

# 和电源大咖一起夯 基础（第一部分）

课程回放：

请微信扫描二维码，  
获取课程观看链接



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

## ADI 智库

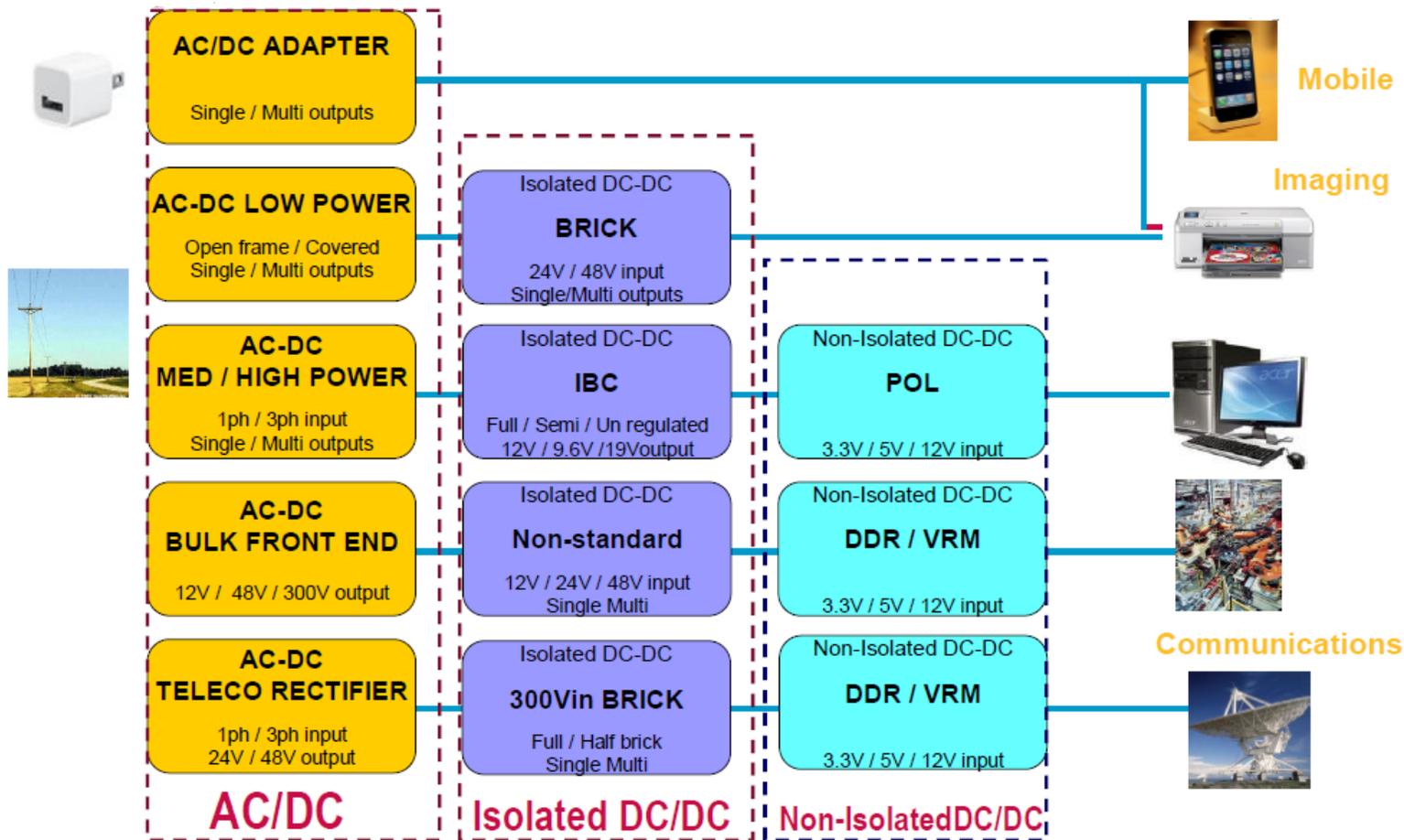
一站式电子技术宝库

# 第一讲：电源系统构成及基础原理、概念



微信扫描二维码  
获取课程观看链接

# 电源系统架构



IBC-Intermediate Bus Converter  
POL-Point of Load  
DDR-Double Data Rate  
VRM-Voltage Regulator Module

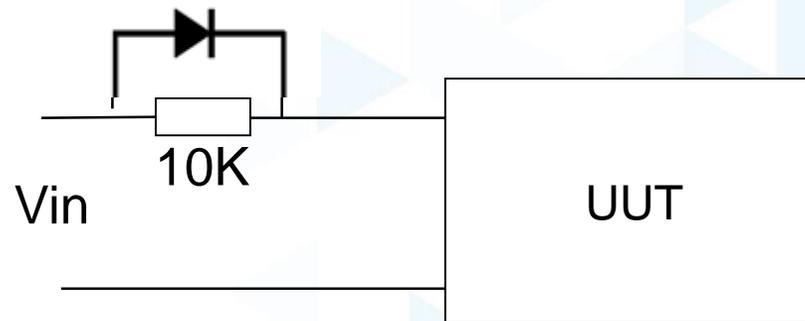
# 效率及静态电流的测试

## 1. 效率测试

- $P_{out}/P_{in}$
- 冷机效率
- 热机效率

## 2. 静态电流测试

- 如何使用普通的3位半万用表测量几微安的静态电流？



## 1. 输出电压调整率

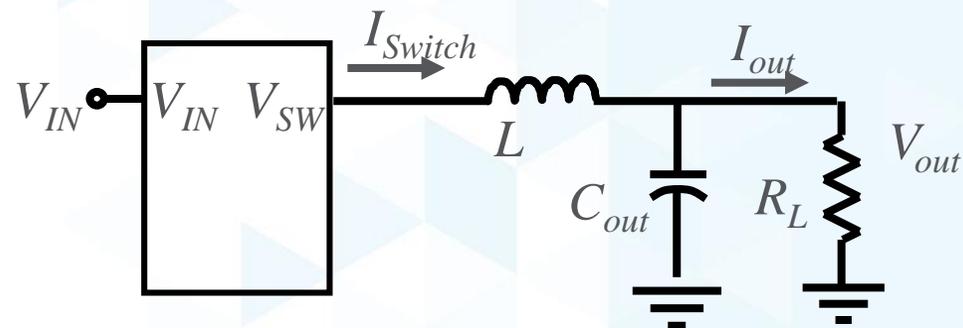
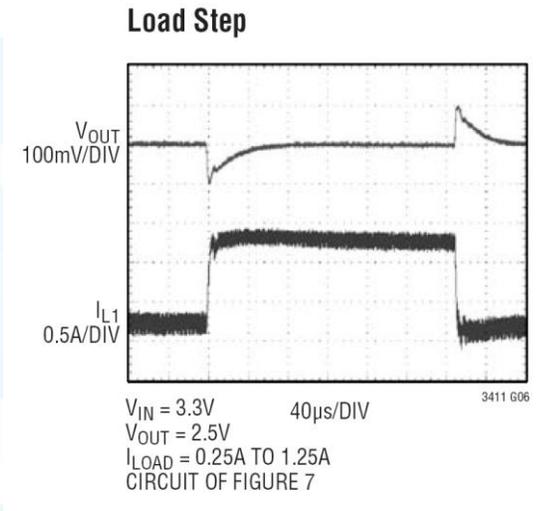
- 源调整率
- 负载调整率
- 温度调整率

## 2. 纹波测量

- 20MHz 带宽
- 最小的接地环
- 测量位置

## 3. 动态负载测试

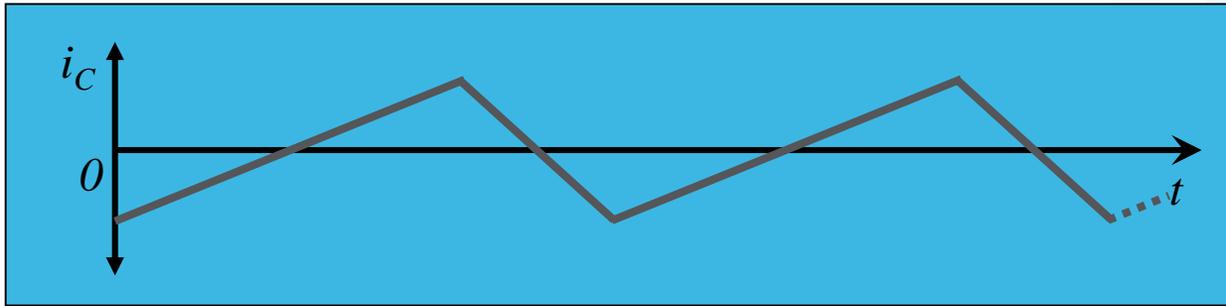
- 电子负载
- 变化斜率
- 电容对动态的影响
- 电感对动态的影响



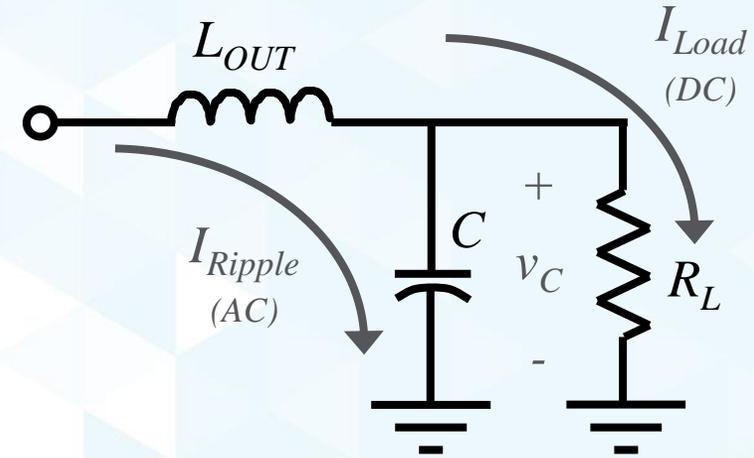
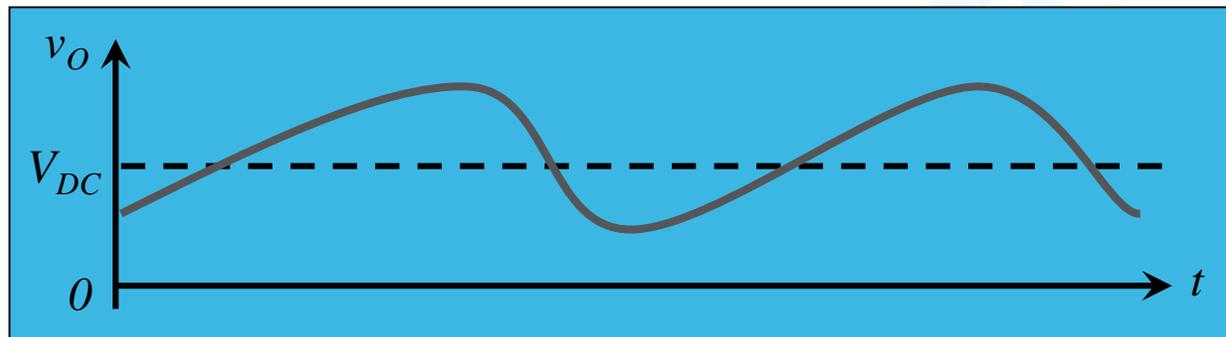
# 纹波如何产生

- ◆ 电感的纹波电流施加在电容上
- ◆ 容性分量和阻性分量

$$I_C = I_{Ripple}$$



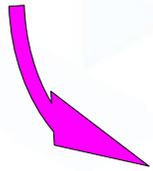
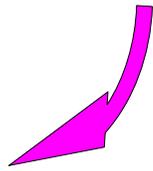
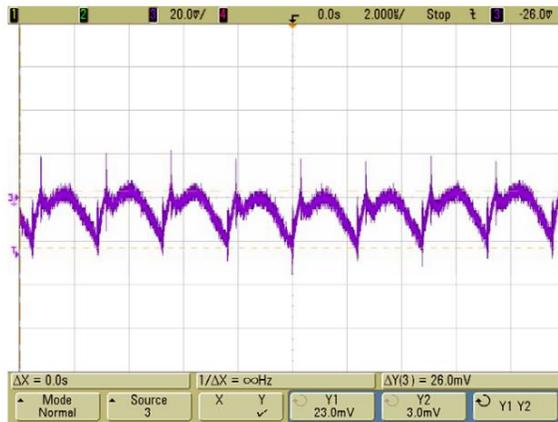
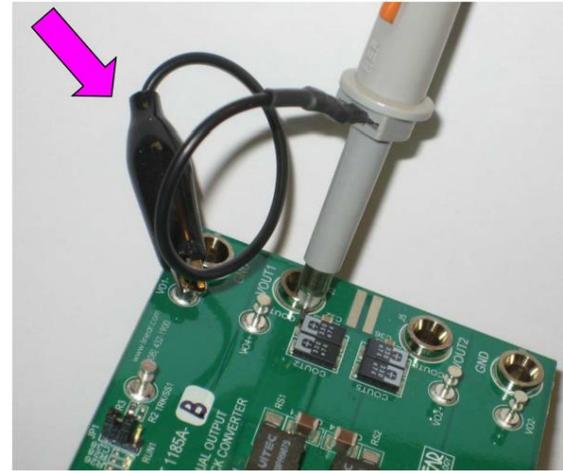
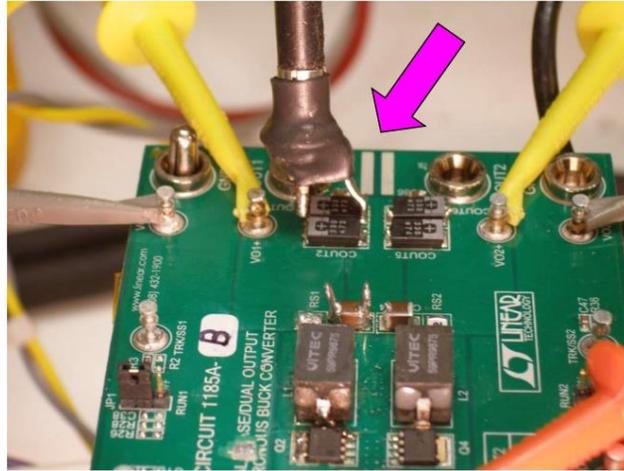
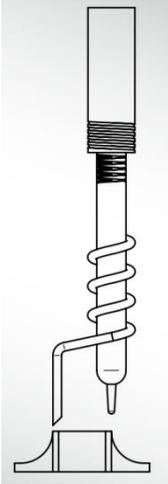
- ◆ 纹波电流流过电容产生纹波电压



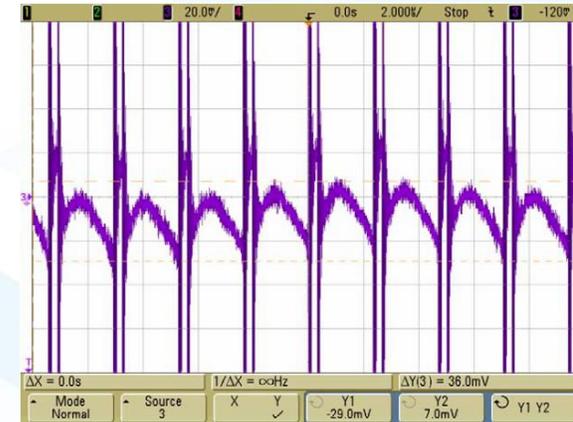
$$V_{out}(t) = V_{dc} + V_{ac}(t)$$

# 纹波如何测量

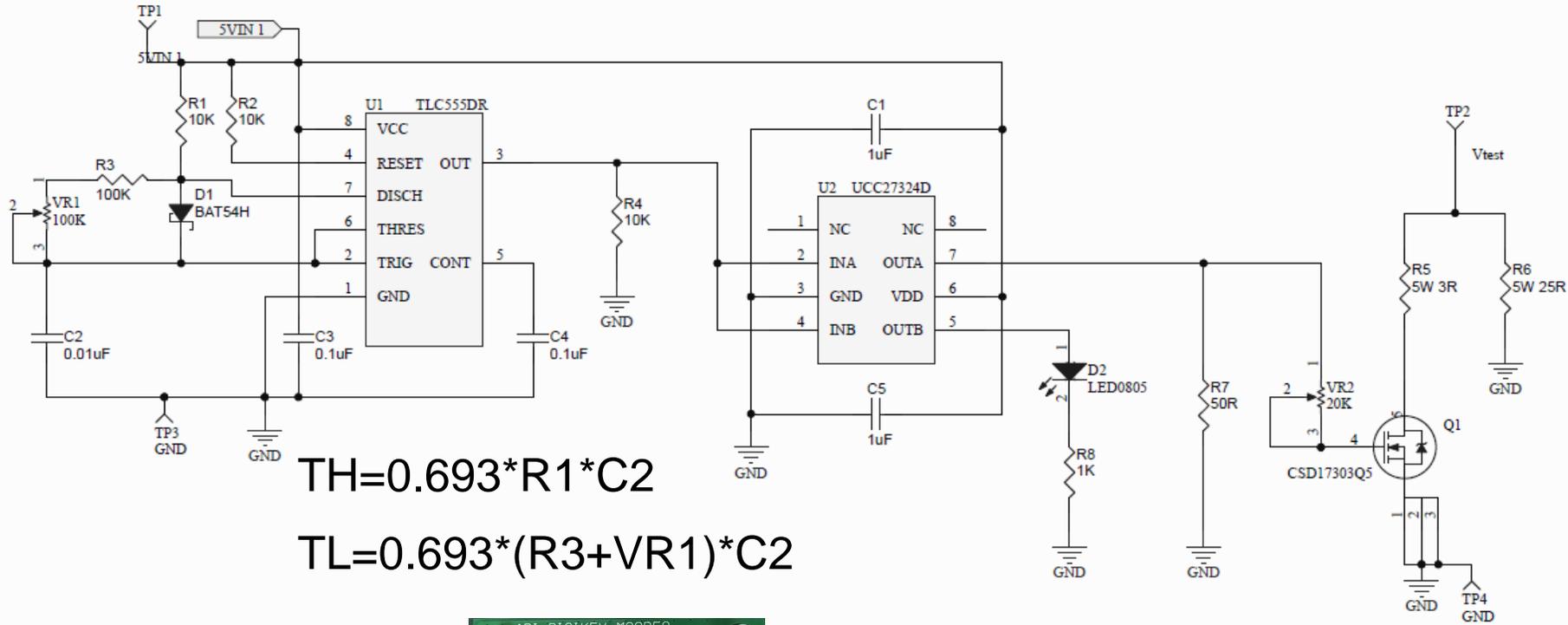
- 减小地线环!



20mV/div.

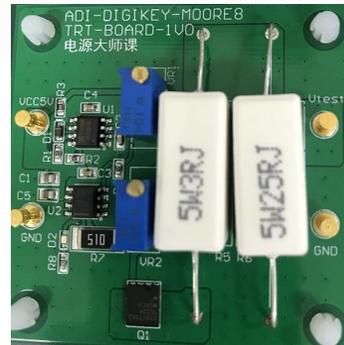


# 动态负载板

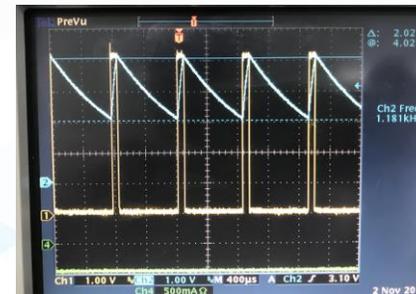


$$TH=0.693 \cdot R1 \cdot C2$$

$$TL=0.693 \cdot (R3+VR1) \cdot C2$$



Dynamic Load Board



Key waveforms

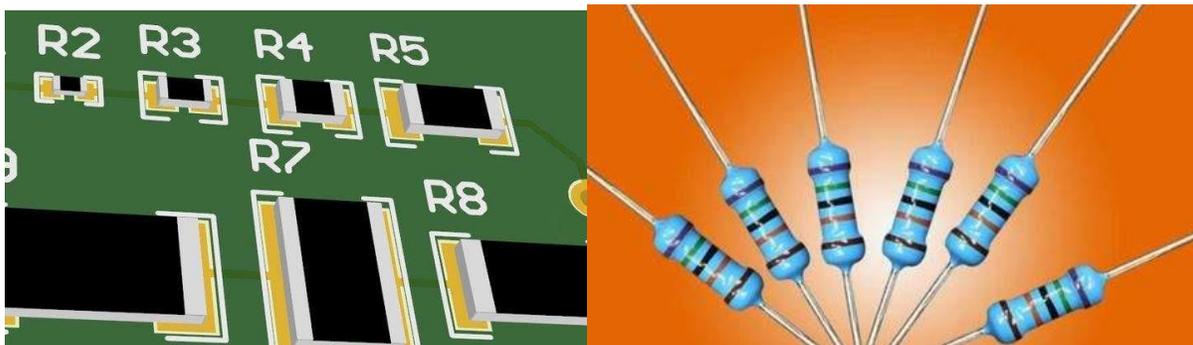
# 第二讲：基础元器件 原理特性及在电源电 路中的选择（上）



微信扫描二维码  
获取课程观看链接



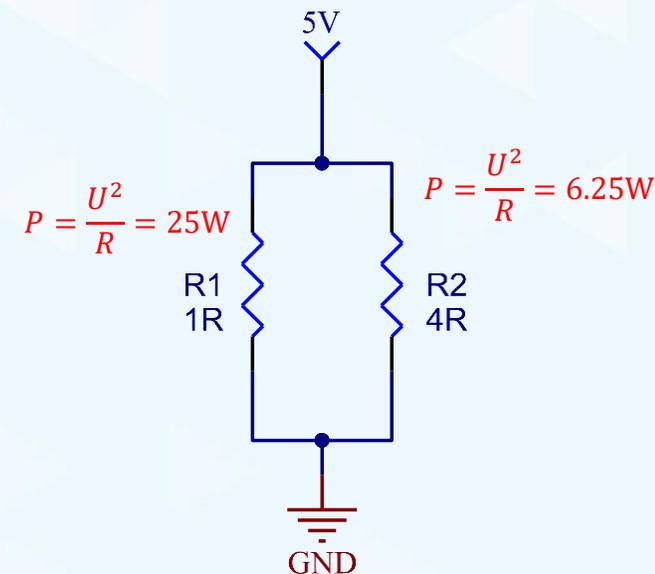
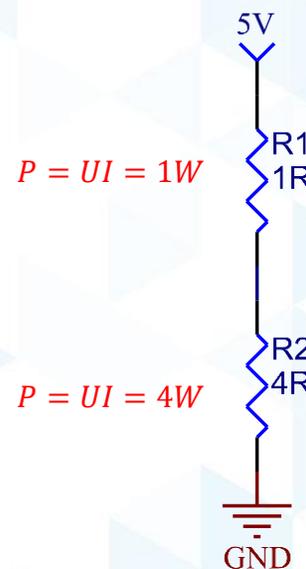
# 基础元器件特性-电阻



欧姆定理  $I = \frac{U}{R}$

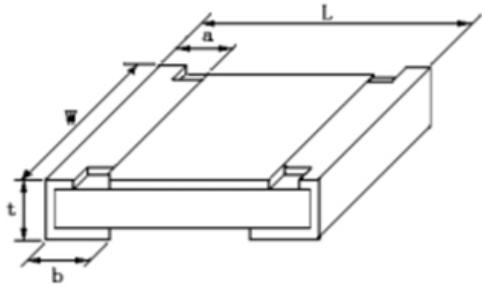
电阻承受的功率  $P = UI = \frac{U^2}{R}$

## 电阻串并联问题



# 基础元器件特性-电阻

## 电阻封装与功率问题



贴片电阻的封装与尺寸如下表：

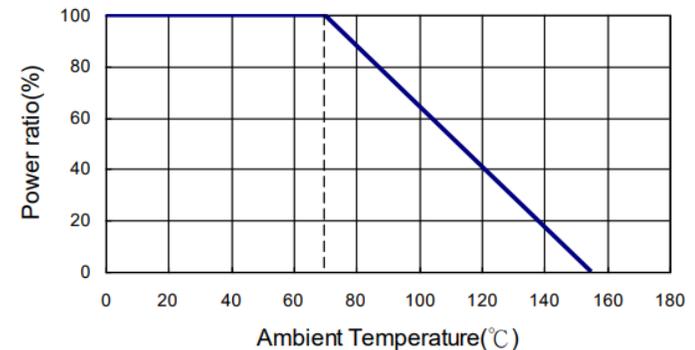
| 英制 (mil) | 公制 (mm) | 长(L) (mm) | 宽(W) (mm) | 高(t) (mm) | a (mm)    | b (mm)    |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0201     | 0603    | 0.60±0.05 | 0.30±0.05 | 0.23±0.05 | 0.10±0.05 | 0.15±0.05 |
| 0402     | 1005    | 1.00±0.10 | 0.50±0.10 | 0.30±0.10 | 0.20±0.10 | 0.25±0.10 |
| 0603     | 1608    | 1.60±0.15 | 0.80±0.15 | 0.40±0.10 | 0.30±0.20 | 0.30±0.20 |
| 0805     | 2012    | 2.00±0.20 | 1.25±0.15 | 0.50±0.10 | 0.40±0.20 | 0.40±0.20 |
| 1206     | 3216    | 3.20±0.20 | 1.60±0.15 | 0.55±0.10 | 0.50±0.20 | 0.50±0.20 |
| 1210     | 3225    | 3.20±0.20 | 2.50±0.20 | 0.55±0.10 | 0.50±0.20 | 0.50±0.20 |
| 1812     | 4832    | 4.50±0.20 | 3.20±0.20 | 0.55±0.10 | 0.50±0.20 | 0.50±0.20 |
| 2010     | 5025    | 5.00±0.20 | 2.50±0.20 | 0.55±0.10 | 0.60±0.20 | 0.60±0.20 |
| 2512     | 6432    | 6.40±0.20 | 3.20±0.20 | 0.55±0.10 | 0.60±0.20 | 0.60±0.20 |

Note：我们俗称的封装是指英制。

贴片电阻的封装尺寸及与功率的对应关系

| 封装       |         | 额定功率 (70° C) | 外形尺寸 (mm)  |
|----------|---------|--------------|------------|
| 英制 (mil) | 公制 (mm) | ——           | ——         |
| 0201     | 0603    | 1/20W        | 0.6x0.3 mm |
| 0402     | 1005    | 1/16W        | 1.0x0.5 mm |
| 0603     | 1608    | 1/10W        | 1.6x0.8 mm |
| 0805     | 2012    | 1/8W         | 2.0x1.2 mm |
| 1206     | 3216    | 1/4W         | 3.2x1.6 mm |
| 1210     | 3225    | 1/4W         | 3.2x2.5 mm |
| 1812     | 4532    | 1/2W         | 4.5x3.2 mm |
| 2512     | 6432    | 1W           | 6.4x3.2 mm |

### Derating Curve



## 标准电阻取值问题

电路计算结果需要一个18.9K电阻，为何买不到

### ► E24系列阻值 (5%)

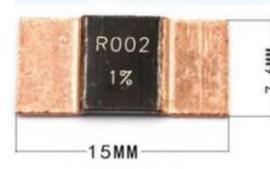
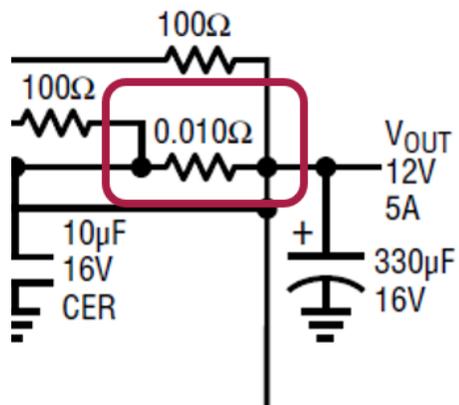
|    |    |    |
|----|----|----|
| 10 | 22 | 47 |
| 11 | 24 | 51 |
| 12 | 27 | 56 |
| 13 | 30 | 62 |
| 15 | 33 | 68 |
| 16 | 36 | 75 |
| 18 | 39 | 82 |
| 20 | 43 | 91 |

### ► E96系列阻值 (1%)

| Value | Code |
|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| 100   | 1    | 147   | 17   | 215   | 33   | 316   | 49   | 464   | 65   | 681   | 81   |
| 102   | 2    | 150   | 18   | 221   | 34   | 324   | 50   | 475   | 66   | 698   | 82   |
| 105   | 3    | 154   | 19   | 226   | 35   | 332   | 51   | 487   | 67   | 715   | 83   |
| 107   | 4    | 158   | 20   | 232   | 36   | 340   | 52   | 499   | 68   | 732   | 84   |
| 110   | 5    | 162   | 21   | 237   | 37   | 348   | 53   | 511   | 69   | 750   | 85   |
| 113   | 6    | 165   | 22   | 243   | 38   | 357   | 54   | 523   | 70   | 768   | 86   |
| 115   | 7    | 169   | 23   | 249   | 39   | 365   | 55   | 536   | 71   | 787   | 87   |
| 118   | 8    | 174   | 24   | 255   | 40   | 374   | 56   | 549   | 72   | 806   | 88   |
| 121   | 9    | 178   | 25   | 261   | 41   | 383   | 57   | 562   | 73   | 825   | 89   |
| 124   | 10   | 182   | 26   | 267   | 42   | 392   | 58   | 576   | 74   | 845   | 90   |
| 127   | 11   | 187   | 27   | 274   | 43   | 402   | 59   | 590   | 75   | 866   | 91   |
| 130   | 12   | 191   | 28   | 280   | 44   | 412   | 60   | 604   | 76   | 887   | 92   |
| 133   | 13   | 196   | 29   | 287   | 45   | 422   | 61   | 619   | 77   | 909   | 93   |
| 137   | 14   | 200   | 30   | 294   | 46   | 432   | 62   | 634   | 78   | 931   | 94   |
| 140   | 15   | 205   | 31   | 301   | 47   | 442   | 63   | 649   | 79   | 953   | 95   |
| 143   | 16   | 210   | 32   | 309   | 48   | 453   | 64   | 665   | 80   | 976   | 96   |

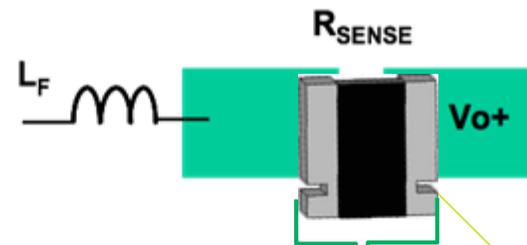
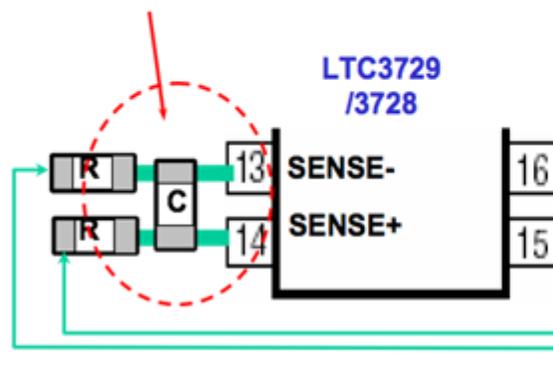
# 基础元器件特性-特殊电阻

## 检流电阻 Current Sensor Resistor



检流电阻  
开尔文连接

走线直接连接  
请勿打孔换层



过孔请勿连接到系统其它电源

# 基础元器件特性-电容

## 铝电解电容

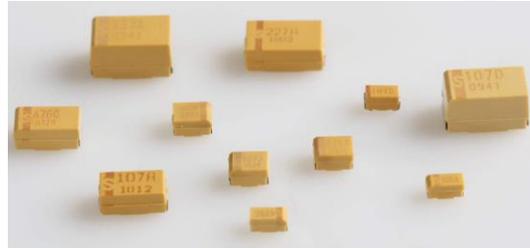


中大型体积，大容量  
耐压适中，有极性  
高ESR，用于储能  
价格低廉

铝电容的过压失效，  
铝电容的反向击穿，  
物理连接开路失效  
铝电容漏液失效



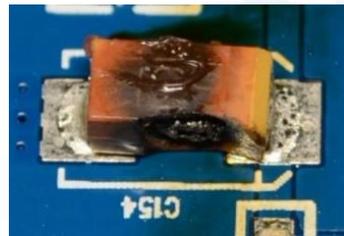
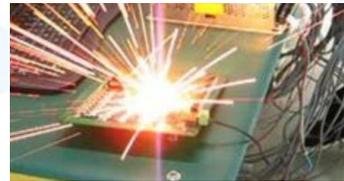
## 钽电容



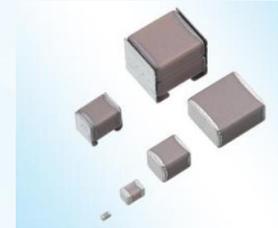
小体积，较大容量，  
耐压低，有极性  
ESR适中，宽工作温度  
价格适中

耐电压及电流能力弱  
失效的模式很恐怖

建议耐压按 2 倍选择

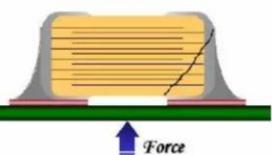
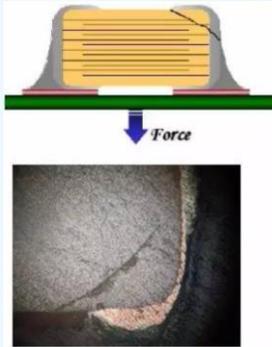


## 陶瓷电容

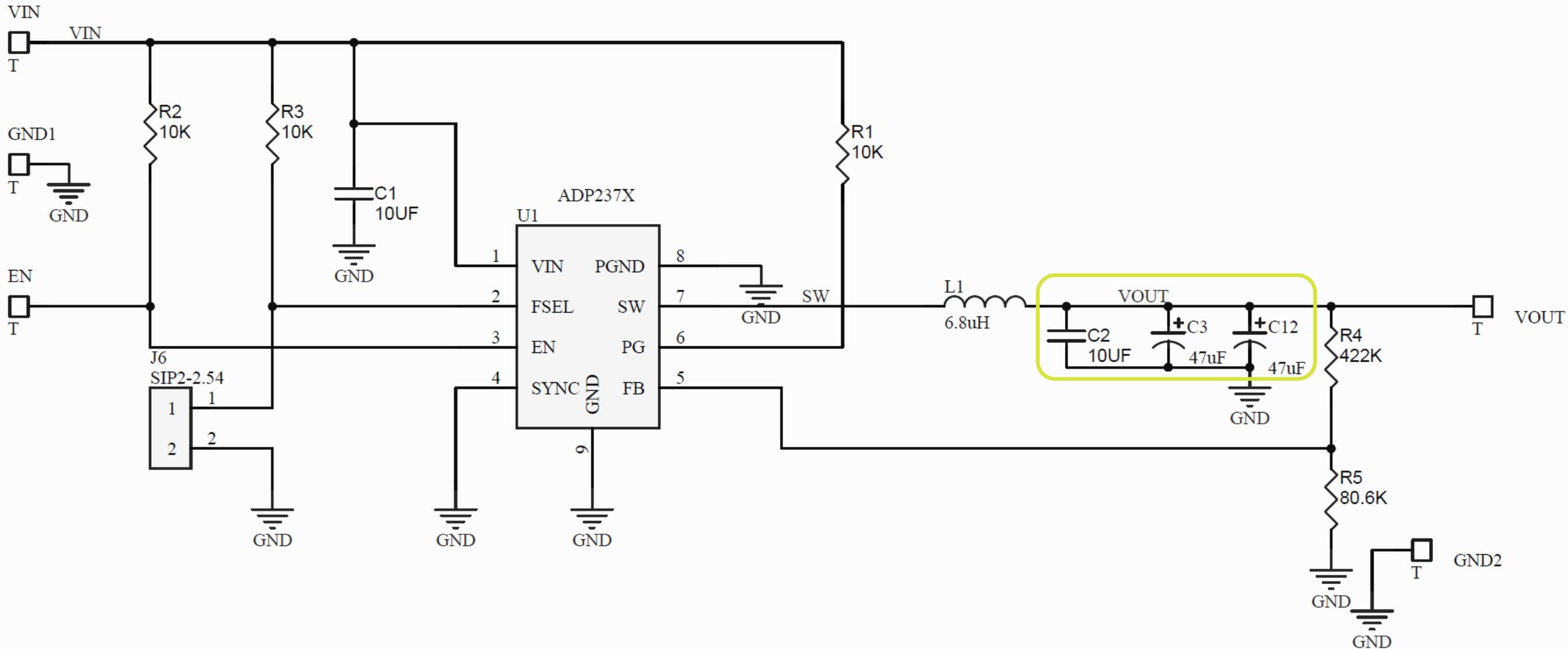


微小体积，小容量  
高耐压，无极性  
低ESR，高频特性好  
价格较贵

陶瓷电容过压失效  
焊接变形失效  
温度特性不稳定



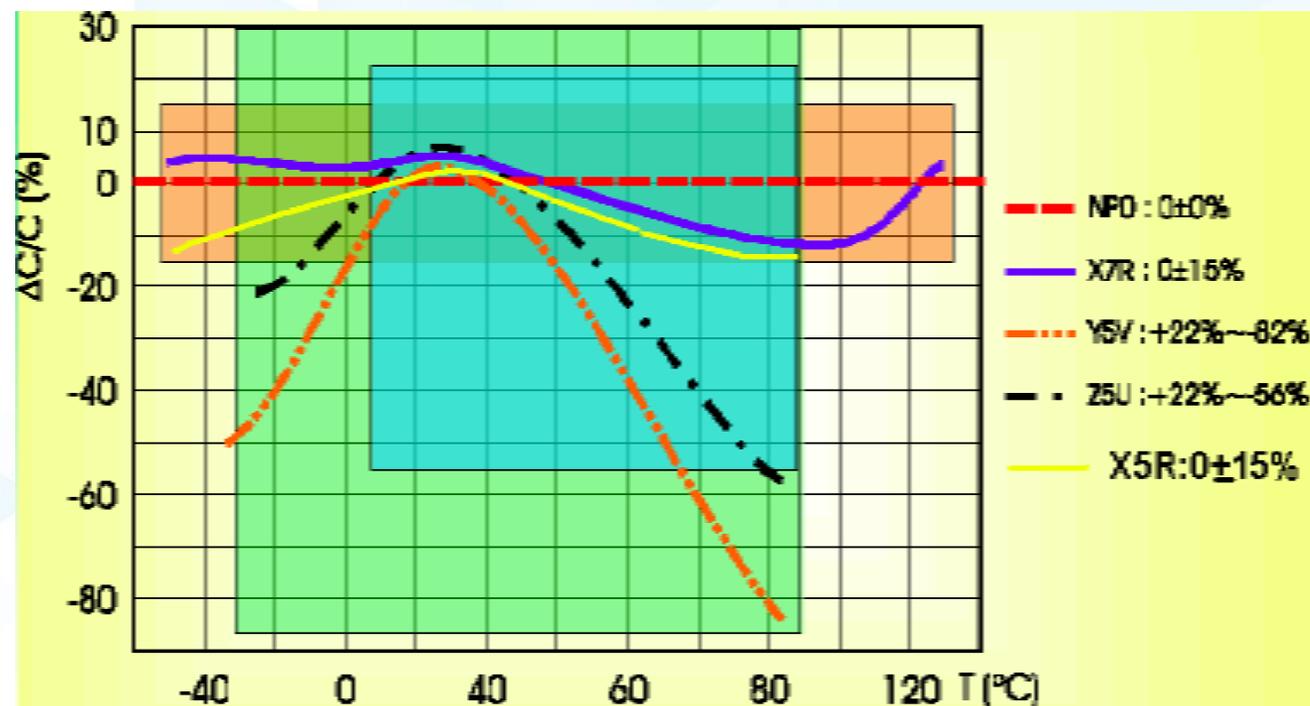
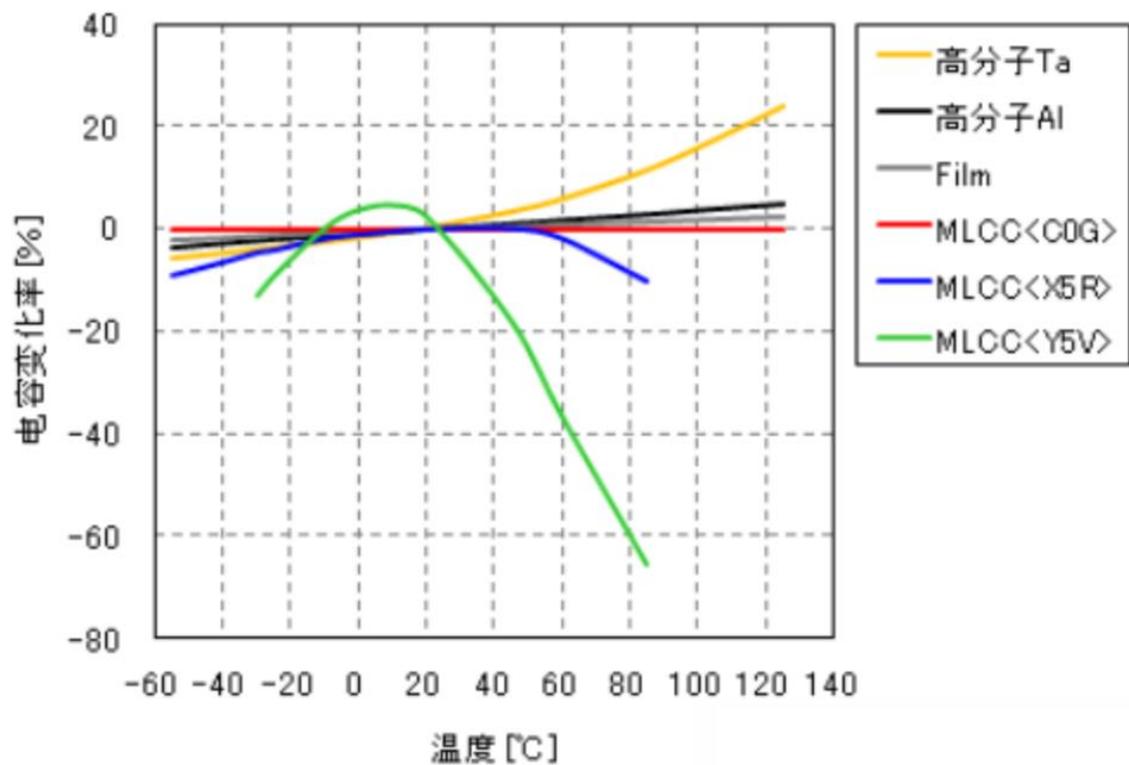
# 不同电容在同一电路中滤波效果对比实验



# 基础元器件特性-电容

|        | 铝电解电容                       | 钽电容                                       | 陶瓷电容                                |
|--------|-----------------------------|---|-------------------------------------|
| 电容量    | 0.1uF-3F                    | 0.1uF-1000uF                              | 0.5pF-100uF                         |
| 耐压     | 5V-500V                     | 2V-50V                                    | 2V-1000V                            |
| ESR    | 几十毫欧-2.5欧姆<br>(100KHZ/25°C) | 几十毫欧-几百毫欧<br>(100KHZ/25°C)                | 几毫欧-几百毫欧<br>(100KHZ/25°C)           |
| ESL    | 不超过100nH                    | 2nH左右                                     | 1-2nH                               |
| 工作频率范围 | 低频滤波, 小于600KHz              | 中低频滤波, 几百KHz-几MHz                         | 高频滤波, 几MHz-几GHz                     |
| 薄弱点    | 窄温度范围, 电解液会挥发, 纹波电流导致发热     | 必须降额使用, 否则电光闪烁, 飞花四溅                      | 焊接温度冲击容易导致失效, 抗弯曲能力较差, 不同材料温度特性差异巨大 |
| 建议     | 用于储能, 低于75°C环境, 不建议用与高频开关电源 | 15V以上直流电压滤波不建议使用, 特别是电源变化较快的场合, 浪涌冲击失效显著。 | 布线不要放在应力区, 避开高温区域。                  |

# 基础元器件特性-电容



# 第三讲：基础元器件 原理特性及在电源电 路中的选择（下）



微信扫描二维码  
获取课程观看链接

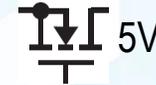
# NMOS vs. PMOS

## ▶ NMOS Pass Device

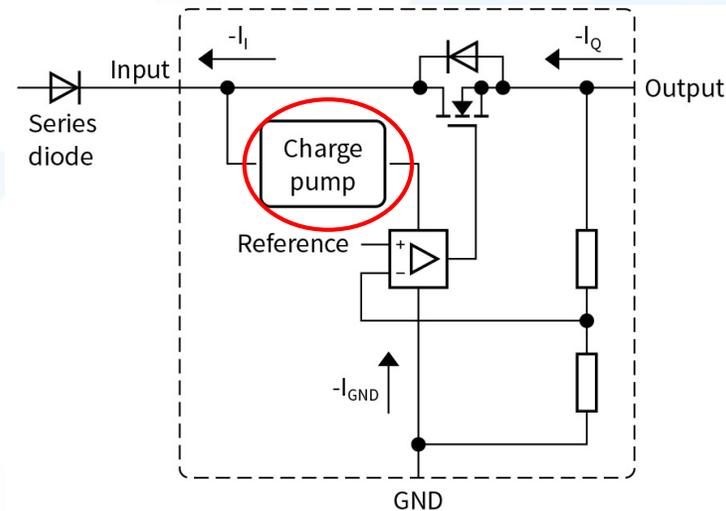
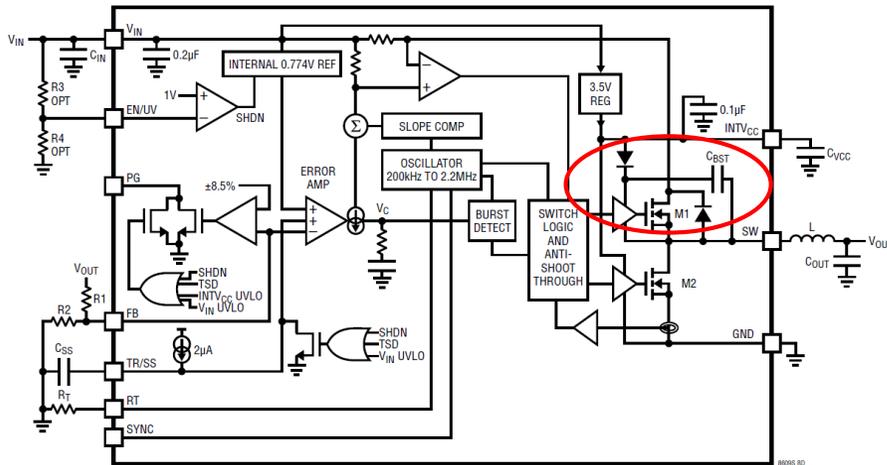
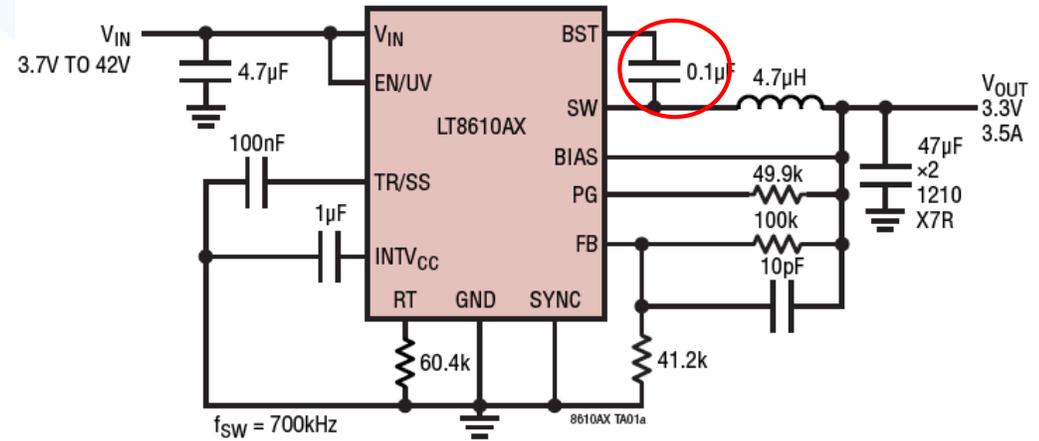
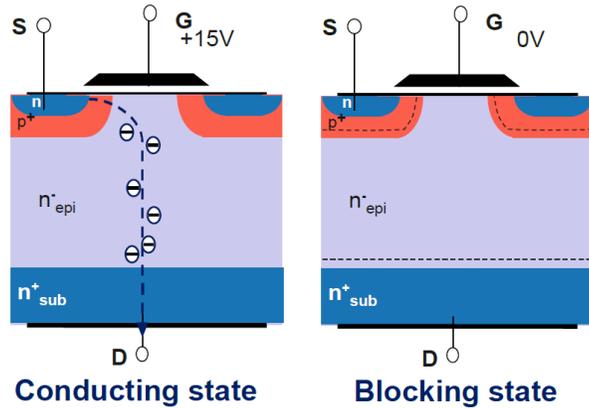
- 门极需要一个比源极更高的电压驱动;
- 更好的性能;
- 更多的选择;
- 更低的成本.

## ▶ PMOS Device

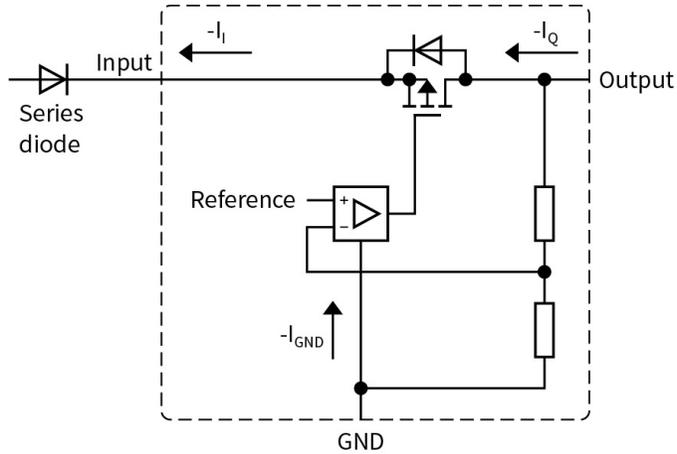
- 门极需要一个比源极低的电压驱动;
- 不需要更高的电压驱动, 驱动简单.



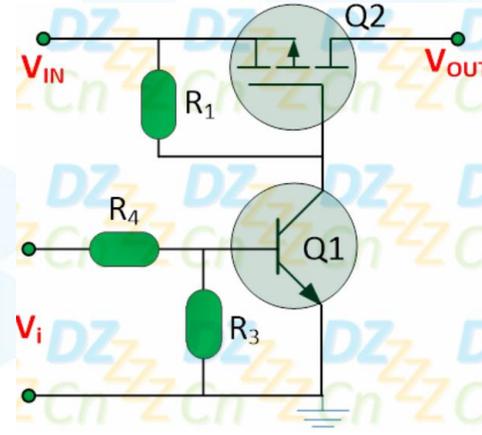
# N沟道 MOSFET



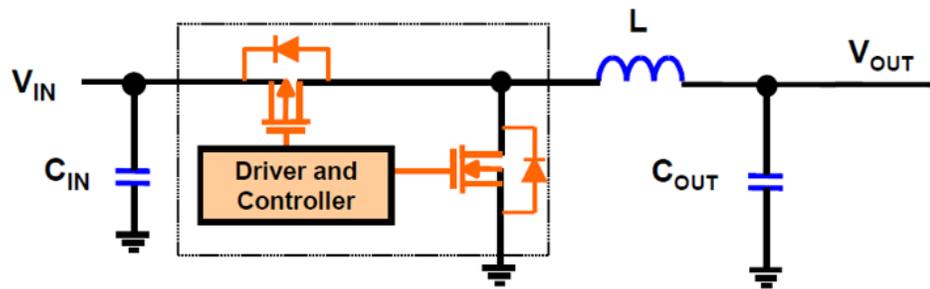
# P 沟道 MOSFET 应用



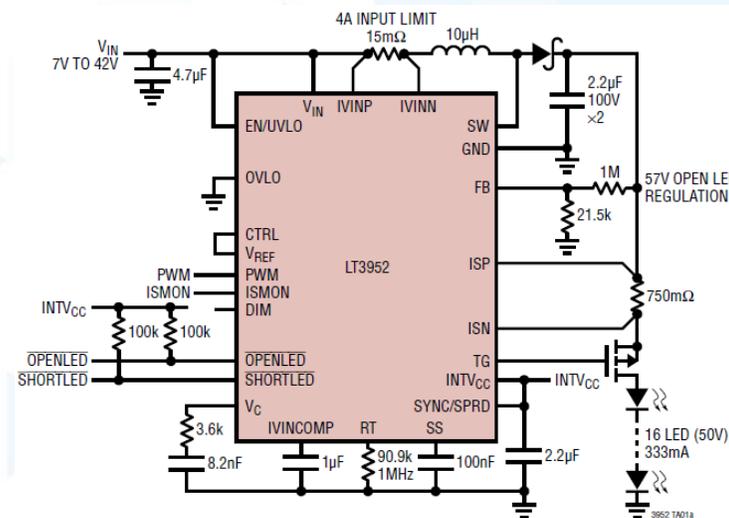
低静态电流LDO



负载开关



Switch应用



LED PWM调光

# MOSFET 关键参数

## 1. Drain-source 击穿电压- $V_{BR(DSS)}$

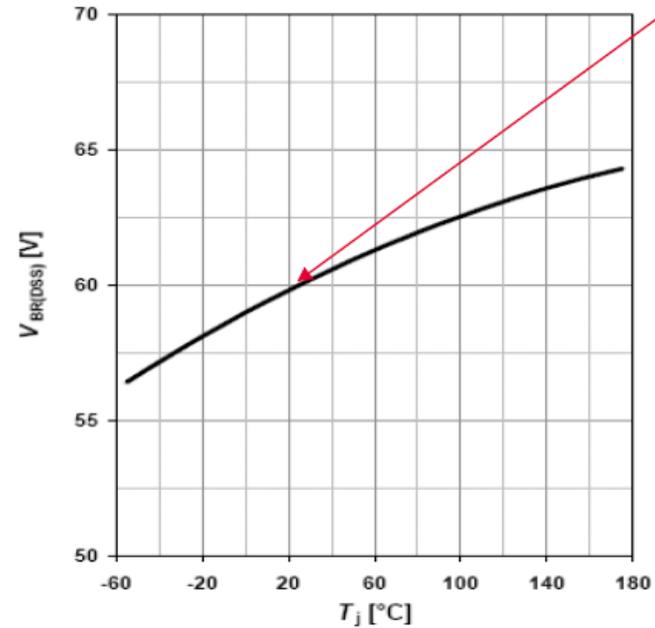
Electrical characteristics, at  $T_j=25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

### Static characteristics

|                                |               |                                      |    |   |   |   |
|--------------------------------|---------------|--------------------------------------|----|---|---|---|
| Drain-source breakdown voltage | $V_{(BR)DSS}$ | $V_{GS}=0\text{ V}, I_D=1\text{ mA}$ | 60 | - | - | V |
|--------------------------------|---------------|--------------------------------------|----|---|---|---|

### 3 Drain-source breakdown voltage

$$V_{BR(DSS)}=f(T_j); I_D=1\text{ mA}$$



IPP881N06N3

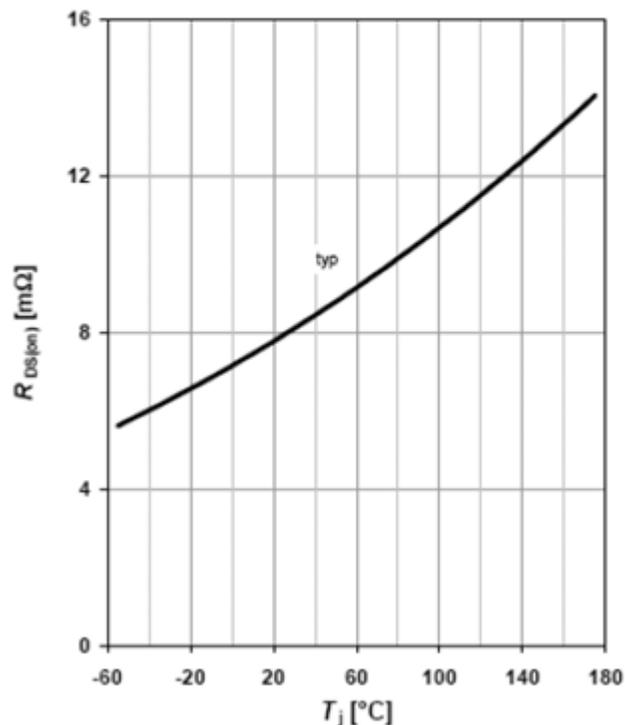
# MOSFET关键参数

## 2. 导通电阻 $R_{DS(on)}$

|                                  |              |                                       |   |   |     |           |
|----------------------------------|--------------|---------------------------------------|---|---|-----|-----------|
| Drain-source on-state resistance | $R_{DS(on)}$ | $V_{GS}=10\text{ V}, I_D=50\text{ A}$ | - | 8 | 9.3 | $m\Omega$ |
|----------------------------------|--------------|---------------------------------------|---|---|-----|-----------|

### 5 Drain-source on-state resistance

$$R_{DS(on)}=f(T_j); I_D=50\text{ A}; V_{GS}=10\text{ V}$$



- 导通电阻正温度系数，适合并联工作；
- 导通电阻越小，导通损耗越小；
- 导通电阻越小， $Q_g$ 就越大，相应的开关速度变慢；带来的开关损耗越大，高频工作下需要折中考虑。

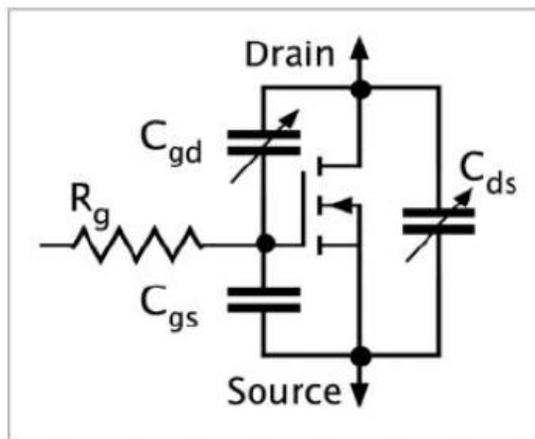
## 4. 最大结温

|                                   |                |             |    |
|-----------------------------------|----------------|-------------|----|
| Operating and storage temperature | $T_j, T_{stg}$ | -55 ... 150 | °C |
|-----------------------------------|----------------|-------------|----|

- 永远不能超过最大结温；
- 只能测量壳温，然后通过热阻计算结温；
- 合理的热降额确保可靠工作。

## 5. 动态电容和Qg

| Dynamic characteristics      |           |  |   |      |   |    |
|------------------------------|-----------|--|---|------|---|----|
| Input capacitance            | $C_{iss}$ | $V_{GS}=0\text{ V}, V_{DS}=25\text{ V},$<br>$f=1\text{ MHz}$               | - | 2910 | - | pF |
| Output capacitance           | $C_{oss}$ |  | - | 715  | - |    |
| Reverse transfer capacitance | $C_{rss}$ |  | - | 30   | - |    |
| Gate Charge Characteristics  |           |  |   |      |   |    |
| Gate to source charge        | $Q_{gs}$  | $V_{DD}=25\text{ V}, I_D=50\text{ A},$<br>$V_{GS}=0\text{ to }10\text{ V}$ | - | 16   | - | nC |
| Gate to drain charge         | $Q_{gd}$  |  | - | 3    | - |    |
| Gate charge total            | $Q_g$     |  | - | 36   | - |    |



不是一个固定值，取决于工作条件

- 作为开关时希望快速打开，需要一个驱动芯片提供瞬间大电流；
- 作为缓启动MOS，需要慢慢打开，有效抑制浪涌电流；

$$C_{iss} = C_{gs} + C_{gd}, C_{rss} = C_{gd}, \text{ and } C_{oss} = C_{ds} + C_{gd}.$$

# MOSFET关键参数

## 5. 体二极管

- 注意方向
- 性能和普通二极管类似（大的正向压降，大的反向恢复时间）



# 二极管

整流管:

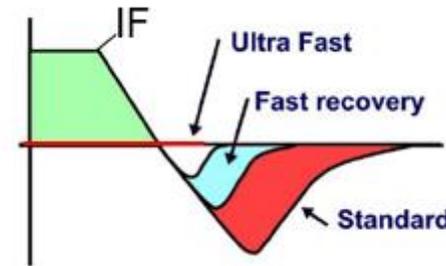
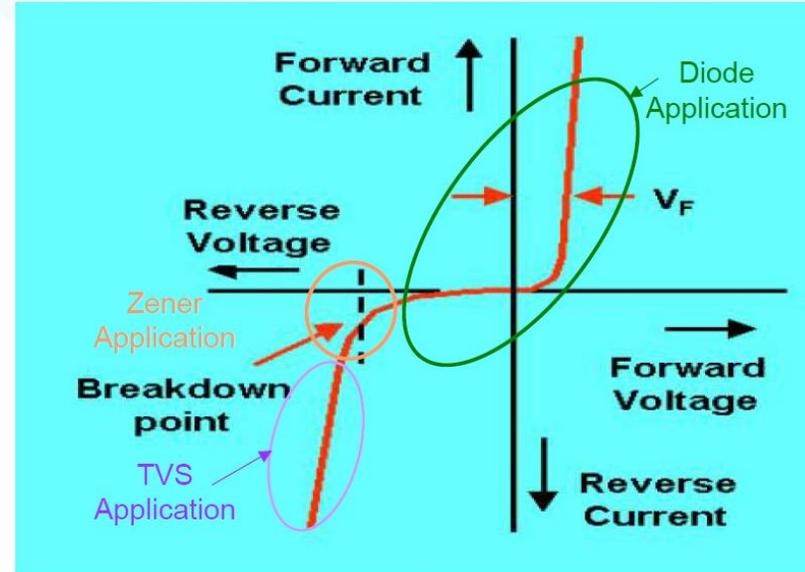
- 普通二极管
- 超快恢复二极管
- 肖特基二极管

稳压管:

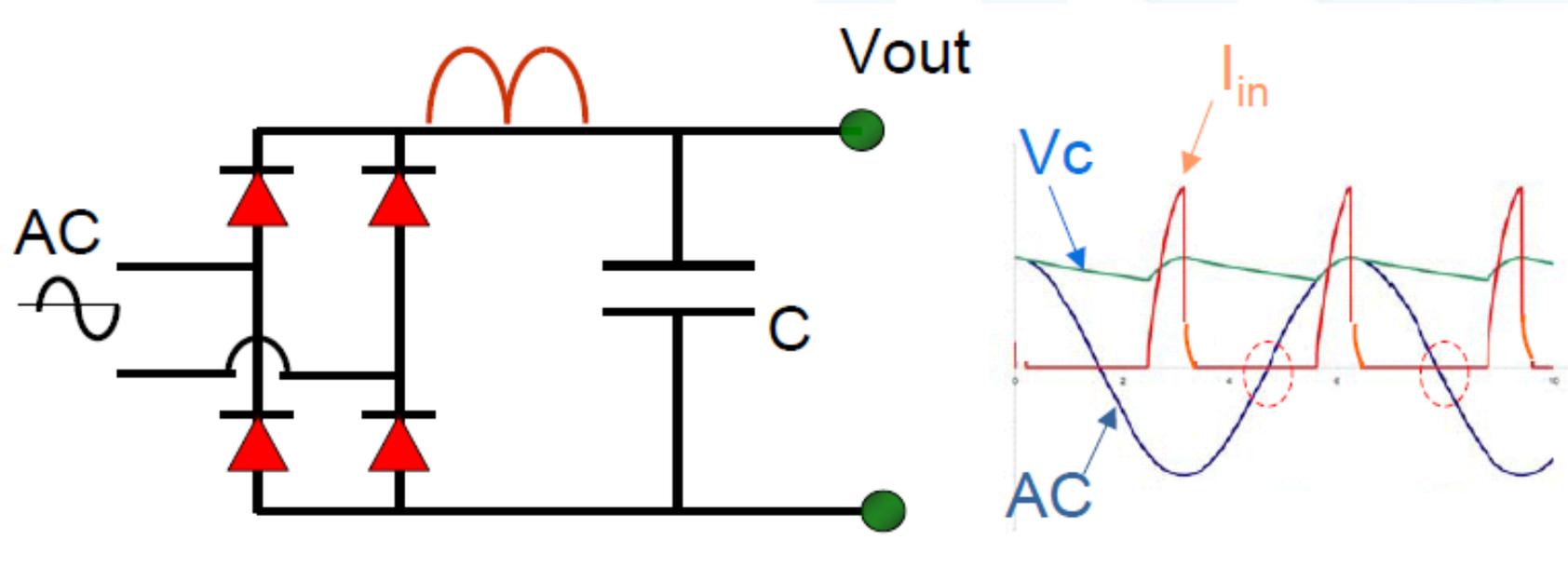
- 持续击穿, 低功率应用

TVS:

- 瞬间击穿, 高功率应用



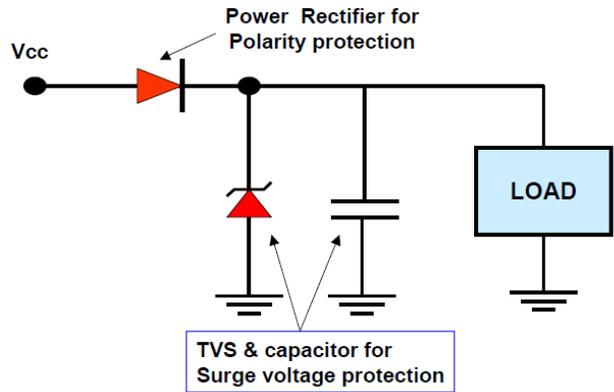




AC/DC 全桥整流

- 低频，开关损耗忽略.
- 需要有一定浪涌电流能力

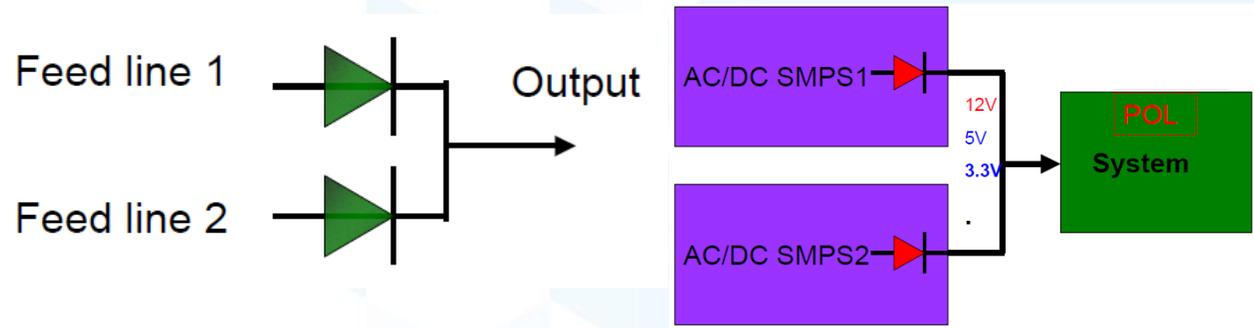
# 二极管应用



防反接保护

要求：低正向压降

后续介绍防反MOS和合路MOS.

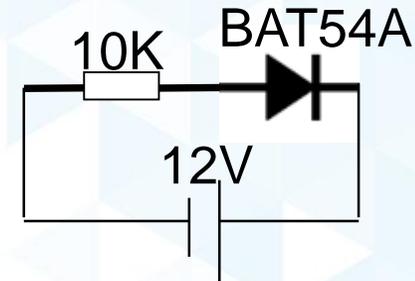


合路

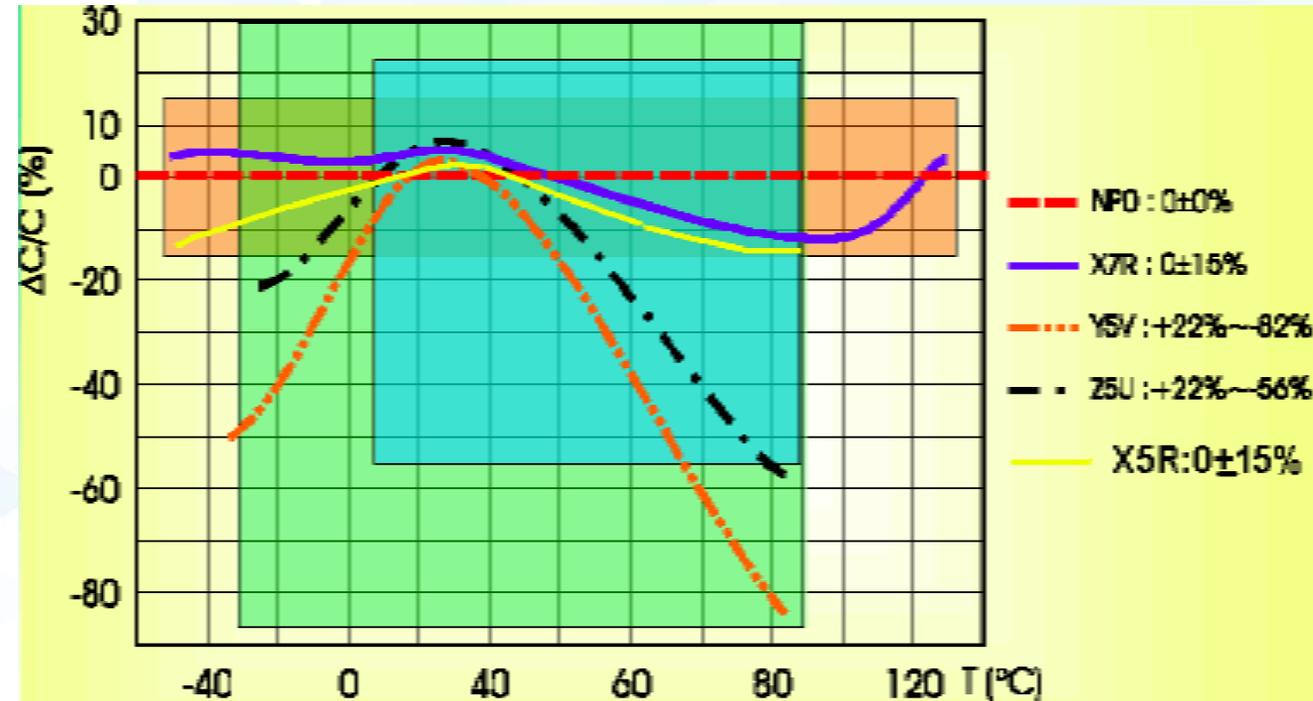
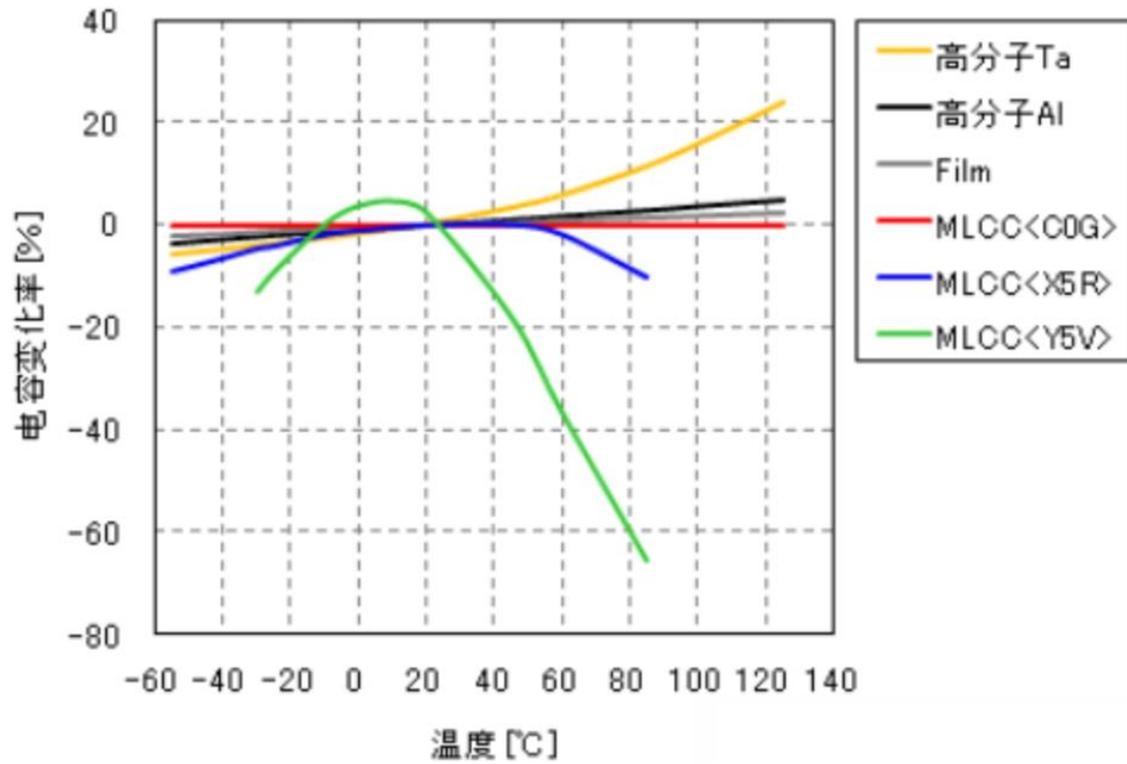
要求：低正向压降

- 电感量
- 电感额定电流
- 电感饱和电流
- DCR
- 低电感量-低DCR，高饱和电流，更好的动态，更大的纹波电流
- 大电感量-小纹波电流

- LT8650S EVM 测试;
  - >不同电感量纹波动态测试比较
- 温度对肖特基二极管反向漏电流的影响;
  - >BAT54A (1uA@25C vs 几百 uA@125C)
- 温度对肖特基正向压降的影响
  - >负温度系数, 并联应用要注意
- 肖特基和MOSFET体二极管正向压降比较.



# 基础元器件特性-电容



# 关于ADI智库

ADI智库是ADI公司面向中国工程师打造的一站式资源分享平台，除了汇聚ADI官网的海量技术资料、视频外，还有大量首发的、免费的培训课程、视频直播等。

加入ADI智库，您可以尽情的浏览、收藏、下载相关资源。此外，您还可一键报名线上线下会议活动，更有参会提醒等贴心服务。

**课程回放：**

请微信扫描二维码，  
获取课程观看链接



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

# ADI 智库

一站式电子技术宝库