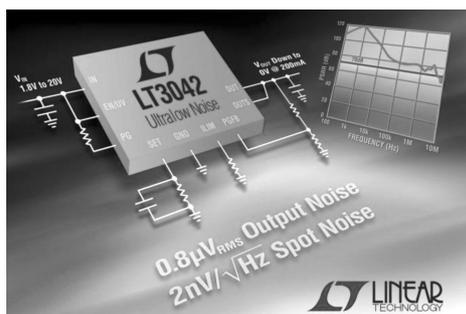


# 噪声敏感的应用要求采用具备超低输出噪声和超高 PSRR 性能的线性稳压器

Amit Patel  
(凌力尔特公司)

当说到给那些对噪声敏感的模拟 /RF 应用供电时,低压差 (LDO) 线性稳压器通常比功能相同的开关稳压器更受用户的青睐。低噪声 LDO 可为众多的模拟 /RF 设计供电,包括频率合成器 (PLL / VCO)、RF 混频器和调制器、高速和高分辨率数据转换器 (ADC 和 DAC) 以及高精度传感器。然而,这些应用对于功能和灵敏度的要求已经开始逐步考验着传统低噪声 LDO 的性能极限。

例如,在许多高端 VCO 中,电源噪声直接影响着 VCO 输出相位噪声 (抖动)。而且,为了满足整体系统效率要求,LDO 通常对噪声相对较大的开关转换器之输出进行后置稳压,因此 LDO 的高频电源抑制比 (PSRR) 性能变得至关重要。凭借其超低输出噪声和超高 PSRR 性能,LT<sup>®</sup> 3042 能够直接为某些对噪声最为敏感的应用供电,同时对开关转换器的输出实施后置稳压,并不需要庞大的滤波电路。表 1 比较了 LT3042 与传统低噪声稳压器的噪声性能。



LT3042可为高性能电子线路提供无噪声的电源

表 1 LT3042 与传统低噪声 LDO 的比较

参数	LT1763	LT3062	LT3082	LT3042
RMS 噪声 (10Hz 至 100kHz)	20 $\mu$ V <sub>RMS</sub>	30 $\mu$ V <sub>RMS</sub>	33 $\mu$ V <sub>RMS</sub>	0.8 $\mu$ V <sub>RMS</sub>
点噪声 (10kHz)	35nV/ $\sqrt$ Hz	80nV/ $\sqrt$ Hz	100nV/ $\sqrt$ Hz	2nV/ $\sqrt$ Hz
PSRR (在 1MHz)	22dB	55dB	45dB	79dB
最小 PSRR (DC 至 1MHz)	22dB	30dB	40dB	77dB
可直接并联				
可编程电流限值				
可编程电源良好				
快速启动能力				
轨至轨输出范围				
静态电流	30 $\mu$ A	45 $\mu$ A	300 $\mu$ A	2mA

## 高性能、坚固性和简单性

LT3042 是一款高性能低压差线性稳压器,其采用凌力尔特的超低噪声和超高 PSRR 架构以为对噪声敏感的应用供电。LT3042 尽管拥有高性能,但其同时也保持了简单性和坚固性。图 1 为该器件的一款典型应用电路,图 2 则示出一个完整的演示电路。LT3042 的纤巧型 3mm x 3mm DFN 封装和极低的组件要求可使整体解决方案尺寸保持小巧。

LT3042 被设计为一款后随高性能电压缓冲器的高精度电流基准,其可容易地通过并联以增加输出电流、在 PCB 上散播热量并进一步降低噪声,输出噪声的降幅为并联器件数目的平方根。该器件基于电流基准的架构可提供宽输出电压范围 (0V 至

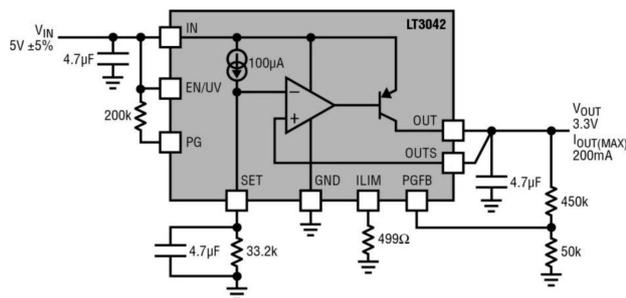


图 1 LT3042 的典型应用

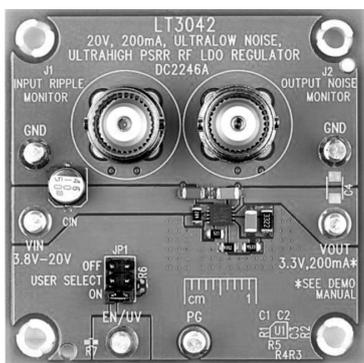


图 2 LT3042 演示电路

15V) 并保持单位增益运作,从而获得了几乎恒定的输出噪声、PSRR、带宽和负载调节,这与编程输出电压无关。

除了提供超低噪声和超高 PSRR 性能之外,LT3042 还拥有新式系统中期望的特性,例如:可编程电流限值、可编程电源良好门限和快速启动能力。此外,LT3042 还内置了针对电池供电型系统的保护功能。其反向输入保护电路可耐受输入端上的负电压,并不会损坏 IC 或在输出端上产生负电压,作用基本上就像连接了一个与输入相串联的理想二极管。在那些可以使输出高于输入的电池后备系统中,LT3042 的反向输出至输入保护电路可避免反向电流流至输入电源。LT3042 包括内部折返电流限制以及具迟滞的热限制功能,可用于提供安全工作区保护。

### 超低输出噪声

凭借其  $0.8\mu\text{V}_{\text{RMS}}$  的输出噪声<sup>[1]</sup>(在 10Hz 至 100kHz 带宽内),LT3042 成为了业界首款噪声低于

$1\mu\text{V}_{\text{RMS}}$  的稳压器。图 3 把 LT3042 在 10Hz 至 100kHz 范围内的积分输出噪声与 LT1763 (其为凌力尔特 10 多年来噪声最低的一款稳压器) 的相应指标做了对比。LT3042 的超低噪声性能可开辟以往无法实现的应用,或者需要采用昂贵笨重的滤波组件才能实现的应用。

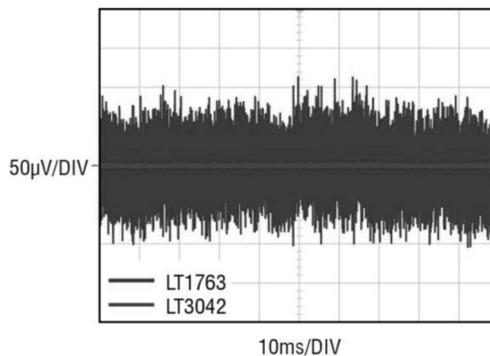


图 3 输出噪声: 10Hz 至 100kHz

SET 引脚电容器 ( $C_{\text{SET}}$ ) 负责对基准电流噪声、(误差放大器输入级) 的基极电流噪声以及 SET 引脚电阻器 ( $R_{\text{SET}}$ ) 的固有热噪声进行旁路。如图 4 所示,通过增加  $C_{\text{SET}}$  可显著地改善低频噪声性能。当采用一个  $22\mu\text{F}$   $C_{\text{SET}}$  时,输出噪声在 10Hz 时低于  $20\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。需要注意的是,电容器还会产生  $1/f$  噪声,特别是电解电容器。为了尽量降低  $1/f$  噪声,应在 SET 引脚上采用陶瓷电容器、钽电容器或薄膜电容器。

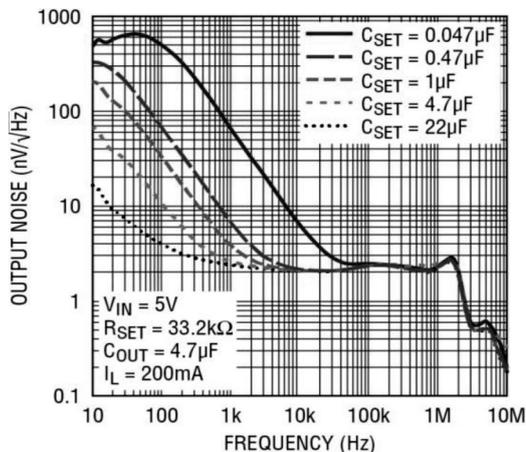


图 4 噪声频谱密度

利用一个电池或一个较低噪声的电压基准对 SET 引脚主动地进行驱动可减少噪声低于 10Hz。这

么做基本上可以消除较低频率上的基准电流噪声，只剩下极低的误差放大器噪声。这种驱动 SET 引脚的能力是电流基准架构的另一项优势。此外，积分 RMS 噪声还会随着 SET 引脚电容的增大而得到改善，在只采用  $2.2\mu\text{F}$   $C_{\text{SET}}$  的情况下可降至  $1\mu\text{V}_{\text{RMS}}$  以下，如图 5 所示。

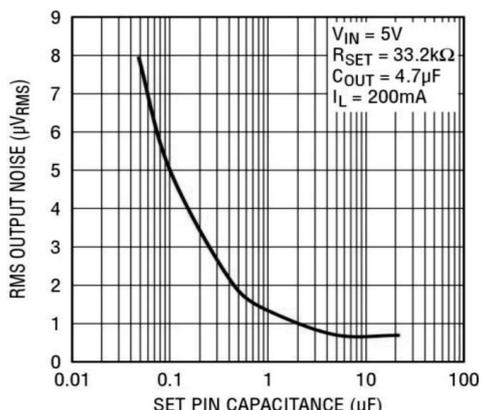


图 5 积分型 RMS 输出噪声 (10Hz 至 100kHz)

通过增大 SET 引脚旁路电容以降低输出噪声通常会导致启动时间的增加。但是，LT3042 的快速启动电路则使此项折衷的难度有所降低。该快速启动电路可容易地利用两个电阻器来配置；图 6 示出了启动时间的显著改善。

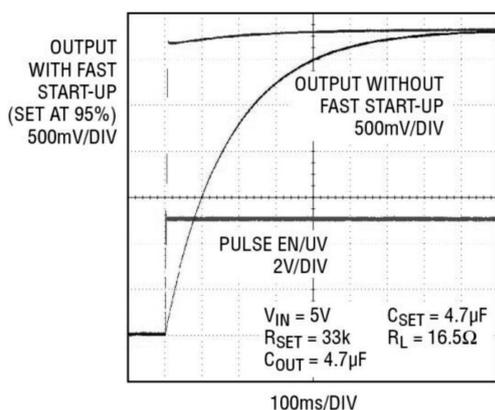


图 6 快速启动能力

### 超高 PSRR 性能

当给对噪声敏感的应用供电时，LT3042 的高 PSRR<sup>[2]</sup> 是很重要。图 7 示出了 LT3042 令人难以置信的低频和高频 PSRR 性能，几乎接近 120dB（在

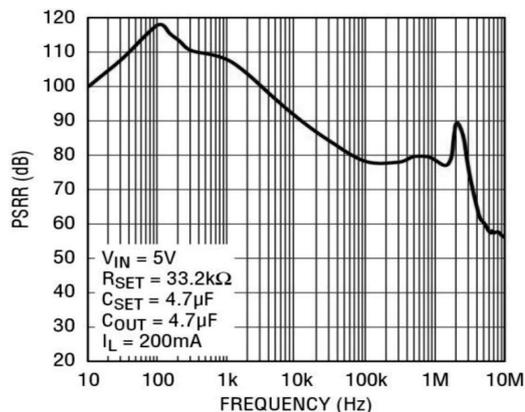


图 7 PSRR 性能

120Hz)、79dB（在 1MHz）和优于 70dB（一直到 3MHz）。当负载电流减小时，PSRR 性能则更好，如图 8 所示。

当接近压差状态时，传统 LDO 的 PSRR 性能会下降至几十 dB，LT3042 则与之不同，即使在低输入至输出差分电压条件下其亦可保持高 PSRR。如图 9 所示，LT3042 能在高达 2MHz 频率和仅 1V 输入

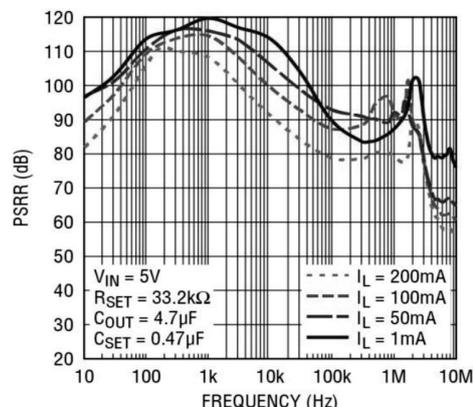


图 8 针对各种不同负载电流的 PSRR

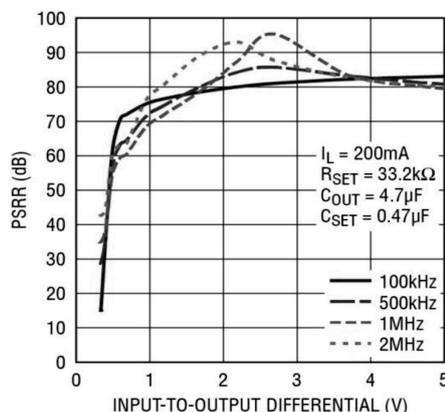


图 9 PSRR 与输入至输出差分电压的关系曲线

至输出差分电压条件下保持 70dB PSRR，并在高达 2MHz 频率和仅 600mV 输入至输出差分电压条件下保持几乎 60dB PSRR。这种能力允许 LT3042 在低输入至输出差分电压下对开关转换器进行后置稳压（以实现高效率），而其 PSRR 性能则满足了对噪声敏感之应用的要求。

## 对开关电源实施后置稳压

在那些采用 LT3042 对开关转换器的输出进行后置稳压以在高频条件下实现超高 PSRR 的应用中，必须谨慎地对待从开关转换器至 LT3042 输出的电磁耦合。特别地，不仅开关转换器的“热环路”（hot-loop）应尽可能地小，由开关电源 IC、输出电感器和输出电容器（用于一个降压型转换器）形成的“暖环路”（warm-loop）（AC 电流在高开关频率下流动）也应该尽量地缩小，而且应对其进行屏蔽或将其布设在距离超低噪声器件（比如：LT3042 及其负载）几英寸的地方。虽然 LT3042 相对于“暖环路”的取向可为实现最小的磁耦合而优化，但在现实中仅仅利用优化的取向来实现 80dB 抑制会十分困难，有可能需要进行 PC 板的多次迭代。

我们来研究一下图 10，在该图所示的电路中，LT3042 负责对以 500kHz 频率运行的 LT8614 进行后置稳压，并在开关稳压器输入端上布设了一个

EMI 滤波器。由于 LT3042 被布设在距离开关转换器及其外部组件仅 1~2 英寸的地方，因此不需要采取任何屏蔽措施就能在 500kHz 频率下实现接近 80dB 的抑制。

然而，如图 11a 突出显示的那样，为了实现该性能，在 LT3042 的输入端上并未布设附加的电容器（除了开关电源输出端上的 22 $\mu$ F 电容器之外）。不过，如图 11b 所示，即使直接在 LT3042 的输入端上布设一个 4.7 $\mu$ F 的小电容器，也将导致 PSRR 性能下降 10 倍以上。

这一点特别有悖于人们的直觉——增设输入电容一般是可以减小输出纹波的——但是在 80dB 抑制水平下，由流过该 4.7 $\mu$ F 电容器的较高频（500kHz）开关电流所引起的磁耦合（常常是无关紧要的）却会使输出纹波性能显著变差。尽管改变该 4.7 $\mu$ F 输入电容器以及把开关电源的输出连接至该电容器之走线的取向有助最大限度地减少磁耦合，但是要在这些频率条件下实现接近 80dB 的抑制依然是相当困难的，更不用说它可能还需要进行多次 PC 板迭代。

LT3042 相对较高的输入阻抗可避免高频 AC 电流流至其输入端。如果 LT3042 布设在与前置稳压开关电源的输出电容器相距 3 英寸以内的地方，则其可在未使用输入电容器的情况下保持稳定，考虑到这一点，为了实现最佳的 PSRR 性能，我们建议

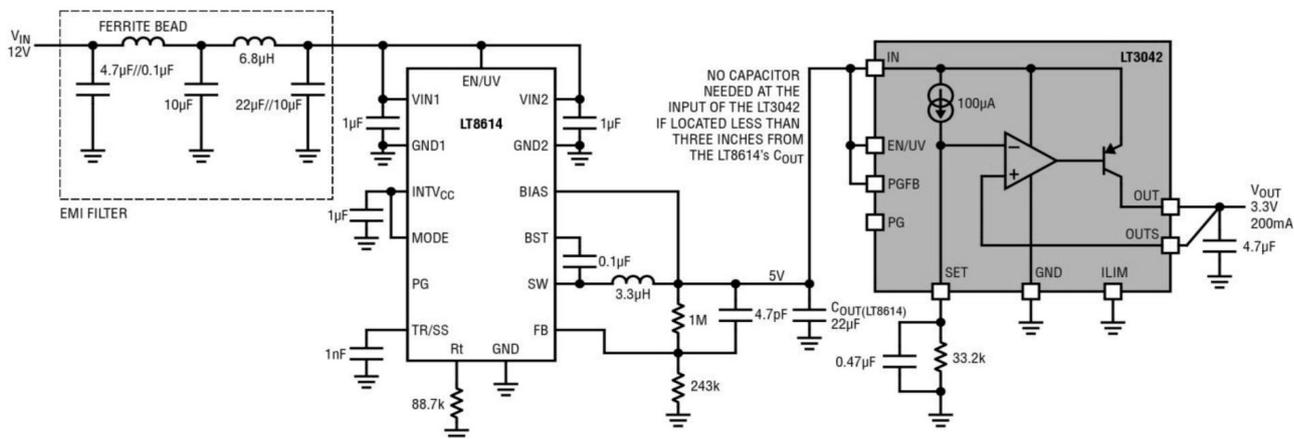
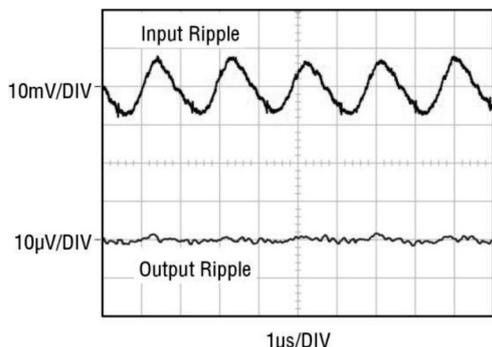


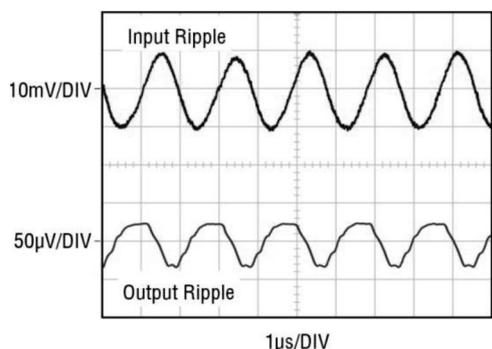
图 10 LT3042 对 LT8614 Silent Switcher 稳压器进行后置稳压

不要在 LT3042 的输入端上安放一个电容器，或者尽量减小该电容器的数值。

把 LT8614 连接至 LT3042 输入的几英寸走线之电感可显著地衰减非常高频率的电源开关瞬态尖峰。由于来自 LT8614 “热环路”之磁耦合的原因，有些尖峰仍将传播至输出。优化 LT3042 电路板取向可减小剩余的尖峰。由于仪表带宽的限制，这些非常高频率的尖峰未在图 11 的输出纹波中示出。



(a) 在 LT3042 输入端上未布设任何电容器



(b) 在 LT3042 输入端上采用了一个 4.7µF 电容器

图 11 LT3042 对 LT8614 Silent Switcher 进行后置稳压

从中可以看出，如果不采用具超高 PSRR 的 LT3042 LDO，那么想在 500kHz 频率下实现 80dB 抑制是一项难以完成的任务。其他替代产品无法胜任。例如：在 500kHz 下，一个 LC 滤波器将需要接近 40µH 电感和 40µF 电容才能实现 80dB 的抑制，因而不得不增设庞大、昂贵的组件。撇开成本和电路板空间不谈，如果未进行正确的阻尼，LC 也会发

生共振，从而导致复杂性增加。采用一个 RC 滤波器的想法是站不住脚的，因为实现 80dB 抑制所需的电阻是不切实际的。同样，采用传统 LDO 时需要级联至少两个 LDO 才能在 500kHz 频率下实现 80dB 抑制，这就必需增加组件和成本，并降低压差电压性能。

此外，为了实现 80dB 抑制，这些替代方案还需要关注磁场耦合。特别地，必须最大限度地减小高频 AC 电流。

LT3042 在一个很宽的频率范围内拥有超高的 PSRR，因此可实现上游开关转换器的较低频运作（以改善效率和 EMI），而且在为那些对噪声敏感的应用供电时完全不需要增加滤波器组件尺寸。

## 结论

LT3042 突破性的噪声和 PSRR 性能，再加上其坚固性和易用性，使之非常适合为噪声敏感型应用供电。凭借其基于电流基准的架构，噪声和 PSRR 性能不会受到输出电压的影响。此外，还可以把多个 LT3042 直接并联起来，以进一步降低输出噪声、增加输出电流和在 PCB 上散播热量。

注：[1] 在这些电平上实现噪声和 PSRR 的正确测量需要极其谨慎并采用特殊的仪表。凌力尔特在即将发布的“应用指南”（Application Note）中将对这些测量过程进行全面的探讨。

[2] 此文译自凌力尔特公司的 LT Journal April 2015 “Industry’s First 0.8µV<sub>RMS</sub> Noise LDO Has 79dB Power Supply Rejection Ratio at 1MHz”。CIC

## 作者简介

**Amit Patel**，凌力尔特公司电源产品部高级设计工程师。