



线性稳压器基础知识

2.1 线性稳压器的种类



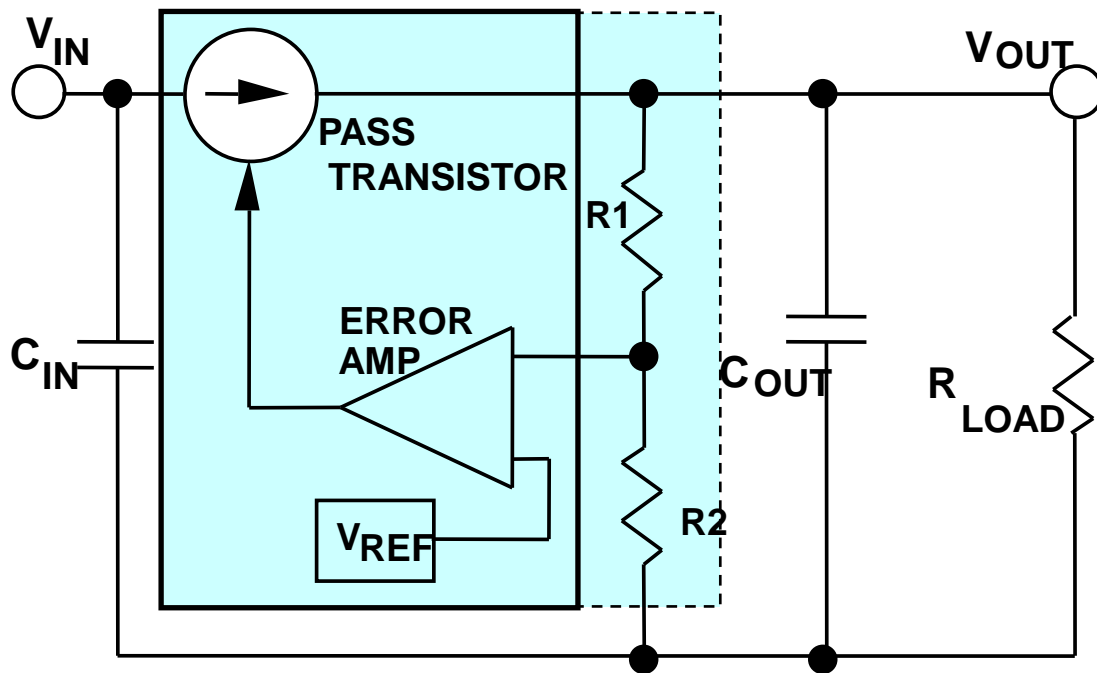
什么是线性稳压器？

- 线性稳压器的的工作原理是：采用一个压控电流源以强制在稳压器输出端上产生一个固定电压。控制电路连续监视(检测)输出电压，并调节电流源(根据负载的需求)以把输出电压保持在期望的数值。
- 电流源的设计极限限定了稳压器在仍然保持电压调节作用的情况下所能供应的最大负载电流。
- 输出电压采用一个反馈环路进行控制，其需要某种类型的补偿以确保环路稳定性。大多数线性稳压器都具有内置补偿功能电路，无需外部组件就能保持完全稳定。
- 某些稳压器(比如：低压降型)则确实需要在输出引脚和地之间连接一些外部电容以确保稳压器的稳定性。



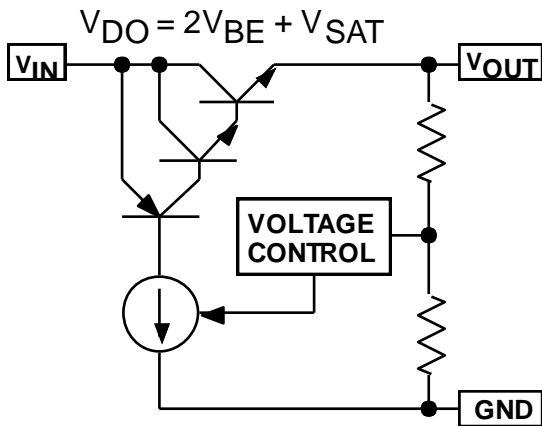
线性稳压器操作

- 电压反馈负责对输出进行采样, R1 和 R2 可以内置或外置
- 反馈用于控制传输晶体管至负载的电流

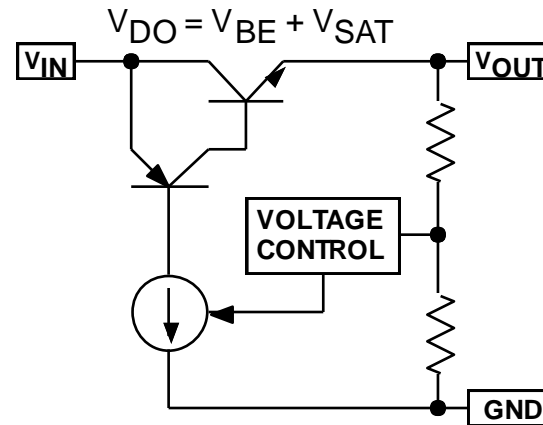




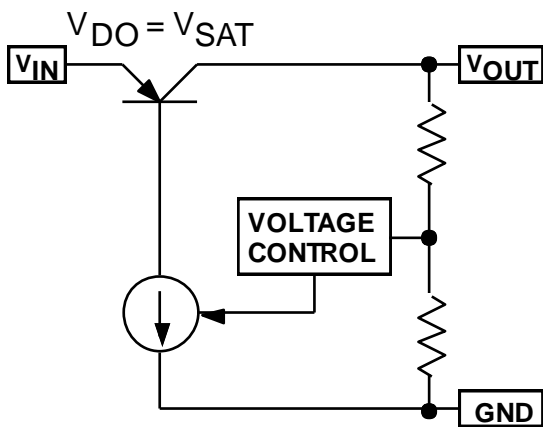
线性稳压器拓扑



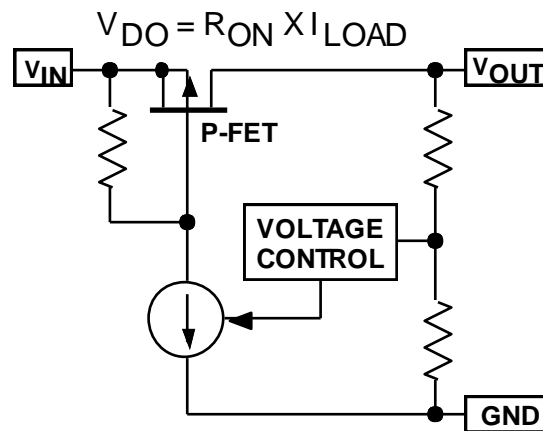
NPN DARLINGTON



NPN QUASI-LDO



PNP LDO

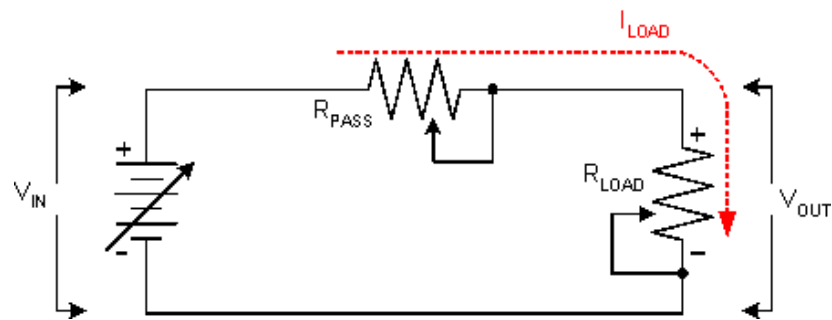
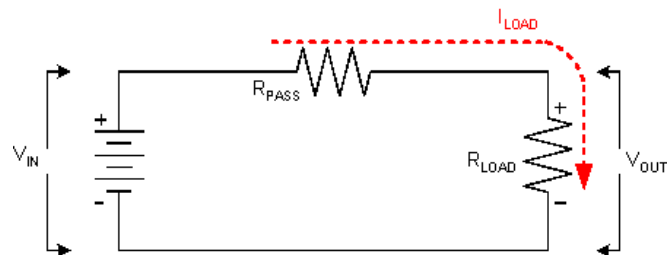


P-FET LDO



简单的模型

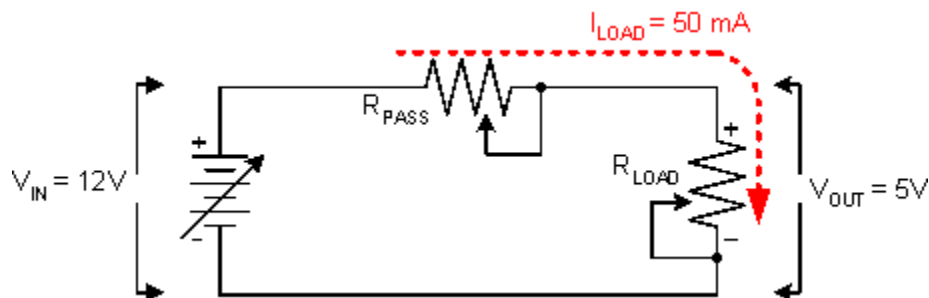
- 基本的(一阶)线性稳压器可以模拟为两个电阻器和一个用于 V_{IN} 的电源。
- 现实中, 唯一恒定的参数是输出电压 V_{OUT} 。所有其他的参数都可以、而且将会不断地改变。
- 输入电压可能会由于外界的干扰而变化, 而负载电流也许会因为负载运行状况的动态变化而发生改变。
- 这些变量的变化可能会全部同时发生, 而用于将 V_{OUT} 保持在一个恒定值所需的 R_{PASS} 的数值也将必需相应地改变。





带数值的简单模型

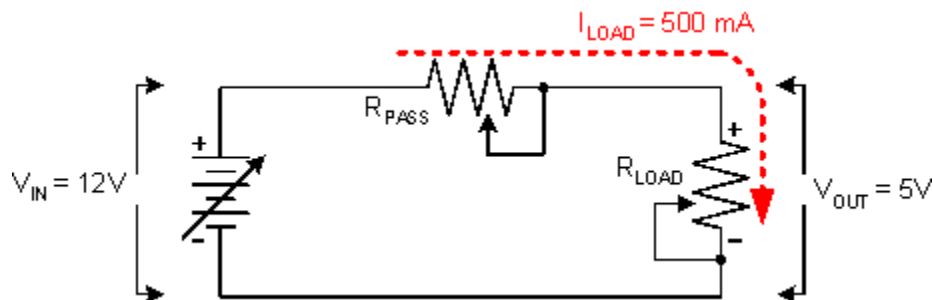
- 对于第一个例子，我们将分配典型的操作值并计算串联传输元件 R_{PASS} 所需的数值。
 - $V_{IN} = 12V$
 - $V_{OUT} = 5V$
 - $I_{LOAD} = 50\text{ mA}$
- 当 $V_{IN} = 12V$ 和 $V_{OUT} = 5V$ 时， R_{PASS} 两端的电压 = $(12V - 5V) = 7V$
- 当流过 R_{PASS} 的电流 = $I_{LOAD} = 50\text{ mA}$ 时， R_{PASS} 所需的电阻 = $(7V / 50\text{mA}) = 140\ \Omega$





负载电流变化的简单模型

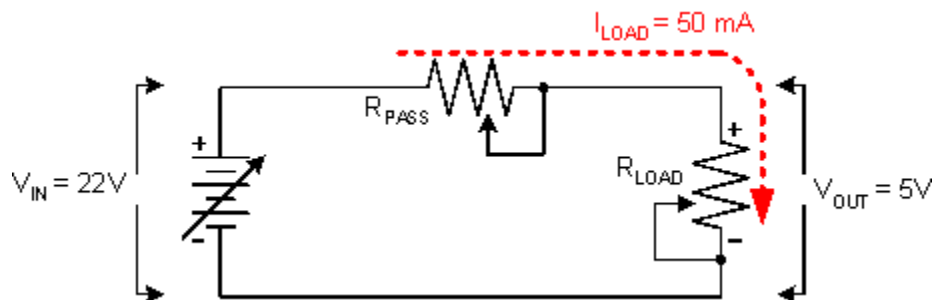
- 对于第二个例子，我们将负载电流从 50mA 变为 500mA，并计算串联传输元件 R_{PASS} 所需的数值。
 - $V_{IN} = 12V$
 - $V_{OUT} = 5V$
 - $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$
- 当 $V_{IN} = 12V$ 和 $V_{OUT} = 5V$ 时， R_{PASS} 两端的电压 = $(12V - 5V) = 7V$
- 当流过 R_{PASS} 的电流 = $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$ 时， R_{PASS} 所需的电阻 = $(7V / 500\text{mA}) = 14\ \Omega$





输入电压变化的简单模型

- 对于第三个例子，我们将输入电压从 12V 变为 22V，并计算串联传输元件 R_{PASS} 所需的数值。
 - $V_{IN} = 22V$
 - $V_{OUT} = 5V$
 - $I_{LOAD} = 50\text{ mA}$
- 当 $V_{IN} = 22V$ 和 $V_{OUT} = 5V$ 时， R_{PASS} 两端的电压 = $(22V - 5V) = 17V$
- 当流过 R_{PASS} 的电流 = $I_{LOAD} = 50\text{ mA}$ 时， R_{PASS} 所需的电阻 = $(17V / 50\text{mA}) = 340\ \Omega$





控制环路

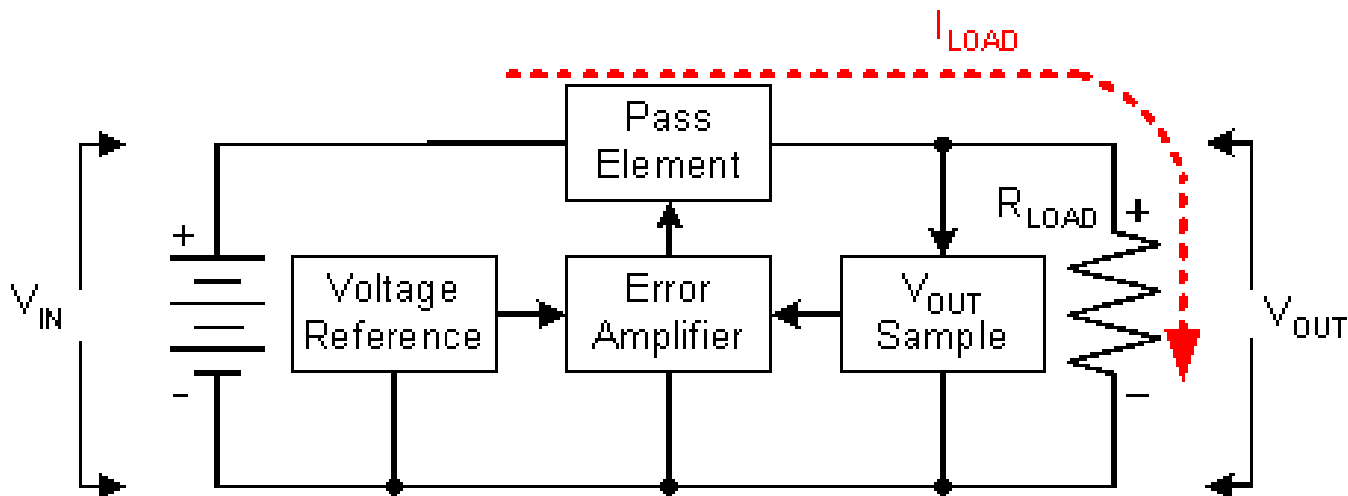
- 如前面所述，当工作条件发生变化时，串联传输元件 R_{PASS} 的电阻也需要做出改变。
- 这是利用一个控制环路实现的。
- 误差放大器监视采样输出电压，将之与一个已知的基准电压进行比较，并主动地调整 R_{PASS} 以保持 V_{OUT} 的恒定。
 - 所有线性稳压器的一个共同特性是其在负载电流需求发生变化之后需要一定的时间去“校正”输出电压。
 - 这种“时滞”限定了被称为瞬态响应的特性，此特性反映了稳压器在负载变化之后能够以多快的速度恢复稳态运作。



具有控制环路模块的简单模型

- 这里增加了“简单”的模块以说明所有线性稳压器的 4 个基本组成部分：

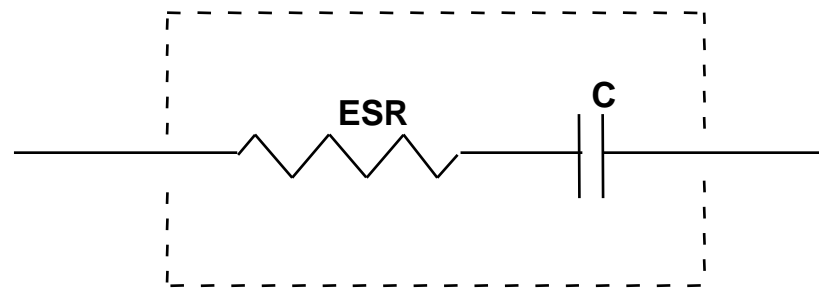
- 1) 串联传输元件
- 2) 误差放大器
- 3) V_{OUT} 采样网络
- 4) 基准电压





给 LDO 环路增添一个零点

- 所有的电容器都具有一个等效串联电阻 (ESR)
- ESR 给 LDO 环路添加了一个零点, 其频率为:
 - $F_{ZERO} = 1/(2\pi \times C_{OUT} \times ESR)$
- 该零点增加了正相移, 可对 LDO 环路中的两个低频极点之一进行补偿

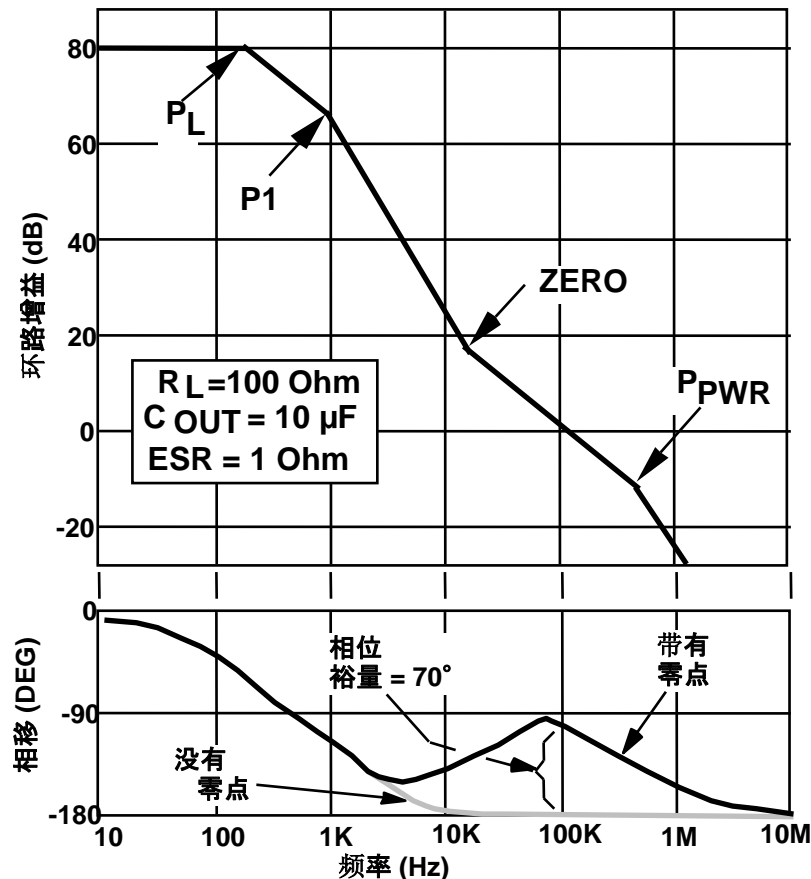


用于说明 ESR 的电容器



采用 C_{OUT} ESR 实现 LDO 的稳定

- 当输出电容器 ESR 为 1Ω 时，它在 16 kHz 频率上增加了一个零点
- 该零点增加了大约 $+81^\circ$ 的正相移(在 0 dB 下)
- 该零点使 0 dB 下的总相移回复至 -110°
- 相位裕量增加至 $+70^\circ$ ，因此环路是稳定的

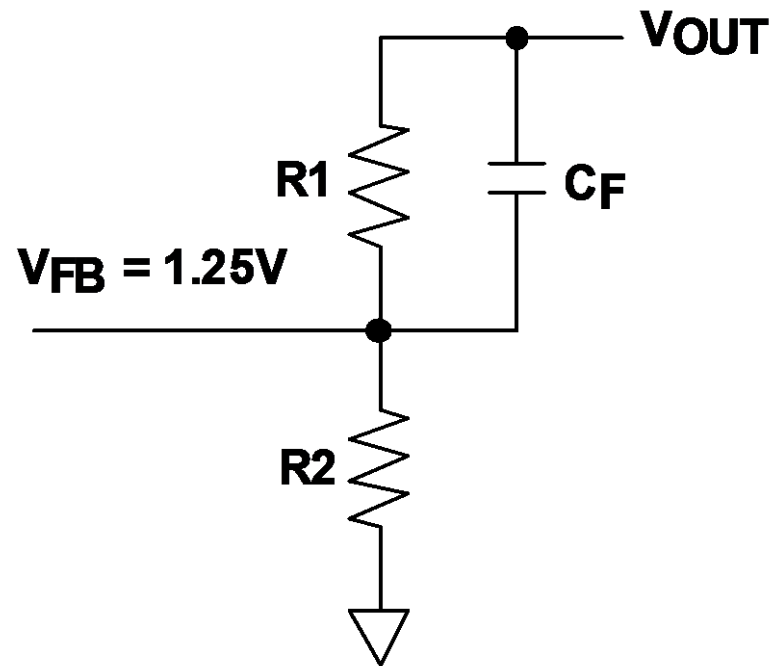


ESR 零点可稳定 LDO



由前馈电容器产生的相位超前

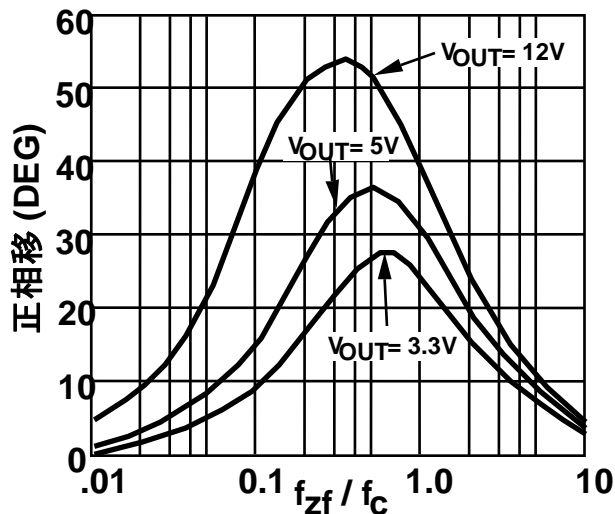
- C_F 和 $R1$ 形成了一个零点：
 - $F_Z = 1 / (2\pi \times R1 \times C_F)$
- 不幸的是，它们也产生了一个极点：
 - $F_P = 1 / (2\pi \times R1 // R2 \times C_F)$



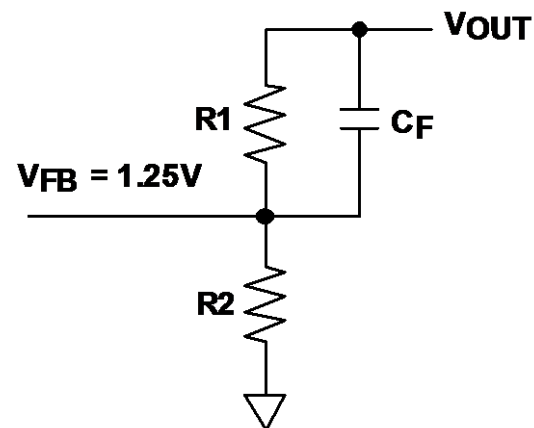


CF 正相位超前与 V_{OUT} 的关系

- 可能的最大相位超前取决于：
 - V_{OUT}/V_{FB} 比
 - 零点频率 F_Z 相对于单位增益的位置



引线电容器 C_F 的优势





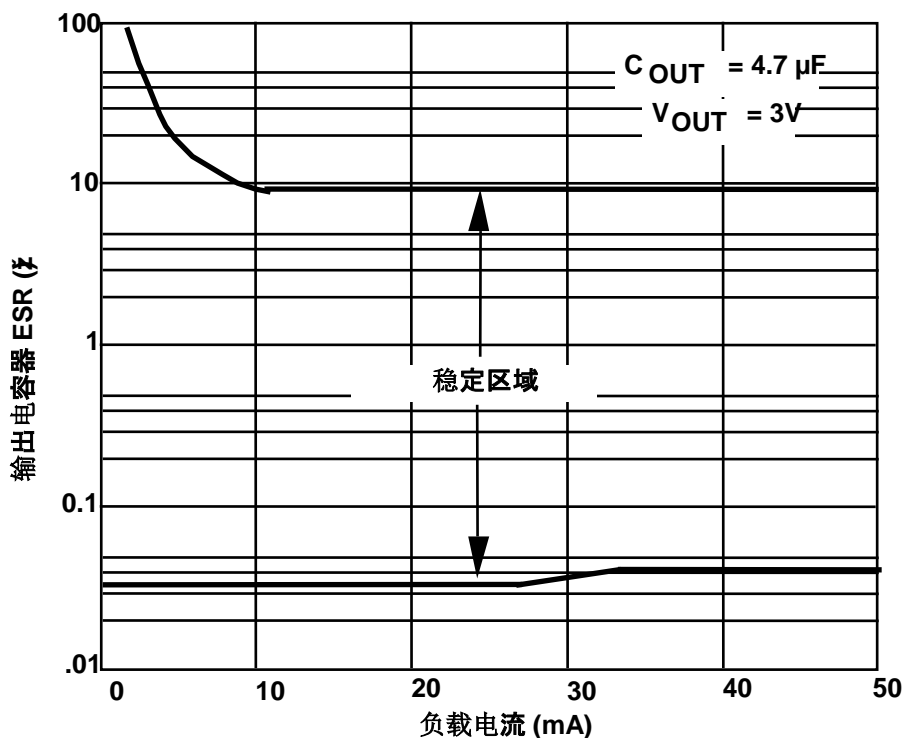
致使 LDO 环路不稳定： 如何设计一个振荡器？

- 导致 LDO 产生振荡最常见的原因是什么？就是输出电容器！
 - 1. ESR 过高
 - 质量欠佳的钽电容器会具有高 ESR
 - 铝电解电容器在低温条件下将具有高 ESR
 - 2. ESR 过低
 - 许多表面贴装型陶瓷电容器具有非常低 ($<20\text{ m}\Omega$) 的 ESR
 - 钽、OSCON、SP、POSCAP、薄膜电容器均具有低 ESR



ESR 的稳定范围

- ESR 必须处在制造商规定的最小/最大值范围之内以确保稳定性

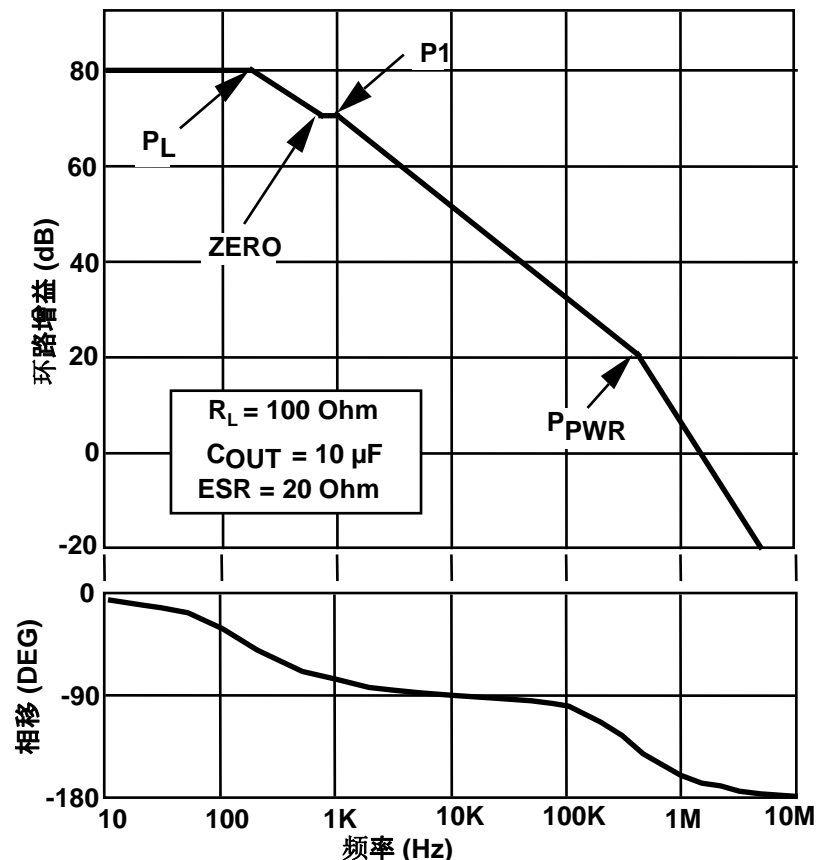


LP2982 的 ESR 范围



为什么高 ESR 会使 LDO 不稳定？

- 高 ESR 将零点移至一个较低的频率
- 这增大了环路带宽，因而允许极点 P_{PWR} 在 0 dB 频率之前增加更多的相移
- 由其他极点产生的相移 (图中未示出) 使得 $>10\Omega$ 的 ESR 值往往会造成环路的不稳定

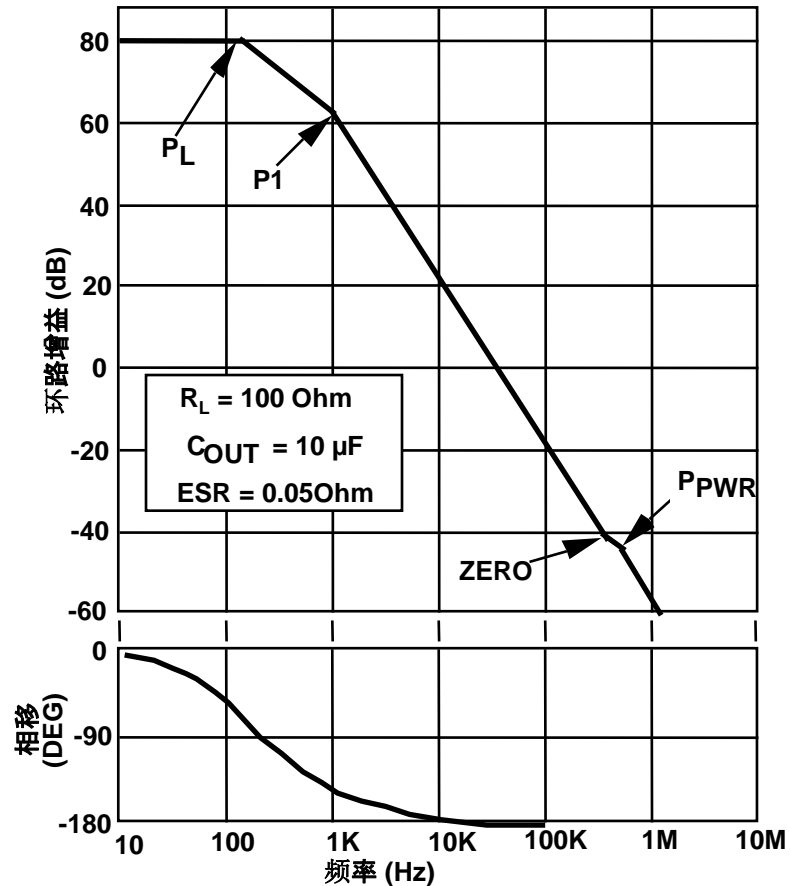


高 ESR 引致环路的不稳定



为什么低 ESR 会使 LDO 不稳定？

- 低 ESR 将零点移至一个较高的频率
- 零点出现的频率比 0 dB 频率高 1 个十倍频程以上
- 由于零点在 0 dB 下未添加任何正相移，因此两个低频极点将导致相移达到 -180° (不稳定)



低 ESR 引致环路的不稳定



谢谢!