

通信原理实验 指导书

商丘师范学院物理与信息工程系编

目 录

实验一 码型变换实验.....	1
实验二 2ASK 与 2FSK 调制与解调实验	8
实验三 2PSK 与 2DPSK 调制与解调实验	16
实验四 PCM 编译码试验.....	22
实验五 模拟锁相环与频率合成实验	24
实验六 时分复用与解复用实验	31
附: 现代通信原理实验系统介绍	35
实验注意事项.....	36

实验一 码型变换实验

一、实验目的

- (1) 了解几种常见的数字基带信号;
- (2) 掌握常用数字基带传输码型的编码规则;
- (3) 掌握用 FPGA 实现码型变换的方法。

二、实验仪器

信号源模块、码型变换模块、20M 双踪示波器(一台)、连接线(若干)

三、实验原理

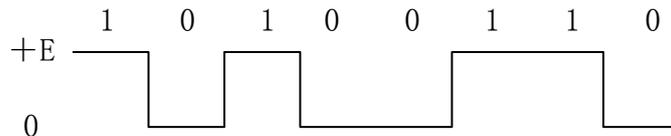
1、编码规则

(A) 二进制

最简单的二进制中基带信号的波形为矩形，幅度取值只有两种电平。常用的二进制有如下几种：

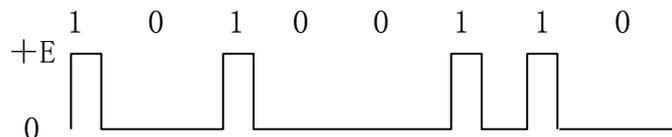
(1) NRZ 码

NRZ 码的全称是单极性不归零码，在这种二进制中用高电平和低电平（这里为零电平）分别表示二进制信息“1”和“0”，在整个码元期间电平保持不变。例如：



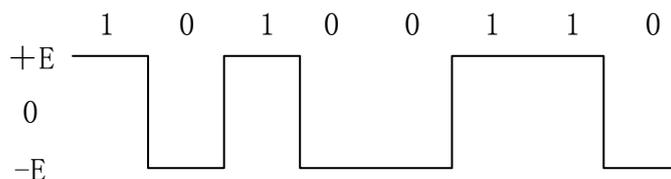
(2) RZ 码

RZ 码的全称是单极性归零码，与 NRZ 码不同的是，发送“1”时在整个码元期间高电平只持续一段时间，在码元的其余时间内则返回到零电平。换句话说，信号脉冲宽度小于码元宽度。通常均使脉冲宽度等于码元宽度的一半如下图所示。例如：



(3) BNRZ 码

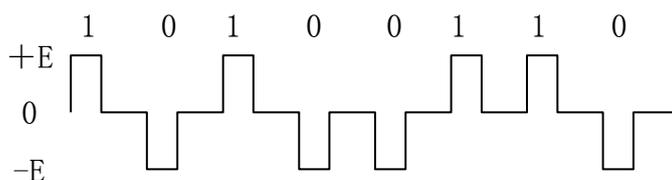
BNRZ 码的全称是双极性不归零码，在这种二进制中用正电平和负电平分别表示“1”和“0”。与单极性不归零码相同的是整个码元期间电平保持不变，因而在这种码型中不存在零电平。例如：



(4) BRZ 码

BRZ 码的全称是双极性归零码，与 BNRZ 码不同的是，发送“1”和“0”时，在整个码元期间高

电平或低电平只持续一段时间，在码元的其余时间内则返回到零电平。例如：



(5) AMI 码

AMI 码的全称是传号交替反转码，其编码规则如下：信息码中的“0”仍变换为传输码的“0”；信息码中的“1”交替变换为传输码的“+1、-1、+1、-1、…”。例如：

代码： 100 1 1000 1 1 1…

AMI码： +100 -1 +1000 -1 +1 -1…

AMI 码的主要特点是无直流成分，接收端收到的码元极性与发送端完全相反也能正确判断。译码时只需把 AMI 码经过全波整流就可以变为单极性码。由于其具有上述优点，因此得到了广泛应用。但该码有一个重要缺点，即当用它来获取定时信息时，由于它可能出现长的连 0 串，因而会造成提取定时信号的困难。

(6) HDB₃ 码

HDB₃ 码的全称是三阶高密度双极性码，其编码规则如下：将 4 个连“0”信息码用取代节“000V”或“B00V”代替，当两个相邻“V”码中间有奇数个信息“1”码时取代节为“000V”；有偶数个信息“1”码（包括 0 个）时取代节为“B00V”，其它的信息“0”码仍为“0”码，这样，信息码的“1”码变为带有符号的“1”码即“+1”或“-1”。例如：

代码： 1000 0 1000 0 1 1 000 0 1 1

HDB₃码： -1000 -V +1000 +V -1 +1 -B00 -V +1 -1

HDB₃ 码中“1”、“B”的符号符合交替反转原则，而“V”的符号破坏这种符号交替反转原则，但相邻“V”码的符号又是交替反转的。HDB₃ 码的特点是明显的，它除了保持 AMI 码的优点外，还增加了使连 0 串减少到至多 3 个的优点，而不管信息源的统计特性如何。这对于定时信号的恢复是十分有利的。HDB₃ 码是 ITU-T 推荐使用的码之一。本实验电路只能对码长为 24 位的周期性 NRZ 码序列进行编码。

(7) CMI 码

CMI 码的全称是传号反转码，其编码规则如下：信息码中的“1”码交替用“11”和“00”表示，“0”码用“01”表示。例如：

代码： 1 1 0 1 0 0 1 0

CMI码： 11 00 01 11 01 01 00 01

这种码型有较多的电平跃变，因此，含有丰富的定时信息。该码已被 ITU-T 推荐为 PCM 四次群的

接口码型。在光纤传输系统中有时也用 CMI 码作线路传输码型。

2、电路原理

将信号源产生的 NRZ 码和位同步信号 BS 送入 U01 进行变换，可以直接得到各种单极性码和各种双极性码的正、负极性编码信号（因为 CPLD 的 I/O 口不能直接接负电平，所以只能将分别代表正极性和负极性的两路编码信号分别输出，再通过外加电路合成双极性码），如 HDB₃ 的正、负极性编码信号送入 U02 的选通控制端，控制模拟开关轮流选通正、负电平，从而得到完整的 HDB₃ 码。解码时同样也需要先将双极性的 HDB₃ 码变换成分别代表正极性和负极性的两路信号，再送 CPLD 入进行解码，得到 NRZ 码。其它双极性码的编、解码过程相同。

(1) NRZ 码

从信号源“NRZ”点输出的数字码型即为 NRZ 码，其产生过程请参考信号源工作原理。

(2) BRZ、BNRZ 码

将 NRZ 码和位同步信号 BS 分别送入双四路模拟开关 U03 的控制端作为控制信号，在同一时刻，NRZ 码和 BS 信号电平高低的不同组合（00、01、10、11）将控制 U03 分别接通不同的通道，输出 BRZ 码和 BNRZ 码。X 通道的 4 个输入端 X₀、X₁、X₂、X₃ 分别接 -5V、GND、+5V、GND，在控制信号控制下输出 BRZ 码；Y 通道的 4 个输入端 Y₀、Y₁、Y₂、Y₃ 分别接 -5V、-5V、+5V、+5V，在控制信号控制下输出 BNRZ 码。解码时通过电压比较器 U07 将双极性的 BRZ 和 BNRZ 码转换为两路单极性码，即双（极性）—单（极性）变换，再送入 U01 进行解码，恢复出原始的 NRZ 码。

(3) RZ 码

这种码型的编、解码方法与 BRZ、BNRZ 是一样的，但因为是单极性的码型，所以编、解码过程可以直接在 U01 中完成，在这里不再赘述。

(4) AMI 码

由于 AMI 码是双极性的码型，所以它的变换过程分成了两个部分。首先，在 U01 中，将 NRZ 码经过一个时钟为 BS 的 JK 触发器后，再与 NRZ 信号相与后得到控制信号 AMIB，该信号与 NRZ 码作为控制信号送入单八路模拟开关 U06 的控制端，U06 的输出即为 AMI 码。解码过程与 BNRZ 码一样，也需先经过双—单变换，再送入 U01 进行解码。

(5) HDB₃ 码

HDB₃ 码的编、解码框图分别如图 1-1、1-2 所示，其编、解码过程与 AMI 码相同，这里不再赘述。

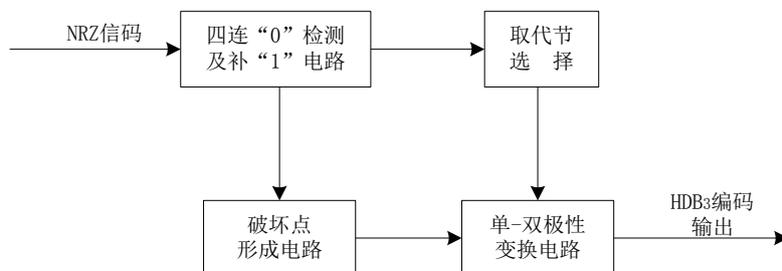


图 1-1 HDB₃ 编码原理框图

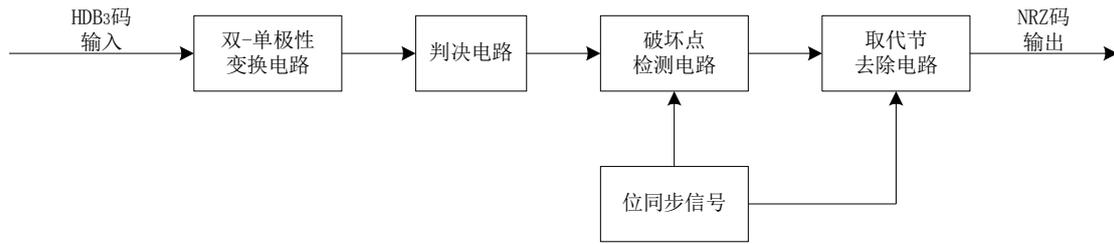


图 1-2 HDB₃ 解码原理框图

(6) CMI 码

由于是单极性波形，CMI 码的编解码过程全部在 U01 中完成，其编码电路原理框图如图 1-3 所示：

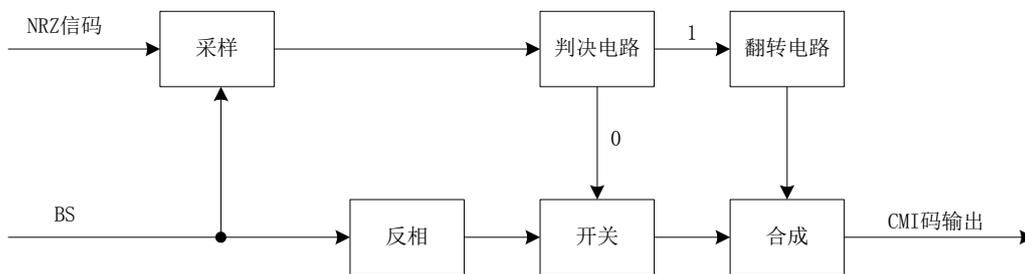


图 1-3 CMI 编码原理框图

四、实验步骤

- 1、将信号源模块、码型变换模块小心地固定在主机箱中，确保电源接触良好。
- 2、插上电源线，打开主机箱右侧的交流开关，再分别按下两个模块中的开关 POWER1、POWER2，对应的发光二极管 LED01、LED02 发光，按一下信号源模块的复位键，两个模块均开始工作。（注意，此处只是验证通电是否成功，在实验中均是先连线，后打开电源做实验，不要带电连线）
- 3、将信号源模块的拨码开关 SW04、SW05 设置为 00000101 00000000，SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000。按实验一的介绍，此时分频比千位、十位、个位均为 0，百位为 5，因此分频比为 500，此时位同步信号频率应为 4KHz。观察 BS、2BS、NRZ 各点波形。

4、编码实验：（在每次改变编码方式后，请按下复位键）

（1）RZ 编码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

- a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 10000000，则编码实验选择为 RZ 方式。
- b、将信号源模块与码型变换模块上以下三组输入/输出点用连接线连接：BS 与 BS、2BS 与 2BS、NRZ 与 NRZ。
- c、从“编码输出 1 处”观察 RZ 编码。（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

（2）CMI 编码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

- a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00100000，则编码实验选择为 CMI 方式。

b、将信号源模块与码型变换模块上以下三组输入/输出点用连接线连接：BS 与 BS、2BS 与 2BS、NRZ 与 NRZ。

c、从“编码输出 1 处”观察 CMI 编码。（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(3) HDB3 编码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 00000000 00000000 00000000

a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00010000，则编码实验选择为 HDB3 方式。

b、将信号源模块与码型变换模块上以下三组输入/输出点用连接线连接：BS 与 BS、2BS 与 2BS、NRZ 与 NRZ。

c、从“编码输出 2 处”观察 HDB3 编码。（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(4) BRZ 编码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00001000，则编码实验选择为 BRZ 方式。

b、将信号源模块与码型变换模块上以下三组输入/输出点用连接线连接：BS 与 BS、2BS 与 2BS、NRZ 与 NRZ。

c、从“BRZ”处观察 BRZ 编码。（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(5) BNRZ 编码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00000100，则编码实验选择为 BNRZ 方式。

b、将信号源模块与码型变换模块上以下三组输入/输出点用连接线连接：BS 与 BS、2BS 与 2BS、NRZ 与 NRZ。

c、从“BNRZ”处观察 BNRZ 编码。（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(6) AMI 编码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00000010，则编码实验选择为 AMI 方式。

b、将信号源模块与码型变换模块上以下三组输入/输出点用连接线连接：BS 与 BS、2BS 与 2BS、NRZ 与 NRZ。

c、从“编码输出 2 处”观察 AMI 编码。（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

5、解码实验：（在每次改变解码方式后，请按下复位键）

(1) RZ 解码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 10000000，则编码实验选择为 RZ 方式。

b、在 RZ 编码方式的前提下，用线连接“编码输出 1”与“解码输入 1”。

c、从“解码输出 1 处”观察 RZ 解码。并将示波器设为双踪状态比较解码信号与信号源的 NRZ 码（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(2) CMI 解码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

- a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00100000，则编码实验选择为 CMI 方式。
- b、在 CMI 编码方式的前提下，用线连接“编码输出 1”与“解码输入 1”。
- c、从“解码输出处”观察 CMI 解码。并将示波器设为双踪状态比较解码信号与信号源的 NRZ 码（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(3) HDB3 解码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 00000000 00000000 00000000

- a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00010000，则编码实验选择为 HDB3 方式。
- b、在 HDB3 编码方式的前提下，用线连接“编码输出 2”与“解码输入 2”。
- c、分别观察双路输出 1，双路输出 2，并与解码输入 2 相比较。
- d、从“解码输出处”观察 HDB3 解码。并将示波器设为双踪状态比较解码信号与信号源的 NRZ 码（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(4) BRZ 解码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

- a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00001000，则编码实验选择为 BRZ 方式。
- b、在 BRZ 编码方式的前提下，用线连接“BRZ”与“BRZ 解码输入”。
- c、观察“BRZ-1”处输出波形，并与“BRZ 解码输入”处波形进行比较。
- d、从“解码输出处”观察 BRZ 解码。并将示波器设为双踪状态比较解码信号与信号源的 NRZ 码（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(5) BNRZ 解码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

- a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00000100，则编码实验选择为 BNRZ 方式。
- b、在 BNRZ 编码方式的前提下，用线连接“BNRZ”与“解码输入 2”。
- c、分别观察双路输出 1，双路输出 2，并与解码输入 2 进行比较。
- d、从“解码输出处”观察 BNRZ 解码。并将示波器设为双踪状态比较解码信号与信号源的 NRZ 码（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

(6) AMI 解码实验

SW01、SW02、SW03 设置为 10100110 00000000 00000000

- a、将“编码方式选择”拨码开关拨为 00000010，则编码实验选择为 AMI 方式。
- b、在 AMI 编码方式的前提下，用线连接“编码输出 2”与“解码输入 2”。
- c、分别观察双路输出 1，双路输出 2，并与解码输入 2 进行比较。
- d、从“解码输出处”观察 AMI 解码。并将示波器设为双踪状态比较解码信号与信号源的 NRZ 码（如果发现波形不正确，请按下复位键后继续观察）

五、数据处理

- 1、分析实验电路的工作原理，叙述其工作过程。
- 2、根据实验测试记录，在坐标纸上画出各测量点的波形图，并分析实验现象。

六、问题思考

- 1、设二进制符号序列为 110010001110，试以矩形脉冲为例，分别画出相应的单极性波形、双极性波形、单极性归零波形、双极性归零波形。
- 2、已知信息代码为 10000000011，求相应的 AMI 码、HDB₃ 码、CMI 码。

实验二 2ASK 与 2FSK 调制与解调实验

一、实验目的

- (1) 理解 2ASK 与 2FSK 调制与解调的工作原理、电路组成、实现方法；
- (2) 理解 2ASK 解调的原理及实现方法。

二、实验仪器

信号源模块、数字调制模块、数字解调模块、同步提取模块、20M 双踪示波器（一台）、连接线（若干）

三、实验原理

1、(1) 2ASK 调制原理

在振幅键控中载波幅度是随着基带信号的变化而变化的。使载波在二进制基带信号 1 或 0 的控制下通或断，即用载波幅度的有或无来代表信号中的“1”或“0”，这样就可以得到 2ASK 信号，这种二进制振幅键控方式称为通—断键控（OOK）。2ASK 信号典型的时域波形如图 2-1 所示，其时域数学表达式为：

$$S_{2ASK}(t) = a_n \cdot A \cos \omega_c t \quad (2-1)$$

式中，A 为未调载波幅度， ω_c 为载波角频率， a_n 为符合下列关系的二进制序列的第 n 个码元：

$$a_n = \begin{cases} 0 & \text{出现概率为 } P \\ 1 & \text{出现概率为 } 1-P \end{cases} \quad (2-2)$$

综合式 2-1 和式 2-2，令 A=1，则 2ASK 信号的一般时域表达式为：

$$\begin{aligned} S_{2ASK}(t) &= \left[\sum_n a_n g(t - nT_s) \right] \cos \omega_c t \\ &= S(t) \cos \omega_c t \end{aligned} \quad (2-3)$$

式中， T_s 为码元间隔， $g(t)$ 为持续时间 $[-T_s/2, T_s/2]$ 内任意波形形状的脉冲（分析时一般设为归一化矩形脉冲），而 $S(t)$ 就是代表二进制信息的随机单极性脉冲序列。

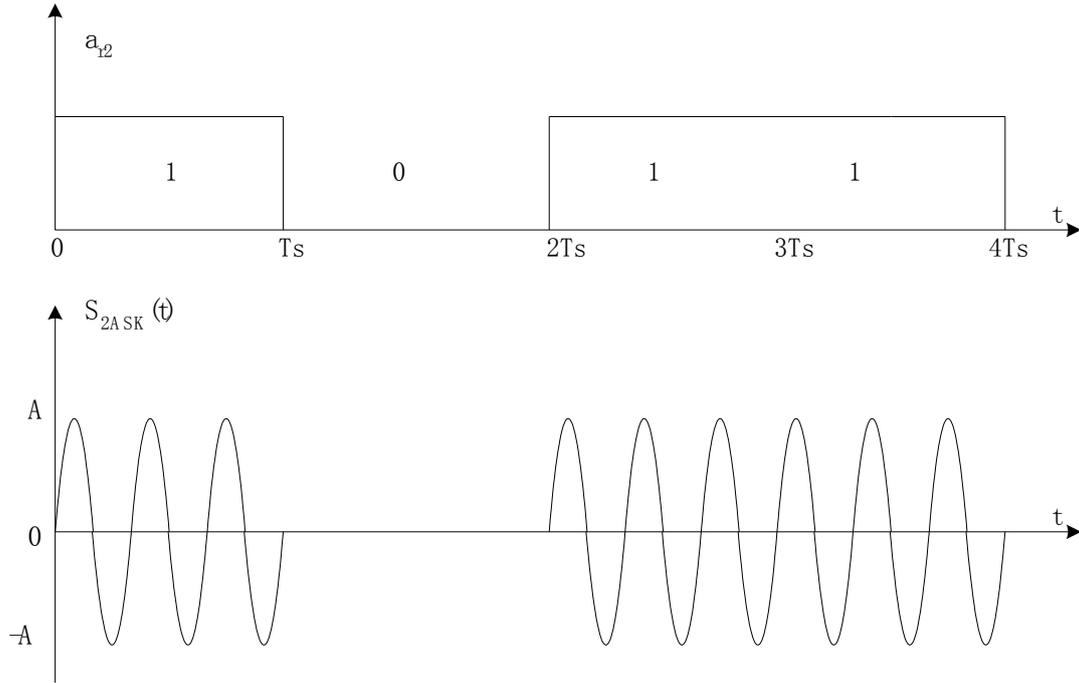


图 2-1 2ASK 信号的典型时域波形

为了更深入掌握 2ASK 信号的性质，除时域分析外，还应进行频域分析。由于二进制序列一般为随机序列，其频域分析的对象应为信号功率谱密度。设 $g(t)$ 为归一化矩形脉冲，若 $g(t)$ 的傅氏变换为 $G(f)$ ， $S(t)$ 则为二进制随机单极性矩形脉冲序列，且任意码元为 0 的概率为 P ，则 $S(t)$ 的功率谱密度表达式为：

$$P_s(f) = f_s P(1-P)|G(f)|^2 + f_s^2 (1-P)^2 |G(0)|^2 \zeta(f) \quad (2-4)$$

式中， $G(f) = T_s \left[\frac{\sin \pi f T_s}{\pi f T_s} \right]$ ； $f_s = \frac{1}{T_s}$ Hz，并与二进制序列的码元速率 R_s 在数值上相等。可以看出，单极性矩形脉冲随机序列含有直流分量。2ASK 信号的双边功率谱密度表达式为：

$$P_{2ASK}(f) = \frac{1}{4} f_s P(1-P) \left[|G(f + f_c)|^2 + |G(f - f_c)|^2 \right] + \frac{1}{4} f_s^2 (1-p)^2 |G(0)|^2 \left[\zeta(f + f_c) + \zeta(f - f_c) \right] \quad (2-5)$$

式 (2-5) 表明，2ASK 信号的功率谱密度由两个部分组成：(1) 由 $g(t)$ 经线性幅度调制所形成的双边带连续谱；(2) 由被调载波分量确定的载频离散谱。图 2-2 为 2ASK 信号的单边功率谱示意图。

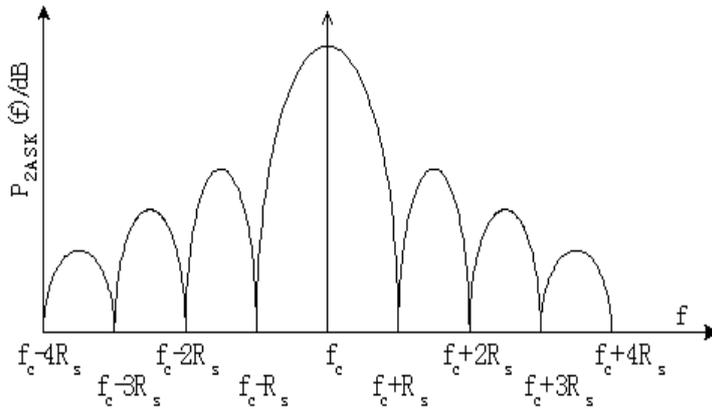


图 2-2 2ASK 信号的单边功率谱密度示意图

对信号进行频域分析的主要目的之一就是确定信号的带宽。在不同应用场合，信号带宽有多种度量定义，但最常用和最简单的带宽定义是以功率谱主瓣宽度为度量的“谱零点带宽”，这种带宽定义特别适用于功率谱主瓣包含信号大部分功率的信号。显然，2ASK 信号的谱零点带宽为

$$B_{2ASK} = [(f_c + R_s) - (f_c - R_s)]f_0 = 2R_s = 2/T_s \text{ (Hz)} \quad (2-6)$$

式中， R_s 为二进制序列的码元速率，它与二进制序列的信息率（比特率） R_b (bit/s) 在数值上相等。

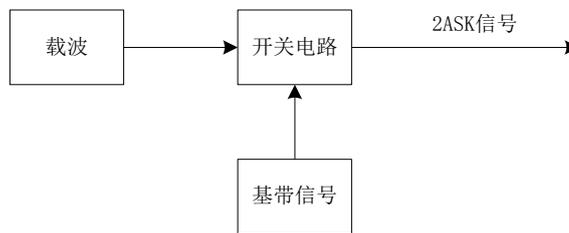


图 2-3 2ASK 调制原理框图

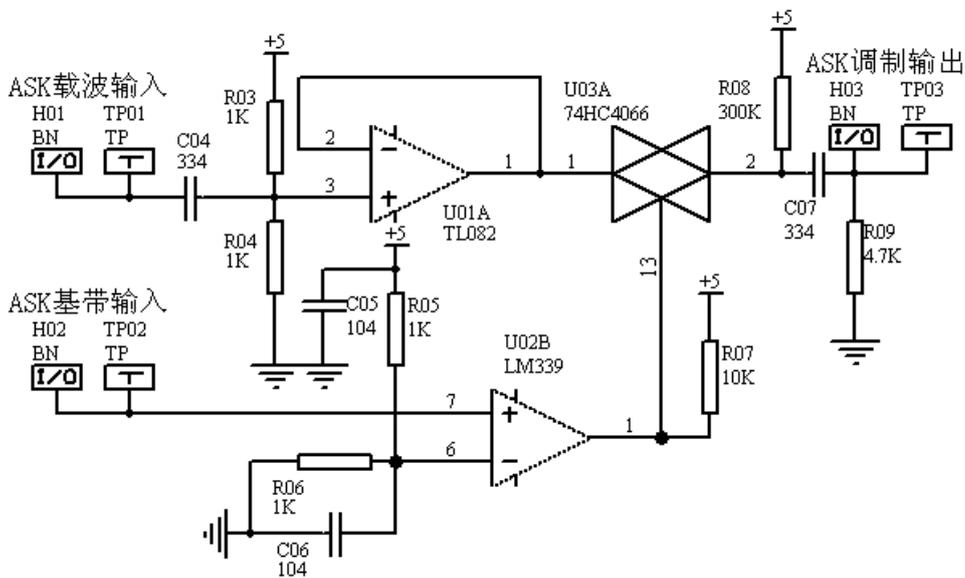


图 2-4 2ASK 调制电路原理图

2ASK 信号的产生方法比较简单。首先，因 2ASK 信号的特征是对载波的“通—断键控”，用一个模拟开关作为调制载波的输出通/断控制门，由二进制序列 $S(t)$ 控制门的通断， $S(t)=1$ 时开关导通； $S(t)=0$ 时开关截止，这种调制方式称为通—断键控法。其次，2ASK 信号可视为 $S(t)$ 与载波的乘积，故用模拟乘法器实现 2ASK 调制也是很容易想到的另一种方式，称其为乘积法。在这里，我们采用的是通—断键控法，2ASK 调制的基带信号和载波信号分别从“ASK 基带输入”和“ASK 载波输入”输入，其原理框图和电路原理图分别如图 2-3、图 2-4 所示。

(2) 2ASK 解调原理

本实验采用的是包络检波法，ASK 调制信号经过 RC 组成的耦合电路，输出波形可从 OUT1 观察，然后通过半波整流器（由 1N4148 组成），输出波形可从 OUT2 观察，半波整流后的信号经过低通滤波器（由 TL082 组成），滤波后的波形可从 OUT3 观察，再经过电压比较器（LM339）与参考电位比较后送入抽样判决器（74HC74）进行抽样判决，最后得到解调输出的二进制信号。标号为“ASK 判决电压调节”的电位器用来调节电压比较器的判决电压。判决电压过高，将会导致正确的解调结果的丢失；判决电压过低，将会导致解调结果中含有大量错码，因此，只有合理选择判决电压，才能得到正确的解调结果。抽样判决用的时钟信号就是 ASK 基带信号的位同步信号。

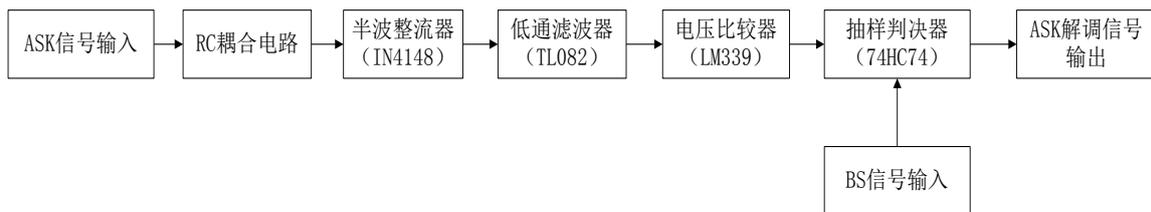


图 2-5 2ASK 解调原理框图

2、(1) 2FSK 调制原理

2FSK 信号是用载波频率的变化来表征被传信息的状态的，被调载波的频率随二进制序列 0、1 状态而变化，即载频为 f_0 时代代表传 0，载频为 f_1 时代代表传 1。显然，2FSK 信号完全可以看成两个分别以 f_0 和 f_1 为载频、以 a_n 和 $\overline{a_n}$ 为被传二进制序列的两种 2ASK 信号的合成。2FSK 信号的典型时域波形如图 2-5 所示，其一般时域数学表达式为

$$S_{2FSK}(t) = \left[\sum_n a_n g(t - nT_s) \right] \cos \omega_0 t + \left[\sum_n \overline{a_n} g(t - nT_s) \right] \cos \omega_1 t \quad (2-7)$$

式中， $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， $\omega_1 = 2\pi f_1$ ， $\overline{a_n}$ 是 a_n 的反码，即

$$a_n = \begin{cases} 0 & \text{概率为 } P \\ 1 & \text{概率为 } 1-P \end{cases}$$

$$\overline{a_n} = \begin{cases} 1 & \text{概率为 } P \\ 0 & \text{概率为 } 1-P \end{cases}$$

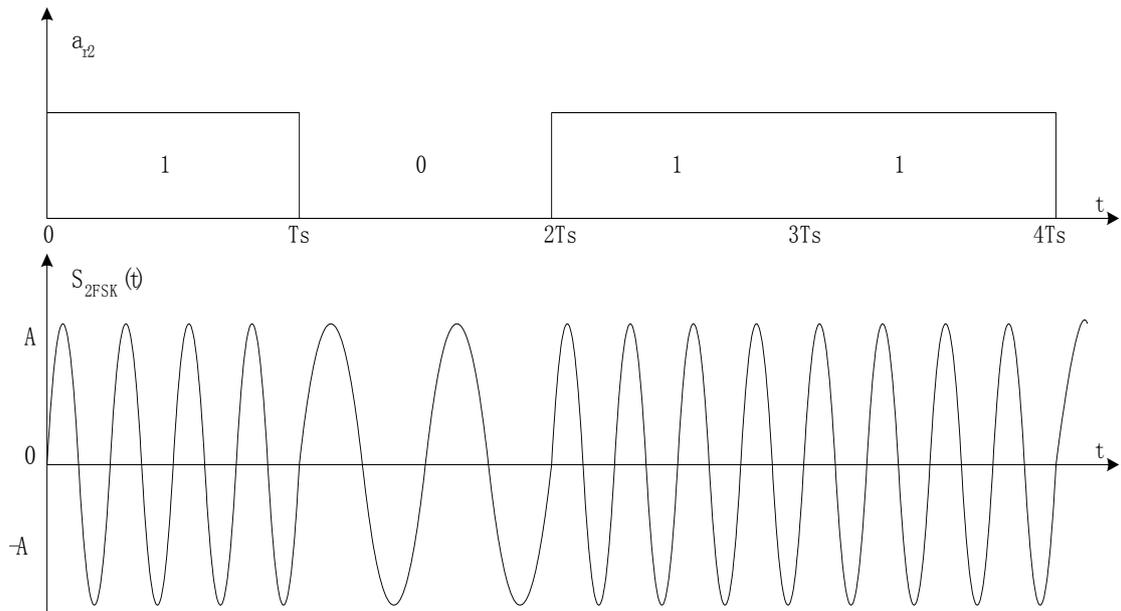


图 2-6 2FSK 信号的典型时域波形

因为 2FSK 属于频率调制，通常可定义其移频键控指数为

$$h = |f_1 - f_0|T_s = |f_1 - f_0|/R_s \quad (2-8)$$

显然， h 与模拟调频信号的调频指数的性质是一样的，其大小对已调波带宽有很大影响。2FSK 信号与 2ASK 信号的相似之处是含有载频离散谱分量，也就是说，二者均可以采用非相干方式进行解调。可以看出，当 $h < 1$ 时，2FSK 信号的功率谱与 2ASK 的极为相似，呈单峰状；当 $h \gg 1$ 时，2FSK 信号功率谱呈双峰状，此时的信号带宽近似为

$$B_{2FSK} = |f_1 - f_0| + 2R_s \quad (\text{Hz}) \quad (2-9)$$

2FSK 信号的产生通常有两种方式：（1）频率选择法；（2）载波调频法。由于频率选择法产生的 2FSK 信号为两个彼此独立的载波振荡器输出信号之和，在二进制码元状态转换（ $0 \rightarrow 1$ 或 $1 \rightarrow 0$ ）时刻，2FSK 信号的相位通常是不连续的，这会不利于已调信号功率谱旁瓣分量的收敛。载波调频法是在一个直接调频器中产生 2FSK 信号，这时的已调信号出自同一个振荡器，信号相位在载频变化时始终是连续的，这将有利于已调信号功率谱旁瓣分量的收敛，使信号功率更集中于信号带宽内。在这里，我们采用的是频率选择法，其调制原理框图如图 2-6 所示：

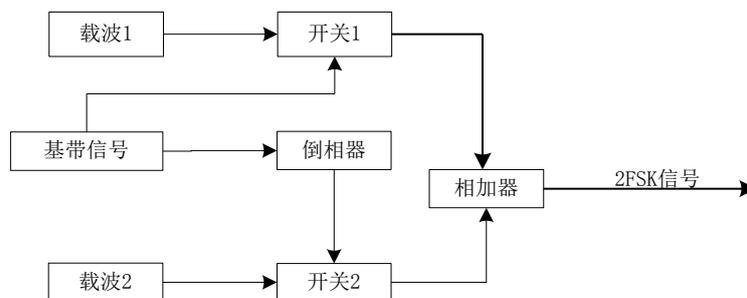


图 2-7 2FSK 调制原理框图

由图可知，从“FSK 基带输入”输入的基带信号分成两路，一路经 U05 反相后接至 U06B 的控制端，另一路直接接至 U06A 的控制端。从“FSK 载波输入 1”和“FSK 载波输入 2”输入的载波信号分别接至 U06A 和 U06B 的输入端。当基带信号为“1”时，模拟开关 U06A 打开，U06B 关闭，输出第一路载波；当基带信号为“0”时，U06A 关闭，U06B 打开，此时输出第二路载波，再通过相加器就可以得到 2FSK 调制信号。

(2) 2FSK 解调原理

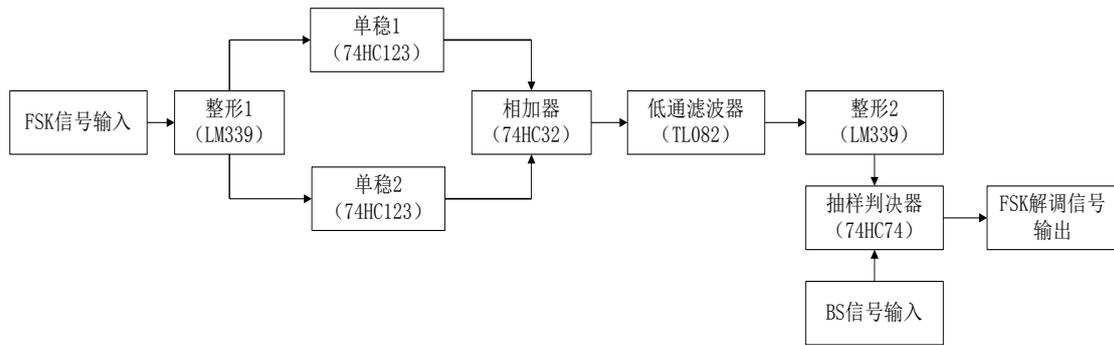


图 2-8 2FSK 解调原理框图

本实验采用的是过零检测法，FSK 信号通过整形 1 (LM339) 将信号高电平限幅在 5V，这样使 FSK 信号变为 CMOS 电平即矩形波序列，然后分两路分别输入单稳 1、2 (74HC123) 及相加器 (74HC32)，就得到了代表 FSK 信号过零点的脉冲序列，单稳 1 和单稳 2 分别被设置为上升沿触发和下降沿触发，它们与相加器 (74HC32) 一起共同对 TTL 电平的 FSK 信号进行微分、整流处理。再通过低通滤波器 (由 TL082 组成) 滤除高次谐波，再依次通过整形 2 和抽样电路共同构成抽样判决器，便能得到 FSK 解调信号。其判决电压可通过标号为“2FSK 判决电压调节”的电位器进行调节，抽样判决用的时钟信号就是 FSK 基带信号的位同步信号。

四、实验步骤

2ASK 实验:

- 1、将信号源模块、数字调制模块、数字解调模块、同步提取模块小心地固定在主机箱中，确保电源接触良好。
- 2、插上电源线，打开主机箱右侧的交流开关，再分别按下五个模块中的开关 POWER1、POWER2，对应的发光二极管 LED01、LED02 发光，按一下信号源模块的复位键，五个模块均开始工作。（注意，此处只是验证通电是否成功，在实验中均是先连线，后打开电源做实验，不要带电连线）
- 3、ASK 调制实验

(1) 将信号源模块产生的码速率为 15.625KHz (SW04、SW05 设置为 00000001 00101000, 128 分频) 的周期性 NRZ 码 (SW01、SW02、SW03 设置为 00010001 00010001 00010001) 和 64KHz 的正弦波 (幅度为 3V 左右) 分别送入数字调制模块的信号输入点“ASK 基带输入”和“ASK 载波输入”。以信号输入点“ASK 基带输入”的信号为内触发源，用示波器双踪同时观察点“ASK 基带输入”和点“ASK 调制输出”输出的波形。

(2) 改变送入的基带信号和载波信号，重复上述实验。

4、ASK 解调实验

- (1) 将信号源模块的位同步信号 (BS) 的频率设置为 15.625KHz (128 分频), 将信号源模块产生的 NRZ 码设置为周期性码 (SW01、SW02、SW03 设置为 00010001 00010001 00010001), 将同步信号提取模块的拨码开关 SW01 的第一位拨上。
- (2) 用信号源模块产生的 NRZ 码为基带信号, 合理连接信号源模块与数字调制模块, 使数字调制模块的信号输出点 “ASK 调制输出” 能输出正确的 ASK 调制波形。
- (3) 将 “ASK 调制输出” 的输出信号送入数字解调模块的信号输入点 “ASK-IN”, 观察信号输出点 “ASK-OUT” 处的波形, 并调节标号为 “ASK 判决电压调节” 的电位器, 直到在该点观察到稳定的 NRZ 码为止。将该点波形送入同步信号提取模块的信号输入点 “NRZ-IN”, 再将同步信号提取模块的信号输出点 “位同步输出” 输出的波形送入数字解调模块的信号输入点 “ASK-BS”, 观察信号输出点 “OUT1”、“OUT2”、“OUT3”、“ASK 解调输出” 处的波形, 并与信号源产生的 NRZ 码进行比较。
- (4) 改变信号源产生的 NRZ 码的设置, 重复上述观察。

2FSK 实验:

- 1、将信号源模块、数字调制模块、数字解调模块、同步提取模块小心地固定在主机箱中, 确保电源接触良好。
- 2、插上电源线, 打开主机箱右侧的交流开关, 再分别按下五个模块中的开关 POWER1、POWER2, 对应的发光二极管 LED01、LED02 发光, 按一下信号源模块的复位键, 五个模块均开始工作。(注意, 此处只是验证通电是否成功, 在实验中均是先连线, 后打开电源做实验, 不要带电连线)

3、FSK 调制实验

- (1) 将信号源模块产生的码速率为 15.625KHz (SW04、SW05 设置为 00000001 00101000, 128 分频) 的周期性 NRZ 码 (SW01、SW02、SW03 设置为 00010001 00010001 00010001) 和 64KHz 正弦波 (幅度为 3V 左右) 及 32KHz 的正弦波 (幅度为 3V 左右) 分别送入数字调制模块的信号输入点 “FSK 基带输入”、“FSK 载波输入 1” 和 “FSK 载波输入 2”。以信号输入点 “FSK 基带输入” 的信号为内触发电源, 用双踪示波器同时观察点 “FSK 基带输入” 和点 “FSK 调制输出” 输出的波形。
- (2) 改变送入的基带信号和载波信号, 重复上述实验。

4、FSK 解调实验

- (1) 将信号源模块的位同步信号 (BS) 的频率设置为 15.625KHz (128 分频), 将信号源模块产生的 NRZ 码设置为周期性码 (SW01、SW02、SW03 设置为 00010001 00010001 00010001), 将同步信号提取模块的拨码开关 SW01 的第一位拨上。
- (2) 将信号源模块产生的 NRZ 码为基带信号, 合理连接信号源模块与数字调制模块, 使数字调制模块的信号输出点 “FSK 调制输出” 能输出正确的 FSK 调制波形。
- (3) 将点 “FSK 调制输出” 的输出信号送入数字解调模块的信号输入点 “FSK-IN”, 观察信号输出点 “FSK-OUT” 处的波形, 并调节标号为 “FSK 判决电压调节” 的电位器, 直到在该点观察到稳定的 NRZ 码为止。将该点波形送入同步信号提取模块的信号输入点 “NRZ-IN”, 再将同步信号提取

模块的信号输出点“位同步输出”输出的波形送入数字解调模块的信号输入点“FSK-BS”，观察信号输出点“单稳输出 1”、“单稳输出 2”、“过零检测”、“滤波输出”、“FSK 解调输出”处的波形，并与信号源产生的 NRZ 码进行比较。

(4) 改变信号源产生的 NRZ 码的设置，重复上述观察。

五、数据处理

- 1、分析实验电路的工作原理，叙述其工作过程。
- 2、根据实验测试记录，在坐标纸上画出各测量点的波形图，并分析实验现象。

六、问题思考

- 1、设计 ASK 的相干解调原理框图
- 2、用过零检测法进行 FSK 解调时，其输出信号序列与发送信号序列相比是否产生了延迟？

实验三 2PSK 与 2DPSK 调制与解调实验

一、实验目的

- (1) 掌握绝对码、相对码的概念以及它们之间的变换关系和变换方法；
- (2) 掌握产生 2PSK 与 2DPSK 信号的方法。

二、实验仪器

信号源模块、数字调制模块、数字解调模块、同步提取模块、20M 双踪示波器（一台）、连接线（若干）

三、实验原理

1、(1) 2DPSK 调制原理

2PSK 信号是用载波相位的变化表征被传输信息状态的，通常规定 0 相位载波和 π 相位载波分别代表传 1 和传 0，其时域波形示意图如图 3-1 所示。

设二进制单极性码为 a_n ，其对应的双极性二进制码为 b_n ，则 2PSK 信号的一般时域数学表达式为：

$$S_{2PSK}(t) = \left[\sum_n b_n g(t - nT_s) \right] \cos \omega_c t \quad (3-1)$$

其中：

$$b_n = \begin{cases} -1 & \text{当 } a_n = 0 \text{ 时, 概率为 } P \\ +1 & \text{当 } a_n = 1 \text{ 时, 概率为 } 1-P \end{cases}$$

则 (3-1) 式可变为：

$$S_{2PSK}(t) = \begin{cases} \left[\sum_n g(t - nT_s) \right] \cos(\omega_c t + \pi) & \text{当 } a_n = 0 \\ \left[\sum_n g(t - nT_s) \right] \cos(\omega_c t + 0) & \text{当 } a_n = 1 \end{cases} \quad (3-2)$$

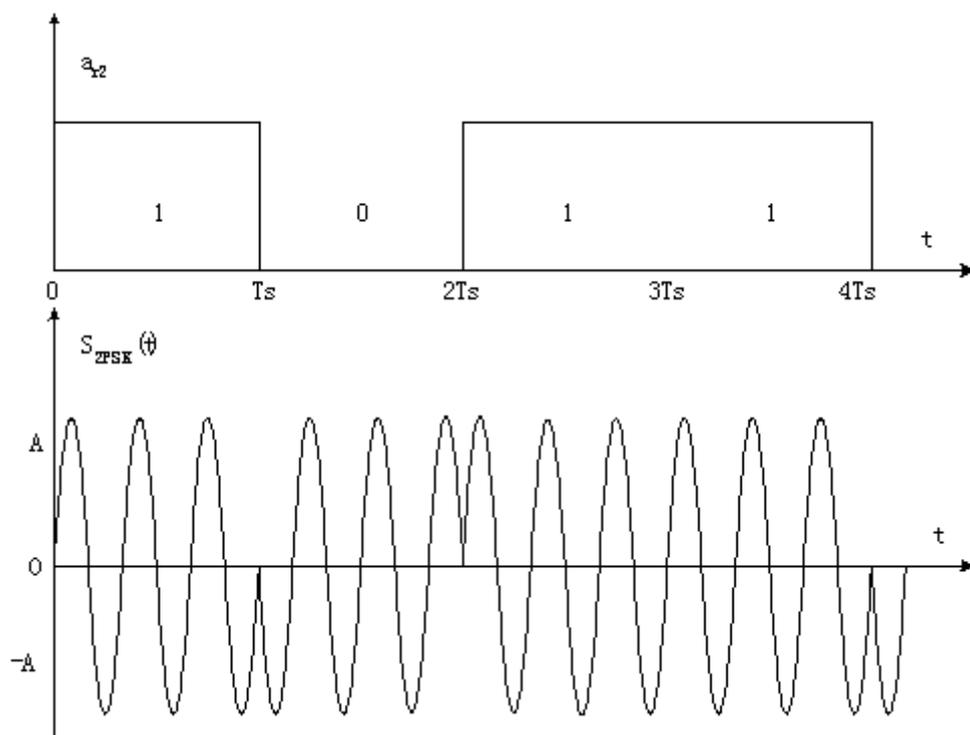


图 3-1 2PSK 信号的典型时域波形

由 (3-1) 式可见, 2PSK 信号是一种双边带信号, 比较 (3-1) 式与 (2-3) 式可知, 其双边功率谱表达式与 2ASK 的几乎相同, 即为:

$$P_{2PSK}(f) = f_s P(1-P) \left[|G(f+f_c)|^2 + |G(f-f_c)|^2 \right] + \frac{1}{4} f_s^2 (1-P)^2 |G(0)|^2 [\zeta(f+f_c) + \zeta(f-f_c)] \quad (3-3)$$

2PSK 信号的谱零点带宽与 2ASK 的相同, 即

$$B_{2PSK} = (f_c + R_s) - (f_c - R_s) = 2R_s = 2/T_s \quad (\text{Hz}) \quad (3-4)$$

我们知道, 2PSK 信号是用载波的不同相位直接去表示相应的数字信号而得出的, 在这种绝对移相的方式中, 由于发送端是以某一个相位作为基准的, 因而在接收系统也必须有这样一个固定基准相位作参考。如果这个参考相位发生变化, 则恢复的数字信息就会与发送的数字信息完全相反, 从而造成错误的恢复。这种现象常称为 2PSK 的“倒 π ”现象, 因此, 实际中一般不采用 2PSK 方式, 而采用差分移相 (2DPSK) 方式。

2DPSK 方式即是利用前后相邻码元的相对载波相位值去表示数字信息的一种方式。例如, 假设相位值用相位偏移 x 表示 (x 定义为本码元初相与前一码元初相之差), 并设

$$\Delta\Phi = \pi \rightarrow \text{数字信息“1”}$$

$$\Delta\Phi = 0 \rightarrow \text{数字信息“0”}$$

则数字信息序列与 2DPSK 信号的码元相位关系可举例表示如下:

数字信息： 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1
 2DPSK 信号相位： 0 0 0 π 0 π π π 0 0 π
 或： π π π 0 π 0 0 0 π π 0

图 3-2 为对同一组二进制信号调制后的 2PSK 与 2DPSK 波形。

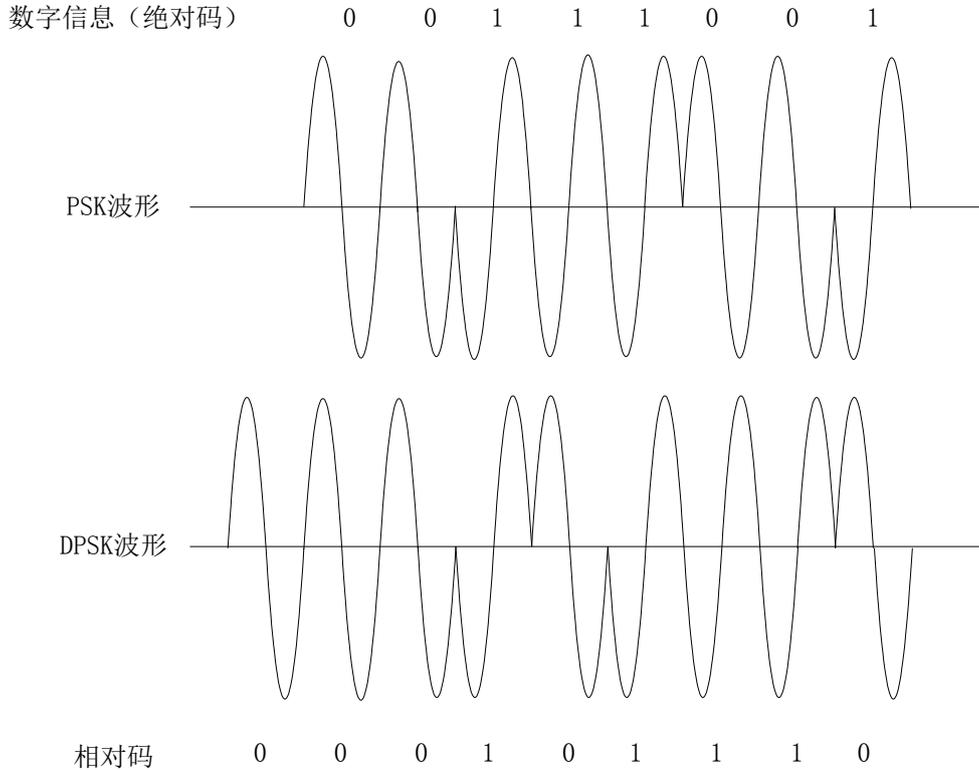


图 3-2 2PSK 与 2DPSK 波形对比

从图中可以看出，2DPSK 信号波形与 2PSK 的不同。2DPSK 波形的同一相位并不对应相同的数字信息符号，而前后码元相对相位的差才唯一决定信息符号。这说明，解调 2DPSK 信号时并不依赖于某一固定的载波相位参考值。只要前后码元的相对相位关系不破坏，则鉴别这个关系就可以正确恢复数字信息，这就避免了 2PSK 方式中的“倒 π ”现象发生。同时我们也可以看到，单纯从波形上看，2PSK 与 2DPSK 信号是无法分辨的。这说明，一方面，只有已知移相键控方式是绝对的还是相对的，才能正确判定原信息；另一方面，相对移相信号可以看成是把数字信息序列（绝对码）变换成相对码，然后再根据相对码进行绝对移相而形成。

为了便于说明概念，我们可以把每个码元用一个如图 3-3 所示的矢量图来表示。图中，虚线矢量位置称为基准相位。在绝对移相中，它是未调制载波的相位；在相对移相中，它是前一码元载波的相位。如果假设每个码元中包含有整数个载波周期，那么，两相邻码元载波的相位差既表示调制引起的相位变化，也是两码元交界点载波相位的瞬时跳变量。根据 ITU-T 的建议，图 3-3 (a) 所示的移相方式，称为 A 方式。在这种方式中，每个码元的载波相位相对于基准相位可取 0、 π 。因此，在相对移相后，若后一码元的载波相位相对于基准相位为 0，则前后两码元载波的相位就是连续的；否则，载波相位在两码元之间要发生跳变。图 3-3 (b) 所示的移相方式，称为 B 方式。在这种方式中，每个码元的载波相位相对于基准相位可取 $\pm \pi/2$ 。因而，在相对移相时，相邻码元之间必然发生载波相位的跳

变。这样，在接收端接收该信号时，如果利用检测此相位变化以确定每个码元的起止时刻，即可提供码元定时信息，这正是 B 方式被广泛采用的原因之一。

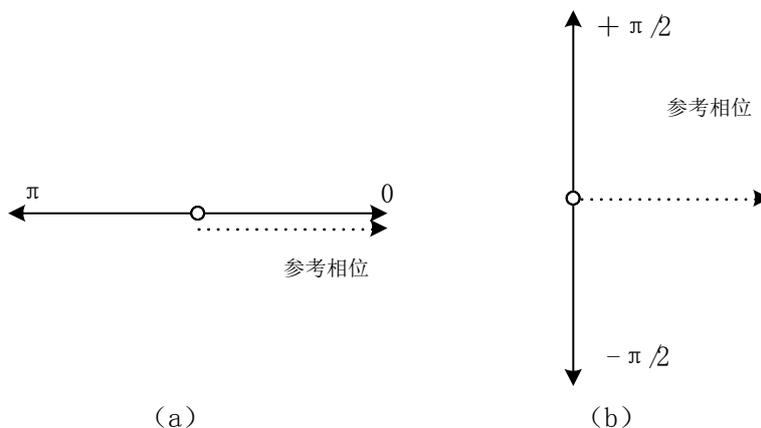


图 3-3 二相调制移相信号矢量图

2DPSK 的调制原理与 2FSK 的调制原理类似，也是用二进制基带信号作为模拟开关的控制信号轮流选通不同相位的载波，完成 2DPSK 调制，其调制的基带信号和载波信号分别从“PSK 基带输入”和“PSK 载波输入”输入，差分变换的时钟信号从“PSK-BS 输入”点输入，其原理框图如图 3-4 所示：

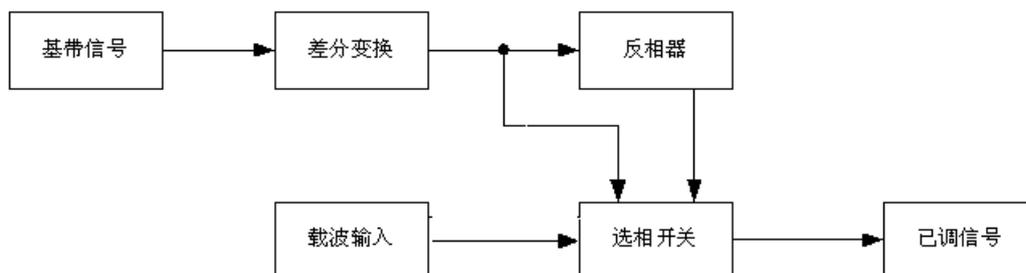
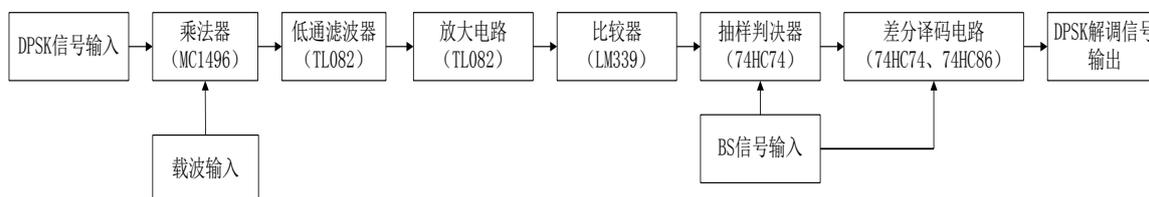


图 3-4 2DPSK 调制原理框图

(2) 2DPSK 解调原理



本实验采用的是极性比较法，DPSK 信号经过乘法器 (MC1496) 与载波信号相乘后，可通过 OUT4 观察，然后经过低通滤波器 (由 TL082 组成) 去除高频成分，得到包含基带信号的低频信号，再依次经过放大电路 (由 TL082 组成)、比较器 (LM339)、抽样判决器 (74HC74) 得到差分编码的基带信号，最后通过差分译码电路 (74HC74、74HC86) 还原成绝对码波形即 DPSK 解调信号。其判决电压可通过标号为“DPSK 判决电压调节”的电位器进行调节，抽样判决用的时钟信号就是 DPSK 基带信

号的位同步信号，解调中的载波信号就是 DPSK 调制中的同相载波。

电路不通过差分译码产生的信号为 PSK 解调信号。

四、实验步骤

1、将信号源模块、数字调制模块、数字解调模块、同步提取模块小心地固定在主机箱中，确保电源接触良好。

2、插上电源线，打开主机箱右侧的交流开关，再分别按下五个模块中的开关 POWER1、POWER2，对应的发光二极管 LED01、LED02 发光，按一下信号源模块的复位键，五个模块均开始工作。（注意，此处只是验证通电是否成功，在实验中均是先连线，后打开电源做实验，不要带电连线）

3、PSK 调制实验

(1) 将信号源模块产生的码速率为 15.625KHz 的周期性 NRZ 码和 64KHz 的正弦波（幅度为 3V 左右）分别送入数字调制模块的信号输入点“PSK (DPSK) 基带输入”和“PSK (DPSK) 载波输入”。

(2) 将数字调制模块中的拨位开关 S01 拨到 0，以信号输入点“PSK 基带输入”的信号为内触发源，用双踪示波器同时观察点“PSK 基带输入”与“PSK 调制输出”的波形。

(3) 改变送入的基带信号和载波信号，重复上述实验。

4、PSK 解调实验

(1) 将信号源模块的位同步信号的频率恢复为 15.625KHz，用信号源模块产生的 NRZ 码为基带信号，将同步信号提取模块的拨码开关 SW01 的第一位拨上。将数字解调模块中的拨位开关 S01 拨到 0，合理连接信号源模块与数字调制模块，使数字调制模块的信号输出点“PSK 调制输出”能输出正确的 PSK 调制波形。

(2) 将“PSK 调制输出”的输出信号送入数字解调模块的信号输入点“PSK-IN”，将“PSK 调制输出”的波形送入同步信号提取模块的信号输入点“S-IN”，使信号输出点“载波输出”能输出提取出的正确的载波信号（方法请参考实验十五），再将该点的输出波形送入数字解调模块的信号输入点“载波输入”，观察信号输出点“PSK-OUT”处的波形，并调节标号为“PSK/DPSK 判决电压调节”的电位器，直到在该点观察到稳定的 NRZ 码为止(电位器 W01 可调节乘法器的平衡度，该处在出厂时已经调好，请勿自行调节)。将点“PSK-OUT”输出的波形送入同步信号提取模块的信号输入点“NRZ-IN”，再将同步信号提取模块的信号输出点“位同步输出”输出的波形送入数字解调模块的信号输入点“PSK-BS”，观察信号输出点“OUT4”、“PSK 解调输出”处的波形，并与信号源产生的 NRZ 码进行比较。可将信号源产生的 NRZ 码与“PSK 解调输出”进行比较，可观察到“倒 π ”现象。

(3) 改变信号源产生的 NRZ 码的设置，重复上述观察。并观察当提取出的载波在两种不同相位时，输出的 NRZ 码有何异同。

5、DPSK 调制实验

(1) 将信号源模块的信号输出点“BS”与数字调制模块的信号输入点“DPSK 位同步输入”相连接，将信号源模块产生的码速率为 15.625KHz 的周期性 NRZ 码和 64KHz 的正弦波（幅度为 3V 左右）分别送入数字调制模块的信号输入点“DPSK 基带输入”和“DPSK 载波输入”。

(2) 将数字调制模块中的拨位开关 S01 拨到 1, 用双踪示波器同时观察点“DPSK 基带输入”与“差分编码输出”输出的波形。以信号输入点“差分编码输出”的信号为内触发源, 用示波器同时观察点“差分编码输出”和“DPSK 调制输出”的波形。

(3) 改变送入的基带信号和载波信号, 重复上述实验。

6、DPSK 解调实验

(1) 将信号源模块的位同步信号的频率恢复为 15.625KHz, 用信号源模块产生的 NRZ 码为基带信号, 将同步信号提取模块的拨码开关 SW01 的第一位拨上。将数字调制模块中的拨位开关 S01 拨到 1, 合理连接信号源模块与数字调制模块, 使数字调制模块的信号输出点“DPSK 调制输出”能输出正确的 DPSK 调制波形。

(2) 将“DPSK 调制输出”的输出信号送入数字解调模块的信号输入点“DPSK-IN”, 将“DPSK 调制输出”的波形送入同步信号提取模块的信号输入点“S-IN”, 使信号输出点“载波输出”能输出提取出的正确的载波信号(方法请参考实验十四), 再将该点的输出波形送入数字解调模块的信号输入点“载波输入”, 观察信号输出点“DPSK-OUT”处的波形, 并调节标号为“PSK/DPSK 判决电压调节”的电位器, 直到在该点观察到稳定的 NRZ 码为止(电位器 W01 可调节乘法器的平衡度, 该处在出厂时已经调好, 请勿自行调节)。将点“DPSK-OUT”输出的波形送入同步信号提取模块的信号输入点“NRZ-IN”, 再将同步信号提取模块的信号输出点“位同步输出”输出的波形送入数字解调模块的信号输入点“PSK-BS”, 观察信号输出点“OUT4”、“DPSK 解调输出”处的波形, 并与信号源产生的 NRZ 码进行比较。

(3) 改变信号源产生的 NRZ 码的设置, 重复上述观察。并观察当提取出的载波在两种不同相位时, 输出的 NRZ 码有何异同。

五、数据处理

1、分析实验电路的工作原理, 叙述其工作过程。

2、根据实验测试记录, 在坐标纸上画出各测量点的波形图, 并分析实验现象。

六、问题思考

1、比较 2PSK 与 2DPSK 的解调信号, 并解释“倒 π ”现象。

2、比较 2ASK、2FSK、2DPSK 调制信号, 进而分析三种调制方式各自的优缺点。

实验四 PCM 编译码实验

一、实验目的

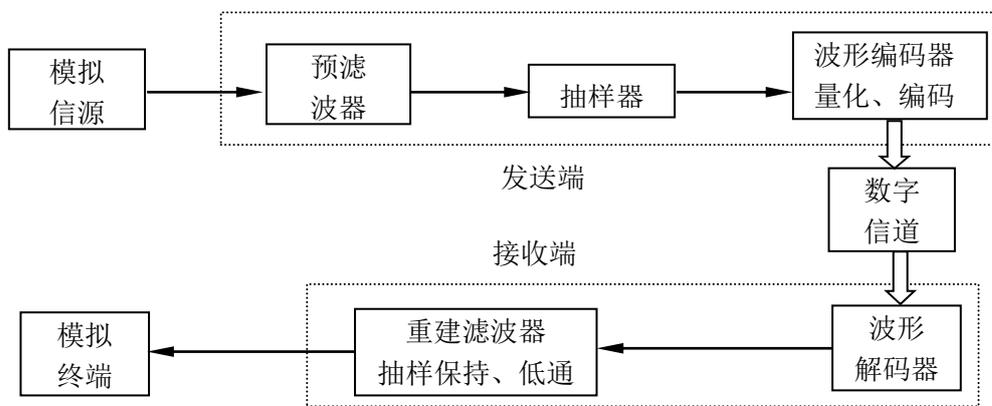
- (1) 掌握 PCM 调制与解调的基本原理；
- (2) 定量分析并掌握模拟信号按照 13 折线 A 律特性编成八位码的方法。

二、实验仪器

信号源模块、模拟信号数字化模块、20M 双踪示波器（一台）、连接线（若干）

三、实验原理

脉冲编码调制（PCM）与解调通信系统的原理框图如下：



本实验模块采用大规模集成电路 TP3067 对语音模拟信号进行 PCM 编解码。TP3067 在一个芯片内部集成了编码电路和译码电路，是一个单路编译码器。其编码速率为 2.048MHz，每一帧 8 位数据，采用 8KHz 帧同步信号。模拟信号在编码电路中，经过抽样、量化、编码，最后得到 PCM 编码信号。在单路编译码器中，经变换后的 PCM 码是在一个时隙中被发送出去的，在其他的时隙中编译码器是没有输出的，即对一个单路编译码器来说，它在一个 PCM 帧（32 个时隙）里，只在一个特定的时隙中发送编码信号。同样，译码电路也只是在一个特定的时隙（此时隙应与发送码数据的时隙相同，否则接收不到 PCM 编码信号）里才从外部接收 PCM 编码信号，然后再译码输出。

PCM 语音编码芯片 TP3067 的详细资料具体见附录中内容。

四、实验步骤

- 1、将信号源模块、模拟信号数字化模块小心地固定在主机箱中，确保电源接触良好。
- 2、插上电源线，打开主机箱右侧的交流开关，再分别按下二个模块中的相应开关 POWER1、POWER2，对应的发光二极管 LED01、LED02 发光，按一下信号源模块的复位键，二个模块均开始工作。（注意，此处只是验证通电是否成功，在实验中均是先连线，后打开电源做实验，不要带电连线）
- 3、对任意频率、幅度的模拟正弦信号脉冲编码调制与解调实验
 - (1) 将信号源模块中 BCD 码分频值（拨码开关 SW04、SW05）设置为 0000000 0000001（分频后“BS”端输出频率即为基频 2.048MHz），模拟信号数字化模块中拨码开关 S1 设置为 0000，“编码幅度”电

位器逆时针旋转到顶。

(2) 信号源模块产生一频率为 2KHz，峰-峰值约为 2V 的正弦模拟信号，由“模拟输出”端送入到模拟信号数字化模块的“S-IN”端，再分别连接信号源模块的信号输出端“64K”、“8K”、“BS”与模拟信号数字化模块的信号输入端“CLKB-IN”、“FRAMB-IN”、“2048K-IN”。开电，观察“PCMB-OUT”端 PCM 编码。（因为是对随机信号进行编码，所以建议使用数字存储示波器观察。）

(3) 断电，分别连接模拟信号数字化模块上编译码时钟信号“CLKB-IN”和“CLK2-IN”，帧同步信号“FRAMB-IN”和“FRAM2-IN”，PCM 编译码信号输出点“PCMB-OUT”和信号输入点“PCM2-IN”。开电，观察并比较基带模拟信号“S-IN”和解调信号“JPCM”。

(4) 改变正弦模拟信号的幅度及频率，观察 PCM 编码信号和解调信号随之的波形变化情况，同时注意观察满载和过载时的脉冲幅度和解调信号波形，超过音频信号频带范围时的解调信号波形。（应可观察到，当输入正弦波信号幅度大于 5V 时，解调信号中带有明显的噪声；当输入正弦波的频率大于 3400Hz 或小于 300Hz 时，因为 TP3067 集成芯片主要针对音频信号，芯片内部输入端有一个带通滤波器滤除带外信号，所以解调信号的幅度将逐渐减小为零。）

4、用模拟示波器定量观察 PCM 八位编码实验

(1) 断电，拆除所有信号连线，将拨码开关 S1 设置为 1111。

(2) 开电，观察 2KHz 基带信号“S-IN2”、8KHz 帧同步信号“FRAMB-IN”、64KHz 编码时钟信号“CLKB-IN”与 PCM 编码信号“PCMB-OUT”的波形。（这里建议用 8KHz 帧同步信号与 PCM 编码信号同时观察，每四帧为一个周期编码）。调节“编码幅度”电位器，分析 PCM 八位编码中极性码、段落码与段内码的码型随基带信号幅值大小变化而变化的情况。

(3) 断电，分别连接信号点“CLKB-IN”和“CLK2-IN”，“FRAMB-IN”和“FRAM2-IN”，“PCMB-OUT”和“PCM2-IN”。开电，观察并比较基带模拟信号“S-IN2”和解调信号“JPCM”。

注：实验完后务必将拨码开关 S1 重新设置为 0000。

五、数据处理

- 1、分析脉冲编码调制与解调的基本工作原理，画出其流程框图，并解释每一步的作用。
- 2、记录实验测试结果，分析实验现象。

六、问题思考

- 1、TP3067 PCM 编码器输出的 PCM 码的速率是多少？在本实验中，为什么要给 TP3067 提供 2.048MHz 的时钟？

实验五 模拟锁相环与频率合成实验

一、实验目的

- (1) 掌握模拟锁相环的工作原理，以及环路的锁定状态、失锁状态、同步带、捕捉带等基本概念；
- (2) 熟悉锁相式数字频率合成器的电路组成与工作原理；
- (3) 熟悉 555 电路的使用方法。

二、实验仪器

信号源模块、锁相环模块、20M 双踪示波器（一台）、连接线（若干）

三、实验原理

本实验使用 CD4046 锁相环电路和 CD4522 作基本实验电路，下面先介绍一下压控振荡器。

1、VCO 压控振荡器

所谓压控振荡器就是振荡频率受输入电压控制的振荡器。

该 VCO 压控振荡器内部电路如图 5-1 所示。

4046 锁相环集成电路的 VCO 是一个线性度很高的多谐振荡器，它能产生很好的对称方波输出。电源电压可工作在 3V~18V 之间。本实验电路中取+5V 电源。该 VCO 是一种 CMOS 数字门型的压控振荡器。它利用由门电路组成的 RS 触发器控制一对开关管轮番地向定时电容 C_1 正向充电和反向充电，从而形成自激振荡，振荡频率与充电电流成正比。与 C_1 的容量成反比， $f_{out}=I_0/8C_1$ ，式中 I_0 由恒流源提供，并受控于外加电压 U_i ，结果使 f 输出与 U_i 成线形关系。改变 U_i 的数值就可以改变振荡器的输出频率，从而具有压控特性。振荡频率不仅与定时电容 C_1 、外加控制电压 U_i 有关，而且还与电源电压以及外接电阻 R_1 、 R_2 的比值有关。

图 5-1 中 INH 为禁止输入端，当 INH 为“1”电平时，VCO 被封锁。 N_1 和 R_1 组成源极跟随器。

门 1 和门 2 组成 R-S 触发器。

当 VCO 输入电压大于 N_1 的开启电压时，流经 P_1 管的电流 I_1 在 P_2 管形成镜象电流 I_2 ，且 $I_1=I_2$ ；由于 P_2 工作在饱和区，流经 P_2 的电流 I_3 为恒流源。

C_1 为外接电容。由于 R-S 触发器的作用，使 P_4 和 N_2 或 P_5 和 N_3 组成的开关接通、断开，也使恒流源对 C_1 充或放电，这样便形成了振荡，其振荡频率 f_{cec} 如式（5-1）所示

$$f_{cec} = \frac{I_3}{4C_1V_{TR}} \approx \frac{I_3}{8C_1} \quad (5-1)$$

（5-1）式中： I_3 为流经 P 的电流（如图 5-1 所示）； C_1 为外接电容； V_{TR} 为门电路

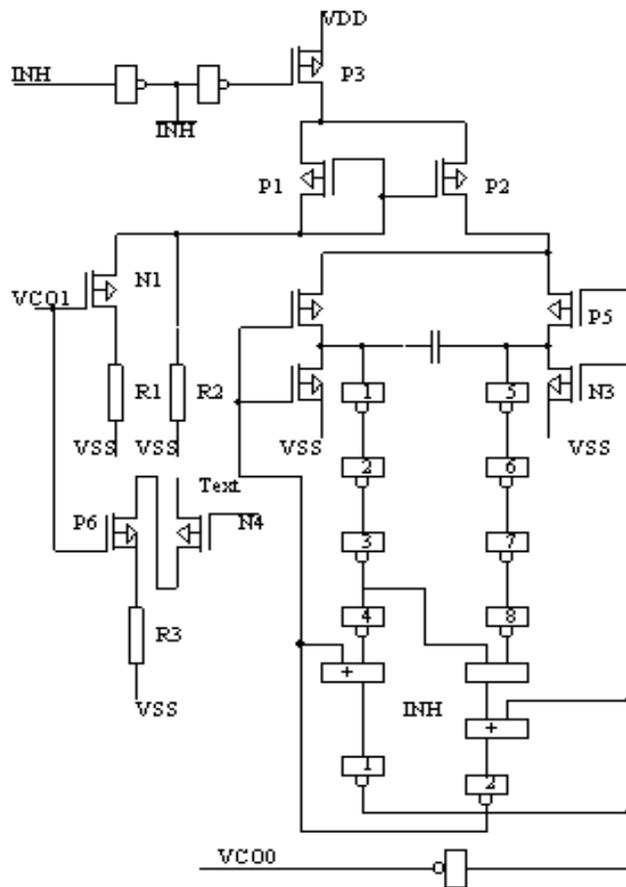


图 5-1 VCO 压控振荡器内部电路

的转换电压。 I_3 受相位比较器输出电压的控制，如下式所示：

$$I_3 \approx \frac{V_d(t) - V_{cs}}{R_1} + \frac{V_{DD} - 2V_{TP1}}{R_2} \quad (5-2)$$

(5-2) 式中： $V_d(t)$ 为相位比较器输出电压；

R_1 、 R_2 为外接电阻；

V_{TP1} 为 P_1 的开启电压。

从上式可知，压控振荡器的频率和相位比较器的输出电压有关，也间接表述了输入信号电压和振荡频率的关系。

PLL 中尚有稳压二极管，以提供和外电路匹配的 4-6V 稳定电压。

2、基本锁相环电路工作原理

a、电路组成

图 5-2 是锁相环的基本组成框图，它主要由鉴相器 (PD)、环路滤波器 (LF) 和压控振荡器 (VCO) 组成。本实验系统中采用 4046 集成电路锁相环，该芯片包含鉴相器 (PD)、压控振荡器电路两部分，而环路滤波器 (LF) 由外接阻容元件构成。掌握这些部件的作用，工作原理和其特性的测试方法是分析和掌握锁相环的基础。

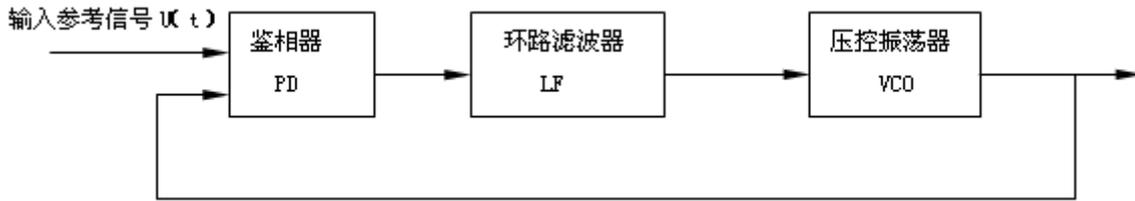


图 5-2 基本锁相环组成框图

图 5-3 是基本锁相环电原理图。

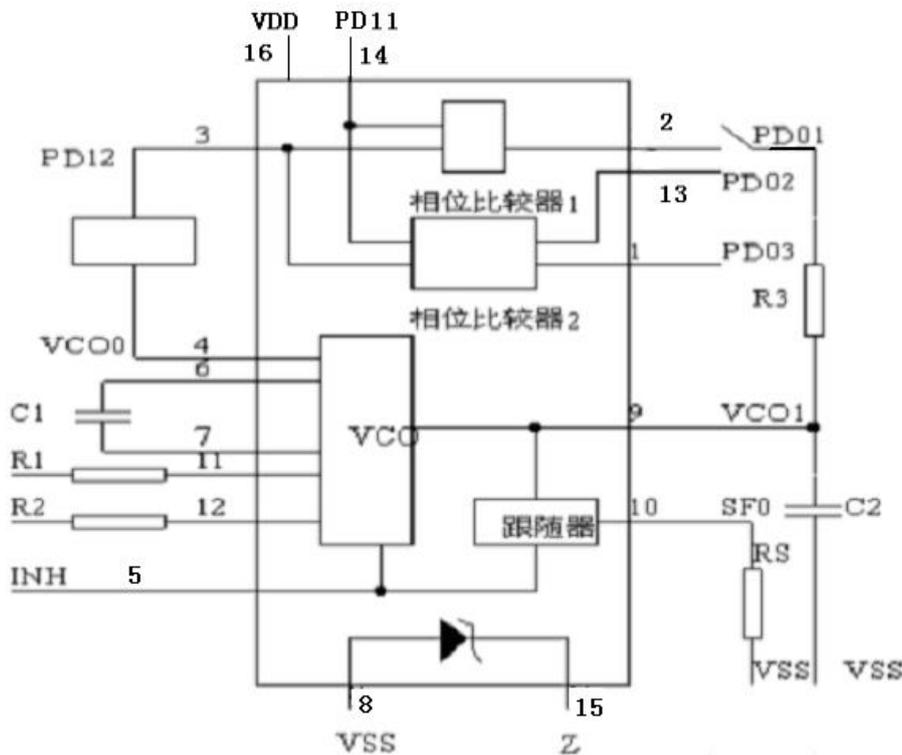


图 5-3 基本锁相环电原理图

b、电路基本工作原理

从图 5-3 可知，其中相位比较器 2 为四组边沿触发器。压控振荡器有跟随器，输入受到 INH 的控制。图中 PD (11-12) 为相位比较器输入；PD (01-03) 为相位比较器输出；VCO₁ 为压控振荡器输入；VCO₀ 为压控振荡器输出；INH 为禁止端，当 INH 为“1”电平时，禁止 VCO₀ 输出；Z 为内部提供的稳压管的负极；C₁ 为压控振荡器外接振荡电容端；R₁、R₂ (第 11、12 端) 则为压控振荡器外接电阻端；当 PLL 作解调等使用时，解调信号从 SF₀ 端输出。

(1) VCO 压控振荡器

它的基本工作原理上面已经叙述。

(2) 相位比较器

4046 锁相环集成电路内部含有两个相位比较器，其中相位比较器 1 为异或门（模二和结构）比较器，为使锁相范围最大，通常要求两个输入信号的 PD11, PD12 占空比必须为 50% 的方波。而相位比较器 2 为边沿控制式比较器，它只由两个信号的上升沿作用，因此不要求波形占空比为 50%。用相位比

较器 2 捕捉的范围与低通滤波器的 RC 数值无关，其锁定范围可以等于捕捉范围，即如下式所示：

$$f_{LR}=f_{CR}$$

相位比较器 1 和相位比较器 2 具有公共输入端，他们的输出端分别为第 2 和第 13 脚，这样可便于选择使用。

由于本实验系统电路中基本锁相环实验电路与锁相式数字频率合成器实验电路二者均组合在一起，因此相位比较器的比较信号 U_V 来自程序分频电路，（占空比不是 50%），所以本实验电路选用相位比较器 2。

该比较器不仅具有鉴相功能，而且也具有鉴频功能，当两个输入信号 U_R 、 U_V 频差很大时，输出极 N_1 场效应管或 P_1 场效应管始终导通，从而将 PD02 端与 V_{SS} 或 V_{DD} 接通，使后极 RC 低通滤波器，快速放电或充电，导致 f_0 很快接近 f_R ，等到 $f_v=f_R$ 时，环路从鉴频工作状态自动转入鉴相工作状态，这种数字鉴相器把鉴频和鉴相密切结合在一起，使用方便。

（3）环路低通滤波器

相位比较器 2 输出的相位误差电压是周期性脉冲波形，需要使用环路滤波器将它平滑后输出一个直流控制电压，去控制 VCO 的频率和相位，使之向减小误差的方向变化，从而消除频差与相差达到锁定状态。而高频噪声及其它交流谐波分量将受到滤波器的抑制。

3、锁相式数字频率合成器工作原理

（1）电路组成

锁相式数字频率合成器的框图见 5-4

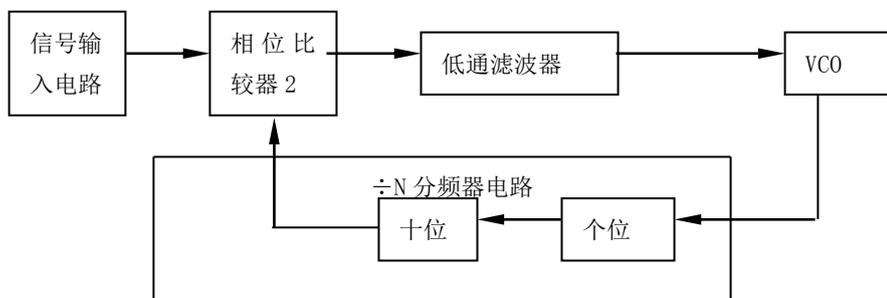


图 5-4 锁相式数字频率合成器电路框图

（2）电路的工作原理

关于相位比较器、VCO 压控振荡器、低通滤波器已在上面说过，这里不再重复。

$\div N$ 分频器是锁相式数字频率合成器主要单元电路之一。本电路采用反馈封锁的办法，实现了使用极少的器件控制着众多频率（即从 1KHz~99KHz 共 99 个频率点、频率间隔为 1KHz）的灵活转换功能。实验模块上的 U01、U02 为两级可预置分频器，全部采取可预置 BCD 码同步 1/N 计数器 CD4522，每级的分频比由拨码开关 SW01、SW02 选择。U01、U02 分别对应着分频比 N 的十位、个位分频器，U01、U02 的输入端由 SW01、SW02 分别以 BCD 码形式置入分频比的十位数、个位数，BCD 码与十进制数的对应关系如表 5-1 所示。

表 5-1 十进制数与 8421BCD 码对应关系

BCD 码	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001
十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

使用时按所需分频比 N 预置好 SW01、SW02 的输入数据。

$$f_0 = N \cdot f_R$$

当程序分频器的分频比 N 置成 1，也就是把 SW01 断开，SW02 置成“0001”状态，或者不接入两级程序分频器，即把压控振荡器 VCO 的输入端用导线直接连接到相位比较器 2 的比较信号输入端第三引脚 PD12，这时，该电路就是一个基本锁相环电路。

此时，设压控振荡器产生频率为 f_0 的输出信号 U_0 。经程序分频器 TN 后，得到频率 f_v 的比较信号 U_v ，送至相位比较器 2 的第 3 引脚 PD12 端，这两个信号在相位比较器 2 中进行比较。当锁相环锁定后，可得到：

$$f_R = f_v \quad (5-3)$$

其中
$$f_v = f_0 / N \quad (5-4)$$

代入得
$$f_R = f_0 / N \quad (5-5)$$

移项得
$$f_0 = N \cdot f_R \quad (5-6)$$

由此可知，当 f_R 固定不变时，改变两级程序分频器的分频比 N ，VCO 的振荡频率（也就是频率合成器的输出频率 f_0 ）也得到相应的改变。

这样，只要输入一个固定信号频率 f_R ，即可得到一系列所需要的频率，其频率间隔等于 f_R ，这里为 1KHz。对选择不同的 f_R ，则可以获得不同的 f_R 的频率间隔。

本实验中，外加信号从信号输入点“CLK-IN”输入。此外，锁相环模块中还包括一个用于产生不同频率方波的 555 电路。可通过调节标号为“频率调节”的电位器来改变其输出频率。该电路输出的方波经过 U05（74HC74）触发后，成为占空比为 50% 的方波。

四、实验步骤

- 1、将信号源模块、锁相环模块小心地固定在主机箱中，确保电源接触良好。
- 2、插上电源线，打开主机箱右侧的交流开关，再分别按下两个模块中的开关 POWER1、POWER2，对应的发光二极管 LED01、LED02 发光，按一下信号源模块的复位键，两个模块均开始工作。（注意，此处只是验证通电是否成功，在实验中均是先连线，后打开电源做实验。不要带电连线）

3、基本锁相环实验

(1) 观察环路的同步过程

锁相环在锁定状态下，如果输入信号参考频率 f_k 保持不变，而 VCO 的振荡频率 f_o 发生漂移从而导致输出信号频率 $f_v \neq f_k$ 时，然后在环路的反馈控制作用下，使 f_o 恢复保持 $f_v = f_k$ 的状态，这种过程叫同步过程。

实验方法：观察锁相环模块上的点“CLK-OUT”的波形，调节标号为“频率调节”的电位器，使该点输出波形的频率为 100KHz。用连接线连接信号输出点“CLK-OUT”和信号输入点“CLK-IN”。用双踪示波器的探头分别测试输入信号（CLK-IN）和分频后的信号（VCO-OUT），示波器上同时显示两处的波形。将 SW03 设置为 11100100，SW01、SW02 分别设置为 0000 0001 状态，即将分频器的分频比设置为 1。实验电路的锁相环即成为基本锁相环，其

$$f_v = f_o / N = f_o / 1 = f_o$$

可以看到，这时 f_v 经过环路的反馈控制，将偏离前项测出的 f_o 的参考值而趋向于 f_k ，直至 f_v 也等于外接信号源的参考频率值 100KHz。这就是同步过程，基本锁相环被外加信号源锁定在 f_k 的频率上。

(2) 观察环路的跟踪过程

锁相环进入锁定状态后，如果 f_v 不变，输入参考频率发生漂移，则在环路的反馈控制作用下，是 f_o 跟着 f_k 的变化而变化，以保持 $f_v = f_k$ 的环路锁定状态。这种过程叫做跟踪过程。

实验方法：在上面实验的基础上将输入信号的频率逐次改变（调节标号为“频率调节”的电位器），每改变一次 f_k ，观察 f_v 的数值，并观察 f_v 跟踪 f_k 的变化 $f_v = f_k$ 的状态。

(3) 观察环路的捕捉过程

锁相环在初始失锁状态下，通过环路反馈控制作用，使 VCO 的振荡频率 f_o 调整 $f_v = f_k$ 的状态，这个过程称为捕捉过程。

实验方法：电路连接同前项，改变输入信号的频率（调节标号为“频率调节”的电位器），使环路处于失锁状态，然后再增加（减小）输入的频率，直到 $f_v = f_k$ 时即 f_k 捕捉到了 f_v 环路进入锁定状态。

(4) 测量环路的同步带与捕捉带

实验方法：电路连接同上，将锁相环锁定在 100KHz。

A、慢慢增加输入信号 f_k 的频率（调节标号为“频率调节”的电位器），直至环路失锁时频率为 f_1 ，此时 f_1 为同步带的最高频率。

B、慢慢减小输入信号 f_k 的频率，直至环路锁定时频率为 f_2 ，此时 f_2 为捕捉带的最高频率。

C、继续减小输入信号 f_k 的频率，直至环路再次失锁时频率为 f_3 ，此时 f_3 为同步带的最低频率。

D、慢慢增加输入信号 f_k 的频率，直至环路再次锁定时频率为 f_4 ，此时 f_4 为捕捉带的最低频率。

4、数字频率合成器实验

(1) 测量参考信号 U_r 的频率和波形：

使信号源模块的信号输出点“BS”输出频率为 1KHz 的信号，连接信号源模块的信号输出点“BS”和锁相环模块的信号输入点“CLK-IN”，用示波器测量信号输入点“CLK-IN”点的波形，应是频率为 1KHz 的方波。

(2) 测量频率合成器输出信号的波形：

将 SW03 设置为 11100000,用示波器测量信号输出点“VCO-OUT”。频率合成器的输出即 VCO 的输出,其波形应为 $f = N \cdot f_k$ 的占空比为 50% 的方波。

(3) 输出频率(或分频比)的置换功能:

通过改变预置开关 SW01、SW02,依次变换分频比的十位数和个位数,观察 N 改变时,输出频率是否满足 $f_o = N \cdot f_k$ 的关系。

(4) 检查最大分频比:

将 SW03 设置为 11110000, SW01、SW02 设置为 0000 0001,逐渐增大 N 的数值,当输入频率不符合 $f_o = N \cdot f_k$ 的关系时,表示 f_k 已不能锁定 VCO 的频率,那么频率合成器已不能正常工作,此时的 N 值即为该频率合成器的最大分频比。

(5) 测试元器件数值变化对频率合成器分频比的影响:

改变 SW03 的接入(其电容值有: 220pf、470pf、1500pf、3300pf,电阻值有: 10K Ω 、33K Ω 、68K Ω 、100 K Ω ,分别对应拨码开关 SW03 的 1~8 位),测试元器件数值变化对频率合成器分频比的影响(不同元件数值可以改变频率合成器分频比的范围)。

五、数据处理

- 1、分析实验电路的工作原理,叙述其工作过程;
- 2、根据实验测试记录,在坐标纸上画出各测量点的波形图,并分析实验现象。

六、问题思考

- 1、本锁相环电路中,若要扩大捕捉带,可采取什么措施?
- 2、若频率合成器输出范围从 0~9999,且用 CD4522 作程序分频器,如何连接?

实验六 时分复用与解复用实验

一、实验目的

- (1) 掌握时分复用的概念；
- (2) 了解时分复用与解复用系统的构成及工作原理；
- (3) 了解时分复用的优点与缺点；
- (4) 了解时分复用在整个通信系统中的作用。

二、实验仪器

信号源模块、时分复用模块、模拟信号数字化模块、20M 双踪示波器（一台）、连接线（若干）

三、实验原理

在实际的通信系统中，为了提高通信系统的利用率，往往用多路通信的方式来传输信号。所谓多路通信，就是指把多个不同信源所发出的信号组合成一个群信号，并经由同一信道进行传输，在收端再将它分离并将它们相应接收。时分复用就是一种常用的多路通信方式。时分复用是建立在抽样定理基础上的，因为抽样定理使连续的基带信号有可能被在时间上离散出现的抽样脉冲所代替。这样，当抽样脉冲占据较短时间时，在抽样脉冲之间就留出了时间空隙。利用这些空隙便可以传输其他信号的抽样值，因此，就可能用一条信道同时传送若干个基带信号，并且每一个抽样值占用的时间越短，能够传输的路数也就越多。图 6-1 表示的是两个基带信号在时间上交替出现。显然这种时间复用信号在接收端只要在时间上恰当地进行分离，各个信号就能分别得到恢复。这就是时分复用的概念。此外，时分复用通信系统有两个突出的优点，一是多路信号的汇合与分路都是数字电路，简单、可靠；二是时分复用通信系统对非线性失真的要求比较低。

然而，时分复用系统对信道中时钟相位抖动及接收端与发送端的时钟同步问题提出了较高的要求。所谓同步是指接收端能正确地从数据流中识别各路序号。为此，必须在每帧内加上标志信号（即帧同步信号）。它可以是一组特定的码组，也可以是特定宽度的脉冲。在实际通信系统中还必须传递信令以建立通信连接，如传送电话通信中的占线、摘机与挂机信号以及振铃信号等信令。上述所有信号都是时间分割，按某种固定方式排列起来，称为帧结构。采用时分复用的数字通信系统，在国际上已逐步建立其标准。原则上是把一定路数电话语音复合成一个标准数据流（称为基群），然后再把基群数据流采用同步或准同步数字复接技术，汇合成更高速的数据信号，复接后的序列中按传输速率不同，分别成为一次群、二次群、三次群、四次群等等。

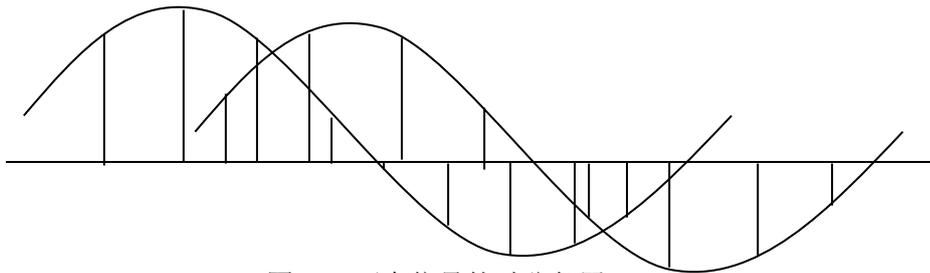
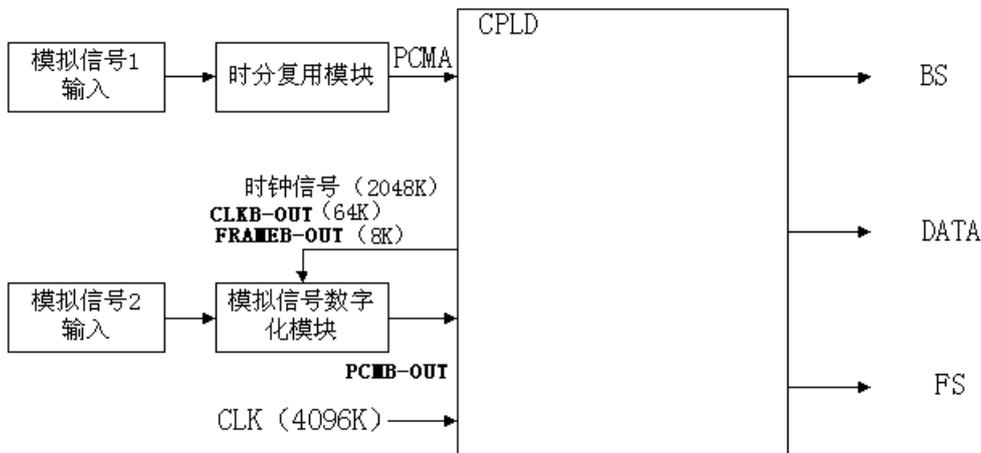


图 6-1 两个信号的时分复用

下面是时分复用与解复用原理框图：

1、调制原理框图



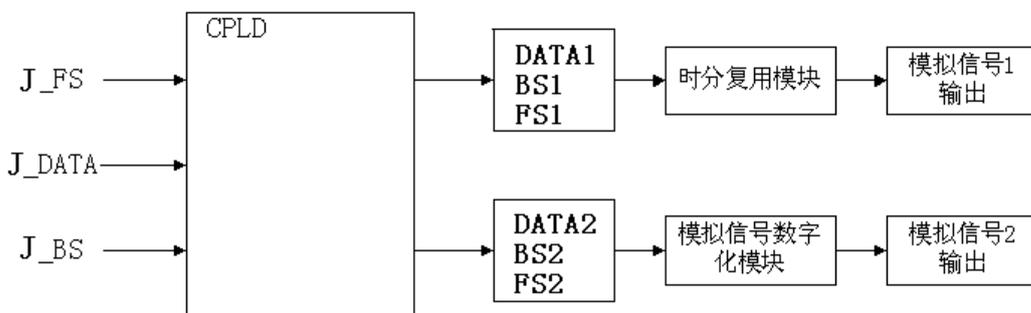
本实验中，第一路模拟信号送入时分复用模块，第二路模拟信号送入模拟信号数字化模块，分别在这两个模块中进行 PCM 编码，得到两路 PCM 码（PCMA 和 PCMB-OUT），其中模拟信号数字化模块中需要的时钟信号（2048K）、CLKB-OUT（64K）、FRAMEB-OUT（8K）由时分复用模块中 CPLD 电路对 CLK（4096K）分频得到。

这两路 PCM 编码信号再同帧同步码（7 位的巴克码）进行时分复用，得到包含四路数据（第四路为空数据即输出的码型为 0），一帧为 32 位数据的时分复用信号。

时分复用是通过时钟信号对移位寄存器构成的并/串转换电路的输出信号轮流进行选通而实现的，时分复用输出的位同步信号 BS 为 256K，帧同步信号 FS 为 8K，时分复用输出信号每一帧由 32 位组成，如下图所示：



2、解制原理框图



在解调的 CPLD 电路中，先把 32 位复用信号分成四路数据，然后通过移位寄存器构成的并/串转换电路输出串行的数据。经过 CPLD 电路后得到的一路 DATA1、BS1、FS1 输入时分复用模块的 PCM 解码电路，从而解调得到模拟信号 1；另一路 DATA2、BS2、FS2 输入模拟信号数字化模块的 PCM 解码电路，从而解调得到模拟信号 2。

四、实验步骤

- 1、将信号源模块、时分复用模块、模拟信号数字化模块小心地固定在主机箱中，确保电源接触良好。
- 2、插上电源线，打开主机箱右侧的交流开关，再分别按下三个模块中的相应开关 POWER1、POWER2，对应的发光二极管 LED01、LED02 发光，按一下信号源模块的复位键，三个模块均开始工作。（注意，此处只是验证通电是否成功，在实验中均是先连线，后打开电源做实验，不要带电连线）
- 3、时分复用模块的 Sin-IN 连接信号源测试点“模拟输出”输出的正弦信号，模拟信号数字化模块的 S-IN 连接方法同上或另接外部输入音频信号。

- 4、用连接线把时分复用模块和模拟信号数字化模块对应的连接孔连起来。

时分复用模块		模拟信号数字化模块
FRAMEB-OUT	——	FRAMEB-IN
CLKB-OUT	——	CLKB-IN
2048K-OUT	——	2048K-IN
DATA2-IN	——	PCMB-OUT

- 5、用连接线连接时分复用模块的 DATA1-IN 和 PCMA，用示波器分别观察“DATA1-IN”和“DATA2-IN”，看两路模拟信号 PCM 编码是否正确。
- 6、设置“SW01”的第一位为 1，第 2~8 位为巴克码 1110010（或任意码型），即帧同步信号，用示波器分别观察“DATA”、“BS”、“FS”信号。“DATA”是“SW01”、“DATA1-IN”、“DATA2-IN”、“全零”的复用信号，“BS”的频率为“CLKB-OUT”频率的四倍，“FS”的频率与“FRAMEB-OUT”相同。
- 7、用连接线连接时分复用模块上“DATA”和“J-DATA”，“BS”和“J-BS”，“FS”和“J-FS”。用示波器分别观察“DATA1”、“BS1”、“FS1”与“DATA2”、“BS2”、“FS2”信号；其中“BS1”与“BS2”信号完全一样，且频率为“BS”信号的四分之一，“FS1”与“FS2”信号完全一样，且频率与“FS”信号一样。

- 8、用连接线连接

时分复用模块上

DATA1	——	PCM1-IN
BS1	——	CLK1-IN
FS1	——	FRAME1-IN

把时分复用模块和模拟信号数字化模块对应的连接孔连起来

时分复用模块		模拟信号数字化模块
DATA2	——	PCM2-IN
BS2	——	CLK2-IN
FS2	——	FRAME2-IN

- 9、用示波器观察时分复用模块上“Sin-OUT”与模拟信号数字化模块上“JPCM”两 PCM 解调信号波形。

五、数据处理

- 1、分析实验电路的工作原理，叙述其工作过程；
- 2、根据实验测试记录，在坐标纸上画出各测量点的波形图，并分析实验现象。

六、问题思考

- 1、认真阅读教材中的相关内容，回答时分复用的概念。
- 2、分析本实验中时分复用信号的产生原理，再自行设计一个时分复用信号产生电路，画出电路图并分析电路工作原理。

现代通信原理实验系统介绍

通信原理课程是一门理论性与实践性都很强的专业基础课。如何加强理论课程的学习，加深学生对本课程中的基本理论知识及基本概念的理解，提高学生理论联系实际的能力，如何培养学生实践动手能力和分析解决通信工程中实际问题的能力是通信原理教学的当务之急。而通信原理实验课程就是一种重要的教学手段和途径。本通信原理实验系统将通信原理的基础知识灵活地运用在实验教学环节中。可独立也可组合、综合实施多项实验或示教。本实验系统力求电路原理清楚，重点突出，实验内容丰富。其电路设计构思新颖、技术先进、波形测量点选择准确，具有一定的代表性。同时，注重理论分析与实际动手相结合，以理论指导实践，以实践验证基本原理，旨在提高学生分析问题、解决问题的能力及动手能力，并通过有目的地选择完成实验项目及二次开发，使学生进一步巩固理论知识，建立完整的通信系统的概念。

实验注意事项

- 1、 本实验系统接通电源前请确保电源插座接地良好。
- 2、 除信号源模块外，其它实验模块平时应保存在保管箱中，注意防潮、防尘。在实验完毕后应尽快将实验模块放入保管箱中保存。
- 3、 从保管箱中取出或放入实验模块应轻拿轻放，实验模块的两侧应与保管箱插槽对准方可取出或插入实验模块，切勿用蛮力。
- 4、 每次安装实验模块之前应确保主机箱右侧的交流开关处于断开状态。为保险起见，建议拔下电源线后再安装实验模块。
- 5、 安装实验模块时，应先将模块左侧卡口与固定槽中的定位卡对齐，再轻轻压下实验模块，然后在实验模块右侧用胶木螺钉固定。应确保固定槽中的电源插针与实验模块底部的电源接口接触良好，无短路和断路，手旋螺钉也不应固定得过紧，以免压坏实验模块表面或造成短路，经过仔细检查后方可通电实验。
- 6、 各实验模块上的双刀双掷开关、轻触开关、微动开关、拨码开关、手旋电位器均为磨损件，请不要频繁按动或旋转。
- 7、 请勿直接用手触摸芯片、电解电容等元件，以免造成损坏。
- 8、 各模块中的 3362 电位器（蓝色正方形元件）是出厂前调试使用的。出厂后的各实验模块功能已调至最佳状态，勿需另行调节这些电位器，否则将会对实验结果造成严重影响。若已调动请尽快复原；若无法复原，请与指导老师或直接与我公司联系。
- 9、 在关闭各模块电源之后，方可进行连线。连线时在保证接触良好的前提下应尽量轻插轻拔，检查无误后方可通电实验。拆线时若遇到连线与孔连接过紧的情况，应用手捏住连线插头的塑料线端，左右摇晃，直至连线与孔松脱，切勿用蛮力强行拔出。
- 10、 并口下载线和串口线应轻插、轻拔，以免折断插针。
- 11、 按动开关或转动电位器时，切勿用力过猛，以免造成元件损坏。
- 12、 本实验系统中的工具模块（信号源模块、频谱分析模块、终端模块）在完成本身实验功能的基础上，主要是为其它实验模块服务的。各工具模块的使用方法我们都做了详细的介绍，希望同学们能灵活运用这些工具模块，达到最好的实验效果。