

Analog Applications Journal

BRIEF

使用线性稳压器实现低噪声、低纹波、高PSRR电源

作者：Jeff Falin，资深应用工程师

简介

音频电路、PLL、RF收发器、DAC以及其它许多器件都对噪声非常敏感，因此如果采用开关电源进行供电的话，可能难以保持正常工作。线性稳压器理想适用于为上述电路供电。本文是相关文章的简化版，探讨了通过大带宽范围实现具备低噪声与静态电流特性的高电源抑制比 (PSRR) 所需的相关设计因素。

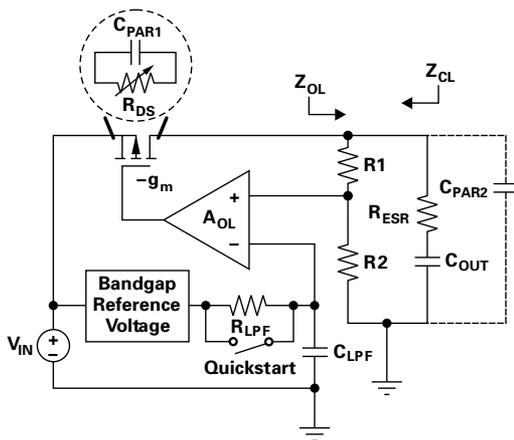


图 1. 线性稳压器的简化结构图

图 1 显示了采用 p 通道 MOSFET (pFET) 作为导通元件的线性稳压器的结构示意图。A_{OL} 是误差信号放大器的开环增益，而 g_m 是通路元件跨导。误差信号放大器控制着通路元件栅极端的电压，这样通过 FET 的电流就能确保输出电压相对于内部参考电压得到调节。假定 R_{LPF} 与 C_{LPF} 形成的低通滤波器 (LPF) 消除了几乎所有内部参考噪声，那么输出电压应在稳压器控制环路的带宽范围内消除纹波与噪声。

什么是 PSRR?

PSRR 是对电路 PSR 的测量值，表示为输出噪声与电源输入端的噪声之比。它能告诉我们在输入电源提供不同频率抑制下，电路

最新一期在线精彩内容

- 使用触摸屏控制器的辅助输入
- 驱动 WLED 不一定需要 4 V 电压
- 单电池手持式应用的主机侧燃料计系统

□设计考虑事项

- 在反向降压拓朴中使用降压转换器。
- 如欲下载该版本，敬请访问：www.ti.com/aa



抑制纹波的性能如何。如果采用线性稳压器，那么 PSRR 就表现为在宽频率范围上的调节输出电压纹波与输入电压纹波比，单位为分贝 (dB)。如果我们将图 1 中的导通元件作为可变电阻 R_{DS}，假定误差信号放大器与带隙参考电压已极小化输入电压纹波的导通，那么 PSR 实际就是一个分压器，计算如下：

$$PSR = \frac{Z_{OL} \parallel Z_{CL}}{Z_{OL} \parallel Z_{CL} + R_{DS}}$$

在本算式中，Z_{OL} 是稳压器输出端的输出阻抗，忽略稳压器反馈环路的影响：

$$Z_{OL} = (Z_{COUT} + R_{ESR}) \parallel (R1 + R2) \parallel C_{PAR2}$$

这里的 Z_{COUT} 与 R_{ESR} 分别是输出电容的阻抗和等效串联电阻 (ESR)，而 C_{PAR2} 则是输出组件与 PCB 的寄生电容。Z_{CL} 是回送稳压器输出的阻抗，包括稳压器反馈环路的效应：

$$Z_{CL} = \frac{Z_{OL} \parallel R_{DS} \parallel C_{PAR1}}{g_m \times A_{OL} \times f \times \beta}$$

这里的 C_{PAR1} 是无源元件寄生电容，f 是纹波频率，而 β 则是反馈因数：

$$\beta = \frac{R2}{R1 + R2}$$



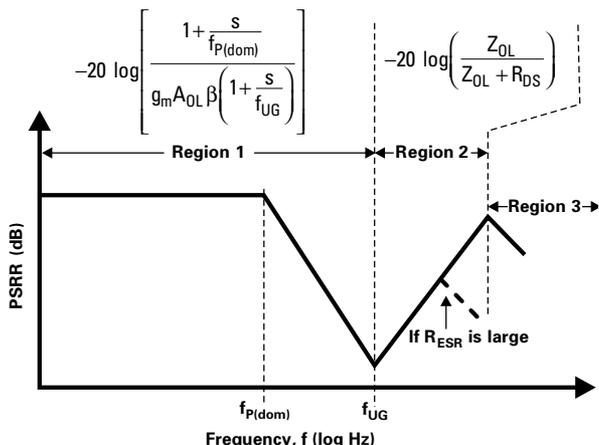


图 2. PSRR示意图

图2显示了PSRR曲线的一般形状，这里的主导极点，而 f_{UG} 是单位增益带宽。如果误差信号放大器得到补偿，有单极响应，那么放大器频率低于 f_{UG} 的第一区PSR可由示意图左侧的等式计算得出。如果采用高增益、高带宽误差信号放大器进行设计，那么就能在较大频率范围内提供较高PSR。在高于控制环路带宽的第二区，稳压器已不能提供有效的PSR，因此PSRR降为简单的分压器，如曲线右侧的算式所示。随着 Z_{COUT} 相对于 R_{DS} 降低，板上无源组件提供的PSR会升高。如果 C_{OUT} 的 R_{ESR} 较高，那么PSR的峰值就会较快出现。在第三区，IC和板上寄生电容(C_{PAR1} 和 C_{PAR2})占主导，这就形成了电容分压器，通常会令PSR再次下降。

极大化PSR

TPS717xx系列稳压器采用电路技术在较大频率范围内支持高PSR。图3给出了PSRR的一个范例。

采用如前所述的简单模型，我们可以看出， $C_{OUT} = 1 \mu\text{F}$ 时，TPS717xx的主导极点频率约为20到30 kHz，而单位增益频率接近400 kHz。由于PSR是开环增益的函数，因此随着增益的变动，图2中第一区、第二区的PSR也会发生变化。图3显示了TPS717xx的PSRR随负载电流变动的情况。负载电流升高时， R_{DS} 下降；这样 Z_{CL} 也会下降，因为MOSFET的输出阻抗与其漏电流成反比。就许多稳压器来说，在 $f_{P(dom)}$ 随 Z_{CL} 变动的情况下，升高负载电流也会带动 $f_{P(dom)}$ 提升频率，这就会增加反馈环路的带宽。如图3所示，升高负载电流的最终结果就是降低PSRR。

输入与输出之间的差动DC电压也会影响PSR。在 $V_{IN} - V_{OUT}$ 下降时，提供增益的pFET会超出工作(饱和)区之外，进入三极管/线性区，导致反馈环路损失增益。因此，稳压器的PSR会随 V_{IN} 接近 V_{OUT} 而降低。

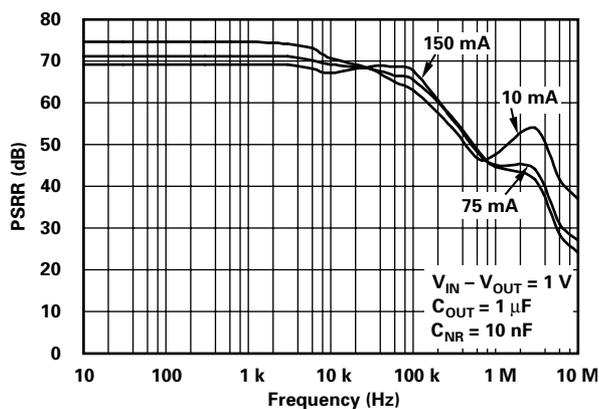


图 3. TPS717xx PSRR示意图

如果器件处于压降状况($V_{IN} \approx V_{OUT}$)，就会出现最低的、接近于0 dB的PSR。这时，线性稳压器通路元件 R_{DS} 与输出电容形成的RC滤波器将决定PSR。

低噪声

稳压器内部电路系统的晶体管与电阻器以及外部反馈电阻会生成噪声。晶体管会产生颗粒噪声和闪烁噪声，这两种噪声都与电流成正比。闪烁噪声与频率成反比，低频时会较高。MOSFET的电阻元件也会像电阻一样生成热噪声，热噪声与温度、电阻值以及流经晶体管的电流成正比。极靠近误差信号放大器输入端的晶体管与电阻产生的输出噪声极多，因为其噪声被稳压器的闭环增益放大了($A_{CL} = V_{OUT}/V_{Bandgap} = 1/\beta = 1 + R1/R2$)。信号路径上源自后续组件的噪声与误差信号放大器输入端的噪声相比微乎其微。事实上，如果使用中等大小的反馈电阻，那么大多数稳压器噪声都来自放大的带隙参考电压。如图1所示，降低带隙噪声极简单的方法就是使用包含内部电阻器 R_{LPF} 与外部电容器 C_{LPF} 的低导通滤波器(LPF)。滤波器启动时会放慢输出电压的上升速度，无需晶体管快速启动帮助。如果使用快速启动晶体管，则在启动时使 R_{LPF} 短时间短路，从而让稳压器输出快速上升。

结论

TPS717xx等线性稳压器理想适用于为敏感的模拟电路提供低纹波、低噪声电源轨。这种线性稳压器加电时静态电流消耗极低，关机时则更低。

如欲阅读全文，请参见参考文献1，它还讨论了频谱噪声密度、组件选择以及电路板布局等问题。

参考文献：

1. 如欲参阅文章完整版，敬请访问：
<http://www-s.ti.com/sc/techlit/slyt280>

重要声明

德州仪器 (TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合 TI 标准保修的适用规范。仅在 TI 保修的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的数据手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售 TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关 TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

可访问以下 URL 地址以获取有关其它 TI 产品和应用解决方案的信息:

产品

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/opticalnetwork
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated