



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

# 第六章 负反馈放大器及其稳定性

**lugh@ustc.edu.cn**

**2016年11月29日**

# 本章主要内容

- § 6.1 反馈的基本概念
- § 6.2 负反馈放大器的四种类型
- § 6.3 负反馈对放大器性能的影响
- § 6.4 负反馈放大器的分析方法
- § 6.5 负反馈放大器的稳定性



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

# § 6.1 反馈的基本概念

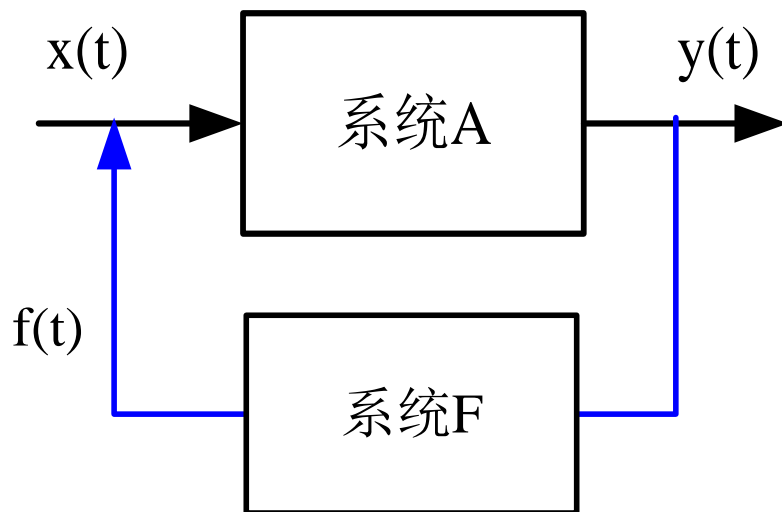
**lugh@ustc.edu.cn**

**2016年11月29日**

# 1. 什么是反馈

## ■ 反馈

- 把输出电量（电压或电流）的一部分或全部回送到输入回路，去影响输入电量的过程叫反馈



# 1. 什么是反馈

## ■ 直流反馈与交流反馈

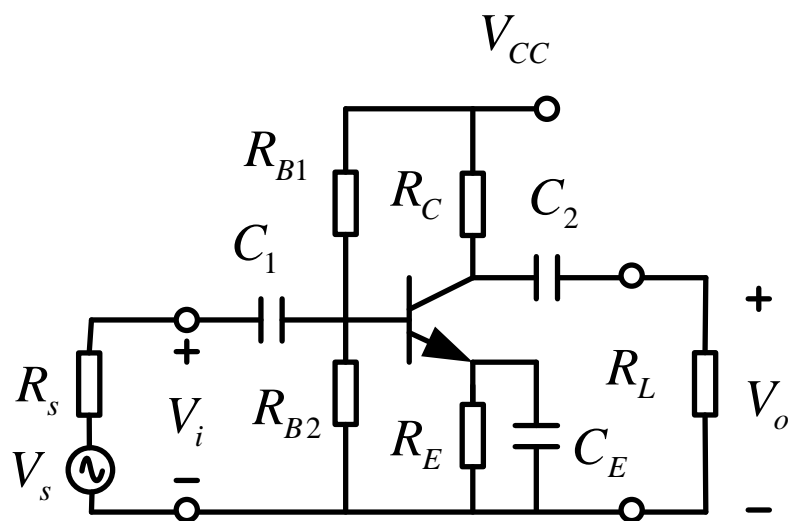
- 回馈电量可以是直流电量，也可以是交流，相应的反馈形式分别称为直流反馈和交流反馈，是反馈的两种基本类型

## ■ 正反馈与负反馈

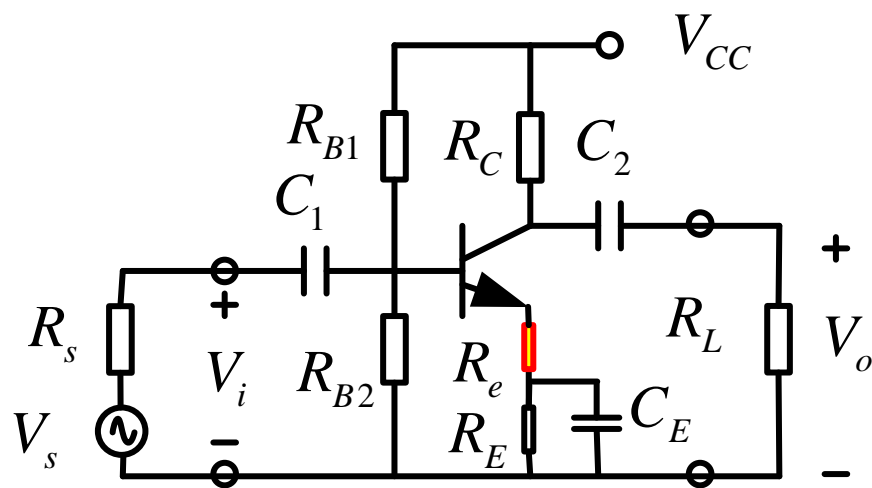
- 反馈量加强了输入电量，称为正反馈（一般在非线性电中讨论，例如应用于振荡器）
- 反馈量削弱了输入电量，称为负反馈（线电中讨论，可应用于放大器）

# 1. 什么是反馈

## ■ 例：反馈的基本应用



$R_E$ : 直流负反馈



$R_e$ : 直流/交流负反馈

# 1. 什么是反馈

## ■ 反馈极性对电路稳定性的影响

- 合适的正反馈有时候能够改善线性放大电路的某些性能，但是，更多情况下，正反馈可能导致线性放大电路不稳定，出现自激振荡，导致放大器失去放大功能
- 因此反馈的极性非常重要，关系到放大器能否正常工作，判断反馈极性也显得十分重要

# 1. 什么是反馈

## ■ 反馈极性的判断方法：瞬时极性法

- 先假设某个时刻输入信号的电压对地极性为 $+$ ，然后逐级推断出输出端对地的电压极性，再由反馈网络判断反馈信号的极性，最后判断这个反馈信号是加强还是削弱了输入电量的作用。

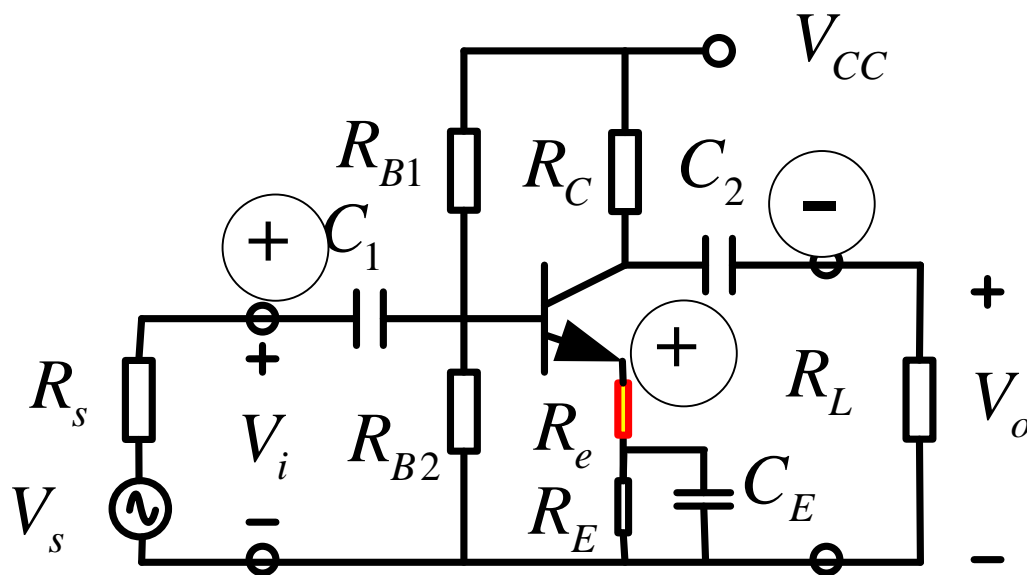


# 1. 什么是反馈

## ■ 判断实例1

$$V_{BE} = V_i - V_f$$

削弱了 $V_i$ 的作用

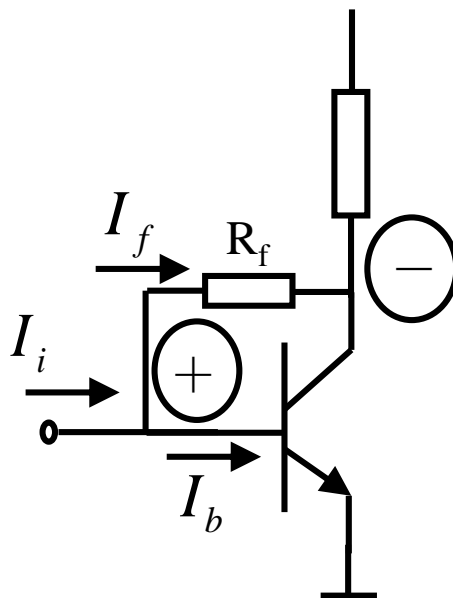


# 1. 什么是反馈

## ■ 判断实例2

$$I_b = I_i - I_f$$

削弱了 $I_i$ 的作用

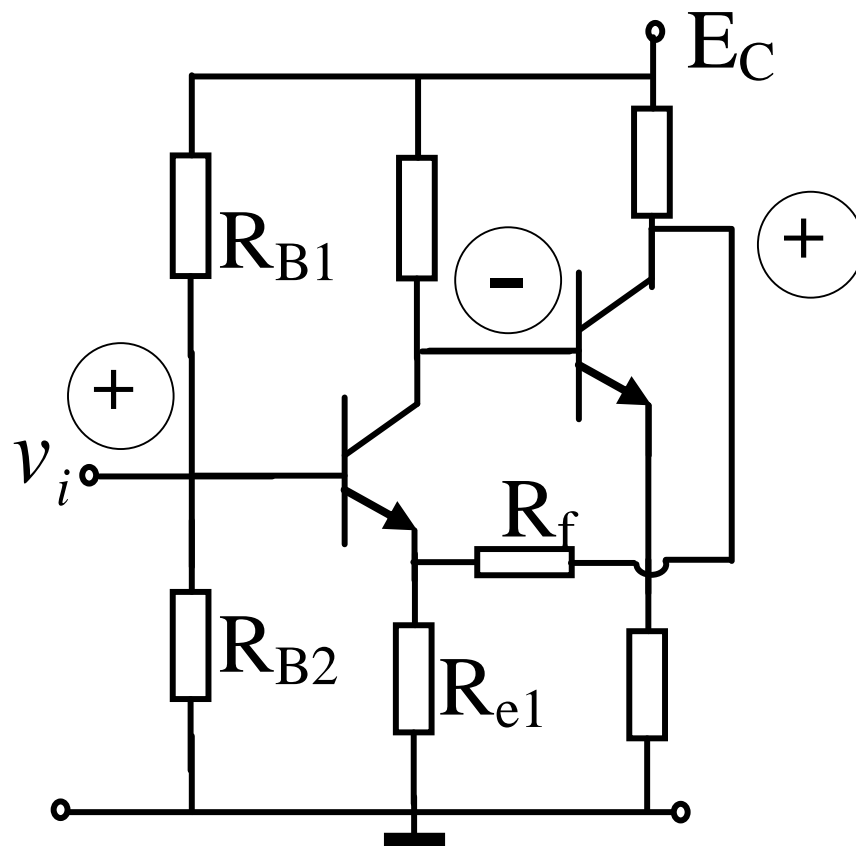


# 1. 什么是反馈

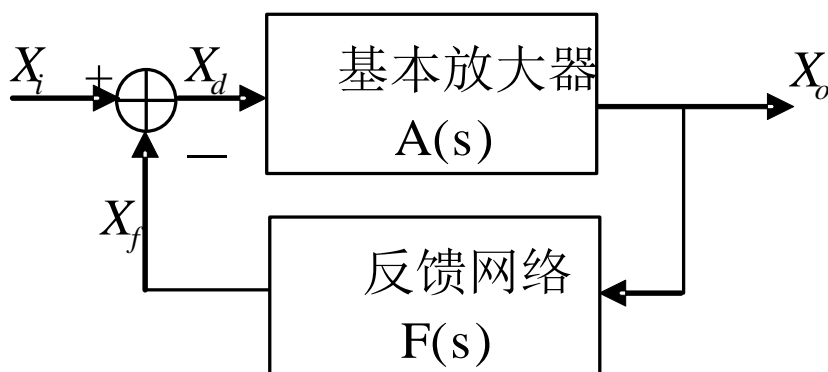
## ■ 判断实例3

$$V_{BE} = V_i - V_f$$

削弱了 $V_i$ 的作用



## 2. 单环负反馈放大器的理想模型



$X_i$ : 输入量

$X_d$ : 净输入量

$X_o$ : 输出量

$X_f$ : 反馈量

### ■ 负反馈放大器

- 由基本放大器A和反馈网络F组成

### ■ 单环负反馈放大器

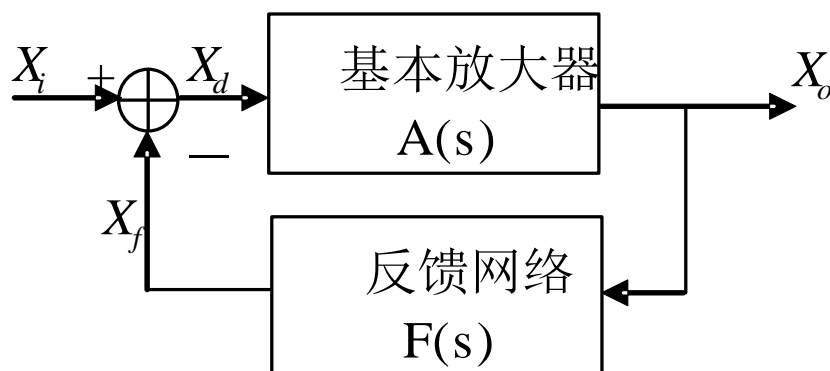
- 仅由一个反馈环组成的负反馈放大器叫做单环负反馈放大器

### ■ 理想

- 交流信号只按照箭头方向流动

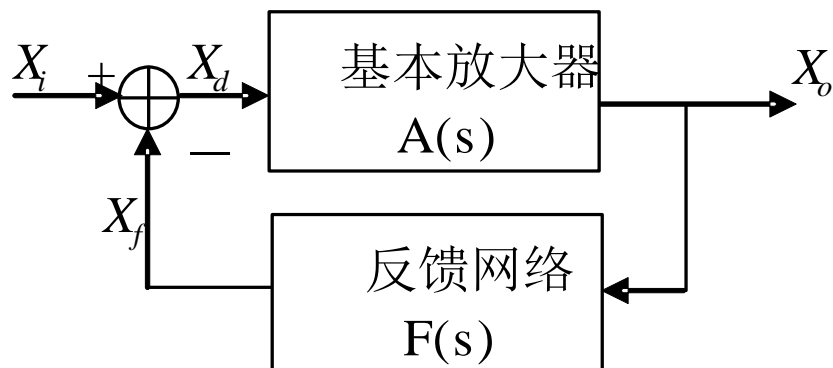
## 2. 单环负反馈放大器的理想模型

### ■ 基本关系式



$$\begin{cases} X_d = X_i - X_f \\ X_f = F(s)X_o \\ X_o = A(s)X_d \end{cases}$$

## 2. 单环负反馈放大器的理想模型



### ■ 开环传递函数

$$A(s) = \frac{X_o}{X_d} = \frac{X_o}{X_i} \Big|_{X_f=0}$$

### ■ 反馈函数

$$F(s) = \frac{X_f}{X_o}$$

## 2. 单环负反馈放大器的理想模型

### ■ 说明

- $X_f = 0$  的含义是反馈网络输出量为0，但是请注意，作为环路的一部分，反馈网络依然存在
- $A(S)$  和  $F(S)$  都有四种形式

## 2. 单环负反馈放大器的理想模型

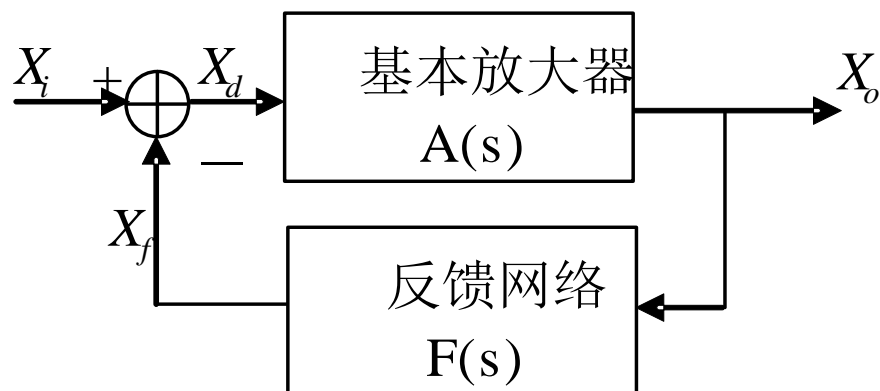
### ■ 闭环传递函数

$$A_f(s) = \frac{X_o}{X_i}$$

### ■ 环路传递函数

$$T(s) = \frac{-X_f}{X_d}$$

$$T(s) = \frac{-X_f}{X_d} = -\frac{X_f}{X_o} \cdot \frac{X_o}{X_d} = -F(s)A(s)$$

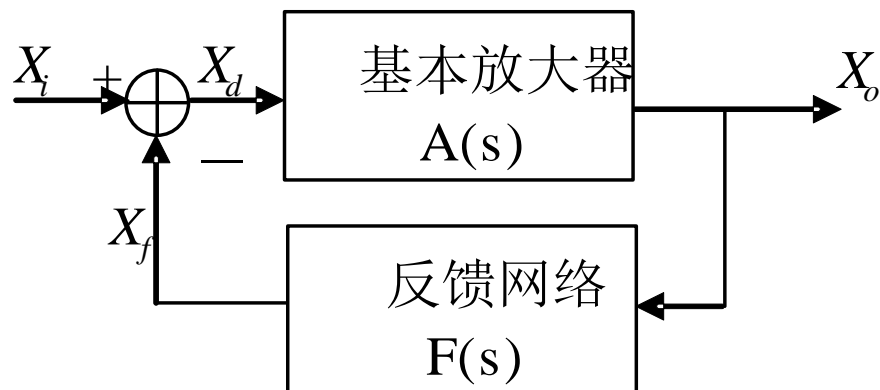




## 2. 单环负反馈放大器的理想模型

### ■ 反馈深度

$$D(s) = \frac{X_i}{X_d}$$



$$\begin{aligned} D(s) &= \frac{X_d + X_f}{X_d} = 1 + \frac{X_f}{X_d} \\ &= 1 + A(s)F(s) = 1 - T(s) \end{aligned}$$

## 2. 单环负反馈放大器的理想模型

### ■ 关于反馈深度的讨论

$$D = 1: \text{ 无反馈 } \begin{cases} X_i = X_d \\ X_f = 0 \end{cases}$$

$D > 1$ : 负反馈

$D < 1$ : 正反馈

### 3. 基本反馈方程式

#### ■ 闭环传递函数

$$A_f(s) = \frac{X_o}{X_i}$$

$$A_f(s) = \frac{X_o}{X_i} = \frac{X_o}{X_d} \cdot \frac{X_d}{X_i} = \frac{A(s)}{D(s)}$$

形式一

$$= \underbrace{\frac{A(s)}{1 + A(s)F(s)}}_{\text{形式二}} = \underbrace{\frac{A(s)}{1 - T(s)}}_{\text{形式三}}$$

### 3. 基本反馈方程式

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{D(s)} = \underbrace{\frac{A(s)}{1 + A(s)F(s)}}_{\text{形式二}} = \underbrace{\frac{A(s)}{1 - T(s)}}_{\text{形式三}}$$

形式一

#### ■ 形式一

- 加入负反馈后，闭环放大器的增益下降了**D**倍

#### ■ 形式二

- 闭环增益仅由基本放大器开环增益函数和反馈函数决定

## 4. 深度负反馈放大器

### ■ 深度负反馈条件

$$A(s)F(s) \gg 1$$

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{1 + A(s)F(s)} \approx \frac{A(s)}{A(s)F(s)} = \frac{1}{F(s)}$$

### ■ 说明

- 深度负反馈放大器的闭环性质完全由反馈网络决定，而与基本放大器无关

## 4. 深度负反馈放大器

### ■ 深度负反馈的意义和作用

- 基本放大器的性质一般来说是温度敏感的，而反馈网络（多数由电阻构成）性质完全可以精确地确定，则深度负反馈情况下，可以避免温度、供电电压等对放大器闭环性质的影响

## 4. 深度负反馈放大器

### ■ 稳定性问题

- 多级放大器在设计时，引入反馈网络并在中频设计为负反馈，然而在高频工作时，由于附加相移的存在，导致多级放大器的附加相移就可能达到**180度**，则**AF**乘积由正变负，导致负反馈可能变成为正反馈，故而需要考虑负反馈放大器的稳定性问题

$$A_f(s) = \frac{A(s)}{D(s)} \bigg|_{D(s) \neq 0}$$