

# 《仪器系统设计基础》第八讲

## 仪器电源配置

仪器科学与工程系专业必修课

主讲： 宋开臣 教授

[kcsong@zju.edu.cn](mailto:kcsong@zju.edu.cn)

13600513662

# 仪器电源配置讲座内容

一、线性稳压电源

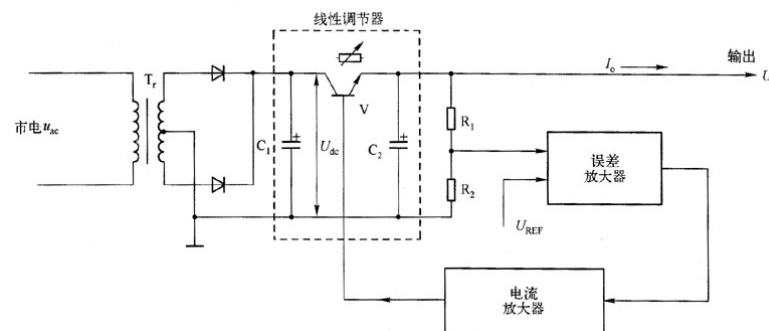
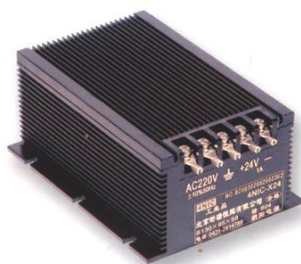
二、开关稳压电源

三、仪器的电源配置



# 一、线性稳压电源

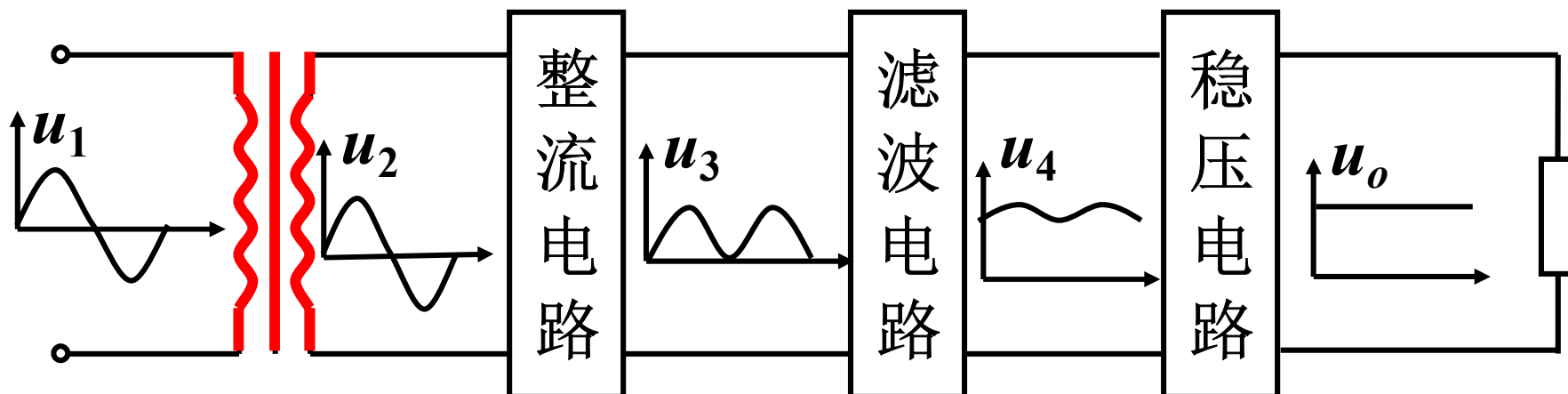
1. 线性稳压电源的概念
2. 集成线性稳压电源的分类
3. 三端固定输出集成稳压器
4. 三端可调输出集成稳压器
5. 低压差线性稳压电源（**LDO**）
6. 直流稳压电源典型产品



# 1. 线性稳压电源的概念

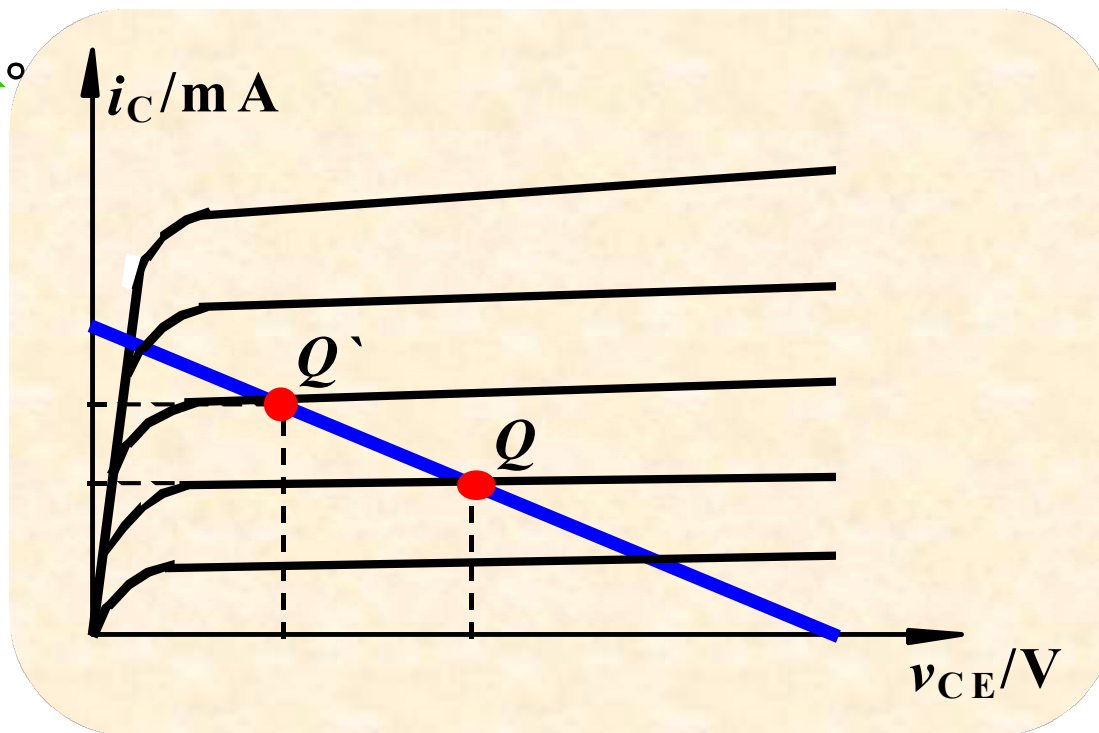
**稳压电源：**将不稳定的直流电压源变换成稳定或者可调的直流电压源。

直流稳压电源按调整器件的工作状态可分为线性稳压电源和开关稳压电源两大类。



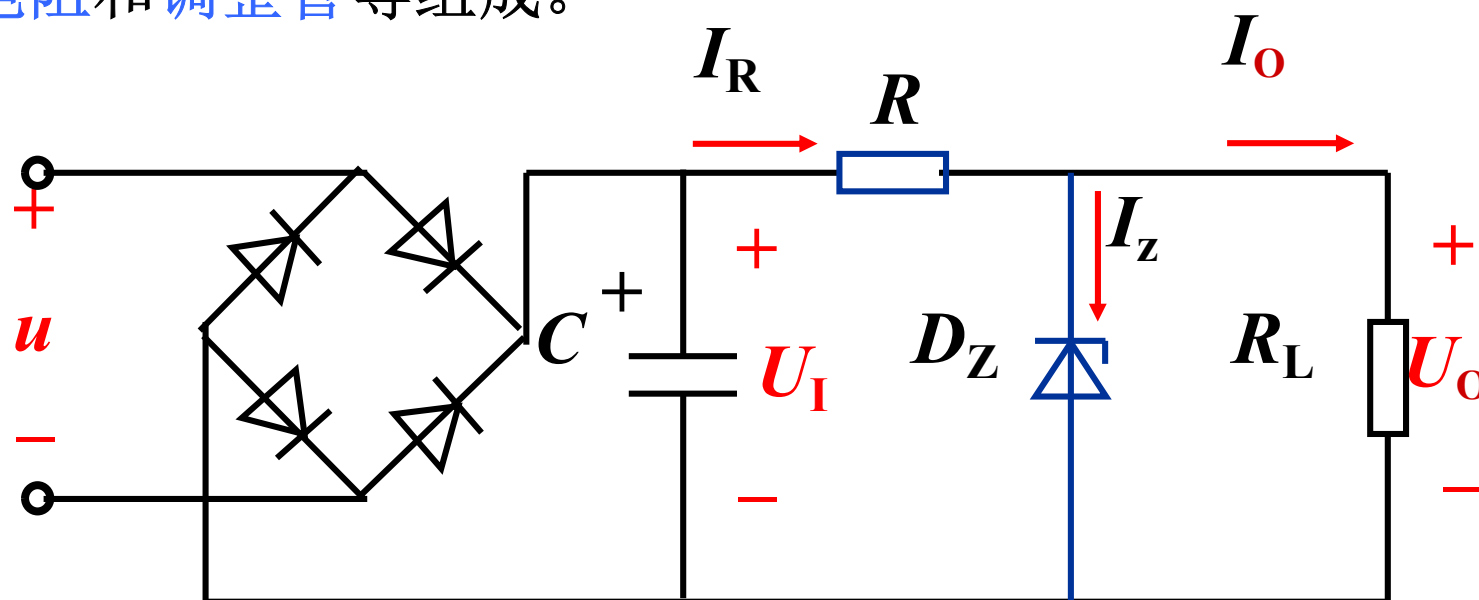
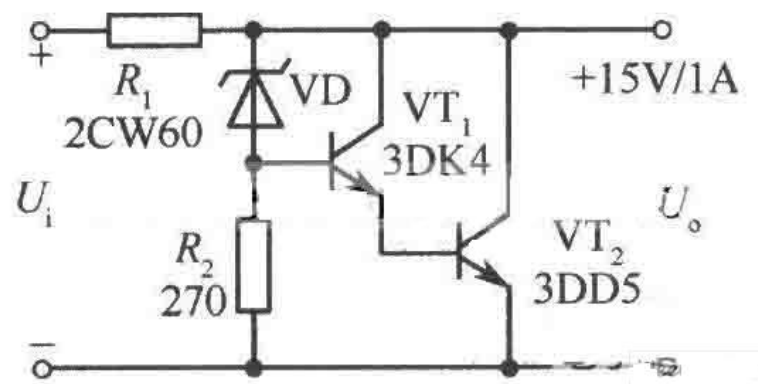
# 1. 线性稳压电源的概念

**线性稳压电源**：是指调整管工作在线性状态(放大区)下的直流稳压电源。分为并联型和串联型两种。



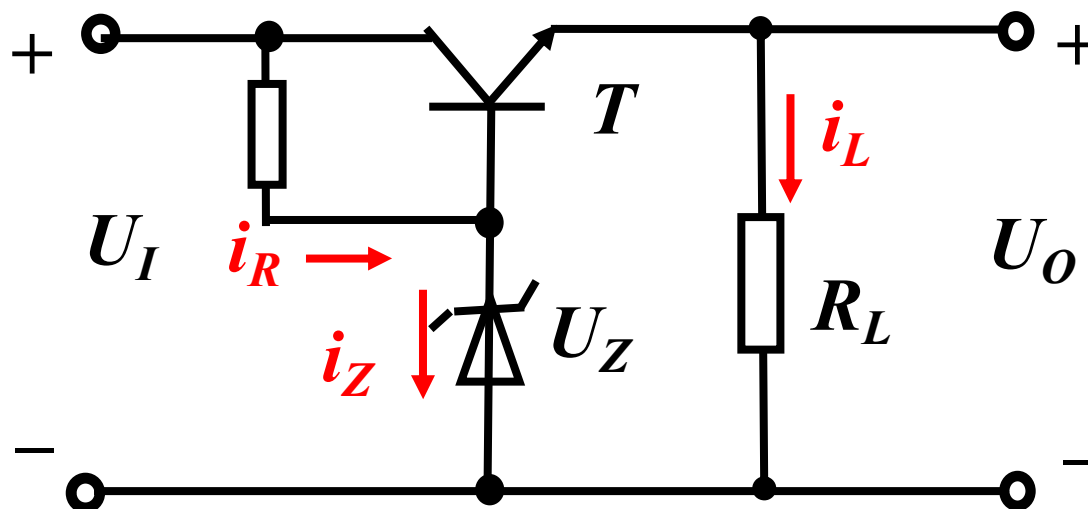
# 1. 线性稳压电源的概念

**并联型线性稳压电源：**是指调整管与负载呈并联状态。一般，并联线性稳压电源由降压电阻和调整管等组成。



# 1. 线性稳压电源的概念

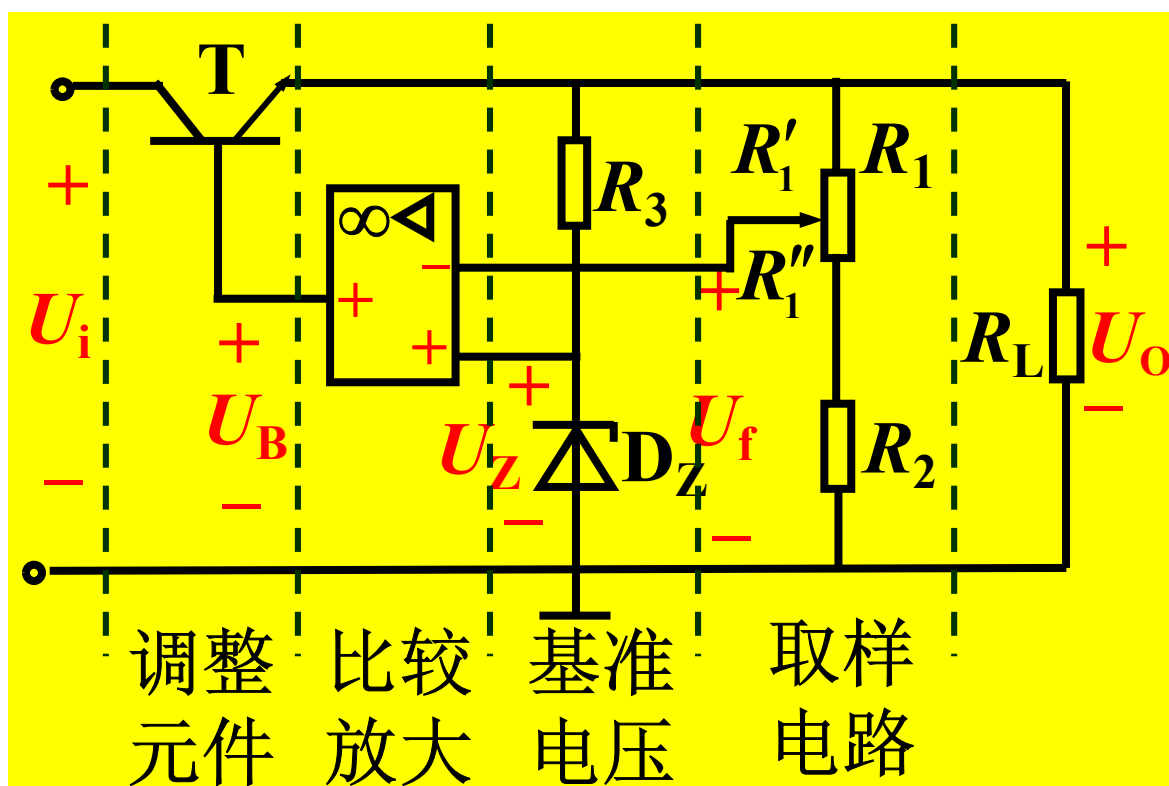
**串联型线性稳压电源：**是指调整管与负载呈串联状态。一般，串联线性稳压电源由调整管、参考电压等组成。



# 1. 线性稳压电源的概念

## 典型的串联反馈式线性稳压电源电路：

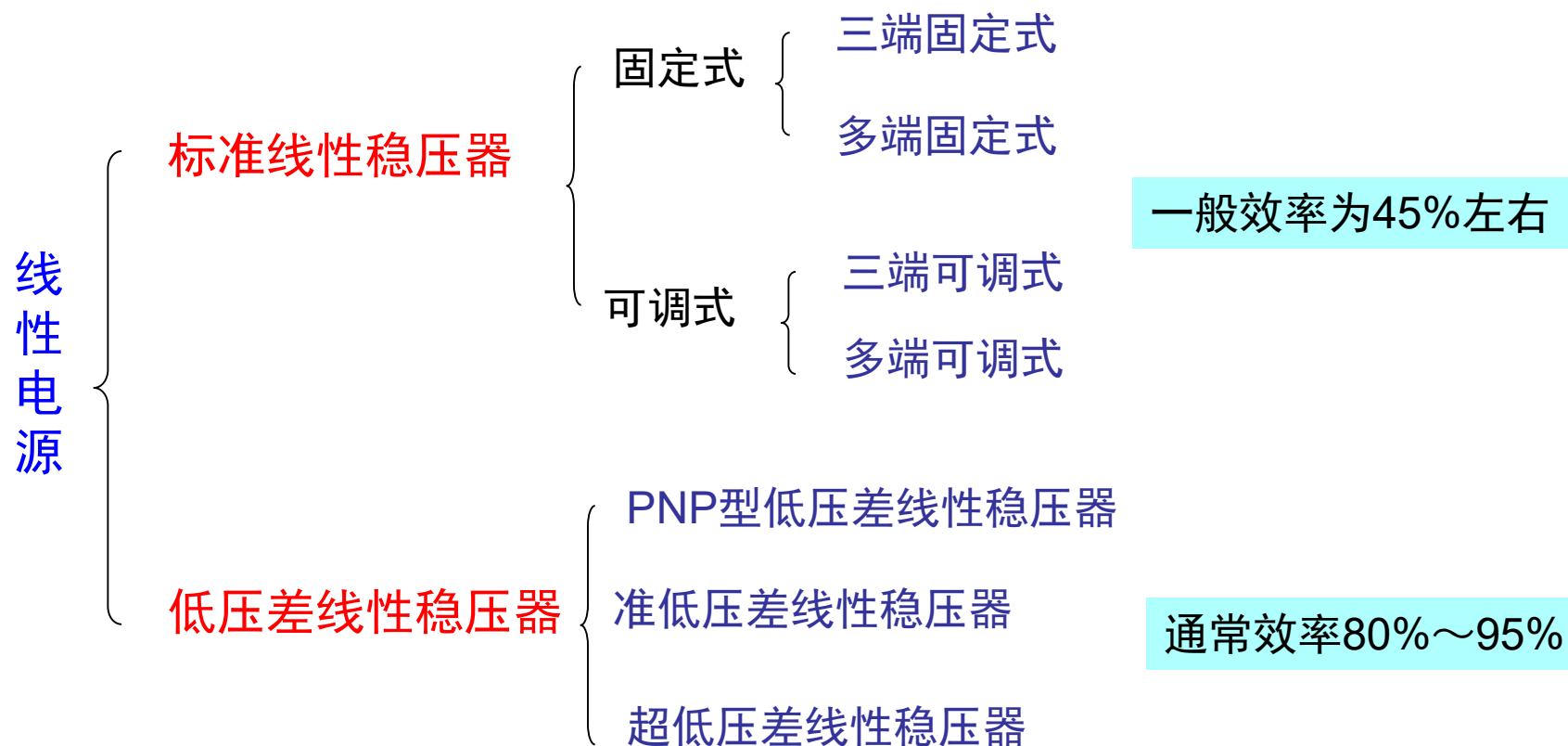
增加了取样电路和误差放大电路后，更加有效地控制调整管的导通程度，使输出电压更加稳定。



已知输入电压、输出电压、额定输出电流，求稳压电源效率



## 2. 集成线性稳压电源的分类



### 3. 三端固定输出集成稳压器

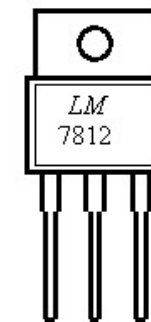
(1) 三端固定输出系列电源

(2) 封装和符号

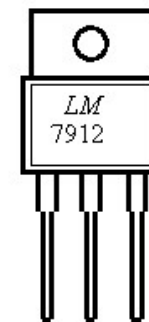
(3) 典型应用电路

正电压（7800系列）

负电压（7900系列）



输 公 输  
入 共 出



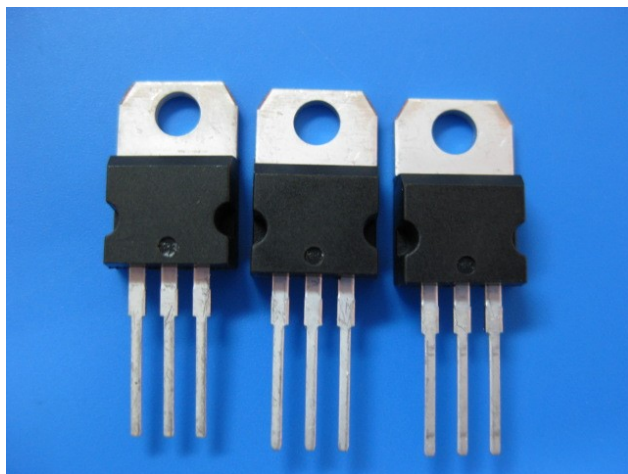
公 输 输  
共 入 出

## (1) 三端固定输出系列电路

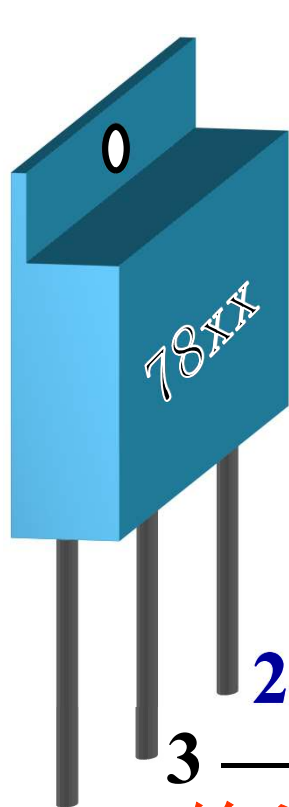
CW7800 系列(正电源), CW7900 系列(负电源)

输出电压: 5 V/6 V/9 V/12 V/15 V/18 V/24 V

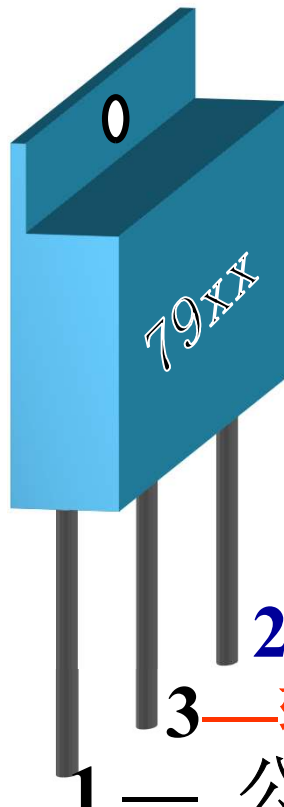
输出电流: 78L××/79L×× — 输出电流100mA;  
78M××/9M×× — 输出电流500mA;  
78××/79×× — 输出电流1.5A。



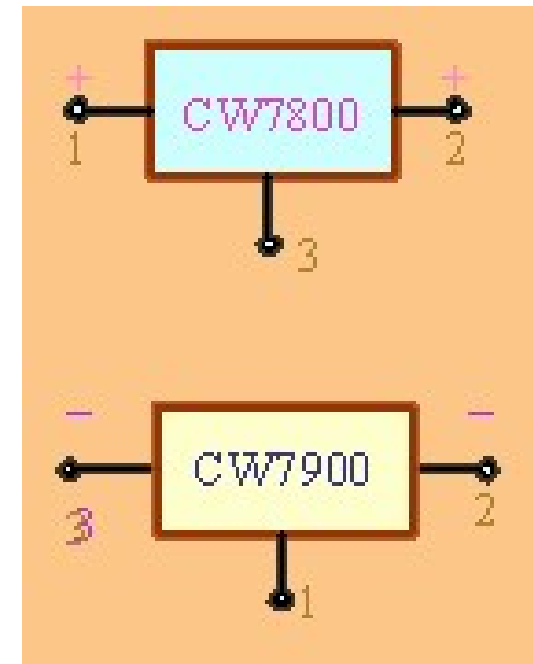
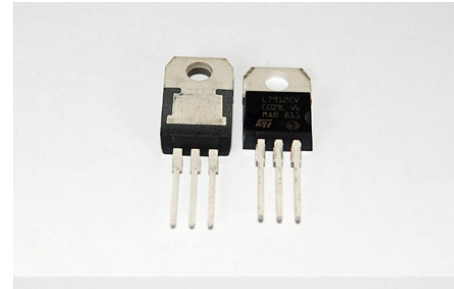
## (2) 封装和符号



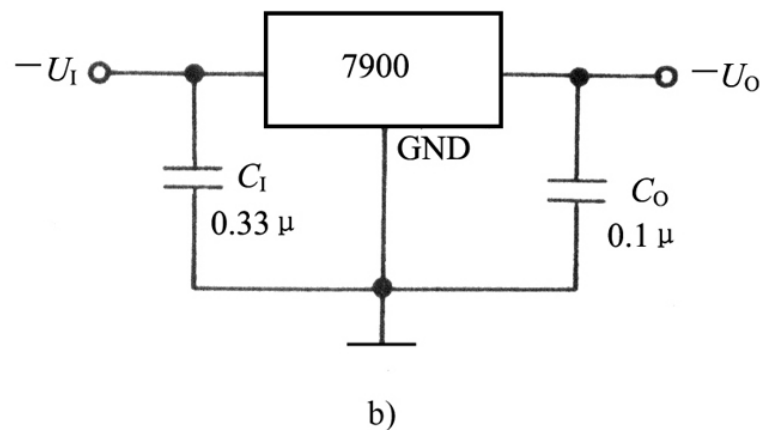
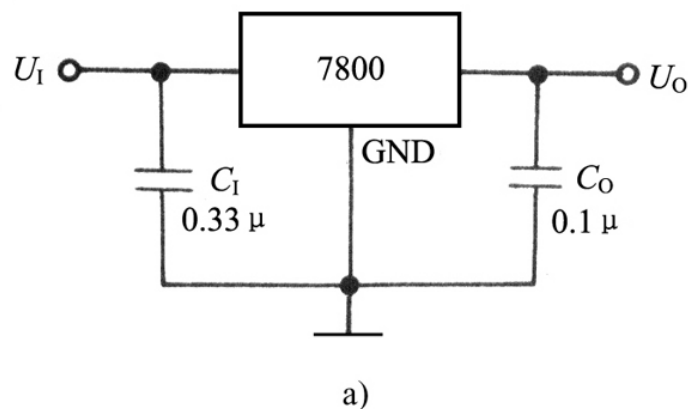
2 — 输出端  
3 — 公共端  
1 — 输入端



2 — 输出端  
3 — 输入端  
1 — 公共端

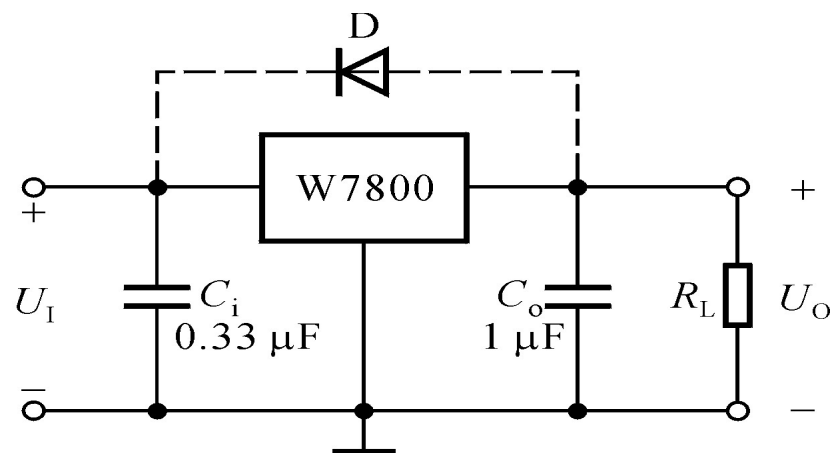


### (3) 典型应用电路



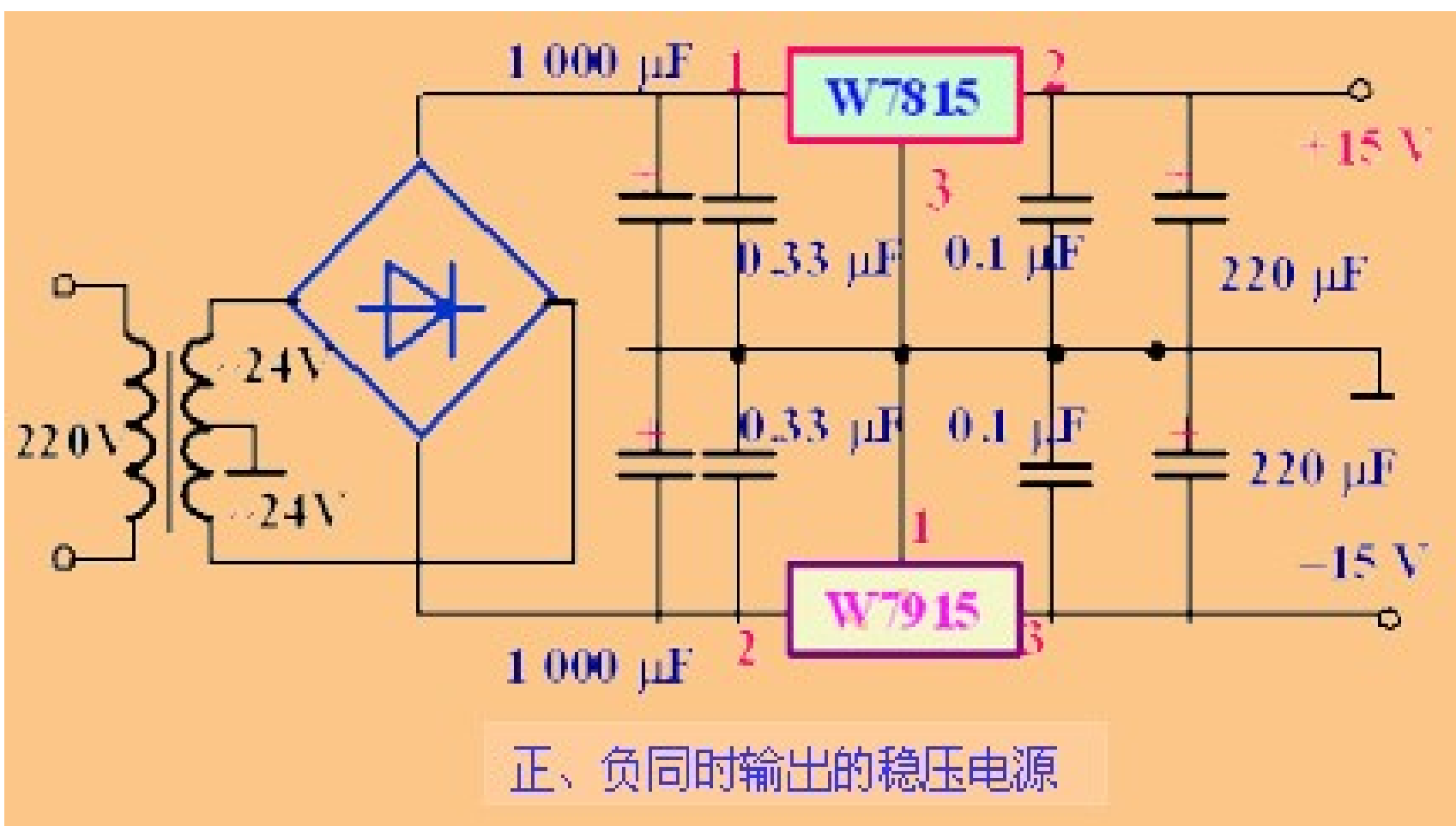
$C_i$ 用来滤除高频纹波，防止电路产生自激振荡；

$C_o$ 为输出电容。



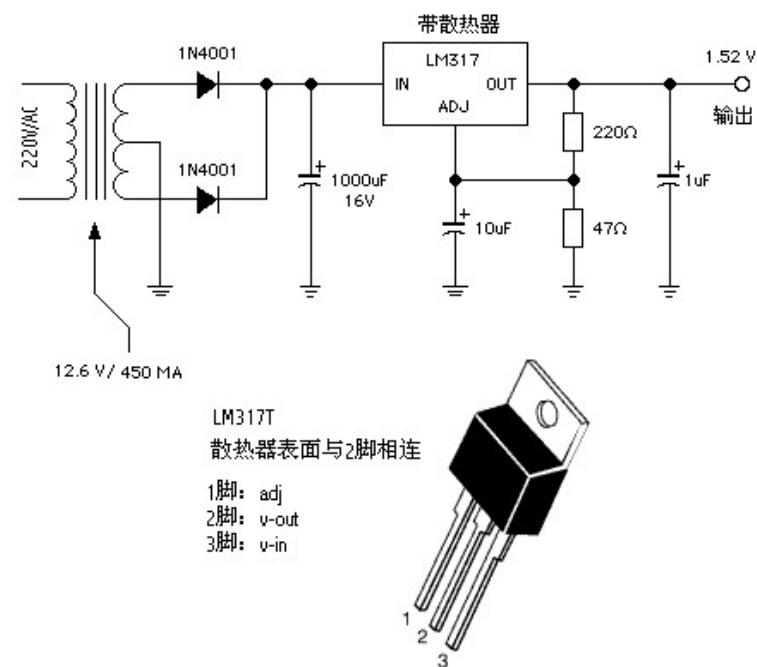
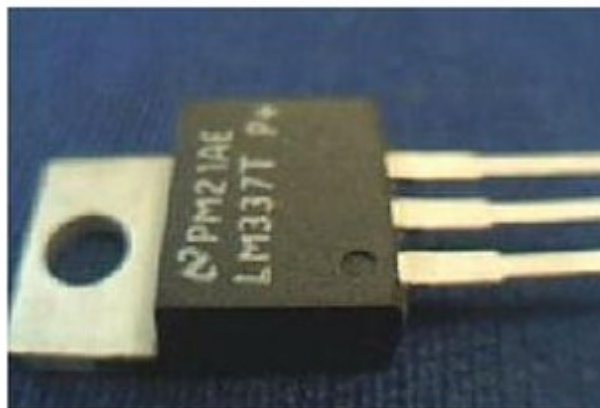
### (3) 典型应用电路

正负同时输出的稳压电源电路



## 4. 三端可调输出集成稳压器

- (1) 三端可调输出集成稳压器
- (2) 内部电路原理及封装
- (3) 典型应用电路



## (1) 三端可调输出集成稳压器

CW117/217/317系列(正电源)

CW137/237/337系列(负电源)

工作温度:

**CW117(137)—  $-55\sim 150^{\circ}\text{C}$ ;**

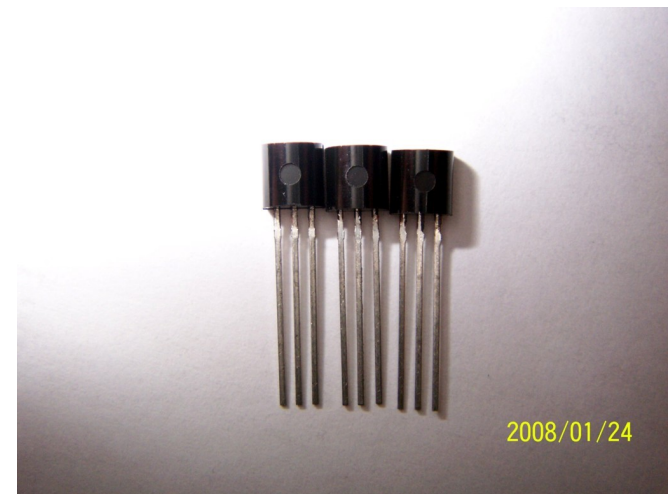
**CW217(237)—  $-25\sim 150^{\circ}\text{C}$ ;**

**CW317(337)—  $0\sim 125^{\circ}\text{C}$**

基准端电压:  $1.25\text{V}$

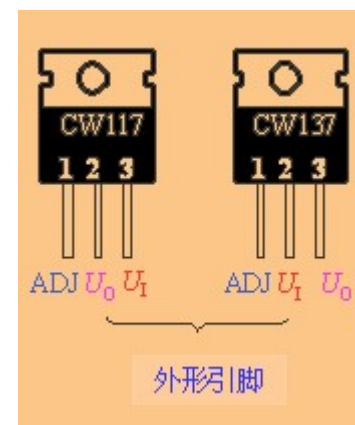
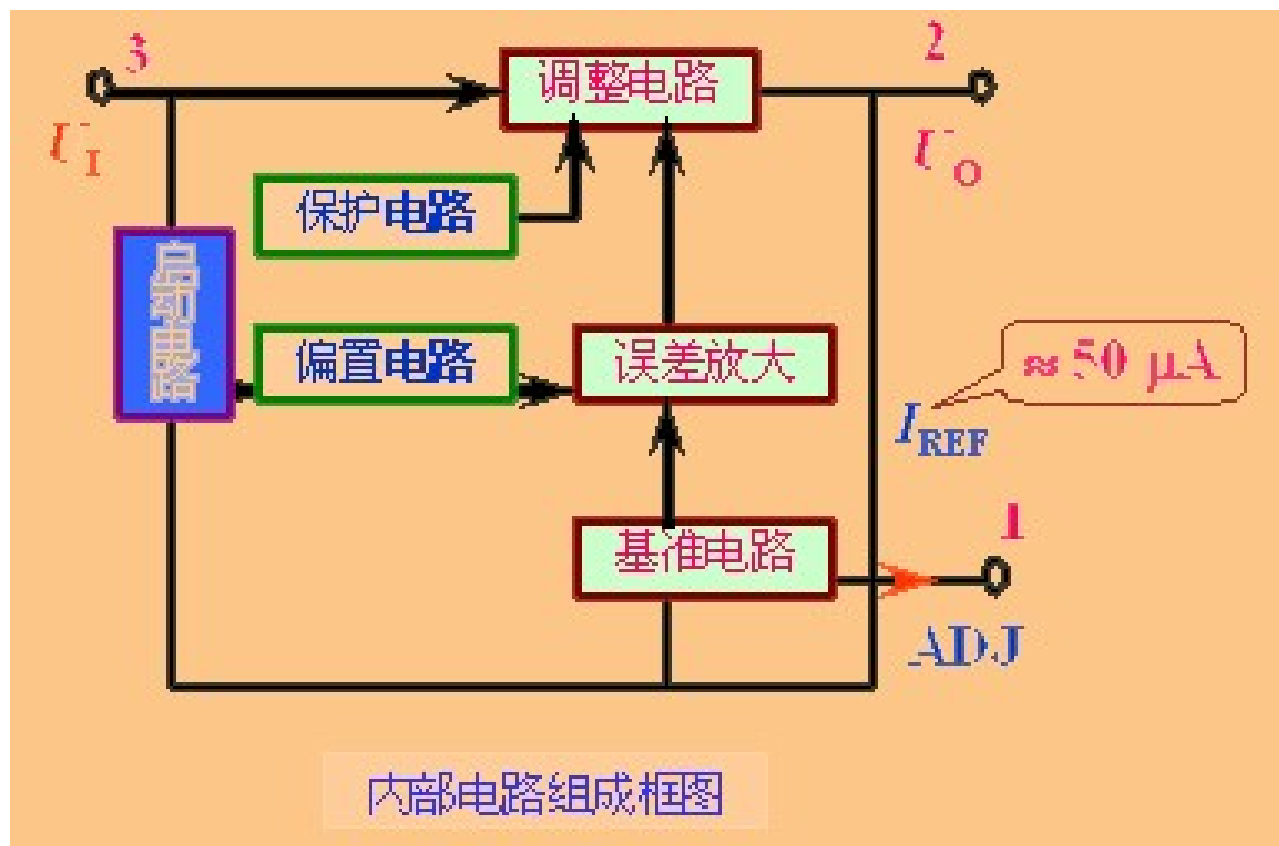
输出电流:

L型—输出电流 $100\text{mA}$ ; M型—输出电流 $500\text{mA}$ 。



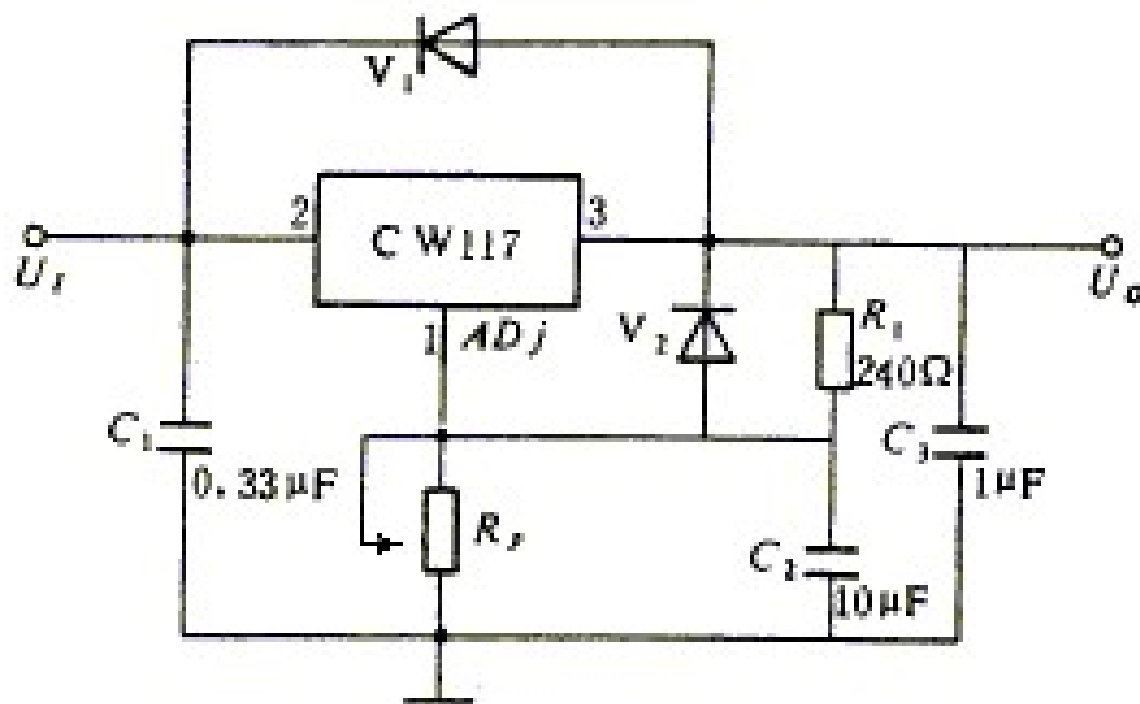


## (2) 内部电路原理及封装



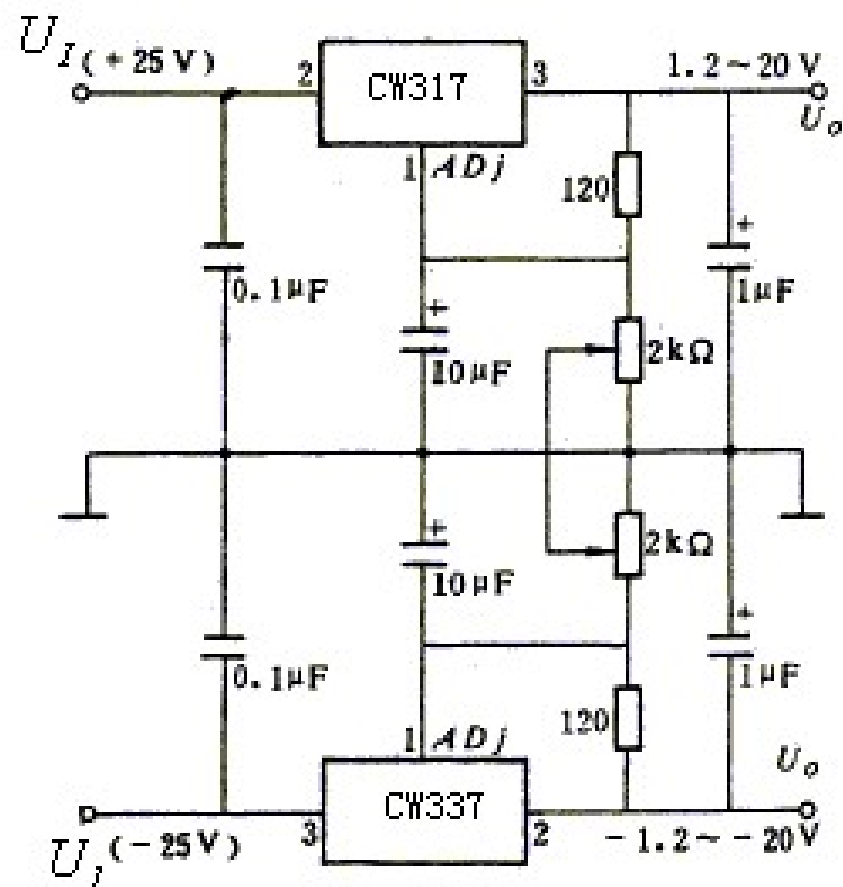
### (3) 典型应用电路

#### 三端可调输出正电源



### (3) 典型应用电路

#### 可调正负电源



## 5. 低压差线性稳压电源 (LDO)

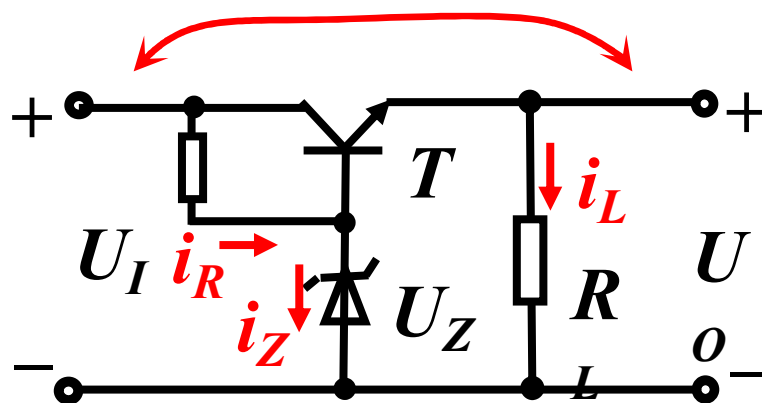
### 低压差线性稳压器

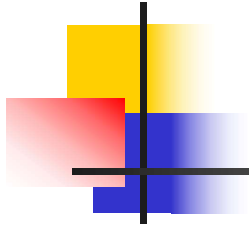
( Low DropOut regulator , LDO )

所谓低压差是相对于传统的线性稳压器的调整管压降来说的。例如**TPS7333**为**35mV**左右。

c、e两端的压差

DropOut Voltage





## 5. 低压差线性稳压电源（LDO）

---

常用**LDO**稳压器 生产厂商：

TI（德州仪器）

NS（国家半导体）

Maxim（美信）

LTC（凌特）

Intersil（英特矽尔）

Fairchild（仙童电气）

ON（安森美）

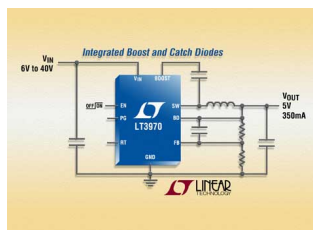
.....

## 6. 直流稳压电源典型产品



## 二、开关稳压电源

1. 开关稳压电源的概念
2. 开关电源的分类
3. 串联型开关电源
4. 并联型开关电源
5. 脉冲变压器耦合（并联）型
6. 脉宽、脉频调制式开关电源
7. 开关电源典型产品





# 1. 开关稳压电源的概念

---

**开关电源**：开关管（在开关电源中，我们一般把调整管叫做开关管）是工作在开、关两种状态下的：开——电阻很小；关——电阻很大。

饱和区                      截止区

**特点：**

开关电源是一种比较新型的电源。它具有**效率高，重量轻，可升、降压，输出功率大**等优点。

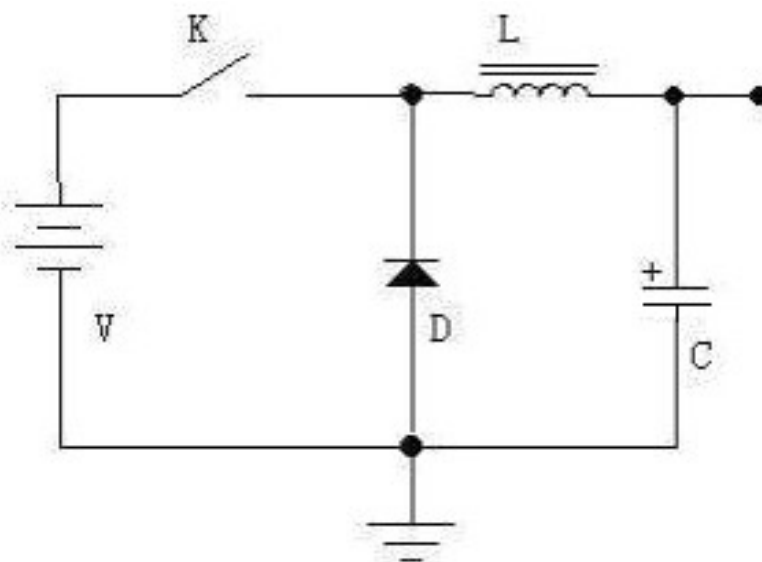
但是由于电路工作在开关状态，所以噪声比较大。



# 1. 开关稳压电源的概念

开关稳压电源工作原理：

通过控制开关闭合跟断开的的时间，以保持输出电压不变，这就实现了稳压的目的。





## 2. 开关电源的分类

---

### 按负载的连接方式

串联型：开关管与负载串联

并联型：开关管与负载并联

变压器耦合型：开关管与负载并联隔离

### 按激励方式

自激式：由开关管自激振荡来启动开关管的方式

他激式：需要开关电源外的激励信号启动开关调整管的方式



## 2. 开关电源的分类

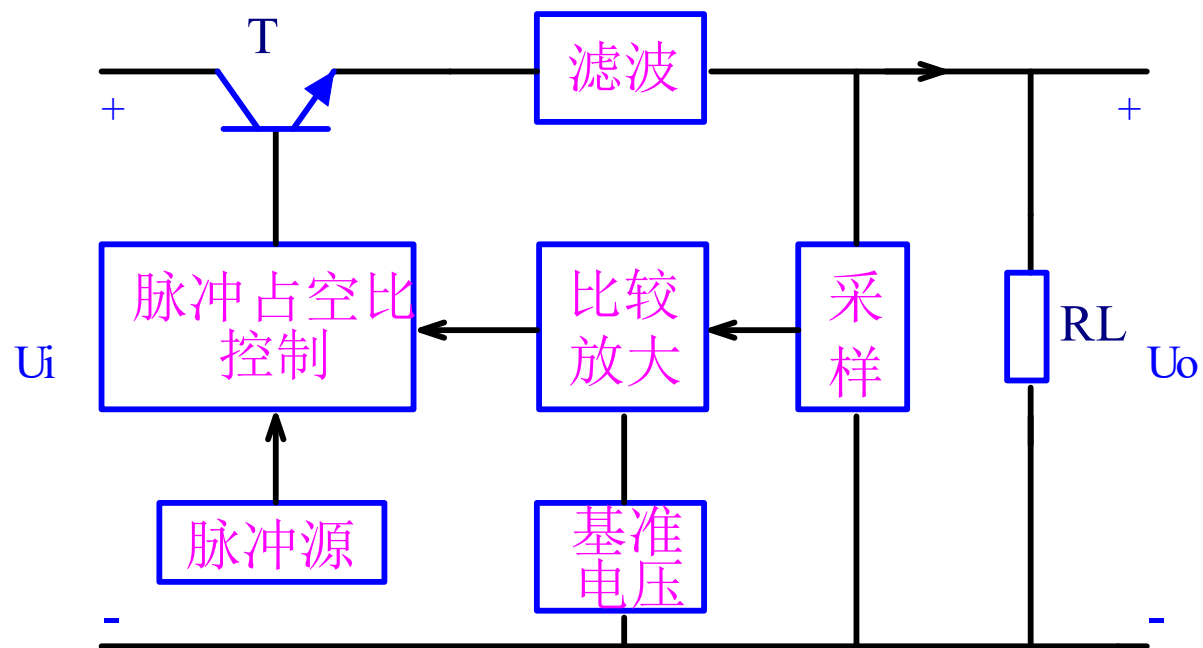
---

按调制方式 { 脉冲宽度调制 (**PWM**)  
脉冲频率调制 (**PFM**)

按开关管的个数及连接方式 { 单端式  
推挽式  
半桥式  
全桥式

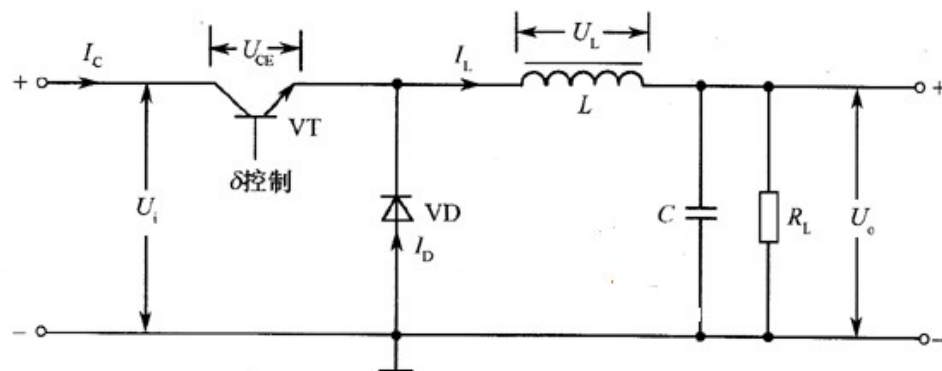
### 3. 串联型开关电源

串联型开关电源原理框图



### 3. 串联型开关电源

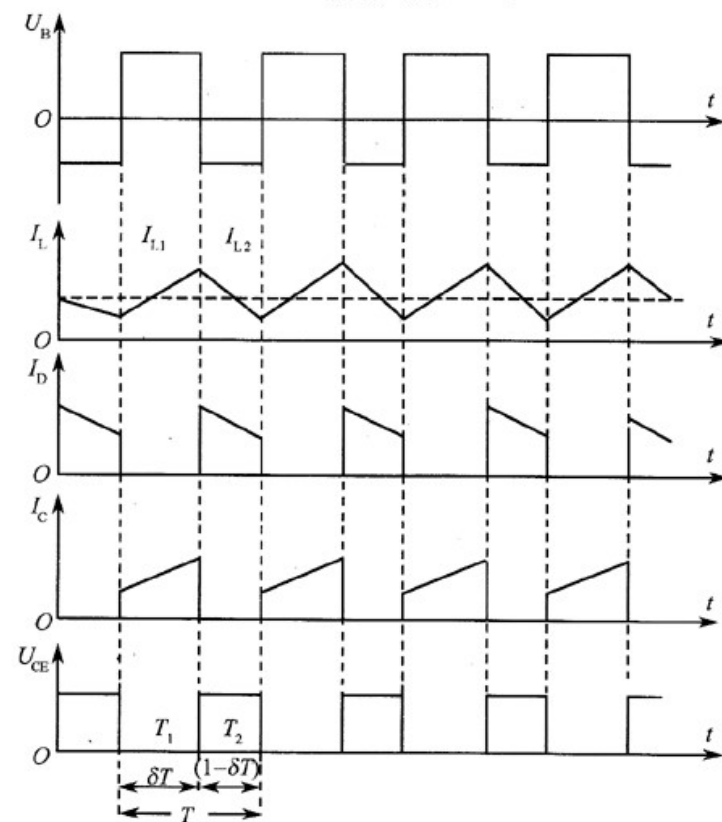
#### 基本电路



#### 基本特征:

1. 开关调整管 $VT$ 与负载 $R_L$ 串联
2. 降压输出

#### 工作波形





### 3. 串联型开关电源

---

#### 优点:

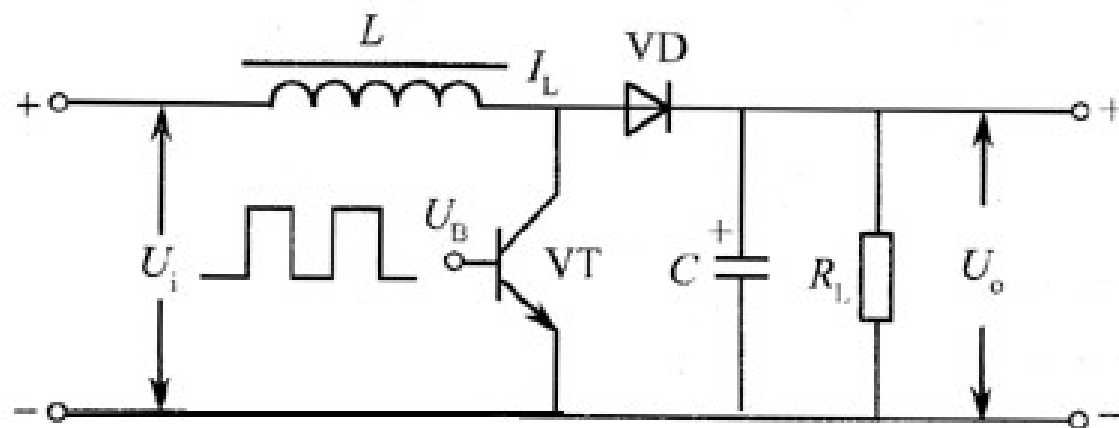
1. 滤波性能好（开关管和续流二极管的耐压要求较低。且滤波电容在开关管导通和截止时均有电流）
2. 输出电压的纹波系数小
3. 要求储能电感铁心截面积也较小

#### 缺点:

1. 输出直流电压与电网电压之间没有隔离变压器，即所谓“**热底盘**”电路，不够安全。
2. 若开关管内部短路，则全部输入电压直接加到负载上，会引起负载过压或过流，损坏后续电路。因此输出端一般需加稳压管加以保护。

## 4. 并联型开关电源

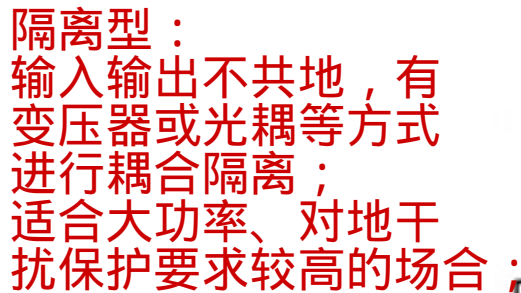
### 非隔离并联型开关电源基本电路原理



基本特征:

1. 开关调整管 $VT$ 与负载 $R_L$ 并联
2. 可以实现升压输出

# 隔离变压器耦合型开关电源基本电路原理



非隔离型：  
输入输出共地，通常  
只有一个电感进行滤波；  
适合简单、体积要求比较紧张场合；





## 5. 脉冲变压器耦合（并联）型

---

### 优点：

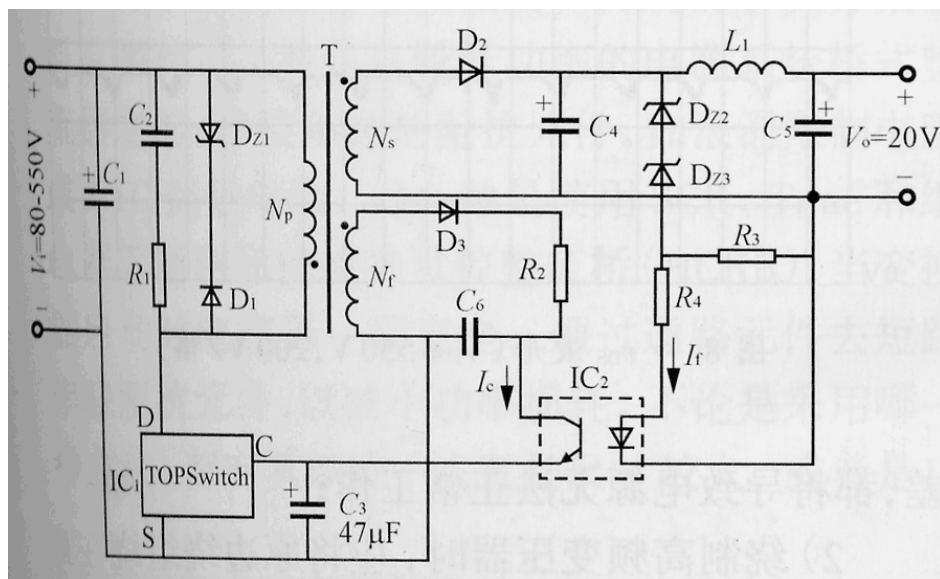
1. 通过附加一个次级绕组间接取样的办法或采用光耦合器实现电源隔离，使主电源电路与交流电网隔离，即所谓“冷底盘”电路
2. 若开关管内部短路，不会引起负载的过压或过流

### 缺点：

- 对开关管和续流二极管的耐压要求高
- 输出电压纹波系数较高
- 要求储能电感量较大

## 6. 脉宽、脉频调制式开关电源

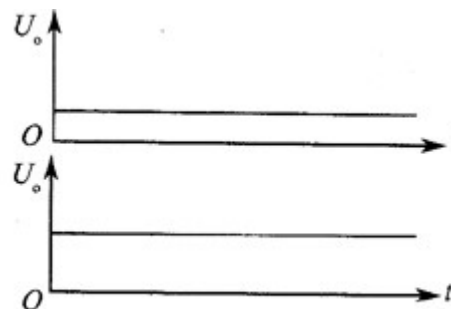
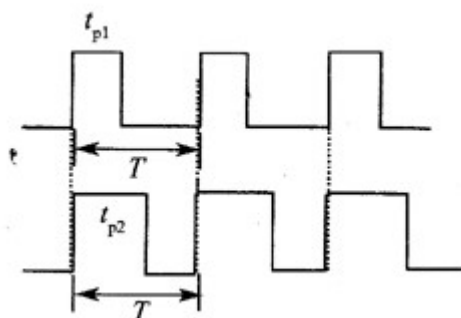
- (1) 脉冲宽度调制式开关电源
- (2) 脉冲频率调制式开关电源
- (3) 脉宽调制和脉冲调制相同点



# (1) 脉冲宽度调制式开关电源

固定工作频率（周期），  
通过调整脉冲宽度来调整占空比

**PWM**方式：



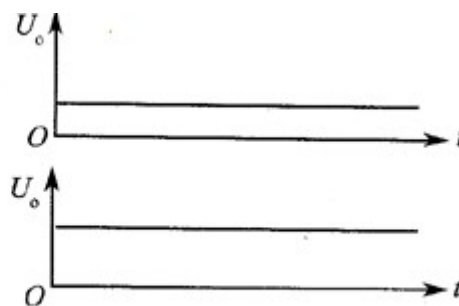
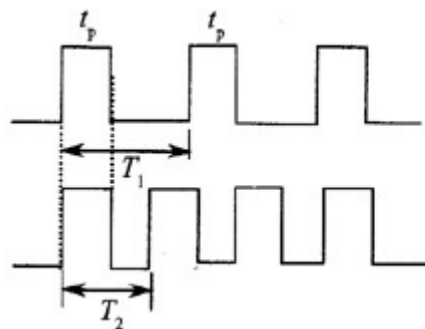
**特点：**

脉冲宽度控制（调宽）式开关电源稳压电路在通过改变开关脉冲宽度（控制开关管导通时间）来稳定输出电压的过程中，开关管的工作频率不改变。

## (2) 脉冲频率调制式开关电源

固定脉冲宽度，  
通过调整工作频率（周期）来调整占空比

**PFM**方式：



**特点：**

脉冲频率控制（调频）式开关电源在稳压控制过程中，改变开关脉冲的占空比的同时，开关管的工作频率也随着发生变化，故称之为调频式稳压电源。



### (3) 脉宽调制和脉冲调制相同点

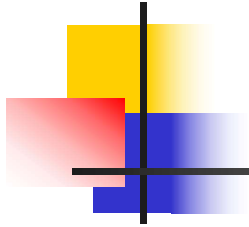
---

➤均采用时间比率控制（TRC）的稳压原理，无论改变 $t_p$ 还是 $T$ ，最终调节的都是脉冲占空比。



## 7. 开关电源典型产品





### 三、仪器的电源配置

---

1. 研究仪器电源的意义
2. 仪器电源的特殊要求
3. 仪器电源的研究内容
4. 仪器电源的特殊供电方式
5. 降低仪器功耗
6. 仪器电源配置总结



# 1. 研究仪器电源的意义

---

## 仪器功耗

示波器（间歇工作）	2 kWh/月
家用电器（连续工作）	30 kWh/月

## 电源效率

电源变压器	70% ~ 85%
三端稳压（12V→5V时）	40%
DC/DC稳压	90%

## 电源品质

低内阻、小纹波、多电压输出、  
可编程、安全。





## 2. 仪器电源的特殊要求

---

低纹波供电

抑制由电源引入的干扰

电源效率

提高电源工作效率，间歇工作

隔离电源

减少干扰，提高安全性

电池供电

手持式、便携式设备

免维护电源

满足无人值守条件下长期工作

可再生电源

太阳能、燃料电池、风能



### 3. 仪器电源的研究内容

---

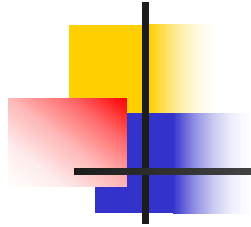
提高电源的工作效率

提高电源的能量密度

提高电源的品质

用嵌入式系统实现电源管理以提高效率

针对仪器系统的功能需求选择电源



## 4. 仪器电源的特殊供电方式

(1) 电池供电

(2) 通信线路供电

(3) Meter-BUS 供电方式

(4) Ethernet 供电方式

(5) USB 供电方式

(6) RF 供电方式 (无线IC)

(7) 其它供电方式

# (1) 电池供电

## 电池种类

锰锌电池、碱性电池、水银电池  
铅酸电池、镍镉电池、镍氢电池、锂电池

## 电池供电举例

锂电池智能表      免维护，连续长期工作  
干电池智能表      法拉电容储能，驱动电机关闭阀门





## (2) 通信线路供电

### 通信供电意义

用主设备通信电缆供电，简化从设备供电

主机给从机供电

供电方式：

- 1、捆绑独立的电源线
- 2、将信号加载到电源线上

### 通信供电标准

**Meter-BUS 供电**                      **30V, 30mA**

**Ethernet 供电 (PoE)**      **100V, 400mA**

**USB 供电**                              **5V, 500mA**

PoE (Power Over Ethernet)指的是在现有的以太网Cat.5布线基础架构不作任何改动的情况下，在为一些基于IP的终端(如IP电话机、无线局域网接入点AP、网络摄像机等)传输数据信号的同时，还能为此类设备提供直流供电的技术。



### (3) Meter-BUS 供电方式

---

用传输线供电

同一线路实现通信与供电  
主机向从机供电

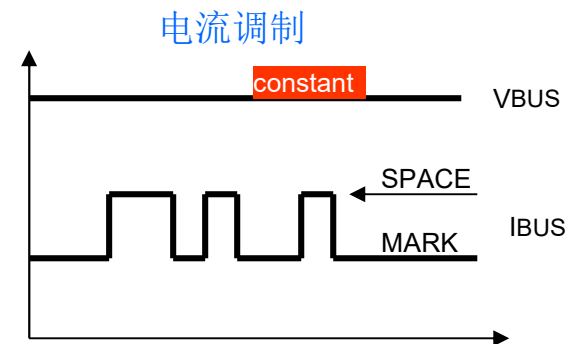
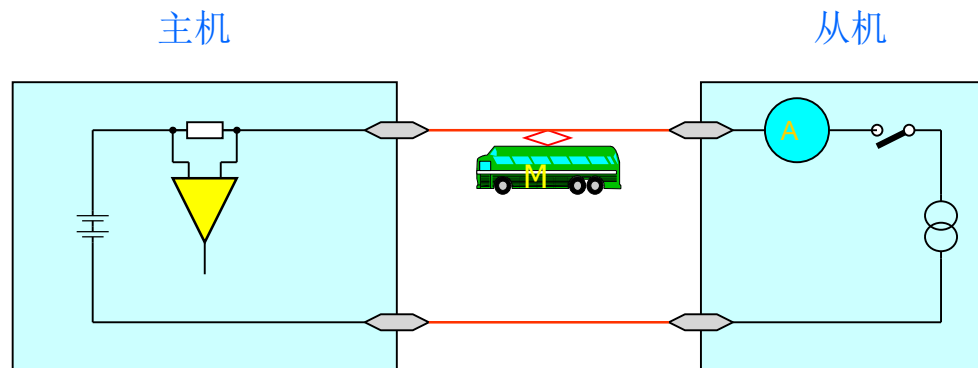
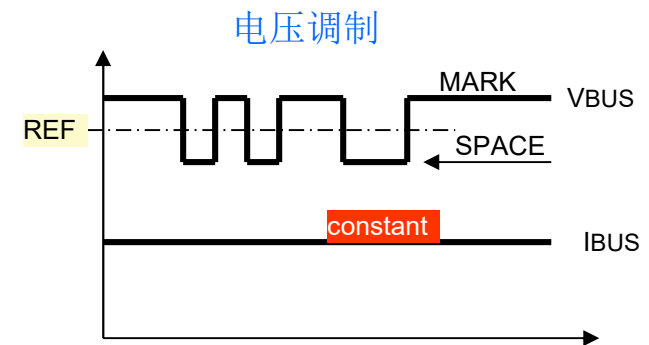
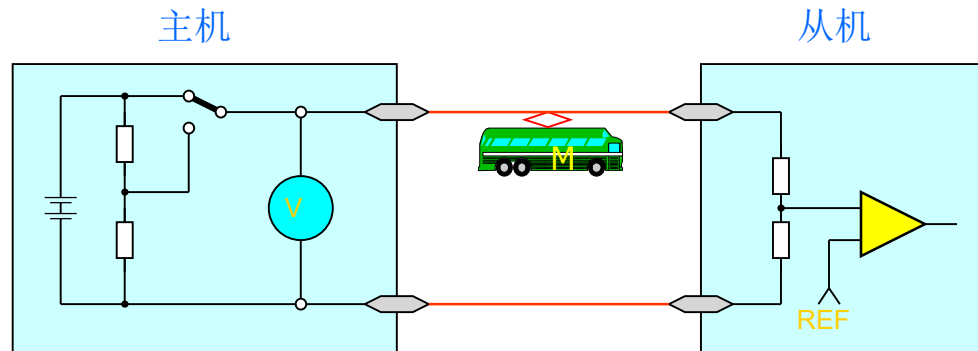
主机发送

用线路电压变化表现发送数据

主机接收

用线路电流变化表现接收数据

### (3) Meter-BUS 供电方式





## (4) Ethernet 供电方式

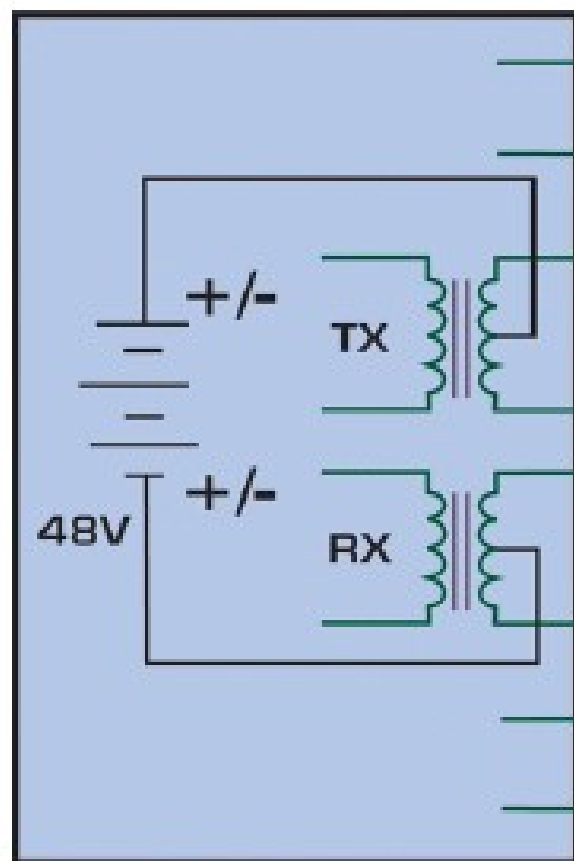
---

- 方式：经网络双绞线供电
- 特点：高电压小电流  
**48~100V, 200~400mA**
- 标准化：**IEEE802.3af**

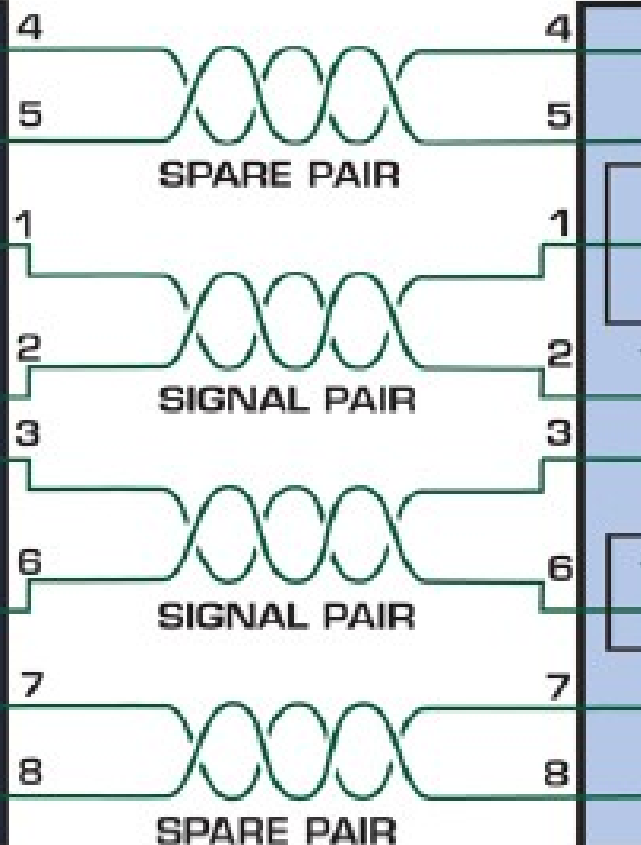
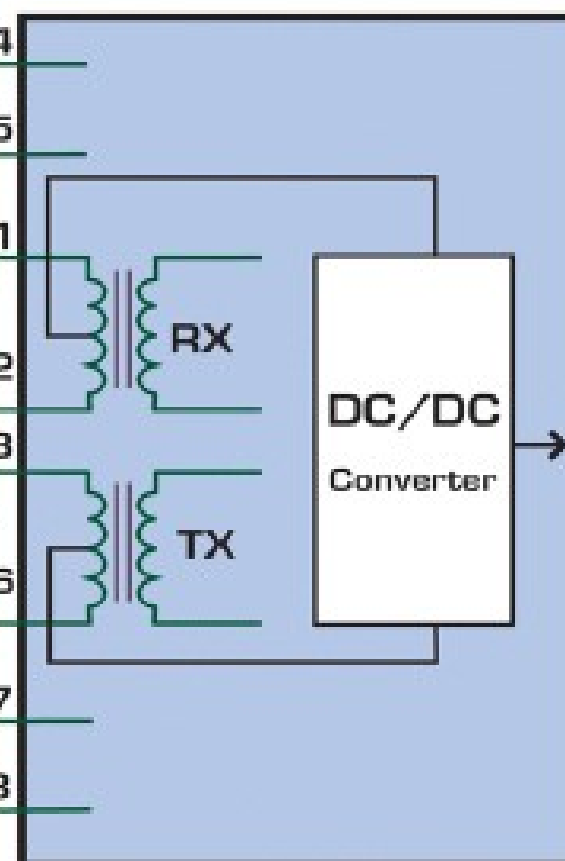


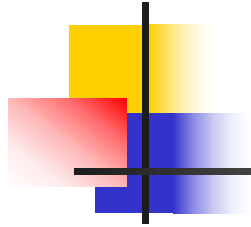
## (4) Ethernet 供电方式

**POWER SOURCING  
EQUIPMENT (PSE)**



**POWERED DEVICE (PD)**





## (5) USB 供电方式

---

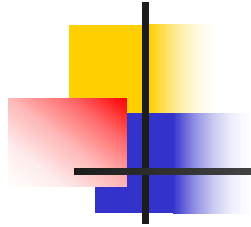
用 **USB** 电缆供电

**USB-Host**供电

功率: **5V, 500mA**

引脚: **D+, D-, 5V, GND**

**USB-Device**接受供电



## (6) RF 供电方式

---

原理

射频电磁波传递能量

RFID 上的接收天线

距离

**0.1m—10m**

应用

**RF-ID**

无线标签

商品监控



## (7) 其它供电方式

---

太阳能电池

太阳能电池转换效率

蓄电池后备

家庭发电

燃料电池

氧化反应产生电能

风能电池

安装场地，我国风能资源丰富

蓄电池后备



## 5. 降低仪器功耗

- (1) 降低仪器功耗的措施 降低电压/电流/工作频率、省电模式
- (2) 降低器件功耗 选用低功耗器件
- (3) 合理设计高效率仪器电源 低纹波线性电源设计：  
(线性电源的效率低，尤其是在压差大的情况下)  
先用开关电源将降压略高于目标电压的电压值，再借助LDO降压的目标电压
- (4) 多时钟源结构 多个工作频率，按需选用
- (5) 控制仪器的运行模式 省电/休眠模式，暂时关闭多余功能
- (6) 用电源管理芯片提高电源效率



## (1) 降低仪器功耗的措施

---

影响功耗因素

$$P = k \times f \times V \times I$$

降低功耗措施

降低工作电压

降低工作电流

降低工作频率

工作在省电模式中

兼顾功耗和性能的矛盾

有针对性地运用  
低功耗措施



## (2) 降低器件功耗

---

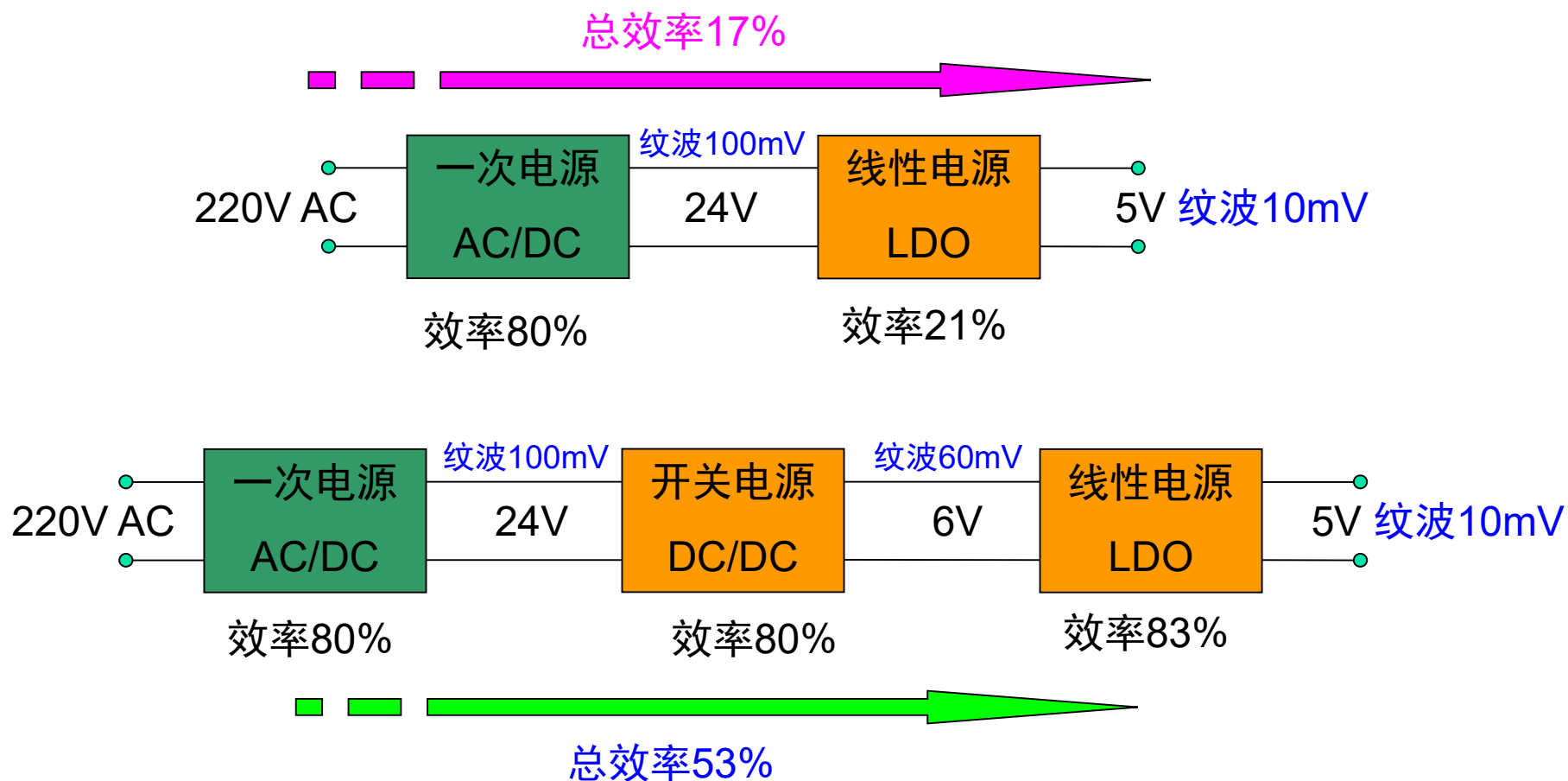
选择低功耗器件。

例：6 非门

<b>74S04</b>	<b>15~30 mA 5V</b>
<b>7404</b>	<b>6~18 mA 5V</b>
<b>74LS04</b>	<b>1.2~3.6 mA 5V</b>
<b>74HC04</b>	<b>10 uA 2~6V</b>
<b>74C04</b>	<b>0.01 uA 3~15V</b>

### (3) 合理设计高效率仪器电源

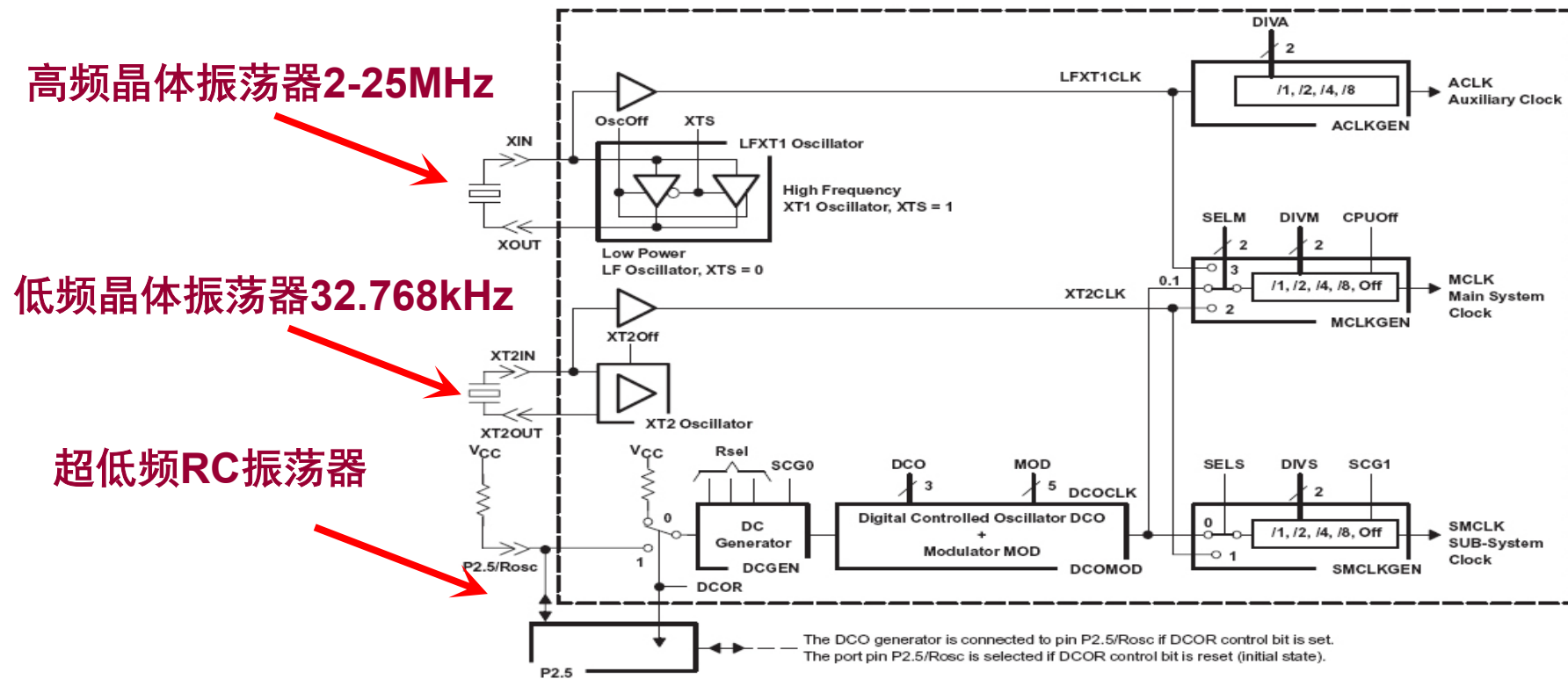
#### 5V低纹波电源设计举例





## (4) 多时钟源结构

### MSP430单片机的多时钟源结构





## (4) 多时钟源结构

---

**AM** 全部时钟有效, 全部功能激活 **300 $\mu$ A**

**LPM0** MCLK关闭,  
SMCLK、ACLK、DCO有效 **70 $\mu$ A**

**LPM1** DCO 局部关闭 **30 $\mu$ A**

**LPM2** SMCLK关闭 **17 $\mu$ A**

**LPM3** DCO关闭 **2 $\mu$ A**

**LPM4** 全部时钟关闭, 只保持RAM数 **0.1 $\mu$ A**

## (5) 控制仪器的运行模式

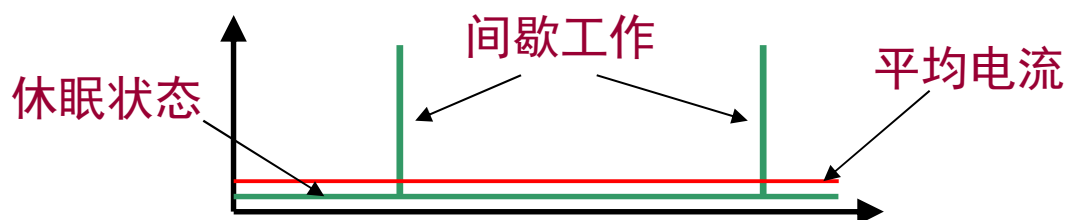
省电运行方式举例：转速检测

传感器 叶轮

信号 脉冲

工作方式 系统主程序启动，完成初始化，进入休眠  
叶轮旋转发生脉冲，产生中断信号  
中断请求唤醒系统，计数，重回休眠

时间分配 计数  $10\ \mu\text{s}$   
计数周期  $100\text{ms}$



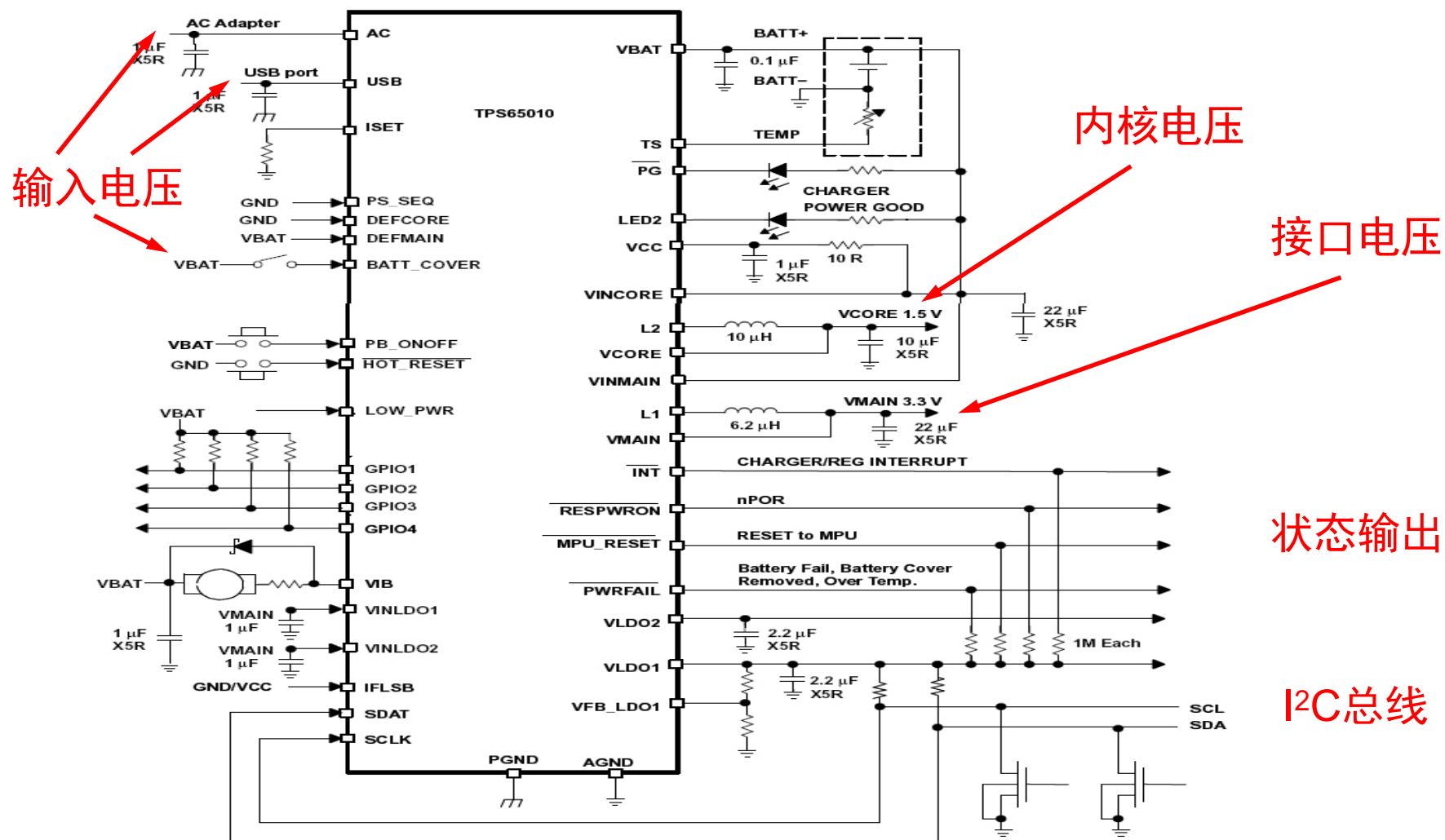


## (6) 用电源管理芯片提高电源效率

### 电源管理芯片举例：TPS65010

输入电源	AC、USB
电池充电	管理锂电池充电，充电电流可编程
主电源	3.0/3.3V，1A，效率 95%
内核电源	1.5/1.6V，0.4A，效率 90%
线性稳压电源	2.8~3.3V，0.2A，×2
睡眠控制	关内核电源，维持电流 70μA
I/O接口	I2C、GPIO
控制	经I2C，可控制各路电源及指示工作状态
状态信号	低电压状态、过热保护、复位
中断信号	充电完成或失败

## (6) 用电源管理芯片提高电源效率





## 6. 仪器电源配置总结

---

### 1、对电源的要求

电压稳定、纹波小、效率高、使用方便、安全

### 2、对电路的要求

低功耗电路设计

高安全性电路设计

系统性能与功耗的折中设计

### 3、对系统工作方式的要求

软件的省电工作方式

电源的程序控制



## 参考资料

---

- 1、《精密仪器电路》张国雄等 机械工业出版社
- 2、《仪器电路设计与应用》郝晓剑等 电子工业出版社
- 3、《开关电源技术》杨旭等编著 机械工业出版社
- 4、《新型单片开关电源设计与应用技术》沙占友等编著  
电子工业出版社



## 课后作业

---

- 1、设计一种带放大器的典型串联反馈式线性稳压电路，输入电压24V，输出电压5V，输出额定电流200mA。要求画出原理图，计算并选择元器件，计算该电源的效率。
- 2、设计一种非隔离的DC-DC稳压电路，输入电压24V，输出电压5V，输出额定电流200mA。查找一款合适的、外围电路尽可能简单的DC-DC管理器，要求画出原理图，计算并选择外围元器件，评估该电源的效率。
- 3、回答隔离型DC-DC和非隔离型DC-DC有什么不同。在什么情况下必须选择隔离型DC-DC？