

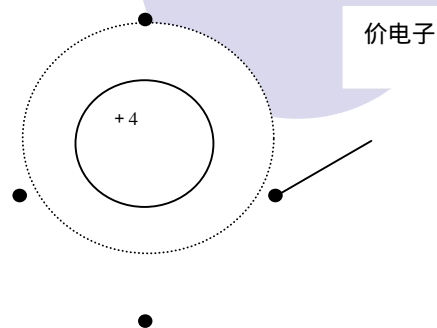
# 第1章 半导体二极管及其应用电路

## 本章重点内容

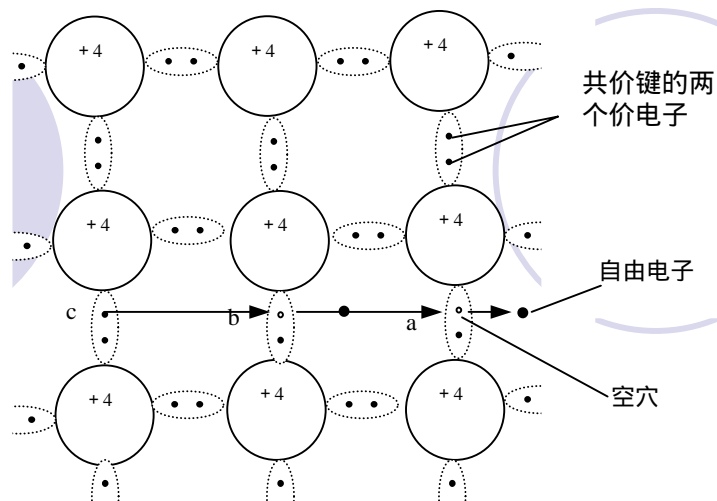
- PN结及其单向导电特性
- 半导体二极管的伏安特性曲线
- 二极管在实际中的应用

## 1.1 PN结

### 1.1.1 本征半导体



(a) 硅和锗原子的简化结构模型



(b) 晶体的共价键结构及电子空穴对的产生

图 1.1 硅、锗原子结构模型及共价键结构示意图

# 1.1.2 杂质半导体

## 1 . N型半导体

## 2 . P型半导体

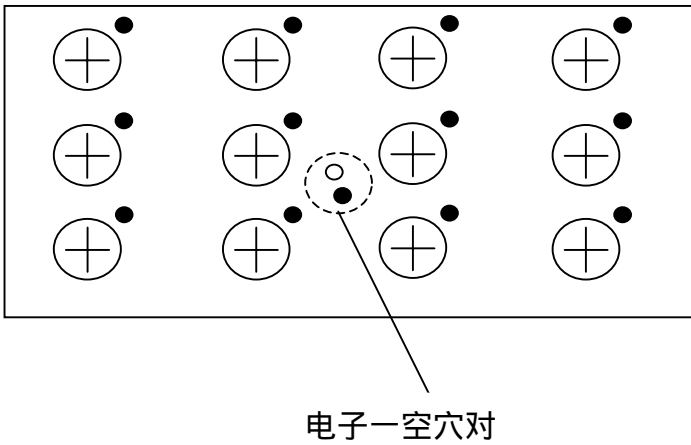
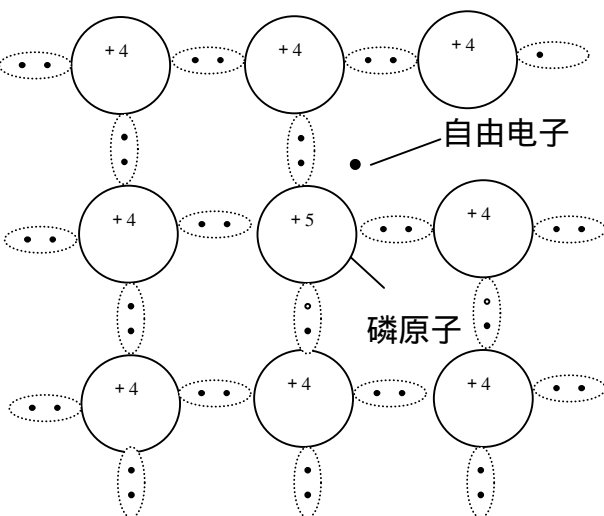


图1.2 N型半导体的结构

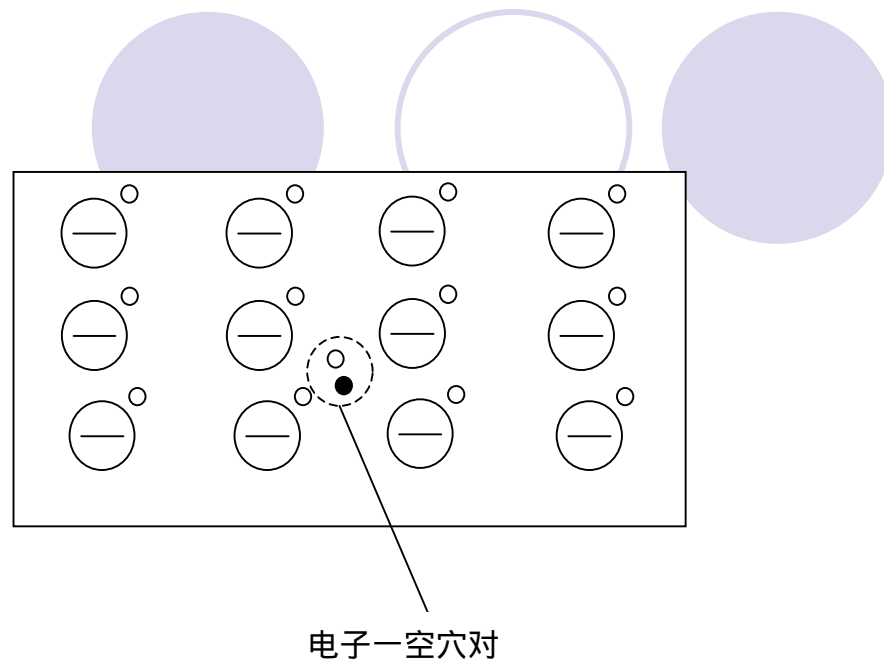
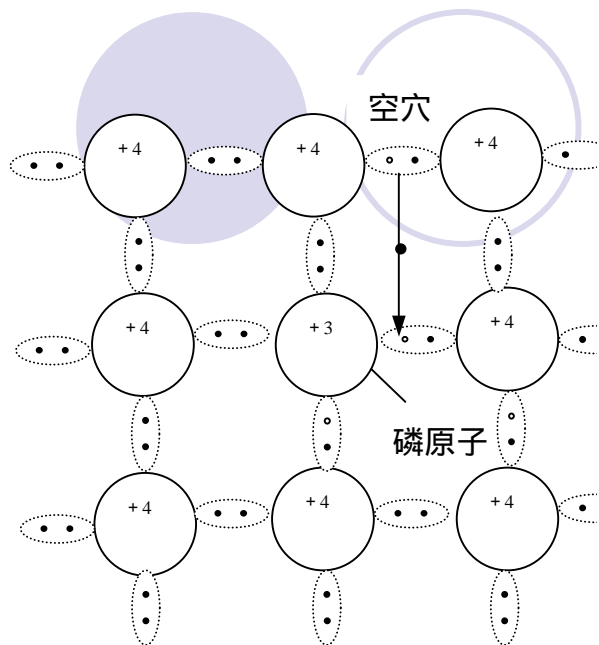


图1.3 P型半导体的结构

### 3. PN结的形成

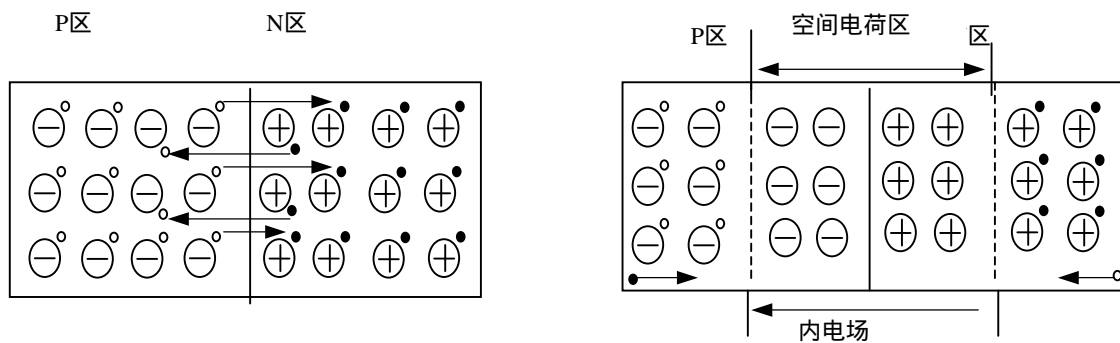
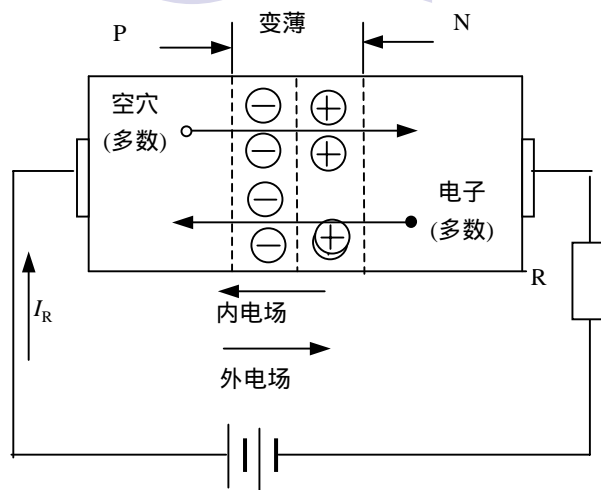


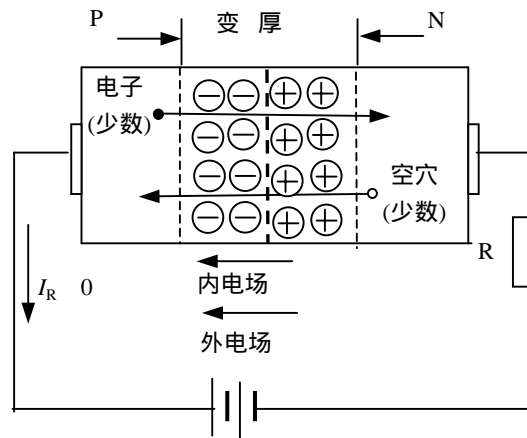
图1.4 PN结的形成

## 4. PN结的单向导电特性

### (1) PN结的正向导通特性



(a) 正向偏置



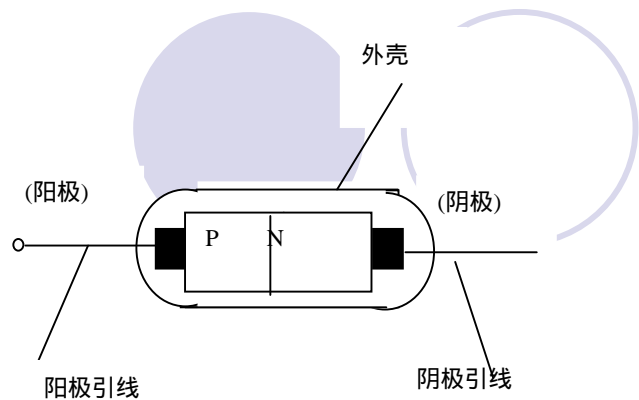
(b) 反向偏置

图1.5 PN结的导电特性

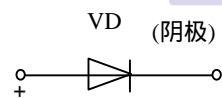
### (2) PN结的反向截止特性

## 1.2 半导体二极管

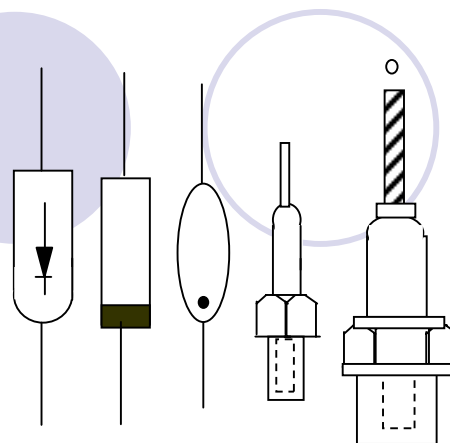
### 1.2.1 半导体二极管的结构及其在电路中的符号



(a) 结构



(b) 电路符号



(c) 实物外形

图1.6 二极管结构、符号及外形

## 1.2.2 半导体二极管的伏安特性

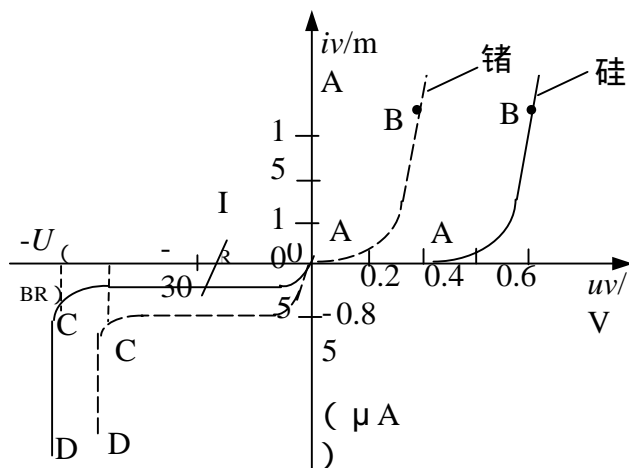


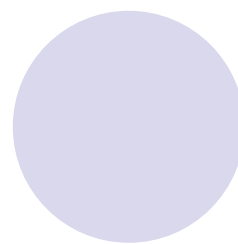
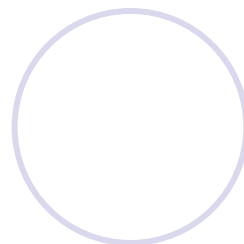
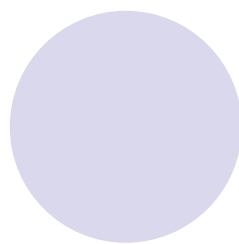
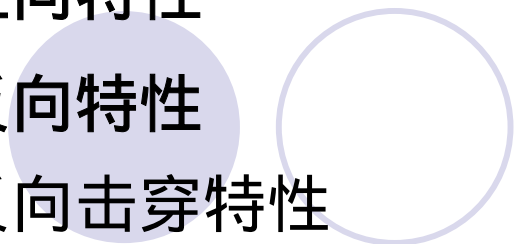
图1.7 二极管伏安特性曲线

1. 正向特性

2. 反向特性

3. 反向击穿特性

4. 温度对特性的影响



### 1.2.3 半导体二极管的主要参数

1. 最大整流电流 $I_F$

2. 最大反向工作电压 $U_{RM}$

3. 反向饱和电流 $I_R$

4. 二极管的直流电阻 $R$

5. 最高工作频率 $f_M$

### 1.2.4 半导体二极管的命名及分类

1. 半导体二极管的命名方法

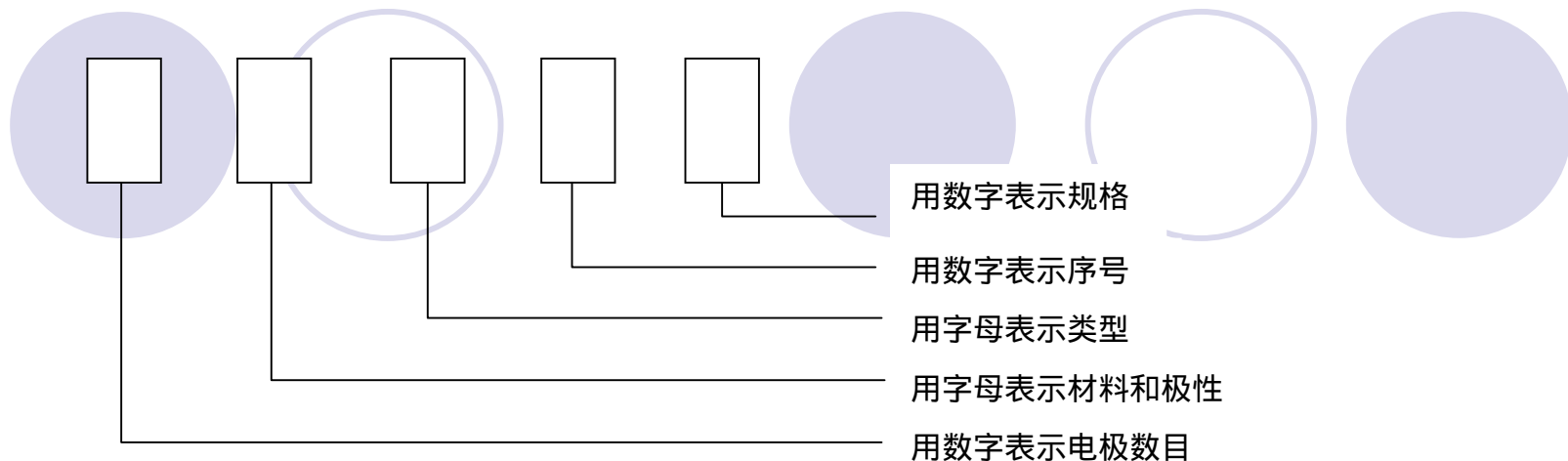


图1.8 半导体器件的型号组成

## 2．半导体二极管的分类

### 1.2.5 二极管的判别及使用注意事项

#### 1．二极管的判别（用万用表进行检测）

（1）二极管正、负极性及好坏的判断

（2）二极管好坏的判别

（3）硅二极管和锗二极管的判断

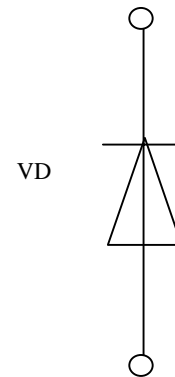
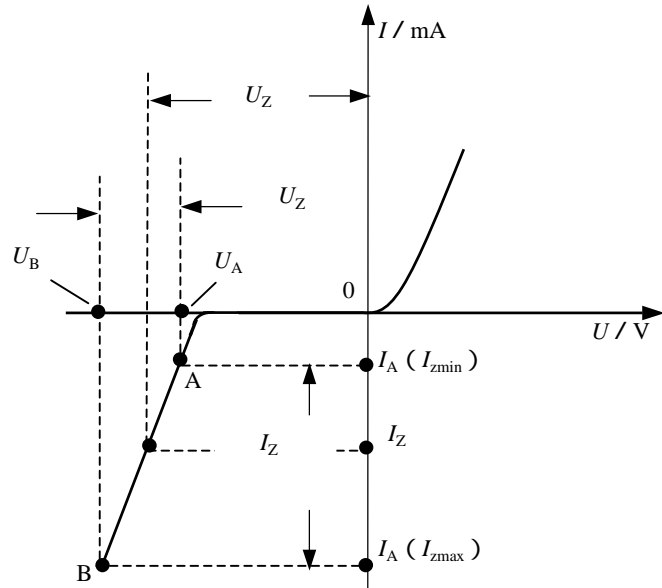
（4）普通二极管和稳压管的判别

## 2. 二极管使用注意事项

### \*1.3 几种常用的特殊二极管

#### 1.3.1 稳压二极管

##### 1. 稳压二极管的工作特性



(a) 伏安特性

(b) 符号

图1.9 稳压二极管的特性曲线和符号



2.稳压管的主要参数

1.3.2 发光二极管

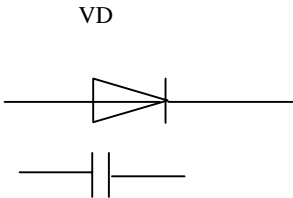
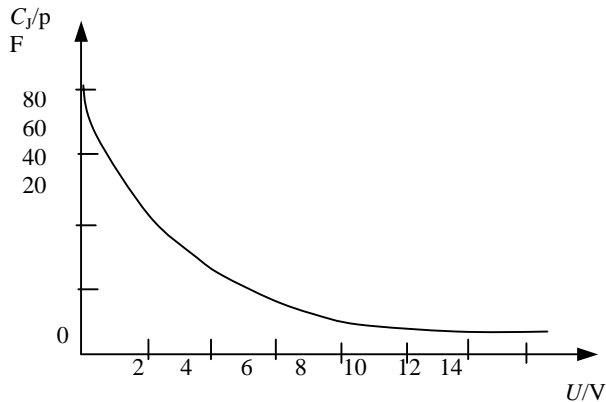
1 . 普通发光二极管

2 . 红外线发光二极管

3 . 激光二极管

1.1.3 光电二极管

1.3.4 变容二极管



(a) 压控特性曲线

(b) 电路符号

图1.12 变容二极管的压控特性曲线和电路符号

# 1.4 半导体二极管的应用

## 1.4.1 整流

## 1.4.2 钳位

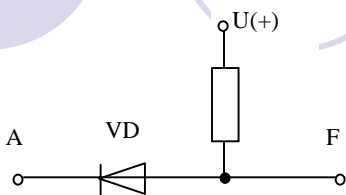
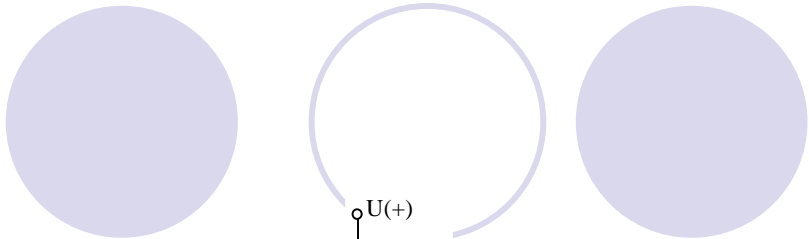
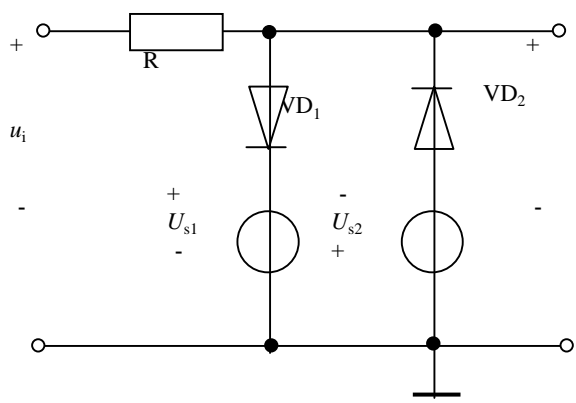
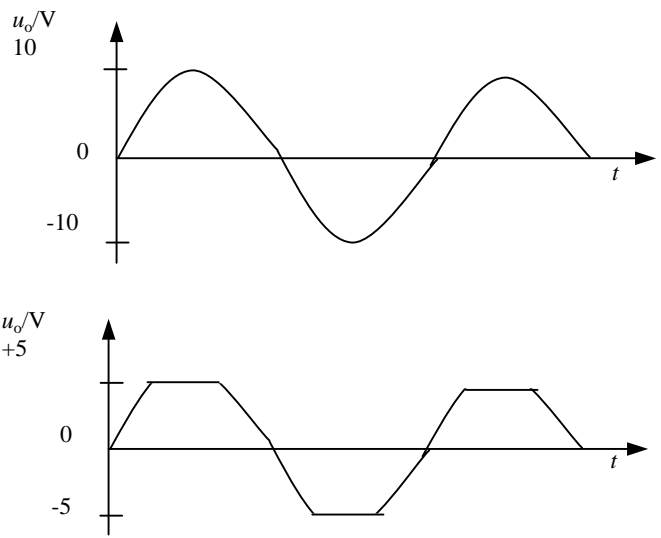


图1.13 二极管钳位电路

## 1.4.3 限幅



(a) 限幅电路



(b) 波形

图1.14 二极管限幅电路及波形

## 4. 电路中的元件保护

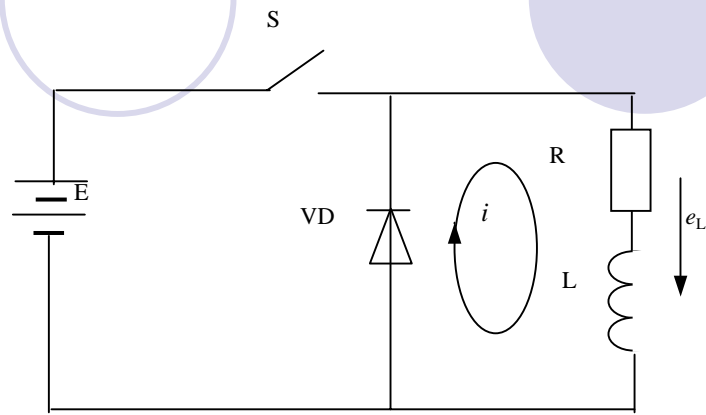


图1.15 二极管保护电路

## 第2章 半导体三极管及其放大电路

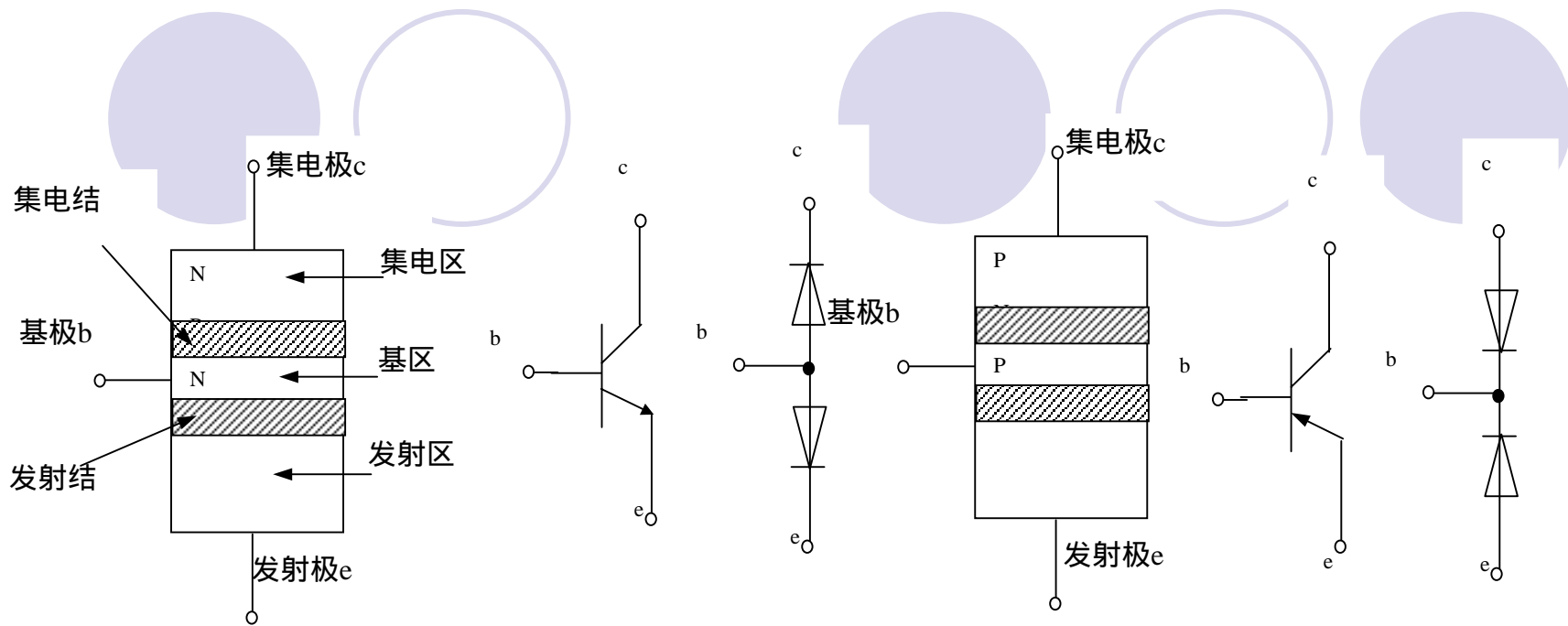
### 本章重点内容

- 晶体三极管的放大原理、输入特性曲线、输出特性曲线
- 基本放大电路的工作原理及放大电路的三种基本偏置方式
- 利用估算法求静态工作点
- 微变等效电路及其分析方法
- 三种基本放大电路的性能、特点

### 2.1 半导体三极管

#### 2.1.1 三极管的结构及分类

##### 1．三极管的内部结构及其在电路中的符号



(a) NPN

(b) PNP

图2.1 三极管的结构示意图及其在电路中的符号

## 2 . 三极管的分类

### 2.1.2 三极管的放大作用

#### . 三极管放大时必须的内部条件

2. 三极管放大时必须的外部条件

3. 三极管内部载流子的传输过程

(1) 发射区向基区发射电子的过程

(2) 电子在基区的扩散和复合过程

(3) 电子被集电区收集的过程

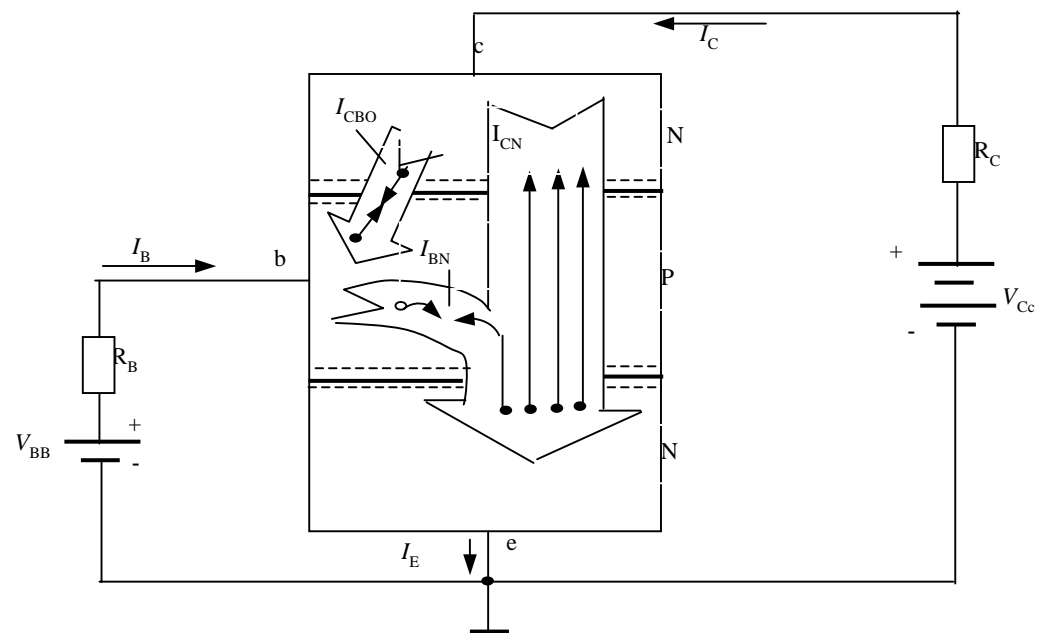


图2.2 三极管内部载流子的运动情况

4 . 三极管电流放大作用的进一步理解

表2.1  $I_B$ 、 $I_C$ 、 $I_E$ 的实验数据

$I_B/\text{mA}$	-0.004	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
$I_C/\text{mA}$	0.004	0.01	1.09	1.98	3.07	4.06	5.05
$I_E/\text{mA}$	0	0.01	1.10	2.00	3.10	4.10	5.10

2.1.3 三极管的特性曲线

1 . 输入特性曲线

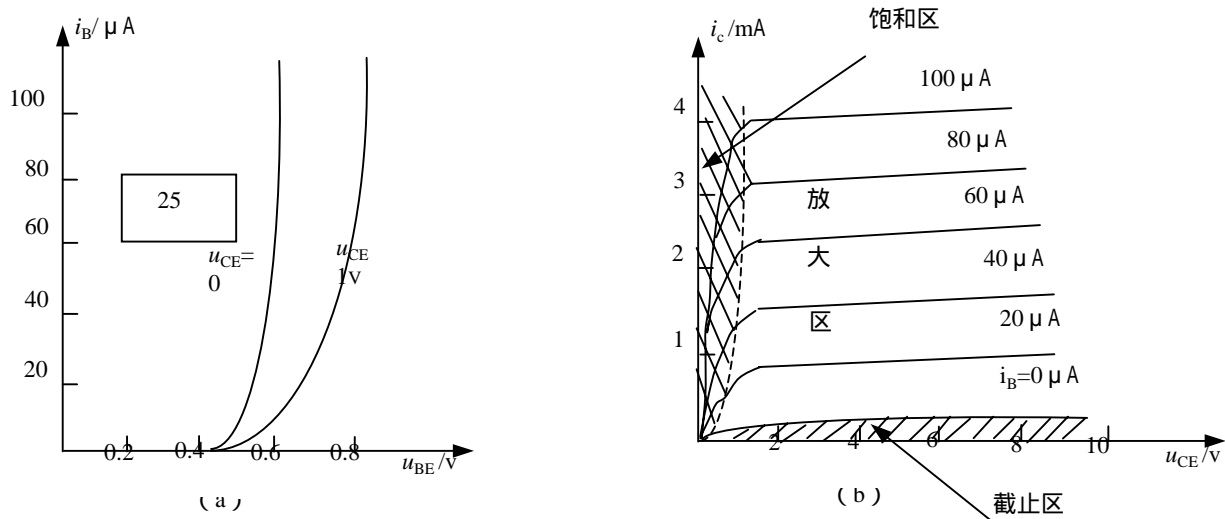


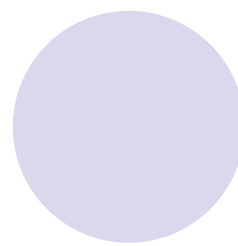
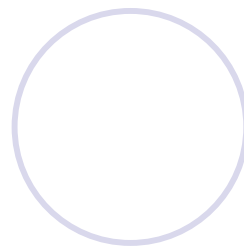
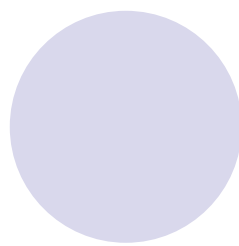
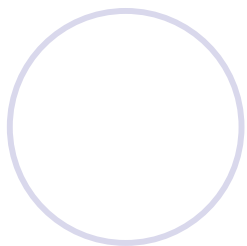
图2.3 三极管的特性 曲线

## 2. 输出特性曲线

(1) 放大区

(2) 饱和区

(3) 截止区



### 2.1.4 三极管正常工作时的主要特点

1. 三极管工作于放大状态的条件及特点

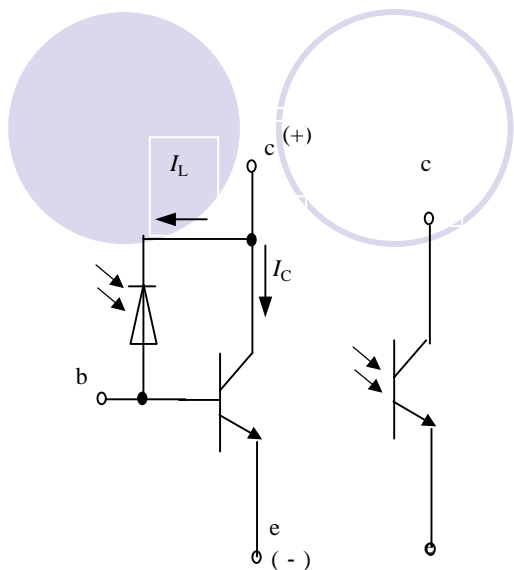
2. 三极管工作于饱和状态的条件及特点

3. 三极管工作于截止状态时的条件及特点

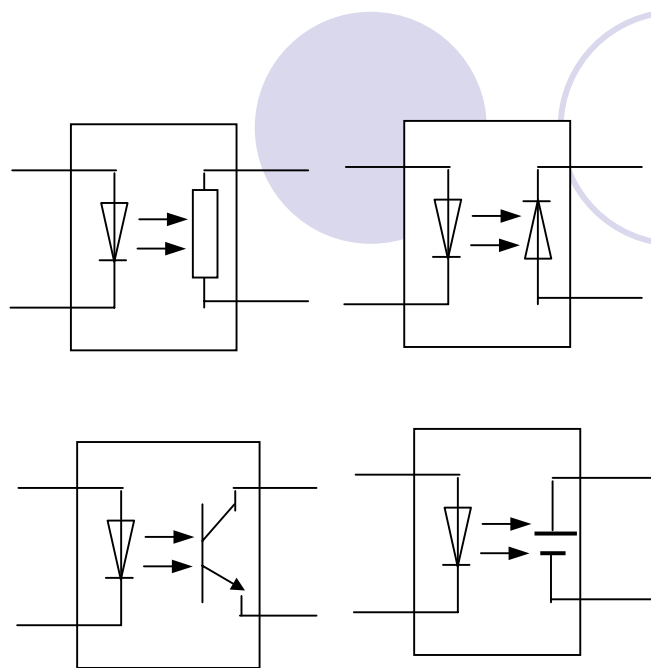
### 2.1.5 特殊晶体管简介

1. 光电三极管





(a) 等效电路 (b) 电路符号  
图2.4 光电三极管的等效电路与电路符号



(c) LED+光电三极管 (d) LED+光电池  
图2.5 光电耦合器电路符号

## 2 . 光电耦合器

## 3 . 晶闸管

### (1) 单向晶闸管

#### A. 内部结构

B. 工作原理

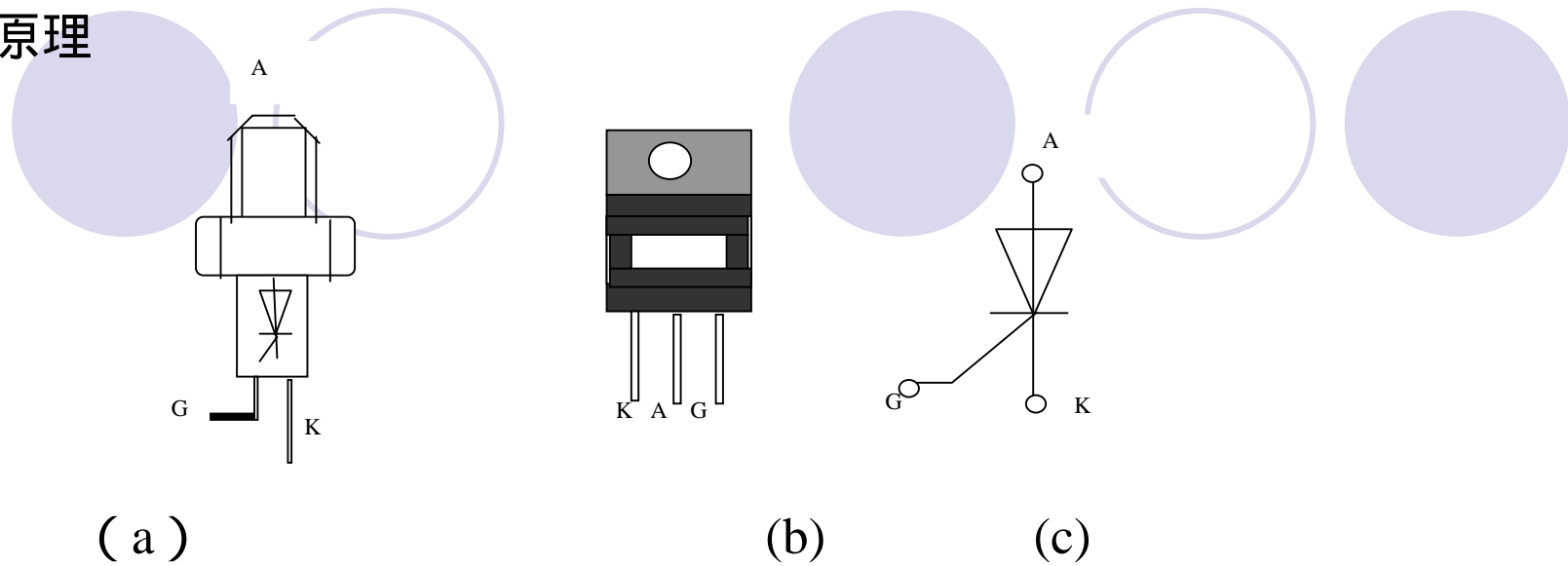
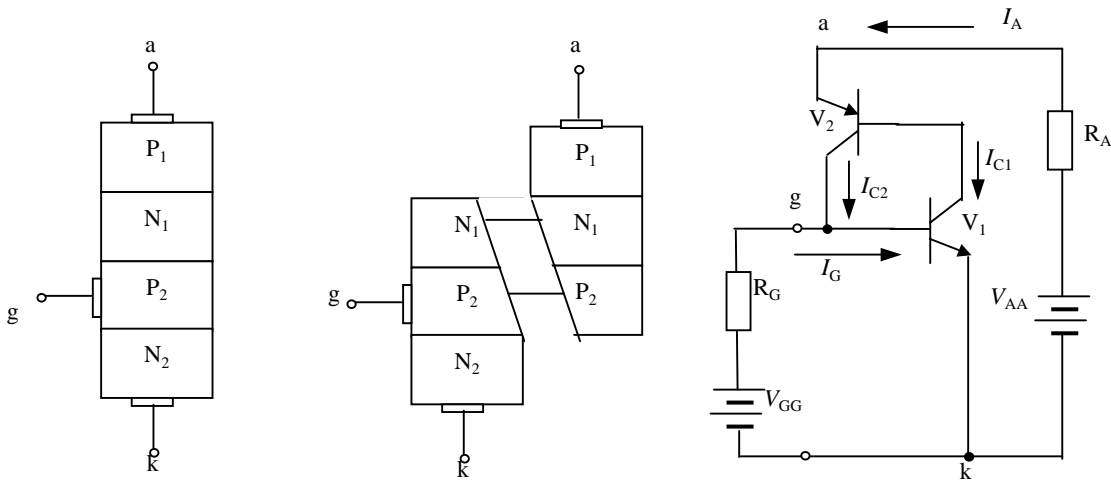


图2.6 单向晶闸管外形及电路符号

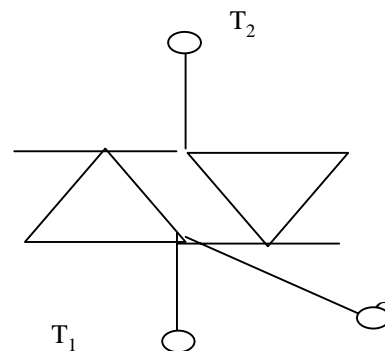
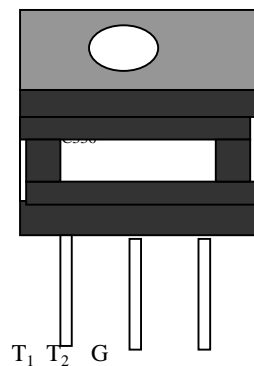


(a) 内部结构示意图 (b) 分解图 (c) 等效电路

图2.7 晶闸管内部结构及其等效电路

- A. 判定晶闸管的电极
- B. 检测量晶闸管的导通情况

( 2 ) 双向晶闸管  
双向晶闸管的结构



(a) (b)  
图2.8 双向晶闸管外形及电路符号

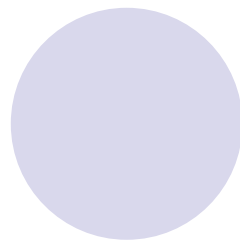
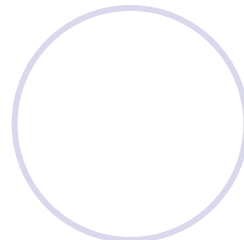
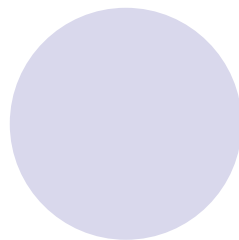
双向晶闸管的测量

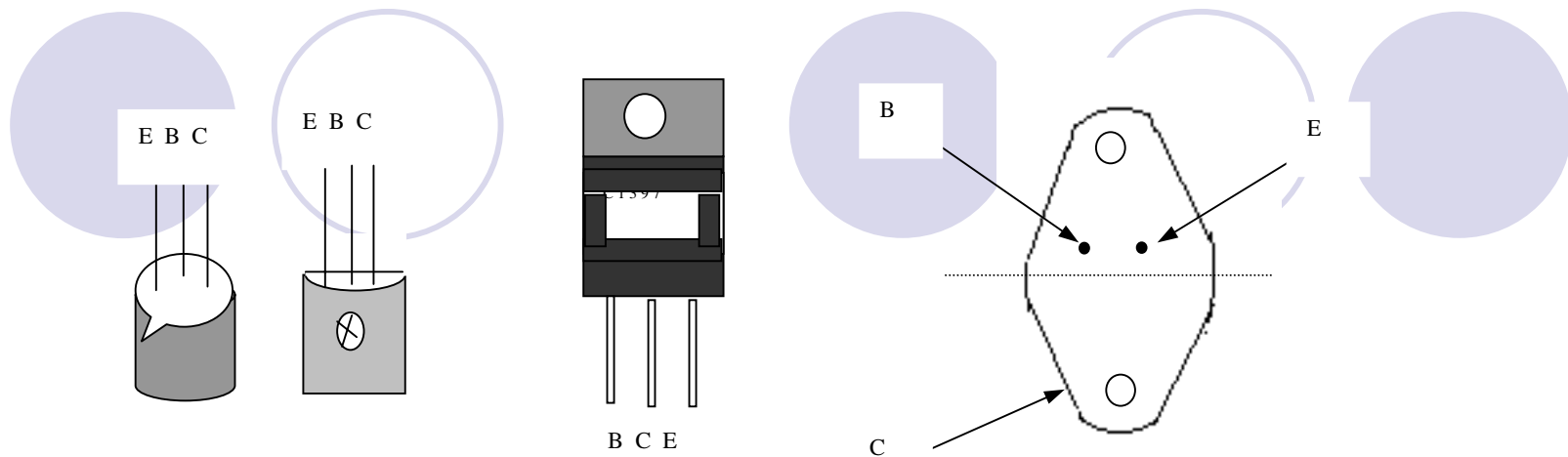
## 2.1.6 三极管的主要参数

1. 电流放大系数
2. 反向饱和电流 $I_{\text{CBO}}$
3. 穿透电流 $I_{\text{CEO}}$
4. 集电极最大允许电流 $I_{\text{CM}}$
5. 集电极、发射极间的击穿电压 $U_{\text{CEO}}$
6. 集电极最大耗散功率 $P_{\text{CM}}$

## 2.1.7 三极管的检测与代换

1. 国产三极管的命名方法简介
2. 三极管三个电极（管脚）的估测





(a) (b) (c)  
图2.10 三极管引脚识别示意图

- 3 . 南韩、日本三极管介绍。
- 4 . 彩电和彩显行输出管简介
- 5 . 三极管好坏的判别
- . 三极管的代换原则

## 2.2 三极管基本放大电路及其分析方法

### 2.2.1 放大的基本概念

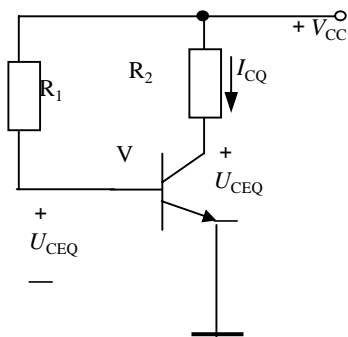
### 2.2.2 三极管在实际应用中的三种放大电路形式

### 2.2.3 放大电路的组成

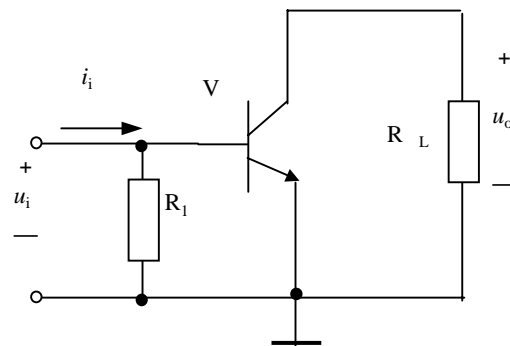
#### 1. 基本放大电路的组成原则

#### 2. 放大电路的组成及各元件的作用

### 2.2.4 放大电路的两种状态——静态和动态



(a) 直流通路



(b) 交流通路

图2.13 直流、交流通路

## 2.2.5 基本放大电路的工作过程

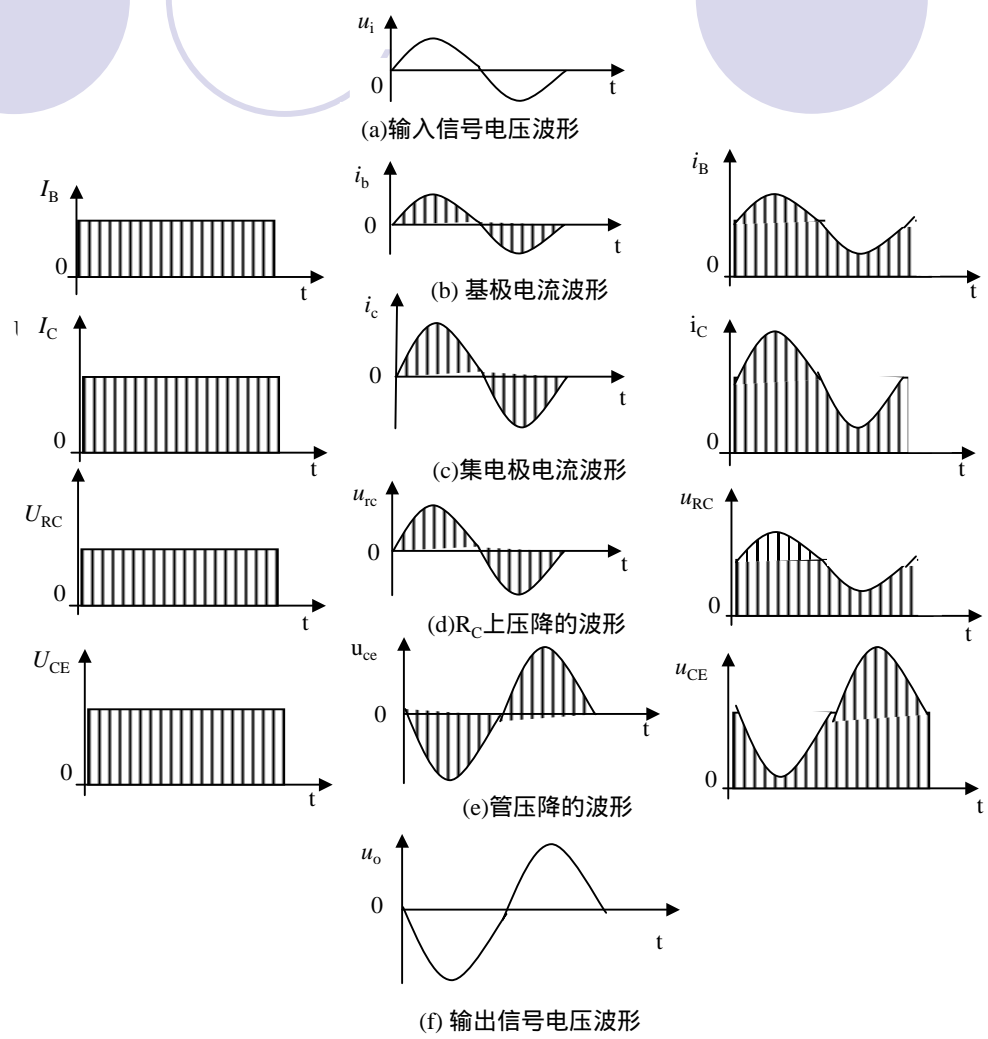


图2.14 基本放大电路的工作波形

## 2.3. 放大电路常用的直流偏置电路

### 2.3.1 固定式直流偏置电路

### 2.3.2 分压式电流负反馈偏置电路

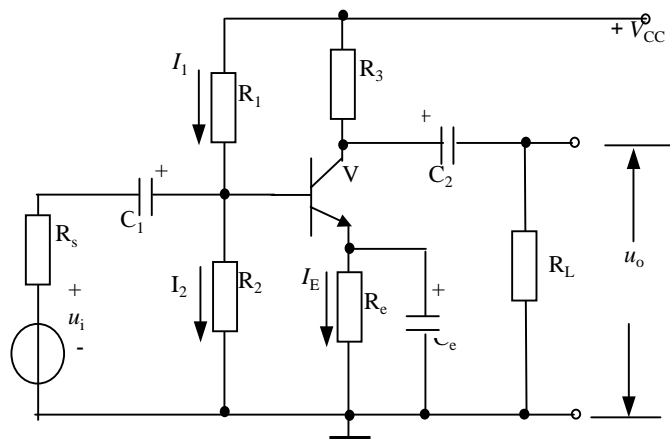


图2.15 分压式电流反馈式偏置电路

#### 1. 工作点稳定过程

- (1) 由基极电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 分压而得到固定的基极电位 $U_B$ 。设图2.15中流过 $R_1$ 、 $R_2$ 的电流分别为 $I_1$ 、 $I_2$ ，则
- (2) 利用发射极电阻 $R_e$ 的电流负反馈作用稳定静态工作点



## 2. 电容 $C_e$ 的作用

### 2.3.3 恒流源偏置电路

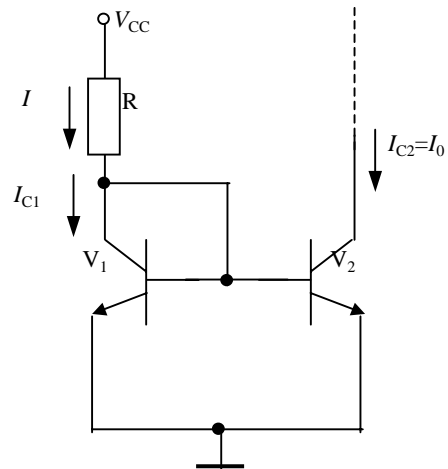
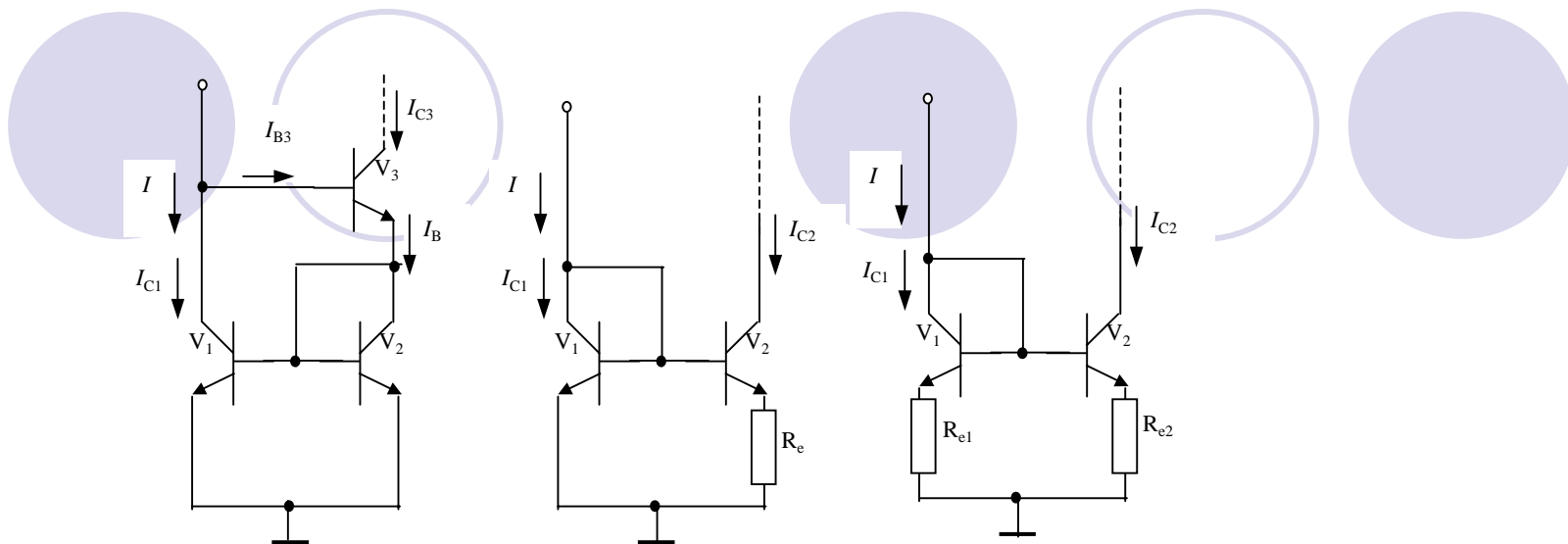


图2.16 镜像恒流源的基本电路



(a) 威尔逊恒流源

(b) 小电流恒流源

(c) 改变射极电阻比获得不同  
输出电流的恒流源

图2.17 改进型恒流源电路

## 2.4 放大电路的三种基本分析方法

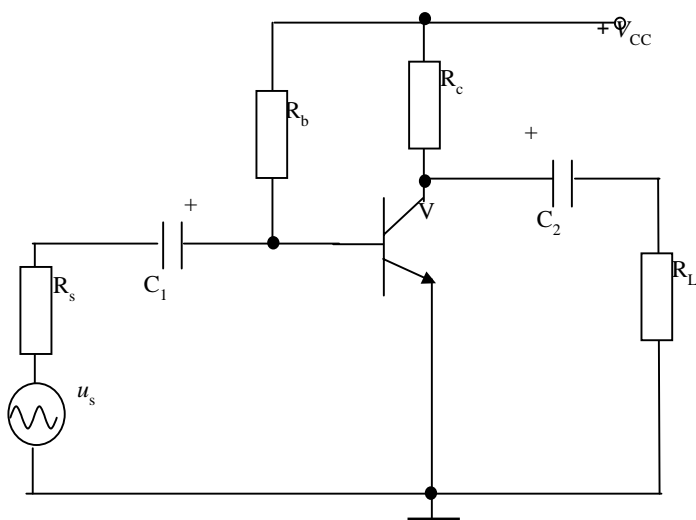
### 2.4.1 静态工作点估算法

(1) 画出放大电路的直流通路

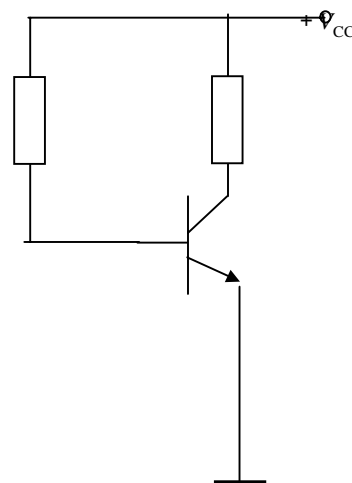
(2) 由直流通路列出输入回路和输出回路方程，代入方程，分别求出  $I_{BQ}$ 、 $I_{CQ}$

、 $U_{CEQ}$ 。

例1 估算图2.18所示放大电路的静态工作点，设  $V_{CC}=12V$ ， $R_c=3k$ ， $R_B=280k$ ， $R_s=50$ 。



(a)



(b)

图2.18

## 2.4.2 放大电路的图解分析法

### 1. 用图解法确定静态工作点的步骤：

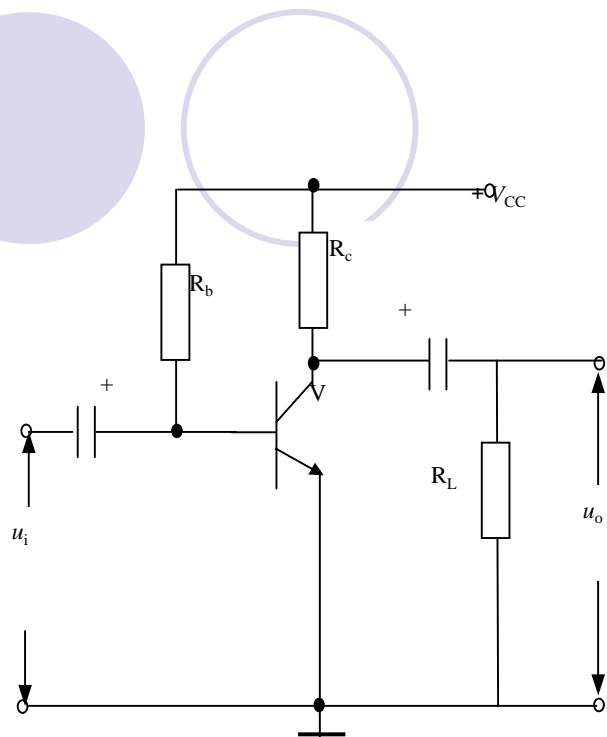
(1) 在  $i_c$ 、 $u_{ce}$  平面坐标上作出晶体管的输出特性曲线。

(2) 根据直流通路列出放大电路直流输出回路的电压方程式： $U_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$

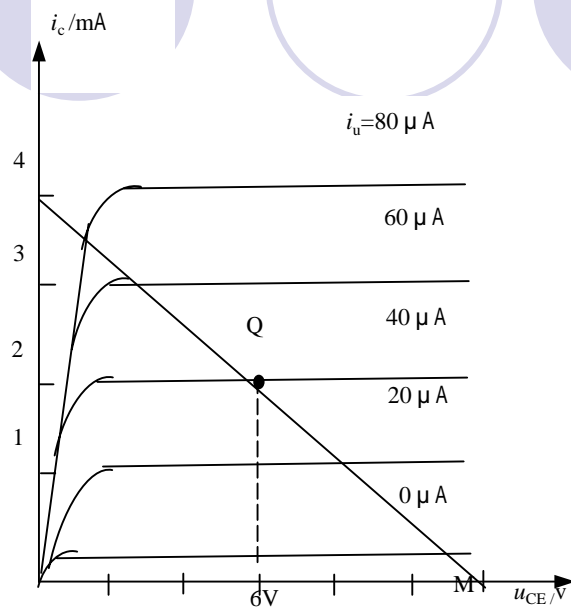
(3) 根据电压方程式，在输出特性曲线所在坐标平面上作直流负载线。因为两点可决定一条直线，所以分别取 ( $I_C=0$ ,  $U_{CE}=V_{CC}$ ) 和 ( $U_{CE}=0$ ,  $I_C=E_C/R_c$ ) 两点，这两点也就是横轴和纵轴的截距，连接两点，便得到直流负载线。

(4) 根据直流通路中的输入回路方程求出  $I_{BQ}$ 。

(5) 找出  $I_B = I_{BQ}$  这一条输出特性曲线，该曲线与直流负载线的交点即为Q点（静态工作点），该Q点直观地反映了静态工作点 ( $I_{BQ}$ 、 $I_{CQ}$ 、 $U_{CQ}$ ) 的三个值。即为所求静态工作点的值。



(a) 电路图



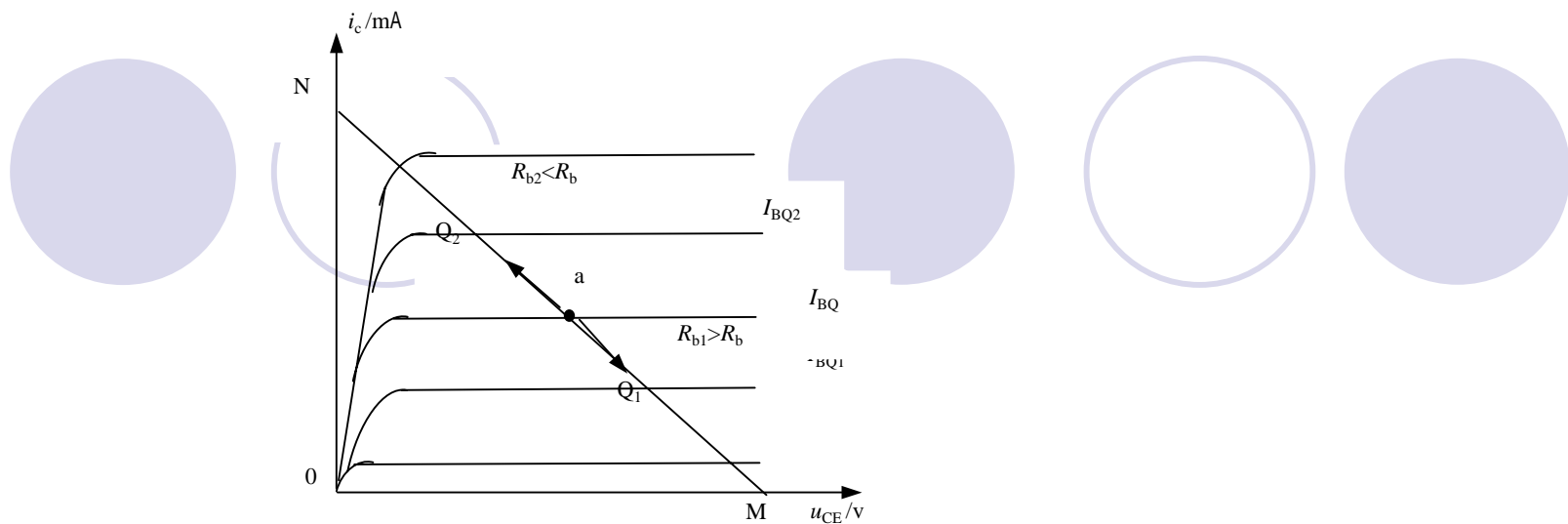
(b) 特性曲线

图2.19 例2电路图

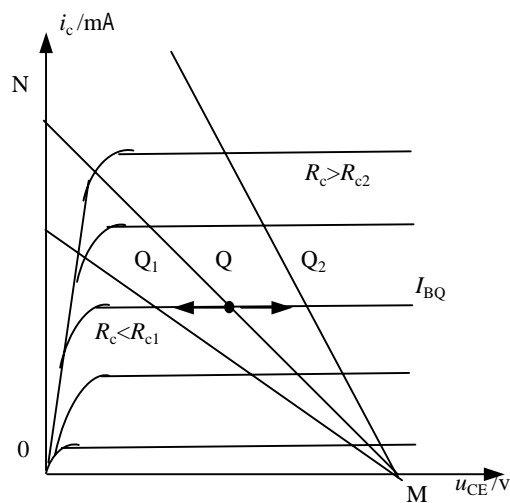
## 2. 电路参数对静态工作点的影响

(1)  $R_b$  对Q点的影响

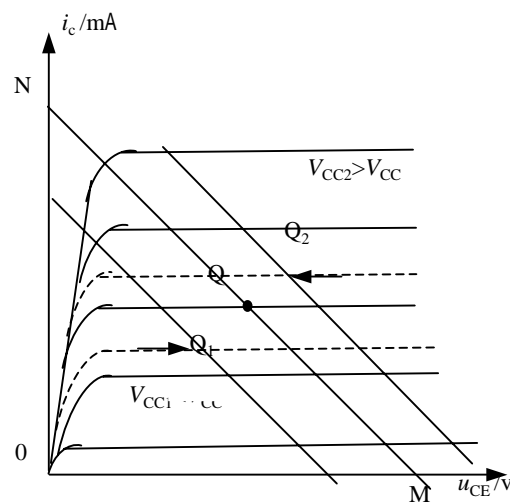
(2)  $R_c$  对Q点的影响



(a)  $R_b$ 变化对Q点的影响



(b)  $R_c$ 变化对Q点的影响



(c)  $V_{CC}$ 变化对Q点的影响

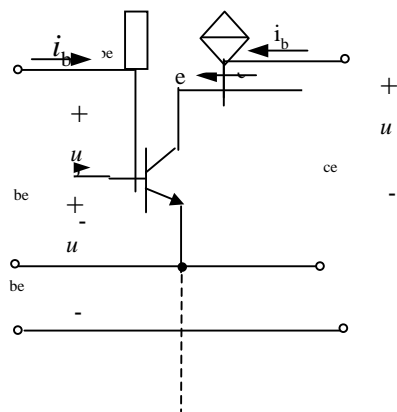
图2.20 电路参数对Q点的影响

(3)  $V_{CC}$  对Q点的影响

## 4.3 放大电路的微变等效电路分析法

1. 三极管的微变等效电路 (三极管输入端be间和输出端ce间的微变等效电路)

1) 三极管输入端 (be) 间的微变等效电路



(b)

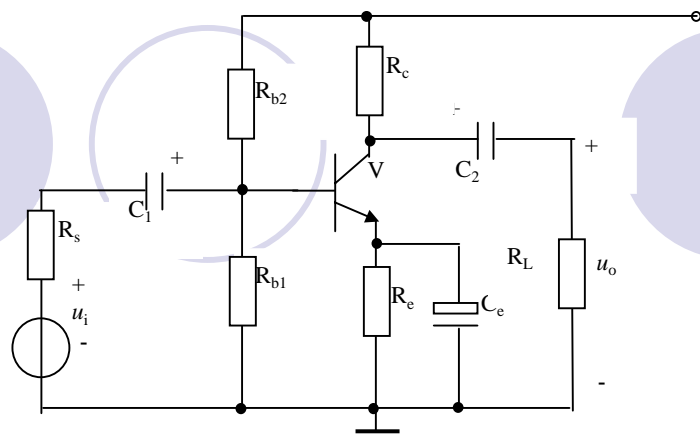
图2.21 三极管的微变等效电路

(2) 三极管输出端 (ce) 间的微变等效电路

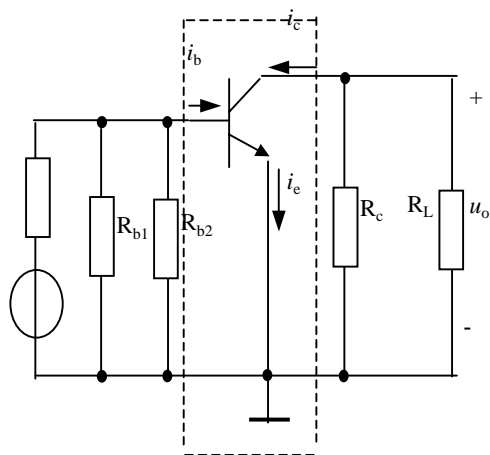
2. 放大电路的微变等效电路

第一, 根据放大电路画出交流通路。

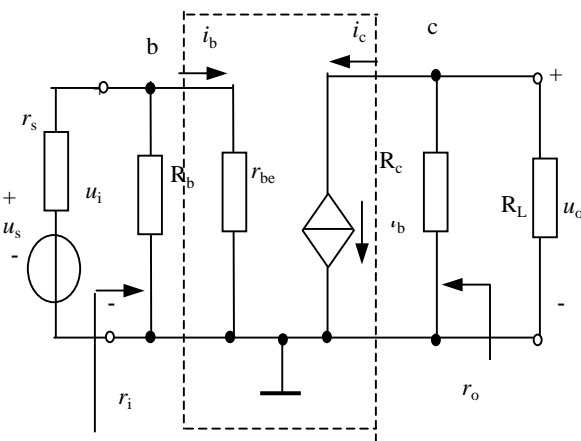
用三极管的微变等效电路代替交流通路中的三极管, 画出放大电路的微变等效电路。



(a) 放大电路



(b) 交流通路



(c) 微变等效电路

图2.22 放大电路的微变等效电路



## 2.5 放大电路的动态性能指标及分析

### 2.5.1 放大电路的动态性能指标

1. 放大倍数

2. 输入电阻 $r_i$

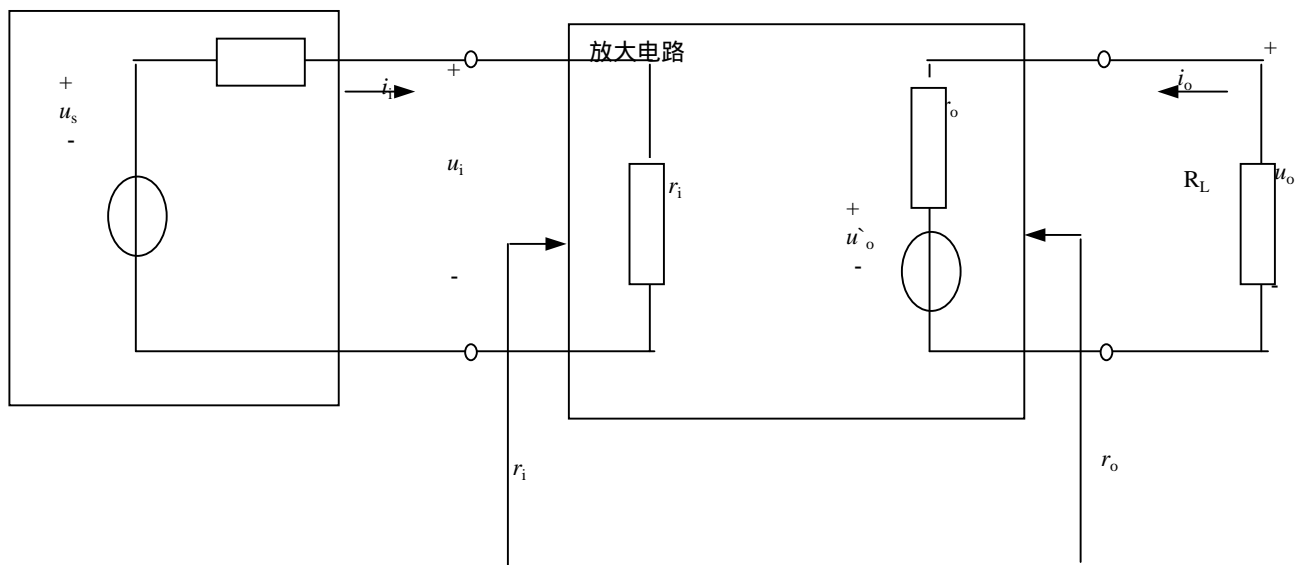


图2.23 放大电路的方框图

3. 输出电阻 $r_o$

### 2.5.2 放大电路性能指标估算的方法、步骤

1. 在放大电路静态分析的基础上，根据静态工作点的数值及相关公式，求出 $r_o$ 。
2. 画出放大电路的微变等效电路。
3. 根据微变等效电路及 $A_u$ 、 $r_i$ 、 $r_o$ 的定义式，分别求出 $A_u$ 、 $r_i$ 、 $r_o$ 。

### 2.5.3 共射放大电路基本动态参数的估算

1. 电压放大倍数

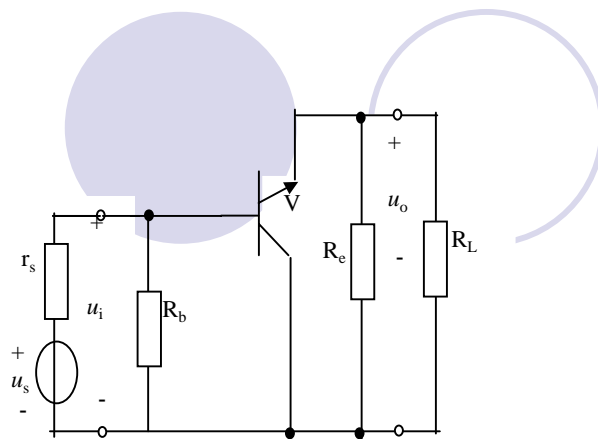
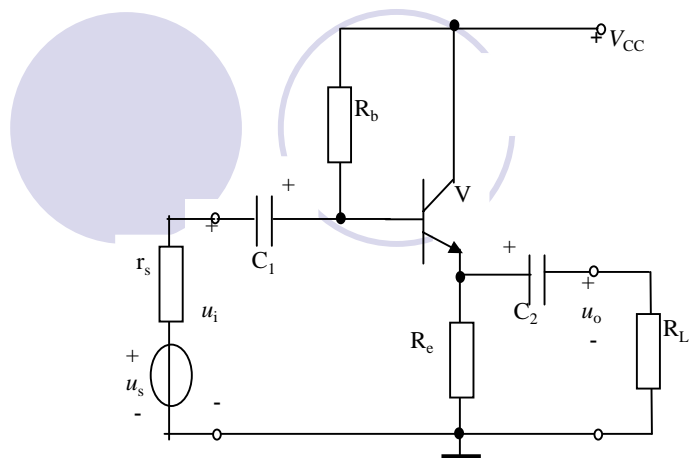
2. 源电压放大倍数 $A_{us}$

输入电阻 $r_i$

输出电阻 $r_o$

### 2.5.4 共集电极、共基极放大电路

1. 共集电极放大电路



(a) 典型电路

(b) 交流通路

图 2.25 共集电极电路

(1) 静态工作点的估算

(2) 动态分析

## 2. 共基极电路

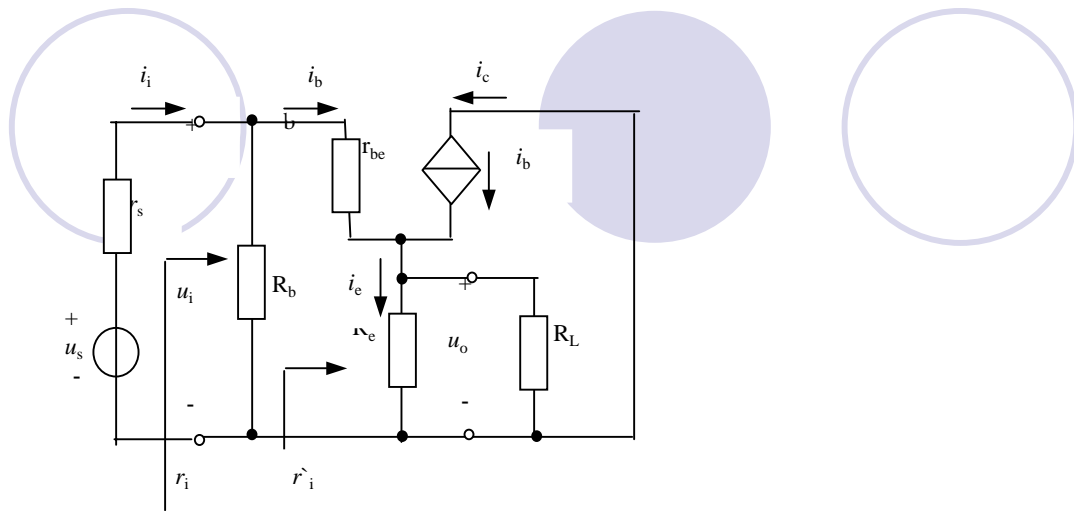
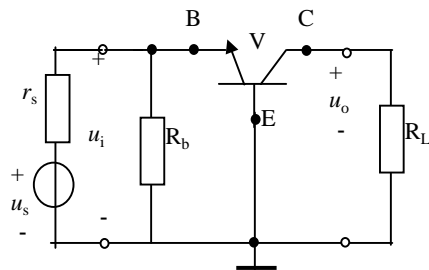
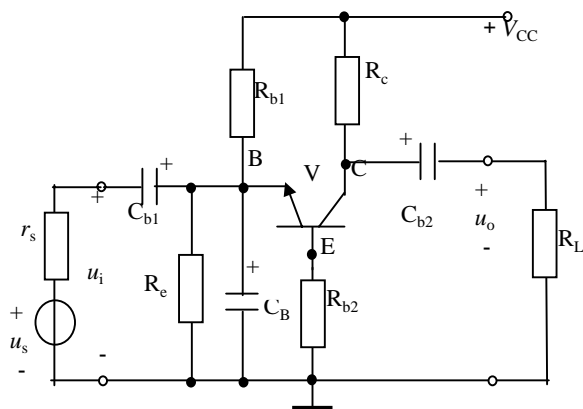


图2.26 共集电极放大电路的微变等效电路



(a) 电路图

(b) 交流通路

图2.27 共基放大电路

## (1) 静态分析

## 2) 动态分析

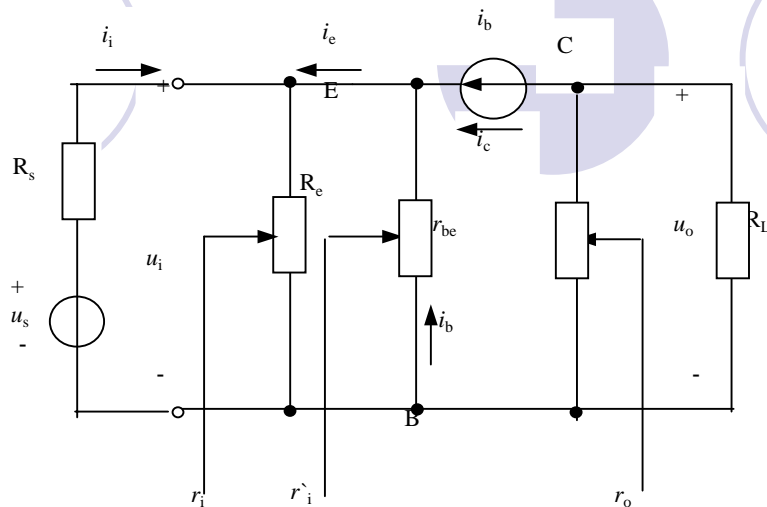


图2.28 共基极微变等效电路

电压放大倍数 $A_u$

输入电阻 $r_i$

输出电阻 $r_o$

## 2.6 三种基本放大电路的比较

### \*2.7 多级放大电路

### 2.7.1 多级放大电路的组成

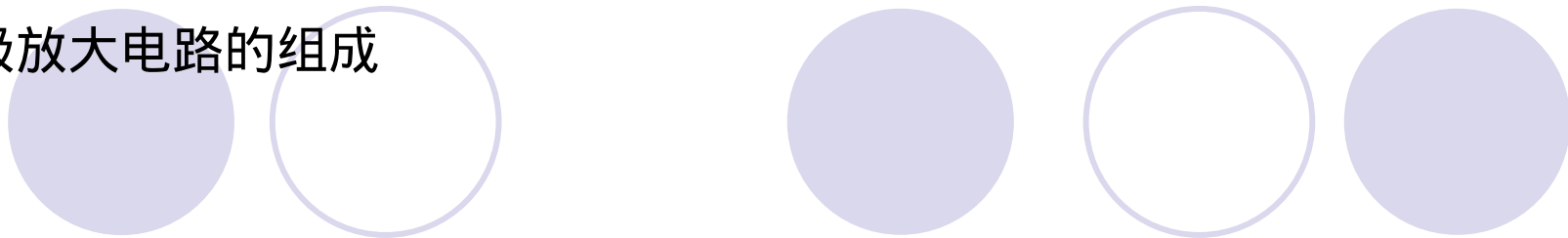


图2.29 多级放大电路的结构框图

### 2.7.2 多级放大电路的耦合方式

- (1) 保证信号在级与级之间能够顺利地传输；
  - (2) 耦合后，多级放大电路的性能必须满足实际的要求。
- 为了满耦合后，各级电路仍具有合适的静态工作点

### 7.3 阻容耦合

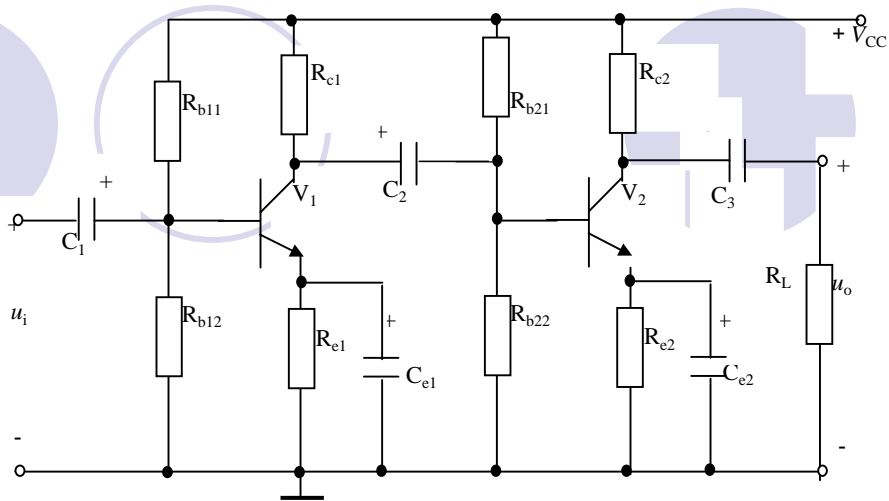


图2.30 两级阻容耦合放大电路

(1) 优点：因电容具有“隔直”作用，所以各级电路的静态工作点相互独立，互不影响。这给放大电路的分析、设计和调试带来了很大的方便。此外，还具有体积小、重量轻等优点。

(2) 缺点：因电容对交流信号具有一定的容抗，在信号传输过程中，会受到一定的衰减。尤其对于变化缓慢的信号容抗很大，不便于传输。此外，在集成电路中，制造大容量的电容很困难，所以这种耦合方式下的多级放大电路不便于集成

## 2.7.4 直接耦合

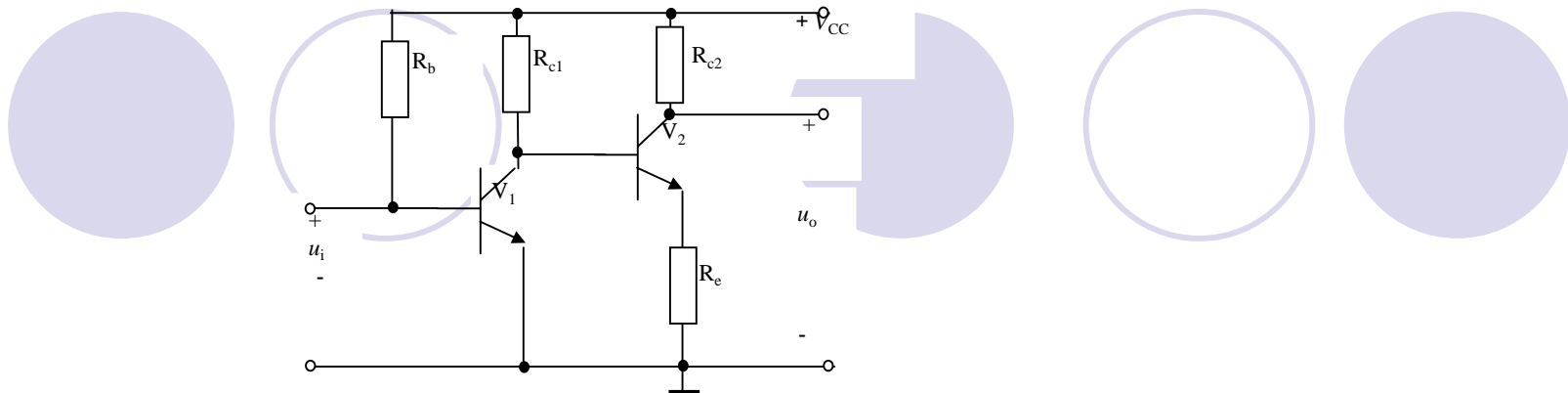


图2.31 直接耦合放大电路

1. 优点：既可以放大交流信号，也可以放大变化非常缓慢（直流）的信号；电路简单，便于集成，所以集成电路中多采用这种耦合方式。
2. 缺点：存在着各级静态工作点相互牵制和零点漂移这两个问题。（第5章将讨论零点漂移问题。）

### 2.7.5 变压器耦合

（1）优点：因变压器不能传输直流信号，只能传输交流信号和进行阻抗变换，所以，各级电路的静态工作点相互独立，互不影响。改变变压器的匝数比，容易实现阻抗变换，因而容易获得较大的输出功率。

（2）缺点：变压器体积大而重，不便于集成。同时频率特性差，也不能传送直流和变化非常缓慢的信号。



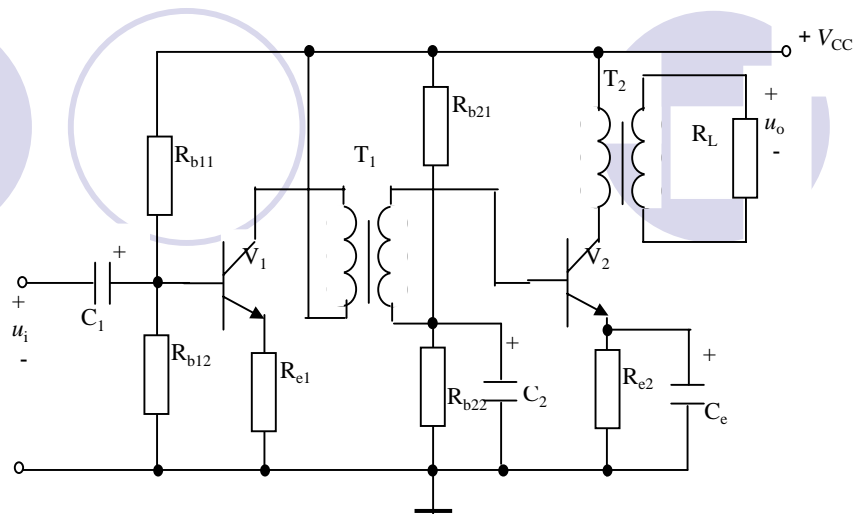


图2.32 变压器耦合放大电路

## 2.7.6 组合放大电路

### 1. 共发 - 共基组合放大电路

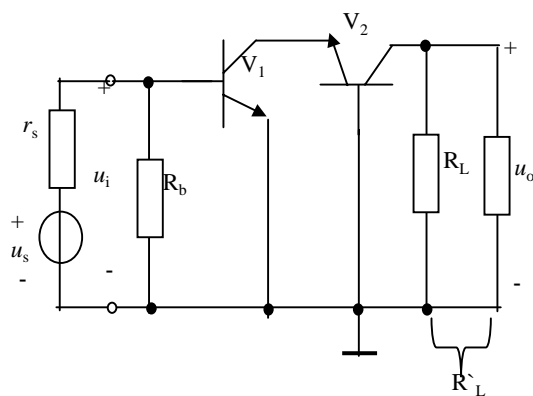


图2.33 共发 - 共基组合放大器的交流通路

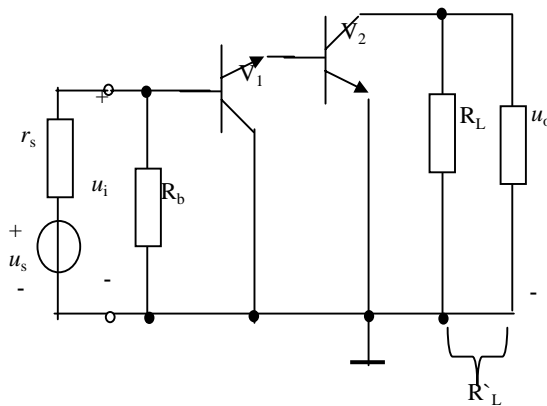


图2.34 共集 - 共发组合放大器的交流通路

## 2. 共集-共发组合放大电路

(1) 电压放大倍数

(2) 输入电阻

(3) 输出电阻

### 思考题

- 1、基本放大电路由哪些必不可少的部分组成？各元件有什么作用？
  - 2、试画出PNP型三极管的基本放大电路，并注明电源的实际极性，以及各电极实际电流方向。
  - 3、三极管具有放大作用的内部条件和外部条件各是什么？
  - 4、为什么说三极管放大作用的本质是电流控制作用？如何用三极管的电流分配关系来说明它的控制作用？
  - 5、试在特性曲线上指出三极管的三个工作区：放大区、截止区、饱和区。
  - 6、三极管发射极与集电极对调使用时，放大作用将如何？
  - 7、在哪些情况下，工作点沿直流负载线移动？在哪些情况下，工作点沿交流负载线移动？实际上工作点有没有可能到达交流负载线的上顶端和下顶端？为什么？
- 试分析电流负反馈偏置电路中，射极电阻 $R_e$ 和它的并联电容 $C_e$ 的作用原理。

## 第3章 场效应管及其放大电路

本章重点:

- 结型、绝缘栅型场效应管的工作原理、输出特性、转移特性及主要参数
  - 共源、共漏极放大电路的工作原理
- 场效应管的偏置方式及静态工作点的求法

### 3.1 概述

#### 3.1.1 场效应管的特点

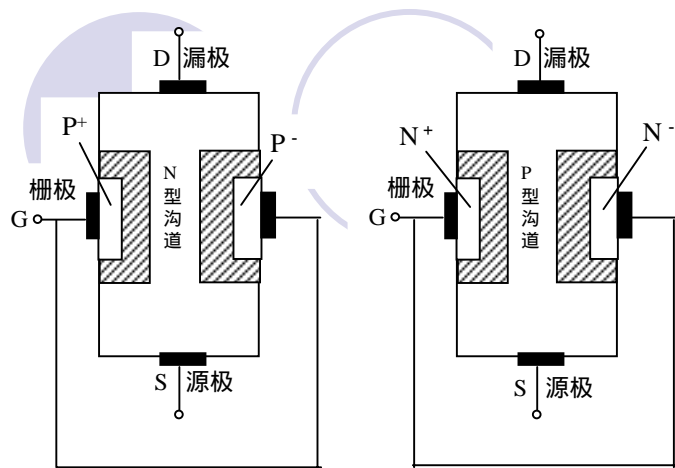
#### 3.1.2 场效应管的分类

#### 3.1.3 场效应管与晶体三极管的比较

### 3.2 场效应管

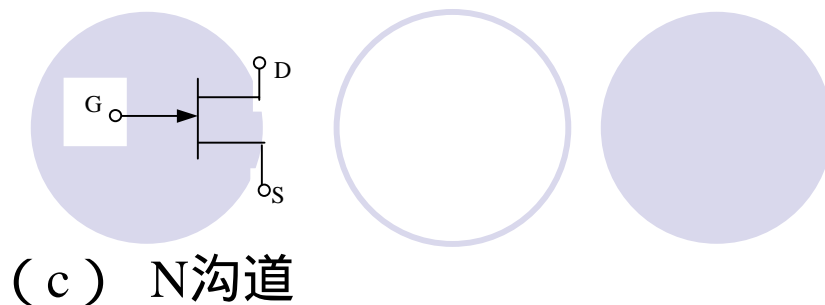
#### 3.2.1 结型场效应管

##### 1 结构

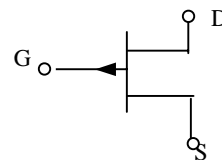


(a) N型沟道

(b) P型沟道



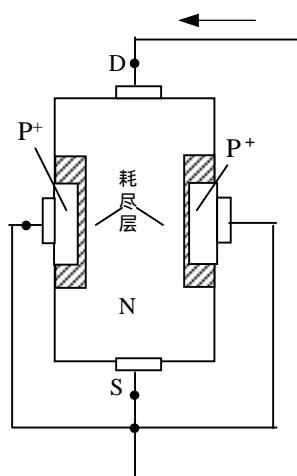
(c) N沟道



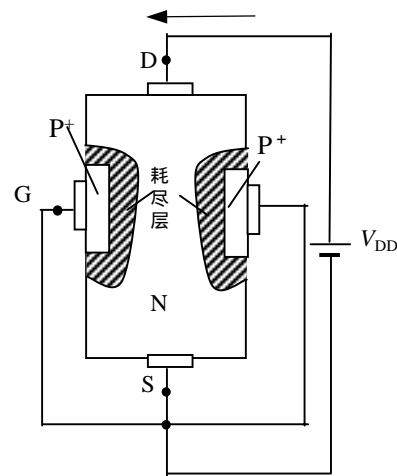
(d) P沟道

图3.1 结型场效应管的结构示意图和符号

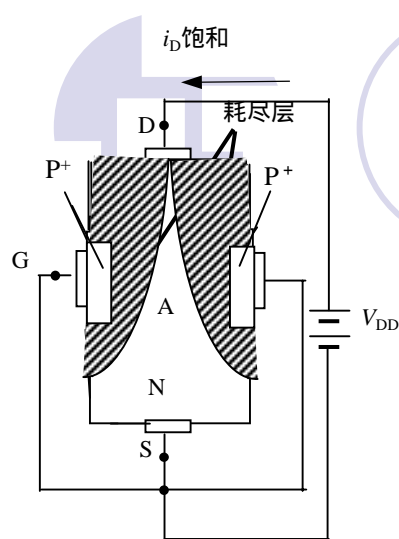
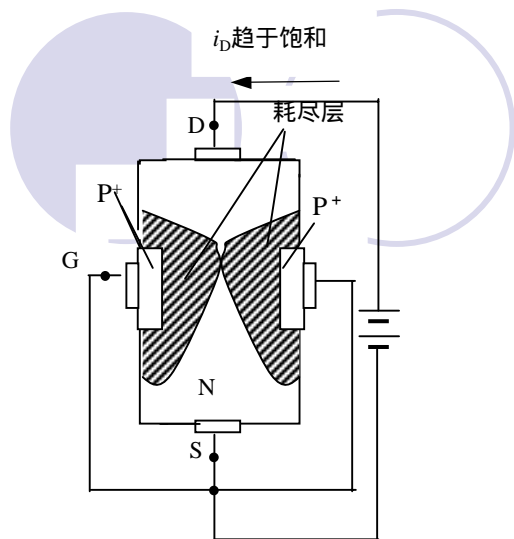
## 2. 结型场效应管的工作原理



(a)  $u_{GS}=0, u_{DS}=0$ 时的情况



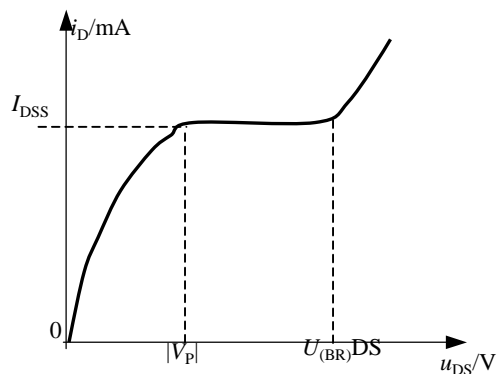
(b)  $u_{GS}=0, u_{DS}<|V_P|$ 时的情况



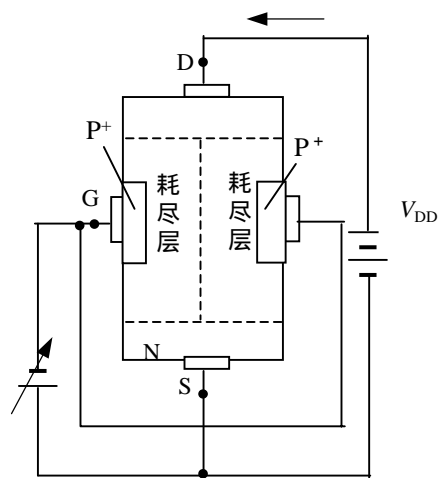
(c)  $u_{GS}=0, u_{DS}=|V_P|$  时的情况

(d)  $u_{GS}=0, u_{DS}>|V_P|$  时的情况

图3.2 改变  $u_{DS}$  时结型场效应导电沟道的变化



(a)  $U_{GS}=0$  时



(b)  $u_{GS}$   $V_P$  时沟道被夹断

图3.3

### 3. 结型场效应管的特性曲线

#### (1) 转移特性

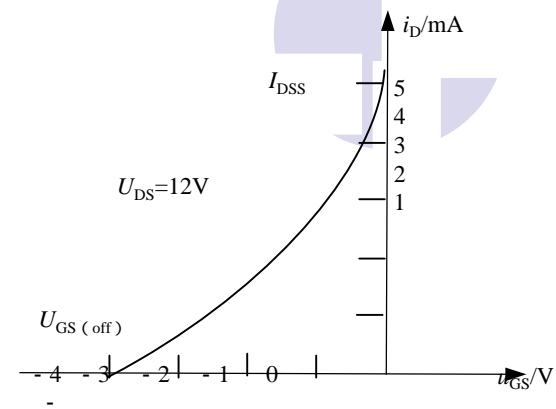


图3.4 N沟道结型场效应管的转移特性曲线

#### (2) 输出特性

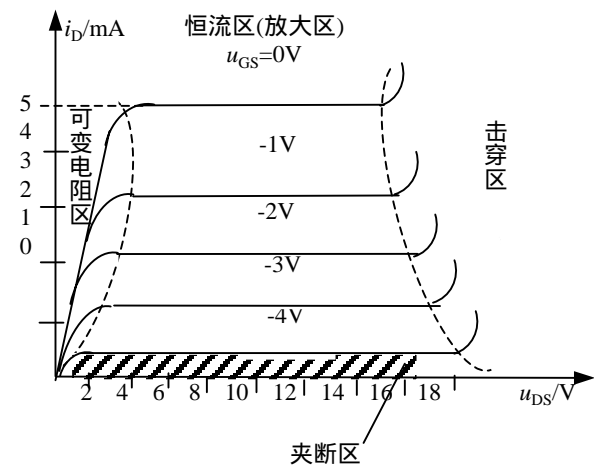


图3.5 N沟道结型场效应管输出特性曲线

可变电阻区：当漏源电压 $u_{DS}$ 很小时，场效应管工作于该区。此时，导电沟道畅通，场效应管的漏源之间相当于一个电阻。在栅、源电压 $u_{GS}$ 一定时，沟道电阻也一定， $i_D$ 随 $u_{GS}$ 增大而线性增大。但当栅源电压变化时，特性曲线的斜率也随之发生变化。可以看出，栅源电压 $u_{DS}$ 无关，我们称这个区域为恒流区，也称为放大区。在恒流区， $i_D$ 主要由栅源电压 $u_{GS}$ 决定。

恒流区：随着 $u_{DS}$ 增大到一定程度， $i_D$ 的增加变慢，以后 $i_D$ 基本恒定，而与漏源电压 $u_{DS}$ 无关，我们称这个区域为恒流区，也称为放大区。在恒流区， $i_D$ 主要由栅源电压 $u_{GS}$ 决定。

击穿区：如果继续增大 $u_{DS}$ 到一定值后，漏、源极之间会发生击穿，漏极电流 $i_D$ 急剧上升，若不加以限制，管子就会损坏。

夹断区：当 $u_{GS}$ 负值增加到夹断电压 $u_{GS(off)}$ 后， $i_D = 0$ ，场效应管截止。

### 3.2.2 绝缘栅型场效应管

#### 1. 增强型绝缘栅场效应管的结构及工作原理

##### (1) 结构及符号

(2) 工作原理

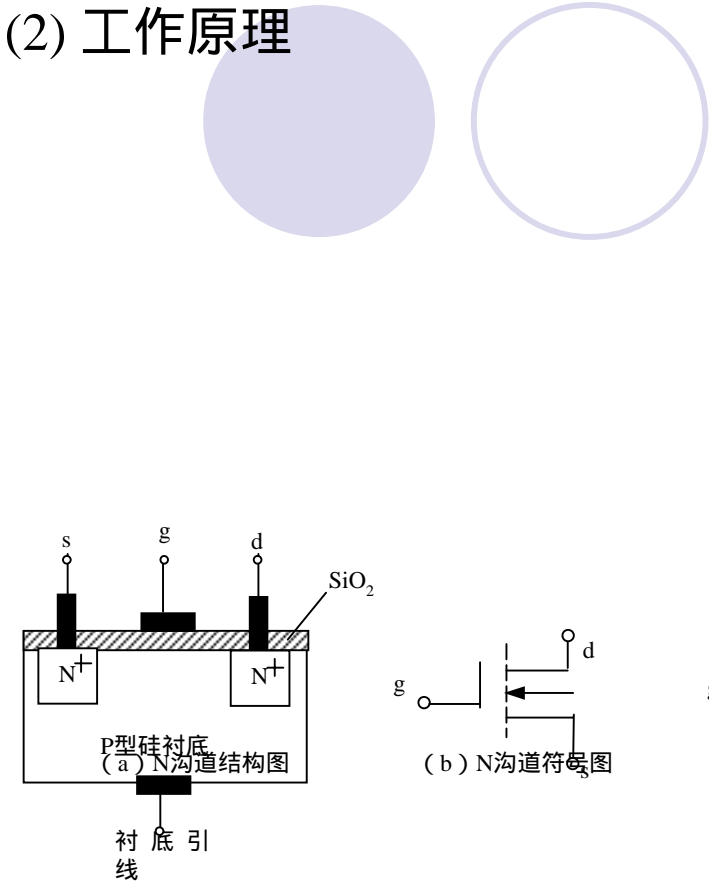


图3.6 增强型MOS管结构及符号图

(3) 特性曲线

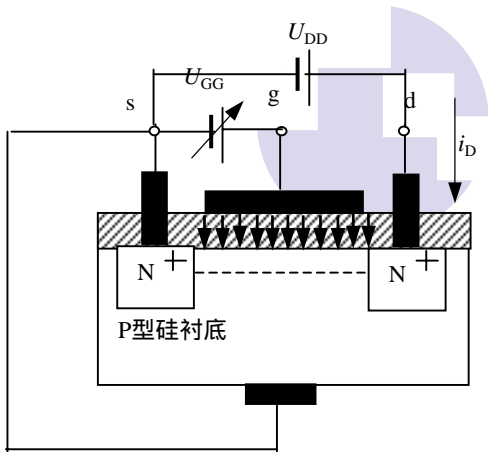
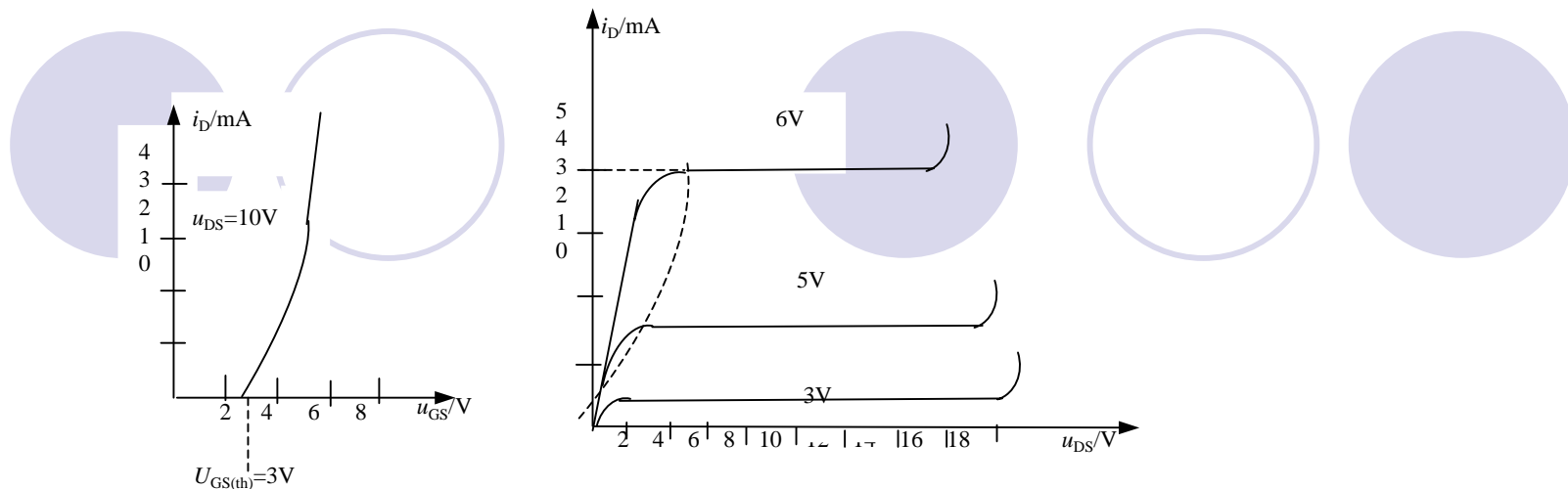


图3.7 N沟道增强型MOS管工作原理



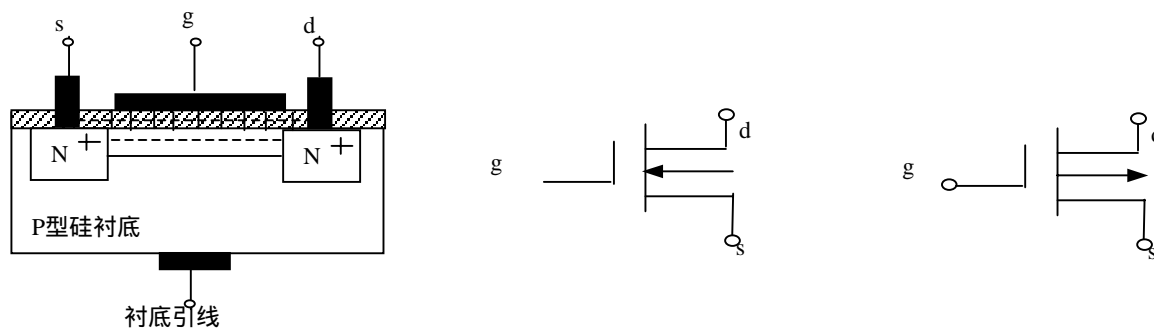


(a) 转移特性

(b) 输出特性

图3.8 N沟道增强型场效应管特性曲线

### 3.2.3 耗尽型绝缘栅场效应管的结构及工作原理

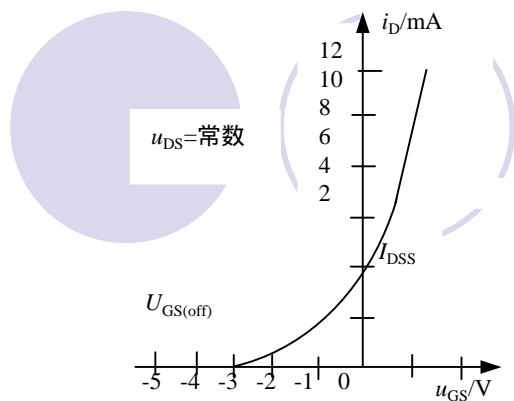


(a) N沟道结构图

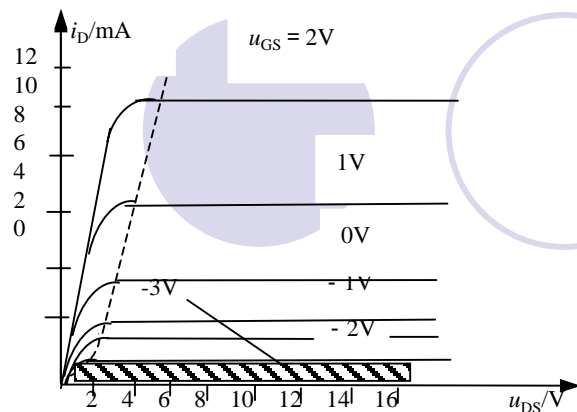
(b) N沟道符号

(c) P沟道符号

图3.9 耗尽型MOS管结构及符号图



(a) 转移特性



(b) 输出特性

图3.10 N沟道耗尽型场效应管特性曲线

### 3.3 场效应管的主要参数

1、夹断电压  $U_{GS(off)}$ ：实质上是使  $i_D = 0$  时所需的  $u_{GS}$  值。

2、饱和漏电流  $I_{DSS}$

在  $u_{GS} = 0$  的情况下，当  $u_{DS} > |V_P|$  时的漏极电流称为饱和漏电流，通常令  $u_{DS} = 10V$ ， $u_{GS} = 0V$  时测出的  $i_D$  就是  $I_{DSS}$ 。

3 低频互导（跨导） $g_m$

4 最大耗散功率  $P_{DM}$

## 3.4 场效应管的检测及使用注意事项

### 3.4.1 场效应管的检测

1. 管脚的判别

2. 质量判定

### 3.4.2 场效应管使用注意事项

1、 MOS管栅、源极之间的电阻很高，使得栅极的感应电荷不易泄放，因极间电容很小，帮会造成电压过高使绝缘层击穿。因此，保存MOS管应使三个电极短接，避免栅极悬空。焊接时，电烙铁的外壳应良好地接地，或烧热电烙铁后切断电源再焊。

2、 有些场效应晶体管将衬底引出，故有4个管脚，这种管子漏极与源极可互换使用。但有些场效应晶体管在内部已将衬底与源极接在一起，只引出3个电极，这种管子的漏极与源极不能互换。

3、 使用场效应管时各极必须加正确的工作电压。

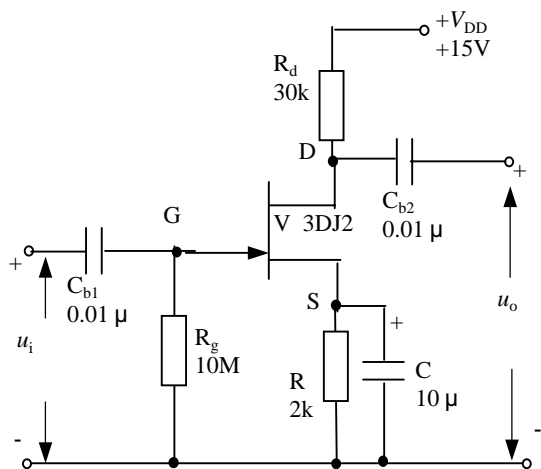
4、 在使用场效应管时，要注意漏、源电压、漏源电流及耗散功率等，不要超过规定的最大允许值。

## 3.5 场效应管放大电路

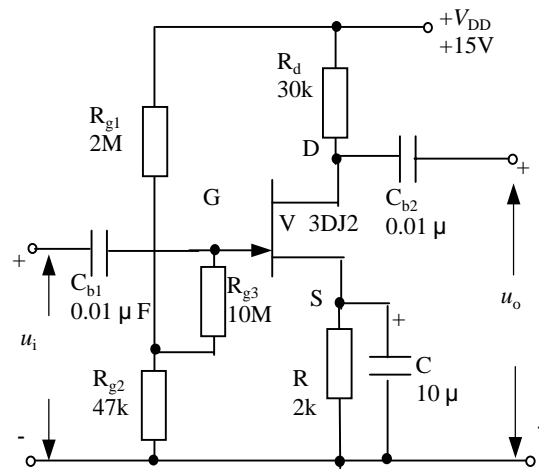
### 3.5.1 场效应管的直流偏置电路及静态分析

#### 1. 直流偏置电路

##### (1) 自偏压电路



(a) 自偏压电路



(b) 分压式自偏压电路

图3.11 场效应管的偏压电路

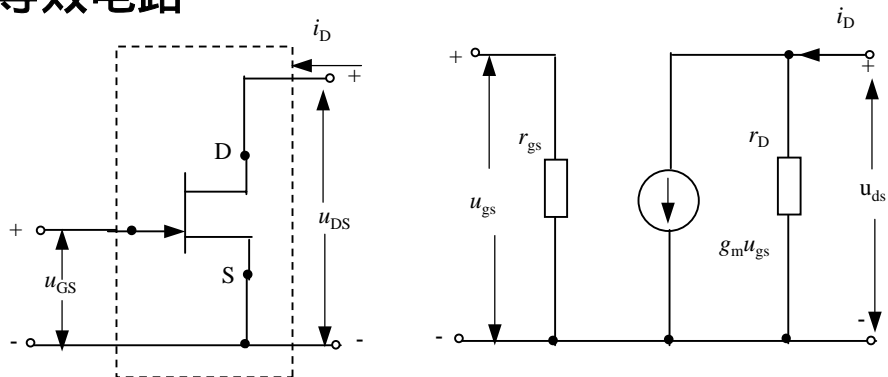
##### (2) 分压式自偏压电路

## 2. 静态工作点的确定

- (1) 在输出特性上作直流负载线
- (2) 作负载转移特性
- (3) 作源极负载线
- (4) 确定静态工作点Q
- (5) 转移特性和输出特性上求出Q点对应的电压电流值： $u_{GS} = -0.7V$ ， $i_D = 0.37mA$ ， $u_{DS} = 9V$ 。

## \*3.5.2 场效应管放大器的微变等效电路分析法

### 1. 场效应管的等效电路

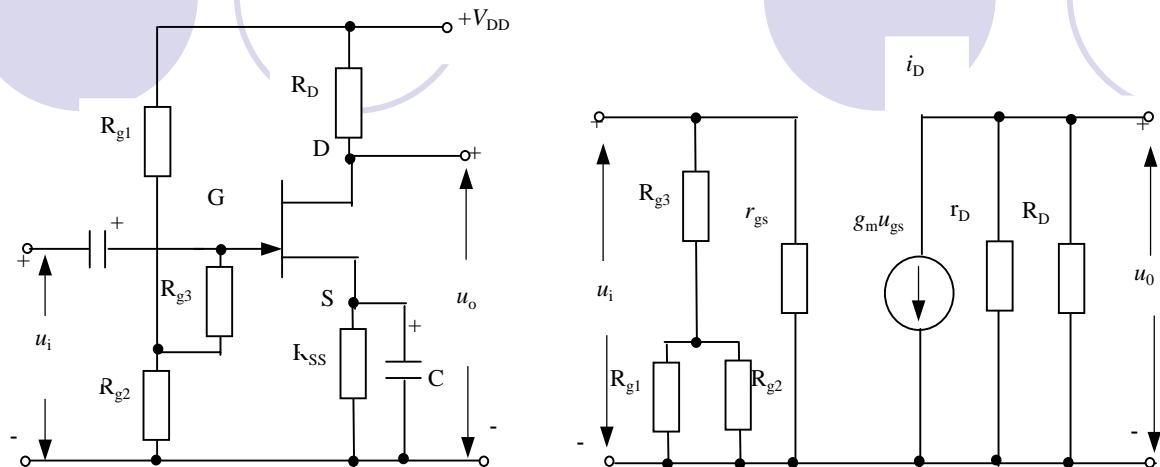


(a)场效应管在共源接法时的双口网络

(b) 低频等效电路

图3.12 场效应管微变等效电路

## 2、应用微变等效电路法分析场效应管放大电路



(a) 电路图

(b) 微变等效电路

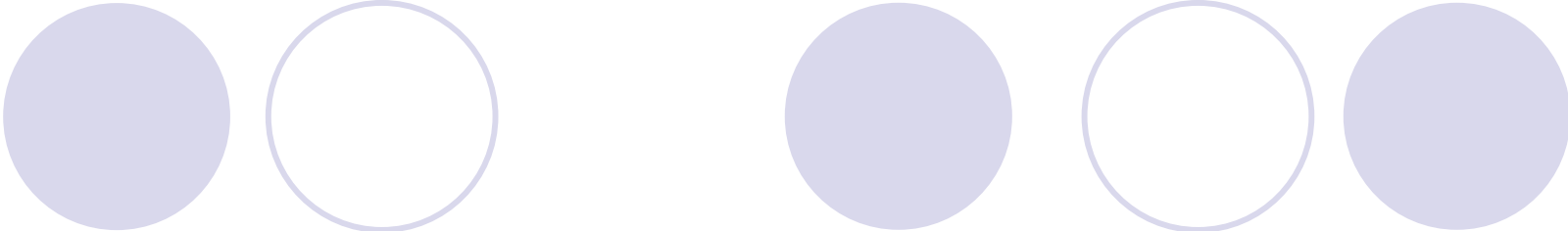
图3.13 共源极电路及其微变等效电路

(1) 大倍数电压放

2 入电阻

3 输出电阻

## 3 . 三种基本放大电路的性能比较



## 思考题与练习题

### 思考题

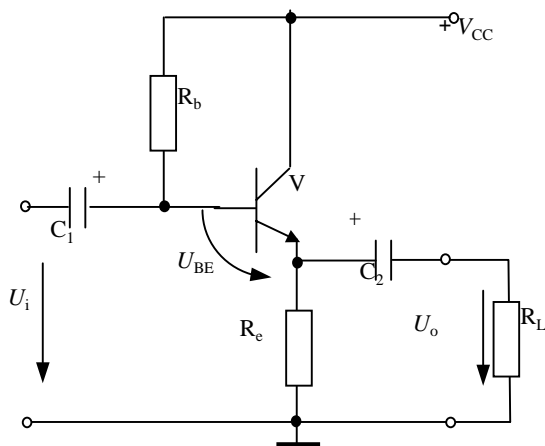
- 1、考虑P沟道结型场效应管对电源极性的要求，试画出由这种类型管子组成的共源放大电路。
- 2、增强型MOS管能否使用自给栅偏压偏置电路来设置静态工作点？
- 3、试画出自给栅偏压共源放大电路的微变等效电路，并写出 $A_u$ 、 $r_i$ 、 $r_o$ 的表达式。
- 4、试在具有四象限的直角坐标上分别画出各种类型场效应管（包括N沟道、P沟道MOS增强型和耗尽型，JFET P沟道、N沟道耗尽型）的转移特性示意图，并标明各自的开启电压或夹断电压。
- 5、增强型场效应管能否用自偏压的方法来设置静态工作点，试说明理由。

## 第4章 负反馈放大电路

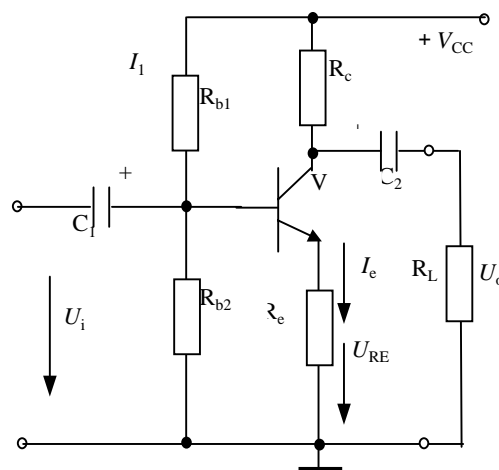
本章重点:

- 反馈极性、类型的判断
- 负反馈对电路性能的影响
- 深度负反馈电路的估算

### 4.1 反馈的定义及概念



(a)射极输出器



(b)静态工作点稳定电路

图4.1 两种放大电路中的反馈



## 4.2 负反馈放大电路的基本关系式

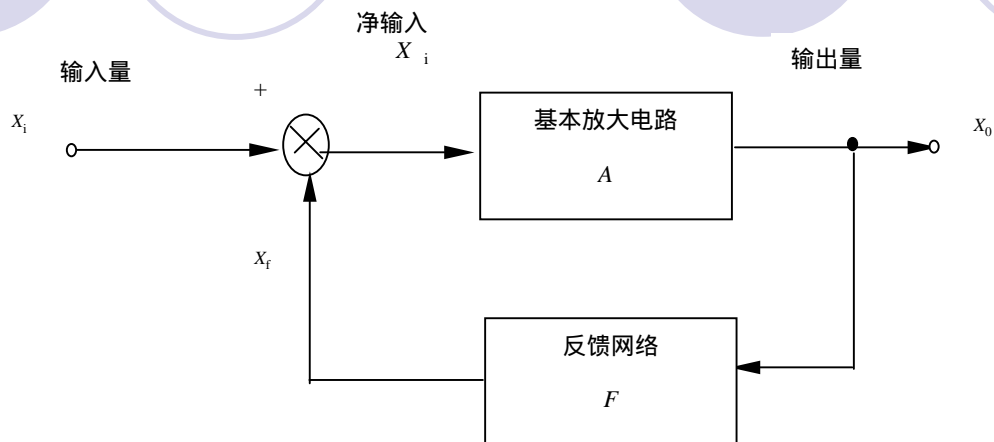
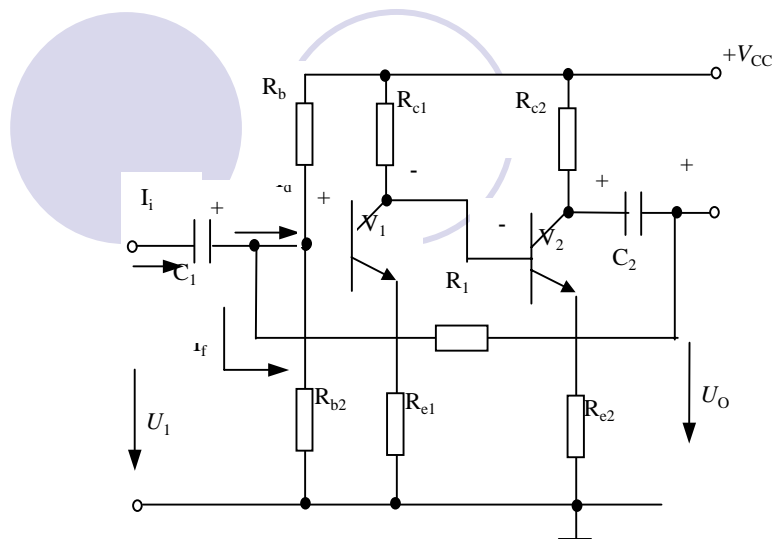


图4.2 反馈放大电路方框图

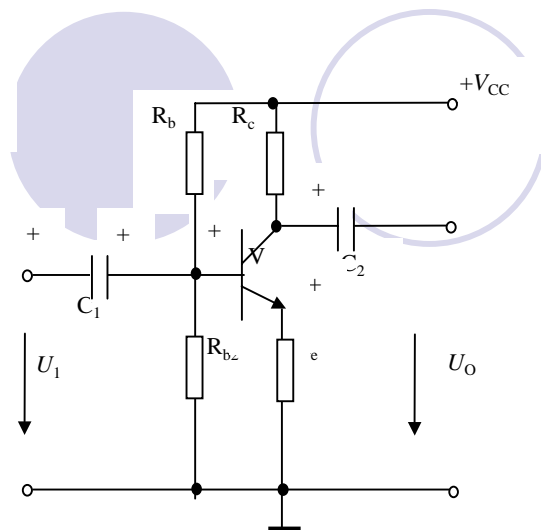
## 4.3 反馈的分类与判别

### 4.3.1 反馈的分类

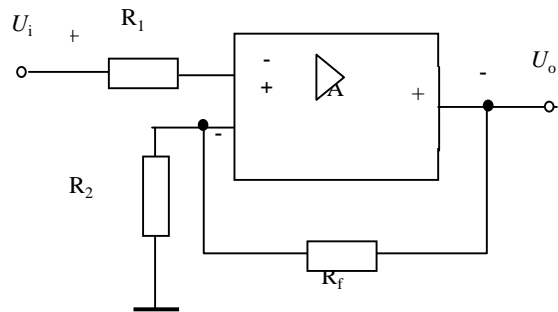
### 4.3.2 正反馈与负反馈的判别



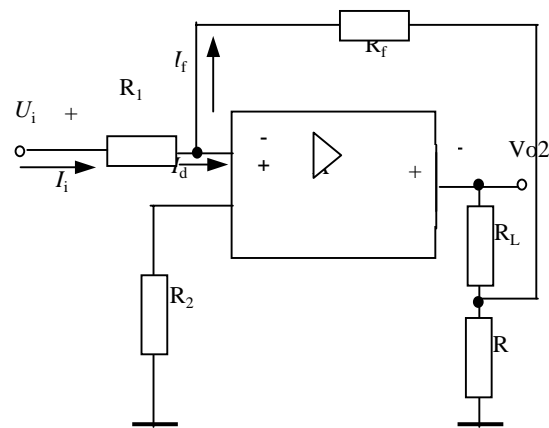
(a)



(b)



(c)



(d)

图4.3 反馈极性的判别

### 4.3.3 交流反馈与直流反馈的判别

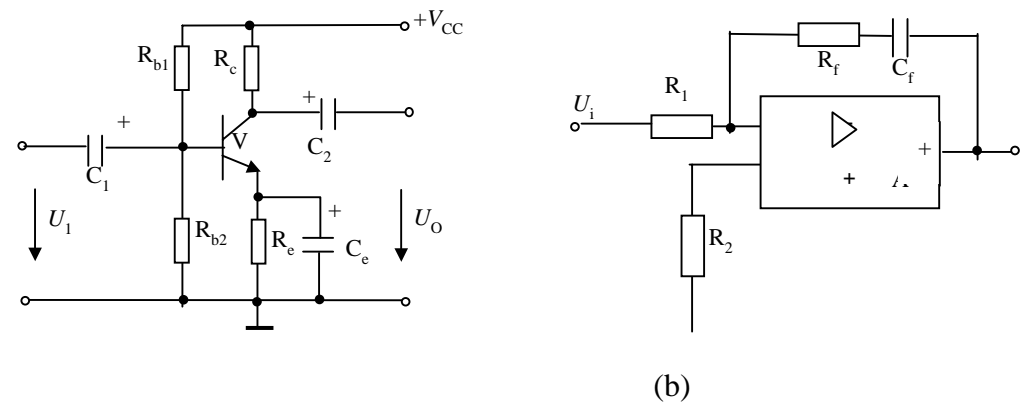
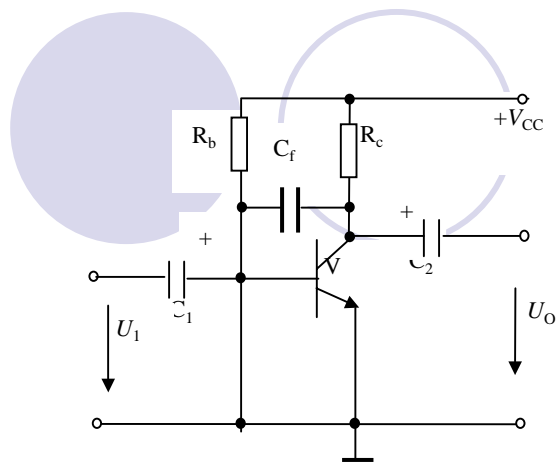
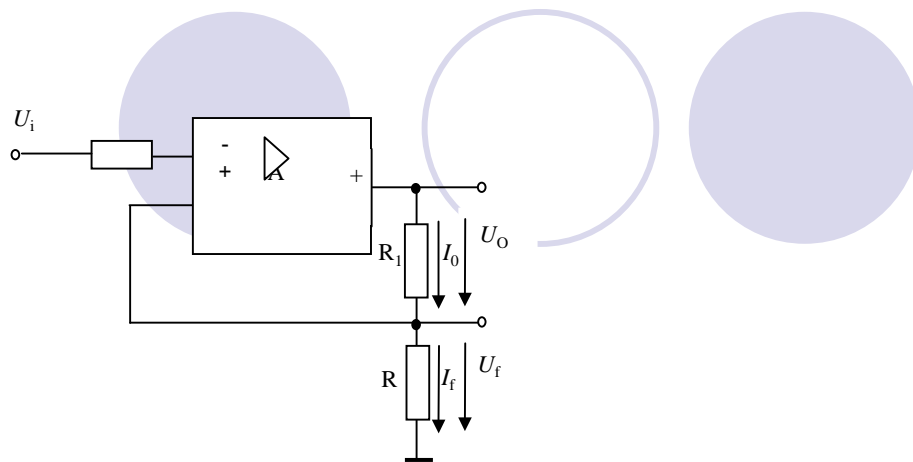


图4.4 交流反馈与直流反馈

### 4.3.4 电压反馈与电流反馈的判别



(a) 电流反馈



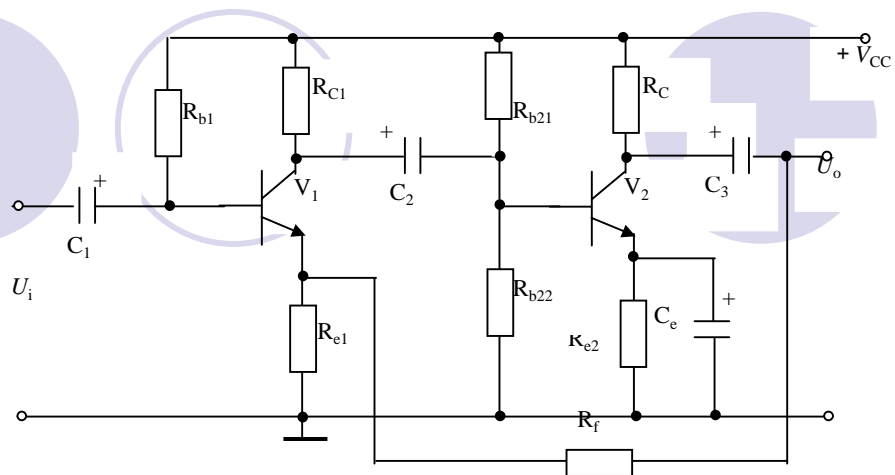
(b) 电压反馈

图4.5 电压反馈与电流反馈

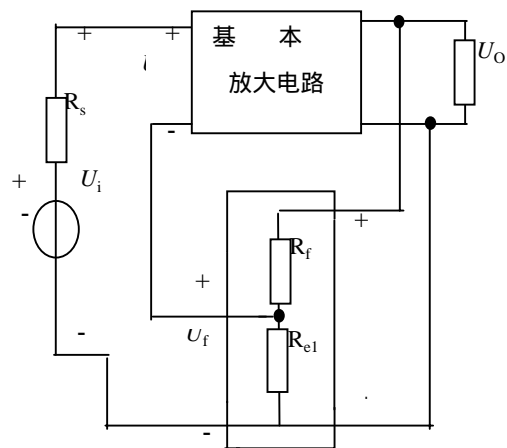
### 4.3.5 串联反馈与并联反馈的判别

## 4.4 负反馈的四种组态

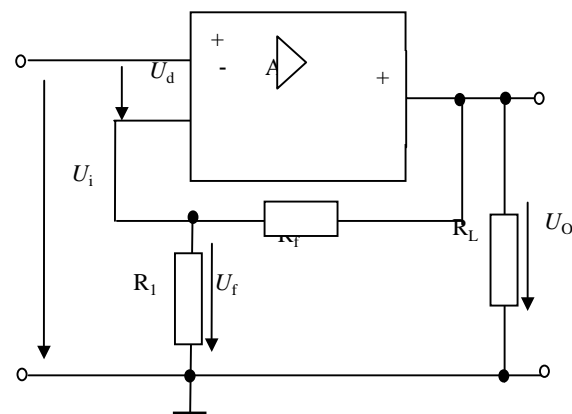
### 4.4.1 电压串联负反馈及其判别



(a) 电路图



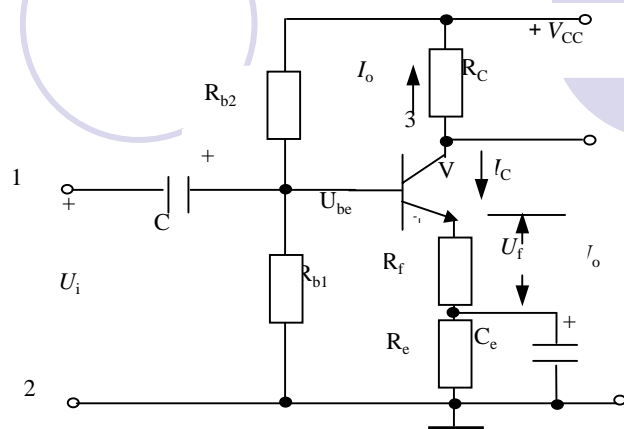
(b) 方框图



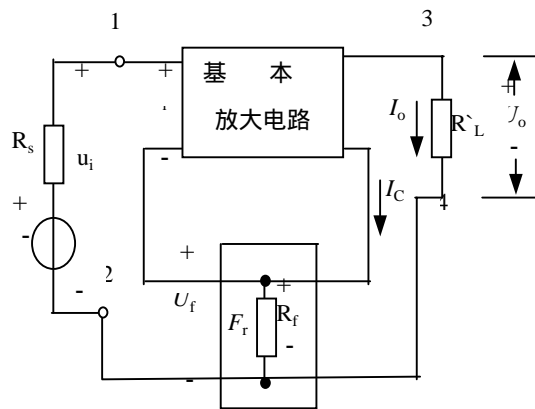
(c) 由集成运放组成的电压串联负反馈电路

图4.6 电压串联负反馈放大电路

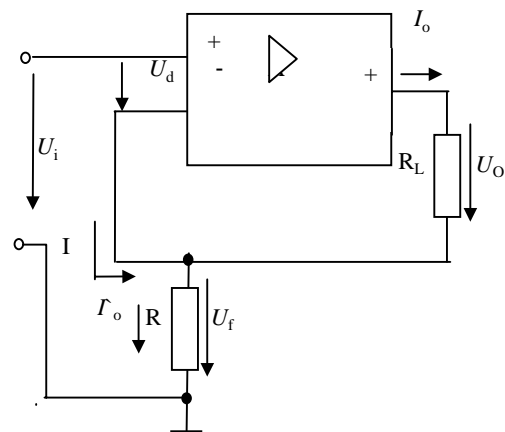
## 4.2 电流串联负反馈及其判别



(a) 电路图



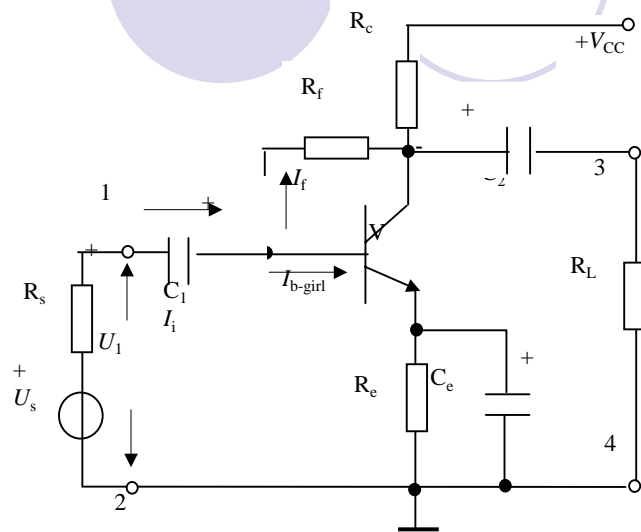
(b) 方框图



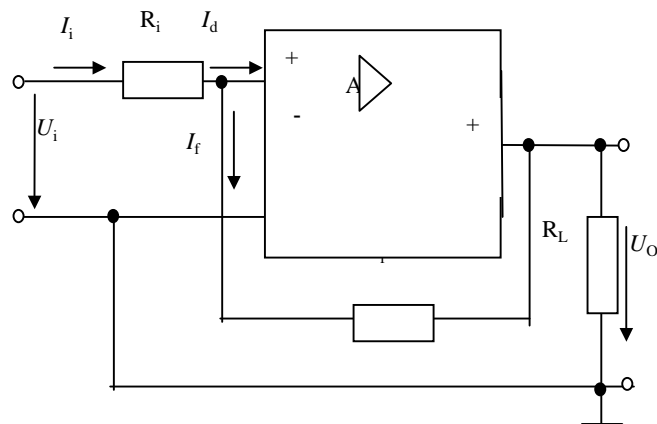
(c) 由集成运放组成的电流串联负反馈电路

图4.7 电流串联负反馈放大电路

### 4.3 电压并联负反馈及其判别



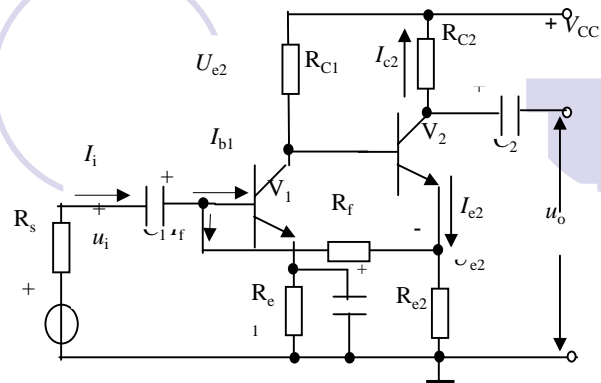
(a) 电路图



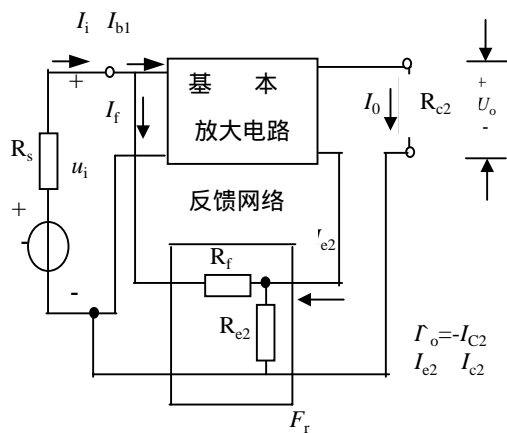
(b) 由集成运放组成的电压并联负反馈电路

图4.8 电压并联负反馈放大电路

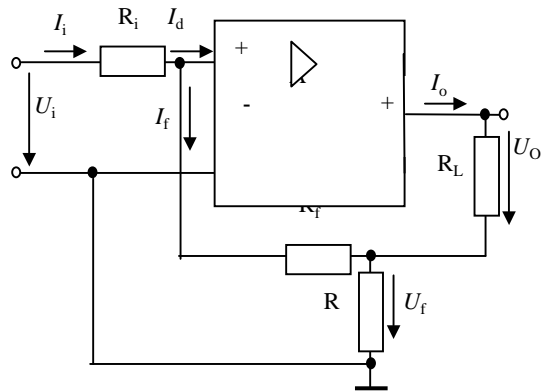
### 4.4 电流并联负反馈及其判别



a 电路图



(b) 方框图



(c)由集成运放组成的电流并联负反馈电路

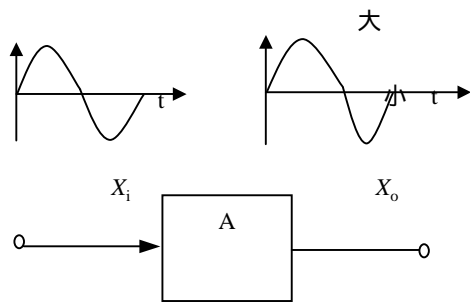
图4.9 电流并联负反馈放大电路



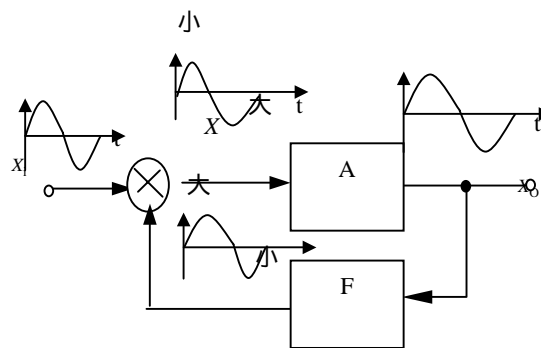
## 4.5 负反馈对放大电路性能的影响

### 4.5.1 提高放大倍数的稳定性

### 4.5.2 减小非线性失真和抑制噪声及干扰



(a) 无反馈



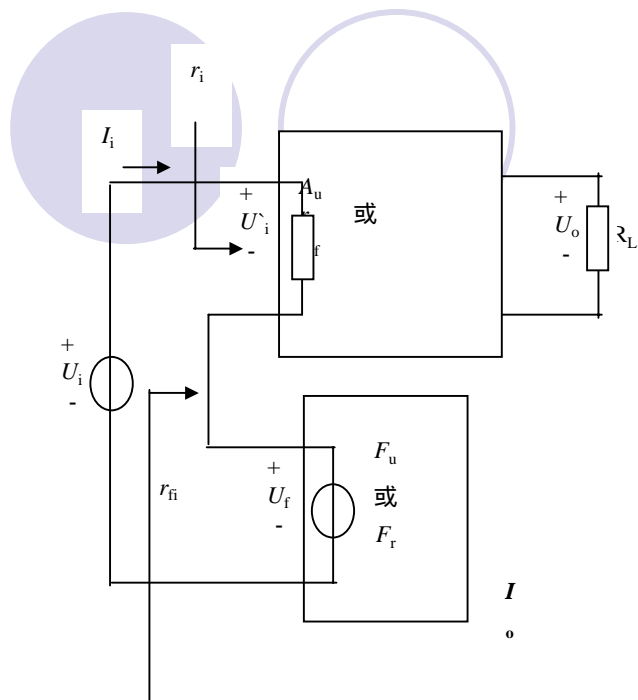
(b) 有负反馈

图4.10 负反馈减小非线性失真

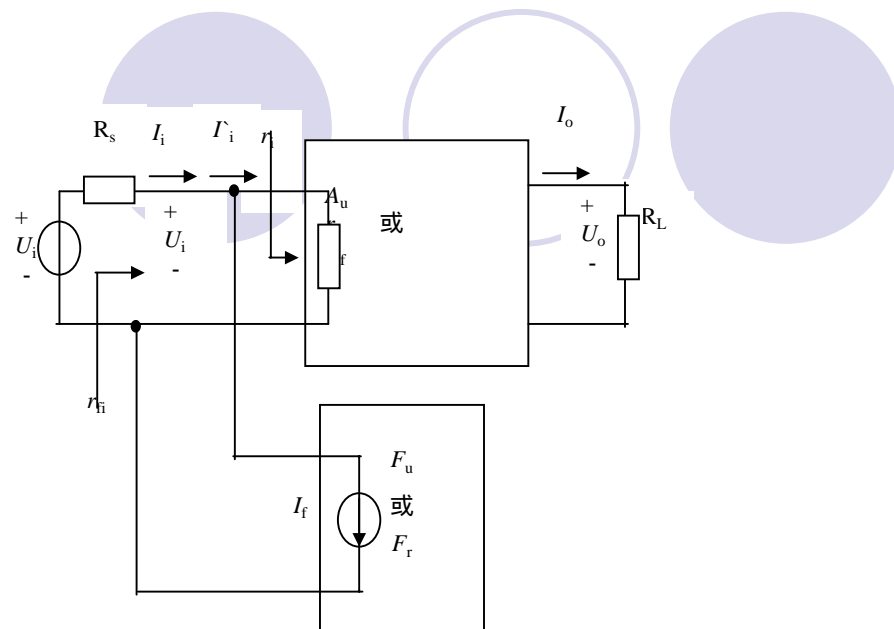
### 4.5.3 扩展通频带

### 4.5.4 负反馈对输入电阻的影响

#### 1. 使用串联负反馈可提高放大电路的输入电阻



4.11 串联负反馈方框图



4.12 并联负反馈方框图

## 2. 使用并联负反馈可减小放大电路的输入电阻

### 4.5.5 负反馈对放大电路输出电阻的影响

#### 1. 使用电压负反馈可减小放大电路的输出电阻

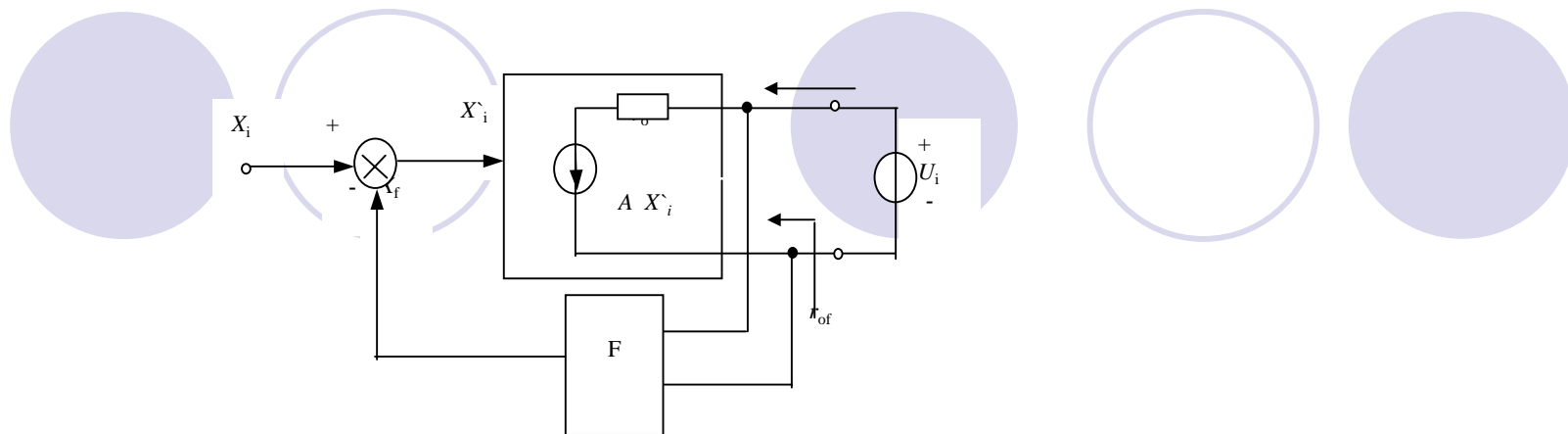


图4.13 电压负反馈方框图

## 2. 使用电流负反馈可提高放大电路的输出电阻

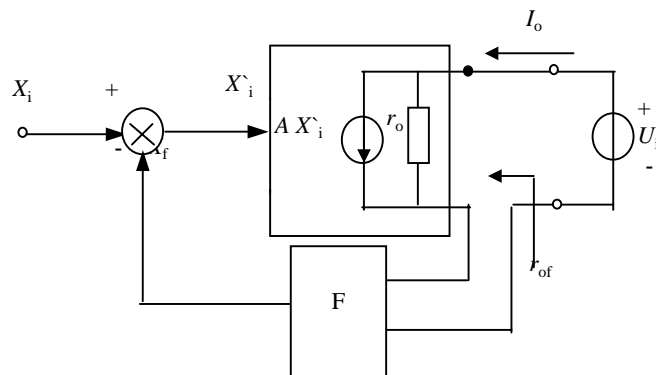


图4.14 电流负反馈方框图

综上所述：

(1) 放大电路若引入的是串联负反馈，则可以提高放大电路的输入电阻，若引入的是并联负反馈则使输入电阻降低。其提高或降低的程度取决于反馈深度  $(1 + AF)$ 。

(2) 放大电路若引入的是电压负反馈，则可减小放大电路的输出电阻，若引入的是电流负反馈则使输出电阻增加，其减小或增加的程度取决于反馈深度  $(1 + AF)$ 。

以上分析了放大电路引入负反馈后对性能的改善及影响。为了改善放大电路的某些性能应如何引入负反馈呢？一般是：

(1) 要稳定直流量（静态工作点），应该引入直流负反馈。

(2) 要改善交流性能，应引入交流负反馈。

(3) 要稳定输出电压，应引入电压负反馈；要稳定输出电流，应引入电流负反馈。

(4) 要提高输入电阻，应引入串联负反馈；要减小输入电阻，应引入并联负反馈。

性能的改善或改变都与反馈深度  $(1 + AF)$  有关，且都是以牺牲放大倍数为代价。

## 4.6 深度负反馈放大电路的分析

### 4.6.1 深度负反馈的特点

### 4.6.2 深度负反馈的估算

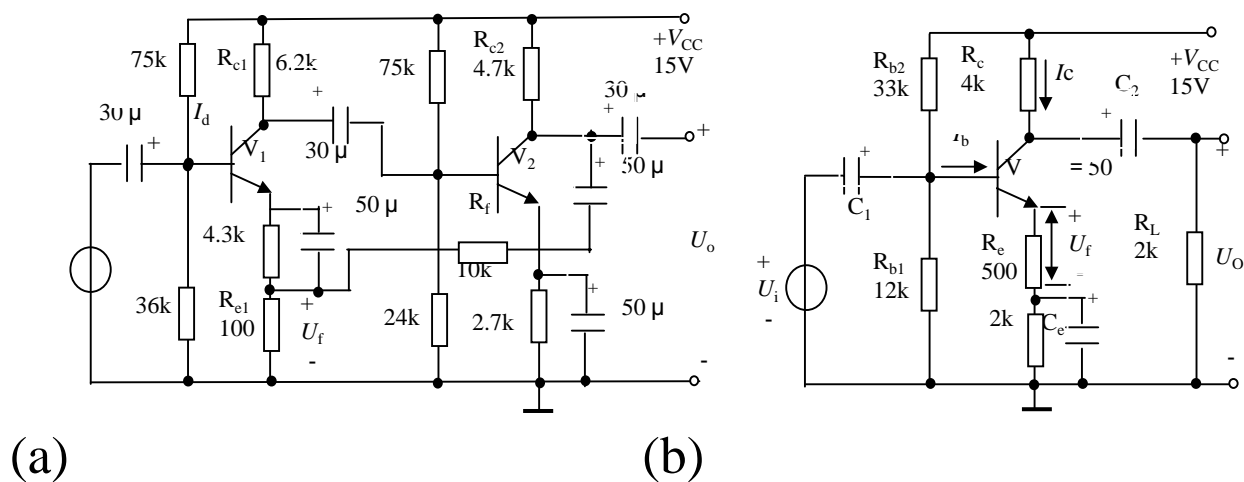


图4.15 (a) 电压串联负反馈电路的计算 (b) 电流串联负反馈电路的计算

## 第5章 集成运算放大器

本章重点:

- 直接耦合放大电路及存在的主要问题
- 典型差分放大电路的工作原理
- 理想运放及“虚短”、“虚断”、“虚地”的基本概念
- 运放的两种工作状态及特点
- 运放的分析计算及在实际中的应用

### 5.1 直接耦合放大电路中存在的主要问题

#### 5.1.1 前后级之间的直流工作状态互相影响

#### 5.1.2 零点漂移

#### 5.1.3 减小零点漂的办法

(1) 1 选用高质量的硅管

2 利用二极管或热敏元件补偿

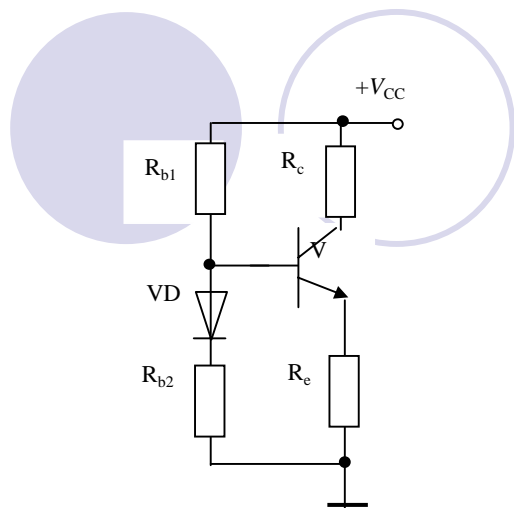


图5-2 二极管补偿电路

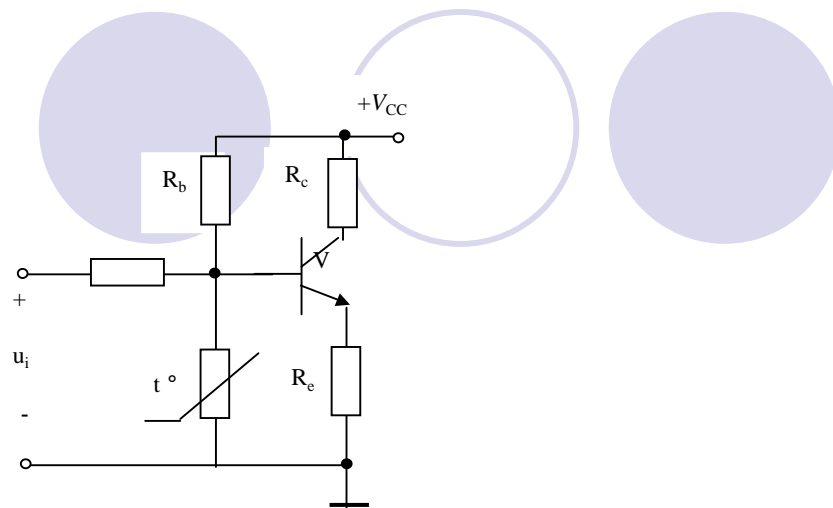


图5-3 利用热敏电阻 $R_t$ 补偿温漂的电路

(1) 3 采用差分式放大电路

## 5.2 差分放大电路

### 5.2.1 基本差分放大电路

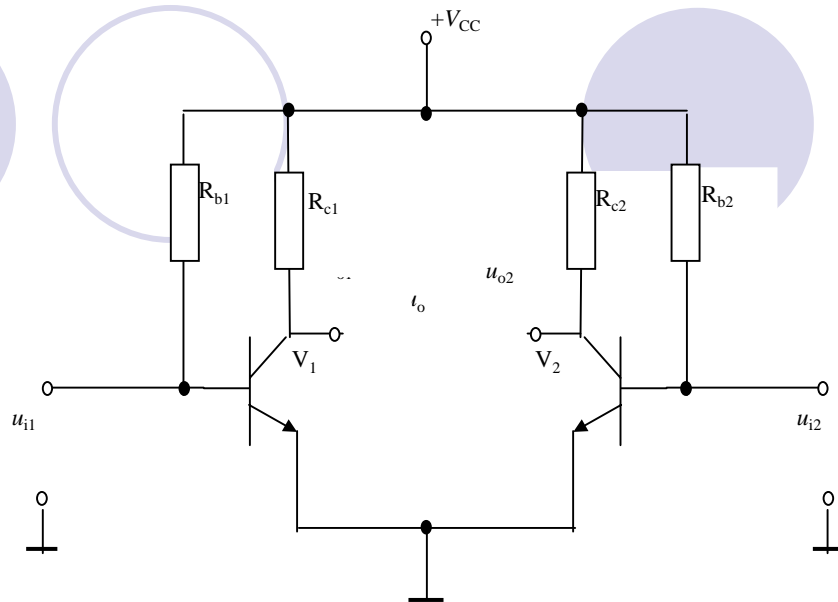


图5.4 基本 差分放大电路

## 5.2.2 静态分析

### 5.2.3 信号放大原理及电压放大倍数

#### 1 . 共模信号输入



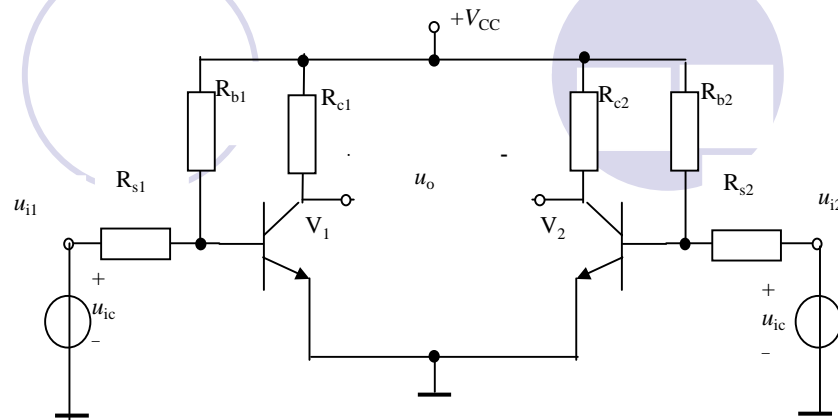


图5.5 共模信号作用于差分电路

## 2. 差模信号输入

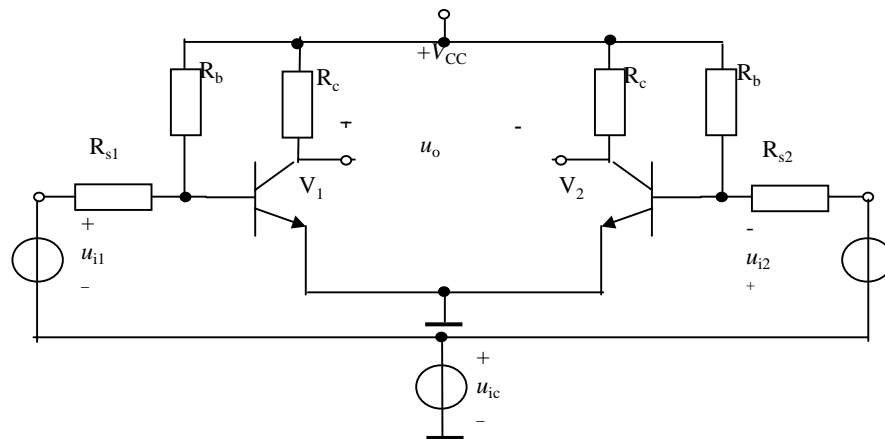


图5.6 任意 信号输入方式下的差分电路任意分放大器

3. 任意信号输入

## 5.2.4 差分放大器的其它指标

1. 共模抑制比

2. 差模输入电阻

3. 差模输出电阻

4. 共模输出电阻

## 5.3 常见的几种改进型差分电路

### 5.3.1 长尾式差分放大电路

1. 电路中接入 $R_e$ 后对输入差模信号的放大作用完全无影响。

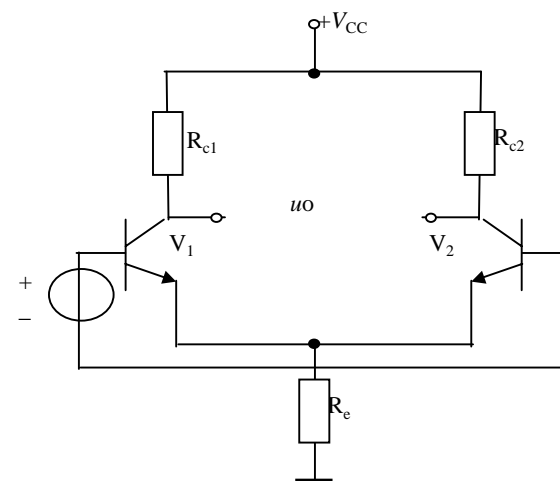


图5.7 长尾式差分电路

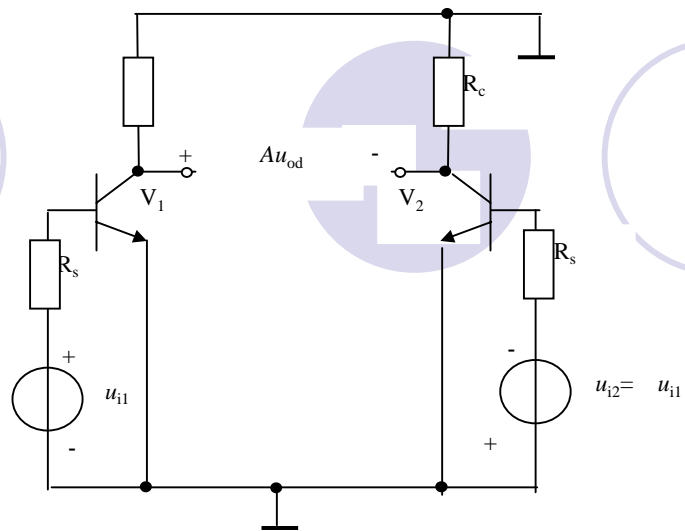


图5.8 对差模输入信号的等效电路

## 2. $R_e$ 对共模输入信号的放大有抑制作用

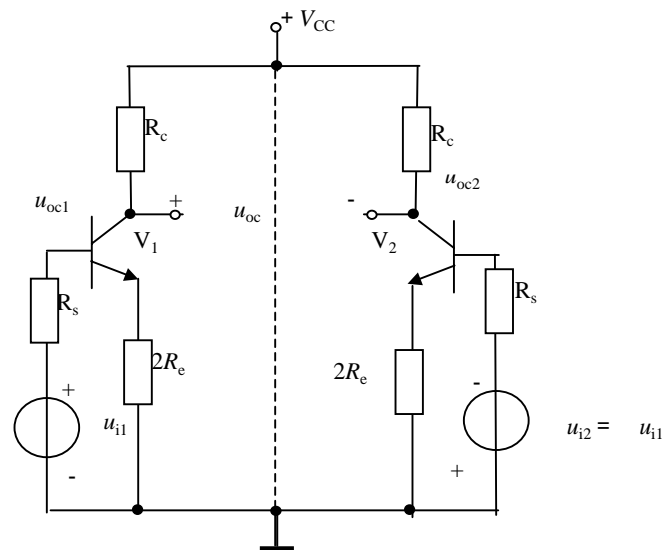


图5.9 对共模输入信号的等效电路

## 5.3.2 带恒流源的差分电路

### 1. 恒流源特性

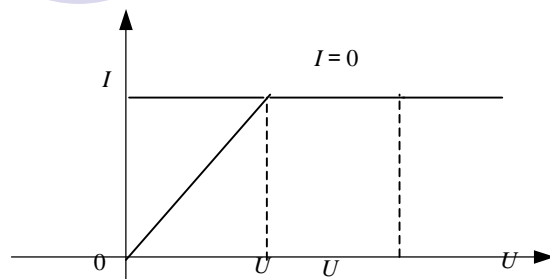


图5.10 恒流源的电流、电压特性

### 2. 恒流源差分放大电路

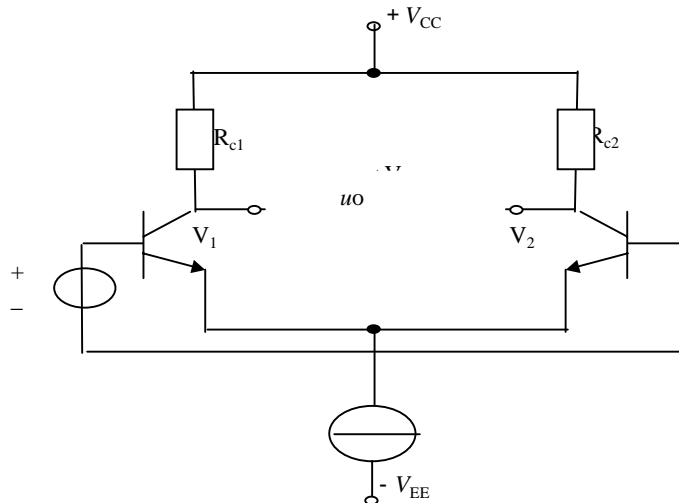


图5.11 带恒流源的差分电路

### 3. 差分放大电路四种接法的比较

## 5.4 集成运算放大器

### 5.4.1 集成运算放大器的分类

#### 1. 通用型集成运算放大器

#### 2. 专用型集成运算放大器

- (1) 低功耗或微功耗集成运算放大器：电源电压  $\pm 15\text{V}$  时，功耗小于  $6\text{mW}$  或  $\mu\text{W}$  级。
- (2) 高速集成运算放大器。
- (3) 宽带集成运算放大器：一般带宽应大于  $10\text{MHz}$ 。
- (4) 高精度集成运算放大器：特点是高增益、高共模抑制比、低偏流、低温漂、低噪声等。
- (5) 高电压集成运算放大器：正常输出电压  $U_o$  大于  $\pm 22\text{V}$ 。
- (6) 功率型集成运算放大器。
- (7) 高输入阻抗集成运算放大器。
- (8) 电流型集成运算放大器。
- (9) 跨导型集成运算放大器。
- (10) 程控型集成运算放大器。
- (11) 低噪声型集成运算放大器。
- (12) 集成电压跟随器。

### 5.4.2 集成运算放大器的组成

## 1．组成

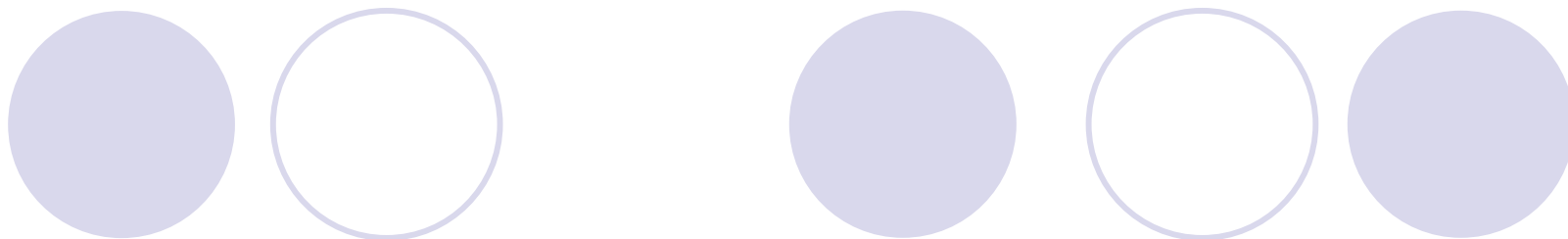


图5.12 集成运算放大器内部电路组成框图

1 输入级

2 中间级

3 输出级

4 偏置电路

## 2．典型通用集成运算放大器F007内电路简介

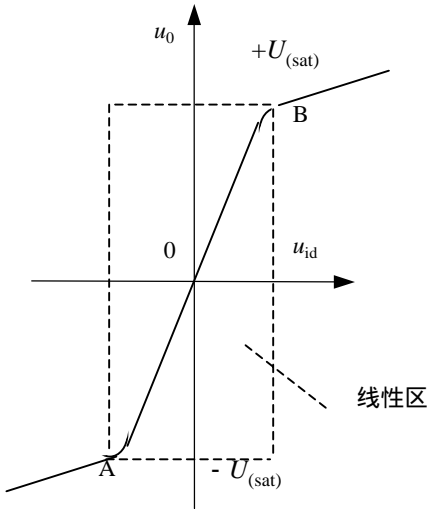
(1) F007的内电路

## 3．集成运算放大器的识读

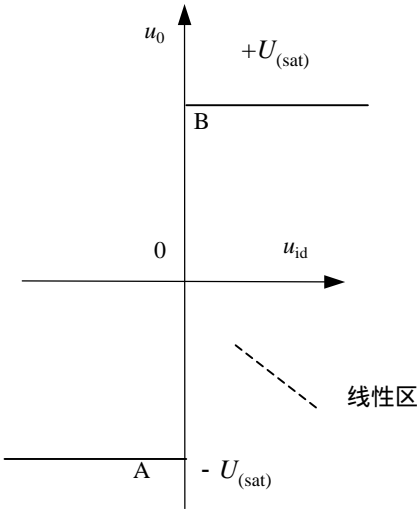
4 . 集成运算放大器在电路中的符号

5.4.3 集成运算放大器的传输特性

1 . 传输特性



(a) 实际运放的传输特性



(b) 理想运放的传输特性

图5.15 集成运放的传输特性

2 . 线性区的特点

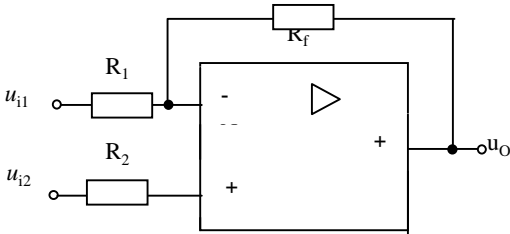
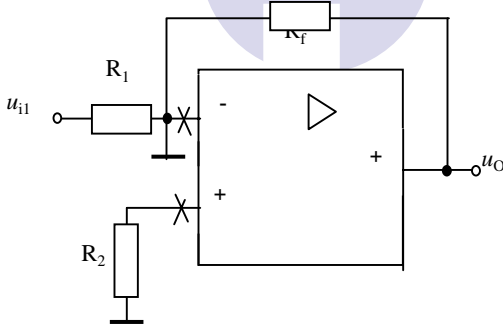
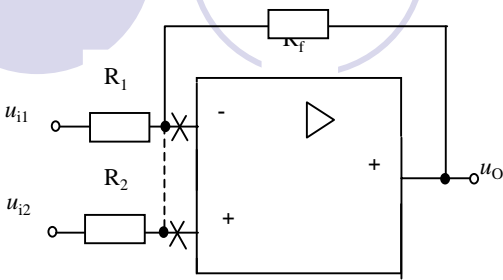


图5.16 集成运放线性工作

### 3. 非线性区（饱和区）的特点



(a) 虚断、虚短

(b) 虚断、虚地

图5.17 集成运放工作在线性区时的等效电路

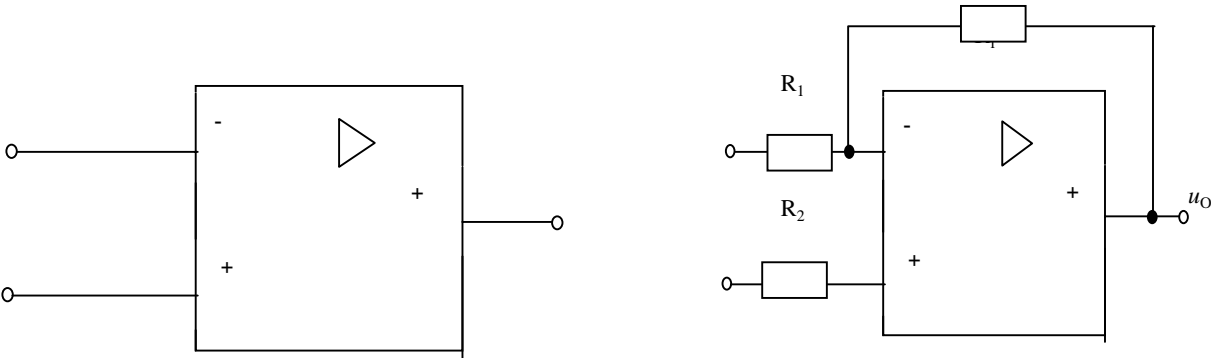


图5.18 集成运放工作在非线性区时的两种情况



## 5.5 理想集成运算放大器与实际集成运算放大器

### 5.5.1 理想运算放大器及其性能指标

### 5.5.2 理想运放与实际运放

### 5.5.3 集成运放的三种基本输入形式

#### 1. 反相输入

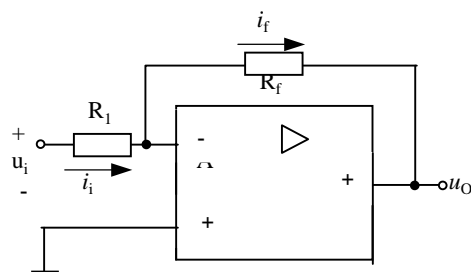


图5.19 反相放大组态

#### 2. 同相输入

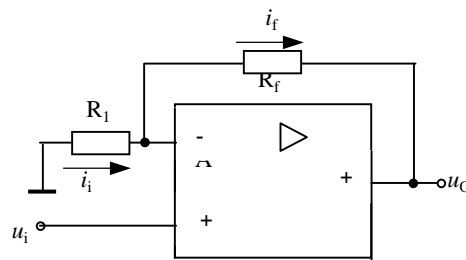


图5.20 运放同相输入

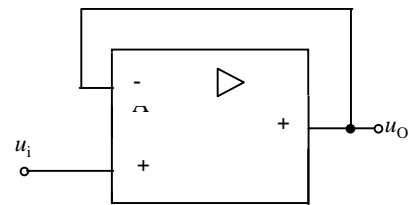


图5.21 同相跟随器

### 3. 差模输入

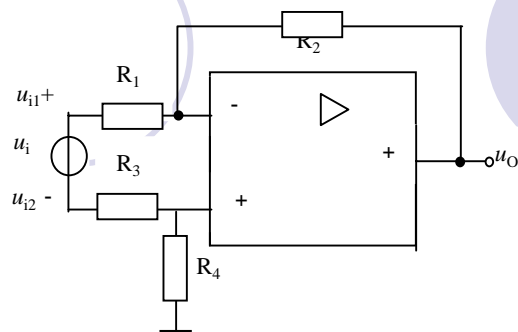


图5.22 差动放大组态

## 5.6 集成运算放大器在实际中的应用

### 5.6.1 集成运放在信号运算方面的应用

#### 1. 加法运算电路

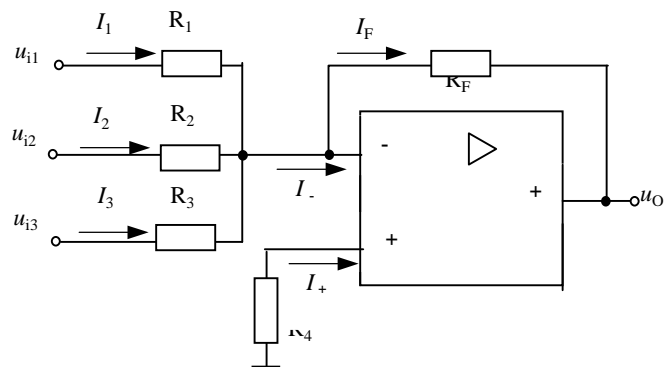


图5.23 反相加法运算电路

## 2. 减法运算电路

### 1 电路组成

### 2 电路分析及减法运算条件

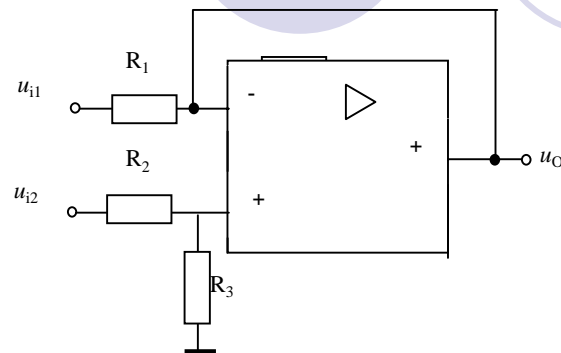
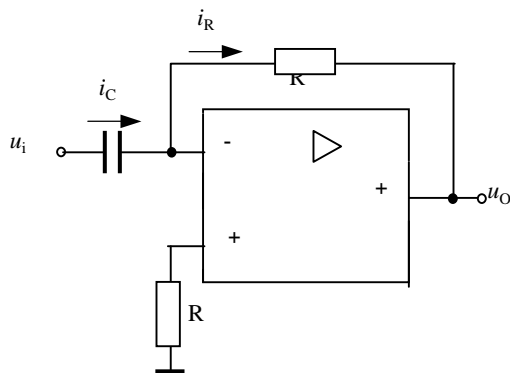
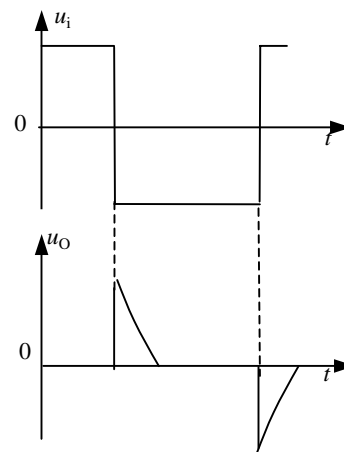


图5.24 差动输入式减法运算电路

## 3. 微分电路



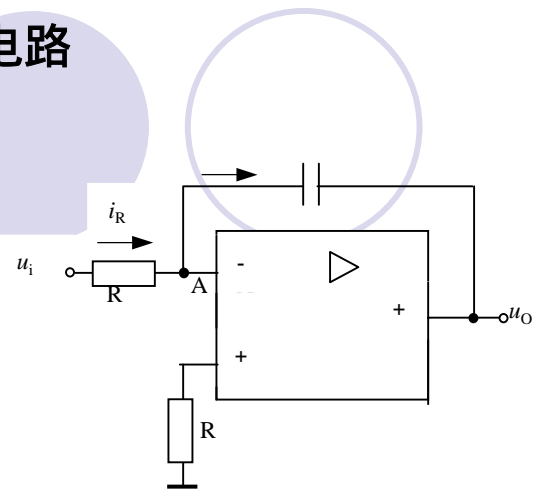
(a)



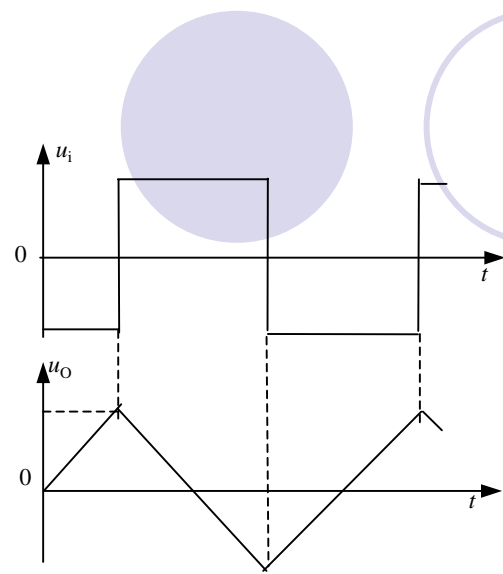
(b)

图5.25 微分运算电路

4 . 积分运算电路



( a )



( b )

图5.26 积分运算电路

5.6.2 集成运放在信号处理方面的应用

1 . 立体声消音电路

. 高档音响设备中的十五段优质均衡器

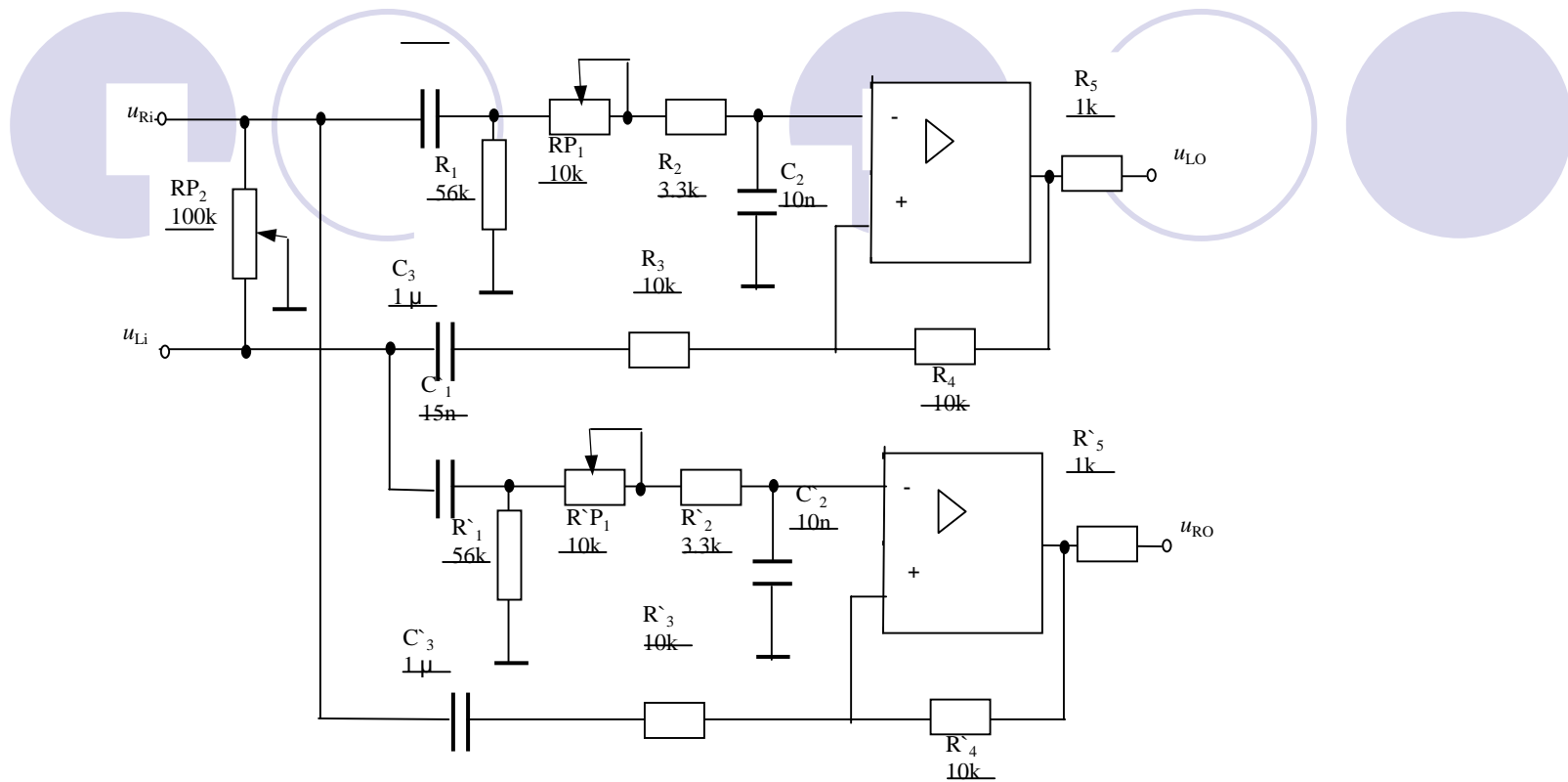


图5.27 立体声消音电路

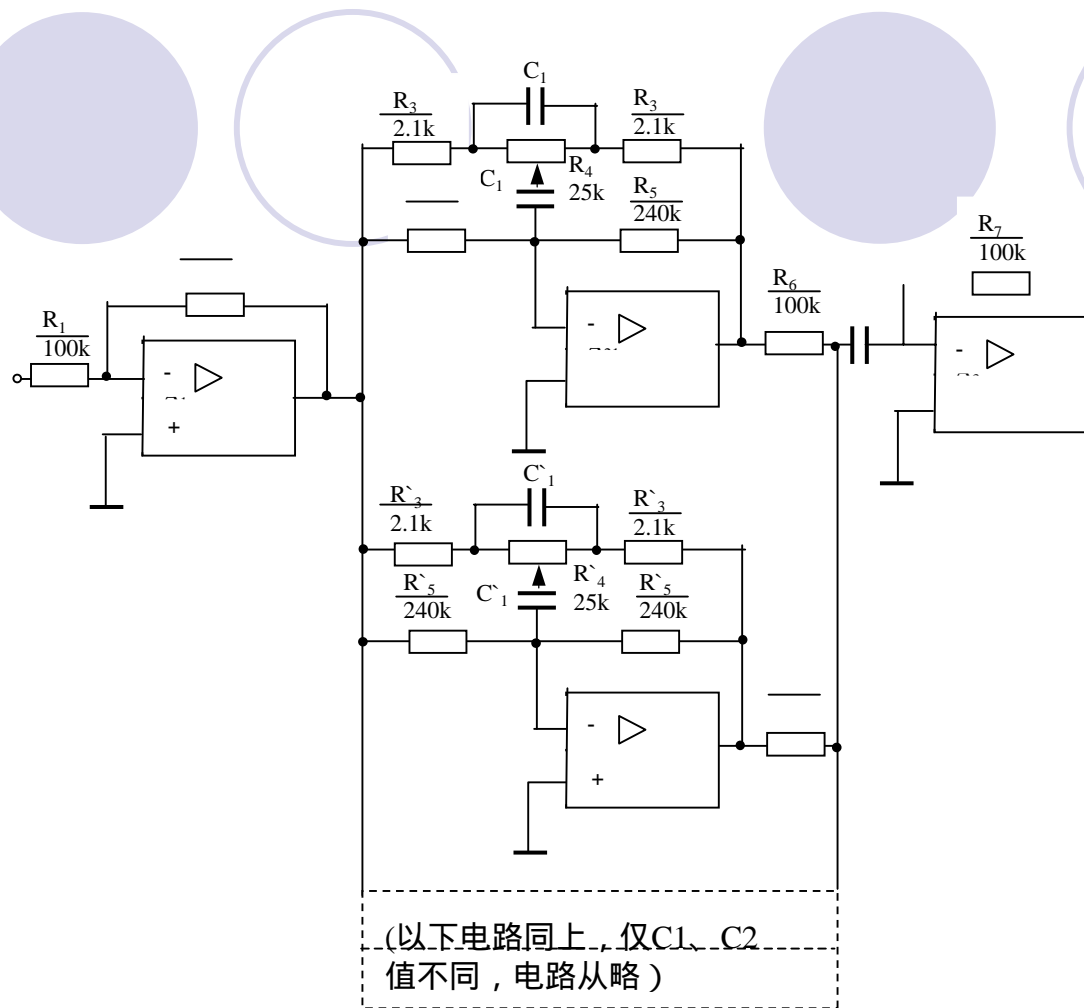


图5.28 十五段优质均衡器

(2) 当 $R_4$ 的滑动触头移到最左边时，其电路如图5.30 (a) 所示。

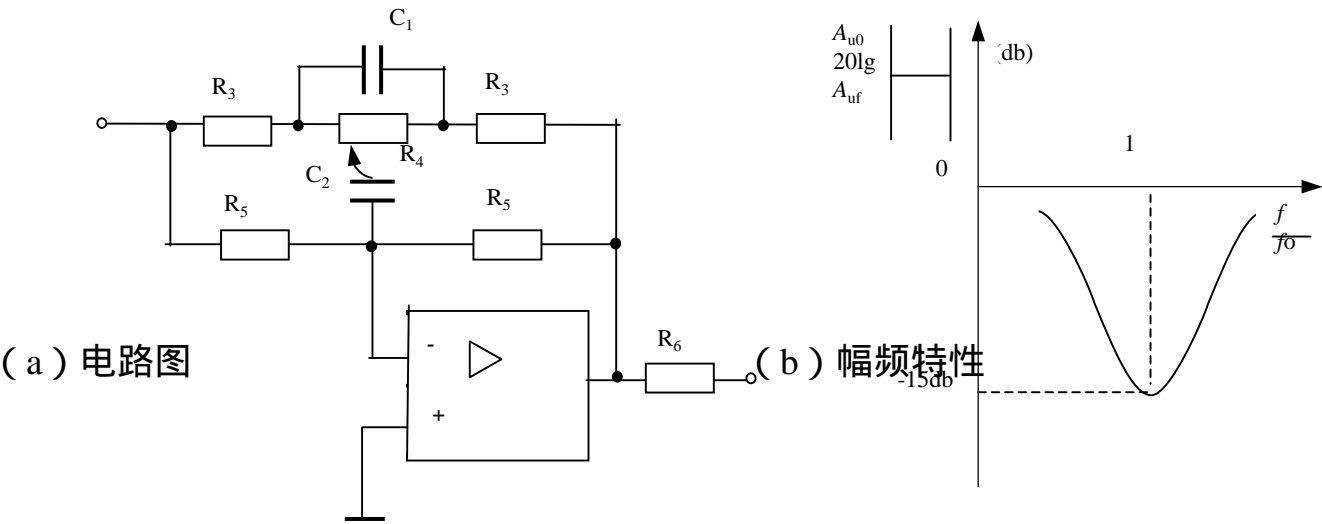


图5.30  $R_4$ 的滑动触头移到最左边

(3) 当 $R_4$ 的滑动头移到最右边时，其电路如图5.31 (a) 所示

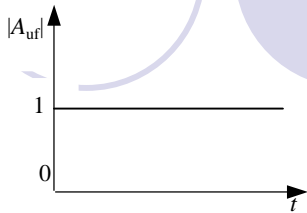
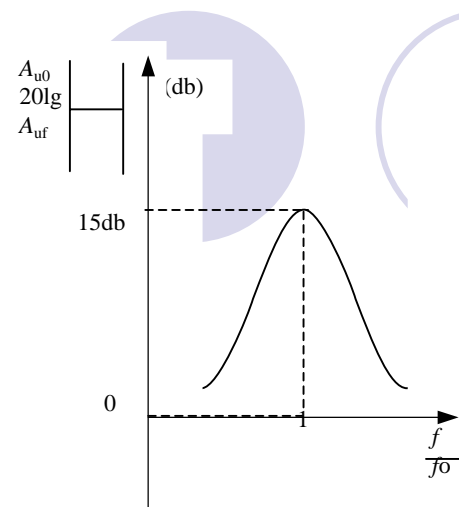
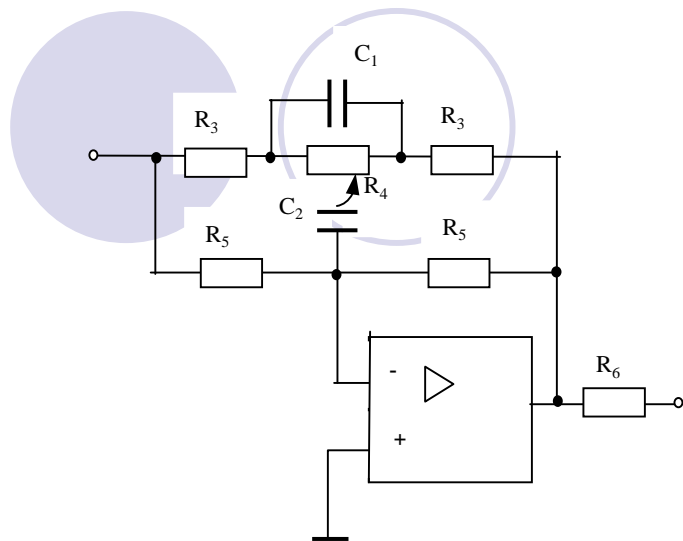


图5.29  $R_4$ 居中平直放大幅频特性



电路图

(b) 幅频特性

图5.31 R4的滑动触头移到最右边

### 3. 实时监控报警器

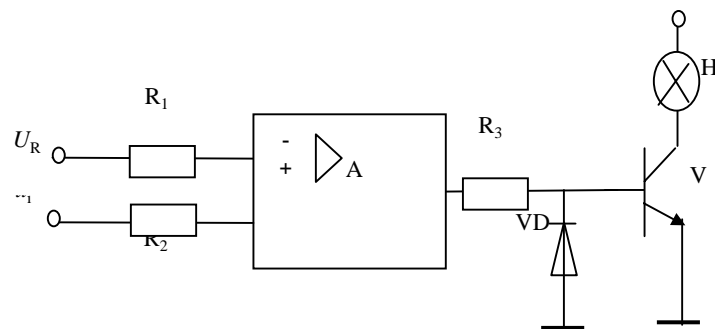


图5.32 监控报警器



# 5.6.3 可编程增益放大器

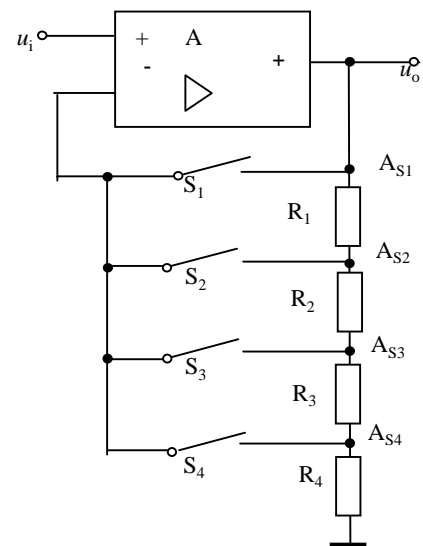


图5.33 可编程增益放大器的基本电路

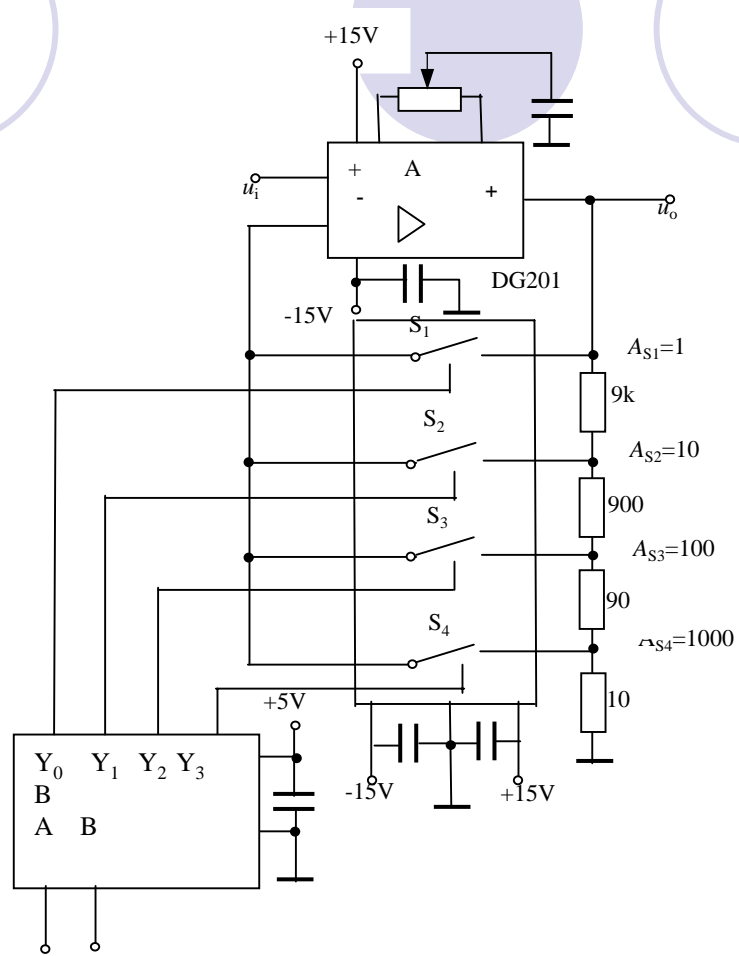


图34 码控四段转换可编程增益放大器

## 第6章 信号产生电路

### 本章重点内容

- 产生正弦振荡的条件
- LC正弦波振荡电路的工作原理
- LC正弦波振荡电路的工作判别
- 石英晶体振荡电路及其工作原理

## 6.1 正弦波振荡电路

### 6.1.1 自激式正弦波振荡电路与反馈放大器的异同

1.相同点：均引入反馈。

2.不同点：

- （1）自激式正弦波振荡电路用来产生稳定的输出信号；反馈放大电路用来放大信号，工作任务不同。
- （2）自激式正弦波振荡电路没有外部信号输入；反馈放大电路有待放大的信号输入。
- （3）正弦波振荡电路中引入的是正反馈；反馈放大电路中一般引入负反馈，以改善性能。
- （4）正弦波振荡电路的振荡也不同于负反馈放大电路的自激振荡。前者是依靠外部接入的正反馈网络产生振荡；后者是放大电路的附加相移使负反馈变成正反馈而产生振荡

## 6.1.2 自激式振荡电路的组成及产生和稳定振幅的条件

1. 放大环节：放大电路
2. 正反馈网络：供给维持振荡的能量，必需满足下列条件：

(1) 振幅平衡条件： $AF = 1$

(2) 相位平衡条件： $\angle A + \angle F = 2n\pi$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ )

稳幅环节：产生稳定的信号输出，条件；

选频网络：选出振荡器产生维持振荡所需要的信号频率。

$$\varphi$$
$$|AF| = 1$$

## 6.2 LC振荡电路

### 1. 电路的组成

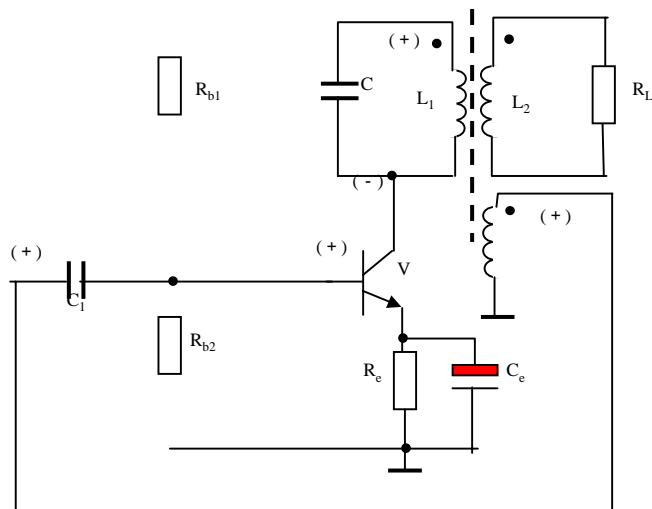


图6.1 变压器反馈式正弦波振荡电路

## 2．振荡条件

(1) 相位平衡条件：为满足相位平衡条件，变压器的初、次级之间同名端必须正确连接。如图6.1所示，设某一瞬间基极对地信号电压为正极性“+”，由于共射电路的倒相作用，集电极的瞬时极性“-”，即 $\varphi_A = 180^\circ$ 。当频率 $f_0$ 时：LC回路的谐振阻抗是纯电阻性，由图中 $L_1$ 及 $L_2$ 的同名端可知，反馈信号与输出电压极性相反，即。 $\varphi_A + \varphi_B = 360^\circ$ ，保证了电路的正反馈，满足振荡的相位条件。

当频率 $f_0$ 时：LC回路的阻抗不是纯电阻性，而是感性或容性阻抗，此时LC回路对信号会产生附加相移，造成，那么 $\varphi_A + \varphi_B \neq 360^\circ$ ，不能满足相位平衡条件，电路也不可能产生振荡。由此可见，LC振荡电路只有在 $f_0$ 这个频率上，才有可能产生振荡。

(2) 振幅条件：为了满足振幅平衡条件 $|AF| = 1$ ，对晶体管的 $\beta$ 值有一定要求，一般只要 $\beta$ 值较大，就能满足振幅平衡条件，反馈线圈匝数越多，耦合越强，电路越容易起振。

## 3．电路振荡频率

## 4．电路优缺点

(1) 易起振，输出电压较大。由于采用变压器耦合，易满足阻抗匹配的要求。

(2) 调频方便，一般在LC回路中采用接入可变电容器的方法来实现，调频范围较宽，工作频率通常在几兆赫左右。

(3) 输出波形不理想。由于反馈电压取自电感两端，它对高次谐波的阻抗大，反馈也强，因此在输出波形中含有较多高次谐波成份。

## 6.2.2 电感三点式LC振荡器

### 1．电路的组成

### 2．振荡条件分析

(1) 相位条件：设基极瞬间极性为正，由于放大器的倒相作用，集电极电位为负，则电感的 $c$ 端为负， $e$ 端为公共端， $b$ 端为正，各瞬时极性如图6.2所示。反馈电压由 $c$ 端引至三极管的基极，故为正反馈，满足相位条件。

(2) 幅度条件：从图6.2可以看出，反馈电压取自电压 $L_2$ 的两端，并通过 $C_1$ 的耦合后加到晶体管的 $b$ 、 $e$ 间的，所以改变线圈抽头的位置，即改变 $L_2$ 的大小，就可以调节反馈电压的大小，当满足 $|AF| > 1$ 时，电路便可起振。

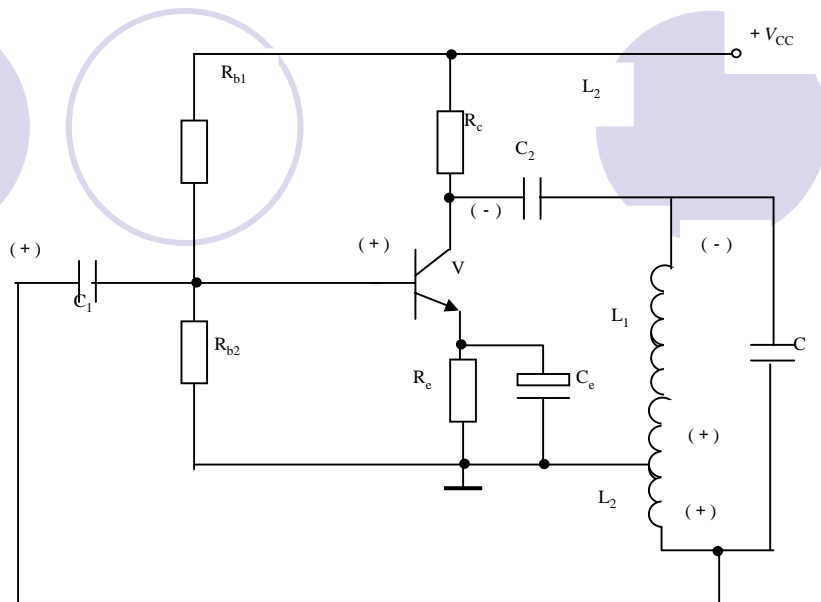


图6.2 电感三点式LC振荡电路

### 3 . 振荡频率

### 4 . 电路的优缺点

- (1) 由于 $L_1$ 和 $L_2$ 之间的耦合很紧，故电路易起振，输出幅度大。
- (2) 调频方便，电容 $C$ 若采用可变电容器，就能获得较大的频率调节范围。
- (3) 由于反馈电压取自电压 $L_2$ 的两端，它对高次谐波的阻抗大，反馈也强，因此在输出波形中含有较多的高次谐波成份，输出波形不理想。

### 6.2.3 电容三点式振荡电路

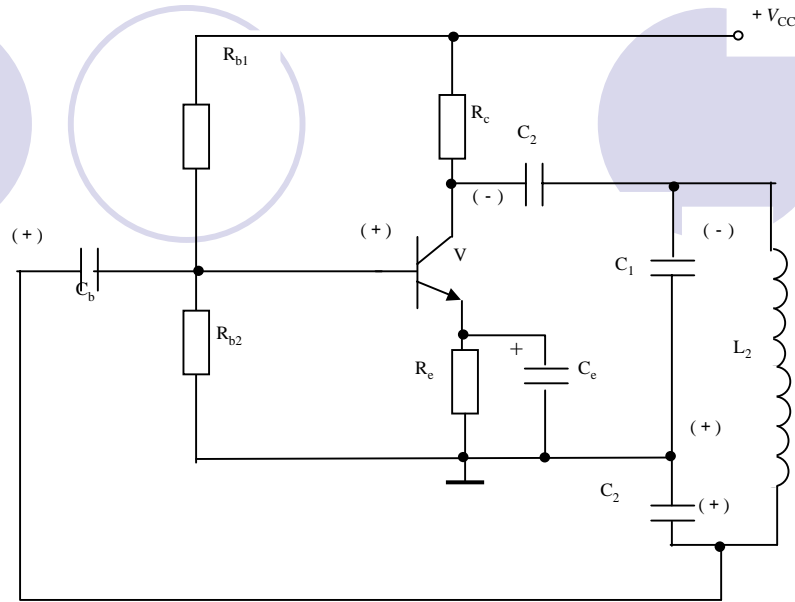


图6.3 电容三点式振荡器

- 1 . 相位条件
- 2 . 幅度条件
- 3 . 振荡频率
- 4 . 电路的优、缺点

(1) 容易起振，振荡频率高，可达 $100\text{MHz}$ 以上。

(2) 输出波形较好。这是由于 $C_2$ 对高次谐波的阻抗小，反馈电路中的谐波成份少，故振荡波形较好。

(3) 调节频率不方便。因为 $C_1$ 、 $C_2$ 的大小既与振荡频率有关，也与反馈量有关，改变 $C_1$ （或 $C_2$ ）时会影响反馈系数，从而影响反馈电压的大小，造成工作性能不稳定。

## 6.2.4 串联改进型电容三点式LC振荡电路

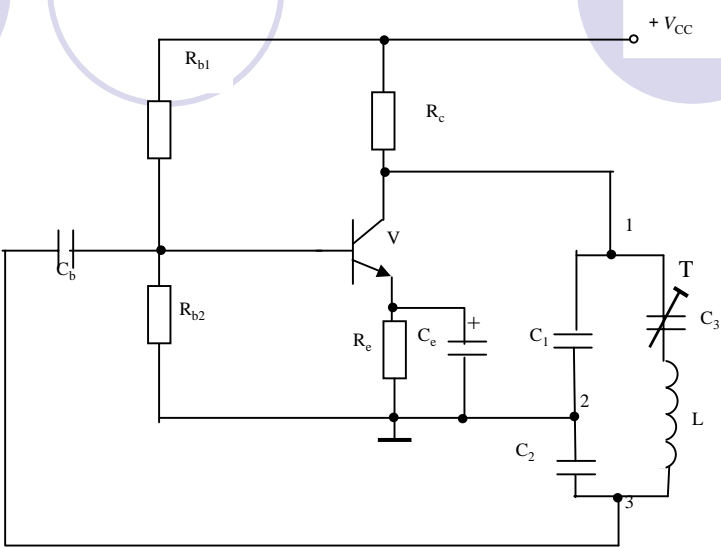


图6.4 克拉泼振荡电路

## 6.3 石英晶体振荡电路

### 6.3.1 石英晶体的谐振特性与等效 电路

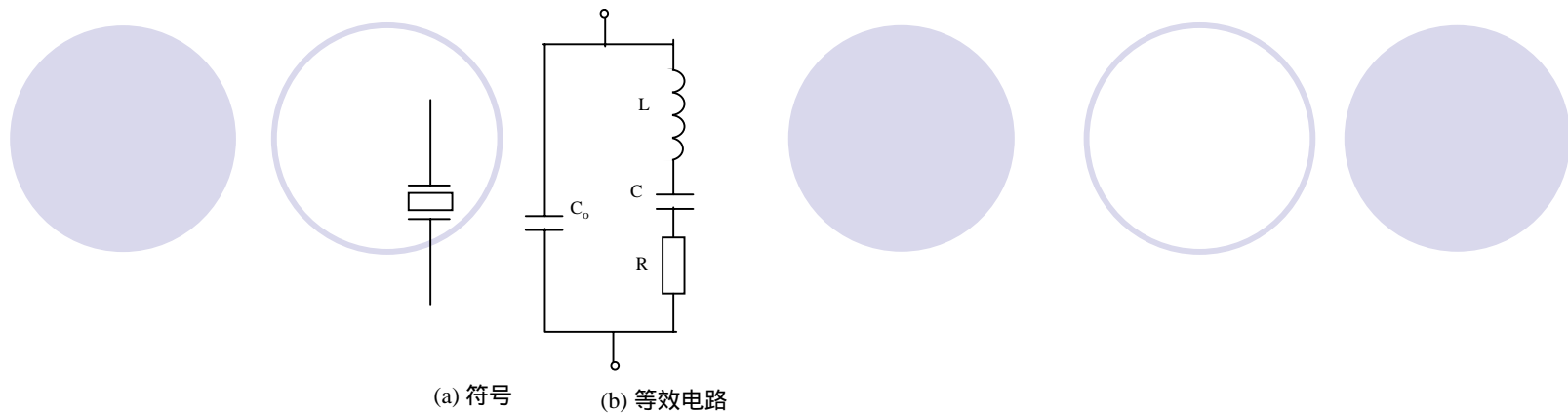


图6.5 石英晶体的符号和等效电路

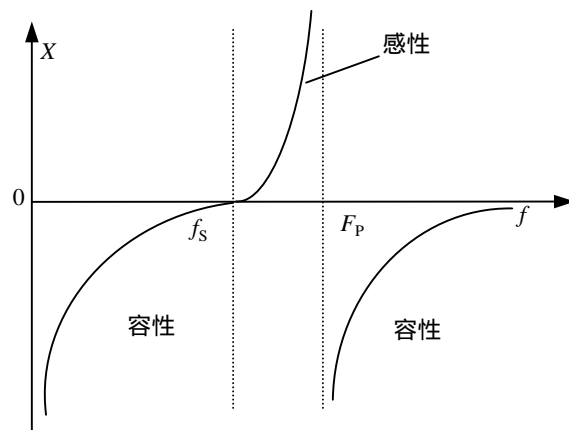
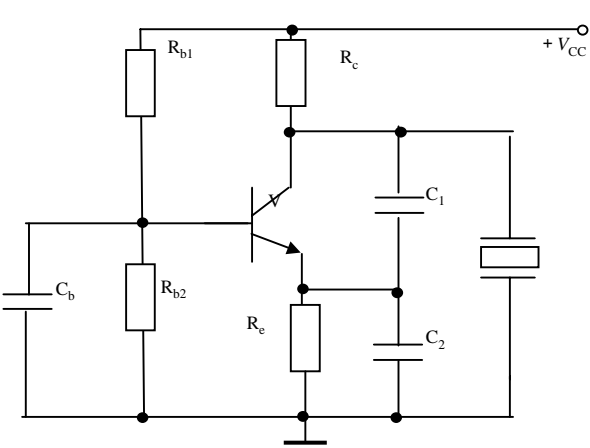


图6.6 石英晶体的电抗—频率特性

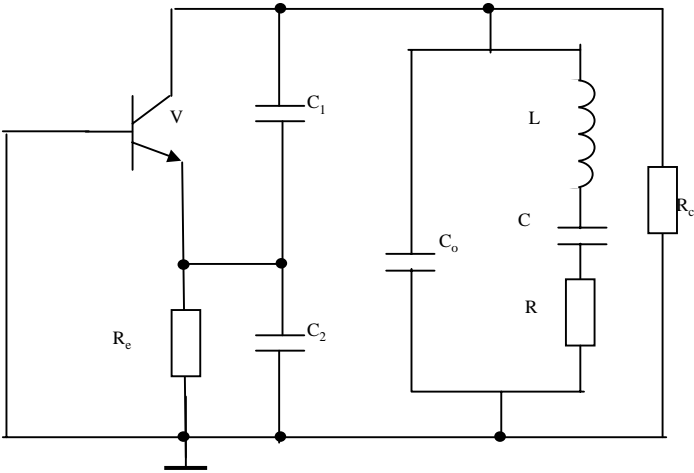


# 6.3.2 石英晶体振荡电路

## 1. 并联型石英晶体振荡电路



(a) 实际电路



(b) 石英晶体等效后的电路

图6.7 并联型石英晶体正弦波振荡电路

## 2. 串联型石英晶体振荡电路

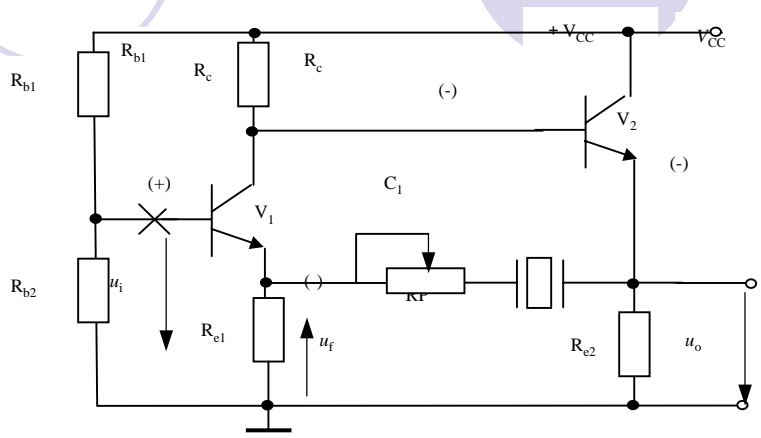
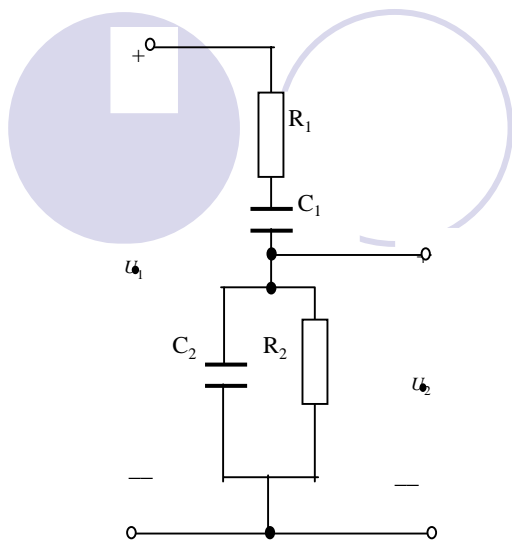


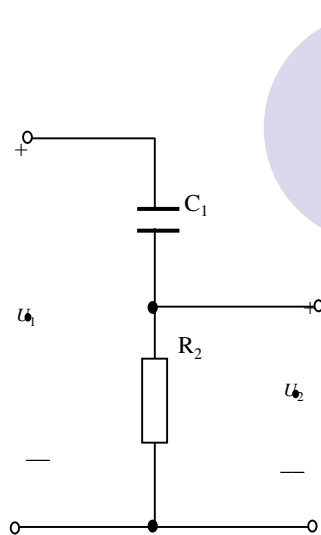
图6.8 串联石英晶体振荡电路

## \*6.4 RC正弦波振荡电路

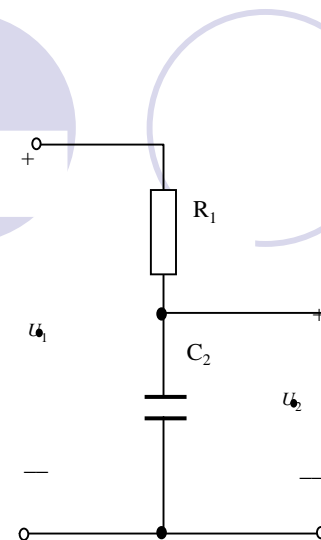
### 6.4.1 RC串并联网络的选频特性



(a) R-C串并联电路



(b) 低频等效电路



(c) 高频等效电路

图6.9 RC串并联网络及其高低频等效电路

## 6.4.2 RC串并联网络的频率特性



图6.10 RC串并联网络的频率特性

6.4.3 桥式振荡电路

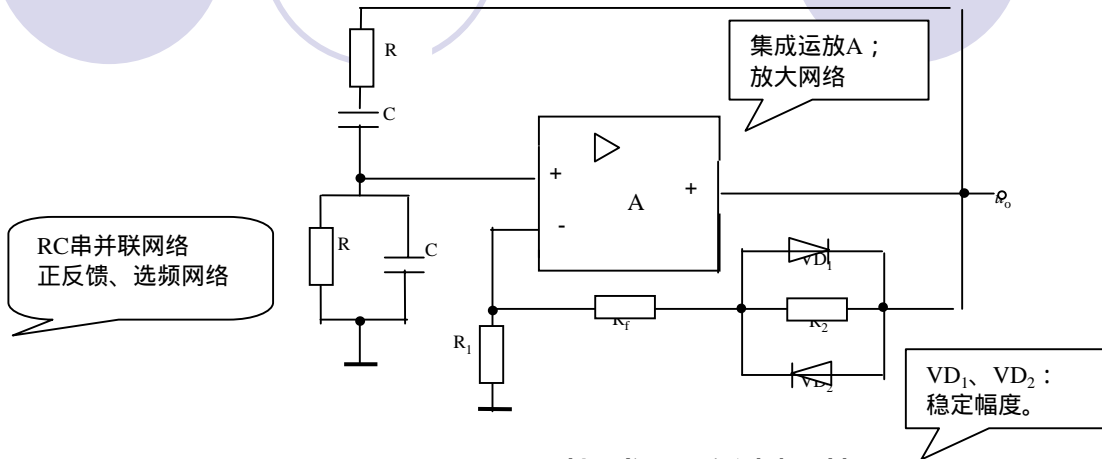


图6.11 RC桥式正弦波振荡电路

6.4.4 RC移相式振荡电路

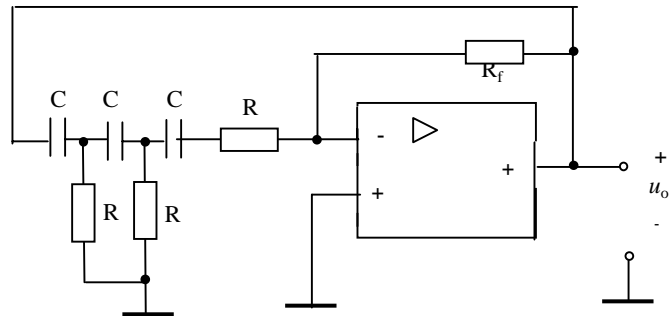
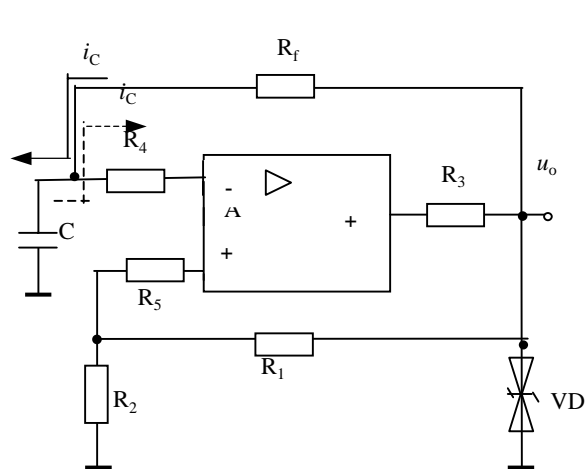


图6.12 RC超前型移相式振荡电路

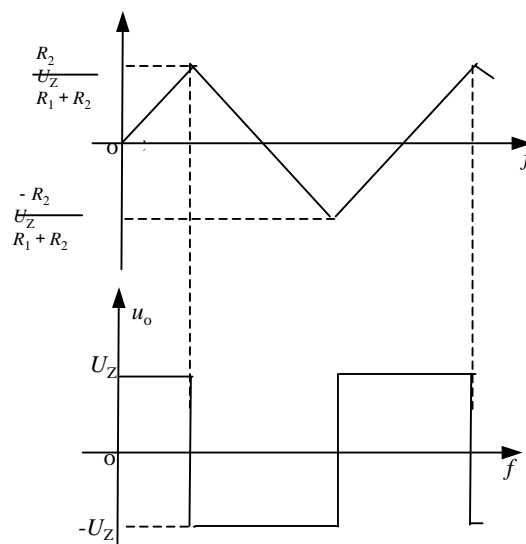
## \*6.5 非正弦波产生电路

### 6.5.1 矩形波产生电路

#### 1. 工作原理



(a) 电路

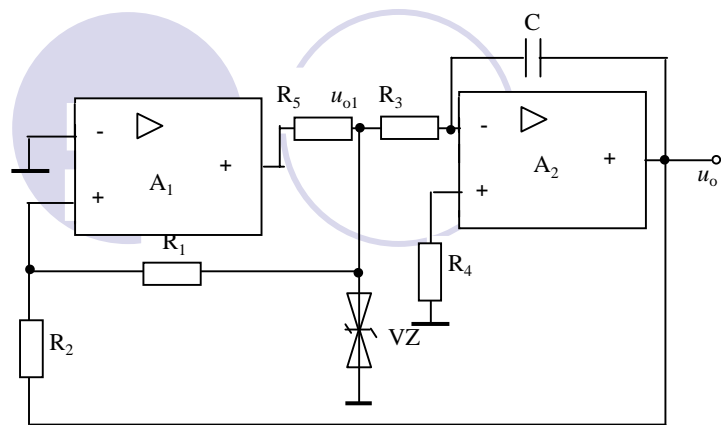


(b) 波形

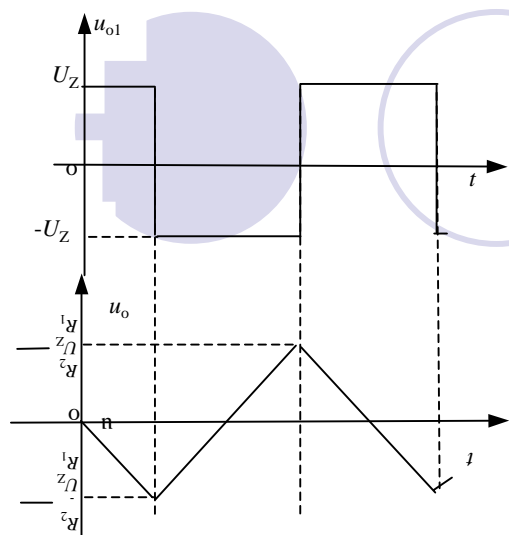
图6.13 矩形波发生电路及其波形

#### 2. 振荡频率及其调节

### 6.5.2 三角波发生器



(a) 电路图



(b) 波形图

图6.14 三角波发生器

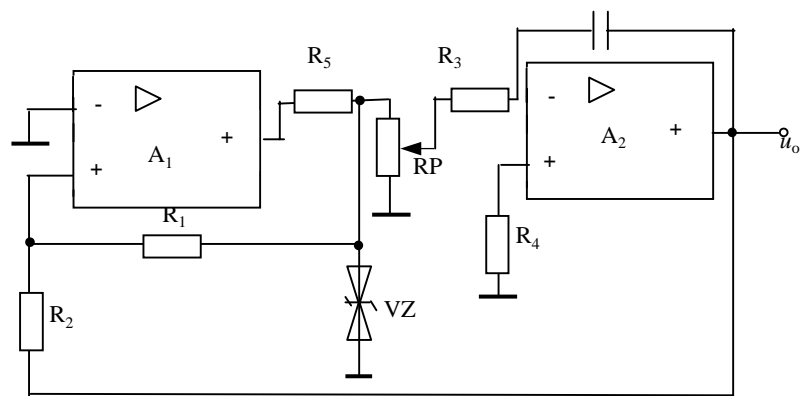
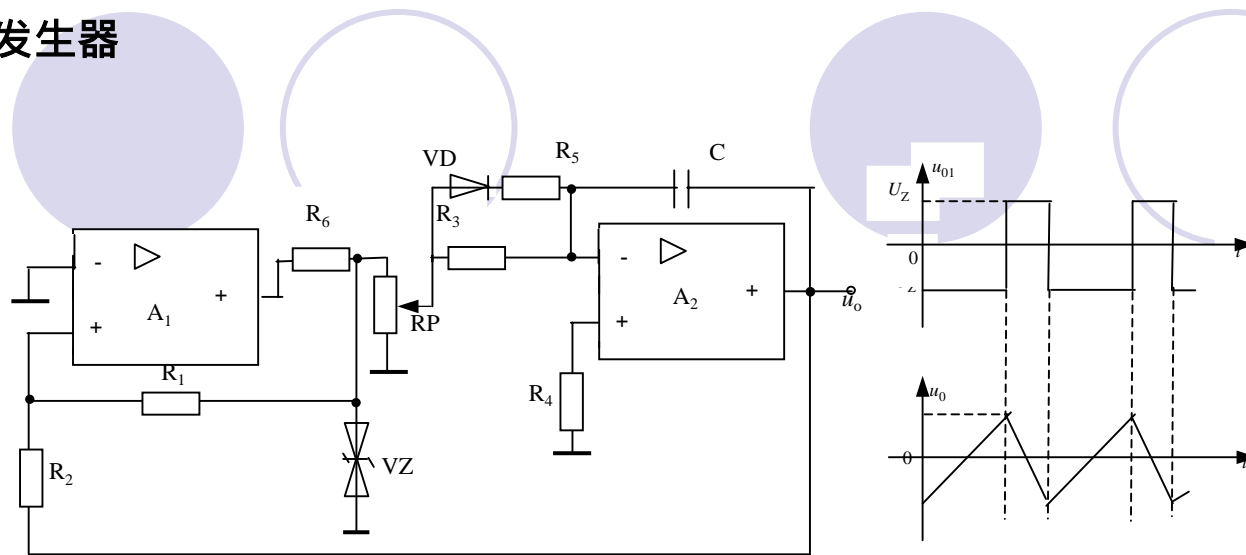


图6.15 频率可调的三角波发生器

## 5.3 锯齿波发生器



(a) 电路

(b) 波形

图6.16 锯齿波发生器

# 第7章 功率放大电路

## 本章重点内容

- 功率放大电路的特点
- 互补对称推挽功率放大电路及其工作原理
- 集成功率放大电路的原理及应用

## 7.1 功率放大电路概述

### 7.1.1 功率放大电路的特点

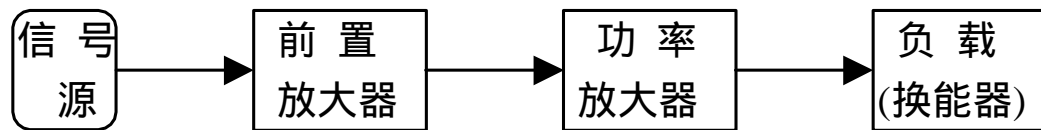


图7.1 放大器方框图

1. 要求输出足够大的功率
2. 效率要高
3. 非线性失真要小
4. 要考虑功率管的散热和保护问题
5. 在分析方法上，通常采用图解法



## 7.1.2 功率放大电路的三种工作状态

1. 甲类放大状态
2. 甲乙类放大状态
3. 乙类放大状态

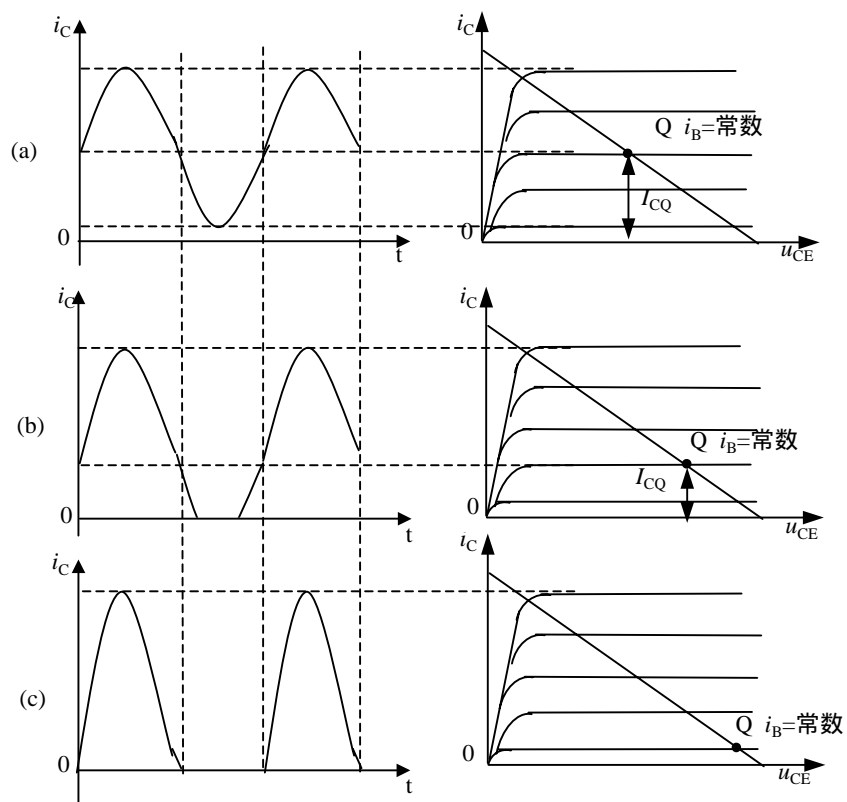


图7.2 功放电路的三种工作状态

(a) 甲类放大

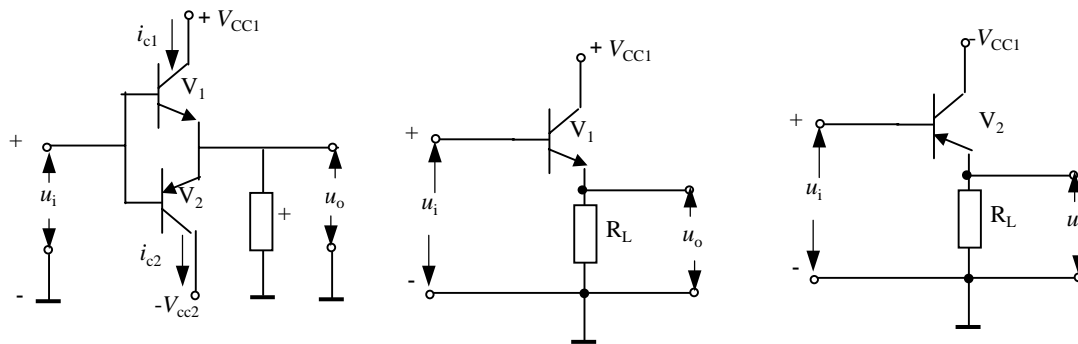
(b) 甲乙类放大

(c) 乙类放大

## 7.2 互补对称功率放大电路

### 7.2.1 OCL互补对称功率放大电路

#### 1. 乙类OCL互补对称电路



(a) 基本互补对称电路 (b) 由NPN管组成的射极输出器 (c) 由PNP管组成的射极输出器

图7.3 两射极输出器组成的基本互补对称电路

#### 2. 乙类OCL互补对称电路主要参数估算

##### (1) 输出功率及效率

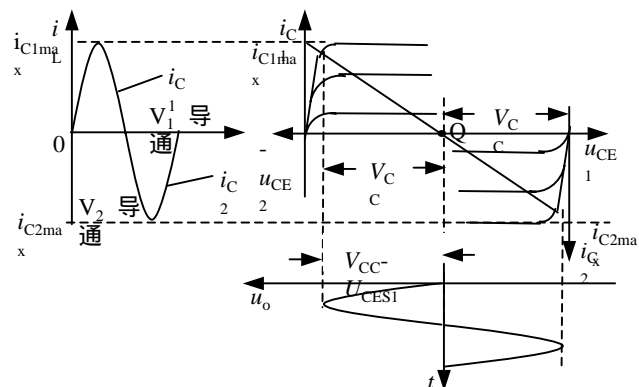


图7.4 乙类OCL互补对称电路图解分析

(2) 管耗

(3) 功率管参数的选择

### 3. 甲乙类OCL互补对称电路

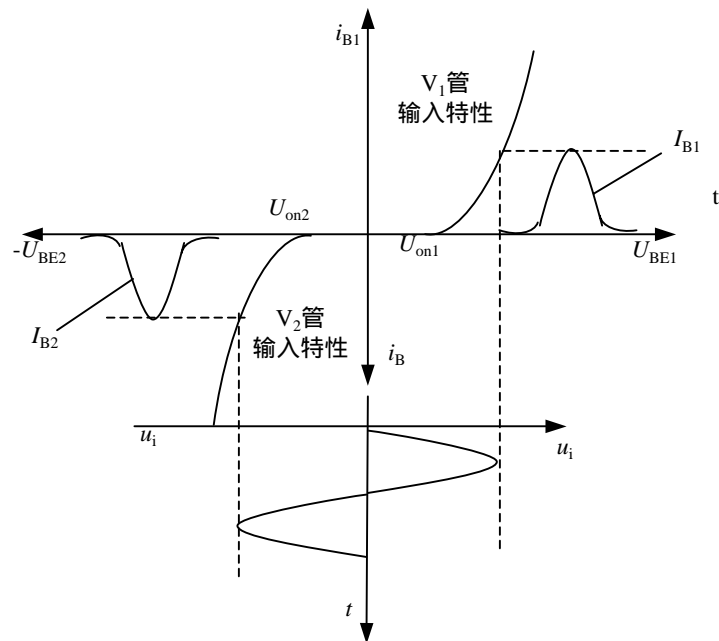
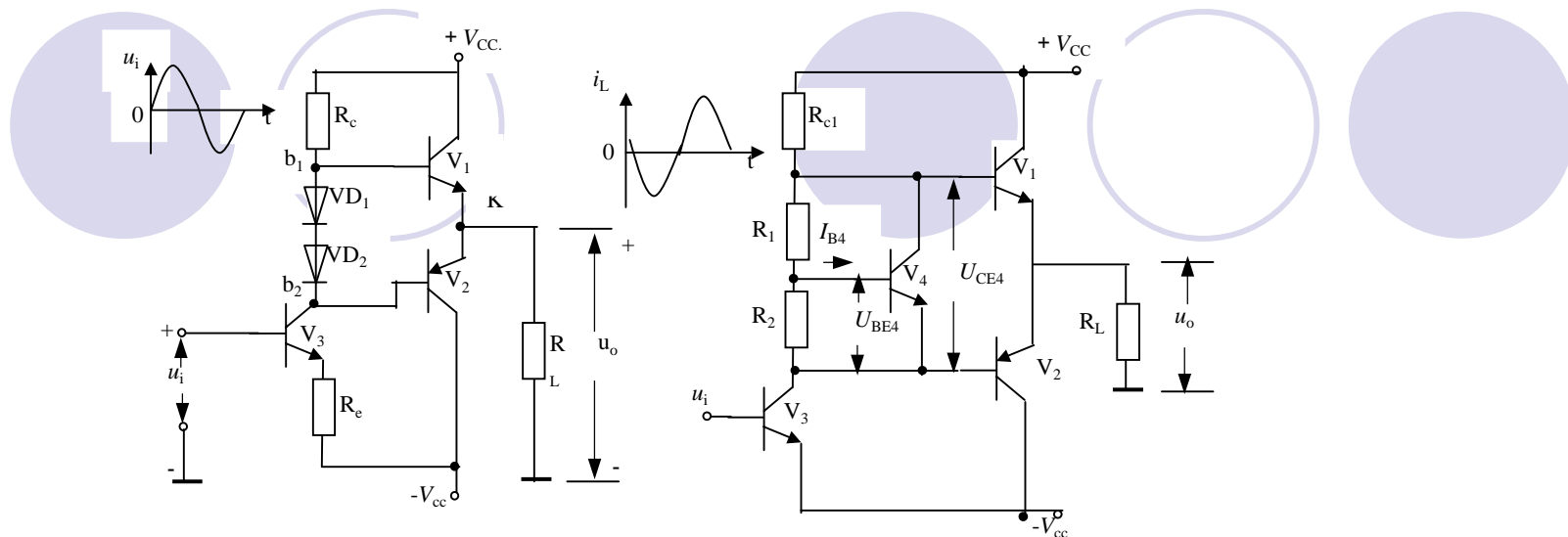


图7.5 交越失真



a) 用二极管提供偏置

(b) 用  $U_{BE}$  倍增电路提供偏置

图7.6 甲乙类互补对称电路

## 7.2.2 OTL互补对称功率放大电路

### 1. 基本电路

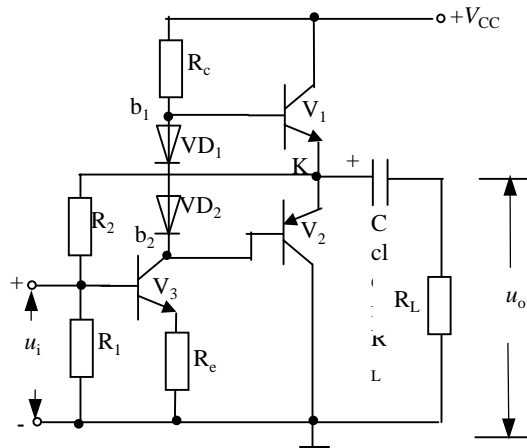


图7.7 采用一个电源的互补对称电路

2.带自举的OTL电路

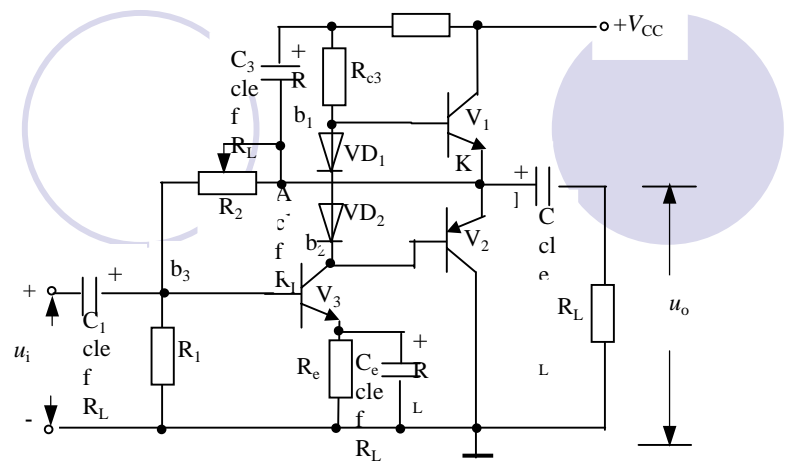


图7.8 带自举的单电源互补对称电路

7.2.3采用复合管的准互补对称功率放大电路

1.复合管

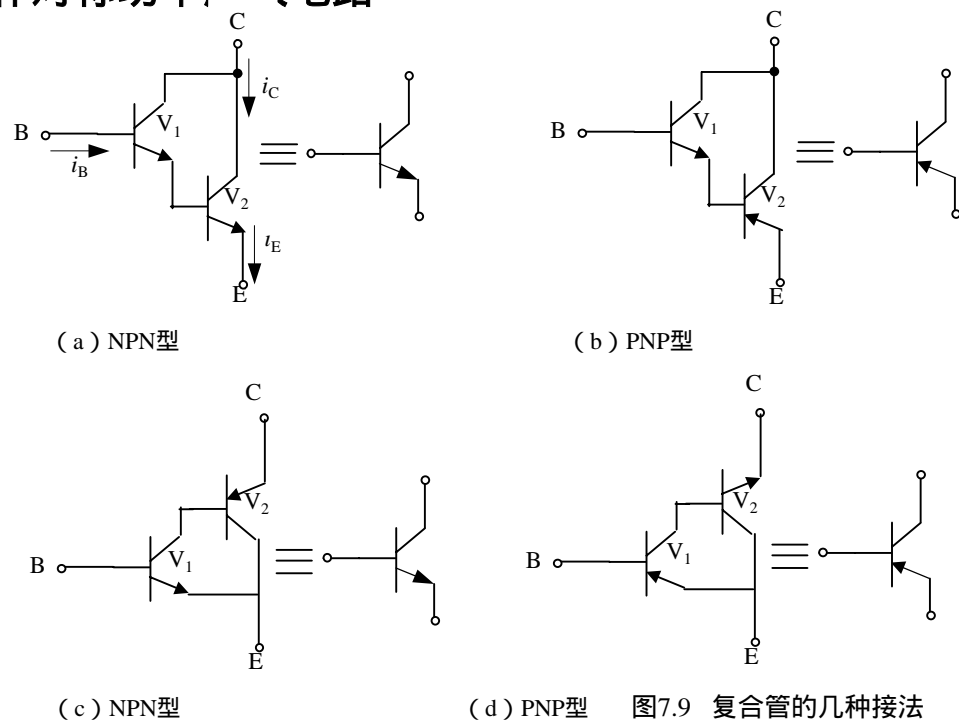


图7.9 复合管的几种接法

2.复合管组成的准互补对称功放电路

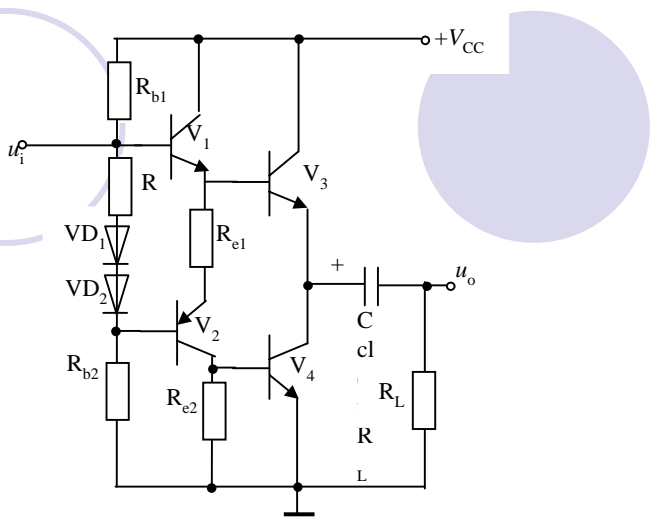
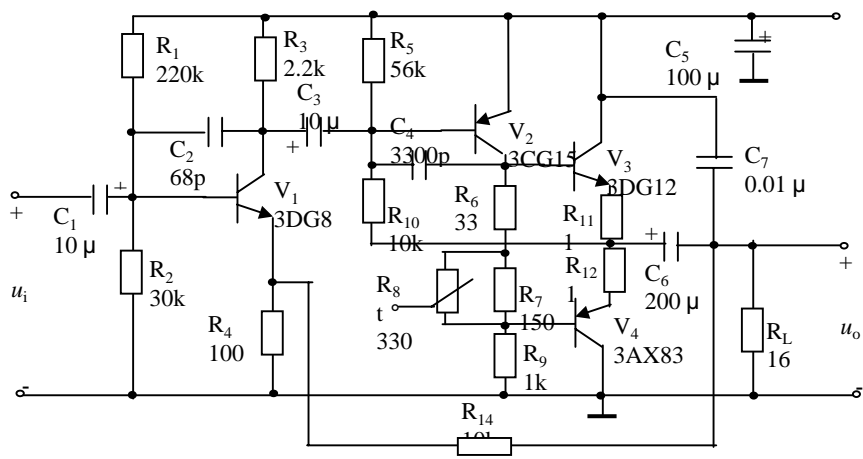


图7.10 准互补对称功放电路

7.2.4实际功率放大电路分析

1. OTL音频功率放大电路

(1) 电路组成



7.11 OTL音频功率放大电路

## (2) 主要技术指标的估算

### (1) 电路组成

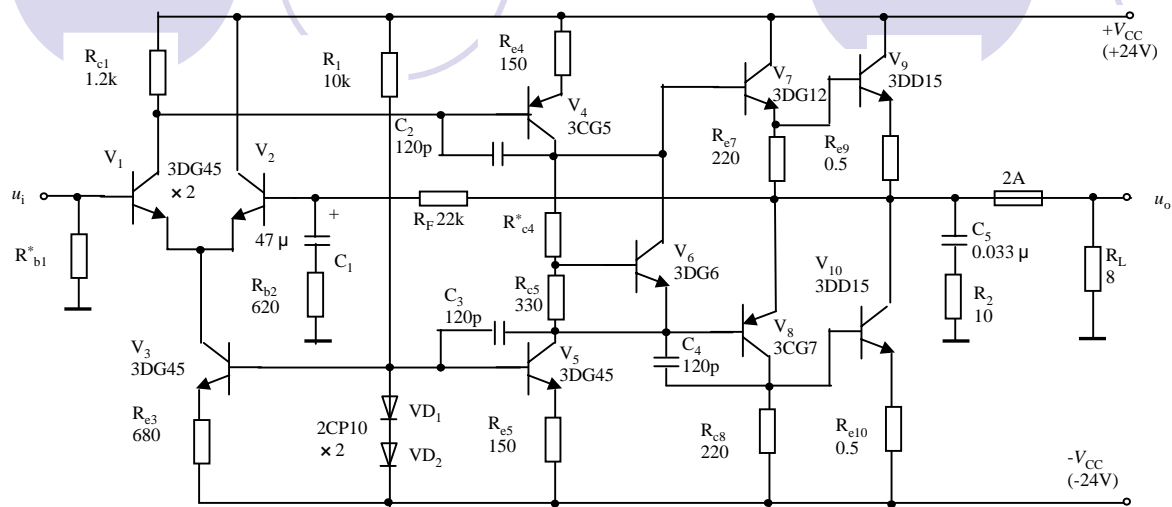


图7.12 高保真OCL功率放大电路

### (2) 主要技术指标的估算

## 7.3 集成功率放大电路

### 7.3.1 集成功率放大电路分析

#### 1. LM386内部电路

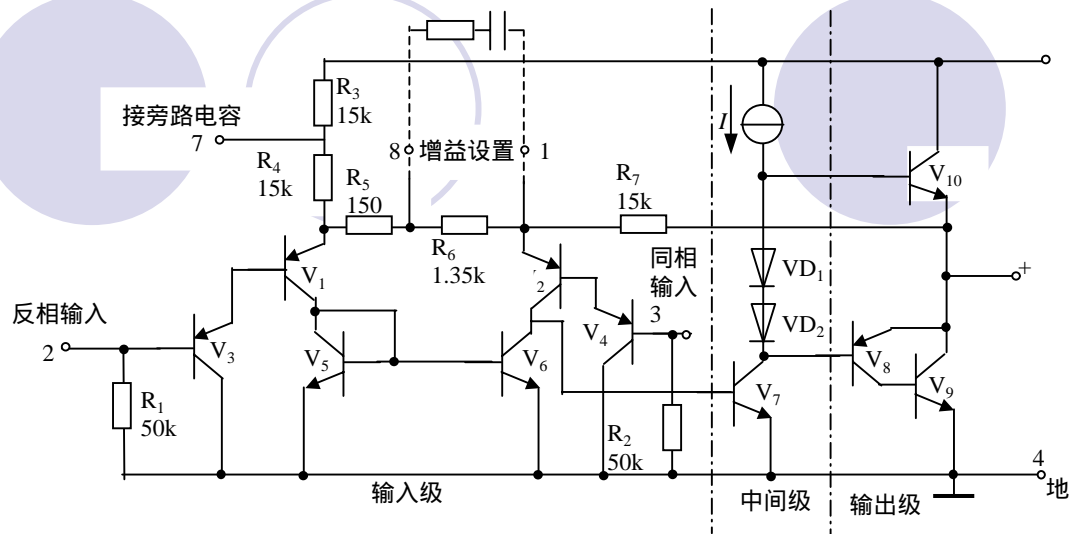


图7.13 LM386内部电路原理图

## 2. LM386的电压放大倍数

## 3. LM386的外形和引脚图

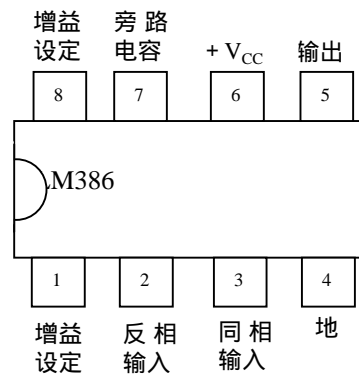


图7.14 LM386的外形和引脚的排列



## 7.3.2 集成功率放大电路的主要性能指标

### 3.3 集成功率放大电路的应用

集成OTL电路的应用

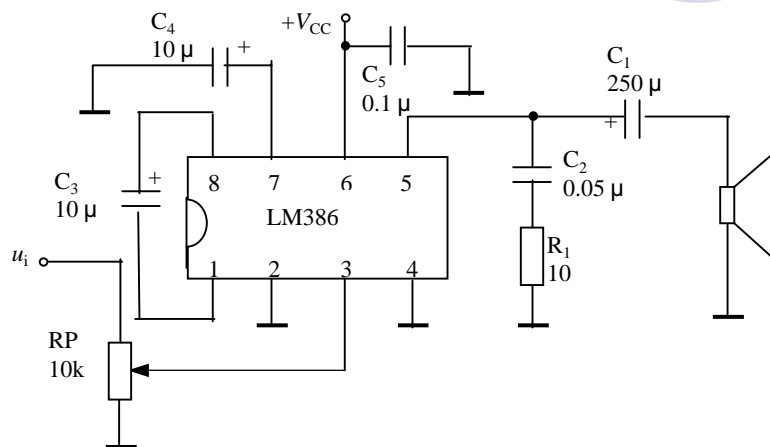


图7.15 LM386外接元件最少的用法

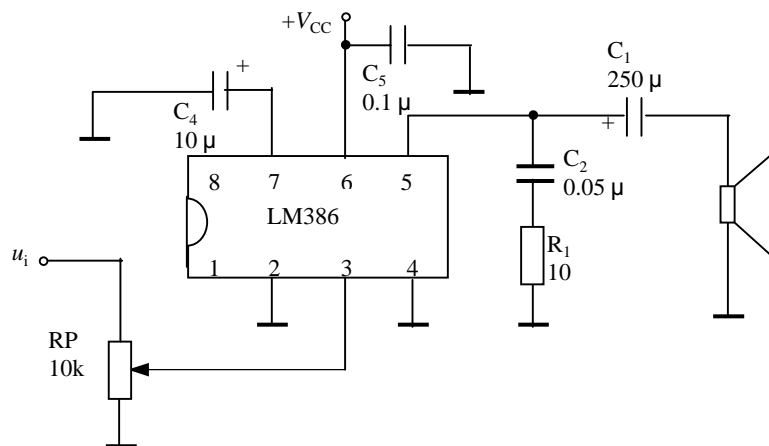


图7.16 LM386电压增益最大的用法

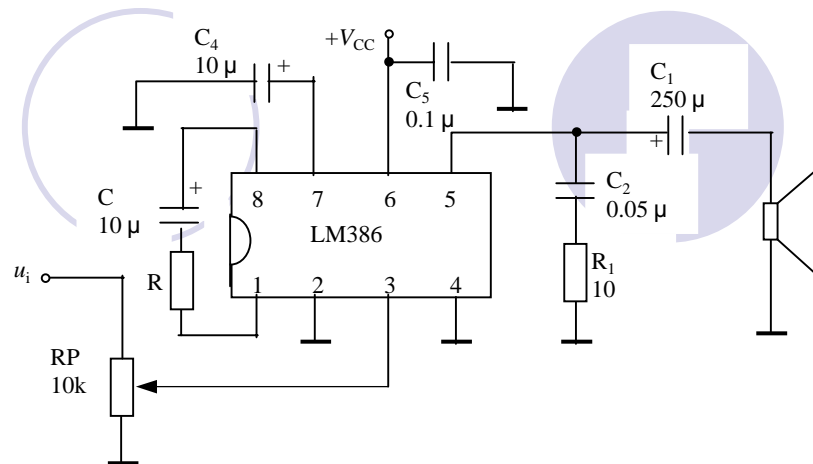


图7.17 LM386的一般用法

## 2.集成OCL电路的应用

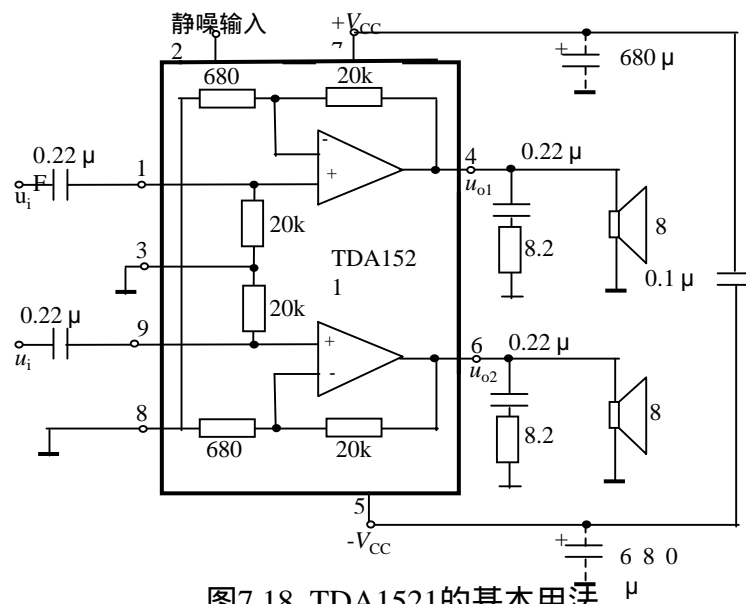


图7.18 TDA1521的基本用法

## 7.4 功率管的安全使用和保护

### 7.4.1 功放管的二次击穿问题

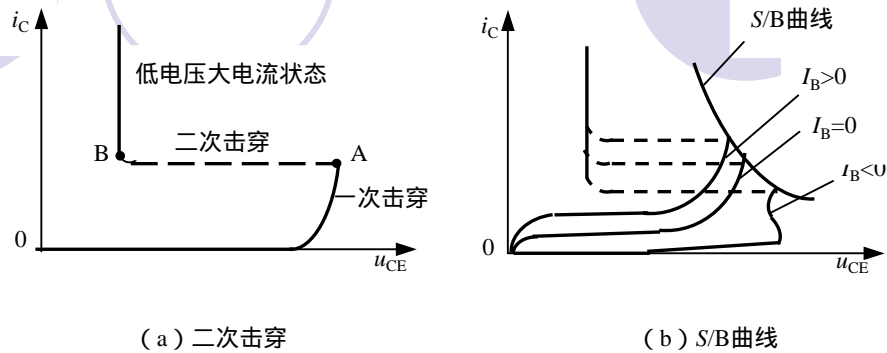


图7.19晶体管的击穿现象

### 7.4.2 功放管的散热问题

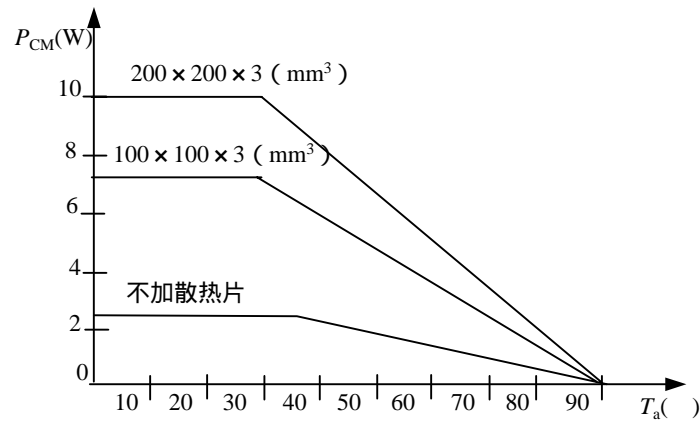


图7.20 3AD11-17功率管的 $P_{CM}$ - $T_a$ 曲线

7.4.3功放管的保护措施

1.过热保护

2.过压和过流保护

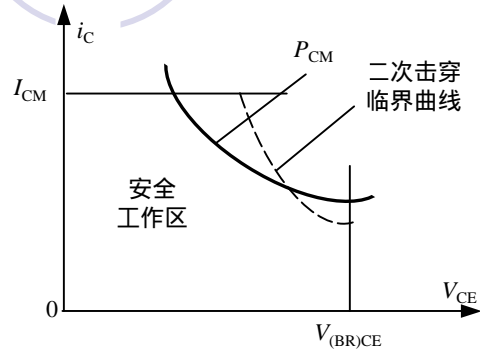
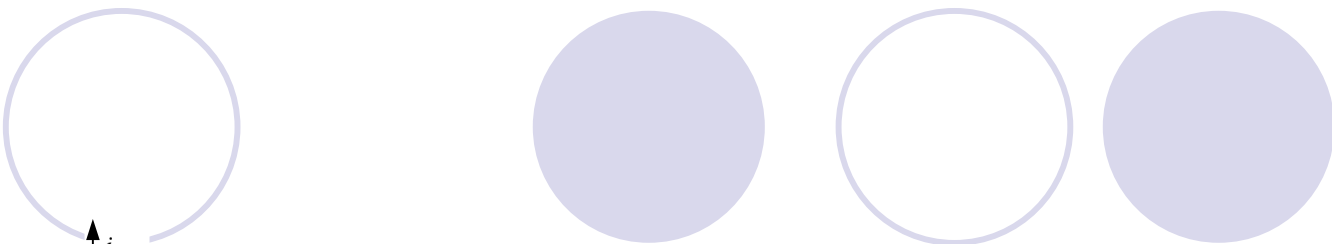


图7.22 由  $I_{CM}$ 、 $P_{CM}$ 、 $U_{(BR)CEO}$  和二次击穿临界曲线限制的安全工作区

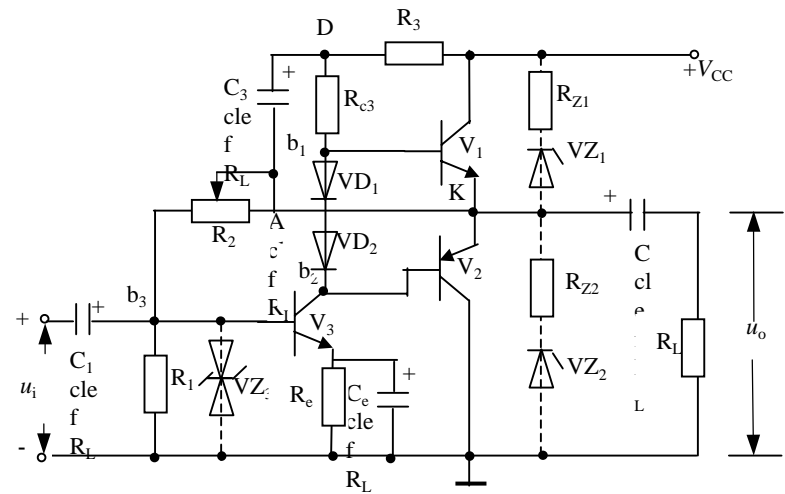


图7.23 功放管的保护电路

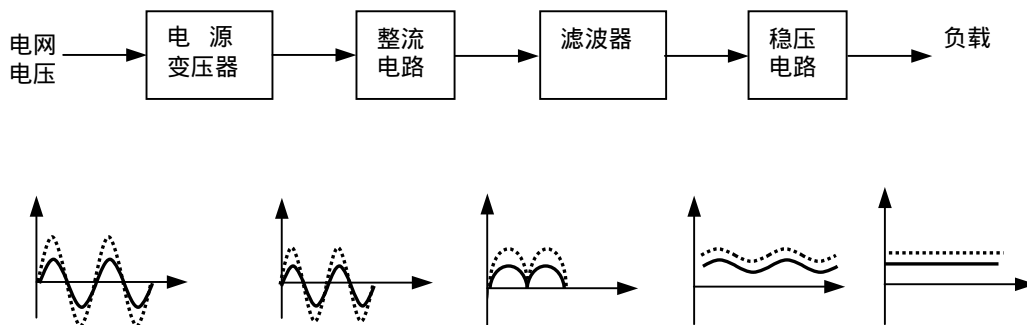
# 第8章 直流稳压电源

## 本章重点内容

- 整流电路的工作原理及元器件参数的选择
- 电容滤波电路的工作原理
- 分立及集成稳压电路的工作原理

## 8.1 直流稳压电源的组成

直流稳压电源的组成如图8.1所示



直流稳压图8.1电源的组成

1.电源变压器

2.整流电路

3.滤波器

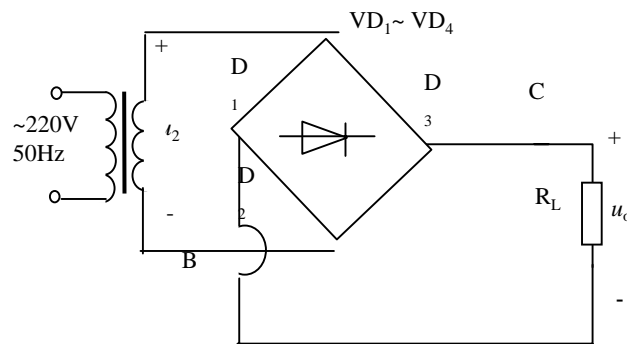
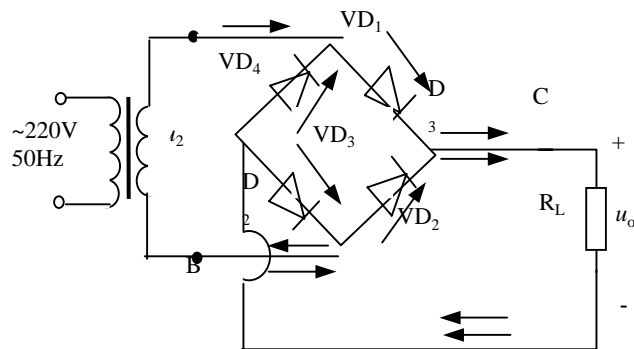
4.稳压电路

## 8.2 小功率整流与滤波电路

### 8.2.1 单相整流电路

#### 1. 整流电路的主要技术指标

#### 2. 桥式整流电路的工作原理



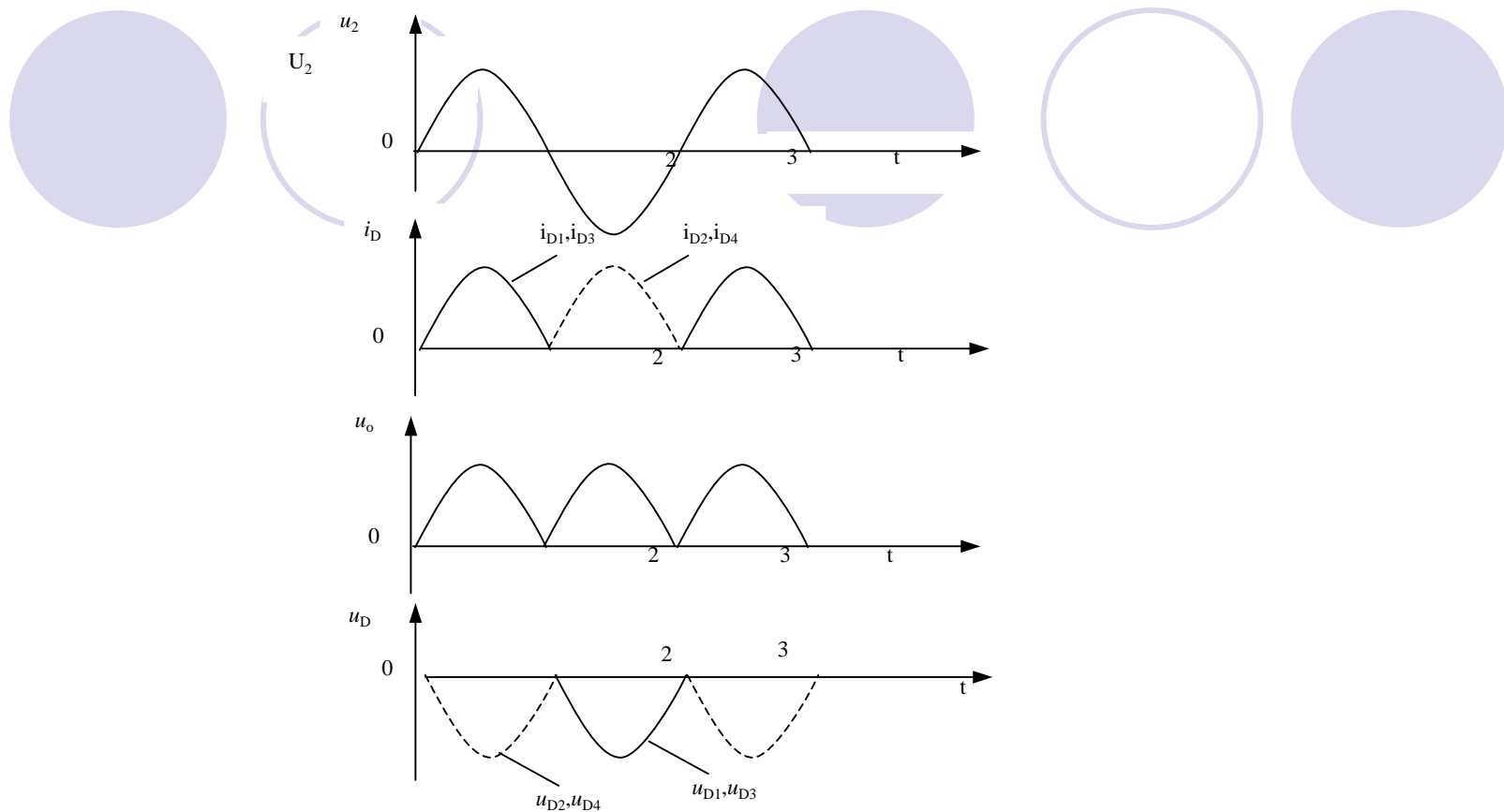


图8.3 桥式整流电路的波形图

### 3. 桥式整流电路的参数计算

# 8.2.2滤波电路

1. 电容滤波电路

2. 电感滤波电路

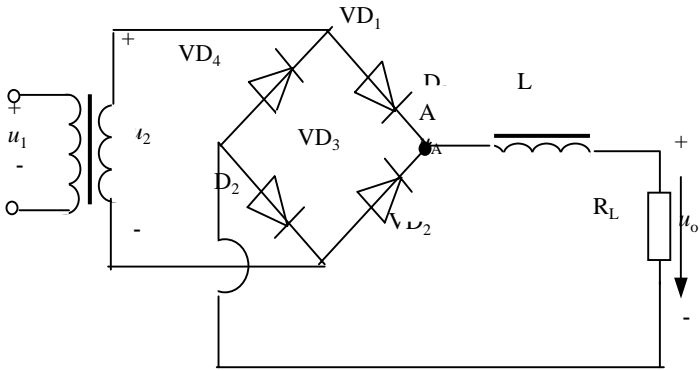
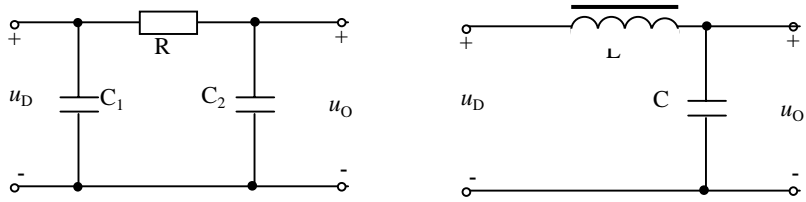
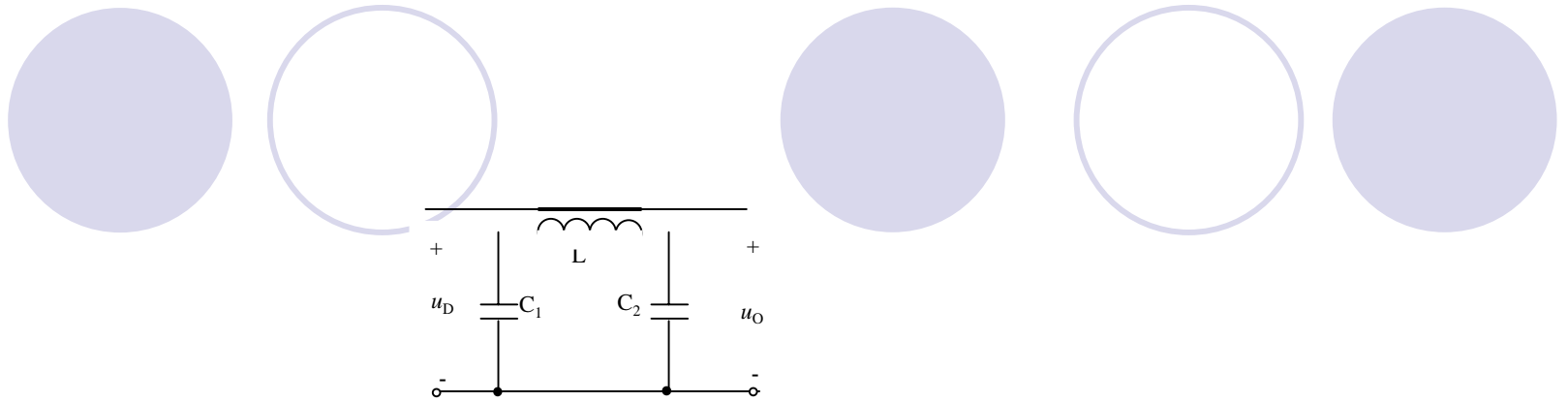


图8.6 电感滤波电路

3. 复合滤波电路







(c) LC- 型滤波电路

图8.7 常用的复合滤波电路

## 8.3 串联型稳压电路

### 8.3.1 稳压电路的技术指标

1. 稳压系数  $S_V$
2. 纹波抑制比  $S_r$
3. 输出电压的温度系数  $S_T$

4. 输出电压的温度系数 $S_T$

5. 电流调整率 $S_I$

### 8.3.2 串联型稳压电路

#### 1. 电路组成和工作原理

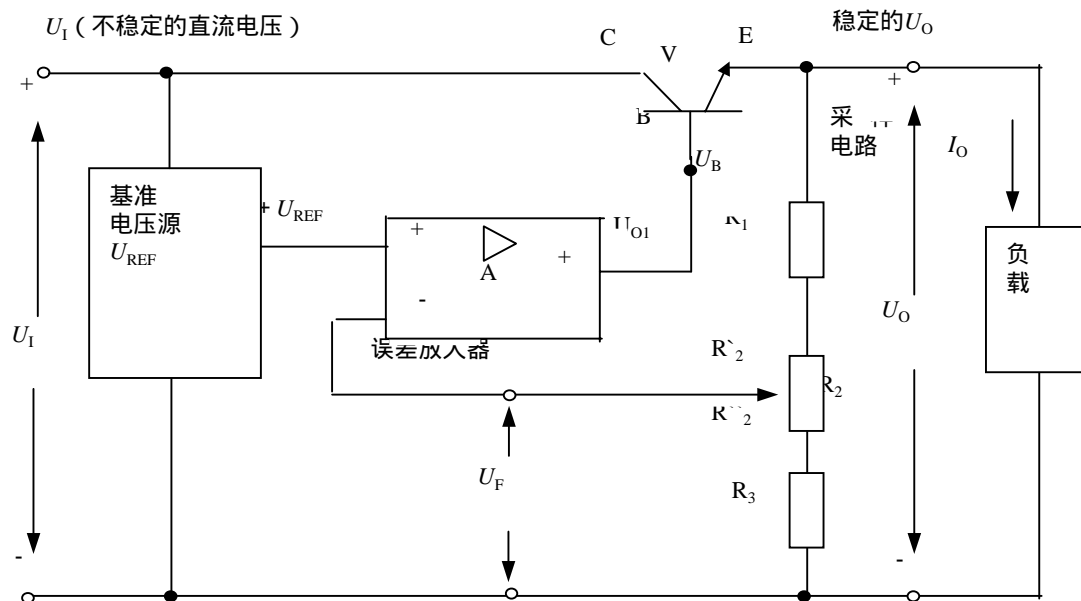
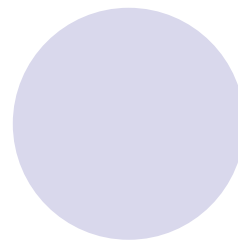
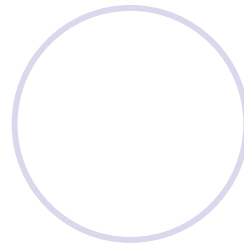
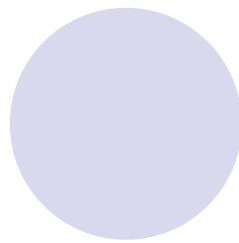
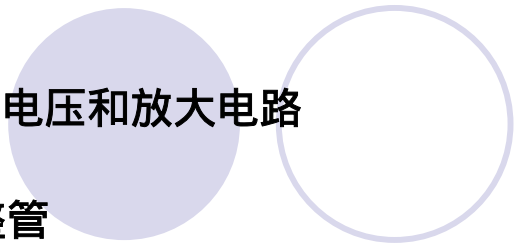


图8.8 串联型稳压电路

(1) 采样电路

(2) 基准电压和放大电路

(3) 调整管



## 2. 输出电压的调节范围

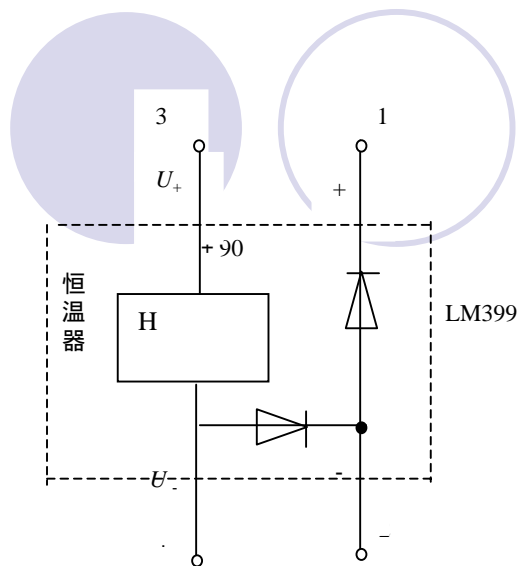
## 3. 调整管的选择

(1) 集电极最大允许电流 $I_{CM}$

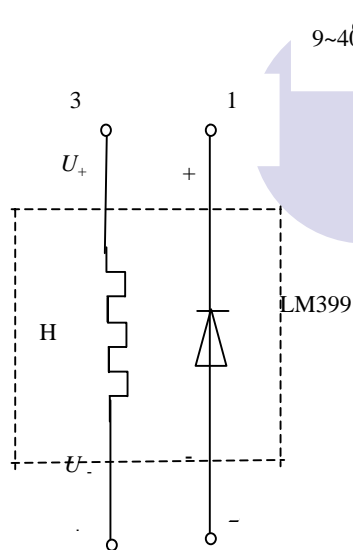
(2) 集电极和发射极之间的反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$

(3) 集电极最大允许耗散功率 $P_{CM}$

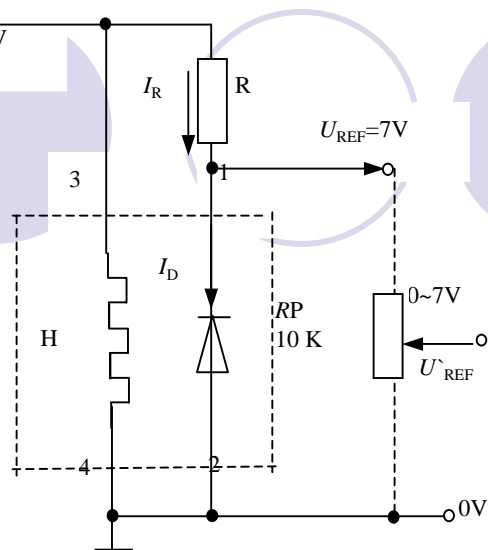
## \*4. 高精度基准电源



(a) 结构框图



(b) 电路符号



(c) 典型应用电路

图8.10 LM399的结构与应用电路

### 8.3.3 三端集成稳压器

#### 1. 三端集成稳压器的产品分类及特点

(1) 固定式三端集成稳压器

(2) 可调式三端集成稳压器

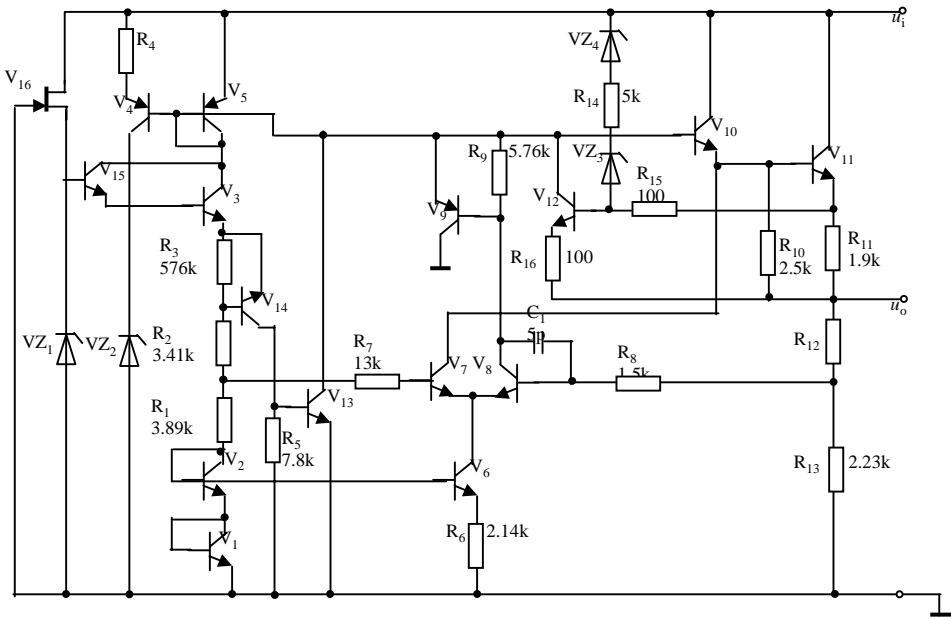
# 2.三端集成稳压器的的工作原理

## (1) 固定式三端集成稳压器

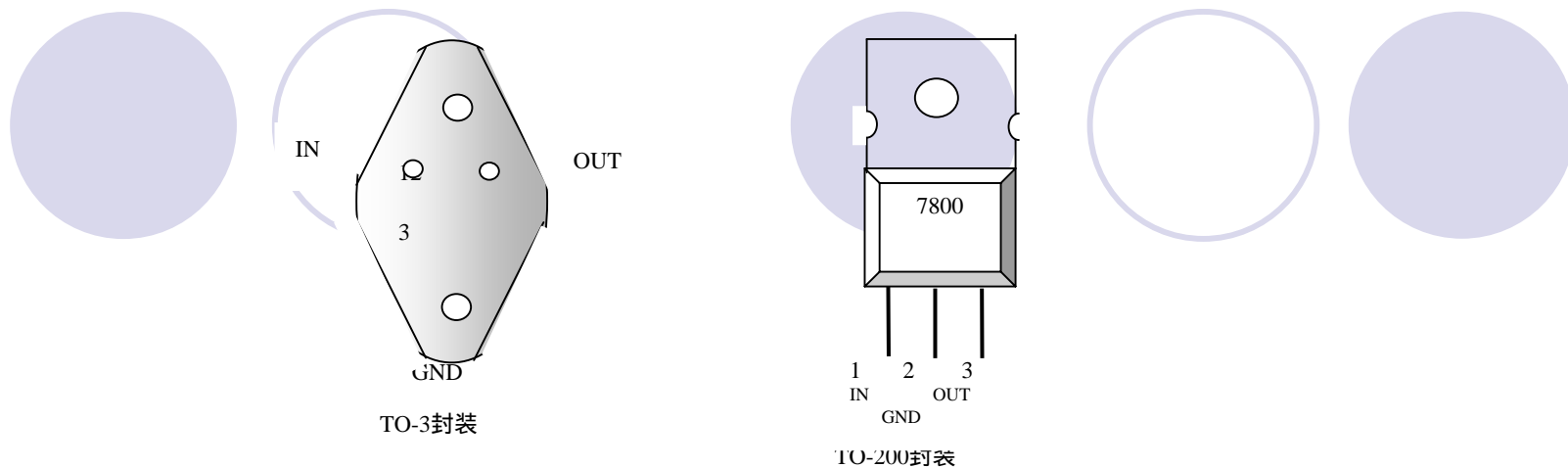
基准电压

启动电路

采样及误差放大电路



a) 原理电路

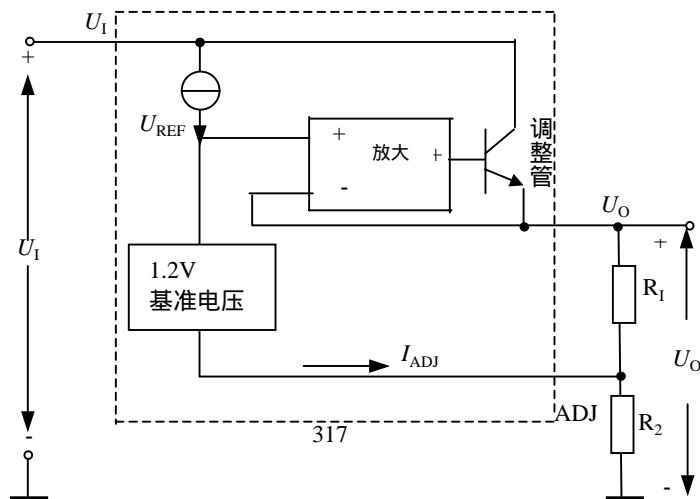


(b) 外部引脚图

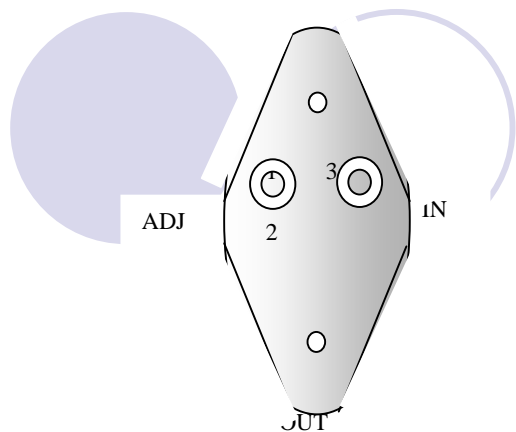
图8.11 7800型三端集成稳压器的原理电路与外部引脚图

调整与保护电路

## 2) 可调式三端集成稳压器

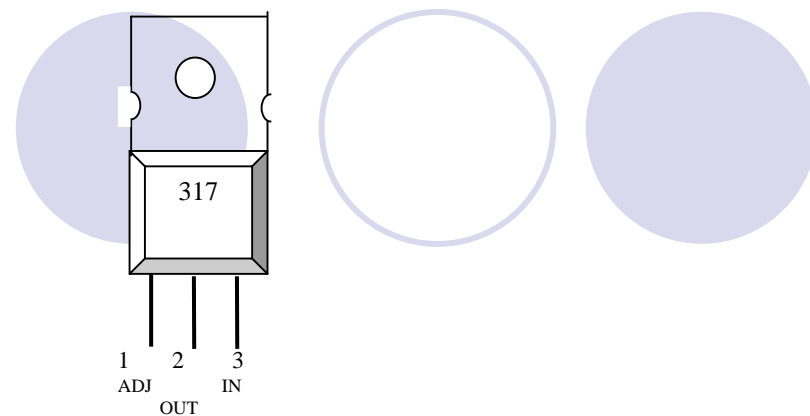


(a) 结构图



TO-3封装

(b) 317M的外部引脚图



TO-2000封装

图8.12 可调式三端集成稳压器的结构与外部引脚图

## \*8.4 开关型稳压电路

### 8.4.1 开关型稳压电路的特点和分类

#### 1. 开关型稳压电路的特点

#### 2. 开关型稳压电路的分类

### 8.4.2 串联开关型稳压电路

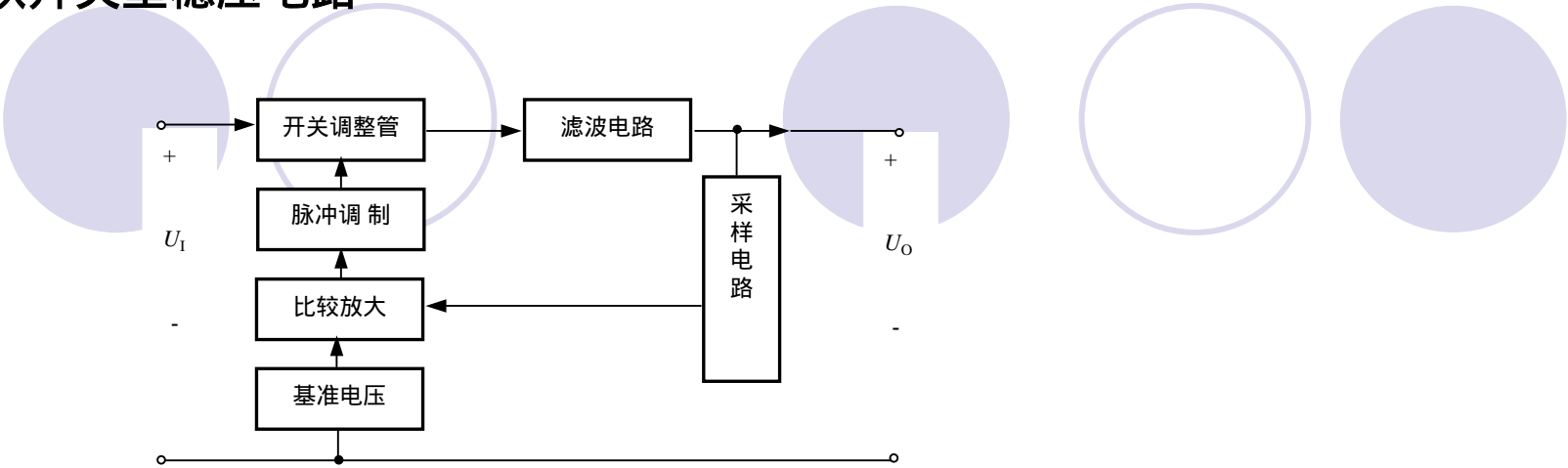


图8.13 开关型稳压电路的组成

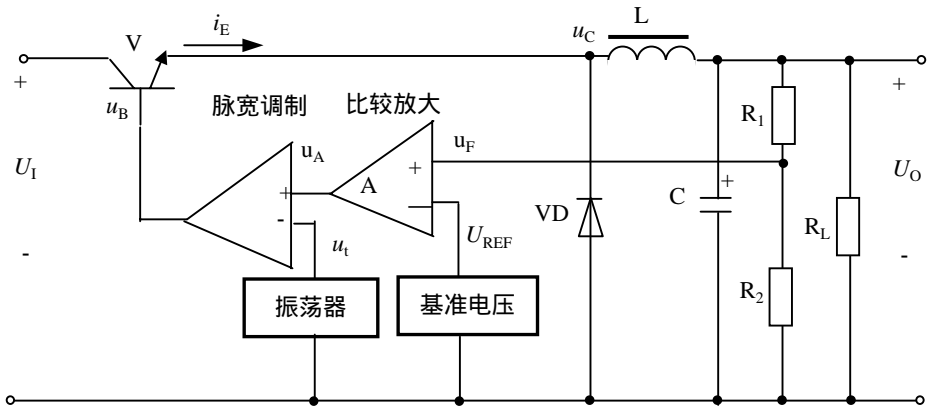


图8.14 脉冲调宽式开关型稳压电路原理图



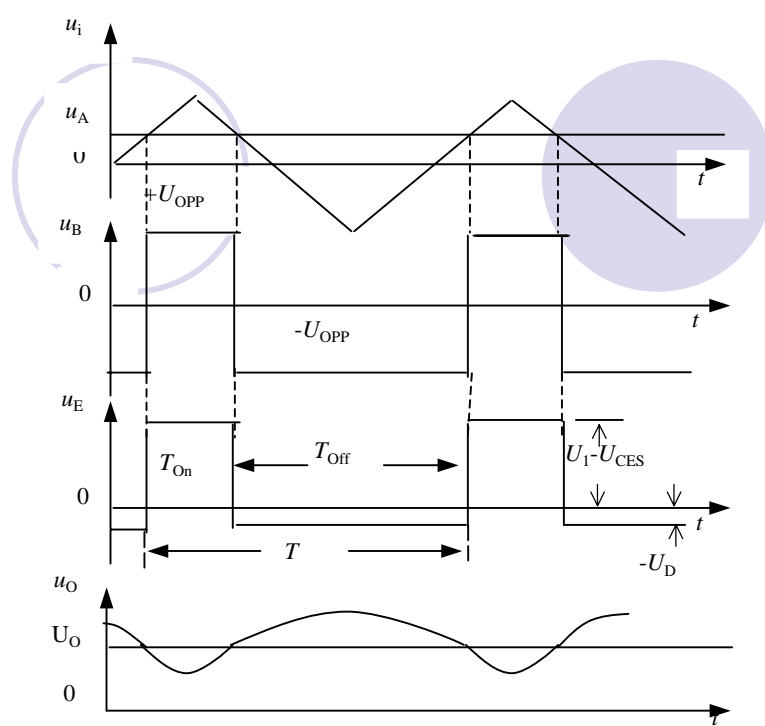


图8.15 脉冲调宽式开关型稳压电路的波形图

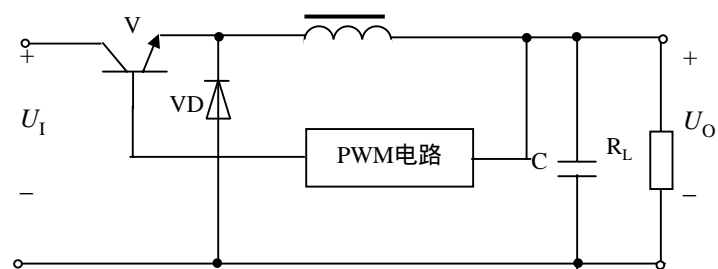
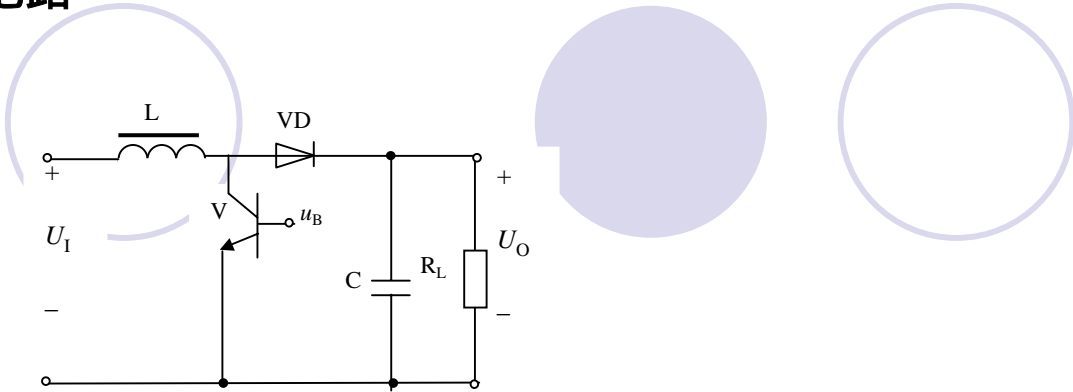


图8.16 串联开关型稳压电路的简化电路

8.4.3并联开关型稳压电路



(a) 基本原理图

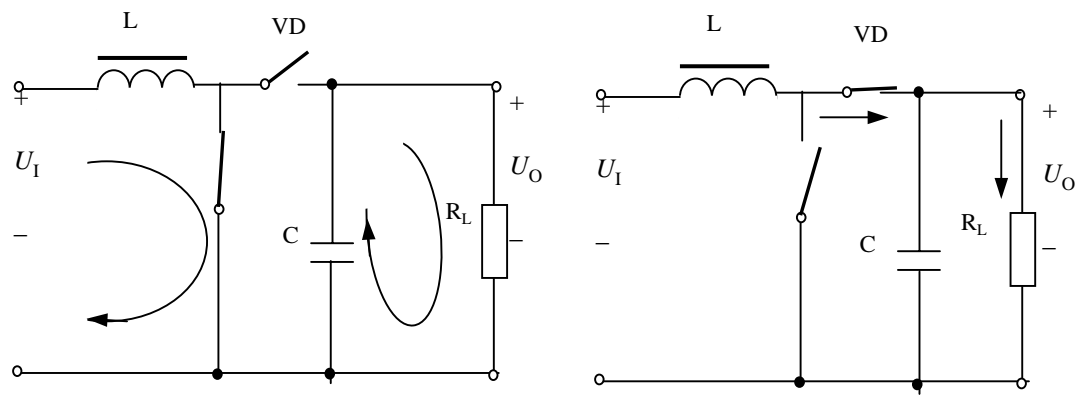


图8.17并联开关型稳压电路的基本原理图及其等效电路

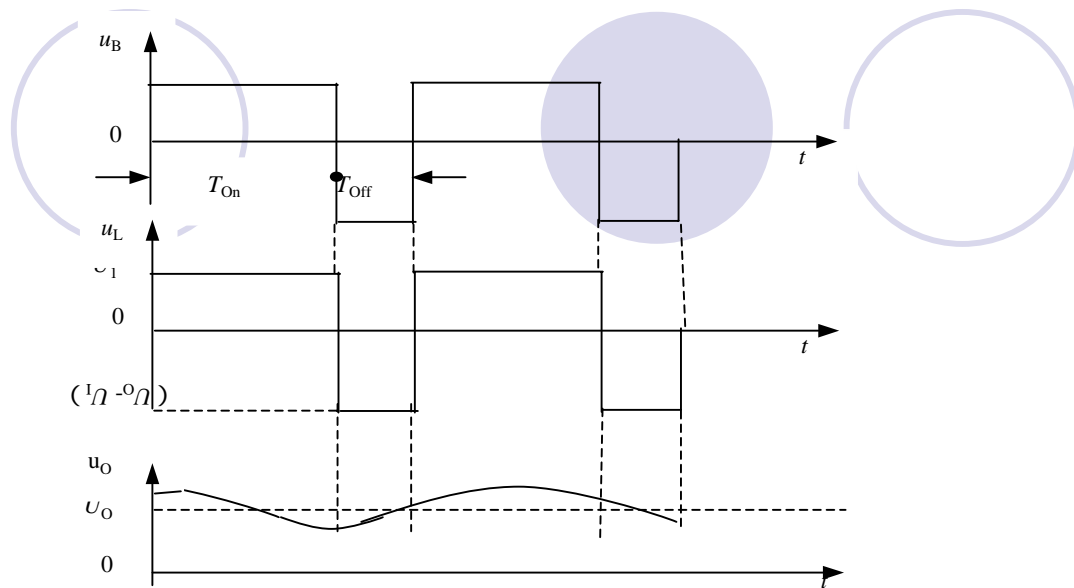


图8.18 并联型开关稳压电路的波形分析

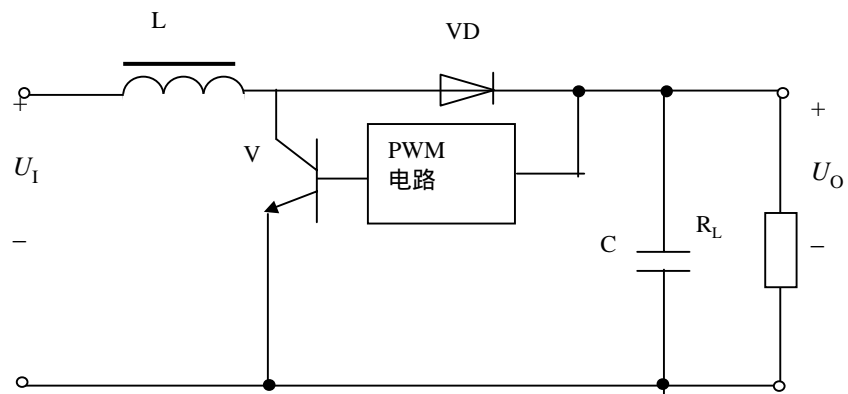


图8.19 并联型开关稳压电路的简化图

## 8.4.4 开关型集成稳压器

1. L4960的结构与原理

2. L4960典型应用电路

## \*8.5 三端集成稳压器的应用

### 8.5.1 固定式三端集成稳压器的应用

#### 1. 基本应用电路

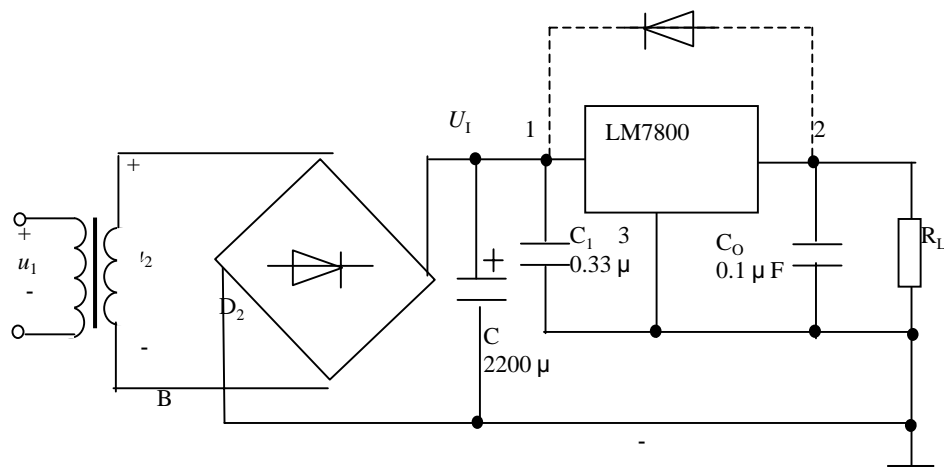


图8.23 三端集成稳压器的基本应用电路

## 2. 同时输出正、负电压的电路

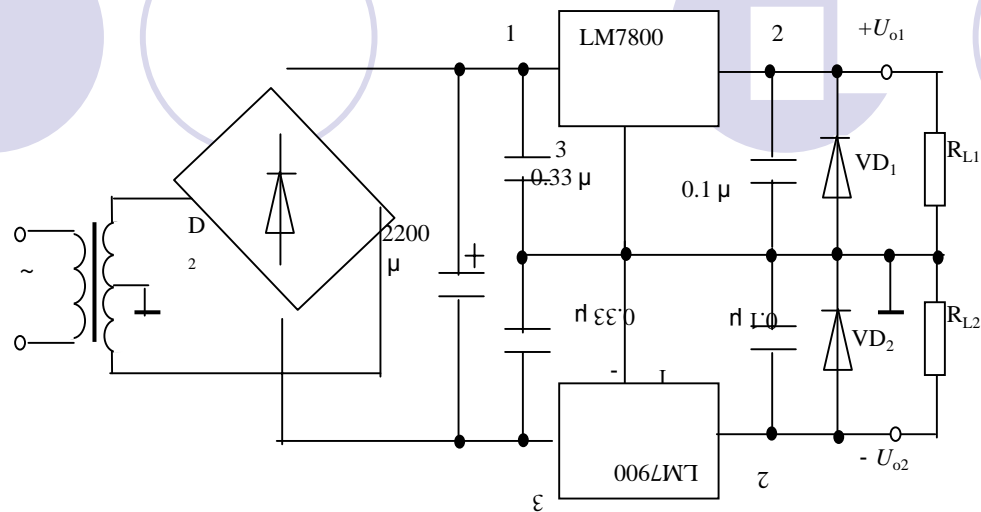
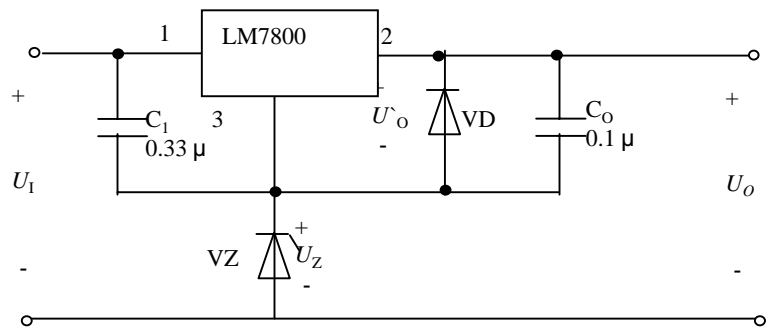


图8.24 同时输出正、负电压的稳压电路

## 3. 提高输出电压的电路



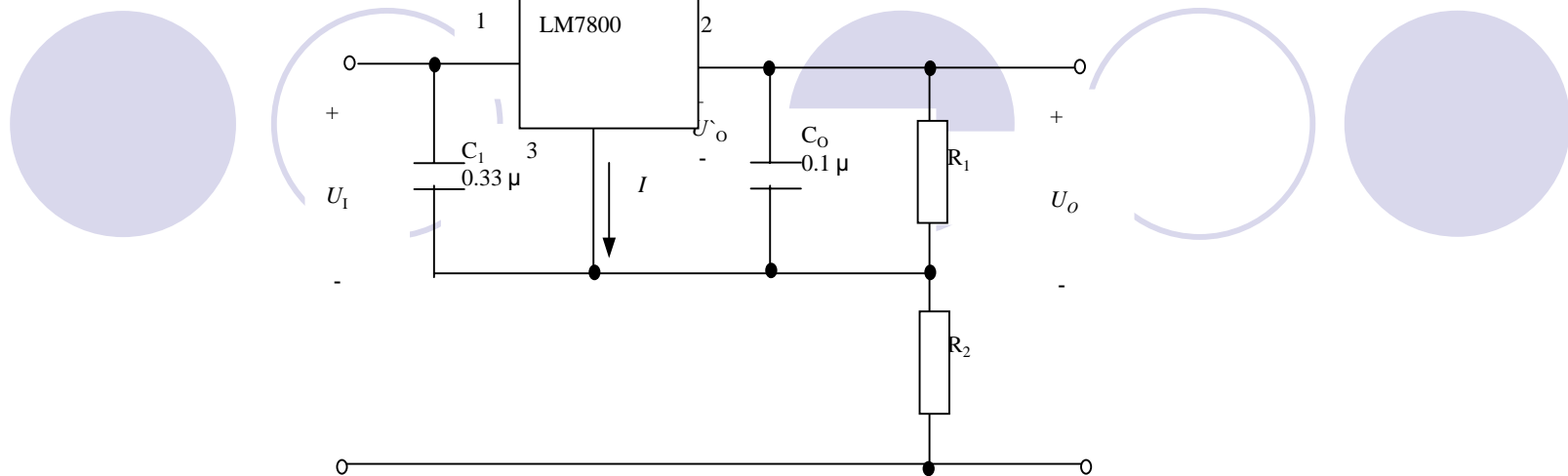


图8.25 提高三端集成稳压器输出电压的电路

#### 4. 组成恒流源电路

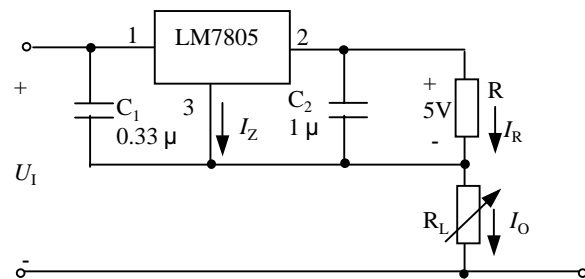


图8.26 组成恒流源电路

# 5. 输出电压可调电路

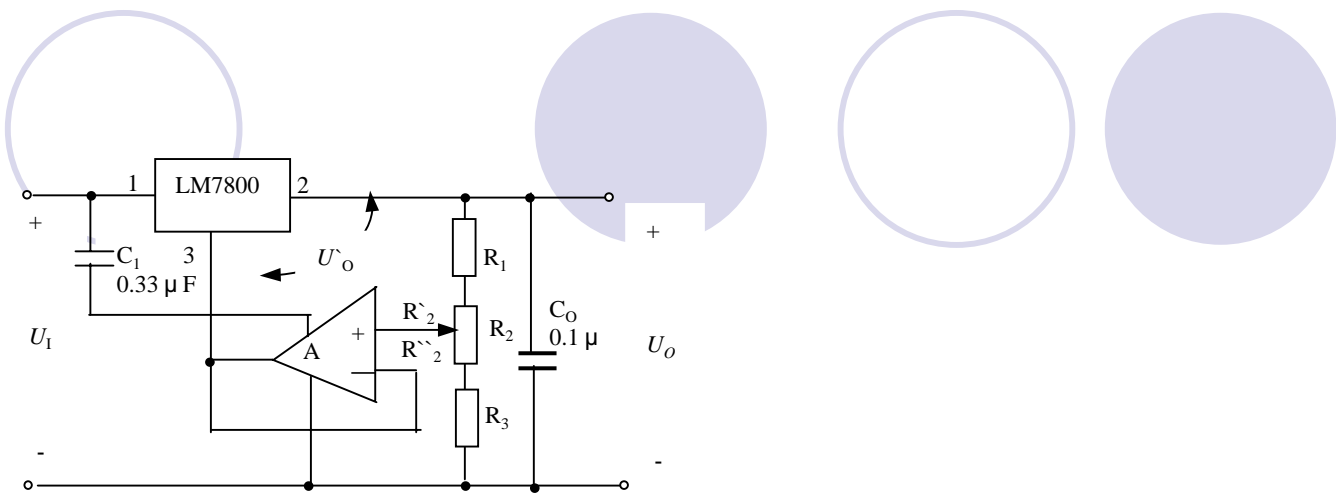
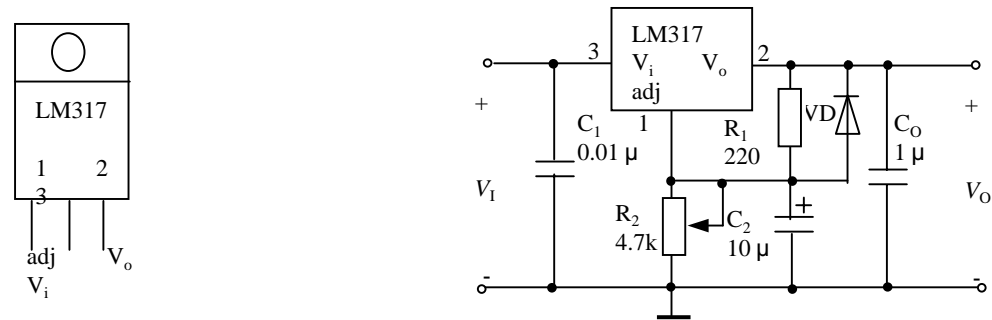


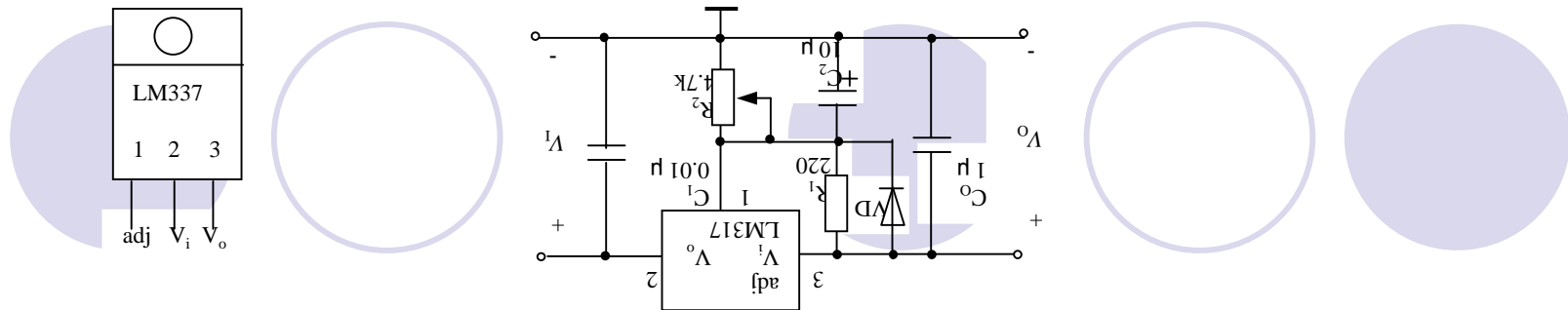
图8.27 输出电压可调的稳压电路

## 8.5.2 可调式三端集成稳压器的应用

### 1. 可调式三端稳压器的应用



( a ) 正输出可调稳压电路



(b) 负输出可调稳压电路  
图8.28 可调式三端稳压器的典型应用

## 2. 高输出电压稳压电路

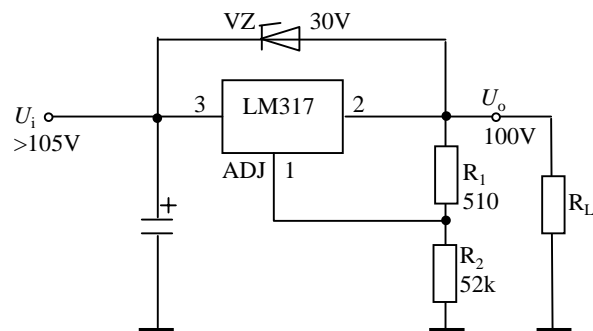


图8.29 高输出电压稳压电路



### 3. 高精度稳压电源

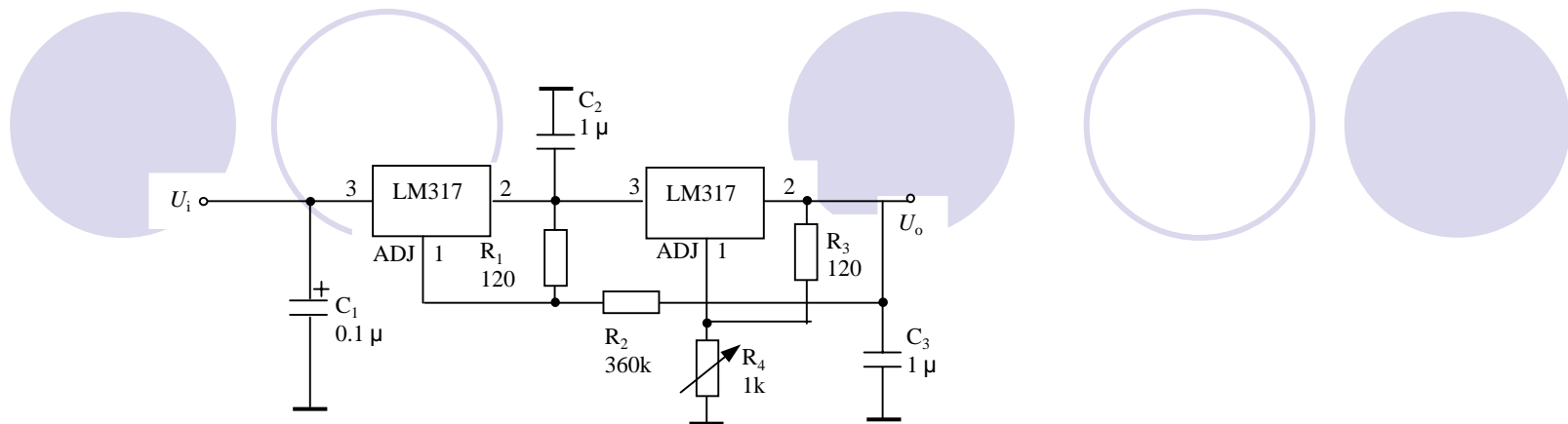


图8.30 具有跟踪预调整功能的高精度稳压电源

### 4. 并联法扩大输出电流

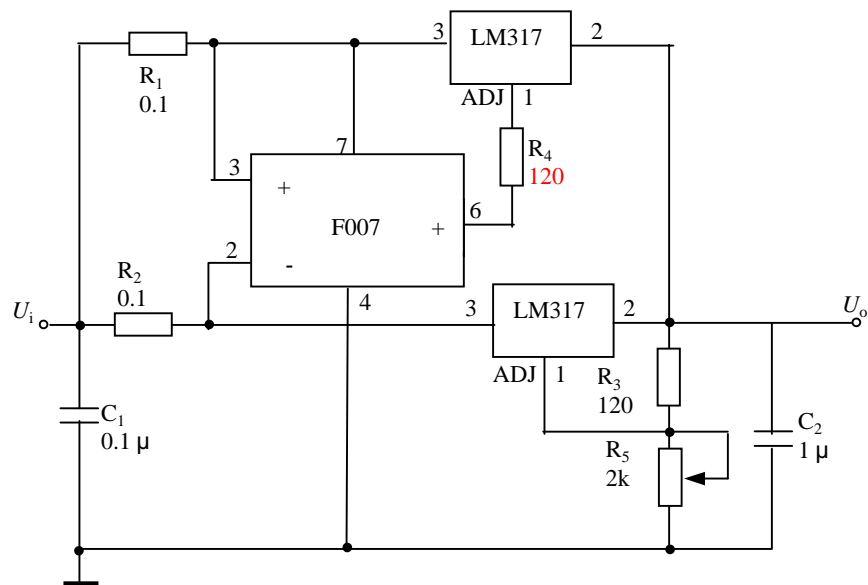
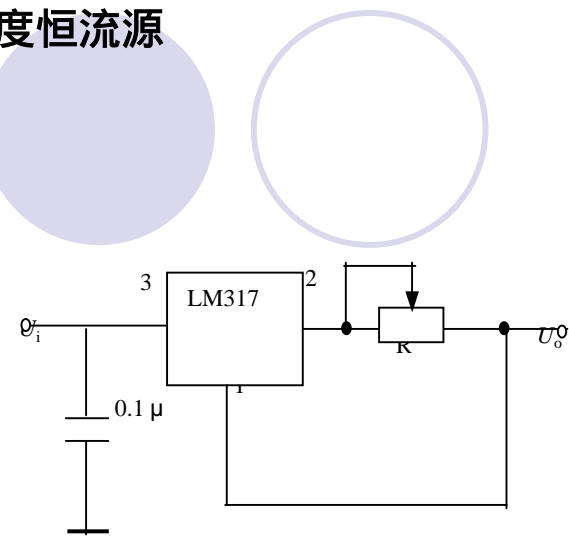
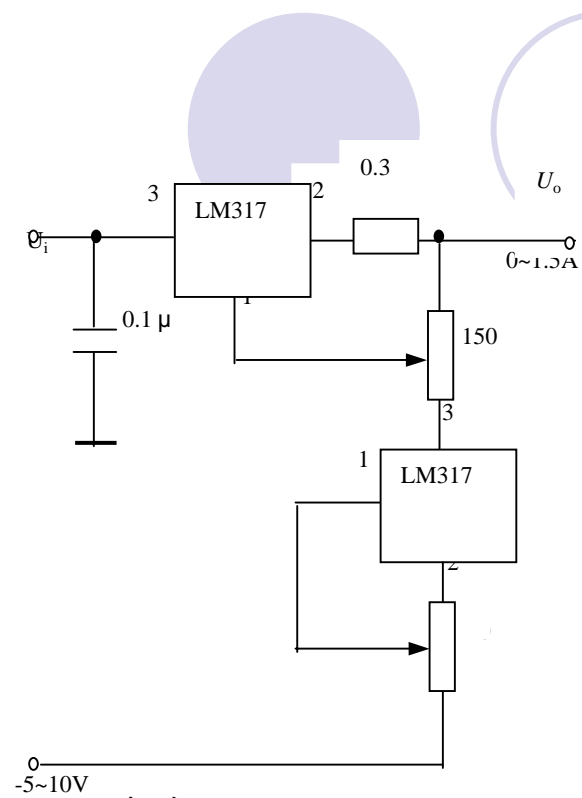


图8.31 并联扩流的可调式稳压电路

5. 可调高精度恒流源



(a) 电路1



(b) 电路2

图8.32可调高精度恒流源

## 第9章 模拟电子技术在实际中的应用

### 本章重点内容

- 晶体管超外差式收音机各部分电路、及整机电路的工作原理
- 在单元电路学习的基础上，通过对收音机、CASPER TM-5159型多频彩色显示器的电源电路、无级调光台灯电路原理的学习，巩固所学的理论知识，建立模拟电子技术应用的整体概念

### 9.1 晶体管超外差式收音机的原理、安装与调试

#### 9.1.1 无线电广播信号的发射与接收

#### 9.1.2 晶体管超外差式（AM）收音机的原理电路、各元件的作用

##### 1. 原理电路

##### 2. 电路中各元件的作用

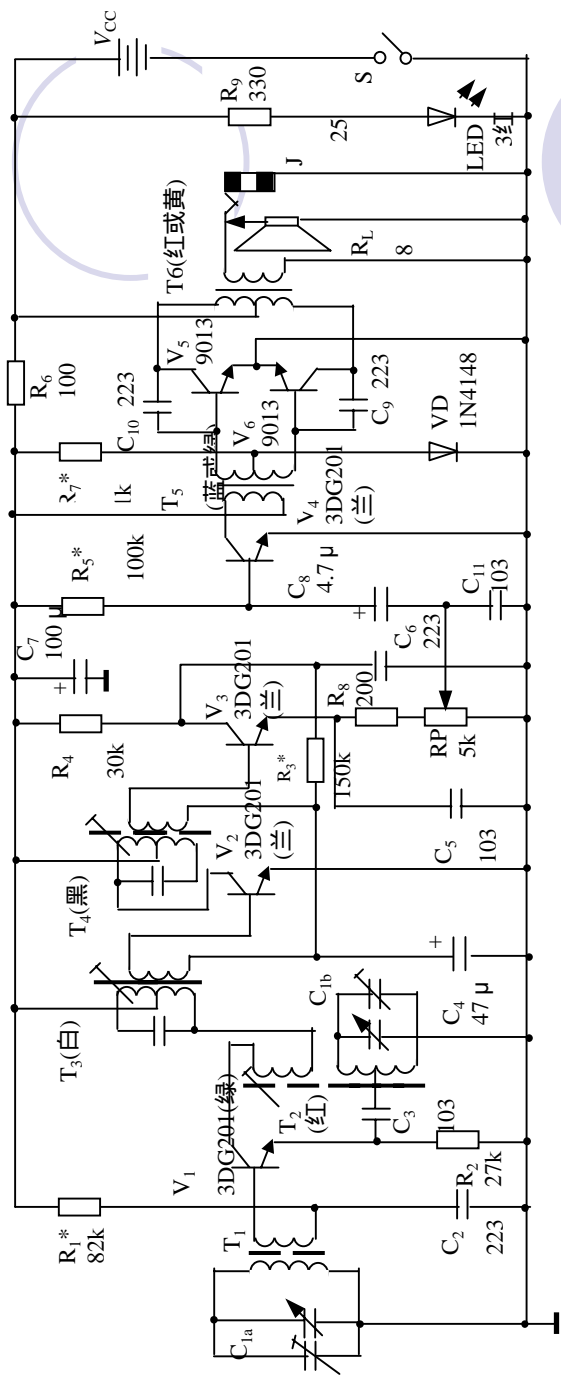


图 9.2 六管超外差式调幅收音机原理图

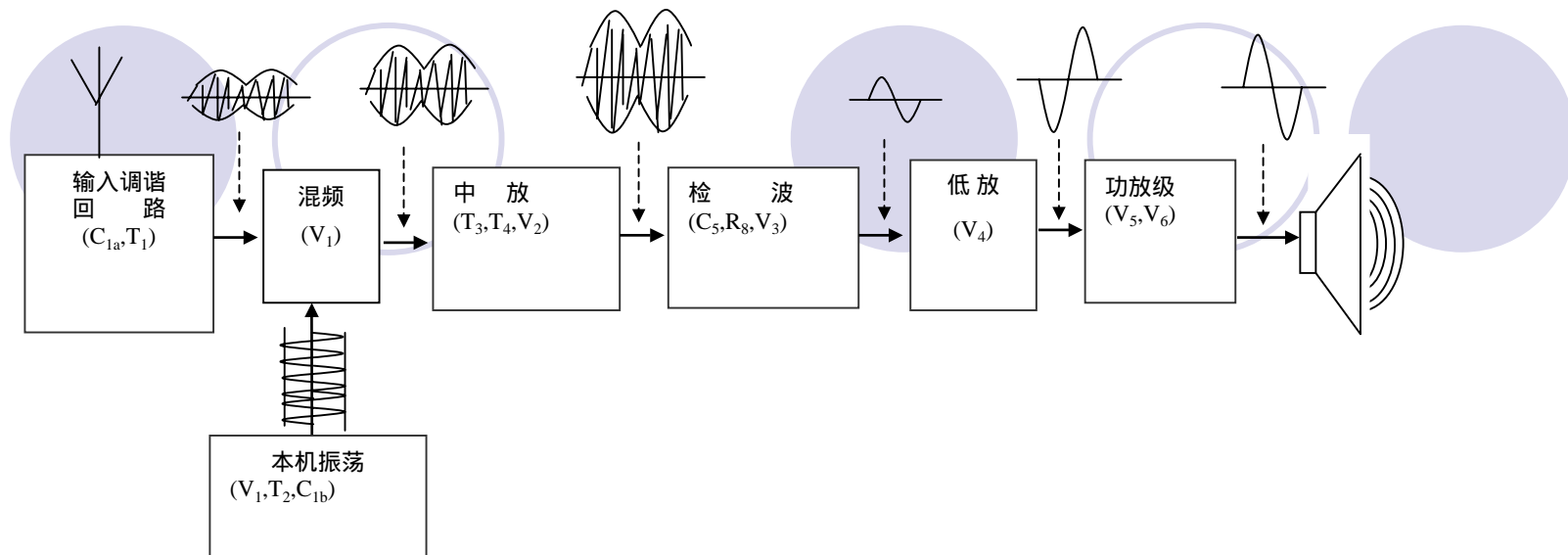


图9.3 六管超外差式调幅收音机原理电路简化框图

### 9.1.3 静态时整机直流供电情况

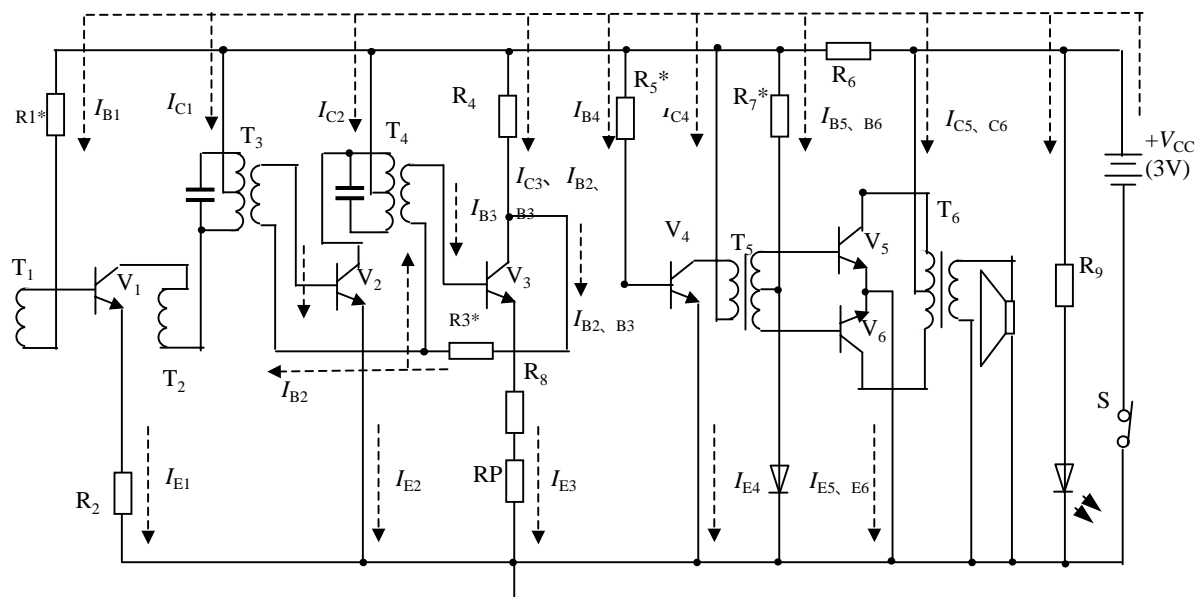


图9.4 收音机整机静态供电情况示意图

#### 9.1.4 整机工作原理简述

#### 9.1.5 收音机的安装与调试

##### 1 . 收音机的安装

##### 2 . 调整晶体管的静态工作点

##### 3 . 调整中频频率

##### 4 . 整机频率覆盖

##### 5 . 统调

### 9.2 CASPER TM-5159型多频彩色显示器的电源电路

#### 9.2.1 消磁电路的消磁工作过程

#### 9.2.2 整流滤波电路的工作过程

#### 9.2.3 整流滤波电路的工作过程

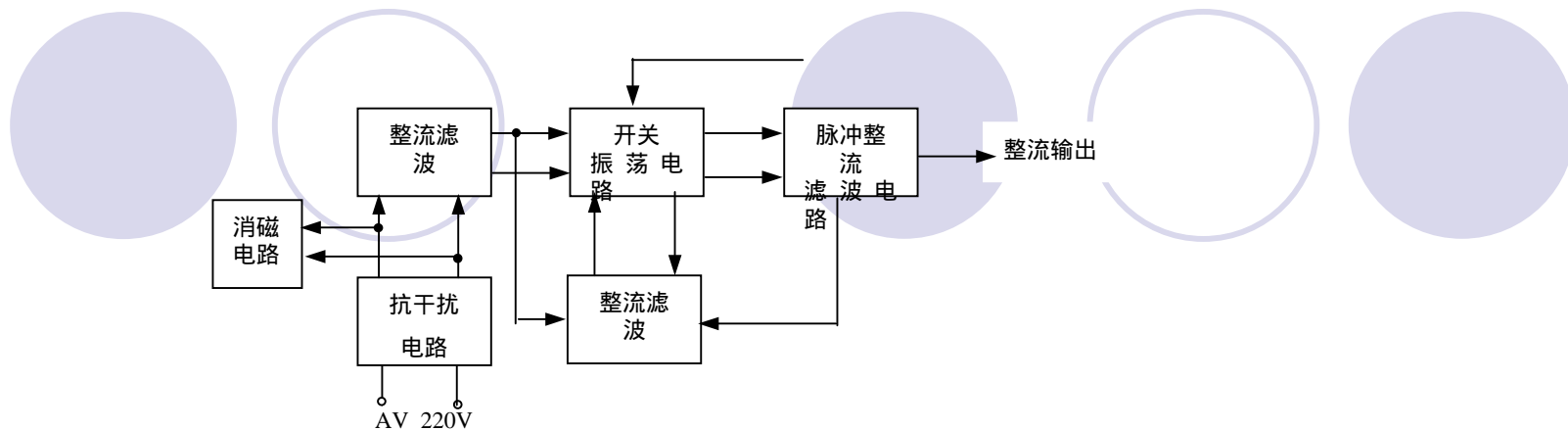


图9.5 CASPER TM-5159型多频彩色显示器的电源结构方框图

### 9.1.4 开关振荡电路的工作过程

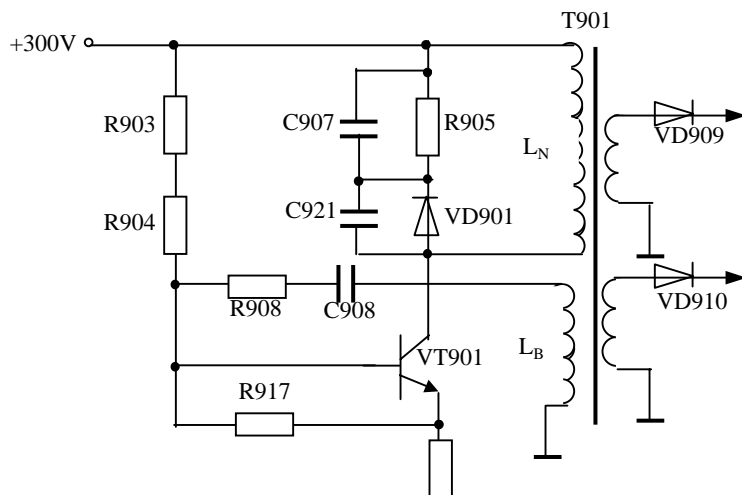


图9.6 CASPER TM-5159型多频彩色显示器的开关振荡电路

9.1.5 稳压控制电路的工作过程

9.1.6 高频脉冲整流滤波电路的工作过程

9.3 家用无级调光台灯电路的工作原理、制作与调试

9.3.1 电路及其工作原理

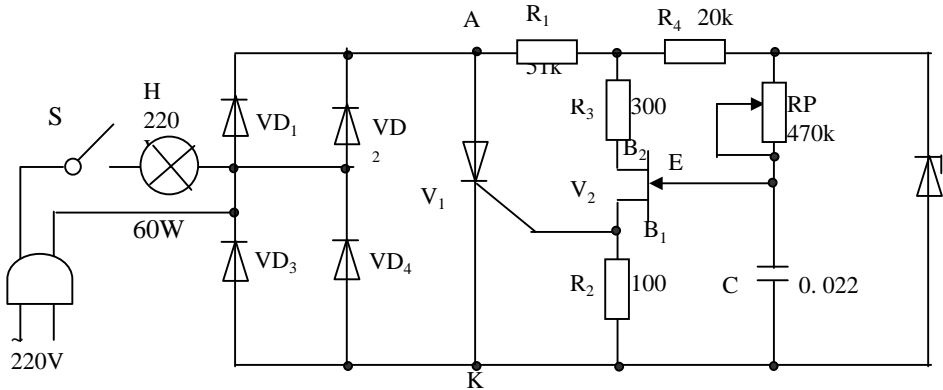


图9.8 调光台灯电路原理图

9.3.2 元器件的选择

9.3.3 安装与调试