

# 课时精简背景下的高频电路的实验教学探索

伍长松

安徽新华学院 安徽 合肥 230088

**【摘要】**：现阶段各高校陆续修订人才培养方案，推行学分优化与学时精简，高频电路实验受课时压缩制约，实践教学压力显著增加。本文以 MC1496 模拟乘法器调幅实验为载体，设计“基础+拓展”分层实验方案。基础模块设置四项递进式调幅实操任务，围绕波形观测、多参数影响规律开展验证；每项任务配套调频或调相对比思考题，引导学生辨析三类调制的差异，培养知识迁移能力。该教学模式有助于改善课时精简下实践训练不足的现状，为同类电子实验教学改革提供参考。

**【关键词】**：课时精简；高频电路；实验教学改革

DOI:10.12417/2705-1358.26.13.071

## 引言

近年来，国内高校持续推进教育教学深化改革，各本科专业相继修订人才培养方案<sup>[1,2]</sup>。优化课程体系、压缩总体学分、精简专业课程课时已成为高校教学改革的主流趋势。这样一方面有效释放了学生的学习时间与空间，有利于学生开展个性化、拓展性学习；另一方面也对高校教师的课堂教学设计与内容凝练提出了更高的要求。高频电路是电子信息类专业核心课程，调幅、调频、调相是其核心知识点。其中调幅理论简单、电路实现难度低，适合作为入门教学内容，但应用范围相对有限；调频与调相理论推导与电路设计难度较高，但是具备更优异的抗干扰特性，应用更为普遍。本文选取典型基础实验——模拟乘法器调幅电路为切入点，构建“基础实操+拓展探究”的双层实验架构。基础模块设置四项递进式调幅实操任务，每项任务结束后均配以调频或调相关拓展思考题，引导学生横向对比三类调制方式的区别与内在关联。该设计重在培育学生知识迁移能力，弥补课时精简造成的实验训练不足，探索一套适配课时压缩背景下的高频电路实验教学路径。

## 1 实验原理

在无线通信系统中，原始语音、数据等基带低频信号无法直接通过天线远距离辐射传输，一方面低频信号对应的天线尺寸巨大，工程实现难度极高；另一方面多路低频信号同时传输时极易发生频谱混叠，难以区分接收。因此需要借助调制技术，将低频基带信号加载至高频载波上，完成频谱搬移，以此缩小天线尺寸、实现多路信号频分复用，保障信号高效远距离传输<sup>[3]</sup>。主流调制技术分为幅度调制（调幅）、频率调制（调频）、相位调制（调相）三类，如图1所示。三种调制方式分别从载波幅度、频率、相位三个方面描述调制信号对高频载波的调制作用，对应的特征参数为调幅系数、调频指数、调相指数。

调幅部分又分为 AM、DSB、SSB 三类，核心都是用基带信号控制载波幅度；AM 在调制时叠加直流分量，频谱包含载波、上下两个边带，能用简单包络检波但载波功率浪费、调制效率低；DSB 去掉直流分量，抑制载波仅保留上下双边带，无载波功率损耗但解调需同步载波；SSB 在 DSB 基础上滤除其中一个边带，只保留单边带，带宽减半、频谱利用率最高，解调同样需要同步载波。

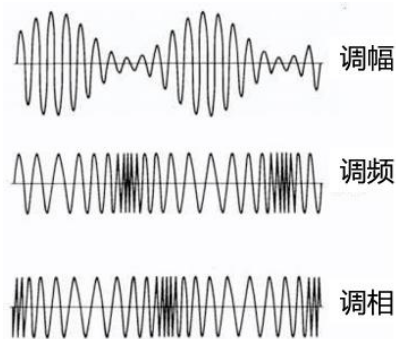


图1 调幅、调频、调相三种波形对比

### 1.1 AM 调制原理

设调制信号为单一频率的余弦信号：

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

(1.1)

设载波信号的表达式为：

$$u_c(t) = U_{cm} \cos(\omega_c t)$$

(1.2)

设两信号的初相角为0, 因为调幅波的振幅和调制信号成正比, 得到AM波的振幅表达式为:

$$\begin{aligned} u_{AM}(t) &= U_m(t) \cos(\omega_c t) = [U_{cm} + k_a u_{\Omega}(t)] \cos(\omega_c t) \\ &= U_{cm} [1 + m_a \cos(\Omega t)] \cos(\omega_c t) \end{aligned} \quad (1.3)$$

其中  $k_a$  是由调制电路决定的比例常数,  $m_a = \frac{k_a U_{\Omega m}}{U_{cm}}$ ,

$m_a$  称为调幅系数或调制度, 它表示载波振幅受调制信号控制的程度。AM波信号是一个高频振荡, 但其振幅在载波振幅上、下按调制信号的规律变换, 因此AM波信号携带了原调制信号的信息。通常把AM波信号振幅变化的规律, 即  $U_{cm} [1 + m_a \cos(\Omega t)]$  称为AM波信号的包络。

对AM波信号表达式按照三角函数展开, 可以得到:

$$u_{AM}(t) = U_{cm} \cos(\omega_c t) + \frac{1}{2} m_a U_{cm} [\cos(\omega_c + \Omega)t + \cos(\omega_c - \Omega)t] \quad (1.4)$$

可见, 用单频信号调制后的AM波信号由三个高频分量组成, 除去角频率  $\omega_c$  的载波之外, 还有  $\omega_c + \Omega$  和  $\omega_c - \Omega$  两个新的频率分量, 分别称为上、下边频分量。AM波时域图及频域图如图2、3所示。

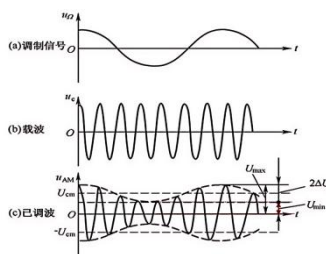


图2 AM波时域图

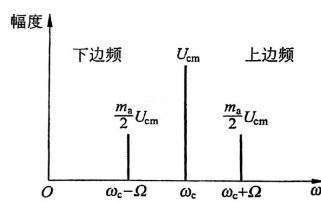


图3 AM波信号频谱图

## 1.2 DSB 调制原理

DSB调制是将AM调制信号的载波进行抑制, 从而节省发射功率。可将调制信号与载波信号直接加在乘法器或平衡调幅器电路得到。其表达式为:

$$u_{DSB}(t) = k_a U_{\Omega m} \cos(\Omega t) \cos(\omega_c t) = \frac{1}{2} k_a U_{\Omega m} [\cos(\omega_c + \Omega)t + \cos(\omega_c - \Omega)t] \quad (1.5)$$

DSB波时域图及频域图如图4、5所示。从图中可以看出,

包络不再反映调制信号的形状, 但仍保持了调幅波频谱搬移的特性; 在调制信号的正负半周, 载波的相位反相; 对于DSB信号, 信号仍集中在载波信号频率附近, 其频带为  $B = 2\Omega$ , 在输出功率方面比AM经济。

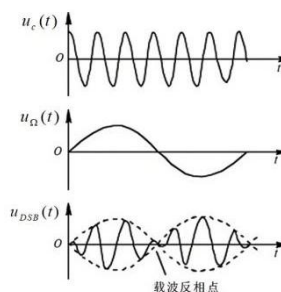


图4 DSB波时域图

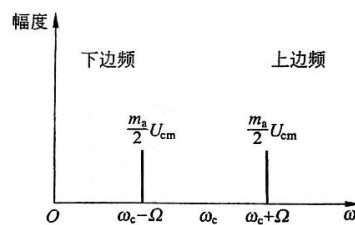


图5 DSB波频谱图

## 1.3 SSB 波调制原理

DSB波通过带通滤波器后可得到SSB波。其表达式如下:

$$\begin{aligned} u_{SSB}(t) &= \frac{1}{2} k_a U_{\Omega m} \cos(\omega_c + \Omega)t \\ \text{或 } u_{SSB}(t) &= \frac{1}{2} k_a U_{\Omega m} \cos(\omega_c - \Omega)t \end{aligned} \quad (1.6)$$

SSB波时域图及频域图如图6、7所示。SSB信号的振幅与调制信号振幅  $U_{\Omega m}$  成正比为等幅波, 其频率随调制信号的频率而改变。

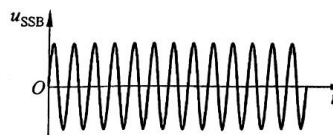


图6 SSB波时域图

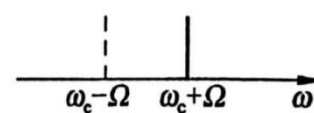


图7 SSB波频谱图

## 1.4 集成模拟乘法器

实验教学采用的模拟乘法器调幅电路, 利用集成模拟乘法器完成调制信号与载波的相乘运算<sup>[4,5]</sup>。从AM波形可以看出, 载波的振幅(包络)随调制信号参数变化而变化。实验中载波是由高频信号源产生465KHz高频信号, 1KHz的低频信号为调制信号。

集成模拟乘法器是完成两个模拟量(电压或电流)相乘的电子器件。在高频电子线路中, 振幅调制、同步检波、混频、倍频、鉴频、鉴相等调制与解调的过程, 均可视为两个信号相乘或包含两个相乘的过程。采用集成模拟乘法器实现上述功能比采用分离器件(如二极管、三极管)简单, 而且性能稳定。所以目前无线通信、广播电视等方面应用较多。实验中采用MC1496实现调幅功能。它是一种四象限模拟乘法器, 能同时处理正负电压信号, 实现两个模拟信号的乘法。MC1496内部

电路图如图8所示。

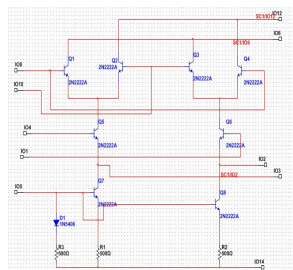


图8 MC1496 内部电路图

$$\begin{aligned} V_8 &= V_{10}; V_1 = V_4; V_6 = V_{12} \\ 15V &\geq V_6(V_{12}) - V_8(V_{10}) \geq 2V \\ 15V &\geq V_8(V_{10}) - V_1(V_4) \geq 2V \\ 15V &\geq V_1(V_4) - V_5 \geq 2V \end{aligned}$$

图9 静态偏置电压时引脚直流电压关系

静态偏置电压的设置确保MC1496内部的晶体管处于放大状态,避免进入截止或饱和区域,保证晶体管导通但不会被击穿。为此,需要保证每个晶体管的集-基极间电压大于等于2V,同时小于最大工作电压。根据MC1496的特性参数,静态偏置电压(输入交流电压为0时)需要引脚满足以下直流电压关系,如图9所示。

## 2 实验方案

本次模拟乘法器调幅电路实验方案划分为基础模块与拓展模块两大板块。基础模块设置四项递进式AM实操任务,每项基础任务完成后配套设置对应FM或PM相关拓展思考题,共同构成拓展模块,整体实验方案如图10所示。

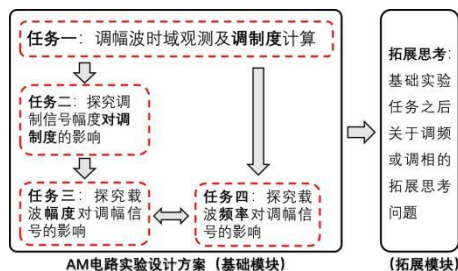


图10 整体实验方案

### 2.1 基础模块

基础模块分为四项任务,按照循序渐进的思路设计,层层推进形成一套完整的探究流程。任务一是整个实验的基础,首先在时域下观察标准调幅波形,学习计算调制度,熟悉利用集

#### 参考文献:

- [1] 刘泉,柯技.课时压缩背景下公安院校课程质量保障途径研究——以湖北警官学院“法医学”课程为例[J].教育教学论坛,2022,(41):33-36.
- [2] 王东方,雷基林,陈贵升,等.破解新工科“课时减”与“内容增”双重挑战——AI驱动的汽车动力系统原理课程教学改革[J].大学教育,2026,(7):28-31+49.
- [3] 黄正伟.新工科背景下“高频电路”课程教学改革探析[J].电气电子教学学报,2025,47(4):80-83.
- [4] 沈玉红,侯婷.以应用型人才培养为导向的课程思政教学探索——以“高频电子线路”为例[J].工业和信息化教育,2026,(1):50-54.
- [5] 付卫红,韦娟,刘乃安.“高频电子线路”国家一流课程建设及改革实践[J].电气电子教学学报,2025,47(1):44-48.

成模拟乘法器完成调幅的实操流程,建立对调幅信号最基础的认识。在弄懂调幅波形与调制度计算后,实验再分两大方向开展变量探究:一是调制信号维度,对应任务二,仅改变调制信号的输入幅度,记录波形并测算调制度,总结二者之间的变化规律;二是载波维度,由任务三、任务四配合完成对照实验,任务三观察载波幅度变化时调幅波形的时域变化,任务四从频域分析载波频率对调幅信号频谱的影响。整套实验分别覆盖调制信号幅度、载波幅度、载波频率三类关键变量,分层次、分角度完整探究各参数对调幅信号的影响。

### 2.2 拓展模块

在基础调幅实验后配套设置对应的拓展思考题,将幅度调制与调频、调相两类角度调制横向对比,延伸完善模拟调制相关知识。

对应任务一的思考题围绕波形直观特征展开,对比调幅与调频或调相波形差异。拓展思考:如果将调幅方式替换为调频或调相,波形的变化会体现在哪些方面?是否能通过包络线观察到调制信号?对应任务二的问题承接调制信号幅度变量实验。拓展思考:在调频或调相信号中,调制信号幅度的变化会引起哪些参数的变化?对应任务三的思考题以载波幅度为变量,对比载波幅度对三种调制的调制指数。在调频和调相中,若改变载波的幅度,调制指数是否会随之变化?调制内容是否受影响?请与AM波信号进行比较分析。对应任务四的问题聚焦载波频率,探究调频信号调制指数与载波频率的数学关联。拓展思考:在调频中,调制指数与载波频率之间存在哪种数学关系?若载波频率增高,频谱会如何变化?

整套拓展问题紧扣基础实验的探究变量,引导区分幅度调制与角度调制的核心原理差异,构建完整的模拟调制知识框架。

## 3 结语

本文针对课时压缩带来的实验教学短板,构建“基础实操+拓展探究”的调幅实验教学模式,借助AM、FM、PM关联性思考题锻炼学生知识迁移能力,既弥补课时精简造成的训练不足,也为同类专业基础实验教学优化提供实践借鉴。