



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

实验四

模拟乘法器调幅、解调 及二极管峰值检波

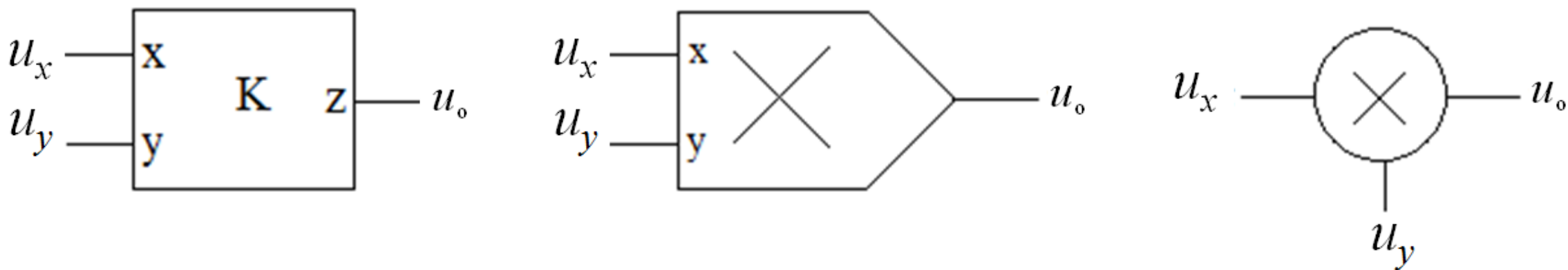
一、实验目的

1. 了解模拟乘法器的基本工作原理。
2. 掌握用模拟乘法器（MC1496）实现AM、DSB和SSB信号的调制方法。
3. 掌握模拟乘法器（MC1496）实现AM、DSB和SSB已调波的解调（同步检波）方法。
4. 掌握二极管峰值检波电路的实现方法。

二、实验原理

1. 模拟乘法器的基本概念

模拟乘法器能实现两个互不相关的模拟信号的相乘功能。

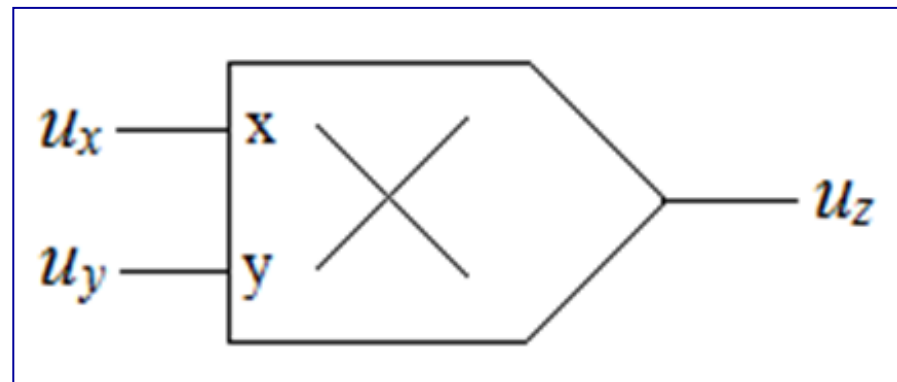


理想情况下，模拟乘法器的输出信号电压仅于两个输入信号电压的乘积成正比，即：

$$u_o(t) = k u_x(t) \cdot u_y(t)$$

设 $u_x(t) = U_{xm} \cos \omega_x t$

$$u_y(t) = U_{ym} \cos \omega_y t$$



则 u_x 和 u_y 相乘:

$$\begin{aligned} u_x(t)u_y(t) &= U_{xm} \cos \omega_x t \cdot U_{ym} \cos \omega_y t \\ &= \frac{1}{2} U_{xm} U_{ym} [\cos(\omega_x + \omega_y)t + \cos(\omega_x - \omega_y)t] \end{aligned}$$

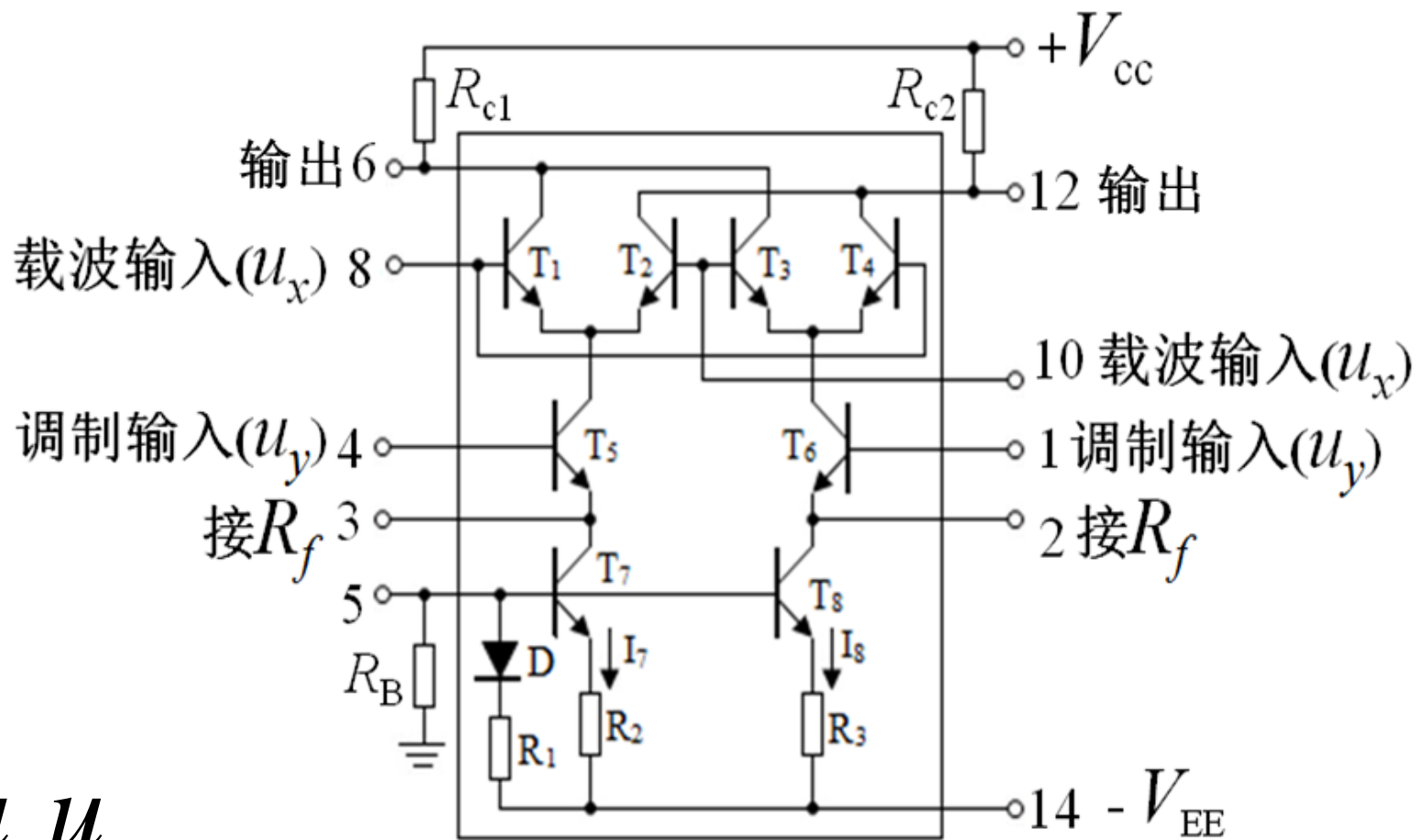
可见，利用模拟乘法器便于实现频率变换。

2. 模拟相乘器芯片

---MC1496

(1) 经理论推导，
当满足 $u_x \leq u_T$ (26mV)
时，MC1496即可实现两个模拟信号的线性相乘，即

$$u_o = \frac{R_C}{R_f u_T} u_x u_y$$



(2) 当 $u_x > u_T$ (26mV) 时, u_x 信号输入端的差分对管工作在开关状态。模拟相乘器的输出信号为:

$$u_o = -2 \frac{R_L}{R_f} u_y K(\omega_x t)$$

$$K(\omega_x t) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{4}{(2n-1)\pi} \cos(2n-1)\omega_x t$$

3.模拟乘法器调幅

设高频载波信号为: $u_c = U_{cm} \cos \omega_c t$; 低频调制信号为: $u_\Omega = U_{\Omega m} \cos \Omega t$

(1) 假设将 u_Ω 与一直流 $U_{\text{直流}}$ 叠加后再与 u_c 相乘, 则可得到普通调幅信号:

$$u_\Omega = U_{\text{直流}} + U_{\Omega m} \cos \Omega t$$

$$\begin{aligned} u_{AM} &= kU_{cm} \cos \omega_c t (U_{\text{直流}} + U_{\Omega m} \cos \Omega t) \\ &= kU_{\text{直流}} U_{cm} \cos \omega_c t + kU_{cm} U_{\Omega m} \cos \omega_c t \cos \Omega t \\ &= kU_{\text{直流}} U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{k}{2} U_{\Omega m} U_{cm} [\cos(\omega_c + \Omega)t + \cos(\omega_c - \Omega)t] \end{aligned}$$

令 $m = U_{\Omega m}/U_{\text{直流}}$, 则 $u_{AM} = kU_{\text{直流}} U_{cm} (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t$

(2) 若将载波信号 u_c 与调制信号 u_Ω 直接相乘，可得到抑制载波的DSB信号：

$$\begin{aligned} u_{DSB} &= k u_\Omega(t) u_c(t) \\ &= k U_{\Omega m} U_{Cm} \cos \Omega t \cos \omega_c t \\ &= \frac{k}{2} U_{\Omega m} U_{Cm} [\cos(\omega_c + \Omega)t + \cos(\omega_c - \Omega)t] \end{aligned}$$

(3) 如果在DSB信号的输出端再加一级带通滤波器，取出双边带信号的一个边带，则可得到单边带调制SSB信号：

$$U_{SSB} = \frac{k'}{2} U_{cm} U_{\Omega m} \cos(\omega_c + \Omega)t$$

或
$$U_{SSB} = \frac{k'}{2} U_{cm} U_{\Omega m} \cos(\omega_c - \Omega)t$$

4. 模拟乘法器同步检波

设输入信号: $u_s = kU_{sm} \cos \Omega t \cos \omega_c t$

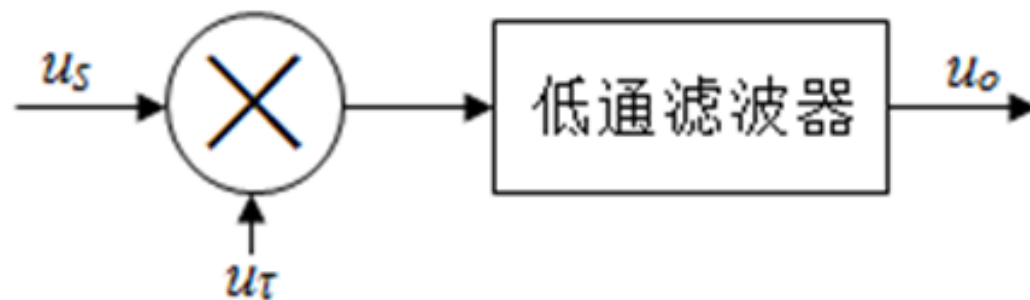
本地恢复载波: $u_\tau = kU_{\tau m} \cos(\omega_\tau t + \varphi)$

则乘积型同步检波输出为

$$\begin{aligned} u_o &= ku_s u_\tau = kU_{sm} U_{\tau m} \cos \Omega t \cos \omega_c t \cos(\omega_\tau t + \varphi) \\ &= \frac{k}{2} kU_{sm} U_{\tau m} \cos \Omega t \left\{ \cos[(\omega_c + \omega_\tau)t + \varphi] + \cos[(\omega_c - \omega_\tau)t - \varphi] \right\} \end{aligned}$$

经低通滤波器后 $u_o = U_{om} \cos \Omega t \cos[(\omega_c - \omega_\tau)t - \varphi]$

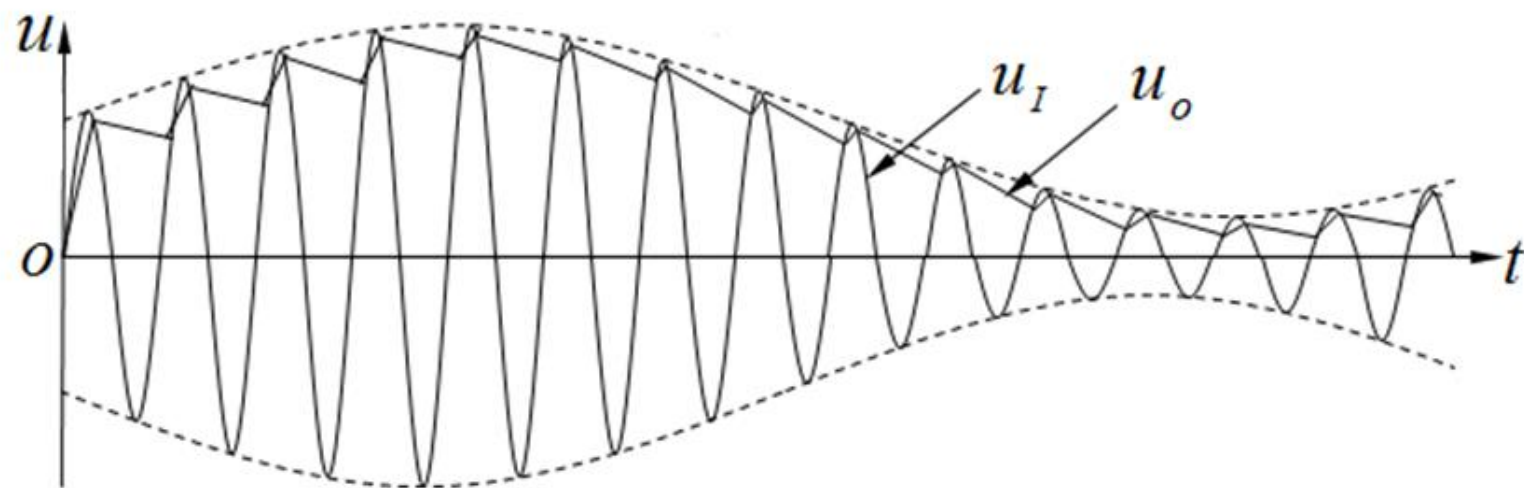
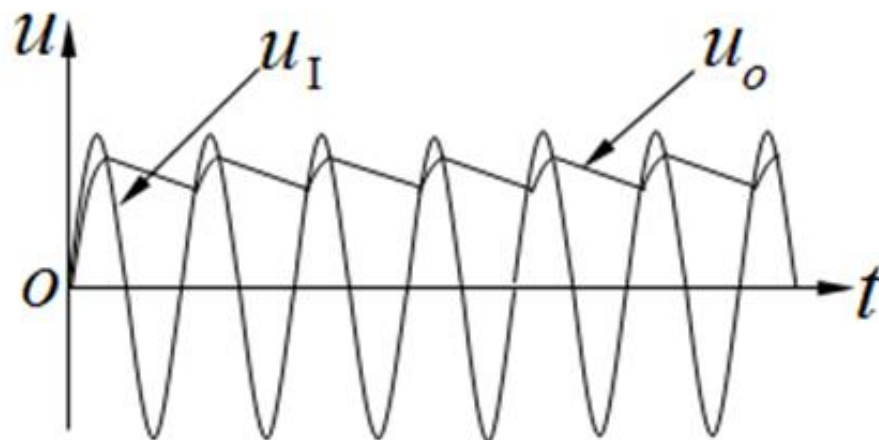
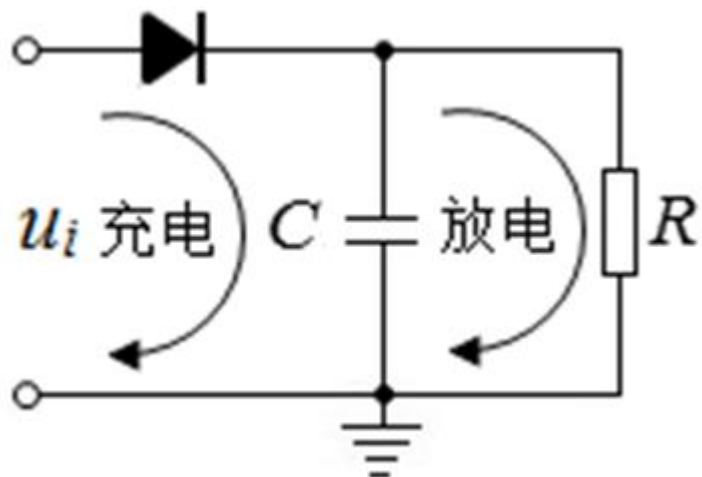
由上式看出, 当 $\omega_c = \omega_\tau$ 且 $\varphi = 0$ 时, $u_o = U_{om} \cos \Omega t$



5. 二极管峰值包络检波

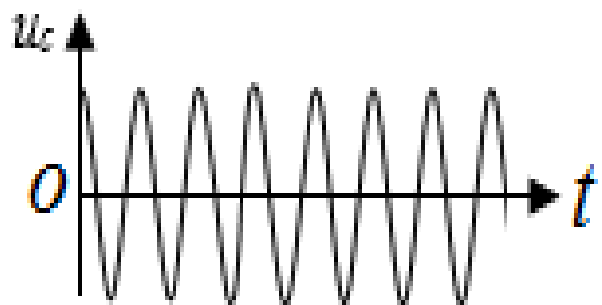
- (1) 利用二极管单向导电特性和RC低通滤波器充放电特性，直接提取出AM波中的包络就还原出调制信号。
- (2) 只适用于普通AM波，即振幅的变化(包络)直接反映调制信号的变化规律。
- (3) 二极管峰值包络检波电路简单、线性好、易于实现等。
一般要求输入电压在0.5V以上，通常在1V左右

(4) 二极管峰值包络检波原理



(5) 电压传输系数 k (检波效率)

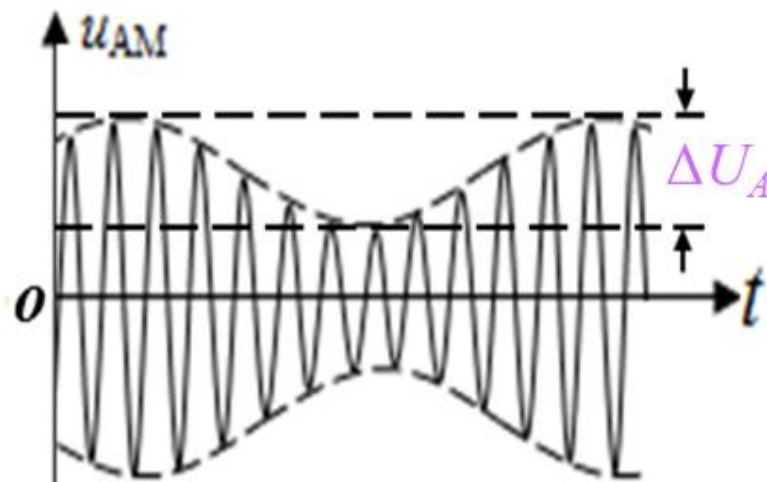
检波器输出电压与输入高频电压(载波)振幅之比。



$$k_d = \frac{V_o}{U_{cm}}$$

—检波器输出直流电压

—输入高频等幅信号幅值 (U_p)



$$k_{\Omega} = \frac{u_{om}}{mU_{cm}}$$

—输出低频信号的振幅 (U_{pp})

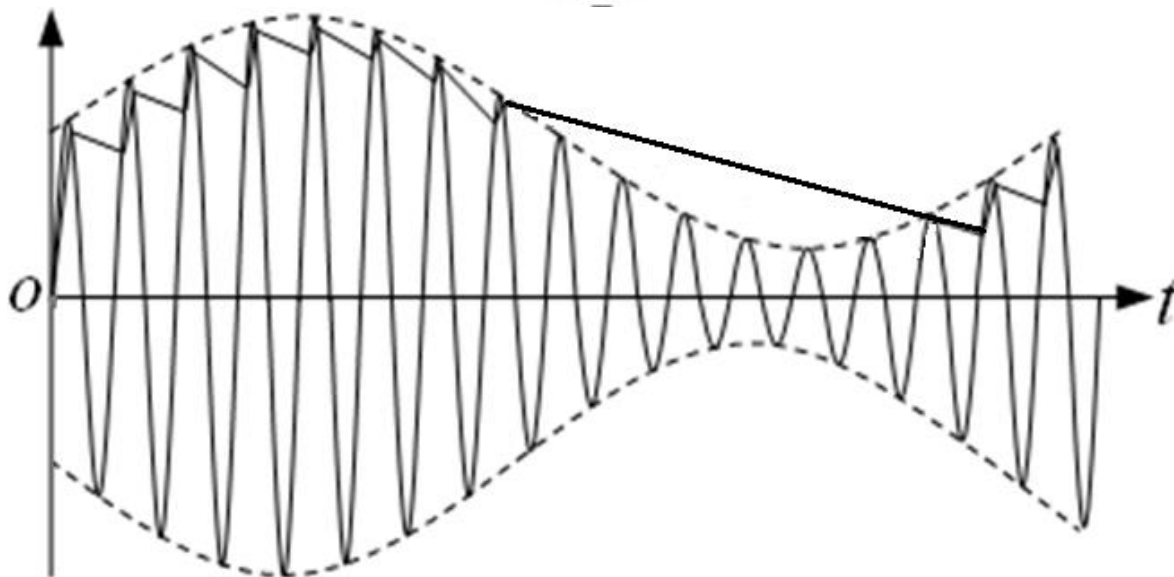
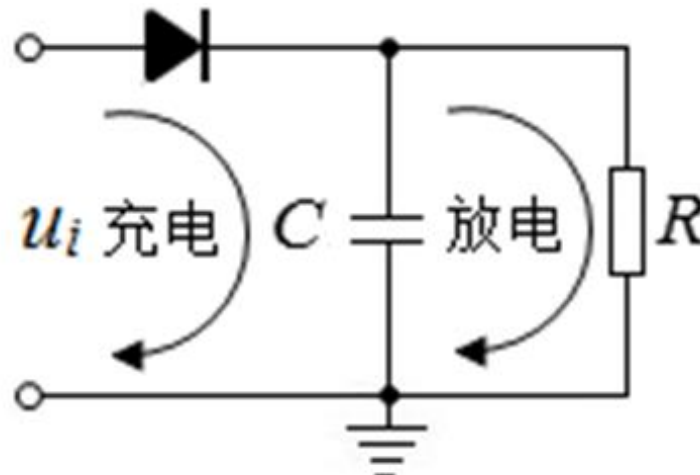
—输入高频已调波包络变化的振幅 (U_{pp}), 也可表示为

ΔU_{AmpP}

(6) 检波失真

① 惰性失真

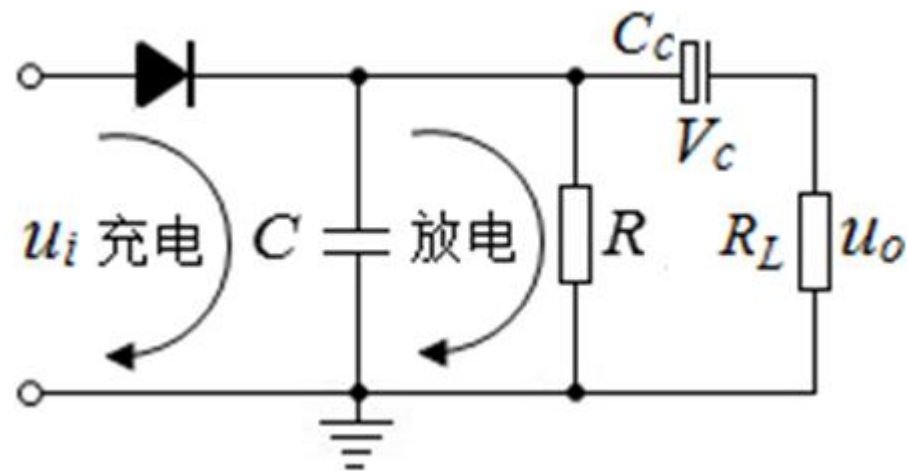
- C 大，滤波好； R 大，效率高，但 $\tau=RC$ 大。
- RC 的放电速度小于包络的下降速度，二极管截止，产生惰性(对边切割)失真，



②底部切割失真

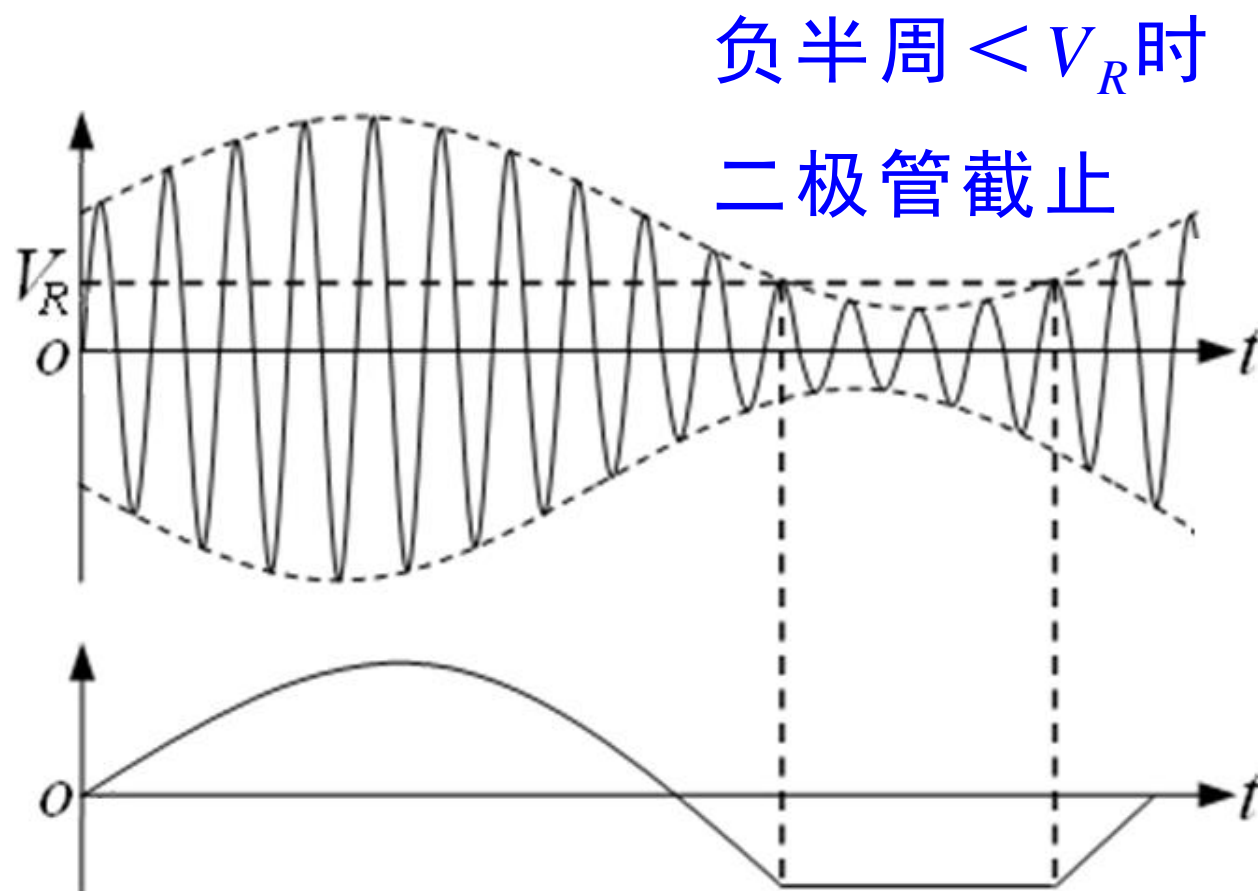
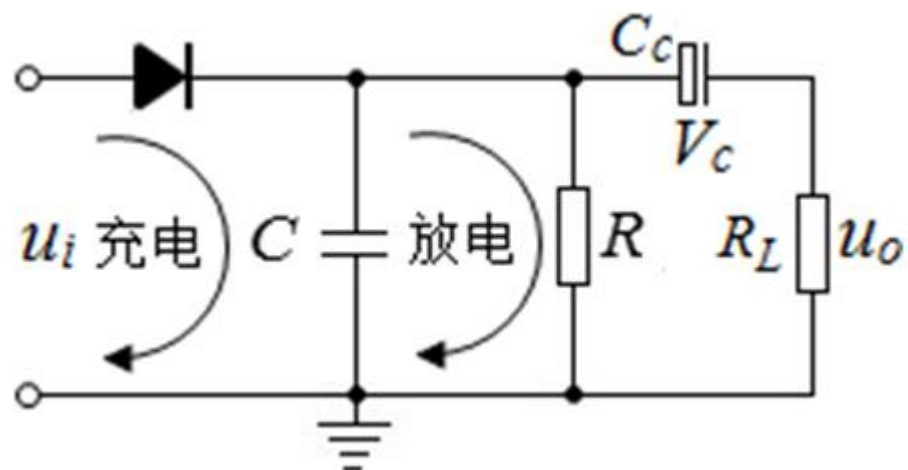
- 接入耦合电容 C_c ，隔直通交（调制信号）；
- C_c 上的直流电压 ($V_C \approx U_{im}$) 相对于二极管反偏，在调制信号一个周期内基本不变。
- 在 R 上的分压为：

$$V_R = \frac{R}{R + R_L} V_C$$



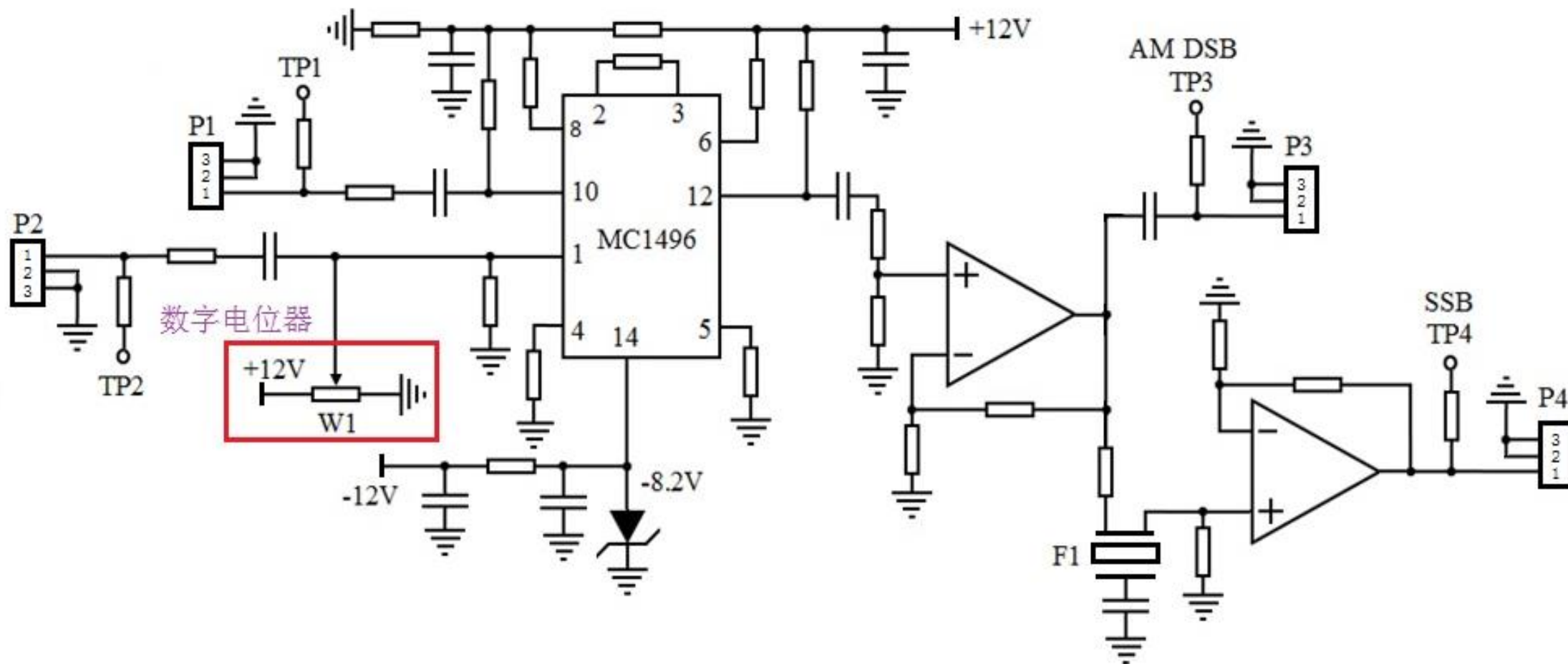
底部切割失真的原因：

- 直流负载 (R) 与交流负载 ($R//R_L$) 不同。
- 调制度 m 较大。

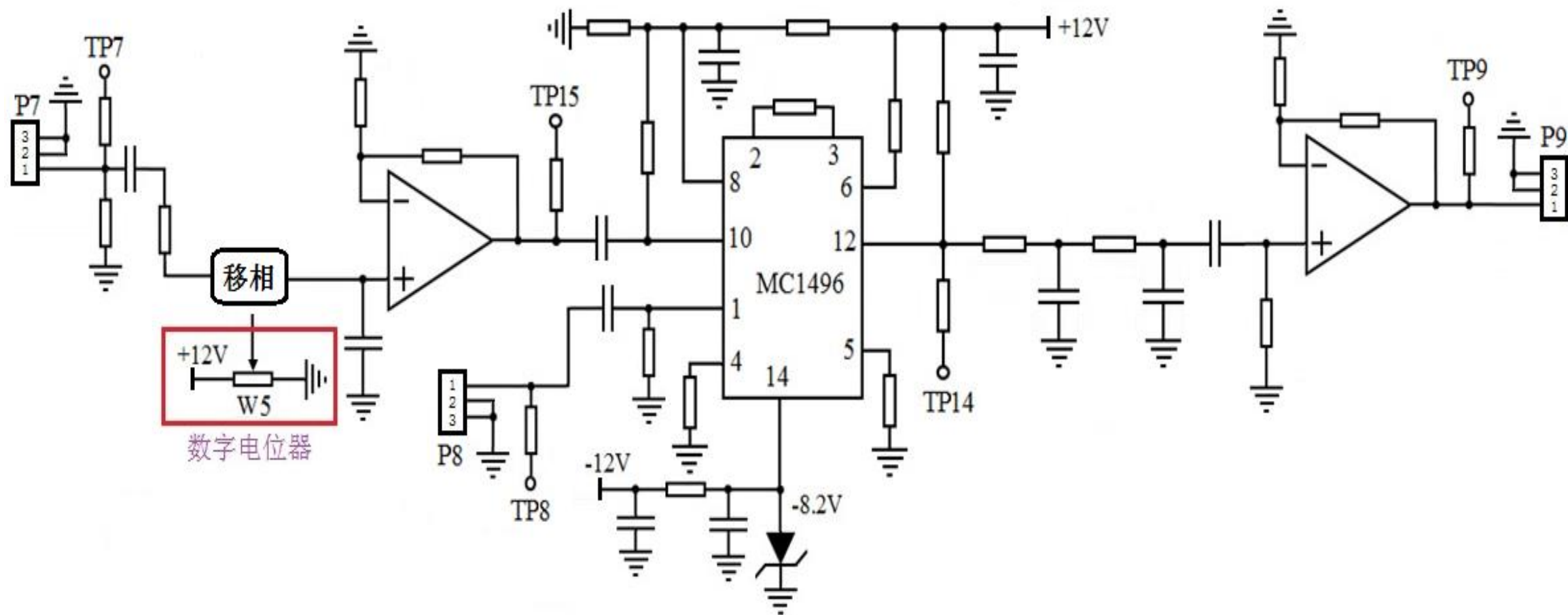


三、实验电路

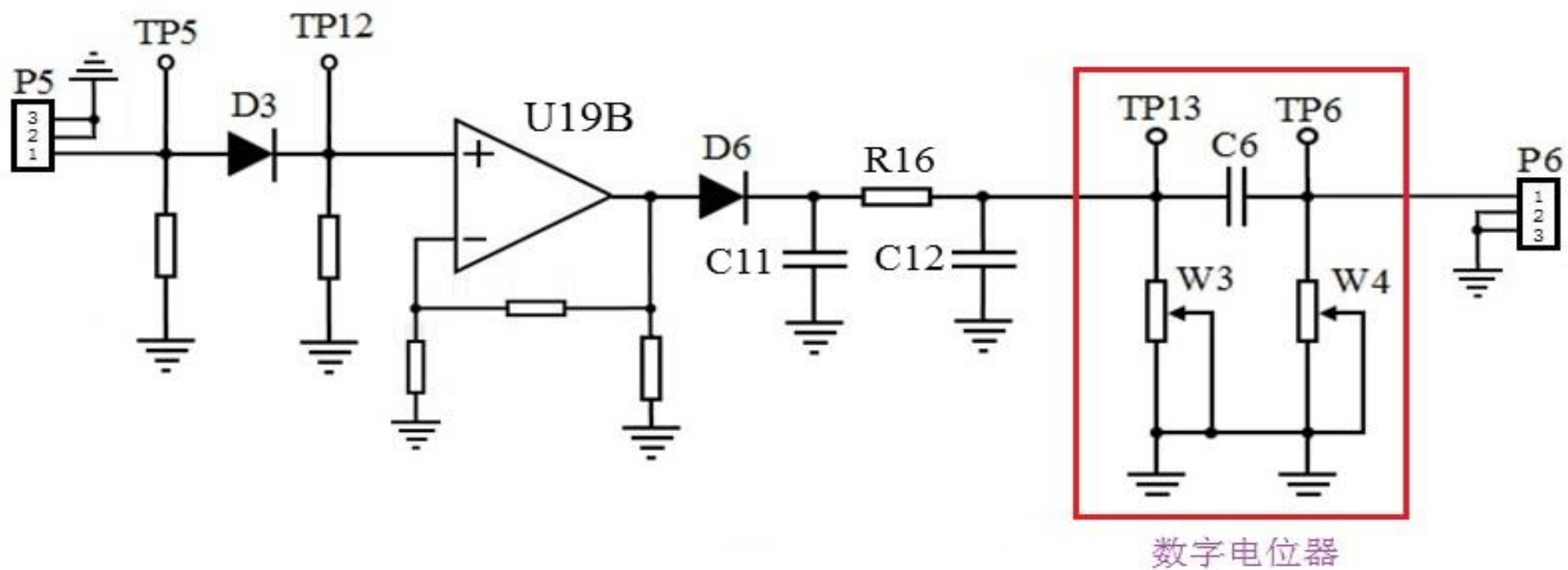
1. MC1496组成的调幅实验电路：



2. MC1496组成的同步检波实验电路



3. 二极管峰值检波及低频功放实验电路



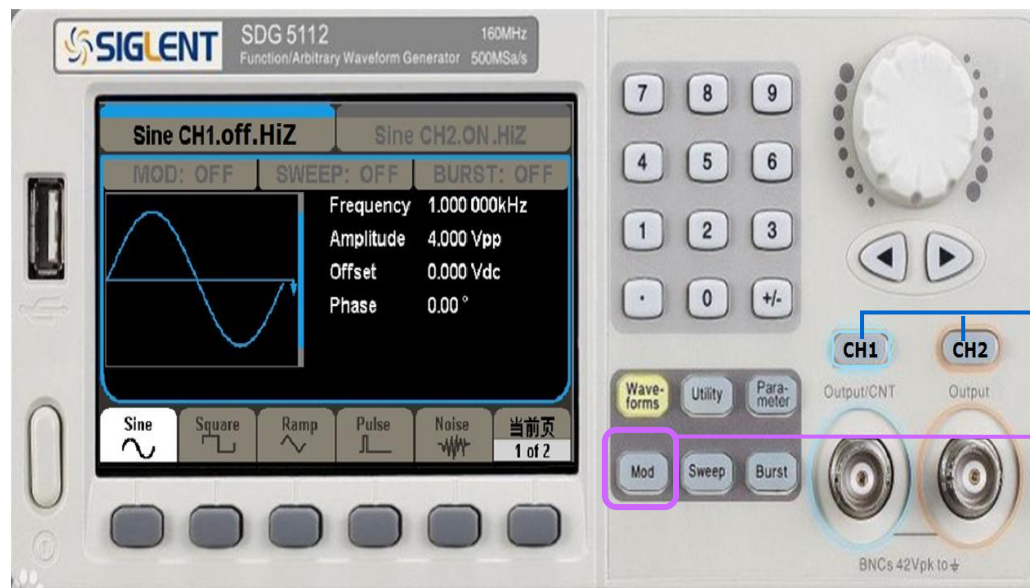
四. 实验内容

参见实验讲义

五、实验设备、器材

1. 主控、G04模块
2. SDG5112 函数/任意波形发生器
3. DSO-X 2014A数字存储示波器
4. SA1010频谱分析仪

六、思考题 参见实验教材



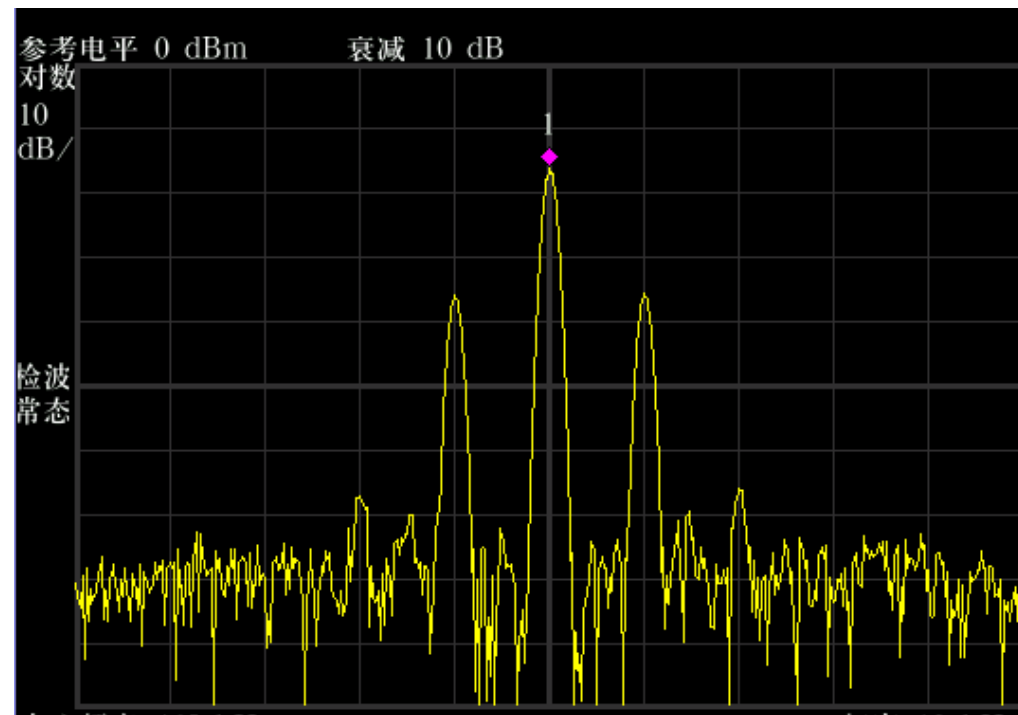
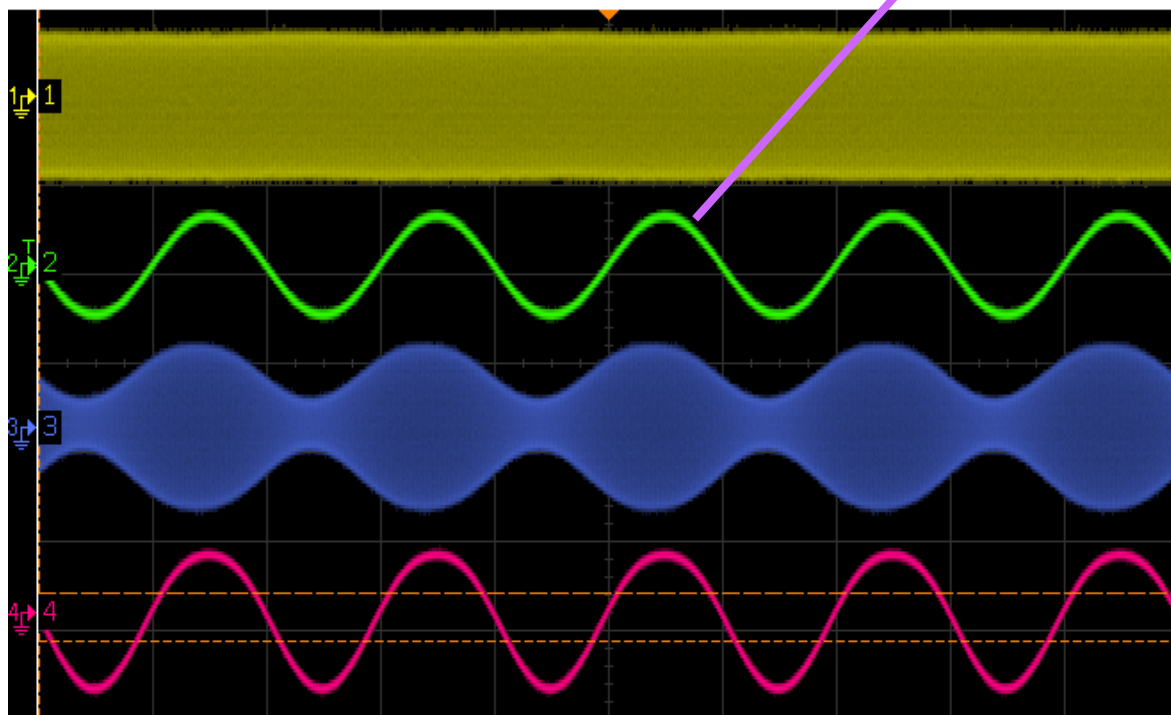
同时打开

[Mod] : 调制方式选择键
具体操作见讲义P71 (3) Mod---调制



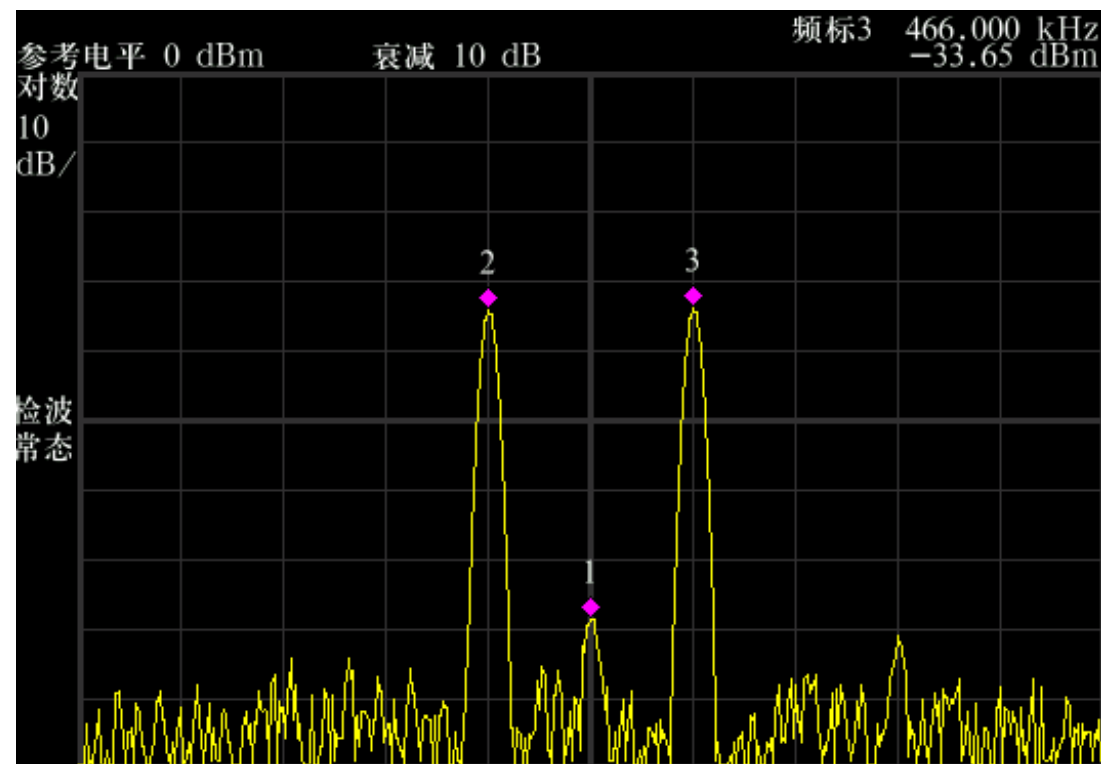
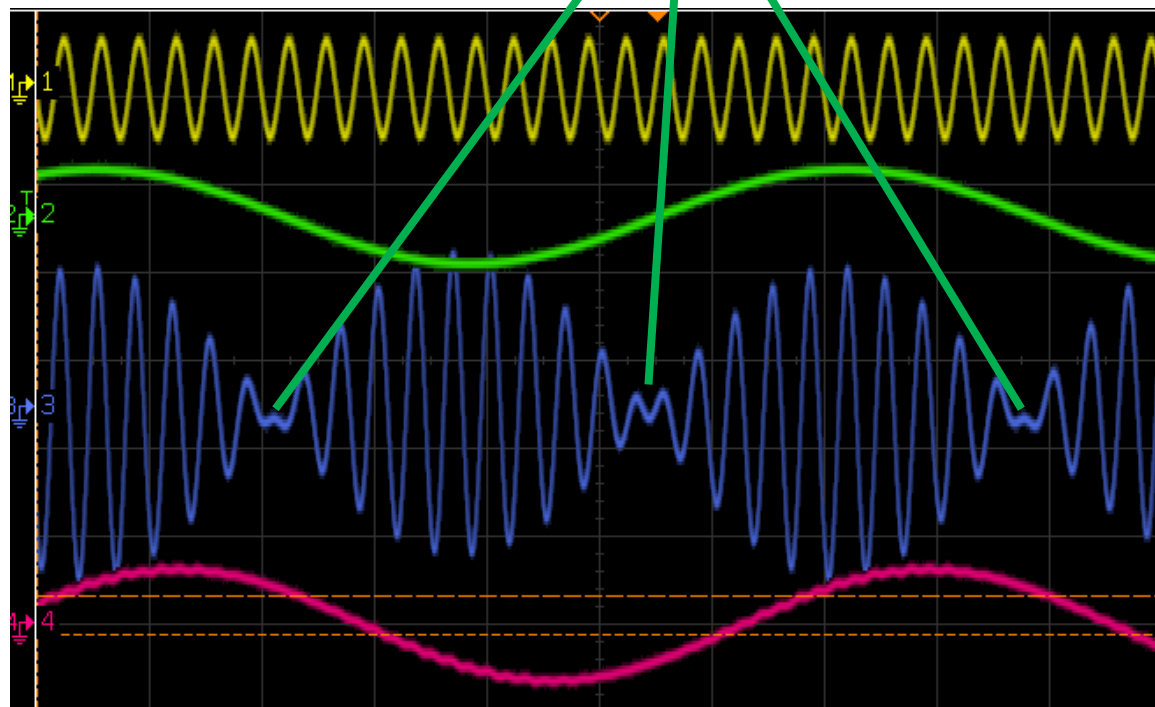
1、（3）普通调幅波形和频谱示例：

Triger

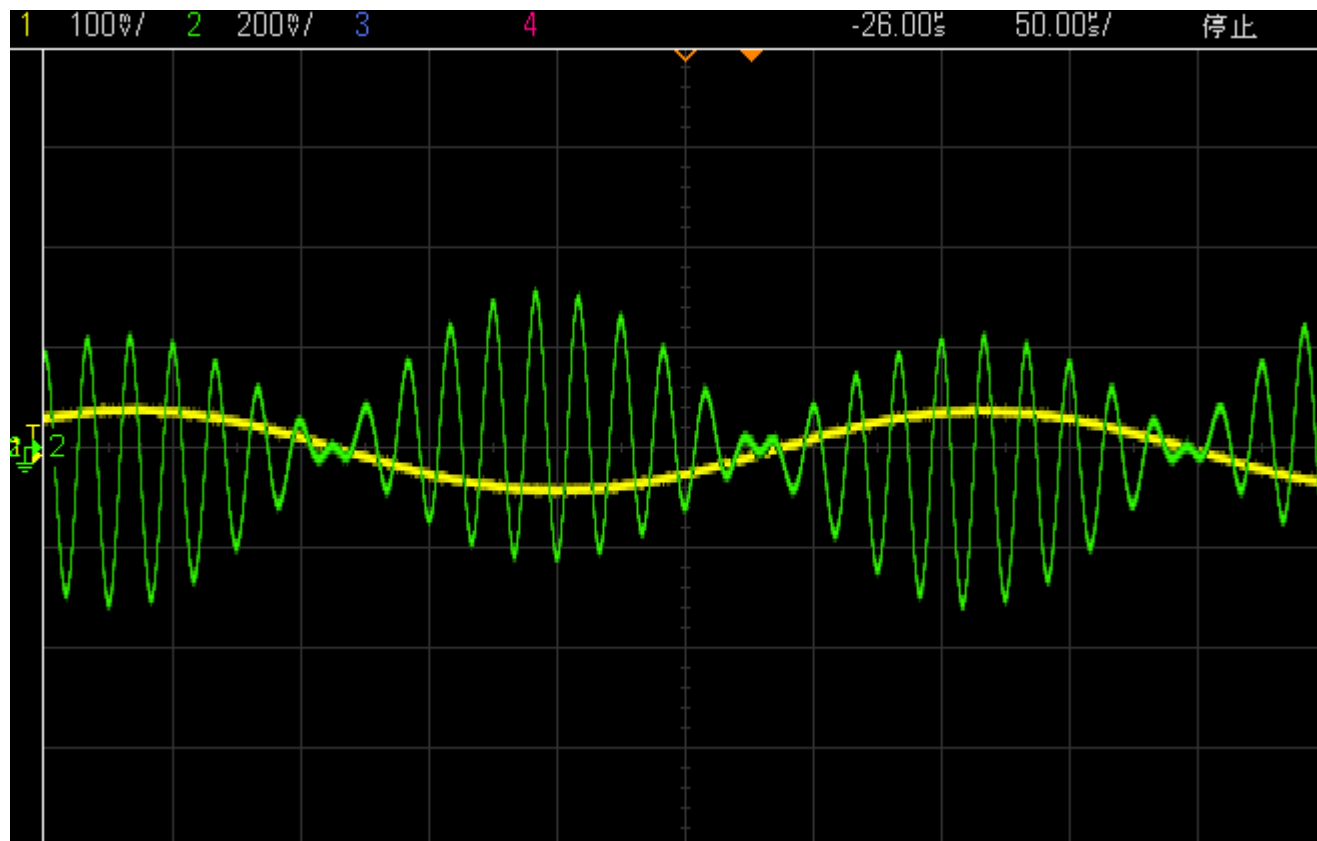


2、（2）DSB调制波形和频谱示例：

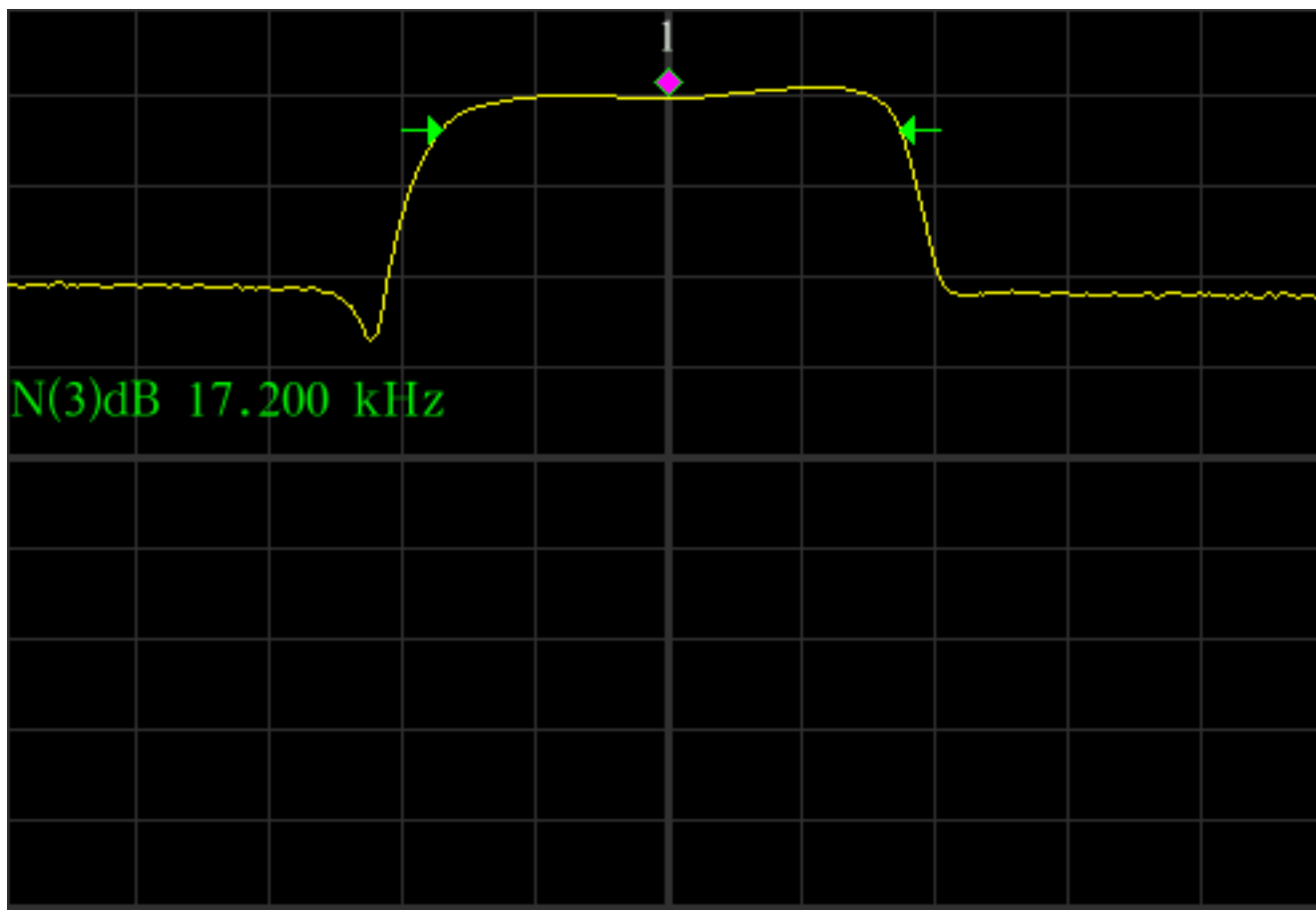
反相



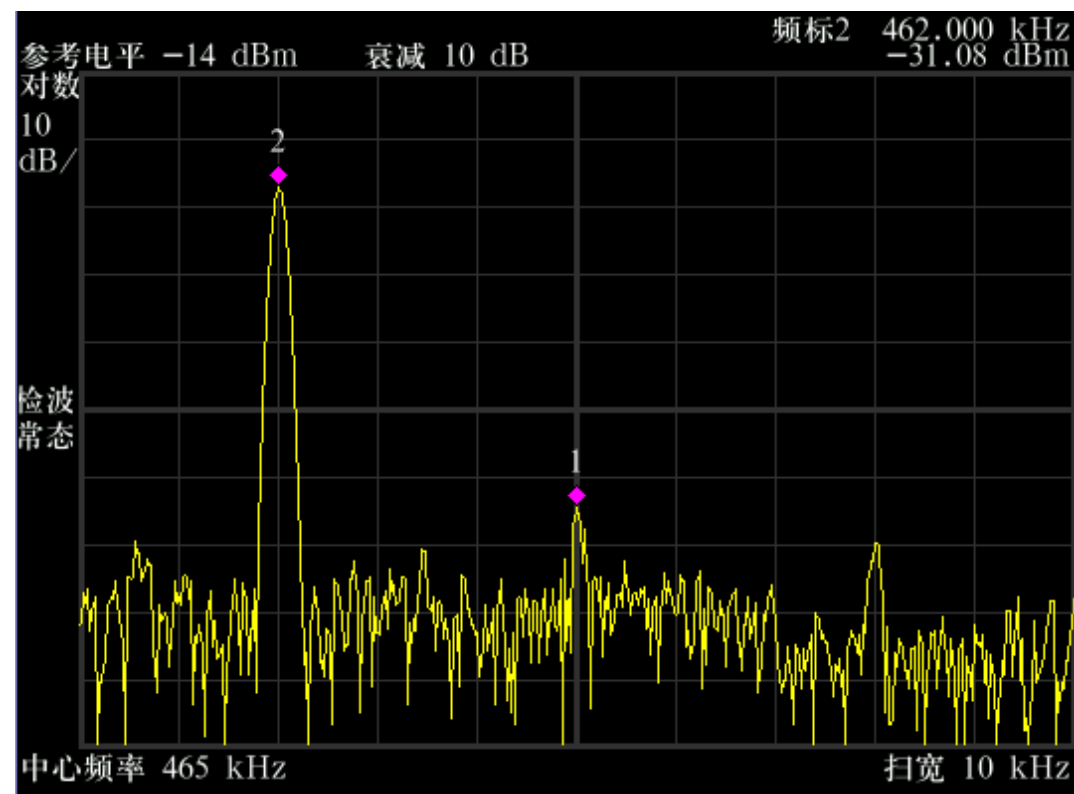
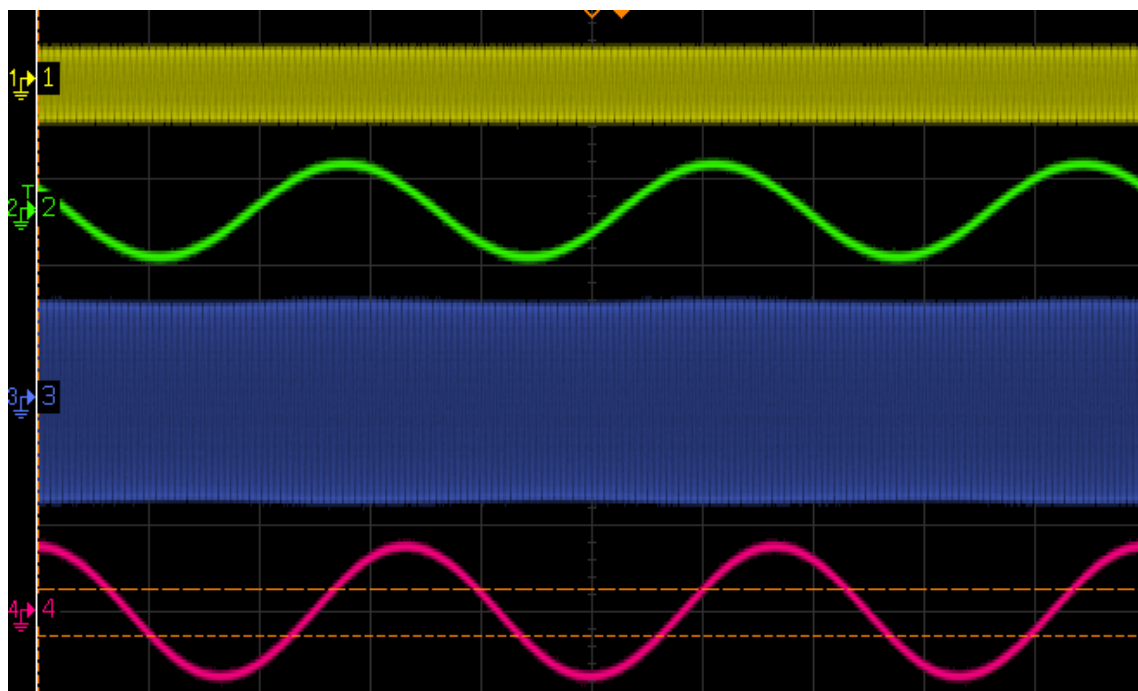
DSB AM及 u_{Ω}



3、 (1) 【Marker Fctn】 → N (3) dB开启



3、（3）SSB调制波形和频谱示例：



下次实验：

实验五 混频器与AGC中频放大系统