

# 幅度调制与解调实验

## 一、实验目的及达到的要求

- 1、通过本次实验，起到理论联系实际的作用，将理论课中学到的调幅、检波电路的分析方法用到实验电路的分析和实验结果的分析中，使理论真正地用在实际电路中，落到实处。要求学生必须从时域、频域对调制和解调过程中信号的变换分析清楚。
- 2、本次采用的实验电路既能实现普通调幅，又能实现双边带调幅，通过实验更进一步理解普通调幅（AM）和双边带调幅（DSB）在理论上、电路中的联系和区别。
- 3、实验中所测量的各种数据、曲线、波形是代表电路性能的主要参数，要求理解参数的意义和测量方法，能从一组数据中得出不同的参数并衡量电路的性能。

## 二、实验仪器

1、数字示波器	TDS210	0~60MHz	1台
2、频谱分析仪	GSP-827	0~2.7GHz	1台
3、直流稳压电源	SS3323	0~30V	1台
4、实验电路板	自制		1块
5、数字万用表	FLUKE 15B		1块

## 三、实验电路及原理

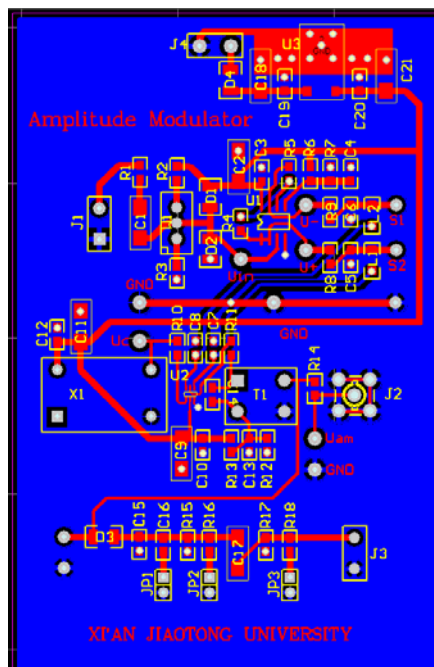
### 1、实验电路介绍

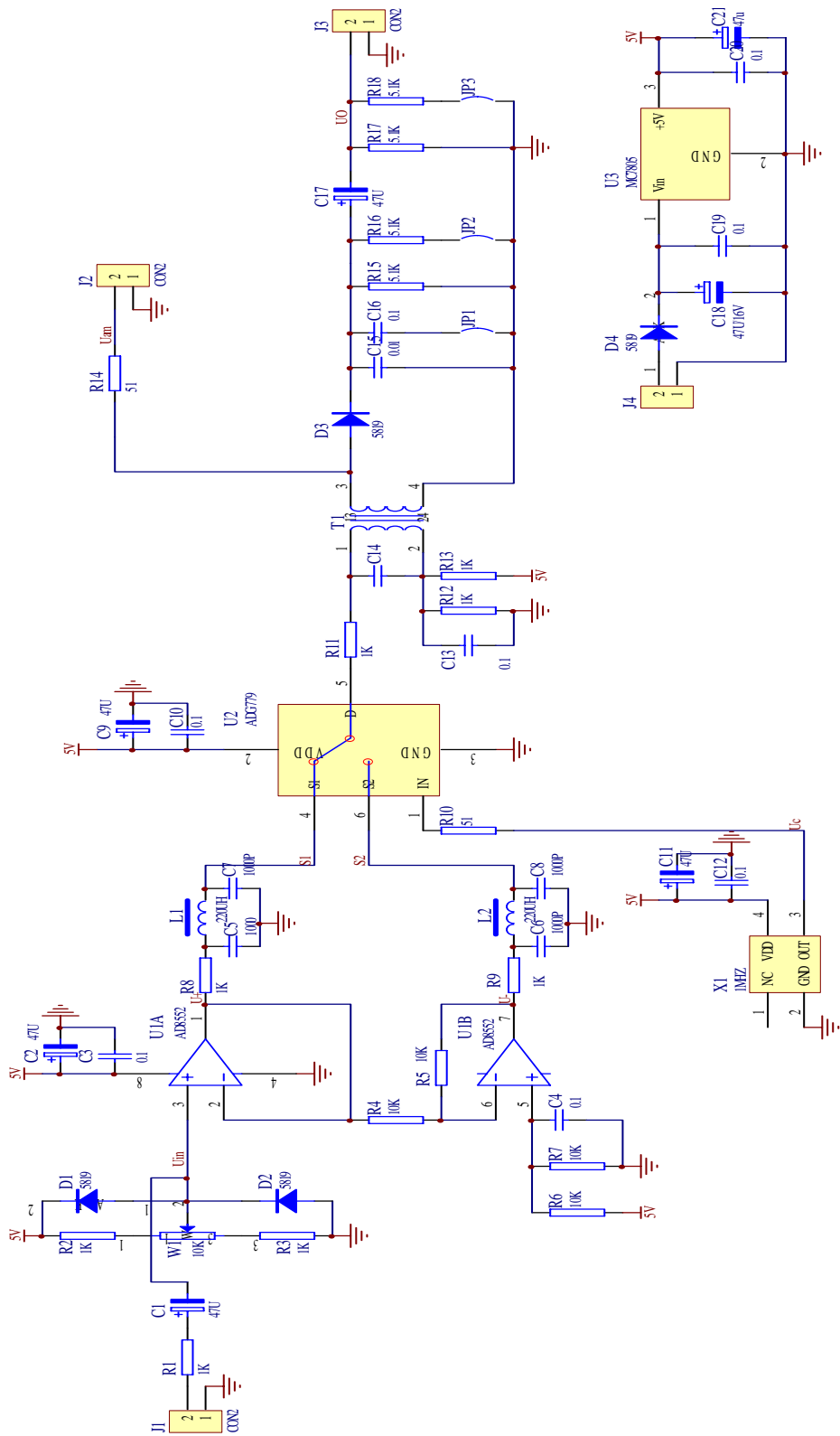
实验所采用的电路为开关调幅电路，如图所示。既能实现 AM 调制，又能实现 DSB 调制，是一种稳定可靠，性能优良的实验电路，其基本工作原理是：调制信号经耦合电容 C1 输入与电位器输出的直流电压叠加，分别送到同相跟随器 U1A 和反相跟随器 U1B，这样在两个跟随器的输出端就得到两个幅度相等，但相位相反的调制信号（ $U_+$ 和  $U_-$ ）。再分别送到高速模拟开关的两个输入端 S1 和 S2，由开关在两个信号之间高频交替切换输出（由载波控制），在输出端就得到调幅波，通过调整电位器可以改变直流电压达到改变调制度  $m$ ，当电位器调到中心位置时就得到了双边带的调幅信号。放大器为高精度运放 AD8552，开关为二选一高速 CMOS 模拟开关 ADG779。另外，为防止实验过程

中由于调制信号幅度过大而损坏电路，特加了保护二极管 D1、D2；由于运算放大器和模拟开关是单电源轨至轨型，只能单 5V 供电，在使用时所有信号是叠加在 2.5V 直流电平上的，电路中 R7、R8 就是提供该直流偏置电平的，R12、R13、T1 是用来抵销直流电平的，以免对检波电路产生影响；R8、C5、C7、L1 和 R9、C6、C8、L2 起到导通直流和低频信号、阻止高频信号的作用，防止开关泄露的高频载波信号对运算放大器产生影响；高频载波信号（1MHz，方波）由有源晶体振荡器 X1 产生。

幅度解调电路是一个二极管峰值包络检波器，输入的调幅波经二极管 D3 检波，由电阻电容 C15、R15、C17 交流耦合，输出解调信号。在该电路中通过跳线 JP1、JP2 可以接入或断开 C16、R16 来改变滤波回路的时间常数，加大滤波回路的时间常数时，可以观察到惰性失真（也叫对角失真），通过 JP2、JP3 可以接入或断开 R16、R18 来改变交流负载电阻和直流负载电阻的比值，可以观察到底边切割失真（也叫负峰切割失真）。

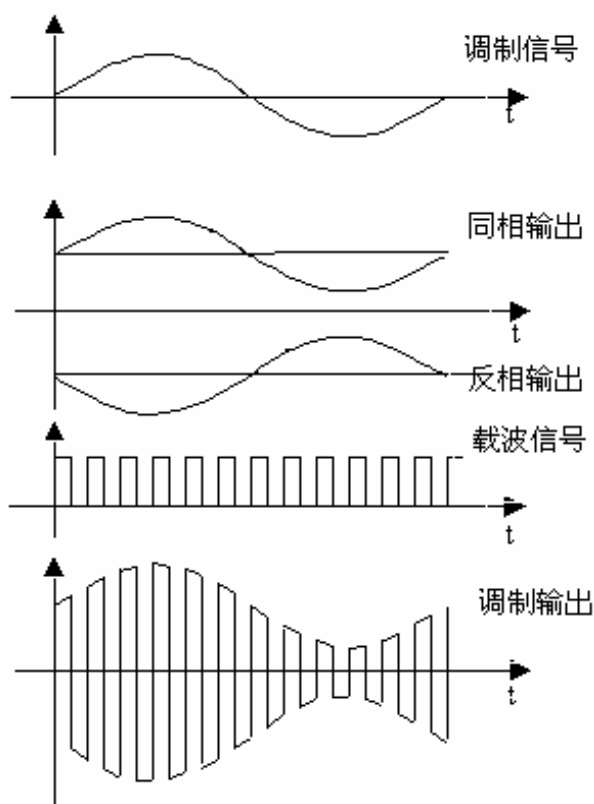
该电路只适用于普通调幅波的解调，对于抑制载波的双边带信号是不能解调的。另外，由于检波二极管有 0.2V 的导通电压（肖特基二极管 1n5819），所以在解调时为了减小解调的非线性失真和提高效率，必须工作在大信号状态，即输入信号在 0.5V 以上。在信号比较小时，就要加一定的偏置，在本实验中暂不考虑。





## 2、波形分析

通过对调制电路各主要点的波形分析，更容易理解电路的工作原理，也便于调整时对照。各主要点的波形示意图如图所示。为了表示简单图中没有考虑直流偏置电平。



从图 7 中可以看出，只要改变电位器，使直流电压改变，就可以改变调制度  $m$ ，当直流电压在平衡点时，输出为双边带信号。注意：为便于比较，图中将同相跟随器输出信号和反相跟随器输出信号画在同一坐标中；由于是开关调制，输出的已调波中的载波成分是方波，再经过 T1 和 C14 组成的回路滤波就可以得到正弦波。

### 3、数学分析

同相跟随器输出信号为：

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

反相跟随器输出为：

$$u_{\Omega-} = -(U_- + U_{\Omega m} \cos \Omega t)$$

则输出为：

$$\begin{aligned} u_{AM} &= (U_- + U_{\Omega m} \cos \Omega t) K_1 (\omega_c t) + [-(U_- + U_{\Omega m} \cos \Omega t)] \cdot [K_1 (\omega_c t + \pi)] \\ &= 2(U_- + U_{\Omega m} \cos \Omega t) \left[ \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{2}{(2n-1)\pi} \cos (2n-1)\omega_c t \right] \end{aligned}$$

完全满足幅度调制的要求，由于是开关调制，输出信号中必然存在着各次谐波，只要通过带通滤波器就可以滤除谐波，得到标准的调幅波。

## 四、实验内容及步骤

### 1、观察各级电压的波形

测试说明：在幅度调制和解调的过程中，信号在频域和时域都发生了变化，特别是时域波形的特征非常明显，用示波器观察各级波形可以很方便的了解调制和解调的原理和过程。测量步骤如下：

(1) 接通电源。按直流稳压电源的[电源]开关，调整[电压]旋钮使电压显示为 9V，此时[电流]旋钮控制的及电流表显示的是最大输出电流（也称为保护电流）；连接到电路板的电源线，按[输出]按钮后电路板就获得了 9V 直流供电，此时电流表显示的是实际输出的电流值。

(2) 观察调制波形。接通低频信号发生器[电源]，调整其频率为 1kHz、幅度为 1V<sub>P-P</sub>的信号加到电路板的调制信号输入端[J1]，用示波器观察[U<sub>am</sub>]点输出的已调波波形，调整电位器分别调出 m=30% 的普通调幅波和双边带信号，并做记录（调制度测量方法见后）。再改变调制信号的频率、电压和调整电位器观察输出信号的相应变化。

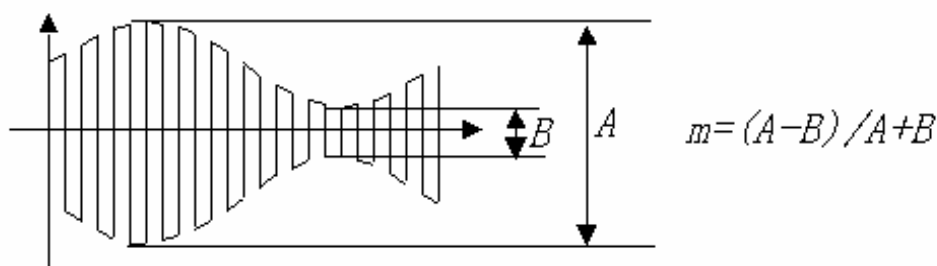
(3) 观察检波波形。在 m=30% 时，接通 [JP2]、断开 [JP1] 和 [JP3] 观察检波器正常输出波形；接通 [JP1]、断开 [JP2] 和 [JP3]，加大了滤波电容和电阻，观察惰性失真；接通 [JP3]、断开 [JP1] 和 [JP2]，减小了交流电阻和增加了直流电阻，观察底边切割失真，记录所测波形。

注意：（a）由于载波频率远高于调制信号的频率，所以在观察波形时，要看调幅波的包络时，示波器的扫速要慢，要看载波时，扫速要快，两者无法兼顾。

（b）由于频谱分析仪的输入阻抗为 50  $\Omega$ ，而调幅波输出端没有专门的放大电路，在测量波形时不要接频谱分析仪，以免对信号幅度衰减太大影响波形观察。

（b）双边带信号由于存在着干扰、载波泄露和在相位交替时幅度太小，很难观察到相位倒相 180° 的情况。

（c）调制度的测量方法：调制度  $m$  的定义是包络的变化量与载波幅度之比，可按图 8 所示的方法用示波器上测量。



## 2、频谱测量

测试说明：调幅作为线性频谱搬移其频谱具有特殊形状，通过频谱的测量可以更容易理解频谱的变换。由于频谱分析仪的频率分辨率最高为 3 kHz，为了清楚地看到调幅波的上下边带和载频，调制信号的频率必须大于频谱分析仪的频率分辨率。测量步骤如下：

用同轴电缆将已调波（J2，SMA 接口）输入到频谱分析仪的输入端，将调制信号频率调高到 10 kHz，频谱分析仪的中心频率等于载波频率设为 1MHz、SPAN 设为 100kHz、RBW 设为 3 kHz，调整电位器使波形分别为 AM、DSB 波观察其频谱图，并作记录。

## 3、测量调幅特性曲线和检波特性曲线

测试说明：调幅是用调制信号的幅度去控制载波的幅度，使载波的幅度随调制信号幅度而变换，其结果就得到了调幅波。调幅波的幅度和调制信号的关系应该为线性关系。解调从功能上讲是调制的逆过程，解调器的输出信

号幅度正比于已调波的幅度(包络大小)。调制特性曲线是已调波幅度与调制信号幅度的关系曲线,它描述了调制器性能的好坏。检波特性曲线是检波输出信号幅度与已调波幅度的关系曲线,它描述了检波器性能的好坏。为了方便测量,这两种曲线在测量时一般采用所谓的静态测量,即调制信号是直流信号,已调波是等幅波,解调输出也是直流信号。测量步骤如下:

调制信号输入端接地(调制信号=0),此时以电位器分压的直流电压为调制信号,为直流调制,已调波输出为等幅波,检波器解调出的是直流信号。调电位器使直流电压从 0~1 V 变化,间隔为 0.1 V(在  $U_{in}$  处测量),同时  $U_{am}$  处测量相应的等幅波信号的幅度,在检波器输出耦合电容前面(R15 两端)测量检波器输出的直流电压,并做曲线--调幅特性曲线(等幅波~输入直流)和检波特性曲线(输出直流~等幅波)。

## 五、实验报告要求

- (1)实验目的:写出实验的目的(或达到的目标)。
- (2)实验仪器:记录实验中所用的仪器名称、规格型号
- (3)实验原理分析:从理论上分析电路的工作原理,包括电原理图说明、波形、数学分析等。
- (4)结果分析:分析所观察到的波形,是否正确,与理论有无差别,是什么原因引起的,用失真的条件验证惰性失真和底边切割失真。根据所测数据作出曲线,通过分析曲线与理论值有无差别,原因何在。分析线性,调制灵敏度等指标。所有分析必须做出结论。