

通过主动输出放电功能来保护敏感和昂贵的负载

Protect sensitive, expensive loads with active output discharge

作者 / Steve Knoth 凌力尔特公司电源产品部

摘要：传统上，一直用高效率开关稳压器给这类器件供电，但是开关稳压器可能有潜在的噪声干扰问题以及瞬态响应和布局限制。因此，低压差（LDO）线性稳压器在这类应用以及其他低压转换系统中开始受到关注。本文通过介绍LDO和其他稳压器面临的挑战以及凌力尔特公司的LT306x 系列稳压器，说明了在新的电路设计方法和改进的芯片制造工艺下LDO的特点以及应用前景。

关键词：LDO；线性稳压器；IC；负载

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5517.2016.9.008

背景信息

线性稳压器普遍用于现代电子系统中。尽管低压差(LDO)线性稳压器极少成为最昂贵的系统组件，但是从成本/效益角度来看，这种稳压器却常常是很有价值的组件之一。LDO其中一个任务是保护下游负载，避免因严酷的环境条件而损坏。例如，因温度偏移、电压瞬态、电源噪声、电压反向、电流浪涌以及 EMI 或 ESD 而被损坏。简言之，其设计必须坚固可靠，并包含减轻环境影响所需的所有保护功能，同时保护负载。很多低成本 LDO 线性稳压器不包含必要的保护功能，因此，无法起到保护作用，常常不仅引起稳压器损坏，还导致负载受损。

LDO适用于需要保护昂贵和敏感的负载系统，例如图像传感器系统。图像传感器通常包含尖端、昂贵的数字 IC，这些 IC 获取图像，并将其直接转换成数字图像。两种最流行的图像传感器是电荷耦合器件 (CCD) 和 CMOS 成像仪。诸如内窥镜、安防摄像头等各种设备都包含图像传感器。

有些应用要求在通电和断电时控制电源周期。在多轨系统中，FPGA、ASIC、DSP、微处理器以及其他数字 IC 要求多个电压轨必须以特定顺序启动和关断。否则，这些 IC 就有可能损坏，或者系统的加电复位逻辑可能出现讹误。对于

必须控制输出状态的系统而言，如军事、航空电子或航天等高可靠性系统都是非常典型的例子，尤其是如果需要电源电压不断循环接通和断开时。

LDO 可以运用主动输出放电功能来满足系统的断电要求，主动输出放电功能可使 LDO 的输出快速放电，而不必依靠 LDO 的负载或 LDO 的电阻分压器给输出放电。如果去掉输入电压，或者如果启动关断功能，那么具有主动输出放电功能的 LDO 可以由一个 NMOS 开关快速拉低输出电压。具有主动输出放电功能的器件主要优势是，断电时，输出处于已知状态。无论负载状态如何，这类器件的输出始终按照预期快速放电。就关断时要求准确电源排序的应用(例如：图像传感器和微控制器)而言，能够主动输出放电是很重要的。

低压差线性稳压器 (LDO) 与其他稳压器的比较

低压降压型转换和稳压可以通过多种方法实现。开关稳压器在很宽的电压范围内以高效率运行，但需要磁性组件和电容器才能工作，因此，占用的电路板空间相对较大。充电泵(或开关电容器电压转换器)可用来实现更低压的转

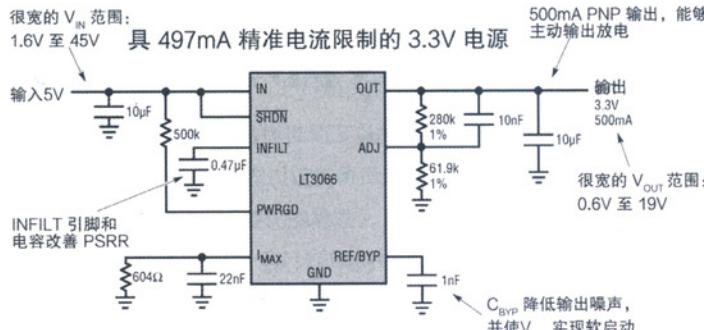


图1 LT3066 典型应用原理图及其功能

换，但是输出电流能力受限，而且需要外部电容器才能工作和稳定。低压差线性稳压器通常效率较低，但产生的噪声也较小，而且更易于用来实现降压型应用。不过，现代设计方法和芯片制造工艺已经使低压差线性稳压器(LDO)能够进一步深入降压型应用领域。现在，低压差线性稳压器具备快瞬态响应、低压差电压、低压运行(输出通常低至0.6V)、大输出电流以及能够用单电源工作的能力。

目前，一代快速、大电流、低压数字IC(例如：FPGA、DSP、CPU和ASIC)对于给内核及I/O通道供电的电源要求很严格。不过，从供电角度考虑，这些数字IC不够稳定。传统上，一直用高效率开关稳压器给这类器件供电，但是开关稳压器可能有潜在的噪声干扰问题以及瞬态响应和布局限制。因此，LDO作为可以选择的器件，在这类应用以及其他低压转换系统中，开始找到用武之地。由于最近的产品创新和功能增强，新的LDO几乎不需要在性能上做出折中。

LDO设计挑战

大量工业标准线性稳压器用单个电压源以低压差运行，但是大多数稳压器不能同时提供电压和输出噪声非常低的转换(输出低至0.6V)、很宽的输入/输出电压范围和广泛的保护功能。PMOS LDO能够用单个电源以低压差运行，但是受到通路晶体管VGS特性的限制，输入电压不能很低。基于NMOS的器件提供快速瞬态响应，但是需要两个电源来偏置该器件。NPN稳压器提供很宽的输入和输出电压范围，但是需要两路电源电压或较大的压差。相比之下，PNP稳压器如果架构设计得当，可以用单个电源实现很低的压差、很高的输入电压、低噪声和低压转换，而且能够提供可

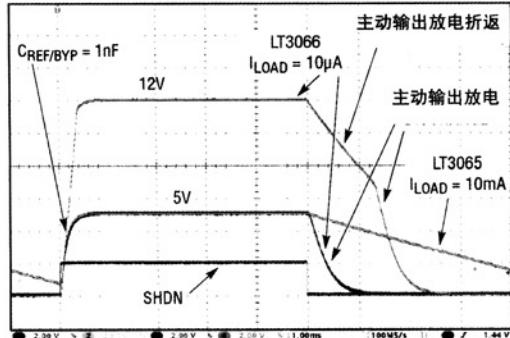


图2 具备主动输出放电功能的LT3066与LT3065的比较

靠的保护。

随着工艺技术节点的不断缩小，现代数字IC需要以更低的电压运行。就很多现有输入电压轨而言，以较大电流和更低的输出电压运行意味着线性稳压器的功耗会增大，增加的功耗直接转换成了热量。因此，需要采用最新封装方法，以最大限度减少稳压器内部的温度上升，并限制应用的热量问题。此外，能够以低压差运行的线性稳压器(最大限度减小输入和输出电压之差，同时稳压器保持对输出的调节和稳定性)可降低功耗，因此减轻了热量问题。

还有两项挑战是需要高的电源纹波抑制比(PSRR)和低的输出电压噪声。具有高的电源纹波抑制比的器件很容易滤除和抑制来自输入的噪声，产生干净、稳定的输出。此外，在很宽的带宽上输出电压噪声很低的器件对现今的电压轨是有益的，因为对现代电压轨而言，噪声敏感性是需要考虑的因素。大电流、低输出电压噪声显然是必要的性能要求。

有些工业LDO提供主动输出放电功能，以保护负载。不过，现有解决方案仅在器件关断时启动。到现在为止，还很难找到有“双重”作用以主动输出放电的电路设计，即使当输入电压被拉低时也可启动该功能。

一种新的单电源线性稳压器

显然，一个主动输出放电的LDO应该具备以下特性：

- 用单电源运行(以易于使用)
- 快速瞬态响应时间
- 在很宽的输入/输出电压范围内工作
- 能够提供很大的输出电流
- 低输出噪声
- 以非常低的压差运行

表1 LT306x 系列 LDO 功能和特点一览

	LT3060	LT3061	LT3062	LT3063	LT3065	LT3066
输入电压	1.6V 至 45V	1.6V 至 45V	1.6V 至 45V	1.6V 至 45V	1.6V 至 45V	1.6V 至 45V
额定输出电流	100mA	100mA	200mA	200mA	500mA	500mA
额定 I _{OUT} 时的压差电压	300mV	240mV	300mV	300mV	300mV	300mV
基准电压	600mV	600mV	600mV	600mV	600mV	600mV
输出容限						
(在整个电压、负载和温度范围内)	±2%	±2%	±2%	±2%	±2%	±2%
最低内部电流限制	110mA	110mA	220mA	220mA	550mA	550mA
主动输出放电 (直至标称值的 10%)	无	10μF 电容器，1ms 时间	无	10μF 电容器，1ms 时间	无	10μF 电容器，1ms 时间
噪声 (10Hz 至 100kHz)	30μV	30μV	30μV	30μV	25μV	25μV
输出电压范围	0.6V 至 44V	0.6V 至 19V	0.6V 至 40V	0.6V 至 19V	0.6V 至 40V	0.6V 至 19V
PWRGD, 可编程 ILIM	无	无	无	无	有	有
输入滤波器以改进 PSRR	无	无	无	无	无	有

- 出色的热性能
- 在很宽的频率范围内有高的 PSRR
- 主动输出放电的电路具完整的双重作用 — SHDN 或 VIN 被拉低时都有效

凌力尔特公司最近推出了具有主动输出放电功能的 500mA LT3066 低压差线性稳压器，该器件具备上述属性。LT3066 是一款高压、低噪声、低压差电压线性稳压器，提供精准、可编程的电流限制、主动放电、一个电源良好标记以及电源抑制比 (PSRR)。该器件提供高达 500mA 输出电流，满负载时压差为 300mV。LT3066 包含一个内部高压 NMOS 下拉电路，以在 SHDN 引脚被拉低或输入电压被断开时给输出电压放电。对于启动和停机时需要电源调节的应用 (例如：高端成像传感器或微控制器)，这种快速、主动的输出放电功能有助于保护负载。

LT3066 具有很宽的(1.8V~4.5V)输入电压范围，输出电压在 0.6V 至 19V 范围内可调。单个 REF/BYP 引脚电容器提供软启动功能，使该器件能够在 10Hz 至 100kHz 带宽内以仅为 25μVRMS 的低噪声运行。输出电压容限随电压、负载和温度变化为 ±2%。另一个 INFILT 引脚电容器在 20kHz 至 1MHz 频率范围内，将 PSRR 改进 15dB 至 30dB，而在 1MHz 时，PSRR 达到了 60dB。

LT3066 采用小型、低成本、最低 3.3μF 的陶瓷输出电容器工作。该器件的 PWRGD 标记指示输出处于稳定状态。LT3066 用一个电阻器精确设定外部电流限制 (在整个温度范围内为 ±10%)。此外，LT3066 的内部保护电路包括电池反向保护、电流反向保护、折返电流限制和过热限制。主

动放电电路提供安全工作区 (SOA) 折返功能，以保护下拉 NMOS，使 OUT 电压高于 6V，并提供范围很宽的 OUT 引脚绝对最大额定值：-1V 至 +20V。如图1所示，该器件具有很宽的输入和输出电压范围、快速瞬态响应以及 64μA (工作时) 和 小于 3μA (停机时) 的低静态电流，因此成为工业电源、航空电子系统电源、汽车电源、需要最佳运行时间的电池供电型系统及仪器，以及需要提供广泛保护的高可靠性电源的出色选择。

图2显示为具备主动输出放电功能的 500mA LT3066 与类似的 LT3065 (500mA，没有主动输出放电功能) 相比的优势。

LT3065 有一个 10mA 负载，LT3066 仅由设定输出电压 (本例中为 10 μA) 的电阻分压器加载。即使给 LT3066 的输出加上了很轻的负载，由于该器件提供主动输出放电功能，所以输出电压也会快速放电。相比之下，LT3065 的输出电容器仅由连至其上的 10mA 负载放电，放电速度慢得多。

就高于 7V 左右的输出电压而言，LT3066 实施主动输出放电折返，因此，用来主动输出放电的晶体管的驱动降低了，这可限制该器件消耗的功率。由于产生了折返，所以在示波器显示屏上看到，LT3066 的 12V 波形从 12V 到 7V 的放电速度不那么快。在输出电压很高和使用大型电容器时，或者万一发生故障，使输出短路至很高的电压时，这样的放电速度可以保护 LT3066 免于损坏。

PSRR 性能的改进

与 LT306x 系列中的其他器件相比，LT3066 通过 INFILT 引脚提高了 PSRR 性能。INFILT 引脚 (下转第36页)

(上接第32页) 是一个单独的输入引脚，为误差放大器和基准供电。这个引脚通过内部 140Ω 电阻器连至 IN 引脚。在 INFILT 引脚和地之间连入一个去耦电容器，就形成了一个 RC 滤波器，以降低误差放大器和基准的输入电源纹波。在 INFILT 引脚上连接一个 $0.47\mu F$ 去耦电容器，可在高于 $10kHz$ 的频率上使 PSRR 改进多达 $30dB$ 。如果不需要输入滤波，那么就将 INFILT 引脚连至 IN 引脚。图 3 显示了与 LT3065 相比，LT3066 PSRR 性能的改进。

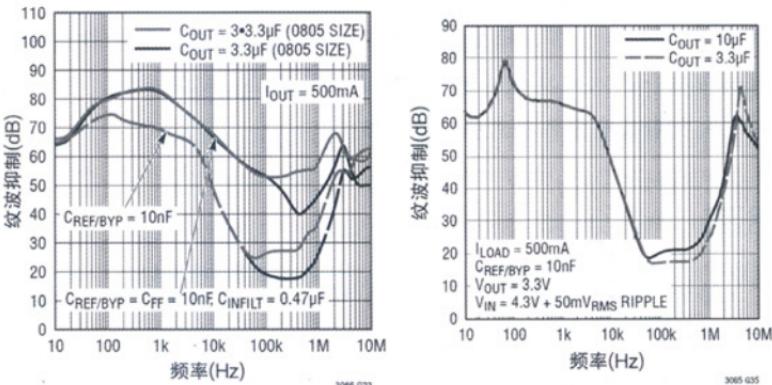


图3 具 INFILT 引脚的 LT3066 与 LT3065 的 PSRR 比较

完整的 LT306x 系列

不是所有应用都需要主动输出放电来保护敏感负载，也不是所有应用都要求输出电流高达 $500mA$ 。因此，凌力尔特还开发了 LT306x 系列的另外 5 款器件，以提供一种富有吸引力的产品组合。这个系列的器件具备以下特点：高输入和输出电压、低压差电压、低输出电压噪声性能、广泛的保护功能、快速响应以及很宽的($100mA$ 至 $500mA$)输出电流。其中有的器件具备主动输出放电功能，有的器件则没有这种功能。表1显示了 LT306x 系列中各款器件之间的不同。

新的电路设计方法和改进的芯片制造工艺丰富了基于 PNP 通路晶体管 LDO 的性能特点。凌力尔特等供应商提供的这类 LDO 具备可靠的保护功能、很宽的输入和输出电压范围、低输出噪声和快速响应，能够用单个电压源以低压差运行。新的 LT306x 系列有 6 款器件，输出电流范围为 $100mA$ 至 $500mA$ ，其中 3 款器件还提供新的完整双重作用主动输出放电功能，这种功能非常适合用在图像传感器和高可靠性系统中，以保护敏感、昂贵的负载，同时实现精准的电源排序。

结论

