



# 电子电路基础

## 总复习



# 课程内容

- 第1章 绪论
- 第2章 运算放大器及其线性应用
- 第3章 运算放大器的非线性应用
- 第4章 半导体器件概述
- 第5章 基本放大电路
- 第6章 负反馈放大电路
- 第7章 集成运算放大器
- 第8章 正弦波振荡电路
- 第9章 功率电路



# 第2章 运算放大器及其线性应用

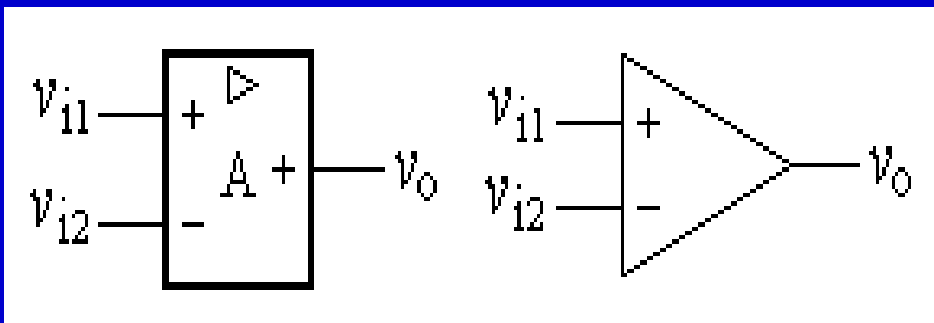
2.1 集成运算放大器

2.2 集成运放运算电路

2.3 有源滤波器

## 2.1.1 集成运放的基本特性

1. 集成电路分类
2. 运算放大器的基本结构
3. 运算放大器的符号
4. 差模信号和共模信号
5. 运放主要指标



$$A_{od} = \left| \frac{u_0}{u_{id}} \right|_{R_L = \infty}$$

$$A_{oc} = \left| \frac{u_0}{u_{ic}} \right|$$

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$$

## 2.1.2 理想运放

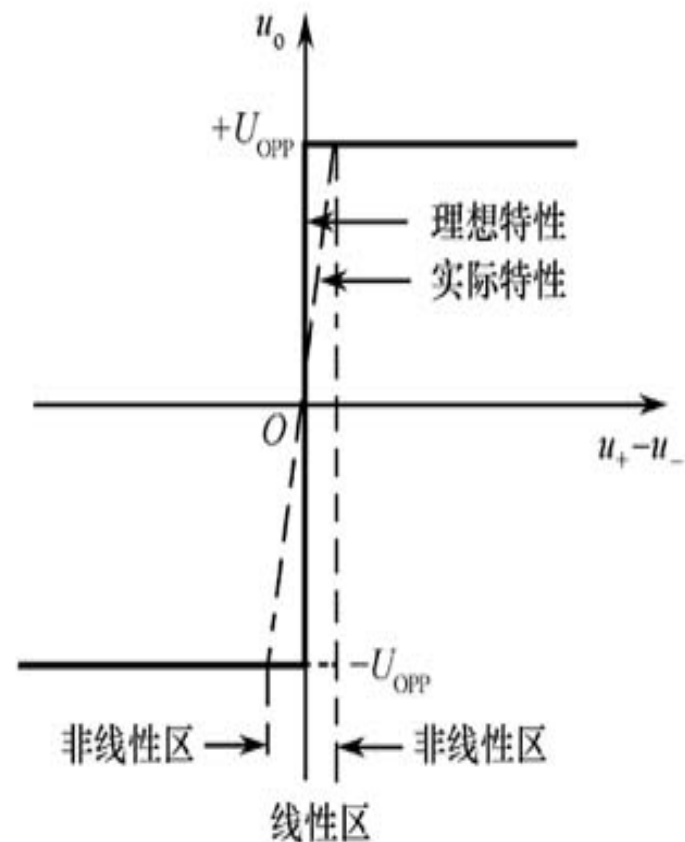
1. 理想运放的技术指标
2. 理想运放在线性区工作时的特点

(1)虚短 (2)虚断

3. 理想运放在非线性区工作时的特点

$$u_+ > u_- \text{ 时, } u_o = +U_{OPP}$$

$$u_+ < u_- \text{ 时, } u_o = -U_{OPP}$$





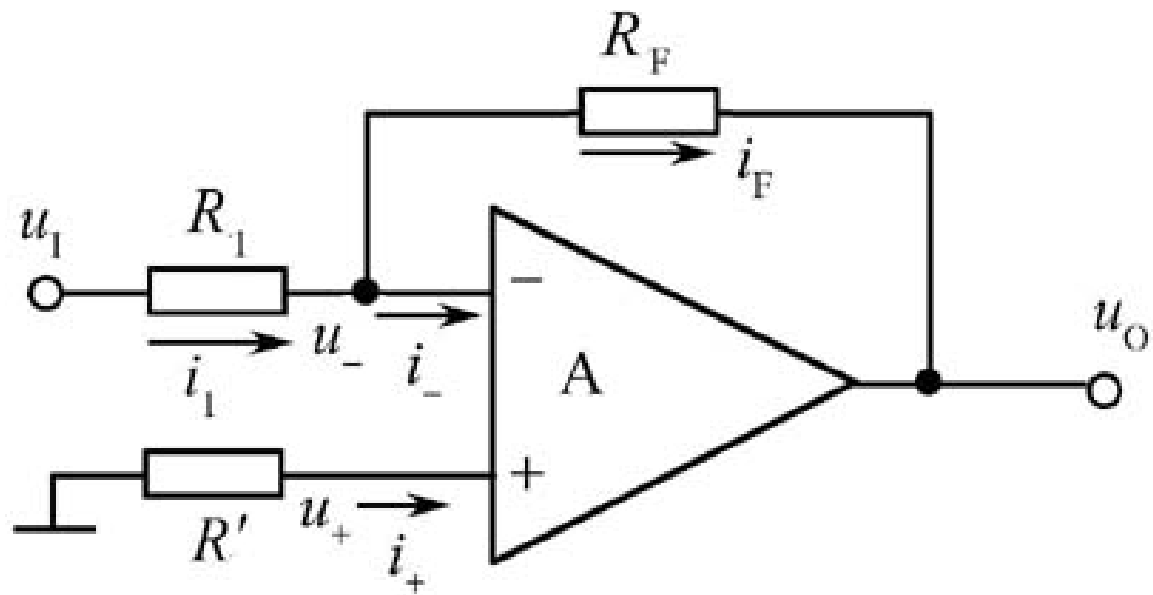
## 2.2 集成运放运算电路

2.2.1 比例运算电路

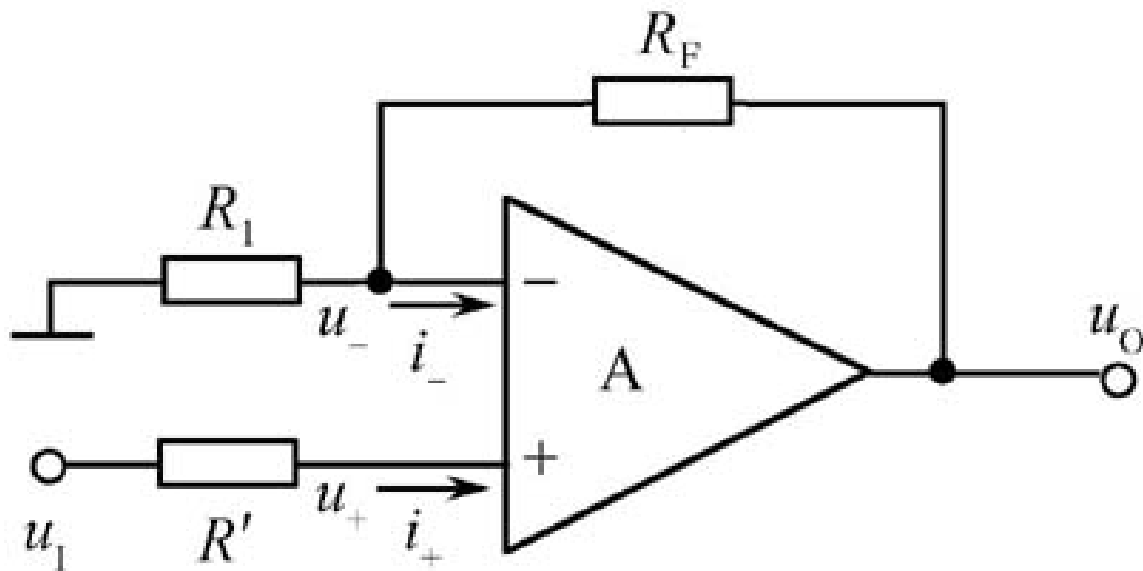
2.2.2 加法与减法电路

2.2.3 积分与微分电路

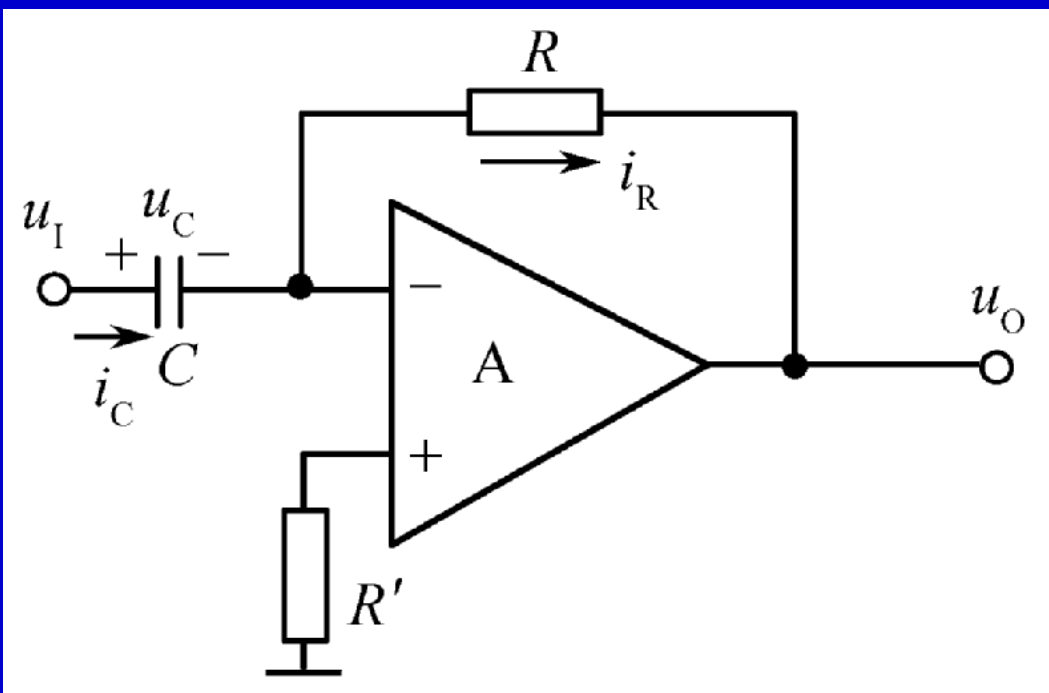
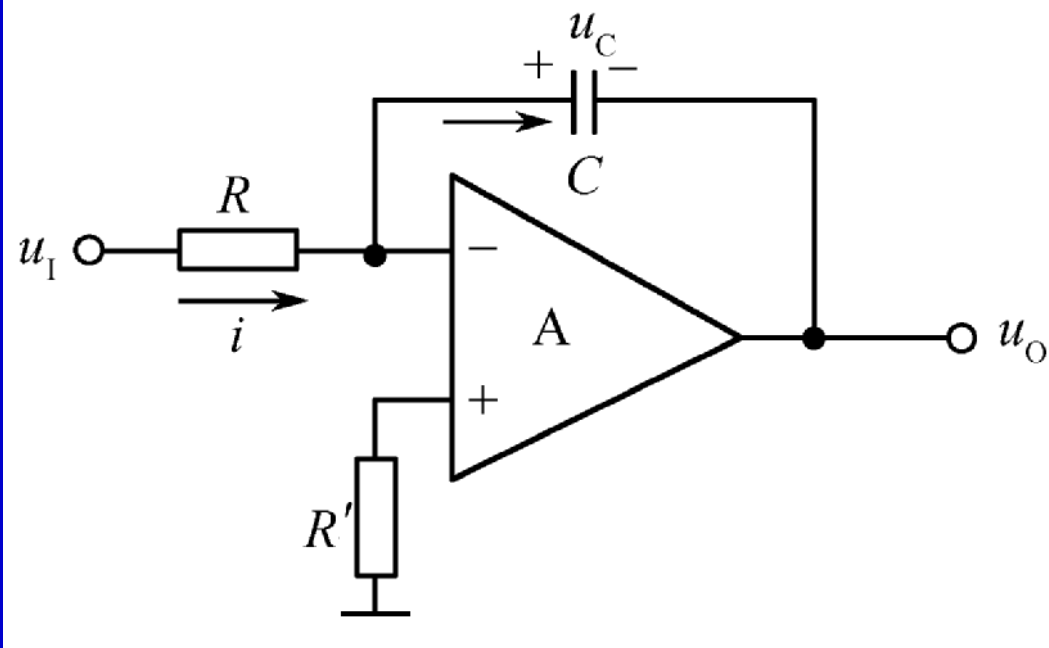
2.2.4 基本应用电路



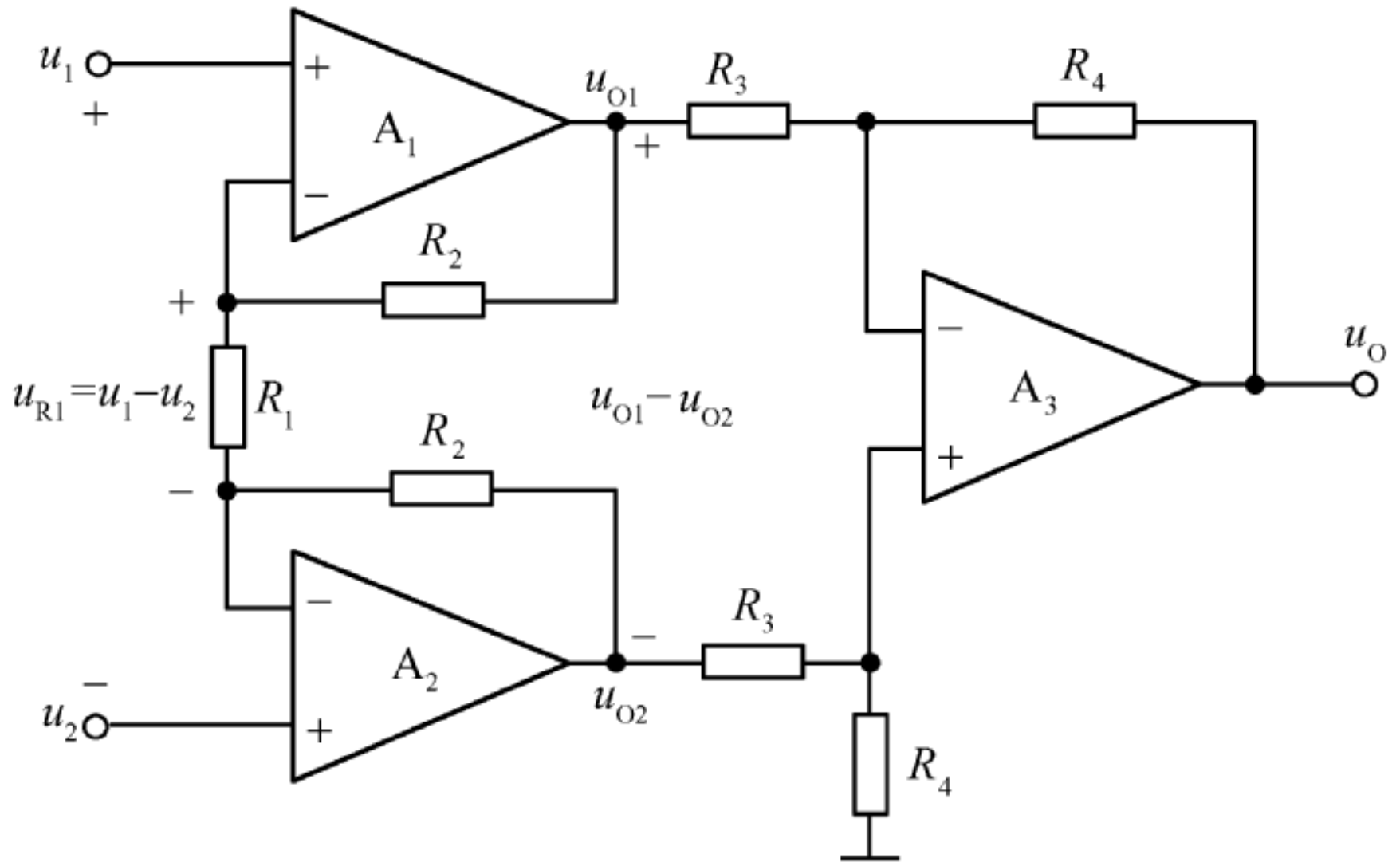
000007A600



000007A600









## **\*\*2.3 有源滤波器**

### **\*\*要求**

- 1、了解一阶、二阶有源滤波的电路实现方法。
- 2、了解高阶滤波器的工程设计方法。



# 要求

1. 掌握理想运放组成的基本线性运算电路，包括比例、求和、微分、积分运算等。

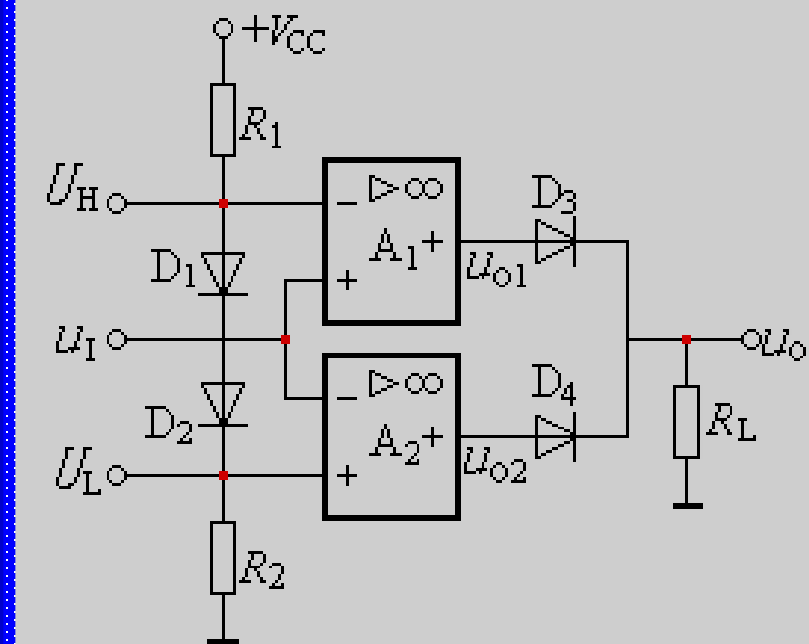
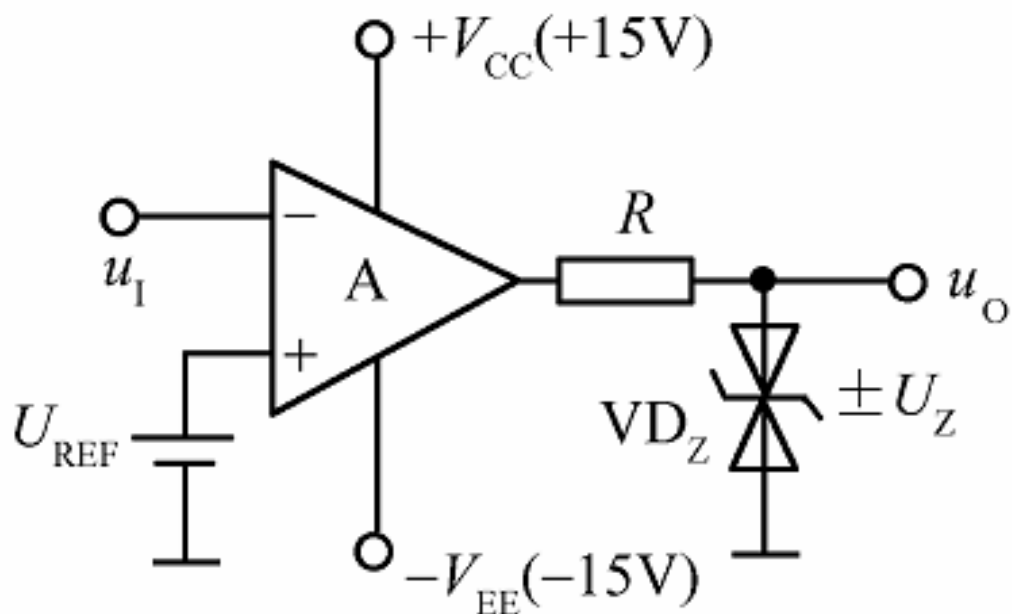


# 第3章 运算放大器的非线性应用

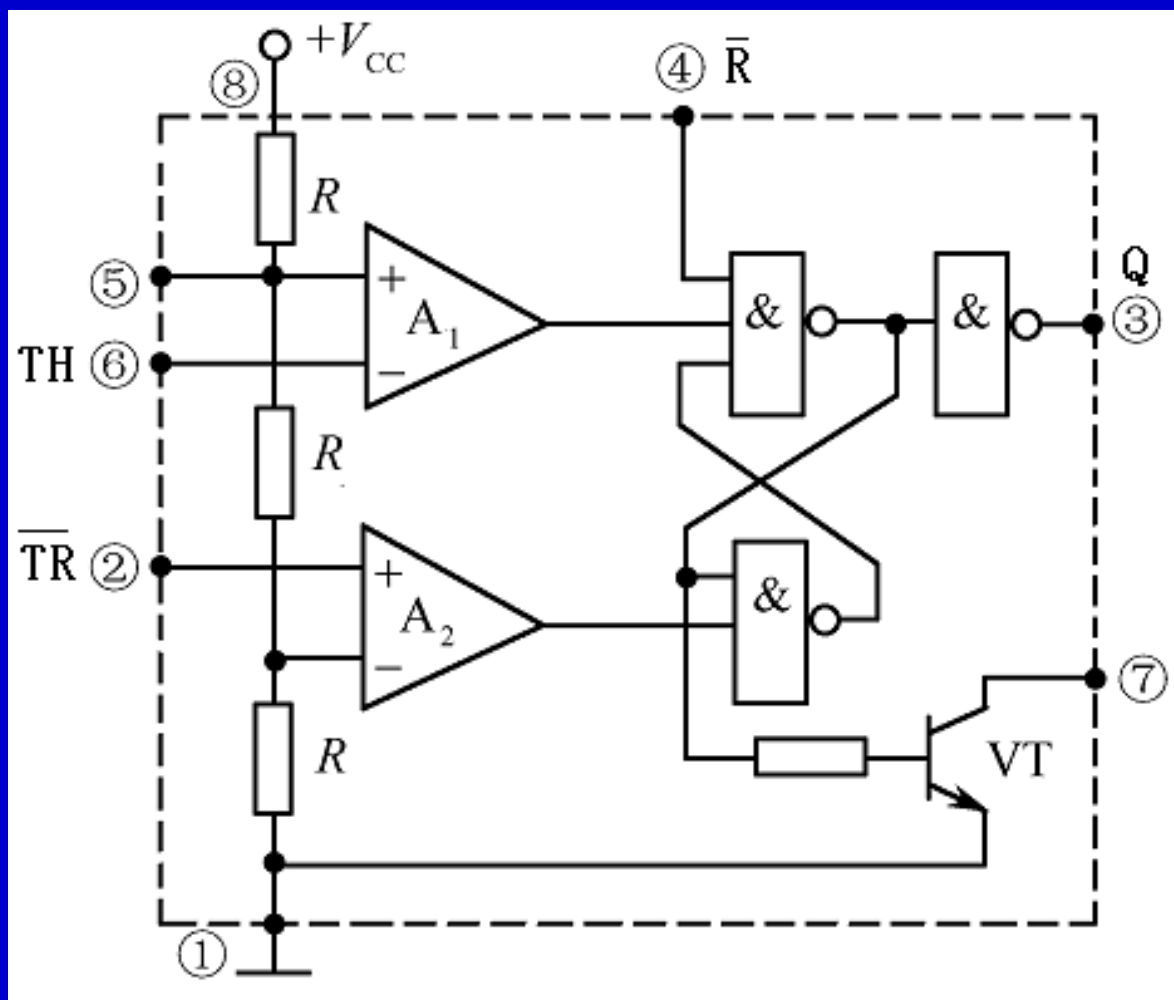
## 3.1 波形整形电路

## 3.2 非正弦波产生电路

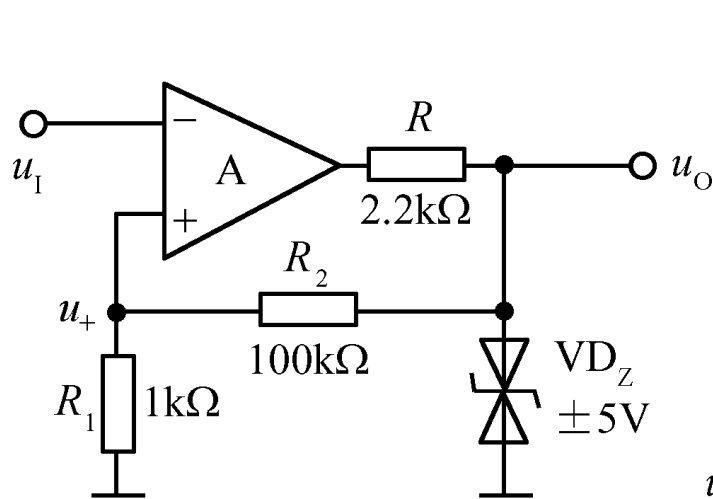
# 3.1.1 电压比较器



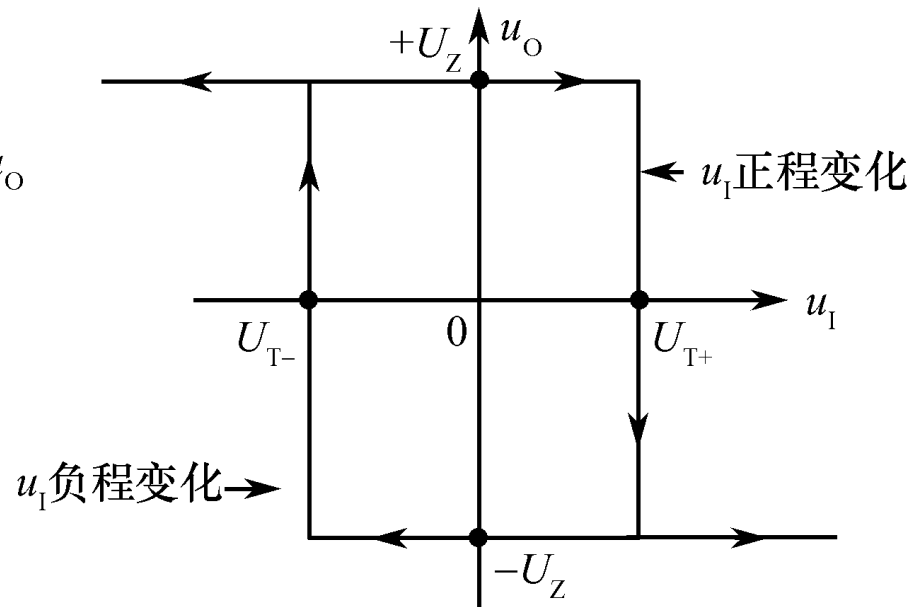
## 3.1.2 555集成定时器



# 3.1.3 施密特触发器电路

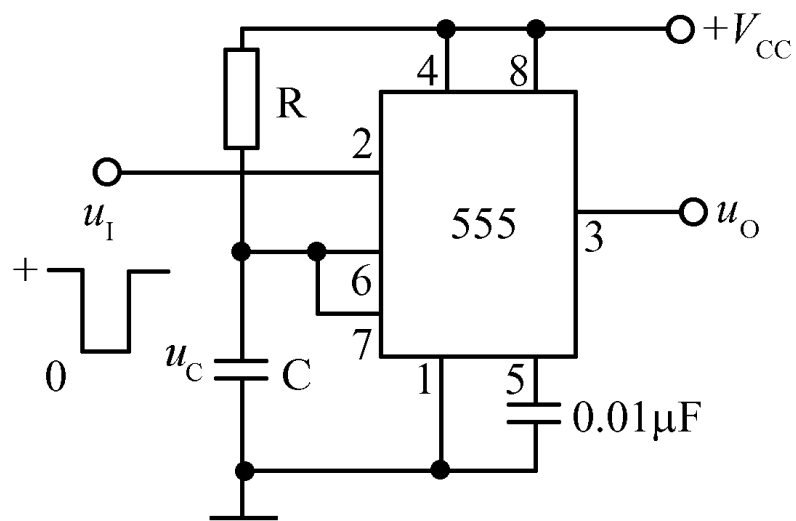


(a)电路

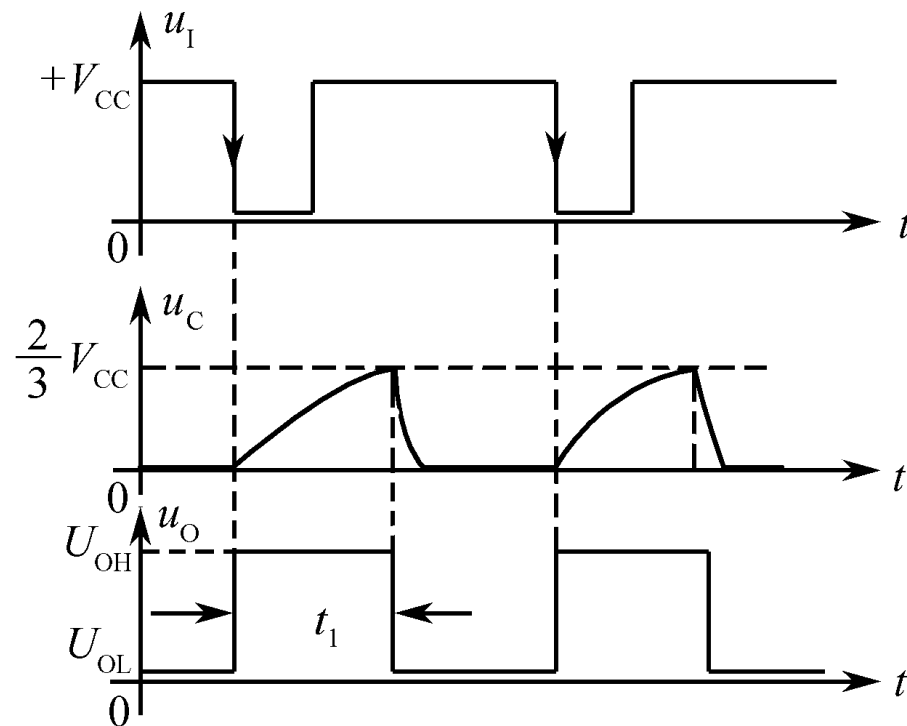


(b)电压传输特性

# 3.1.4单稳态触发器电路



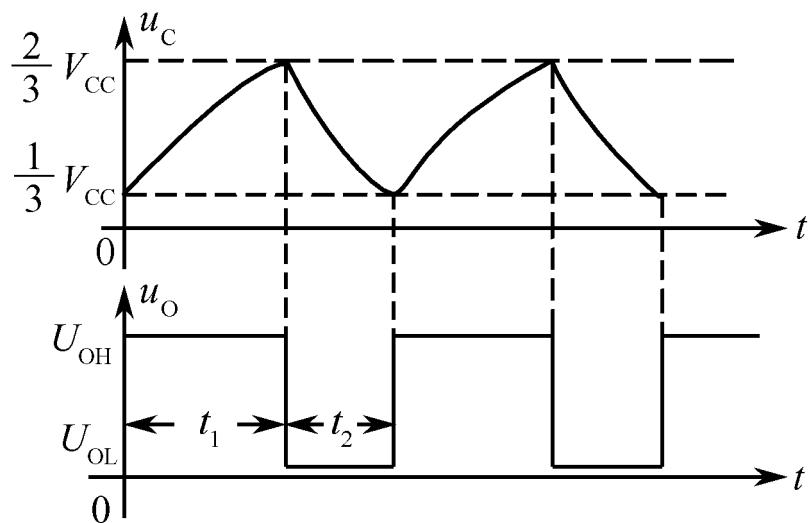
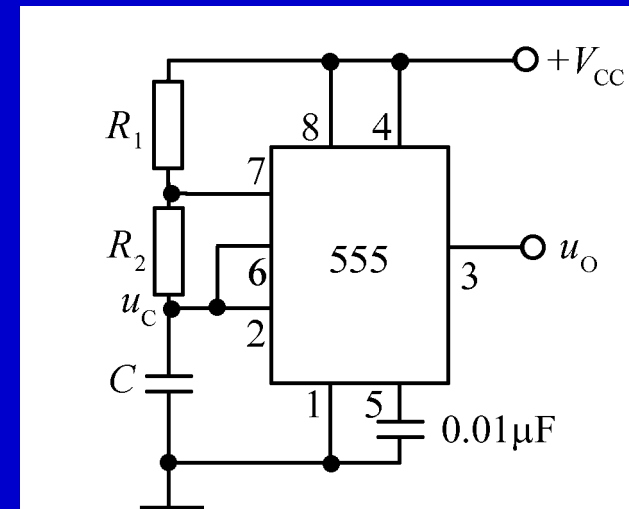
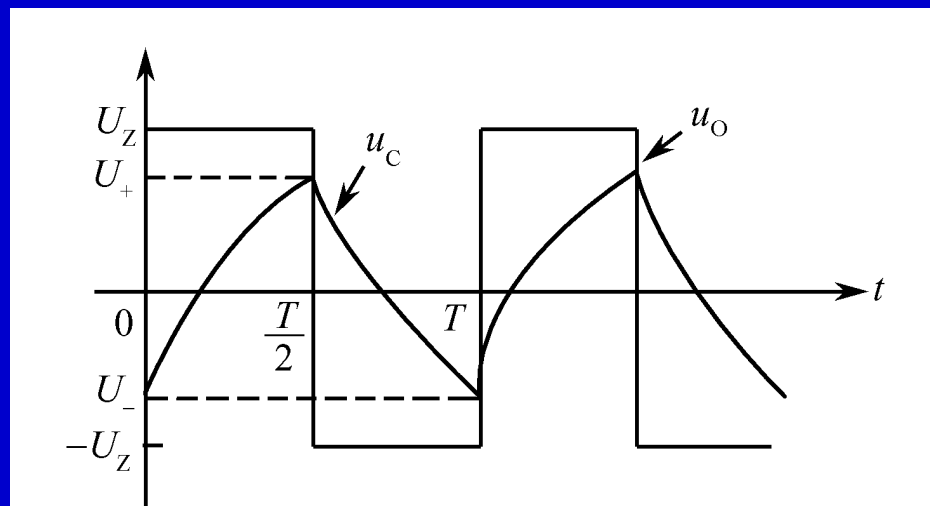
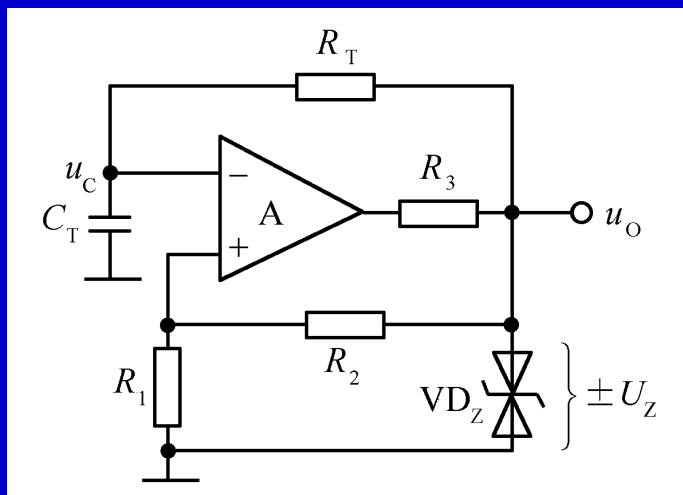
(a)555定时器构成的单稳态触发器电路



(b)输入和输出波形



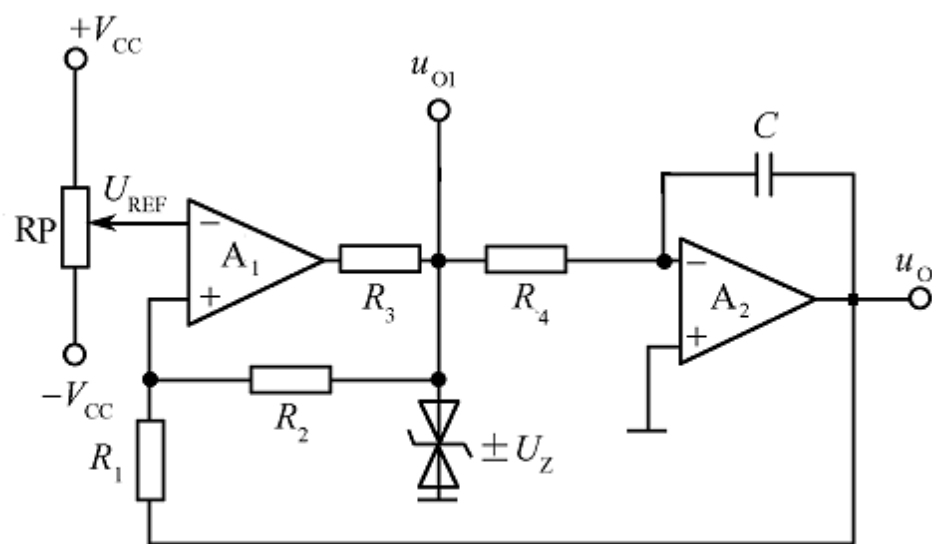
# 3.2.1 矩形波振荡电路



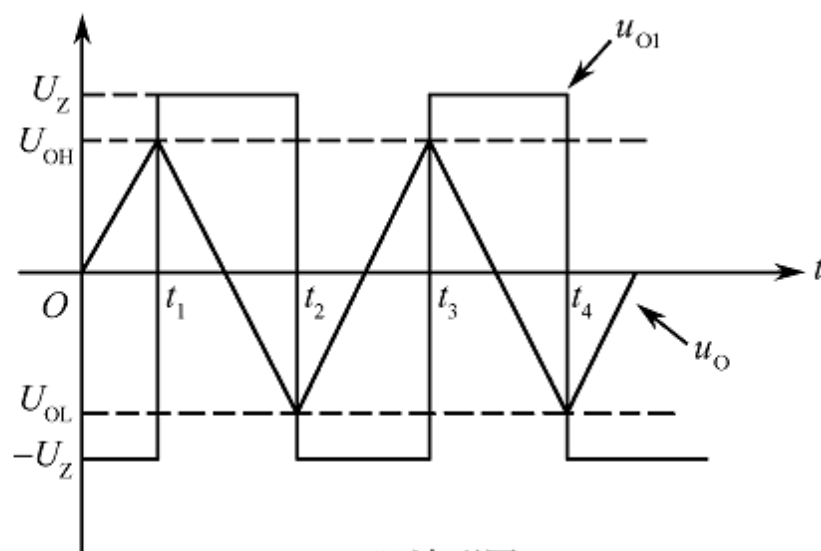
(a) 电路

(b) 输出波形

## 3.2.2 三角波振荡电路



(a) 电路图



(b) 波形图



# 要求

1. 熟悉电压比较器、555定时器的电路原理及功能。
2. 掌握由比较器、555定时器构成的波形产生及整形电路，并掌握电路的分析计算方法。



# 第4章 半导体器件概述

4.1 PN结及二极管

4.2 半导体三极管

4.3 半导体场效应管

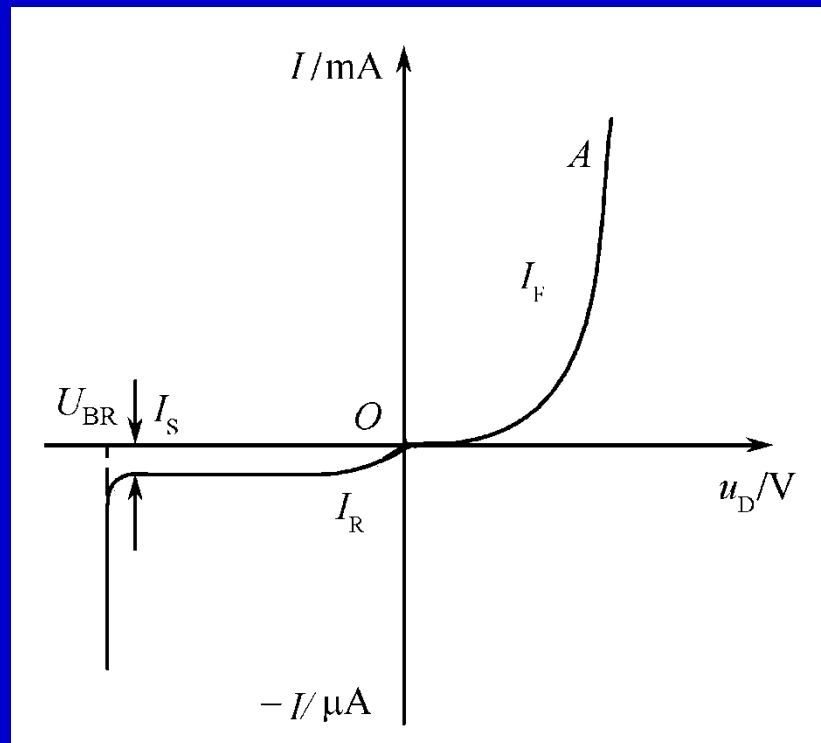


## 4.1.1 半导体及PN结

1. 本征半导体
2. 杂质半导体
3. PN结

## 4.1.2 二极管的基本特性

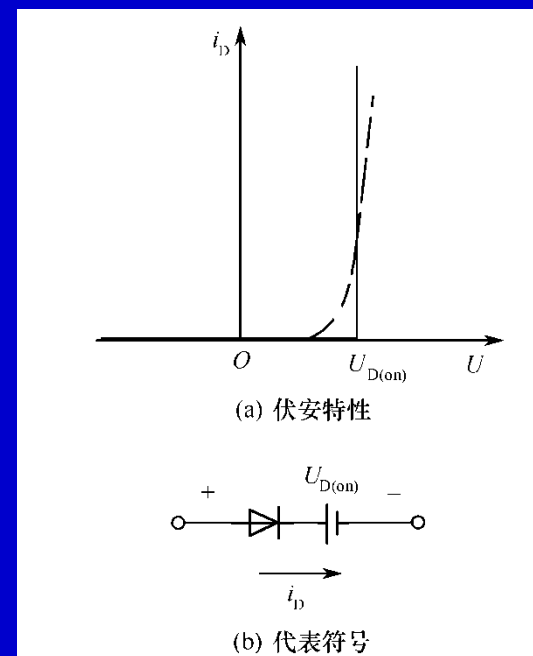
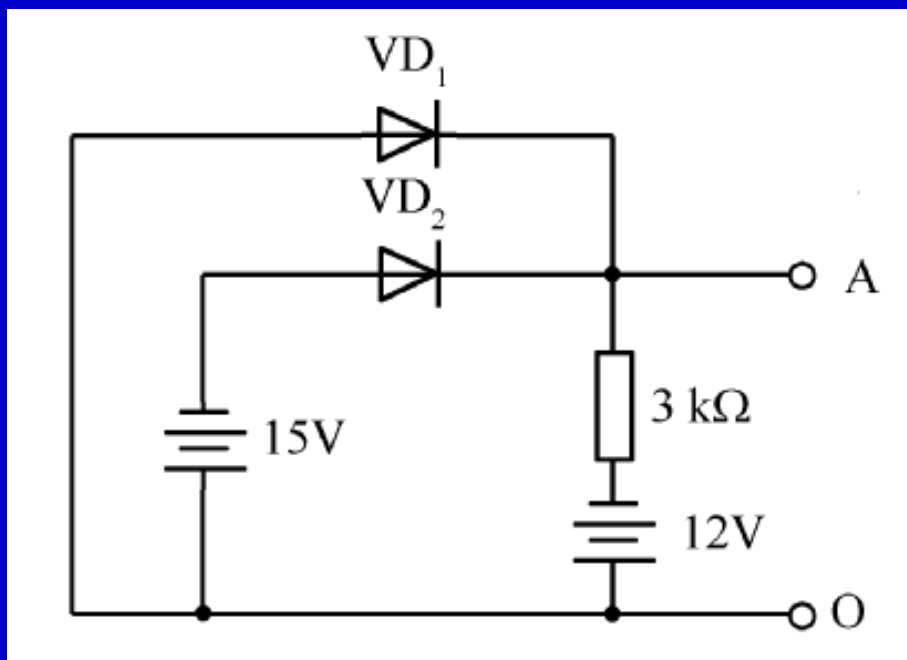
1. 二极管的结构类型
2. 二极管的伏安特性曲线
3. 二极管的开关特性



# 4.1.3 二极管的主要参数及电路模型

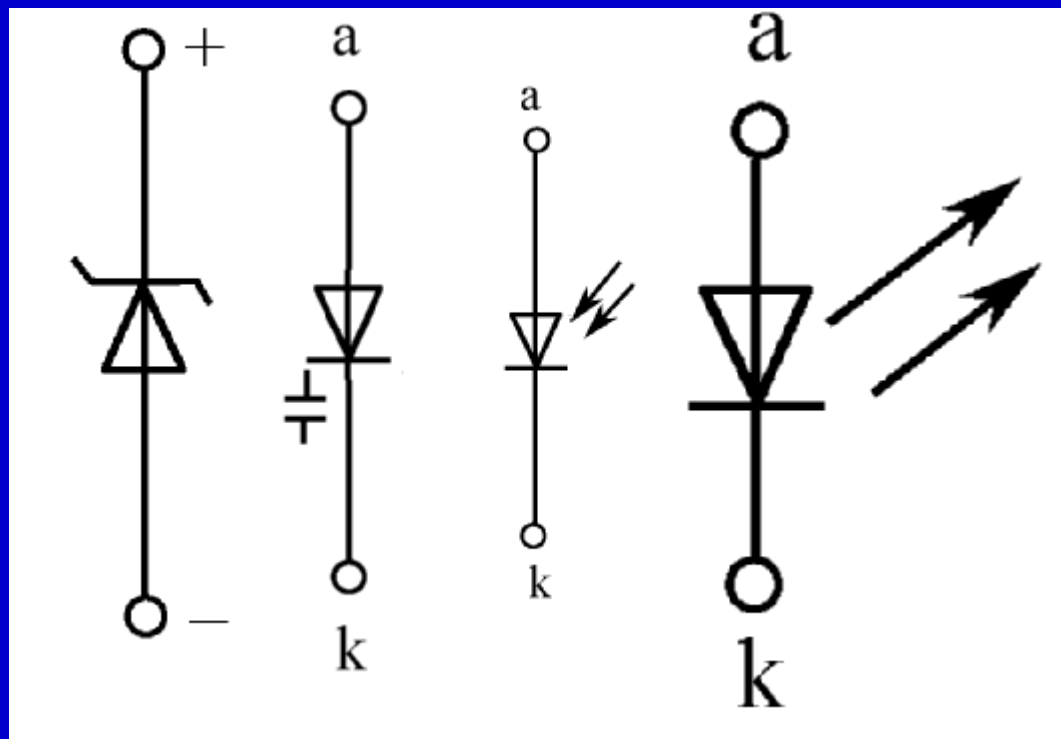
## 1. 二极管的主要参数

## 2. 电路模型



## 4.1.4 特殊二极管

- 1、稳压二极管
- 2、光电二极管
- 3、发光二极管







## 4.2.1 三极管的结构及工作原理

### 1. 三极管的电流分配与控制

发射结加正向电压，集电结加反向电压。

### 2. 三极管的电流关系

$$I_E = I_B + I_C$$

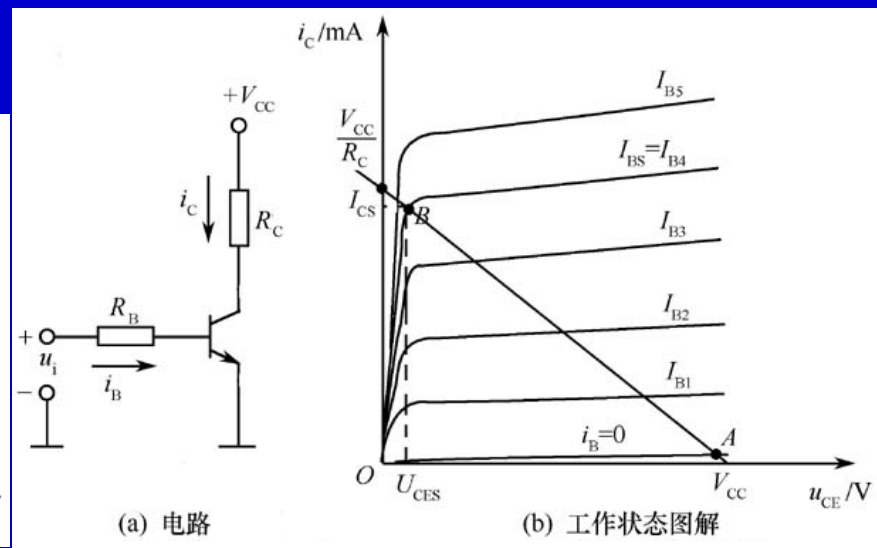
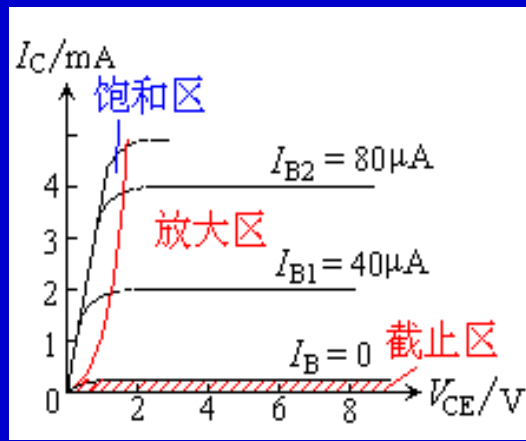
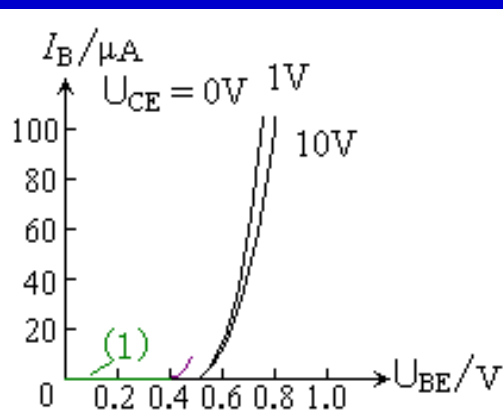
$$I_C = \frac{\bar{\alpha} I_B}{1 - \bar{\alpha}} + \frac{I_{CBO}}{1 - \bar{\alpha}}$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} = \beta I_B + I_{CEO}$$

# 4.2.2 三极管的基本特性

1. 输入特性曲线
2. 输出特性曲线
3. 三极管的开关特性

$$\left. \begin{aligned} i_B &= f(u_{BE}) \\ i_C &= f(u_{CE}) \end{aligned} \right| \begin{aligned} u_{CE} &= \text{const} \\ i_B &= \text{const} \end{aligned}$$

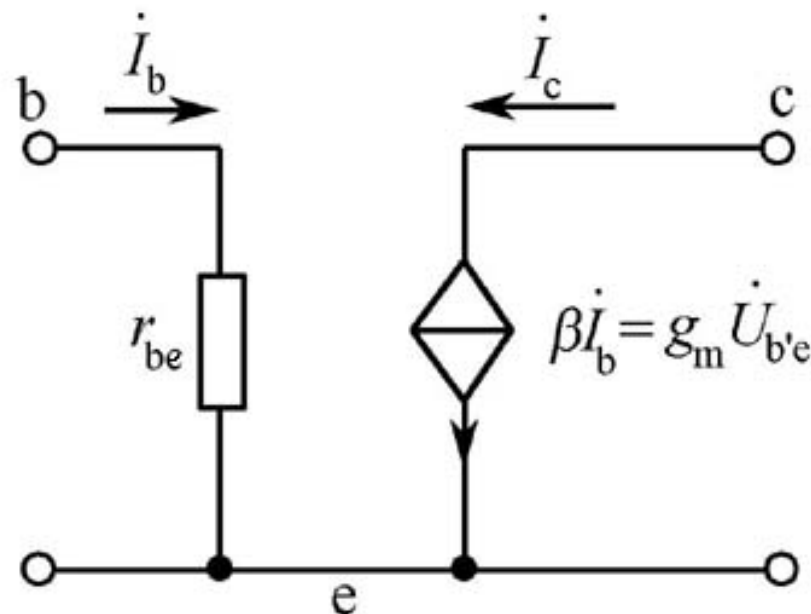
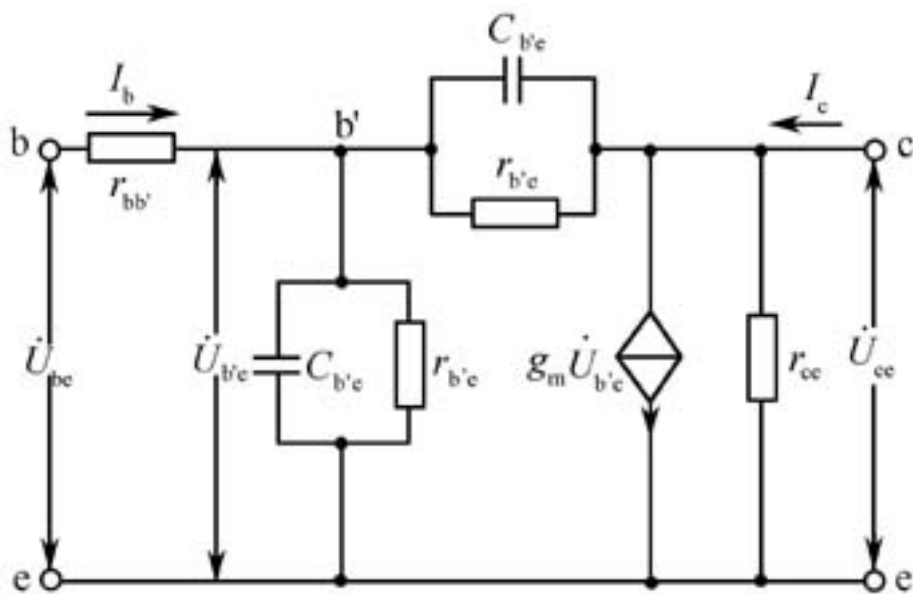




## 4.2.3 三极管的主要参数及电路模型

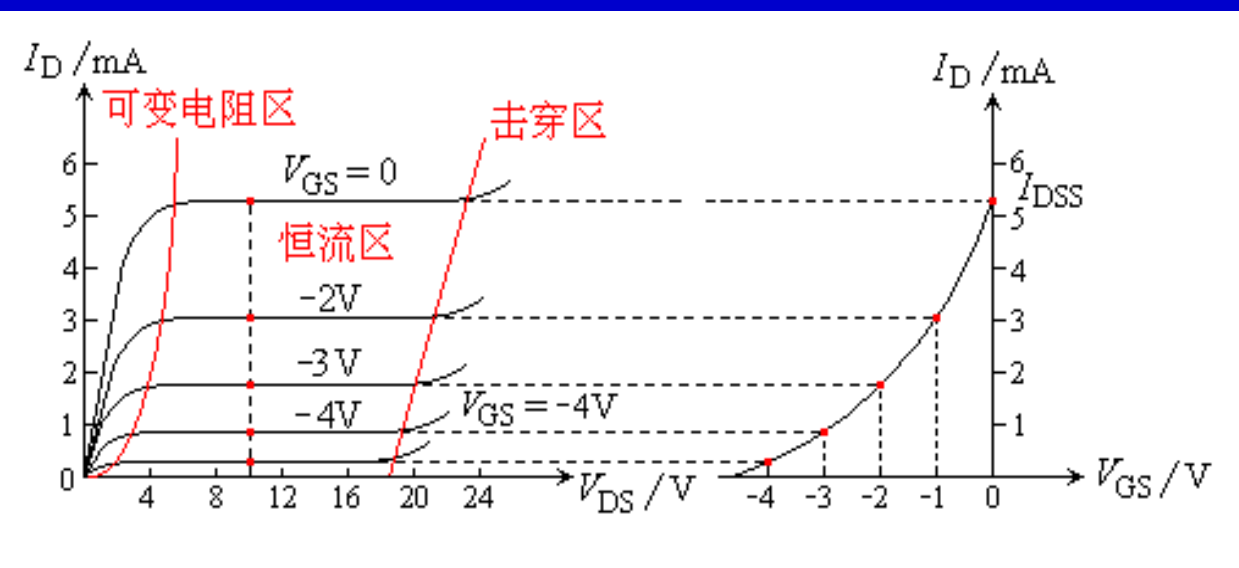
1. 主要参数( $\alpha, \beta, I_{CBO}, I_{CEO}, I_{CM}, P_{CM}, U_{(BR)CEO} \dots$ )

2. 电路模型



# 4.3.1 结型场效应管

1. 结型场效应三极管的结构
2. 结型场效应三极管的工作原理
3. 结型场效应三极管的特性曲线



$$i_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2$$



## 4.3.2 绝缘栅场效应管

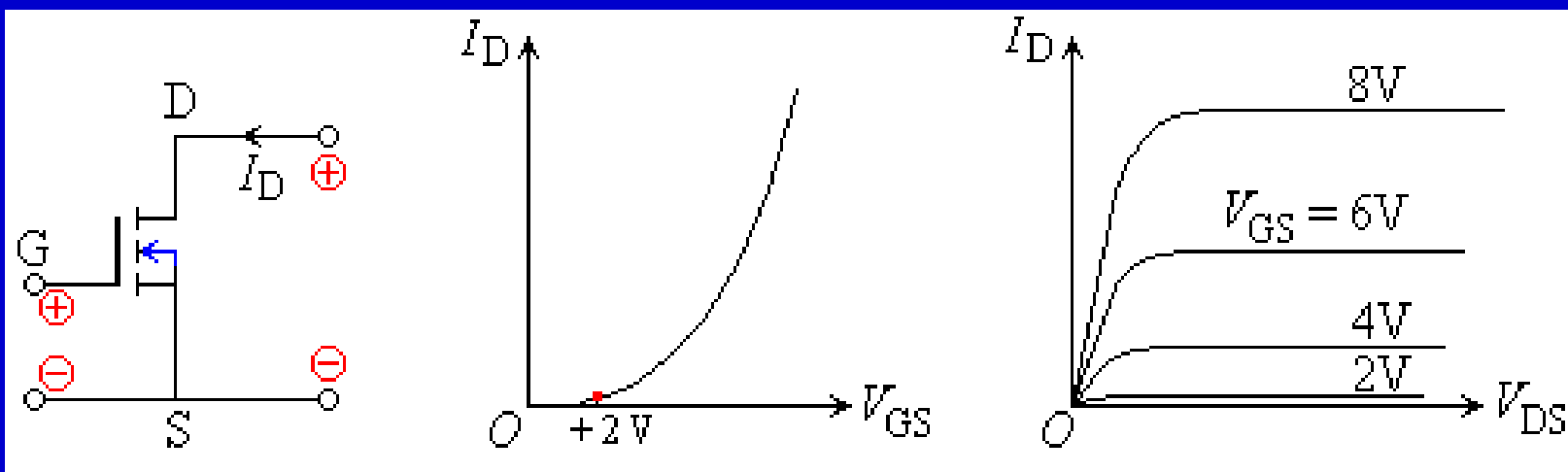
1. N沟道增强型MOSFET
2. N沟道耗尽型MOSFET
3. 特性曲线

$$i_D = I_{DO} \left( \frac{u_{GS}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$$

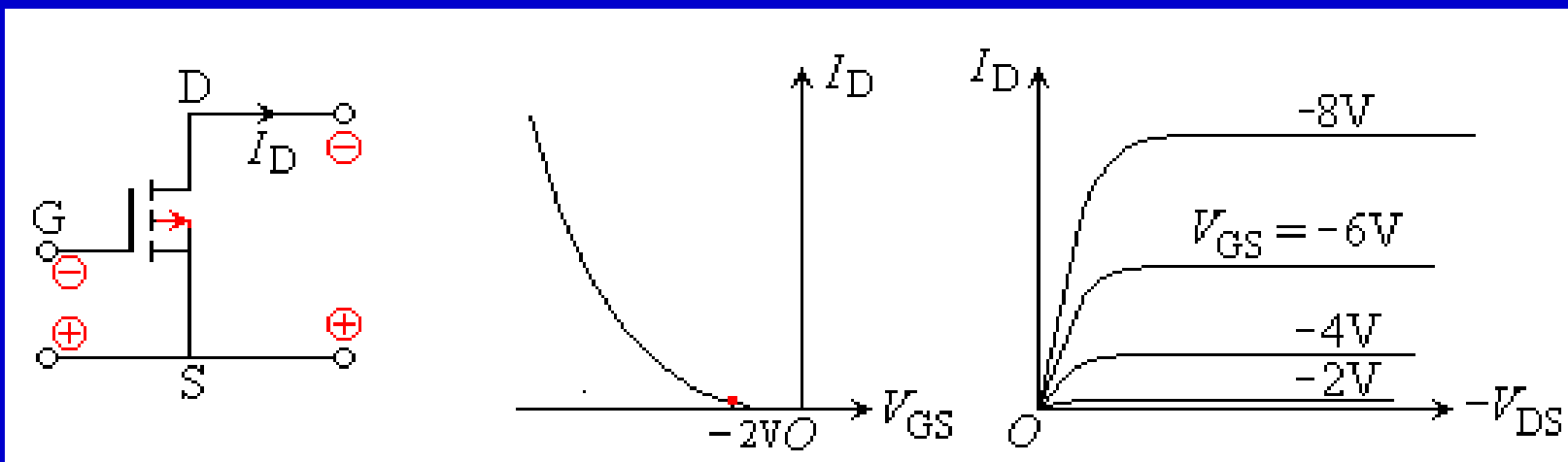
# 绝缘栅场效应三极管的特性曲线

## 绝缘栅场效应管

N 沟道增强型

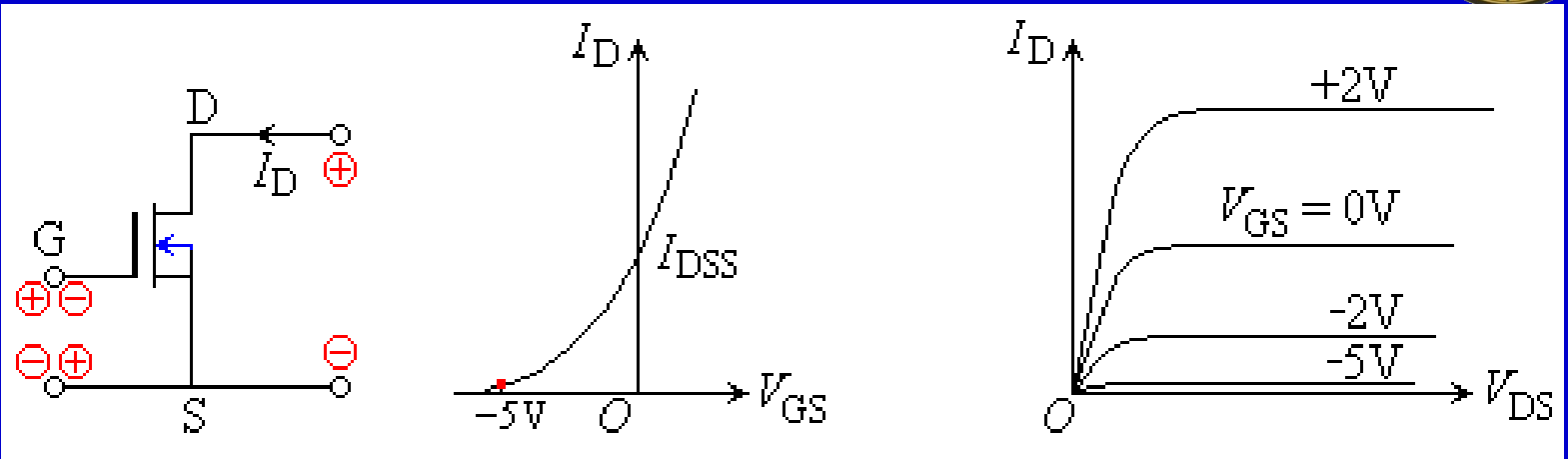


P 沟道增强型

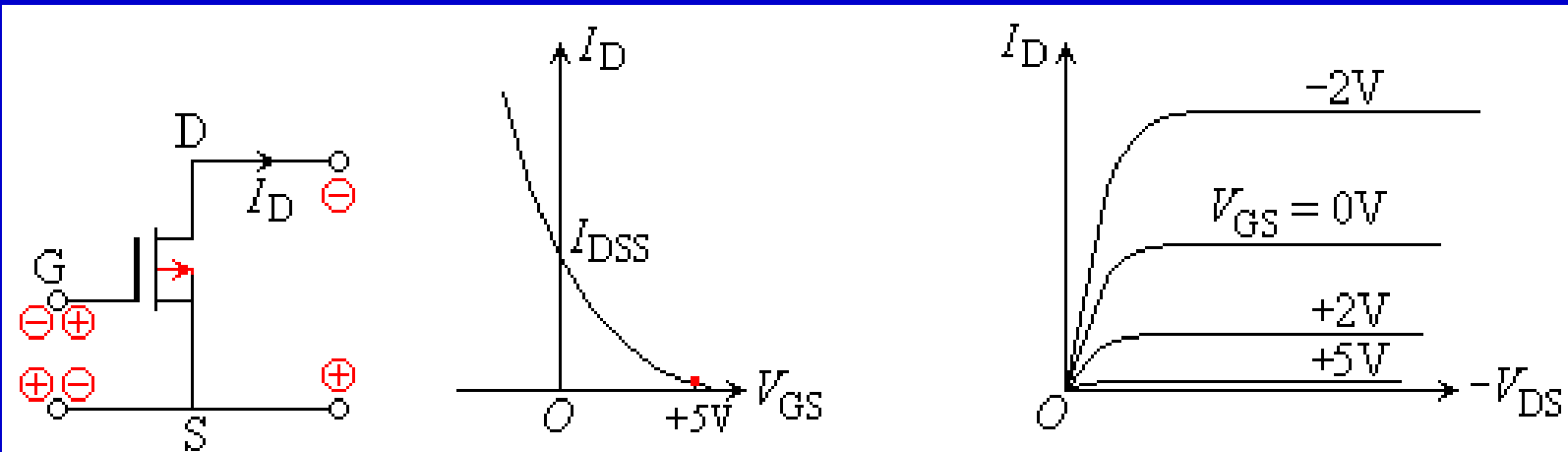


# 绝缘栅场效应管

## N 沟道耗尽型



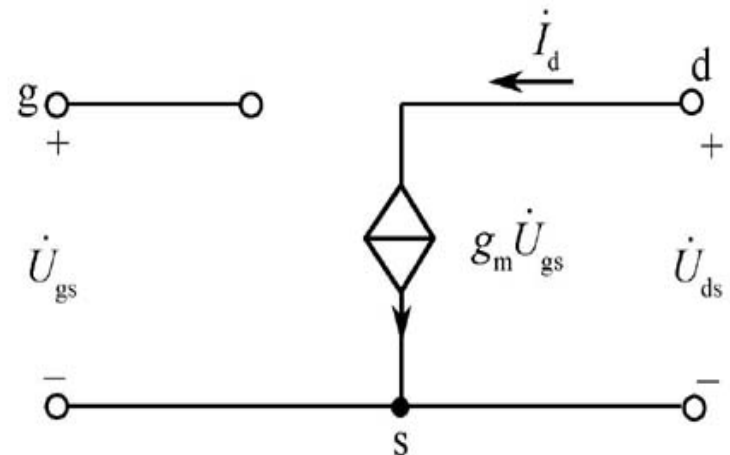
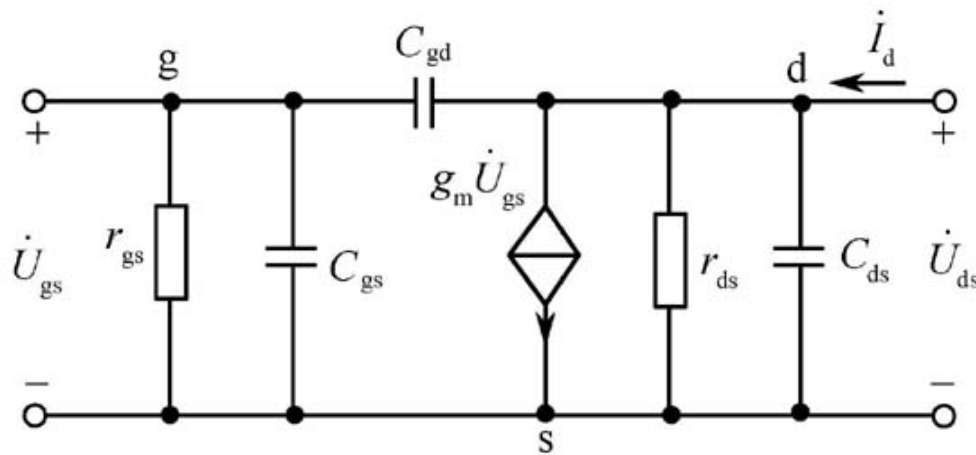
## P 沟道耗尽型





## 4.3.3 场效应管的主要参数和电路模型

1. 场效应三极管的主要参数 ( $U_{GS(th)}$  (或  $U_T$ ),  $U_{GS(off)}$  (或  $U_P$ ),  $I_{DSS}$ ,  $g_m \dots$
2. 电路模型







## 4.3.4 双极型和场效应型三极管的比较

	双极型三极管	场效应三极管
结构	NPN型 PNP型  C与E一般不可倒置使用	结型耗尽型    N沟道 P沟道 绝缘栅增强型    N沟道 P沟道 绝缘栅耗尽型    N沟道 P沟道 D与S有的型号可倒置使用
载流子	多子扩散少子漂移	多子漂移
输入量	电流输入	电压输入
控制	电流控制电流源 $CCCS(\beta)$	电压控制电流源 $VCCS(g_m)$



	双极型三极管	场效应三极管
噪声	较大	较小
温度特性	受温度影响较大	较小，可有零温度系数点
输入电阻	几十到几千欧姆	几兆欧姆以上
静电影响	不受静电影响	易受静电影响
集成工艺	不易大规模集成	适宜大规模和超大规模集成



# 要求

1. 熟悉二极管、三极管、场效应管的伏安特性、开关特性。
2. 了解二极管、三极管、场效应管的主要参数，包括静态参数、动态参数和极限参数。
3. 掌握三极管、场效应管的微变等效电路模型。



# 第5章 基本放大电路

5.1 放大电路的组成及技术指标

5.2 放大电路的分析方法

5.3 放大电路的稳定偏置

5.4 各种基本组态放大电路的分析与比较

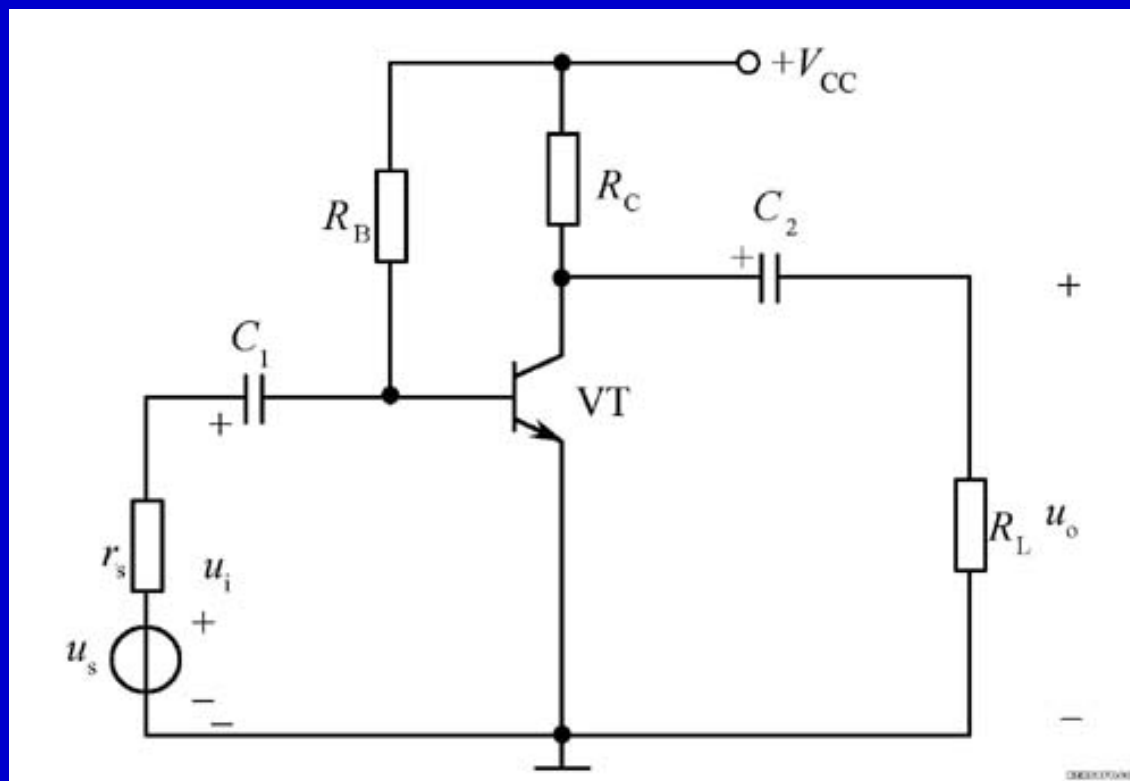
5.5 放大电路的频率响应

5.6 一般组合放大电路



# 5.1 放大电路的组成及技术指标

放大的实质、电路的组成、基本组态、静态、动态、直流通路、交流通路、基本指标...





# 5.2.1 放大电路的静态分析

1. 计算法
2. 图解分析法
  - 分析对象：静态工作点
  - 分析路径：直流通路



## 5.2.2 放大电路的动态分析

1. 图解分析法
2. 微变等效电路法
  - 分析对象:  $\dot{A}_u, R_i, R_o$
  - 分析路径: 交流通路

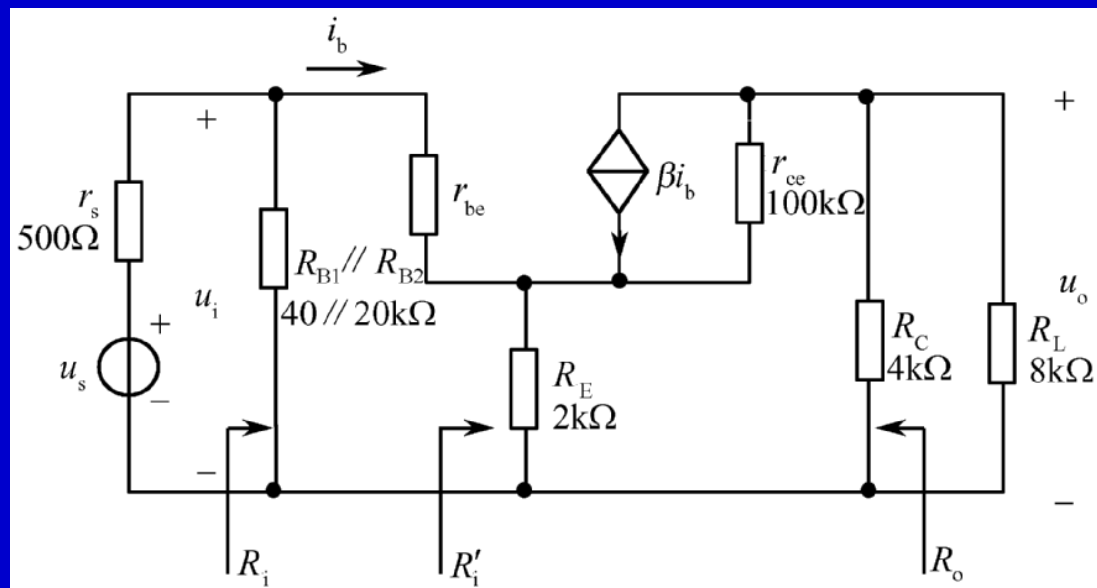
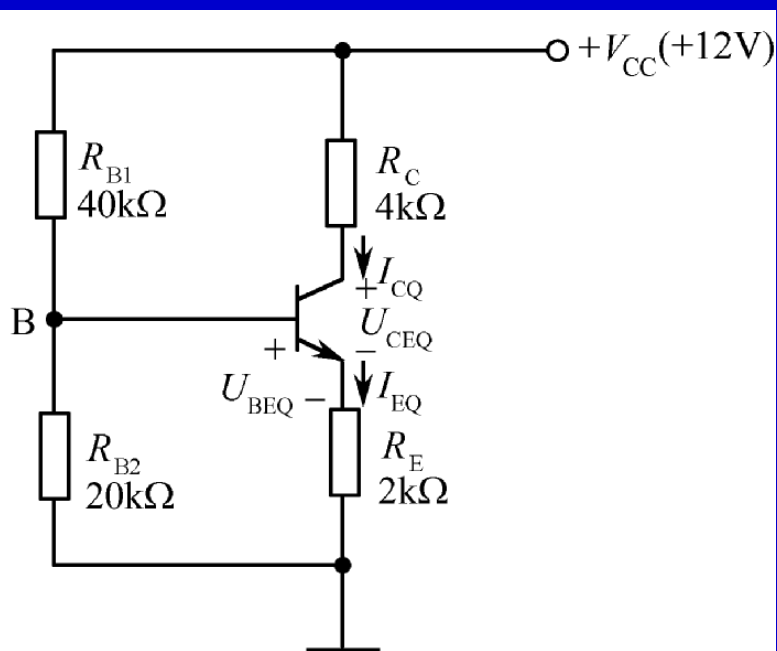
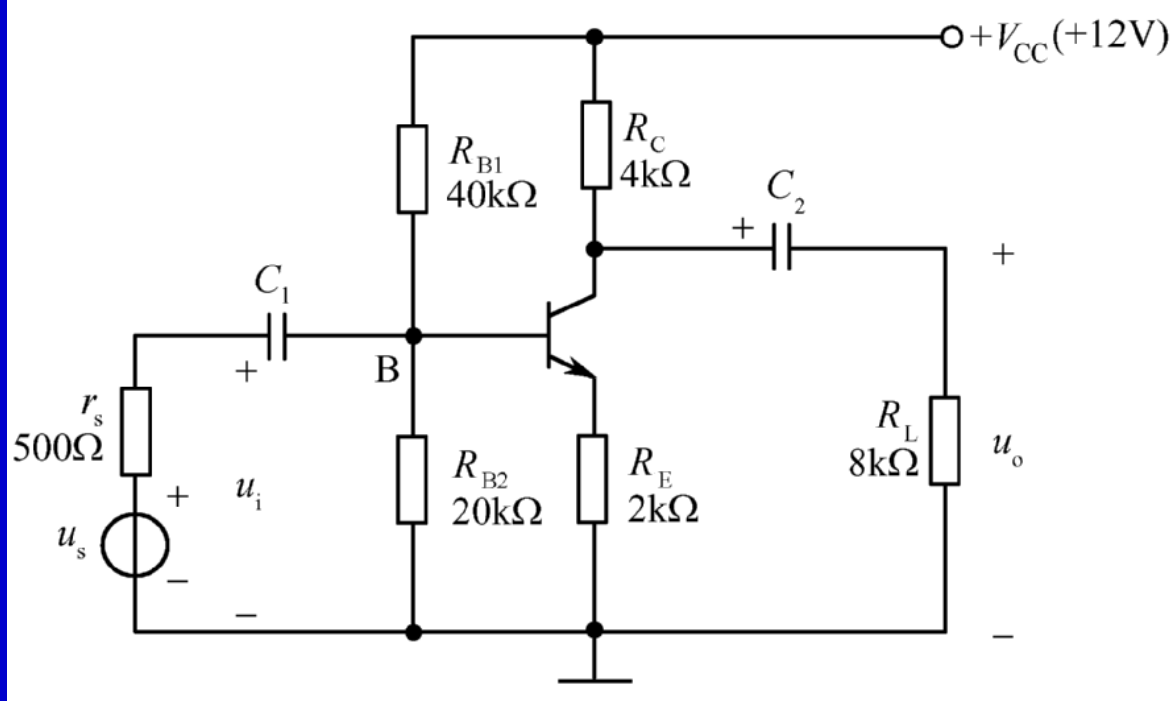


## 5.3 放大电路的稳定偏置

3.3.1 温度对工作点的影响

3.3.2 射极偏置电路







## 5.4 各种基本组态放大电路的分析与比较

5.4.1 共基组态基本放大电路

5.4.2 共集组态基本放大电路

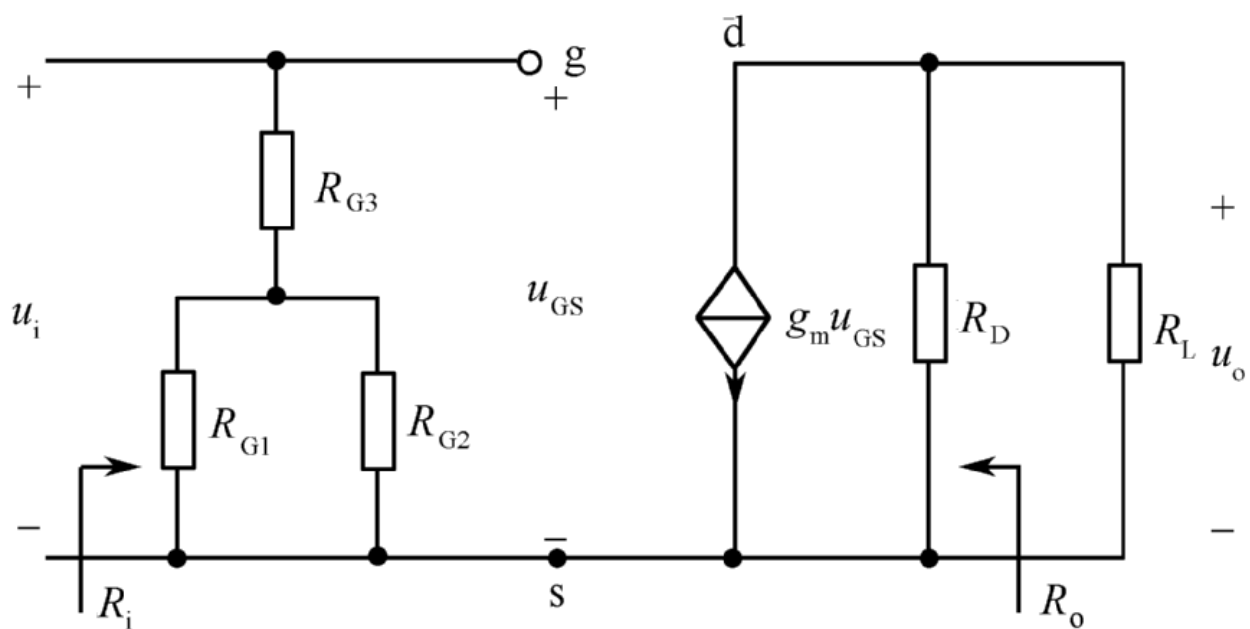
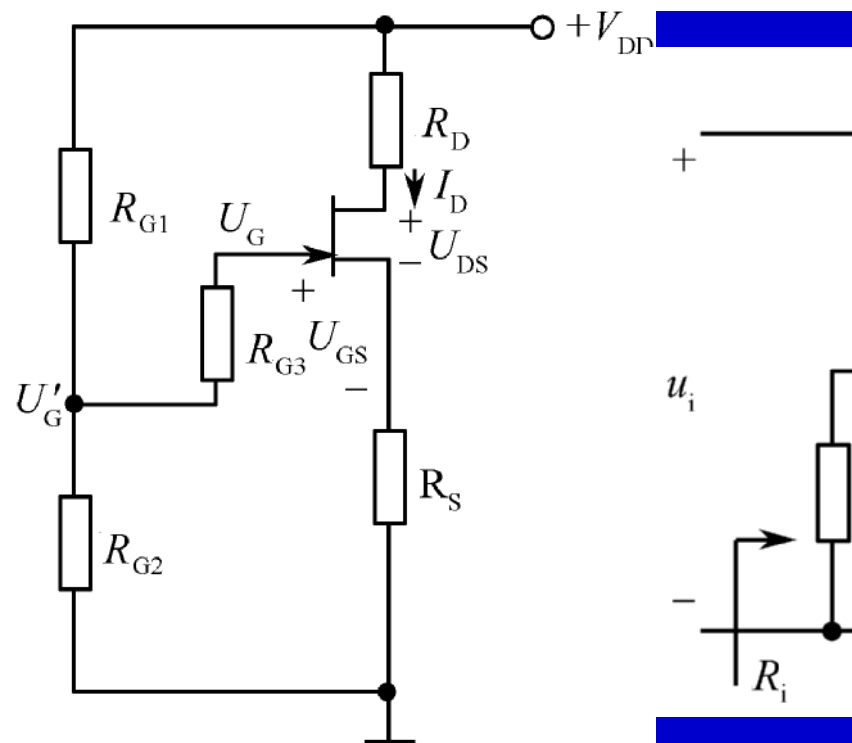
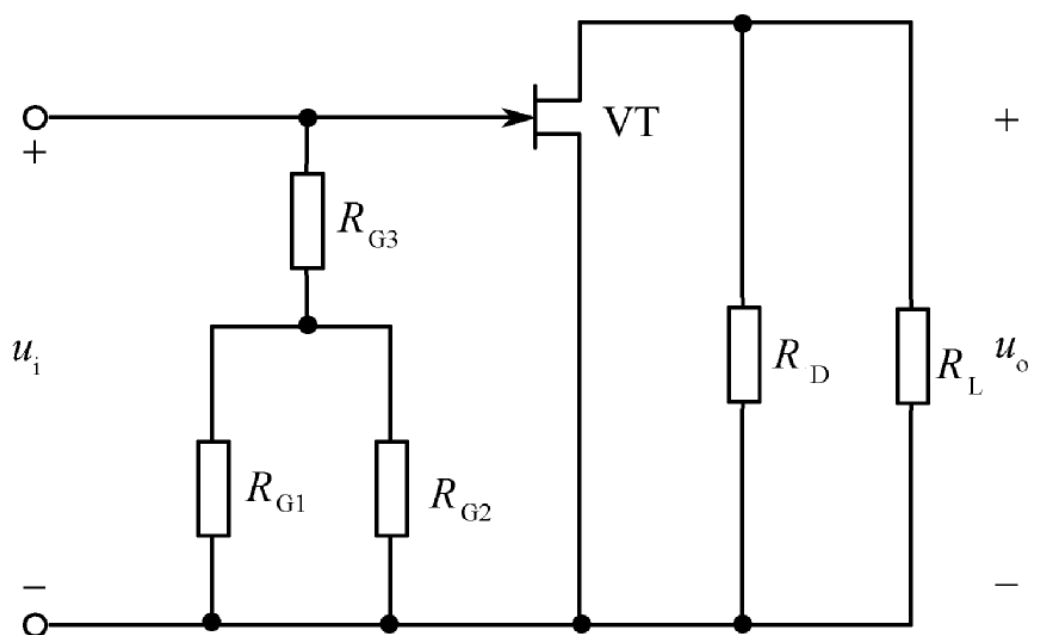
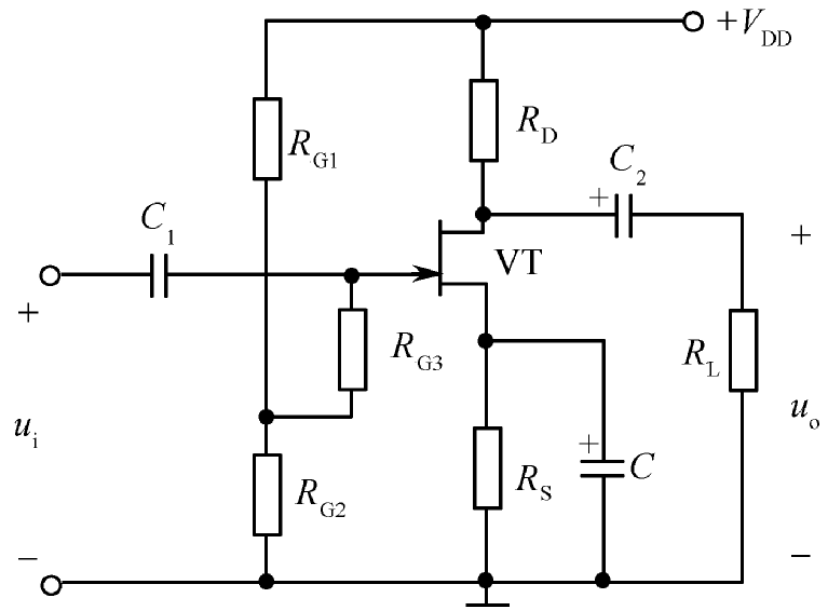
5.4.3 复合管

5.4.4 场效应管放大电路

5.4.5 共源组态基本放大电路

5.4.6 共漏组态基本放大电路

5.4.7 各种组态放大电路的比较





CE / CB / CC

CS / CG / CD

$\dot{A}_u$

$$CE : \dot{A}_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$CB : \dot{A}_u = +\frac{\beta R'_L}{r_{be}}$$

$$CC : \dot{A}_u = \frac{(1+\beta)R'_L}{r_{be} + (1+\beta)R'_L}$$

$$CS : \dot{A}_u = -g_m R'_L$$

$$CG : \dot{A}_u = +g_m R'_L$$

$$CD : \dot{A}_u = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L}$$

$R_i$

$$CE : R_B // r_{be}$$

$$CB : R_E // [r_{be} / (1 + \beta)]$$

$$CC : R_B // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$$

$$CS : R_{G1} // R_{G2}$$

$$CG : R_S // (1/g_m)$$

$$CD : R_{G3} + (R_{G1} // R_{G2})$$

$R_o$

$$CE : R_C$$

$$CB : R_C$$

$$CC : R_E // \frac{r_{be} + R_B // R_S}{1 + \beta}$$

$$CS : R_D$$

$$CG : R_D$$

$$CD : R_S // (1/g_m)$$



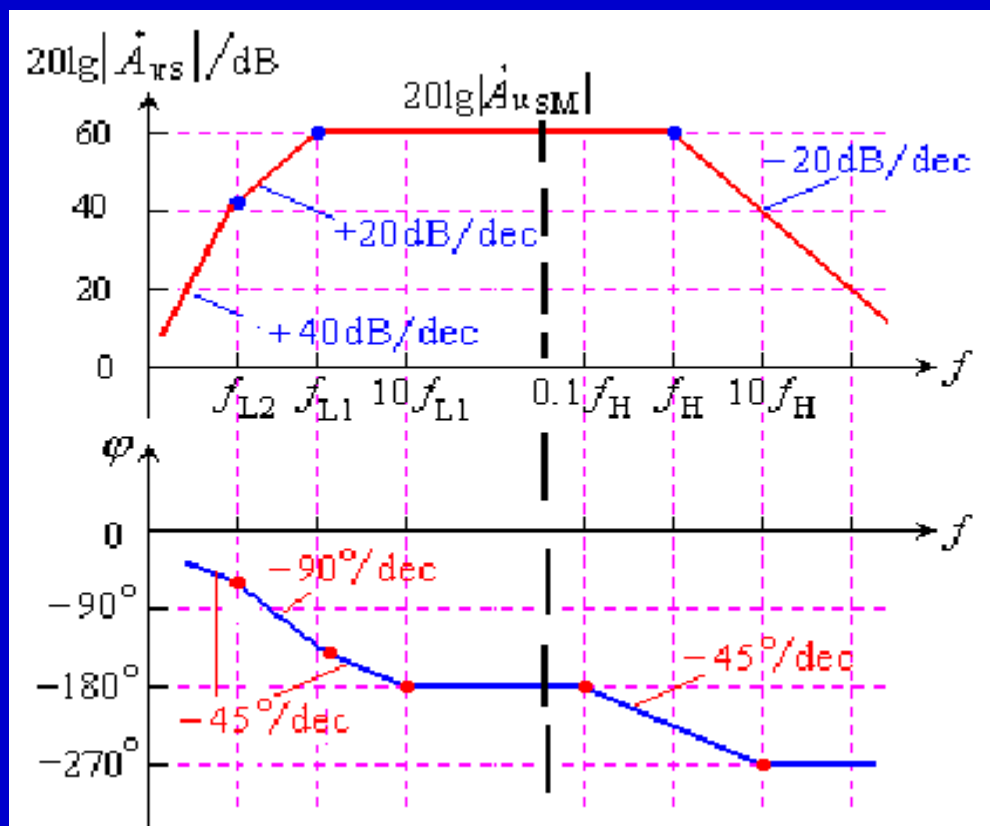
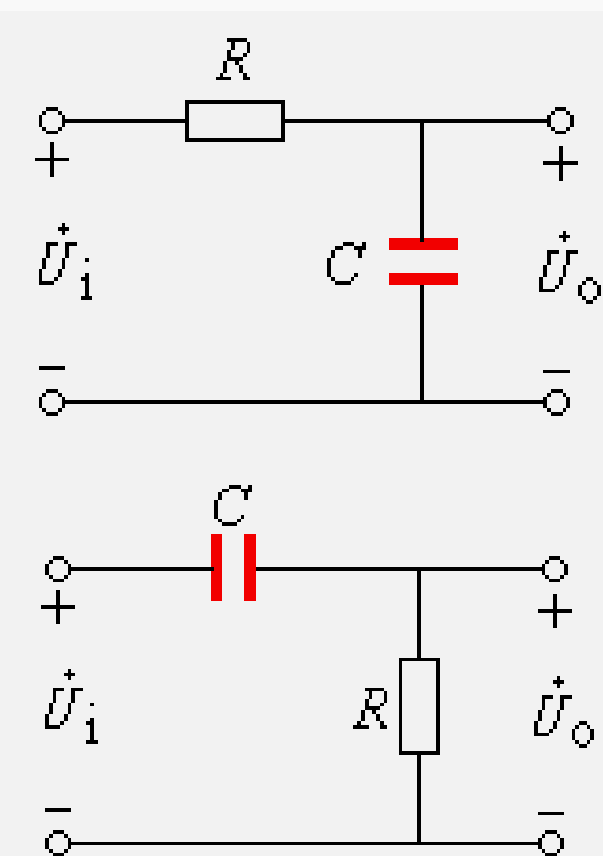
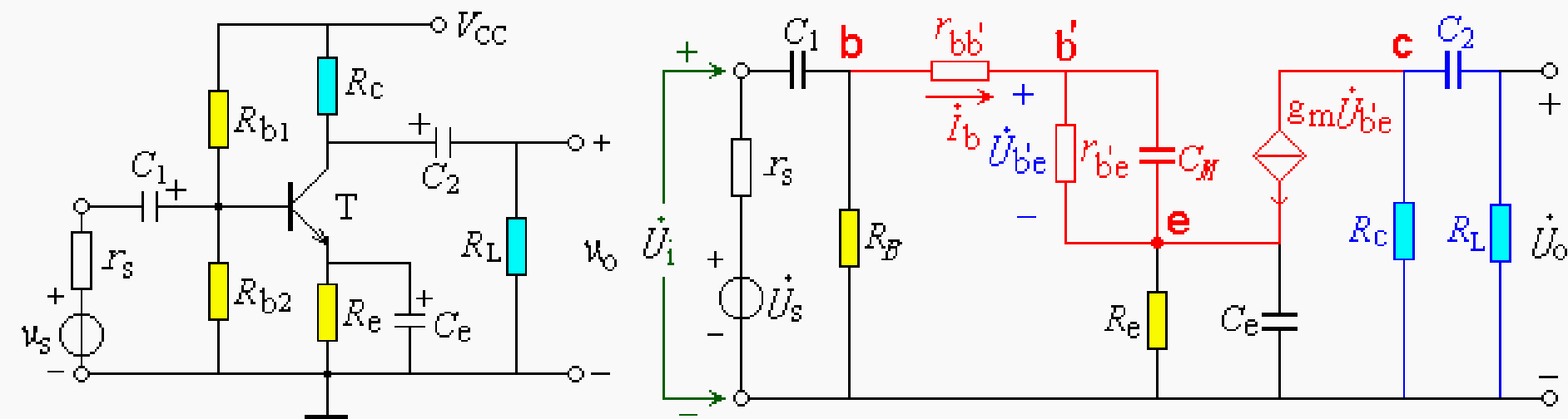
# 5.5 放大电路的频率特性

## 5.5.1 概述

## 5.5.2 $RC$ 电路的频率响应

## 5.5.3 三极管的高频小信号模型

## 5.5.4 共射放大电路的频率特性





## 5.6 组合放大电路

- 5.6.1 耦合形式及零点漂移
- 5.6.2 组合放大电路的分析
- 5.6.3 共源-共射放大电路
- 5.6.4 共射-共基-共集放大电路



# 5.6.1 耦合形式及零点漂移

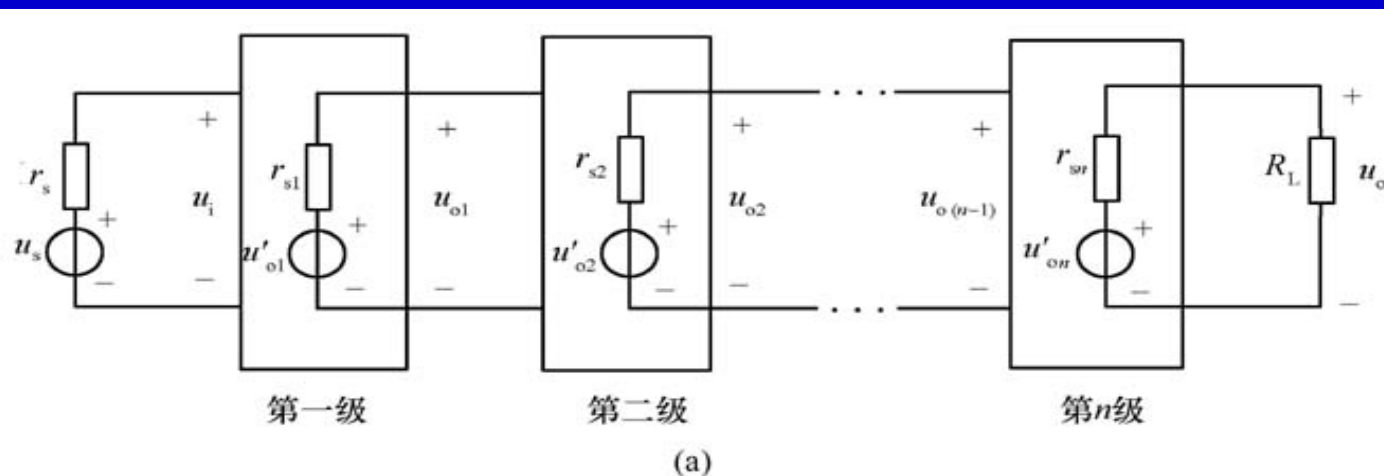
1. 阻容耦合
2. 变压器耦合
3. 直接耦合
4. 零点漂移



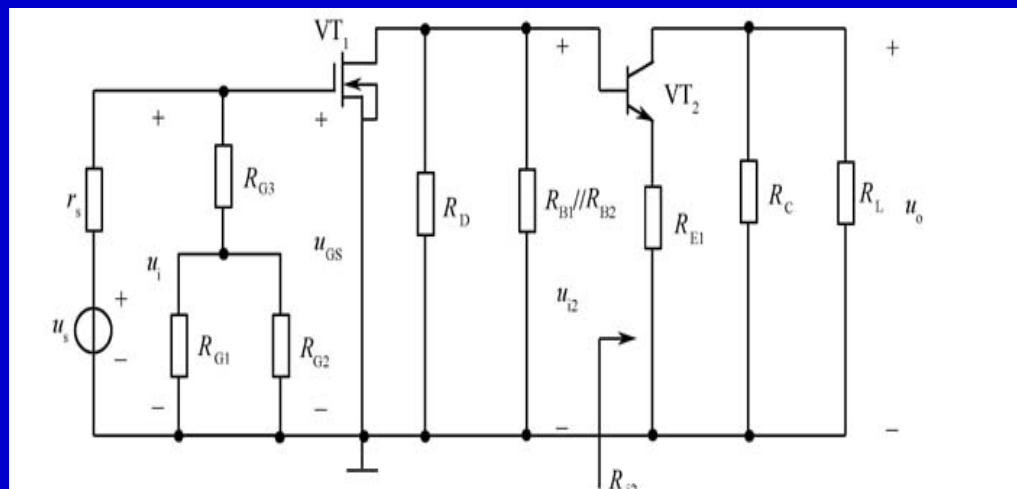
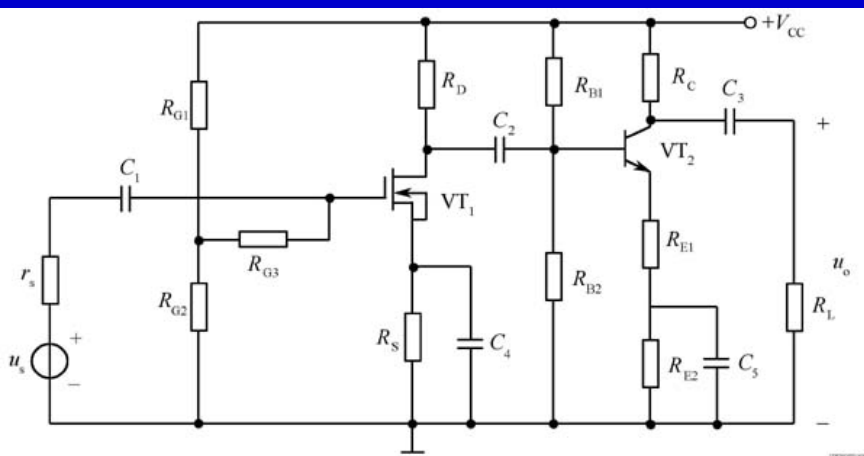
## 5.6.2 组合放大电路的分析

## 1、静态分析

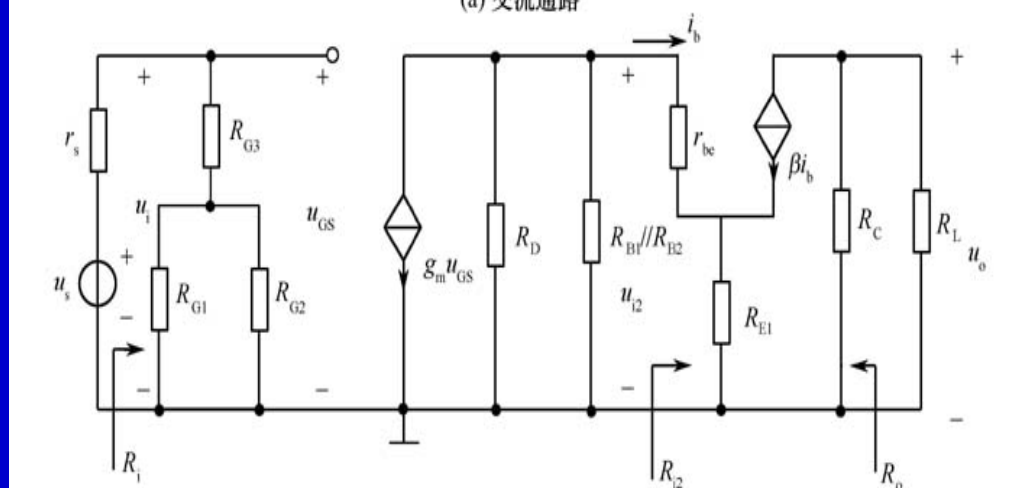
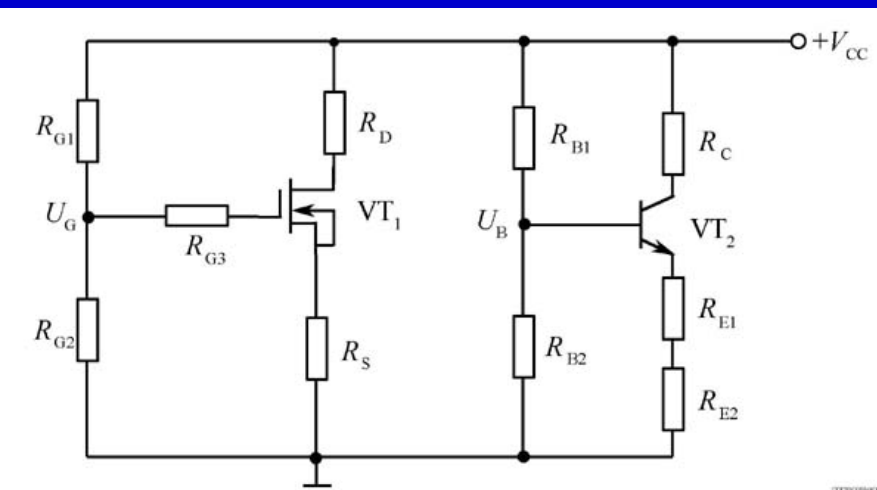
## 2、动态分析



# 5.6.3 共源—共射放大电路

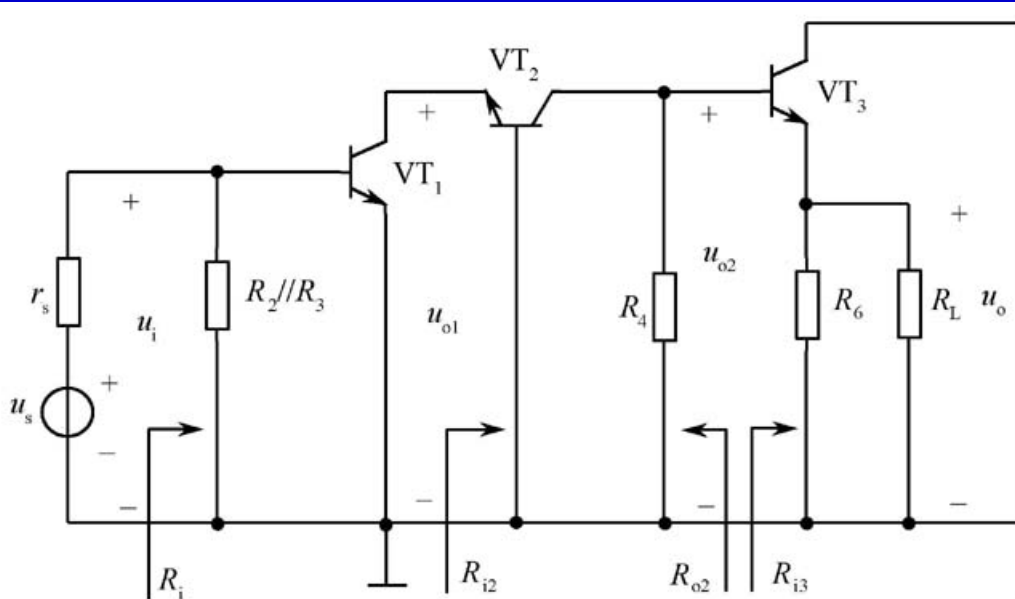
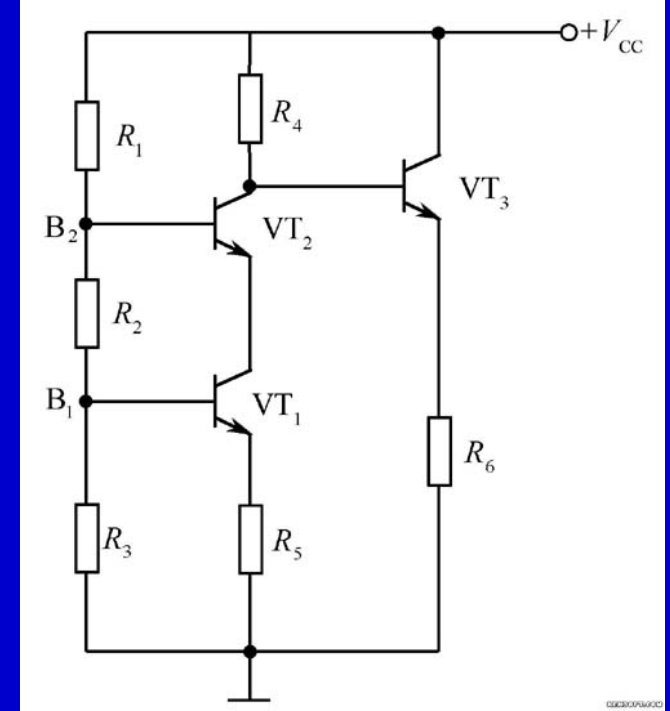
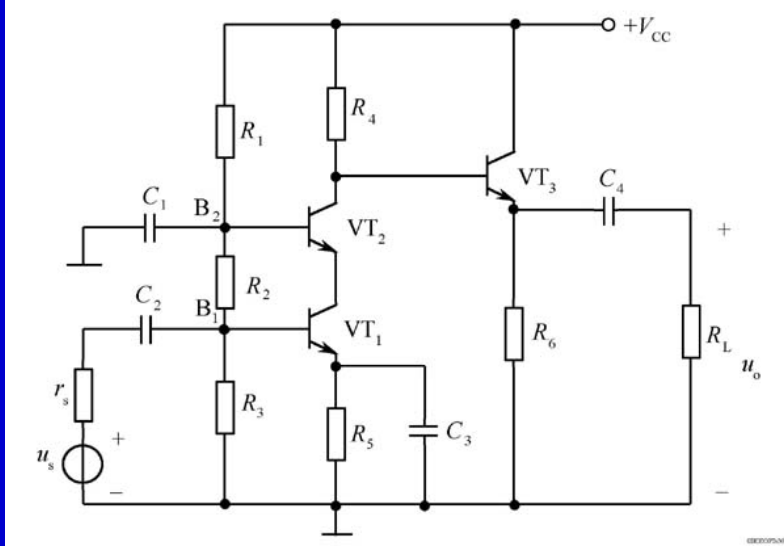


(a) 交流通路



(b) 微变等效电路

# 5.6.4 共射—共基—共集放大电路





# 要求

1. 掌握三极管、场效应管的基本偏置方法，包括分压式偏置、自给式偏置，了解其它偏置方式。
2. 掌握共基、共射、共集、共源、共栅、共漏六种基本组态放大电路的静态及动态分析计算方法。
3. 理解基本放大电路的高频特性分析方法。
4. 掌握由六种基本组态组合而成的放大电路的静态及动态分析、计算方法。



# 第6章负反馈放大电路

- 6.1 反馈的基本概念与分类
- 6.2 负反馈对放大电路性能影响
- 6.3 深度负反馈放大电路的分析与计算
- 6.4 负反馈放大电路的稳定性分析及频率补偿



## 6.1.1 反馈概念

- 输出端:

电压反馈——输出与反馈在同一电极;

电流反馈——输出与反馈不在同一电极。

- 输入端:

串联反馈——反馈与输入信号不加在同一输入端

并联反馈——反馈与输入信号加在同一输入端

- 反馈极性:

瞬时极性法



## 6.1.2 反馈类型与判别

类型 = (交、直流) + 输出 + 输入 + 极性

有 反 馈?	交流反馈	电压反馈	串联反馈	负反馈
	直流反馈	电流反馈	并联反馈	正反馈

例如：交流电压串联负反馈

四种交流负反馈放大器：

电压反馈	→	串联反馈
电流反馈	→	并联反馈

### 类型判别：按类型顺序——五步



## 6.1.3 反馈的基本方程

1. 闭环放大倍数  
的一般表达式

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$

2. 反馈深度  $1 + \dot{A}\dot{F}$  称为反馈深度

3. 环路增益  $|\dot{A}\dot{F}|$





## 6.2 负反馈对放大电路性能的影响

6.2.1 负反馈对增益的影响

6.2.2 负反馈对输入电阻的影响

6.2.3 负反馈对输出电阻的影响

6.2.4 负反馈对通频带的影响

6.2.5 负反馈对非线性失真的影响

6.2.6 负反馈对噪声、干扰和温漂的影响



# 6.3 深度负反馈放大电路的分析计算

$$\dot{A}_f = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}F}$$

$$|\dot{A}F| \gg 1 \quad \dot{A}_f \approx \frac{1}{F}$$

$$\frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \dot{A}_f \approx \frac{1}{F} = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_f}$$

$$\dot{X}_i \approx \dot{X}_f$$

$$\dot{X}'_i = \dot{X}_i - \dot{X}_f \approx 0$$

	电压 串联	电压 并联	电流 串联	电流 并联
$X_i$	$U_i$	$I_i$	$U_i$	$I_i$
$X_f$	$U_f$	$I_f$	$U_f$	$I_f$
$X_o$	$U_o$	$U_o$	$I_o$	$I_o$
F	$F_U$	$F_G$	$F_R$	$F_I$
A	$A_U$	$A_R$	$A_G$	$A_I$
$A_f$	$A_{UF}$	$A_{RF}$	$A_{GF}$	$A_{IF}$



## 6.4 负反馈放大电路的稳定性分析 及频率补偿

### 6.4.1 负反馈放大电路的稳定性分析

### 6.4.2 常用的补偿方法



# 要求

1. 熟悉负反馈的基本概念及对放大电路性能的影响。
2. 掌握四种类型负反馈电路的判断及估算。
3. 熟悉负反馈电路稳定性判据，了解补偿方法。

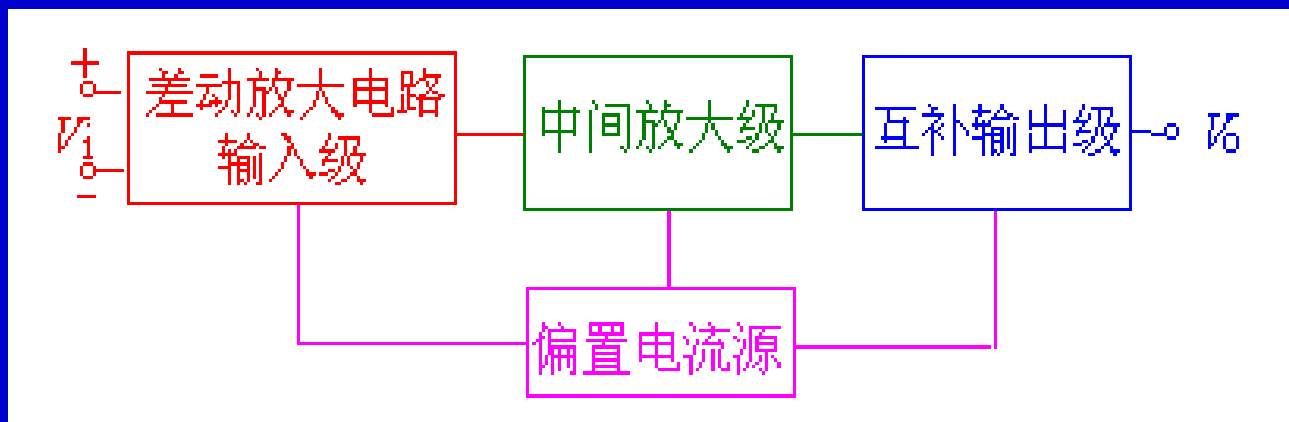


# 第7章 集成运算放大器

- 7.1 集成运算放大电路的构成
- 7.2 集成运放中的电流源与有源负载
- 7.3 差分放大电路
- 7.4 集成运放的典型电路和实际电路

## 7.1 集成运算放大电路的构成

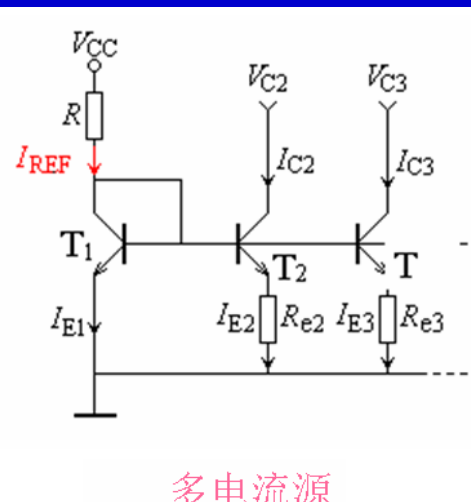
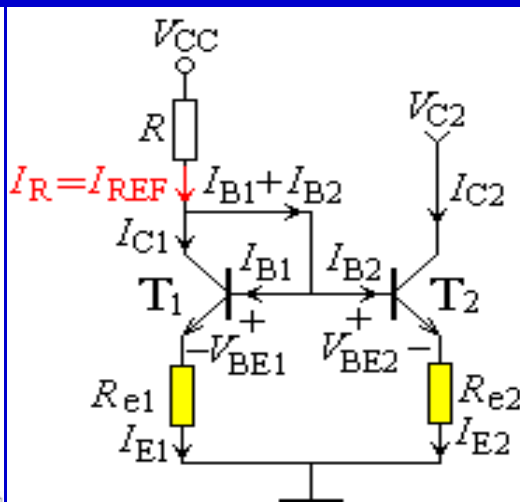
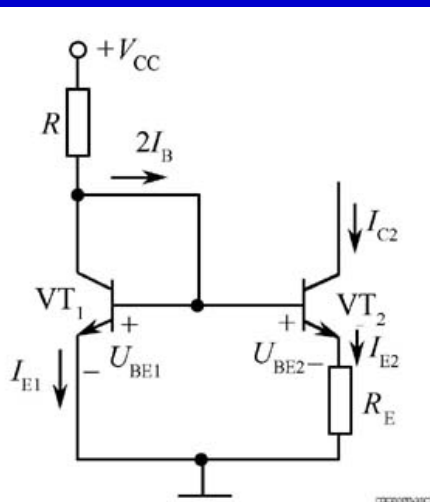
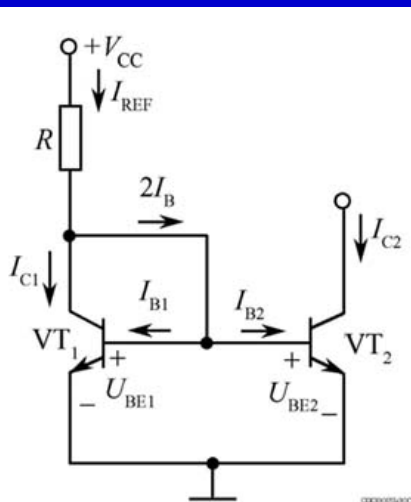
集成运算放大器（简称运放）是一个高增益直接耦合多级放大电路，它的方框图如图所示。



运算放大器方框图

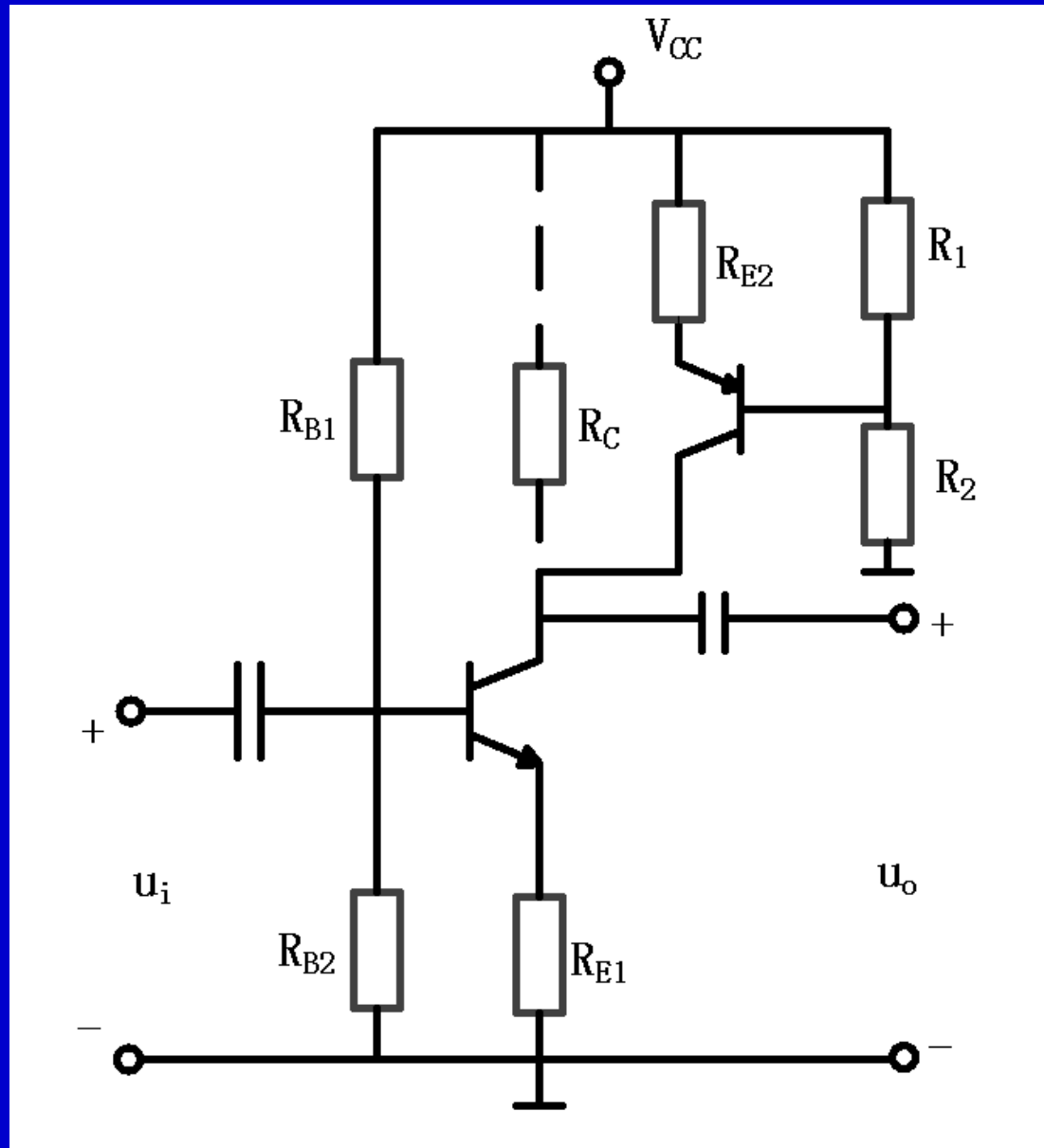


## 7.2 集成运放中的电流源与有源负载



多电流源

比例电流源







## 7.3 差分放大电路

7.3.1 差分放大电路的结构及工作原理

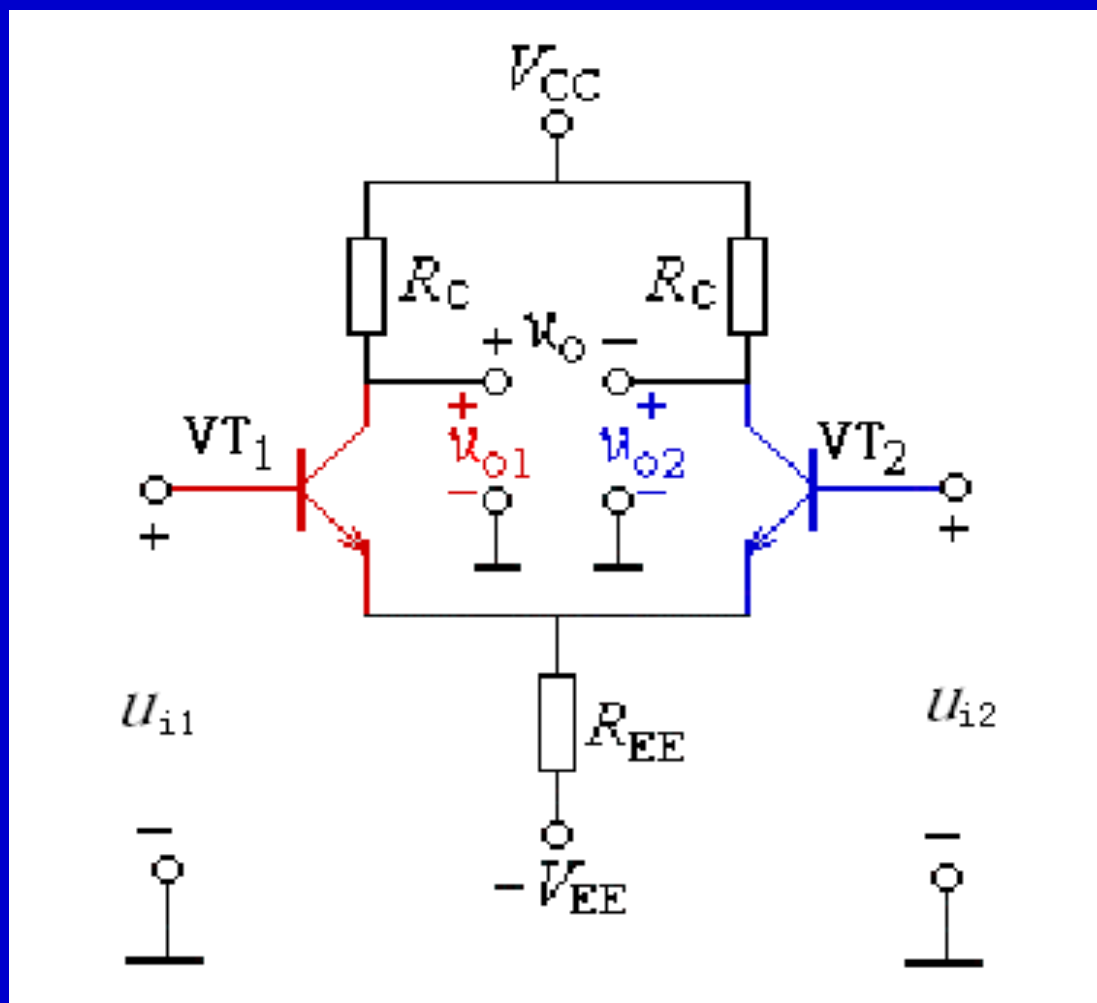
7.3.2 差分放大电路的性能分析

7.3.3 差分放大电路的传输特性

7.3.4 差分放大电路的改进



## 7.3.1 差分放大电路结构及工作原理



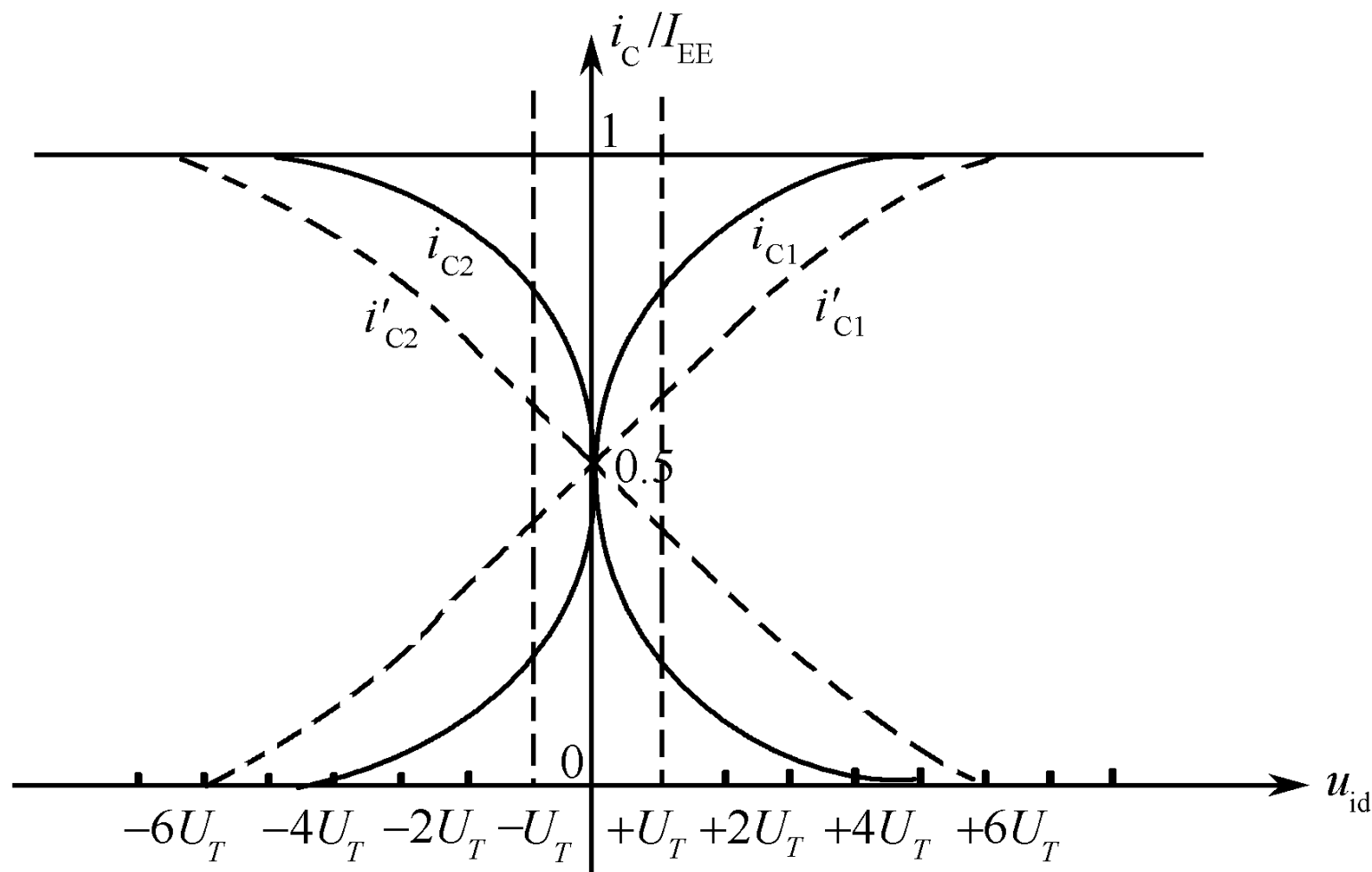


## 7.3.2 差分放大电路的性能分析

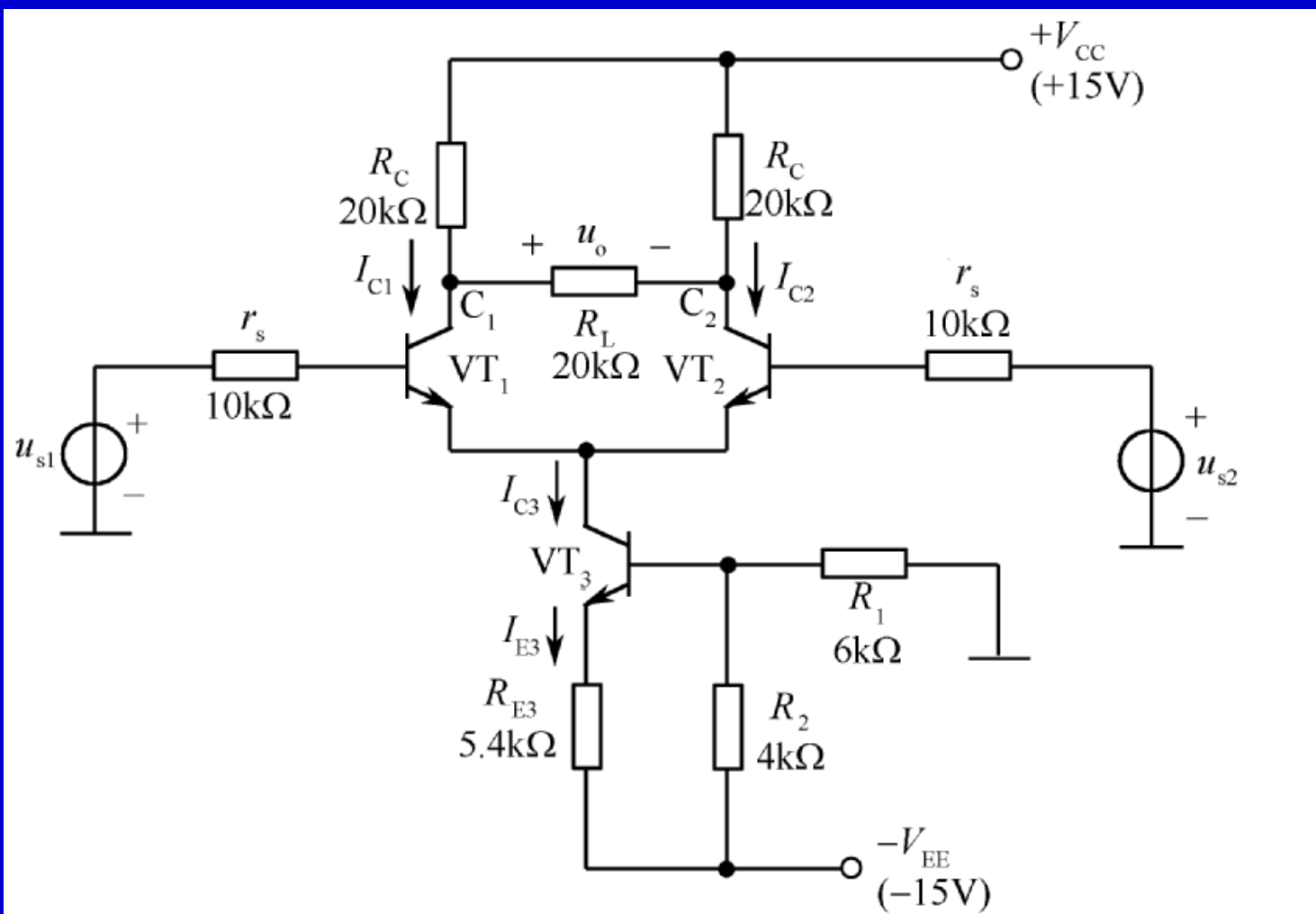
- 静态计算
- 动态计算 ( $A_u$ ,  $R_i$ ,  $R_o$ )
  - (一) 差模参数 ( $A_{ud}$ ,  $R_{id}$ ,  $R_o$ )
  - (二) 共模参数 ( $A_{uc}$ ,  $R_{ic}$ ,  $R_o$ )



## 7.3.3 差分放大电路的传输特性



## 7.3.4 差分放大电路的改进





# 要求

1. 掌握几种基本电流源的结构、工作原理、输出电流和输出电阻的计算方法，了解电流源在放大电路中的作用。
2. 掌握差动放大电路分析、计算方法，了解其传输特性。
3. 了解通用集成运放的电路原理及运放的主要参数。



# 第8章 正弦波产生电路

8.1 正弦波振荡电路的基本概念

8.2 RC正弦波振荡电路

8.3 LC正弦波振荡电路



# 8.1 正弦波振荡电路的基本概念

## 1. 振荡条件

幅度平衡条件:  $|\dot{A}\dot{F}|=1$

相位平衡条件:  $\varphi_{AF} = \varphi_A + \varphi_F = \pm 2n\pi$

## 2. 起振条件和稳幅原理

$$|\dot{A}\dot{F}|>1$$

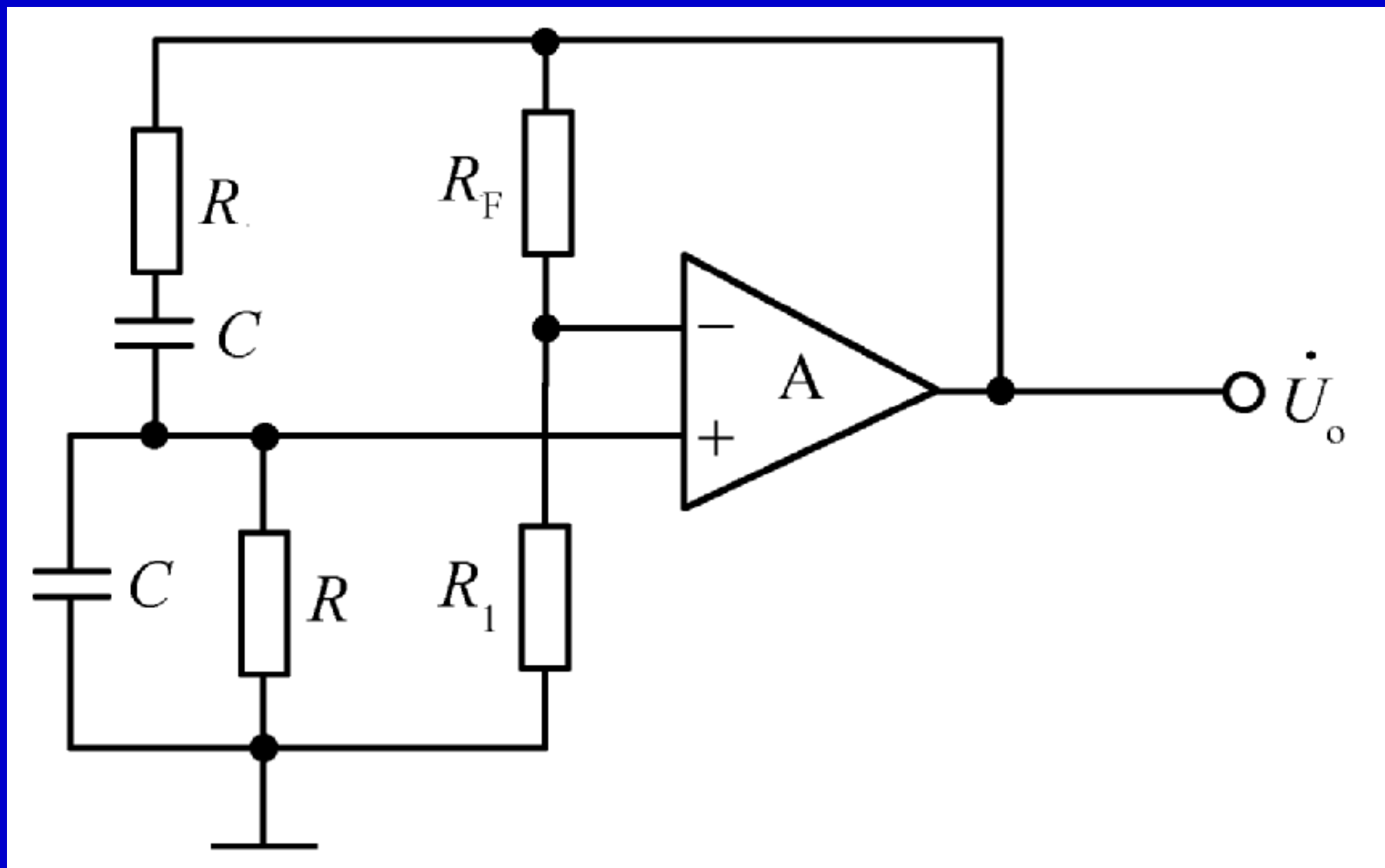
## 3. 电路组成及分类

放大电路    正反馈网络    选频网络    稳幅电路



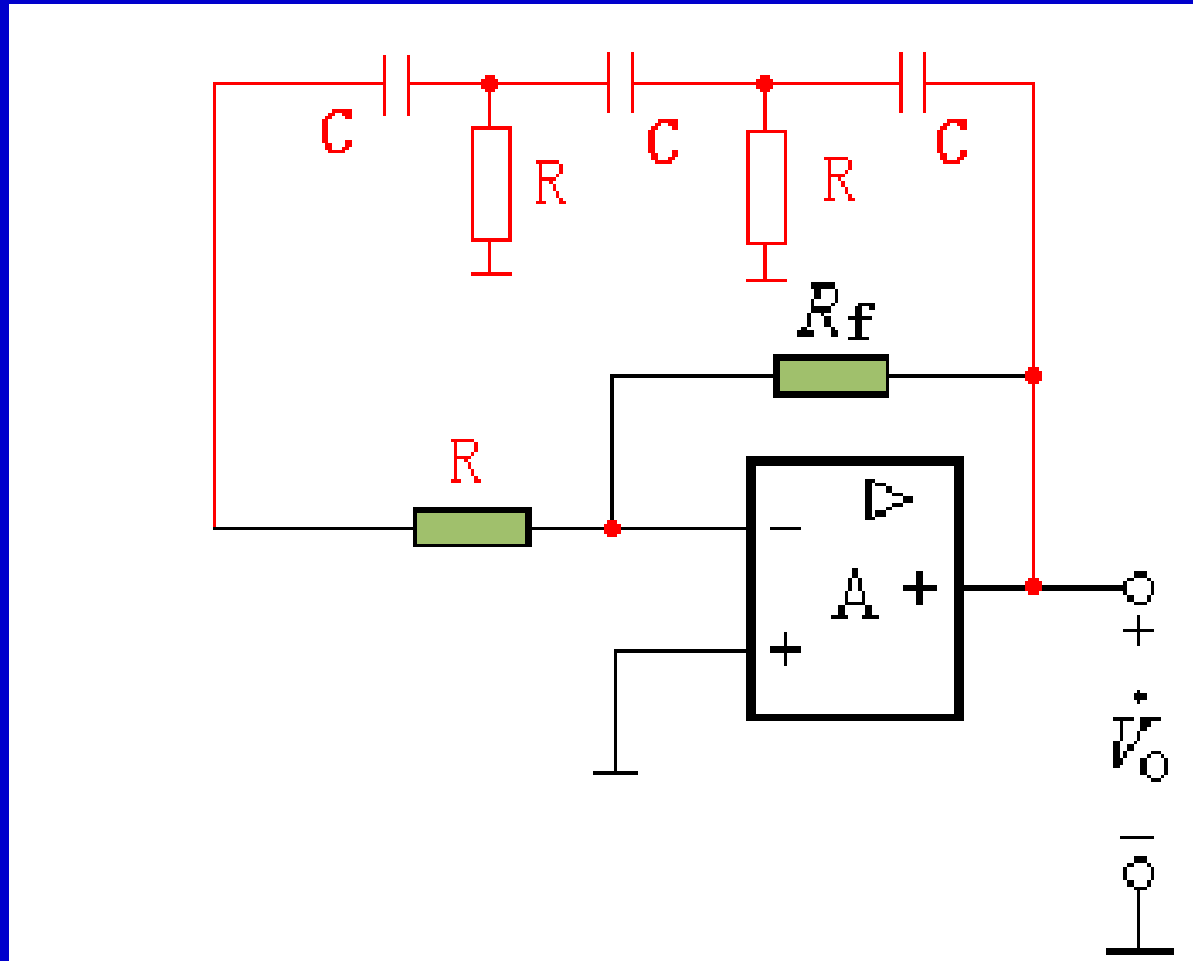


## 8.2.1 $RC$ 文氏桥振荡电路





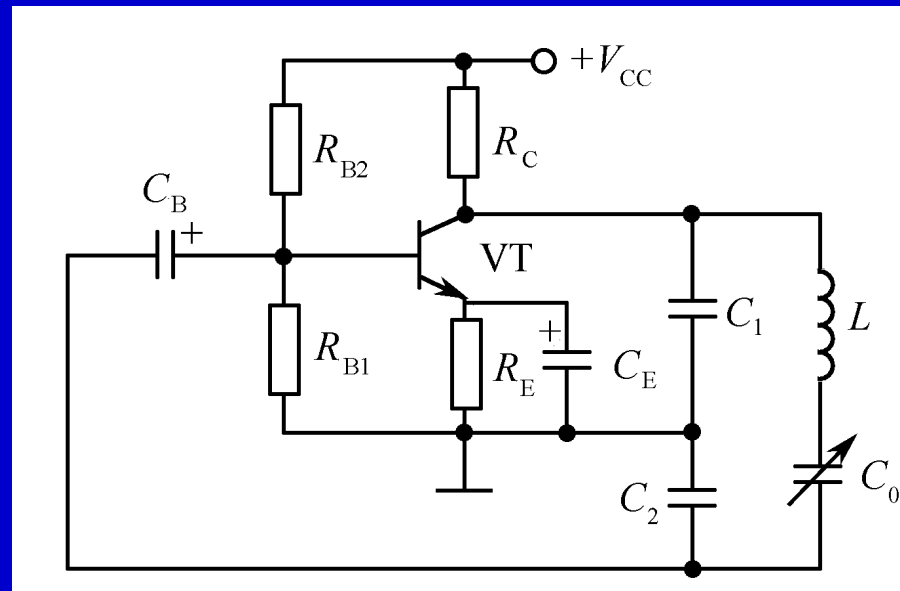
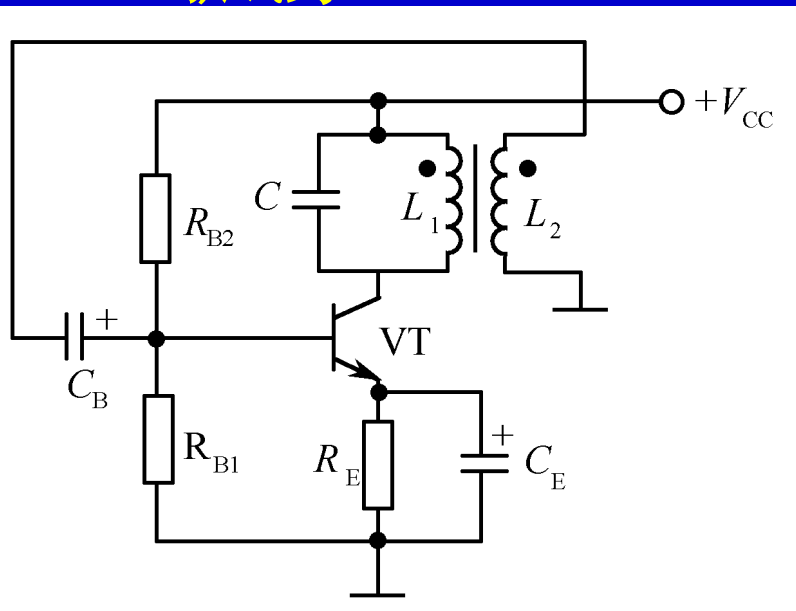
## 8.2.2 $RC$ 移相式振荡电路



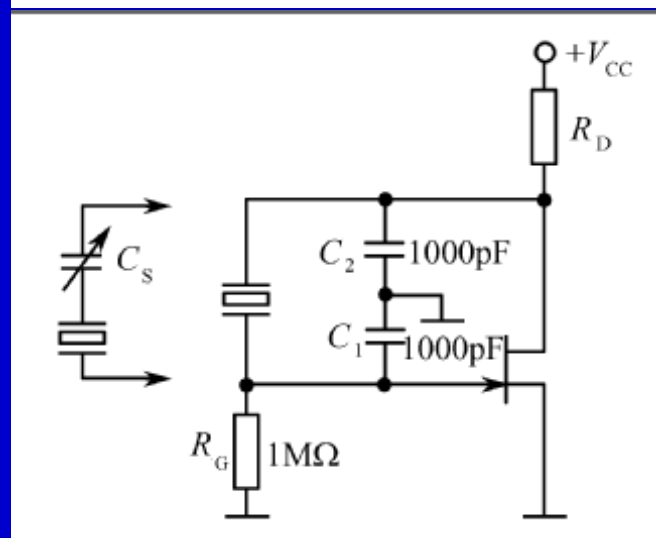
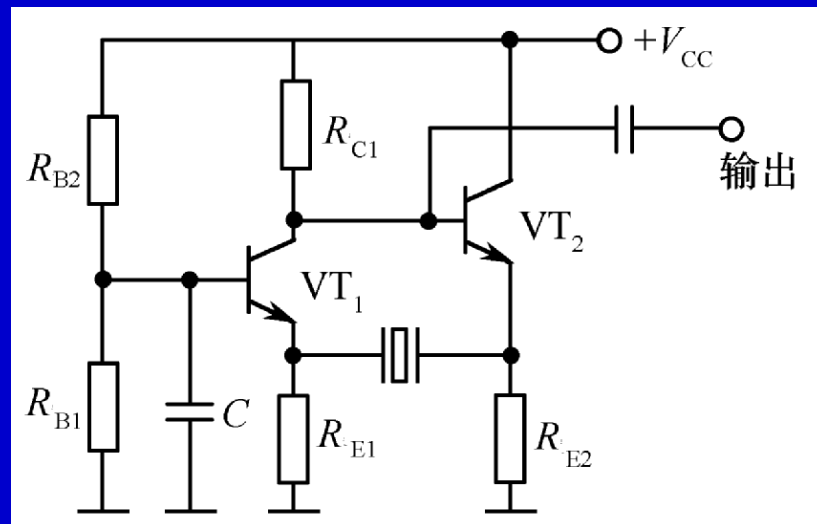
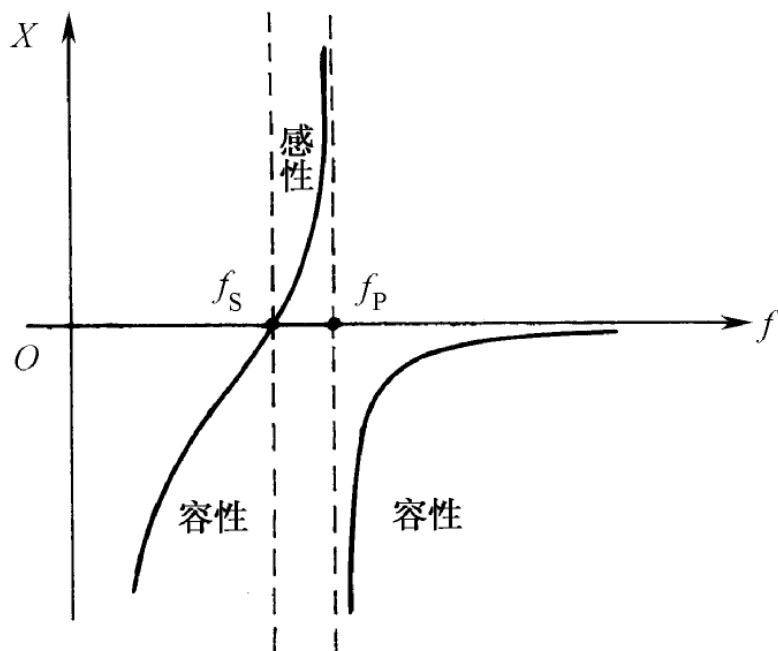
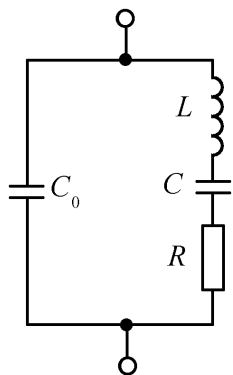
## 8.3.1 LC 正弦波振荡电路

1. 变压器反馈式
2. 三点式

若与发射极（或运放同相端）相连的是同性质抗，与发射极不相连的是反性质抗，则振荡！



## 8.3.2 石英晶体LC振荡器





# 要求

1. 掌握正弦波振荡的平衡条件、起振条件及判断方法。
2. 掌握**RC**文氏电桥振荡器、 **RC**移相式振荡器、三点式振荡器、变压器反馈式**LC**振荡器、石英晶体振荡器的原理及分析估算方法。



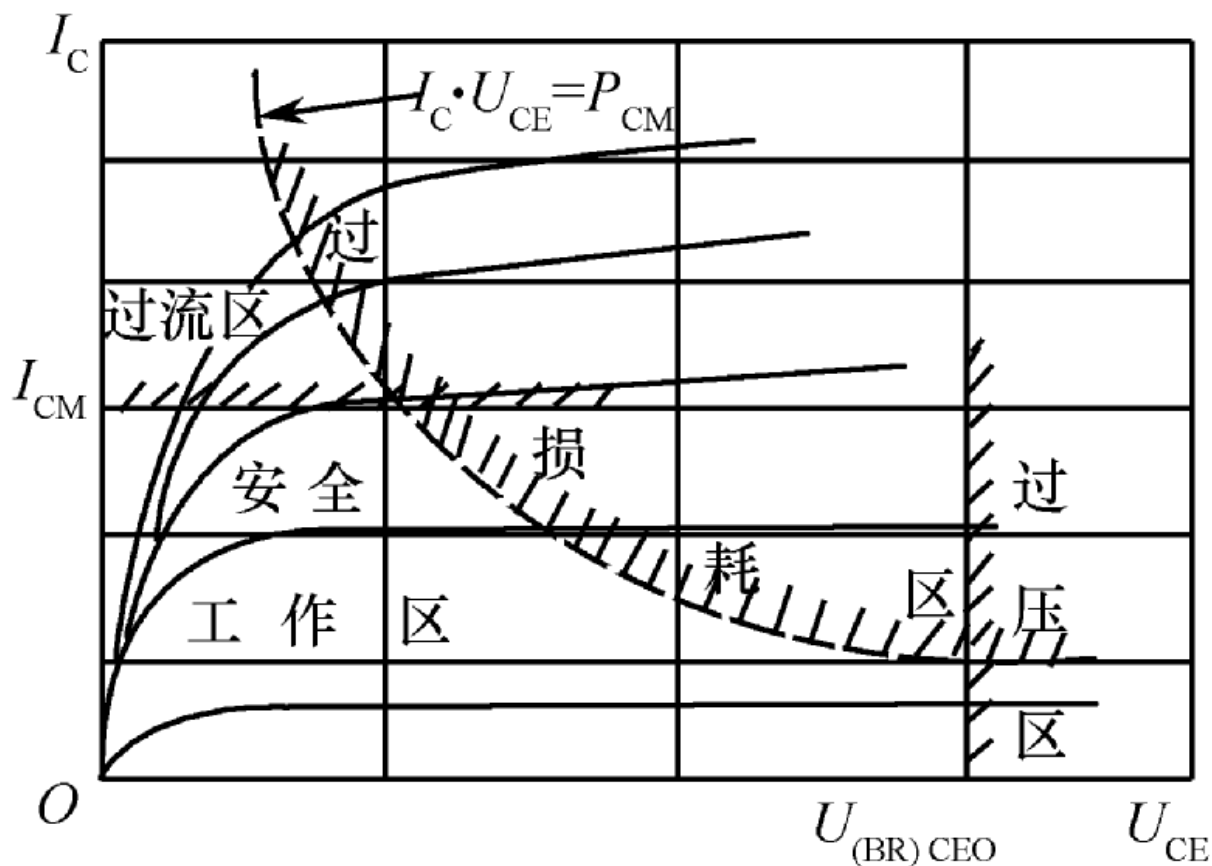
# 第9章 功率电路

## 9.1 功率放大电路

## 9.2 串联型（线性）直流稳压电路

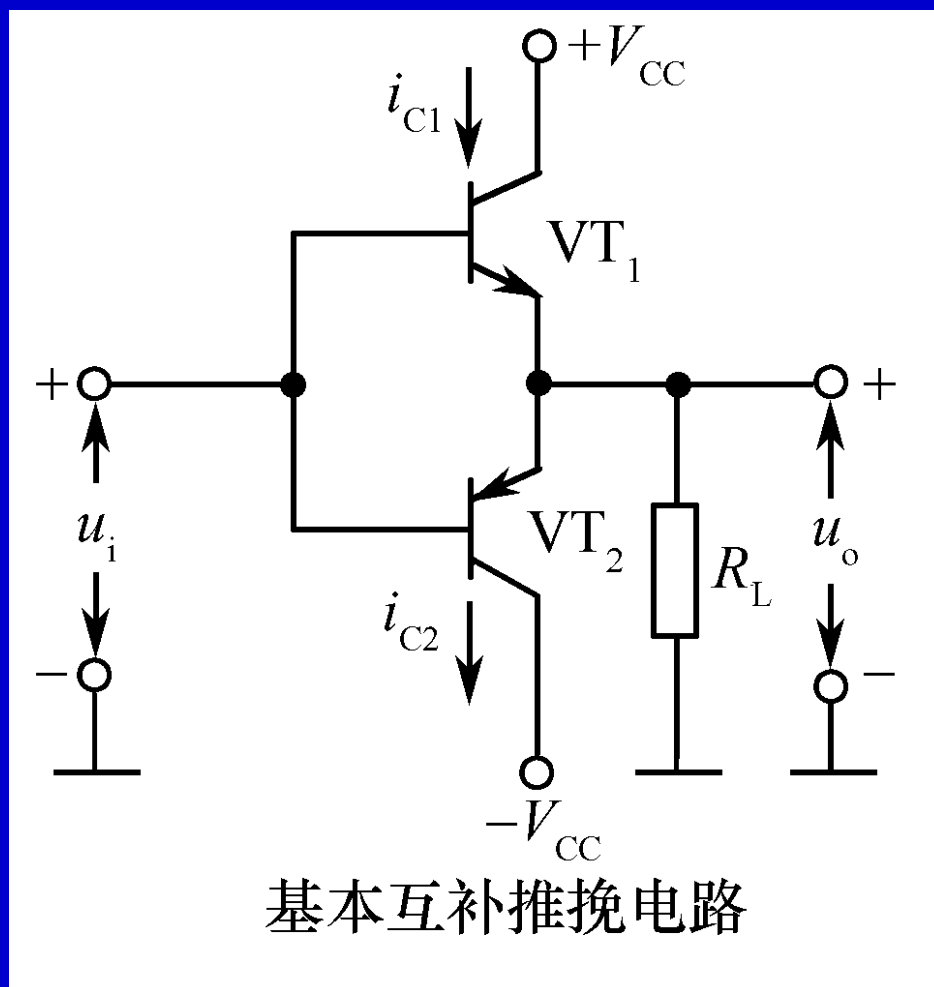
# 9.1.1 功率放大电路的特点与分类

- 一、功放电路特点
- 二、功放电路分类

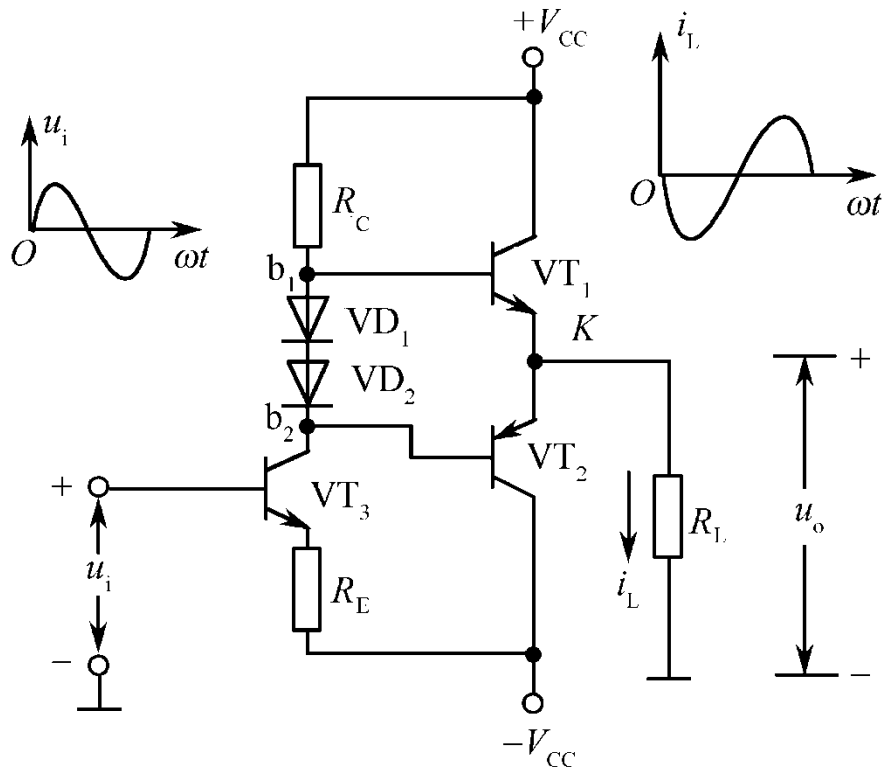


# 9.1.2 互补对称功率放大电路

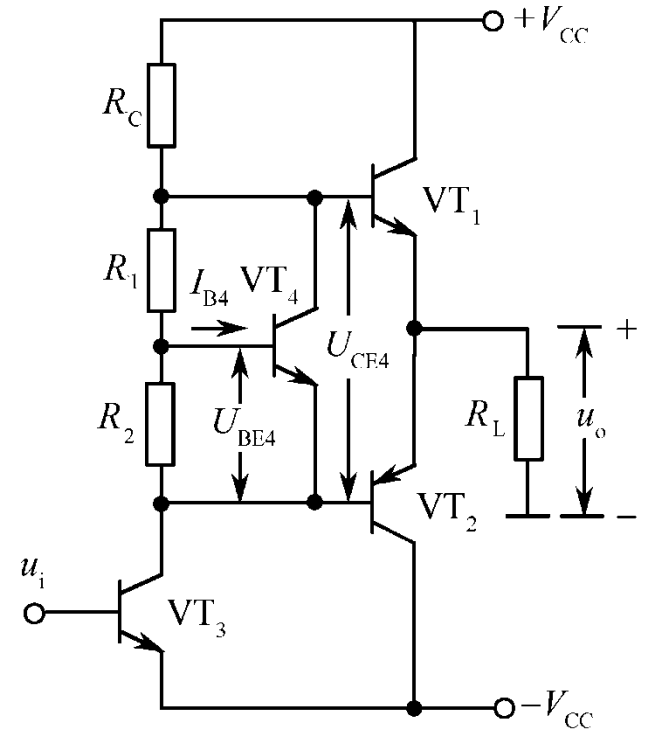
1. 电路
2. 工作原理
3. 参数计算
4. 选管条件
5. 存在问题
6. 其它类型互补功率放大电路



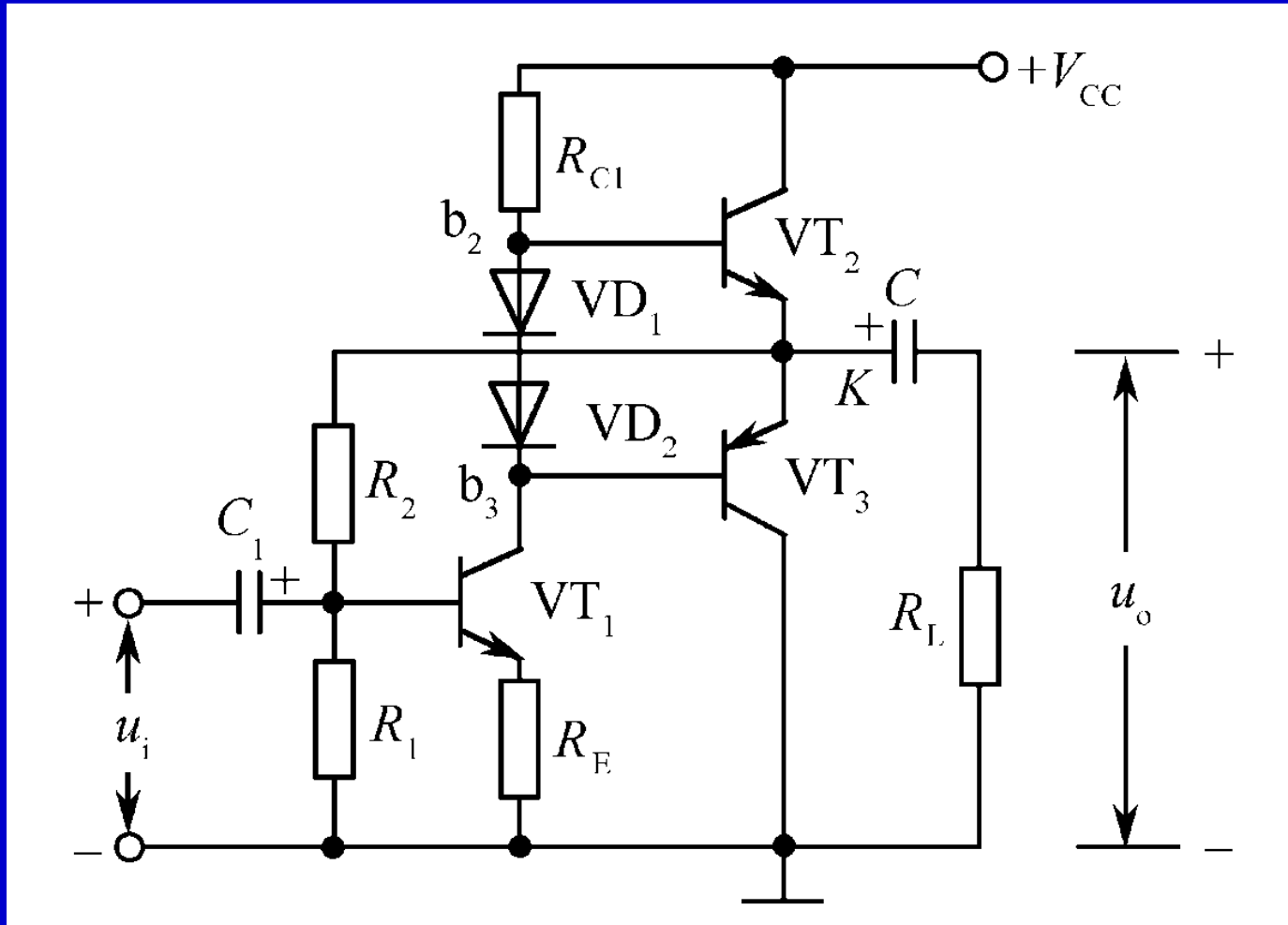




(a)用二极管提供偏置



(b)用 $U_{BE}$ 倍增电路提供偏置

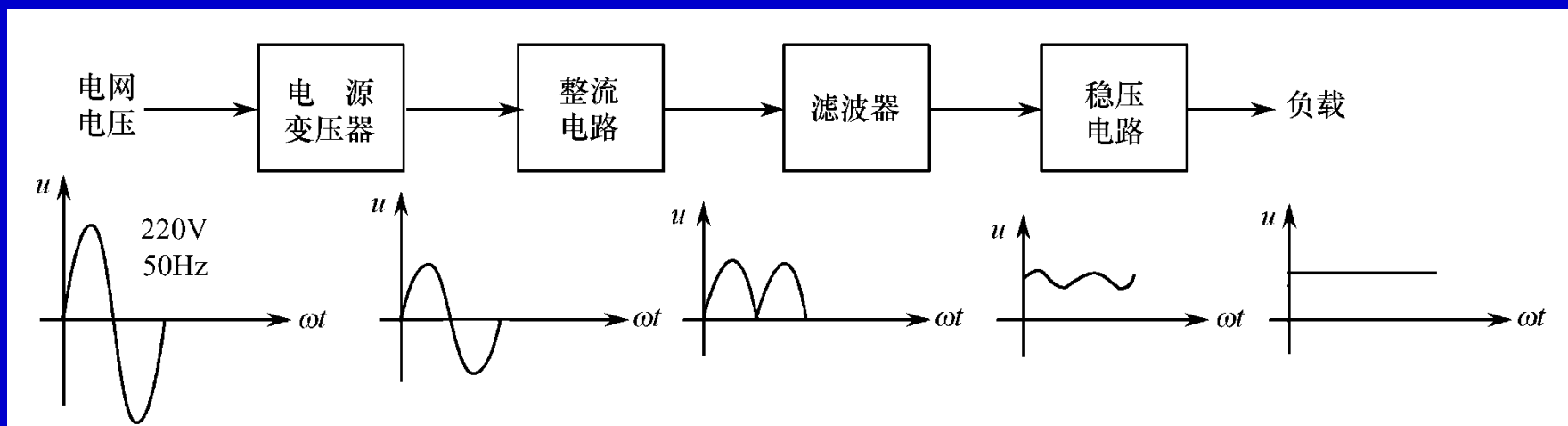


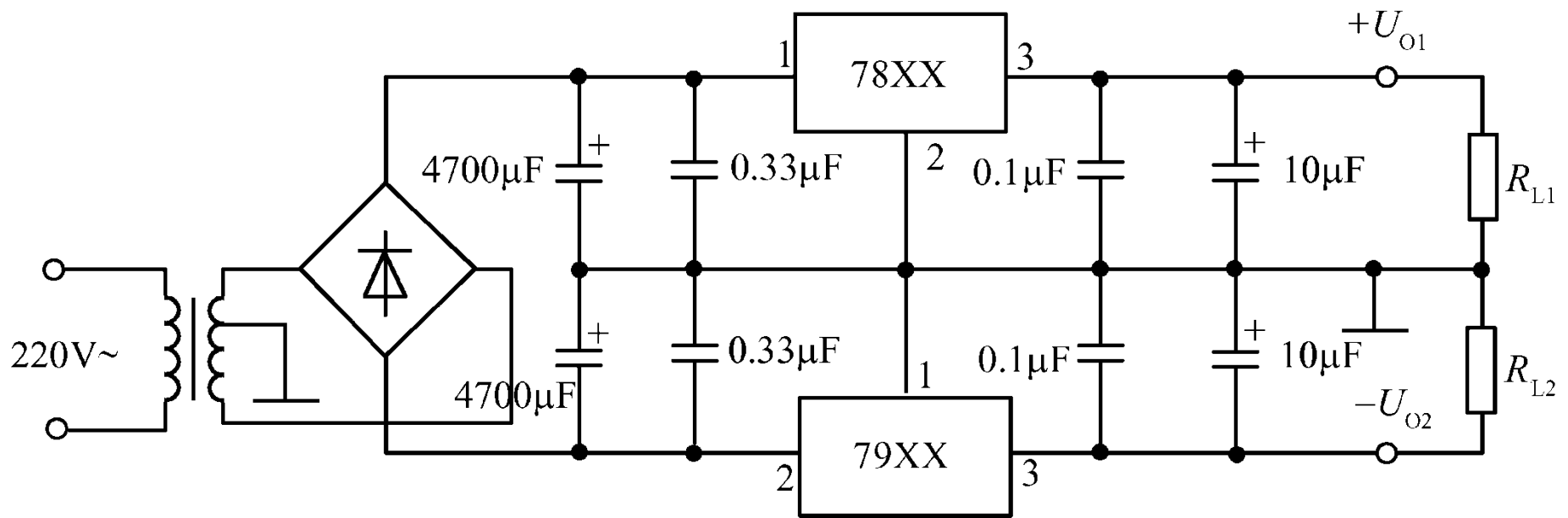
## 9.2 线性直流稳压电路

### 9.2.1 整流电路

### 9.2.2 滤波电路

### 9.2.3 串联型稳压电路







# 要求

1. 熟悉乙类功放电路的分析计算方法。
2. 熟悉功放电路的原理及应用（OTL，OCL电路）。
3. 理解串联型稳压电路的分析计算方法，了解三端集成稳压器的应用。