

华中科技大学

《通信电子线路》

仿真实验报告

实验名称：调幅模块级仿真

院（系）：电子信息与通信学院

专业班级：电信提高 2101 班

姓名：杨筠松

学号：U202115980

时间：2023.11.8

地点：南一楼东 205

实验成绩：

指导教师：黄佳庆

2023 年 12 月 7 日

一. 实验目的

1. 进一步熟悉 Multisim 电路仿真软件;
2. 掌握通信电子线路中发射机和接收机的基本原理;
3. 熟悉发射机电路中:本地振荡器, 射极跟随器, 调幅和低频放大各级电路的波形;
4. 熟悉接收机电路中:高频放大, 混频, 本地振荡器, 检波器和低频放大器部分各级电路的波形;

二. 实验内容

1. 设计电路, 使用 Multisim 绘制仿真电路图;
2. Multisim 的仿真结果 (仿真结果需给出截屏) 和分析, 包括:
 - a) 时域特性: 显示该电路主要关键点时域波形, 包括但不限于: 输入/输出信号的电压波形;
 - b) 频域特性: 显示该电路主要关键点的频谱, 包括但不限于: 输入/输出信号的频谱;
3. 发送端仿真电路:
 - a) 普通调幅 AM (测试调幅指数如何影响输出):

输入调制信号电压波形、频谱;

载波信号电压波形、频谱;

输出已调幅信号电压波形、频谱。
 - b) 抑制载波双边带调幅 DSB-SC:

输入调制信号电压波形、频谱；

载波信号电压波形、频谱；

输出已调幅信号电压波形、频谱。

4. 接收端仿真电路

a) 峰值包络检波

输入已调幅信号电压波形、频谱

输出解调信号电压波形、频谱

b) 同步检波

输入已调幅信号电压波形、频谱

输出解调信号电压波形、频谱

同步载波信号电压波形、频谱

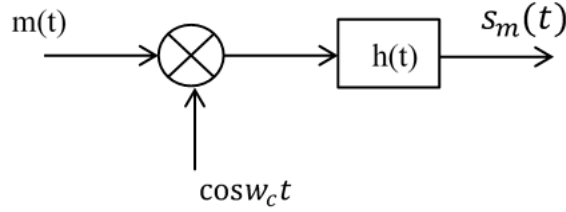
5. 输入信号频率至少为 10MHz。

三. 实验原理

1. 线性调制的一般模型

所谓调制，就是把信号转换成适合在信道中传输的形式的一种过程，广义的调制分为基带调制和带宽调制（也称载波调制）。在无线通信中和其他大多数场合，调制一词均指载波调制。载波调制，就是用调制信号去控制载波的参数的过程，使载波的某一个或几个参数按照调制信号的规律而变化。调制信号是指来自信源的消息信号（基带信号），这些信号可以是模拟的，也可以是数字的。未受调制的周期性振荡信号称为载波，它可以是正弦波，也可以是非正弦波（如周期性脉冲序列）。载波调制后称为已调信号，它含有调制信号的全部特性。解调（也称检波）则是调制的逆过程，其作用是将已调信号中的调制信号恢复出来。线性

调制是由调制信号去控制高频载波的幅度，使之随调制信号做线性变化的过程。
线性调制器的一般模型如图所示：



设正弦波载波为

$$c(t) = A\cos(\omega_c t + \varphi_0)$$

式中：A 为载波幅度； ω_c 为载波角频率； φ_0 为载波初始相位（本文 φ_0 默认为 0）。

该模型由一个相乘器和一个冲激响应为 $h(t)$ 的滤波器组成。因此，线性调制信号（已调信号）的时域和频域表达式为

$$s_m(t) = [Am(t)\cos\omega_c t] * h(t)$$

$$S_m(\omega) = \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] H(\omega)$$

式中： $m(t)$ 为基带调制信号， $H(\omega) \Leftrightarrow h(t)$ 。

由以上表示式可见，在波形上，已调信号的幅度随基带信号的规律而成正比地变化；在频谱结构上，它的频谱完全是基带信号频谱在频域内的简单搬移。由于这种搬移是线性的，因此这种调制通常被称为线性调制。但应注意，这里的“线性”并不意味着已调信号与调制信号之间符合线性变换关系。事实上，任何调制过程都是一种非线性的变换过程。

在该模型中，只要适当选择滤波器的特性 $H(\omega)$ ，便可以得到幅度调制信号。

如果将 $c(t)$ 展开，则可得到另一种形式的时域表达式。即

$$s_m(t) = s_I(t)\cos\omega_c t + s_Q(t)\sin\omega_c t$$

其中

$$s_I(t) = h_I(t) * m(t) \quad h_I(t) = h(t)\cos\omega_c t$$

$$s_Q(t) = h_Q(t) * m(t) \quad h_Q(t) = h(t)\sin\omega_c t$$

上式表明， $s_m(t)$ 可等效成为两个互为正交调制分量的合成。因此可以得

到图 2 所示的等效模型。该模型称为线性调制相移法的一般模型，它同样适用于所有线性调制。

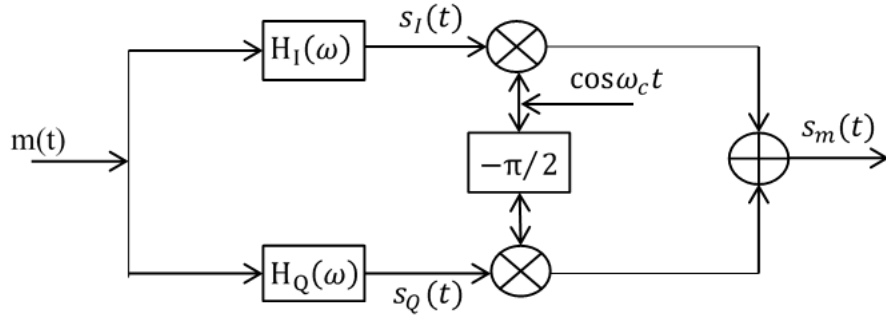


图 2 线性调制一般模型

2. 普通调幅（AM）的基本原理

在图 1 中，若假设滤波器为全通网络（ $h(t)=1$ ），调制信号叠加直流后再与载波相乘，则输出的信号就是常规双边带调幅（AM）信号。AM 调制器模型如下图所示。

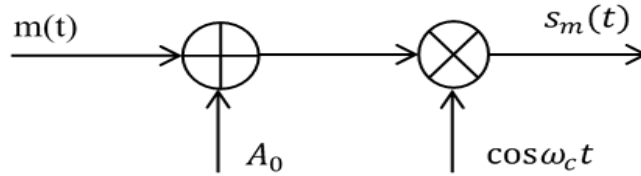


图 3 AM 调制器模型

AM 信号的时域和频域表达式分别为

$$s_{AM}(t) = [A_0 + m(t)]\cos\omega_c t = A_0\cos\omega_c t + m(t)\cos\omega_c t$$

$$S_{AM}(\omega) = \pi A_0[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] + \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]$$

式中， A_0 为外加的直流分量； $m(t)$ 可以是确知信号也可以是随机信号，但通常认为其平均值为 0，即 $\overline{m(t)} = 0$ 。

AM 信号的典型波形和频谱分别如下图（a）、（b）所示，图中假定调制信号 $m(t)$ 的上限频率为 ω_H 。显然，调制信号 $m(t)$ 的带宽为 $B_m = 2f_H$ 。

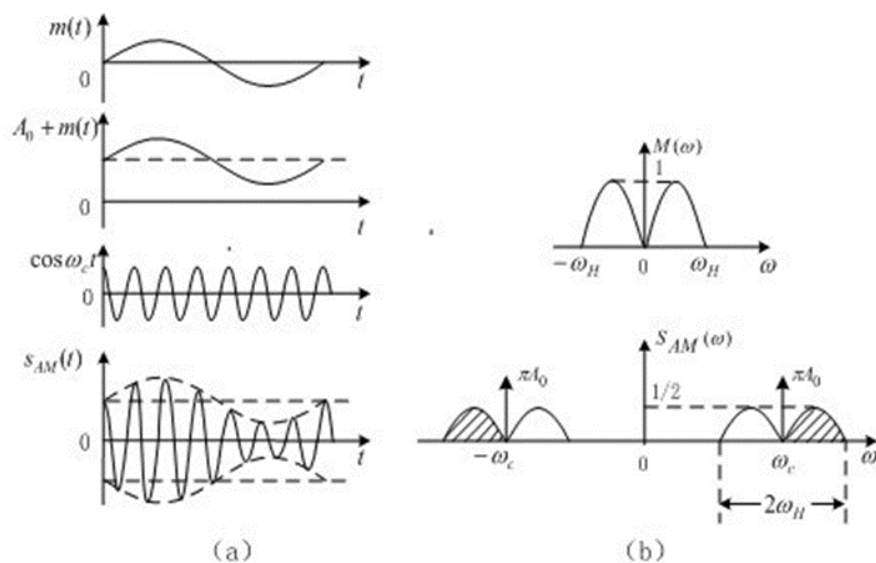


图 4 AM 信号的典型波形和频谱图

由图 (a) 可见, AM 信号波形的包络与输入基带信号 $m(t)$ 成正比, 故用包络检波的方法很容易恢复原始调制信号。但为了保证包络检波时不发生失真, 必须满足 $A_0 \geq |m(t)|_{\max}$, 否则将出现过调幅现象而带来失真。

由它的频谱图可知, AM 信号的频谱 $s_{AM}(t)$ 是由载频分量和上、下两个边带组成 (通常称频谱中画斜线的部分为上边带, 不画斜线的部分为下边带)。上边带的频谱与原调制信号的频谱结构相同, 下边带是上边带的镜像。显然, 无论是上边带还是下边带, 都含有原调制信号的完整信息。故 AM 信号是带有载波的双边带信号, 它的带宽为基带信号带宽的两倍, 即

$$B_{AM} = 2B_m = 2f_H$$

式中, $B_m = f_H$ 为调制信号 $m(t)$ 的带宽, f_H 为调制信号的最高频率。

3. 双边带调制 (DSB) 的基本原理

如果在 AM 调制模型中将直流 A 去掉, 即可得到一种高调制效率的调制方式——抑制载波双边带信号 (DSB—SC), 简称双边带信号。

其时域表达式为

$$s_{DSB}(\omega) = m(t)\cos\omega_c t$$

式中, 假设的平均值为 0。DSB 的频谱与 AM 的谱相近, 只是没有了在 $\pm \omega$ 处的函数 δ , 即

$$s_m(t) = \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]$$

与 AM 信号比较，因为不存在载波分量，DSB 信号的调制效率是 100%，即全部效率都用于信息传输。但由于 DSB 信号的包络不再与调制信号的变化规律一致，因而不能采用简单的包络检波来恢复调制信号。DSB 信号借条是需采用相干解调，也称同步检波（比包络检波器复杂得多）。其典型波形和频谱如图 5 所示：

注意，虽然 DSB 信号节省了载波功率，但它所需的传输带宽仍是调制信号带宽的两倍，及与 AM 信号带宽相同。

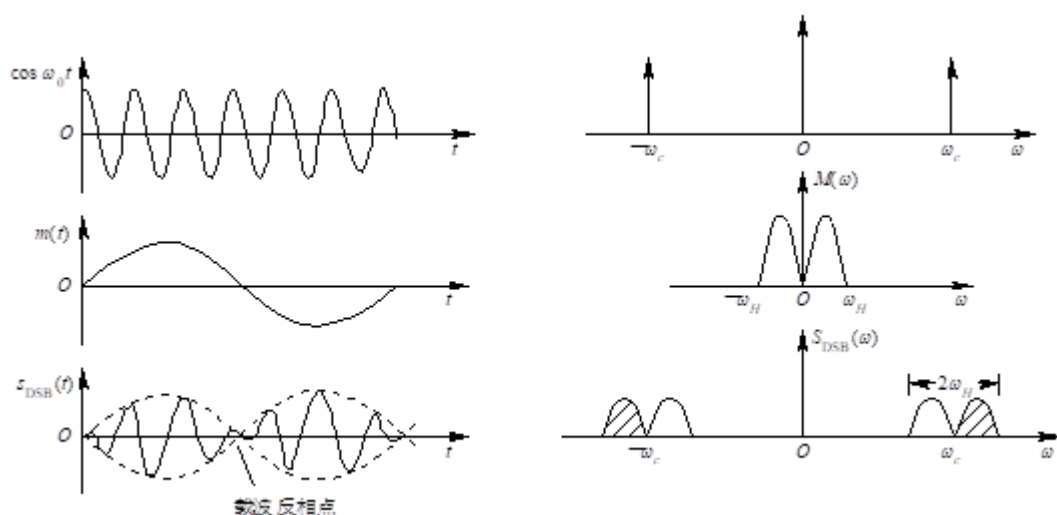


图 5 DSB 调制典型波形和频谱

4. 相干解调与包络检波

调制过程的逆过程叫做解调。AM 信号的解调是把接收到的已调信号 $s_{AM}(t)$ 还原为调制信号 $m(t)$ 。AM 信号的解调方法有两种：相干解调和包络检波解调。

1) 相干解调

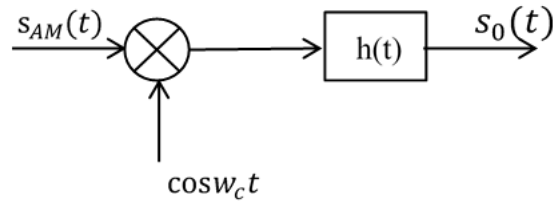


图 6 相干解调原理图

由 AM 信号的频谱可知，如果将已调信号的频谱搬回到原点位置，即可得到原始的调制信号频谱，从而恢复出原始信号。解调中的频谱搬移同样可用调制时的相乘运算来实现。相干解调的原理框图如图 2.5 所示。将已调信号乘上一个与调制器同频同相的载波，得

$$s_{AM}(t) * \cos\omega_c t = [A_0 + m(t)]\cos^2\omega_c t = \frac{1}{2}[A_0 + m(t)] + \frac{1}{2}[A_0 + m(t)] * \cos 2\omega_c t$$

由上式可知，只要用一个低通滤波器，就可以将第 1 项与第 2 项分离，无失真的恢复出原始的调制信号

$$m_0(t) = \frac{1}{2}[A_0 + m(t)]$$

由此可见，相干解调器适用于所有线性调制信号的解调，及对于 AM、DSB 都是使用的。只是 AM 信号的解调结果中含有直流分量 A_0 ，这时在解调后加上一个简单隔直流电容即可。从以上分析可知，相干解调的关键是必须产生一个与调制器同频同相位的载波。否则，相干解调后将会使原始信号减弱，甚至带来严重失真，这在传输数字信号是有位严重。

2) 包络检波法

由 $s_{AM}(t)$ 的波形可见，当满足条件：

$$A_0 \geq |m(t)|_{max}$$

时，AM 波的包络与调制信号 $m(t)$ 的形状完全一样，因此，用包络检波的方法分容易恢复出原始调制信号；如果上述条件没有满足，就会出现“过调幅”现象，这时用包络检波将会发生失真。但是，可以采用其他的解调方法，如相干解调。AM 信号波形的包络与输入基带信号成正比，故可以用包络检波的方法恢复原始调制信号。包络检波器一般由半波或全波整流器和低通滤波器组成，如下图所示。

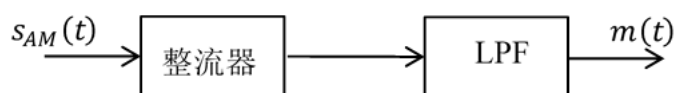


图 7 包络检波原理图

包络检波法属于非相干解调法，其特点是：解调效率高，解调器输出近似为相干解调的 2 倍；解调电路简单，特别是接收端不需要与发送端同频同相位的载波信号，大大降低实现难度。故几乎所有的调幅（AM）式接收机都采用这种电路。

顺便指出，DSB 是抑制载波的已调信号，其包络不直接表示调制信号，因而不能采用简单的包络检波方法解调。但若插入很强的载波，使之成为或近似为 AM 信号，则可以利用包络检波方法解调，这种方法称为插入载波包络检波法。它对于 DSB 也使用。载波分量可以在接受端插入。注意，为了保证检波质量，插入的载波振幅应远大于信号的振幅，同时也要求插入的载波与调制载波同频同相。

四. 实验步骤

1. 设计发射机和接收机各级电路；
2. 观察各级电路的输入和输出信号的波形；
3. 通过仿真，加深对各级电路工作原理的理解。

五. 实验结果及分析

a) 发送端电路

普通调幅 AM

仿真电路如图 8 所示

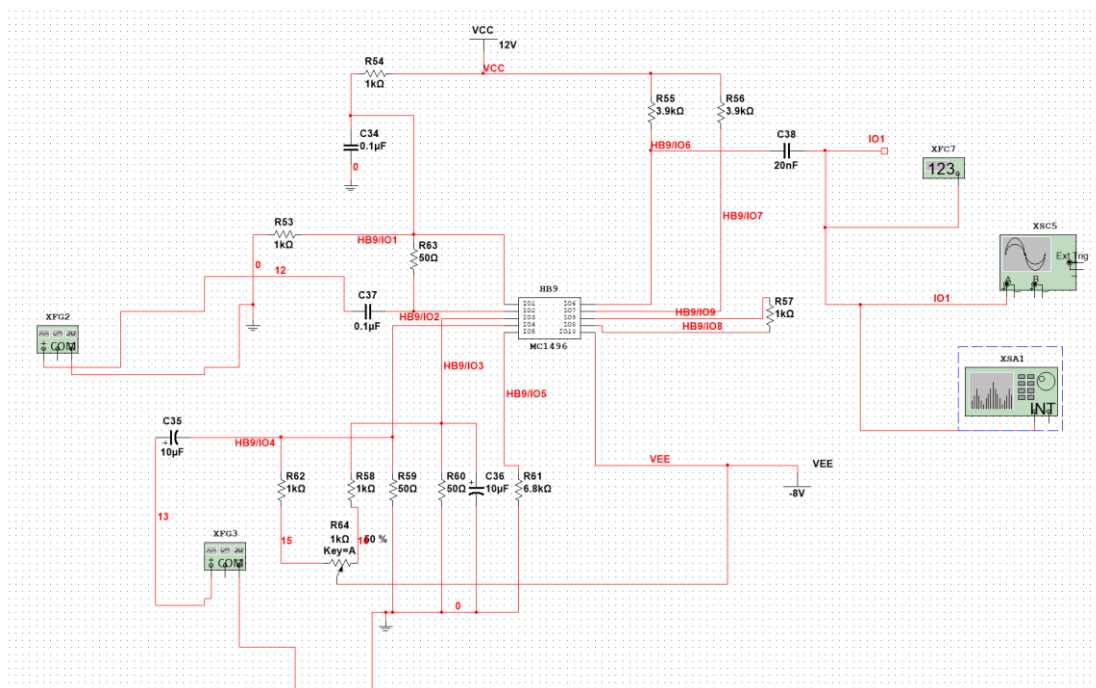


图 8 AM 模块电路图

1. 载波信号电压

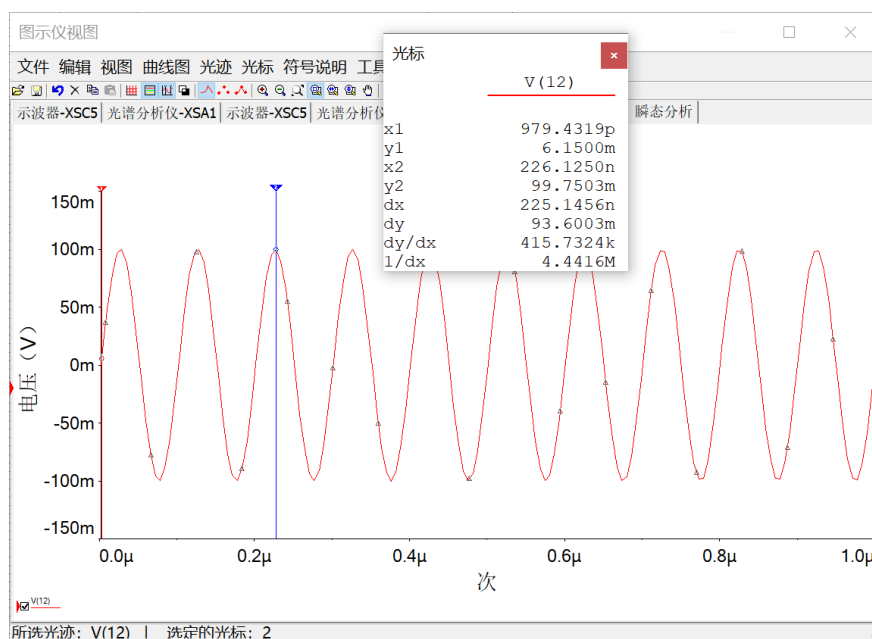


图 9 载波信号时域图

由图 9 可知，载波信号为一频率恒定的正弦信号，振幅为 0.1V

采用光谱分析仪进行频域分析得到图 10

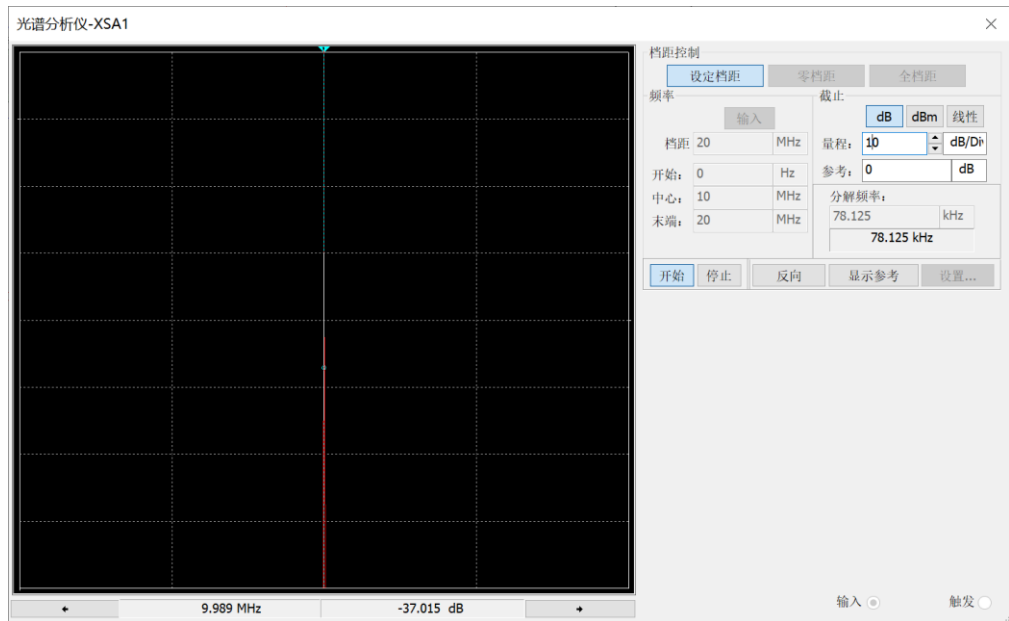


图 10 载波信号频域图

可以测得载波信号的频率为 10MHz

2. 输入调制信号电压

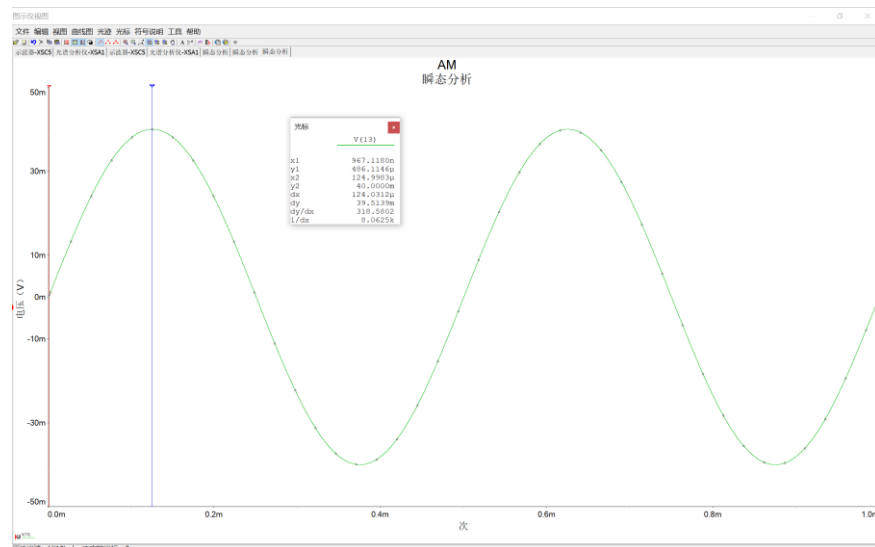


图 11 输入调制信号时域图

由图 11 可知，输入调制信号为一频率恒定的正弦信号，振幅为 40mV

采用光谱分析仪进行频域分析得到图 12

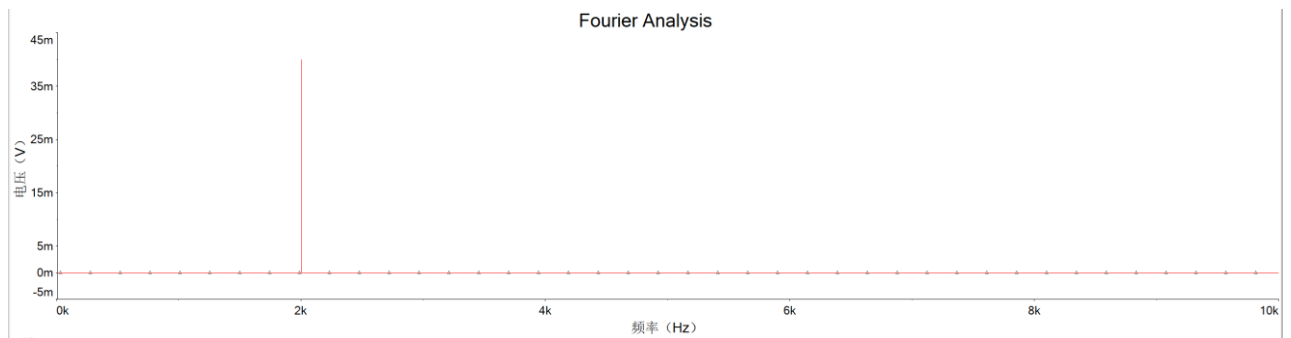


图 12 输入调制信号频域图

由图 12 知，调制信号的频率为 2kHz

3. 输出已调幅信号电压

输出信号如图 13，输出电压为一调幅波。

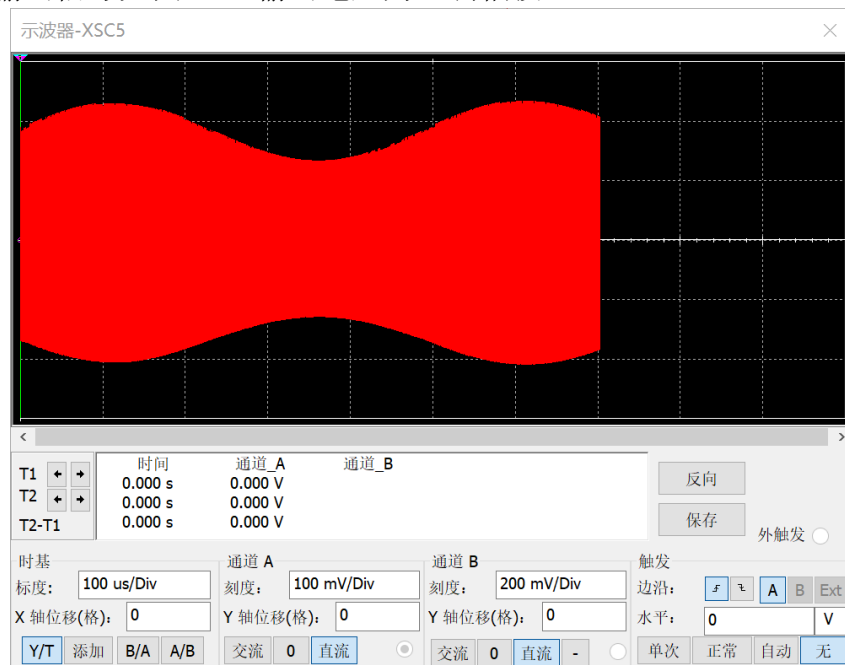


图 13 输入调制信号时域图

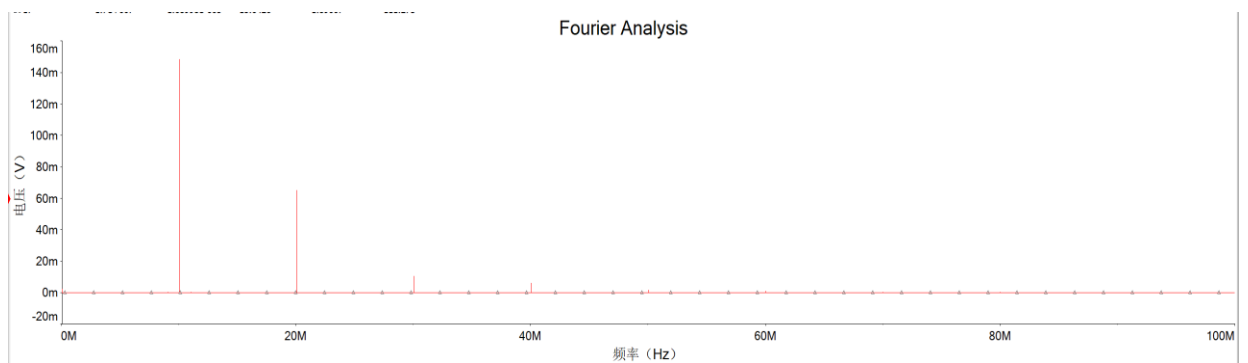


图 14 输入调制信号频域图

抑制载波双边带调幅 DSB-SC
 电路图如图 15 所示

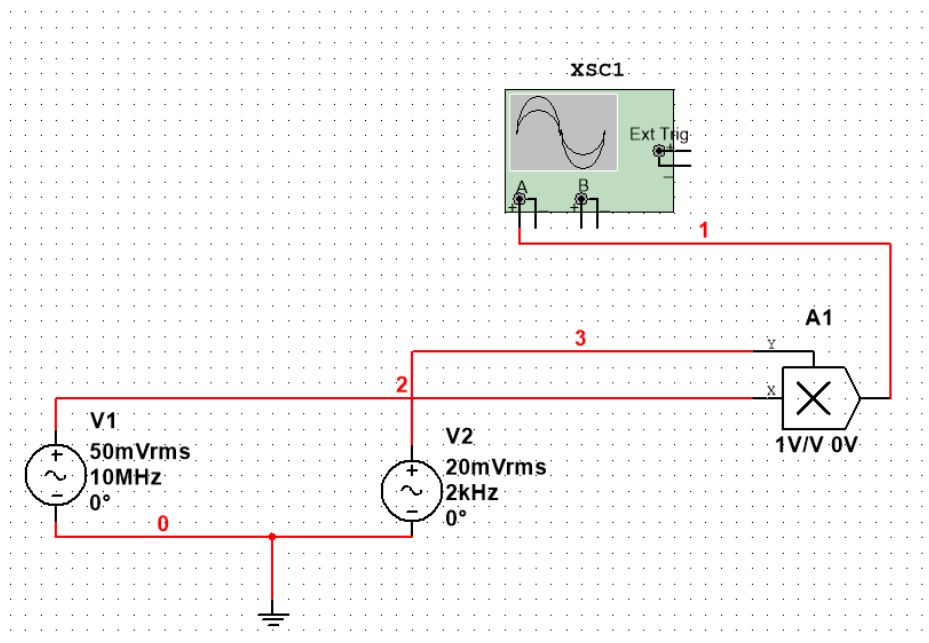


图 15 DSB 模块电路图

1. 输入调制信号电压

同上图

2. 载波信号

同上图

3. 输出已调幅信号电压

抑制载波双边带调幅波如图 16 所示。

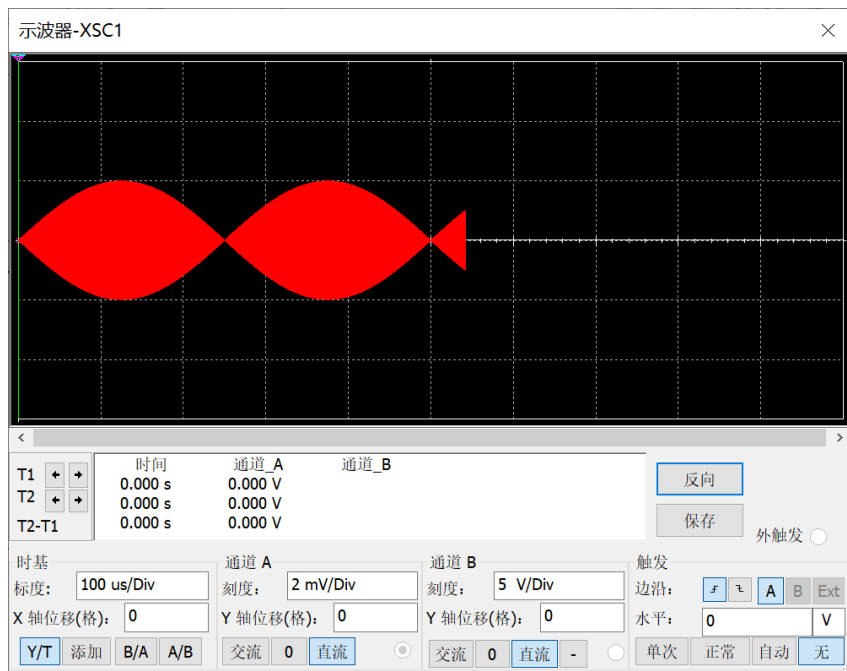


图 16 抑制裁波双边带调幅波时域图

其频域图如图 17 所示

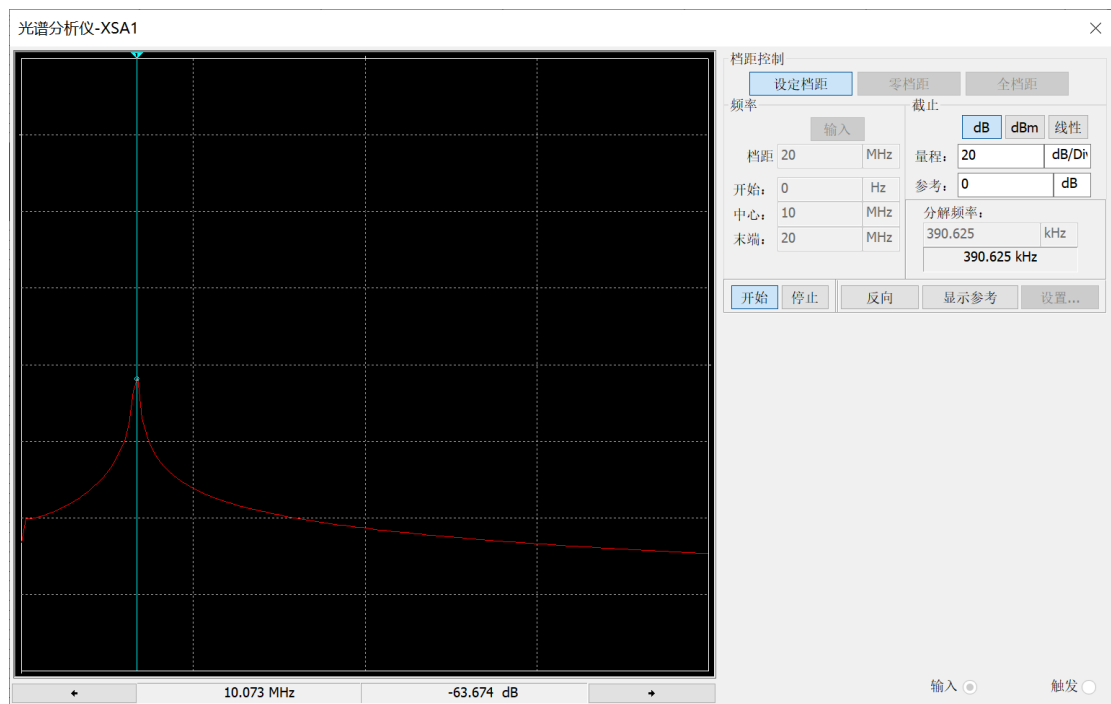


图 17 抑制裁波双边带调幅波时域图

可见，其频谱能量集中在 10MHz 附近，也就是载波的频率。

b) 接收端电路

输入已调幅信号为前面发送端 AM 模块的调幅输出信号。

峰值包络检波

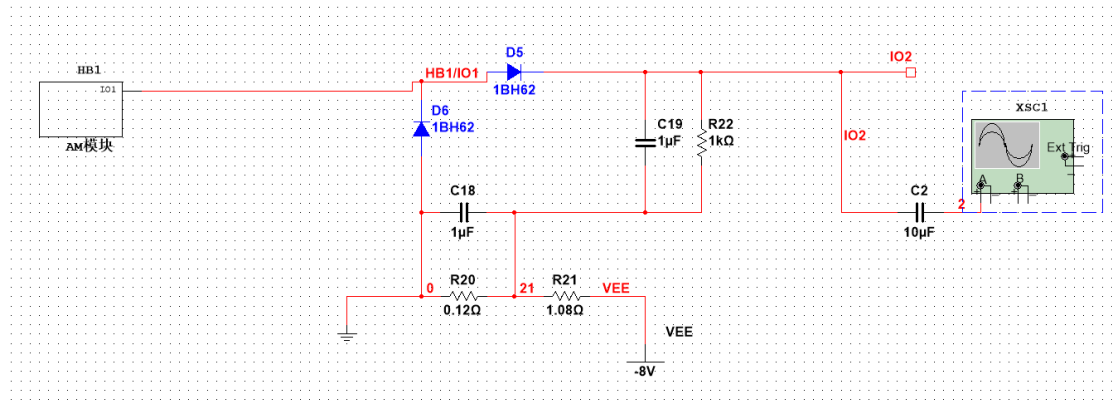
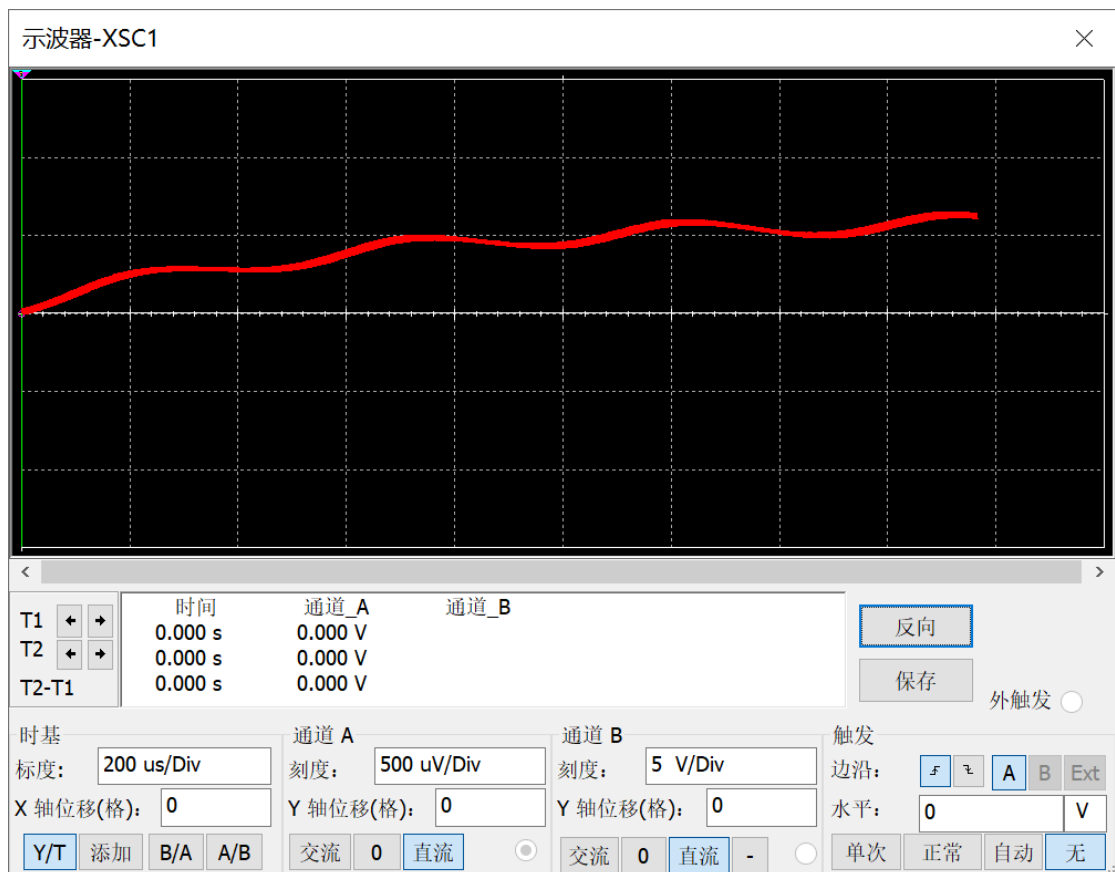


图 18 峰值包络检波

1. 输入已调幅信号电压

同图

2. 输出解调信号电压



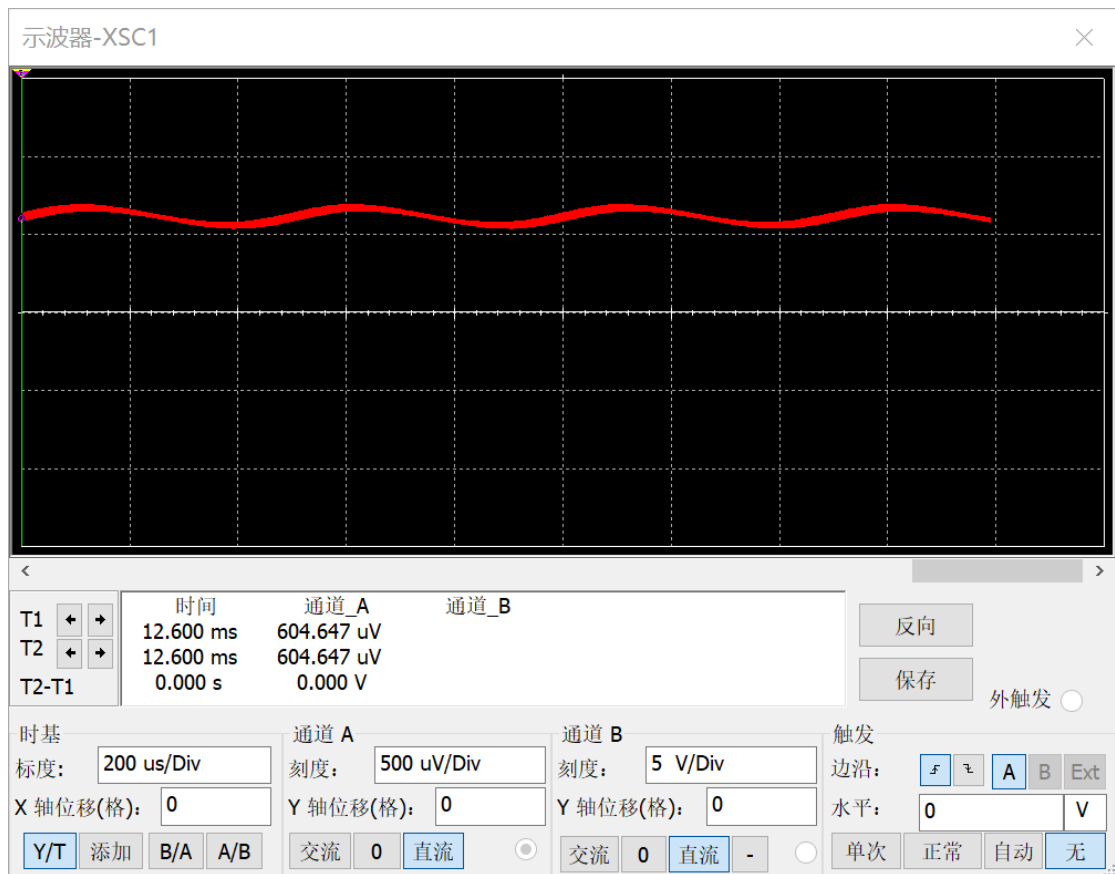


图 19 输出解调信号时域图

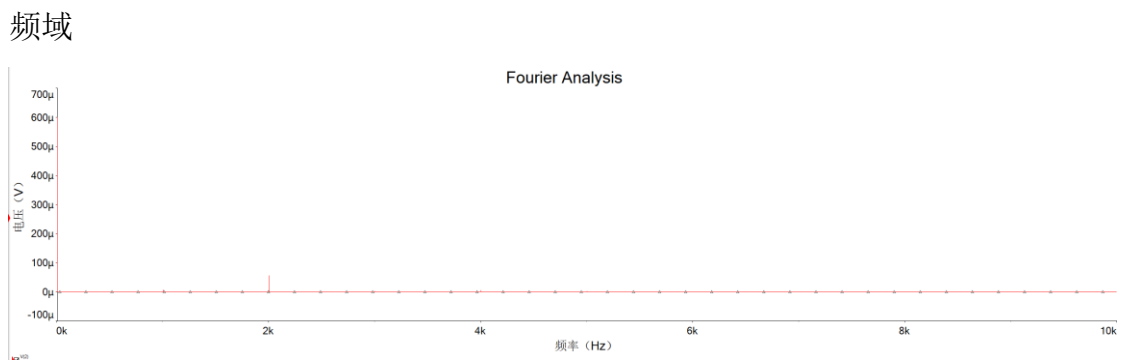


图 20 输出解调信号频域图

同步检波

同步检波器模块如图 21 所示

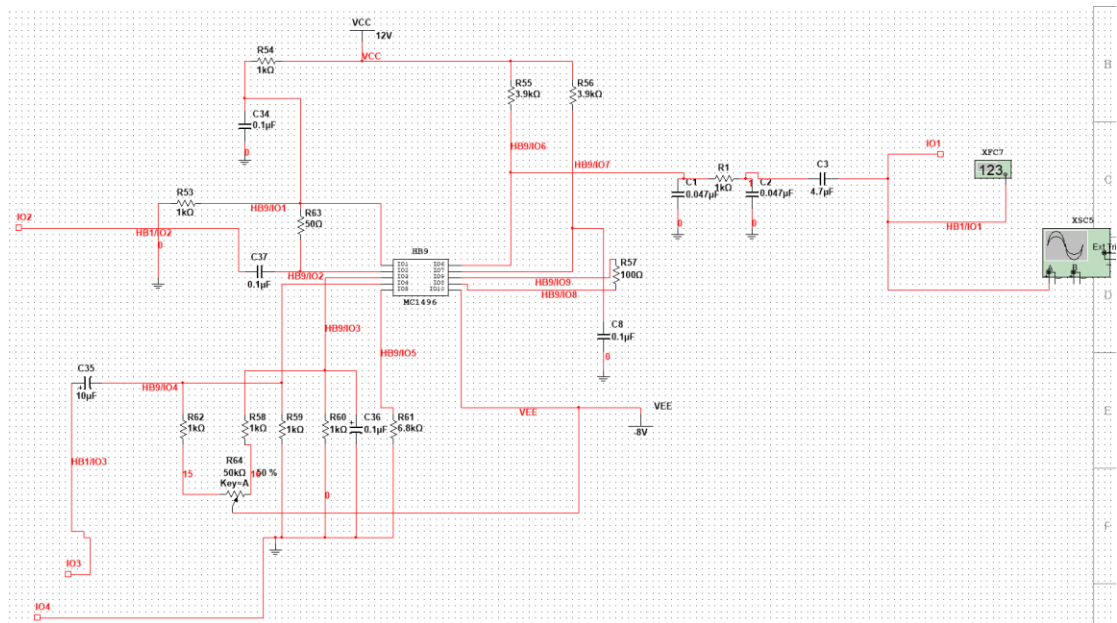


图 21 同步检波器模块电路图

总的电路如图所示

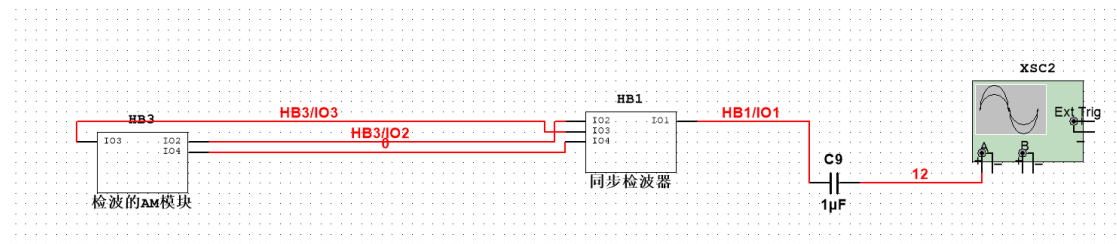


图 22 整体电路图

1. 输入已调幅信号电压

同图

2. 输出解调信号电压

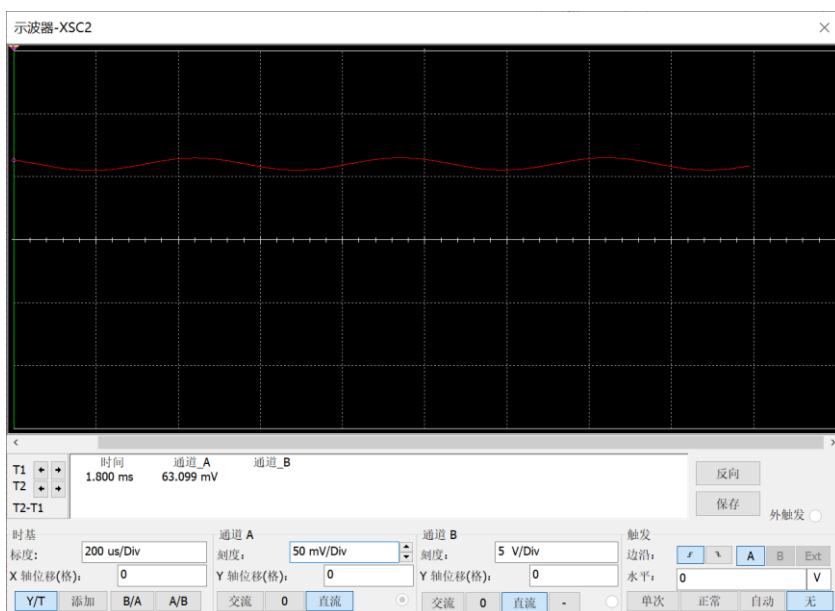
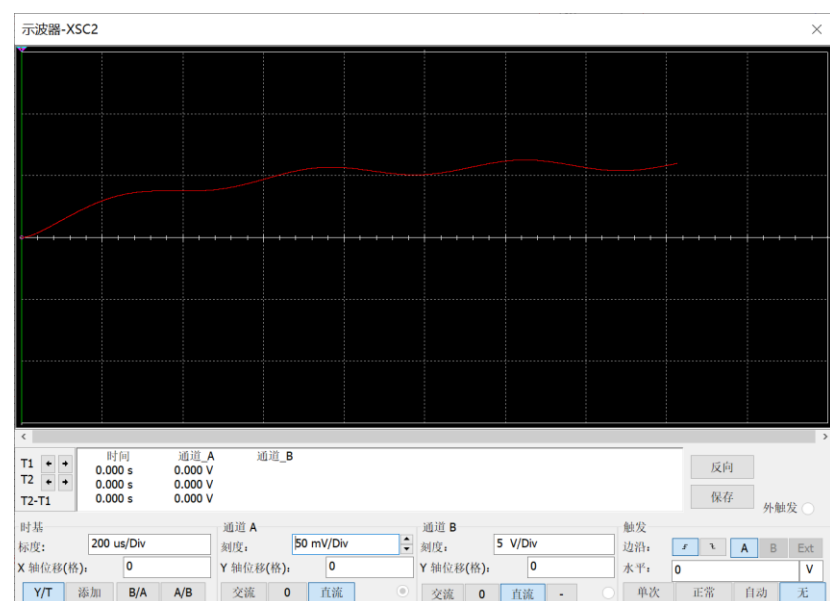


图 23 输出解调信号时域图

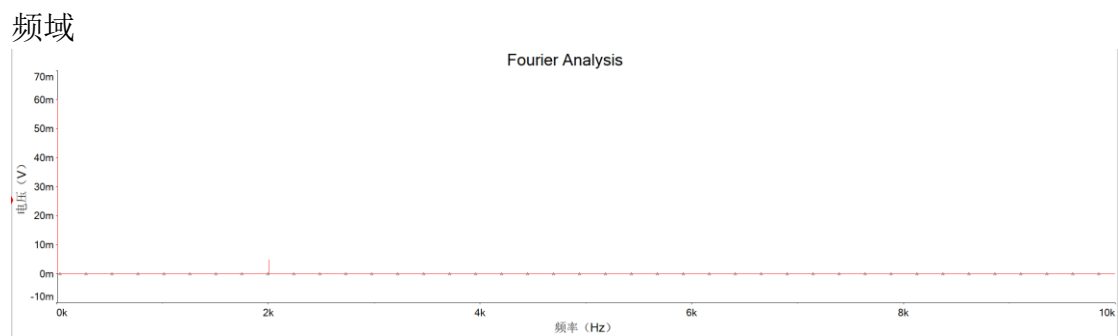


图 24 输出解调信号频域图

解调后的信号在频域中只包含直流和 2kHz 分量，也就是之前 AM 模块的，

采用电容隔直即可以提取出调制信号。

六. 实验总结

本次实验是关于调幅模块的仿真实验，分别完成了 AM，DSB，峰值包络检波以及同步检波四个电路的设计仿真。在实验的过程中，体会到书上所说峰值包络检波的确比同步检波电路设计来的简单。在做 AM 模块时，由于调制信号与载波的幅度未设置正确，导致波形畸变，而当时我以为是电路出错了，经过反复检验才发现原来是调制信号的电压设置的不合理，我将调制信号的幅度设置过大了，改正这个错误后电路的输出调幅信号便是正确的。

通过这次课程设计，我体会到了电子系统都可以通过模块化设计来简化，首先将总体电路分成若干个子模块，使每个模块有各自的不同的任务；再对各相对简单的子模块进行单独设计、调试；最后将各个子电路组合在一起完成整个电路。这样做法分工明确，层次清晰，使设计者能更宏观的把握设计的总体步骤。而且设计、调试单独的子电路降低了工作难度，使设计工作更有条理性。在检查电路时，也可根据各种情况分析是哪个子系统出了问题，再单独检查该出问题系统，可以提高检查的效率。

通过这四个实验的训练，我对于通信电子线路这门课程有了更深入的理解，对于 Multisim 仿真有了更多的经验。总之，这次实验中我学到了许多知识，清楚地认识到实践与理论的差距，以及实践对于学习的必要性，只有在动手时，各种各样的原本以为不可能发生的问题都可能出现在眼前。我认识到只有动手做才能发现问题，从实际中发现问题，并尝试解决问题，这个学习过程中，耐心是不可少的，当然收获和印象也会更加的深刻。而以后我们必将面对更加复杂的设计工作、更加困难的问题，此次设计过程对我的动手能力和思想层面都有了积极的促进效果，使我做事情更加细心有耐心。