

高频电子技术实验 指导书

商丘师范学院物理与信息工程系编

目 录

实验一单回路谐振放大器及通频带展宽实验	1
实验二幅度调制器实验	4
实验三调幅波信号的解调实验	6
实验四丙类功率放大器实验	8
实验五石英晶体振荡器实验	10
实验六电容反馈三点式振荡器	12
实验七变容二极管频率调制电路实验	15
实验八频率解调（相位鉴频器）电路实验	17
实验九小功率调频发射、接收实验	19
实验十频率合成电路实验	22
实验十一集成混频器电路实验	26
附录	29

实验一 单回路谐振放大器及通频带展宽实验

一、实验目的：

- 1、熟悉高频电路实验箱的组成及实验电路中各组件的作用；
- 2、熟悉并联谐振回路通频带与选择性的相关知识；
- 3、熟悉负载对谐振回路的影响,了解通频带展宽的方法；
- 4、熟悉和了解单调谐回路谐振放大器的性能指标和测量方法。

二、预习要求：

- 1、复习选频网络的特性及分析方法；
- 2、复习谐振回路的工作原理；
- 3、掌握谐振放大器电压增益、通频带、选择性以及动态范围等性能指标的分析方法。

三、实验电路说明：

实验电路如图 1-1 所示。单调谐回路利用谐振负载的选频特性，对经过选频的频率进行放大。电路中 W 、 R_1 、 R_2 、 $R_{e1}(R_{e2})$ 为直流偏置电阻，调节 W 可改变直流工作点。

C_2 、 C_3 、 L_1 构成谐振回路，调节 C_2 可改变谐振回路的谐振频率，改变回路的选频特性。 R_3 为回路电阻， R_L 为负载电阻。

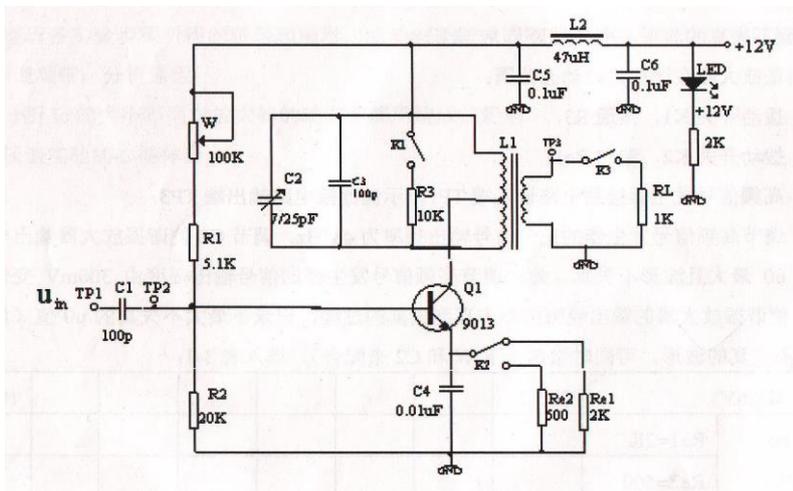


图 1-1 单回路谐振放大器

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器；
- 2、万用表；
- 3、数字频率计；
- 4、高频毫伏表；

5、高频电路实验箱及实验模块。

五、实验内容和步骤：

1、测量谐振放大器的谐振频率：

- 1) 拨动开关 K_3 至 R_L 档；
- 2) 拨动开关 K_1 至 OFF 档，断开 R_3 ；
- 3) 拨动开关 K_2 ，选中 R_{e2} ；
- 4) 检查无误后接通电源；
- 5) 高频信号发生器接到电路输入端 T_{P1} ，示波器接到电路输出端 T_{P3} ；
- 6) 使高频信号发生器的正弦信号输出幅度为 $300mV$ 左右，调节其频率在 $2-11MHz$ 之间变化，找到谐振放大器输出电压最大且不失真的频率并记录下来（注意：如找不到不失真的波形，应同时调节 W 来配合）。

2、测量放大器在谐振点的动态范围：

- 1) 拨动开关 K_1 ，接通 R_3 ；
- 2) 拨动开关 K_2 ，接通 R_{e1} ；
- 3) 高频信号发生器接到电路输入端 T_{P1} ，示波器接到电路输出端 T_{P3} ；
- 4) 调节高频信号发生器的正弦信号输出频率为 $4MHz$ ，调节 C_2 使谐振放大器输出电压幅度 u_o 最大且波形不失真。此时调节高频信号发生器的信号输出幅度由 $300mV$ 变化到 $1V$ ，使谐振放大器的输出经历由不失真到失真的过程，记录下最大不失真的 u_o 值（如找不到不失真的波形，可同时微调一下 W 和 C_2 来配合），填入表 1-1 中。

表 1-1

$u_i(mV)$		300							1000
$u_o(V)$	$R_{e1} = 2K$								
	$R_{e2} = 500\Omega$								

- 5) 再选 $R_{e2} = 500\Omega$ ，重复第 4) 步的过程；
- 6) 在相同的坐标上画出不同 I_C （由不同的 R_e 决定）时的动态范围曲线，并进行分析比较。

3、测量谐振放大器的通频带：

1) 拨动开关 K_1 ，接通 R_3 ；

2) 拨动开关 K_2 ，接通 R_{e2} ；

3) 拨动开关 K_3 至 R_L 档；

4) 高频信号发生器接到电路输入端 T_{P1} ，示波器接到电路输出端 T_{P3} ；

5) 调节高频信号发生器的正弦信号输出频率为 4MHz ，信号输出幅度为 300mV 左右，调节 C_2 使输出幅度 u_o 最大且波形不失真（注意检查一下此时谐振放大器如无放大倍数可调节 W ）。此时，回路的谐振频率 4MHz 为中心频率，保持高频信号发生器的信号输出幅度不变，改变频率由中心频率向两边偏离，测得在不同频率时对应的输出电压 u_o ，频率偏离的范围根据实际情况确定。将测量的结果记录下来，并计算回路的谐振频率为 4MHz 时，电路的电压放大倍数和回路的通频带；

6) 拨动开关 K_1 ，断开 R_3 ，重复第 5) 步。比较通频带的情况。

六、实验报告要求：

1、画出实验电路的交流等效电路；

2、整理各实验步骤所得的资料和图形，绘制出单谐振回路接与不接回路电阻时的幅频特性和通频带，分析原因；

3、分析 I_C 的大小不同对放大器的动态范围所造成的影响。

实验二 幅度调制器实验

一、实验目的：

- 1、掌握集成模拟乘法器的基本工作原理；
- 2、掌握集成模拟乘法器构成的振幅调制电路的工作原理及特点；
- 3、学习调制系数 m 及调制特性 ($m \sim u_{\Omega m}$) 的测量方法，了解 $m < 1$ 及 $m = 1$ 及 $m > 1$ 时调幅波的波形特点。

二、预习要求：

- 1、预习幅度调制器的有关知识；
- 2、分析实验电路中用 1496 乘法器调制的工作原理，并分析计算各引脚的直流电压；
- 3、了解调制系数 m 的意义及测量方法；
- 4、分析全载波调幅信号的特点；
- 5、了解实验电路中各组件作用；

三、实验电路说明：

本实验电路如图 2-1 所示。

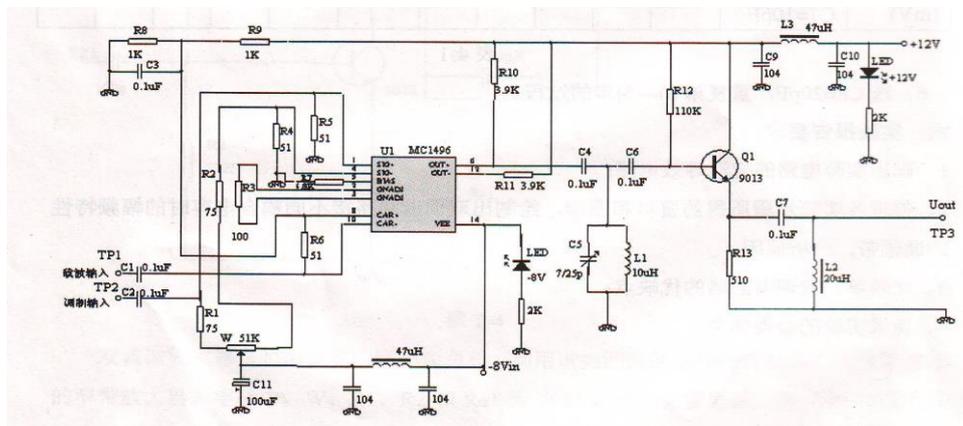


图 2-1 幅度调制器电路

MC1496 是一个集成模拟乘法器电路。模拟乘法器是一种完成两路互不相关的模拟信号（连续变化的两个电压或电流）相乘作用的电子器件。它是利用晶体管特性的非线性巧妙地进行结合实现调幅的电路。使输出中仅保留晶体管非线性所产生的两路输入信号的乘积这一项，从而获得良好的乘法特性。图中 MC1496 芯片引脚 1 和引脚 4 接两个 51Ω 和两个 75Ω 电阻及 $51K$ 电位器用来调节输入馈通电压，调偏 W ，有意引入一个直流补偿电压，由于调制电压 U_{Ω} 与直流补偿电压相串联，相当于给调制信号 U_{Ω} 迭加了某一电压后与载波电压 U_c 相乘，从而完成普通调幅。如需要产生抑制载波双边带调幅波，则应仔细调节 W ，使 MC1496 输入端电路平衡。另外，调节 W 也可以改变调制系数 m 。1496 芯片引脚 2 和引脚

3 之间接有负反馈电阻 R_3 ，用来扩展 U_Ω 的输入动态范围。载波电压 U_c 由引脚 8 输入。

MC1496 芯片输出端（引脚 6）接有一个并联 L_1 、 C_5 回路构成的带通滤波器，原因是考虑到当 U_c 幅度较大时，乘法器内部双差分对管将处于开关工作状态，其输出信号中含有 $3\omega_c \pm \Omega$ 、 $5\omega_c \pm \Omega$ 、……等无用组合频率分量，为抑制无用分量和选出 $\omega_c \pm \Omega$ 分量，故不能用纯阻负载，只能用选频网络。

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器
- 2、万用表
- 3、实验箱及幅度调制、解调模块

五、实验内容及步骤：

- 1、接通电源；
- 2、调节高频信号源使其产生 $f_c = 8\text{MHz}$ 幅度为 200mV 左右的正弦信号作为载波接到幅度调制电路输入端 T_{P1} ，从函数波发生器输出频率为 $f_\Omega = 1\text{KHz}$ 幅度为 600mV 左右的正弦调制信号到幅度调制电路输入端 T_{P2} ，示波器接幅度调制电路输出端 T_{P3} ；
- 3、反复调整 W 及 C_5 使之出现合适的调幅波，观察其波形并测量调制系数 m ；
- 4、调整 U_Ω 的幅度（调制信号幅度）和 W 及 C_5 ，同时观察并记录 $m < 1$ 、 $m = 1$ 及 $m > 1$ 时的调幅波形；
- 5、在保证 f_c 、 f_Ω 、 U_{cm} （载波幅度）一定的情况下，测量 $m - U_\Omega$ 曲线。

六、实验报告要求：

- 1、整理各个实验步骤所得的资料和波形，绘制出 $m - U_\Omega$ 调制特性曲线；
- 2、分析各实验步骤所得的结果。

实验三 调幅波信号的解调实验

一、实验目的：

- 1、进一步了解调幅波的原理，掌握调幅波的解调方法；
- 2、了解大信号峰值包络检波器的工作过程、主要指针及波形失真，学习检波电路传输系数的测量方法；
- 3、掌握用集成电路实现同步检波的方法。

二、预习要求：

- 1、复习二极管包络检波原理和模拟乘法器工作原理；
- 2、复习用集成模拟乘法器构成同步检波器的工作原理；
- 3、了解实验电路中各组件作用；
- 4、了解检波器电压传输系数 K_d 的意义及测量方法。

三、实验电路说明：

- 1、二极管包络检波器如图 3-1 所示。

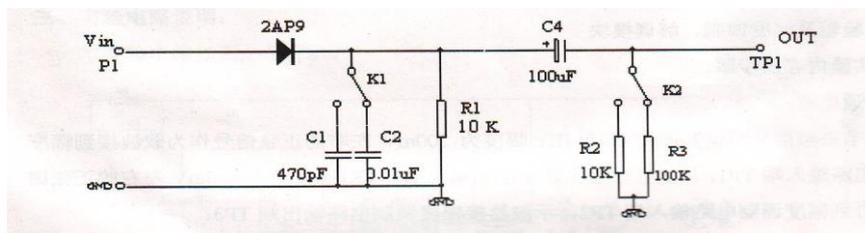


图 3-1 包络检波器电路

二极管包络检波是利用电容充放电原理对已调波进行解调的。图中 C_1 、 C_2 为不同的检波负载电容，当其取值过小时，检波器输出的纹波较大。 R_2 、 R_3 为交流负载电阻，如过小，将出现负峰切割失真。

- 2、同步检波如图 3-2 所示。

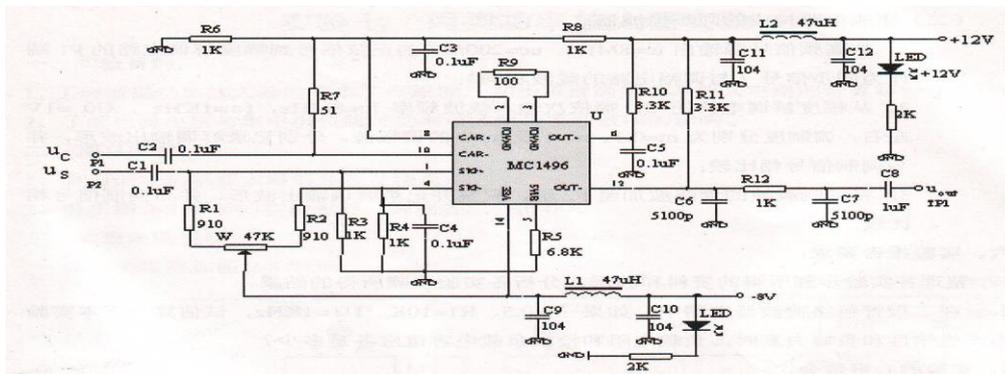


图 3-2 同步检波器电路

本实验电路中 MC1496 构成解调器，载波信号加在 8—10 脚之间，调幅信号在 1—4 脚之间，相乘后信号 12 脚输出，经 C_6 、 C_7 和 R_{12} 组成的低通滤波器输出解调出来的调制信号。

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器
- 2、万用表
- 3、实验箱及幅度调制、解调模块

五、实验内容及步骤：

（一）二极管包络检波器：

1、从 P_1 端输入载波频率 $f_c = 8MHz$ 、调制信号频率 $f_\Omega = 1KHz$ 左右、 u_0 为 1V 左右的调幅波（可从幅度调制器电路获得，注意每次均应调整好幅度调制器电路使其输出理想的调幅波）， K_1 接 C_2 ， K_2 接负载电阻 R_3 ，用示波器测量检波器电压传输系数 K_d 。

2、观察并记录不同的检波负载对检波器输出波形的影响：

1) 令输入调幅波的 $m > 0.5$ ， $f_c = 8MHz$ 、 $f_\Omega = 1KHz$ 和 $f_\Omega = 10KHz$ ，选择不同的检波负载电容，观察并记录检波器输出波形的变化。

2) 令输入调幅波的 $m > 0.5$ ， $f_c = 8MHz$ 和 $f_\Omega = 1KHz$ ，选择不同的外接负载电阻 R_2 和 R_3 ，观察并记录检波器输出波形的变化，此时，接入的检波电容应选择合适的电容值。

（二）集成电路构成的同步检波器：

1、从高频信号源输出 $f_c = 8MHz$ 、 $u_c = 200mV$ 的正弦信号到幅度调节电路的 P_1 端作为同步信号（与调幅电路的载波相同）；

2、从幅度解调电路的 P_2 端依次输入载波频率 $f_c = 8MHz$ 、 $f_\Omega = 1KHz$ 、 $u_0 = 1V$ 左右，调制度分别为 $m = 0.3$ 、 $m = 1$ 及 $m > 1$ 的调幅波。分别记录解调输出波形，并与调制信号相比较；

3、将抑制载波的调幅波加至 P_2 端，观察并记录解调输出波形，并与调制信号相比较。

六、实验报告要求：

1、整理个实验步骤所得的资料和波形，分析各实验步骤所得的结果。

2、在二极管包络检波器电路中，如果 $m = 0.5$ 、 $R_1 = 10K\Omega$ 、 $f_\Omega = 1KHz$ ，试估算一下本实验不产生惰性和负峰失真时，负载电阻和检波负载电容值应各是多少？

实验四 丙类功率放大器实验

一、实验目的：

- 1、了解谐振功率放大器的基本工作原理，初步掌握高频功率放大电路的计算和设计过程；
- 2、了解电源电压与集电极负载对功率放大器功率和效率的影响。

二、预习要求：

- 1、复习谐振功率放大器的原理及特点；
- 2、分析图 4-1 所示的实验电路，说明各组件的作用。

三、实验电路说明：

本实验电路如图 4-1 所示：

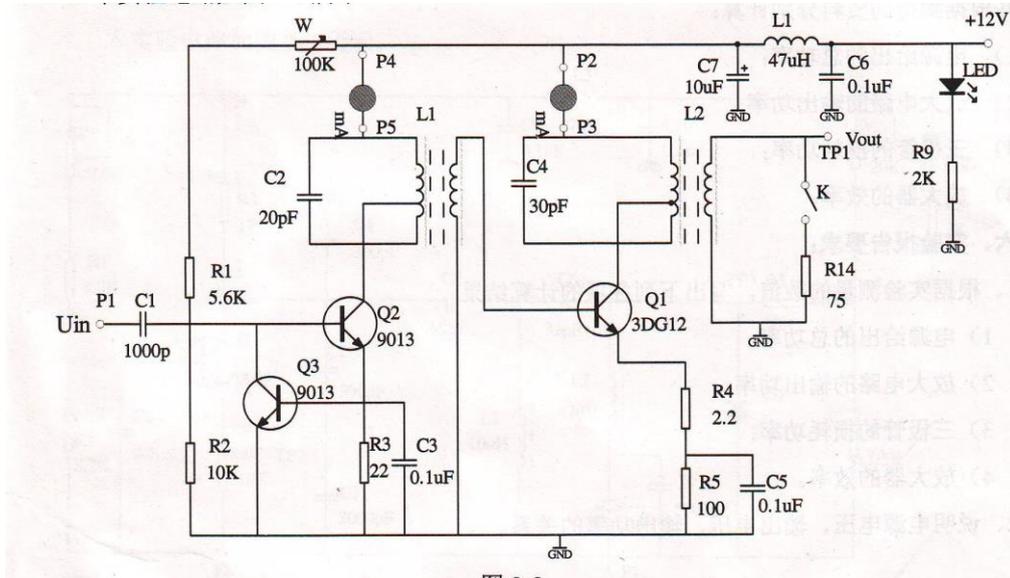


图 4-1 丙类谐振功率放大器电路

本电路由两级组成： Q_2 等构成前级推动放大， Q_1 为负偏压丙类功率放大器， Q_3 起过流保护作用。 R_4 、 R_5 提供基级偏压（自给偏压电路）， L_1 为输入耦合电路，主要作用是使谐振功放的晶体三极管的输入阻抗与前级电路的输出阻抗相匹配。 L_2 为输出耦合回路，使晶体三极管集电极的最佳负载电阻与实际负载电阻相匹配。 R_{14} 为负载电阻。

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器
- 2、万用表
- 3、实验箱及丙类功率放大模块

五、实验内容及步骤：

1、将 P_2 、 P_4 用导线短路，将开关拨到接通 R_{14} 的位置，用万用表测量 Q_2 的发射极电压。

通过原理图上的参数，可计算发射极电流 I_{E2Q} 。

2、检查无误后打开电源开关，调整 W 使万用表电压的指示最小（时刻注意监控电流不要过大，否则损坏晶体三极管）；

3、将示波器接在 T_{p1} 和地之间，在输入端 P_1 接入 $9MHz$ 幅度约为 $800mV$ 的高频正弦信号，缓慢增大高频信号的幅度，直到示波器出现波形。这时调节 L_1 、 L_2 ，使集电极回路谐振，即示波器的波形为最大值且不失真。

4、根据实际情况选两个合适的输入信号幅值，分别测量各工作电压和峰值电压及电流，并根据测得的资料分别计算：

1) 电源给出的总功率 P_{Σ} ：

2) 放大器的输出功率 P_0 ：

3) 三极管的损耗功率 P_c ：

4) 放大器的效率 η_c 。

六、实验报告要求：

1、根据实验测量的数值，写出下列各项的计算结果：

1) 电源给出的总功率；

2) 放大电路的输出功率；

3) 三极管的损耗功率。

4) 放大器的效率。

2、说明电源电压、输出电压、输出功率的关系。

实验五 石英晶体振荡器实验

一、实验目的：

- 1、了解晶体振荡器的工作原理及特点；
- 2、掌握晶体振荡器的设计方法及参数计算方法。

二、预习要求：

- 1、查阅晶体振荡器的有关数据，了解为什么用石英晶体振荡器作为体振荡回路组件能使振荡器的频率稳定度大大提高；
- 2、画出并联谐振型晶体振荡器和串联谐振型晶体振荡器的电路图，并说明两者在电结构和应用上的区别；
- 3、了解实验电路中各组件作用。

三、实验电路说明：

本实验电路采用并联谐振型晶体振荡器，如图 5-1 所示。

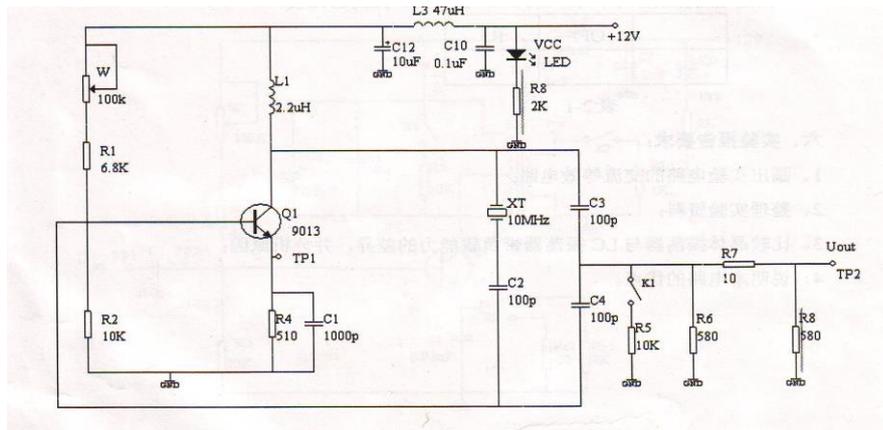


图 5-1 并联谐振型晶体振荡器

XT 、 C_2 、 C_3 、 C_4 组成振荡回路。偏置电路由 R_1 、 R_2 、 W 和 R_4 构成，改变 W 可改变 Q_1 的静态工作点。静态电流的选择既要保证振荡器处于截止平衡状态也要兼顾开始建立时有足够大的电压增益。振荡器的交流负载实验电阻为 R_5 。 R_6 、 R_7 、 R_8 组成一个 π 型衰减器，起到阻抗匹配的作用。

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器
- 2、万用表

- 3、数字频率计
- 4、实验箱及 LC 振荡、石英晶体振荡器模块

五、实验内容及步骤：

- 1、接通电源；
- 2、测量振荡器的静态工作点；

调整图中 W ，测得 I_{eMIN} 和 I_{eMAX} （可测量 R_4 两端的电压来计算相应的 I_e 值）；

- 3、测量当工作点在上述范围时的振荡器频率及输出电压。
- 4、研究有无负载对频率的影响：先将 K_1 拨至 OFF ，测出电路振荡频率，再将 K_1 拨至 R_5 ，测出电路振荡频率，填入表 5-1，并与 LC 振荡器比较。

表 5-1

	OFF	R_5
f		

六、实验报告要求：

- 1、画出实验电路的交流等效电路图；
- 2、整理实验资料；
- 3、比较晶体振荡器与 LC 振荡器带负载能力的差异，并分析原因；
- 4、说明本电路的优点。

实验六 电容反馈三点式振荡器

一、实验目的：

- 1、深入理解电容反馈三点式振荡器的工作原理，熟悉电容反馈三点式振荡器的构成和电路中各组件的作用；
- 2、研究不同静态工作点对振荡器起振、振荡幅度和振荡波形的影响；
- 3、学习使用示波器和频率计测量高频振荡器振荡频率的方法；
- 4、观察电源电压和负载变化对振荡幅度、振荡频率及频率稳定性的影响。

二、预习要求：

- 1、复习 LC 振荡器的工作原理，了解影响振荡器起振、波形和频率的各种因素；
- 2、了解实验电路中各组件作用。

三、实验电路说明：

实验电路中的 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 和 L_1 组成振荡回路。 Q_1 的集电极直流负载为 R_3 ，偏置电路由 R_1 、 R_2 、 W 、 R_4 构成，改变 W 可改变 Q_1 的静态工作点。静态电流的选择既要保证振荡器处于截止平衡状态，也要兼顾开始建立振荡时有足够大的电压增益。 Q_2 与 R_6 、 R_8 组成射极输出器，起隔离作用。振荡器的交流负载实验电阻为 R_5 。 R_7 的作用是为了用频率计（一般输入阻抗为几十 Ω ）测量振荡器工作频率时不影响电路的正常工作。

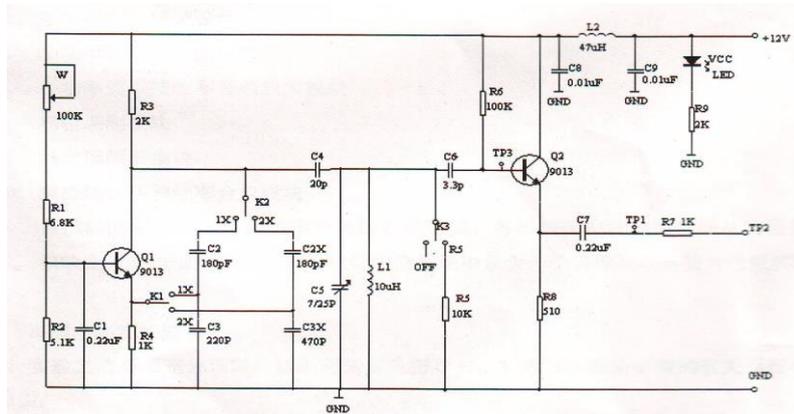


图 6-1 电容反馈三点式振荡器

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器；
- 2、万用表；

- 3、数字频率计；
- 4、高频电路实验箱及实验模块。

五、实验内容和步骤：

1、研究晶体三极管静态工作点不同时，对振荡器输出幅度和波形的影响：

1) 将开关 K_1 和 K_2 均拨至 $1X$ 档，负载电阻 R_5 暂不接入，接通 $+12V$ 电源，调节 W 使振荡器振荡，此时用示波器在 T_{P1} 观察不失真的正弦电压波形；

2) 调节 W 使 Q_1 静态电流在 $0.5-4mA$ 之间变化(可用万用表测量 R_4 两端的电压来计算相应的 I_{eQ} ,至少取 4 个点),用示波器测量并记下 T_{P1} 点的幅度与波形变化情况.

2、研究外界条件变化时对振荡频率的影响及正确测量振荡频率：

1) 选择一合适的稳定工作点电流 I_{eQ} ，使振荡器正常工作，利用示波器在 T_{P3} 点和 T_{P2} 点分别估测振荡器的振荡频率；

2) 用频率计重测，比较 T_{P3} 点和 T_{P2} 点测量有何不同？

3) 将负载电阻 R_5 接入电路（把开关 K_3 拨至 ON 档）用频率计测量振荡频率的变化（为估计振荡器频率稳定度的数量级，可每隔 $10s$ 记录一次频率，至少记录 5 次）并填入表 5-1 中。

4) 分别将开关 K_3 拨至 “ OFF ” 和 “ ON ” 档，比较负载电阻 R_5 不接入电路和接入电路两种情况下，输出振幅和波形的变化。用示波器在 T_{P1} 点观察并记录之。

表 5-1

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
R_5					

3、将开关 K_1 和 K_2 均拨至 $2X$ 档。比较选取电容值不同的 C_2 、 C_3 和 C_{2X} 、 C_{3X} ，反馈系数不同时的起振情况（注意改变电容数值时，应保持静态电流值不变）。

六、实验报告要求：

1、分析、整理各实验步骤所得的资料和波形，绘制输出振幅随静态电流变化的实验曲线。

2、回答下列问题：

1) 为什么静态工作点电流不合适时，会影响振荡器的起振？

- 2) 振荡器负载的变化为什么会引起输出振幅和频率的变化?
- 3) 在 T_{p3} 点和 T_{p2} 点用同一种仪器 (频率计或示波器) 所测得的频率不同是什么原因? 哪一点测得的结果更准确?

5、调制度测量仪

五、实验内容及步骤：

1、静态调制特性测量

- 1) 接通电源；
- 2) 输入端不接调制信号，将频率计接到 T_{P1} 端，示波器接至 T_{P2} 观察波形；
- 3) 调节 W_1 使振荡器起振，且波形不失真，振荡器频率约为 $6.5MHz$ ；
- 4) 调节 W_2 使 T_{P3} 处的电压变化，将对应的频率填入表 7-1。

表 7-1

$u_d(V)$											
$f_0(MHz)$											

2、动态测试：

调节频率调制电路的 $f_0 = 6.5MHz$ ，从 P_1 端输入 $F = 2KHz$ 的调制信号 U_m ，用调制度测量仪在输出 T_{P1} 端观察 U_m 与调频波上下频偏的关系，将对应的频率填入表 7-2 中。

表 7-2

$u_m(V)$											
$\Delta f(MHz)$ 上											
$\Delta f(MHz)$ 下											

六、实验报告要求：

- 1、整理各项实验所得的资料和波形，绘制静态调制特性曲线；
- 2、求出调制灵敏度 S 。

实验八 频率解调（相位鉴频器）电路实验

一、实验目的：

- 1、掌握乘积型相位鉴频器电路的基本工作原理和电路结构；
- 2、相位鉴频器及其特性曲线的测量方法；
- 3、观察移相网络参数变化对鉴频特性的影响；
- 4、通过将变容二极管调频器与相位鉴频器进行联机实验，了解调频和解调的全过程。

二、预习要求：

- 1、复习相位鉴频的基本工作原理和电路组成；
- 2、认真阅读实验内容，了解实验电路中各组件的作用。

三、实验电路说明：

本实验电路如图 8-1 所示。

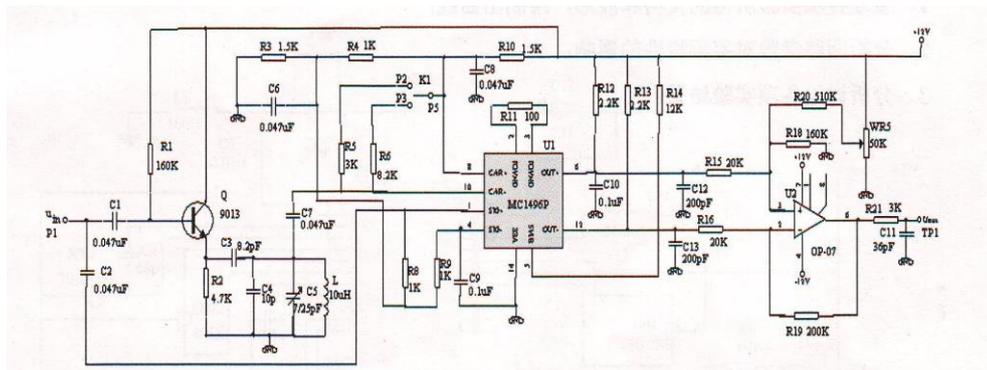


图 8-1 频率解调（相位鉴频器）电路

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器
- 2、万用表
- 3、数字频率计
- 4、实验箱及频率调制、解调模块

五、实验内容及步骤：

- 1、用逐点描绘法测绘乘积型相位鉴频器的静态鉴频特性：
 - 1) 用高频信号源从 P_1 端输入一幅度适中、 6.5MHz 的正弦信号；
 - 2) 将开关 K_1 拨至 R_5 档；
 - 3) 用万用表测鉴频器的输出电压：在 $5-8\text{MHz}$ 的范围内，一每格 0.2MHz 的间隔测量应的输出电压。记录下来并绘制出静态鉴频特性曲线；

- 4) 将开关 K_1 拨至 R_6 档, 重复第 2) 步的工作, 并与之比较;
- 2、观察调频信号解调的电压波形:
 - 1) 将调频电路中心频率调为 6.5MHz ;
 - 2) 将鉴频电路的中心频率也调谐为 6.5MHz ;
 - 3) 将 $F = 2\text{KHz}$ 的调制信号加至调频电路的输入端进行调频, 将调频输出信号 (调频电路中的 T_{P1} 端) 送入相位鉴频器的输入端 P_1 ;
 - 4) 用双踪示波器同时观察调制信号和解调信号, 比较二者的异同。将调制信号的幅度改变, 观察波形变化, 分析原因。

六、实验报告要求:

- 1、整理各项实验所得的资料和波形, 绘制出曲线;
- 2、分析回路参数对鉴频特性的影响;
- 3、分析讨论各项实验结果。

实验九 小功率调频发射、接收实验

一、实验目的：

- 1、通过实验掌握调频发射机和接收机的组成原理和调试方法；
- 2、掌握音频功放原理和调试方法。

二、预习要求：

- 1、复习发射机和接收机的组成原理；
- 2、复习音频功放电路的原理。

三、实验电路说明：

小功率调频发射电路由频率调制电路和高频功率放大电路组成，而小功率调频接收电路由单片调频接收芯片 *MC3362* 和外围电路组成。此外调频接收模块上还有音频放大电路。其电路如下所示：

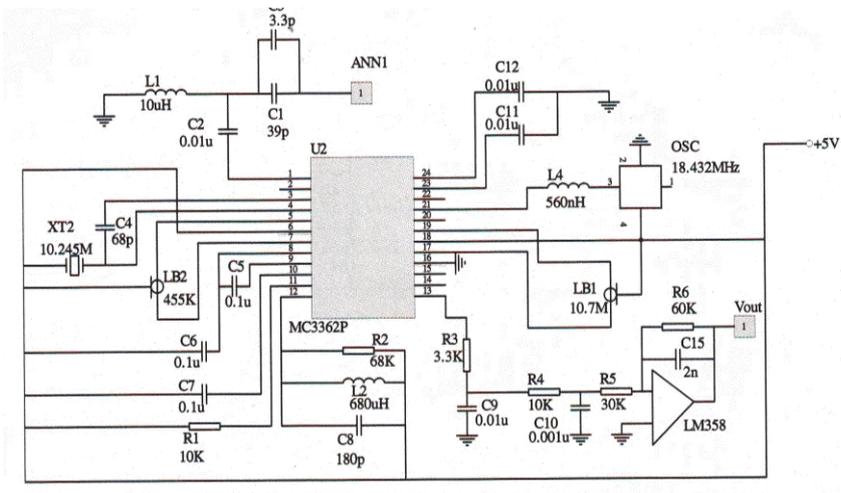


图 9-1 小功率调频发射电路

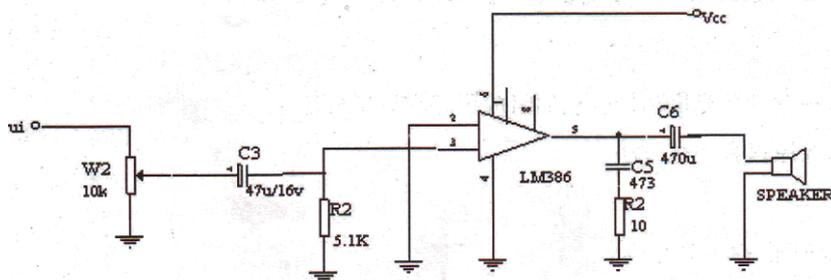


图 9-2 音频放大电路

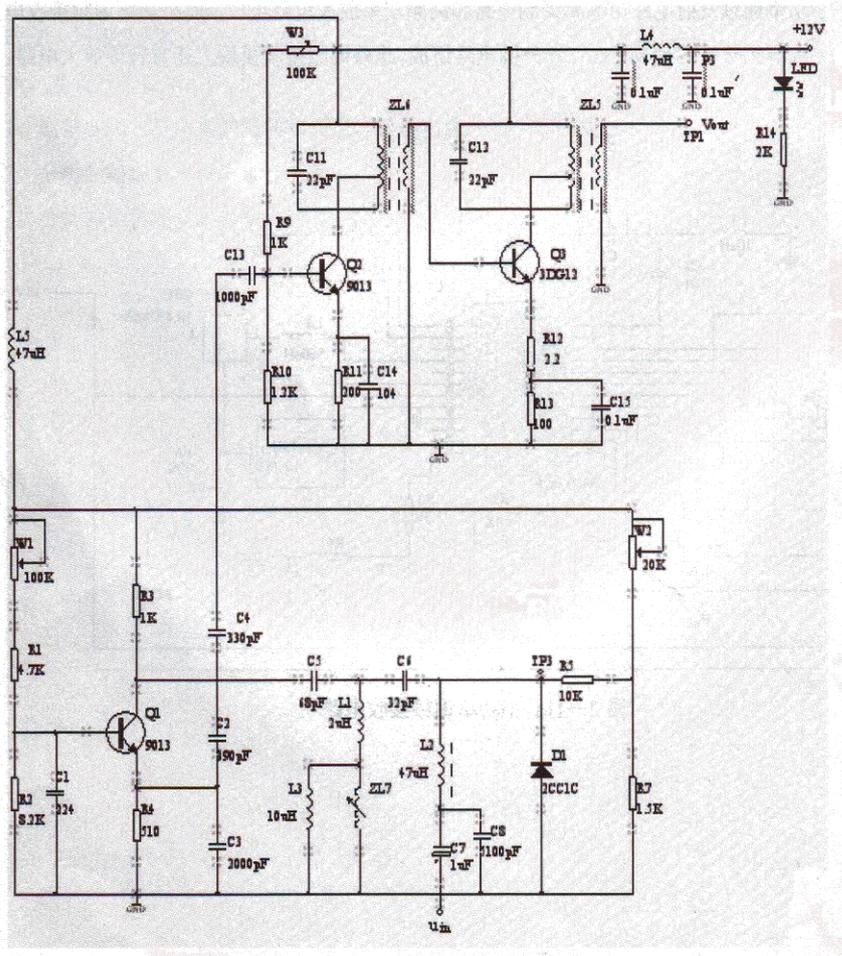


图 9-3 发射电路

发射电路中，前级为二极管调频电路，后级为功率放大电路。调节前级电路中的中周可使调频电路中的电感量发生变化，从而改变发射的载波频率。

来自天线的信号经匹配电路选频后输入 *MC3362* 的 1 脚，一本振频率在 21 脚由个 18.432 MHz 的晶振给出。该信号与输入信号进行第一级混频后经 10.7 MHz 陶瓷滤波器输出第一中频信号，从 17 脚送至第二混频器。第二级本振决定于 3、4 脚上的 10.245 MHz 的晶体，第二本振与第一中频混频后，经 445 KHz 陶瓷滤波器输出第二中频信号。二中频信号经第七脚进行幅度放大，以保证幅度的平稳。放大后的信号在内部进行鉴频解调，得到低频信号。该信号经过放大后经 13 脚输出，然后经过滤波放大后输出。

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器
- 2、万用表
- 3、实验箱及小功率调频发射模块
- 4、小功率调频信号接收、音频放大模块

五、实验内容及步骤：

- 1、小功率调频发射实验：

(1) 从函数波发生器输入一 2KHz , 200mV 左右的正弦波 (音频) 信号到模块的 “ V_{in} ” 端作为调制信号, 调整频率调制电路使其在 “ T_{p2} ” 端输出理想的波形;

(2) 按高频功率放大器的调试方法调整电路使其 “ T_{p1} ” 端的最大且不失真 (此时应首先调节前级的调制电路, 然后再调节后级的放大电路);

(3) 将高频功率放大器电路的天线拉出, 使其处于发射状态。

2、小功率调频接收实验:

将天线拉出, 调节发射电路的中周 ZL_7 (此时适当调节 W_2 以调整调制频率的频偏, 必要时可调节 W_1 、 W_3), 使 “ V_{out} ” 端的输出基本清晰的低频波形。

3、音频放大实验

音频功放电路的输入端 “ V_{in} ” 接实验箱的低频信号发生器或调频接收电路的 “ V_{out} ” 端, “ $SPEAKR$ ” 端接实验箱音频接口的 “ $SPIN$ ”。调节音频放大器电路 W_2 。使扬声器发出的声音大且清晰, 输出波形基本不失真。改变输入信号频率, 扬声器发出的声音音调应随之改变。

六、实验报告要求:

- 1、分析实验过程中遇到的问题, 总结调试实验;
- 2、分析发射接收系统以及由它们组成的整个无线通信系统。

实验十 频率合成电路实验

一、实验目的：

- 1、掌握频率合成的基本原理和方法；
- 2、熟悉频率合成电路的组成及其电路中各组件的作用。

二、预习要求：

复习频率合成的基本方法和频率合成器电路的主要性能指标。

三、实验电路说明：

本实验电路如图 10-1 所示。

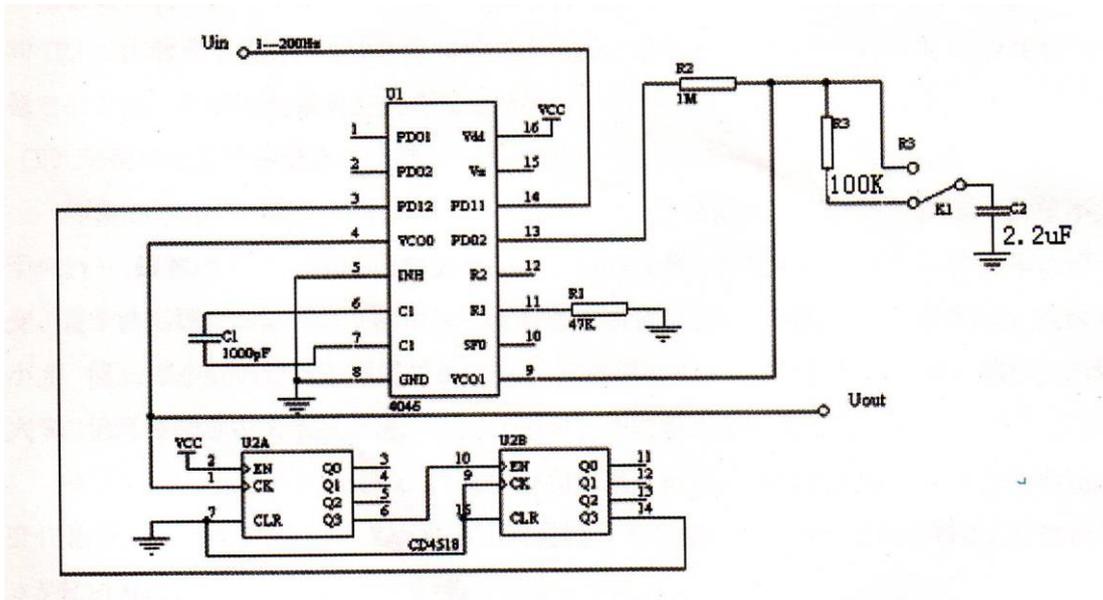


图 10-1

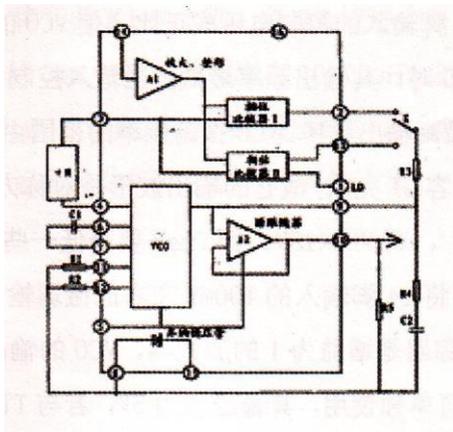


图 10-2

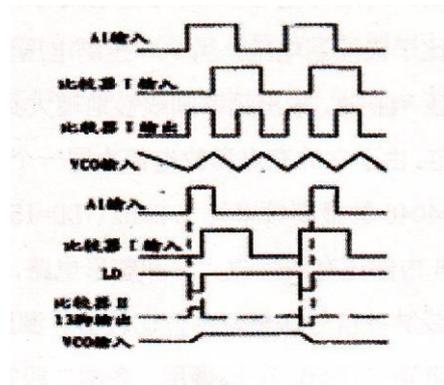


图 10-3

CD4046 是通用的 CMOS 锁相环集成电路，其特点是电源电压范围宽（为 $3V - 18V$ ），输入阻抗高（约 $100 M\Omega$ ），动态功耗小，在中心频率 f_0 为 $10 KHz$ 下功耗为 $600 \mu W$ ，属低功耗器件。CD4046 的引脚采用 16 脚双列直插式，各引脚功能如下：

1 脚相位输出端，环路入锁时为高电平。2 脚相位比较器的输出端。3 脚比较信号输出端。4 脚压控振荡器输出端。5 脚禁止端，高电平时禁止，低电平时允许压控振荡器工作。6、7 脚外接振荡电容。8、16 脚电源的负端和正端。9 脚压控振荡器的控制端。10 脚解调输出端，用于 FM 解调。11、12 脚外接振荡电阻。13 脚相位比较器的输出端。14 脚信号输入端。15 脚内部独立的齐纳稳压二极管负极。

图 2 - 2 0 是 CD4046 内部电原理框图，主要由相位比较、压控、振荡器（VCO、线性放大器、源跟随器、整形电路等部分构成。比较器采用异或门结构，当两个输入端信号 u_i 、 u_0 的电平状态相异时（即一个高电平，一个低电平），输出端信号 u_{ψ} 为高电平；反之， u_i 、 u_0 的电平状态相同时（即两个均为高，或均为低电平）， u_{ψ} 输出为低电平。当 u_i 、 u_0 的相位差 $\Delta\phi$ 在 $0^\circ - 180^\circ$ 范围内变化时， u_{ψ} 的脉冲宽度 m 亦随之改变，即占空比亦在改变。

从比较器的输入和输出信号的波形（如图 10-3）可知，其输出信号的频率等于输入信号频率的两倍，并且与两个输入信号之间的中心频率保持 90° 相移。从图中还可知， f_{out} 不一定是对称波形。对相位比较器，它要求 U_i 、 U_0 的占空比均为 50%（即方波），这样才能使锁定范围为最大。

相位比较器是一个由信号的上升沿控制的数字存储网络。它对输入信号占空比的要求不高，允许输入非对称波形，它具有很宽的捕捉频率范围，而且不会锁定在输入信号的谐波。它提供数字误差信号和锁定信号（相位脉冲）两种输出，当达到锁定时，在相位比较器 II 的两个输入信号之间保持 0° 相移。

对相位比较器而言，当 14 脚的输入信号比 3 脚的比较信号频率低时，输出为逻辑“0”；反之则输出逻辑“1”。如果两信号的频率相同而相位不同，当输入信号的相位滞后的情况下，从 1 脚都有与上述正、负脉冲宽度相同的负脉冲产生。从相位比较器输出的正、负脉冲的宽度均等于两个输入脉冲上升沿之间的相位差。而当两个输入脉冲的频率和相位均相同时，相位比较器的输出为高阻态，则 1 脚输出高电平。上述波形如图 10-3 所示。由此可见，从 1 脚输出信号是负脉冲还是固定高电平就可以判断两个输入信号的情况了。

CD4046 锁相环采用的是 RC 型压控振荡器，必须外接电容 C_1 和电阻 R_1 作为充放电电阻件。当 PLL 对跟踪的输入信号的频率宽度有要求时还需要外接电阻 R_2 。由于 VCO 是一个电流控制振荡器，对定时电容 C_1 的充电电流与从 9 脚输入的控制电压成正比，是 VCO 的振荡频率亦正比于该控制电压。当 VCO 控制电压为 0 时，其输出频率最低；当输入控制电压

等于电源电压 V_{DD} 时,输出频率则线性地增大到最高输出频率。VCO 振荡频率的范围由 R_1 、 R_2 和 C_1 决定。由于它的充电和放电都由一个电容 C_1 完成,故它的输出波形是对称方波。一般规定 CD4046 的最高频率为 1.2MHz ($V_{DD}=15V$),若 $V_{DD} < 15V$,则 f_{max} 要降低一些。

CD4046 内部还有线性放大器和整形电路。源跟踪器是增益为 1 的放大器,VCO 的输出电压经源跟踪器至 10 脚作 FM 解调用。齐纳二极管可单独使用,其稳压值为 5V,若与 TTL 电路匹配时,可用作辅助电源。

综上所述,CD4046 工作原理如下:输入信号 u_i 从 14 脚输入后,经放大器 A_1 进行放大、整形后加到相位比较器的输入端,图 10-2 开关 K 拨至 2 脚,则比较器将从 3 脚输入比较信号 u_0 与输入信号 u_i 作相位比较,从相位比较器输出的误差电压 u_ψ 则反映出两者的相位差。 u_ψ 经 R_3 、 R_4 及 C_2 滤波后得到一控制电压 u_d 加至控振荡器 VCO 的输入端 9 脚,调整 VCO 的振荡频率 f_2 ,使 f_2 迅速逼近信号频率 f_1 。VCO 的输出又经除法器再进入相位比较器,继续与 u_i 进行相位比较,最后使得 $f_2 = f_1$,两者的相位差为一定值,实现了相位锁定。若开关 K 拨至 13 脚,则相位比较器工作,过程与上述相同,不再赘述。

图 2-19 为用 CD4046 与 BCD 加法计数器 CD4518 构成的 100 倍频电路。刚开机时, f_2 不可能等于 f_1 ,假定 $f_2 < f_1$,此时相位比较器输出 u_ψ 为高电平,经滤波后 u_d 逐渐升高使 VCO 输出频率 f_2 迅速上升, f_2 增大至 $f_2 = f_1$,如果此时 u_i 滞后 u_0 ,则相位比较器输出 u_ψ 为低电平。 u_ψ 经滤波后得到的 u_d 信号开始下降,这就迫使 VCO 对 f_2 进行微调,最后达到 $f_2/N = f_1$,并且 f_2 与 f_1 的相位差 $\Delta\phi = 0^\circ$,进入锁定状态。如果此后 f_1 又发生变化,锁相环能再次捕捉 f_1 ,使 f_2 与 f_1 相位锁定。

四、实验仪器:

- 1、双踪示波器
- 2、数字频率计
- 3、实验箱及集成锁相环、频率合成模块

五、实验步骤:

- 1、将开关 K_1 向下拨(即 R_3 未接进电路);

2、从函数波发生器输出一频率在 $10\sim 200\text{Hz}$ 之间的方波信号至本电路的 u_{in} 处，适当调节其幅度，用示波器在 u_{out} 处观察，可见到一逐渐稳定在 $100 f_{in}$ 的方波信号，同时用示波器在 U_{ni} 处观察并比较两处的波形；

3、将开关 K_1 向上拨，将 R_3 接进电路；

4、从处接入一频率在 $10\sim 200\text{Hz}$ 之间的方波信号（可从函数波发生器引入），用示波器在 u_{out} 处观察，同时用示波器在处示波器在 u_{in} 处观察并比较两处的波形，可见 u_{out} 处的波形不稳定， 并分析产生这种现象的原因。

实验十一 集成混频器电路实验

一、实验目的：

- 1、了解集成乘积混频器的工作原理；
- 2、了解本振电压幅度和模拟乘法器的偏置电流对混频增益的影响；
- 3、学习利用直流负反馈改善集成混频器动态工作范围的方法；
- 4、观察混频器寄生信道的干扰现象。

二、预习要求：

- 1、了解非线性电路、时变参量电路和变频器的基本原理；
- 2、了解采用模拟乘积器实现混频的基本原理，熟悉实验电路及电路中各组件的作用。

三、实验电路说明：

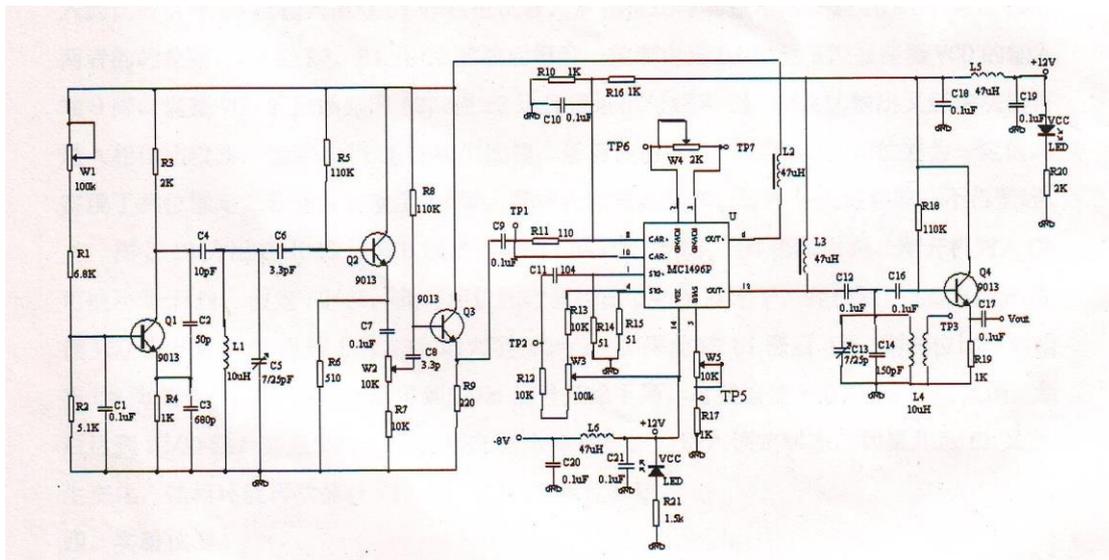


图 11-1 集成混频器电路

图中， Q_1 与电容 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 及 L_1 构成电容三点式振荡电路作为本地振荡器。 Q_2 和 Q_3 分别构成两极射随器起缓冲隔离的作用。本振电压从 T_{p1} 端馈入，信号电压从 T_{p2} 端馈入。 L_4 、 C_{13} 、 C_{14} 构成中频滤波网络。 Q_4 为缓冲隔离级。中频回路调谐于 $2MHz$ ，从 T_{p4} (V_{out}) 端输出中频电压。 W_3 用来调节乘法器的偏置电流 I_S 。

四、实验仪器：

- 1、双踪示波器
- 2、万用表
- 3、数字频率计

4、实验箱及集成混频器模块

五、实验内容及步骤：

1、测量 $u_{im} - u_{Lm}$ 关系曲线：（ u_{im} 表示输出信幅度， u_{Lm} 表示本振信号幅度）

- 1) 检查电路无误后接通正、负电源；
- 2) 调整本地振荡器：

将示波器接在 T_{p1} ，调整 W_1 和 C_5 ，使其起振并输出一个不失真的、振荡频率为 $10MHz$ 的正弦本振信号 u_L ，调整 W_2 ，使其幅度不超过 $1V$ ，记录 u_L 的频率、幅度值及波形；

- 3) 调谐中频回路：

保持高频信号源输出正弦信号频率为 $f_s = 8MHz$ 、输出电压幅度 $u_{sm} = 200mV$ ，将此信号作为混频器输入 u_s 从 T_{p2} 输入；本振信号保持频率 $f_L = 10MHz$ 、输出幅度 $u_{Lm} \leq 1V$ 。用示波器在 V_{out} 测量，调节 W_3 、 W_4 、 W_5 及 C_{13} ，直到出现不失真的正弦波形。测量并记录中频调谐输出电压 U_I 的频率及波形。

4) 令 $W_4 \approx 0$ （此时输出波形最大），调节 W_5 使 $I_s = 1mA$ ，然后调节 W_2 改变 u_{Lm} 大小，测量 $u_{im} - u_{Lm}$ 关系曲线。

2、测量 $u_{im} - I_s$ 关系曲线：

保持上述 u_s 不变。令 $u_{im} = 500mV$ ，同时保持 $W_2 \approx 0$ ，调节 W_5 改变，测量 $u_{im} - I_s$ 关系曲线。

3、观察混频器中频干扰信号的分析情况：

保持高频信号源输出电压幅度 $u_{sm} = 200mV$ ，将此信号作为混频器输入 u_s ；本振信号的频率 $f_L = 10MHz$ ，输出幅度 $u_{im} = 500mV$ ，保持 $I_s = 1mA$ ，调节 W_4 使中频输出电压波形不出现失真，在 $1MHz - 10MHz$ 的范围内改变高频信号源输出信号频率，观察并记录哪些频率点上有明显的中频信号出现。

六、实验报告要求：

- 1、整理各项实验所得的资料和波形，绘制混频增益随和变化的曲线；
- 2、说明 W_4 的作用；
- 3、根据测得的干扰频率，说明它们分别属于混频过程中的哪种类型的干扰；

4、回答问题：

1) 集成混频器有何优缺点？

2) 某种原因导致中频回路的谐振频率值与指导书给出的数值不一样，如果仍按书中给定的信号频率值加入高频信号，将会出现什么现象？如何解决？

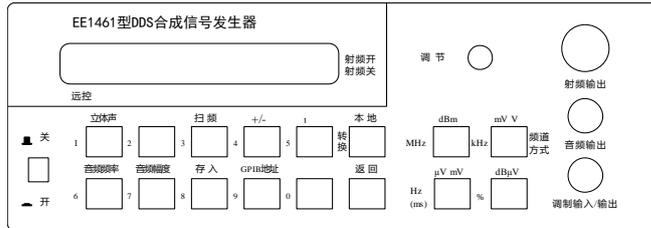
3) 实验中可以任意改动中频信号回路参数吗？为什么？

附录

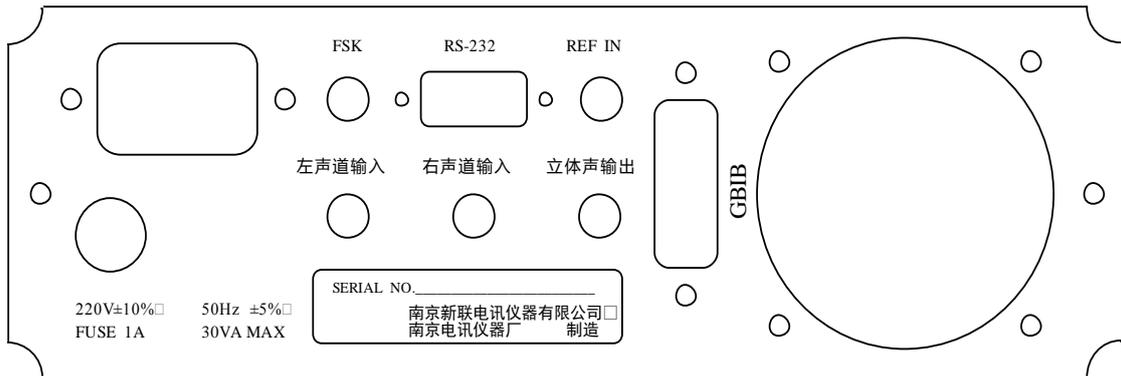
EE1461 DDS 合成信号发生器的使用方法

一、 面板功能说明

前面板如下图所示：



后面板如下图所示：



仪器开机后，液晶屏显示仪器型号名称，进入正常工作界面，此时仪器保持上次关机前的状态，但“射频关”和“步进扫频”状态除外，因为每次开机时始终处于“射频开”和非“步进扫频”状态。

显示屏显示当前操作的内容，如信号频率、幅度、调制方式、调制深度等，但每次只显示其中一项内容。

液晶屏显示灰度由机内电位器 **RP201** 进行调整（在仪器前方底部），调整电位器时应从显示屏的仰视、俯视、正视等方向观察。如显示不正常，应首先调整灰度电位器。

射频输出 … 射频信号输出端口。

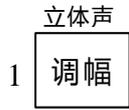
调制输入/输出 … 当选择内部调制源时，该端口提供 **1V_{pk}** 的音频调制信号输出（阻抗为 **600Ω**），并受调制开/关的控制。当选择外调制时，该端口作为外调制音频源输入端口。

音频输出 … 音频信号输出端口。

REF IN … 后面板时基输入，当外部时基输入时，仪器自动切换时基信号，并与外部时基同步，当没有外部时基输入时，仪器使用内部时基。

FSK ... 后面板 **FSK** 调制信号输入端口。

面板按键说明



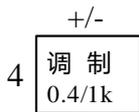
设置调幅功能，数字键 1；



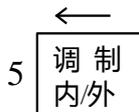
设置调频功能，数字键 2；



设置 FSK 功能，或扫频功能，数字键 3；



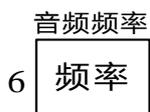
内调制音频源切换，或作为正负号输入，数字键 4；



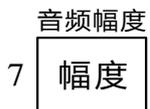
内 / 外调制切换，或作为退格，数字键 5；



上档键，或从远控切换为本控，切换旋转编码器状态；



设置频率，数字键 6；



设置幅度，数字键 7；



调用存储状态，数字键 8；

9  调制开关切换，或设置 GPIB 地址，数字键 9；

0  射频开关切换，数字键 0；

·  设置数字输入状态，或退出数字输入状态，数字键小数点；

MHz  单位键 MHz,dBm,幅度单位转换；

kHz  单位键 kHz,mV 幅度单位转换；

Hz
mS  单位键 Hz,mS,uV,幅度单位转换，左翻页键；

%  单位键%， dBuV,幅度单位转换，右翻页键；

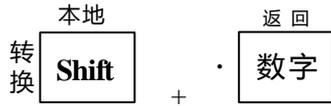
注：按键上方的功能的使用必须先按住  键不放，然后再按所需的功能键，数字键必须进入数字输入状态才能输入。

二、使用说明

2.1 功能键的使用：

2.1.1  的使用

在任何可以输入参数的菜单项中，如果需要输入参数必须先按  键。
进入数字输入状态。数字输入状态的正常退出由单位键实现，如果想取消本次数字输入可以通过如下的键组合实现！



(先必须按下 **本地** **Shift** 键不放, 再按 **返回** **数字** 键!)

2.1.2 **音频频率** **频率** 的使用

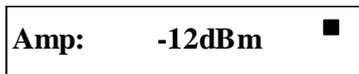
在**调幅和调频工作模式**下, 按 **音频频率** **频率** 键将出现如下菜单:



此时可以输入新的频率参数, 改变调幅和调频的载频频率。

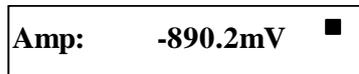
2.1.3 **音频幅度** **幅度** 的使用

在任一工作模式下, 按 **音频幅度** **幅度** 键将出现如下菜单:

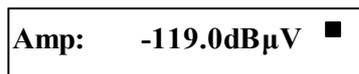


此时可以输入新的频率参数, 改变系统的输出幅度。同时可以用下列键转换幅度单位, 按

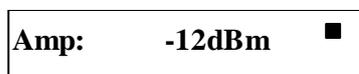
mV V **kHz** **↓** 键或 **μV mV** **Hz mS** **←** 键, 将出现以 mV,uV 为单位的幅度菜单, 如下:



按 **dBμV** **%** **→** 键, 将出现以 dBuV 为单位的幅度菜单, 如下:



按 **dBm** **MHz** **↑** 将出现以 dBm 为单位的幅度菜单, 如下:



2.1.4 ⁸ 调出 的使用

在任一工作模式下，按 ⁸ 调出 键将出现如下菜单：（实现调用功能）

Reall Num: _ ■

或按组合 ^{本地} Shift + ⁸ 调出 键将出现如下菜单：

Store Num: ■

（实现存储功能）

此时可以输入所需调用或存储的组数参数（0~9），系统将实现调用或存储的功能。

注意：四个单位键任一个都可以作为组数输入单位！

如果调用或存储正常系统将给出如下信息：

Successful ! ■

否则系统将给出如下信息：

Invalid Input ! ■

2.1.5 ^{GPIB地址} 调制 开/关 的使用

2.1.5.1 调制开关的使用：

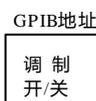
在任一工作模式下，按 ^{GPIB地址} ⁹ 调制
开/关 键将实现调制的开和关的切换，同时出现菜单的变化，如下：

调制开：**XXXXXXXXX ON** ■

调制关：**XXXXXXXXX OFF** ■

注：“XXXXXXXX”表示在不同的工作模式下将有不同的内容！

2.1.5.2 GPIB 地址设置的使用：

按组合  +  键，就出现如下的菜单：

GPIB Addr: XX ■

此时可以输入新的 GPIB 的地址参数（0~31），系统的 GPIB 地址将改变。

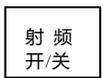
注意：四个单位键的任意一个都可以作为 GPIB 地址输入单位！

Successful ! ■

否则将出现如下菜单：

Invalid Input ! ■

注意：“XX”表示，以前存在的 GPIB 地址！

2.1.6  键使用：

按  键将打开或关闭射频输出，同时将引起系统菜单作如下的变化：

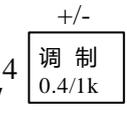
射频开：

XXXXXXXXXXXX ■

射频关：

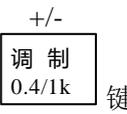
XXXXXXXXXXXX ■

注意：“XXXXXXXXXXXX”表示，在不同的系统状态下将有不同的显示！

2.1.7  键的使用：

2.1.7.1 内调制音频源切换：

注意：本按键仅在调幅和调频模式下有效！

按  键将使得内调制音频源在 **1kHz** 和 **400Hz** 之间进行切换。

1kHz 时的菜单如下：

Mod: XX 1kHz ↔ ■

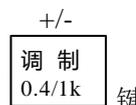
400Hz 时的菜单如下：

Mod: XX 400Hz ↔ ■

注意：“XX”表示，在不同的工作模式下有不同的显示！

2.1.7.2 正 / 负号输入：

注意：正 / 负号输入仅在对数幅度输入时有效！

在幅度的**数字输入状态**中，按组合  +  键，将切换对数幅度输入的正负号。

2.1.8  键使用：

2.1.8.1 调制内外的切换：

注意：本按键仅在调幅模式下有效！

按 ⁵  键，将切换调幅的内外音频源，同时引起菜单作如下变化：

外调幅：

Mod: AM EXT 

内调幅：

Mod: AM XXX 

注：“XXX”表示，1kHz 或 400Hz！

2.1.8.2 数字输入状态下的修改：

在数字输入状态下如果发现输入有错误，可以按组合 ^{本地}  + ⁵  键实现退格修改，图示如下：

F:12.3456 

按组合 ^{本地}  + ⁵  键后：

F:12.345 

2.1.9 ^{本地} 的使用

2.1.9.1 由远控切换回本控：

在仪器处于远控状态时按 ^{本地}  键，将切换回本控。

2.1.9.2 Shift 功能：



在使用按键上方的功能时必须先按住

键不放，再按相应的功能键。

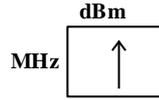
2.1.9.3 转换功能:



在旋转编码器可以使用的情况下，按

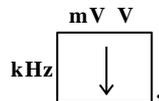
键，可切换旋转编码器的状态。

2.1.10 单位键的使用:



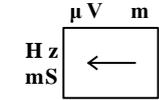
2.1.10.1 单位键的使用:

本单位键可以作为频率和幅度的单位使用,分别为 **MHz** 和 **dBm**,在幅度菜单状态下,按本键可以把幅度显示转化为以 **dBm** 为单位的显示;



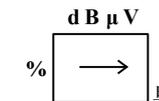
2.1.10.2 单位键的使用:

本单位键可以作为频率和幅度的单位使用,分别为 **kHz** 和 **mV**。在幅度菜单状态下,按本键可以把显示转化为 **mV** 或 **uV** 为单位的显示;



2.1.10.3 单位键的使用

本单位键可以作为幅度、调幅和保持时间的单位使用,分别为 **Hz**、**uV** 和 **mS**。在幅度菜单状态下,按本键可以把幅度显示转化为 **mV** 或 **uV** 为单位的显示;同时可以作为左翻页键使用。



2.1.1.04 单位键的使用

本单位键可以作为幅度、调幅度深度单位使用,分别为本单位键可以作为幅度、调幅和保持时间的单位使用,分别为 **dBuV** 和 **%**。在幅度菜单下,按本键可以把幅度显示转化为 **dBuV** 为单位的显示;同时可以作为右翻页键使用。

2.1.11 旋转编码器的使用

调幅、调频的载频频率参数,幅度参数可以通过旋转编码器来调节。旋转编码器有两种状态,分别为**步进量调节**状态和**参数步进**状态,它们之间可以通过**压低旋转编码器的轴**或按

键  (可靠性更高) 来切换。

步进量调节如下:(注意参数下的光标)

F:12.345678MHz → ■

右旋（顺时针方向）旋转编码器，显示变化如下：

F:12.345678MHz → ■

按 ^{本地} **Shift** 键（可靠性更高）或 压低旋转编码器的轴 来切换旋转编码器的状态（由 步进量调节 状态到 参数步进 状态）

F:12.345678MHz → ■

右旋（顺时针方向）旋转编码器，显示变化如下：

F:13.345678MHz → ■

2.2 调制模式：

首先按 ^{立体声} **1 调幅** 键，将出现如下菜单：

Mod: AM 1kHz ↔ ■

1kHz 为内调制音频源信号，此时按 ^{+/-} **4 调制 0.4/1k** 键内调制音频源切换为 400Hz；按 ^{dBV} **% →** 键，将拉出如下菜单：

Dev: 20.0k ON ← ■

20%为调幅深度，此时按数字键和单位键可以改变调幅深度；ON 表示此时调制开，如果按

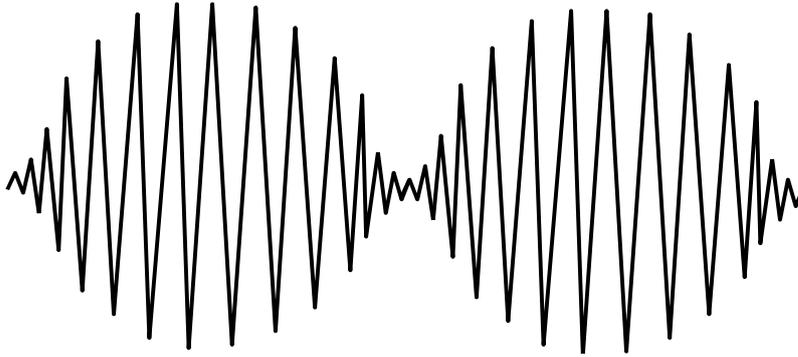
^{GPIO地址} **9 调制 开关** 为调制关。

继续按 ^{dBμV} **% →** 键，拉出如下菜单：

F:12.345678MHz → ■

按 返回
数字 键返回调幅的载频频率。

波形如下图所示：



2.3 调频模式：

首先按住 ² 调频 将出现如下菜单：

Mod: FM 1kHz ↔ ■

1kHz 为内调制音频源信号，此时按住 ⁴ +/-
调制
0.4/1k 键内调制音频源切换为 400Hz；按

^{dBμV}
% → 键，将拉出如下菜单：

Dev: 20.0k ON ← ■

20%为调频频偏，此时按数字键和单位键可以改变调频频偏；ON 表示此时调制开，如果

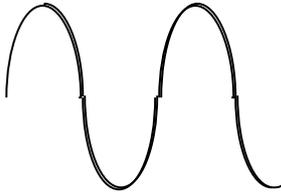
按 ^{GPIB地址} 9 为调制关。

继续按 ^{dB μ V} % 键，拉出如下菜单：

F:12.345678MHz →

按 ^{返回} 键返回调幅的载频频率。

波形如下图所示：



2.4 FSK 模式：

首先按 ^{扫频} 3 将出现如下菜单：

Mod: FSK ON ↔

按 ^{dB μ V} % 键，拉出如下菜单：

Frequency1: ↔

继续按 ^{dB μ V} % 键，将拉出如下菜单：

1.000000MHz ↔

此时可以按 ^{返回} 键，设“频率 1”；继续按 ^{dB μ V} % 键，拉出如下菜单：

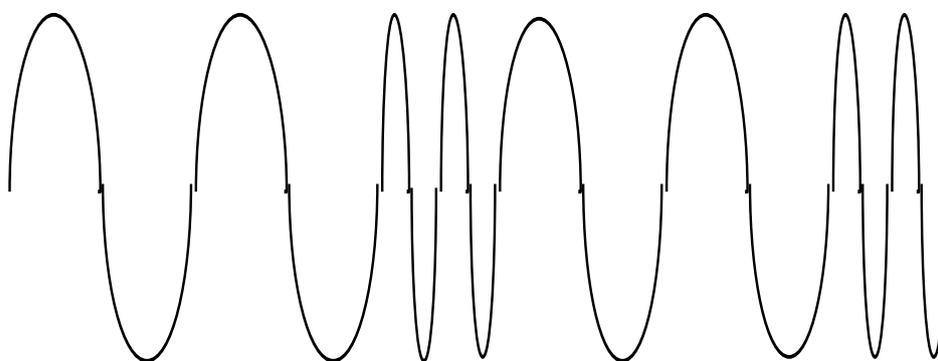
Frequency2: ↔

继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，将拉出如下菜单：

1.234567MHz \leftrightarrow ■

此时可以按 $\begin{matrix} \text{返回} \\ \cdot \\ \text{数字} \end{matrix}$ 键，设“频率 2”的频率。

波形如下图所示：



2.5 扫频模式

按 $\begin{matrix} \text{本地} \\ \text{转换} \\ \text{Shift} \end{matrix}$ + $\begin{matrix} \text{扫频} \\ 3 \\ \text{FSK} \end{matrix}$ 键，将出现如下菜单：

Mod: SWP OFF \leftrightarrow ■

按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，将拉出如下菜单：

Start Freq: \leftrightarrow ■

继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，将拉出如下菜单：

2.000000MHz \leftrightarrow ■

此时可以按 $\begin{matrix} \text{返回} \\ \cdot \\ \text{数字} \end{matrix}$ 键，设置步进扫频的起始频率；继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，将拉出如下菜单：

Stop Freq: ↔ ■

继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，拉出如下菜单：

65.000000MH ↔ ■

此时可以按 $\begin{matrix} \text{返回} \\ \cdot \\ \text{数字} \end{matrix}$ 键，设置步进扫频的终止频率；继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，拉出如下菜单：

Stop Freq: ↔ ■

继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，拉出如下菜单：

2.000000MHz ↔ ■

此时可以按 $\begin{matrix} \text{返回} \\ \cdot \\ \text{数字} \end{matrix}$ 键，设置步进扫频的步进频率；继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，拉出如下菜单：

Hold Time: ↔ ■

继续按 $\begin{matrix} \text{dB}\mu\text{V} \\ \% \rightarrow \end{matrix}$ 键，拉出如下菜单：

200 ms ← ■

此时可以按 $\begin{matrix} \text{返回} \\ \cdot \\ \text{数字} \end{matrix}$ 键，设置步进扫频的每个频点的保持时间。

注意：进入扫频模式时，如果需要设置任何参数，必须关闭调制！即通过按 $\begin{matrix} \text{GPI地址} \\ 9 \\ \text{调制} \\ \text{开关} \end{matrix}$ **键，**
出现如下菜单！

Mod: SWP OFF ↔ ■

否则将不能输入任何参数!