



电源工程师培训授证项目

# LDO 电源基础知识 设计及应用

**XD WXH**

**2024年5月**



# 目录

1

LDO电源基础知识

3

LDO应用

2

LDO电路设计

4

小结

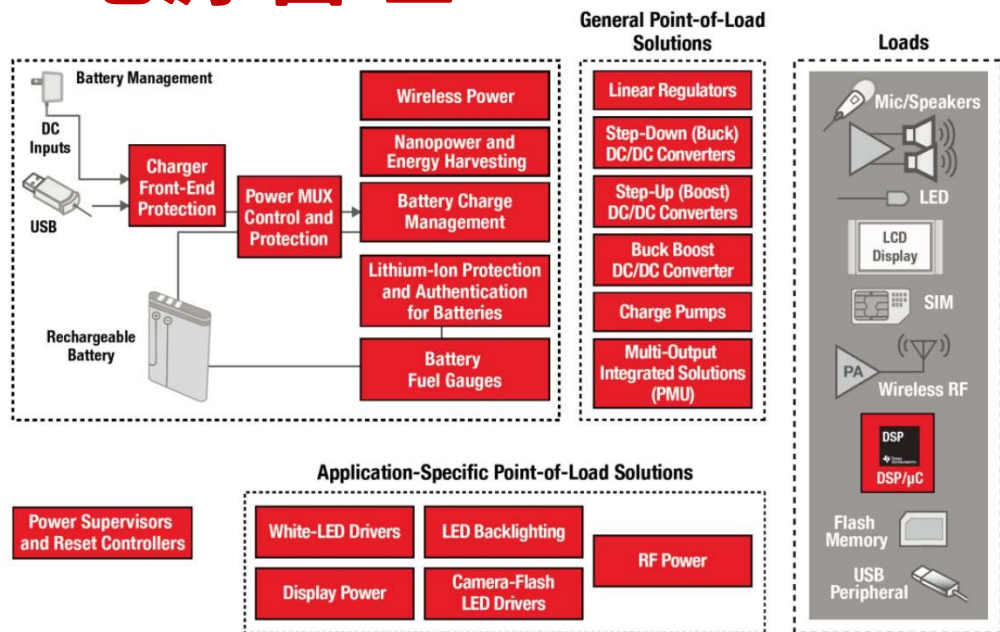


# 01

## LDO电源基础知识



## 电源管理



(b) 便携式电源解决方案



智研咨询、前瞻产业研究院、Frost&Sullivan

电源电路是整个电路正常稳定工作的关键，在设计电路时，最先考虑的就是电源电路的设计。LDO是电源管理电路中重要组成部分。



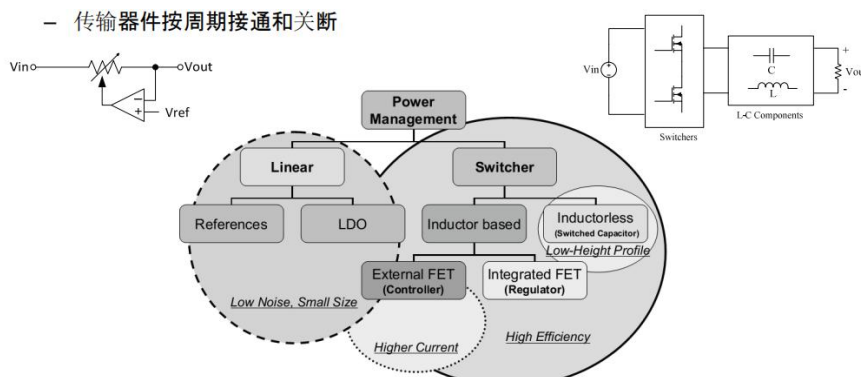
# 电源管理

## ◆线性型

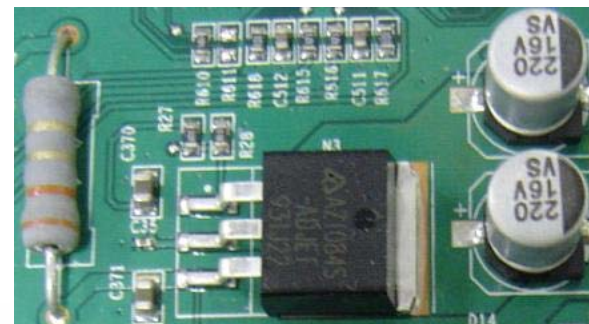
- 从管子以线性工作状态电源向负载连续输送功率
- 传输元件（其负责调节从电源至负载的电流流动）工作于线性区

## ◆开关电源型

- 管子以开关工作状态从电源向负载输送功率
- 传输器件按周期接通和关断



✓ 线性调压电源 (DC-DC)



✓ 开关电源 (DC-DC)





# 电源工程师培训授证项目

# 电源管理

主页 / 产品 / 电源管理 / 线性 and 低压降 (LDO) 稳压器

## 线性 and 低压降 (LDO) 稳压器

全部筛选条件 列表 重置表 623 个产品 (共 623 个)

电子邮件 下载 excel 文件 登录以查看库存 登录

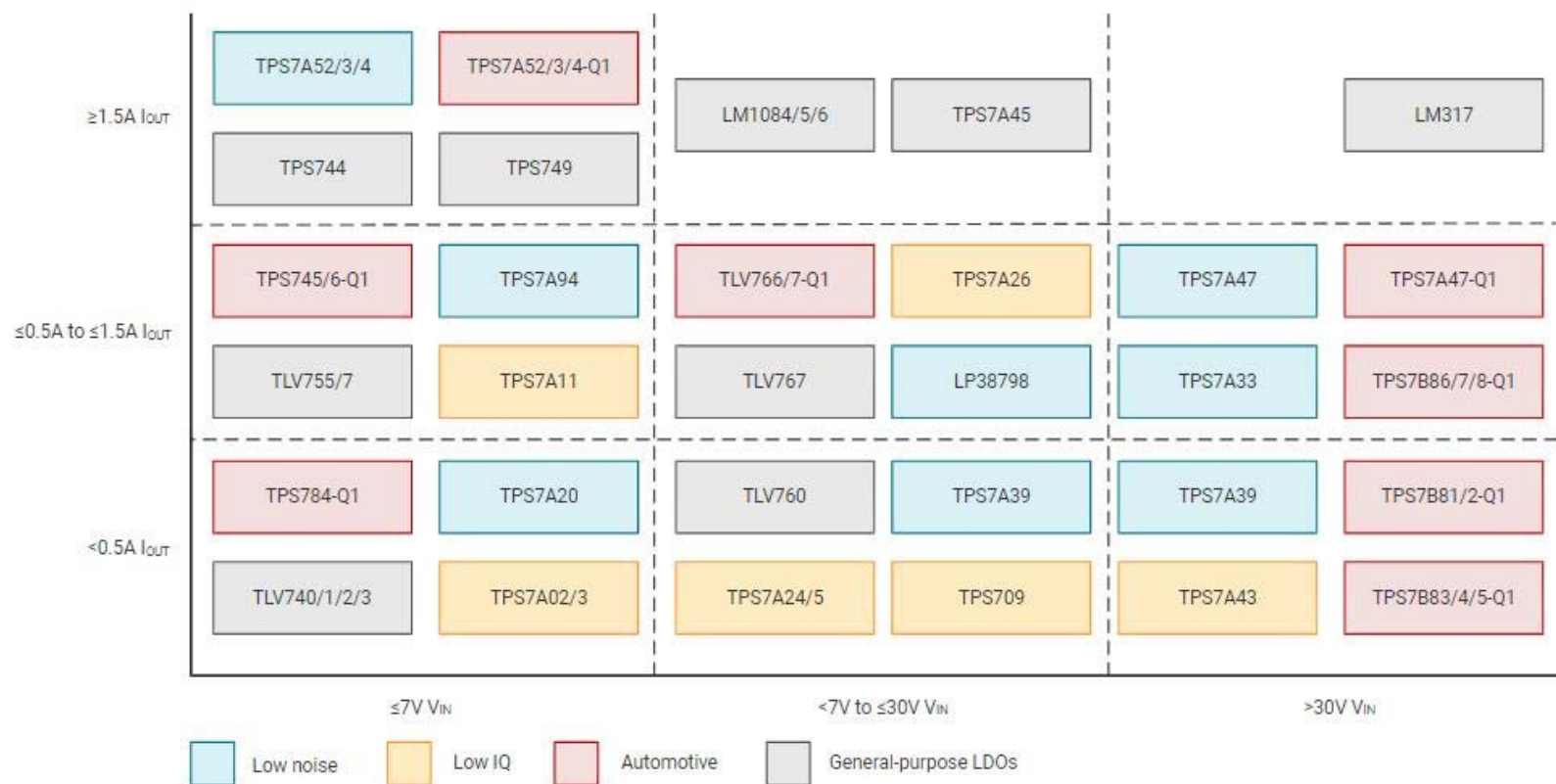
| Product number  | Images | Output options                  | Iout (max) (A) | Vin (max) (V) | Vin (min) (V) | Vout (max) (V) | Vout (min) (V) | Fixed output options (V) | Noise (μVrms) | Package type   | Pin count | Iq (typ) (mA) | Thermal resistance θJA (°C/W) | Price/Quant.. (USD)   | TI functional safety category | Rating     | Load capacitance (min) (μF) | Status |
|---|--------|---------------------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|--------------------------|---------------|----------------|-----------|---------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|--------|
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TPS7A21-Q1 - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML                             |        | Fixed Output                    | 0.5            | 6             | 2             | 5.5            | 0.8            | 1, 1.8, 2.8, 3.3, 5      | 7.7           | VSON           | 8         | 0.0065        | 58.9                          | US\$0.278   1ku       | -                             | Automotive | -                           | 正在供货   |
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TPS7A96 - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML                                |        | Adjustable Output               | 2              | 5.7           | 1.7           | 5.5            | 0              | -                        | 0.5           | WSON           | 10        | 15            | 46.1                          | US\$3.920   1ku       | -                             | Catalog    | 4.7                         | 正在供货   |
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TPS7H1111-SEP - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML                          |        | Adjustable Output               | 1.5            | 7             | 0.85          | 5.5            | 0.4            | -                        | 1.7           | HTSSOP         | 28        | 19            | 24                            | US\$875.060   100u    | -                             | Space      | 132                         | 正在供货   |
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TPS7H1111-SP - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML<br><a href="#">查看备选方案</a> |        | Adjustable Output               | 1.5            | 7             | 0.85          | 5.5            | 0.4            | -                        | 1.7           | CFP            | 14        | 19            | 25.1                          | US\$2,625.1...   100u | -                             | Space      | 132                         | 正在供货   |
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TPS748A-Q1 - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML                             |        | Adjustable Output               | 1.5            | 6             | 0.8           | 3.6            | 0.8            | -                        | 7             | VSON           | 10        | 0.55          | 47.2                          | US\$0.743   1ku       | -                             | Automotive | 10                          | 正在供货   |
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TLV709 - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML<br><a href="#">查看备选方案</a>       |        | Adjustable Output, Fixed Output | 0.15           | 30            | 2.5           | 28             | 1.2            | 3.3, 3.3, 5, 5           | 425           | SOT-23, SOT-89 | 3, 5      | 0.003         | 195                           | US\$0.200   1ku       | -                             | Catalog    | -                           | 正在供货   |
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TPS7A53A-Q1 - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML                            |        | Fixed Output                    | 3              | 6             | 1.13          | 1              | 1              | 1                        | 5.6           | WQFN           | 20        | 0.7           | 42.5                          | US\$1.500   1ku       | Functional Safety-Capable     | Automotive | 10                          | 正在供货   |
| <input type="checkbox"/> <a href="#">TLV761 - NEW</a><br>Data sheet: PDF   HTML                                 |        | Fixed Output                    | 1              | 16            | 2.5           | 13             | 0.8            | 1.8, 3.3, 5              | 60            | SOT-223        | 4         | 0.06          | 83.5                          | US\$0.190   1ku       | -                             | Catalog    | 1                           | 正在供货   |





电源工程师培训授证项目

# 电源管理

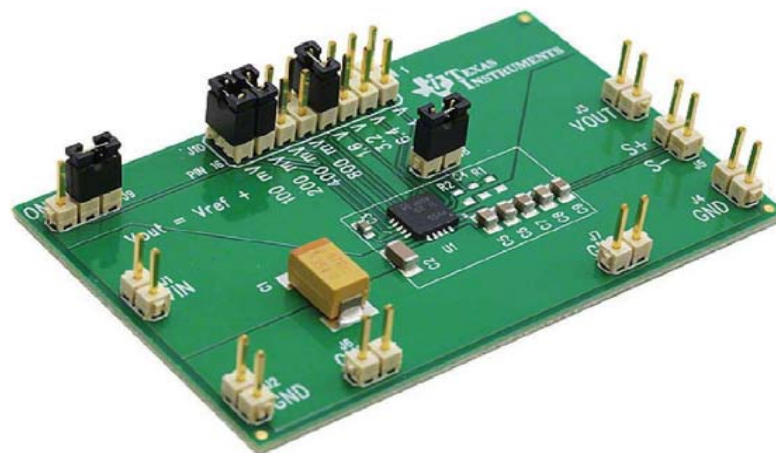
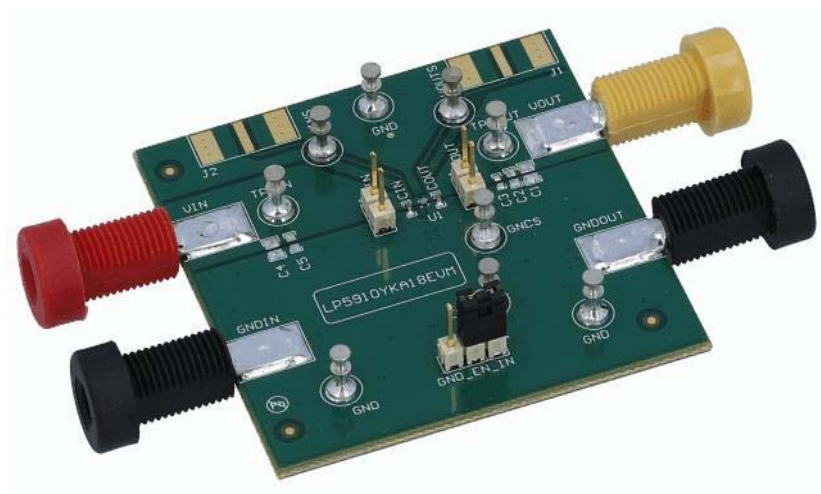




# 1.1 LDO

## ◆ LDO (Low Dropout Regulaor)

- 是在输入输出间只需要较小的压差的**线性稳压器**

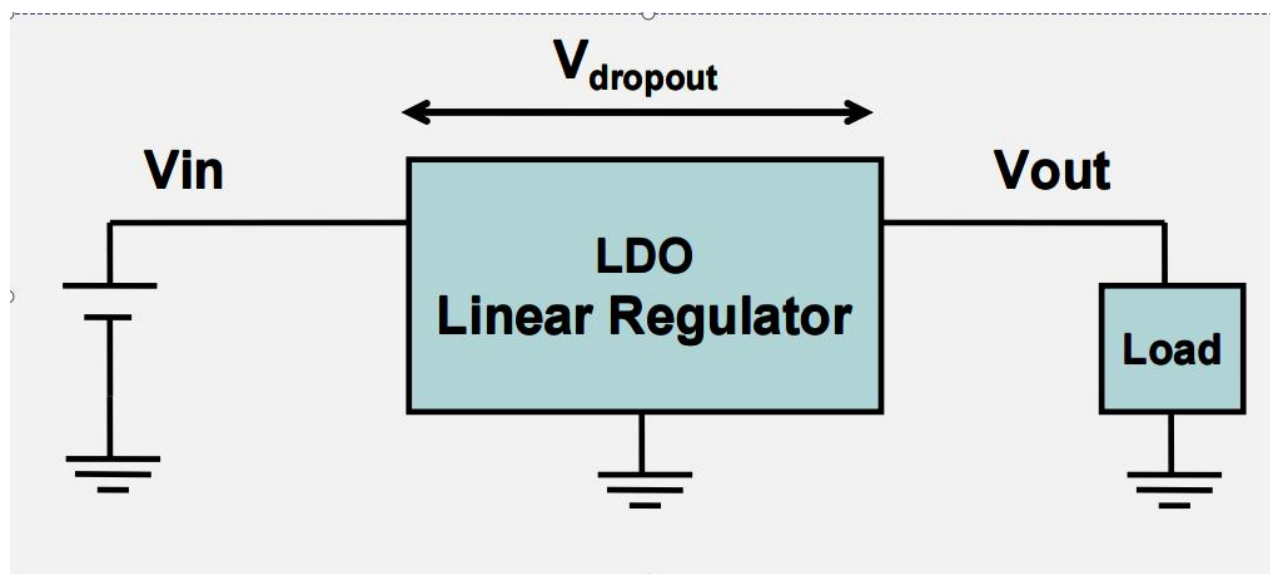






## 1.1 LDO

### ◆ LDO (Low Dropout Regulator) 线性稳压器基本结构

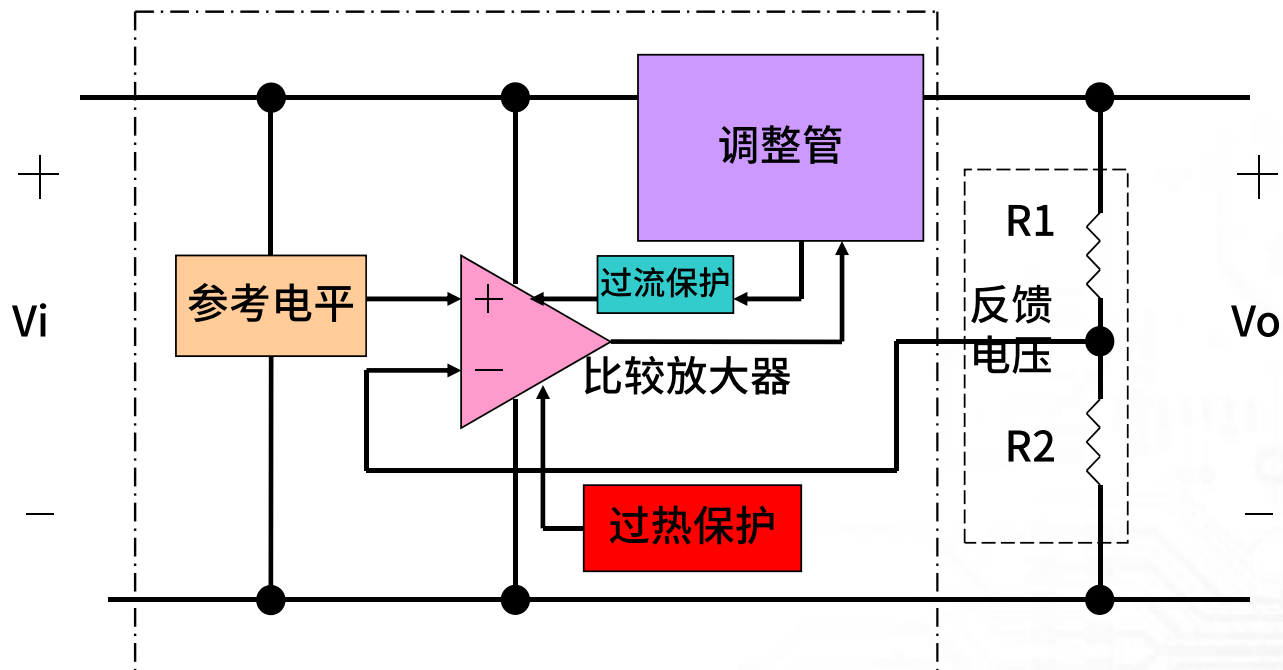


$V_{dropout}$ : 在正常输出电压时调整输入电压，当输出电压下降到额定输出电压的98%时，输入与输出的电压差为Drop电压，（注意，带不同负载电压不同）



# 1.2 工作原理

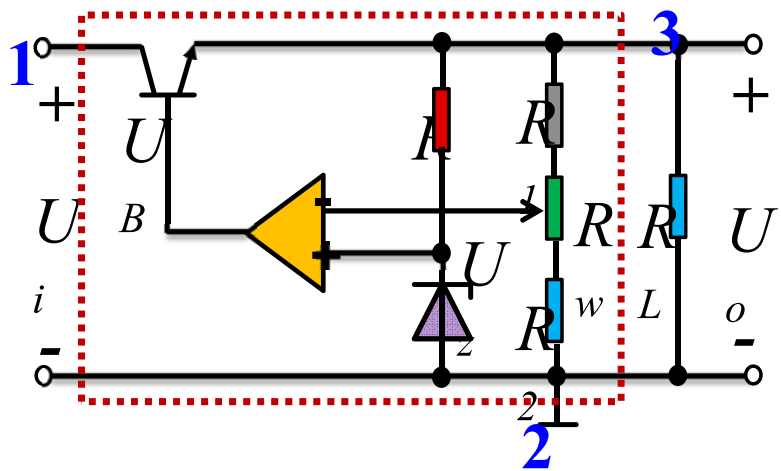
## ◆ 线性稳压电源





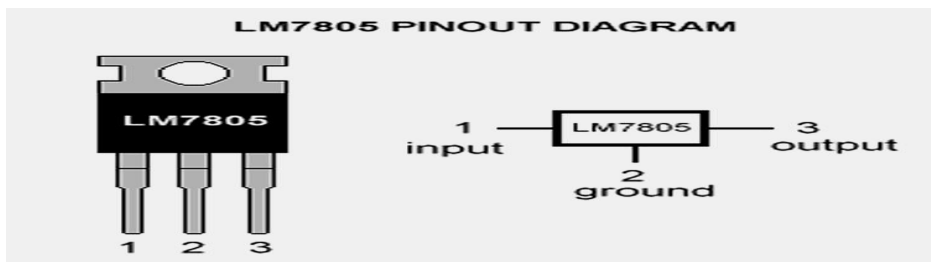
# 1.2 工作原理

## ◆ 集成线性稳压器（三端稳压器）



常用芯片：

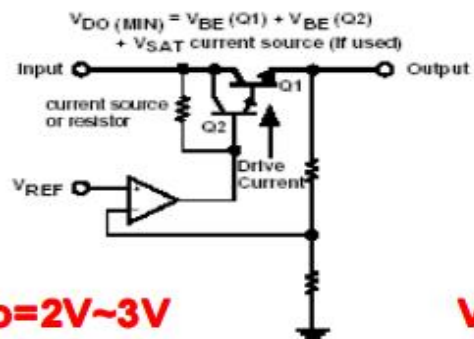
| 型号          | 输出电压 (V)           |
|-------------|--------------------|
| 78XX / 79XX | ±5/6/9/12/15/18/24 |
| W117 / W317 | 可调                 |
| .....       | .....              |



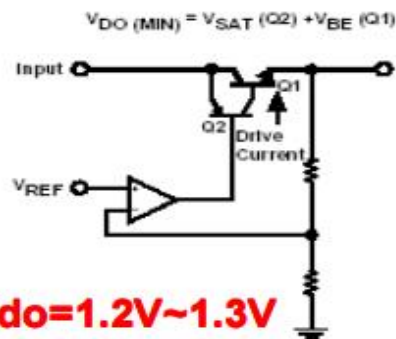


# 1.2 工作原理

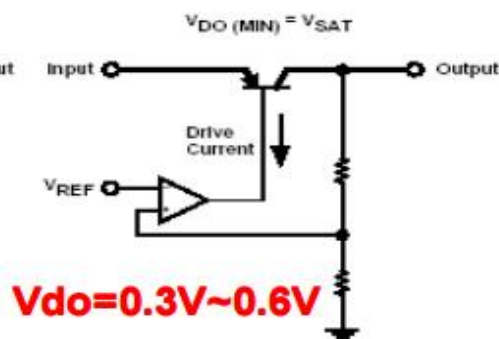
## ◆ 调整管拓扑



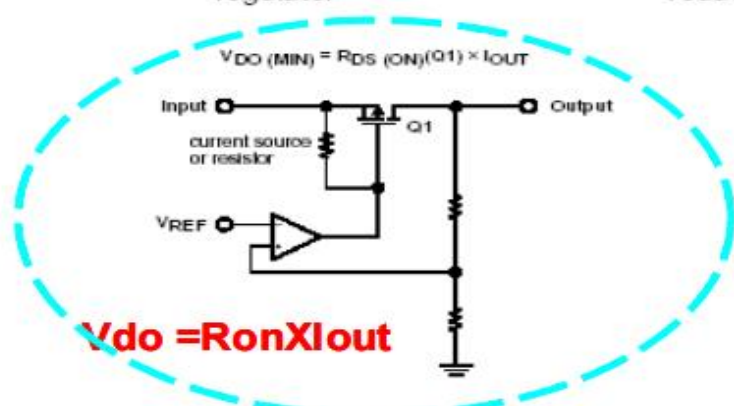
(A) Standard NPN-pass transistor regulator



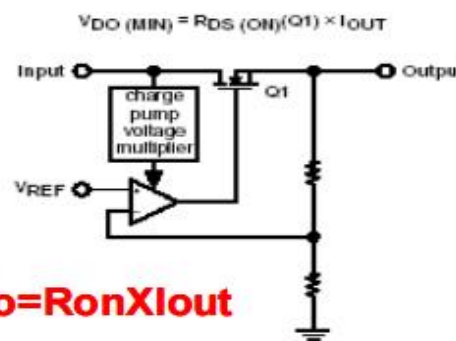
(B) NPN-pass regulator with reduced dropout



(C) Low-Dropout PNP-pass transistor regulator



(D) P-Channel MOSFET-pass transistor regulator

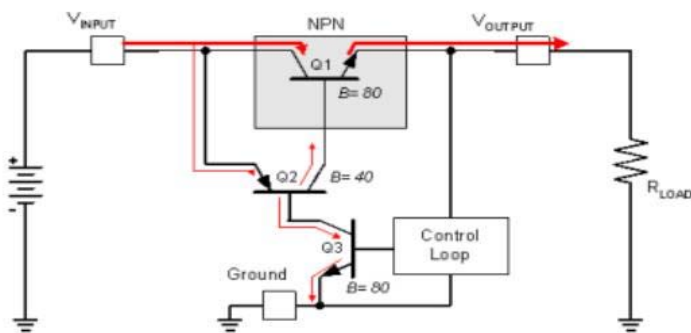
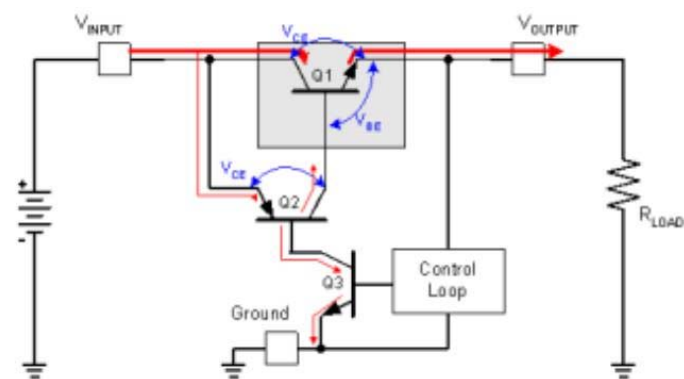
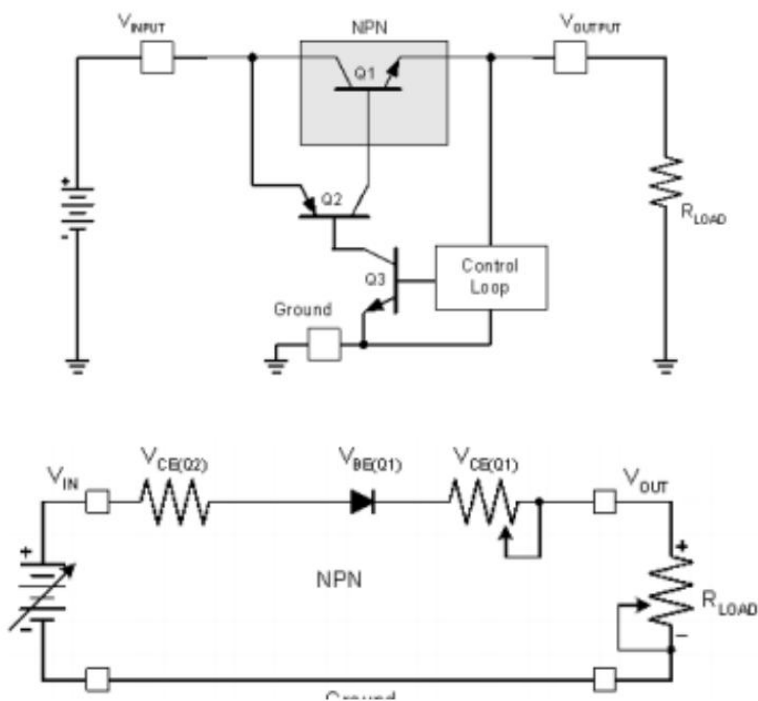


(E) N-Channel MOSFET-pass transistor regulator



# 1.2 工作原理

## ◆ NPN 准 LDO

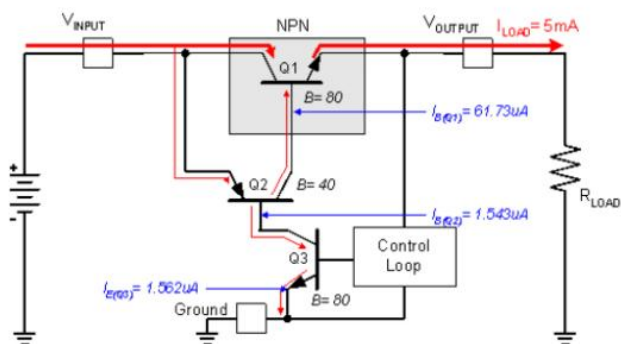




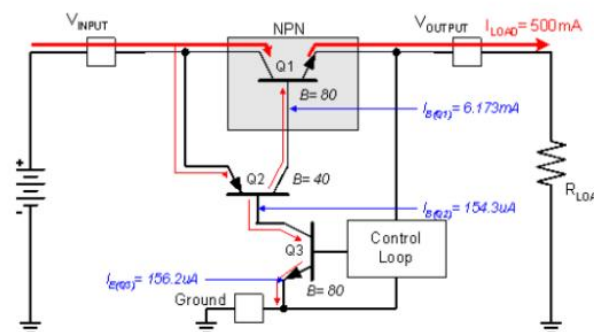
# 1.2 工作原理

## ◆ NPN 准 LDO

5mA 负载情况下



500mA 负载情况下



NPN 准 LDO 具有下列特性：

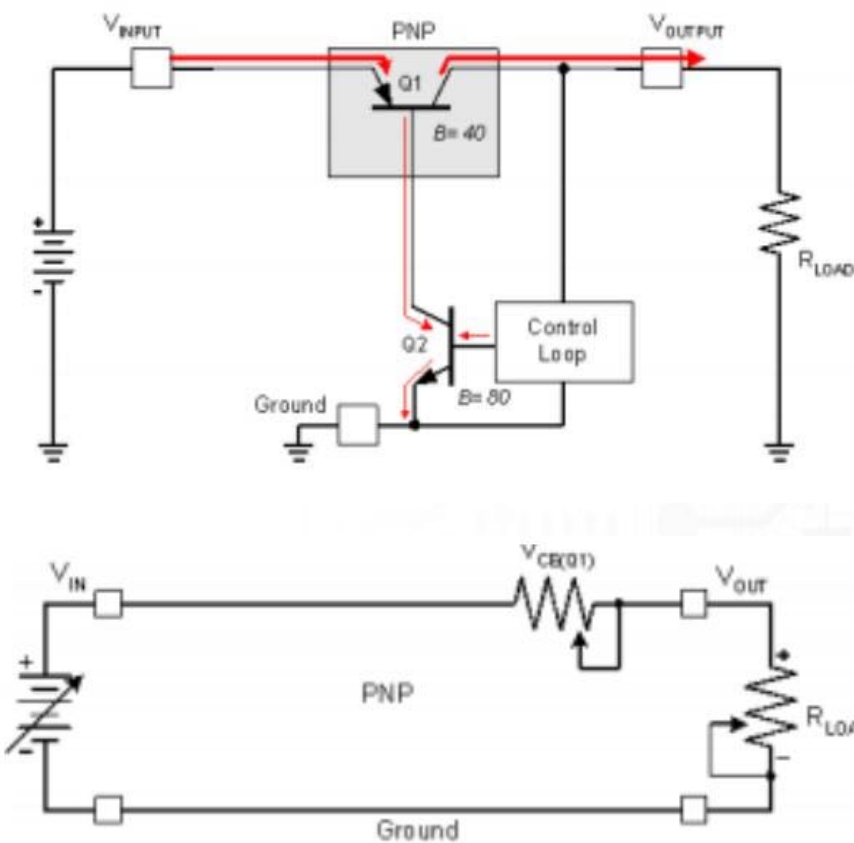
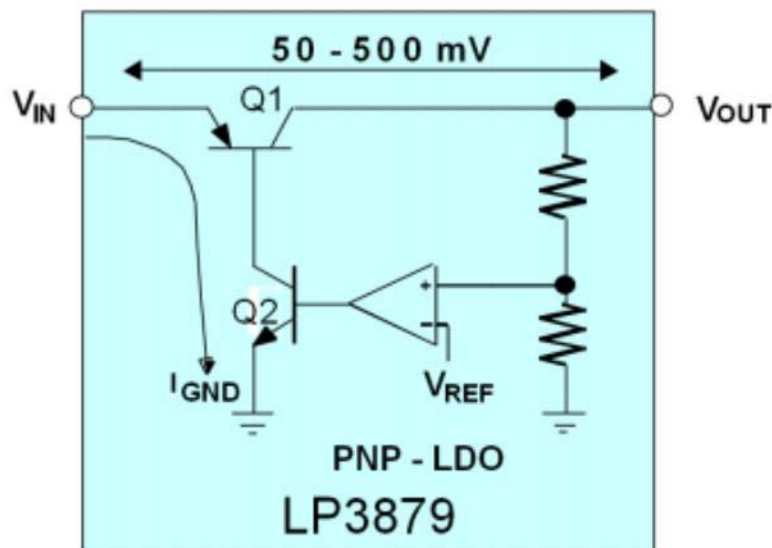
- 要求输入电压至少比输出电压高 0.9V 至 1.5V；
- 接地引脚电流大于 NPN-达林顿管，但小于 PNP-LDO 稳压器；
- 需要一个输出电容器，但一般不像 PNP-LDO 那样具有特殊的 ESR 要求。





# 1.2 工作原理

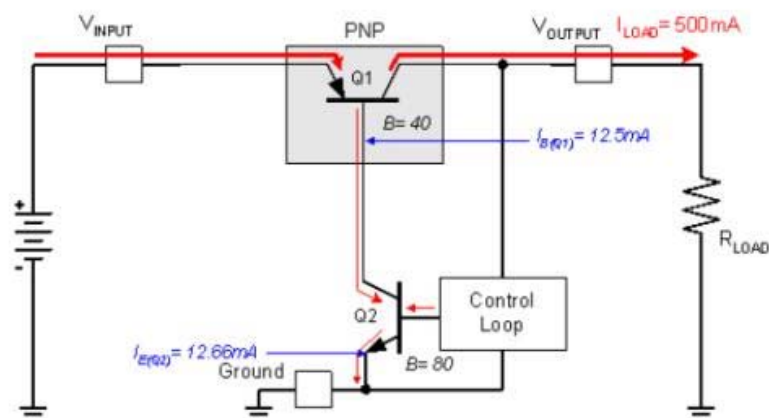
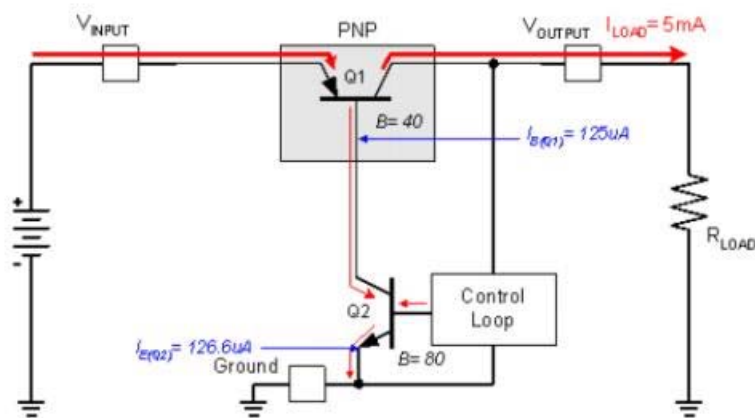
## ◆ PNP型 LDO





## 1.2 工作原理

### ◆ PNP型 LDO



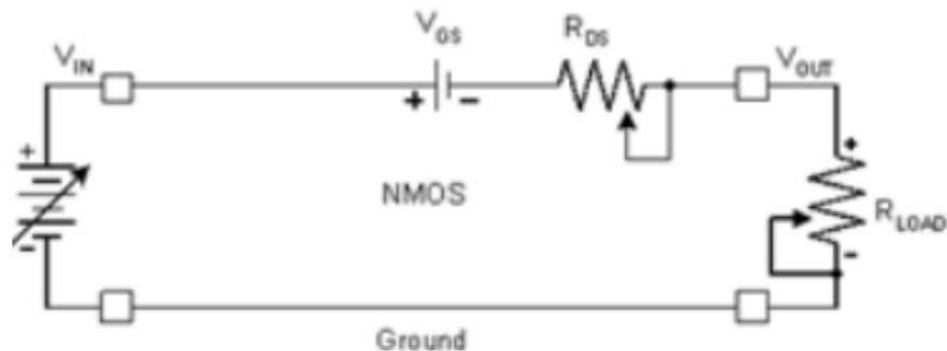
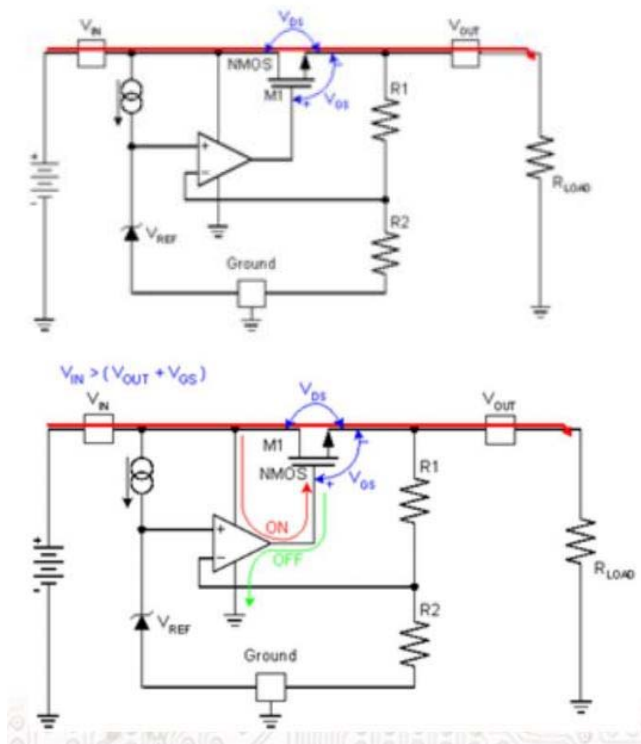
PNP LDO 具有下列特性：

- ℓ 要求输入电压至少比输出电压高 100mV 至 700mV；
- ℓ 具有高于 NPN 型 LDO 的接地引脚电流；
- ℓ 需要谨慎地选择输出电容器数值和 ESR 额定值



# 1.2 工作原理

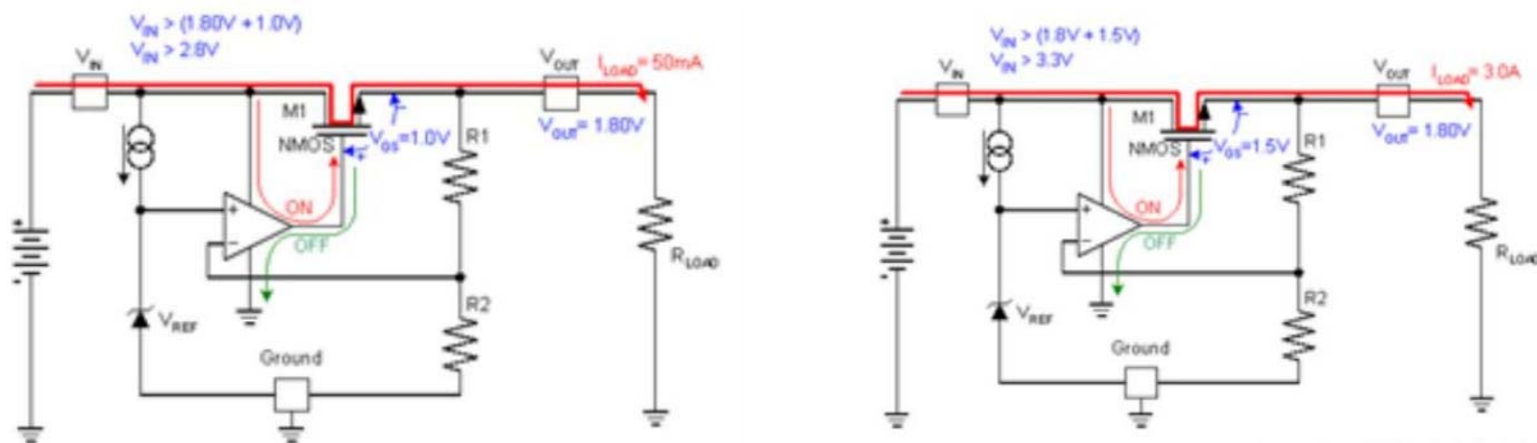
## ◆ NMOS型的LDO





## 1.2 工作原理

### ◆ NMOS型的LDO



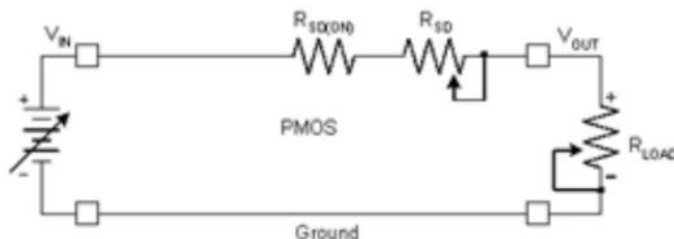
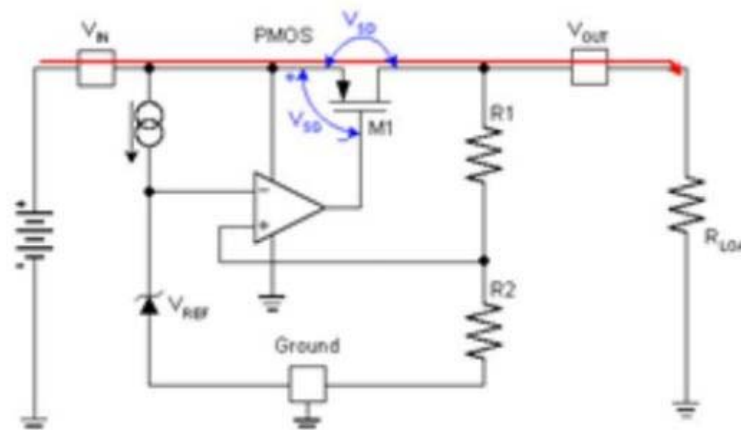
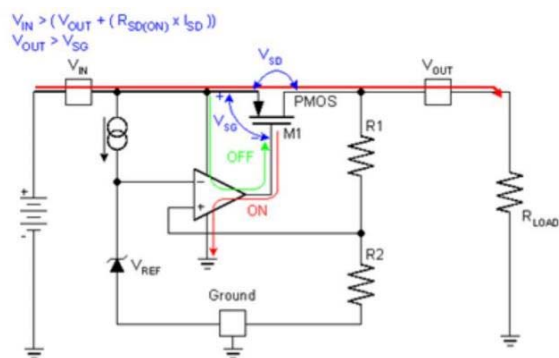
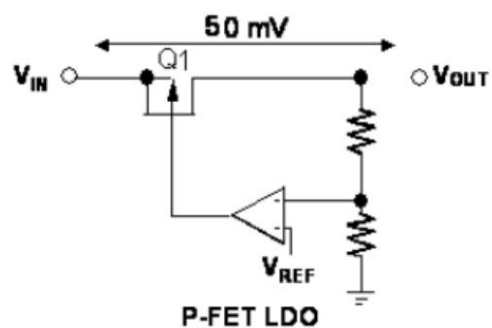
NMOS 稳压器具有下列特点：

- l 要求输入电压高于输出电压（高出的幅度依据传输晶体管的 VGS 要求）；
- l 接地引脚电流不随输出负载电流而变化；
- l 不需要任何的输出电容器（但为了动态响应更好还是使用一个）。



# 1.2 工作原理

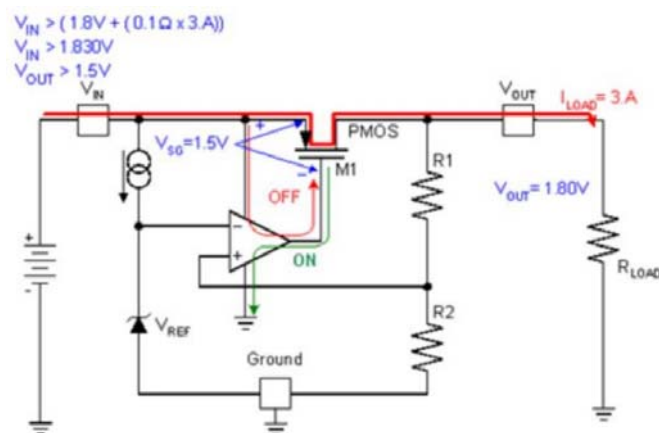
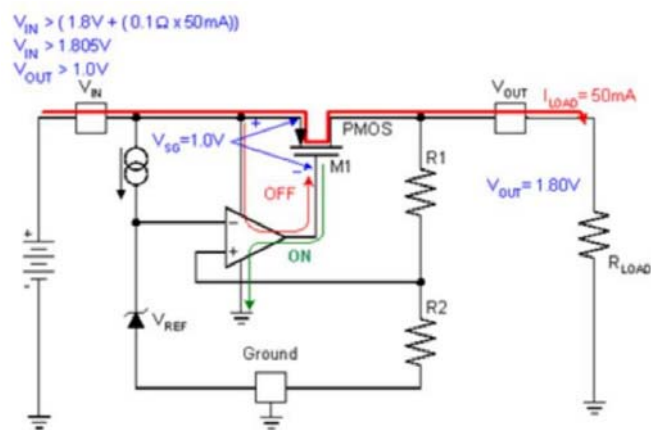
## ◆ PMOS 型的 LDO





## 1.2 工作原理

### ◆ PMOS 型的 LDO



PMOS LDO 具有下列特性：

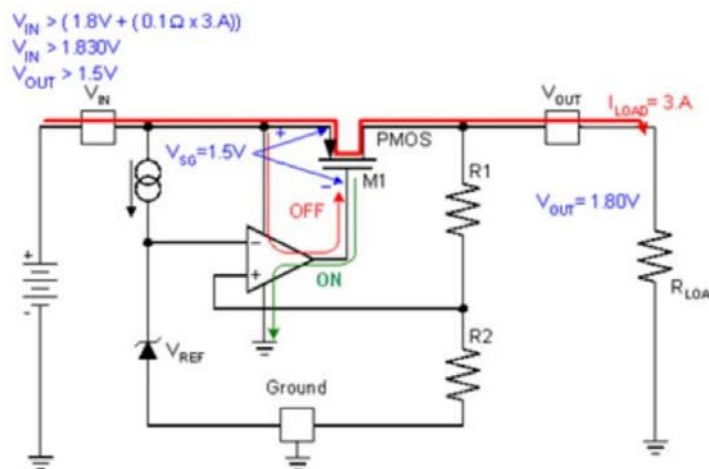
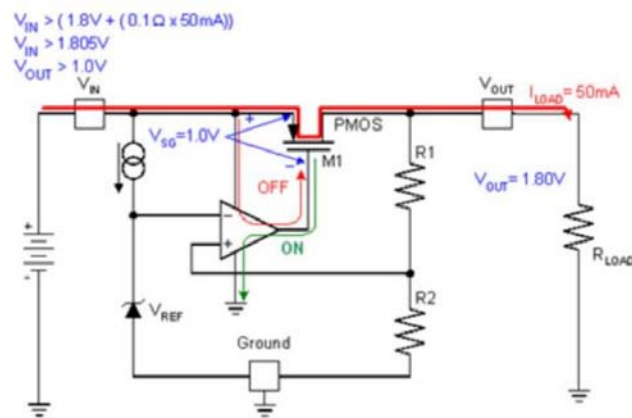
- ℓ 要求输入高于输出电压（基于负载电流和传输元件的导通电阻）： $V_{IN} > R_{DS(ON)} \times I_{OUT}$
- ℓ 要求输出电压高于传输元件的  $V_{GS}$  需求；
- ℓ 要求谨慎地选择输出电容数值和 ESR 额定值；
- ℓ 为了实现相似的  $R_{DS(on)}$  性能，PMOS 晶体管所需的晶片面积将大于 NMOS 晶体管；
- ℓ 较大的晶片面积将影响定价，并有可能对性能产生影响





## 1.2 工作原理

### ◆ PMOS 型的 LDO



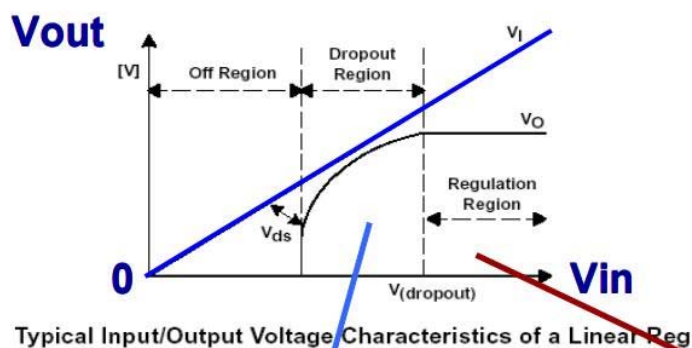
PMOS LDO 具有下列特性：

- ℓ 要求输入高于输出电压（基于负载电流和传输元件的导通电阻）： $V_{IN} > R_{DS(ON)} \times I_{OUT}$
- ℓ 要求输出电压高于传输元件的 VGS 需求；
- ℓ 要求谨慎地选择输出电容数值和 ESR 额定值；
- ℓ 为了实现相似的 RDS (on) 性能，PMOS 晶体管所需的晶片面积将大于 NMOS 晶体管；
- ℓ 较大的晶片面积将影响定价，并有可能对性能产生影响

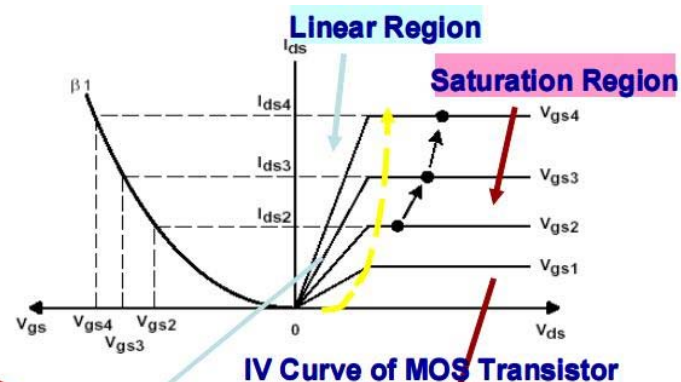


# 1.2 工作原理

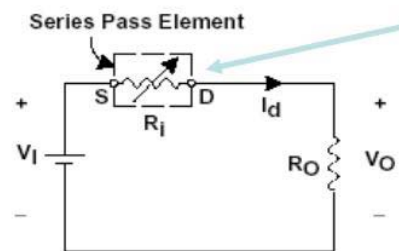
## ◆ LDO工作模式



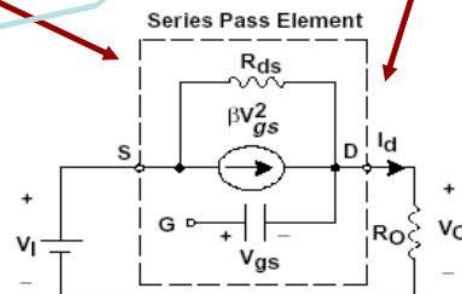
Typical Input/Output Voltage Characteristics of a Linear Reg



IV Curve of MOS Transistor



(b) LDO Equivalent Circuit in The Linear Region



(c) LDO Equivalent Circuit in The Saturation Region



## 1.3 常用参数

### 1. Dropout Voltage (最小工作压差) :

调压器正常工作所必须的输入输出之间的电压差。它由调整管类型，拓扑结构决定。

- a) 达林顿+NPN:  $V_{\text{dropout}}=V_{\text{ce(sat)}}+2*V_{\text{be}}\approx 1.6\sim 2.5\text{V}$
- b) PNP+NPN:  $V_{\text{dropout}}=V_{\text{ce(sat)}}+V_{\text{be}}\approx 0.9\sim 1.3\text{V}$
- c) PNP:  $V_{\text{dropout}}=V_{\text{ce(sat)}}\approx 0.15\sim 0.4\text{V}$
- d) PMOS, PMOS+NMOS:  $V_{\text{dropout}}=I_o*R_{\text{on}}\approx 35\sim 350\text{mV}$

b) ,c)和d) 又称为LDO (Low Dropout Voltage Regulator)

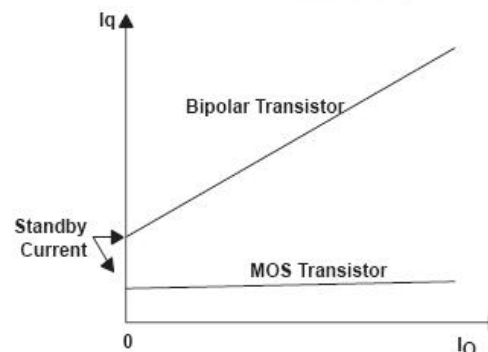
### 2. Quiescent Current (静态电流) : —— 越小越好

静态电流=输入电流-输出电流,  $I_q=I_i-I_o$

静态电流包括偏置电流, 调整管驱动电流

(没有流出电压输出管脚的部分)。它由调整管类型, 拓扑结构, 温度决定。

晶体管是电流驱动型, MOS管是电压驱动型, MOS的 $I_q$ 比晶体管小。





## 1.3 常用参数

### 性能参数

3. 效率：——越高越好

$$\text{效率} = I_o * V_o / ((I_o + I_q) * V_i) * 100$$

压差越小，效率越高

静态电流越小，效率越高

5种常用的调整管参数对比

| 参数              | 达林顿     | NPN     | PNP      | NMOS       | PMOS       |
|-----------------|---------|---------|----------|------------|------------|
| 最大输出电流 $I_o$    | 大       | 大       | 大        | 中          | 中          |
| 静态工作电流 $I_q$    | 中       | 中       | 大        | 小          | 小          |
| 最小压差 $V_{drop}$ | 1.6~2.5 | 0.9~1.3 | 0.15~0.4 | 0.035~0.35 | 0.035~0.35 |
| 速度 Speed        | 快       | 快       | 慢        | 中          | 中          |



## 1.3 常用参数

### 4. Line Regulation (线性调整率)：——越小越好

Line Regulation指的是在相同负载，不同输入电压时，输出端电压的稳定能力。

物理公式： $\Delta V_o / \Delta V_i = (1 + R_2/R_1) / (\beta * g_a * (R_o + R_{ce}))$

$\beta$ :调整管的增益,  $g_a$ :比较放大的增益

$\beta * g_a$ :环路增益，提高环路增益，负载越小，调整管内阻越小，线性调整性能越好。

### 5. Load Regulation (负载调整率)：——越小越好

Load Regulation指的是在不同负载，相同输入电压时，输出端电压的稳定能力。

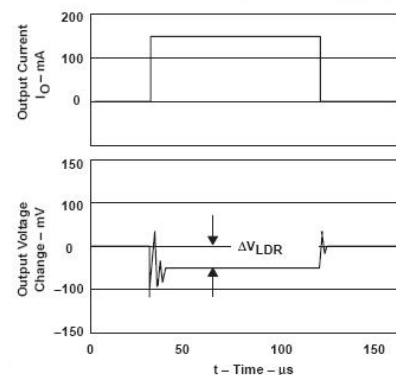
物理公式： $\Delta V_o / \Delta I_o = (1 + R_2/R_1) / (\beta * g_a)$

$\beta$ :调整管的增益,  $g_a$ :比较放大的增益

$\beta * g_a$ :环路增益，提高环路增益，可以提高负载调整率。

附：Line/Load Regulation测试方法：

为了减小温度影响，保证结温恒定，测试时使用低占空比的测试信号。（60uS脉动周期，输入电压变化，输出负载变化）





## 1.3 常用参数

### 6. Thermal Regulation (热调整率)：——**越小越好**

指在加固定输入电压，带固定负载后的t（通常几十mS）时间内，查看输出电压的变化率。测试结果扣除前60uS的Load/Line调整率。

如：测试输入6V，负载 $I_o=100\text{mA}$ ， $t=10\text{mS}$

### 7. Temperature Stability (温度稳定度)：——**越小越好**

指在正常工作的温度范围内，在固定输入电压，带固定负载，输出电压的变化率

LM1084：正常工作温度结温：0~150度，稳定度0.5%

### 8. Transient Response (瞬态反应)：——**越小越好**

指在输出电流 $I_o$ 突变的时候，输出电压跳变的最大电压值。

物理公式： $\Delta V_{tr,max}=(I_o,max * \Delta t_1)/(C_o+C_b)+ \Delta V_{esr}$

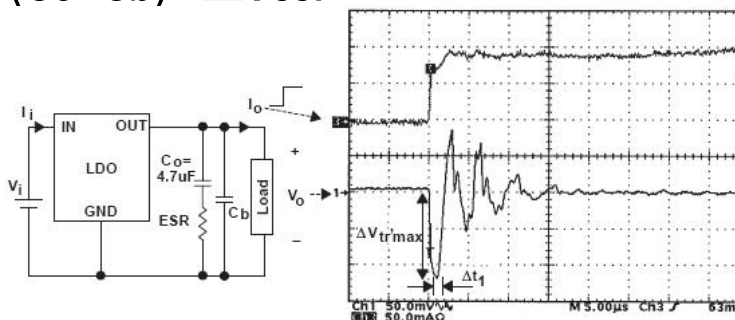
$\Delta t_1$ :第一个脉冲宽度

$C_o$ : 输出滤波电容

$\Delta V_{esr}$ :  $C_o$ 的ESR产生的电压

$C_b$ : 退耦电容

减小滤波电容ESR，增大滤波电容，  
减短反应时间 $\Delta t_1$ ，提高瞬态反应性能







## 1.3 常用参数

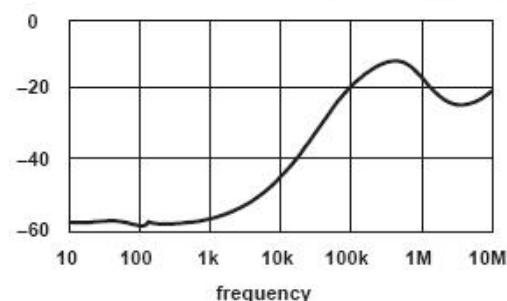
### 9. Ripple Rejection (纹波抑制比)：——越小越好

又称为电源抑制比，是指输入电压发生变化时，输出电压的变化率，用dB表示。这个和前面的线性调整率有点相似。但是纹波抑制比加入了对输入电压变化的频率的定义。因此，更详细说是输入电压在不同按照不同频率变化时，输出电压的变化率。也就是说，提到纹波抑制比参数需要带频率参数。

如：AP1122：在输入电压变化为120Hz时，纹波抑制比是60dB。

右下图是纹波抑制比曲线图

和线性调整率一样提高环路增益可以提高纹波抑制性能，另外使用大容值，低ESR滤波电容也可以提高性能。





# 02 LDO电路设计



## LDO 电路设计及注意

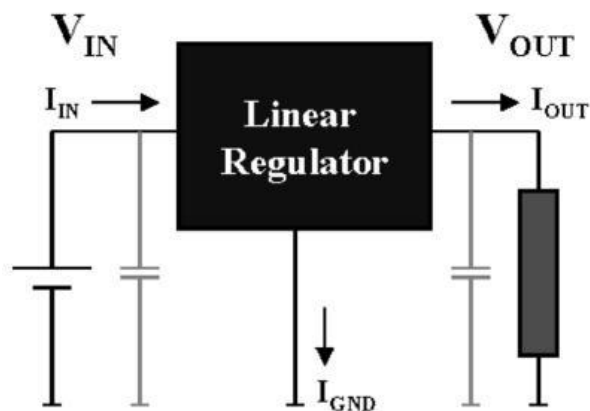
- 1、确定电路需要的电压类型是正电压还是负电压。
- 2、确定电路的输出电压、负载电流和输入电压（注意输入电压和负载电流都需要降额80%考虑）
- 3、确定电路的最大、最小输入—输出电压差；电路的最大、最小输入—输出电压差应该满足器件要求；
- 4、单板PCB、结构尺寸和生产线对封装形式的要求；
- 5、确定电路的电性能指标要求（如静态电流、精度、纹波、效率等）；器件的指标应该满足电路指标的要求，并且考虑温度对各种性能指标的影响；
- 6、确定器件的输出电容以及ESR值，如果器件对输出电容以及ESR有特殊要求，考虑公司现有器件是否满足要求；
- 7、其他要求（如电路是否需要使能控制端、价格因素等）。



## LDO 电路设计及注意

LDO的电路设计相对简单方便，工作时仅需要两个作输入、输出电压退耦降噪的陶瓷电容器，见下图。

$V_{IN}$ 和 $V_{OUT}$ 的输入和输出滤波电容器，应当选用宽范围的、低等效串联电阻(ESR)、低价陶瓷电容器，使LDO在零到满负荷的全部量程范围内稳压效果稳定。一些LDO有一个Bypass附加脚，由它连接一个小的电容器，可以进一步降低噪音。





## LDO 电路设计及注意-电容

电容器的选择关系到设计产品的质量和成本，电容器的电容值、电介质材料类型、物理尺寸、等效串联电阻(ESR)等这些重要参数都是设计工程师所要考虑的。在LDO使用电路的设计中，陶瓷电容器是最好的选择，因为陶瓷电容器无极性和具有低的ESR，电容器的ESR对输出纹波有重大影响，而ESR受电容器的类型、容量、电介质材料和外壳尺寸影响，如常用的贴片电容器X7R 电介质是最好的，但使用成本略高，X5R 电介质较好，性能/价格比适宜，而Y5V电介质较差，但成本较低。





# LDO 电路设计及注意-电容

## 1、输入电容

输入电容的主要作用是对调整器的输入进行滤波，另外输入电容也可以抵消输入线较长时引入的寄生电感效应，防止电路产生自激振荡；所以调整器输入端一般采用两个电容并联的设计。较大的电容提供滤波作用，一般取22uF左右；较小电容提供消除振荡作用，取值一般为1uF，实际应用中一般选用0.1uF，位置尽量靠近调整器的输入Pin

输入电容除了考虑容值外，纹波电流额定值也必须考虑，输入电容的纹波电流应小于器件手册给出的额定值，电路的纹波电流可以用下面的公式简单计算：

$$I_{\text{ripple}} = PI \times V_p \times f \times C$$

其中：

$I_{\text{ripple}}$ ：输入电容的纹波电流

$V_p$ ：纹波电压的峰-峰值

$C$ ：输入电容值

$f$ ：为纹波电压的频率，一般取100KHz

再考虑以上因素的时候还应该注意温度对电容特性的影响，如钽电容其电容值以及纹波电流额定值都随着温度的升高而降低。

另外电容都需80%的降额，钽电容需要50—60%的降额。



# LDO 电路设计及注意-电容

## 2、输出电容

电压调整器的许多性能都受输出电容的影响。其中电容值以及ESR对电路频率响应的影响是最重要的。由于隧道深度的存在，输出电容以及ESR选择不当，非常容易引起电路的自激振荡。因此电容的选择建议参考器件手册的隧道深度图。

在选择电容的时候还需要考虑温度对容值以及ESR的影响，应该保证在整个温度范围内电路都是稳定的。（主要是铝电容的ESR受温度影响比较大，所以建议在温度变化较大的应用场合下最好不要选择铝电容作为输出电容）

在使用可调LDO调整器时，有时候我们为达到较好的输出纹波抑制性能，调整器需要对地增加滤波电容，但是必须注意的是：电路的输出增加了这个电容，又会增加一个闭环极点（ $f = 1/2 \times \pi \times (R1//R2) \times C$  C为补偿电容），电路的输出电容必须相应的增加，才能保证电路的稳定。

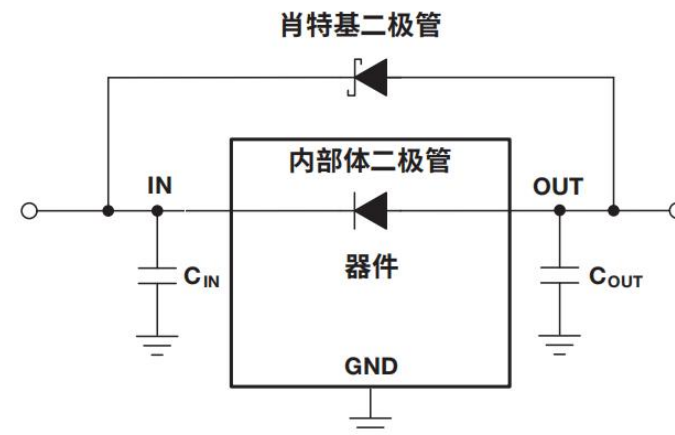
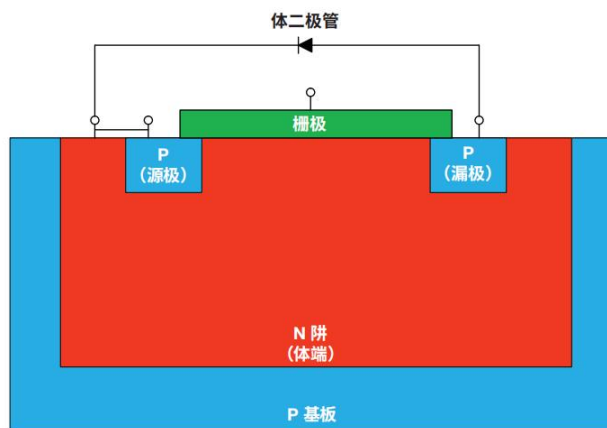
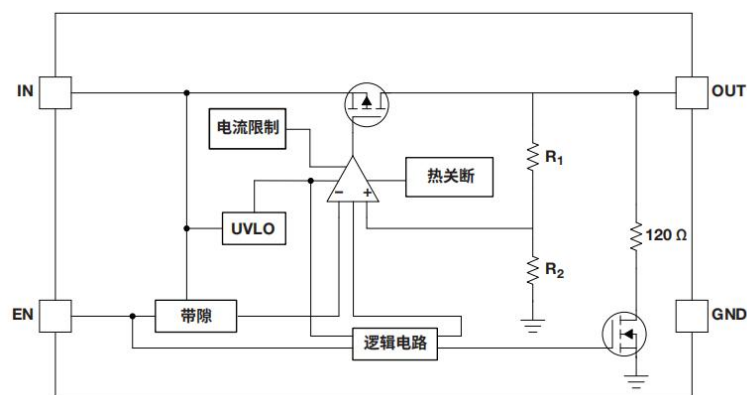
另外一个容易忽视的问题：LDO带有多个负载的时候，每个负载电路的输入电容都是调整器的输出电容。





# LDO 电路设计及注意-二极管保护

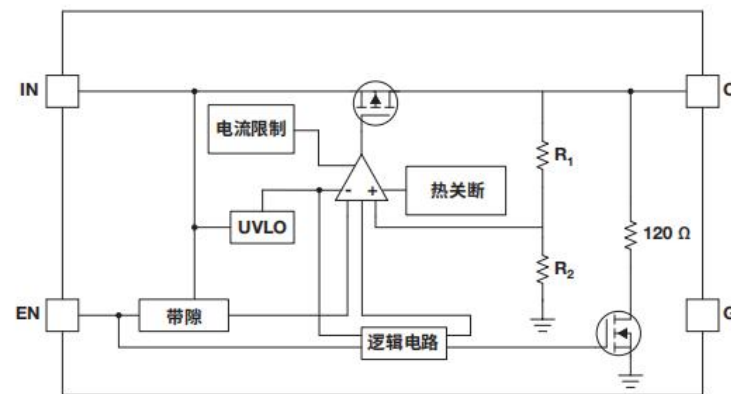
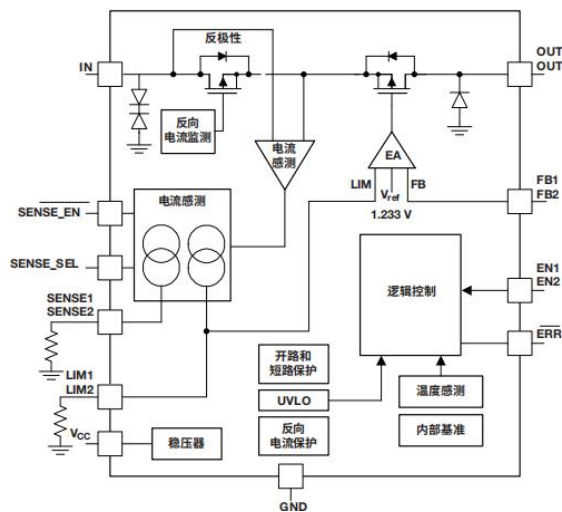
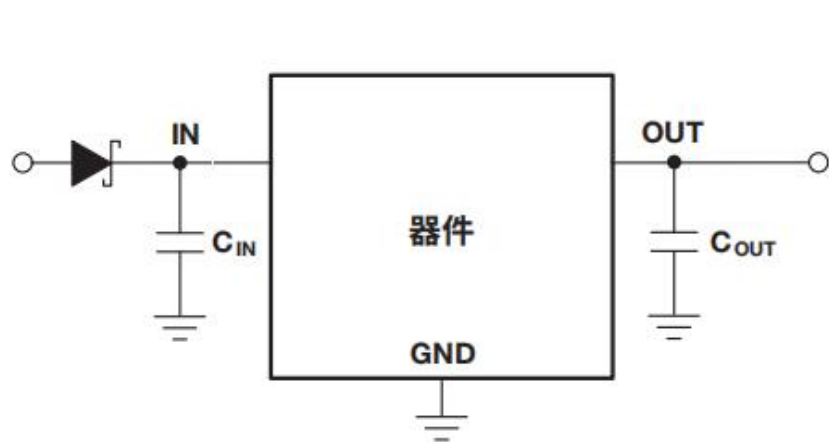
有时可能出现调整器输入电压比输出电压的跌落速度快的可能：如输入端迅速短路：调整器的输出电压大于7V时，这种情况可以使调整器元件的发射极-基极之间的P-N结击穿损坏。一般在调整器的输入-输出端反相并联一个二极管进行保护。





# LDO 电路设计及注意-二极管保护

有时可能出现调整器输入电压比输出电压的跌落速度快的可能：如输入端迅速短路：调整器的输出电压大于7V时，这种情况可以使调整器元件的发射极-基极之间的P-N结击穿损坏。在 LDO 之前使用二极管、额外增加一个 FET、将 MOSFET 的块体连接到 GND



注：R<sub>2</sub> = 550 kΩ, R<sub>1</sub> = 可调节。



# LDO 电路设计及注意-布局

LDO设计中，布局容易被忽视，其实布局是非常重要的。

## 1、 元器件放置

为了保证调整电路有足够好的瞬态响应特性，LDO调整器的带宽都较高，这使得LDO容易发生振荡，除外围元件对LDO产生影响外，实际电路的寄生参数也会对电路的频率响应特性产生影响：PCB走线产生的寄生电感。所以电路设计的时候，旁路电容应该尽量靠近器件引脚，即引线长度尽量短、粗，调整器输入端到旁路电容的走线距离应该小于1英寸。

## 2、 地回路

调整器的性能也受到地回路的影响，主要是输入滤波电容的回路引线位置不当。如果输入电容回路引线和调整器负载回路存在物理上的连接，由于纹波电容的纹波电流峰值非常大（平均电流的5-15倍），输入端的纹波电压（50Hz或者120Hz）降耦合到负载电压上。

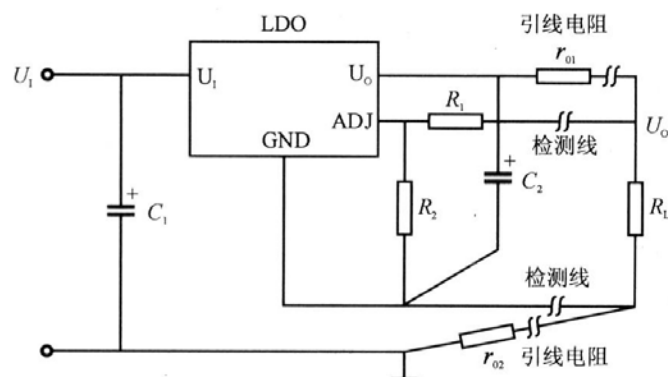
## 3、 反馈电压检测

另外一个影响：负载引线的电阻引起的检测误差，这个问题一般发生在输出电流较大的电路中，使得负载电压比实际设计的电压低。



## LDO 电路设计及注意-布局

- LDO的两条输出引线电阻( $r_{01}$ 和 $r_{02}$ ), 会造成不必要的压降, 影响对负载的调整。解决的方法是适当增加印制导线的宽度以减小引线电阻值。当负载距离LDO很远时, 长引线还极易引起噪声。为了准确检测远程负载上的电压, 建议采用四线制接法, 亦称开尔文(Kelvin)接法, 可调式输出电路如图所示。该电路的特点是增加了两条细导线作为检测线, 直接将负载 $R_L$ 上的电压引到取样电阻分压器 $R_1$ 和 $R_2$ 的两端。由于取样电阻的阻值较大, 细导线上通过的电流很小, 所形成的压降可忽略不计, 因此能准确检测输出电压值。尽管原来的引线电阻 $r_{01}$ 和 $r_{02}$ 仍与负载串联, 但 $r_{02}$ 未包含在检测电路中, 因此所形成的压降并不影响检测精度。





## LDO 电路设计及注意-散热

低压降稳压器 (LDO) 的特性是通过将多余的功率转化为热量来实现稳压，因此，该集成电路非常适合低功耗或  $V_{IN}$  与  $V_{OUT}$  之差较小的应用。

### 热性能信息

| 热指标 (1)(2)                        | TPS732 <sup>(3)</sup> |              |             | 单位   |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------|-------------|------|
|                                   | DRB [SON]             | DCQ [SOT223] | DBV [SOT23] |      |
|                                   | 8 个引脚                 | 6 个引脚        | 5 个引脚       |      |
| $R_{\theta JA}$ 结至环境热阻            | 58.3                  | 53.1         | 205.9       | °C/W |
| $R_{\theta JC(top)}$ 结至外壳 (顶部) 热阻 | 93.8                  | 35.2         | 119         |      |
| $R_{\theta JAB}$ 结至电路板热阻          | 72.8                  | 7.8          | 35.4        |      |
| $\Psi_{JT}$ 结至顶部特性参数              | 2.7                   | 2.9          | 12.7        |      |
| $\Psi_{JB}$ 结至电路板特性参数             | 25                    | 7.7          | 34.5        |      |
| $R_{\theta JC(bot)}$ 结至外壳 (底部) 热阻 | 5                     | 不适用          | 不适用         |      |

表 1: 不同封装对应的热阻。

封装尺寸越小， $R_{\theta JA}$  值通常越大。例如，TPS732 根据封装不同而具有不同的热阻值：小外形晶体管 (SOT)-23 (2.9mm x 1.6mm) 封装的热阻为 205.9°C/W，而 SOT-223 (6.5mm x 3.5mm) 封装的热阻为 53.1°C/W。这意味着 TPS732 每消耗 1W 功率，温度就会升高 205.9°C 或 53.1°C。



# LDO 电路设计及注意-散热

$$T_J = T_A + (R_{\theta JA} \times P_D) \quad (1)$$
$$P_D = [(V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT}] + (V_{IN} \times I_{ground})$$

其中  $T_J$  为结温,  $T_A$  为环境温度,  $R_{\theta JA}$  为热阻 (取自数据表),  $P_D$  为功耗,  $I_{ground}$  为接地电流 (取自数据表)。

建议的工作条件

|                   | 最小值 | 标称值 | 最大值 | 单位 |
|-------------------|-----|-----|-----|----|
| $V_{IN}$ 输入电源电压范围 | 1.7 |     | 5.5 | V  |
| $I_{OUT}$ 输出电流    | 0   |     | 250 | mA |
| $T_J$ 工作结温        | -40 |     | 125 | °C |

表2: 建议的工作结温。

**示例: 使用 TPS732 将 5.5V 电压下调至3V, 输出电流为 250mA, 采用 SOT-23 和 SOT-223 两种封装**

$$P_D = [(5.5V - 3V) \times 250mA] + (5.5V \times 0.95mA) = 0.63W$$

$$\text{SOT - 23: } T_J = 25^\circ\text{C} + (205.9^\circ\text{C/W} \times 0.63W) = 154.72^\circ\text{C}$$

$$\text{SOT - 223: } T_J = 25^\circ\text{C} + (53.1^\circ\text{C/W} \times 0.63W) = 58.45^\circ\text{C}$$





## LDO 电路设计及注意-散热

$$P_D = [(5.5V - 3V) \times 250mA] + (5.5V \times 0.95mA) = 0.63W$$

$$\text{SOT - 23: } T_J = 25^\circ\text{C} + (205.9^\circ\text{C/W} \times 0.63W) = 154.72^\circ\text{C}$$

$$\text{SOT - 223: } T_J = 25^\circ\text{C} + (53.1^\circ\text{C/W} \times 0.63W) = 58.45^\circ\text{C}$$

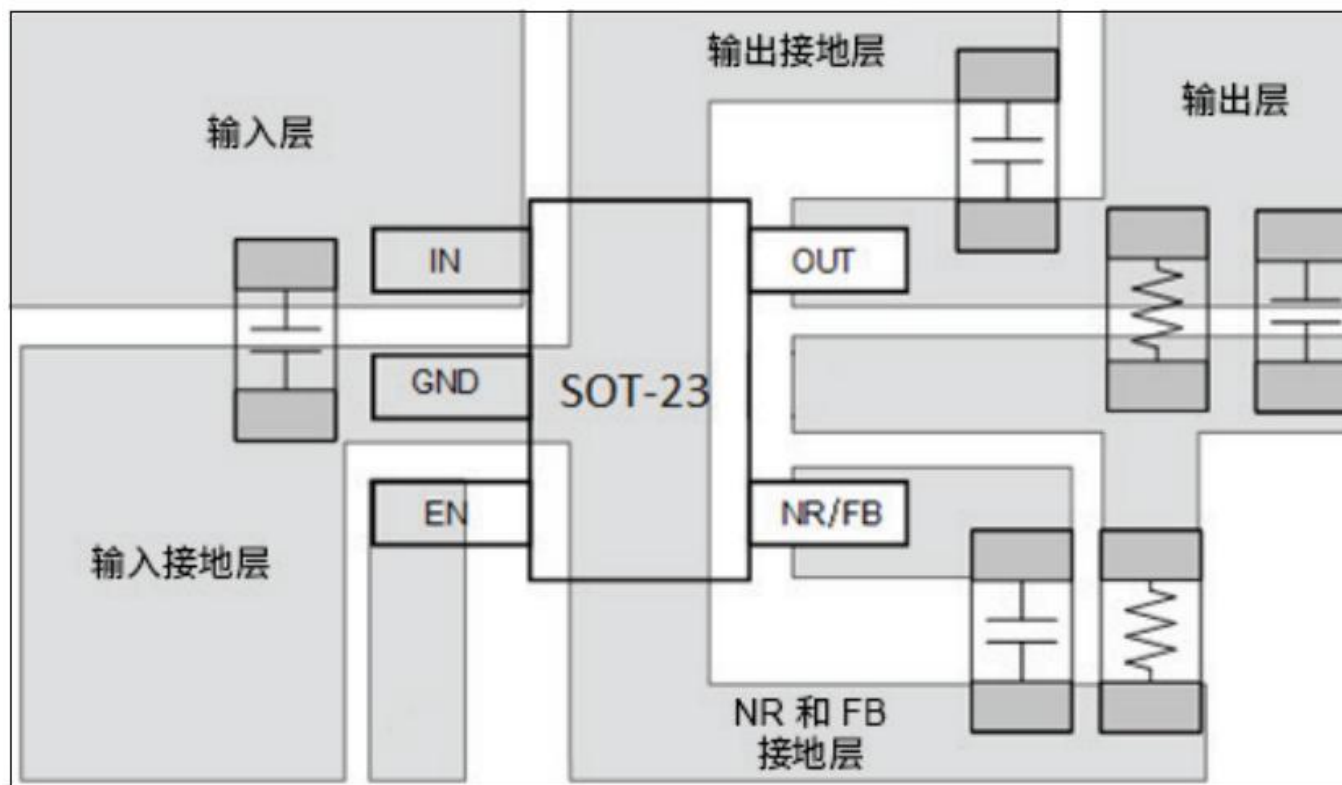
结温为 154.72°C 的器件不仅超过了建议的温度规范，还非常接近热关断温度。关断温度通常为 160°C；这意味着器件结温高于 160°C 时会激活器件内部的热保护电路。此热保护电路会禁用输出电路，使器件温度下降，防止器件因过热而受到损坏。当器件的结温降至 140°C 左右时，会禁用热保护电路并重新启用输出电路。如果不降低环境温度和/或功耗，器件可能会在热保护电路的作用下反复接通和断开。如果不降低环境温度和/或功耗，则必须更改设计才能获得适当的性能。





# LDO 电路设计及注意-散热

增大接地层、VIN 和 VOUT 接触层的尺寸



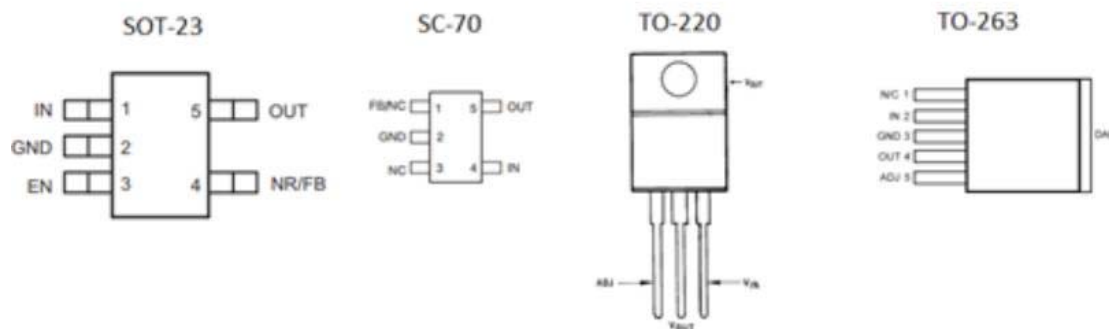


# LDO 电路设计及注意-散热

## 加装散热器

散热器会降低  $R_{\theta JA}$ ，但会增大系统尺寸、增加系统成本。选择散热器时，底板的尺寸应与其所连接的器件的尺寸相似。这有助于在散热器表面均匀散热。如果散热器尺寸与其所连接器件表面的尺寸不尽相同，热阻会增大。

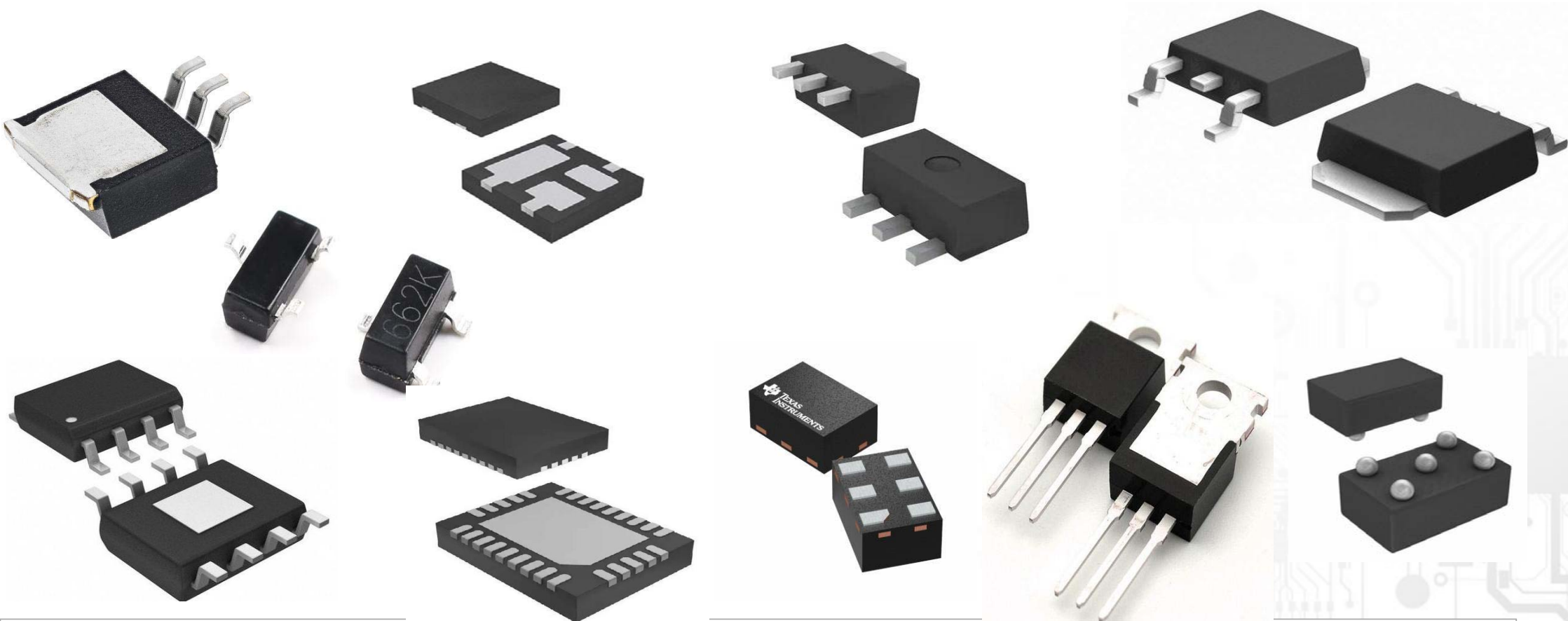
考虑到封装的物理尺寸，SC-70 (2mm × 1.25mm) 和 SOT-23 (2.9mm × 1.6mm) 等封装通常不与散热器搭配使用。另一方面，可以将晶体管外形 (TO)-220 (10.16mm × 8.7mm) 和 TO-263 (10.16mm × 9.85mm) 封装与散热器搭配使用。





电源工程师培训授证项目

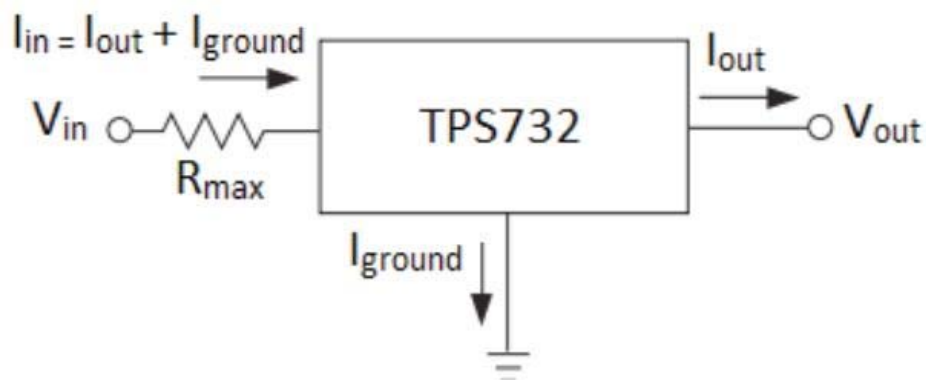
# LDO 电路设计及注意-散热





# LDO 电路设计及注意-散热

## 串接功率电阻



$$V_{IN} - [(I_{OUT} + I_{ground}) \times R_{max}] = V_{OUT} + V_{dropout}$$

$$R_{max} = \frac{V_{IN} - V_{OUT} - V_{dropout}}{I_{OUT} + I_{ground}}$$

选择适合的电阻，确保不会超过其“额定功耗”。此额定值表示在不损坏自身的情况下电阻可以将多少瓦功率转化为热量。因此，如果  $V_{IN} = 5.5V$ 、 $V_{OUT} = 3V$ 、 $V_{DROPOUT} = 0.15V$ （取自数据表）、 $I_{OUT} = 250mA$  且  $I_{GROUND} = 0.95mA$ （取自数据表），则：

$$R_{max} = \frac{5.5V - 3V - 0.15V}{250mA + 0.95mA} = 9.36\Omega$$

$$P_{D(R_{max})} = (250mA + 0.95mA)^2 \times 9.36\Omega = 0.59W$$

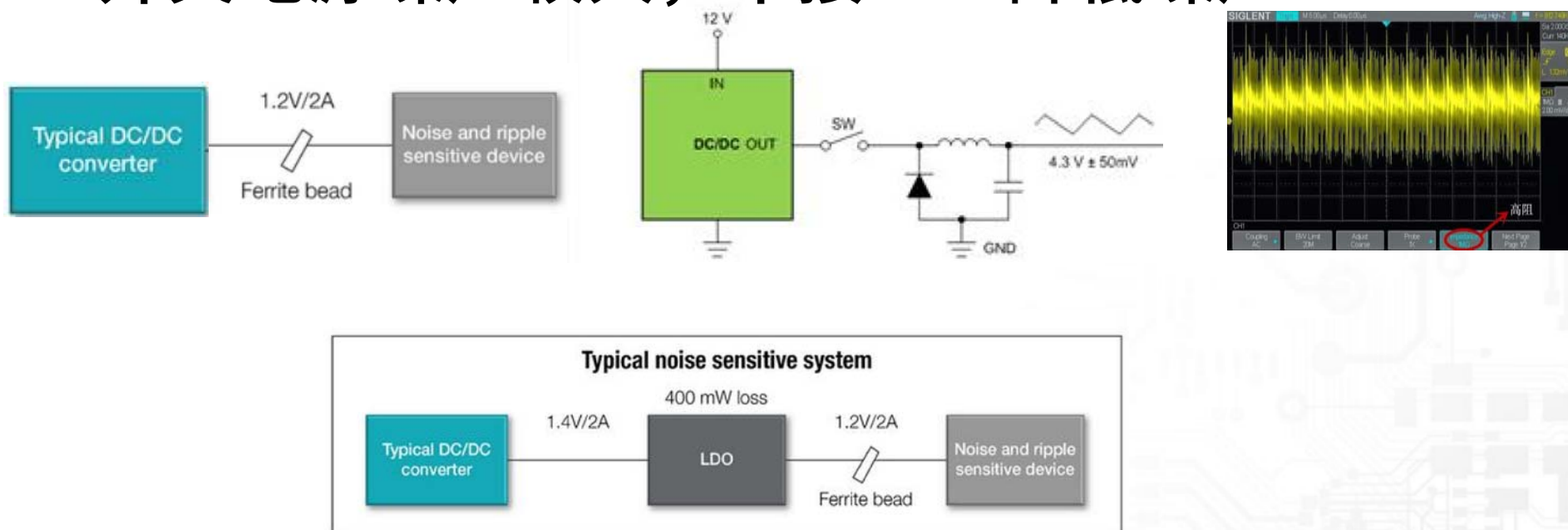


# 03 LDO应用



## 应用场景

### DCDC开关电源噪声较大，串接LDO降低噪声



使用直流/直流（DC/DC）转换器、LDO 和铁氧体磁珠滤波器的典型低噪声架构





# 应用场景

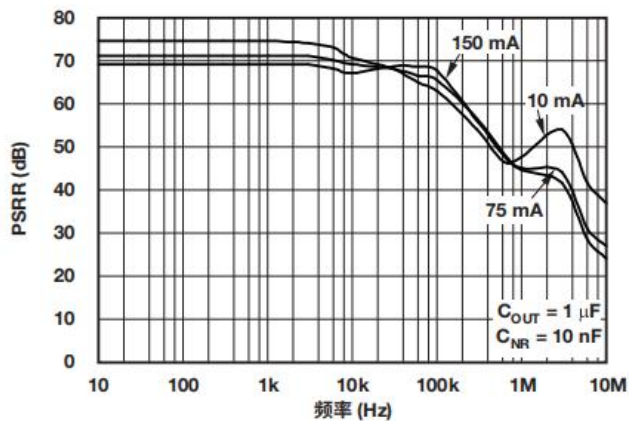
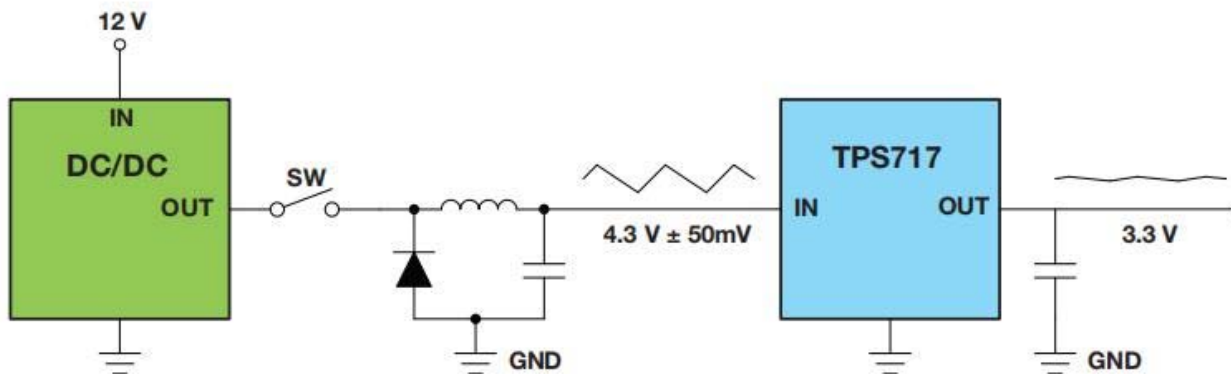


图 2:  $V_{IN} - V_{OUT} = 1V$  时 TPS717 的 PSRR 曲线。

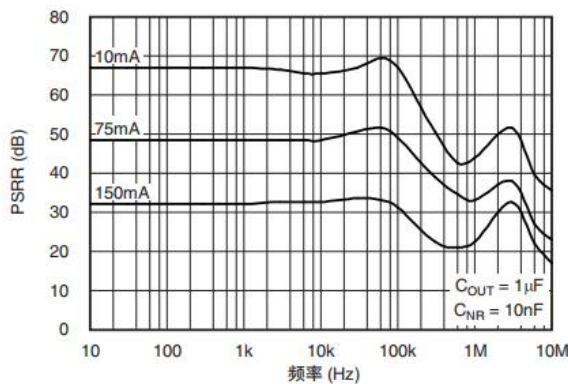


图 3:  $V_{IN} - V_{OUT} = 0.25V$  时 TPS717 的 PSRR 曲线。

在以下条件下，1MHz 时的 PSRR 指定为 45dB。

- $I_{OUT} = 150mA$
- $V_{IN} - V_{OUT} = 1V$
- $C_{OUT} = 1\mu F$

假设这些条件与具体的应用条件相符。在此情况下，45dB 相当于 178 的衰减系数。可以预计，输入端的  $\pm 50mV$  纹波在输出端将被降至  $\pm 281\mu V$ 。





# 应用场景

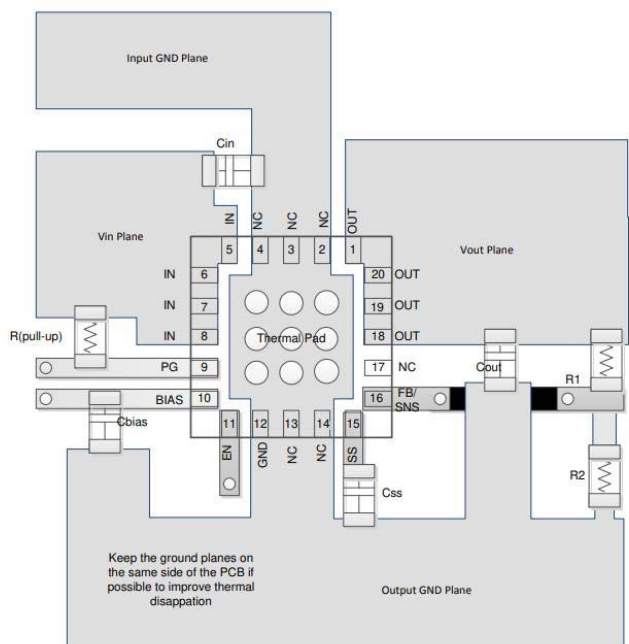
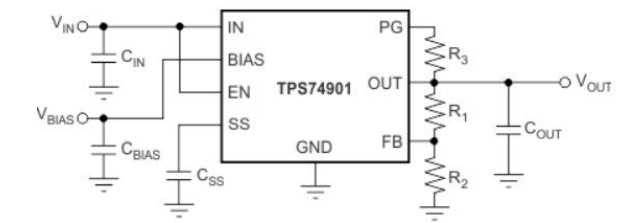
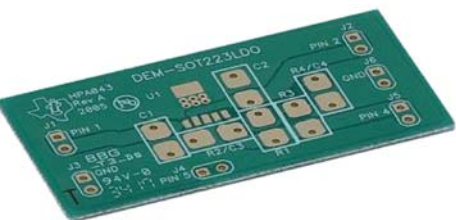


图 8-10. Layout Schematic (RGW Package)

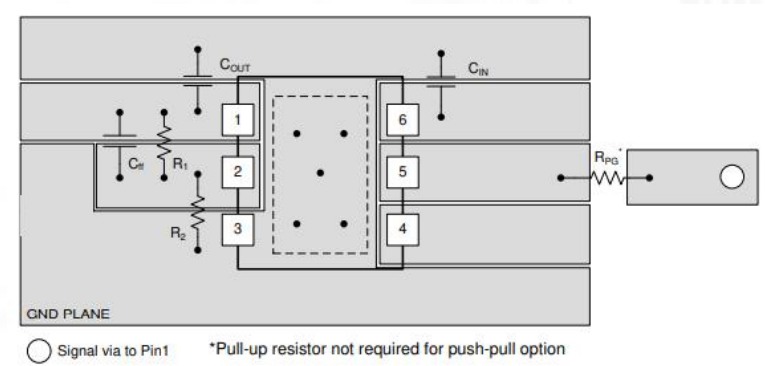
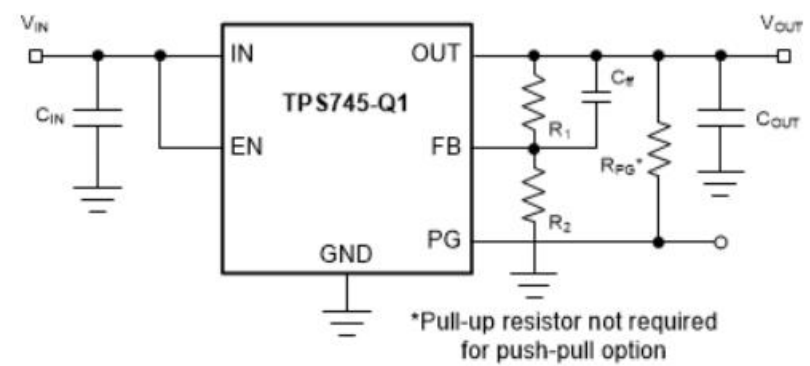
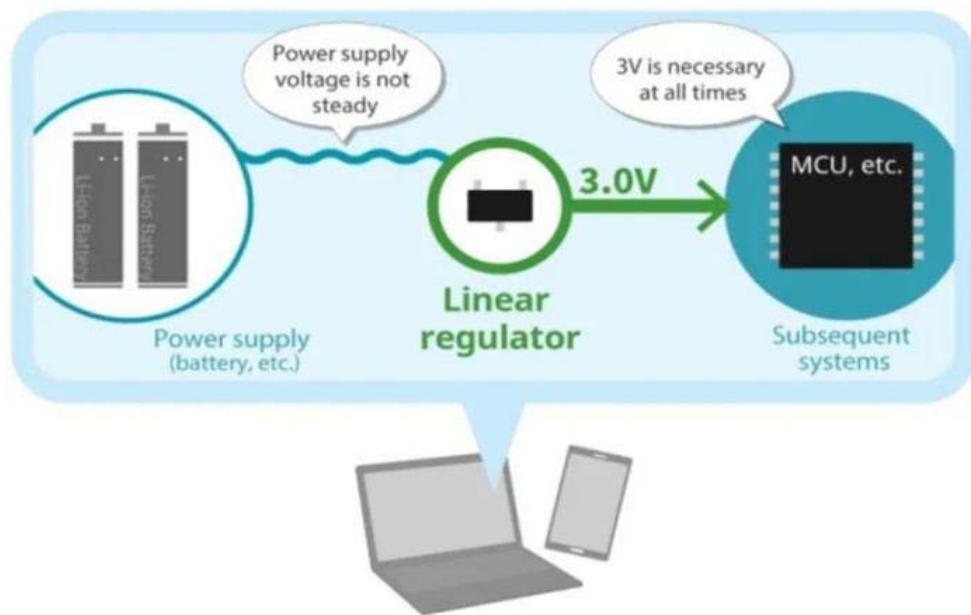


图 10-1. Layout Example for the DRV Package



# 应用场景





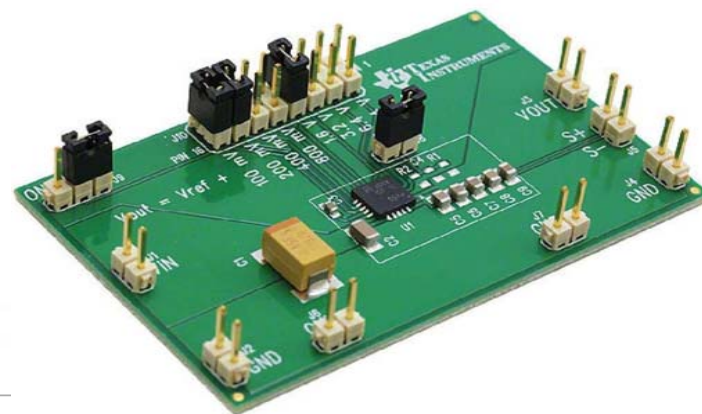
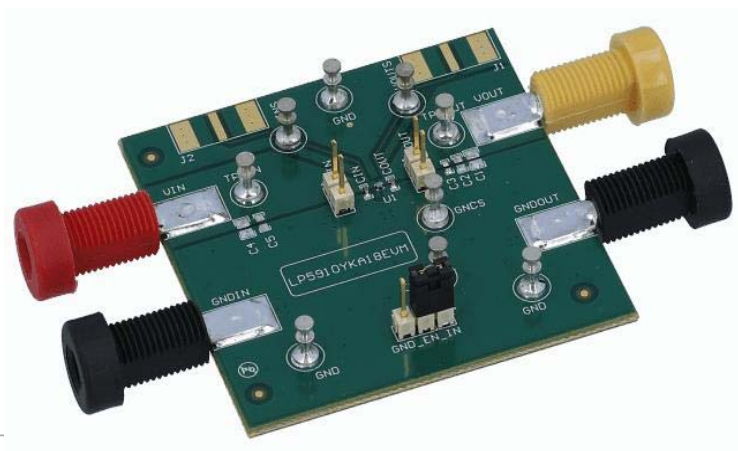
# 04 小结



## 小结

**LDO优点：便宜、简单、低噪声、纹波小、响应快、尺寸小**

**LDO缺点：效率低、输入输出电压差不能太大、负载不能太大、发热量比较大**





**谢 谢!**