

## 实验五 混频器与 AGC 中频放大系统

### 一、实验电路简介

#### (一) 混频器实验电路

##### (1) 模拟相乘器混频

乘法器混频实验电路原理框图如图 3.5.10 所示。

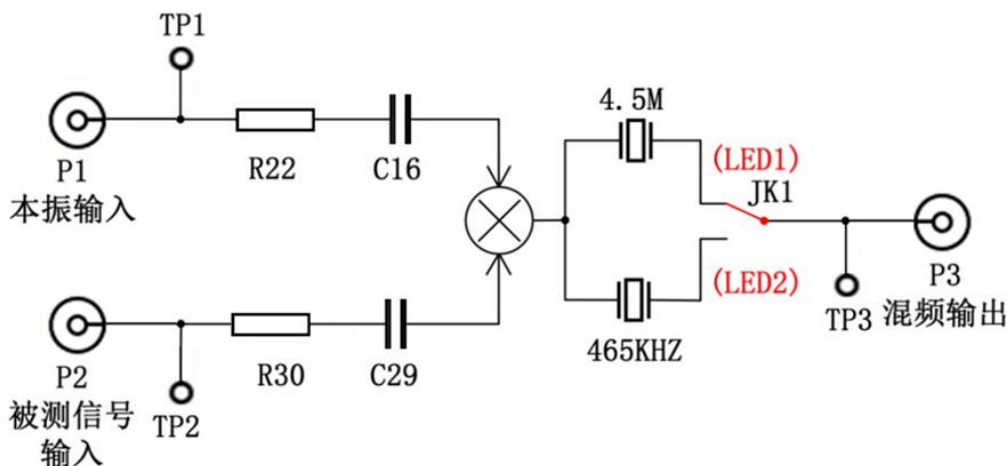


图 3.5.10 乘法器混频实验电路原理框图

本振信号  $u_L$  由 P1 或 TP1 输入，射频信号  $u_s$  由 P2 或 TP2 输入。乘法器输出端连接两个带通滤波器，中心频率分别为 4.5MHz 和 465KHz，均为陶瓷滤波器。根据 JK1 的状态可实现混频频率的选择。

JK1 拨向上时（LED1 亮），乘法器混频输出频率为 4.5MHz。此时，本振信号  $u_L$  由主控-信号源提供，频率  $f_L$  设置为 10.5MHz。射频信号  $u_s$  由 G03 模块的晶体振荡器提供，频率为 6MHz（即  $f_s$ ）。由 4.5MHz 陶瓷滤波器取出  $f_L - f_s = 4.5\text{MHz}$  的分量作为中频信号，从 P3 或 TP3 输出。

JK1 拨向下时（LED2 亮），乘法器混频输出频率为 465KHz。此时，本振信号  $u_L$  由主控-信号源提供，频率  $f_L$  设置为 6.465MHz。射频信号  $u_s$  由 G03 模块的晶体振荡器提供，频率为 6MHz（即  $f_s$ ）。由 465KHz 陶瓷滤波器取出  $f_L - f_s = 465\text{KHz}$  的差频分量作为中频信号，从 P3 或 TP3 输出。

#### 参数调整与控制：

JK1：用于混频器输出频率的选择。通过显示屏触摸对应的电子开关，进行调整。也可通过本模块右侧的选择键●先选中 JK1，选中时，相应的 LED 会点亮，然后通过上键▲和下键▼进行状态调整。

#### 测试端口说明：

P1：为本振信号输入端口，其在线测试点为 TP1。

P2：为参考信号输入端口，其在线测试点为 TP2。

P3：为混频输出端口，其在线测试点为 TP3。

## (2) 三极管混频

三极管混频器实验电路如图 3.5.11 所示, 本电路采用共射组态。射频信号  $u_s$  从混频三极管 Q1 的基极 P6 或 TP6 输入, 本振信号  $u_L$  (10.5MHz) 由 Q1 的射极 P7 或 TP7 输入, 通过 Q1 混频后的信号含有  $f_L$  与  $f_s$  的各次谐波( $f_L$ 、 $2f_L$ 、 $3f_L$ ……及  $f_L \pm f_s$ 、 $2f_L \pm f_s$ 、 $3f_L \pm f_s$ ……), 由 L2、C4、C6、D8 组成的 LC 谐振回路及带通滤波器取出基波差频 ( $f_L - f_s = 4.5\text{MHz}$ ) 分量作为中频信号  $u_I$ , 从 P8 或 TP8 端口输出。

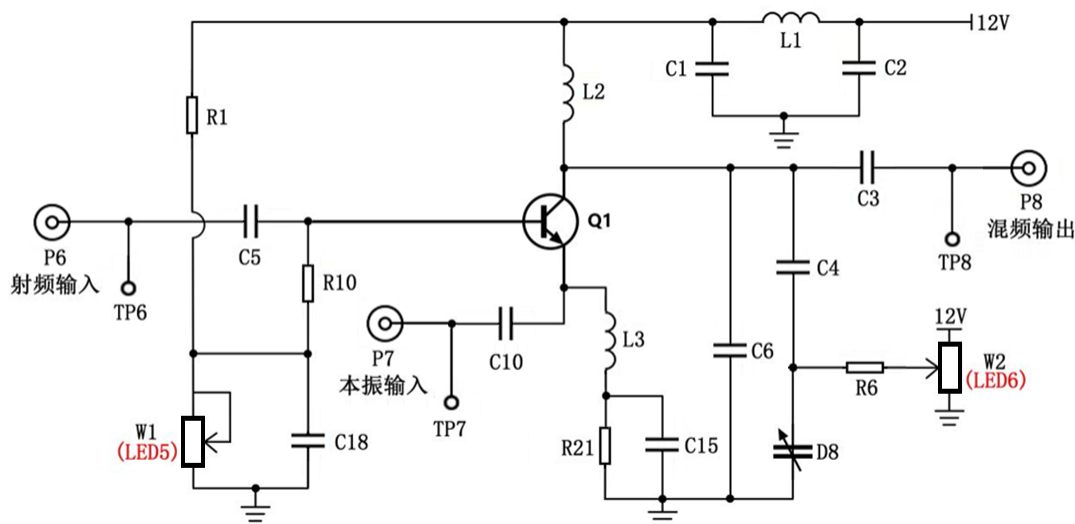


图 3.5.11 三极管混频实验电路

### 参数调整与控制:

W1、W2: 调节 W1 可改变加在晶体管 Q1 基极的电压大小, 即改变 Q1 的静态工作点。调节 W2 可改变加在变容二极管 D8 两端的电压, 进而改变其电容量。

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 W1 或 W2，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:

**P6:** 为参考信号输入端口，其在线测试点为 TP6。

**P7:** 为本振信号输入端口，其在线测试点为 TP7。

**P8:** 为混频输出端口, 其在线测试点为 TP8。

## (二) 中放 AGC 实验电路

中放及 AGC 实验电路如图 3.5.12 所示。

中放是使用 U9(TL082)实现的同相比比例运算放大,放大后经 4.5MHz 陶瓷滤波后输出。C38 用作隔直,只对交流信号放大。实验电路是对 4.5MHz 中频进行选频放大。

中频信号由 P4 端口输入, 经过放大后从 P5 端口输出。其中放大部分由 U9、R40、R43、W3 构成, W3 控制 U9 的 4 脚的电压, 控制电路的放大增益。

AGC 电路中, +12V 电源经电阻分压后提供基准电压, 当整形放大输出的直流控制信号大于基准电压时, 比较器才能输出 AGC 控制电压, 以控制数字电位器 W3 的阻值自动变化, 从而保持输出增益的相对恒定。

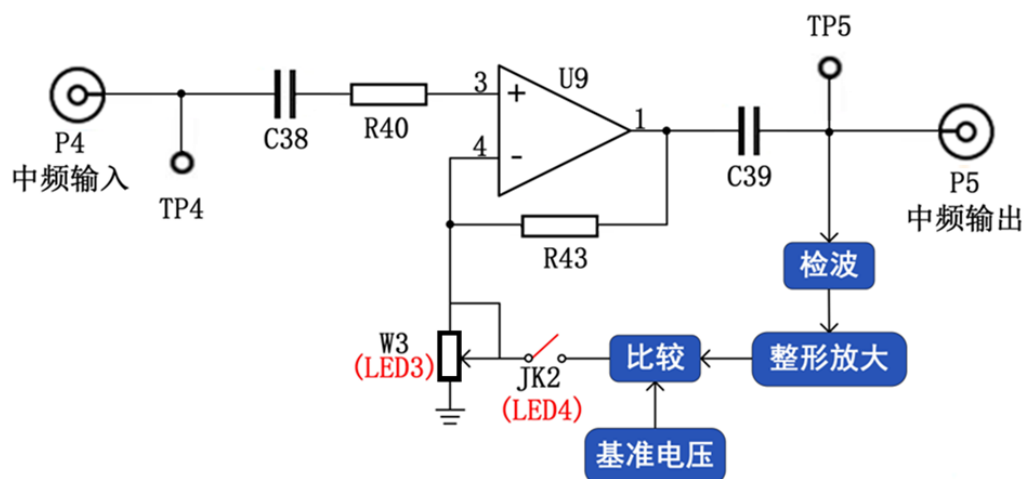


图 3.5.12 中放及 AGC 电路图

### 参数调整与控制：

JK2：控制着 AGC 控制链路的接入，当 JK2 断开时，电路为中频放大电路，当 JK2 闭合时，电路为 AGC 自动增益控制电路。

W3：选频放大的增益控制。

通过显示屏触摸对应的电子开关，如 JK2，可进行调整。也可通过本模块右侧的选择键

- 先选中 LED4，选中时，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：

P4：为中频输入端口，其在线测试点为 TP4。

P5：为中频放大输出端口，其在线测试点为 TP5。

## 二、实验内容及步骤

### (一) 混频器电路测试

（示波器：① 输入耦合→AC；② 带宽限制→打开）

#### 1、集成模拟乘法器混频

##### (1) 465KHz 混频输出信号观测

##### ① 系统搭建及信号参数设置

各模块断电（主控单元可保留电源开启）状态下，按照图 3.5.13 进行连线。

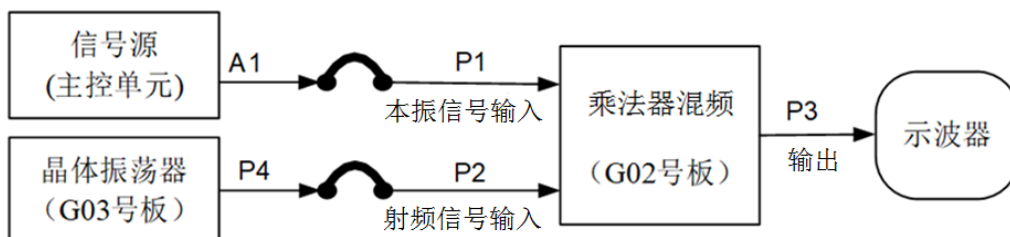


图 3.5.13 465KHz/4.5MHz 乘法器混频连线图

按照表 3.5.1 进行信号参数设置。

表 3.5.1 465KHz 混频输出信号参数及观测连线表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源: A1 $u_{LPP}=800\text{mV}$ , $f_L=6.465\text{MHz}$	G02 号板: 【乘法器混频】的 P1	本振信号输入
G03 号板:【晶体振荡器】的 P4 $u_{SPP}=700\text{mV}$ , $f_S=6\text{MHz}$	G02 号板: 【乘法器混频】的 P2	射频信号输入

(晶振调试方法: 在显示屏主界面选择【实验项目】→【正弦波振荡】→【晶体振荡实验】, 调节 W1 使晶振输出信号幅度改变)

## ② 混频滤波器选择

显示屏界面, 点击【实验项目】→【混频】→【乘法器混频实验】。进入到实验界面。点击 JK1, 使 G02 模块 LED2 指示灯亮, 即混频输出的信号通过中心频率为 465KHz 的带通滤波器, 进行滤波处理。

## ③ 实验现象观测

- 用示波器观测记录 G02 模块 TP3 测试点输出的中频信号  $u_i$  的波形及参数。
- 保持  $u_L$  和  $u_S$  幅度不变, 保持  $f_S$  不变, 适当改变  $f_L$ , 频谱仪【RF IN】接 P3 或 TP3, 观测混频输出信号的频率  $f_i$  的变化, 数据填入表 3.5.2, 分析其频率关系。

表 3.5.2 465KHz 混频输出信号频率的变化

$f_S$ (晶体振荡)	6MHz							
$f_L/\text{MHz}$ (本振信号)	6.42	6.43	6.44	6.45	6.46	6.47	6.48	6.49
$f_i/\text{MHz}$ (混频输出)								

- 恢复  $f_L$  为 6.465MHz, 保持  $u_{SPP}=700\text{mV}$  不变, 调整本振信号  $u_L$  的幅值, 用示波器观测 G02 模块 TP1 处  $u_L$  的幅值以及 TP3 处混频输出信号  $u_i$  的幅值, 填入表 3.5.3, 并算出其混频增益。

表 3.5.3 465KHz 混频输出信号幅值数据表

$u_{LPP}/\text{mV}$ (本振信号)	500	600	700	800	900	1000
$u_{IPP}/\text{mV}$ (混频输出)						
混频增益 $K_V$						

## (2) 4.5MHz 混频输出信号观测

### ① 实验电路搭建及信号参数设置

各模块断电(主控单元可保留电源开启)状态下, 按照图 3.5.14 进行连线。  
按照表 3.5.4 进行信号参数设置。

表 3.5.4 4.5MHz 混频器信号参数及观测连线表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源: A1 $u_{LPP} = 800\text{mV}$ , $f_L = 10.5\text{MHz}$	G02 号板: 【乘法器混频】的 P1	本振信号输入
G03 号板: 【晶体振荡器】的 P4 $u_{SPP} = 700\text{mV}$ , $f_S = 6\text{MHz}$	G02 号板: 【乘法器混频】的 P2	射频信号输入

### ② 混频滤波器选择

在显示屏点击【返回上级】，回到实验项目章节界面，点击【混频】→【乘法器混频实验】，点击 JK1，使 G02 模块 LED1 指示灯亮，即混频输出的信号通过中心频率为 4.5MHz 的带通滤波器，进行滤波处理。

### ③ 实验现象观测

- 用示波器观测记录 G02 模块 TP3 测试点输出的中频信号  $u_i$  的波形及参数。
- 保持  $u_L$  和  $u_S$  幅度不变，保持  $f_S$  不变，适当  $f_L$ ，频谱仪【RF IN】接 P3 或 TP3，观测混频输出信号的频率  $f_i$  的变化。数据填入表 3.5.5，分析其频率关系。

表 3.5.5 4.5MHz 混频输出信号频率数据表

$f_S$ (晶体振荡)	6MHz								
$f_L/\text{MHz}$ (信号源)	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9
$f_i/\text{MHz}$ (混频输出)									

- 恢复  $f_L$  为 10.5MHz，保持  $u_{LPP} = 800\text{mV}$  不变，调整 G03 模块【晶体振荡器】的输出电压幅值（即参考输入信号  $u_S$  的幅值），频率为 6MHz 不变，用示波器观测 G02 号板 TP2 处  $u_S$  的幅值以及 TP3 处  $u_i$  的幅值，填入表 3.5.6 中，并算出其混频增益。

表 3.5.6 4.5MHz 混频输出信号幅值数据表

$u_{SPP}/\text{mV}$ (本振信号)	200	300	400	500	600	700
$u_{IPP}/\text{mV}$ (混频输出)						
混频增益 $K_V$						

### (3) 调频波经混频输出信号观测

- 系统搭建：**各模块断电（主控单元可保留电源开启）状态下，按图 3.5.14 进行连线。

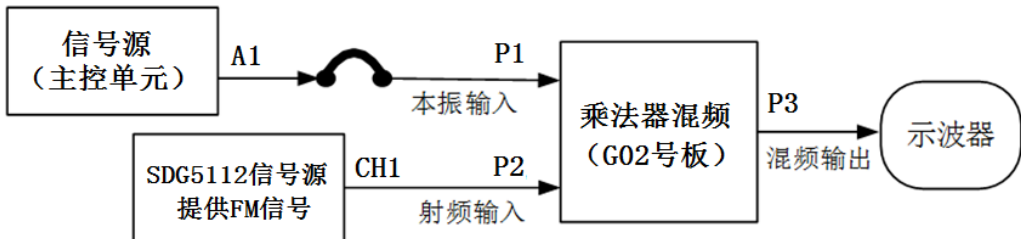


图 3.5.14 调频波混频连线图

## ② 参数设置

- a) 按照表 3.5.7 进行信号源参数设置。

表 3.5.7 调频波混频连线表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源: A1 ( $u_{LPP} = 800\text{mV}$ , $f_L = 10.5\text{MHz}$ )	G02 号板: 【乘法器混频】的 P1	本振信号输入
SDG5112 信号源的 CH1 (载波频率: $6\text{MHz}$ , 幅度: $1\text{V}_{pp}$ , MOD: 调制 [打开], 调制类型: FM, 信源选择: 内部, 调制频率: $1\text{KHz}$ 频率偏移: $75\text{KHz}$ )	G02 号板: 【乘法器混频】的 P2	调频波输入


- b) 在显示屏主点击【返回上级】, 回到实验项目章节界面, 点击【混频】→【乘法器混频实验】, 点击 JK1, 使 G02 号板上 LED1 指示灯亮, 即混频输出的信号通过中心频率为  $4.5\text{MHz}$  的带通滤波器, 进行滤波处理。

## ③ 实验现象观测

- a) 频谱仪【RF IN】连接 G02 的 P1 或 TP1, 观测记录本振信号的频谱及参数。  
(FREQ:  $10.5\text{MHz}$ )
- b) 频谱仪【RF IN】连接 G02 的 P2 或 TP2, 观测记录调频输入信号的频谱及参数。  
(FREQ:  $6\text{MHz}$ , SPAN:  $300\text{KHz}$ )
- c) 频谱仪【RF IN】连接 G02 的 P3 或 TP3, 观测记录混频输出信号的频谱及参数。  
(FREQ:  $4.5\text{MHz}$ , SPAN:  $300\text{KHz}$ )
- d) 将混频前后信号频谱进行对比分析。(提示: 调频波频谱测试方法, 参见实验三。)

## 2、三极管混频输出信号观测

### (1) 实验电路搭建

G02、G03 模块断电（主控单元可保留电源开启）状态下, 按图 3.5.15 所示框图进行连线 (注: 图中符号  表示同轴电缆高频连接线)。

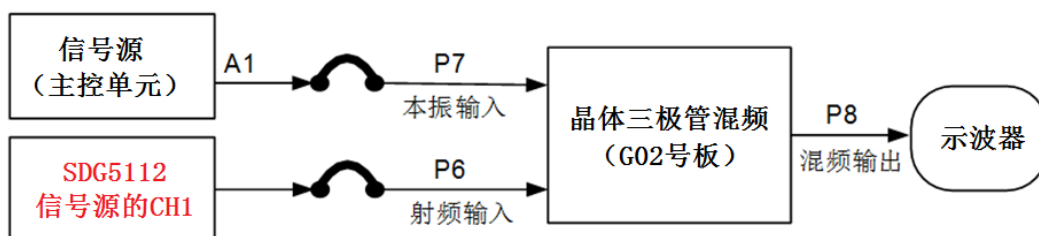


图 3.5.15 三极管混频连线图

### (2) 参数设置

按照表 3.5.8 进行信号源参数设置。

表 3.5.8 三极管混频连线表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源: A1 ( $u_{LPP} = 800\text{mV}$ , $f_L = 10.5\text{MHz}$ )	G02 号板: 【晶体三极管混频】的 P7	本振信号输入
SDG5112 信号源的 CH1 ( $u_{SPP} = 200\text{mV}$ , $f_S = 6\text{MHz}$ )	G02 号板: 【晶体三极管混频】的 P6	射频信号输入

## (3) 实验现象观测

- ① 在显示屏上选择【实验项目】→【混频】→【三极管混频实验】，进入到实验界面。
- ② 用示波器观测【晶体三极管混频】的输出（P8 或 TP8） $u_1$  信号的波形，调整电路中的 W1 和 W2，使  $u_1$  幅度最大且波形不失真。
- ③ 分别记录  $u_L$ 、 $u_S$  和  $u_1$  的波形及参数。
- ④ 改变信号源提供的本振信号的频率  $f_L$ ，频谱仪【RF IN】连接 P8 或 TP8，观测混频输出信号的频率  $f_1$ ，填入表 3.5.9 中，分析其频率关系。

表 3.5.9 混频输出信号频率数据表

$f_S$ (SDG5112 信号源)	6 MHz						
$f_L/\text{MHz}$ (主控&信号源: A1)	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8
$f_1/\text{MHz}$							

- ⑤ 恢复  $f_L$  为 10.5MHz，保持  $u_{SPP} = 200\text{mV}$  不变，调整本振信号的电压幅值  $u_{LPP}$  为 1V 和 1.2V，用示波器观测记录【三极管混频】电路 P7 或 TP7 处的本振  $u_{LPP}$  以及 P8 或 TP8 处混频输出的  $u_{1PP}$ ，并计算混频电压增益  $K_V$ 。

## (4) 调幅波经混频输出信号观测

- ① 系统搭建：关闭 G02 号板电源，拆除之前的连线，按照图 3.5.16 进行连线。

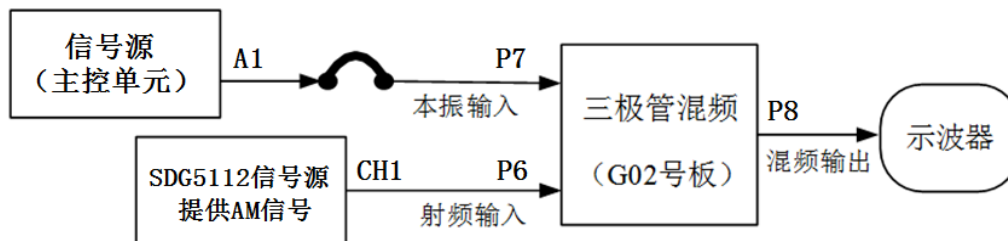


图 3.5.16 调幅波混频连线图

## ② 参数设置

- a) 在显示屏点击【返回上级】，回到实验项目章节界面，点击【混频】→【三极管混频实验】，进入到实验界面。
- b) 按照表 3.5.11 进行信号参数设置。



表 3.5.11 调幅波混频连线表

源端口	目的端口	连线说明
主控&信号源: A1 ( $u_{LPP} = 1.2V$ , $f_L = 10.5MHz$ )	G02 号板: 【三极管混频】的 P7	本振信号输入
SDG5112 信号源的 CH1 (载波频率: 6MHz, 幅度: 0.4Vpp, MOD: 调制 [打开], 调制类型: AM, 信源选择: 内部, 调制频率: 2KHz 调制深度: 30%)	G02 号板: 【三极管混频】的 P6	调幅波输入

### ③ 实验现象观测


- 观测调幅输入信号 (G02 的 P6 或 TP6)、本振信号 (G02 的 P7 或 TP7)、混频输出信号 (G02 的 P8 或 TP8) 的波形, 调节 W1、W2, 使 TP8 输出的调幅波形幅值较大且包络不失真。分别记录 TP6、TP7 和 TP8 的波形及参数。
- 频谱仪【RF IN】连接 G02 的 P7 或 TP7, 观测记录本振信号的频谱及参数。  
(FREQ: 10.5MHz)
- 频谱仪【RF IN】连接 G02 的 P6 或 TP6, 观测记录调幅输入信号的频谱及参数。  
(FREQ: 6MHz, SPAN: 10KHz)
- 频谱仪【RF IN】连接 G02 的 P8 或 TP8, 观测记录混频输出信号的频谱及参数。  
(FREQ: 4.5MHz, SPAN: 10KHz)
- 将混频前后调幅信号的频谱进行对比分析。

(提示: AM 波频谱测量方法参见实验二或实验四。)

## (二) AGC 中频放大系统测试

### 1、开环时 (无 AGC) 动态范围测量

#### (1) 实验电路搭建

实验模块关电, 按照图 3.5.17 进行实验连线。(注: 图中符号  表示同轴电缆高频连接线)

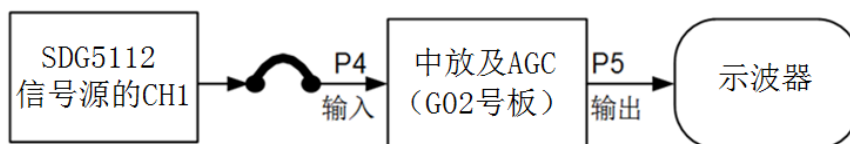


图 3.5.17 自动增益控制 AGC 实验连线图

参照表 3.5.12 进行信号参数设置。



表 3.5.12 自动增益控制 AGC 实验连线表

源端口	目的端口	连线说明
SDG5112 信号源的 CH1 $u_{ipp} = 0.2V_{pp}$ , $f_i = 4.5MHz$	G02 号板: 【中放及 AGC】的 P4	中频信号输入

G02 号模块打开电源, 在显示屏界面点击【实验项目】→【反馈控制】→【自动增益控制】, 进入到实验框图界面。

## (2) (不做) 逐点描述法测开环时电路幅频特性曲线

设置 JK2 处于“断开”的状态(通过 SW2 选中 JK2 后点击 SW1, 注意: 触屏操作, 有时失灵), 此时电路模块上指示灯 LED4 熄灭, 保持信号源的输出幅度不变, 调整 W3, 用示波器观测 TP5 处的波形, 让其幅度最大, 然后改变输入的中频信号的频率, 将中频输出 TP5 点信号的幅度记录在表 3.5.13 中, 并计算出开环电压增益, 绘制  $K_v \sim f$  曲线。

表 3.5.13 开环时幅频特性测量数据表 (不做)

中频信号: 主控&信号源: A1 ( $u_{ipp} = 50mV_{rms}$ )									
$f/MHz$	4.42	4.44	4.46	4.48	4.50	4.52	4.54	4.56	4.58
$V_o/mV_{rms}$									
$K_v$									

## 2、测量开环 (无 AGC) 时中频放大器输入、输出特性曲线

(1) 保持 JK2 为“断开”, 从【中放及 AGC】的输入端 (P4 或 TP4) 接入 4.5MHz、0.2V<sub>pp</sub> 的正弦信号, 调节 W3(通过 SW2 选中 W3 后点击 SW1 或 SW3 调节, 注意: 这里触屏操作失灵), 使其输出信号 (P5 或 TP5) 幅值最大且不失真, 测量中放谐振电压放大倍数  $A_u$ 。

(2) 以 0.2V<sub>pp</sub> 为步进单位改变输入信号幅值, 从 0.1V<sub>pp</sub> 增大到 1.7V<sub>pp</sub>, 测量中放输入 (TP4)、输出 (TP5) 电压幅值, 数据填入表 3.5.14, 并计算开环电压放大倍数  $A_u$ , 绘制  $u_o \sim u_i$  曲线及  $A_u \sim u_i$  曲线。

表 3.5.14 开环输入、输出特性测量数据表

$u_i/V_{pp}$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7
$u_o/V_{pp}$									
$A_u$									

### 3、测量闭环（有 AGC）时中频放大器输入、输出特性曲线

设置 JK2 处于“闭合”的状态(通过 SW2 选中 JK2 后点击 SW3, 注意: 触屏操作, 有时失灵), 保持 W3 不变, 按表 3.5.15 测量中放 AGC 系统输入 (TP4)、输出 (TP5) 电压幅值及 AGC 控制电压  $V_{AGC}$  (万用表 DC 档, 在 W3 中心抽头即 JK2 左端点测量), 绘制  $u_o \sim u_i$  曲线、 $A_u \sim u_i$  曲线及  $V_{AGC} \sim u_i$  曲线。

表 3.5.15 闭环输入、输出特性测量数据表

$u_i/V_{pp}$	0.1	0.2	以 0.1Vpp 为步进	...	起控 电压	以 0.2Vpp 为步进	...	失控 电压	失控电压 +0.2Vpp
$u_o/V_{pp}$									
$V_{AGC}/V$									
$A_u$									

### 三、实验仪器及设备

- 1、主控、G02 模块、G03 模块、G04 模块。
- 2、DSO-X 2014A 数字存储示波器。
- 3、SA1010 频谱分析仪。
- 4、KEYSIGHT 34450A 台式数字万用表

### 四、思考题

- 1、分析混频的必要性。
- 2、分析混频与调幅有什么异同。
- 3、简述 AGC 的控制原理。