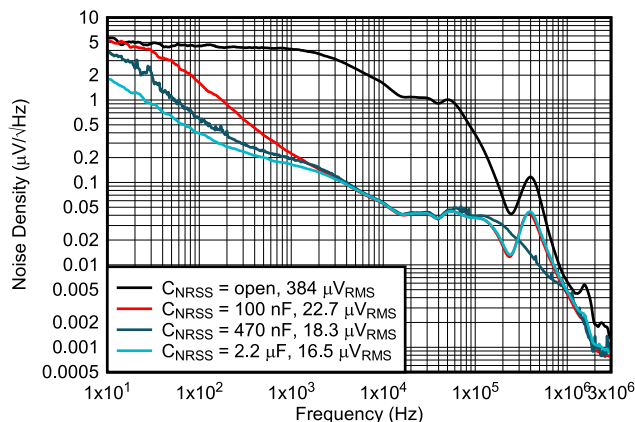


图 1-3. TPS62913 在 2.2 MHz 下 12Vin 至 3.3Vout 的输出噪声密度与频率

备注

BW = 100Hz 至 100kHz

TPS62913 专为实现低噪声而设计，添加了一个外部降噪滤波电容器，还提供了调整软启动时间的方法。使用 470nF C_{NR/SS} 电容器可实现所需的噪声性能和 5ms 软启动时间。

1.1.3 TPS62913 低噪声和低纹波降压转换器

TPS62912 和 TPS62913 器件是高效、低噪声和低纹波系列同步降压转换器。这些器件非常适合通常使用 LDO 实现后置稳压的噪声敏感型应用，例如高速 ADC、时钟和抖动清除器、串行器、解串器、激光雷达和雷达应用。器件在 2MHz 或 1MHz 的固定开关频率下工作，并可与外部时钟同步。为了进一步减小输出电压纹波，器件集成了环路补偿，可与可选的第二级铁氧体磁珠 L-C 滤波器一起工作。这使得输出电压纹波低于 10µVRMS。通过用连接到 NR/SS 引脚的电容器过滤内部电压基准来实现类似于低噪声 LDO 的低频噪声水平。可选展频调制方案扩展了更宽范围内的直流/直流开关频率，从而降低了混合毛刺。

1.2 方框图

原 ADC12QJ1600-Q1 (修订版 A) 评估模块使用了多个 SMPS 及 LDO 跟随器为 ADC 和时钟电压轨供电。3.3 V 时钟电压轨需要低相位噪声和低抖动。1.1V 模拟电压轨 (VA11) 和数字电压轨 (VD11) 都通过一个 LDO 提供, 并且各电压轨都通过一个馈通滤波电容器分开, 以确保模拟电压轨和数字电压轨都满足低噪声要求。1.9V 电源也通过一个 LDO 提供, 并且每个电压轨都具有一个链接到馈通滤波电容器的分离, 如图 1-4 所示。

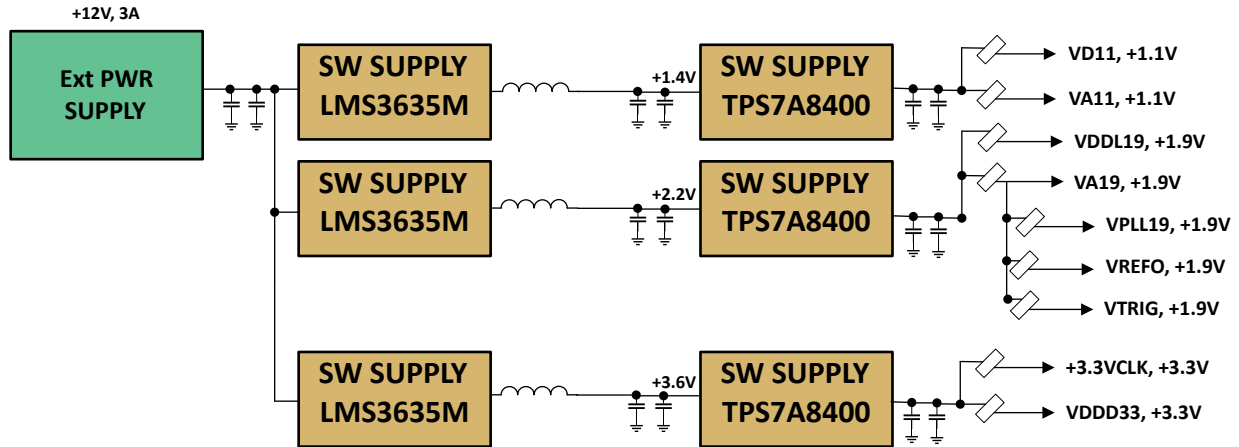


图 1-4. ADC12QJ1600-Q1 (修订版 A) 评估模块的原始电源方框图

原 EVM 电源用蓝框标出, 如图 1-5 所示。

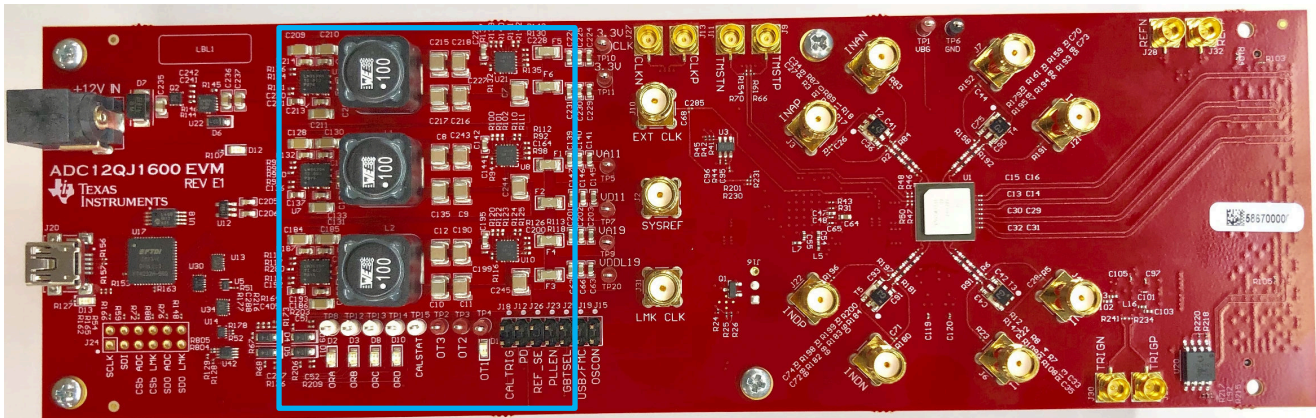


图 1-5. 用蓝框标出转换器和 LDO 的电路板图像

在修改后的设计中，去除了 LDO，而改用 TPS62913 低纹波、低噪声 SMPS。此设计为 ADC 提供了一个简化的电源网络，其中所有三个电源域都由直流/直流稳压器供电，如图 1-6 所示。与使用 LDO 的解决方案相比，这种方案提高了效率并减少了器件数量，同时保持 ADC 和时钟的输出电压纹波和噪声要求，以实现良好的性能。

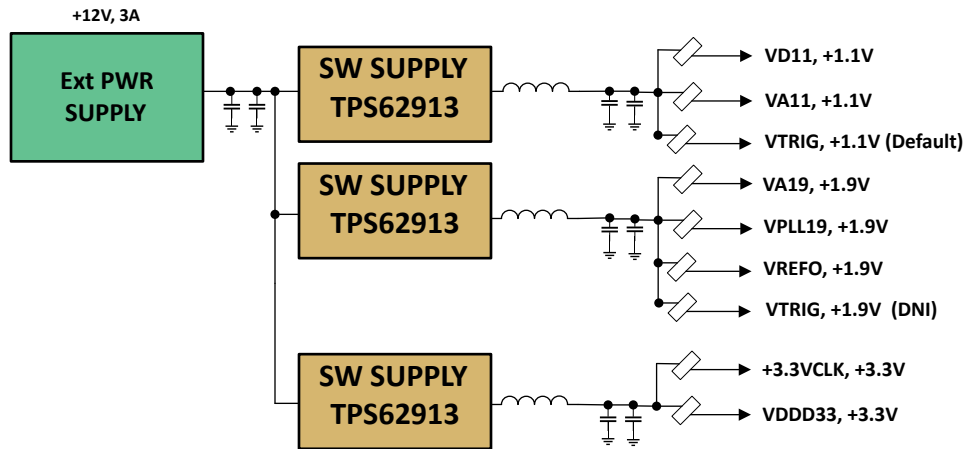


图 1-6. 带有 TPS62913 的 ADC12QJ1600-Q1 (修订版 E2) 评估模块的电源方框图

TPS62913 的更新后 EVM 电源用蓝框标出，如图 1-7 所示。

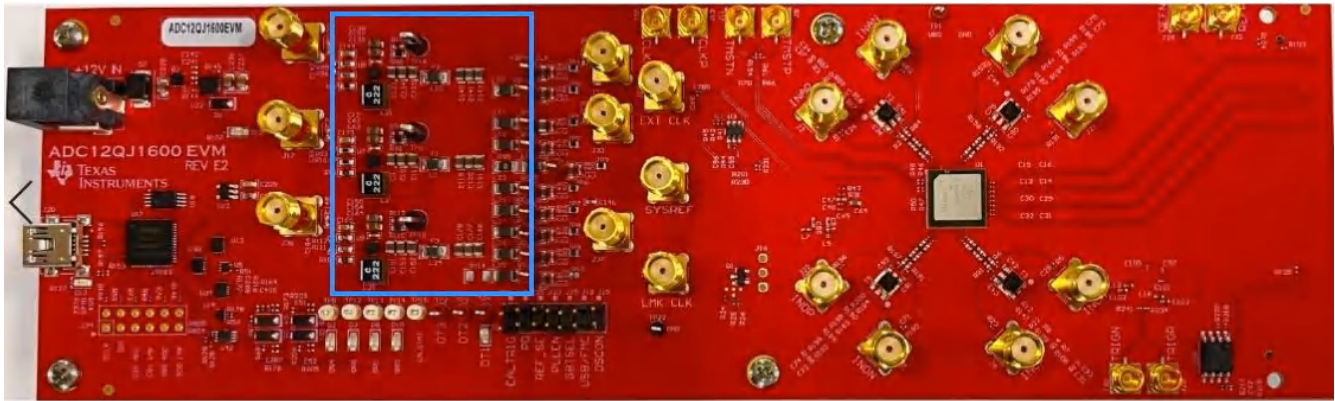


图 1-7. 用蓝框标出 TPS62913 转换器的电路板图像

可在附录 A 中查看 3.3V、1.1V 和 1.9V 电压轨的原理图。

表 1-1. ADC12QJ1600-Q1 评估模块元件比较

元件	原修订版 C	带有 TPS62913 的修订版 C
开关电源	3 x LMS3635M (每个 4mm x 5mm)	3 x TPS62913 (每个 2mm x 2mm)
LDO	3 x TPS7A8400 (每个 3.5mm x 3.5mm)	无
电源尺寸	96.75sqmm + 无源器件	12sqmm + 无源器件

1.3 设计注意事项

ADC12QJ1600-Q1 是一款高性能的每秒数千兆次采样 (GSPS) ADC，对开关元件、输出电容 ESL 和使用标准直流/直流转换器时涉及的磁性元件中大电流所产生的噪声和杂散分量较敏感。利用 TPS62913 低纹波、低噪声转换器及其独特的低纹波和低噪声设计特性，在不使用后置稳压 LDO 的情况下可显著降低噪声和纹波。

当处理输入端的低噪声问题时，往往需要严格核查转换器的模拟和时钟输入。请记住，电源也是输入。因为我们将电源视为直流偏置电路，所以通常认为其与射频性能无关。然而，事实并非如此。在为任何高速转换器设计电源域时，下述是使电源的抗噪声性能最大化的有用提示：

- 当所有电源轨和总线电压进入系统板和 ADC 本身/附近时，将其解耦。
- 请记住，每个附加的滤波级可实现大概 20dB/十倍频程的噪声抑制。
- 对高频和低频进行解耦，可能需要多个电容值。
- 串联铁氧体磁珠通常用在电源入口点处，就在解耦电容接地之前。无论是来自 LDO 还是开关稳压器，都应该对系统板上的每个单独电源电压进行如此操作。
- 为了增加电容，请使用紧密堆叠的电源和接地层对 (≤ 4 密耳间距)，这增加了 PCB 设计固有的高频 ($>500\text{MHz}$) 解耦。
- 应尽可能使电源远离敏感的模拟电路，如 ADC 的前端级和时钟电路。
- 一些组件可能位于 PCB 的另一侧以增加隔离效果。
- 遵循 IC 制造建议；如果应用手册或数据表中没有直接说明，可以研究评估电路板。这些是值得参考的好工具。

上述几点可帮助提供可靠的电源设计，从而在许多应用中实现数据表中指明的性能。

2 测试和结果

2.1 测试方法

电源抑制比 (PSRR)

通过使用 HSDC-Pro 软件测量 PSRR,如图 2-1 所示,以显示和测量数字输出 FFT 频谱。每一个电源都使用偏置 T (可从不同的公司现货采购) 单独进行测试。偏置 T 用于将交流和直流信号组合到被测试的单个电源。值得注意的是，偏置 T 必须具有足够高的额定电流，以便为被测电源提供足够的偏置。否则，测量结果可能不可靠。

在正常设置 EVM 或系统板之后，接下来隔离被测电源。然后将偏置 T 应用于电源，同时使用外部实验室工作台电源设置适当的直流电压。为电路板的其他电源正常供电，同时使这些电源保持在额定值。下一步，选择一个低频率 (10MHz 或更低的频率) 启动，并将正弦波信号源注入偏置 T。这称为误差信号。使用用于施加误差信号的信号发生器也很重要，该信号发生器纯净且相位噪声低。这样，转换器的固有性能就不会在测试过程中降级。信号发生器还应能够提供足够的功率，以弥补通过电缆、偏置 T 和 pcb 时所引起的损耗。

从低振幅信号开始，缓慢地提高振幅，直到本底噪声产生杂散，误差杂散在 FFT 频谱中应该足够高 (在 FFT 频谱中误差杂散是可重复的)。误差杂散应在注入的误差测试频率处出现。假设捕获的误差杂散振幅为 -85dB。

接下来用示波器或频谱分析仪记录注入的误差信号电平。确保在 ADC 的电源引脚上读取误差信号振幅读数，并记录该引脚处注入的峰峰值电压。一旦确定该数值，就可以通过简单的数学运算得出 PSRR。

例如，如果测得的电压为 10mVpp，转换器的满量程电压为 1.2Vpp。然后只需取这两个数字的比值或 $20 \cdot \log(10\text{m}/1.2) = -41.6\text{dB}$ 。要计算 PSRR，从先前在 FFT 频谱中确定的误差杂散振幅中减去这个数字，或 $\text{PSRR} = -85 - (-41.6) = -43.4\text{dB}$ 。

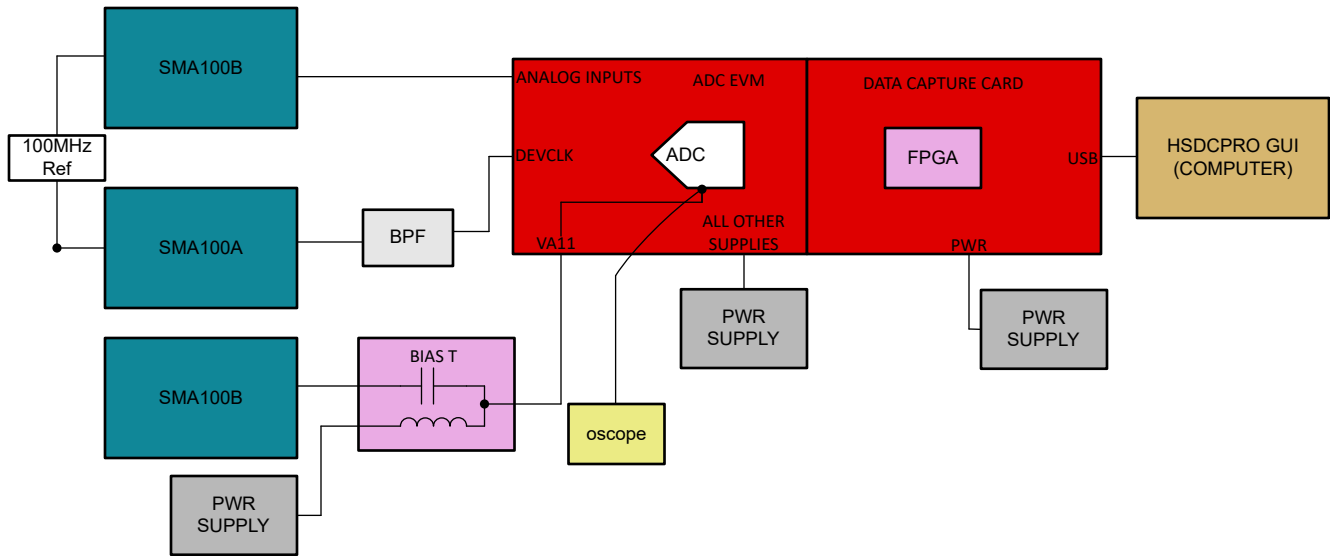


图 2-1. PSRR 和 PSMR 测量的测试配置

PSRR 的一个示例是，在 VA11 电源上以 290MHz 的频率注入强制误差信号，信号发生器的振幅电平为 -1dBm，如图 2-2 所示。

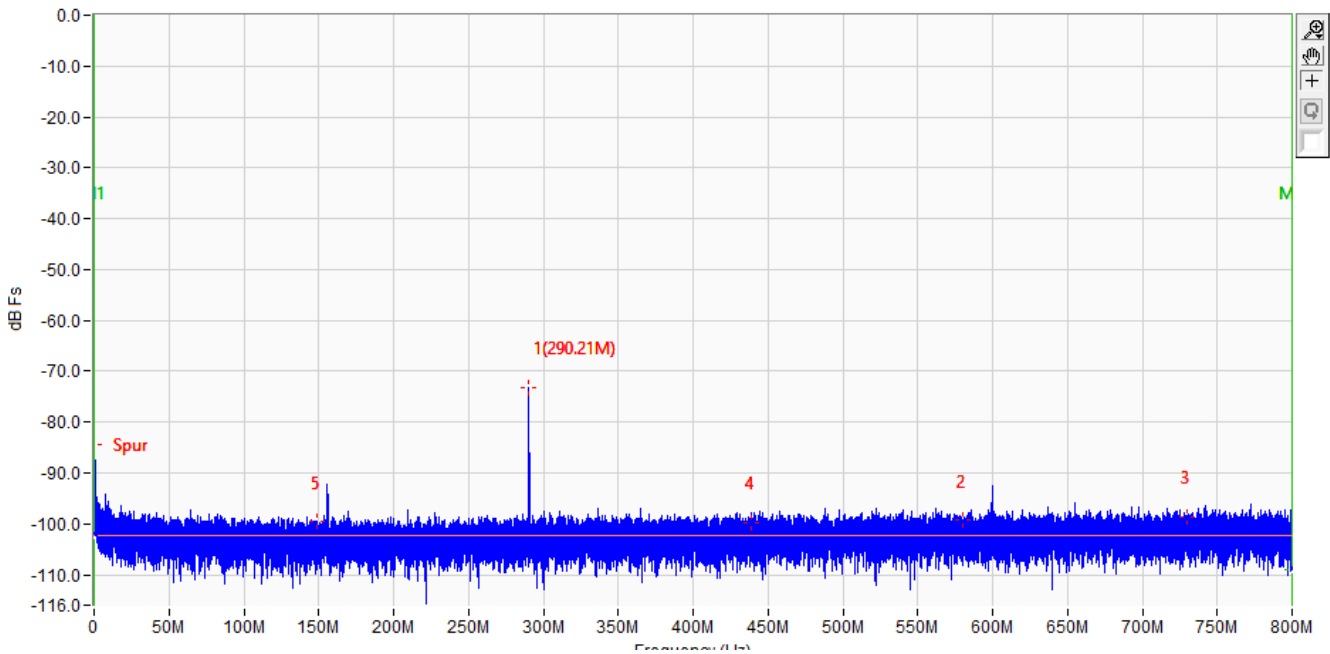


图 2-2. 带强制误差信号的电源抑制比示例

PSMR 的一个示例是，以 10MHz 的频率注入强制误差信号，信号发生器的振幅电平为 -1dBm，如图 2-3 所示。此图显示了如何调制电源泄露杂散。在本例中，当误差频率为 10MHz 且模拟输入信号频率为 347MHz 时，注意到互调杂散 ($F_{in} \pm$ 误差频率)。

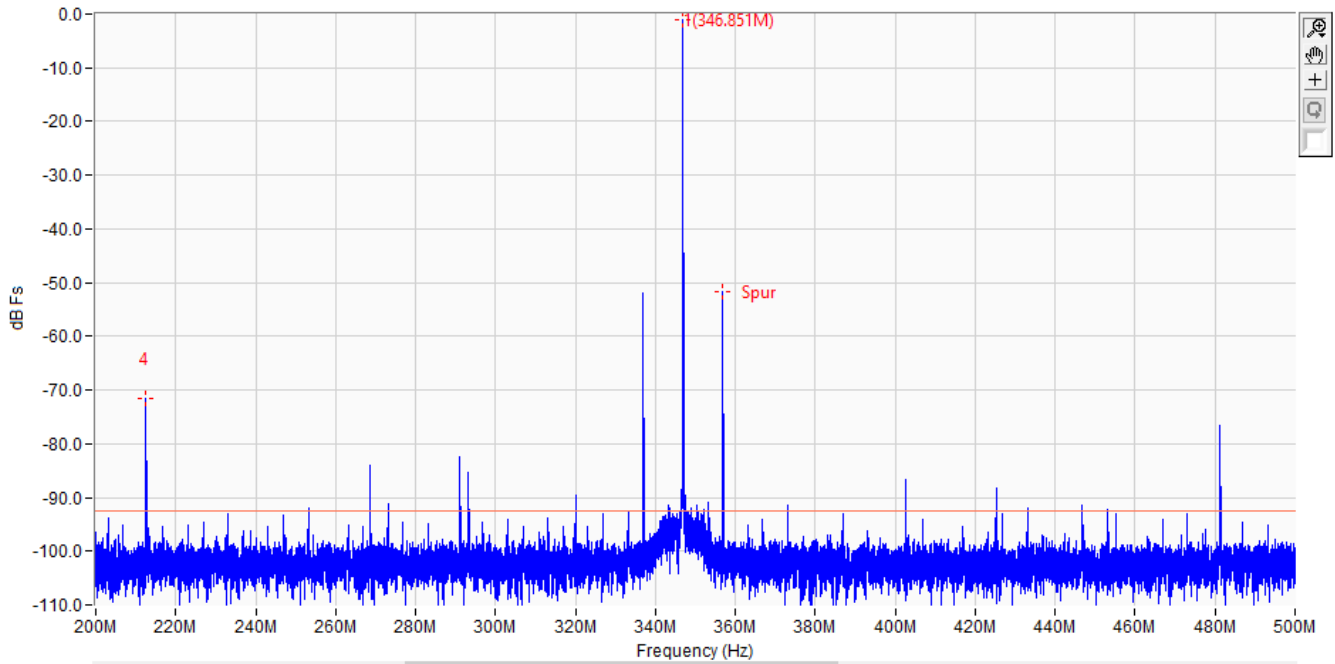


图 2-3. 带强制误差信号的电源调制比示例

信噪比 (SNR, dBFS)

SNR 是均方根信号振幅与所有频谱分量 (DC、HD2 到 HD9 除外) 之和的均方根值之比。SNR (dBc) 和 SNR (dBFS) 之间的差异也是基波振幅和满量程之间的差异。

谐波失真 (dBc 或 dBFS)

谐波是一种频谱分量，是驱动模拟输入频率的整数倍。例如，二次谐波的频率是模拟输入的两倍。大多数 ADC 有适用于一个或多个谐波的规格。通常，二次谐波和三次谐波会被单独挑选出来，因为它们是所有谐波中性能最差的。谐波失真 (无论几阶) 都是信号的均方根振幅与指定谐波分量的均方根值之比，以 dBc 或 dBFS 表示。ADC 是非线性器件，因此捕获的输出 FFT 将具有丰富的频谱分量。

无杂散动态范围 (SFDR, dBc 或 dBFS)

SFDR 是在产生最差结果的模拟输入频率下的信号均方根值与峰值杂散频谱分量的均方根值之比。在大多数情况下，SFDR 是应用于 ADC 的输入信号的二次或三次谐波 (HD2 或 HD3)。

噪声频谱密度 (NSD, dBFS/Hz)

NSD 定义为在 ADC 输入端处采样的每单位带宽下的全部噪声功率。NSD 实际上是 ADC 的 SNR 加上在整个奈奎斯特频带上传播的噪声功率，其等于采样频率的一半 (或 $F_s/2$)。因此， $NSD = SNR + 10 \cdot \log(F_s/2)$ 。

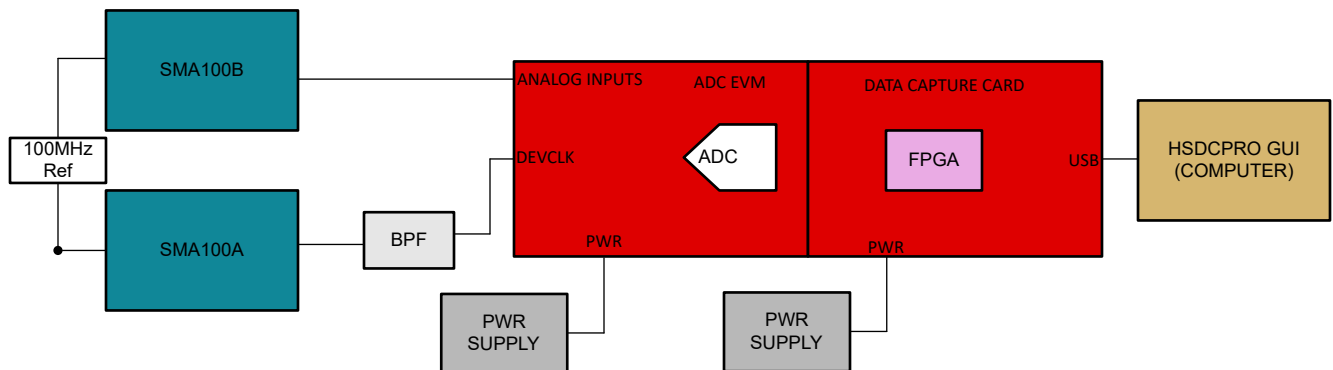


图 2-4. SNR、SFDR、HD 和 NSD 测量的测试配置

2.2 测试条件

原设计和采用 TPS62913 的新设计在完全相同的条件下进行了测试，以进行比较。

在模数转换器的模拟输入带宽范围内，通过在一组特定的频率下对转换器施加模拟信号，进行交流或动态单音调 FFT 测试。在最大额定采样速率或 1.6GSPS 速率下，使用低于满量程 -1dB (或 dBFS) 的信号测试这些频率。输入电源为 12V 标称电压，环境温度为 25°C 标称温度。

ADC 在 1.6 GHz 的采样时钟频率下工作，该频率与外部信号发生器的频率相同。使用外部时钟连接到 LMK 再馈入到 ADC 时钟显示测试结果。根据 ADC12QJ1600-Q1 数据表，使用产品页上提供的 GUI 将器件寄存器设置为 JMODE0。FFT 设置为 65536 点，无平均值。

2.3 测试结果

比较原始 ADC12QJ1600-Q1 EVM 与具有和不具有 TPS62913 扩频电路的改进电路板的性能表和图表如下所示。

表 2-1. 信噪比 (SNR) 比较表

频率 (MHz)	原 QJ EVM (dBFS)	TPS62913 (不带 SS) (dBFS)	TPS62913 (带有 SS) (dBFS)
97	57.473	57.35	57.4
397	57.171	57.14	57.08
597	56.814	56.66	56.7
797	56.501	56.36	56.4
997	55.967	55.98	55.977
1497	54.765	55.02	55.01

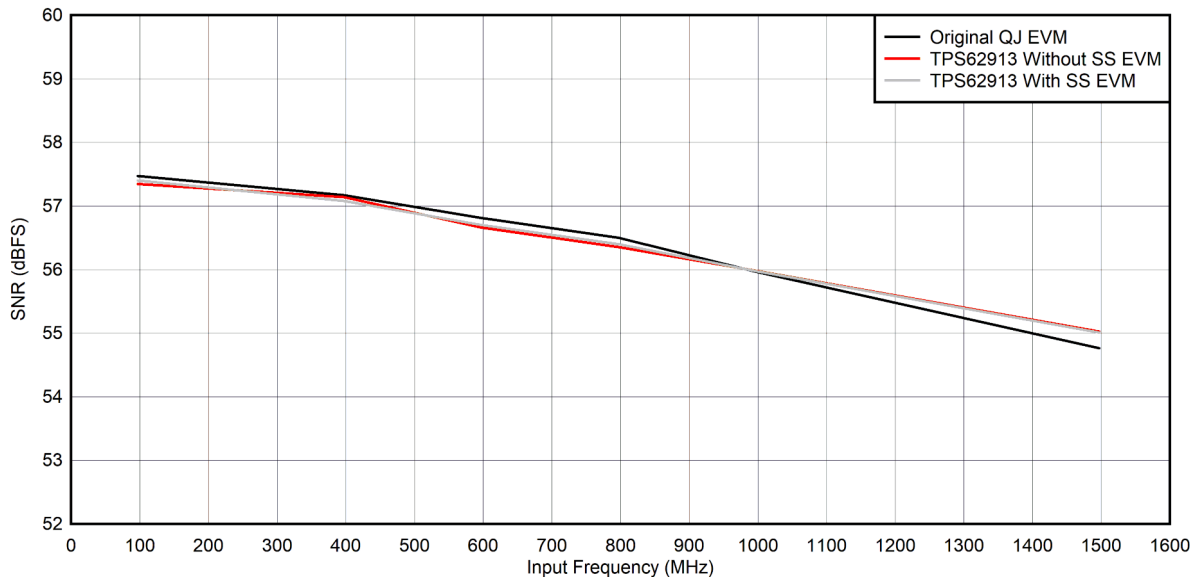


图 2-5. 信噪比 (SNR) 比较图

表 2-2. 无杂散动态范围 (SFDR) 比较表

频率 (Hz)	原 QJ EVM (dBFS)	TPS62913 (不带 SS) (dBFS)	TPS62913 (带有 SS) (dBFS)
97	67.92	67.41	67.28
397	70.799	70.91	69.95
597	64.663	65.57	65.6
797	65.847	65.42	65.51
997	64.302	64.14	64.2
1497	63.485	63.46	63.4

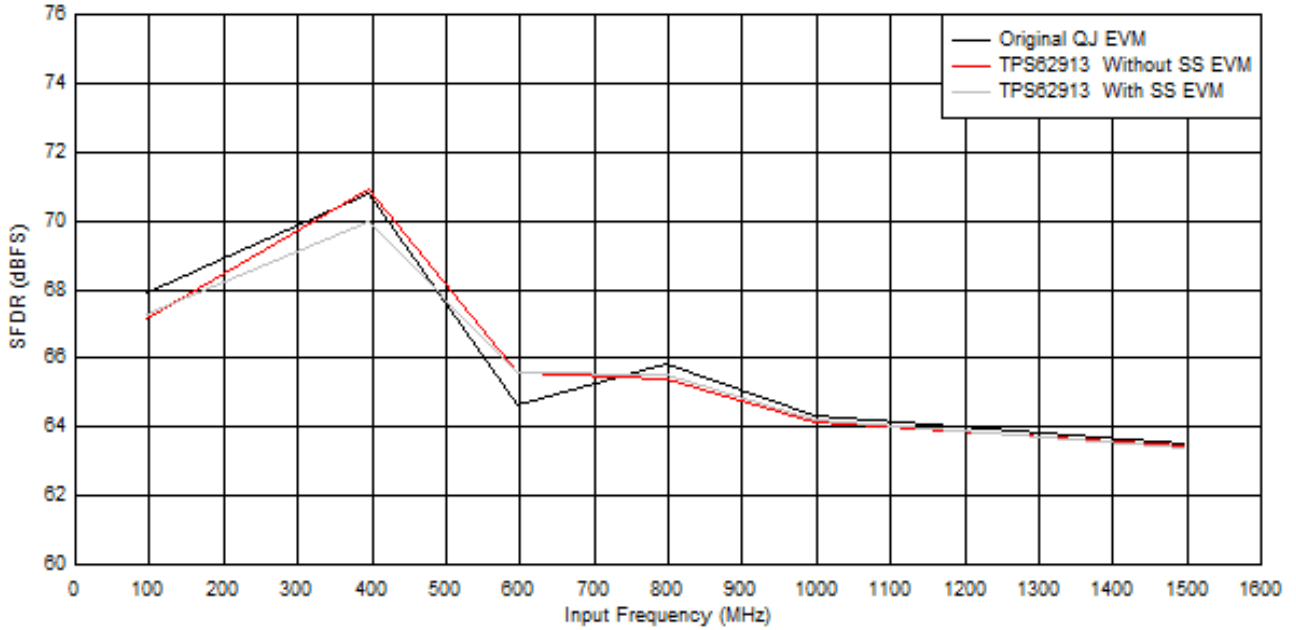


图 2-6. 无杂散动态范围比较图

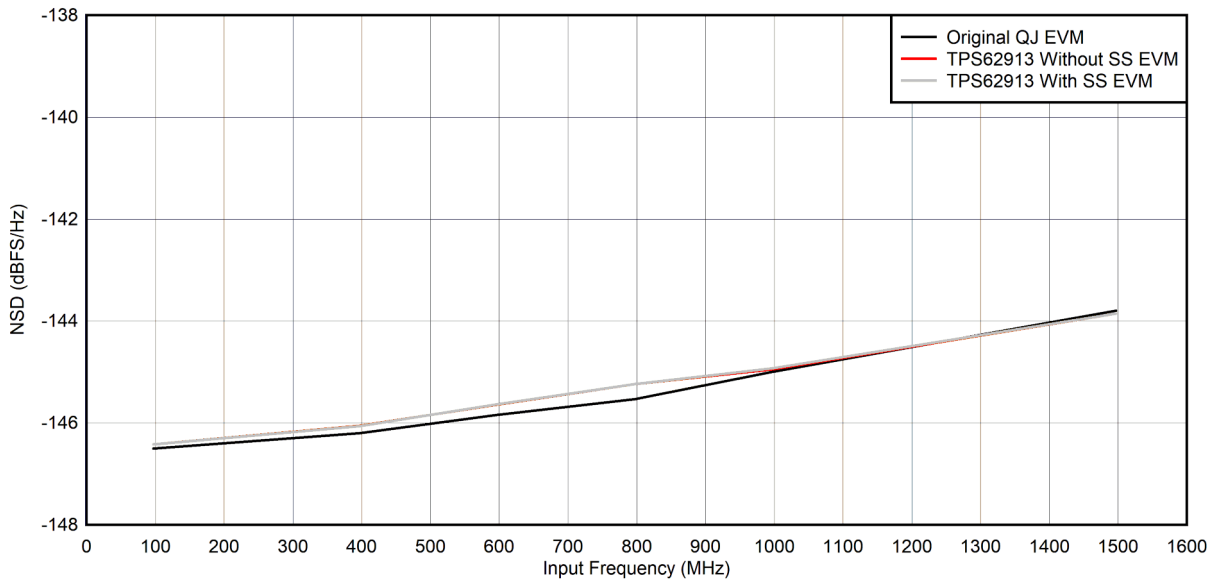


图 2-7. 噪声频谱密度比较图

下图 2-8 显示了使用采用 SMPS 和 LDO 的原始电源设计时和使用 TPS62913 开关电源并采用和不采用扩频技术时，在 347MHz 模拟输入信号频率下可避免 PSMR。

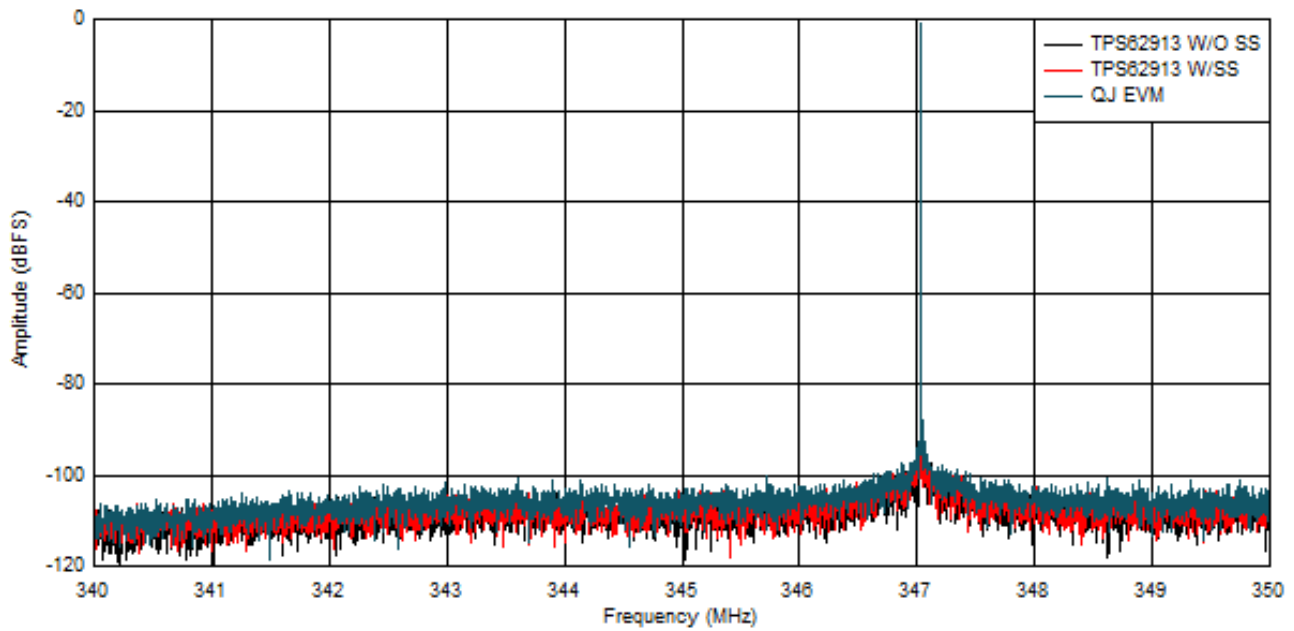


图 2-8. 原始设计和 TPS62913 的 PSMR 比较

此外，在载波周围和直流处未发现对开关电源杂散进行调制，如图 2-9 所示。

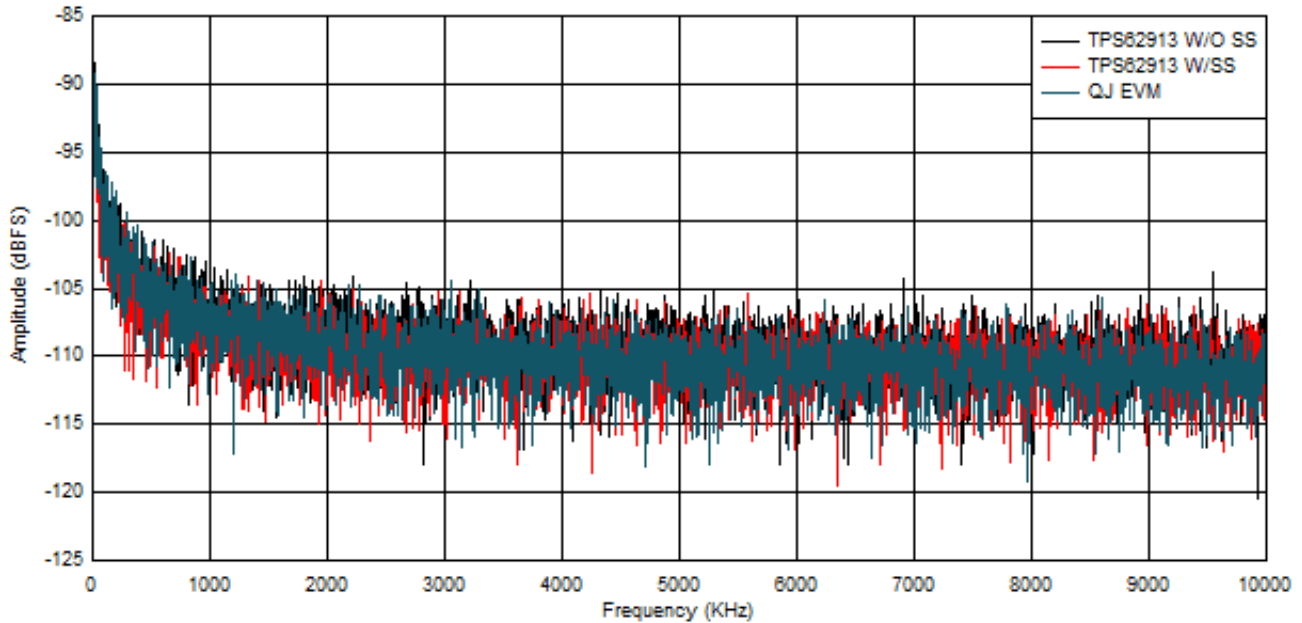
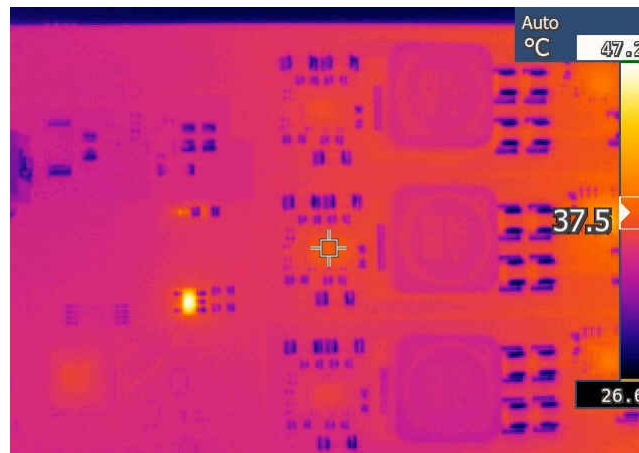


图 2-9. 原始设计和 TPS62913 在直流处的 PSMR 比较

表 2-3. 功耗模式比较

配置	输入电流	输入功率
采用 SMPS + LDO 的原始电源配置	486 mA	5.832W
仅 TPS62913 电源-更新	327 mA	3.924W
输入电流和功耗节省-更新	159 mA	1.908W

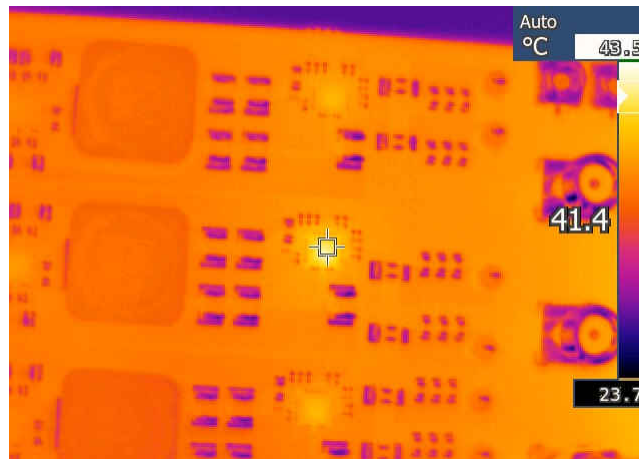
图 2-10 至图 2-12 为性能比较表获取数据时电源运行的热图像。



备注

原始电路板直流/直流最高温度为 37.5°C

图 2-10. 原始开关转换器



备注

原始电路板 LDO 最高温度为 41.4°C

图 2-11. 原始 LDO

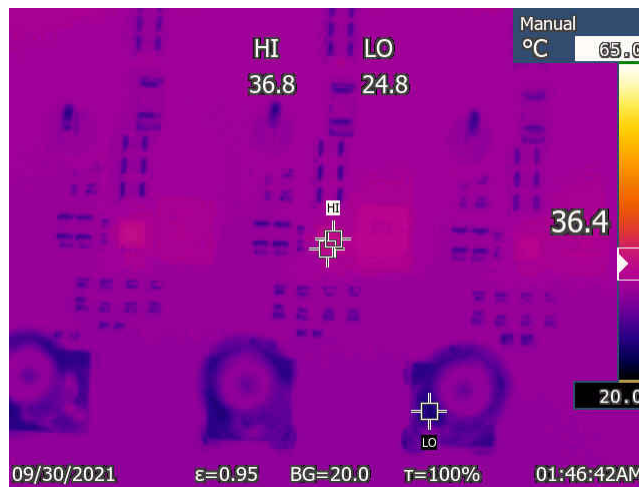


图 2-12. TPS62913 开关转换器

备注

TPS62913 最高温度为 36.8°C

3 结论

测试结果表明，采用 TPS62913 低纹波、低噪声降压转换器的电源简化设计可以提供与传统 SMPS + LDO 方案相似的性能。模拟电压轨、数字电压轨和时钟电压轨均使用开关稳压器供电，而无需低压降线性稳压器 (LDO)，同时保持与原设计相同的性能。采用扩频技术和未采用扩频技术时的 SNR、SFDR 和 NSD 性能与 SMPS + LDO 方法相似。使用 TPS62913 设计将功耗降低了 1.908W (节电 32%)，减小了设计尺寸，并降低了电源元件的温升。

尽管此设计使用了 ADC12QJ1600-Q1，但其他需要低噪声电源、对尺寸和热性能有要求的 ADC 也可以使用这种方法。

4 参考文献

- 德州仪器 (TI), [ADC12QJ1600-Q1](#), 汽车。4 通道、12 位。具有 JESD204C 接口和集成采样时钟发生器的 [1.6GSPS ADC](#)
- 德州仪器 (TI), 具有集成式铁氧体磁珠滤波器补偿的 [TPS6291x 3V 至 17V、2A/3A 低噪声和低纹波降压转换器](#)

A 附录

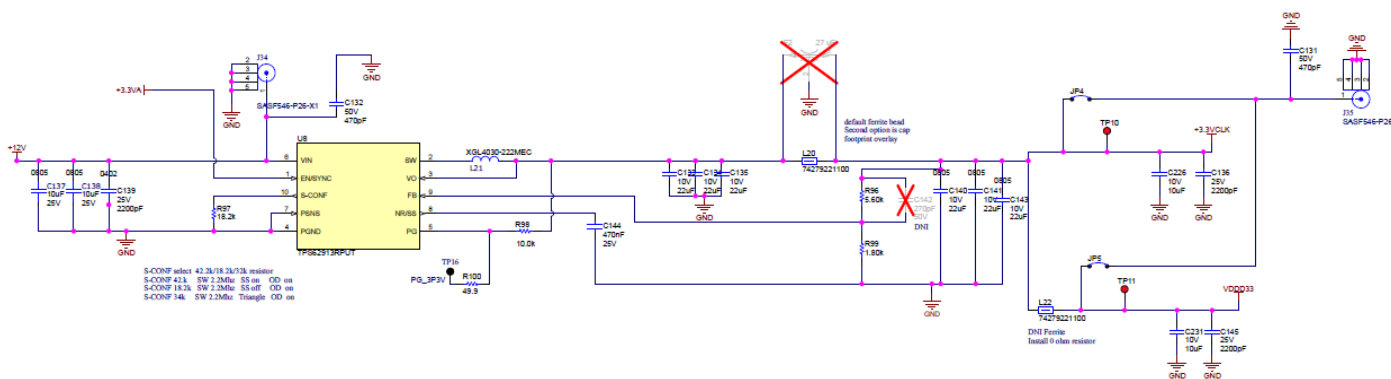


图 A-1. TPS62913 3.3V 时钟电源原理图

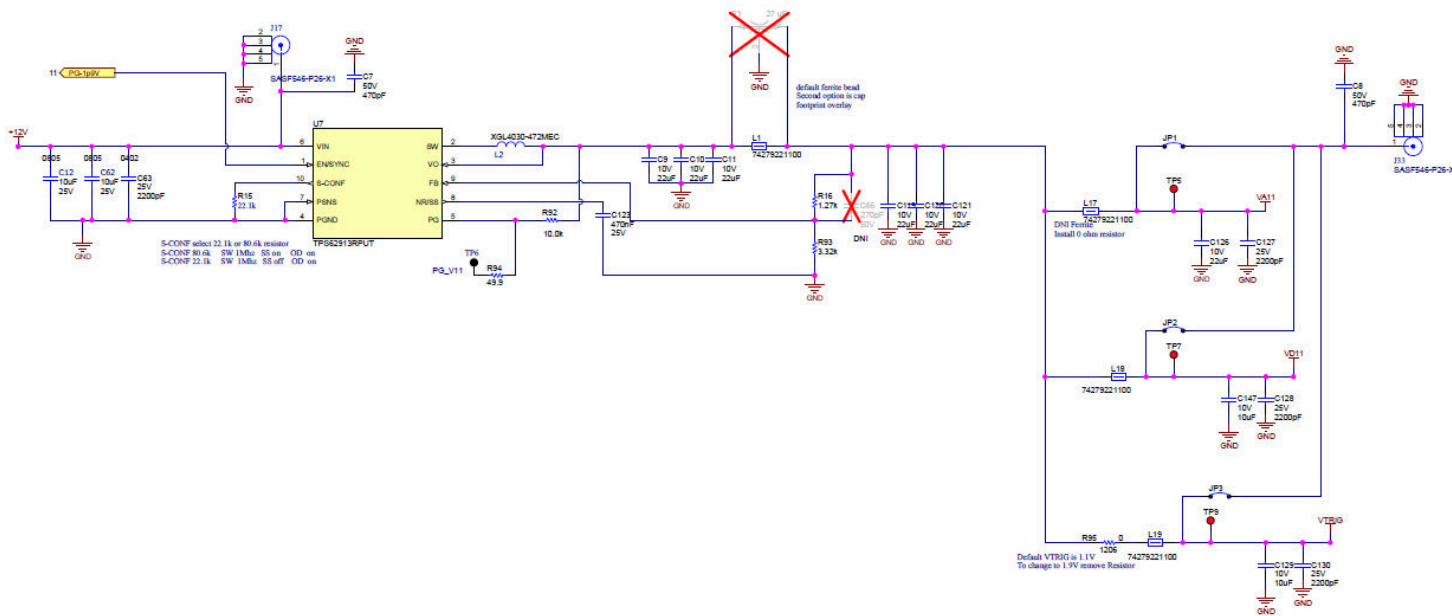


图 A-2. TPS6913 1.1V ADC 电源原理图

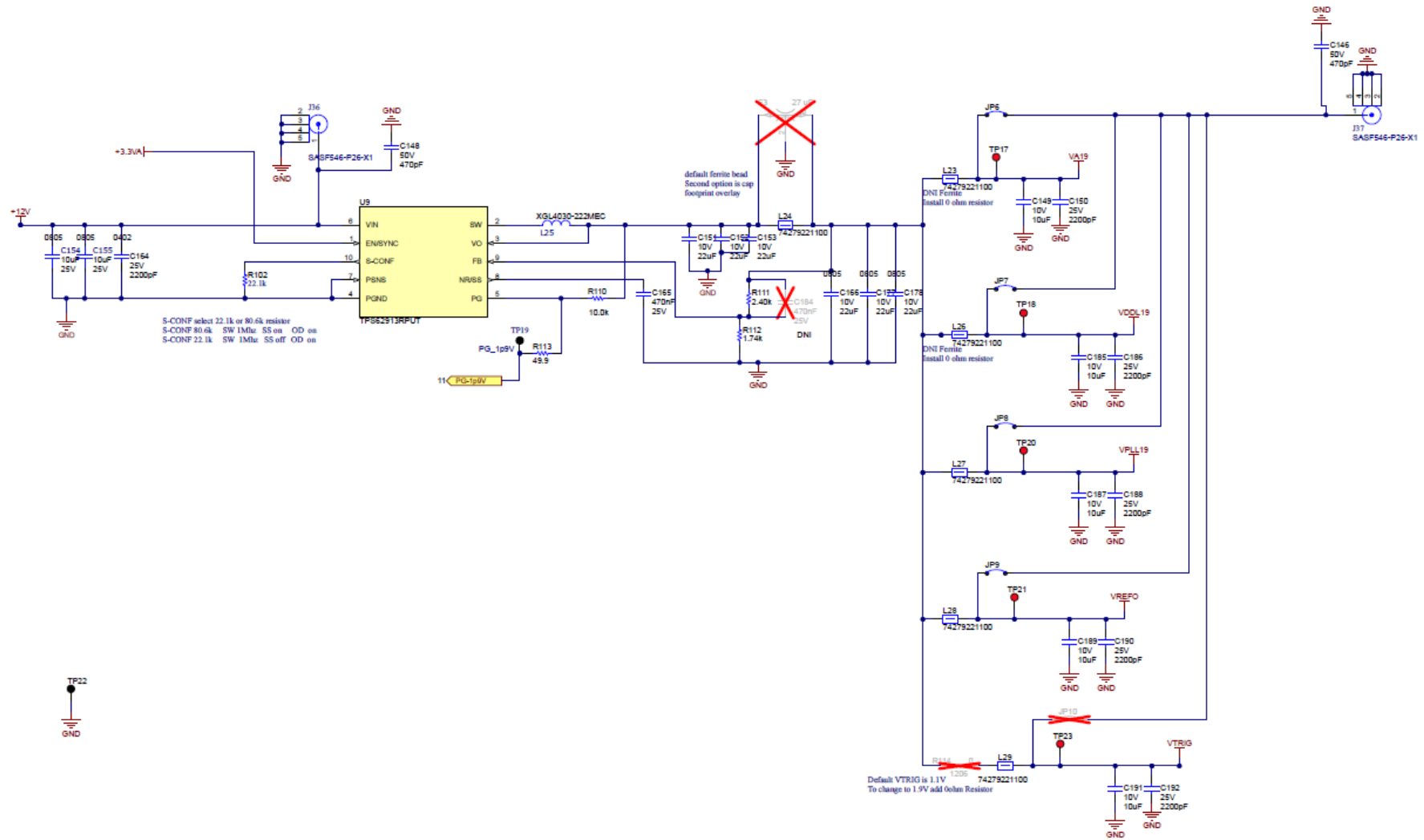


图 A-3. TPS62913 1.9V ADC 电源原理图

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司