

《非线性电路实验》预习报告

实验名称: Standard AM Modulation 指导教师: 冯鹏 fengpeng06@semi.ac.cn
姓名: 丁毅 学号: 2023K8009908031 班级/专业: 2308/电子信息 分组序号: 2-06
实验日期: 2025.12.11 实验地点: 西实验楼 (8 号楼) 308 是否调课/补课: 否 成绩:

1 实验目的

- (1) 掌握基于集成模拟乘法器的幅度调制 (AM) 原理与实现方法。
- (2) 理解 AM 信号频谱结构、功率分配及调制系数 (Modulation Index) 的影响。
- (3) 掌握使用 MC1496 四象限模拟乘法器实现 AM 调制的电路配置与调试方法。
- (4) 学会在示波器上测量调制系数并分析基带信号 (原始信号)、载波与已调波之间的关系。

2 实验仪器

- (1) 高频实验箱 - 乘法调幅/混频实验板 (031132201809392)
- (2) 示波器 RIGOL MSO2202A (080103201901376)
- (3) 信号发生器 GWINSTEK AFG-2225 (080102201901355)
- (4) 万用表 LINIT- UT61A (C181503983)

3 实验原理

3.1 幅度调制 (Amplitude Modulation) 原理

设基带信号 (原始信号) 和载波 (carrier) 信号分别为:

$$v_s(t) = A_s \cos(\omega_s t), \quad v_c(t) = A_c \cos(\omega_c t) \quad (1)$$

则 Standard (Classic) Amplitude-Modulated Signal (标准幅度调制后的信号, 后文简称“调制信号”) 可表示为:

$$v_{AM}(t) = A_c [1 + m \cos(\omega_s t)] \cos(\omega_c t), \quad m = \frac{A_s}{A_c} \quad (2)$$

其中 $m \in (0, 1)$ 为幅度调制系数 (std. AM modulation factor), 一般不超过 1, 否则会发生过调制 (Overmodulation) 从而引起失真。

3.2 Amplitude-Modulated Signal 频谱与功率分析

将上面标准幅度调整后的信号 $v_{AM}(t)$ 展开可得:

$$v_{AM}(t) = A_c \cos(\omega_c t) + \frac{mA_c}{2} \cos[(\omega_c + \omega_s)t] + \frac{mA_c}{2} \cos[(\omega_c - \omega_s)t] \quad (3)$$

假设原始信号为理想单频正弦波, 此时 $v_{AM}(t)$ 的频谱有且仅有三个频率分量:

$$\text{Carrier: } f_c, \quad \text{USB (Upper Side Band): } f_c + f_s, \quad \text{LSB (Lower Side Band): } f_c - f_s \quad (4)$$

$$P_{\text{total}} = P_c + P_{\text{USB}} + P_{\text{LSB}} = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2}\right), \quad P_{\text{USB}} = P_{\text{LSB}} = \frac{m^2}{4} P_c \quad (5)$$

边带功率随 m 的增大而增加, 当 $m = 1$ 时取到最大边带功率 $P_{\text{USB}} = P_{\text{LSB}} = \frac{1}{4} P_c$, 此时上下边带功率分别为载波功率的四分之一, 意味着大多数功率都被不含信息的载波占据, 浪费严重, 这也是标准幅度调制效率低下的主要原因。但是由于这种调制和解调设备简单, 方便实现, 所以仍有不少应用场景。

3.3 MC1496 模拟乘法器工作原理

MC1496 为经典的双平衡四象限模拟乘法器 (Gilbert Cell 结构)，内部由三组差分对构成，可实现两路输入信号的线性相乘：

$$v_{out} = k \cdot v_x \cdot v_y \quad (6)$$

在 AM 调制中，将基带信号 (原始信号) $v_s(t)$ 与直流偏置 V_0 叠加后输入 X 端，载波 $v_c(t)$ 输入 Y 端，即可在输出端得到 AM Signal:

$$v_x(t) = v_s(t) + V_0 = A_s \cos(\omega_s t) + V_0, \quad v_y(t) = v_c(t) = A_c \cos(\omega_c t) \quad (7)$$

$$v_{out}(t) = k A_c V_0 \left[1 + \frac{A_s}{V_0} \cos(\omega_s t) \right] \cos(\omega_c t) = A'_c [1 + m \cos(\omega_s t)] \cos(\omega_c t) \quad (8)$$

$$\text{where: } A'_c = k A_c V_0, \quad m = \frac{A_s}{V_0} \quad (9)$$

这恰好符合标准幅度调制信号的形式，也是标准幅度调整最常用的实现方法。

3.4 实验电路简要分析

如 Figure 1 所示，实验电路基于 MC1496 构成，外围电路包括：

- (1) 偏置电阻网络：设置静态工作点
- (2) 可调电位器 RW1、RW2、RW3：分别用于调节输出波形对称性、调制系数和输出幅度
- (3) Emitter Follower (Common Collector) 输出级：提高输出驱动能力，隔离负载对调制电路的影响

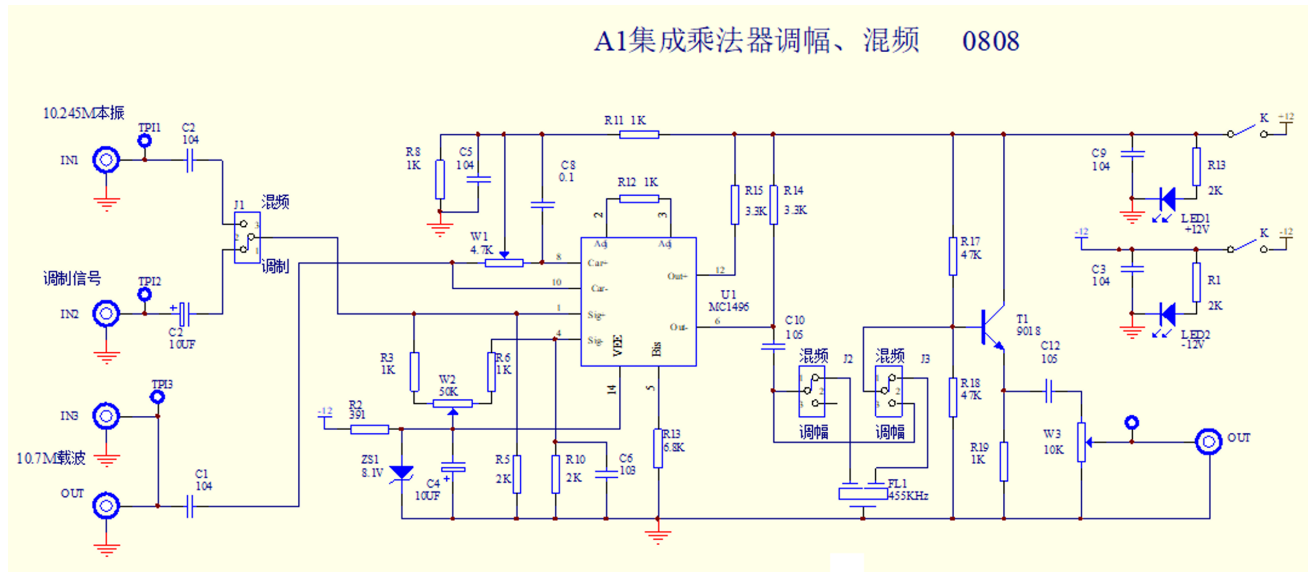


Figure 1: MC1496-Based AM Modulation Circuit Used in the Experiment

4 实验内容与步骤

4.1 实验前跳线设置

- (1) J1、J3、J5：置于 1-2 位置 (调制功能)
- (2) J2、J8、J9：置于 2-3 位置 (调制功能)
- (3) IN1：空闲
- (4) IN2：输入基带信号 (原始信号) (1 kHz sine wave @ 300 mVpp)
- (5) IN3：输入载波信号 (10.7 MHz sine wave @ 500 mVpp)

4.2 调节步骤

- (1) 先仅在 IN3 输入载波信号, 调节 RW1/RW2/RW3 使 OUT 端输出不失真正弦波;
- (2) 然后接入基带信号 (原始信号), 微调 RW1 (对称性)、RW2 (调制系数 m)、RW3 (输出幅度), 使输出为典型 AM 波形;
- (3) 使用示波器对输出波形进行采样, 测量最大幅度 A_{\max} 和最小幅度 A_{\min} 并计算调制系数 $m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$ 。
- (4) 调节 m 分别为 0.2, 0.4 和 0.7, 记录对应 A_{\max} 、 A_{\min} 值及输出波形。

5 思考题

5.1 如何利用频谱分析仪测得普通调幅波的调制系数?

在频谱仪上可测得载波幅度 A_c 与两个边带幅度 A_{USB} 、 A_{LSB} , 由此计算调制系数 m :

$$m = \sqrt{\frac{(A_{\text{USB}}^2 + A_{\text{LSB}}^2)}{A_c^2}} = \frac{\sqrt{(A_{\text{USB}}^2 + A_{\text{LSB}}^2)}}{A_c} \quad (10)$$