



Steve Schnier, Russell Hoppenstein

## 摘要

通过 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器为 AFE7920 供电 应用报告包含以下信息：

- AFE7920 的噪声敏感型 1.8V 模拟电源轨使用 TPS62913 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。LMK04828 也可由 TPS62913 供电，但本应用手册中未说明。
- 此电源设计展示了采用 TPS62913 低纹波和低噪声降压转换器为 1.8V 噪声敏感型模拟电源轨简单、高效地供电的原理，与效率为 73.5% 的传统直流/直流 + LDO 解决方案相比，该设计可减小解决方案尺寸并将效率提高到 90.7%。效率提高后，可为 1.8V 电源轨节省 1.24W 的功率，节能高达 19%。
- 该设计适用于 AFE79xx 和其他需要低噪声电源、对尺寸和热性能有要求的 AFE。应用示例包括远程无线电单元 (RRU)、有源天线系统 (AAS)、分布式天线系统 (DAS)、小型蜂窝基站和中继器。
- 内容包括 AFE79xx 说明和 EVM 修改项目概述（仅使用开关电源而无需 LDO）。
- 0.9V 和 1.2V 电源轨的数字核心电源轨由 TPS541620 双路 6A 转换器供电，通过使用双电源转换器实现了更小的解决方案尺寸，并将开关频率提高到 1MHz。
- 主要测量结果表明，该设计可实现与以前方案类似的性能。

## 内容

|                 |    |
|-----------------|----|
| 1 简介和系统说明.....  | 3  |
| 1.1 简介.....     | 3  |
| 1.2 方框图.....    | 5  |
| 1.3 设计注意事项..... | 9  |
| 2 测试和结果.....    | 10 |
| 2.1 测试方法.....   | 10 |
| 2.2 测试条件.....   | 10 |
| 2.3 测试结果.....   | 10 |
| 3 原理图.....      | 17 |
| 4 结论.....       | 18 |
| 5 参考文献.....     | 19 |
| 6 修订历史记录.....   | 19 |

## 插图清单

|   |    |
|---|----|
| 图 1-1. ADC 输出频谱中的电源噪声和纹波.....                             | 3  |
| 图 1-2. AFE7920 (修订版 C) 评估模块原电源方框图.....                    | 5  |
| 图 1-3. 用蓝框标出转换器和 LDO 的原电路板顶部图像.....                       | 6  |
| 图 1-4. 用蓝框标出转换器和 LDO 的原电路板底部图像.....                       | 6  |
| 图 1-5. 采用 TPS62913 的 AFE7920 (修订版 C) 评估模块电源方框图.....       | 7  |
| 图 1-6. 用蓝框标出的采用 TPS541620 和 TPS62913 转换器的修订后电路板的顶部图像..... | 8  |
| 图 1-7. 修订后电路板底部的图像.....                                   | 8  |
| 图 2-1. FFT 显示 SNR、SFDR、NSD 和谐波失真.....                     | 10 |
| 图 2-2. 完整频谱比较图.....                                       | 11 |
| 图 2-3. 4MHz 接近比较图.....                                    | 11 |
| 图 2-4. 2MHz 跨度 TX 频谱图.....                                | 12 |
| 图 2-5. 原始 2.2V 开关转换器.....                                 | 12 |
| 图 2-6. 原始 1.8V LDO.....                                   | 13 |
| 图 2-7. 原始 1.8V_CLK LDO.....                               | 13 |

|  |    |
|--|----|
| 图 2-8. 原始 1.8V_PLL LDO.....                | 14 |
| 图 2-9. TPS62913 1.8V 开关转换器.....            | 14 |
| 图 2-10. 原始 1.2V 开关转换器.....                 | 15 |
| 图 2-11. 原始 0.9V 开关转换器.....                 | 15 |
| 图 2-12. TPS541620 0.9V 和 1.2V 双路开关转换器..... | 16 |
| 图 3-1. TPS62913 1.8V 电源原理图.....            | 17 |

### 表格清单

|   |    |
|---|----|
| 表 1-1. AFE7920 评估模块组件比较.....                    | 8  |
| 表 2-1. 原始电路板和 TPS62913 电路板上 1.8 V 电源轨的功耗比较..... | 12 |

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介和系统说明

### 1.1 简介

高速射频采样转换器通常包括集成的 PLL/VCO 以提供高频采样时钟。集成时钟（例如 AFE7920 中包含的时钟）对电源杂散和噪声较敏感。电源时钟性能下降会直接影响数据转换器的性能。一种更为常见的有效减少该噪声的解决方案是使用线性电源，或由主总线轨供电的直流/直流转换器后接一个低压降稳压器。与线性电源相比，能够单独使用直流/直流转换器有两大优点：降低功率损耗和电源尺寸。要单独使用直流/直流转换器，需要仔细斟酌所选的开关电源以及直流/直流转换器的设计和布局。虽然使用 TPS62913 的方案与使用 LDO 的传统设计均能实现相同的性能，但前者功耗更低且布板空间更小。

本应用手册使用 AFE7920 作为高性能射频采样收发器的示例，其中 1.8V 电源从直流/直流转换器 + LDO 方案更改为仅直流/直流转换器方案。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 AFE79xx 噪声和纹波要求

AFE79xx 是一系列高性能、高带宽、多通道收发器，集成了四个射频采样发送器链、四个射频采样接收器链和多达两个射频采样数字化辅助链（反馈路径）。发送器链和接收器链的高动态范围使器件可以从无线基站生成和接收 3G、4G 和 5G 信号，而 AFE79xx 器件的高带宽能力适用于多频带 4G 和 5G 基站。

除了在噪声敏感型 1.8V 电源轨上使用直流/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。尽管为 AFE79xx 指定了电源轨的直流精度，但缺少关于电源电压噪声和电源电压纹波的规格。任何电源纹波或噪声在 ADC 的输出频谱上都出现衰减。这种衰减可以表示为电源抑制比 (PSRR) 和 PSRR<sub>MOD</sub> (或 PSMR)，如图 1-1 所示。

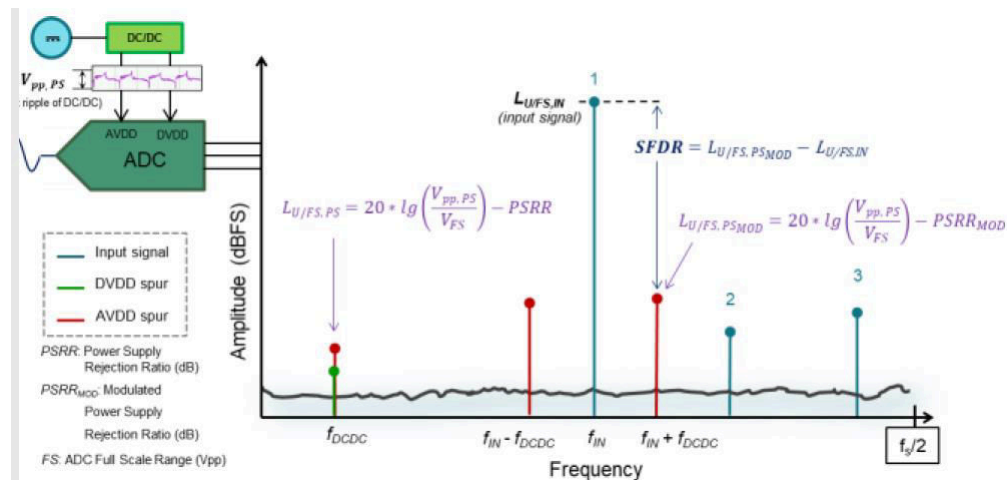


图 1-1. ADC 输出频谱中的电源噪声和纹波

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<sub>MOD</sub> (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。

#### 1.1.2 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 AFE、高速 ADC、时钟和抖动清除器、串行器、解串器和雷达应用。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。这会将输出电压纹波降至 10 $\mu$ V<sub>RMS</sub> 以下。通过用连接到 NR/SS 引脚的电容器过滤内部电压基准，可实现接近低噪声 LDO 的低频噪声水平。可选扩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。

### 1.1.3 TPS541620 双路 6A 转换器

TPS541620 是一款高效率、固定频率、双路 6A 输出降压转换器。此器件非常适用于布板空间有限的应用。这两个输出以异相方式执行开关操作，以尽量减少对输入产生的传导噪声。器件采用高级电流模式 (ACM) 控制以简化补偿并降低最小导通时间，从而在低占空比应用中实现高开关频率。例如，它能够在 12V 输入到 0.9V 输出的应用中以 1MHz 的开关频率工作。此器件还可以与外部时钟同步，以便对电源设计中产生的噪声提供更多的控制。仅通过无源滤波，即可满足此设计中 0.9V 和 1.2V 电源轨的低输出纹波要求。最后，两路 6A 输出也可合并驱动单个 12A 负载。

## 1.2 方框图

原 AFE7920 ( 修订版 C ) 评估模块使用了直流/直流转换器以及 LDO 跟随器为 AFE 1.8V 电源轨供电。

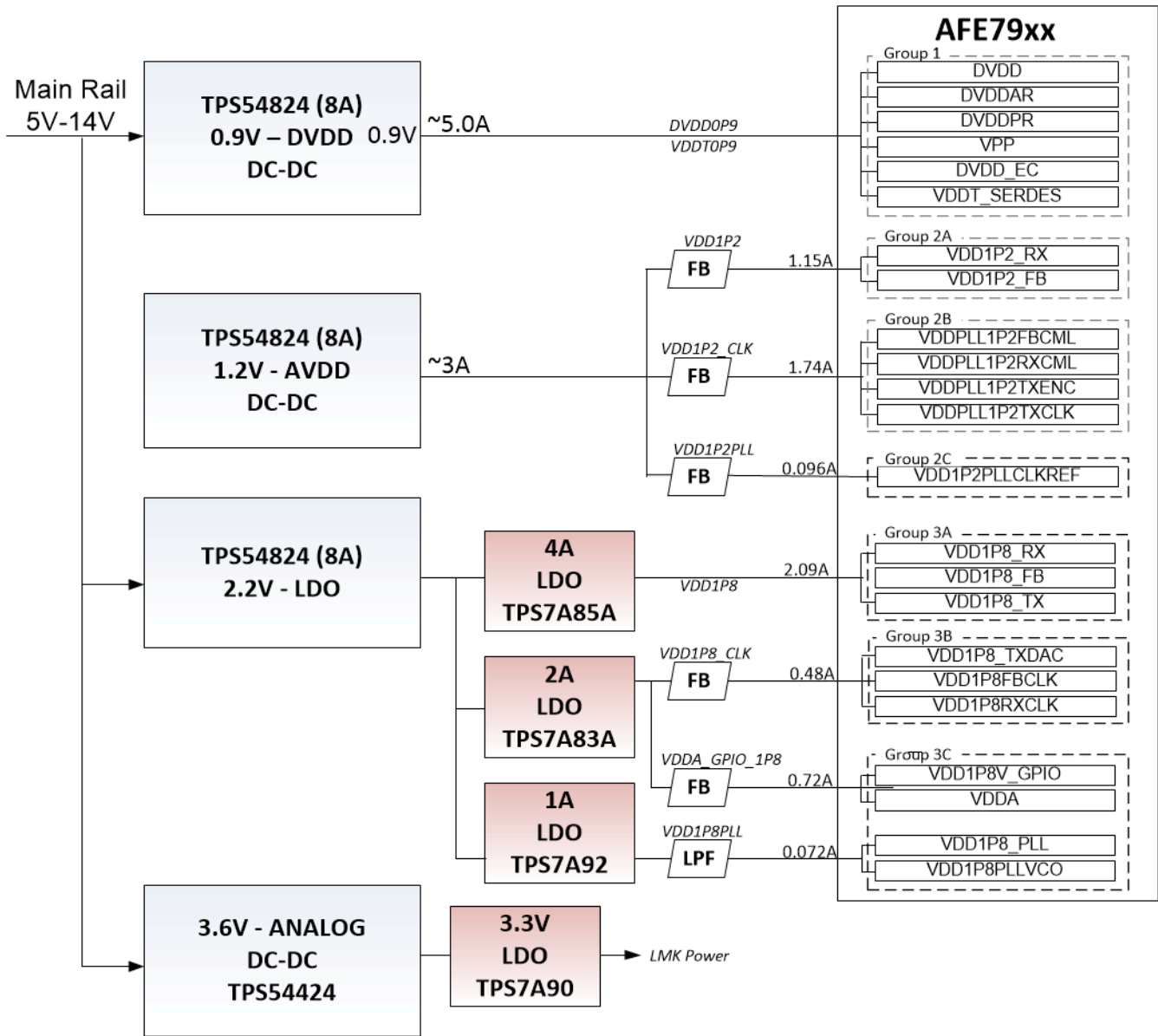


图 1-2. AFE7920 ( 修订版 C ) 评估模块原电源方框图

原 EVM 电源用蓝框标出，如图 1-3 所示。直流/直流 + LDO 方案在此设计中占用了大量的电路板面积，并使用了电路板的两面。

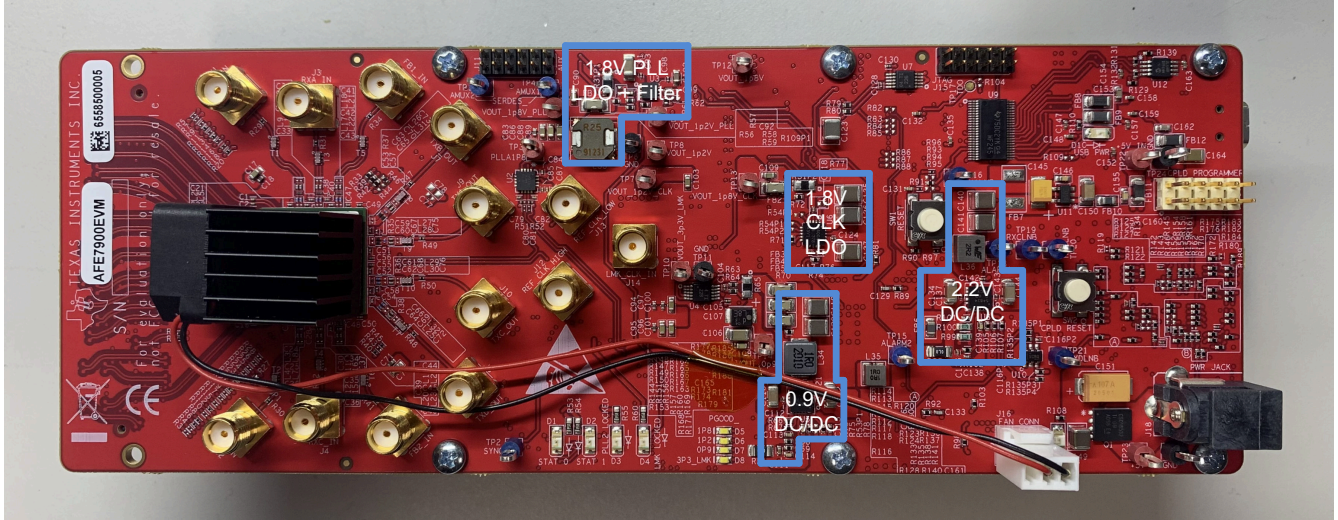


图 1-3. 用蓝框标出转换器和 LDO 的原电路板顶部图像

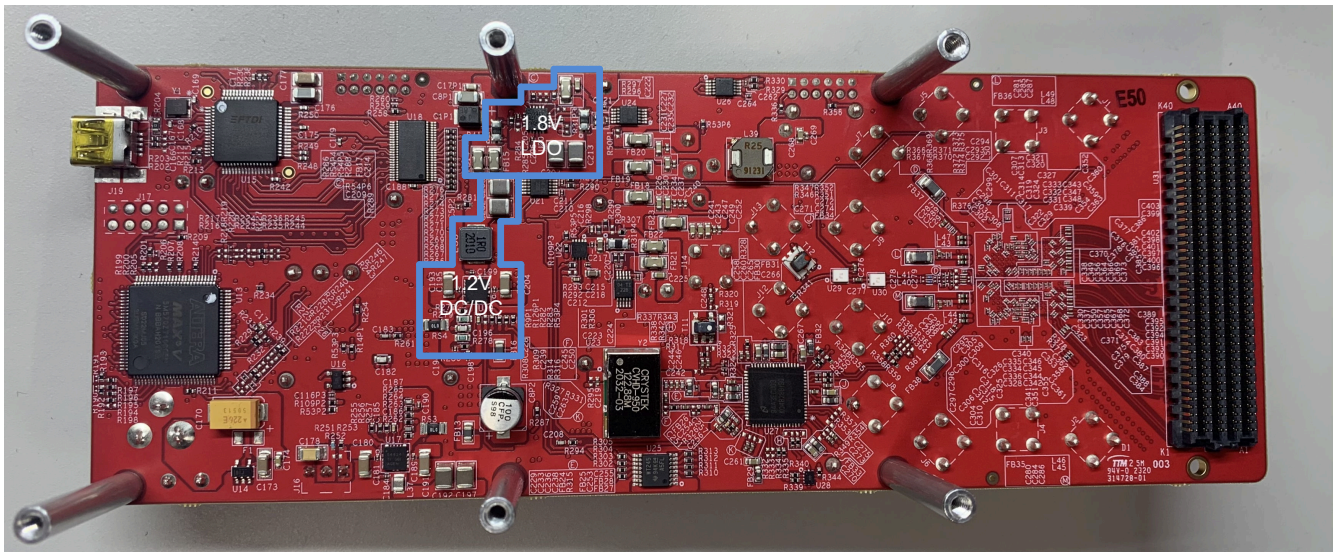


图 1-4. 用蓝框标出转换器和 LDO 的原电路板底部图像

修改后的设计去除了用于 1.8V 电源轨的 LDO，而改用 TPS62913 低纹波、低噪声直流/直流转换器。与使用 LDO 的解决方案相比，这种方案提高了效率（减少功率损耗）、降低了温升并减少了器件数量，同时符合 AFE 的输出电压纹波和噪声要求，可实现良好的性能。

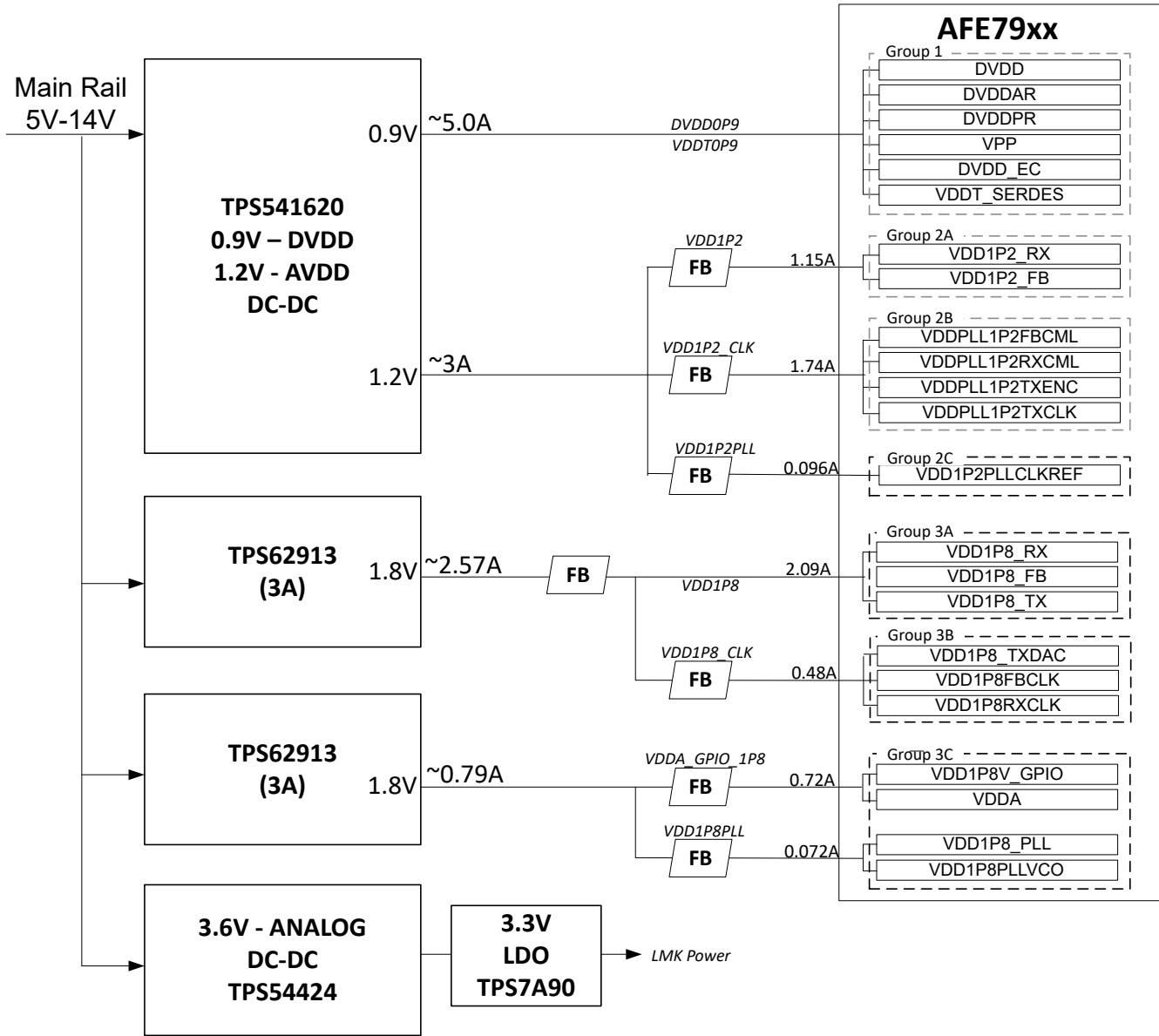


图 1-5. 采用 TPS62913 的 AFE7920 (修订版 C) 评估模块电源方框图

图 1-7 所示为用蓝框标出的采用 TPS62913 和双路输出 TPS541620 的更新版 EVM 电源。在这种设计中，直流/直流解决方案尺寸要小得多，并且只位于电路板的一面。

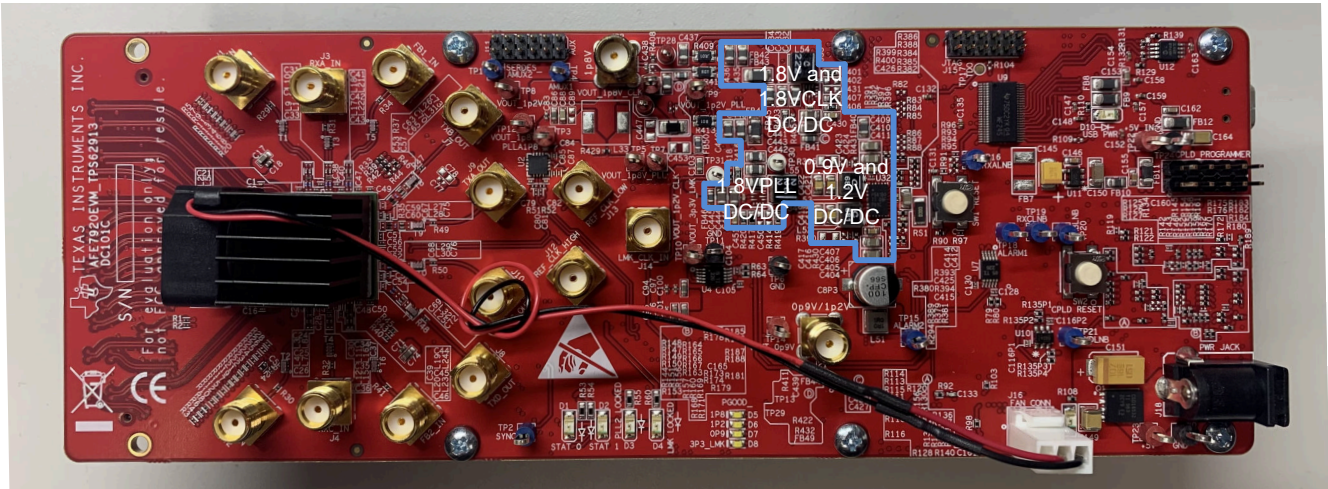


图 1-6. 用蓝框标出的采用 TPS541620 和 TPS62913 转换器的修订后电路板的顶部图像

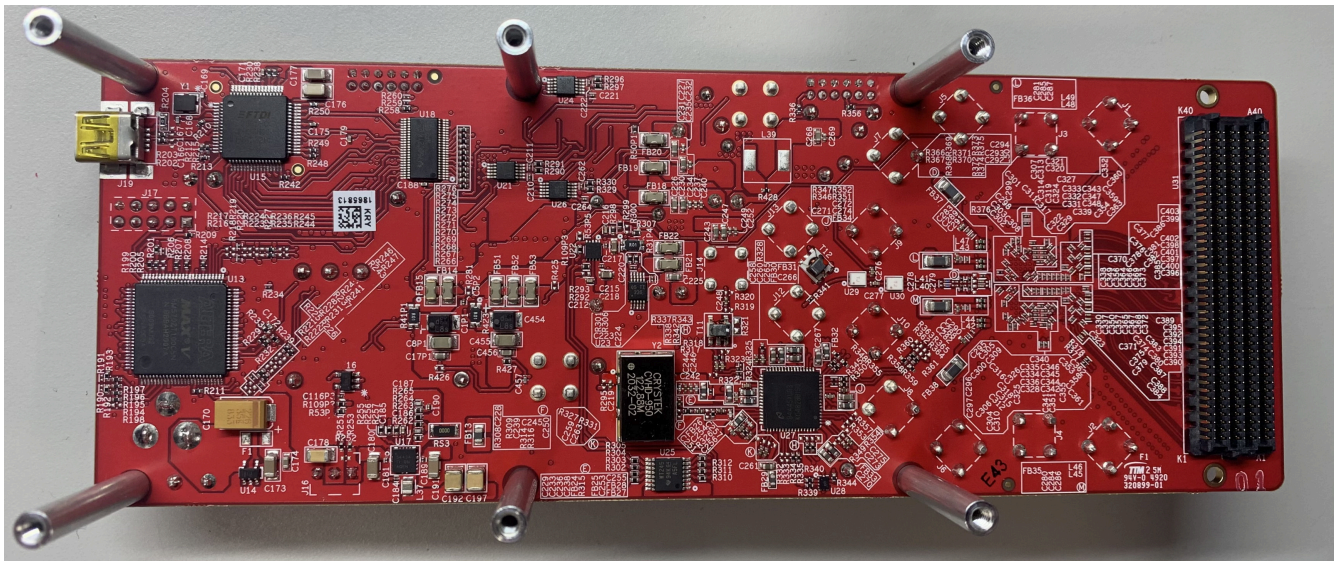


图 1-7. 修订后电路板底部的图像

可在原理图中查看 1.8V 电源轨的原理图。

表 1-1. AFE7920 评估模块组件比较

| 组件   | 原修订版 C   | 带有 TPS62913 的修订版 C          |
|------|--|-----------------------------|
| 开关电源 | 1 x TPS54824 (3.5mm x 3.5mm)   | 2 x TPS62913 (每个 2mm x 2mm) |
| LDO  | 1 x TPS7A85A 4A LDO (3.5mm x 3.5mm)、1 x TPS7A83A 2A LDO (3.5mm x 3.5mm)、1 x TPS7A92 1A LDO (2.5mm x 2.5mm) | 无                           |
| 电源尺寸 | 43sqmm + 无源器件  | 8sqmm + 无源器件                |



### 1.3 设计注意事项

AFE79xx 是一款高性能的每秒数千兆次采样 (GSPS) AFE，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，往往需要对转换器的模拟和时钟输入进行超严格的审查。请注意，电源也是输入。因为我们将电源看作直流偏置电路，所以通常认为它们不会影响射频性能。然而，事实并非如此。杂散性能取决于布局结构。直流/直流转换器可能会产生很大的开关杂散，开关杂散会通过传导路径或辐射路径干扰电路。通过铁氧体磁珠隔离、电源滤波和适当的低频旁路电容器可缓解传导杂散，而辐射发射较难控制。

辐射发射主要由直流/直流转换器和开关电感器产生，由于开关杂散的振幅大且频率低，因此，局部屏蔽或 PCB 接地层对杂散的衰减作用不大。开关杂散很容易穿透接地层，并影响内部敏感的电源布线。因此，请勿将敏感元件的走线布设在直流/直流转换器正下方的内层上。此外，不应将其他内部包含敏感元件的电路板直接置于其上方或下方。即使保持多达 1 英寸的物理间距也不能充分减少杂散耦合。因此，直流/直流转换器应偏离任何敏感区域或其他敏感电路板，从而避免开关杂散影响转换器的正上方或正下方元件。在为任何高速转换器设计电源域时，以下有用提示可进一步提高电源的抗噪声性能：

- 当所有电源轨和总线电压进入系统板和 AFE 本身时，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，这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（就在解耦电容接地前面）。应该对进入系统板上的每个单独电源电压实施上述措施，无论此电压是来自 LDO 还是开关稳压器。
- 为了增加电容，请使用紧密堆叠的电源和接地层对（ $\leq 4$  密耳间距），这可向 PCB 设计添加固有的高频（ $>500\text{MHz}$ ）解耦。
- 如果可能，应使电源远离敏感的模拟电路，如 AFE 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

#### 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、fs/2、fs/2 - fin 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。

#### 相位噪声 (dBc/Hz)

相位噪声参数测量与采样时钟相关的频率噪声或抖动。相位噪声测量的频率范围是从非常低的频率偏移 (约 100Hz) 至载波频率 10MHz 以上。这项测量旨在验证发送器输出端的低频杂散和噪声可能来自时钟或电源。

#### 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) 是指均方根信号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信号的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)。SFDR 旨在捕获杂散性能, 请勿与相位噪声传播条件下载波近端的频谱含量相混淆。因此, 在许多 FFT 图中, 基波周围的一小部分单元成为陷波单元, 以便捕捉到真正的更高杂散。

#### 噪声频谱密度 (NSD, dBFS/Hz)

NSD 定义了单位带宽条件下的整个噪声功率 (在 ADC 输入端采样)。NSD 实际上是 ADC 的 SNR 加上噪声在整个奈奎斯特频带上传播的功率, 它等于采样频率的一半 (或 fs/2)。因此,  $NSD = SNR + 10 \cdot \log(Fs/2)$ 。

有关如何读取 SNR、SFDR、谐波失真和 NSD 的直观说明, 请参阅图 2-1。

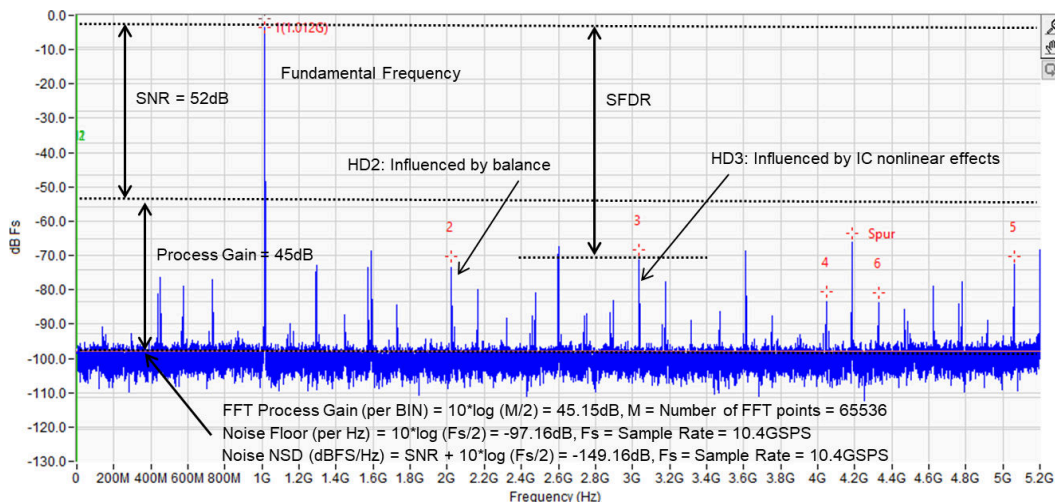


图 2-1. FFT 显示 SNR、SFDR、NSD 和谐波失真

### 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。输入电源为 5.6V 标称电压, 环境温度为 25°C 标称温度。测试结果中详细说明了发送和接收规格。

### 2.3 测试结果

以下性能表和图表对原始 AFE7920 EVM 与采用 TPS541620/TPS62913 的改进电路板进行了比较。

## RX (接收) SNR 和 SFDR

FFT 频谱图中的输入频率为 3.51GHz、NCO 为 3.5GHz、陷波为 150。图 2-2 显示标准 EVM 与 TPS541620/TPS62913 电路板的性能比较。任一块电路板上都没有近端杂散。两个单元之间的 SNR 和 SFDR 性能大致相同；但是，TPS541620/TPS62913 电路板在载波近端频谱中实现了稍低的极近端噪声，如相位噪声传播所示。原始电路板达到了 -50dBFS，而 TPS541620/TPS62913 电路板达到了 -62dbfs，这表明新设计的性能有所提高。

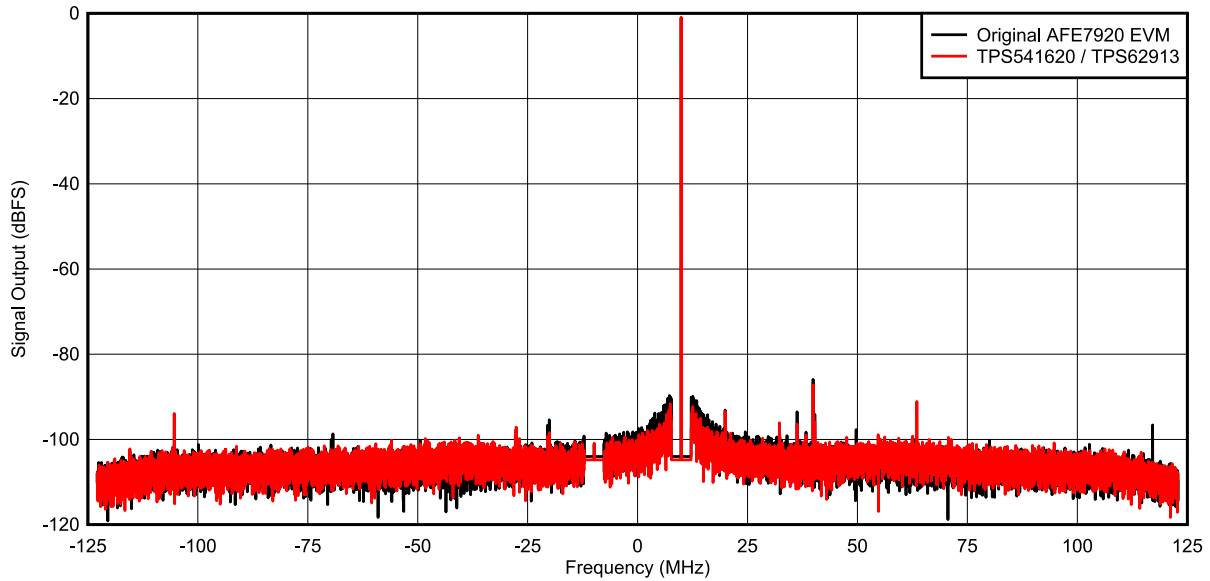


图 2-2. 完整频谱比较图

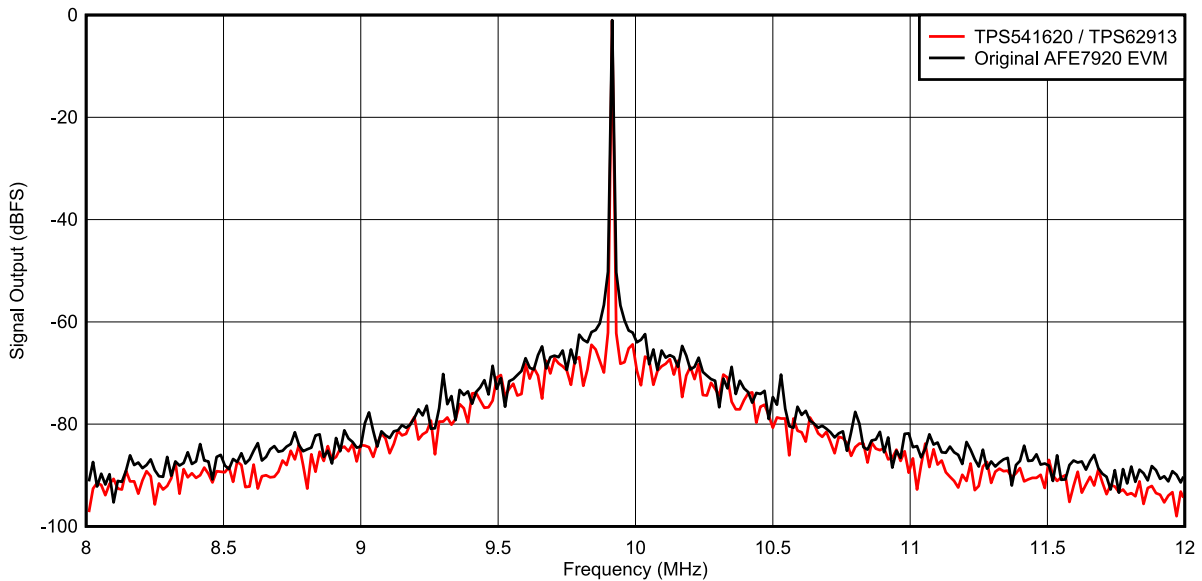


图 2-3. 4MHz 接近比较图

## TX (发送) 频谱

图 2-4 显示了 2MHz 跨度下接近载波的发送频谱性能 (标准 EVM 与使用 TPS62913 的方案相比较)。这两块电路板都表现出良好的性能，尽管原始 AFE7920 电路板显示了约 613kHz 的杂散 (可能来自原始开关电源)。TPS541620/TPS62913 低噪声电路板具有干净的频谱和提高的 1MHz 开关频率。

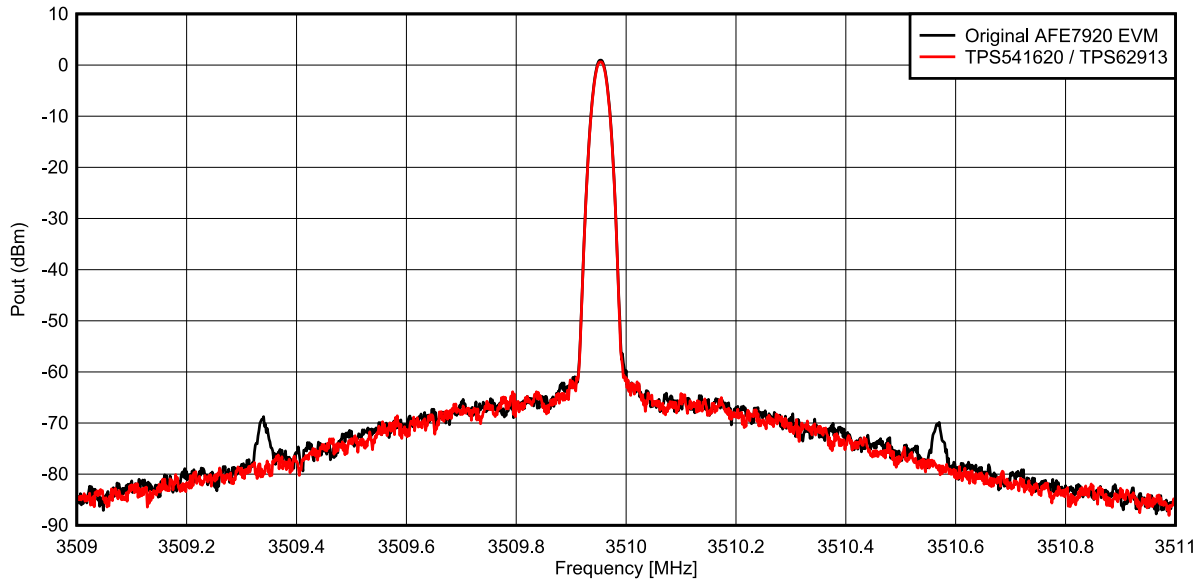
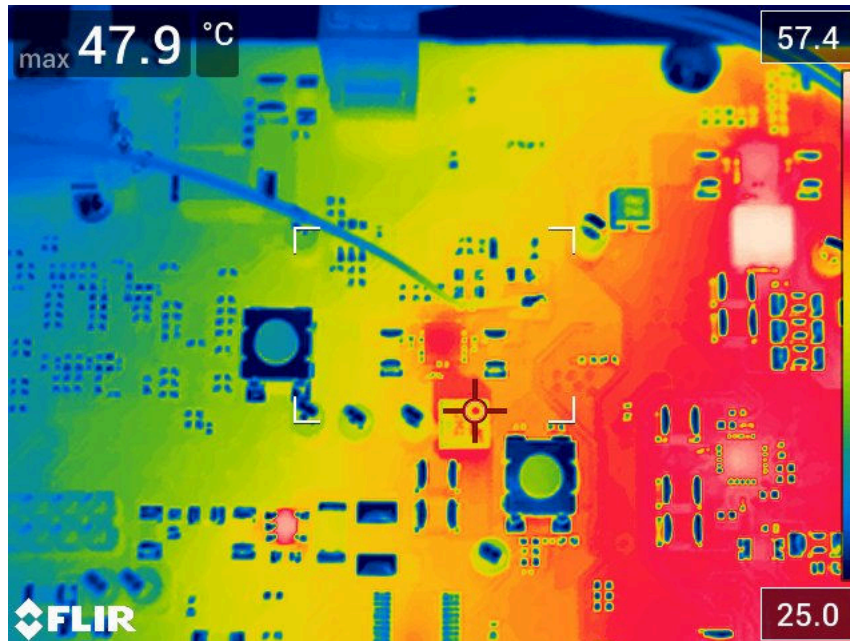


图 2-4. 2MHz 跨度 TX 频谱图

表 2-1. 原始电路板和 TPS62913 电路板上 1.8 V 电源轨的功耗比较

| 配置   | 输入电压和电流       | 输入电源     |
|--|---------------|----------|
| 采用直流/直流转换器 + LDO 的原始 AFE7920 EVM 的 1.8V 电源轨的输入功率 | 5.6V @ 1.165A | 6.526W   |
| 采用两个 TPS62913 的 1.8V 电源轨的输入功率                    | 5.6V @ 0.944A | 5.286W   |
| 1.8 V 电源轨的输入电流和节能                                | 221mA 输入电流下降  | 节能 1.24W |

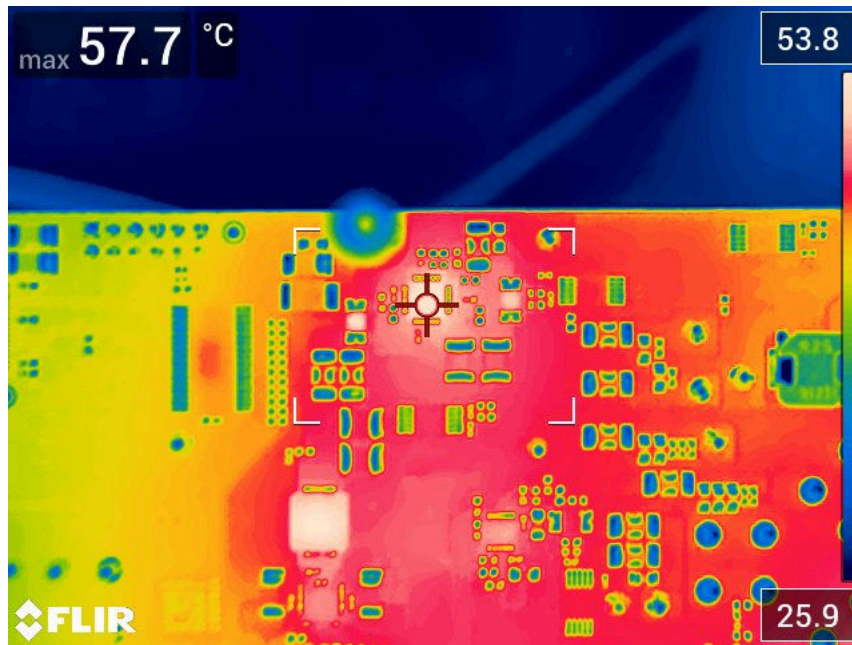
下面是为电源性能比较表获取数据时电源运行的热图像。



NOTE

原始电路板直流/直流转换器最高温度为 47.9°C

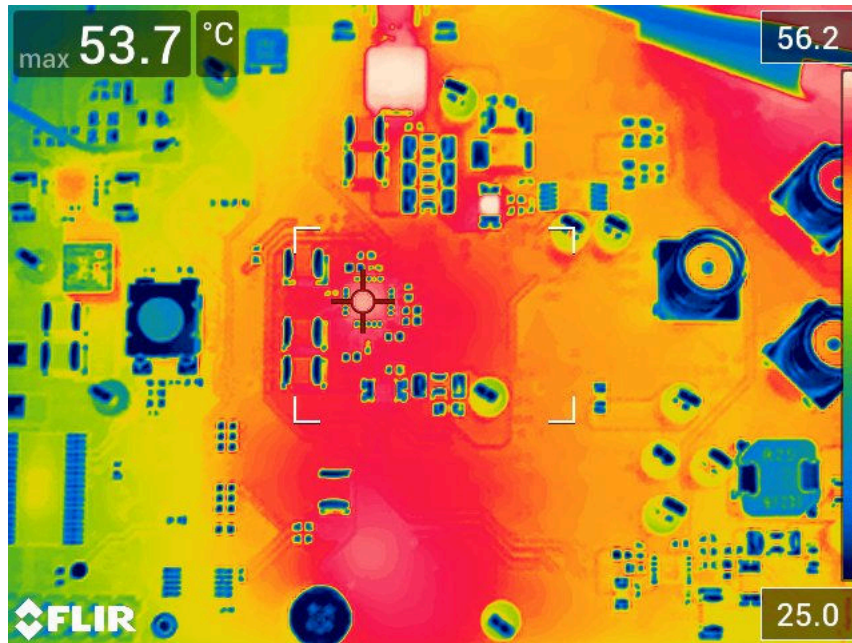
图 2-5. 原始 2.2V 开关转换器



NOTE

原始电路板 LDO 最高温度为 57.7°C

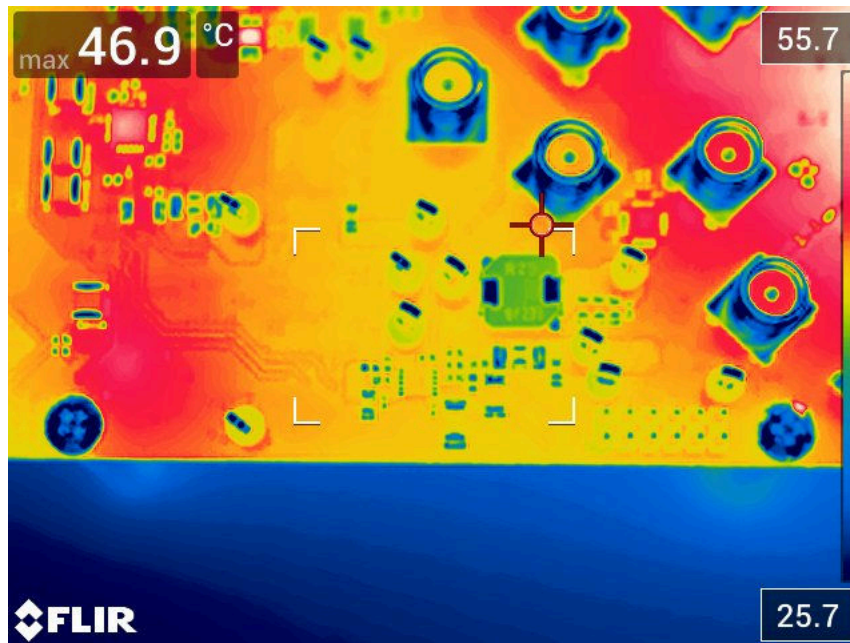
图 2-6. 原始 1.8V LDO



NOTE

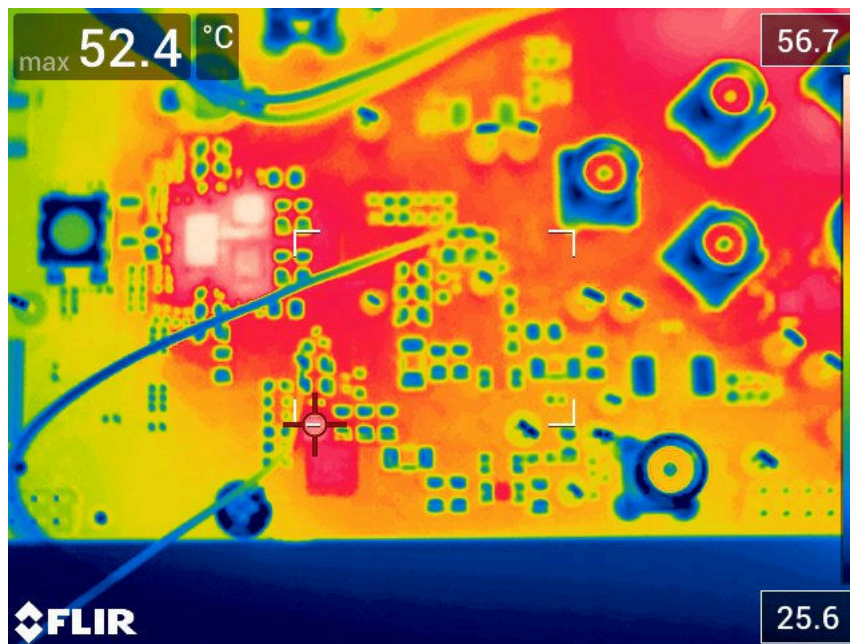
原始电路板 LDO 最高温度为 53.7°C

图 2-7. 原始 1.8V\_CLK LDO

**NOTE**

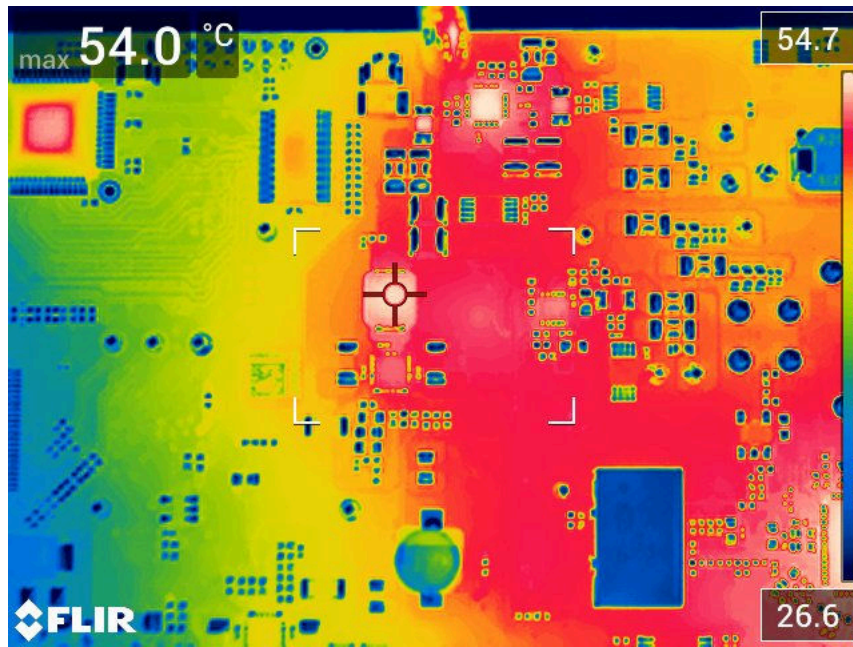
原始电路板 LDO 最高温度为 46.9°C

图 2-8. 原始 1.8V\_PLL LDO

**NOTE**

TPS62913 最高温度为 52.4°C

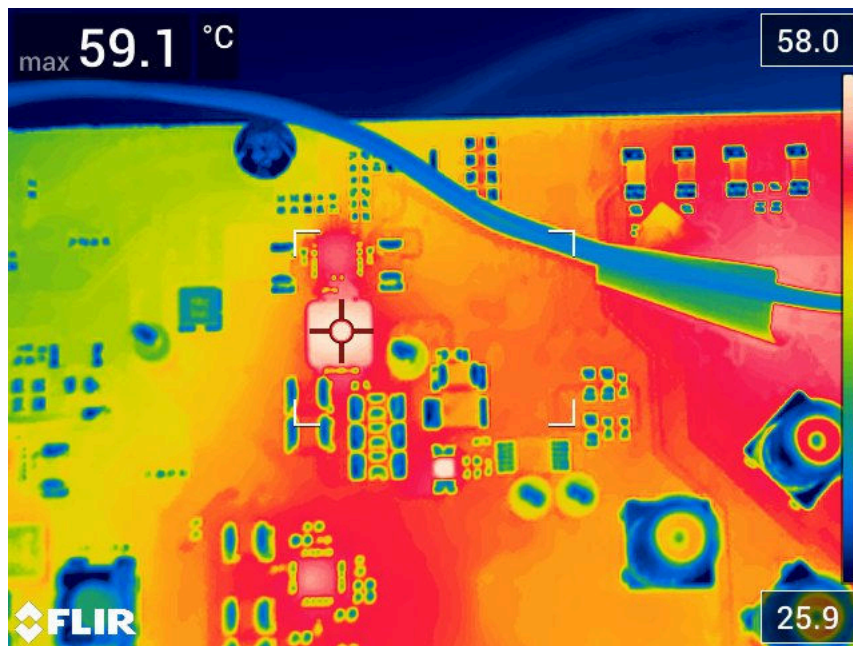
图 2-9. TPS62913 1.8V 开关转换器



NOTE

原始电路板直流/直流转换器最高温度为 54.0°C

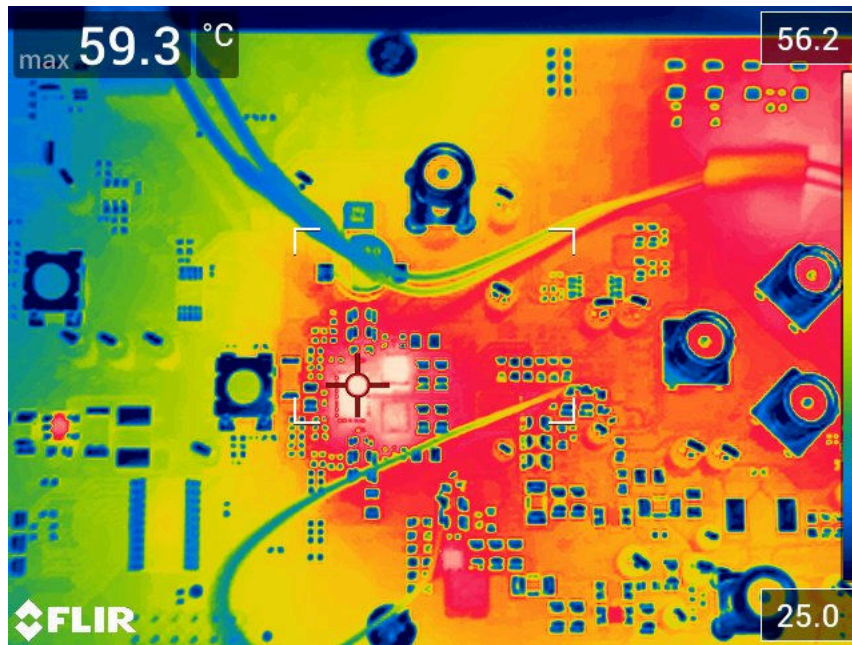
图 2-10. 原始 1.2V 开关转换器



NOTE

原始电路板直流/直流转换器最高温度为 57.7°C

图 2-11. 原始 0.9V 开关转换器

**NOTE**

TPS541620 最高温度为 59.3°C

图 2-12. TPS541620 0.9V 和 1.2V 双路开关转换器



### 3 原理图

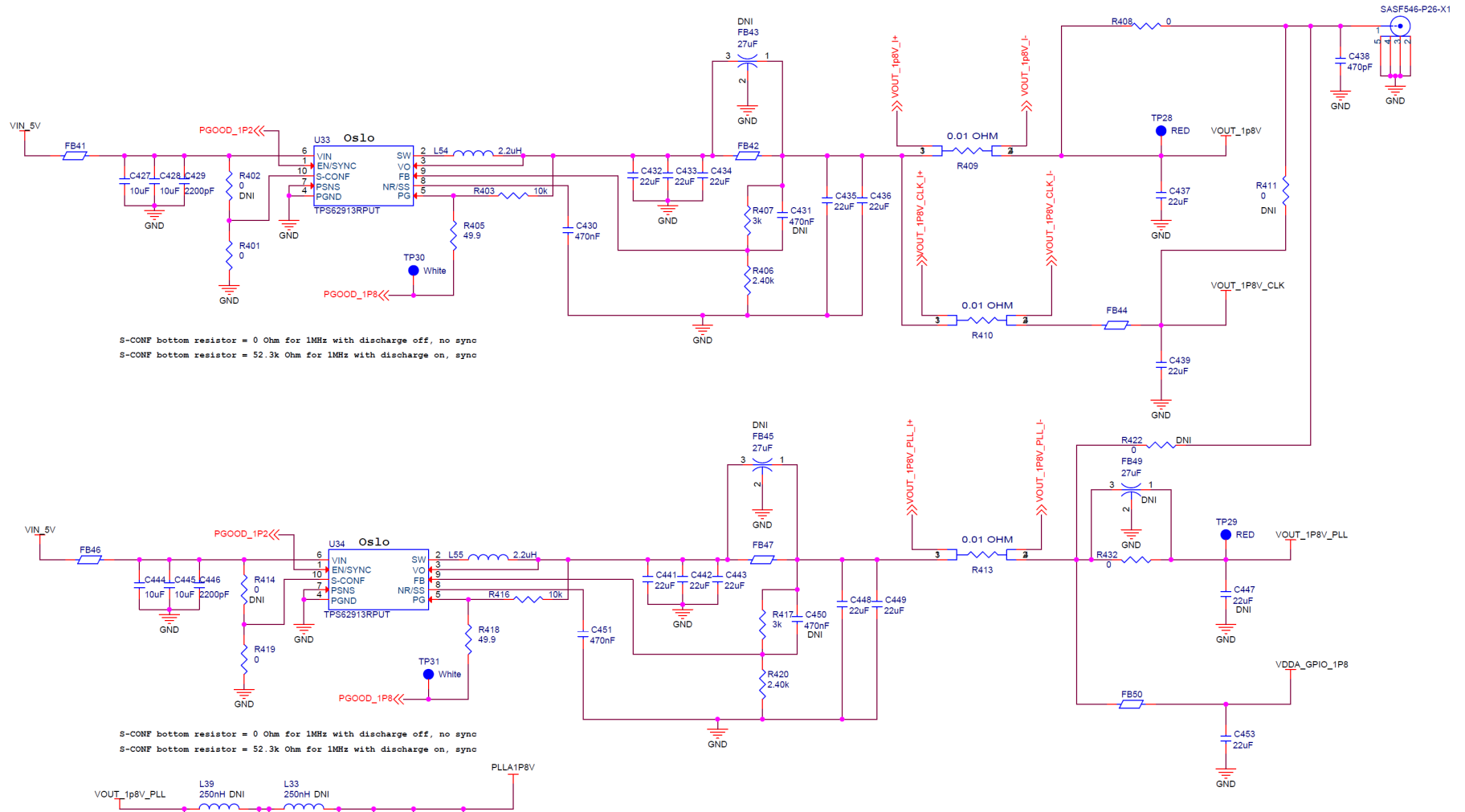


图 3-1. TPS62913 1.8V 电源原理图

## 4 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直流/直流转换器 + LDO 方案相似的性能。1.8V 电源轨全部使用 TPS62913 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。与直流/直流转换器 + LDO 方案相比，性能相似。使用 TPS62913 设计可将 1.8V 电源轨的功耗降低 1.24W，减小设计尺寸，并降低电源组件的温升。

此设计不仅可用于 AFE7920，还适用于其他需要低噪声电源、对尺寸和热性能有要求的 AFE。

## 5 参考文献

- 德州仪器 (TI), [AFE7920 具有双频带 DUC/DDC 和两个反馈路径的四发送四接收射频采样收发器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS6291x 具有集成式铁氧体磁珠滤波器补偿的 3V 至 17V、2A/3A 低噪声和低纹波降压转换器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS541620 4.5V 至 17V、高级电流模式、双路 6A 同步 SWIFT 降压转换器](#)。

## 6 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

| <b>Changes from Revision * (March 2022) to Revision A (December 2021)</b> | <b>Page</b> |
|---|-------------|
| • 更新了“原始电路板和 TPS62913 电路板上 1.8V 电源轨的功耗比较”表.....                           | 10          |

## 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