

一种低压差线性稳压器 LDO 高频段电源抑制比的测量方法

阮颐, 王甲

(上海贝岭股份有限公司, 上海 200233)

摘要: 随着便携式设备和物联网技术的飞速发展, 系统对 LDO (低压差线性稳压器) 提出了越来越高的要求, 不仅要求低功耗、低压差, 而且要求低噪声和高电源抑制比 (PSRR)。在射频和图像传感器的应用领域, PSRR 除了传统的音频领域要有出色的性能, 在高频段的表现也会直接影响到整个系统的性能。介绍一种新的测试方法, 可以方便准确地衡量 LDO 在高频段的电源抑制能力。

关键词: 低压差线性稳压器; 电源抑制比; 高频段。

中图分类号: TN407; TM44 文章编号: 1674-2583(2018)10-0015-03

DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2018.10.004

中文引用格式: 阮颐, 王甲. 一种低压差线性稳压器 LDO 高频段电源抑制比的测量方法[J]. 集成电路应用, 2018, 35(10): 15-17.

Measurement of LDO's High Frequency PSRR

RUAN Yi, WANG Jia

(Shanghai Belling Co., Ltd, Shanghai 200233, China.)

Abstract — With the rapid growth of portable devices and IoT Technology, higher demand of LDO (low dropout linear regulator) is raised, such as low power consumption, low dropout voltage, especially low noise and high PSRR (power supply rejection ratio). Capable of suppressing traditional audio and higher frequency ripple will influence the system performance. We introduce a new method of measuring the high frequency PSRR of LDO with high accuracy and convenience.

Index Terms — LDO, PSRR, high frequency.

1 引言

随着智能时代的加速到来, 万物皆可互联的趋势已经势不可挡。传统的传感器和各种便携设备迅速升级, 对系统的续航能力和日新月异的功能化需求提出了更高的要求。作为电源管理芯片, LDO (低压差线性稳压器) 以低成本、低噪声、低压差、高电源抑制比 (PSRR) 和外围电路简单等特点备受青睐^[1]。

在传统应用领域中, 系统更关注电源管理芯片在音频段的纹波抑制能力, 尤其是 217 Hz、1 kHz 和 10 kHz 的频点。在物联网应用中, 射频收发器、WiFi 模块和光学图像传感器对于电源上的噪声和开

关电源引入的纹波非常敏感, 开关电源带来的纹波和系统中的噪声会降低射频应用中数据的吞吐量, 影响光学传感器的图像质量。与传统领域对 LDO 的要求不同, 更高频段的电源抑制能力已经成为设计的关键指标。

电源抑制比 (PSRR, Power Supply Ripple Rejection) 是反映 LDO 对这些纹波信号抑制能力的重要指标, 这在许多射频和无线应用中非常重要。低压差稳压器的电源抑制比是指输出纹波与输入纹波在一个频率范围内的比值 (通常是 20 Hz 至 10 MHz), 其结果通常是以分贝 (dB) 表示。电源抑制比的基本公式可以表示如公式 (1)。

基金项目: 上海市科学技术委员会集成电路研发基金 (15511107100)。

作者简介: 阮颐, 上海贝岭股份有限公司通用模拟事业部高级工程师, 硕士, 研究方向: 集成电路设计与应用。

王甲, 上海贝岭股份有限公司智能计量事业部市场和产品定义主管, 高级工程师, 研究方向: 户用能源计量仪表中的集成电路设计与应用。

收稿日期: 2018-09-03, 修回日期: 2018-09-25。

$$PSRR = 20\log_{10}(RIPPLE_{VOUT} / RIPPLE_{VIN}) \quad (1)$$

LDO 的 PSRR 受到内部设计以及外部电容的影响。优化的布局和铺地，合理的输出与输出压差阈值，都会改善 LDO 的电源抑制能力^[2]。

2 LDO 高频段 PSRR 测量系统

图 1 为 PSRR 测试装置的结构图。这种测试可以测量 LDO 能在多大程度上抑制被测器件直流输入端口注入的各个频率分量。或者说，在直流输入端注入的干扰信号有多少能够到达经过稳压的直流输出端。

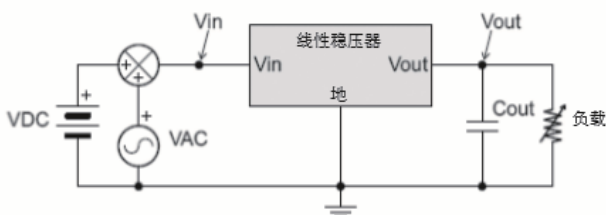


图 1 LDO PSRR 测试装置

电源抑制比的测试方法有很多种，例如利用 LC 耦合、集成运放驱动和注入器模块，测试仪器有信号发生器加示波器、网络分析仪等等，可以根据不同的要求选择合适的方法。

图 2 是 LC 耦合的测试方法，在这个方法中，利用电感和电容将不同频率的纹波信号耦合到直流电源上，纹波信号可以用信号发生器或者其他设备的信号源产生。该方法的缺点在于能够测量的最高频率是由 LC 的自谐振频率决定，只对中频范围（1 kHz 到 500 kHz）有效^[2]。

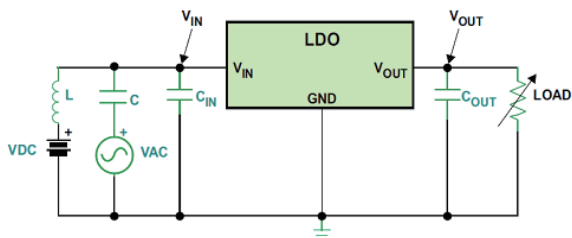


图 2 LC 耦合测试系统

现在的便携式设备对高频段 PSRR 提出了更高的要求，采用网络分析仪可以准确地完成 PSRR 从低频到高频段的测试。图 3 是基于 E5061B 的 PSRR 测试框图，通过在 LDO 的供电段叠加 10 Hz ~ 30 MHz 的纹波信号，并将 LDO 的输出端送至增益相位端口，通过公式（1），可以得到 LDO 在 10 Hz ~ 30 MHz 的 PSRR^[3]。

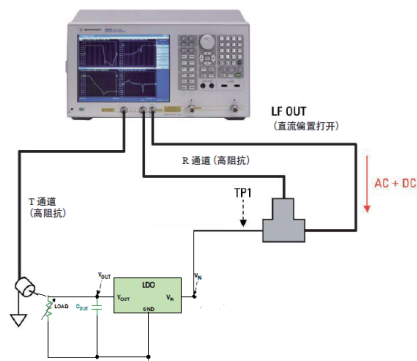


图 3 基于网络分析仪的 PSRR 测试系统

本文介绍一种新的方法，基于带信号发生模块的示波器来完成高频 PSRR 的测试。测试系统如图 4 所示，主要由带高频信号源模块的示波器，直流电源，信号注入器和目标测试板组成。要完成 PSRR 的扫频测试，需要将直流信号和作为纹波的交流信号叠加在一起，叠加后的信号需要有一定的驱动能力，作为 LDO 的输入信号。采用线路注入器（例如 Picotest J2120）可以实现直流信号和纹波信号的叠加，并且可以提供较大的输出电流。

由于 PSRR 全频段的测试需要对频率进行扫描，因此信号源和接收器必须同步，这就需要选用内置高频信号源的示波器来完成 PSRR 的测试，例如 Keysight Infinii Vision X 系列示波器，内置全频段信号发生器以及电源分析模块，可以快速准确地完成 PSRR 的测量。

3 高频段的 PSRR 测量

在射频模块和图像传感器的应用中，不仅在音频段，对 LDO 中高频段的 PSRR 也提出了较高的要求。我们以 5 V 输入，3.3 V 输出的典型 LDO 应用为例，基于 Keysight MSO3104T 对完整频段的 PSRR 进行测量。参照图 4 所示的测试系统，用 DC 电源将输入的直流偏置设置为 5 V，将 20 Hz ~ 10 MHz 频段范围内的纹波信号通过信号注入器叠加在 LDO 的输入端，分别通过示波器的通道 1 和通道 2

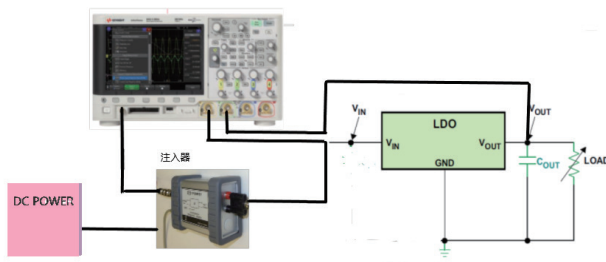


图 4 基于示波器的 PSRR 测试系统

对 LDO 的输入端和输出端进行信号的采集分析。

如图 5 所示的输入输出波形，通道 1 采集的信号为输入信号，通道 2 对输出信号进行采集，在 PSRR 超过 60 dB 以上或者频率提高时，对通道 2 的采集提出较高的要求，因此建议选用 1:1 低噪高带宽探头，或者在 LDO 测试板上预留 BNC 接口，直接用同轴电缆完成信号的传输，避免噪声的引入和高频信号的失真影响测试的准确性。

图 6 为 Keysight Infinii Vision X 系列示波器内置的电源分析模块，选择其中的 PSRR 测试可以快速准确地完成 LDO PSRR 的全频段扫频测试。该模块通过频谱分析自动计算 LDO 输入输出电压的频谱分量和比值，来完成 PSRR 的扫频和测量。

图 7 为电源抑制比的实测结果。从图 7 中可以看到，在 1 kHz 的频率范围以内，PSRR 均在 65 dB 以上，从 1 kHz 到 500 kHz 频率范围内 PSRR 开始下降，500 kHz 到 10 MHz PSRR 有所回升，并出现了两个峰值。另外在 1 kHz 以内的低频部分 PSRR 出现了波动，是由于系统噪声造成的。可以用纯净的电池作为直流输入来替代直流电源，电池在全频段范围内有出色的噪声

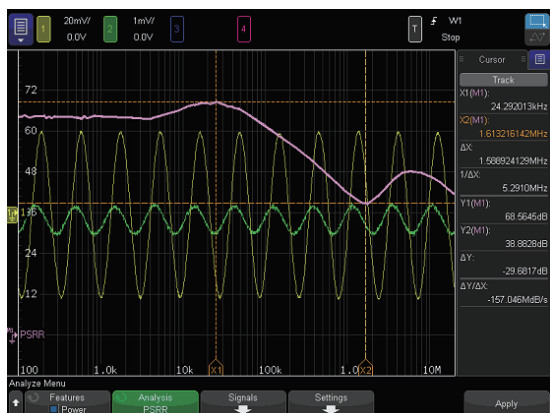


图 5 输入输出波形



图 6 Keysight Infinii Vision X 示波器的电源分析模块

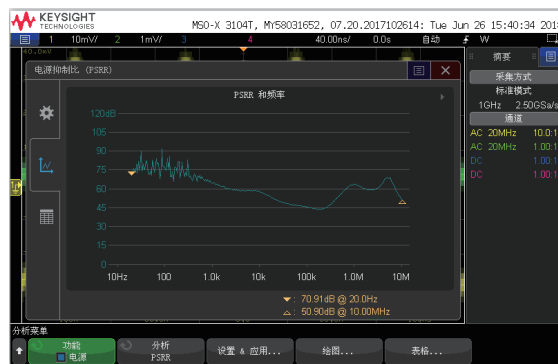


图 7 高频 PSRR 测试结果

性能，但是电池电压无法调节，而且在 LDO 重载测试时，电量消耗很快。为了降低系统噪声，可以在直流电源加无源滤波器，例如电感和电容组成的 π 型滤波器。另外可以采用接地的封闭式金属盒来消除环境中的噪声。

有很多因素会影响 LDO PSRR 测试结果，包括输入输出的压差，负载电流的大小，PCB 的设计以及输出电容的特性。如果输入输出的压接近 $V_{dropout}$ 电压，PSRR 开始下降，因此，较低的负载电流会减小压差，提高 PSRR 的性能。输出电容和 PCB 的设计在低频段和中频段对电源抑制比影响较小，但是频率大于 100 kHz 时，输出电容频率特性和 PCB 的布局走线会对 PSRR 产生较大的影响，甚至改变 PSRR 扫频曲线的特性。

4 结语

在射频模块和图像传感器的应用中，系统更加关注 LDO 高频段的电源抑制能力。高频段 PSRR 的测量对于外围电路和测试仪器都提出了更高的要求。我们以是德科技（原安捷伦）的 Infinii Vision X 系列示波器为例，介绍了基于示波器的测试方法，该系统可以准确快速地测试分析 20 Hz ~ 10 MHz 的 PSRR，为 LDO 在物联网和各种智能终端的新型应用提供了测试分析的基础。

参考文献

- [1] 赵兴隆.应用于智能手机的低压差线性稳压器的设计[D].天津:南开大学,2015.
- [2] Sanjay Pithadia, Scot Lester, Ankur Verma.LDO PSRR Measurement Simplified[M].TEXAS INSTRUMENT,2017.
- [3] 阮颐,王甲,宋清亮.基于网络分析仪的LDOP SRR测量[J].集成电路应用,2018,35(05):64-66.