

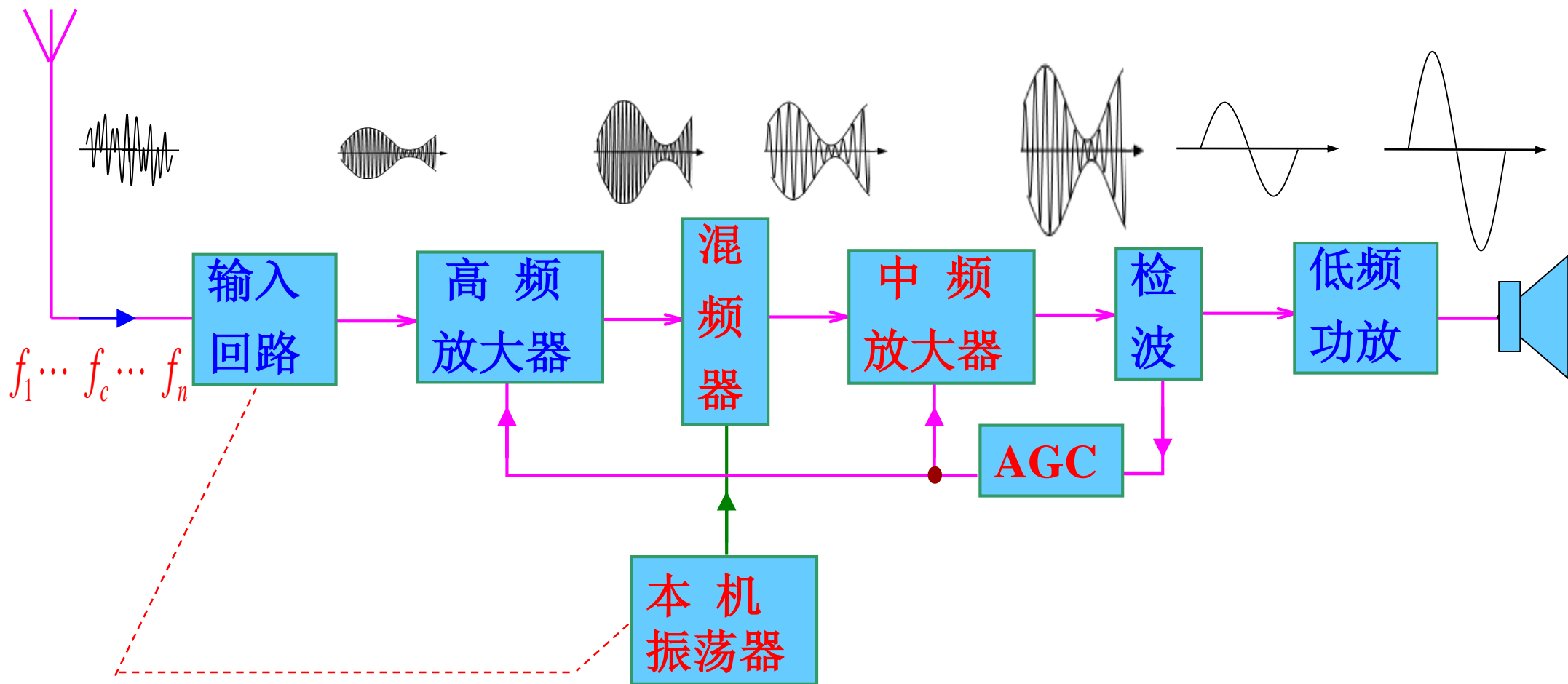


中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

实验五

混频器与AGC中频放大系统

超外差调幅接收机框图



一、实验目的

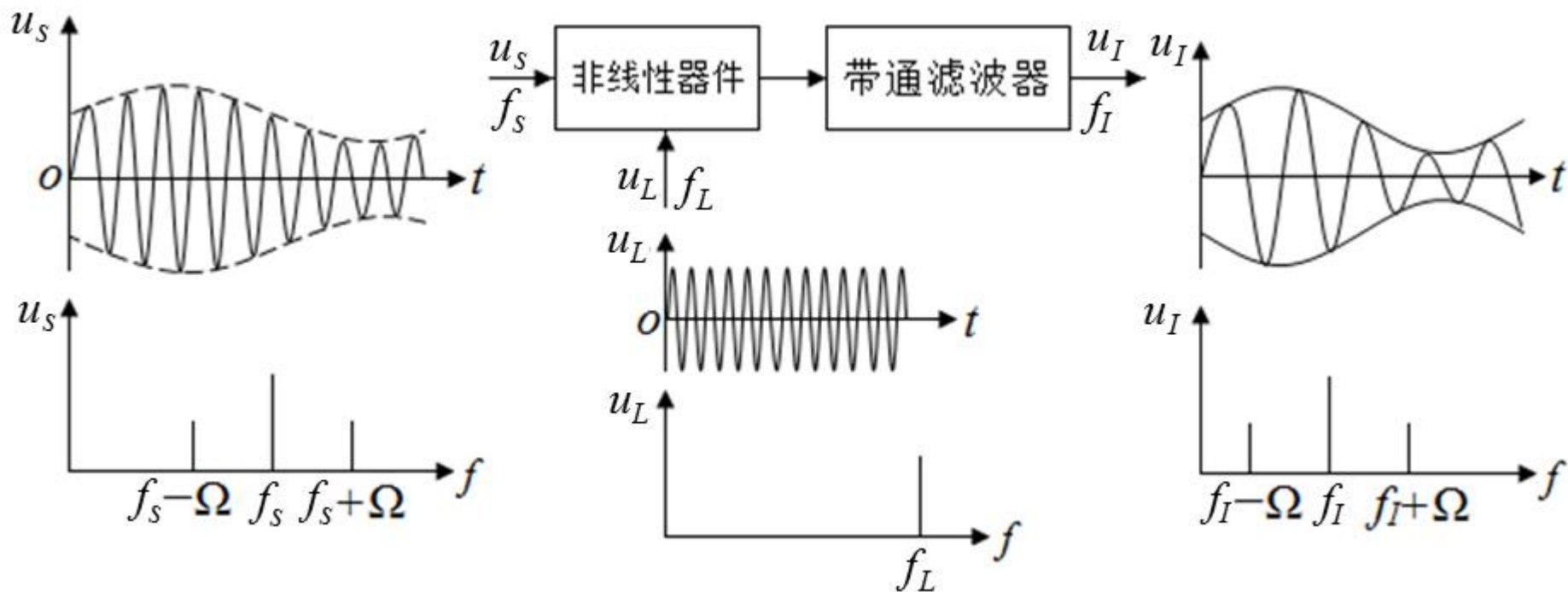
1. 了解混频器的基本原理。
2. 掌握模拟乘法器实现混频的方法。
3. 掌握双平衡二极管混频器的实现方法。
4. 掌握三极管混频器电路的实现方法。
5. 了解自动增益控制的基本原理。
6. 理解自动增益控制系统的构成。
7. 掌握自动增益控制系统的测试方法

二、实验原理

1. 混频器的概念

- 将载波频率为 f_s （高频）的已调波信号不失真地变换为载波频率为 f_I （固定中频）的已调波信号，并保持原调制规律不变
- 即将信号频谱自载频 f_s 线性搬移到中频 f_I ，且信号的相对频谱分布不变

➤ 混频器频率变换示意图



- 混频器组成：非线性器件、带通滤波器和一个来自本地的高频振荡信号（本振信号）三部分。

2. 混频器主要性能指标

➤ 混频增益 $K_V = \frac{u_{Im}}{u_{sm}}$

➤ 选择性

S定义为3dB带宽与40dB 带宽的比值，S越接近于1越好。

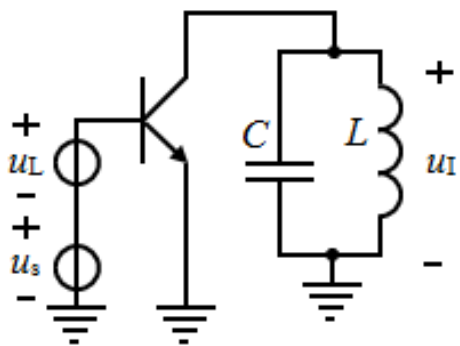
➤ 噪声系数： 越小越好

➤ 失真与干扰： 越小越好

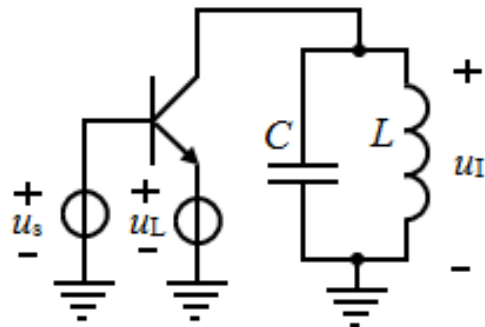
3. 常用的混频器电路

三极管混频器、二极管双平衡混频器、集成模拟乘法器混频等

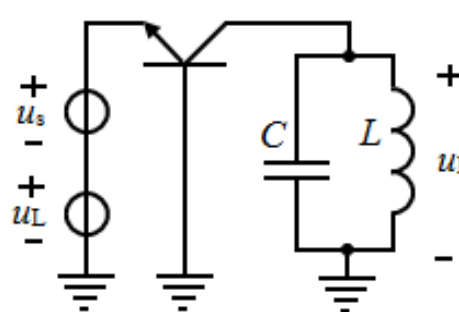
(1) 三极管混频器



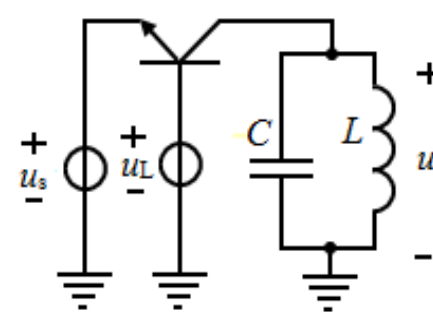
(a) 共射组态



(b) 共射组态

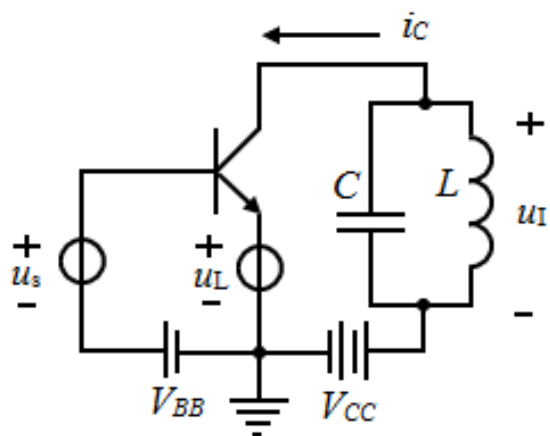


(c) 共基组态



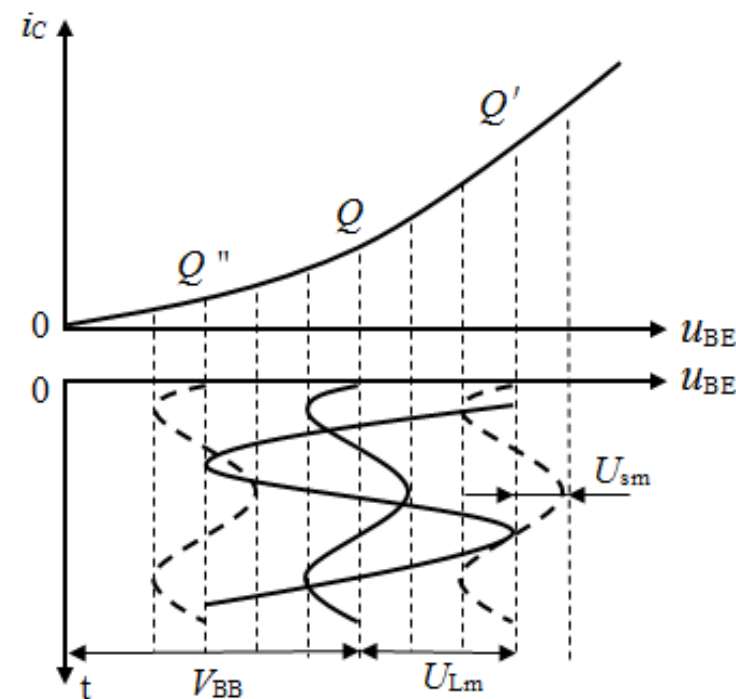
(d) 共基组态

➤ 三极管混频主要是利用晶体管 i_c-u_{BE} 的非线性特性实现的



$$u_s = U_{sm} \cos \omega_s t \quad u_L = U_{Lm} \cos \omega_L t$$

通常有 $U_{Lm} \gg U_{sm}$



在 V_{BB} 和的 u_L 的共同作用下，对于小输入信号 u_s 来说，三极管工作点 Q 可在 Q' 和 Q'' 之间移动，即三极管可看成是小信号 u_s 的工作点随大信号 u_L 改变而改变的线性器件，也就是说三极管工作于线性时变状态，其跨导随 u_L 的变化而周期性变化。

➤ 由于 u_s 较小， i_c 可表示为：

$$\begin{aligned} i_c &= f(V_{BB} + u_L) + f'(V_{BB} + u_L)u_s \\ &= (I_{C0} + I_{C1m} \cos \omega_L t + I_{C2m} \cos 2\omega_L t + \cdots) \\ &\quad + (g_0 + g_1 \cos \omega_L t + g_2 \cos 2\omega_L t + \cdots)U_{sm} \cos \omega_s t \\ &= I_{C0} + I_{C1m} \cos \omega_L t + I_{C2m} \cos 2\omega_L t + \cdots \\ &\quad + U_{sm} \left[g_0 \cos \omega_s t + \frac{1}{2} g_1 \cos(\omega_L \pm \omega_s)t + \frac{1}{2} g_2 \cos(2\omega_L \pm \omega_s)t + \cdots \right] \end{aligned}$$

若中频频率取差频 $\omega_I = \omega_L - \omega_s$ ，则经过带通滤波器后输出的中频电流为

$$i_I = \frac{g_1}{2} U_{sm} \cos(\omega_L - \omega_s)t$$

➤ 经过混频，只改变了高频输入信号的载波频率，而它的调制规律保持不变

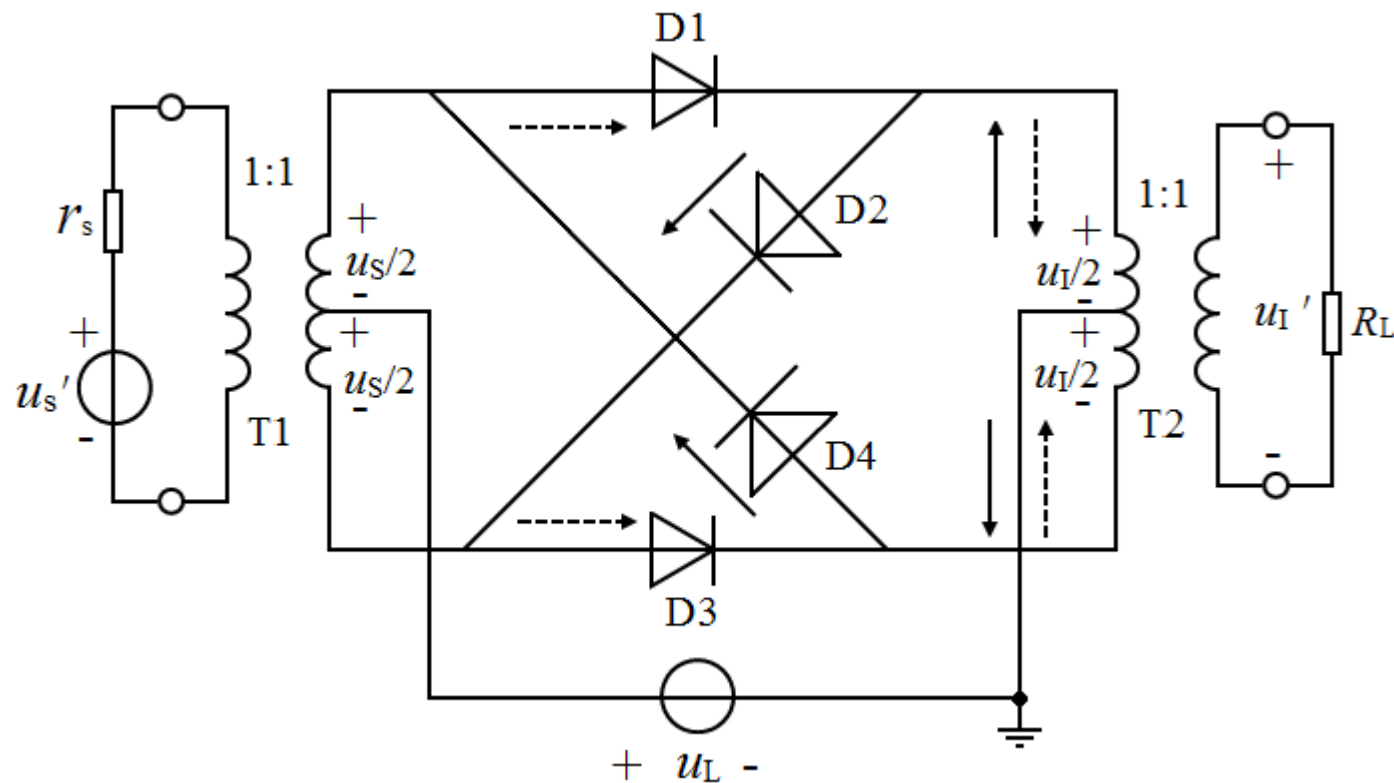
(2) 二极管混频

- 在本振信号 u_L 的正半周，二极管 D1、D3 导通，D2、D4 截止

$$i' = \frac{1}{R_L} S(\omega_L t) u_s$$

- 在本振信号 u_L 的负半周，二极管 D2、D4 导通，D1、D3 截止

$$i'' = \frac{1}{R_L} S(\omega_L t - \pi) u_s$$



➤ 在 u_L 信号的一个周期内，环形混频器的输出电流为

$$\begin{aligned} i &= i' + i'' = \frac{1}{R_L} [S(\omega_L t) - S(\omega_L t - \pi)] u_s \\ &= \frac{1}{R_L} \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \omega_L t - \frac{2}{3\pi} \cos 3\omega_L t + \cdots \right) - \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \cos \omega_L t + \frac{2}{3\pi} \cos 3\omega_L t - \cdots \right) \right] u_s \\ &= \frac{1}{R_L} \left(\frac{4}{\pi} \cos \omega_L t - \frac{4}{3\pi} \cos 3\omega_L t + \cdots \right) U_{sm} \cos \omega_s t \end{aligned}$$

➤ 由上式可知，在二极管环形混频电路输出电流中，除了 $\omega_L \pm \omega_s$ 频率分量外，仅有 $3\omega_L \pm \omega_s$ $5\omega_L \pm \omega_s$ 等频率分量，在电路后加带通滤波网络即可取出 $\omega_L - \omega_s$ 中频信号。

(3) 乘法器混频

假设 $u_s = U_{sm} \cos \omega_s t$

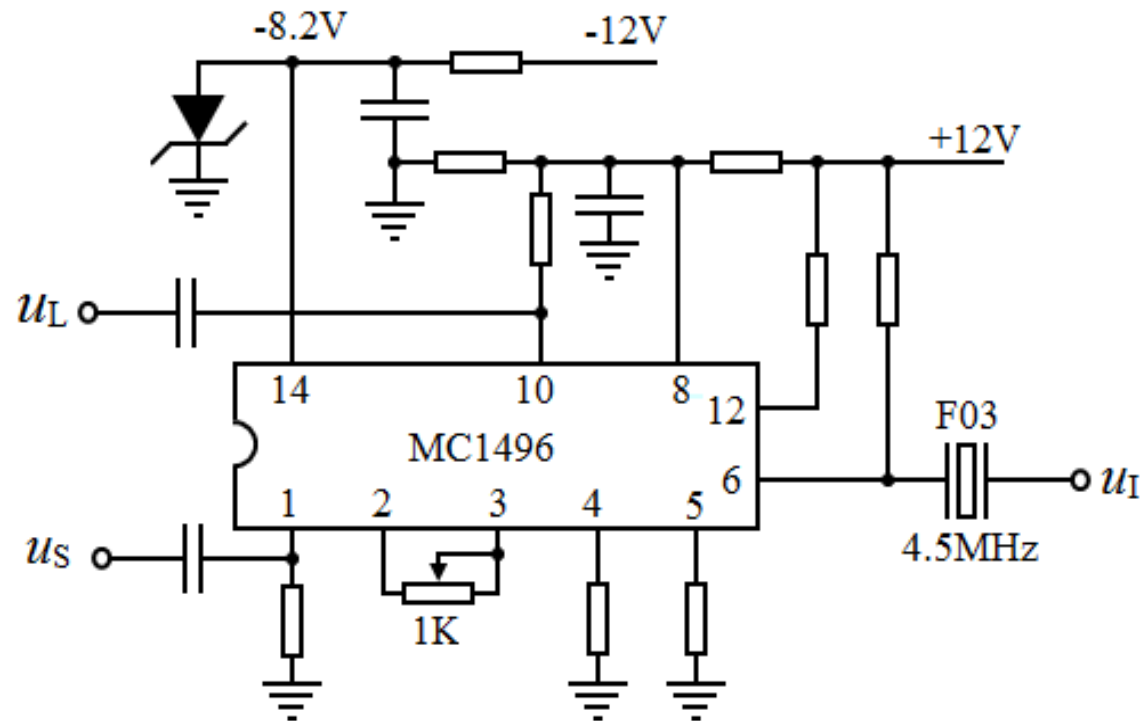
$$u_L = U_{Lm} \cos \omega_L t$$

经过非线性频率变换后的输出:

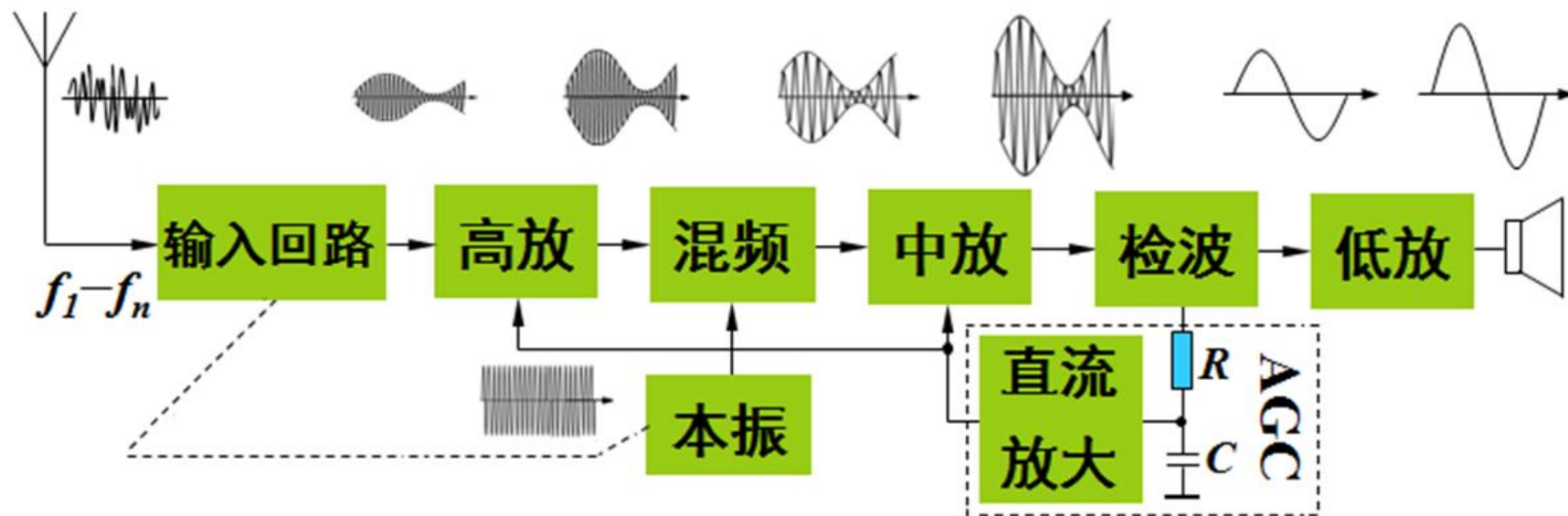
$$u_I = k u_s u_L$$

$$= k U_{sm} U_{Lm} \cos \omega_s t \cos \omega_L t = \frac{k}{2} U_{sm} U_{Lm} [\cos(\omega_L + \omega_s)t + \cos(\omega_L - \omega_s)t]$$

用带通滤波器可取出和频分量 $\omega_L + \omega_s$; 或取出差频分量 $\omega_L - \omega_s$



4. AGC中频放大系统



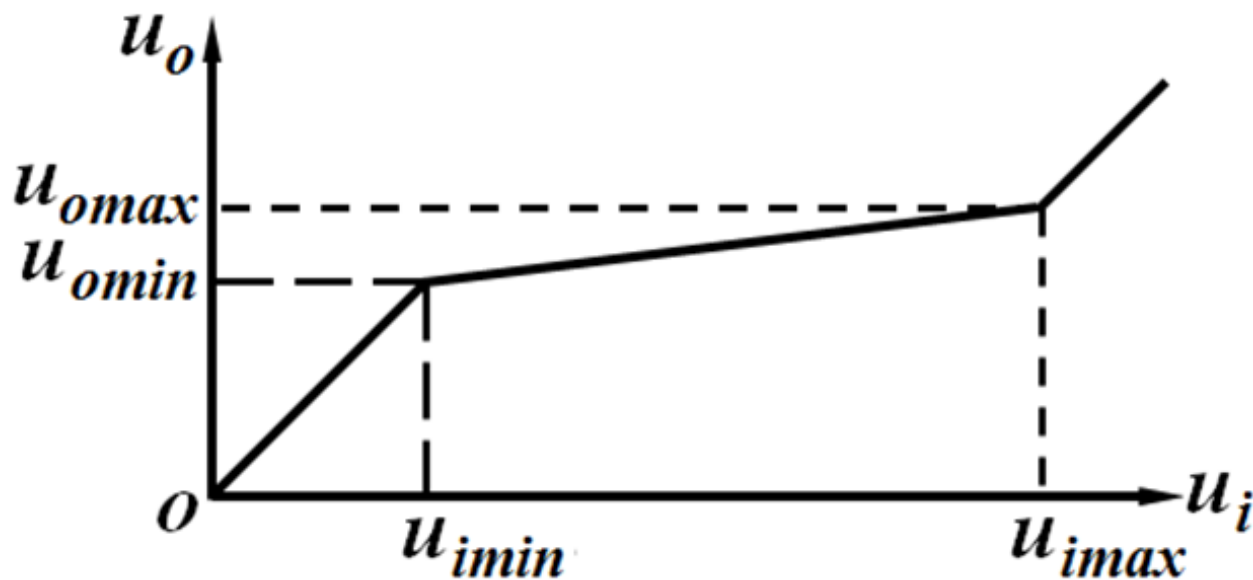
- 中频放大器将混频器输出的固定中频已调信号放大到适合解调的电平（1V左右）；通过二极管包络检波器提取出低频调制信号（包括直流分量）；
- 自动增益控制（AGC）电路的作用是：当外来输入信号电压在很大范围变化时，分别控制各级放大器的增益，保持接收机输出电压几乎不变。

(1) 中频放大器

- 输入为混频输出的中频信号
- 谐振频率调谐在中频
- 输出作为检波器输入
- 放大倍数受AGC电压的控制，保证输入信号在很大范围变化时，接收机的输出电压基本稳定

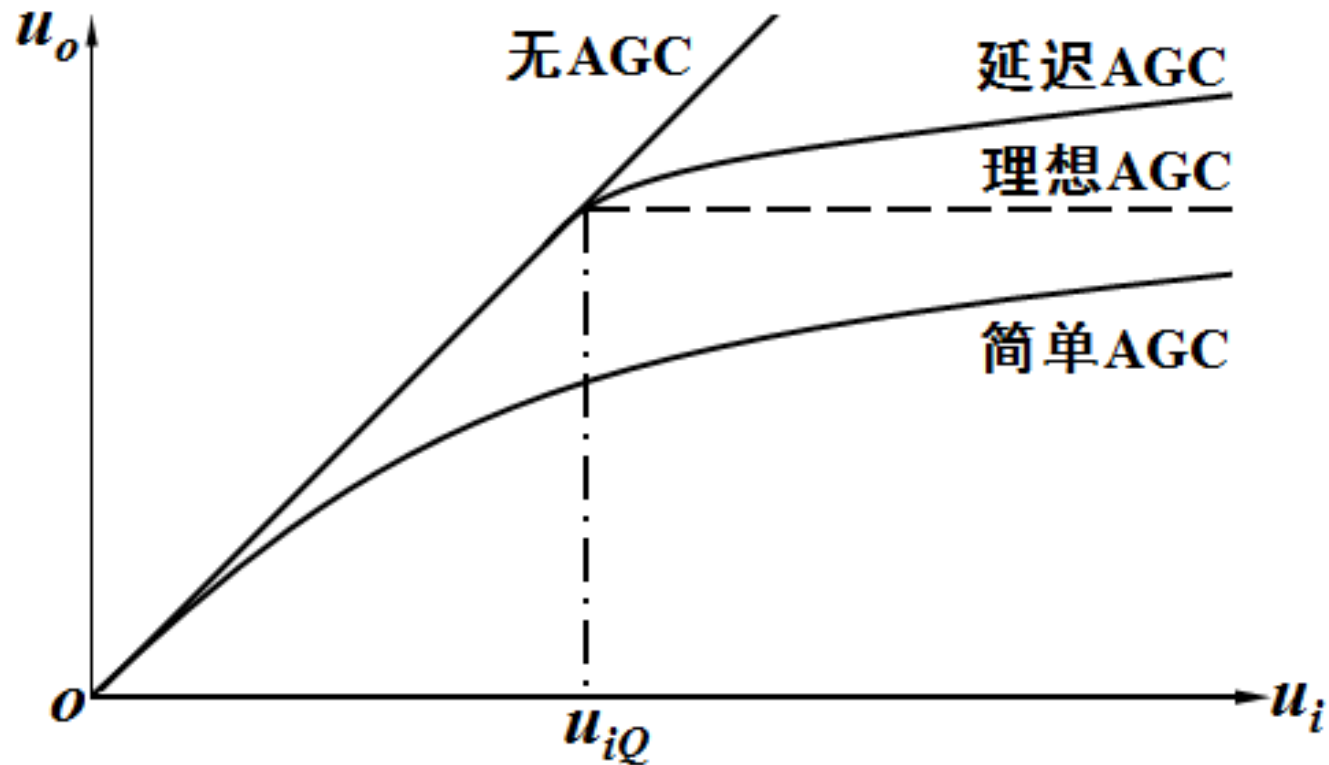
(2) 自动增益控制 (AGC)

- 在接收机输入信号电压出现较大波动时，AGC 电路能自动调整接收机的各级增益，保持接收机输出电压几乎不变。

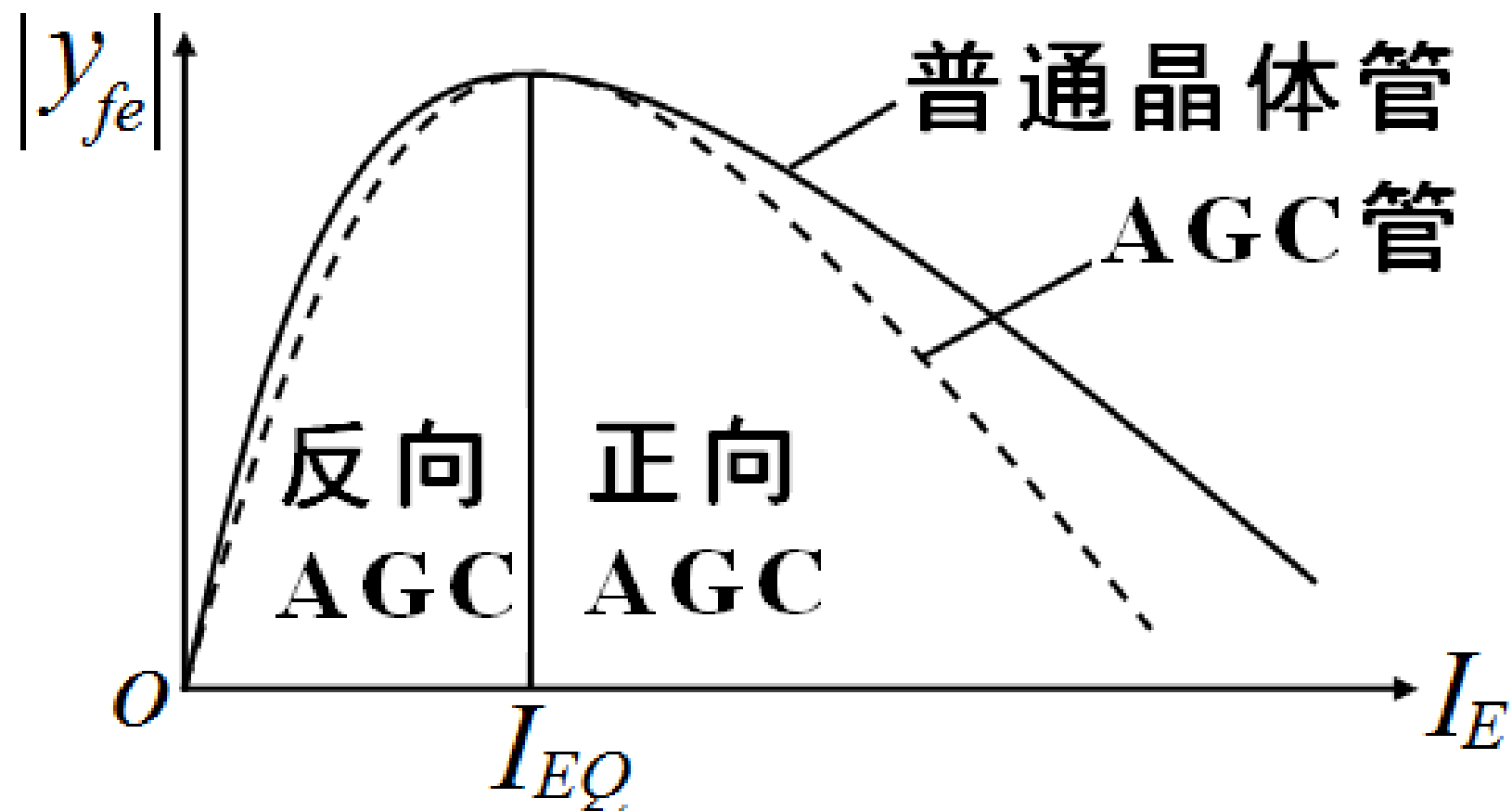


① 延迟AGC：是指电平上“延迟”：

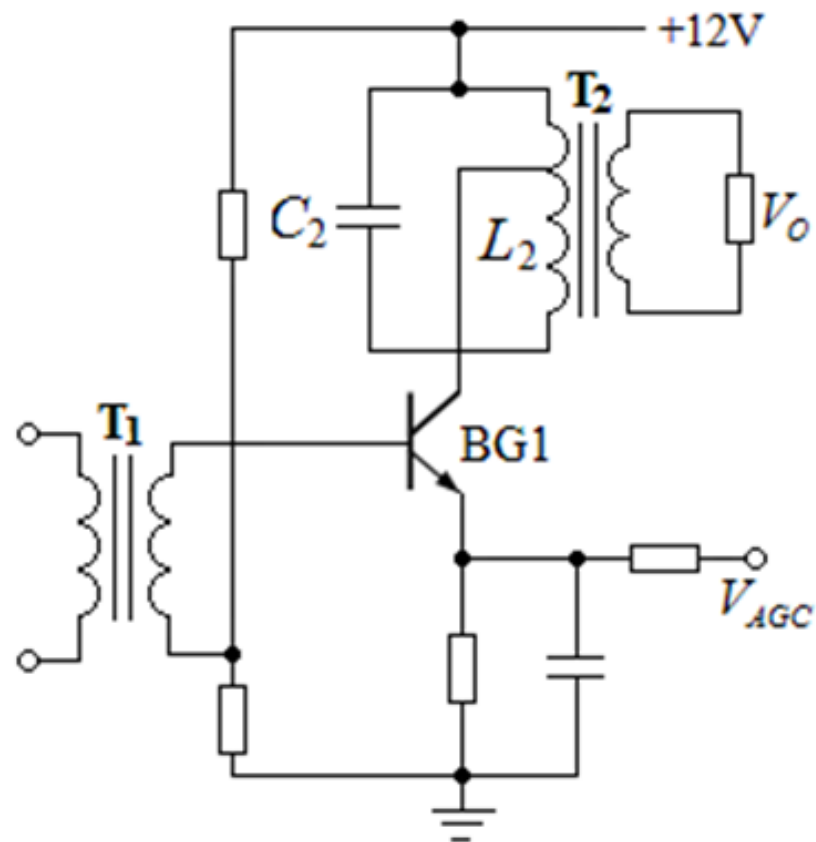
- 信号弱时，AGC不起作用，接收机增益大；
- 信号强时，AGC电路起控，接收机增益减小。



② 反向AGC与正向AGC



③ 反向AGC控制过程：

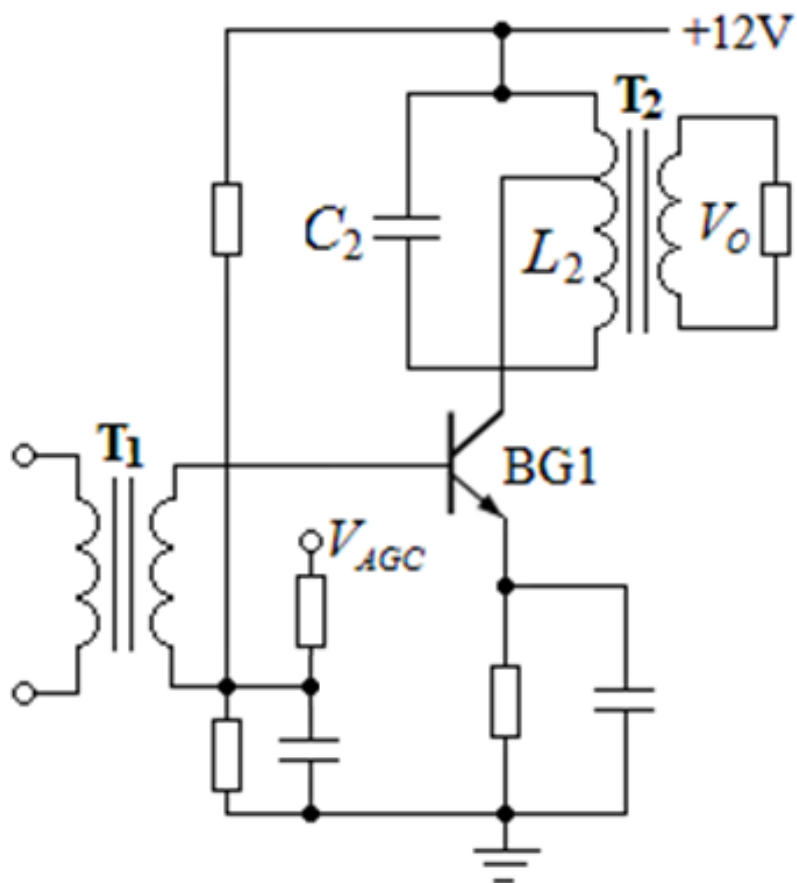


$$V_i \uparrow \Rightarrow V_o \uparrow \Rightarrow V_{AGC} \uparrow \Rightarrow V_{BE} \downarrow$$

$$\downarrow V_o \Leftarrow \downarrow A \Leftarrow \downarrow |y_{fe}| \Leftarrow I_E \downarrow$$

反向AGC缺点：控制范围小

④ 正向AGC控制过程：



$$V_i \uparrow \Rightarrow V_o \uparrow \Rightarrow V_{AGC} \uparrow \Rightarrow V_{BE} \uparrow$$
$$\Downarrow$$
$$V_o \downarrow \Leftarrow A \downarrow \Leftarrow |y_{fe}| \downarrow \Leftarrow I_E \uparrow$$

正向AGC缺点：电流大。

AGC技术指标

1.输入信号动态范围： $m_i = U_{i\max} / U_{i\min}$

2.输出信号动态范围： $m_o = U_{o\max} / U_{o\min}$

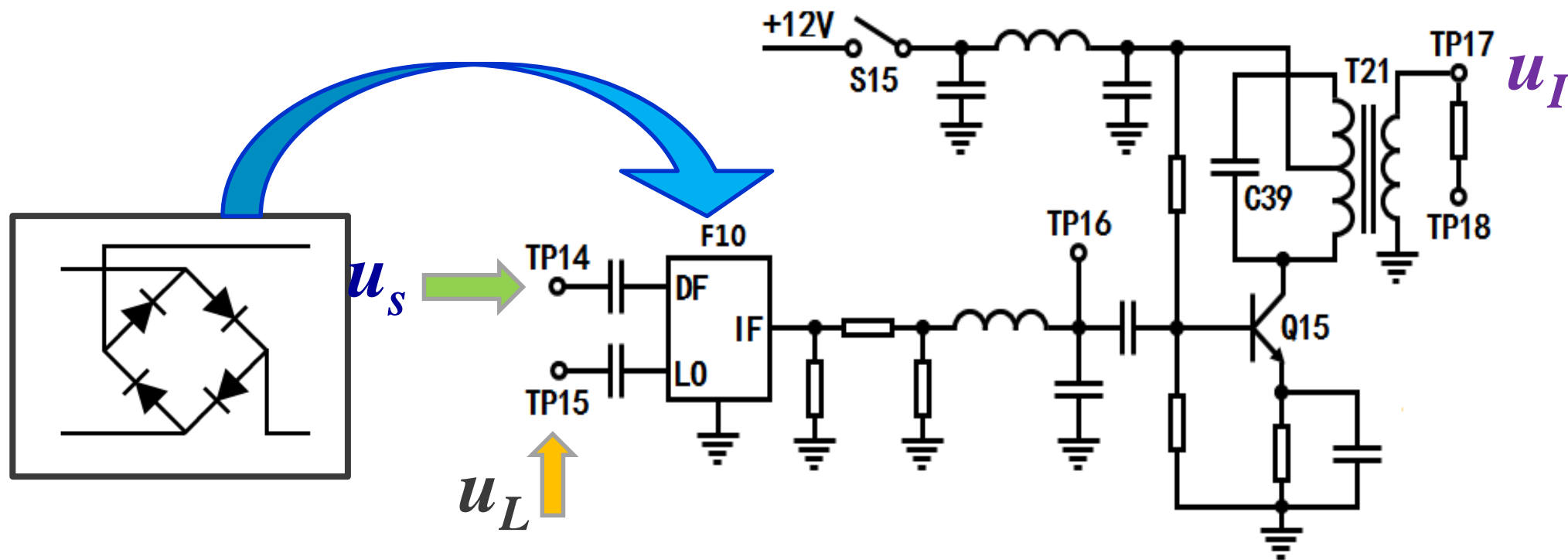
3.增益控制动态范围： $m_A = \frac{m_i}{m_o} = \frac{A_{\max}}{A_{\min}}$

1. 模拟集成乘法器混频

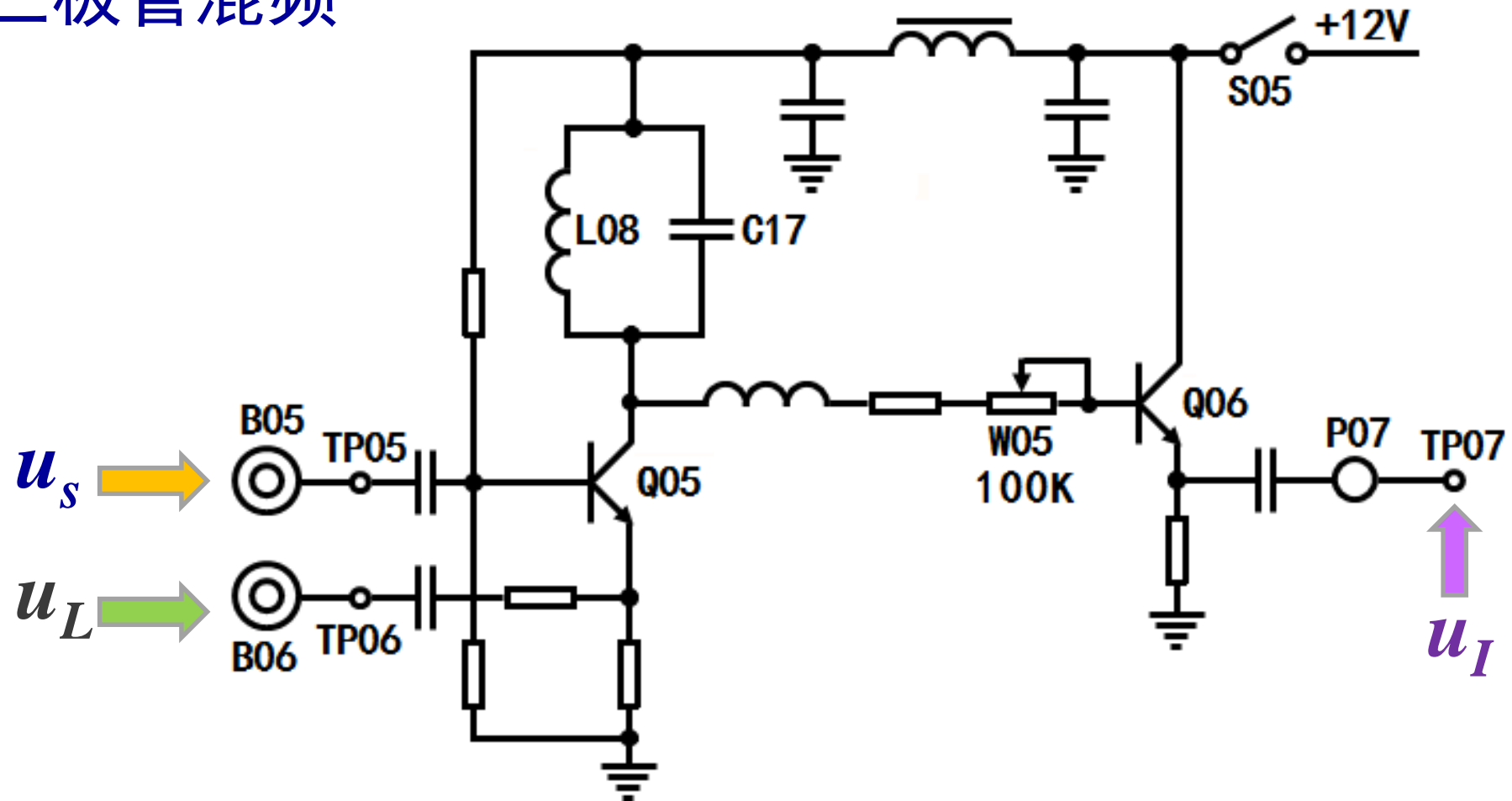


三. 实验电路

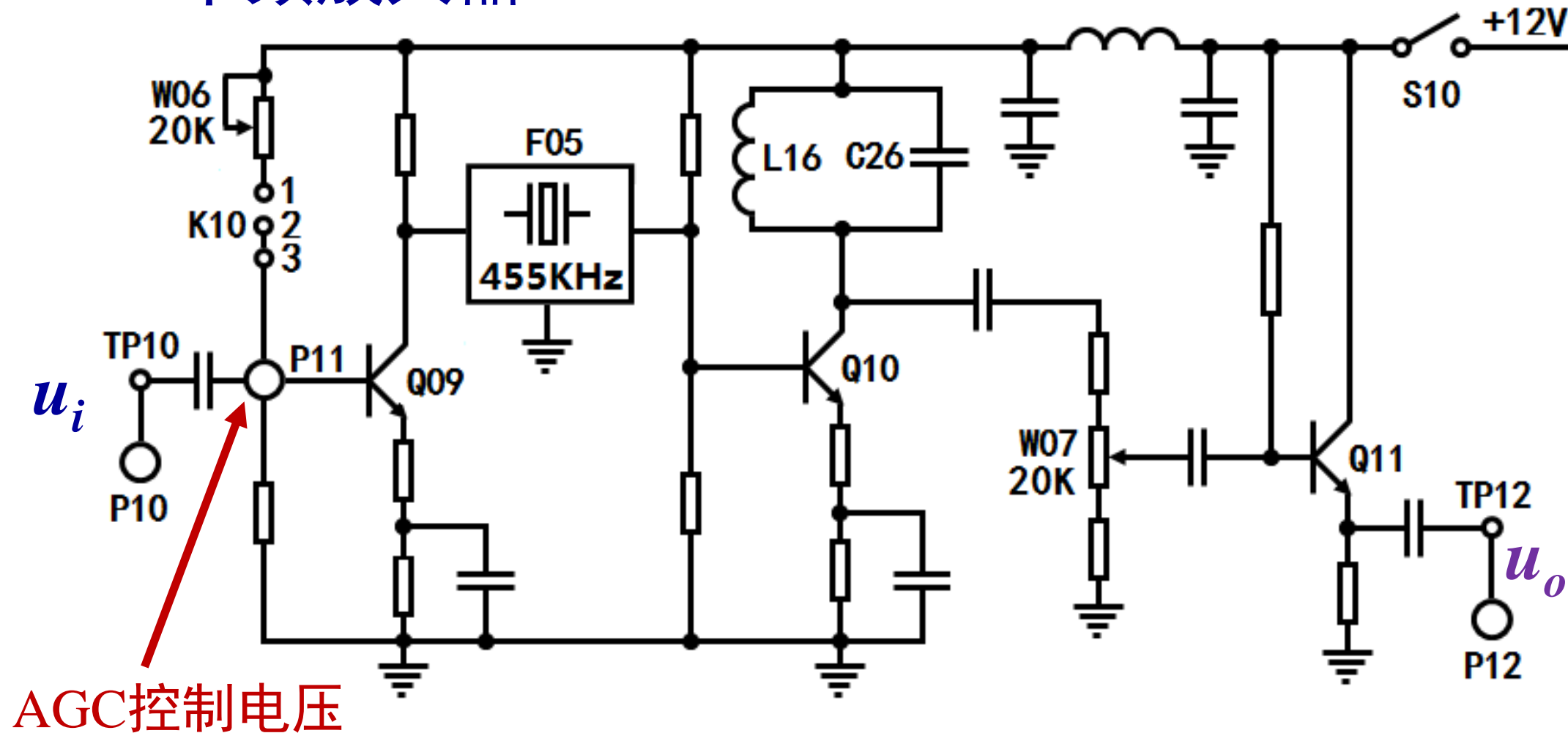
2. 二极管双平衡混频



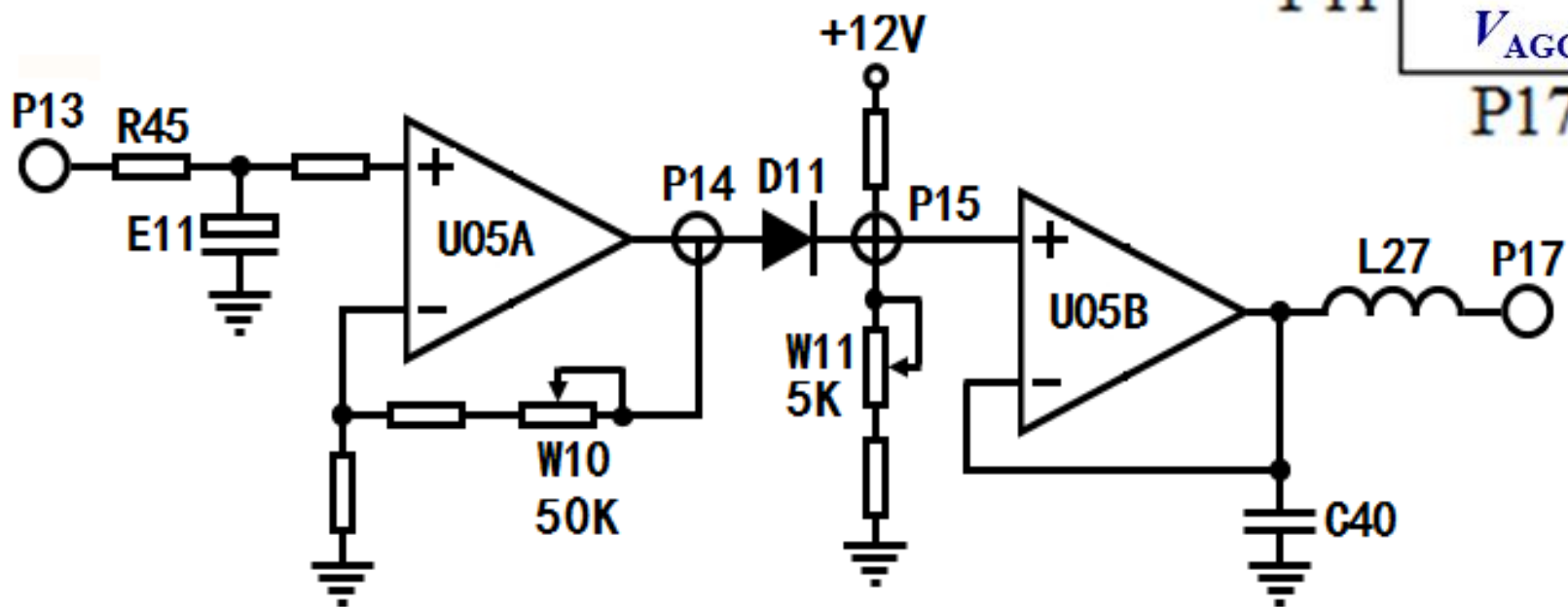
3. 三极管混频



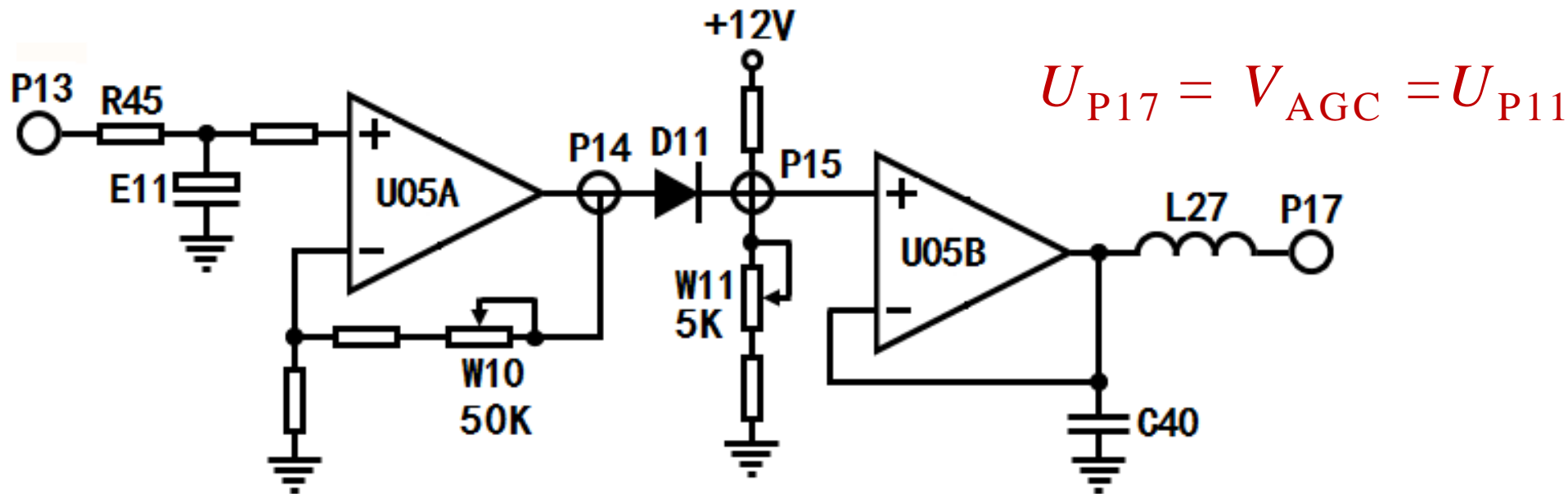
4. 中频放大器



⑤ AGC实验电路



- 经检波器检波后得到的低频信号从图中P13输入AGC电路，经R45、E11低通滤波后变为直流电压。U05A组成直流信号放大器，D11、U05B组成延迟控制电路。AGC电路的输出电压 U_{P17} 加到中频放大器中放管Q09的基极（P11）作为AGC控制电压（ $U_{P17} = V_{AGC} = U_{P11}$ ）。



- 若P13输入的信号较小， U_{P14} 随之较小，当 $U_{P14} \leq U_{P15}$ 时，D11截止，从P17输出的 V_{AGC} 为固定电压，加至中放管Q09的基极（P11）后，使Q09的基极电压 U_{P11} 不变，中放增益不变。若P13输入的信号较大， U_{P14} 随之较大，当 $U_{P14} > U_{P15}$ 时，D11导通， U_{P15} 跟随 U_{P14} 上升，从P17输出的 V_{AGC} 随P13输入信号幅值的增大而变大，中放管Q09的基极电压 U_{P11} 亦跟随变大，致使中频放大器增益下降，实现增益控制。

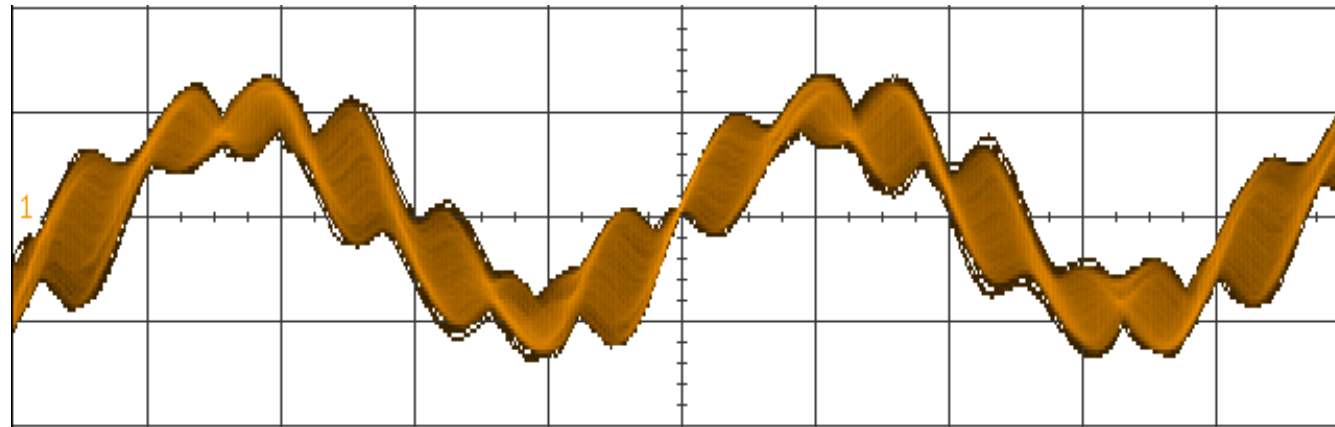
四. 实验内容

参见实验讲义P49~P52

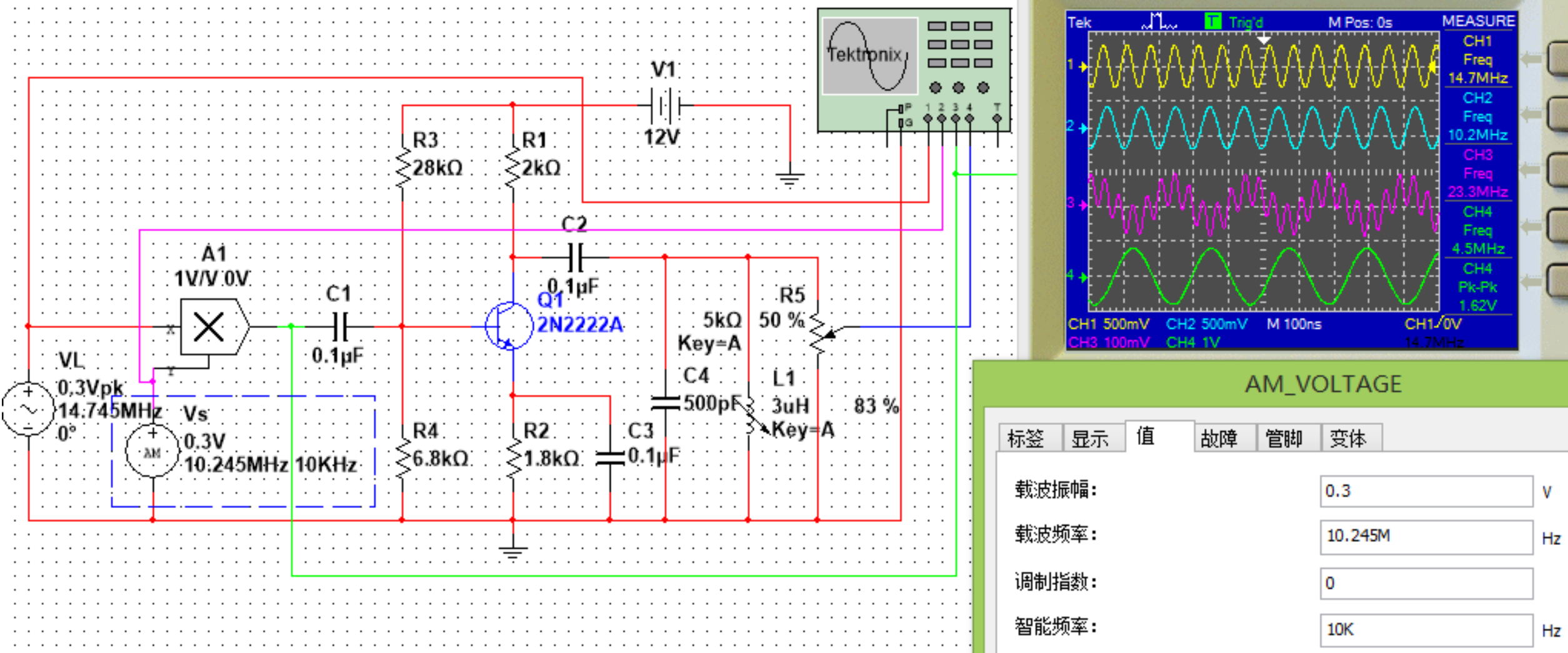
P50 1.(1) ⑥⑦不做 1.(2)④⑤不做

P51 1.(3) ①②③选做④⑤不做

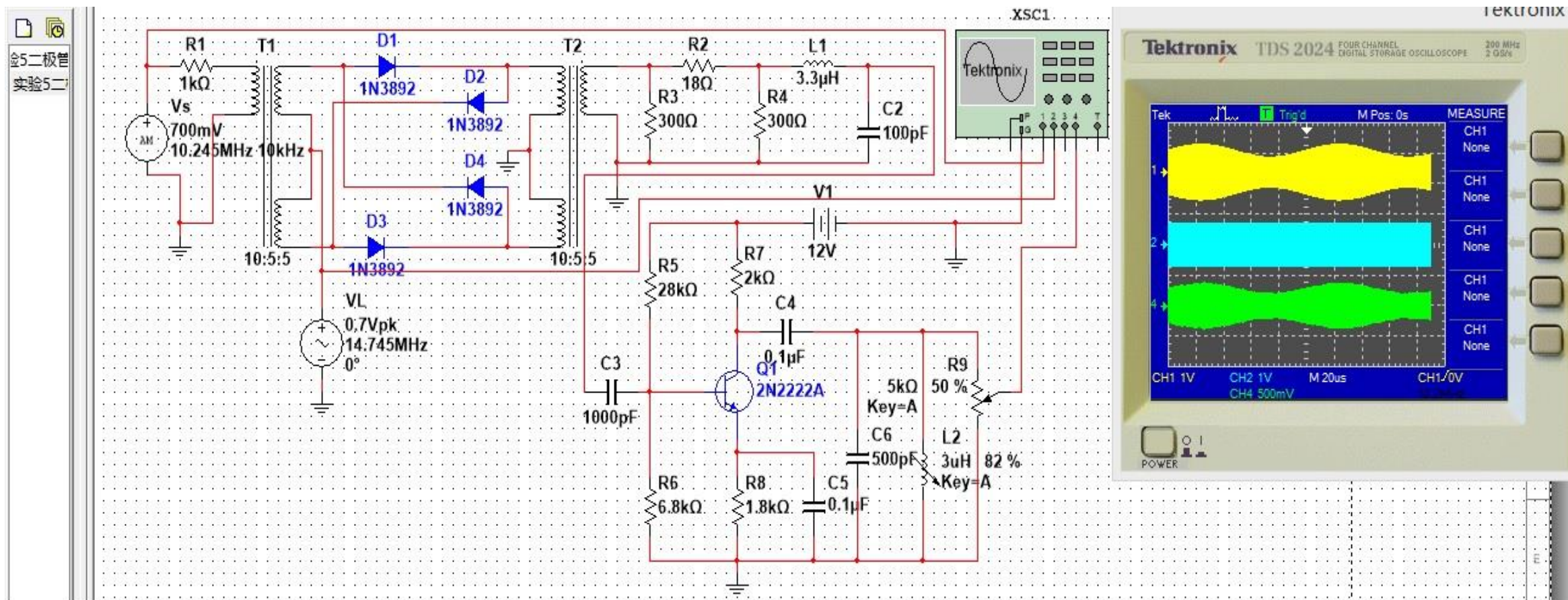
集成乘法器混频—— 相乘输出信号TP07波形示例：

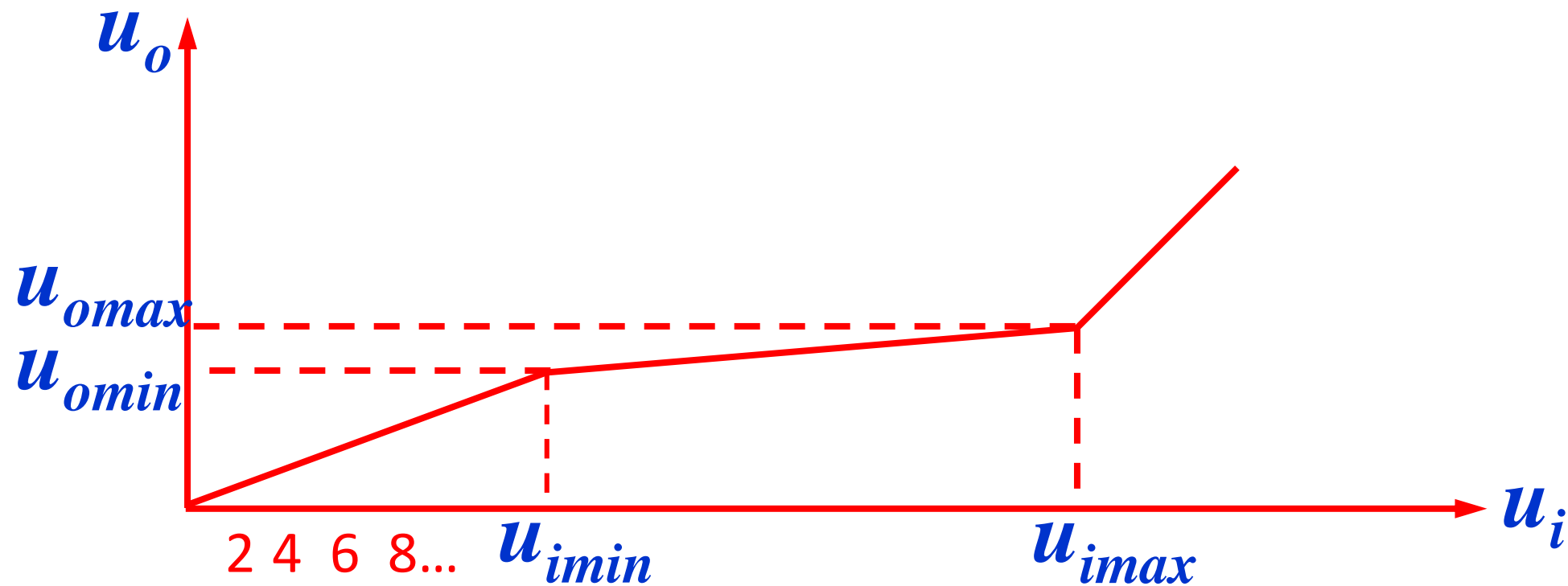


4.5MHz模拟集成乘法器混频电路波形测试示例



4.5MHz双平衡二极管混频电路示例





起控电压

失控电压

20mVpp左右

五、实验设备、器材

参见实验教材P52

六、思考题

参见实验教材P52

七、实验报告要求

参见实验教材P7

下次实验：

实验六 鉴频器