



第 6 章 振幅调制、解调及混频

➤ 6.1 振幅调制

➤ 6.2 调幅信号的解调

➤ 6.3 混频

➤ 6.4 混频器的干扰



6.2 调幅信号的解调

一、调幅解调的方法

概念：

从高频已调信号中恢复出调制信号的过程称为**解调**，又称为**检波**。

对振幅调制信号，解调就是从它的**幅度变化上提取调制信号**的过程。

分类：包络检波、同步检波

(1) 包络检波

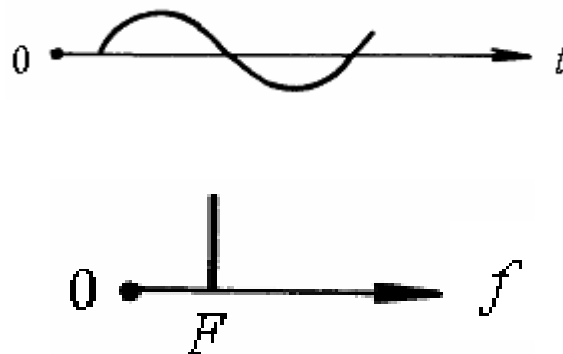
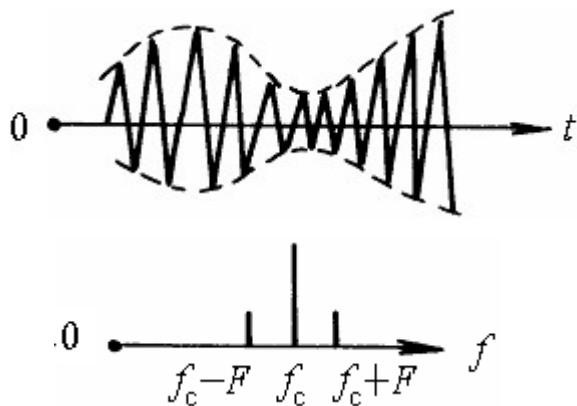
解调器输出电压与输入已调波的包络成正比的检波方法





6.2 调幅信号的解调

一、调幅解调的方法



(2) 同步检波

DSB, SSB 信号的包络不同于调制信号, 因此不能用包络检波, 需要用同步检波。

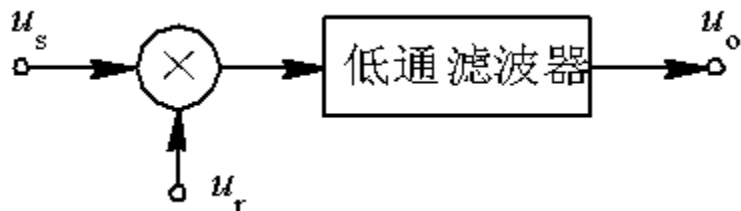


6.2 调幅信号的解调

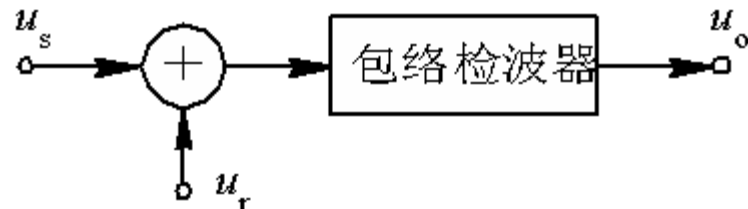
一、调幅解调的方法

(2) 同步检波

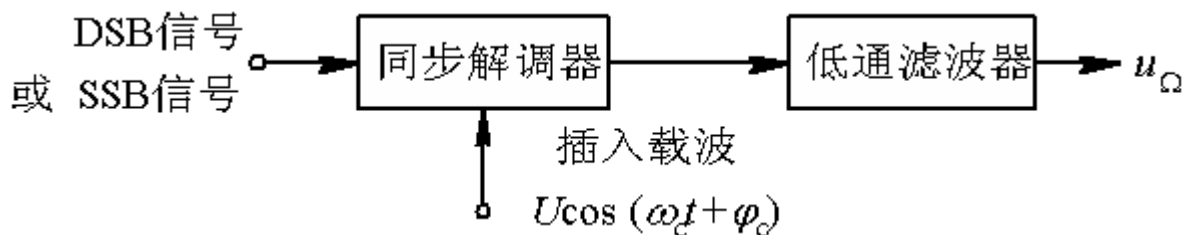
乘积型（相干检波）



叠加型（载波恢复）



U_r ——恢复载波，它应该与调制端的载波电压完全同步（同频同相），这也是同步检波名称的由来。

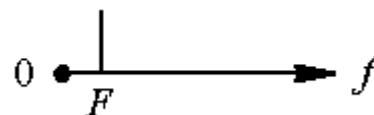
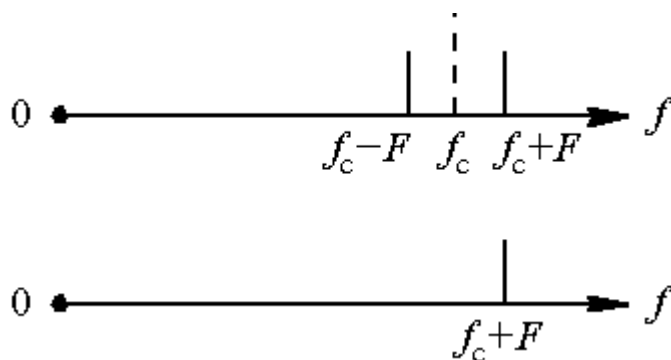
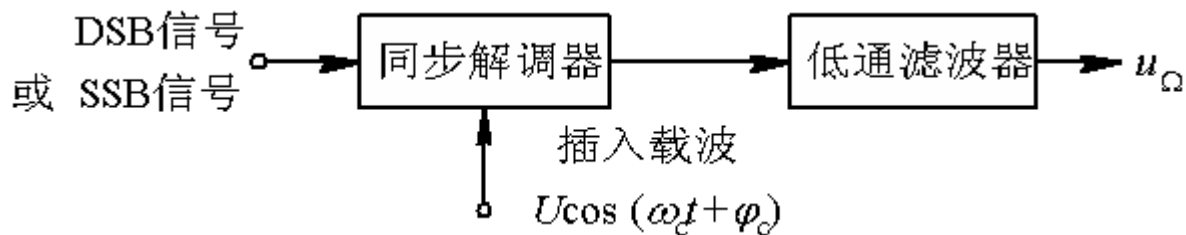




6.2 调幅信号的解调

一、调幅解调的方法

(2) 同步检波



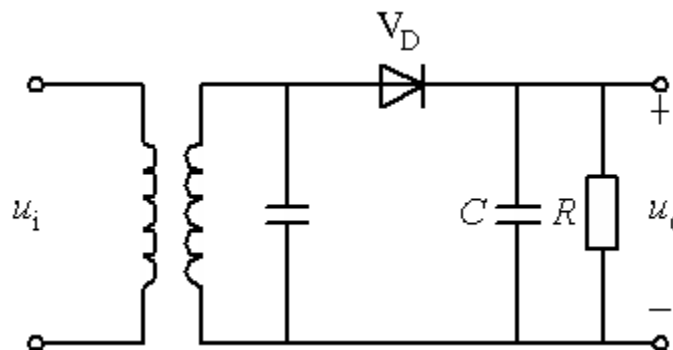


6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

电路由输入回路、二极管 V_D 和 RC 低通滤波器组成。



$$\frac{1}{\omega_c C} \ll R \quad \frac{1}{\Omega C} \gg R$$

ω_c 为输入信号的载频, 在超外差接收机中则为中频 ω_I , Ω 为调制频率。

在理想情况下, RC 网络的阻抗 Z 应为

$$Z(\omega_c) = 0 \quad Z(\Omega) = R$$

即 RC 网络中电容对高频短路, 对低频开路。



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

该电路中，信号源、非线性器件**二极管**及**RC网络**三者串联。该检波器工作于大信号状态，输入信号电压大于 0.5V。该检波器称为“**二极管串联型大信号峰值包络检波器**”

检波过程：

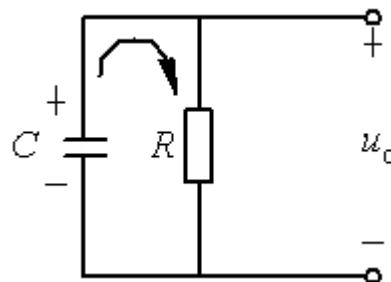
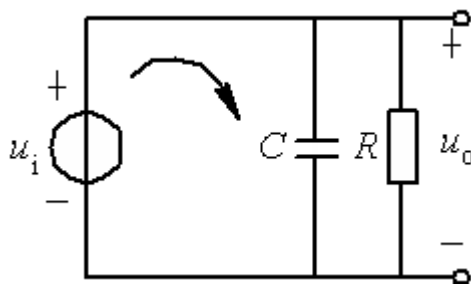
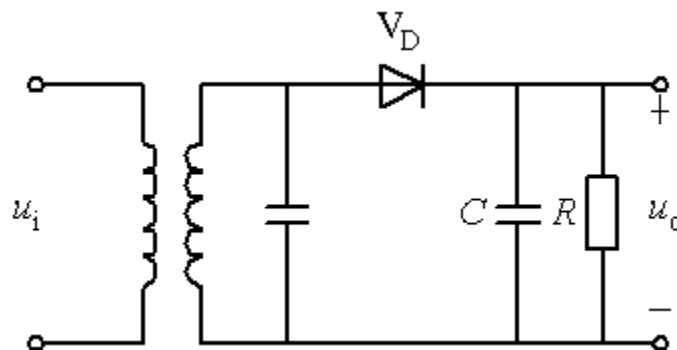
设输入信号为等幅高频电压，加电压前 C 上电荷为 0。

当 u_i 从 0 开始增大时，电容 C 的高频电阻很小，因此 u_i 几乎都加到二极管两端，VD 导通，C 充电。

R_d 很小，充电电流很大，充电时常数 $r_d C$ 很小，电容上的电压建立得很快，该电压又反向加到二极管上，此时二极管上的电压为：

$$u_d = u_i - u_c$$

当加到 VD 上的电压小于 0 时，二极管截止，



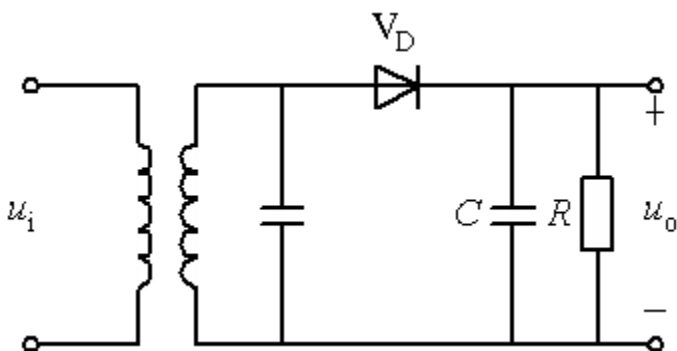


6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

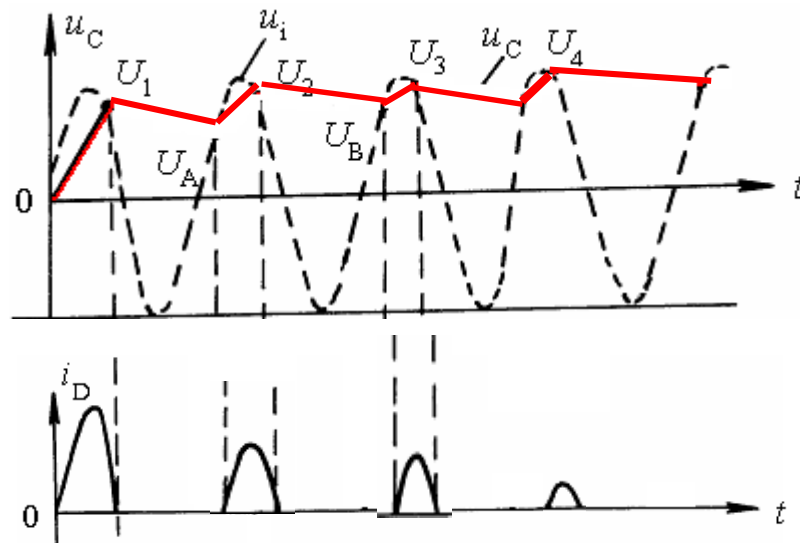
检波过程：



当 u_i 从 0 开始增加时，二极管导通，电容充电 $\rightarrow u_c \uparrow$ ， $u_d = u_i - u_c$

当 $u_c > u_i$ 时，二极管截至，电容放电， $u_c \downarrow$ ，二极管电流为 0

当 u_c 降至 $< u_i$ 时，二极管重新导通，电容开始充电， $u_c \uparrow$



$$\tau_{\text{充放}} = r_D C, \quad \tau = RC$$

因为 $R \gg r_D$ ，因

上述充放电过程循环执行，当 VD 导通时的充电电荷量等于放电电荷量时，电路并达到**动态平衡**



6.2 调幅信号的解调

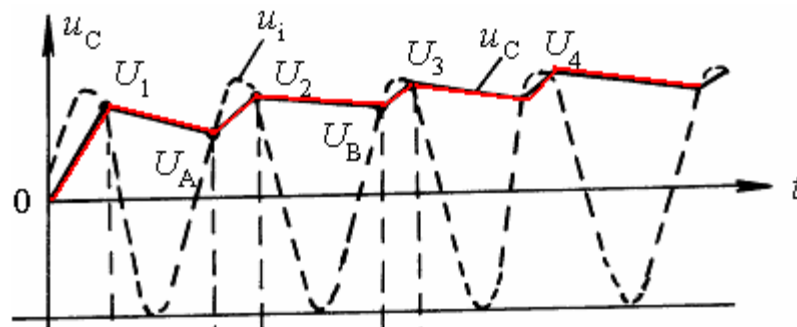
二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

在电路达到动态平衡过程之前的过程，称为暂态过程。
暂态过程一般很短暂，可以不予考虑，主要考虑稳态过程。

结论：

(1) 检波过程就是信号源通过二极管给电容充电与电容对电阻 R 放电的交替重复过程。



(2) 由于 RC 时常数远大于输入电压载波周期，放电慢，使得二极管负极永远处于正的较高的电位（输出电压接近于高频正弦波的峰值，即 $U_o \approx U_m$ ）。



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

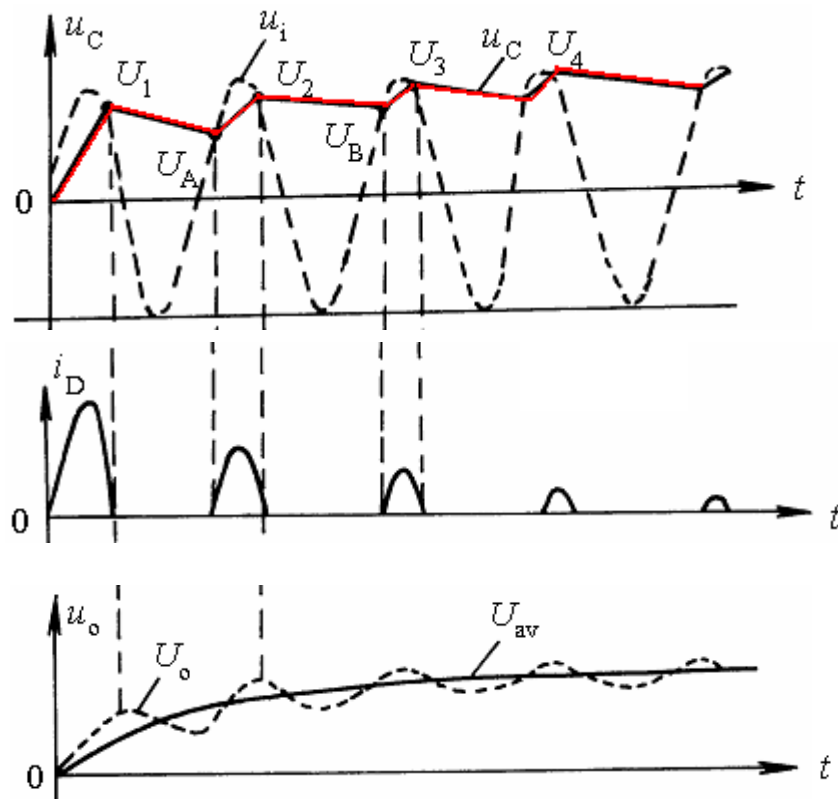
① 原理电路及工作原理

结论：

(3) 二极管只在输入电压的峰值附近才导通，导通时间很短，电流通角很小，二极管电流是一窄脉冲序列。

(4) 二极管电流 i_D 包含平均分量 (此种情况为直流分量) I_{av} 及高频分量。

I_{av} 流经电阻 R 形成平均电压 U_{av} ，它是检波器的有用输出电压；高频电流主要被 C 旁路，只剩很小的残余高频电压 Δu ，检波器输出电压 $u_o = U_{av} + \Delta u$



当电路元件选择正确，高频波纹电压很小，可以忽略，检波器输出电压为 $U_O = U_{av} = U_m$

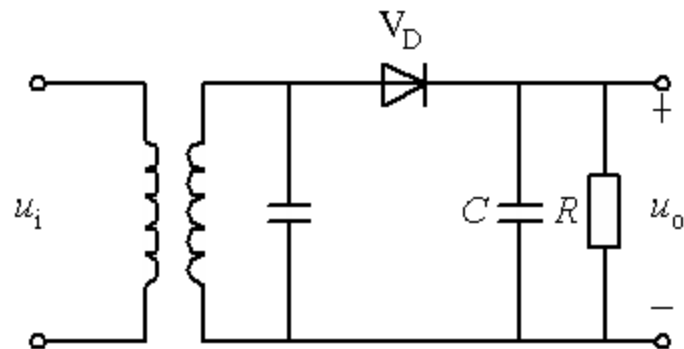
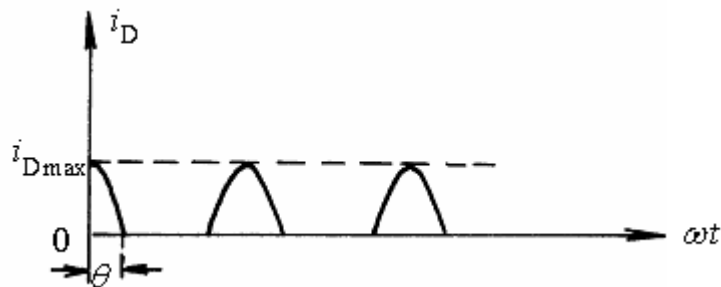
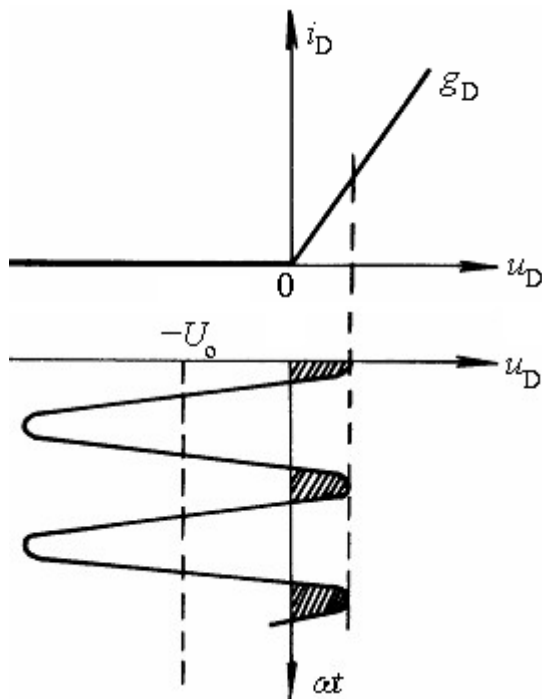


6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

大信号检波器在**稳定状态下**的二极管工作特性：



$$u_D = u_i - u_o$$



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

前面讨论了加入等幅波时，检波器的输出 $u_o = U_m = U_C$ ，即检波器的输出电压为**输入信号的包络**

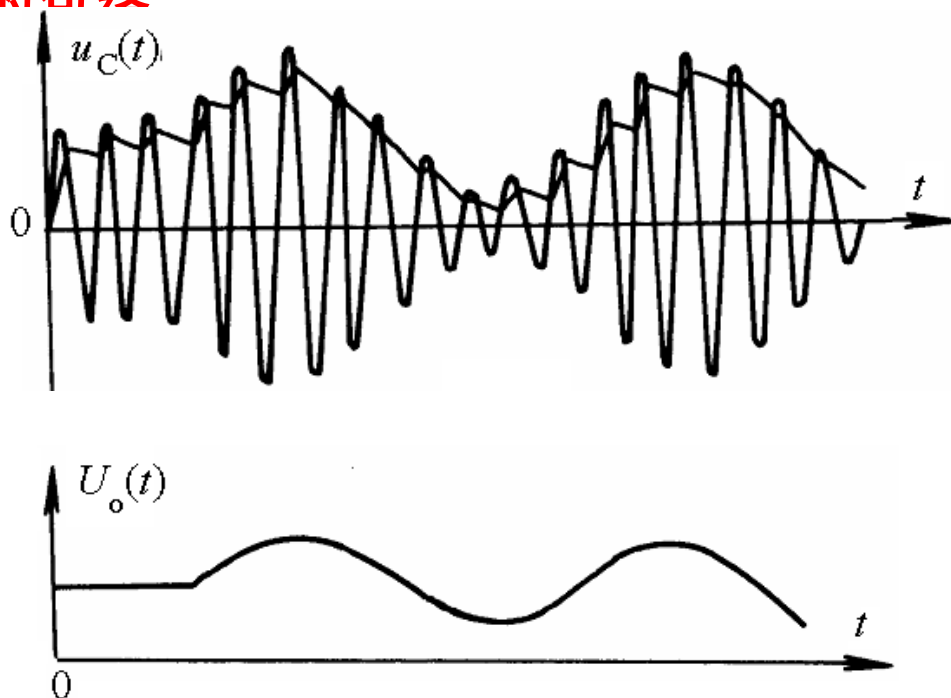
◆ 当输入信号为 AM 波

输出电压波形仍然与输入信号包络形状相同。

此时的平均电压 U_{av} 包含直流和低频分量，
即 $U_o(t) = U_{av} = U_{DC} + u_{\Omega}$

二极管两端的电压：

$$u_D = u_{AM} - U_o(t)$$





6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

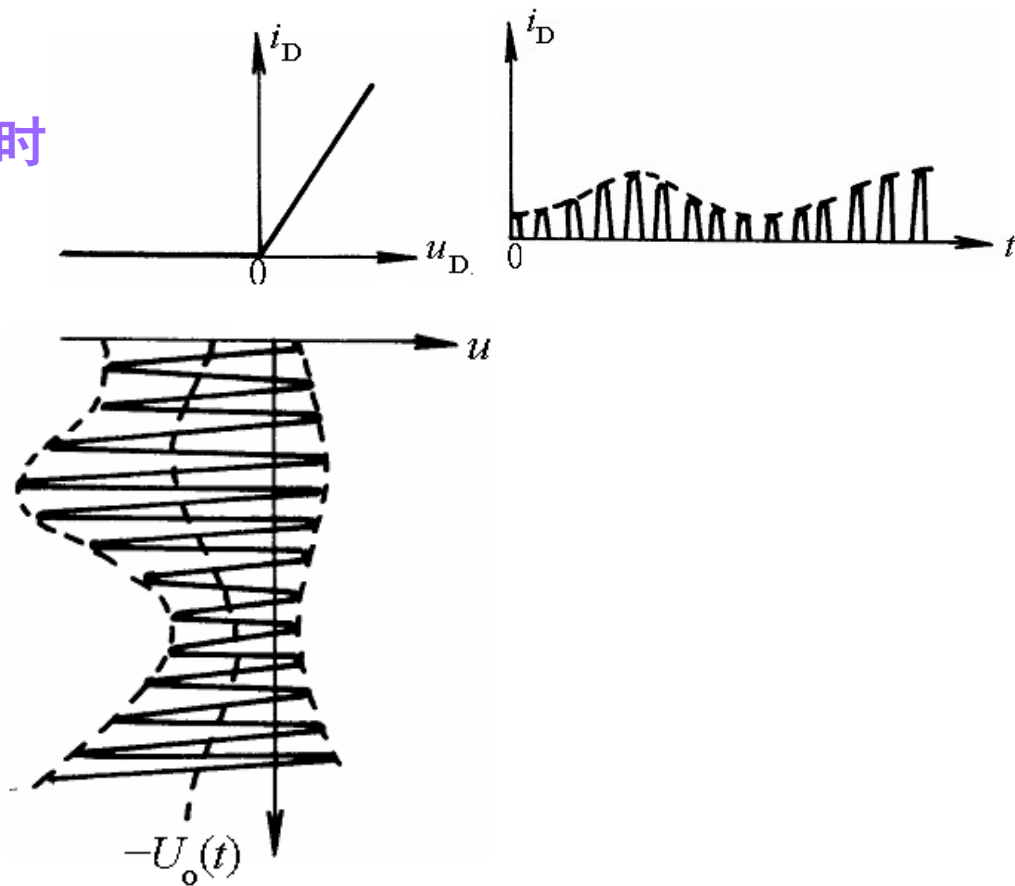
① 原理电路及工作原理

◆ 当输入信号为 AM 波时

$$u_D = u_{AM} - U_o(t)$$

二极管电压波形图：

二极管电流 i_D 中的高频分量被 C 旁路掉，直流 I_{dc} 及调制分量 i_Ω 流经 R 形成输出电压 u_o 。



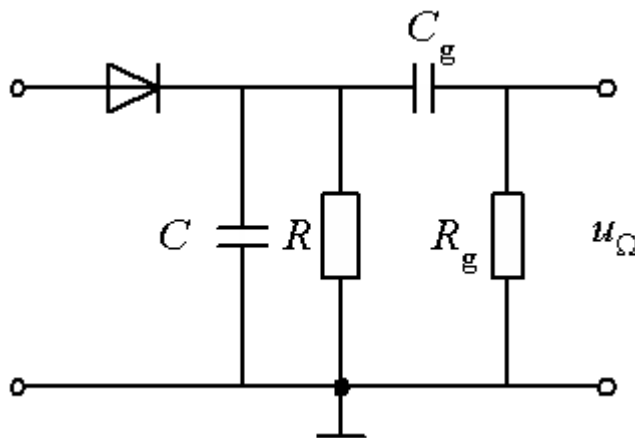


6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

检波电路中输出电压包含直流和调制分量，如果只需输出调制频率电压，则可在原电路的基础上增加隔直电容 C_g 和负载 R_g 。



此时输出电压只有调制频率存在，即 $u_o = u_\Omega$

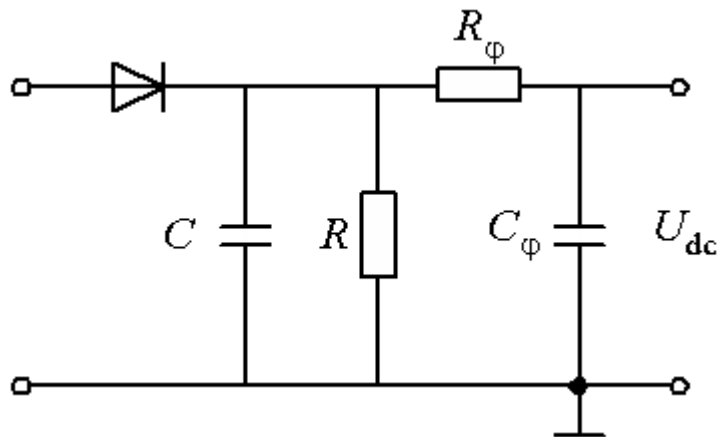


6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

① 原理电路及工作原理

如果需要检波器提供与载波电压大小成比例的直流电压，则可用低通滤波器取出直流分量。





6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

② 性能分析

1) 传输系数 K_d ◆

检波器**传输系数** K_d 或称为**检波系数**、**检波效率**——是用来描述检波器对输入已调信号的解调能力或效率的一个物理量。

若输入为载波电压，其振幅为 U_m ，输出直流电压为 U_o ，则 K_d 定义为

$$K_d = \frac{U_o}{U_m}$$

对 AM 信号，则定义为输出的低频电压振幅与高频已调波的包络振幅之比

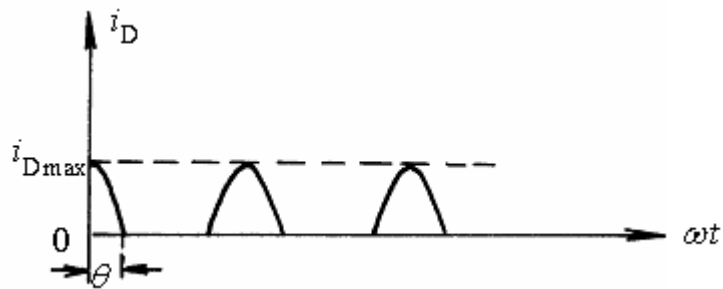
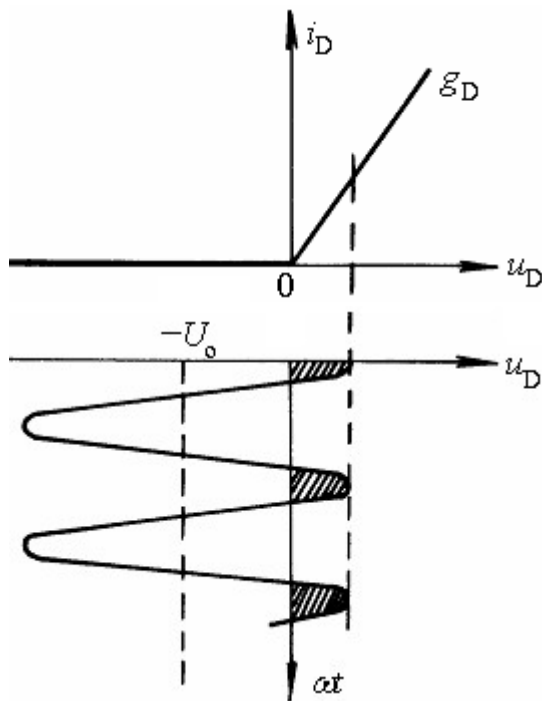
$$K_d = \frac{U_{\Omega}}{mU_C}$$



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

② 性能分析



$$K_d = \frac{U_o}{U_m} = \cos(\theta)$$
$$i_{Dmax} = g_D (U_m - U_o)$$
$$= g_D U_m (1 - \cos \theta)$$



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

② 性能分析

$$i_{D\max} = g_D U_m (1 - \cos \theta)$$

θ 为电流通角, i_D 为周期性脉冲, 其平均分量 I_0 为:

$$I_0 = i_{D\max} \alpha_0(\theta) = \frac{g_D U_m}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta)$$

$$\text{基频分量 } I_1 = i_{D\max} \alpha_1(\theta) = \frac{g_D U_m}{\pi} (\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

式中, $\alpha_0(\theta)$ 、 $\alpha_1(\theta)$ 为电流分解系数。

$$U_o = I_o R$$
$$\frac{U_o}{U_m} = \frac{I_o R}{U_m} = \frac{g_D R}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) = \cos(\theta)$$



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

② 性能分析

$$\frac{g_D R}{\pi} (\sin \theta - \theta \cos \theta) = \cos(\theta)$$
$$\tan \theta - \theta = \frac{\pi}{g_D R}$$

因为： $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$

一般 θ 很小，故 $\tan \theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3$

则： $\theta = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{g_D R}}$ 其中 $g_D = 1/r_D$



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

② 性能分析

$$\theta = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{g_D R}}$$

讨论：

(1) K_D 与 g_D 有关 $\frac{R}{R_D} \propto \theta \propto K_D$

V_D 截止时无功率， V_D 导通时，绝大部分功率消耗在 R 上

(2) K_D 与 U_c 无关。前提条件是 $U_c > 0.5$ ，大信号工作状态

(3) $U_c \propto \theta \propto i_{D\max} \propto I_{av} \propto U_o$

\propto 加到二极管上的反偏电压增大 $\propto \theta \propto$

$\theta = \text{常数}$

既然 θ 与 U_c 无关，当 U_c 按 u_Ω 变化时， θ 不变 $= \cos(\theta)$

当输入为 AM 信号时， $U_o = K_D U_m (1 + m \cos \Omega t)$



6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

② 性能分析

2) 输入阻抗 R_i

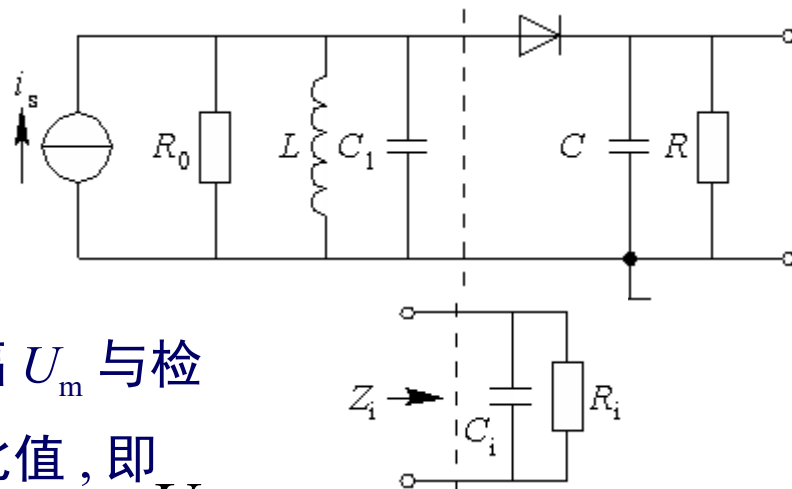
定义： 输入电阻是输入载波电压的振幅 U_m 与检波器电流的基频分量振幅 I_1 之比值，即

R_i 反映了检波器对前级电路影响的程度 $R_i \approx \frac{U_m}{I_1}$

$$I_1 = i_{D\max} a_1(\theta) = \frac{g_D U_m}{\pi} (\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$R_i = \frac{\pi}{g_D (\theta - \sin \theta \cos \theta)}$$

当 $\frac{R}{R_D} \ll 1$ 时 $\theta \approx \sin \theta \approx \theta - \frac{1}{6}\theta^3$ $\cos \theta \approx 1 - \frac{1}{2}\theta^2$





6.2 调幅信号的解调

二、二极管峰值包络检波

② 性能分析

$$\sin \theta \approx \theta - \frac{1}{6}\theta^3 \quad \cos \theta \approx 1 - \frac{1}{2}\theta^2$$

2) 输入阻抗 R_i ◆

$$\sin \theta \cos \theta \approx \theta - \frac{2}{3}\theta^3 + \frac{1}{12}\theta^5 \approx \theta - \frac{2}{3}\theta^3$$

$$R_i = \frac{\pi}{g_D(\theta - \sin \theta \cos \theta)} \quad \left. \vphantom{R_i = \frac{\pi}{g_D(\theta - \sin \theta \cos \theta)}} \right\} \longrightarrow R_i = \frac{\pi R_D}{\frac{2}{3}\theta^3}$$

因为 $\theta = \sqrt[3]{\frac{3\pi}{g_D R}} \longrightarrow R_i = \frac{R}{2}$

近似地认为前级输出功率全消耗在 R 上，则由能量守恒：

$$\frac{U_m^2}{2R_i} = \frac{U_o^2}{R} = \frac{(K_D U_m)^2}{R} \stackrel{K_D \approx 1}{=} \frac{U_m^2}{R} \longrightarrow R_i = \frac{R}{2}$$