



廣東工業大學  
Guangdong University of Technology

广东工业大学

# 通信电路与系统

信息工程学院

李志忠



廣東工業大學  
Guangdong University of Technology

广东工业大学

## 第七章 角度调制与解调

信息工程学院

李志忠

# 目录

7.1

概述

7.2

频率调制

7.3

相位调制

7.4

鉴频方法

7.5

相位鉴频器

7.6

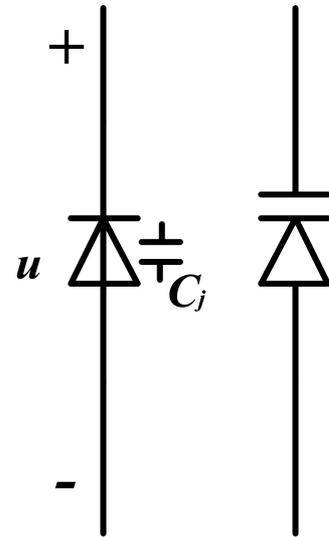
比例鉴频器

# ◆ 7.2 频率调制

## 一. 变容二极管简介

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{u}{U_B}\right)^n}$$

势垒电容  $\longrightarrow$   $\left\{ \begin{array}{l} u \text{ 反向电压} \\ \text{电流近似为零} \end{array} \right.$



$C_{j0}$  是  $U_D = 0$  时变容二极管的结电容

$U_B$  是变容二极管的势垒电压，通常取0.6 ~ 0.7V左右

$n$ : 变容指数取值1/3-6之间

$n < 1/2$

$1/2 < n < 1$

$n > 1$

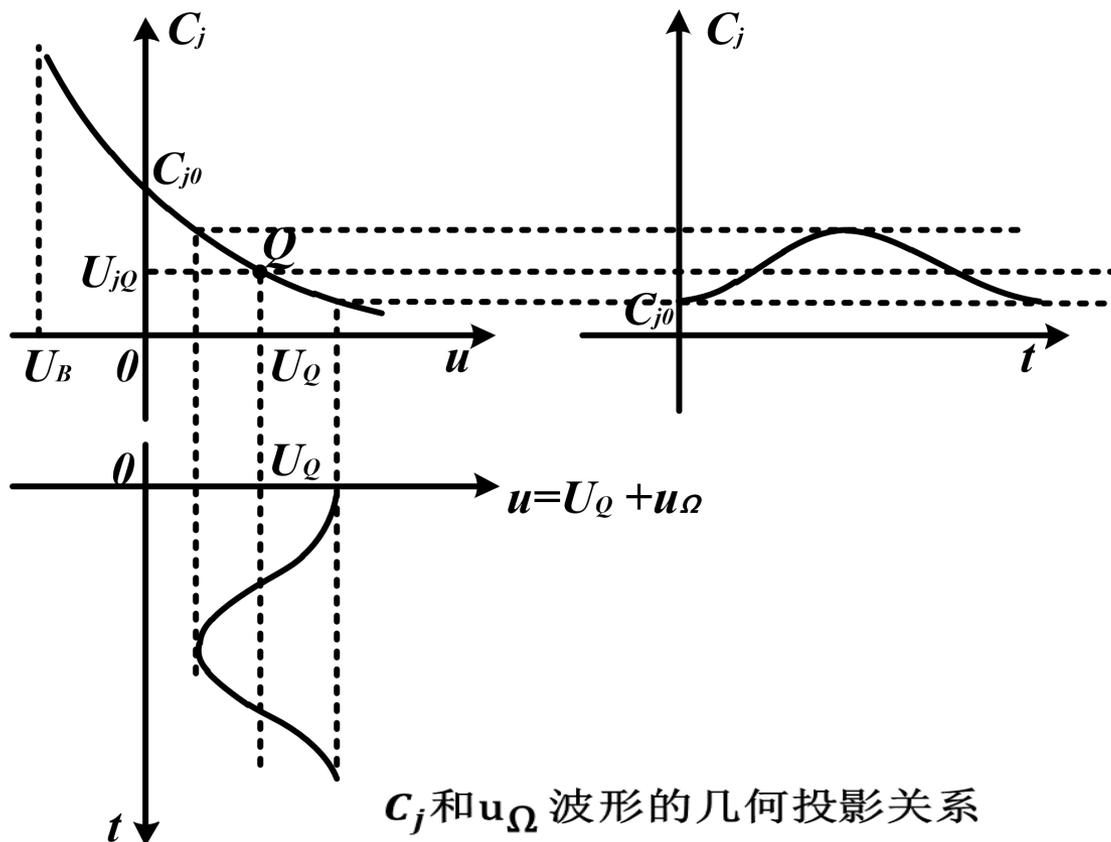
缓变结

突变结

超越突变结

# 7.2 频率调制

## 一、变容二极管简介



变容二极管**串联或并联**适当的电容，可获得实际所需变容特性

# 7.2 频率调制

## 一、变容二极管简介

(1) 全部接入式变容二极管调频  $u = U_Q + u_\Omega$

$$\begin{aligned}\omega(t) &= \frac{1}{\sqrt{LC_j}} = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{u}{U_B}\right)^n}}} = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{U_Q + u_\Omega}{U_B}\right)^n}}} = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{U_Q}{U_B}\right)^n \left(1 + \frac{U_Q + u_\Omega}{U_B}\right)^n}}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{U_Q}{U_B}\right)^n}} \left(1 + \frac{U_Q + u_\Omega}{U_B}\right)^{\frac{n}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}} \left(\frac{U_B + U_Q + u_\Omega}{U_B + U_Q}\right)^{\frac{n}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}} \left(1 + \frac{u_\Omega}{U_B + U_Q}\right)^{\frac{n}{2}}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}}} \left(1 + \frac{U_{\Omega m} \cos \Omega t}{U_B + U_Q}\right)^{\frac{n}{2}} = \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}}} (1 + m \cos \Omega t)^{\frac{n}{2}}\end{aligned}$$

**静态电容**  $C_{jQ} = \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{U_Q}{U_B}\right)^n}$

$m = \frac{u_{\Omega m}}{U_B + U_Q}$  结电容调制度，表征  $u_\Omega$  改变  $C_j$  的能力

## ◆ 7.2 频率调制

### 一、变容二极管简介

$$\omega(t) = \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}}} (1 + m \cos \Omega t)^{\frac{n}{2}} \quad m = \frac{U_{\Omega m}}{U_B + U_Q}$$

变容指数 $n=2$ 时

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}}} (1 + m \cos \Omega t) = \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}}} + \frac{m \cos \Omega t}{\sqrt{LC_{jQ}}} \\ &= \omega_c + \Delta \omega_m \cos \Omega t \end{aligned}$$

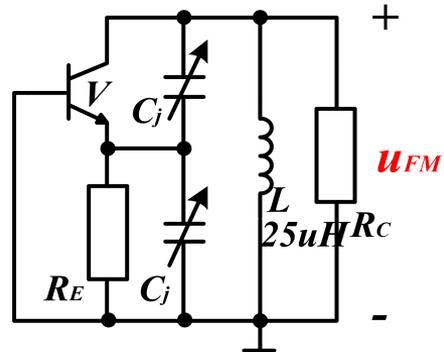
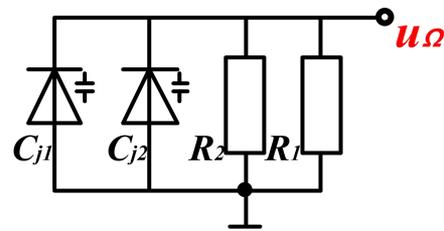
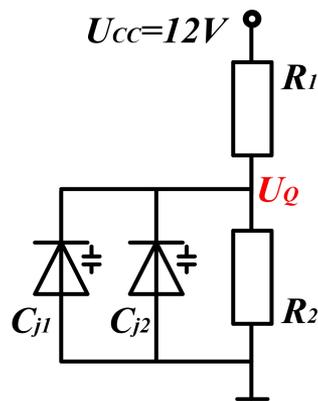
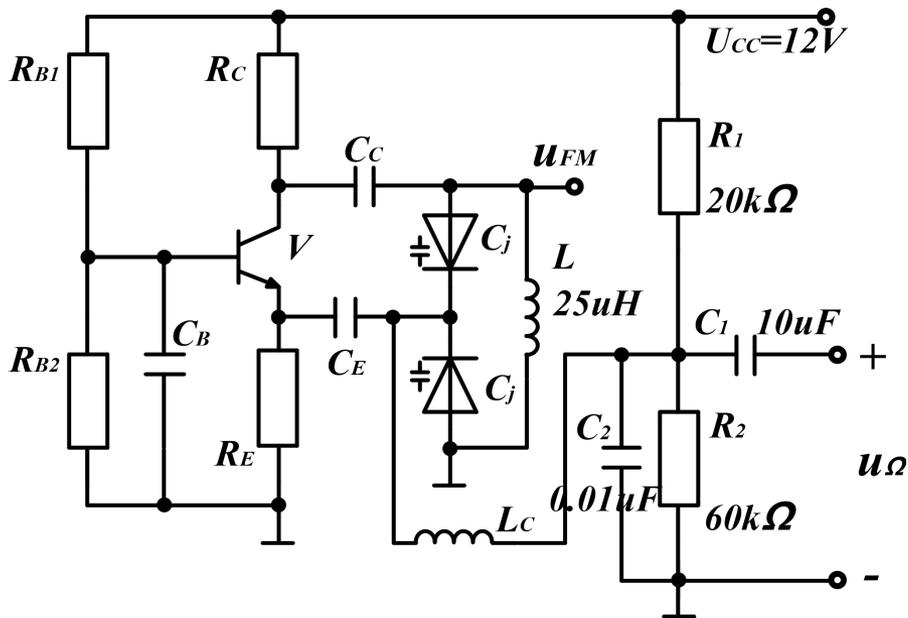
调频信号的频率变化正比于  $u_{\Omega}$ ，实现的是没有失真的线性调频

变容指数 $n \neq 2$ 时，如果 $m \ll 1$ ，利用  $(1+x)^n \approx 1+nx$  ( $|x| \ll 1$ )

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}}} \left( 1 + \frac{n}{2} m \cos \Omega t \right) = \frac{1}{\sqrt{LC_{jQ}}} + \frac{nm \cos \Omega t}{2\sqrt{LC_{jQ}}} \\ &= \omega_c + \Delta \omega_m \cos \Omega t \end{aligned}$$

# 7.2 频率调制

[例7.2.2]调频电路如图所示，变容二极管结电容： $u_{\Omega} = 10\sin(2\pi \times 10^4 t) \text{ mV}$   
 画出交流通路，计算振荡频率 $\omega(t)$ 和最大频偏 $\Delta\omega_m$ ，设 $u_{FM}$  振幅为 $u_{sm}$ ，  
 写出其表达式。



## 7.2 频率调制

$$U_Q = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{CC} = \frac{60k\Omega}{20k\Omega + 60k\Omega} \times 12V = 9V$$

$$C_{jQ} = \frac{C_{j0}}{\left(1 + \frac{U_Q}{U_B}\right)^n} = \frac{200pF}{\left(1 + \frac{9V}{1V}\right)^2} = 2pF$$

$$\omega(t) = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_j}{2}}} = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_{jQ}}{2}}} \left(1 + \frac{U_\Omega}{U_B + U_Q}\right)^{\frac{n}{2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{25\mu H \times \frac{2pF}{2}}} \left(1 + \frac{10 \sin 2\pi \times 10^4 \text{tmV}}{1V + 9V}\right)^{\frac{2}{2}}$$

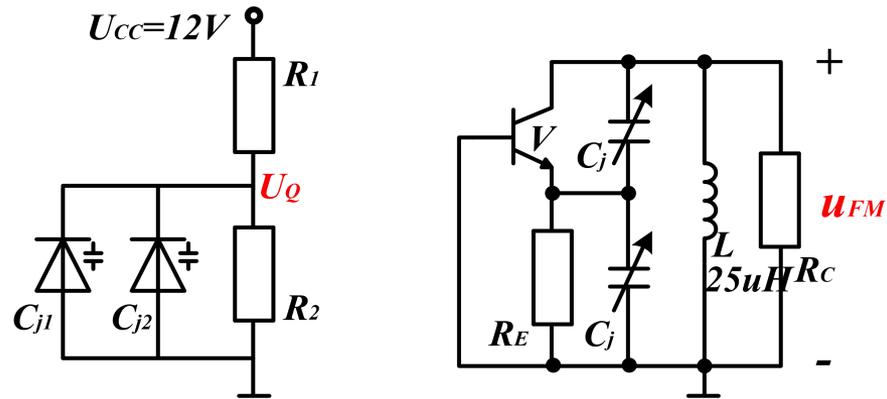
$$= (2 \times 10^8 + 2 \times 10^5 \sin 2\pi \times 10^4 t) \text{rad} / s$$

$$\Delta\omega_m = 2 \times 10^5 \text{rad} / s$$

$$\varphi(t) = \int^t \omega(t) dt = \int^t (2 \times 10^8 + 2 \times 10^5 \sin 2\pi \times 10^4 t) dt$$

$$= 2 \times 10^8 t - \frac{10}{\pi} \cos 2\pi \times 10^4 t + \varphi_0 \text{rad}$$

$$u_{FM} = u_{sm} \cos \varphi(t) = u_{sm} \cos \left(2 \times 10^8 t - \frac{10}{\pi} \cos 2\pi \times 10^4 t + \varphi_0\right) V$$



双变容二极管最大频偏为原来的 $\sqrt{2}$ 倍，  
还可使每个二极管上的高频信号电压减小  
为原来的一半，减小了高频信号电压  
对结电容的影响。

## ◆ 7.2 频率调制

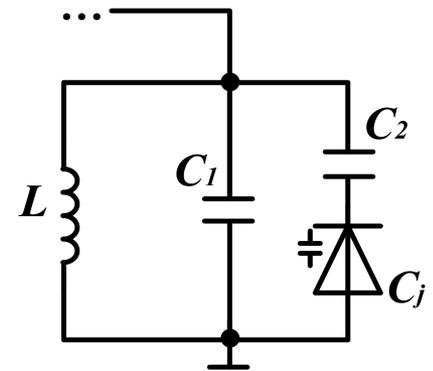
### (2) 部分接入式变容二极管调频

静态电容变容二极管与其他电容串联构成电容支路，电容接入系数小于1。变容二极管上的高频信号得以减小，提高了调频质量。

$$\omega(t) = \frac{1}{\sqrt{LC_{\Sigma}}} \quad C_{\Sigma Q} = C_1 + \frac{C_2 C_{jQ}}{C_2 + C_{jQ}} \quad C_{\Sigma} = C_1 + \frac{C_2 C_j}{C_2 + C_j}$$

$$p = \left(1 + \frac{C_{jQ}}{C_2}\right) \left(1 + \frac{C_1}{C_{jQ}} + \frac{C_{jQ} C_1}{C_2 + C_{jQ}}\right)$$

$$\begin{aligned} \omega(t) &= \frac{1}{\sqrt{LC_{\Sigma Q}}} \left(1 + \frac{n}{2p} m \cos \Omega t\right) = \frac{1}{\sqrt{LC_{\Sigma Q}}} + \frac{1}{\sqrt{LC_{\Sigma Q}}} \frac{n}{2p} m \cos \Omega t \\ &= \omega_c + \Delta \omega_m \cos \Omega t \end{aligned}$$



**结电容调制度**  $m \ll 1, nm / p \ll 1$

**谢谢!**