

设计目标

表 1. 设计目标

VIN	VOUT	IOUT	积分噪声 (10Hz-100kHz)	效率	PSRR (100kHz 时)	功率损耗
12V \pm 1V	3.3V \pm 1.0%	1A	<10 μ V _{RMS}	> 75%	> 50dB	< 1000mW

设计说明

高性能测试和测量设备（例如频谱分析仪、信号发生器、波形发生器、无线通信测试仪、示波器和数据采集系统）中使用的现代数模转换器 (DAC) 和模数转换器 (ADC) 对电源噪声很敏感，原因在于噪声会耦合到信号链中，从而导致降低测量质量。低噪声电源可以最大限度地提高信号完整性和系统性能，对于噪声敏感型 ADC 和 DAC 来说必不可少。

有两种类型的电源适用于直流到直流转换：开关稳压器和线性稳压器。

开关稳压器通常用于高效地降低输入电压。不过，开关稳压器的输出包含一些开关噪声，可能会对噪声敏感型器件产生不利影响。另一方面，低压降线性稳压器 (LDO) 具有低输出噪声，但由于效率低，仅可在低运行余量下使用，才能最大程度地降低功率耗散。

本应用简报介绍了通过结合使用开关转换器和 LDO 来创建高效 (> 75%) 的超低噪声 (<10 μ V_{RMS}) 电源的过程。首先使用开关转换器将大部分输入电压高效地降低至较低的电压电平，以便最大限度地减少 LDO 的运行开销。然后，使用 LDO 有效地消除所有剩余噪声，从而提供低噪声输出。

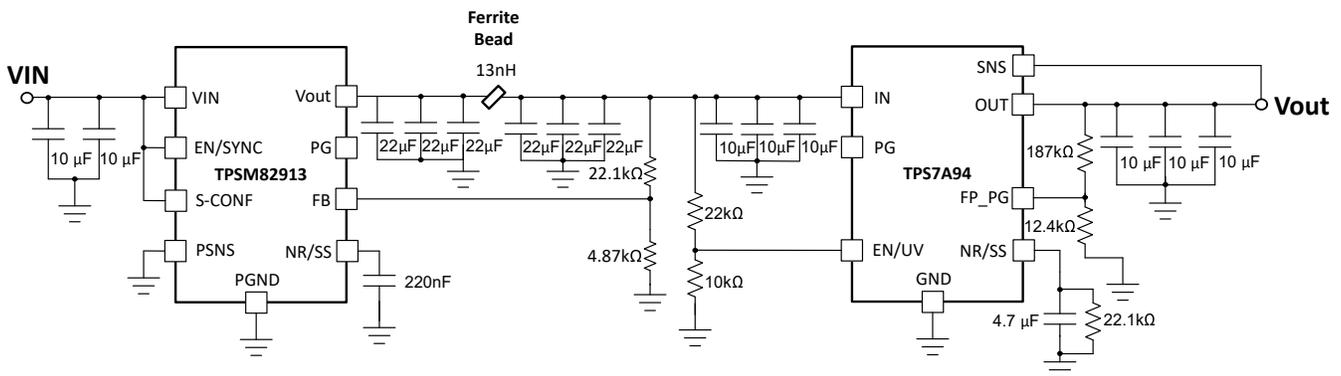


图 1. 简化原理图

设计说明

$\pm 0.1\%$ 电阻器用于开关稳压器的反馈网络，以便最大限度地减小输出电压变化。

需要 $\pm 0.1\%$ 的电阻器来设置 LDO 输出电压，以便满足 $\pm 1\%$ 的输出电压容差要求。

$\pm 1\%$ 容差的电阻器用于 EN、UVLO、PG 上拉电阻，因为这些功能不会影响系统输出电压精度。

输入大容量电容器可最大程度地减少输入电压纹波，并且输出电容器可滤除噪声和瞬变。开关稳压器需要最小的输入和输出电容，才能实现稳定性和正常运行；而线性稳压器同时需要输入电容器和输出电容器，才能实现最佳噪声性能。

本设计中的陶瓷电容器很小，具有低等效串联电阻 (ESR)，用于输入和输出去耦。但是，电容会因初始容差、温度和电压降额而变化。

电容器必须具有 $\pm 20\%$ 或更好的容差。本设计需要更多的初始电容以便应对最坏情况下的电容要求，并且需要更多的空间。容差更严格的电容器可降低设计开销。

陶瓷电容器的额定值表示为在工作温度范围内的电容变化。本应用简报使用额定值为 X7R (-55°C - 125°C $\pm 15\%$) 和 X7S (-55°C - 125°C $\pm 22\%$) 的电容器。

本设计使用 TPSM82913 和 TPSM7A94 的评估模块 (EVM) 进行评估。

设计步骤

选择 LDO

首先为系统选择 LDO，LDO 必须满足或超过负载所需的所有规格。

- $V_{OUT} \geq 3.3V \pm 1\%$
- $I_{OUT} \geq 1A$
- 100Hz 至 100kHz 的积分噪声 $< 10\mu V_{RMS}$
- PSRR (100kHz 时) $> 50dB$

此电源中的 LDO 无需满足 12V 的系统输入要求，因为开关稳压器可用于将输入电压降至更接近输出电压的电压值。

表 2 展示了可大致满足要求的线性稳压器的简短列表。

表 2. LDO 选择

PN	VIN	VOUT 最大值	IOUT	噪声	PSRR (100kHz, 1A, VIN=3.8V, VOUT=3.3V 时)	PSRR (1MHz 时)	最小压降电压
	V	V	A	μV_{RMS}	dB	dB	mV
TPS7A94	1.7-5.7	5.5	1	0.46	65	48	240
TPS7A96	1.7-5.7	5.5	2	0.46	60	40	250
TPS7A91	1.4-6.5	5.2	1	4.7	40	40	200
TPS7A88	1.4-6.5	5.2	1	3.8	40	40	200
TPS7A20	1.6-6	5.5	0.3	7	60	40	145
TPS7A21	2-6	5.5	0.5	7.7	61	50	175
TPS7A57	0.7-6	5.2	5	2.1	60	30	110

要创建具有出色输出噪声性能电源，请选择具有超高 PSRR 和超低噪声性能的 LDO。TPS7A94 具有 $0.46\mu V_{RMS}$ 的输出噪声，同时还满足输出电压范围、容差和电流要求。TPS7A94 比具有第二低噪声的 LDO TPS7A88 的噪声低 $3.3\mu V_{RMS}$ 。

本设计旨在实现极低噪声。尽管选择 $10\ \mu\text{F}$ $C_{\text{NR/SS}}$ 可实现超低噪声，但启动时间也较长。为 $C_{\text{NR/SS}}$ 选择 $4.7\ \mu\text{F}$ 电容器仅增加了 $0.04\ \mu\text{V}_{\text{rms}}$ 噪声，而同时将启动时间缩短了 15ms 。因此，本设计选择单个 $4.7\ \mu\text{F}$ 电容器，以便在低噪声和启动时间之间取得平衡。

TPS7A94 PSRR 与运行余量间的关系

运行余量 (V_{OrHr}) 是指稳压器输入和输出电压之差。根据图 3，500mV 和 360mV 运行余量在 10Hz 至 100kHz 范围内的 PSRR 大于 50dB，而 300mV 和 240mV 运行余量在 10kHz 至 100kHz 范围内的 PSRR 小于 50dB。因此，开关稳压器的输出电压需要为 3.675V 或更高，才能满足系统 PSRR 要求。

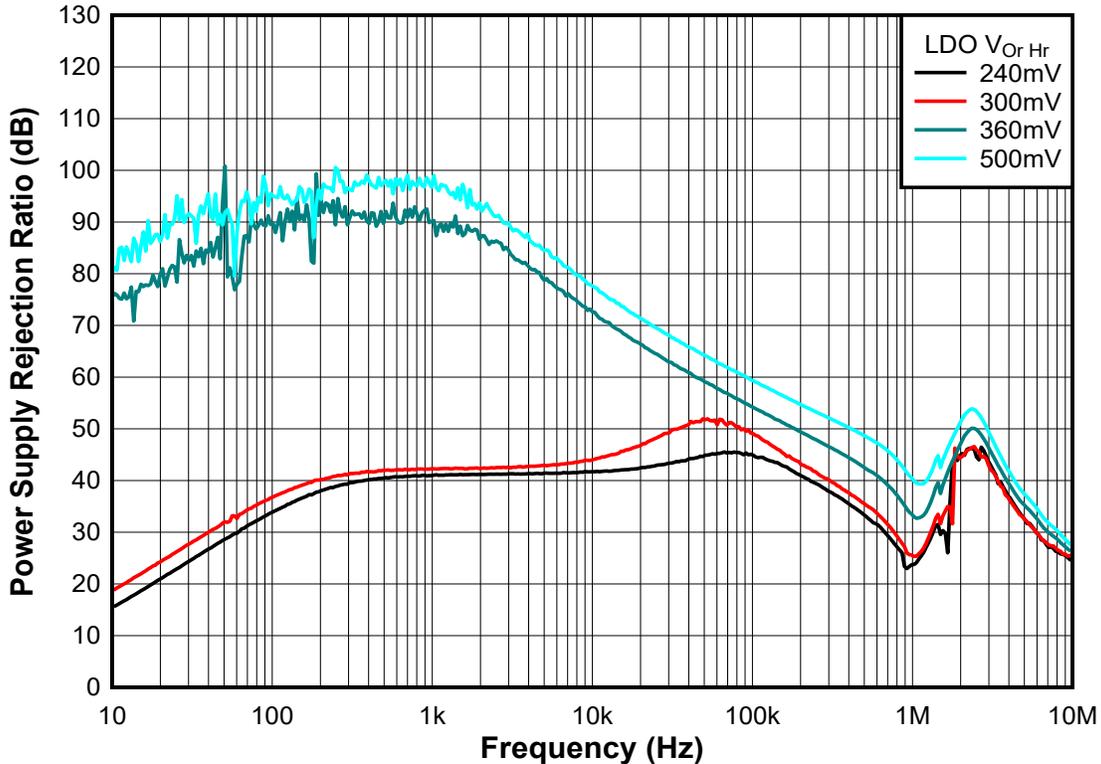


图 3. 系统 PSRR

评估 LDO 功率损耗

TPS7A94 的 $R_{\theta JA}$ 为 $25.6^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。在 $V_{OrHr} = 500\text{mV}$ 且 $I_{OUT} = 1\text{A}$ 时，功率耗散为 500mW ，产生的温升为仅比环境温度高 12.8°C 。

TPS7A94 EVM 默认设置

电流限制、软启动和 UVLO 电路均设置为 EVM 默认值。请参阅 [TPSM82913 数据表](#) 第 7.3.3 - 7.3.5 节，了解更多详细信息。

选择直流/直流转换器

直流/直流转换器必须满足以下要求：

1. $V_{IN} > 13\text{V}$
2. $V_{OUT} > 3.8\text{V}$
3. $I_{OUT} \geq 1\text{A}$

低噪声直流/直流转换器可降低总体系统噪声，尤其是在 LDO PSRR 较低的频率下。大多数直流/直流转换器没有指定的输出噪声值。TPSM82913 是 LDO 的替代产品，其噪声比典型的降压转换器低得多。借助第二级滤波器，TPSM82913 在 10Hz 至 100kHz 范围内具有 $22\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 的积分噪声。为了便于比较，典型开关转换器 TPS543620 的积分噪声为 $87\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 。

设置 TPSM82913 输出电压

要设置 TPSM82913 的输出电压，需要选择反馈电阻器 R1 和 R2。

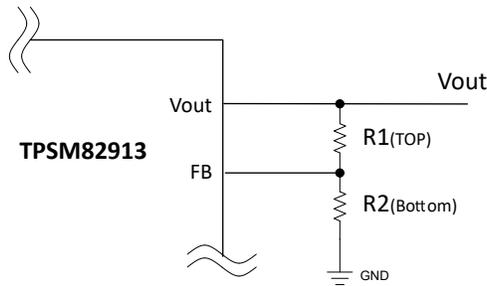


图 4. 反馈电阻

TPSM82913 具有 0.8V 的内部基准电压，在 EVM 上的 R2 设置为 4.87kΩ 时，使用以下公式计算 R1：

$$R1 = R2 \times \left(\frac{V_{OUT}}{0.8V} - 1 \right) \quad (3)$$

表 4. 计算出的 R1 值

运行余量 (mV)	VOUT (V)	R1 (kΩ)
500	3.8	18.2
360	3.66	17.4
300	3.6	17.2
240	3.54	16.9

TPSM82913 输入电容器选择

TPSM82913 需要最小 10 μF 的输入电容才能稳定。考虑到在温度和电压范围内容差和电容的变化，使用两个 10 μF 25V X7S 陶瓷电容器。该 EVM 还包含一个 35V 47 μF 电解电容器，用于补偿长输入电源线的电感。

TPSM82913 输出电容器选型

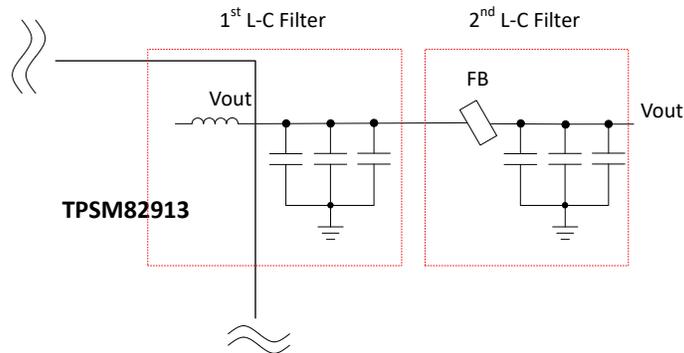


图 5. 输出电容器图

使用第二个 L-C 滤波器时，TPSM82913 具有以下输出电容器要求：第一级 L-C 滤波器必须具有 40 μF 至 80 μF 的输出电容，第二级 L-C 滤波器必须具有至少 20 μF 的电容，并且两个 L-C 滤波器的总电容必须小于 200 μF。第一级和第二级使用三个 22 μF、10V、X7R 陶瓷电容器，以便满足输出稳定性和电容要求。

设置 TPSM82913 S-Config

开关频率选择为 2.2MHz，以便最大程度地减少 3.3V 至 4.3V 下相对较高 VOUT 的纹波。展频功能旨在降低 SW 频率噪声和减少较高的谐波。由于 NSD 噪声是在低得多的 10Hz 至 100kHz 频率下测量，因此关闭展频，并且由

于不需要输出放电和同步功能，因此将 S-Config 引脚直接连接到 VIN。有关其他 S-Config 引脚配置，请参阅数据表的表 7.1。

选择铁氧体磁珠

铁氧体磁珠与第二组输出电容器组合形成第二级滤波器，可进一步抑制高频噪声。铁氧体磁珠的电感需要在设计范围内以确保稳定性，还需要高于 1A 的额定电流和低直流电阻。

TPSM82913 具有针对电感介于 10nH 至 50nH 之间的铁氧体磁珠的内部补偿。铁氧体磁珠阻抗指定值仅是在 100MHz 时的值，因此可以通过以下公式计算电感 L，并且 100MHz 时的阻抗需在 6.3Ω 至 31Ω 范围内。

$$L = \frac{Z}{2 \times \pi \times f} \quad (4)$$

$$Z = 2 \times \pi \times 100\text{MHz} \times 50\text{nH} = 31.4 \Omega \quad (5)$$

- Z 是铁氧体磁珠在指定频率（通常为 100MHz）下的阻抗
- F 是测量阻抗时的频率

BL18PS080SN1 具有 8.5Ω 的阻抗（在 100kHz 下）、4mΩ 的直流电阻、8A 直流额定值和 0603 封装尺寸，可满足该应用的目标要求。根据应用要求，还可以选择具有更大封装尺寸、更高阻抗的铁氧体磁珠。

系统总 PSRR

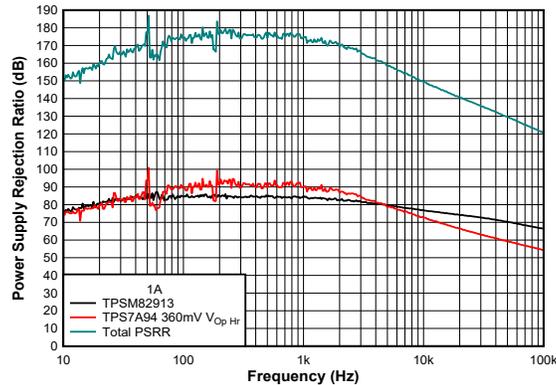


图 6. 系统 PSRR

系统总 PSRR 是 TPSM82913 和 TPS7A94 的 PSRR 之和。在本例中，PSRR 超过 170dB。

TPSM82913 热性能

TPSM82913 在 1A 负载下 $R_{\theta JA}$ （结至环境热阻）= 25.6°C/W，功率损耗为 0.5W，导致的温升仅为高于环境温度 12.8°C。

TPSM82913 EN/UVLO

当 V_{IN} 升至高于 V_{UVLO} (2.92V) 时，会启用 TPSM82913，并且由于不需要器件同步、EN/SYNC 引脚直接连接到 VIN。

TPSM82913 电流限制

TPSM82913 具有 4.3A 的电流限制，足以满足 1A 应用要求。如果应用需要不同的电流限制，请参阅 [TPSM82913](#) 数据表中的第 7.3.9 节。

测试结果

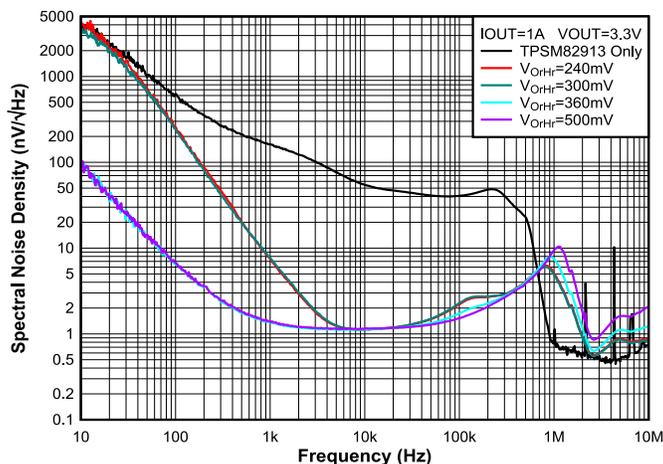


图 7. 噪声密度测量

TPSM82913 和 TPS7A94 的多种配置均在封闭射频室内进行测试，并且系统输出噪声通过 E5052B 频谱分析仪测量。如以上噪声密度图所示，仅使用开关转换器时产生的噪声最高，在 10Hz 至 100kHz 范围内为 $23\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 。

当 TPS7A94 的运行余量小于 360mV 时，系统在 10Hz 至 100kHz 范围内的噪声为 $13\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 。

当 TPS7A94 具有 360mV 以上的运行余量时，系统在 10Hz 至 100kHz 范围内具有 $0.5\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 的极低噪声。

表 5. 系统性能与运行余量间的关系

	积分带宽	运行余量				
		仅 TPSM82913	500mV	360 mV	300mV	240 mV
噪声 (μVRMS)	10Hz - 100kHz	22.43	0.49	0.51	11.34	12.97
	1 Hz - 100 kHz	29.05	1.44	1.50	20.91	21.14
	1Hz - 10MHz	38.5	9.54	7.12	21.88	21.88
效率		87%	76%	79%	81%	82%
功率耗散 (mW)		480	1000	890	770	710

当 V_{OrHr} 至少为 360mV (比典型压降电压 150mV 高 210mV) 时，噪声最低。要在压降电压最大值 240mV 时保持相同的裕度，需要 450mV 的最小运行余量。

总之，低噪声直流/直流开关稳压器与具有足够高余量的超低噪声 LDO TPS7A94 搭配使用，可实现超低噪声性能和高效率。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司