

实验四 模拟乘法器调幅、解调与峰值检波

一、实验电路简介

(一) MC1496 构成的调幅实验电路

相乘原理实现的 AM 调制电路框图如图 3.4.8 (a) 所示，模拟乘法器实现的调幅电路如图 3.4.8 (b) 所示。1 脚接有直流平衡调节电路；载波信号由 P1 或 TP1 (X 通道) 输入，调制信号由 P2 或 TP2 (Y 通道) 输入；调节 W1，可实现普通调幅 (AM) 或抑制载波的双边带调幅 (DSB) (调节 W1，改变的是叠加在低频调制信号上的直流电压)。AM 及 DSB 信号从 P3 或 TP3 输出，DSB 信号经过 465KHz 的 BPF 陶瓷滤波器 F1，将其中一个边带取出得到 SSB 信号，从 P4 或 TP4 输出。

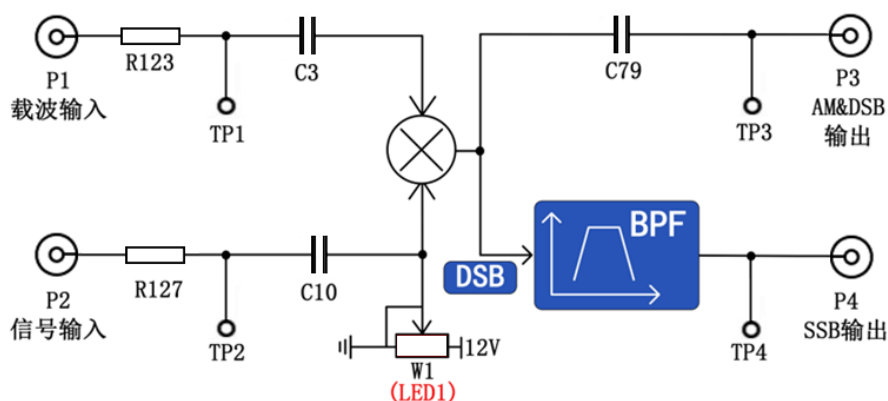


图 3.4.8 (a) 乘法器实现的 AM 调制电路框图

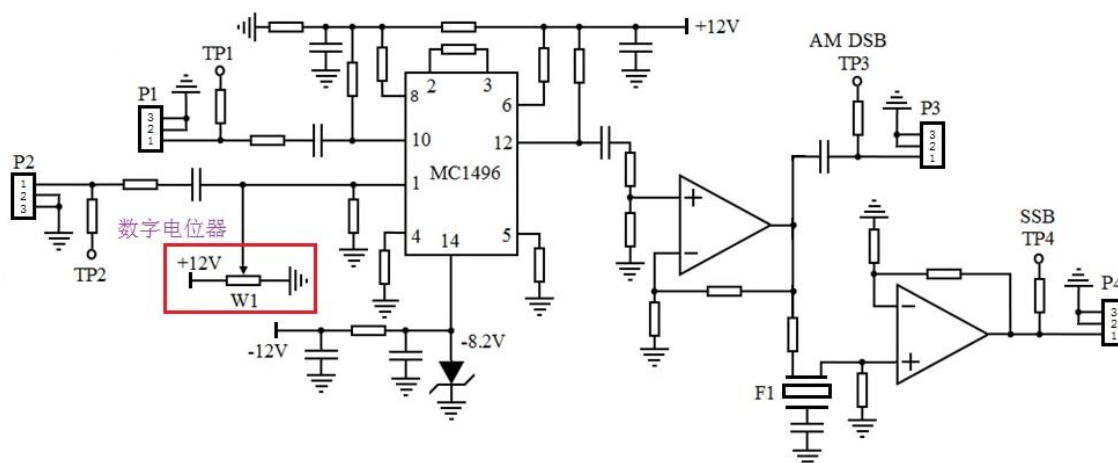


图 3.4.8 (b) MC1496 组成的调幅实验电路

(二) MC1496 构成的同步检波实验电路

同步检波实验原理框图如图 3.4.9(a)所示, MC1496 构成的同步检波实验电路如图 3.4.9(b)所示。

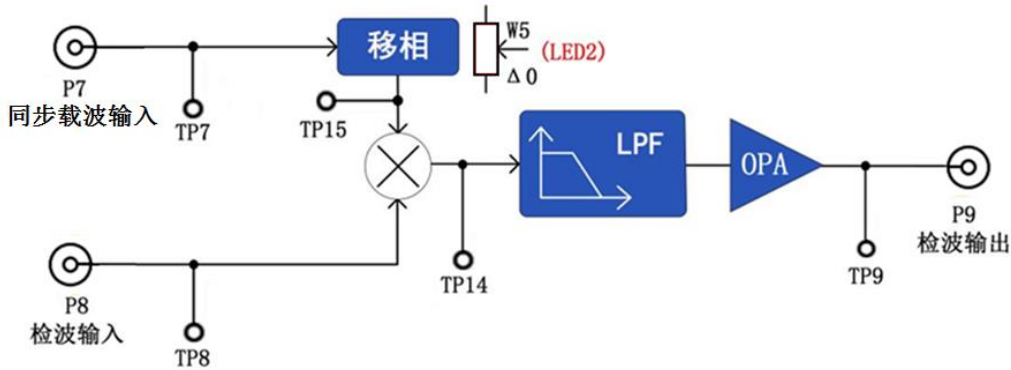


图 3.4.9 (a) 同步检波实验原理框图

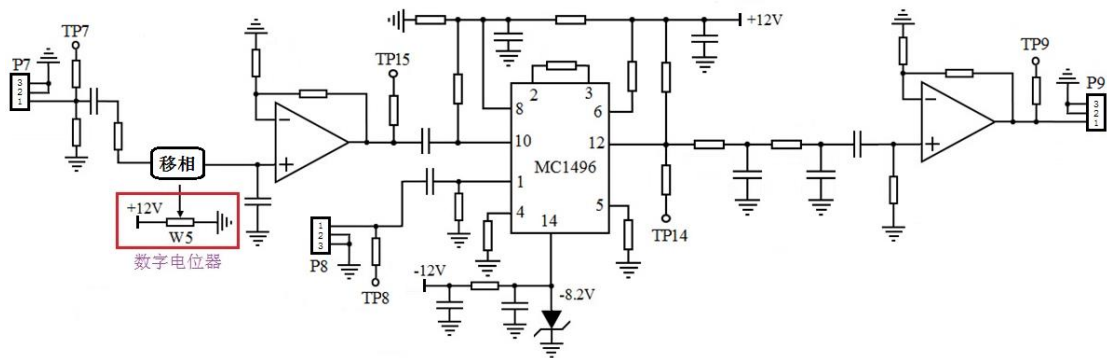


图 3.4.9 (b) MC1496 组成的同步检波器实验电路

采用 MC1496 集成电路构成解调器, 相干载波信号从 P7 输入, 经移相网络 (调节 W5 可以改变相移大小) 后加在 8、10 脚之间, 调幅信号 $u_{AM}(t)$ 从 P8 输入, 经输入网络加在 1、4 脚之间, 相乘后的信号由 12 脚输出 (TP14), 经低通滤波器、同相放大器后由 P9 输出。

参数调整与控制:

W5: 用于控制同步检波电路中相干载波的相移大小。通过显示屏触摸对应的可变电阻, 进行调整。也可通过本模块右侧的选择键●先选中 W5, 选中时, 相应的 LED 会点亮, 然后通过上键▲和下键▼进行参数调整。

测试端口说明:

P7: 为解调端同步载波输入端口, 其在线测试点为 TP7。

P8: 为解调端 $u_{AM}(t)$ 信号输入端口, 其在线测试点为 TP8。

P9: 为同步检波输出端口, 其在线测试点为 TP9。

TP15: 为移相网络输出。

TP14: 为相乘后的信号输出。

(三) 二极管峰值检波实验电路

二极管峰值检波实验原理框图和电路如图 3.4.10 (a)、(b) 所示。

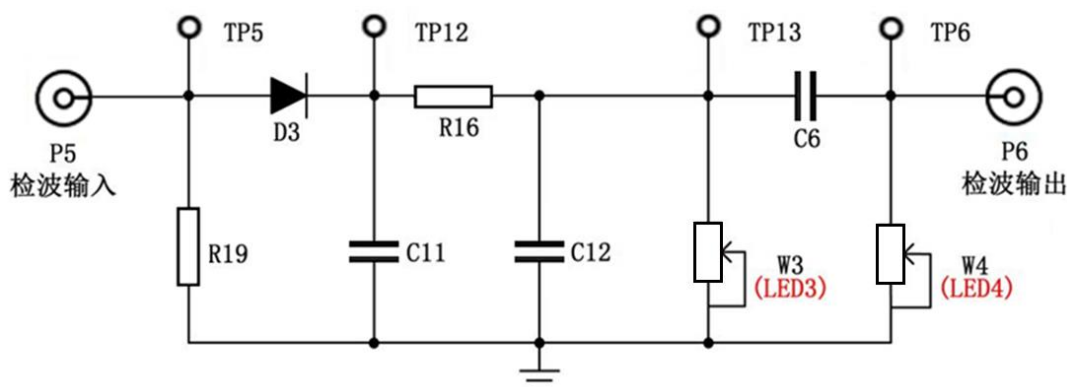


图 3.4.10 (a) 二极管峰值检波实验原理框图

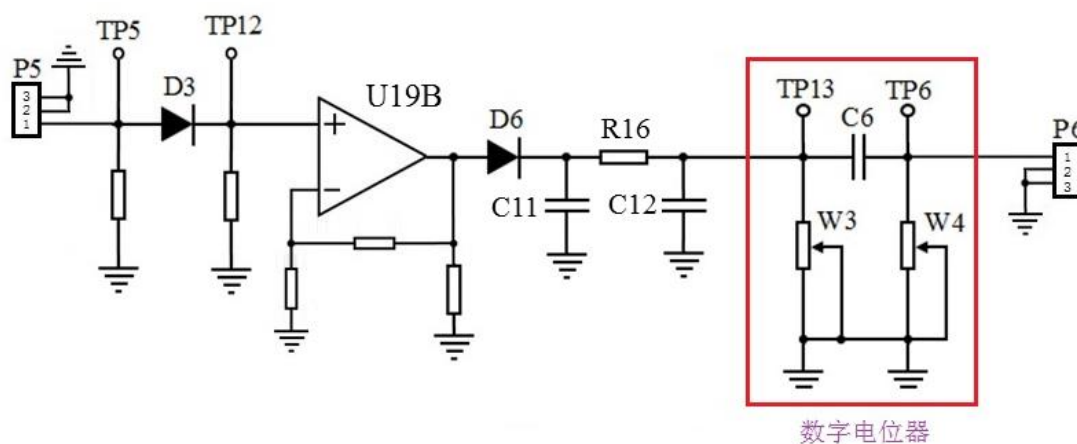


图 3.4.10 (b) 二极管峰值检波实验电路

D3 为检波二极管，U19B 及外围元件构成同相放大器，电阻 R16、C11、C12 构成低通滤波器，W3 为二极管检波的直流负载，W4 为二极管检波的交流负载，C6 为耦合电容。

参数调整与控制：

W3、W4：其中 W3 用于控制加入电路的直流负载的大小，W4 用于控制加入电路的交流负载的大小。通过显示屏触摸对应的可变电阻，进行调整。也可通过本模块右侧的选择键
●先选中 W3 或 W4，选中时，相应的 LED 会点亮，然后通过上键▲和下键▼进行参数调整。

测试端口说明：

P5：为 AM 已调信号输入端口，其在线测试点为 TP5。

P6：为调制信号输出端口，其在线测试点为 TP6。

TP12：为原始检波输出。


TP13：为低通滤波输出。

二、实验内容

(一) 乘法器调幅与解调

1、普通调幅（AM）信号的产生与解调

(1) 实验电路搭建

实验箱接上电源线，打开电源开关。G04 模块断电（主控单元可保留电源开启）状态下，按图 3.4.11 进行连线。（注：图中符号表示同轴电缆高频连接线）

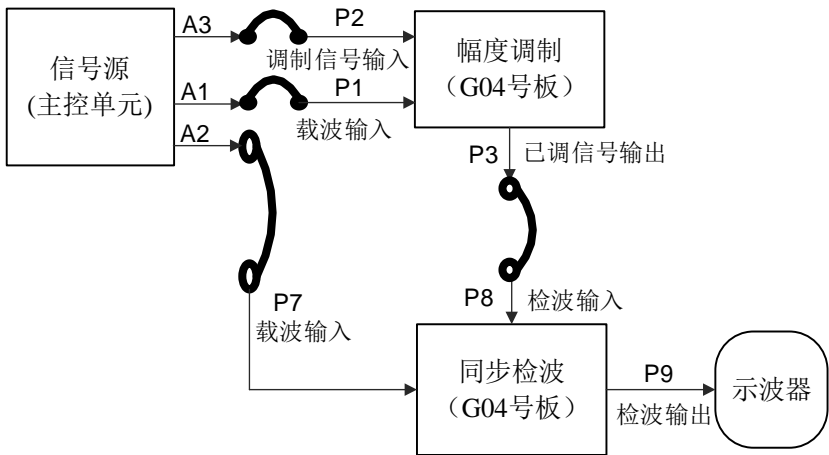


图 3.4.11 AM/DSB 调幅电路与解调连线框图

(2) 参数设置

打开 G04 模块电源开关 S1，此时模块上方的电源指示灯和运行指示灯亮。点击显示屏【实验项目】→【振幅调制与解调】→【AM 调制】。参照表 3.4.1 进行信号源参数设置。

表 3.4.1 AM 电路信号参数设置表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源：A1 ($u_{\text{cpp}} = 600\text{mV}$, $f_c = 465\text{KHz}$)	G04 号板： 【幅度调制】的 P1	载波信号输入
主控&信号源：A3 ($u_{\Omega\text{pp}} = 500\text{mV}$, $f_{\Omega} = 1\text{KHz}$)	G04 号板： 【幅度调制】的 P2	低频调制信号输入

(3) AM 波形及频谱观测

① 用示波器四路输入通道分别观测【幅度调制】电路的 u_C (P1 或 TP1)、 u_{Ω} (P2 或 TP2)、 u_{AM} (P3 或 TP3) 及【同步检波】电路的 u_o (P9 或 TP9)。

② 调节【幅度调制】电路的 W1，在 TP3 得到调制度 $m \approx 33\%$ （在 25%~40%之间都可以）的全载波 AM 信号，如图 3.4.12 所示。记录 u_{Ω} 、 u_C 、 u_{AM} 、 u_o 的波形和参数以及加入 u_{Ω} 的直流量（可在 C10 右侧测试点测量），并测量 AM 信号的调制度 m （方法可参见“高频谐振功率放大器与高电平调幅”实验）。

③ 调节 W1，增大加入 u_{Ω} 的直流量（可在 C10 右侧测试点测量）。观测记录 u_{AM} 波形及调制度 m 的变化。测完，调节 W1，恢复②的状态。

④点击显示屏【返回上级】，回到实验项目界面，点击【振幅调制与解调】→【同步检波】。调节【同步检波】电路移相网络的 W5，观测 P9 或 TP9 处 u_o 波形及参数的变化。记录 u_o 波形最大不失真时的幅度值。

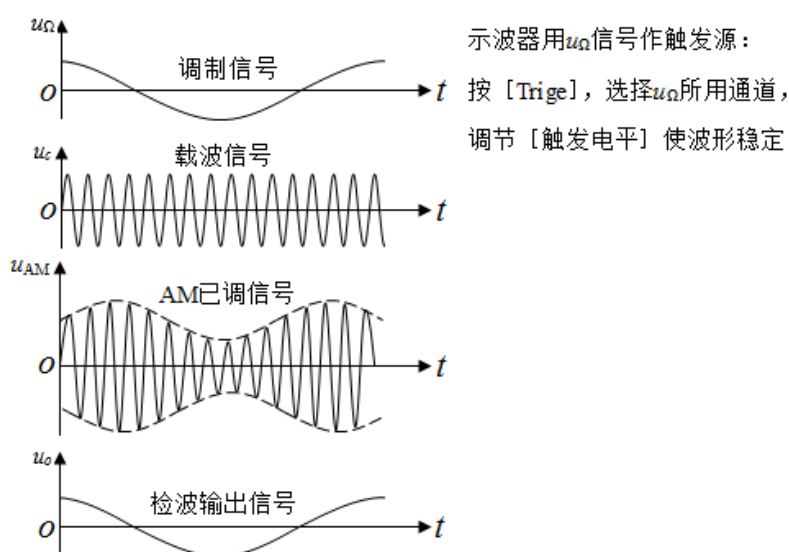


图 3.4.12 普通调幅（AM）与检波各波形

⑤ 用频谱仪观察记录普通 AM 信号频谱

频谱仪设置：射频输入【RF IN】连接【幅度调制】输出端 P3 或 TP3→按【FREQ】，输入 465KHz→按【AMPT】，调节参考电平使谱线位于屏幕之内→【Span】：3KHz→按【Peak】→按【Marker】→[差值]，移动频标 1 至两个最大边频之一，先读取频率差值 Δf ，与低频调制信号频率 f_Ω 作比较；再读取幅度差值 ΔA ，计算调制度。

$$m = \frac{2}{10^{|\Delta A|/20}}$$

⑥ 改变低频调制信号幅值为 300mVPP，观察记录 $u_{AM}(t)$ 信号频谱，测量调制度 m 。

⑦ **（不做）** 改变低频调制信号频率为 3KHz，改【Span】为 10KHz，观察记录 u_{AM} 的频谱及参数。测完，撤去频谱仪的连线。

2、抑制载波的双边带（DSB）调幅信号的产生与检波

(1) DSB 调制解调电路的搭建及参数设置

G04 模块断电（主控单元可保留电源开启）状态下，按第 4 页图 3.4.11 进行连线。

打开 G04 模块电源开关 S1，点击显示屏【实验项目】→【振幅调制与解调】→【DSB 调制】，参照表 3.4.2 进行信号源参数设置。

表 3.4.2 DSB 调制电路信号参数设置表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源: A1 ($u_{c\text{pp}}=600\text{mV}$, $f_c=100\text{KHz}$)	G04 号板: 【幅度调制】的 P1	载波信号输入
主控&信号源: A3 ($u_{\Omega\text{pp}}=600\text{mV}$, $f_{\Omega}=5\text{KHz}$)	G04 号板: 【幅度调制】的 P2	调制信号输入

(2) DSB 波形及频谱观测

① 将主控&信号源 A3 端口到 G04 号板 P2 的连线先拆除, 调节电位器 W1。用示波器观测 TP3 测试点输出的波形幅度最小。再将 P2 端口连接上。如果 TP3 包络不对称, 可微调 W1。

② 用示波器观察记录图 3.4.13 所示的 u_{Ω} 、 u_c 、 u_{DSB} 及 u_o 的波形及参数, 仔细观察 u_{DSB} 波形的过零点现象。

③ 点击显示屏【返回上级】, 回到实验项目界面, 点击【振幅调制与解调】→【同步检波】。

④ 调节【同步检波】模块的 W5, 观测 P9 或 TP9 处 u_o 波形及参数的变化, 记录 u_o 波形最大不失真时的幅度值。

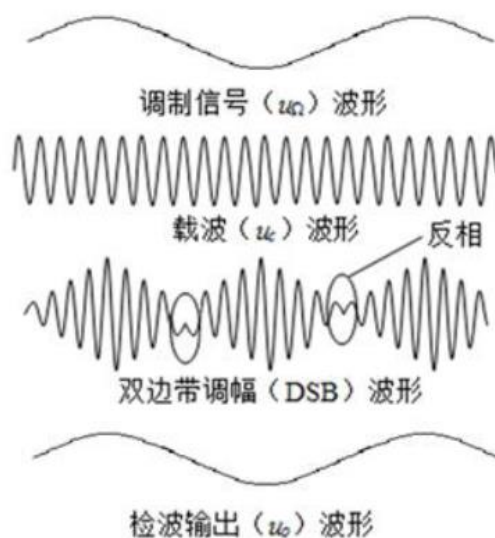


图 3.4.13 DSB 调幅与同步检波波形

⑤ 用频谱仪观测 DSB 信号频谱

频谱仪设置: 射频输入【RF IN】连接【幅度调制】的 P3 或 TP3→按【Preset】[复位]→【FREQ】: 100KHz→按【AMPT】, 调节参考电平使谱线位于屏幕之内→【Span】: 20KHz→按【Marker】或【Peak】, 移动频标 1 测量频谱参数值, 记录频谱图及参数。

⑥ (不做) 改变 f_{Ω} 为 3KHz, 观测记录 u_{DSB} 的频谱及参数。测完, 撤去频谱仪的连线。

3、抑制载波的单边带（SSB）调幅信号的产生与检波

(1) 测试 465KHz 陶瓷滤波器的幅频特性

撤去《幅度调制》模块之前连接的载波信号及调制信号，进行频谱仪连接与设置：射频输出【RF OUT】连接 P2 或 TP2，射频输入【RF IN】连接 P4 或 TP4，按【Preset】→【Source】→[跟踪源 开启]→输出功率：-10dBm→【FREQ】：465KHz→【Span】：200KHz→按【Peak】→【Marker Fctn】→N(3)dB 开启，读测滤波器-3dB 带宽值。测完，撤去频谱仪的连线。

(2) SSB 调制解调电路搭建及参数设置

① G04 模块断电（主控单元可保留电源开启）状态下，按图 3.4.14 进行连线。

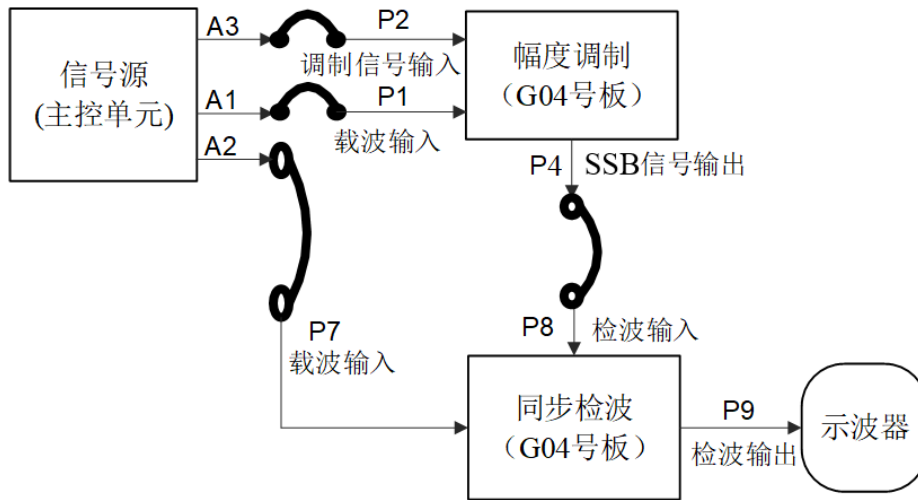


图 3.4.14 SSB 调幅信号与同步检波连线图

② 打开 G04 模块电源开关 S1，点击显示屏【实验项目】→【振幅调制与解调】→【SSB 调制】，参照表 3.4.3 进行信号源参数设置。

表 3.4.3 SSB 调制电路信号参数设置表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源：A1 ($u_{\text{cpp}}=600\text{mV}$ $f_c=415\text{KHz}$)	G04 号板： 【幅度调制】的 P1	载波信号输入
主控&信号源：A3 ($u_{\Omega\text{pp}}=600\text{mV}$ $f_{\Omega}=50\text{KHz}$)	G04 号板： 【幅度调制】的 P2	调制信号输入

(3) SSB 波形及频谱观测

① 将主控&信号源 A3 端口到 G04 号板 P2 的连线先拆除，调节电位器 W1。用示波器观测 TP3 测试点输出的波形幅度最小。再将 P2 端口连接上。如果 TP3 包络不对称，可微调 W1。

② 用示波器观察记录图 3.4.15 所示的 u_{Ω} 、 u_{DSB} 、 u_{SSB} 及 u_o 的波形及参数。

③ 点击显示屏【返回上级】，回到实验项目界面，点击【振幅调制与解调】→【同步检波】

④ 调节【同步检波】模块的 W5，观测 P9 或 TP9 处 u_o 波形及参数的变化，记录 u_o 波形最大不失真时的幅度值。

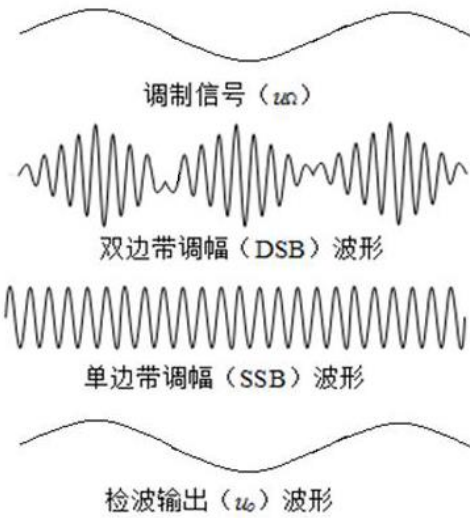


图 3.4.15 SSB 调幅与同步检波波形

- ⑤ 用频谱仪观测 SSB 信号频谱
频谱仪设置: 射频输入【RF IN】连接 TP4→按【Preset】→【FREQ】: 415KHz →【AMPT】: 10dBm，调节参考电平使谱线位于屏幕之内→ 【Span】: 200KHz→【Peak】，测量频谱参数
 值，记录频谱图及参数。
- ⑥ **(不做)** 改变 f_{Ω} 为 55KHz，观测记录 u_{SSB} 的频谱及参数。

(二) 二极管峰值检波器测试

1、实验电路搭建

G04 模块断电（主控单元可保留电源开启）状态下，按图 3.4.16 进行连线。

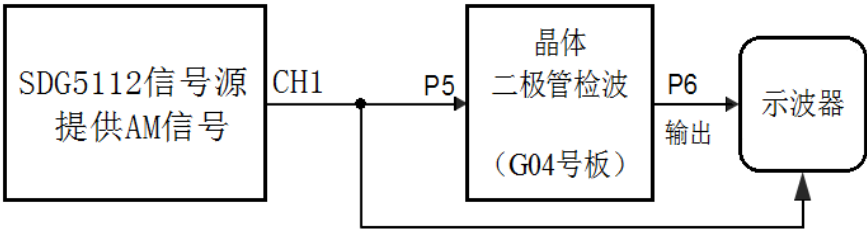


图 3.4.16 AM 信号&二极管包络检波实验连线图

表 3.4.4 AM 信号二极管包络检波检波实验连线表

源端口	目的端口	连线说明
SDG5112 信号源的 CH1 (载波频率: 465KHz, 幅度: 3Vpp, MOD: 调制 [打开], 调制类型: AM, 信源选择: 内部, 调制频率: 1KHz 调制深度: 30%)	G04 号板: 【二极管包络检波】的 P5	AM 调幅波送入检波器

2、参数设置

打开 G04 模块电源开关，点击显示屏【实验项目】→【振幅调制与解调】→【**包络检波**】。参照第 8 页表 3.4.4 进行信号源参数设置。

3、实验现象及波形观测

(1) 观测【二极管包络检波】TP5 处 u_{AM} 信号的波形，**测量 m**。

(2) 观测【二极管包络检波】TP6 处检波输出 u_O 信号的波形，调节【二极管包络检波】的 W3 和 W4，让 u_O 幅度最大且不失真。

(3) 测量交流检波效率 k_Ω

记录【二极管包络检波】输入端（TP5）电压波形及输出端（TP6）的波形、频率，测量检波器输入 AM 信号的正包络变化幅值 ΔU_{Amp} 和输出电压幅值 U_{opp} ，计算 k_Ω 。

（注： $k_\Omega = U_{opp} / \Delta U_{Amp}$ ）

(4) 测量直流检波效率 k_d

关闭 SDG5112 信号源的【MOD】，从 P5 接入 465KHz 高频正弦信号，幅值分别设为 1.0V_{PP}、1.5V_{PP}、2.0 V_{PP}、2.5 V_{PP}、3.0 V_{PP}，用示波器观察记录输入信号波形（TP5）的正半周幅值 U_{cm+} ，用万用表（DCV）或示波器（直流有效值-全屏，示波器此通道输入耦合：DC）测量检波输出（TP13）的直流电压 V_o ；计算 k_d ，绘制 $k_d \sim U_{cm+}$ 曲线。

（注： $k_d = V_o / U_{cm+}$ ）

4、（选做）二极管检波中间过程点观测（示波器各通道输入耦合：DC）

(1) 用示波器对比观测检波输入信号（TP5）与经 D3 检波管检波后的信号（TP12）的波形，记录波形及参数，分析有何变化。

(2) 对比观测滤波后隔离直流前（TP13）和隔离直流后（TP6）的波形，记录波形及参数。

5、探究检波失真原因

恢复图 3.4.16 的连线 and 表 3.4.4 的信号源参数设置。

(1) 观察对角线切割失真现象

用示波器观测检波输出（TP13）信号的波形，调节【二极管包络检波】的直流负载 W3，会出现对角线切割失真现象，记录 TP13 的波形及参数。测完，调节 W3 使其为最大值的 1/7。

(2) 观察割底失真现象

用示波器观察检波输出（TP13）信号的波形，调节【二极管包络检波】的交流负载 W4，会出现底部切割失真现象，记录 TP13 的波形及参数。

三、 实验仪器及设备

- 1、 主控、G04 模块
- 2、 SDG5112 型数字合成函数发生器/计数器
- 3、 DSO-X 2014A 数字存储示波器
- 4、 34450A 台式数字万用表

四、 思考题

- 1、 简述乘法器调幅与集电极调幅/基极调幅有什么异同？
- 2、 简述同步检波与峰值包络检波有什么异同？

五、 实验报告要求

- 1、 简述实验原理。
- 2、 画出实验电路图。
- 3、 整理实验波形、实验数据、作出曲线图。
- 4、 对实验现象、波形、数据、曲线、误差、感受等进行分析。
- 5、 回答思考题。