

通信电路综合实验箱说明书

一. 设备名称：通信电路综合实验箱

二. 厂家：启发（天津）电子科技有限公司

三. 本实验系统简介

该实验平台是无线通信系统的综合性实验，包括发射机和接收机两部分，可实现 50MHz FM/FSK 无线收发通信。可借助实验平台的各功能模块，剖析无线收发信机的各模块结构，调测各功能模块性能。并通过跳线设置将单元电路连接成系统，进行整机性能调试，使收、发信机各自达到预定的性能指标。在此基础上，搭建无线通信系统，完成模拟和数据无线收、发通信实验。

本实验对接理论教学与工业需求，适合电子、通信等方向，具有通信电路、高频电子线路等相关课程的应用型本科和新工科改革专业。

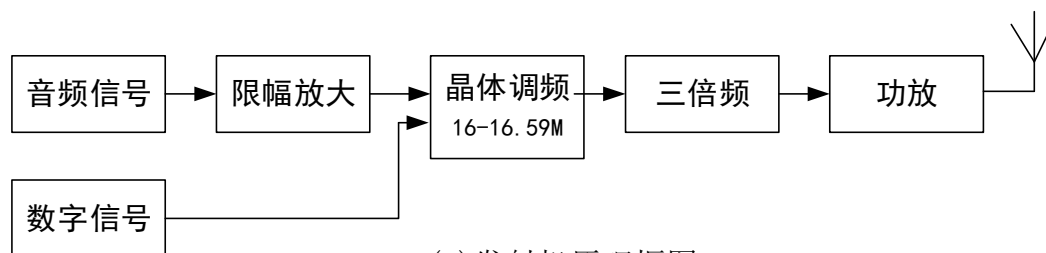
四. 操作面板及说明



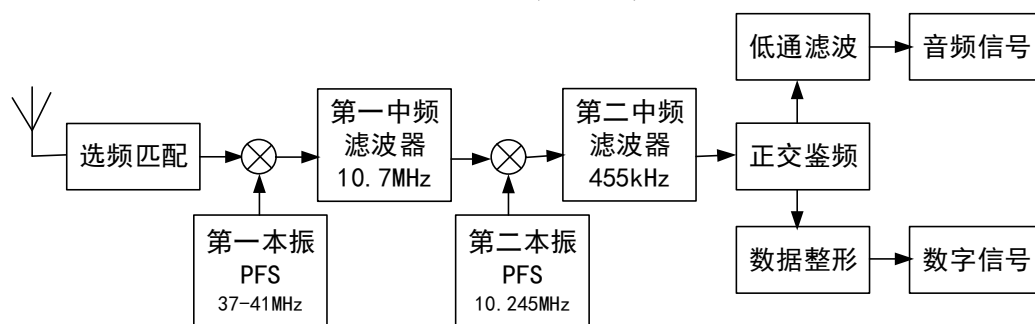
图 1 通信电路综合实验箱面板

此实验平台是一套典型的调频收、发信装置，由发射机与接收机两块实验板

组成。收发信机系统原理框图如图所示。由图可见，它几乎包含了通信电路课程中所有的功能电路，如晶振、选频、混频、调频、鉴频、滤波、功放、锁相频率合成等。每部分的详细内容在实验指导手册中会有说明，试验平台的面板上图 1 所示。



(a) 发射机原理框图



(b) 接收机原理框图

图 2 50MHZ FM/FSK 无线收、发信机构成框图

五. 平台特色

1. 将无线通信实验与教学融合，实现基础理论到实践应用的完美过渡。
2. 模块化设计，包括晶振、选频、混频、调频、鉴频、滤波、功放、锁相频率合成等功能模块，帮助学生对模块电路功能和基本原理的理解，培养设计和开发电子系统的能力。
3. 配套完整的教学课件和实验指导书，并搭配 keysight 配套测试仪表，支持教学、科研利用。

通信电路综合实验指导书

一．实验目的

1. 了解无线收、发信机的构成及其性能指标。
2. 掌握各单元电路的工作原理和性能，弄清它们在系统中所处的地位与作用。
3. 了解二次变频超外差接收机的特点，掌握其工作原理。
4. 了解无线收发信机的工作过程，建立通信系统概念。
5. 学会正确使用仪器调测无线收、发信机性能的方法。

二．实验设备

1. 100MHz（或 60MHz）示波器
2. 100MHz（或 60MHz）频率计
3. 50MHz FM 高频信号发生器
4. 扫频仪
5. 晶体管毫伏计
6. 数字万用表
7. 频谱分析仪
8. 通信电路综合实验箱

三．实验内容

1. 发射机：

- (1) 三倍频谐振回路调试
- (2) 静态调制特性研究
- (3) 功率放大器特性研究

2. 接收机:

- (1) 滤波器幅频特性研究
- (2) 正交鉴频器特性研究
- (3) 晶体振荡器测试
- (4) 开环 VCO 压控特性测试
- (5) 吞脉冲锁相频率合成研究
- (6) 接收机灵敏度测量

3. 收-发联调:

- (1) 正弦波/方波/语音/数据调制发射与接收

四. 实验装置原理与电路说明

本实验系统是一套典型的调频收、发信装置，由发射机与接收机两块实验板组成。发射机采用晶体振荡器直接调频电路，以获得高的中心频率稳定度。为扩大频偏，提高发射频率，调频信号经三倍频放大后输出。发射机的调制信号可以用模拟信号（语音、音乐或其他音频信号）实现模拟调频（FM），或用数字信号（方波或数据）实现 2FSK。载波频率在 50MHz 左右（为了避免实验时相互干扰，相邻实验台采用不同的载频）。接收部分是一个典型的二次变频超外差接收机，其中第一本振由吞脉冲锁相频率合成器产生，以便针对不同发射频率进行调整。第二本振由晶振产生。收发信机系统原理框图如图 1 所示。由图可见，它几乎包含了通信电路课程中所有的功能电路，如晶振、选频、混频、调频、鉴频、滤波、功放、锁相频率合成等。

1. 发射机电路

发射机电路如附图所示，主要由低功耗 FM 集成单片发射机芯片 MC2833 及其外围电路组成。

(1) MC2833 芯片

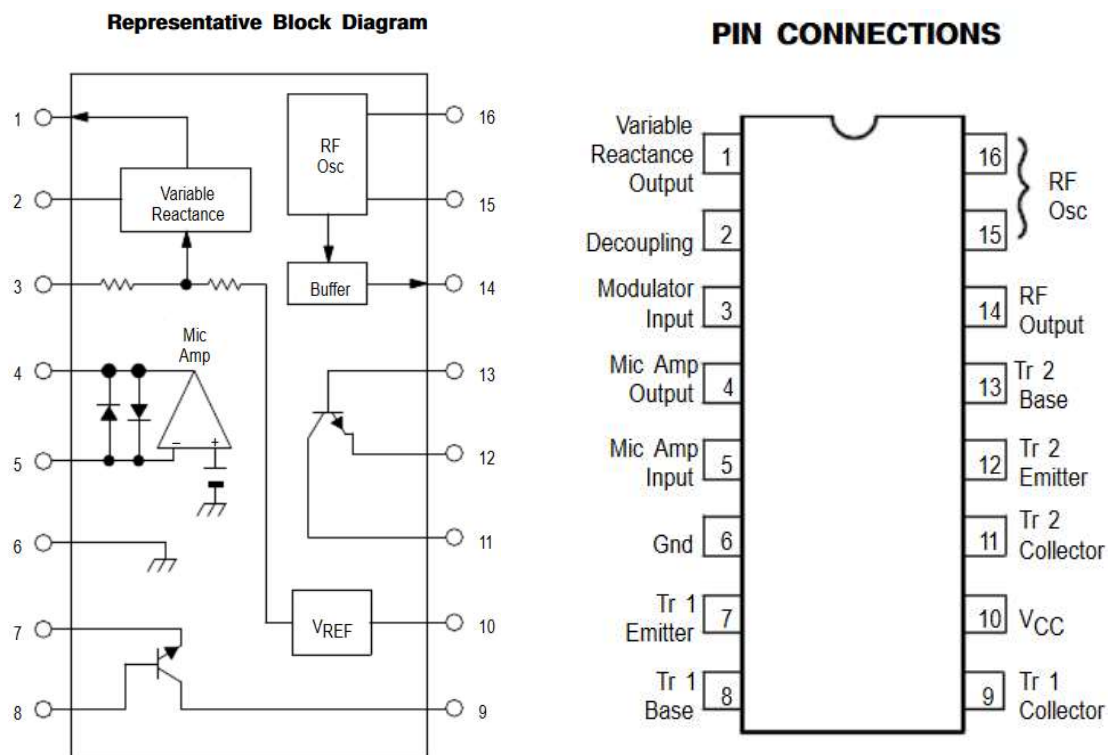


图 2 MC2833 内部结构及管脚图

MC2833 是一个单片调频发射机专用芯片，工作电压范围很宽（2.8~9.0V），工作电流较小，典型值为 2.9mA。片内含有射频振荡器、缓冲器、可变电抗、音频限幅放大器及两个备用晶体管，其内部结构及管脚图如图 2 所示。调制信号可以用模拟信号，实现模拟调频；也可用数字信号，实现 2FSK。当电源电压 9V 时，在 500 负载上可输出 10mW 功率，工作频率最高可达 144MHz。

(2) 调制信号

本实验分别用两类不同的调制信号进行调频：模拟信号和数据编码（或方波）信号。各种调制信号都通过 MC2833 芯片的 3 脚加至片内可变电抗器上。

- ① 模拟调制信号：采用正弦、语音或音乐信号。正弦信号由函数发生器供给，语音或音乐信号通过话筒或 MP3 提供，这些模拟调制信号均需通过片内音频限幅放大器放大后，才送至 3 脚。实验时音频调制信号由 IN 端输入，经 C26、R8、RW1、JP4 跳线和耦合电容 C3 加至 5 脚，送入片内音频限幅放大器，放大后从 4 脚输出，经电容 C2 耦合至 3 脚。调电位器 RW1 可调节音频输入信号的幅度，调节 3 脚上外接的电位器 RW2，可改变调制特性的斜率。限幅放大器由芯片内的运放和 4、5 脚外接电阻 R2 等元件组成，R2 为反馈电阻，调整它，可改变放大器电压增益。接于运放输出、输入端的两个二极管为双向限幅元件，当输出信号幅度达到限幅电平时，两个二极管导通，将运放输出信号的幅度限制在二极管的导通电平，目的是控制加到可变电抗端的调制电压幅度，以避免调频特性过于非线性。实验中可以清楚地观察到上述限幅现象。为了减小接收端解调输出信号的失真，注意控制调制信号的幅度，尽量避免限幅。
- ② 数字调制信号：采用方波或数据。方波调制时，方波信号由函数发生器供给。若要进行数据传输，则数据编码信号由图 3 所示的 4 位数据编码电路产生。图 3 中 PT2262 是中国台湾普城公司生产的编码芯片，它与 PT2272 是一对编、解码套片。

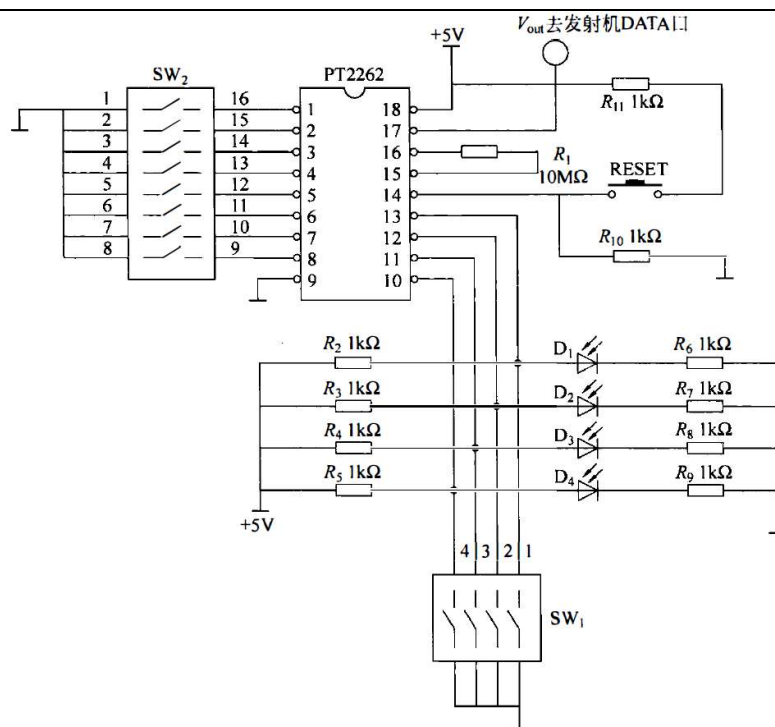


图 3 编码电路图

PT2262 的引脚图及其说明如图 4 和表 1 所示。由表可见，它最多有 12 位（A0~A11）三态地址（高电平、低电平及悬空），共有 531441 种地址代码，最多可有 6 位（D0~D5）数据码。在通常使用中，一般采用 8 位地址码和 4 位数据码，这时编码芯片 PT2262 的第 1~8 脚为地址设定脚，有三种状态可供选择：悬空、接正电源、接地，所以地址编码不重复度为 561 组，输出的编码信号由地址码、数据码、同步码组成一个完整的码字，波形如图所示，从 17 脚串行输出。实验电路中，数据的高低电平由 4 位拨码开关 SW1 设置，并配有发光二极管显示。当数据拨码开关 SW1 的某位设置为 1（高电平）时，则对应位的指示灯就点亮。拨码开关 SW2 用于设置地址，PT2262 中 15、16 脚之间的电阻称为振荡电阻，它决定时钟频率，电阻越大，振荡频率越低，传输速率也越低。

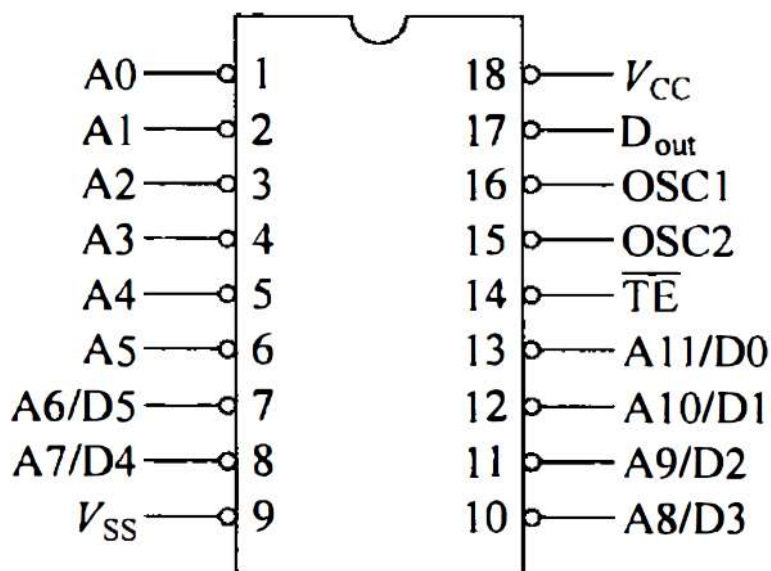


图 3 TP2262 引脚名称与功能

表 1 TP2262

名 称	引 脚 编 号	功 能
A0~A11	1~8、10~13	地址引脚,用于地址编码,可置于“0”、“1”或悬空
D0~D5	7、8、10~13	数据输入端,有一个为“1”即有编码发出,内部下拉
V _{CC}	18	电源正端(+)
V _{SS}	9	电源负端(-)
$\overline{TE}$	14	编码启动端,用于多数据的编码发射,低电平有效
OSC1	16	OSC1 与 OSC2 两端之间外接振荡电阻,其阻值决定振荡频率
OSC2	15	
D _{out}	17	编码输出端(正常时为低电平)

(3) 晶体调频

由附图可见,接在 2833 芯片 1、16、15 引脚上的晶体,电感 L1,电容 C16、C17,和接在 2、3 脚上的电阻、电容,与内部的可变电抗器、射频振荡电路一起构成晶体调频电路,调频波的中心频率由晶体频率决定,调节电感 L1 可微调晶体频率。为避免相互干扰,相邻实验台配用了不同频率的晶体,本实验所用的晶体频率为 16.6MHz 左右。调制信号由 3 脚送至片内可变电抗器,使可变电抗器的电抗值随调制信号幅度变化,从而控制振荡频率的变化实现调频。调频信号经内

部倍频器从 14 脚输出，14 脚上的 LC 并联谐振回路调谐在晶体振荡器的三次谐波上，实现三倍频功能，使频偏和中心频率都扩大了三倍。倍频后的信号再经两级选频放大、匹配后，由天线辐射出去，发射频率约 50MHz。当采用模拟调制信号时发射机发射的是普通调频信号；当编码器输出的编码信号（或由函数发生器输出的方波信号）加至发射板 DATA 口（或 H1 口）时，发射的则为 2FSK 信号。

为便于研究发射机的单元电路和整机电路的性能和实现几种调制信号的切换，在实验板中设置了一些跳线，并且提供了一些测试点。发射机实验中三个 LC 回路的调谐非常重要，它将直接影响发射机的主要性能指标如频谱、效率和功率。

2. 接收机电路

接收机实验电路包括接收机主体和用于产生第一本振信号的锁相频率合成器两大部分。接收机主体部分主要由集成块 MC3362 及其外围电路组成；频率合成器是一个包含吞脉冲可变分频器的数字锁相频率合成器。

(1) MC3362 芯片

MC3362 是一个二次变频的超外差调频接收机集成芯片。工作频率高达 200MHz，使用外接本振时，工作频率高于 450MHz。该芯片供电电压范围宽，2~7V 均能正常工作。功耗低，标准耗电电流 3.6mA ($V_{CC}=3V$)。接收灵敏度高，当信噪比为 12dB 时，典型值 0.7 μ V(rms)，而且具有良好的镜像频率干扰抑制性能，动态范围高达 60 dB，适合于窄带调频接收和低速数据的传送，其内部电路框图与引脚排列如图 4 所示。片内包括振荡器、VCO、两个高变频增益的混频器（第一混频器 18dB，第二混频器 21dB），还有放大、限幅器，正交鉴频器及载波检测

等部分电路，通过配接必要的外围元件，便得到一个完整的调频接收机。

Figure 2. Pin Connections and Representative Block Diagram

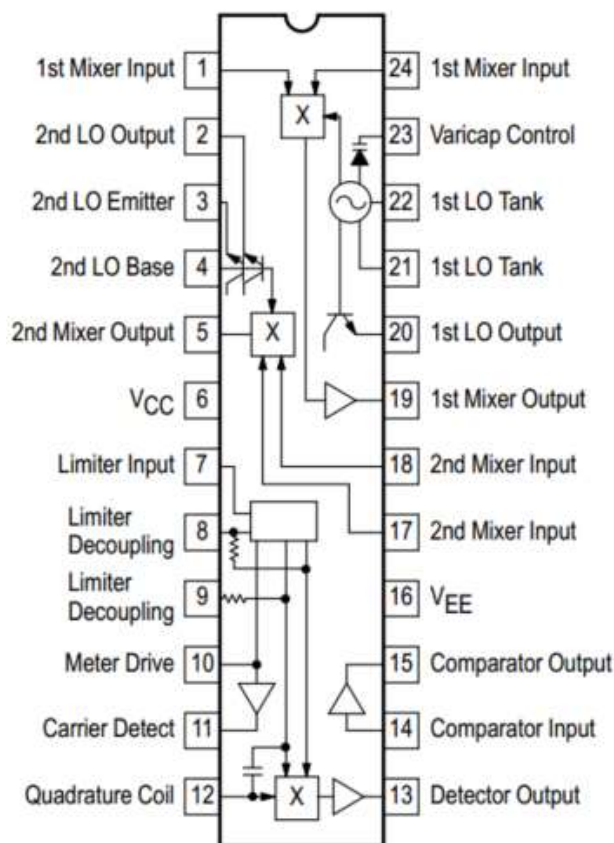


图 4 MC3362 的内部组成框图与引脚分布

第一本振电路可以接成多种形式，例如在第 21、22 脚外接晶体等元件，可接成晶体振荡器；在第 21、22 脚外接 LC 回路则构成了 LC 振荡器，或者利用片内 VCO 和外加锁相频率合成器芯片组成锁相频率合成器。本实验的第一本振信号就是利用 MC3362 片内 VCO 构成的锁相频率合成器产生的。

在某些实际系统中，也可不采用片内本振电路，而用外接的本振信号，此时本振信号由第 21、22 脚输入，振幅需大于 100mV。

(2) 接收机主体电路

接收机主体实验电路见附图。显然，这是一个典型的二次变频超外差调频接

收机，第一中频 10.7MHz，第二中频 455kHz。两种中频滤波均采用选择性良好的陶瓷滤波器，不需要调节。片内的多级第二中频差分限幅放大器为接收机提供了高增益，从而使接收机具有高灵敏度和优选择性。由图 5.2.8 可见，当开关 S1 处于“ON”状态时，天线接收到的 50MHzFM 或 FSK 信号经输入选频匹配网络耦合至 MC3362 芯片第一混频器的一个输入端，由锁相频率合成器产生的第一本振信号（此部分电路将在后面详细介绍）加至第一混频器的另一个输入端，本振频率为 37~41MHz。第一次混频后的信号缓冲放大后经外接的 10.7MHz 陶瓷滤波器滤波得到第一中频信号，随即回送片内至第二混频器，与第二本振进行第二次混频。第二本振频率为 10.245MHz，它由片内振荡电路和外接的 10.245MHz 晶体及 C3、C4 电容等组成的晶体振荡器产生。晶体管 T3、电阻 R6~R9 构成缓冲放大器，用于测量第一、二本振信号频率。第二次混频后的输出信号经 455kHz 陶瓷滤波器滤波后得到第二中频信号，然后再经限幅放大加至鉴频器。这里的鉴频器是典型的 90°移相网络加乘法器的正交鉴频器，片内的小电容和 12 脚的外接电感 L3，并联电容 C37、C30，并联电阻 R2 等组成移相网络。电阻 R2 的作用是改善鉴频线性，若电阻减小，鉴频线性范围增大，但鉴频灵敏度会降低。鉴频输出信号滤波后在 AUDIO 口得到恢复出来的原调制信号。对于语音或音乐信号，为驱动喇叭，低通滤波后的输出信号需送入集成音频功放 LM386 进一步放大。电位器 RW2 用于调节音量的大小。

倘若接收的是 FSK 信号，则解调输出信号回送片内，经比较器等判决整形电路，再生数字信号，由 15 脚输出，然后进入 PT2272 译码器进行译码并由发光二极管指示，译码电路如图 5 所示。PT2272 引脚分布与 PT2262 基本相同，只有两个引脚（第 14、17 脚）不同，第 14 脚为数据信号输入端，与接收机的解调输出相连接。第 17 脚为解码有效确认，输出端常低，解码有效时变成高电平（瞬态），其他各引脚功能可参考表 2。

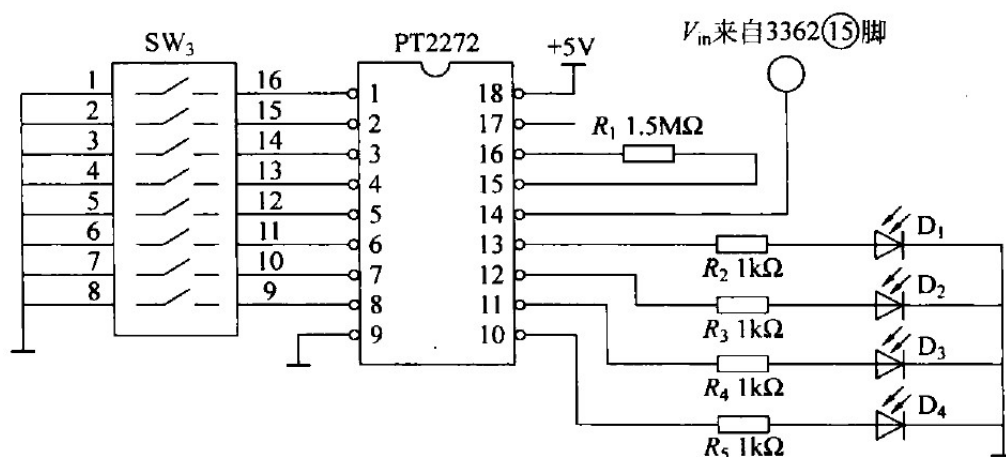


图 5 译码电路

PT2272 应用时有两点需要注意，一是 PT2272 解码器设置的地址码必须与发送端编码器 PT2262 设置的完全一致，二是为了准确接收，通常要求解码器 PT2272 的振荡频率为编码器 PT2262 的振荡频率的 2.5~8 倍，即译码器 15、16 脚之间的振荡电阻要比编码器的振荡电阻至少小 5 倍。

另外，接收机中 10 脚、11 脚上外接了载波检测电路，用来指示接收载波功率的强弱，当有较强载波时，发光二极管被点亮，无载波或载波很弱时，发光二极管不亮。实验时需调节 10 脚上的电位器 RW1，使之实现上述指示功能。

(3) 锁相频率合成器

这是一个吞脉冲锁相频率合成器，附图接收机实验电路虚线框内所示，其主

要功能是产生 37~41MHz 左右的第一本振信号,准确的本振频率值要根据实验时配套的发射机发射的频率而定。

图 6 给出了频率合成器的原理框图,由图可见,该频率合成器主要由并行码输入的单片集成锁相频率合成器芯片 MC145152 和它的参考晶振电路、÷40/41 双模前置分频器芯片 MC12016、MC3362 内部的 VCO 以及由 MC1458 运放和电阻、电容组成的有源滤波器等构成。MC3362 第 21、22 脚外接的 L_2 、 C_{10} 谐振回路决定 VCO 的自由振荡频率,调节电感 L_2 即可改变 VCO 的自由振荡频率,VCO 的控制电压从第 23 脚引入。MC145152 芯片中 N 分频器有 10 位,A 分频器有 6 位,内部的参考分频比 R 通过三位参考地址码的设置来确定。电路图中 T_2 、 R_{11} 、 R_{12} 、 LED_2 组成锁定指示电路,当环路锁定时发光二极管不亮,环路失锁时被点亮,以提示频率合成器有问题。

怎样才能获得所需的本振信号呢?本实验参考晶振频率为 4.096MHz,而实验板上已将参考地址码固定,使 R 分频比设定为 2048。根据吞脉冲锁相频率合成器的工作原理,当环路锁定时合成器输出频率 $f_0 = (PN+A)f_r$,令所需本振频率 $f_{01} = f_0$,求出 N、A 的预置值并将其转换为二进制数,然后设置 S-A、S-N 两个拨动开关的拨码 $A_0 \sim A_5$ 、 $N_0 \sim N_9$ 即可。

例如,假设第一本振频率为 38.066MHz,根据本实验设好的参考分频比,可得加到鉴相器输入端的参考频率为

$$f_r = 4.096\text{MHz}/2048 = 2\text{kHz}$$

则总分频比

$$n = (PN + A) = \frac{f_0}{f_r} = \frac{38.066 \times 10^6}{2 \times 10^3} = 19033$$

$$\frac{n}{P} = N + \frac{A}{P} = \frac{19033}{40} = N + \frac{A}{40}$$

取 $N=475$, $A=33$ 。用二进制表示, N 置数为 0111011011, A 置数为 1000010。

四. 实验内容

1. 发射机部分 (正常工作电源电压 5V)

(1) 三倍频谐振回路调试

不加调制信号, 在输出端接 $50\ \Omega$ 假负载, 逐级调试三级 LC 谐振回路, 用 100MHz 示波器分别观察并记录 H3, H4, H5 三个监测点处的三倍频波形并标上幅度; 用频率计测量 H5 处信号的频率 (精确到 kHz)。要求 H5 处为等幅三倍频波形, 且在 $50\ \Omega$ 负载上 $Y_{opp} > 800\text{mV}$ 。

(2) 测量载频输出频谱

用频谱分析仪测量 $50\ \Omega$ 负载上的载频信号频谱, 设置 Span= 200MHz, 要求记录发射载频附近与载频谱线幅度之差小于 40dB 的各谱线, 并在谱线上标明频率和幅度, 分析这些频率分量的来源。

(3) 测量输出功率 (接 $50\ \Omega$ 假负载, 无调制信号)

各级均调谐后, 在 $50\ \Omega$ 负载上用 100MHz 示波器测量 $V_{cc}=3\sim 9\text{V}$ 不同工作电压下的输出信号幅度并计算出对应的功率值 (可以每隔 1V 测一个点, 测后电源电压恢复 5V)。

(4) 静态调制特性研究与测试

调节发射板上电位器 RW1, 使发射机 H1 测试点的电压在 $0\sim 2\text{V}$ 之间变化, 用频率计在 H5 端测量相应信号的输出频率 (每隔 0.2V 测一个点)。

2. 接收机部分 (正常工作电源电压 12V)

(1) 10.7MHz 陶瓷滤波器幅频特性研究

用扫频仪测量 10.7MHz 陶瓷滤波器幅频特性曲线，并作记录。提示：在 BPI-IN 端加入扫频信号，将 BPI OUT 接至扫频仪 Y 输入口，记录扫频仪上所示曲线，并用外频标法测出中心频率与 3dB 带宽。

(2) 455kHz 陶瓷滤波器的幅频特性研究

用逐点法测量第二中频 455kHz 陶瓷滤波器的幅频特性，要求测准中心频率及 3dB 带宽。提示：信号发生器输出信号幅度取 150mV(rms) 左右，滤波器输出用毫伏计测量。

(3) 正交鉴频器特性研究

用逐点法调测鉴频特性曲线，要求绘出鉴频特性曲线，并求出其线性范围和鉴频灵敏度。建议：信号发生器输出信号幅度用 10mV(rms)，测量频率范围 445~475kHz。

提示：测试前先调移相网络，使 $\Delta f=0$ 点的输出电压为 2.3V。

(4) 晶体振荡器测试

用频率计测量第二本振信号频率，记录该频率值。

(5) 锁相频率合成器实验

①开环 VCO 压控特性测量

调节电位器 RW3，使接收芯片 VCO 压控端 23 脚（VE 孔）直流电压按 0.8、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0V 变化，用频率计在 LO 监测点测量相应 VCO 输出信号频率。

提示：逐点测试前，先检查你需要的本振频率是否包含在控制电压从 0.8~

5. 0V 变化时所对应的频率范围内，如果不在，则调节 L2 改变 VCO 的振荡频率，最好使本振频率对应于控制电压的 2~4V 之间。

②锁相频率合成器工作频率范围的测量

提示：改变 N、A，通过观察锁定指示灯的亮、灭判断环路是否锁定。

③双模前置分频器输出频率测量

用频率计测量双模前置分频器输出频率（fin 端），与计算值进行比较。

（6）接收机灵敏度调试

按照定义，灵敏度是指在给定解调器所要求的前端电路的输出信噪比条件下（如 12dB），或在满足一定的输出误码率（如 10^{-5} ）的条件下，接收机输入端所必需的最小有用信号功率，或最小可检测信号电压。然而，这样测试，要求的仪器比较多。为简单起见，本实验灵敏度用示波器测量，测试解调输出信号波形目测 SNR~1 时接收机输入端所需的最小信号电压。

当鉴频特性调整完毕，并且环路已锁定在本振频率上后，将接收机各单元电路之间用跳线正确连接起来。高频信号发生器产生如下 FM 信号： $f_{\text{载波}} = f_{\text{发射频率}}$ ，调制信号频率为 1kHz，频偏为 1kHz，并将此信号加至接收机输入端，用示波器观察并测出当解调输出信号的信噪比约等于 1 时的接收机灵敏度，要求此值小于 20uV（提示：可微调鉴频线圈 L3 或半可变电容 C_{30} 等）。

3. 收、发联机实验

发射机从天线发出 FM/FSK 信号，接收机通过天线接收信号。

（1）方波传输

在发端 H1 口用函数发生器加入频率 1kHz、幅度 2V、直流偏移 IV 的方波信

号（直流耦合），在接收端观察并记录解调输出整形后的波形（标上幅度），与输入调制信号波形比较，要求无失真，且波形稳定。

（2）数据传输

在编码器小板上通过拨码开关 SW1 ,SW2 设置所要传输的二进制码（“1”时指示灯亮）和地址码，加到发射板的 DATA 口，调节 RW3，使幅度为 2V。设置译码器小板上的地址码（注意必须与发射机编码器的地址码一致），并把接收机的输出信号加至译码器输入端，观察译码器的指示灯，与发码比较，要求没有误码。

（3）正弦信号传输

在发射机 IN 端用函数发生器加入 1kHz 的正弦信号，调节发射板上电位器 RW1 ，使 H2 监测口处的正弦调制信号峰值电压约为 450mV，观察并记录解调波形，调节输入信号，测出最大不失真输出电压幅度和此时 H1 监测口处的输入调制信号幅度。

（4）语音或音乐传输

在发射机 MIC 端用话筒（或 MP3）加入语音或音乐，将接收机解调输出的信号加至音频功放输入端，通过扬声器试听声音效果，要求声音清晰、无失真。

五．实验注意事项

1. 由于接收机第二中频滤波器的带宽比较窄，只有几 kHz，因此，在测试或计算频率时（包括发射频率、第一本振频率等）必须精确到 kHz 量级，否则收发联机时效果不好，甚至联不通。
2. FSK 调制时，要求的方波或编码信号幅度为 2V，且有 1V 直流偏移。方波由信

号发生器按要求输出,直接输入到发射板 H1 口,而编码器输出则加至发射板 DATA 口,其幅度由电位器 RW3 调节。

3. 鉴频特性对接收机的输出影响很大。由于解调输出脚(13 脚)上有 2.3V 的偏置电压,故调整鉴频特性时,在 $\Delta f = 0$ 点(即 455kHz)上鉴频器输出的直流电压应为 2.3V。如果 455kHz 陶瓷滤波器的中心频率不准,偏离 455kHz 较多,则为获得好的鉴频效果,鉴频曲线 $\Delta f = 0$ 的频率建议采用实测的第二中频滤波器的中心频率。

4. 实验板上设置了很多跳线,只有将它们正确设置后才能进行实验,因此实验前预习时要根据实验内容、信号的走向列出每一项实验的跳线表。