

电子技术实验 III 实验报告

实验四 模拟乘法器调幅、解调与峰值检波



实验人： 王旭东 PB22051030

李 毅 PB22051031

院 系： 信息科学技术学院

时 间： 2024 年 11 月 22 日

台 号： 26

第一部分 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。

第二部分 实验原理

1. 模拟相乘器芯片—MC1496

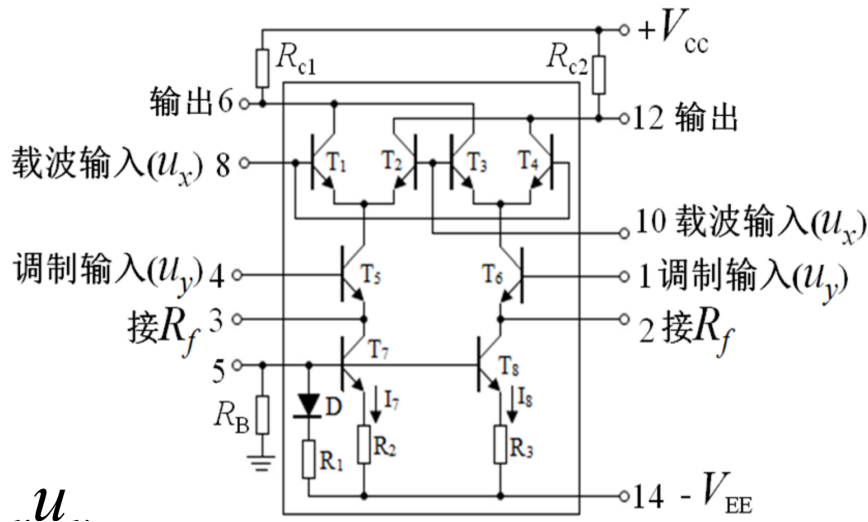


图 1: 模拟相乘器芯片—MC1496

经理论推导，当满足 $u_x u_T (26mV)$ 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. 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) 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：

$$\begin{aligned} U_{AM} &= k_1 u_c (U_{\text{直流}} + k_2 u_\Omega) \\ &= k_1 U_{Cm} \cos \omega_c t (U_{\text{直流}} + k_2 U_{\Omega m} \cos \Omega t) \\ &= k_1 U_{\text{直流}} U_{Cm} \cos \omega_c t + \frac{k_1 k_2}{2} U_{\Omega m} U_{Cm} [\cos(\omega_c + \Omega)t + \cos(\omega_c - \Omega)t] \end{aligned}$$

(2) 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

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

(3) 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：

$$U_{SSB} = \frac{k}{2} U_{\Omega m} U_{Cm} \cos(\omega_c + \Omega)t$$

或

$$U_{SSB} = \frac{k}{2} U_{\Omega m} U_{Cm} \cos(\omega_c - \Omega)t$$

3. 模拟乘法器同步检波

如图，设 $u_s = k_3 U_{sm} \cos \Omega t \cos \omega_c t$ ， $u_\tau = k_4 U_{\tau m} \cos(\omega_\tau t + \phi)$ 。

当 $\omega_c = \omega_\tau$ ， $\phi = 0$ 时， $u_o = U_{om} \cos \Omega t$ 。

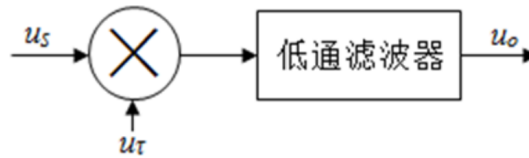


图 2: 模拟乘法器同步检波示意图

4. 二极管峰值包络检波

如图为二极管峰值包络检波原理图。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。充电时间常数远小于放电时间常数。

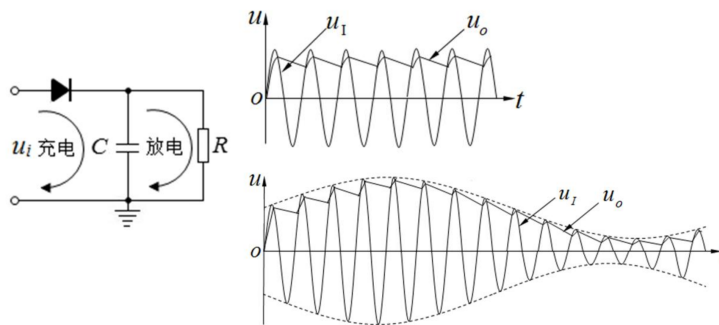


图 3: 二极管峰值包络检波原理图

第三部分 实验内容及结果

需要说明的是，由于实验时示波器显示的测量数据处于抖动状态，我们的测量方法是按 Stop 键之后读取数值作为试验记录，之后按 Run 键再将波形保存为图片，所以试验记录和图片中显示数据可能会有细微差别，报告中的计算全部按照原始数据来计算，图片仅作参考

3.1 普通调幅（AM）信号的产生与解调

3.1.1 AM 波形及频谱观测

调节 W1，在 TP3 得到全载波 AM 信号如图 ?? 所示，记录信号参数如表 ?? 所示。

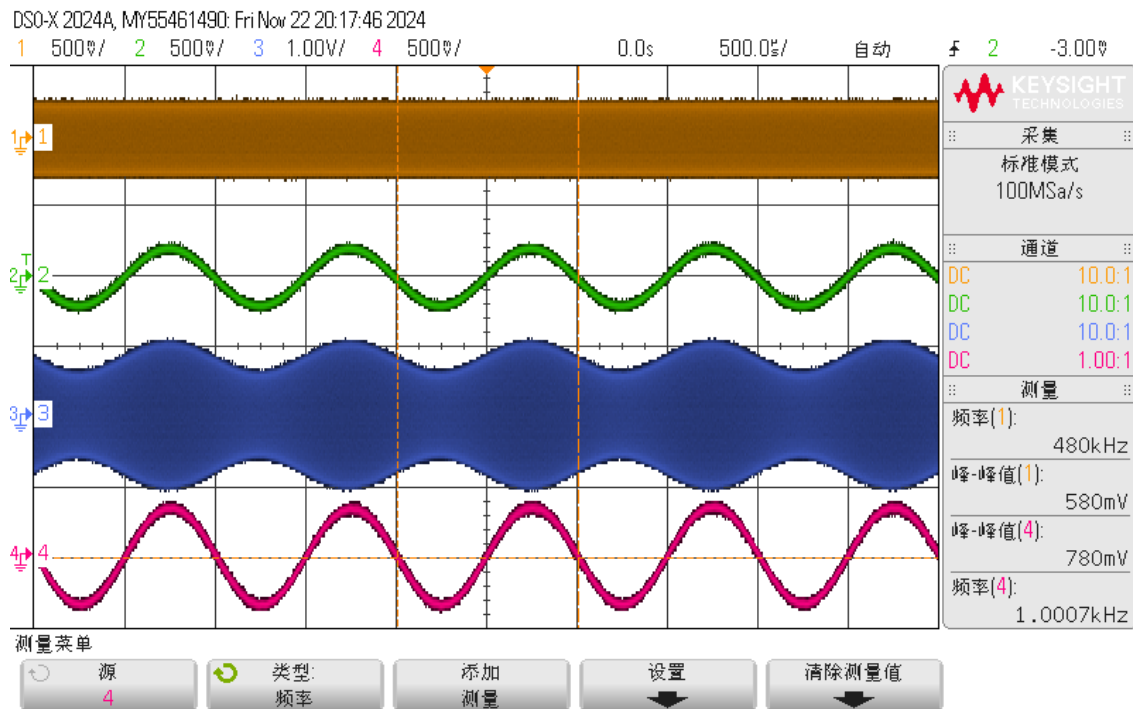


图 4: 全载波 AM 信号波形

表 1: 全载波 AM 信号参数

	V_{pp}	f	A_{max}	A_{min}
u_{Ω}	500mV	1.0027KHz		
u_c	600mV	460KHz		
u_{AM}			1.0125V	0.550V
u_o	760mV	999.4Hz		

计算得到此时的信号调制度

$$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} = 29.6\%$$

调节 W1 增大加入 u_{Ω} 的直流量, 测量数据如表??所示, 可以观察到, u_{Ω} 直流量越大, AM 信号的幅值波动相对于整体均值而言越小, 相对应地调制度 m 越小。

表 2: 不同 u_{Ω} 直流量下调制度变化

u_{Ω} 直流量	A_{max}	A_{min}	m
0.700V	1.0125V	0.550V	29.6%
0.764V	1.0875V	0.625V	27.0%
0.827V	1.1500V	0.712V	23.5%

调节同步检波电路移相网络的 W5, 观测 u_o 波形如图 ?? 所示, 记录波形参数为: $U_{opp} = 1.65V$, $f_o = 998.4Hz$ 。调节 W5, 观测到 u_o 波形最大不失真时的幅度值为 1.67V。

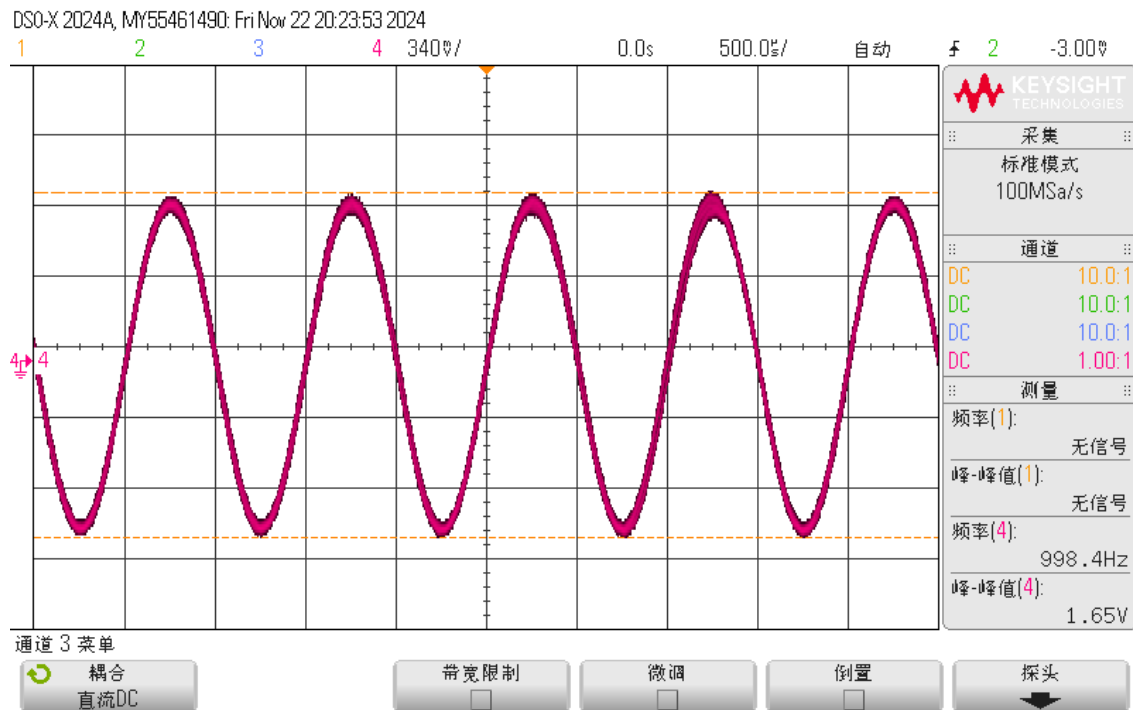


图 5: 同步检波后的 AM 信号波形

用频谱仪观察 AM 信号的频谱如图 ?? 所示, 可以观察到中心频率处的载波谱峰和两边调制信号的两个谱峰。中心频率与最大边频的频率差值 $\Delta f = 1KHz$, 误差允许范围内, Δf 等于低频调制信号的频率 f_{Ω} 。

读取幅度差值 $\Delta A = -16.69dB$, 调制度 $m = \frac{2}{10^{|\Delta A|/20}} = 29.3\%$, 与时域测量得到的调制度 $m = 29.6\%$ 在误差允许范围内近似相等。

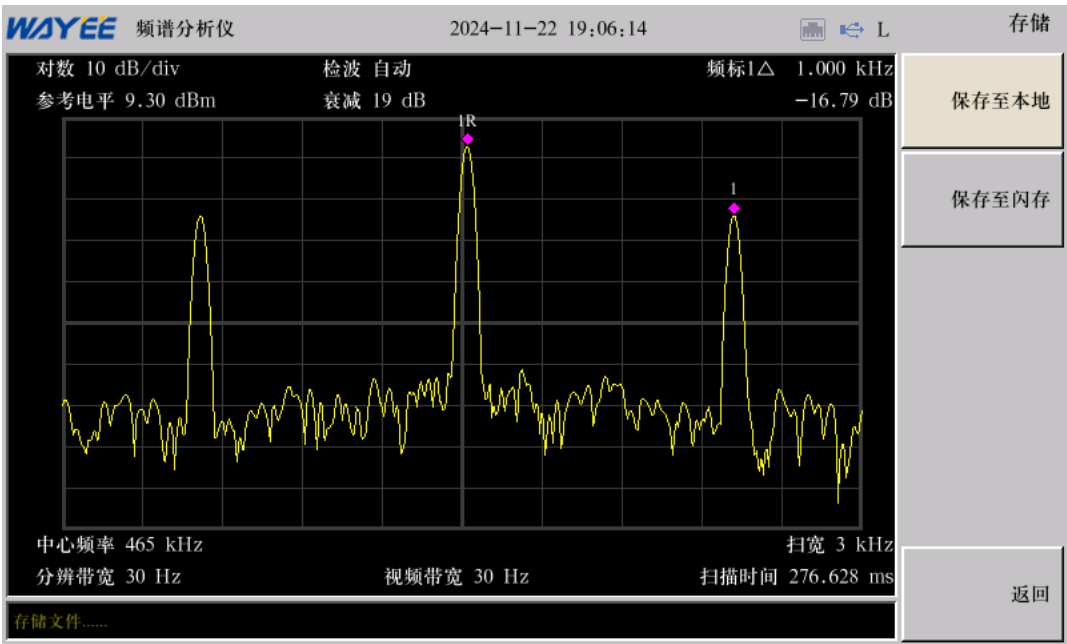


图 6: AM 信号频谱

改变低频调制信号幅值为 300mVpp，观察到 AM 信号频谱如图 ?? 所示， $\Delta A = -19.85\text{dB}$ ， $m = \frac{2}{10^{|\Delta A|/20}} = 20.3\%$ ，调制信号幅值减小，调制度减小，与理论分析一致。

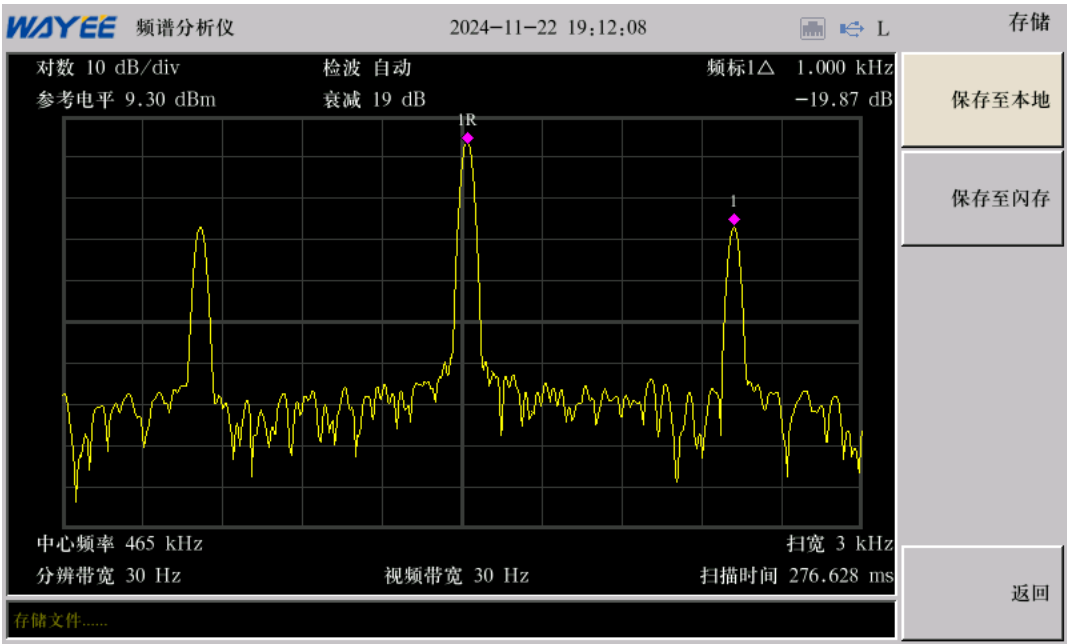


图 7: 调制信号幅值为 300mVpp 时的 AM 信号频谱

3.2 抑制载波的双边带（DSB）调幅信号的产生与检波

用示波器观察记录 DSB 信号 u_{Ω} , u_C , u_{DSB} , u_o 的波形如图 ?? 所示，记录信号参数如表 ?? 所示。从图中通道 3 可以较为清晰地看到 DSB 信号在过零点时的反相现象。

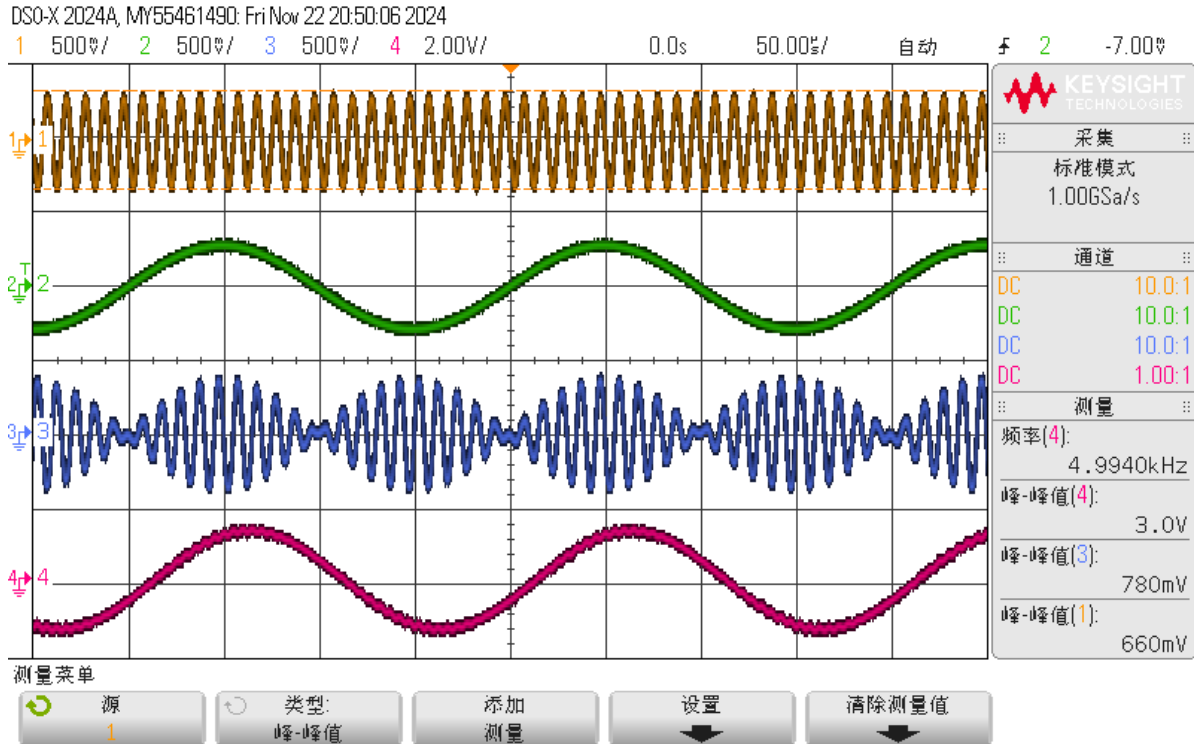


图 8: DSB 信号波形

表 3: DSB 信号参数

	V_{pp}	f
u_{Ω}	599mV	99.985KHz
u_C	607mV	5.020KHz
u_{DSB}	780mV	
u_o	3.0V	4.96KHz

调节同步检波模块的 W5，观测 u_o 波形如图 ?? 所示，W5 右移， u_o 幅值增大， u_o 波形最大不失真时的幅度值为 3.76V。

用频谱仪观测 DSB 信号频谱如图 ?? 所示，可以看出 DSB 信号具有明显的抑制载波特征，几乎没有中心载波频率处的尖峰，只有两侧调制信号对应的峰。测得 DSB 信号单侧峰值与中心频率间的差值 $\Delta f = 4.967KHz$ ，近似等于调制信号频率 $5KHz$

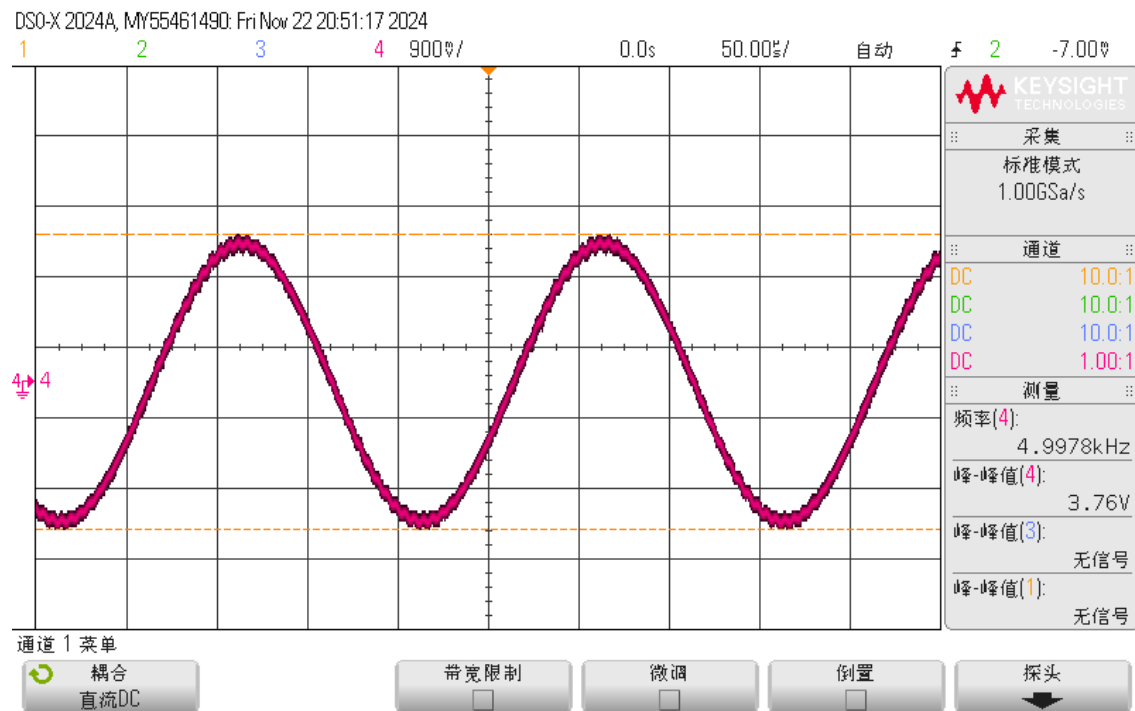
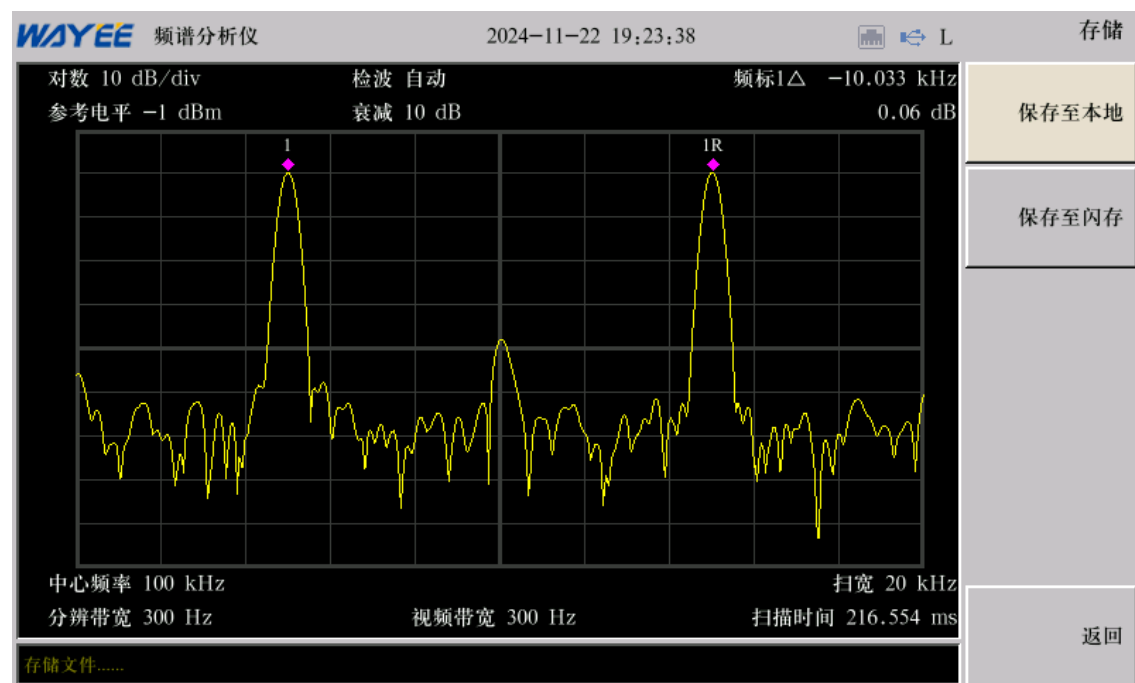
图 9: u_o 波形

图 10: DSB 信号频谱图

3.3 抑制载波的单边带（SSB）调幅信号的产生与检波

3.3.1 测试 465KHz 陶瓷滤波器的幅频特性

用频谱仪观测 465KHz 陶瓷滤波器的幅频特性曲线如图 ?? 所示，读出滤波器-3dB 带宽为 10.333KHz。

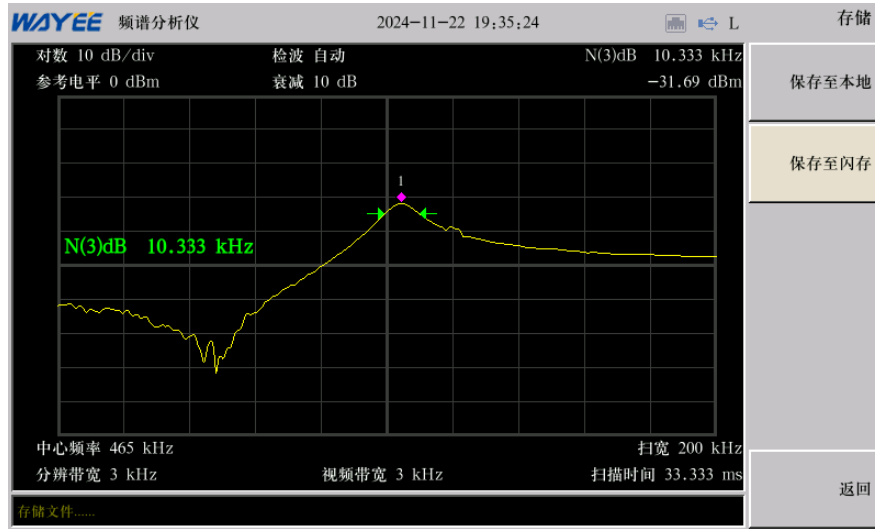


图 11: 465KHz 陶瓷滤波器的幅频特性曲线

3.3.2 SSB 波形及频谱观测

用示波器观察记录 SSB 信号 u_{Ω} , u_{DSB} , u_{SSB} , u_o 的波形如图 ?? 所示，记录信号参数如表 ?? 所示。此处调节输入信号参数为： $f_c = 435KHz$, $f_{\Omega} = 30KHz$ 。

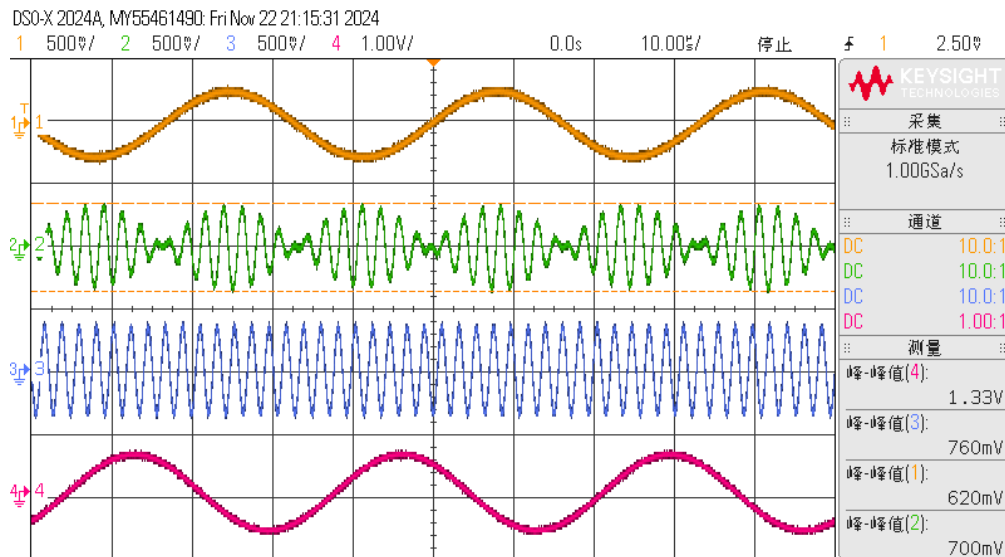


图 12: SSB 信号波形

表 4: SSB 信号参数

	V_{pp}	f
u_{Ω}	620mV	30.135KHz
u_{DSB}	700mV	
u_{SSB}	760mV	
u_o	1.33V	29.996KHz

调节同步检波模块的 W5，观测 u_o 波形，W5 右移， u_o 波形整体向右发生相移，未观察到明显幅值变化。 u_o 波形幅度值保持在 1.33V 左右。

用频谱仪观测 SSB 信号频谱如图 ?? 所示，可以看出 SSB 信号具有明显的抑制载波和单边带特征，几乎没有载波频率处的尖峰以及下边带尖峰，只保留了上边带尖峰。测得 SSB 信号上边带峰值频率为 $f = 464.67\text{KHz}$ ，与中心频率 435KHz 间的差值 $\Delta f = 29.67\text{KHz}$ ，近似等于调制信号频率 30KHz 。

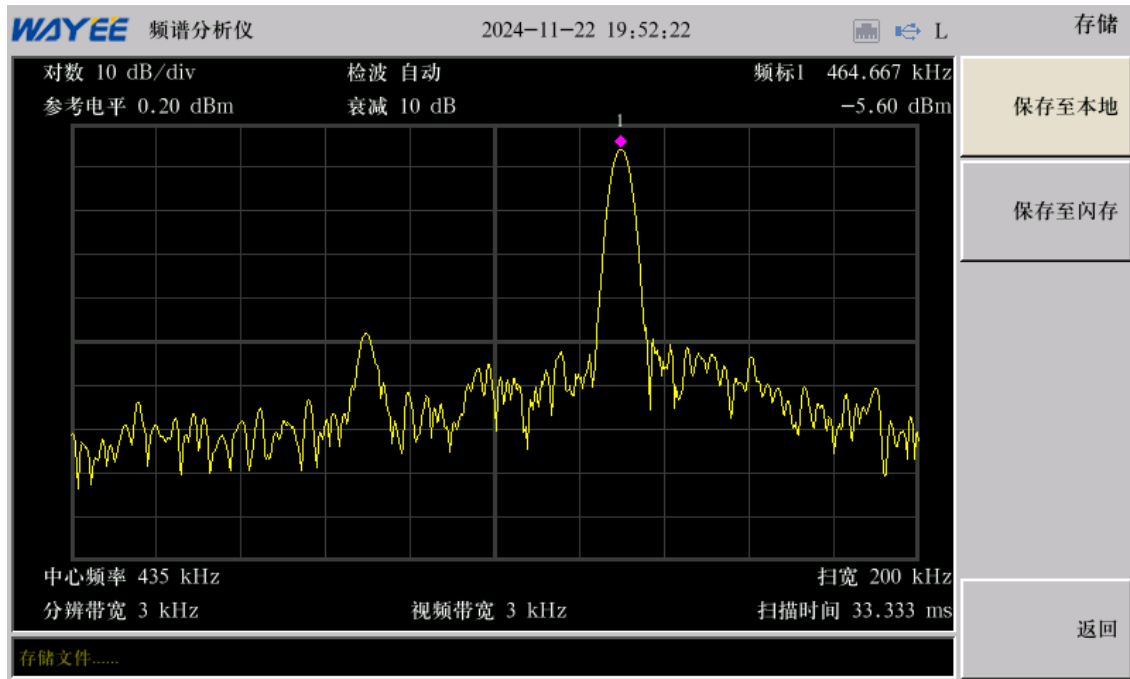


图 13: SSB 信号频谱图

3.4 二极管峰值检波器测试

观测二极管包络检波 u_{AM} 信号的波形如图 ?? 通道 1 所示，测量得到： $A_{max} = 925\text{mV}$, $A_{min} = 487.5\text{mV}$, $m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} = 30.97\%$ ，输出信号 u_o 波形如图 ?? 通道 4 所示，测量得到输入 AM 信号正包络变化幅值 $\Delta U_{AMpp} = 437.5\text{mV}$ ，输出电压幅值 $U_{opp} = 960\text{mV}$ ，交流检波效率 $k_{\Omega} = \frac{U_{opp}}{\Delta U_{AMpp}} = 2.194$ 。

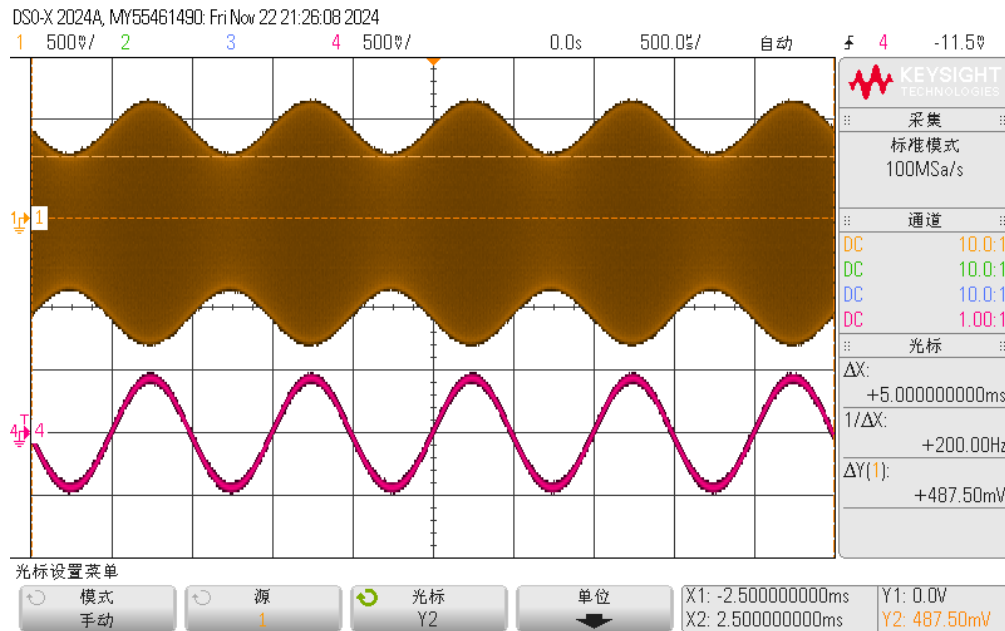
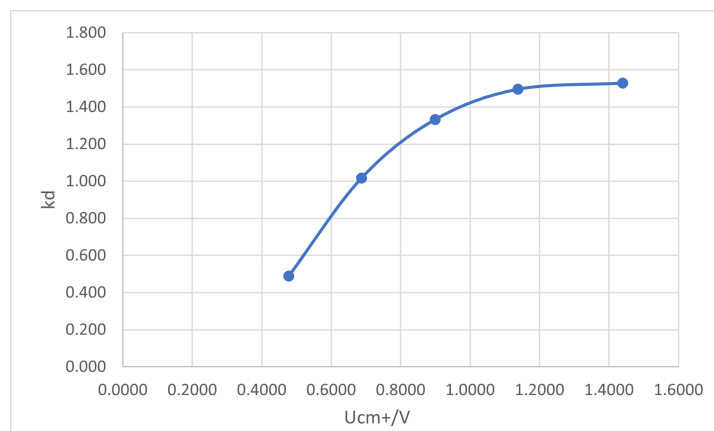


图 14: 二极管包络检波输入输出信号波形

在不同幅值输入高频正弦信号下, 用示波器观察记录输入信号波形正半周幅值 U_{cm+} , 用万用表测量检波输出直流电压 V_o 如表 ?? 所示, 计算直流检波效率 k_d , 绘制 $k_d \sim U_{cm+}$ 曲线如图 ?? 所示。

表 5: 二极管包络检波信号参数

输入高频幅值 (V_{pp})	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$U_{cm+}(V)$	0.4775	0.6875	0.9000	1.1375	1.4400
$V_o(V)$	0.234	0.700	1.200	1.700	2.200
k_d	0.490	1.018	1.333	1.495	1.528

图 15: $k_d \sim U_{cm+}$ 曲线

用示波器观测检波输出信号的波形，调节二极管包络检波直流负载 W3，观察到对角线切割失真现象如图 ?? 通道 2 所示，记录信号峰峰值为 800mV。调节二极管包络检波的交流负载 W4，观察到底部切割失真现象如图 ?? 通道 2 所示，记录信号峰峰值为 440mV。

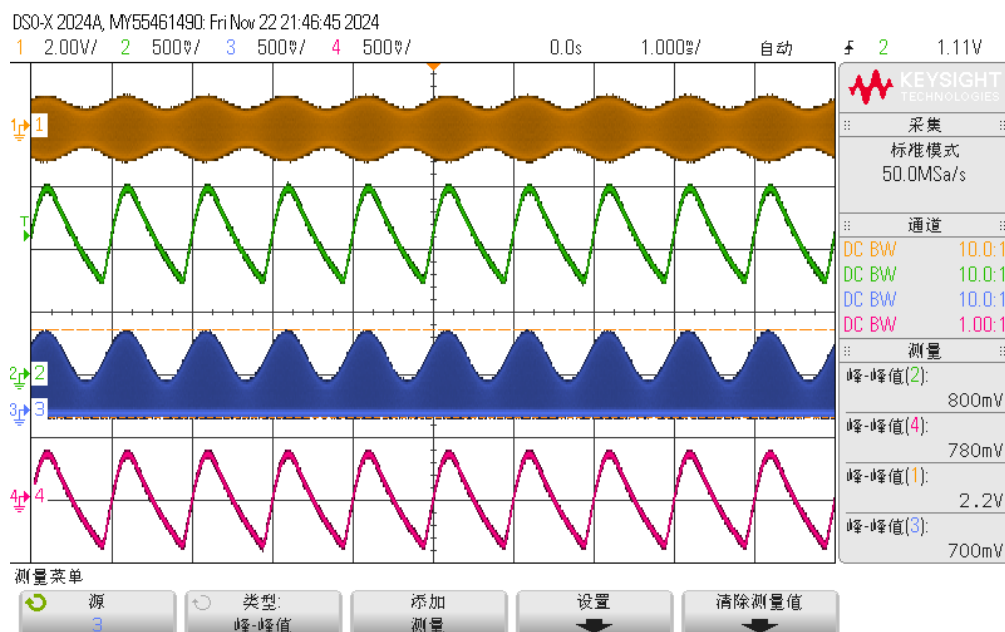


图 16: 对角线切割失真现象

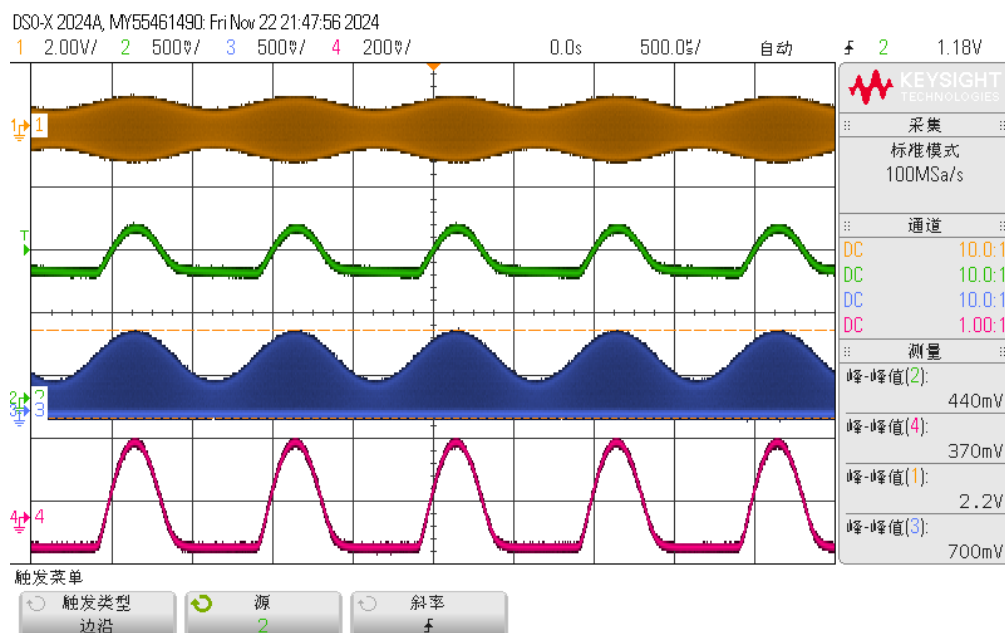


图 17: 底部切割失真现象

第四部分 思考题

I. 简述乘法器调幅与集电极调幅/基极调幅有什么异同？

相同点：都属于幅度调制，通过一个低频信号调节高频信号的幅度。

不同点：

- (1) 乘法器调幅使用乘法器电路，电路较为复杂。集电极调幅/基极调幅通过晶体管的工作特性直接控制信号幅度。电路实现比较简单。
- (2) 乘法器调幅使用了乘法器电路，调制的精度较高，灵活性更强，适合对调制精度有较高要求的应用。集电极调幅/基极调幅直接依赖于晶体管的非线性特性，精度相对较低，并且调制深度的控制较为有限。
- (3) 乘法器调幅使用乘法器电路，使用差分对，受噪声影响较小，可靠性较高。集电极调幅/基极调幅相对更容易受到噪声的影响，可能导致调制信号失真或幅度变化。

II. 简述同步检波与峰值包络检波有什么异同？

相同点：两种方法均可用于从 AM 信号中提取原始的调制信号（基带信号）。还原载波信号调制的原始信息。

不同点：

- (1) 工作原理不同。同步检波通过与载波信号同步的本地振荡器恢复基带信号。峰值包络检波使用二极管和电容提取调制信号的包络。
- (2) 精度不同。同步检波精度较高，尤其适用于高质量信号传输。峰值包络检波精度较低，可能会受失真和噪声影响。
- (3) 解调系统复杂度不同。同步检波需要精确的本地载波同步电路，设计复杂。峰值包络检波电路简单，通常只需二极管、电容和电阻即可。
- (4) 抗噪声能力不同。同步检波抗噪性能较好，适合低信噪比的信号解调。峰值包络检波抗噪性能差，容易受噪声干扰。
- (5) 对载波同步要求不同。同步检波对载波同步要求高，需要准确的相位和频率匹配。峰值包络检波不需要载波同步，仅检测信号包络。
- (6) 适用场景不同。同步检波适用于高质量通信，如广播和数字通信系统。峰值包络检波适用于低成本、简单系统，如模拟无线电接收器。