

实验一 脉冲振幅 (PAM) 调制与解调系统实验

一、实验目的

1. 通过脉冲幅度调制与解调实验，加深理解脉冲幅度调制与解调的特点。
2. 通过PAM系统实验，掌握PAM系统的电路组成与工作原理，建立PAM通信系统的概念。
3. 通过验证抽样定理实验，加深理解和掌握抽样定理。

二、实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 函数信号发生器 | 一台 |

三、实验任务与要求

1. 基本实验

1.1 实验原理和电路说明

抽样定理在通信系统、信息传输理论方面占有十分重要的地位。抽样过程是模拟信号数字化的第一步，抽样性能的优劣关系到通信设备整个系统的性能指标。利用抽样脉冲把一个连续信号变为离散时间样值的过程称为抽样，抽样后的信号称为脉冲调幅 (PAM) 信号。

抽样定理指出，一个频带受限信号 $m(t)$ ，如果它的最高频率为 f_h ，则可以唯一地由频率等于或大于 $2f_h$ 的样值序列所决定。在满足抽样定理的条件下，抽样信号保留了原信号的全部信息。并且，从抽样信号中可以无失真地恢复出原始信号。

通常将语音信号通过一个3400 Hz 低通滤波器（或通过一个300~3400Hz 的带通滤波器），限制语音信号的最高频率为3400Hz，这样可以用频率大于或等于6800 Hz 的样值序列来表示。语音信号的频谱和语音信号抽样频谱见图1.1 和图1.2 所示。从语音信号抽样频谱图可知，用截止频率为 f_h 的理想低通滤波器可以无失真地恢复原始信号 $m(t)$ 。



图 1.1 语音信号频谱

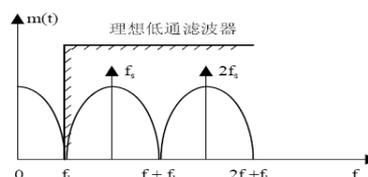


图 1.2 语音信号的抽样频谱

实际上，设计实现的滤波器特性不可能是理想的，对限制最高频率为3400Hz 的语音信号，通常采用8KHz 抽样频率。这样可以留出一定的防卫带（1200Hz），参见图1.3 所示。当抽样频率 f_s 低于2 倍语音信号的最高频率 f_h ，就会出现频谱混迭现象，产生混迭噪声，影响恢复出的语音质量，原理参见图1.4 所示。

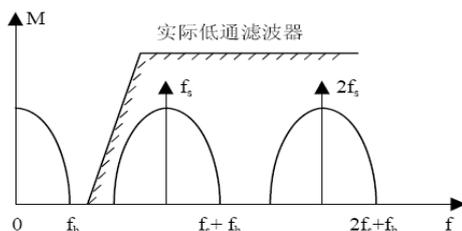


图 1.3 留出防卫带的语音信号的抽样频谱

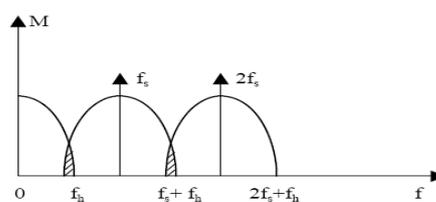


图 1.4 $f_s < 2f_h$ 时语音信号的抽样频谱

在抽样定理实验中，采用标准的8KHz 抽样频率，并用函数信号发生器产生一个频率为 f_h 的信号来代替实际语音信号。通过改变函数信号发生器的频率 f_h ，观察抽样序列和低通滤波器的输出信号，检验抽样定理的正确性。PAM调制与解调系统电路组成如图1.5 所示。

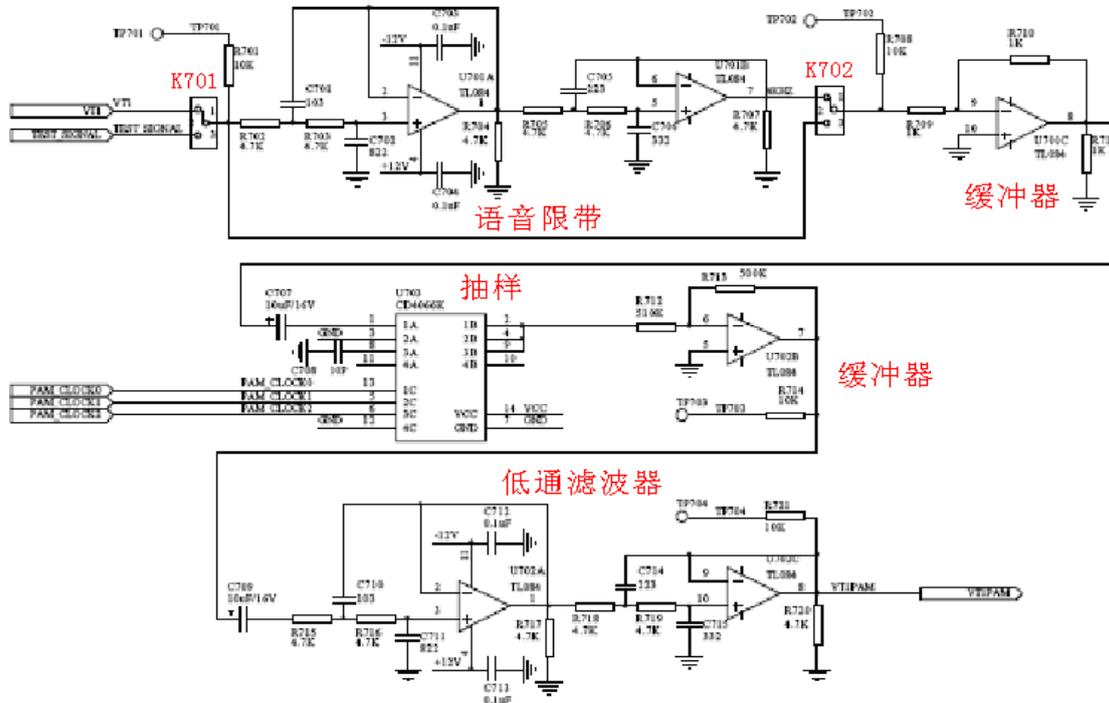


图1.5 PAM调制与解调系统电路原理图

电路原理描述：

输入信号首先经过信号选择跳线开关K701，当K701 设置在N 位置时（左端），输入信号来自电话接口1模块的发送语音信号；当K701 设置在T 位置时（右端），输入信号来自测试信号。测试信号可以选择外部测试信号或内部测试信号，由交换模块DTMF1内的跳线开关K001控制转换。当设置在1_2 位置（左端）时，选择内部1KHz 测试信号；当设置在2_3 位置（右端）时选择外部测试信号。测试信号从J005 模拟测试端口输入，抽样定理实验采用外部测试信号输入。

运放U701A、U701B（TL084）和周边阻容器件组成一个3dB 带宽，截止频率 f_H 为3400Hz的低通滤波器，用于限制最高的语音信号频率。信号经运放U701C 缓冲输出，送到U703（CD4066）模拟开关。

模拟开关U703（CD4066）通过抽样时钟完成对信号的抽样，形成抽样序列信号。信号经运放U702B（TL084）缓冲输出。

运放U702A、U702C（TL084）和周边阻容器件组成一个3dB 带宽，截止频率 f_H 为3400Hz的低通滤波器，用来恢复原始信号。跳线开关K702 用于选择输入滤波器，当K702 设置在F（左端）位置时，信号经过3400Hz 的低通滤波器；当K702 设置在NF（右端）位置时，信号不经过抗混迭滤波器直接送到抽样电路，其目的是为了观测混迭现象。

设置在交换模块内的跳线开关KQ02 为抽样脉冲选择开关：设置在H（左端）位置为平顶

抽样，平顶抽样是通过采样保持电容来实现的，且 $\tau = T_s$ ；设置在NH（右端）为自然抽样，为便于恢复出的信号观测，此抽样脉冲略宽，只是近似自然抽样。平顶抽样有利于解调后提高输出信号的电平，但却会引入信号频谱失真 $\frac{\text{Sin}(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2}$ ， τ 为抽样脉冲宽度。通常在实际设备里，收端必须采用频率响应为 $\omega\tau/2 / \text{Sin}(\omega\tau/2)$ 的滤波器来进行频谱校准，抵消失真。这种频谱失真称为孔径失真。

该电路模块各测试点安排如下：

- 1、 TP701：输入模拟信号
- 2、 TP702：经滤波器输出的模拟信号
- 3、 TP703：PAM信号
- 4、 TP704：恢复模拟信号
- 5、 TP504：抽样序列

1.2 基本实验内容与方法步骤

实验准备工作：

将交换模块内的抽样时钟模式开关KQ02 设置在NH（右端）位置，将测试信号选择开关K001 设置在外部测试信号输入2_3（右端）位置。将PAM模块中的：K701设置在T（右）位置，K702设置在F（左）位置。

1.2.1. 自然抽样 PAM 信号产生与测量

测试电路组成框图与信号输入/输出测量点如图1.6 所示，请在电路框图中标明各单元电路名称和各测量点用途。

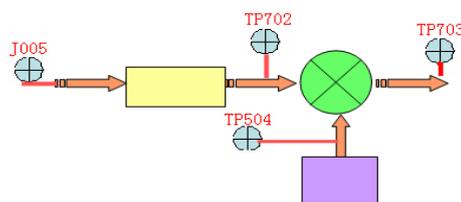


图1.6 测试电路组成框图

实验步骤：

- ① 模拟信号产生：调整函数信号发生器为正弦波输出：频率为1000Hz、输出电平为2V_{p-p}的测试信号。送入电话模块1信号测试端口J005和J006(地)，并用示波器观测并记录。
- ② 抽样脉冲产生与测量：用示波器测量并记录TP504（DPCM1模块）信号波形。
- ③ 用示波器分别测量并记录：J005、TP701、P703信号波形，以TP701做同步。注意标明此时PAM信号的抽样点数。
- ④ 调整函数信号发生器为正弦波输出：频率分别为500Hz、2000HZ，输出电平为2V_{p-p}。分别观测并记录PAM信号的抽样点数，说明PAM信号的抽样点数与抽样脉冲的关系。

1.2.2 自然抽样 PAM 解调信号的观测

测试电路组成框图与信号输入/输出测量点如图1.7所示，请在电路框图中标明各单元电路名称和各测量点用途。

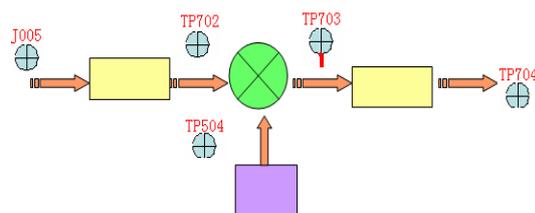


图1.7 测试电路组成框图

实验步骤：

- ① 保持以上各开关设置不变。
- ② 调整函数信号发生器为正弦波输出：频率为1000Hz/电平为2V_{p-p}，以J005输入信号

做同步, 观测记录TP704端点的信号波形。注意原始信号与解调信号的差异。

1.2.3 平顶抽样 PAM 信号产生与测量

实验步骤：

① 保持以上设置不变, 仅将交换模块 (DTMF2) 内的抽样时钟模式开关KQ02 设置在H位置 (左端)。

② 方法同1 测量, 请同学自拟测量方案。记录测量波形, 与自然抽样测量结果做比较。

1.2.4 平顶抽样 PAM 解调信号的观测

实验步骤

① 保持以上设置不变。

② 调整函数信号发生器为正弦波输出: 频率为1000Hz/电平为2V_{p-p}, 以J005输入信号做同步, 观测记录TP704端点的信号波形并与自然抽样解调测量结果对比分析平顶抽样的测试结果。

5. 抽样定理的验证与观测

测试电路组成框图与信号输入/输出测量点如图1.8所示, 请在电路框图中标明各单元电路名称和各测量点用途。

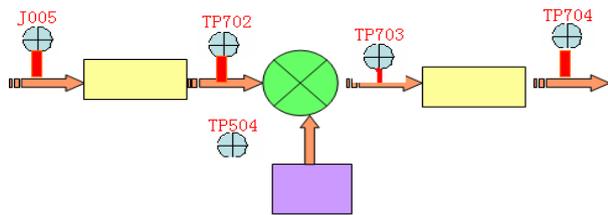


图1.8 测试电路组成框图

实验步骤：

① 将K702设置在NF (“右”不用滤波器)位置。将交换模块中的KQ02设置在NH (“右”自然抽样)位置。

② 按表中所列数据分别输入电平均为2V_{p-p}的测试信号送入信号测试端口J005和J006。

③ 观测TP704, 测试记录输入/输出信号波形, 分析解释当输入信号频率不同时, 测量结果变化的原因。掌握抽样定理的正确性。

输入频率	300	500	1000	1500	2000	3000	3500	4000	4500
输出波形									

2. 扩展实验

在完成并熟悉了PAM调制与解调系统基本实验的基础上, 利用EWB仿真软件, 合理地选择PAM调制与解调系统单元电路, 采用不同的抽样门电路, 实现PAM调制与解调功能。

2.1 仿真电路

本仿真实验仅提供了一种适合于 EWB 仿真的典型 PAM 调制与解调系统电路, 并模拟了两路 PAM 通信系统。从而帮助实验者初步了解时分复用的通信方式。其电路组成框图如图 1.9 所示。

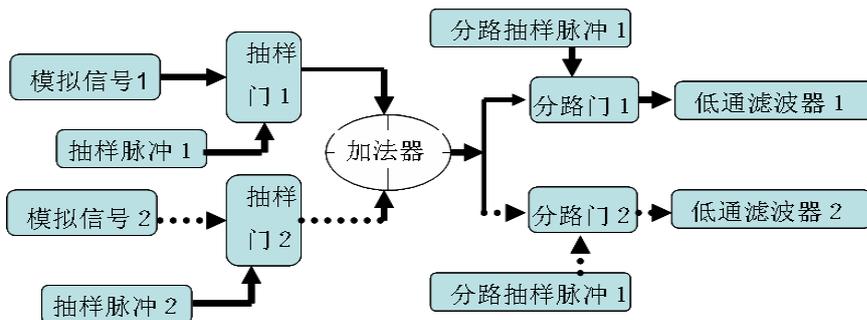


图 1.9 两路 PAM 调制与解调系统电路组成框图

多路时分复用 PAM 调制的基本原理，是利用频率、幅度相同，但在时间上互不交叉，排列有序的抽样脉冲控制抽样门，使之在规定的周期时间内输出模拟信号，从而产生 PAM 信号。解调时，接收端必须恢复与发送端同频同相且排列有序的分路抽样脉冲，控制分路门，其输出经低通滤波器，即实现了对 PAM 信号的解调。由于分路脉冲的宽度 τ_s 是很窄的，当占空比为 τ_s / T_s 的脉冲通过话路低通滤波器后，低通滤波器输出信号很小，这样大的衰减带来的后果是严重的，但是，若在分路门选通后加入保持电容，可使分路后的 PAM 信号展宽到 100% 的占空比，从而解决了信号幅度衰减过大的问题，但平顶抽样将引起固有的频率失真。

实际的两路 PAM 调制与解调系统的电路原理图如图 1.10 所示。

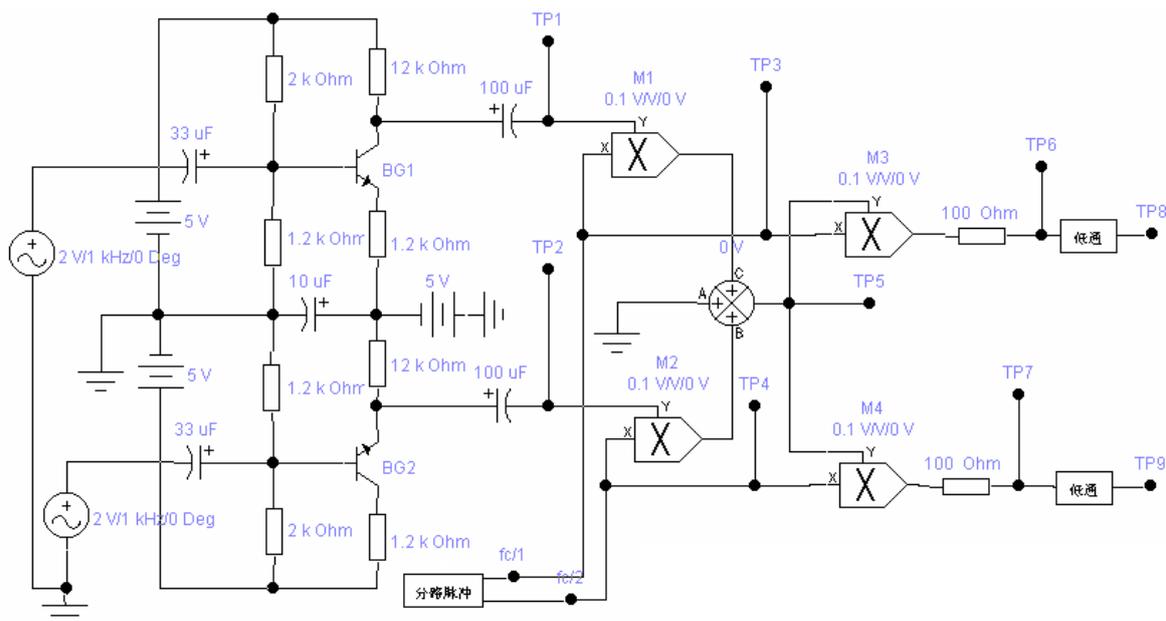


图 1.10 两路 PAM 调制与解调系统电路原理图

图中 GB1 和 BG2 与外围 RC 元件构成语音限幅电路。模拟乘法器 M1 与 M2 为两路抽样门，其输出如否受抽样脉冲控制。

抽样门或分路门，也可由场效应管组成的电子开关实现，其电路构成分别如图 1.11 和图 1.12 所示。两电路的区别仅分路门输出是以电容作负载，实现平顶抽样。

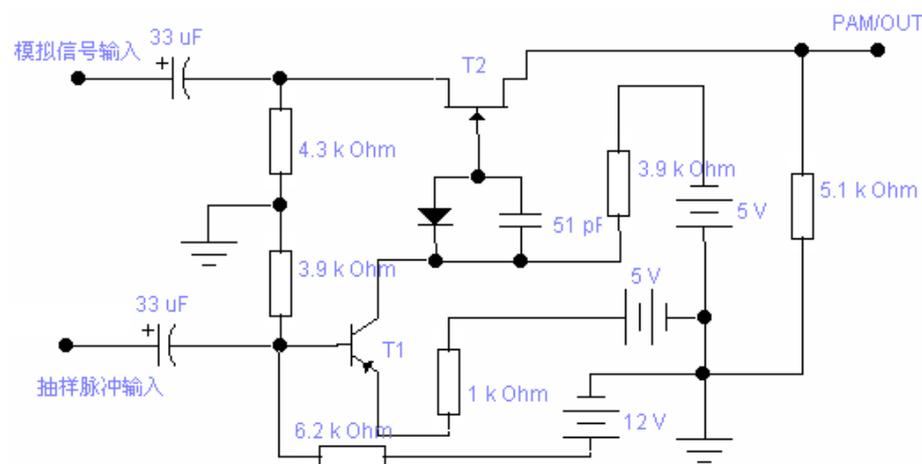


图 1.11 场效应管组成的电子开关抽样门电路图

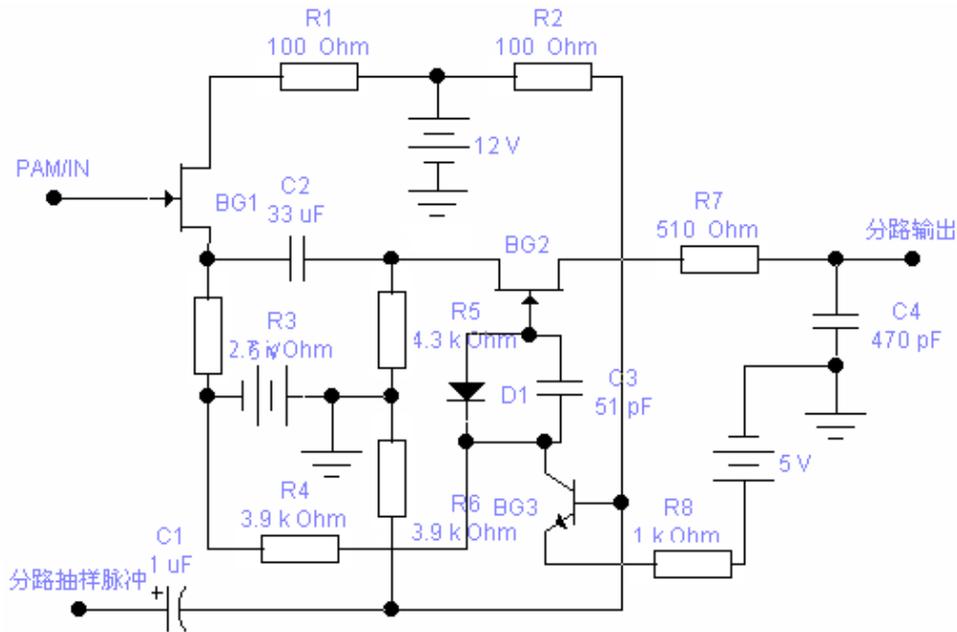


图 1.12 场效应管组成的电子开关分路门电路图

实际工程中，抽样脉冲应由抽样脉冲产生器提供，为简化实验电路，方便 EWB 模拟，特提供仿真电路，如图 1.13 所示，且收、发共用。

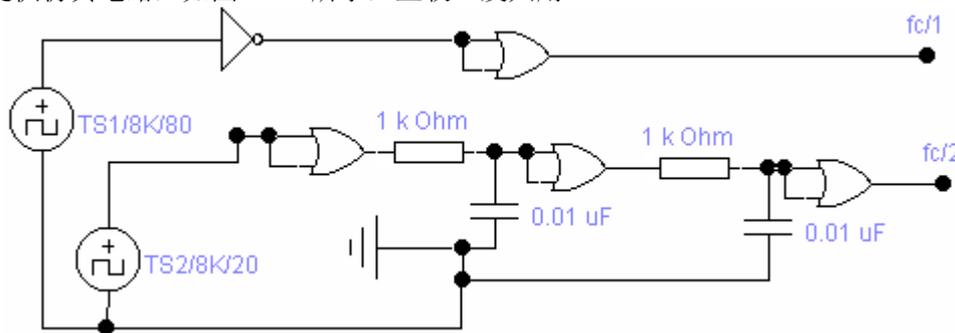


图 1.13 两路抽样脉冲产生电路

系统电路中的 JF 为加法器，可直接调用 EWB 软件中的加法器模型。M3 与 M4 两个模拟乘法器构成分路门，也可在 EWB 软件中直接调用。低通滤波器为有源二阶低通滤波器，电路如图 1.14 所示。

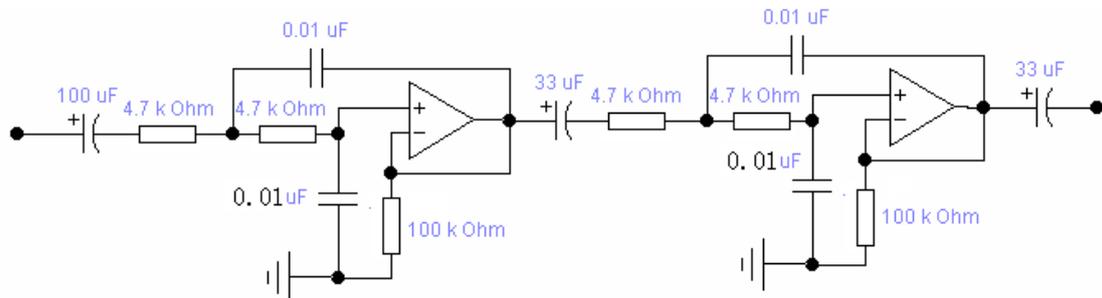


图 1.14 低通滤波器电路

2.2 扩展实验内容与方法步骤

参考图 1.10，选择适当的单元电路，建立 PAM 调制与解调系统实验电路，应做到电路连接无误后即可开始系统仿真。实验过程中，可自建测量点与数据记录表格。

2.1.1 两路模拟信号与两路抽样脉冲信号的测试

仿真条件:

模拟信号 1: 频率 1KHZ/2V_{p-p}, 正弦波

模拟信号 1: 频率 1KHZ/2V_{p-p}, 正弦波

抽样脉冲 1: 频率 8KHZ/5V_{p-p}, 方波, 占空比 80%

抽样脉冲 2: 频率 8KHZ/5V_{p-p}, 方波, 占空比 20%

① 分别观测并记录经两限幅器后的输出模拟信号 (TP1 与 TP2 点), 确保正确无误, 否则检查电路。

② 分别观测并记录经两延迟器后的抽样脉冲信号 (TP3 与 TP4 点), 确保正确无误, 否则检查电路。注意分析记录两抽样脉冲的间隔时间。

2.1.2 两路 PAM 信号产生与测试

以两路输入模拟信号中的一个 (TP1 或 TP2 点), 作为示波器的同步, 观测并记录经加法器合路后输出的 PAM 合成信号 (TP5 点), 体会时分复用概念。

2.1.3 两路 PAM 信号的解调测试

以两路输入模拟信号中的一个 (TP1 或 TP2 点), 作为示波器的同步, 分别观测并记录经两路分路门分路 (TP6 与 TP7 点) 与经两路低通滤波器滤波后输出的 (TP8 与 TP9 点) 恢复模拟信号, 注意比较原始输入信号与解调输出信号的差异, 说明原因。若使低通滤波器解调输出的信号幅度增大, 分路门电路应采取什么措施。

五、实验预习

1. 模拟信号数字化传输的优点是什么?
2. 什么是抽样与抽样定理?
3. 画出 PAM 调制与解调系统的电路组成框图。

六、实验报告

1. 整理实验数据, 画出测试波形。
2. 当 $f_s > 2f_h$ 和 $f_s < 2f_h$ 时, 低通滤波器输出的波形是什么? 总结一般规律。

实验二 脉冲编码(PCM) 调制与解调系统实验

一. 实验目的

1. 了解语音编码的工作原理, 验证 PCM 编译码原理;
2. 熟悉 PCM 抽样时钟、编码数据和输入/输出时钟之间的关系;
3. 了解 PCM 专用大规模集成电路的工作原理和应用;
4. 熟悉语音数字化技术的主要指标及测量方法;

二. 实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 函数信号发生器 | 一台 |
| 4. 音频信道传输损伤测试仪 | 一台 |

三. 实验任务与要求

1. 基本实验 脉冲编码(PCM) 调制与解调系统实验

1.1 实验原理与电路说明

所谓脉冲调制就是把一个时间连续、取值连续的模拟信号变换成时间离散、取值离散的数字信号后在信道中传输。

所谓脉码调制 PCM, 就是对模拟信号进行抽样, 量化、编码的过程。

所谓抽样, 就是对模拟信号进行周期性扫描, 把时间上连续的信号变成时间上离散的信号的过程。

所谓量化, 就是把经过抽样得到的瞬时值将其幅度离散, 即用一组规定的电平, 把瞬时抽样值用最接近的电平值来表示。

所谓编码, 就是用一组二进制码组来表示每一个有固定电平的量化值。然而, 实际上量化是在编码过程中同时完成的, 故编码过程也称为模/数变换, 可记作 A/D。由此可见, 脉冲编码调制方式就是一种传递模拟信号的数字通信方式。

本实验采用大规模集成电路 MC145540 对语音信号进行 PCM 编/解码。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, 每一帧数据为 8 位, 帧同步信号为 8KHz。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, 然后进行译码, 经过带通滤波器、放大器后输出。具体电路组成如图 2.1 所示。

由图可见, 它主要由语音编译码集成电路 U502 (MC145540)、运放 U501 (TL082)、晶振 U503 (2.048MHz) 及相应的跳线开关、电位器组成。

电路工作原理如下:

PCM 编译码模块中，由收、发两个支路组成，在发送支路上，发送信号经 U501A 运放放

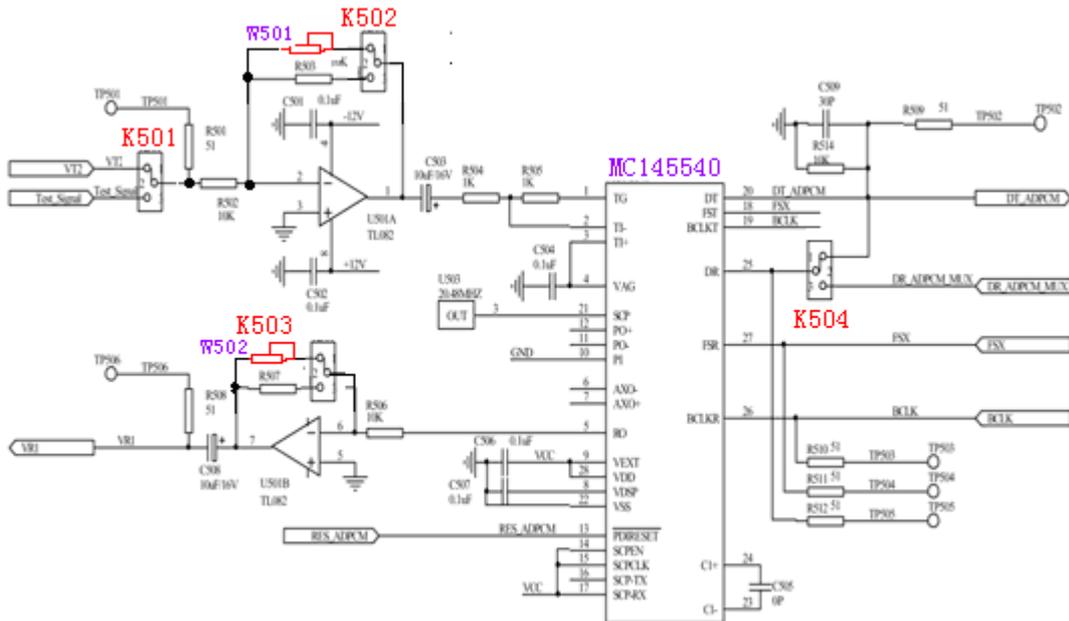


图 2.1 MC145540 PCM 编译码器电路原理图

大后，送入 U502 的 2 脚进行 PCM 编码。编码输出时钟为 BCLK（256KHz），编码数据从 U502 的 20 脚输出（DT_ADPCM1），FSX 为编码抽样时钟（8KHz）。编码之后的数据结果送入后续数据复接模块进行处理，或直接送到对方 PCM 译码单元。在接收支路中，收数据是来自解数据复接模块的信号（DT_ADPCM_MUX），或是直接来自对方 PCM 编码单元信号（DT_ADPCM2），在接收帧同步时钟 FSX（8KHz）与接收输入时钟 BCLK（256KHz）的共同作用下，将接收数据送入 U502 中进行 PCM 译码。译码之后的模拟信号经运放 U501B 放大缓冲输出，送到用户接口模块中。

PCM 编译码模块中的各跳线功能如下：

跳线开关 K501 用于选择输入信号，当 K501 置于 N（正常“左”）位置时，选择来自用户接口单元的话音信号；当 K501 置于 T（测试“右”）位置时选择测试信号。测试信号主要用于测试 PCM 的编译码特性。测试信号可以选择外部测试信号或内部测试信号，当设置在交换模块内的跳线开关 K001 设置在 1_2 位置（左端）时，选择内部 1KHz 测试信号；当设置在 2_3 位置（右端）时选择外部测试信号，测试信号从 J005 模拟测试端口输入。

跳线器 K502 用于设置发送通道的增益选择，当 K502 置于 T（正常“左”）位置时，选择系统平台缺省的增益设置；当 K502 置于 T（调试“右”）位置时可将通过调整电位器 W501 设置发通道的增益。

跳线器 K504 用于设置 PCM 编码器是用于输入数据信号选择，当 K504 置于 MUX（左）时处于正常状态，解码数据来自解数据复接模块的信号；当 K504 置于 ADPCM2（中）时处于正常状态，解码数据来自对方 PCM 编码单元信号；当 K504 置于 LOOP（右）时 PCM 单元将处于自环状态。

跳线器 K503 用于设置接收通道增益选择，当 K503 置于 T（正常“左”）时，选择系统平台缺省的增益设置；当 K503 置于 N（调试“右”）时将通过调整电位器 W502 设置收通道

的增益。该单元的电路框图见图 2.2。

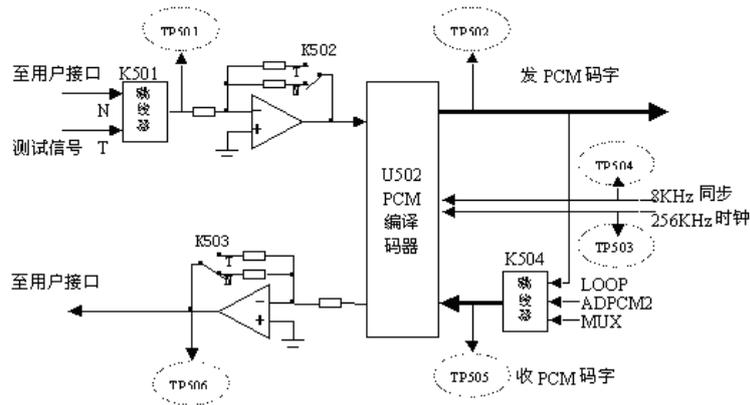


图 2.2 PCM 编/解码电路框图

在该模块中，各测试点的定义如下：

TP501：发送模拟信号测试点

TP502：PCM 发送码字

TP503：PCM 编码器输入/输出时钟

TP504：PCM 编码抽样时钟

TP505：PCM 接收码字

TP506：接收模拟信号测试点

1.2 基本实验内容与方法步骤

实验准备工作：

机器通电后，按压“液晶显示模块”菜单选择键中的▲或▼键，选择“PCM”编码方式，“确认”打“√”。此时，系统将 U502 设置为 PCM 方式。

1.2.1 PCM 编码信号的产生与观测

PCM 编码器测试电路组成框图与信号输入/输出测量点如图 2.3 所示。

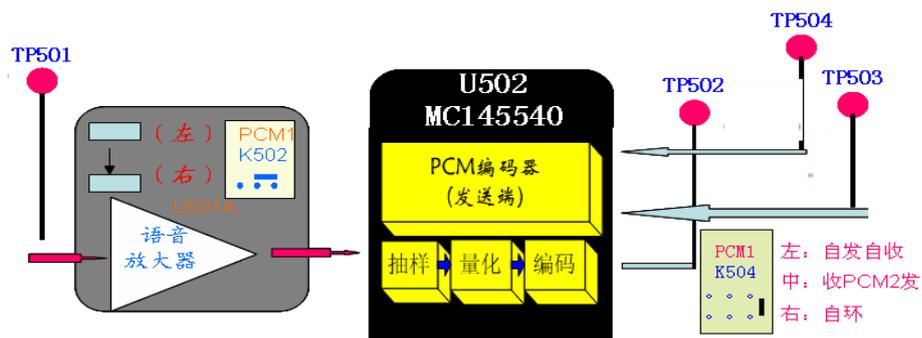


图 2.3 PCM 编码器测试电路组成框图

① 输出主时钟和帧同步时隙信号观测

用双踪示波器同时观测并记录抽样脉冲信号（TP504）和输出主时钟信号（TP503）的波形，观测时以 TP504 做同步。分析和掌握 PCM 编码抽样脉冲信号与输出主时钟的对应关系（同步沿、脉冲宽度等）。说明在一个抽样脉冲时隙中，占有几个主时钟脉冲。熟悉在 PCM 编码系统中，用八位二进制码为一组来表示每一个有固定电平量化值的概念。

② 抽样脉冲信号与 PCM 编码数据的测量

实验准备：

- 1) 将 ADPCM1 模块中的 K501 设置在 T (右测试) 位置。
- 2) 将交换模块“DTMF2”中的 J001 设置在 1-2 (右) 位置。
- 3) 用函数信号发生器产生一频率为 1000Hz, 电平幅度为 2V_{p-p} 的正弦波测试信号送入 J005 和 J006。

实验数据测量

- 1) 观测并记录 TP504 (抽样脉冲) 和 TP502 (PCM 码流) 波形, 以 TP504 做同步。
- 2) 观测并记录 TP501 (模拟信号) 和 TP502 (PCM 码流) 波形, 以 TP501 做同步。
- 3) 根据观测记录的信号波形, 分析和说明模拟信号与数字信号的定义与特点。

③ PCM 编码数据与输入信号关系的测量

- 1) 保持以上设置不变。
- 2) 将“ADPCM1”模块中的增益选择开关 K502 设置在 T 位置 (右端),
- 3) 用示波器观测编码输出数据信号“TP502”, 调整电位器 W501 改变发通道的信号电平。观察并记录 PCM 码流随输入信号电平变化的关系。

1.2.2 PCM 译码器输出信号观测

PCM 译码器测试电路组成框图与信号输入/输出测量点如图 2.4 所示。

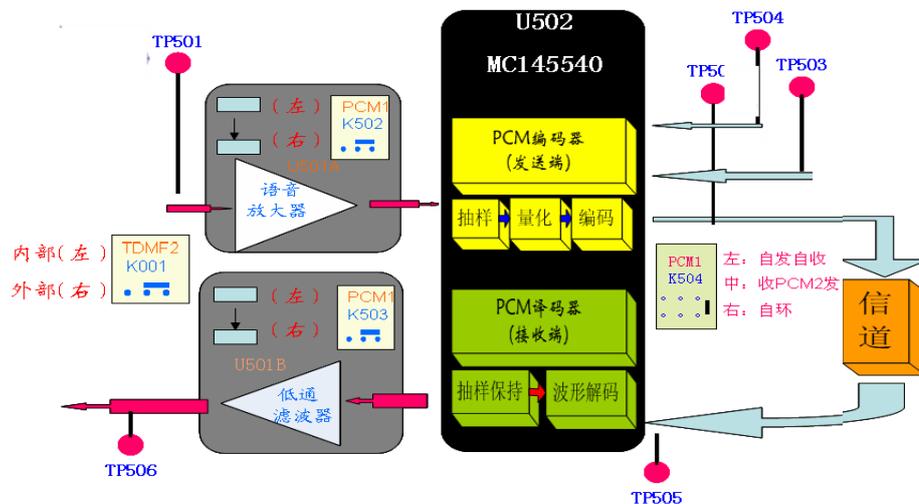


图 2.4 PCM 译码器测试电路组成框图

① PCM 译码器输出模拟信号观测

- 1) 将 K501 设置在 T (右) 位置、K502 在 N (左) 位置、K504 设置在 LOOP (右) 位置。用函数信号发生器输出一频率为 1004Hz、电平为 2V_{p-p} 的正弦波测试信号送入 J005 和 J006 (地)

- 2) 观测并记录 TP506 和 TP501 信号波形, 以 TP501 做同步。定性的观测解码恢复出的模拟信号质量

② 改变基带信号的幅度, 观察脉冲编码调制与解调信号的信噪比的变化情况。

- 1) 保持以上设置不变

2) 将测试信号频率固定在 1000Hz，调整电位器 W501 改变发通道的信号电平。改变测试信号电平，定性的观测解码恢复出的模拟信号质量。自列表格观测记录信噪比随输入信号电平变化的相关关系。

③ 改变基带信号的频率，观察脉冲编码调制与解调信号幅度的变化情况。

1) 保持以上设置不变

2) 将测试信号电平固定在 $2V_{p-p}$ ，调整测试信号频率，(200HZ-6KHZ) 定性的观测解码恢复出的模拟信号质量。自列表格观测记录信噪比与输入信号频率变化的相关关系。说明解调信号变化的原因。

1.2.3 系统性能指标测量 (根据实验室设备条件进行)

注：如无音频损伤测试仪时，可以用示波器定性的观察模拟信号受量化噪声及电路噪声的影响。

① PCM 编译码系统动态范围测量

动态范围是指在满足一定信噪比的条件下，允许输入信号电平变化的范围。通常规定测试信号的频率为 1004Hz，动态范围应满足 CCITT 建议的框架（样板值），如图 2.5 所示。

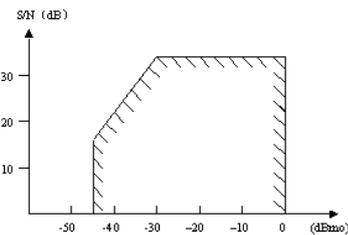


图 2.5 PCM 编译码系统动态范围样板图

测试时将跳线开关 K501 设置在 T 位置、K504 设置在 LOOP(右)位置，此时使 PCM 编码器和译码器构成自环。

动态范围的测试连接见图 2.6。

该项测量内容视配备的教学仪表来定。测量时，输入信号由小至大调节，测量不同电平时的 S/N 值，记录测量数据。为确保器件安全，不要要求学生输入信号的临界过载信号进行验证，取输入信号的最大幅度为 $5V_{p-p}$ 。

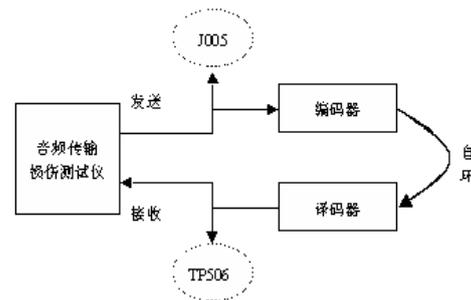


图 2.6 PCM 编译码系统动态范围测试连接图

② PCM 编译码系统信噪比测量

跳线开关设置同上，测试连接见图 2.6。

测量时，选择一最佳编码电平（通常为 -10dB_r），在此电平下测试不同频率下的 S/N 值。频率选择在 300Hz、500Hz、800Hz、1004Hz、2010Hz、3000Hz、3400Hz，直接从音频损伤测试仪上读取数据，记录测量数据。该项测量视配备的教学仪表来定。

③ 频率特性测量

跳线开关设置同上。用函数信号发生器产生一个频率为 1004Hz、电平为 $2V_{p-p}$ 的正弦波测试信号送入信号测试端口 J005 和 J006（地）。用示波器（或电平表）测量输出信号端口 TP506 的电平。改变函数信号发生器输出频率，用点频法测量。测量频率范围：250Hz~4000Hz。

该项测试也可以直接通过音频损伤测试仪测试。

④ 信道自环增益测量

跳线开关设置同上。用函数信号发生器产生一个频率为 1004Hz、电平为 $2V_{p-p}$ 的正弦

波测试信号送入信号测试端口 J005 和 J006。用示波器（或电平表）输出信号端口（TP506）的电平。将收发电平的倍数（增益）换算为 dB 表示。

该项测试也可以直接通过音频损伤测试仪测试。

⑤ PCM 编译码系统信道空闲噪声测量

跳线开关设置同上，测试连接见图 2.6。

空闲噪声指标从音频损伤测试仪上直接读取。该项测量视配备的教学仪表来定。

2. 扩展实验 增量调制(ΔM)编译码系统仿真实验

本实验采用分立器件，通过对单正弦信号进行简单增量调制，使学生进一步加深对模拟信号的数字化传输中的增量调制(ΔM)基本工作原理的理解。通过实验电路的建立与仿真，掌握简单 ΔM 编译码电路的基本组成及外部电路设计原则和一般测试方法。了解语音信号的 ΔM 编/译码过程；

2.1 实验原理与实验电路

2.1.1 实验原理

增量调制实际上是一种特殊的脉码调制，它是在 PCM 方式的基础上发展起来的另一种模拟信号数字传输的方法。ΔM 可以看成 PCM 的一个特例，增量调制简称 ΔM(或 DM)，最早是由法国工程师 De Loraine 于 1946 年提出来的。在以后的 50 多年里有很大发展。在军事和工业部门的专用通信网和卫星通信中得到广泛应用，近年来在高速超大规模集成电路中用作 A/D 转换器。

增量调制比起脉冲编码调制方式具有一些突出的优点，例如在低比特率时，ΔM 的量化信噪比高于 PCM；ΔM 的抗误码性能好且编译码设备简单等。

在 PCM 中，将模拟信号的抽样量化值进行二进制(也可采用多进制)编码。为了减小量化噪声，需较长的码(通常对话音信号采用 8 位码)，因此编码设备较复杂。而 ΔM 只用一位二进制码就可实现模数转换，这比 PCM 简单得多。

显然，一位二进制码只能代表两种状态，当然不可能直接去表示模拟信号的抽样值，但是它却可以表示相邻抽样值的相对大小，而相邻抽样值的相对变化同样反映出模拟信号的变化规律，因此采用一位 2 进制码去描述模拟信号是完全可能的。

编码的基本思想

假设一个模拟信号 $x(t)$ (为作图方便起见，令 $x(t) \geq 0$)，我们可以用一时间间隔为 Δt ，幅度差为 $\pm \sigma$ 的阶梯波形 $x'(t)$ 去逼近它，如图 2.7 所示。

只要 Δt 足够小，即抽样频率 $f_s = 1/\Delta t$ 足够高，且 σ 足够小，则 $x'(t)$ 可以相当近似于 $x(t)$ 。我们把 σ 称作量阶， $\Delta t = T$ 称为抽样间隔。

$x'(t)$ 逼近 $x(t)$ 的物理过程是这样的：在 t_1 时刻用 $x(t_1)$ 与 $x'(t_1)$ (t_1 表示 t_1 时刻前某瞬间)比较，倘若 $x(t_1) > x'(t_1)$ ，让 $x'(t)$ 上升一个量阶 σ ，同时 ΔM 调制器输出二进制“1”

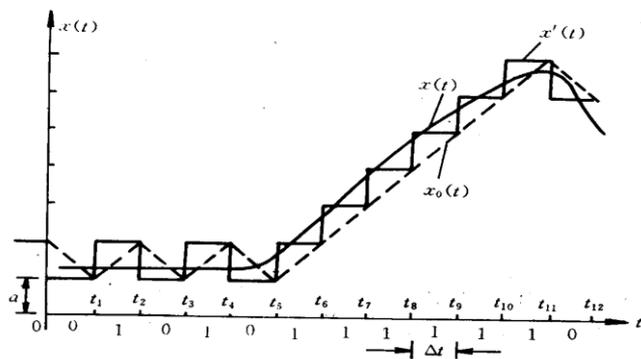


图 2.7 用阶梯或锯齿波逼近模拟信号

码;在 t_2 时刻,用 $x(t_2)$ 与 $x'(t_2)$ 比较,若 $x(t_2) < x'(t_2)$, 让 $x'(t)$ 下降一个量价 σ , 同时 ΔM 调制器输出二进制码元“0”;同理在 t_3 时刻, $x'(t)$ 上升 σ , ΔM 调制器输出“1”码;……。这样图 2.7 的 $x(t)$ 就可得到二进制代码序列为 010101111110……。总结以上过程,我们把上升一个量价 σ 用 1 码表示,下降一个量价 σ 用 0 码表示。除了用阶梯波 $x'(t)$ 去近似 $x(t)$ 以外,也可以用图 3-1 的锯齿波 $x_o(t)$ 去近似 $x(t)$, 当 $x(t_i)$ ($i=1, 2, 3, \dots$) 大于 $x_o(t)$ 时, $x_o(t)$ 按斜率 $\sigma / \Delta t$ 在下一个抽样时刻上升 σ , ΔM 调制器输出 1 码,当 $x_o(t)$ 小于 $x_o(t_i)$ 时, $x_o(t)$ 按斜率 $-\sigma / \Delta t$ 在下一抽样时刻下降 σ , ΔM 调制器输出 0 码,可以看出用 1 码表示正斜率,用 0 码表示负斜率,以获得二进制码序列。

译码的基本思想

与编码相对应,译码也有两种情况,一种是收到 1 码上升一个量价 σ (跳变),收到 0 码下降一个量价 σ (跳变),这样把二进制代码经过译码变成 $x'(t)$ 这样的阶梯波。另一种是收到 1 码后产生一个正斜变电压,在 Δt 时间内上升一个量价 σ ,收到一个 0 码产生一个负的斜变电压,在 Δt 时间内均匀下降一个量价 σ 。这样,二进制码经过译码后变为如 $x_o(t)$ 这样的锯齿波。考虑电路上实现的简易程度,一般都采用后一种方法。这种方法可用一个简单 RC 积分电路把二进制码变为 $x_o(t)$ 波形,如图 2.8 所示。

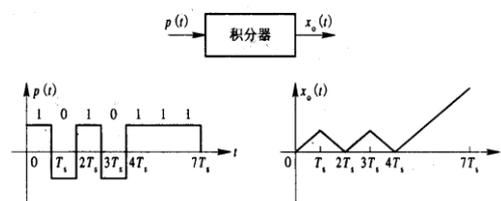


图 2.8 简单 ΔM 译码原理图

2.1.2 简单增量调制与解调系统电路组成

从简单 ΔM 调制解调的基本思想出发,我们可组成简单 ΔM 系统方框图如图 2.9 所示。

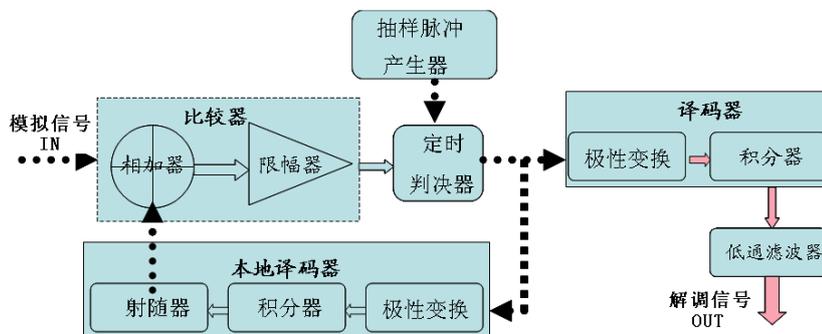


图 2.9 ΔM 系统原理图

ΔM 调制器(发端)由比较器、定时判决器、本地译码器(发端译码器)三部分组成。比较器是用来比较 $x(t)$ 与 $x_o(t)$ 大小的,定时判决器按 $x(t) - x_o(t) > 0$ 输出 1, $x(t) - x_o(t) < 0$ 输出 0 的原则进行判决,由本地译码器产生 $x_o(t)$ 。

ΔM 解调器(收端)由译码器(码型变换和积分器)和低通滤波器组成,核心电路应该是积分器。

2.1.3 简单增量调制与解调系统各单元电路组成与说明

① 比较器

比较器由相加器和限幅器构成,其电路原理图如图 2.10 所示。

相加器由 Q1 和 Q2 组成,音频信号 $f(t)$ 和本地译码器送来的比较信号 $-f_o(t)$, 各通过

一个 $1\text{k}\Omega$ 电阻加到 BG1 共基放大器的射极进行电流相加。由于 $-f_o(t)$ 和 $f(t)$ 反相，所以是两信号相减或者说是比较。用共基接法做成比较器是一个比较理想的电路，因为电流比较器的动态范围大，其基极放大熟人阻抗低，可以减少 $-f_o(t)$ 与 $f(t)$ 彼此之间的干扰，而且共基电路的频率特性好。BG2 采用共集射随电路，起隔离作用。

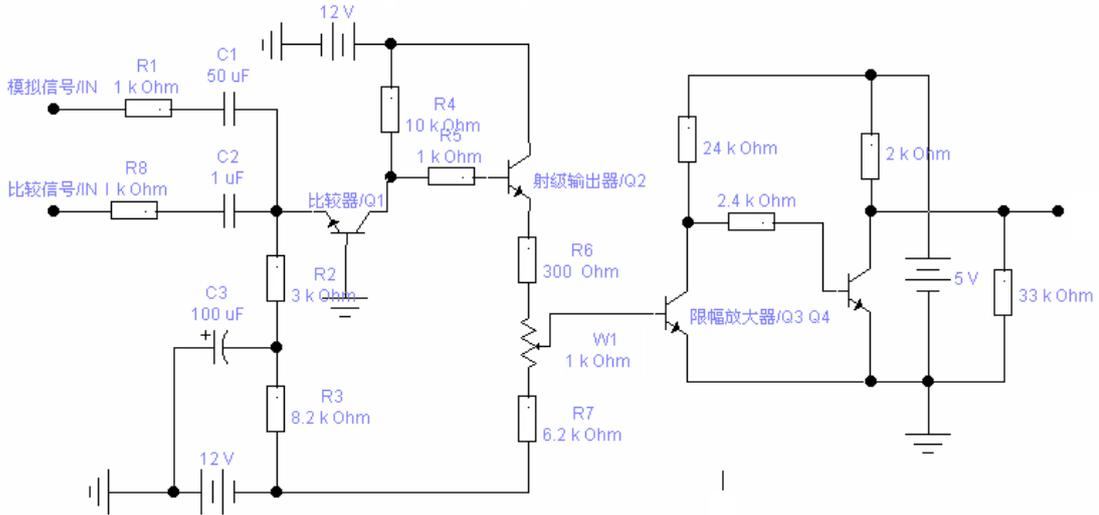


图 2.10 比较器电路原理图

限幅放大器由 Q3 与 Q4 组成，当 $e(t) > 0$ 时，Q4 的输出为 +3V，当 $e(t) < 0$ 时，Q4 的输出为 -3V。整个比较器的放大量要根据本地译码器输出的量化台阶 δ 的大小决定，放大倍数

K 应满足：

$$K \geq \frac{2 \times 3(V)}{\delta(V)}$$

② 本地译码器

本地译码器由极性变换电路、积分器和射随器组成，其电路如图 2.11 所示。

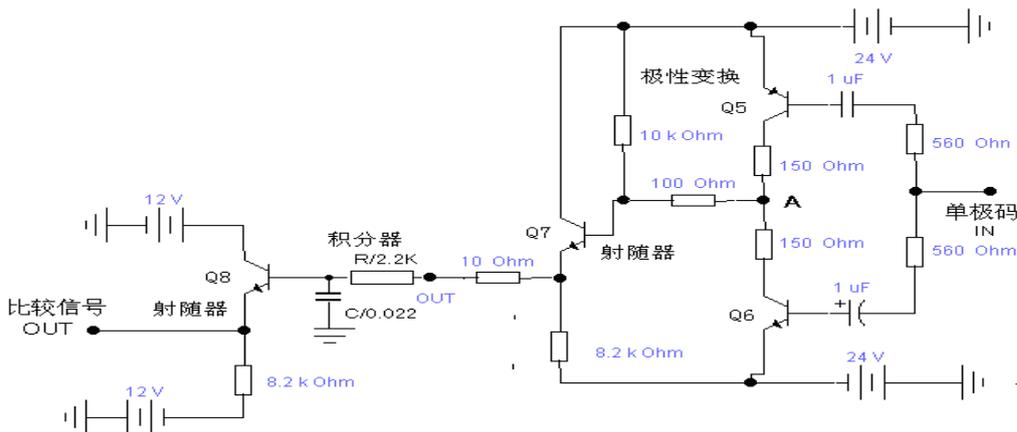


图 2.11 本地译码器电路图

极性变换电路由 Q5、Q6 和 Q7 所组成，功能是将抽样判决电路输出的单极性码序列 $P(t)$ 变换成双极性码。当 $P(t)$ 由低电平 0.3V (0 码) 跳变为高电平 3.6V (1 码) 时，通过电容的耦合作用，使得 Q5 截止，Q6 饱和导通，A 点的电位近似为 -12V。当 $P(t)$ 由高电平跳变为低电平时，Q6 截止，Q5 饱和导通，A 点的电位近似为 +12V。因此，A 点的输出电压幅度近似为

$\pm 12V$ 的双极性码。经 Q7 射随隔离后输出。

积分电路由 R (2.2K) 和 C (0.022) 组成，电容 C 上的电压，就是本地译码器输出的比较信号 $f_o(t)$ ，输出的信号经 Q8 射随后送到比较器。

③ 抽样脉冲发生器与抽样判决电路

抽样脉冲发生器和抽样判决器电路组成如图 2.12 所示。

由图可见，抽样脉冲发生器由 128KHZ 振荡器（直接用 EWB 中的方波源）、二分频器和单稳电路组成。输出为 64KHZ 的窄脉冲，作为抽样脉冲。在 ΔM 编码系统中，如果抽样脉冲的频率在 100KHZ 左右，就可以得到比较满意的话音质量。

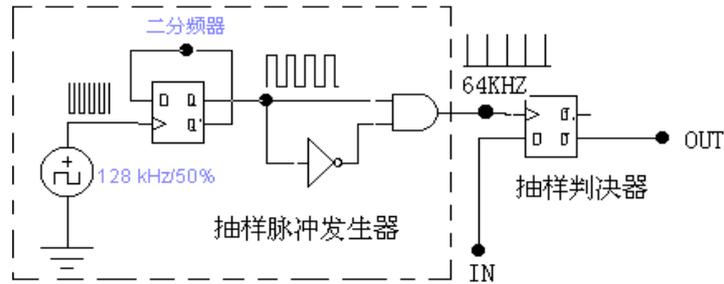


图 2.12 抽样脉冲发生器和抽样判决器电路图

抽样判决电路由 D 触发器构成，在 CP 的前沿到来时刻，若 $e(t) > 0$ ，则 $p(t)$ 为“1”码，若 $e(t) < 0$ ，则 $p(t)$ 为“0”码。

④ 解调译码器与低通滤波器

ΔM 译码系统主要由译码器和低通滤波器组成，其译码器由码型变换和反相放大、积分器和射极跟随器等 3 部分组成，它与编码系统中的电路相同，可参见图 2.11。

由于 $p(t)$ 是单极性的，因此加到积分器前一定要变为双极性信号，这就是需要码型变换的原因。反向放大一方面把双极性信号放大，另一方面使它反相，这样经积分就得 $-x_o(t)$ 。积分器一般用时间常数较大的 RC 充放电电路，这样可以得到近似锯齿波的斜变电压。积分器后面的射极器是把积分器和放大器分开，保证积分器输出端有较高的阻抗。积分器的时间常数 RC 选得越大，充电放电的直线线性越好，但 RC 太大时，在 T_s 时间内上升(或下降)的量价 σ 越小，一般选择在 $(15-30)T_s$ 比较合适。低通滤波器电路如图 2.13 所示。其功用是滤去量化误差的高频成份，恢复 $x(t)$ 。

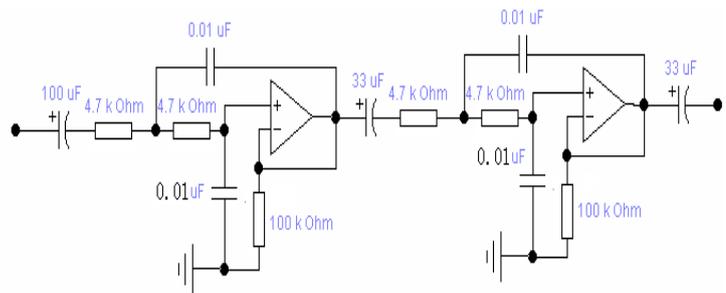


图 2.13 低通滤波器电路图

2.2 扩展实验内容与步骤

在了解并熟悉了 ΔM 调制与解调系统电路的基础上，用 EWB 仿真软件建立各单元电路，并对各单元电路进行调测，以确保各单元电路正确无误。而后将各单元电路用 EWB 软件做成子电路模块，按图 2.14 构建实验系统电路。

2.2.1 ΔM 编码信号的产生与观测

① 输出主时钟和抽样脉冲信号观测

用双踪示波器同时观测并记录输出主时钟信号 128KHZ 和抽样脉冲信号的波形，观测时以主时钟信号作示波器的同步。分析和掌握 ΔM 编码抽样脉冲信号与输出主时钟的对应关系（同步沿、脉冲宽度等）。

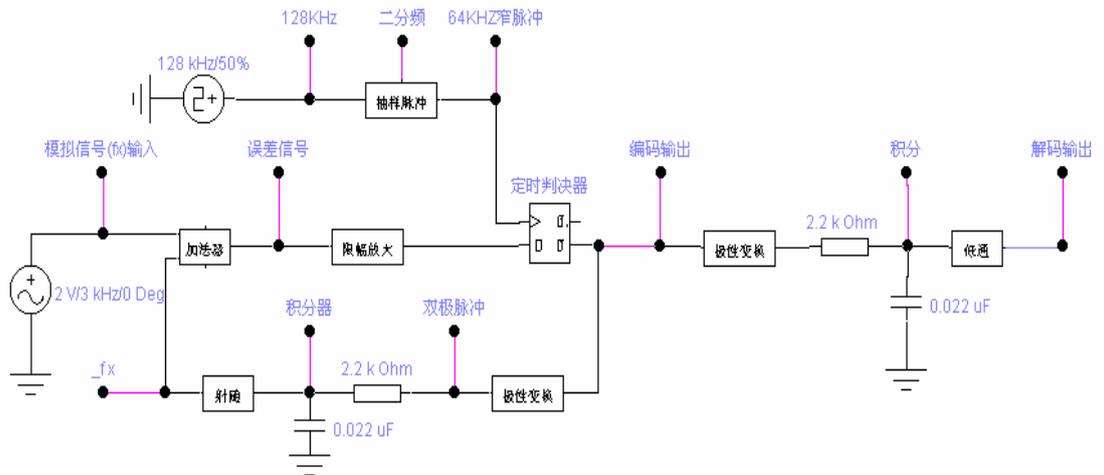


图 2.14 实验用 ΔM 调制与解调系统电路

② 模拟信号与 ΔM 编码数据的测量

1) 用函数信号发生器产生一频率为 2000Hz, 电平幅度为 3V_{p-p} 的正弦波测试信号送入 ΔM 编码器的输入端。

实验数据测量

- 1) 观测并记录模拟信号 $f(t)$ 波形与比较信号 $-f(t)$ 波形。
- 2) 观察并记录模拟输入信号与 ΔM 编码输出信号的波形。
- 3) 根据观测记录的信号波形, 分析和说明模拟信号与 ΔM 编码器输出信号的特点。

2.2.2 ΔM 译码器输出信号观测

① ΔM 译码器输出模拟信号观测

- 1) 保持函数信号发生器输出信号不变: 频率为 2KHZ、电平为 3V_{p-p} 的正弦波。
- 2) 观测并记录译码器输入端、积分器输出端和译码器输出端的还原信号波形, 以输入模拟信号作示波器同步。定性的观测解码恢复出的模拟信号质量。

实验证明, 虽然增量调制系统的话音质量不如脉冲编码调制 PCM 数字系统的音质, 但是增量调制电路比较简单, 能从较低的数码率进行编码, 通常为 16~32kbit/s, 而且在用于单路数字电话通信时, 不需要收发端同步, 故增量调制系统仍然广泛应用于数字话音通信系统中, 如应用在传输数码率的军事, 野外及保密数字电话等方面。

四. 实验预习

1. 什么是模拟信号? 什么是数字信号?
2. 模拟信号数字化的过程是什么? 什么是量化与编码?
3. PCM 编/译码的实质是什么?
4. 对 ΔM 调制与解调电路有什么建议?

五. 实验报告

1. 整理实验数据, 画出相应的曲线和波形。
2. 思考在通信系统中 PCM 接收端应如何获得接收输入时钟和接收帧同步时钟信号?
3. MC145540 PCM 编码器输出的 PCM 数据的速率是多少? 在本次实验系统中, 为什么要给 MC145540 提供 2.048MHz 的时钟?

实验三 码型变换 AMI/HDB3 实验

一. 实验目的

1. 了解二进制单极性码变换为AMI/HDB3 码的编码规则；
2. 熟悉AMI码与HDB3 码的基本特征；
3. 熟悉HDB3 码的编译码器工作原理和实现方法；
4. 根据测量和分析结果，画出电路关键部位的波形；

二. 实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 函数信号发生器 | 一台 |

三、实验任务与要求

1. 基本实验

1.1 实验原理和电路说明

1.1.1 实验原理

AMI 码的全称是传号交替反转码。这是一种将消息代码0（空号）和1（传号）按如下规则进行编码的码：代码的0 仍变换为传输码的0，而把代码中的1 交替地变换为传输码的+1、-1、+1、-1...由于AMI 码的传号交替反转，故由它决定的基带信号将出现正负脉冲交替，而0 电位保持不变的规律。由此看出，这种基带信号无直流成分，且只有很小的低频成分，因而它特别适宜在不允许这些成分通过的信道中传输。

由AMI 码的编码规则看出，它已从一个二进制符号序列变成了一个三进制符号序列，即把一个二进制符号变换成一个三进制符号。把一个二进制符号变换成一个三进制符号所构成的码称为1B/1T 码型。。AMI 码对应的波形是占空比为0.5 的双极性归零码，即脉冲宽度 τ 与码元宽度（码元周期、码元间隔） T_S 的关系是 $\tau = 0.5T_S$ 。

AMI 码除有上述特点外，还有编译码电路简单及便于观察误码情况等优点，它是一种基本的线路码，并得到广泛采用。但是，AMI 码有一个重要缺点，即接收端从该信号中来获取定时信息时，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。为了保持AMI 码的优点而克服其缺点，人们提出了许多种类的改进AMI 码，HDB3 码就是其中有代表性的一种。

HDB3码的全称是三阶高密度双极性码。它的编码原理是这样的：先把消息代码变换成AMI码，然后去检查AMI 码的连0串情况，当没有4个以上连0串时，则这时的AMI码就是HDB3码；当出现4个以上连0串时，则将每4个连0小段的第4个0变换成与其前一非0符号（+1 或-1）同极性的符号。显然，这样做可能破坏“极性交替反转”的规律。这个符号就称为破坏符号，用V 符号表示（即+1 记为+V，-1 记为-V）。为使附加V符号后的序列不破坏“极性交替反转”造成的无直流特性，还必须保证相邻V符号也应极性交替。这一点，当相邻符号之间有奇数个非0 符号时，则是能得到保证的；当有偶数个非0 符号时，则就得不到保证，这时再将该小段的第1个0 变换成+B 或-B符号的极性与前一非0 符号的相反，并让后面的非0符号从V 符号开始再交替变化。

虽然HDB3码的编码规则比较复杂，但译码却比较简单。从上述原理看出，每一个破坏

符号V 总是与前一非0符号同极性（包括B 在内）。这就是说，从收到的符号序列中可以容易地找到破坏点V于是也断定V 符号及其前面的3个符号必是连0符号，从而恢复4个连0码，再将所有-1变成+1 后便得到原消息代码。HDB3 码是占空比为 0.5 的双极性归零码。

设信息码为0000 0110 0001 0000 0，则NRZ 码、AMI 码，HDB3 码如图3.1 所示。

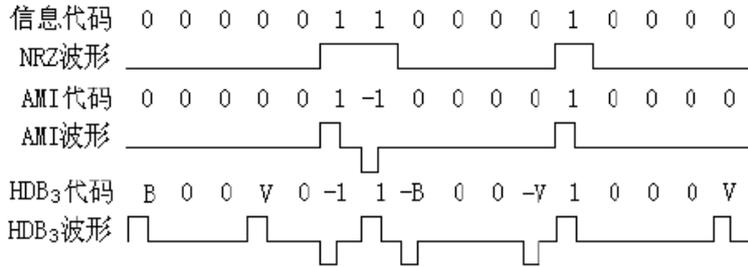


图3.1 NRZ、AMI、HDB3 关系图

HDB3 码是CCITT 推荐使用的线路编码之一。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，这对于定时信号的恢复是十分有利的。AMI/HDB3 频谱示意图参见图3.2。

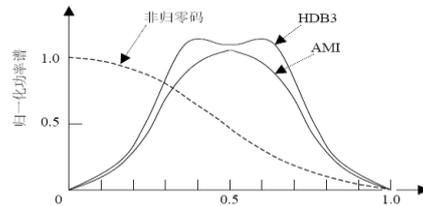


图 3.2 AMI/HDB3 频谱示意图

1.1.2 实验电路说明

在通信原理综合试验箱中，采用了CD22103 专用芯片（UD01）实现AMI / HDB3 的编译码实验，在该电路模块中，没有采用复杂的线圈耦合的方法来实现HDB3 码字的转换，而是采用运算放大器（UD02）完成对AMI/HDB3 输出进行电平变换。变换输出为双极性码或单极性码。由于AMI/HDB3 为归零码，含有丰富的时钟分量，因此输出数据直接送到位同步提取锁相环（PLL）提取接收时钟。其AMI/HDB3 编译码系统组成电原理图见图3.3。

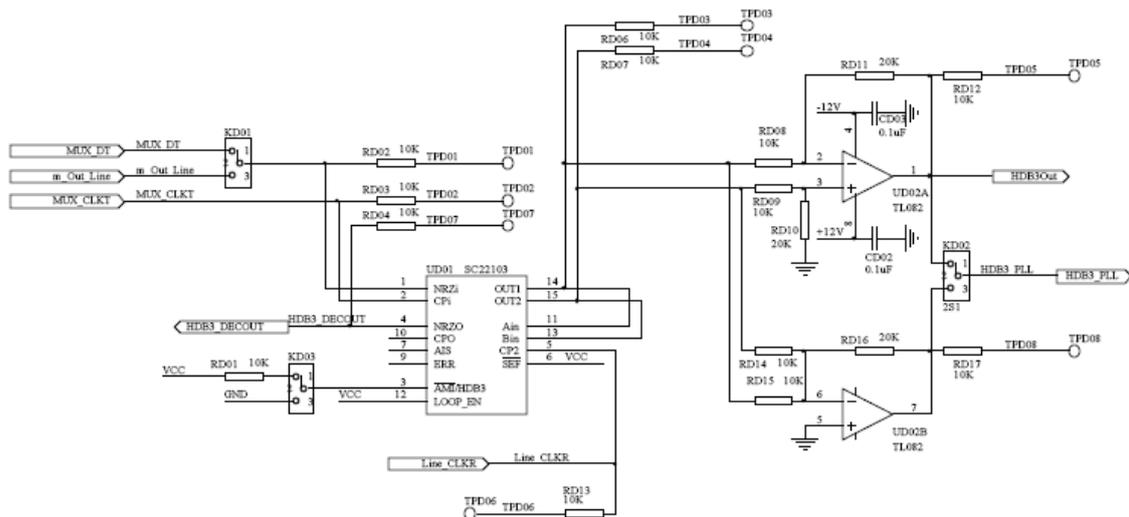


图 3.3 AMI/HDB3码型变换电路原理图

电路的工作原理：

输入的码流进入UD01 的1脚，在2 脚时钟信号的推动下输入UD01 的编码单元，HDB3 与AMI 由跳线开关KD03 选择。编码之后的结果在UD01 的14（TPD03）、15（TPD04）

脚输出。输出信号在电路上直接返回到UD01 的11、13 脚，由UD01 内部译码单元进行译码。通常译码之后TPD07 与TPD01的波形应一致，但由于当前的输出HDB3 码字可能与前4 个码字有关，因而HDB3 的编译码时延较大。运算放大器UD02A 构成一个差分放大器，用来将线路输出的HDB3 码变换为双极性码输出（TPD05）。运算放大器UD02B 构成一个相加器，用来将线路输出的HDB3码变换为单极性码输出（TPD08）。

跳线开关KD01 用于输入编码信号选择：当KD01 设置在Dt 位置时（左端），输入编码信号来自复接模块的TDM 帧信号；当KD01 设置在M 位置时（右端），输入编码信号来自本地的m 序列，用于编码信号观测。本地的m 序列格式受CMI 编码模块跳线开关KX02 控制：KX02 设置在1_2 位置（左端），为15 位周期m 序列（111100010011010）；KX02 设置在2_3 位置（右端），为7 位周期m 序列（1110010）。

跳线开关KD02 用于选择将双极性码或单极性码送到位同步提取锁相环提取收时钟：当KD02 设置在1_2 位置（左端），输出为双极性码；当KD02 设置2_3 位置（右端），输出为单极性码。

跳线开关KD03 用于AMI 或HDB3 方式选择：当KD03 设置在HDB3 状态时（左端），UD01 完成HDB3 编译码系统；当KD03 设置在AMI 状态时（右端），UD01 完成AMI 编译码系统。

该模块内各测试点的安排如下：

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1. TPD01: 编码输入数据(256Kbps) | 2. TPD02: 256KHz 编码输入时钟(256KHz) |
| 3. TPD03: HDB3 输出+ | 4. TPD04: HDB3 输出- |
| 5. TPD05: HDB3 输出(双极性码) | 6. TPD06: 译码输入时钟(256KHz) |
| 7. TPD07: 译码输出数据(256Kbps) | 8. TPD08: HDB3 输出(单极性码) |

1.2 实验内容与步骤

AMI/HDB3 编译码系统组成框图见图3.4。

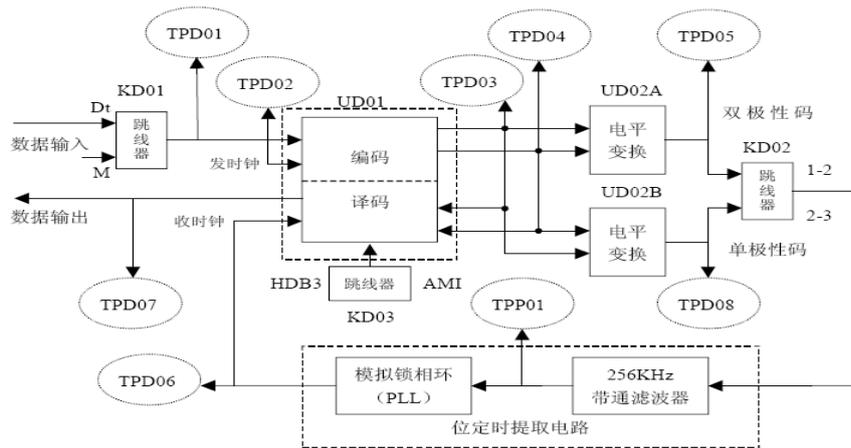


图 3.4 AMI/HDB3 编译码模块组成框图

1. AMI 码编码规则验证

(1) 首先将输入信号选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端）、单/双极性码输出选择开关设置KD02 设置在2_3 位置（右端）、AMI/HDB3 编码开关KD03 设置在AMI 位

置（右端），使该模块工作在AMI 码方式。

(2) 将CMI编码模块内的M序列类型选择跳线开关KX02 设置在2_3 位置（右端），产生7 位周期m 序列。用示波器同时观测输入数据TPD01 和AMI 输出双极性编码数据TPD05 波形及单极性编码数据TPD08 波形，观测时用TPD01 同步。分析观测输入数据与输出数据关系是否满足AMI 编码关系，画下一个M 序列周期的测试波形。

(3) 将CMI编码模块内的M序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2 位置（左端），产生15 位周期m 序列。重复上述测试步骤，记录测试结果。

(4) 将输入数据选择跳线开关KD01 拨除，将示波器探头从TPD01 测试点移去，使输入数据端口悬空产生全1 码。重复上述测试步骤，记录测试结果。

(5) 将输入数据选择跳线开关KD01 拨除，用一短路线一端接地，另一端十分小心地插入测试孔TPD01，使输入数据为全0 码（或采用将示波器探头接入TPD01 测试点上，使数据端口不悬空，则输入数据亦为全0 码）。重复上述测试步骤，记录测试结果。

2. AMI 码译码和时延测量

(1) 将输入数据选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端）；将CMI 编码模块内的M 序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2 位置（左端），产生15 位周期m 序列；将锁相环模块内输入信号选择跳线开关KP02 设置在HDB3 位置（左端）。

(2) 用示波器同时观测输入数据TPD01 和AMI 译码 输出数据TPD07 波形，观测时用TPD01 同步。观测AMI 译码输出数据是否满正确，画下测试波形。问：AMI编码和译码的的数据时延是多少？

(3) 将CMI编码模块内的M序列类型选择跳线开关KX02 设置在2_3 位置（右端），产生7 位周期m 序列。重复上译步骤测量，记录测试结果。问：此时AMI 编码和译码的的数据时延是多少？

思考：数据延时量测量因考虑到什么因数？

3. AMI 编码信号中同步时钟分量定性观测

(1) 将输入数据选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端），将CMI 编码模块内的M 序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2 位置，产生15 位周期m 序列；将锁相环模块内输入信号选择跳线开关KP02 设置在HDB3 位置（左端）。

(2) 将极性码输出选择跳线开关KD02 设置在2_3 位置（右端）产生单极性码输出，用示波器测量模拟锁相环模块TPP01 波形；然后将跳线开关KD02 设置在1_2 位置（左端）产生双极性码输出，观测TPP01 波形变化。通过测量结果回答：

① AMI编码信号转换为双极性码或单极性码后，那一种码型时钟分量更丰富，为什么？

②接收机应将接收到的信号转换成何种码型才有利于收端位定时电路对接收时钟进行提取。

(3) 将极性码输出选择跳线开关KD02 设置在2_3 位置（右端）产生单极性码输出，使输入数据为全“1”码（方法见1），重复上述测试步骤，记录分析测试结果。

(4) 使输入数据为全“0”码（方法见1），重复上述测试步骤，记录测试结果。思考：具有长连0 码格式的数据在AMI 编译码系统中传输会带来什么问题，如何解决？

4. AMI 译码位定时恢复测量

(1) 将输入数据选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端），将CMI 编码模块内的M 序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2（或2_3）位置，将锁相环模块内输入信号选择跳线开关KP02 设置在HDB3 位置（左端）。

(2) 先将跳线开关KD02 设置在2_3 位置（右端）单极性码输出，用示波器测量同时观测发送时钟测试点TPD02 和接收时钟测试点TPD06 波形，测量时用TPD02同步。此时两收发时钟应同步。然后，再将跳线开关KD02 设置在1_2 位置（左端）单极性码输出，观测TPD02 和TPD06 波形。记录和分析测量结果。

(3) 将跳线开关KD02 设置回2_3 位置（右端）单极性码输出，再将跳线开关KD01 拨除，使输入数据为全1 码或全0 码（方法见1）。重复上述测试步骤，记录分析测试结果。

思考：为什么在实际传输系统中使用HDB3 码？用其他方法行吗（如扰码）？

5. HDB3 码变换规则验证

(1) 首先将输入信号选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端）、单/双极性码输出选择开关设置KD02 设置在2_3 位置（右端）、AMI/HDB3 编码开关KD03 设置在HDB3 位置（左端），使该模块工作在HDB3 码方式。

(2) 将CMI编码模块内的M序列类型选择跳线开关KX02 设置在2_3 位置（右端），产生7 位周期m 序列。用示波器同时观测输入数据TPD01 和AMI 输出双极性编码数据TPD05 波形及单极性编码数据TPD08 波形，观测时用TPD01 同步。分析观测输入数据与输出数据关系是否满足AMI 编码关系，画下一个M 序列周期的测试波形。

(3) 将CMI编码模块内的M序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2 位置（左端），产生15 位周期m 序列。重复上述测试步骤，记录测试结果。

(4) 使输入数据端口悬空产生全1 码（方法同1），重复上述测试步骤，记录测试结果。

(5) 使输入数据为全0 码（方法同1），重复上述测试步骤，记录测试结果。

6. HDB3 码译码和时延测量

(1) 将输入数据选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端）；将CMI 编码模块内的M 序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2 位置（左端），产生15 位周期m 序列；将锁相环模块内输入信号选择跳线开关KP02 设置在HDB3 位置（左端）。

(2) 用示波器同时观测输入数据TPD01 和HDB3 译码输出数据TPD07 波形，观测时用TPD01 同步。分析观测HDB3 编码输入数据与HDB3 译码输出数据关系是否满足HDB3 编译码系统要求，画下测试波形。问：HDB3 编码和译码的数据时延是多少？

(3) 将CMI编码模块内的M序列类型选择跳线开关KX02 设置在2_3 位置（右端），产生7 位周期m 序列。重复上译步骤测量，记录测试结果。问：此时HDB3 编码和译码的数据时延是多少，为什么？

7. HDB3 编码信号中同步时钟分量定性观测

(1) 将输入数据选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端），将CMI 编码模块内的M 序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2 位置，产生15 位周期m 序列；将锁相环模块

内输入信号选择跳线开关KP02 设置在HDB3 位置（左端）。

(2) 将极性码输出选择跳线开关KD02 设置在2_3 位置（右端）产生单极性码输出，用示波器测量模拟锁相环模块TPP01 波形；然后将跳线开关KD02 设置在1_2 位置（左端）产生双极性码输出，观测TPP01 波形变化根据测量结果思考：HDB3编码信号转换为双极性码和单极性码中那一种码型时钟分量丰富。

(3) 将极性码输出选择跳线开关KD02 设置在2_3 位置（右端）产生单极性码输出，使输入数据为全“1”码（方法见1），重复上述测试步骤，记录分析测试结果。

(4) 使输入数据为全“0”码（方法见1），重复上述测试步骤，记录测试结果。分析总结：HDB3 码与AMI 码有何不一样的结果？

8. HDB3 译码位定时恢复测量

(1) 将输入数据选择跳线开关KD01 设置在M 位置（右端），将CMI 编码模块内的M 序列类型选择跳线开关KX02 设置在1_2（或2_3）位置，将锁相环模块内输入信号选择跳线开关KP02 设置在HDB3 位置（左端）。

(2) 先将跳线开关KD02 设置在2_3 位置（右端）单极性码输出，用示波器测量同时观测发送时钟测试点TPD02 和接收时钟测试点TPD06 波形，测量时用TPD02同步。此时两收发时钟应同步。然后，再将跳线开关KD02 设置在1_2 位置（左端）单极性码输出，观测TPD02 和TPD06 波形。记录和分析测量结果。根据测量

结果思考：接收端为便于提取位同步信号，需要对收到的HDB3 编码信号做何处理？

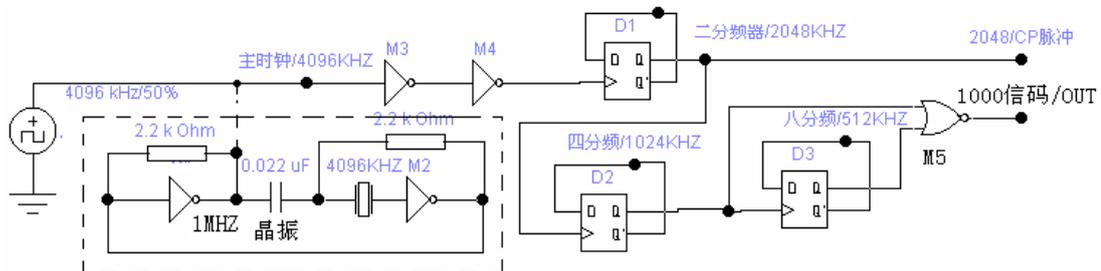
(3) 将跳线开关KD02 设置回2_3 位置（右端）单极性码输出，再将跳线开关KD01 拨除，使输入数据为全1 码或全0 码（方法见1）。重复上述测试步骤，记录分析测试结果。

2 . 扩展实验电路说明

以上实验，实现 HDB3 编/译码，采用的是大规模集成电路。为了便于让同学们全面了解和掌握 HDB3 编解码电路的原理，本仿真实验采用分立数字集成电路构成，它主要包括：HDB3 编解码定时脉冲形成与信码产生器、HDB3 编码器和解码器。仿真仅要求实现 HDB3 编码。

2 . 1 HDB3 编码定时脉冲形成与 1000 信码产生器

为了实现 HDB3 实验，设立该部分的目的：一是产生 HDB3 编码所需的定时脉冲，二是产生 HDB3 实验所需的信码时钟。其电路组成原理图如图 3.5 所示。



(74LS74) 与双输入或非门 M5 构成。

编/解码定时电路输出的 2.048MHZ 的时钟脉冲，作为二分频器 D2 的 CLK 信号，经二分频后输出 1.024MHZ 的脉冲信号，这个脉冲信号一路输入 M5 的一个输入端；另一路输送到 D3 触发器再次二分频，得到 512KHZ 的脉冲信号输入 M5 的另一输入端，经过 M5 后输出 “1000” 的信码。如图 3.6 所示。

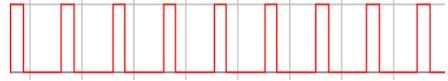


图 3.6 1000 信码波形

2.2 M 序列发生器

实际的数字信号是随机的，为了实验和检测的方便，一般用 M 序列发生器产生一个伪随机序列来充当数字信号源。

本实验电路中的 M 序列的产生是由五位移位寄存器 (74LS175 四 D 触发器和 7474 双 D 触发器构成)、四输入与非门 (74LS20)、非门 (7404) 和异或门 (7486) 构成。其电原理图见图 3.7，由原理图产生的 M 序列逻辑图如图 3.8 所示。

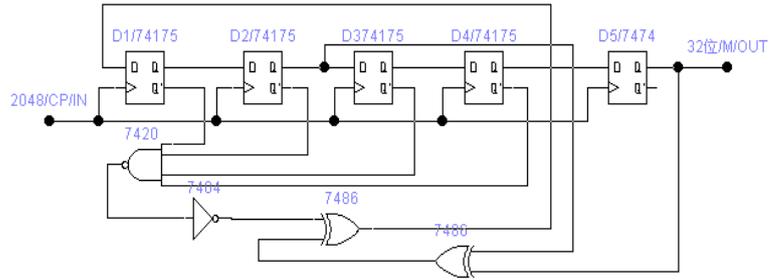


图 3.8 M 序列电路原理图

由此产生的 32 位伪随机码是：00000101011101100011111001101001，其波形如图 3.9 所示

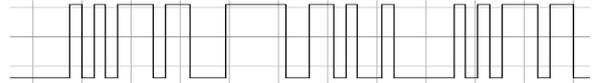
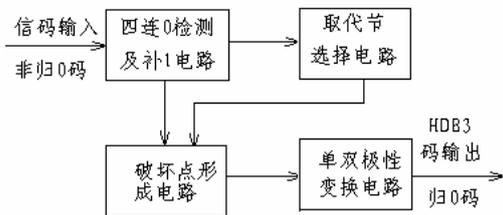


图 3.9 M 序列信码波形图

2.3 HDB3 的编码部分电路组成与工作原理

编码电路接收终端机传来的单极性非归零信码，并把这种码变换成为 HDB3 码送往传输信道。编码部分的组成电原理图如图 3.10 所示。



由此产生的原理方框图如图 3.11 所示：

图 3.11 HDB3 编码器组成框图

本实验电路中的编码器由连 “0” 码检出及补 “V” 电路、取代节判决选择、破坏点产生和单双变换四个部分组成。

2.3.1.四连“0”检测及补“V”电路

四连零检出电路的作用是：当信码流中出现四个连 “0” 码时，检出一个控制信号。本实验中，四连 “0” 检测及补 “V” 电路组成如图 3.12 所示。

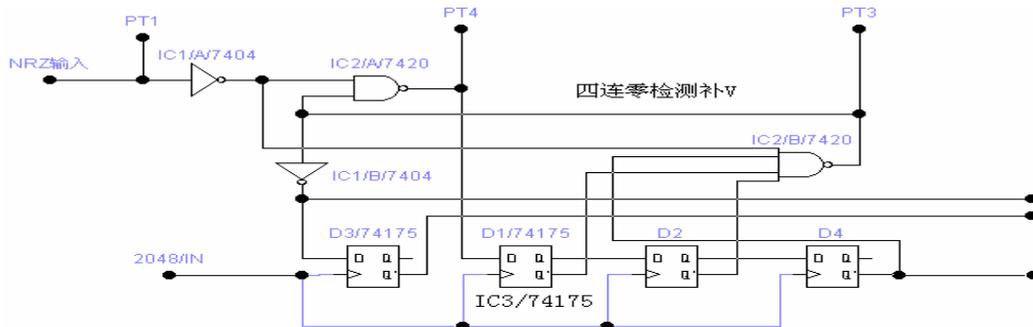


图 3.12 四连 “0” 检测及补 “V” 电路

它由 IC1/A、IC1/B、IC2/A、IC2B 和 IC3 组成。单极性信码进入本电路，首先检测有无四连“0”码。没有四连“0”时，信码不改变地通过；有四连“0”时，在时序图上 P3 出一个负脉冲，从而也使得 P4 补一个正脉冲，即在第四个“0”码出现时，将一个“1”码放入信码中，取代第四个“0”码，补入“1”码称为 V 码，故 P4 点信码为 1+V。

2.3.2 取代节选择及补 B 码电路

电路组成如图 3.13 所示。

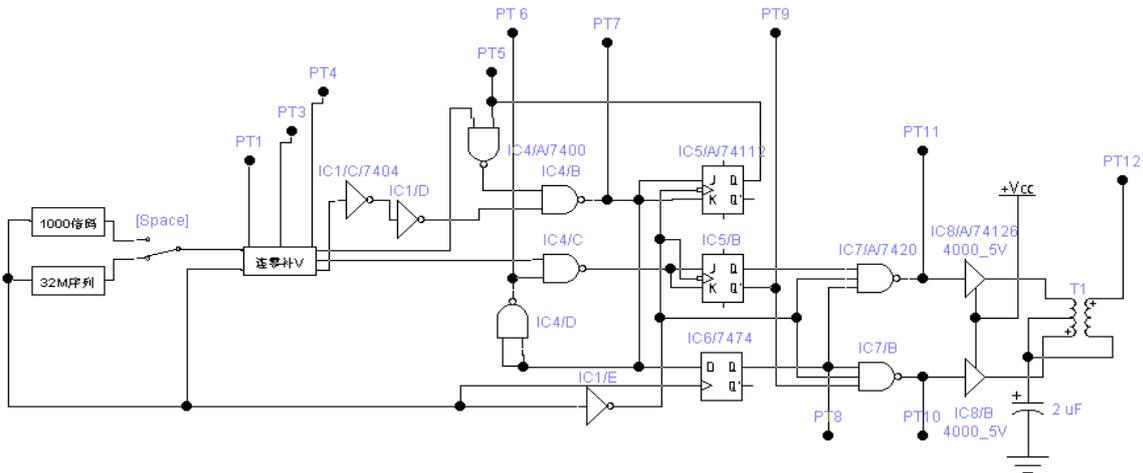


图 3.13 HDB3 编码电路原理图

取代节判决电路作用是：当有四个连“0”出现时，判别由哪种取代节(B00V 或 000V)来取代四连“0”码，该判别电路由 IC3, IC1C, IC1D, IC4A, IC4D, IC5B 组成，其功能是计算两个 V 码之间的“1”码的个数，若为奇数，则用 000V 作为取代节；若为偶数，则将 000V 中的第一个“0”改为“1”（补 B），即此时用“B00V”作为取代节，过程如下：补 V 后的信码由 PT4 加到 IC3 的 D1 端，经延时由 IC3 的 D4 输出到 IC4A 的 1 脚，IC5B 是一个计数器，其功能是计算相邻两个 V 码间 1 的个数，根据逻辑和时序关系，V₀ 点出 1 时刻对应于 IC4A 的 1 脚输入信码中取代节的第 1 位，当两个 V 之间计数为偶数时，对应位 B₀ 为 1，于是 PT5 出一个负脉冲，加到 IC4A 的 1 脚，从而对 2 脚的 1+V 信码补 B。

2.3.3 破坏点形成电路

电路组成参见图 3.13。破坏点产生电路是把取代节最后一比特变成极性交替的破坏点。基本思想是在取代节的第二位加入一个插入码“1”，使取代节中位于其后的 V 码在极性交替翻转电路中多翻转一次，从而与前一个 1 同极性，因而破坏了极性交替反转的规律，形成了“破坏点”。

2.3.4 单/双极性变换电路

B7 信号, PT11 对应正极性, TPT10 对应负极性。作为发送码，即线路码输出。本实验的 HDB3 编码器产生的线路码，符合 ITU-TG. 703 要求的输出波形。（ITU-TG. 703 要求详见附 2）。

2.4 HDB3 的解码部分电路组成与工作原理（仅介绍原理，仿真不作要求）

根据：HDB3 码的特点，HDB3 码解码主要分成四步进行：首先检出极性破坏点，即找出四连“0”中添加的 V 码的位置（破坏点的位置），其次去掉添加的 V 码，最后去掉四连“0”第一位添加的 B 码，还原成单极性不归零码。同时还需完成恢复位定时。

本实验中的解码部分组成电原理图如图 3.13 所示(附本节后),由此产生的原理方框图如图 3.15 所示:各部分功能简述如下:

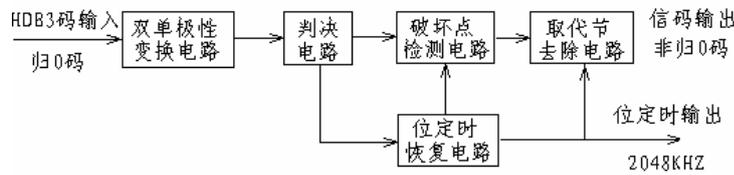


图 3.15 解码系统电路组成框图

2.4.1 双/单极性变换电路

本电路由变压器 T2, 二极管 D1, D2, D3, 电阻 A5, A6 组成, 从传输线来的 HDB3 码加入本电路, 输入端与外线路匹配. 经变压器将双极性脉冲分成两路单极性脉冲, B 点得到正极性一路, C 点得到负极性一路。

2.4.2 判决电路

本电路由 IC16A, IC16B, IC16D, IC16E, IC17D, IC17C, IC17A 组成, 选用合适的判决电平以去除信码经信道传输之后引入的干扰信号。信码经判决电路后成为半占空(请思考为什么要形成半占空码?) 的两路信号。相加后成为一路单极性归 0 信码。送到定时恢复电路和信码再生电路。

2.4.3 破坏点检测电路

本电路由 IC22A, IC22D, IC23A, IC24E, 和 IC22B, IC23B, IC24D, IC22C 及 IC21A 组成, 它的输入是 B 和 B-两个脉冲序列. 由 HDB3 编码规则已知在破坏点处会出现相同极性的脉冲, 就是说这时 B+和 B-不是依次而是连续出现的, 所以可以由此测出破坏点. F1 点检出 V+, F2 点检出 V-, 因而在 V 脉冲出现的时刻 H 点有一个正脉冲输出并加到 IC21B 的第 9 脚. 此正脉冲对应 HDB3 信码的第四位. 大家可根据所学知识画出 H 点 V 检出时序图。

2.4.4 去除取代节和信码再生电路

本电路由 IC21B, IC20, IC19A 组成, 由 IC17A 的 1 脚输出的单极性归 0 信码送到 IC20 的 4 脚 D1 端, 在位定是脉冲的控制下进行信码再生, IC20 (74LS175) 是由四个 D 触发器组成的移位寄存器, 它的 Q2, Q3 加到 IC21B 的输入端, 在 V 码出现的时刻, Q2, Q3 分别对应取代节的第 2 位和第 3 位, 他们都为 0, Q2, Q3 为 1, 和 H 点出现的正脉冲使得 IC21B 出 0, 加 IC20 的第 1 脚清零端, 使取代节的四位全为 0, 从而去掉了取代节, 再将信码经 IC19A 整形即可恢复原来的信码。破坏点检测与去除取代节电路一起完成信码再生功能。

2.4.5 定时恢复电路

已知随机序列的功率谱

$$PS(\omega) = 2f_s P(1-P) |G_1(f) - G_2(f)|^2 + f^2 |P G_1(0) + (1-P)G_2(0)|^2 \delta(f) + 2f_s^2 \sum_{m=1}^{\infty} |P G_1(mf_s) + (1-P)G_2(mf_s)|^2 \delta(f - mf_s)$$

其中 $TS=1/f_s$ 为基带脉冲宽度; $g_1(t)$ 和 $g_2(t)$ 则代表二进制符号的“0”和“1”, 它们出现的概率为 P 和 (1-P);

$$G_1(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g_1(t) e^{-j2f\pi t} dt$$

由 P_s 表达式中可见, 此功率谱中包含连续谱和离散谱. 若信号为双极性并且两极性波形等概

率出现时 $P=1-P$, $G_1(f)=-G_2(f)$, 则在 $P_s(\omega)$ 的表达式中后两项为 0, 没有离散谱存在, 这对于位定时恢复是不利的。所以将信码先整流成为单极性码, 再送入位定时恢复电路, 用滤波法由信码提取位定时, 这里给出的电路是用线性放大器做成选频放大器来选取定时频率分量。经整流恢复出的位定时信号用于信码再生电路, 使两者同步。本电路由晶体管 9013, 电阻 A10, A11, A3, A12, R14, 电容 C3, C2, C7, 二极管 A13, A14, 变压器 L1 组成选频放大电路, 经 C4, A15 延时, 由 IC24A, IC24F, IC24B 整形后加到 IC20 第 9 脚作为定时用。

HDB3 的优点是无直流成分, 低频成分少, 即使有长连“0”码时也能提取位同步信号。缺点是编译码电路比较复杂。HDB3 是 CCITT 建议欧洲系列一、二、三次群的接口码型。

本电路输入 B+ 和 B- 两个脉冲序列。由 HDB3 编码规则已知在破坏点会出现相同极性的脉冲, 就是说这时 B- 和 B+ 不是依次而连续出现的, 所以可以由此测出破坏点。本电路在 V 脉冲出现的时刻有输出脉冲。

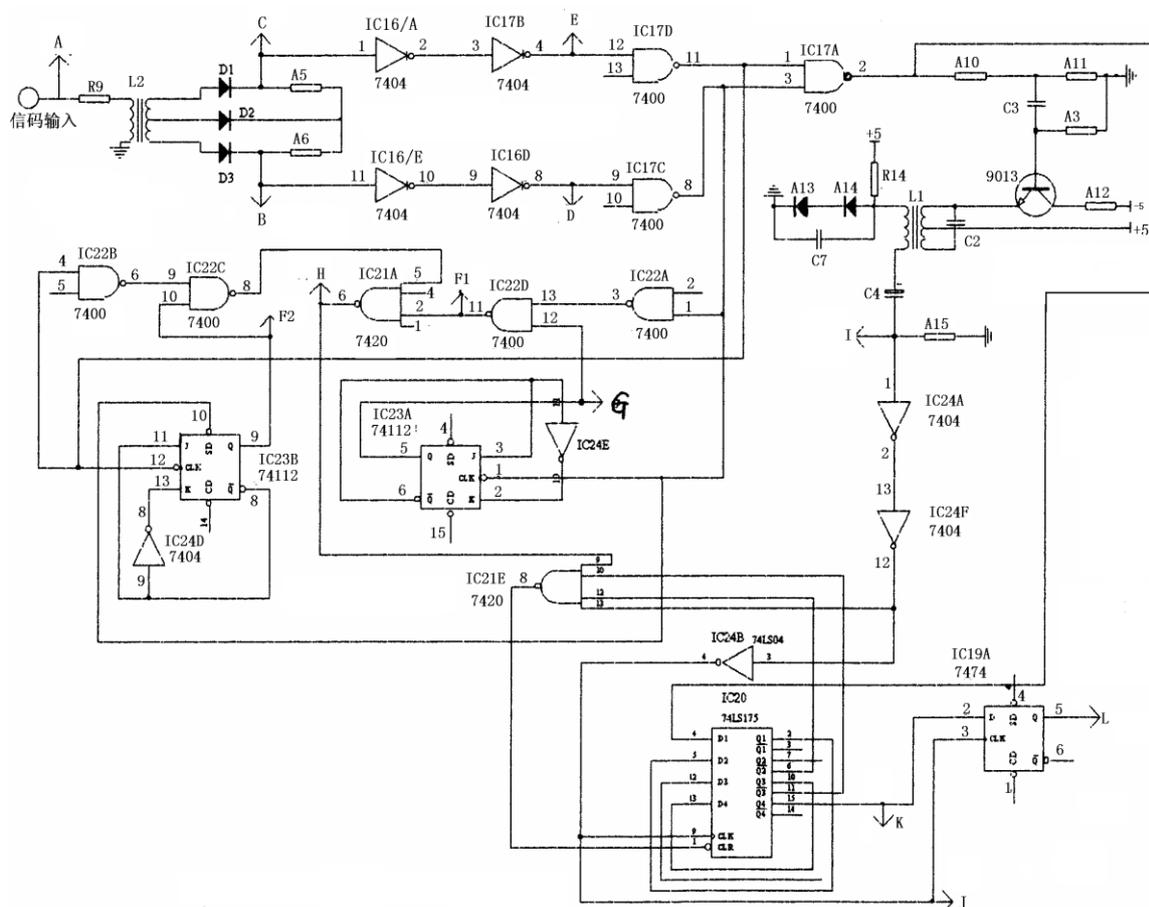


图 3.13 解码部分电原理图

2.2 实验内容与步骤

本实验设备提供一个实际使用的 HDB3 编/解码电路。实验者要根据基本原理, 分析说明电路工作原理与各部分功能。在熟悉了整个实验电路以后, 方可开始进行实验。具体实验内容与方法步骤是:

1. 定时信号的检测和信码的检测。

为了实验与检测电路方便, 我们提供了一个时钟源和标准信号源电路。时钟源是 2.048MHz 的脉冲信号, 信号源电路提供 1000 码序列和 M 序列。实验者可以自己分析工作原理, 了解并掌握

时钟源和标准信号源的检测方法并画出各信号波形。将检测的结果填如表中。

测量点	波形/幅度	频率	备注
PTZ			
PTC			
1000 信码			
M 序列			

2. 加入 1000 信码时的编/解码电路的检测

加 1000 码, 分析电路, 使其按 AMI 编码方式正常工作, 检测输出波形。具体方法是:

(1) 将 K1 接 1000 信码输出。

(2) 用示波器检测并记录编码部分 PT3-PT12 测试点的信号波形。并分析各级的工作特点, 掌握电路的检测技能, 验证 AMI 编码规则。

3. 加入 M 序列信码时的编码电路的检测

加入 M 序列信码, 分析电路, 使其按 HDB3 编码方式正常工作, 检测输出波形。具体方法是:

(1) 将 K1 接 M 序列输出信码。

(2) 用示波器检测编码部分 PT3—PT12 测试点的信号波形, 验证 HDB3 编码规则

4. 加入全“1”全“0”信码时的编码电路的检测

(1) 将 K2 接入, 且分别选择全“1”或全“0”信码。

(2) 用示波器检测编码部分 PT3—PT12 测试点的信号波形, 验证 AMI/HDB3 编码规则。

四. 实验预习

1. 不归零码和归零码的特点是什么?

2. 设代码为全1, 全0 及0111 0010 0000 1100 0010 0000, 给出AMI 及HDB₃ 码的代码和波形。

五、实验报告

1、根据实验结果, 画出主要测量点波形;

2、根据测量结果, 分析AMI 码和HDB₃ 码收时钟提取电路受输入数据影响的关系;

3、总结HDB₃ 码的信号特征;

附1 : CD22103 的引脚及内部框图

CD22103 的引脚及内部框图如图3.5 所示:

详细说明如下 :

- (1) NRZ-IN 编码器NRZ 信号输入端;
- (2) CTX 编码时钟 (位同步信号) 输入端;
- (3) HDB₃/AMI 码型选择端: 接TTL 高电平时, 选择HDB₃ 码; 接TTL低电平时, 选择AMI 码;
- (4) NRZ-OUT HDB₃ 译码后信码输出端;
- (5) CRX 译码时钟 (位同步信号) 输入端;
- (6) RAIS 告警指示信号 (AIS) 检测电路复位端, 负脉冲有效;
- (7) AIS AIS 信号输出端, 有AIS 信号为高电平, 无ALS 信号时为低电平;
- (8) V_{SS} 接地端;
- (9) ERR 不符合HDB₃/AMI 编码规则的误码脉冲输出端;
- (10) CKR HDB₃ 码的汇总输出端;
- (11) +HDB₃-IN HDB₃ 译码器正码输入端;
- (12) LTF HDB₃ 译码内部环回控制端, 接高电平时为环回, 接低电平时为正常;

- (13) -HDB₃-IN HDB₃ 译码器负码输入端； (14) -HDB₃-OUT HDB₃ 编码器负码输出端；
 (15) +HDB₃-OUT HDB₃ 编码器正码输出端； (16) V_{DD} 接电源端 (+5V)

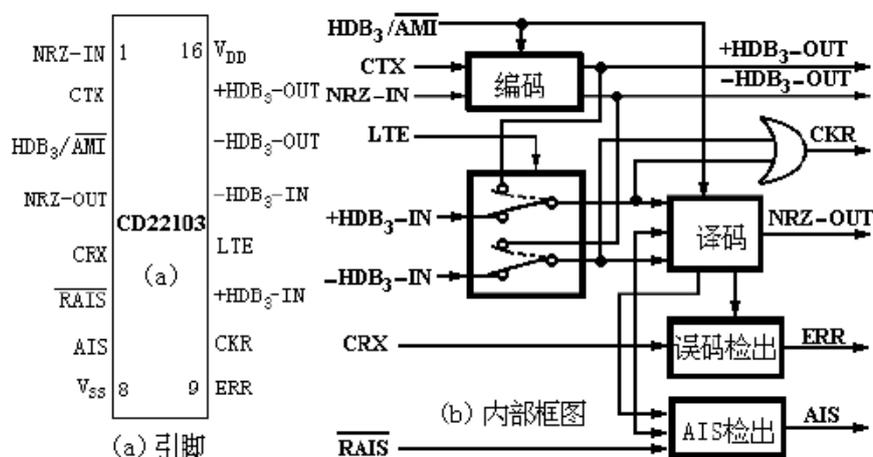


图3.5 CD22103 的引脚及内部框图

CD22103 主要由发送编码和接收译码两部分组成，工作速率为50Kb/s~10Mb/s。两部分功能简述如下。

发送部分：

当HDB₃/AMI 端接高电平时，编码电路在编码时钟CTX 下降沿的作用下，将NRZ 码编成HDB₃ 码（+HDB₃-OUT、-HDB₃-OUT 两路输出）；接低电平时，编成AMI 码。编码输出比输入码延迟4 个时钟周期。

接收部分：

(1) 在译码时钟CRX 的上升沿作用下，将HDB₃ 码（或AMI 码）译成NRZ 码。译码输出比输入码延迟4 个时钟周期。

(2) HDB₃ 码经逻辑组合后从CKR 端输出，供时钟提取等外部电路使用；

(3) 可在不断业务的情况下进行误码监测，检测出的误码脉冲从ERR 端输出，其脉宽等于收时钟的一个周期，可用此进行误码计数。

(4) 可检测出所接收的AIS 码，检测周期由外部RAIS 决定。据CCITT 规定，在RAIS信号的一个周期（500s）内，若接收信号中“0”码个数少于3，则AIS 端输出高电平，使系统告警电路输出相应的告警信号，若接收信号中“0”码个数不少于3，AIS 端输出低电平，表示接收信号正常。

(5) 具有环回功能

附 2 : ITU-TG.703 技术指标

ITU—T 对于通讯系统、网络、传输等都有详细、严格的规定，分别以各项建议的形式给出。研制设备、网络等应符合相应的各项建议中的技术指标要求。本实验中用到的 G. 703 建议是对分层的数字接口的物理和电气性能要求。下面给出 G. 703 中对 2.048MHZ 码的输出的部分要求：

测试负载阻抗 75Ω，电抗性。

信号峰值电压 2.37V

空号峰值电压 0±0.237V

脉冲中点处正负脉冲幅度值比 0.9-1.05

标称半幅度处脉冲宽度比 0.95-1.05

脉冲形状标称为矩形，波形上、下冲不超过 20%

实验四 移相键控 PSK 调制与解调实验

一. 实验目的

1. 掌握 2PSK 和 2DPSK 调制与解调电路的组成及工作原理。
2. 了解“0”相和“ π ”相载频产生方法与掌握二进制绝对码与相对码的码变换方法。
3. 掌握 2PSK 和 2DPSK 调制器、解调器的测试方法与学会 PSK 调制电路仿真实验技能。

二. 实验仪器

1. 现代通信原理实验系统 一台
2. 双踪示波器 一台

三、实验任务与要求

1. 基本实验

1.1 实验原理和电路说明

通信的最终目的是实现远距离传输信息。虽然数字基带信号可以进行近距离地直接传输,但要实现数字信息的远距离传输,特别是实现在无线电或光纤信道上的传输,就必须要将数字基带信号的频谱搬移到高频段,即实现使数字基带信号在有限带宽的高频信道中传输,则需要对数字信号进行载波调制。

调制信号为二进制序列时的数字频带调制称为二进制数字调制。由于被调载波有幅度、频率、相位三个独立的可控参量,当用二进制信号分别调制这三种参量时,就形成了二进制振幅键控(2ASK)、二进制移频键控(2FSK)、二进制移相键控(2PSK)三种最基本的数字频带调制信号,而每种调制信号的受控参量只有两种离散变换状态。本实验中只讨论二进制移相键控(2PSK)信号的产生与二进制移相键控(2PSK)信号的解调。

1) 二进制移相键控与二进制差分相位键控调制(2PSK 与 2DPSK)

众所周知,数字相位调制又称移相键控,简记 PSK,二进制移相键控记作 2PSK。它是利用载波相位的变化来传送数字信息的。通常有两种类型:绝对相移与相对相移

所谓绝对相移是以载波的不同相位的绝对值来直接传送相应二进制数字信号的一种调制方式,简称 2PSK。通常用已调载波的“0”相和“ π ”相,分别表示二进制数字的“1”和“0”

那么,怎样才能让载波不同相位的绝对值来传递数字信息呢?实现绝对相移的电路模型如图

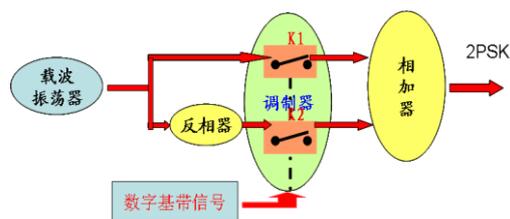


图 4.1 绝对相移电路组成框图

4.1 所示:

由图可见,它是用所传输的数字基带信号来控制电子开关,选择不同相位的载波输出,而载波的幅度和频率都不变,从而就得到载波相位发生变化的已调信号。我们把这种调制方式称为绝对数字相位调制。即 2PSK 调制。

实现 2PSK 调制时,在调制端是以某一载波的相位作基准的。为了恢复数字基带信号,接收端解调时,必须也要有一个与调制端同频同相的固定的载波基准相位作参考。如若因接收端遇到突发干扰(温度漂移或噪声干扰等)。就会使接收端的基准参考相位发生随机的跳变(0 相变 π 相或 π 相变 0 相),则产生倒“ π ”现象(或称相位模糊),对系统的误码和性能影响很大,使通信质量很差,故在实际工程中,基本不使用。为了克服这种现象,通常

在传输数据信号时采用二相相对移相(DPSK)方式。

所谓相对移相，就是用前后相邻码元的载波相对相位变化来表示数字信息。2DPSK 信号的实现方法可以采用：首先对二进制数字基带信号进行差分编码，将绝对码的二进制信息变换为用相对码表示二进制信息，然后再进行绝对调相，从而产生二进制差分相位键控信号。简称 2DPSK,实现相对相移的电路模型

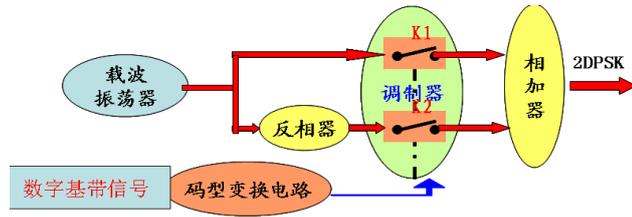


图 4.2 相对相移电路组成框图

如图 4.2 所：由图可见，实现 2DPSK 调制，就是采用码型变换法加绝对调相来实现，即把数据信息源作为绝对码序列 $\{a_n\}$ ，通过差分编码器变成相对码序列 $\{b_n\}$ ，然后再用相对码序列 $\{b_n\}$ ，进行绝对移相键控，此时该调制器的输出就是 2DPSK 已调信号。

由于解调 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，则只要鉴别这个相差关系就可正确恢复数字信息，这就避免了 2PSK 中的倒 π 现象发生，为此得到了广泛的工程应用。

PSK 调制在数字通信系统中是一种极重要的调制方式，它的抗干扰噪声性能及通频带的利用率均优先于 ASK 移幅键控和 FSK 移频键控。因此，PSK 技术在中、高速数据传输中得到了十分广泛的应用。本实验采用的是二相 PSK 调制，其它还有四相移相键控(QPSK)、八相移相键控(8PSK)、正交部分响应(QPRS)、十六进制正交调幅(16QAM)等。

本实验系统采用的是对调相电路实现 2PSK，电路构成如图 4.3 所示。

2PSK 的调制原理是用二进制基带信号作为模

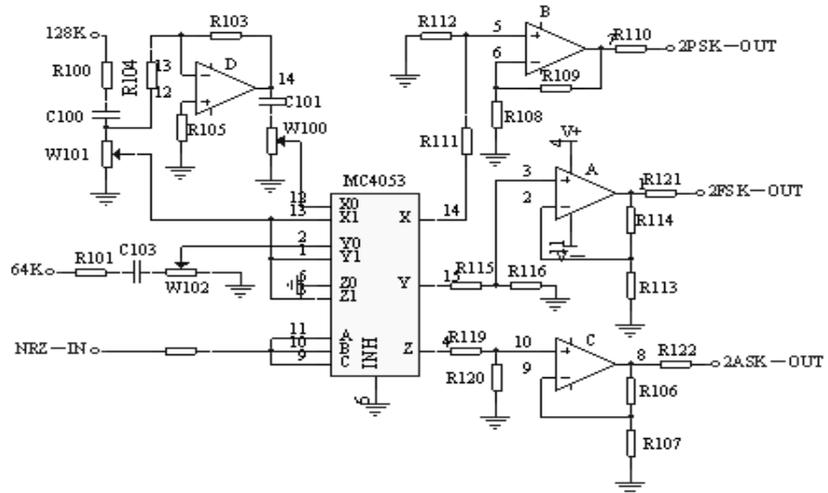


图 4.3 2PSK 调制器电路原理图

拟开关的控制信号来选通不同相位的载波，完成 2PSK 调制，其调制的基带信号和载波信号分别从“NRZ-IN”和“2PSK-IN”输入，送入集成模拟开关 MC4053，其输出端可得到调制信号，经 TL084 同相放大后输出 2PSK 调制信号。

2) 二进制移相键控与二进制差分相位键控 (2PSK 与 2DPSK) 信号解调

由于 2PSK 与 2DPSK 信号都是恒包络信号，因此对 2PSK 信号的解调一般应采用相干解调的方法来恢复原始信号。但在接收端如何得到同频同相的恢复载波是一个关键的问题。由于 2PSK 信号是抑制载波的双边带信号，不存在载波频率分量，因而无法直接从已调信号中提取本地载波，只有采用非线性变换才能产生新的频率分量。在实际工程中常用两种恢复载波电路。一种是如图 4.4 所示的平方环电路，另一种是如图 4.5 所示的科斯塔环电路。

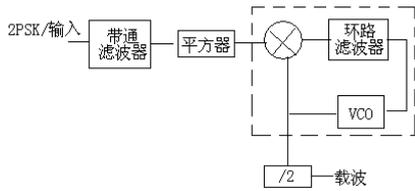


图 4.4 平方环电路

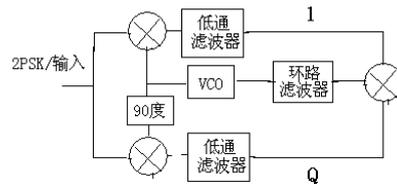


图 4.5 科斯塔环电路

本实验系统中，为简化实验设备，不使用载波提取电路，而是直接利用发端的载波，故相关原理请参阅其它资料。

对于 2PSK 信号的解调，可以用各种鉴相器来完成。只不过对 2DPSK 信号解调后要将相对码转换成绝对码。另一种 2SPSK 的解调方法如图 4.6 所示，称为差分相干解调法。

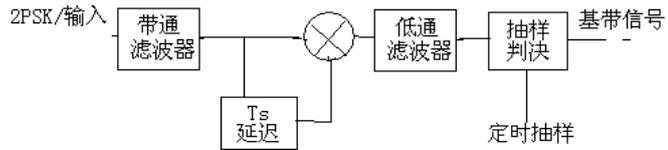


图 4.6 DPSK 差分相干解调电路

它是直接比较前、后码元的相位差而构成，由于此时的解调已同时完成码形变换作用，故无需再使用码变电路，这种解调方法由于无需专门的相干载波，是一种很实用的方法。当然，它需要一个延迟电路（精确地延迟一个码元间隔 T_s ），这将增加设备的复杂程度。

本实验系统采用的是极性比较法对 2PSK 信号进行解调，电路原理图如图 4.7 所示。

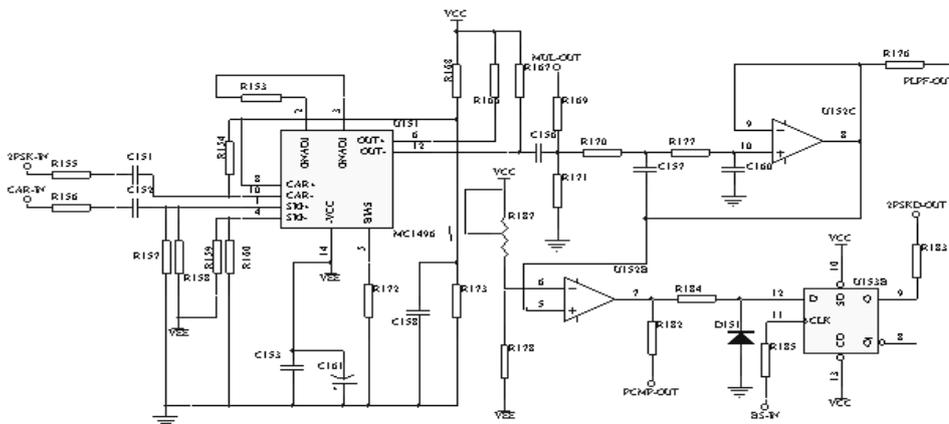


图 4.7 2PSK 信号解调电路原理图

2PSK 调制信号从“2PSK-IN”输入，位同步信号从“BS-IN”输入，同步载波从“载波输入”点输入。调制信号经过 MC1496 与载波信号相乘后，去掉了调制信号中的载波成分，再经过低通滤波器去除高频成分，得到包含基带信号的低频信号，对此信号进行抽样判决（抽样判决器由 U153B（74HC74）构成，其时钟为基带信号的位同步信号），就可以得到基带信号了。

1.2 . 基本实验与方法步骤

本基本实验是在实验箱提供的“数字调制与解调”、“DDS低频源”和“锁相高频源”模块上完成，其 2PSK 调制与解调电路原理图如图 4.3 与图 4.7 所示。实验用 2PSK 调制器与解调器测试电路组成框图与信号输入/输出测量点如图 4.8 所示。

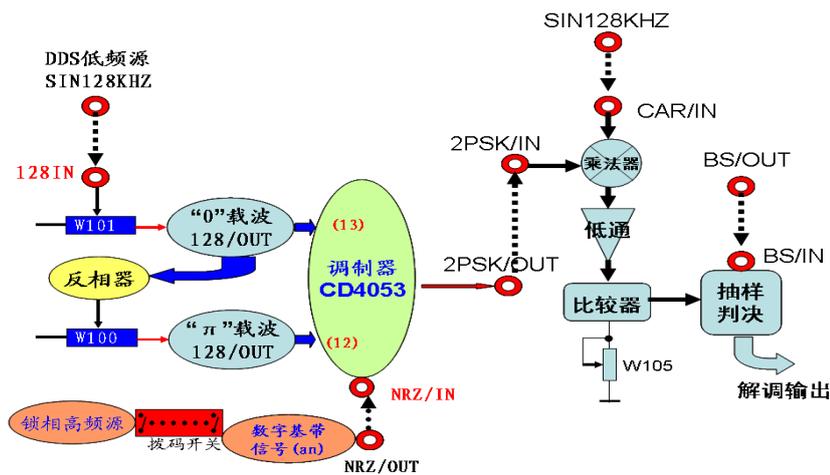


图 4.8 2PSK 调制器与解调器测试电路组成框图

输入、输出点参考说明

NRZ-IN: 基带信号输入点。

2PSK-IN: 2PSK 调制信号输入点。

BS-IN: 2PSK 解调位同步信号输入点

CAR-IN: 相干载波信号输入点。

2PSK-OUT: 2PSK 调制信号输出点。

PMUL-OUT: 2PSK 信号与载波信号相乘后信号输出点

PLPF-OUT: 2PSK 解调信号经过低通滤波器后的信号输出点。

PCMP-OUT: 2PSK 解调信号经电压比较器后的信号输出点(未经抽样判决)。

2PSKD-OUT: 2PSK 解调信号输出点。

(1) 基本实验内容

实验准备:

接好实验箱电源线, 打开实验箱电源开关, 设置好上述各实验单元电源跳线开关, 对应模块上的红、绿发光二极管发光, 实验箱开始正常工作。

① 数字基带信号、同相与反相载波信号的产生与测量。

1) 实验中数字基带信号由“锁相高频源”模块中的 8 位拨码开关产生, 其码速率为 16KHz。实验时, 拨动拨码开关, 预制数字基带信号为“101001”。

2) 载波信号由“DDS 低频源”模块提供 128KHz 的正弦波信号, 只需用连接线将“DDS 低频源”单元产生的 128KHz 的信号(128K-OUT 输出点)与“数字调制”单元的 128KHz-IN 输入点相连, 即可得到 128K 的正弦波信号。

3) 用示波器分别测量并记录数字基带信号“NRZ-IN”和“0”相(MC4053 的 13 脚)“π”相(MC4053 的 12 脚)载波。

② 2PSK 调制信号的产生与测量

1) 按图 4.8, 将数字基带信号“NRZ”和 128KHz 的正弦波信号分别送入数字调制单元的信号输入点“NRZ-IN”和“SIN128K-IN”。以信号输入点“NRZ-IN”的信号为同步, 用双踪示波器同时观察并记录“NRZ-IN”和“2PSK-OUT”点的波形(可以通过调

节电位器 RW101 或 RW100 改变载波的幅度), 并用频谱分析仪对这两点的信号进行频谱分析, 观察、比较其频谱。

2) 改变输入的基带信号, 重复上述实验步骤。

3. 2PSK 信号的解调与测量

1) 保持 2PSK 调制器能输出正确的 2PSK 调制信号

2) 按图 4.8, 将 2PSK 调制信号、相干载波“128KHz”信号、位同步信号“BS/OUT”分别送入数字解调单元的信号输入点“2PSK/IN”、“CAR-IN”和“BS-IN”。

3) 以数字基带信号“NRZ”作为示波器的同步, 用双踪示波器分别观察并记录输出点“PLPF-OUT”、“PCMP-OUT”、“2PSKD-OUT”处的波形, 并适当调节标号为“W105”的电位器, 直到“2PSKD-OUT”处观察到稳定的 NRZ 码, 并与信源产生的 NRZ 码进行比较。

4) 改变输入的基带信号, 重复上述实验步骤。

2. 仿真实验内容 (EWB 软件仿真)

2.1 实验电路建立

为顺利实现并完成 2PSK 与 2DPSK 调制与解调电路的仿真分析, 应完成图 4.9 所示 2PSK 与 2DPSK 调制与解调系统电路的建立。

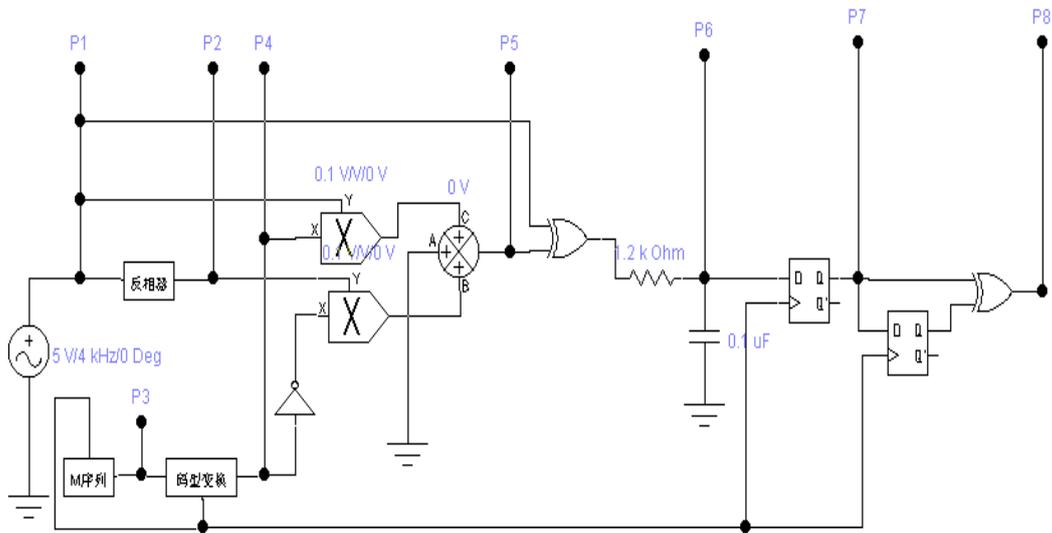


图 4.9 2DPSK 调制与解调系统电路组成框图

已知初始条件：

载波信号频率 4KHZ/3Vp-p 正弦波。

数字基带信号为 15 位 M 序列, 传输速率 2000bit/s。

调制器用模拟乘法器实现。

解调器采用相干解调方式, 用集成鉴相器实现。

① 载波振荡器

为保证高频载波的稳定性, 应选用并联晶体振荡电路, 实验中直接选用 EWB 软件中的交流信号源, 频率为 4KHZ, 电路如图 4.10 所示。

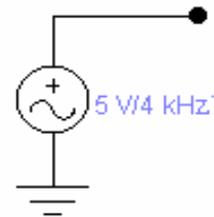


图 4.10 高频载波信号源电路

② 信码发生器电路

实际的数字基带信号是随机的，为了实验和测试的方便，一般都用 M 序列产生器产生的伪随机序列来充当数字基带信号。本次设计采用四级线性移位寄存器，如图 4.11 所示：其码长为 2^{n-1} 。图中，各级触发器的状态转移方程为：

$$\begin{cases} Q_4^{n+1} = Q_3^n \\ Q_3^{n+1} = Q_2^n \\ Q_2^{n+1} = Q_1^n \\ Q_1^{n+1} = Q_4^n \oplus Q_3^n + \overline{Q_0^n} + \overline{Q_4^n} + \overline{Q_1^n} \end{cases} \text{个}, \text{输出的信码为: } 111100010011010.$$

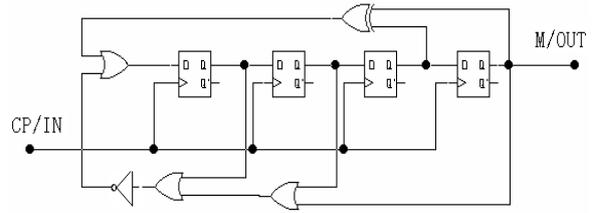


图 4.11 M 序列发生器电路图

③ 差分编码电路

所谓相对移相（差分移相），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成。

相对码的变换电路实际上是将数字信息序列经过一个单位码元宽度延时后与原信号作“模二和”运算（异或运算——0 保持，1 反转）来实现的，即

$$B_n = A_n \oplus B_{n-1}.$$

其电路组成如图 4.12 所示。当输入的绝对码 A_n 为：111100010011010 时，则输出的相对码为：101000011101100。

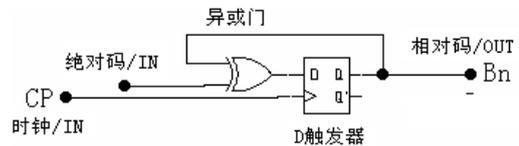


图 4.12 相对码变换电路图

④ 反相器电路

为获得 π 相载波，本电路由集成运放构成反相运算放大器，要求放大倍数为 1，电路如图 4.13 所示：已知：反相运算放大器的 $A_v = -R_f/R_1$ ，输入电阻 $10K\Omega$ 。

为此，取： $R_f = 10K$ 则：

$$R_1 = 10K$$

$$R_2 = R_f/R_1 = 5K\Omega, \text{若取标称电组, 可选用 } 4.7\text{—}5.1K\Omega.$$

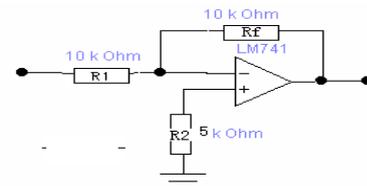


图 4.13 反相运算放大器电路图

⑤ 二分频器

因初始条件要求数字信码的传输速率是 2KHZ，而载波主频为 4KHZ，为简化电路，采用二分频器。二分频器由 D 触发器构成，电路如图 4.14 所示。

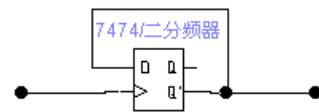


图 4.14 二分频器电路图

⑥ 调制器

因初始条件要求 2PSK 调制电路采用模拟乘法器实现，电路构成如图 4.15 所示。

⑦ 鉴相器与低通滤波器

实际工程中的鉴频、鉴相器可由门电路或异或门及专用集成电路构成，它可实现对移相键控 2PSK 信号的解调，特别是输出信号的

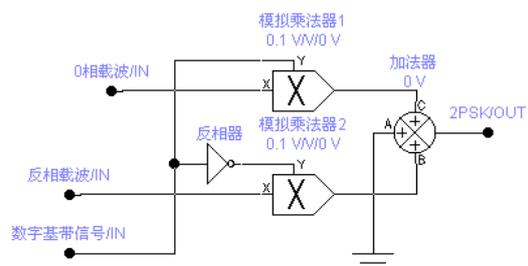


图 4.15 模拟乘法器构成的 2PSK 调制电路

频率是输入信号频率的两倍，这有利于滤波器对纹波电压的滤除，使输出相位抖动小。为此，本次仿真实验选用异或门集成电路实现。

低通滤波器可用运算放大器构成一阶或二阶低通滤波电路，也可以用 RC 阻、容器件构成，为简化实验电路，本次实验采用 RC 阻、容器件构成低通滤波器，已知 RC 低通滤波器的通带频率为：

$f_H = \frac{1}{2\pi RC}$ 。只要满足 $1\text{KHZ} < f_H < 4\text{KHZ}$ 即可，电路组成如图 4.16 所示。

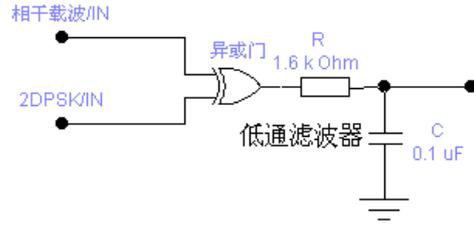


图 4.16 鉴相器与低通滤波器电路图

③ 抽样判决器与码反变换电路

由于经低通滤波器输出的数字基带信号存在一定程度的失真，故要经过抽样判决电路进行同步判决。同步判决电路由一个 D 触发器构成，由于 D 触发器是一个延迟器，故使输出信号脉冲较原输入脉冲滞后一个码元。

码反变换电路与码变换电路相似，其功能可由一个模二和电路与一级移位寄存器组成，逻辑关系为： $a_i = b_i \oplus b_{i-1}$ ，其

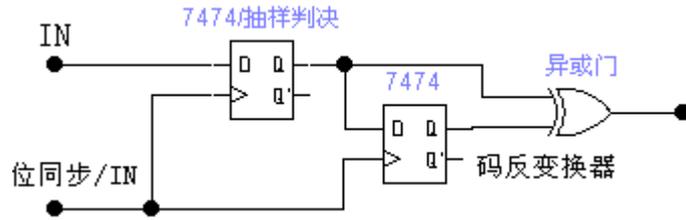


图 4.17 抽样判决器与码反变换电路

2.2 扩展实验实验内容与方法步骤

根据图 4.9，将各单元电路合理组成 2PSK 与 2DPSK 调制/解调系统电路。完成以下内容的实验仿真。

① 数字基带信号、同相与反相载波信号的产生与测量。

用示波器测量并记录 P1、P2 和 P3 点的波形。

② 数字基带信号的码型变换与观测。

用示波器测量并记录 P3(A_n)和 P4(B_n)点的波形,检验码型变换电路是否正确。

③ 2PSK 与 2DPSK 调制信号的产生与测量

分别按 2PSK 与 2DPSK 调制/解调系统电路构建实验电路，用示波器测量并记录 P3(A_n)和 P5(2PSK)点的波形,检验调制电路是否工作正确。根据测量结果，分析比较 2PSK 与 2DPSK 调制的特点。

④ 2PSK 与 2DPSK 信号的解调与测量

用示波器测量并记录 P3(A_n)和 P5(2PSK)、P6、P7、P8 点的波形,检验解调电路是否工作正确。根据测量结果，分析比较 2PSK 与 2DPSK 调制的特点，说明 2DPSK 解调器系统由哪几大部分组成？简述各部分的作用。

四. 实验报告要求

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，画出各测量点的波形图。
3. 记录实验中出现的的问题，提出改进意见。
- 4.

实验五 移频键控 FSK 调制与解调系统设计实验

一. 实验目的

数字频率调制是数据通信中使用较早的一种通信方式, 由于这种调制解调方式容易实现, 抗噪声和抗衰减性能强, 因此在中低速数据通信系统中得到较为广泛的应用。通过此综合实验, 应达到:

1. 进一步加深对数字调制中的移频键控 FSK 调制器与解调器工作原理及电路组成的理解与掌握。

2. 学会综合地、系统地应用已学到的知识, 对移频键控 FSK 调制与解调系统电路的设计与仿真方法, 提高独立解决问题的能力。

二. 实验要求

构建并设计一个数字移频键控 FSK 传输系统, 具体要求是:

主载波频率: 11800HZ

载波 1 频率: 2950HZ (四分频)

载波 2 频率: 1475HZ (八分频)

数字基带信号 NRZ: 15 位 M 序列, 传输速率约为 400 波特。(32 分频)

FSK 调制器可以采用数字门电路构成电子开关电路(或集成模拟开关)与采用集成模拟乘法器, 利用键控法实现。

FSK 解调器可以采用非相干解调法或过零检测法实现。

传输信道不考虑噪声干扰, 采用直接传输。

整个系统用 EWB 软件仿真完成。

三. 综合设计原理与思路提示

1. 实验原理

数字频率调制又称频移键控, 记作 FSK (Frequency Shift Keying), 二进制频移键控记作 2FSK。

数字频移键控是用载波的频率的变化来传送数字消息的, 即用所传送的数字消息控制载波的频率。由于数字消息只有有限个取值, 相应地, 作为已调的 FSK 信号的频率也只能有有限个取值。那么, 2FSK 信号便是符号“1”对应于载频 f_1 , 而符号“0”对应于载频 f_2 (与 f_1 不同的另一载频) 的已调波形, 而且 f_1 与 f_2 之间的改变是瞬间完成的。从原理上讲, 数字调频可用模拟调频法来实现, 也可用键控法来实现, 后者较为方便。

1) FSK 调制信号的产生

实现数字频率调制的方法很多, 总括起来有两类。直接调频法和移频键控法。注意到相邻两个振荡器波形的相位可能是连续的, 也可能是不连续的, 因此有相位连续的 FSK 及相位不连续的 FSK 之分。并分别记作 CPFSK 及 DPFSK。

所谓直接调频法, 就是用数字基带矩形脉冲控制一个振荡器的某些参数, 直接改变振荡频率, 使输出得到不同频率的已调信号。用此方法产生的 2FSK 信号对应着两个频率的载波, 在码元转换时刻, 两个载波相位能够保持连续, 所以称其为相位连续的 CPFSK 信号。直接调频法产生的移频键控信号虽易于实现, 但由于是同一振荡器产生两个不同频率的信号, 在频率变换的过渡点相位是连续的, 其频率稳定度较差。而且这种方法产生的 FSK 信号频移

不能太大，否则振荡不稳，甚至停振，因而实际应用范围不广，仅适用于低速传输系统。频率键控法又称为频率转换法，它是用数字矩形脉冲控制电子开关，使电子开关在两个独立的振荡器之间进行转换，从而在输出端得到不同频率的已调信号。由于产生 f_1 和 f_2 载频是由两个独立的振荡器实现，则输出的 2FSK 信号的相位是不连续的。这种方法的特点是转换速度快，波形好，频率稳定度高，电路不甚复杂，在实用中可以用一个频率合成器代替两个独立的振荡器，再经分频链，进行不同的分频，也可得到 2FSK 信号。故得到广泛应用。

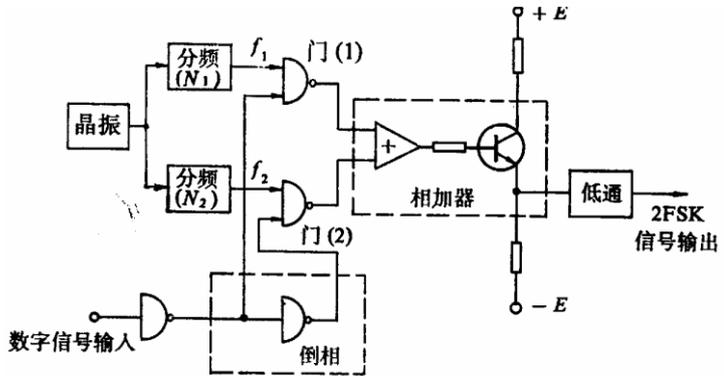


图 5.1 频率键控调制器

此外，实用电路中还可以借助于数字电路来实现移频键控，如图 5.1 所示。

由图可见，晶振输出的主载波，通过不同次数的分频(或倍频)器，可得到两种不同频率的载波，其相位也不完全相等。当数字基带信号 $g(t)$ 为高电位时，与非门 1 关闭，与非门 2 打开，输出频率为 f_2 的信号。当 $g(t)$ 为低电位时与非门 1 打开，与非门 2 关闭，输出频率为 f_1 的信号。这样，经过相加器相加后，就可输出 2FSK 信号。这种方法实现移频键控电路集成化程度高、体积小、可靠性高。

2) 数字调频 FSK 信号的解调

数字调频信号的解调方法很多，可以分为线性鉴频法和分离滤波法两大类。线性鉴频法有模拟鉴频法、过零检测法、差分检测法等，分离滤波法又包括相干检测法、非相干检测法以及动态滤波法等。非相干检测的具体解调电路是包络检测法，相干检测的具体解调电路是同步检波法。下面仅就过零检测法与非相干检测法做以介绍。

(1) 过零检测法

单位时间内信号经过零点的次数多少，可以用来衡量频率的高低。数字调频波的过零点随不同载频而异，故检出过零点可以得到关于频率的差异，这就是过零检测法的基本思想。过零检测法又称为零交点法，计数法。

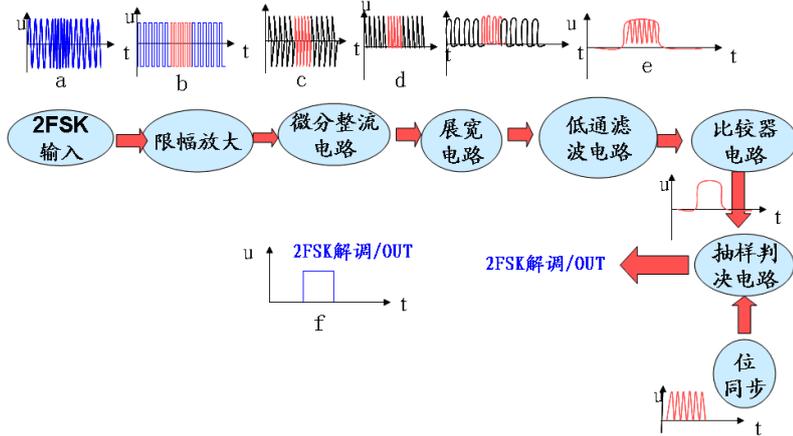


图 5.2 过零检测法方框图及各点波形图

其原理方框图及各点波形图见图 5.2。

考虑一个相位连续的 FSK 信号 a，经放大限幅得到一个矩形方波 b，经微分电路得到双向微分脉冲 c，经全波整流得到单向尖脉冲 d，单向尖脉冲的密集程度反映了输入信号的频率高低，尖脉冲的个数就是信号过零点的数目。单向脉冲触发一脉冲发生器，产生一串幅度为

E 宽度为 τ 的矩形归零脉冲 e 。脉冲串 e 的直流分量代表着信号的频率，脉冲越密，直流分量越大，反映着输入信号的频率越高。经低通滤波器就可得到脉冲串的直流分量 f 这样就完成了频率 \leftrightarrow 幅度变换，从而再根据直流分量幅度上的区别还原出数字信号“1”和“0”。

(2)非相干解调法

2FSK 非相干解调电路的系统原理框图如图 5.3 所示：主要由高通滤波器、包络检波器和电压比较器构成。

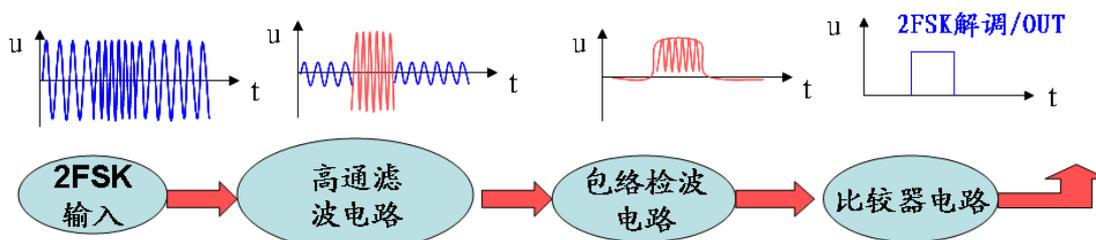


图 5.3 非相干测法方框图及各点波形图

输入的 FSK 信号，经高通滤波器滤除两个载频中的一个，经包络检波器整流与低通滤波器后得到数字基带信号，最后经电压比较器就可得还原出的数字信号“1”和“0”。

2. 设计思路提示

1) 2FSK 调制系统

本次综合设计实验的调制系统主要由主载波振荡器、分频器、M序列发生器、调制器、相加器和有源带通滤波器等构成。其调制电路的组成框图如图 5.4 所示。

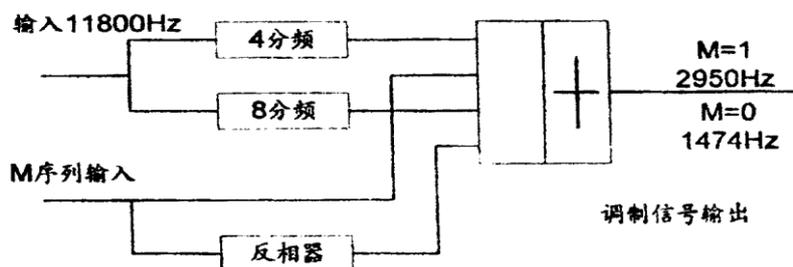


图 5.4 FSK 调制器电路组成框图

从图 5.4 可以看出，当信码为“1”时，分频链作 4 分频，即输出频率为 2950Hz 载波，信码为“0”时，分频链作 8 分频，输出频率为 1475Hz 载波。如此一来，多谐振荡器输出的载波，通过不同次数的分频，就得到了两种不同频率的输出，经相加器后，从而在输出端得到不同频率的已调信号，即 FSK 信号，完成了数字基带信号转换为数字频带信号的过程。

在了解与掌握 2FSK 调制系统电路的基础上，进行自己的设计与实验。需要设计的单元电路有：

①主载波振荡器

主要提供 2FSK 的载波和信码的定时信号，可用集成电路（555）构成多谐振荡器，产生的振荡频率为 11800Hz 载波，要求输出频率可调。

②分频器

将主载波按设计要求，一般用 D 触发器构成适当的分频电路，获得载频 f_1 、 f_2 和 M 序列所需的时钟信号（电路设计方法参见实验四或其它有关资料）。

③ M序列发生器

M序列发生器用 D 触发器构成四级移位寄存器组成，形成长度为 $2^4-1=15$ 位码长的伪随机码序列，码率约为 400bit/s（电路设计方法参见实验四或其它有关资料）。

④ 调制器

调制器可以采用数字门电路构成电子开关电路（或直接选用集成模拟开关）与采用集成模拟乘法器。相加器直接调用 EWB 中的加法器模块。

2) 2FSK 解调系统

本次综合设计实验的解调系统可以采用线性鉴频法中的过零检测法。也可以采用分离滤波法中的非相干检测法。

(1) 非相干解调法

对于非相干检测法，其系统电路构成如图 5.5 所示。在了解与掌握了 2FSK 非相干检测法系统电路的基础上，进行自己的设计与实验。需要设计的单元电路有：

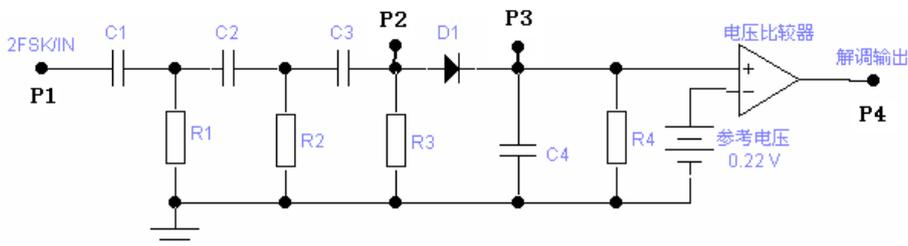


图 5.5 2FSK 非相干解调电路原理图

① 高通滤波器

要求采用 RC 无源电路，构成三阶高通滤波器。已知 2FSK 的中心频率： $f = f_1 + f_2/2$ ，

且滤波器的通带频率： $f_H = 1/2kRC$ ，所以有： $C = 1/fR$ $R = 1/fC$ 。

② 低通滤波器

低通滤波器为一般 RC 滤波器电路，电路元件参数计算请参阅《高频电子线路》中检波器相关章节。

③ 电压比较器

电压比较器用运算放大器构成迟滞比较器，参考电压给定为 0.22V。

(2) 过零检测法

对于过零检测法，其系统电路构成如图 5.6 所示。

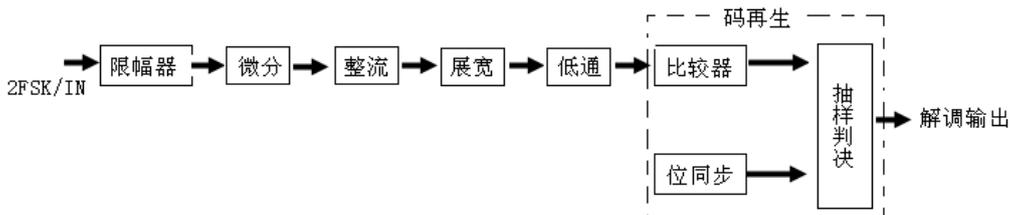


图 5.6 过零检测电路组成框图

在了解与掌握了 2FSK 过零检测法系统电路的基础上，可参考其它资料，进行自己的设计与实验。

四. 实验内容与方法步骤：

在完成电路设计与 EWB 的电路构成后，进行下列实验项目。

1. FSK 调制器 (发送单元) 的测量实验

① 检测、调整多谐振荡器输出的载波信号

本实验中，由 (555) 集成电路构成一个时钟信号发生器。振荡频率由 555 的 7 脚外接电位器 W1 和电容 C1 决定，其振荡频率约为 11800HZ，可以通过调整 W1 来改变频率。用示波器观看波形，并用频率计测量频率，将测量结果填入表 5.1 中。

表 5.1

测量点	测量波形	频率数	备 注
1. 1			

② 调测分频器的分频比

本 FSK 实验电路利用一个信号源经不同的分频，产生两个频率不相同的载波。以实现移频键控。

为了便于理解和掌握分频器的分频比概念，本实验电路中要求特设一个测量转换开关，用以改变信码输入的连接点。

当信码为“0”输入，此时分频器的分频比为 8 分频，输出 11800/8=1474HZ 的载频。

当信码为“1”输入，此时分频器的分频比为 4 分频，输出 11800/4=2950HZ 的载频。

当信码为“M 序列”输入，此时应输出载频按信码变化的 2FSK 信号。将测量结果填入表 5.2 中。

表 5.2

测量点	测量波形	频率数	备 注
			信码为“0”
			信码为“1”
			信码为“M 序列”

③ M 序列发生器产生的伪随机码的检测

这部分是为了向 FSK 提供调制信码而设置的，M 序列发生器为四级 D 触发器组成的最长线性反馈移位寄存器，形成 $2^4-1=15$ 位的伪随机序列为：00100110101111。用示波器分别测量 M 序列的定时脉冲和 M 序列现码，将测量结果填入表 5.3 中。

表 5.3

测量点	测量波形	频率数/伪随机码	备 注
			M 序列定时脉冲
			M 序列

④ FSK 调制输出信号的检测

(1) 将信码设置为“全 0”，观察并记录调制器的输出信号波形。

(2) 将信码设置为“全 1”，观察并记录调制器的输出信号波形。

(3) 将信码设置为“M 序列”，观察并记录调制器的输出信号波形。

(4) 将测量结果填入表 5.4 中。

表 5.4

测量点	测量波形	备注
		信码为“0”
1.		信码为“1”
		信码为“M 序列”

2. FSK 解调器 (接收部分) 的测量实验

1) 过零检测电路的测量

从解调原理中我们已知，过零检测电路应包括限幅放大器、微分整流器、脉冲形成（展宽）电路和有源低通滤波器。过零检测电路的功能是将数字频带转换为数字基带信号。此部分检测的内容和步骤是：

① 限幅放大器检测

限幅放大器是为了把输入的 FSK 正弦调制信号变换成方波信号，以便取得过零点信息。用双踪示波器的测量经限幅放大后输出的方波波形。注意观察两波形的特点。

② 微分整流电路的检测

为了得到过零点信息，本实验采用微分整流的方法。即将方波为双极性尖脉冲，再经全波整流（D2、D3）后得到的单极性尖脉冲。用示波器观察注意观察两波形的特点。此单极性尖脉冲的密集程度，应反映出输入信号的频率高低。

③ 脉冲形成（展宽）电路的检测

本实验电路中，用整流后得到的单极性尖脉冲去触发一单稳态脉冲触发器，使之产生并形成一串幅度为 E ，宽度为 τ 的矩形归零脉冲。用示波器检测经脉冲形成电路后得到的一串幅度为 E ，宽度为 τ 的矩形归零脉冲。

④ 有源低通滤波器的检测

由于矩形脉冲具有丰富的高次谐波，为了得到对应于原数字信号的基带信号，本实验电路中设置了二级有源低通滤波器，以滤除高次谐波而取出基带信号。

用双踪示波器的 YA 在测量点检测经二级有源低通滤波器后得到的数字基带信号。此数字基带信号受脉冲形成电路中的电位器 W2 控制。如果利用码定时载波作同步信号，可看到眼图。

2) 位同步提取电路的测量

本实验电路采用自同步的方式，用过零检测法来提取位同步载波。具体检测内容和方法与上述基本相同。

① 判决、微分整流电路的检测

② 有源带通滤波器的检测

③ 整形延迟电路的检测

④ 码再生电路的测量

从过零检测低通滤波器输出的信号，必须进行码再生才能恢复出和发端相同的非归零信码。本实验电路中的码再生电路用一比较器对解调获得的基带信号进行零电平判决，再由一

触发器对判决信号进行抽样再生，最后输出信码为 $2^4-1=15$ 伪随机序列，完成对 FSK 信号的解调。

用双踪示波器的 YA 测量经码再生电路输出的还原信码。

用双踪示波器的 YB 在测量 M 序列产生的伪随机码，两处的波形应完全一致。说明 FSK 解调成功。

3) 非相干解调电路的测量

非相干解调电路主要由高通滤波器、检波器、低通滤波器和电压比较器等电路构成，此部分检测的内容和步骤是：（自列表格记录实验数据）

- ① 高通滤波器输出波形检测。
- ② 检波器输出信号波形检测。
- ③ 低通滤波器输出信号波形检测。
- ④ 电压比较器输出信号波形检测。

五. 实验报告

1. 整理实验数据、波形，撰写符合规范的综合实验报告。
2. 简单描述 FSK 调制与解调系统的组成及各部分的作用。
3. 实现 FSK 调制和解调是否还有别的办法？
4. 为什么利用 FSK 波形的过零点可检测出信码来？
5. 从信码中直接提取同步是如何使信码变换成含有位同步信息的？
6. 通过本实验有什么收获和体会。

实验六 数字通信系统综合实验

《通信原理》课程主要学习的是信息传输及复用的基本理论和技术。它的研究对象是通信系统，研究目的是利用尽可能小的通信资源（频率资源、功率资源），获得尽可能高的通信质量。研究的方法是在系统级、模块级的层次上寻求提高通信系统的性能指标（有效性和可靠性）的方式、方法和手段。在完成了单元电路实验的基础上，本实验的内容是以自主设计为主，以实验箱提供的各单元模块进行合理的选择，从系统的层次更好地把握相关概念。提高动手能力和独立分析问题与解决问题的能力。

在通信原理综合实验系统中，为便于学习和实验，各项实验内容是以模块进行划分，每个测试模块可以单独开设实验。也可将各模块组合应用，构建不同的通信系统，各模块之间的系统连接见图 6.1 所示。

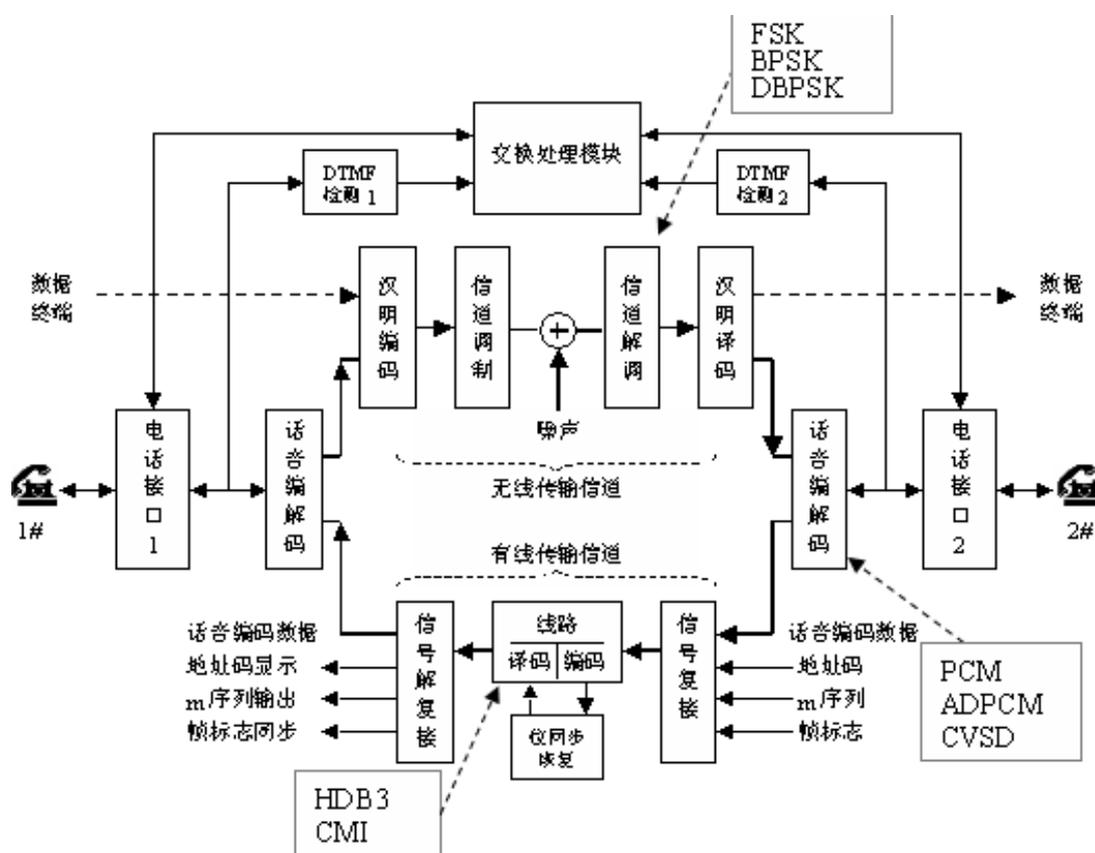


图 6.1 各电路模块间连接框图

由图可以看出，在系统中通信双方的传输信道是不对称的。从用户电话 1 向用户电话 2 的信号支路是以无线信道传输技术为主，信号流程为：用户电话接口 1→语音编码 1→汉明纠错编码→信道调制→加噪信道→信道解调→汉明译码→语音解码 2→用户电话接口 2。

从用户电话 2 向用户电话 1 的信号支路是以有线信道传输技术为主，信号流程为：用户电话接口 2→语音编码 2→信道复接→线路编码（HDB3/CMI）→线路译码→信道解复接→语音解码 1→用户电话接口 1。

在每一个模块中，都有测试点与测试插座对应信号点的定义。以下，对六种通信系统加以介绍，供参考。

6.1 电话交换呼叫处理通信系统综合实验

一、实验原理

一般程控交换机组见图 6.2 所示。

它主要由 (1) 用户接口电路; (2) 话路网络 (交换网络); (3) 控制系统; (4) 出/入中继器; (5) 话务台等功能模块组成。从图中可以看出, 话音通道与信令通道是两个独立的通道, 它们在用户接口电路出口处分离, 话音通道

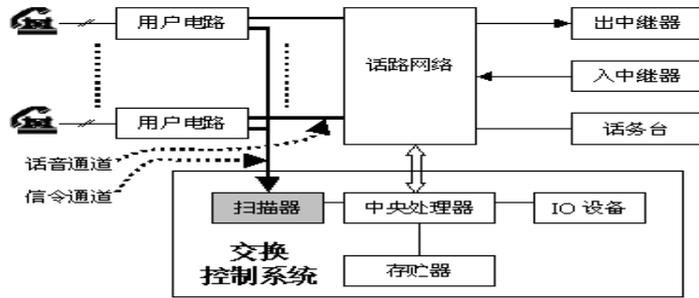


图 6.2 程控交换机组框图

去话路网络 (交换网络), 信令去控制系统的扫描器。为让学生熟悉程控交换的工作过程, 掌握电话的接续处理原理, 通信原理综合实验平台有一个简易的程控交换处理系统 (省略了出/入中继器和话务台), 由它组成的电话呼叫处理实验系统电路功能组成框图见图 6.3 中所示。

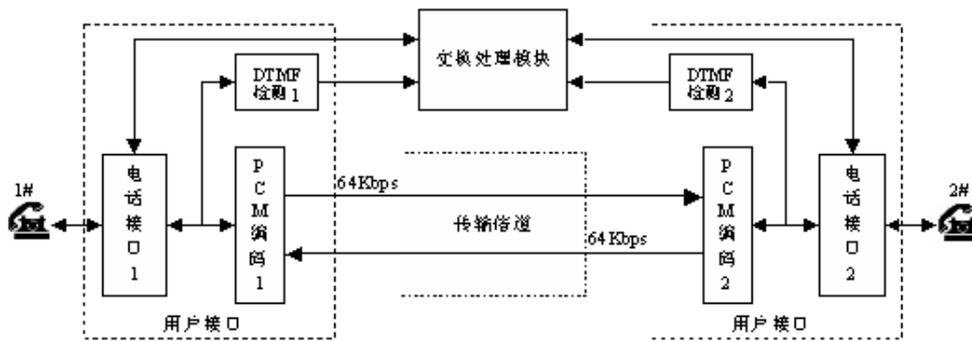


图 6.3 电话呼叫处理系统实验电路功能组成框图

对于用户接口上的信令可分为线路信令与地址信令 (也称之为记发器信令)。线路信令主要反映了二线用户话机的状态: 摘机或挂机, 此类信令一般由 SLIC 电路检测 (该方面已包括在前面的实验中); 地址信令主要是用户发出的拨号信息, 该类信令一般由双音多频 (DTMF) 检测器进行检测。

用户线上的地址信令存在两种技术标准: 脉冲拨号方式和 DTMF 方式。本系统中采用 CM8870 器件进行 DTMF 信号的检测。

话音编码采用 PCM 编码, 本系统中采用 MC14LC5540 器件完成 PCM (或 ADPCM) 编码。

连接于电话网的任何两台电话在进行通信时, 必须按照一定的规程进行: 例如号码编号、用户线信令、接续程序等等。在该实验中要求学生对话在接续过程中的信令交换过程有一个较清楚的认识。

二、实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 电话机 | 二部 |

三、实验目的

1. 了解程控交换的基本原理
2. 熟悉用户扫描器的结构
3. 理解话音通道与信令通道如何在电路中进行传输和独立处理
4. 掌握主叫用户的呼叫过程
5. 了解在主叫呼叫过程中的信令处理过程
6. 掌握主叫因被叫用户的状态在接续过程中信号音的变化
7. 被叫状态对主叫状态的影响

四、实验内容

准备工作：

(1) 将通信原理综合实验系统上电话 1 模块内发、收增益选择跳线开关 K101、K102 设置在 N 位置（左端），电话 2 模块内发、收增益选择跳线开关 K201、K202 设置在 N 位置（左端）；

(2) ADPCM1 模块内输入信号选择跳线开关 K501 设置在 N 位置（左端），发、收增益选择跳线开关 K502、K503 设置在 N 位置（1_2：左端），输入数据选择跳线开关 K504 设置在 ADPCM2 位置（中间）；ADPCM2 模块内输入信号选择跳线开关 K601 设置在 N 位置（左端），发、收增益选择跳线开关 K602、K603 设置在 N 位置（1_2：左端），输入数据选择跳线开关 K604 设置在 ADPCM1 位置。

(3) DTMF1 模块内增益选择跳线开关 K301 设置在 N 位置（左端），DTMF2 模块内增益选择跳线开关 K401 设置在 N 位置（左端）；

(4) 将 2 部电话机分别接入 PHONE1 和 PHONE2 插座；

(5) 加电后通过菜单设置在 PCM 编码方式。用示波器测量 DSP+FPGA 模块测试点 TPMZ07 有脉冲信号，则系统运行正常。

下面所有实验均在第一个用户模块上进行测试，第一个用户模块在通信原理综合实验系统平台的左方中间位置。

1. 正常通话状态呼叫处理过程

测量信令交互过程如图 6.4 所示。二部话机插 PHONE1 和 PHONE 2 位置，均处于挂机状态。

(1) 话机 1 摘机：电路上测试 TP105 由高电平变为低电平，测试 TP107 为连续的 450HZ 的方波信号（注：实际交换机设备应为正弦波信号），同时主叫话机 1 处听到拨号音。

(2) 话机 1 拨对端号码 2：电路上测试 TP107 有回铃音信号，主叫 201 处听到回铃音，在被叫话机 2 处听到振铃信号。测量回铃音信号的通/断时间，记录测量结果。

(3) 话机 2 摘机：电路上测试 TP107 回铃音信号消失，主叫话机 1 处回铃音消失，同时被叫话机振铃信号消失。当对方讲话时可观察到对方的语音信号，此时双方都可听到对方的讲话。注意观察话音信号的波形变化：频率、音节等。

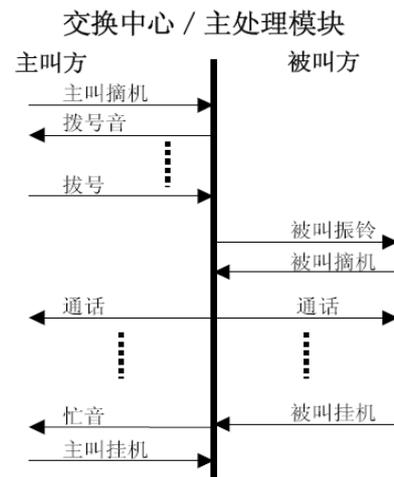


图 6.4 通话信令交互过程

(4) 话机 2 挂机：电路上测试 TP107 为忙音信号，被叫话机 1 处可听到忙音；测量忙音信号的通/断时间，记录测量结果。

(5) 话机 1 挂机：电路上测试 TP105 由低电平变为高电平，通话结束。

2. 被叫忙呼叫处理过程

被叫先处于摘机状态，此时话机 1 拨对端号码 2 将听忙音。对于该过程的信令交互与描述由学生自己组织。

3. 主叫拨网内空号后呼叫处理过程

主叫话机 1 错拨非本地交换局内的号码时将听忙音。对于该过程的信令交互与描述由学生自己组织。

4. 被叫久叫不应呼叫超时处理过程

被叫振铃后不应答，当振铃超时后将听忙音。对于该过程的信令交互与描述由学生自己组织。

5. 主叫摘机长时间不拨号超时处理过程

主叫摘机后，听到拨号音但长时间不拨号，当超时后主叫将听忙音。对于该过程的信令交互与描述由学生自己组织。

五、实验报告

1. 用户摘机的检测过程。
2. 主叫信号音的变化规律。
3. 画出主叫状态变化图。
4. 被叫用户在接续过程中状态的变化。
5. 被叫状态对主叫状态的影响。
6. 画出被叫状态变化图。

6.2 时分复用 (TDM) 通信系统综合实验

一. 实验原理

在复接/解复接实验中，实验能直观观测信号的帧结构和接收端的帧同步过程；为了让学生能深入了解信号时分复用技术在一个传输系统中的性能、作用及对相关通信业务的影响，本节实验将数据和话音业务通过复接/解复接模块传输，测量复接/解复接器在传输信道不同误码率（4种可选）环境下对数据和话音业务的影响。本实验是在本章实验一的基础上增加了复接/解复接模块，实验的系统连接框图见图 6.5 所示。

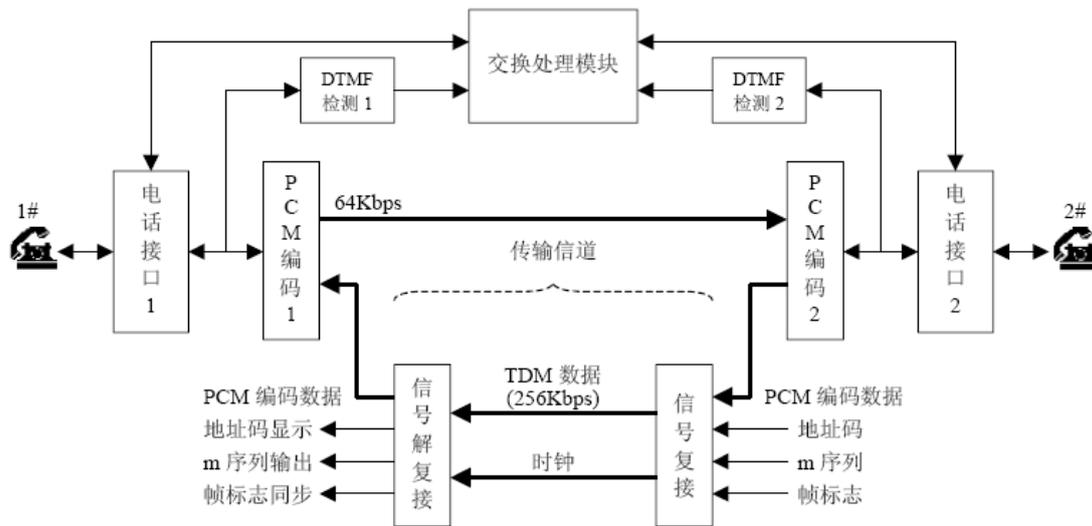


图 6.5 时分复用 (TDM) 系统测试组成框图

二. 实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 电话机 | 二部 |

三. 实验目的

- 1、熟悉帧复接/解复接器在通信系统中所处的地位及作用
- 2、定性了解帧传输在不同信道误码率时对话音业务和数据业务的影响

四. 实验内容

准备工作：

- (1) 本实验在实验一基础上进行，先按实验一要求设置各选择开关；
- (2) 将解复接模块内的输入数据选择开关 KB01、KB02 设置自环 LOOP 位置（下端），使复接模块和解复接模块连接成直通方式；
- (3) 将复接模块内的误码产生和 m 序列选择开关 SBW02 的设置 0001（E_SEL0、E_SEL1 和 M_SEL0 拨下，M_SEL1 插入），使传输信道无误码、m 序列发生器输出 m1 序列码。

1. 不同信道误码率下帧内数据信号传输的测量

- (1) 用示波器测量同时观测复接模块帧同步指示测试点 TPB07 与解复接模块帧同步指示测试点 TPB06 波形，观测时用 TPB07 同步，调整示波器使两观测信号之间正常同步。用示波器观察复接模块内 m 序列检测点 TPB01 和解复接模块内 m 序列接收输出测试点 TPB05

波形是否一致。记录测试结果。

(2) 将复接模块内的错码选择跳线开关 SWB02 的 E_SEL0 短路器插入、E_SEL1 拔除 (10), 此时传输信道误码率 $Pe \approx 4 \times 10^{-3}$ 。①用示波器测量同时观测复接模块帧同步指示测试点 TPB07 与解复接模块帧同步指示测试点 TPB06 波形, 观测时用 TPB07 同步。②用示波器测量复接模块内 m 序列检测点 TPB01 和解复接模块内 m 序列接收输出测试点 TPB05 波形, 观察在有错码传输时发送和接收数据是否同步、一致 (注意观察和熟悉有错码和无错码的信号波形变化)。记录测试结果。

注意观测解复接模块开关信号指示发光二极管在有信道误码下的变化情况。

(3) 将复接模块内的错码选择跳线开关 SWB02 的 E_SEL1 短路器插入、E_SEL0 拔除 (01), 改变传输信道中误码率 $Pe \approx 1.6 \times 10^{-2}$ 。重复上述测量步骤, 记录测试结果。

(4) 将复接模块内的错码选择跳线开关 SWB02 的 E_SEL0、E_SEL1 短路器都插入 (1100), 在传输信道错码率为 $Pe \approx 1 \times 10^{-1}$ 。重复上述测量步骤, 记录测试结果。

思考: 能利用哪些测试手段或故障现象判断直接断出解复接模块帧同步电路失步。

2.不同信道误码率下帧内传输 PCM 话音业务的测量

(1) 按准备工作要求设置各跳线开关, 将 ADPCM1 模块内输入数据选择开关 K504 设置在复接 MUX 位置 (左端)、ADPCM2 模块内输入数据选择开关 K604 设置在 ADPCM1 位置 (中间)。通过菜单选择 PCM 编码方式, 此时通过电话拨号接通电话, 使两端电话处于正常通话状态。注: 系统中仅 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输, ADPCM1 至 ADPCM2 信道传输现设置为直通。

(2) 首先在无信道错码时, 通过电话机 2 讲话, 听 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输的话音质量。主观评价话音传输质量, 记录测试结果。

(3) 将复接模块内的错码选择跳线开关 SWB02 的 E_SEL0 短路器插入、E_SEL1 拔除 (10), 设置传输信道误码率 $Pe \approx 4 \times 10^{-3}$ 。通过电话机 2 讲话, 听 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输的话音质量。主观评价话音传输质量, 记录测试结果。

(4) 将复接模块内的错码选择跳线开关 SWB02 的 E_SEL1 短路器插入、E_SEL0 拔除 (01), 改变传输信道中误码率 $Pe \approx 1.6 \times 10^{-2}$ 。重复上述测量步骤 (注: 测量时可以用电话机连续按拨号键长时间产生连续的音频信号)。

(5) 将复接模块内的错码选择跳线开关 SWB02 的 E_SEL0、E_SEL1 短路器都插入 (11), 在传输信道错码率为 $Pe \approx 1 \times 10^{-1}$ 。重复上述测量步骤。

在不同传输信道中误码率, 由于误码或帧失步对 PCM 话音质量影响, 给话音业务通信质量主观打分, 记录测试结果。

3.不同信道误码下帧内传输 ADPCM 话音业务的测量

通过菜单将话音编码方式设置为 ADPCM 方式。测量在信道误码下帧内传输 ADPCM 话音业务的方法可以参照帧内传输 PCM 测试步骤, 由学生自己组织完成。注意将 ADPCM 与 PCM 测量的结果进行比较。

4.不同信道误码率下帧内传输开关信号输出指示观测

从解复接模块的开关信号指示发光二极管指示灯 (DB01~DB08) 的变化能直观的反映出信道错码、帧同步电路失步及信道故障 (数据中断或时钟恢复电路故障) 情况。

本项内容测试主要是让学生观察解复接模块的开关信号指示发光二极管指示灯的变化情况，了解在信道有错码时对数据通信的影响；同时，在信道故障时，培养学生分析问题和解决问题的能力。测量方法参见实验“1.不同信道误码率下帧内数据信号传输的测量”一节，模拟信道故障（数据中断或时钟恢复电路故障）可以将解复接模块内输入数据和时钟选择跳线开关 KB01、KB02 分别拔下来实现，具体测试在老师的指导下由学生自己组织完成。

5.在数据信号中出现连续出现帧定位信号对帧同步电路的影响测量

按准备工作要求设置各跳线开关。

(1)用示波器测量同时观测复接模块帧同步指示测试点 TPB07 与解复接模块帧同步指示测试点 TPB06 波形，观测时用 TPB07 同步，调整示波器使两观测信号之间正常同步。

(2) 将复接模块内开关信号跳线开关 SWB01 中 LED7~LED0 为 11100100 码型，使其与帧定位信号一致。继续观测测试点 TPB07 与 TPB06 两点波形的相位关系。

(3) 通过加大误码再减小误码（或断开解复接模块输入数据再接入数据），使解复接模块帧同步电路失步进入失锁后再进入同步。注意观测测试点 TPB07 与 TPB06 两点波形同步后的相位关系。重复多次实验，记录测试结果。

(4) 重复第（3）步的测量步骤，注意观测解复接模块的开关信号指示发光二极管指示灯（DB01~DB08）的变化情况，通过实验结果分析对数据通信的影响。

(5)按“2.不同信道误码率下帧内传输 PCM 话音业务的测量”要求设置，通过电话拨号接通电话，使两端电话处于正常通话状态。重复第（3）步的测量步骤，通过实验结果分析对话音业务传输的影响。（注：系统中仅 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输，ADPCM1 至 ADPCM2 信道传输现设置为直通。）

五、实验报告

1. 总结帧失步对数据业务、话音业务的影响。
2. 分析、总结不同误码率下数据业务、话音业务的影响。
3. 分析、比较误码对 PCM 与 ADPCM 话音质量的影响。
4. 当信道中断或传输信道误码过大或其他故障成无法通信，能利用哪些检测手段分析、判断出具体故障的原因？

6.3 CMI 线路编码通信系统综合实验

一. 实验原理

为了让学生能比较全面的、牢固的掌握 CMI 编码的技术，加深了解 CMI 编码性能和用途，熟悉 CMI 线路编译码器在一个传输系统中的性能、作用及对相关通信业务的影响，本节实验将数据和话音业务通过 CMI 线路编译码模块传输，测量 CMI 线路编译码器在传输信道有误码的环境下对数据和话音业务的影响。本实验是在本章实验二的基础上增加了 CMI 编码和译码模块，实验的系统连接框图见图 6.6 所示。

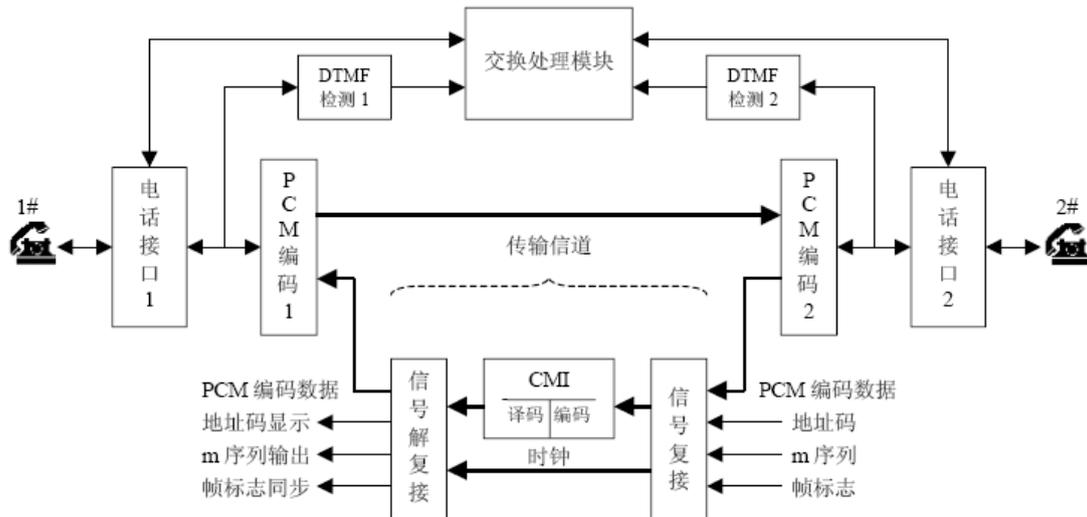


图 6.6 CMI 线路编码系统测试组成框图

二. 实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 电话机 | 二部 |

三. 实验目的

1. 熟悉 CMI 编译码器在通信系统中位置及发挥的作用
2. 了解 CMI 码对通信系统性能的影响

四. 实验内容

准备工作：

- (1) 本实验在实验二基础上进行，先按实验二要求设置各选择开关；
- (2) 将 CMI 编码模块内输入数据选择开关 KX01 设置在复接数据 (Dt) 位置，CMI 编码使能开关 KX04 设置在 1_2 位置 (CMI_EN: 左端)，加错选择开关 KX03 设置在 NO_N 位置 (右端)，不加错码。
- (3) 将复接模块内的误码产生和 m 序列选择开关 SBW02 的设置为 0001 (E_SEL0、E_SEL1 和 M_SEL0 拔下，M_SEL1 插入)，使传输信道无误码、m 序列发生器输出 m1 序列码。
- (4) 将解复接模块内输入数据和时钟选择开关 KB01、KB02 设置 CMI 位置 (中间)，使终端信号经复接器、CMI 编译码器、解复接器传输送入对端终端。

1. 经 CMI 编译码系统传输的帧同步信号观测

(1) 首先用示波器同时观测复接模块帧同步指示测试点 TPB07 与解复接模块帧同步指示测试点 TPB06 波形, 观测时用 TPB07 同步。经 CMI 编译码模块传输后解复接模块帧同步指示波形在正常时应与发端帧同步指示波形同步。如不同步请检查各跳线器设置位置是否正确, 记录测试结果。

(2) 将 CMI 模块错码选择开关 KX03 设置在 E_EN 位置 (左端), 此时引入错码使信道误码率 $P_e \approx 1 \times 10^{-2}$ 。用示波器同时观测 CMI 编码模块发端加错指示测试点 TPX06 和 CMI 译码模块错码检测输出指示 TPY05 的波形, 观测时用 TPX06 同步。观测 CMI 译码模块电路是否同步正确工作, 并检测出错码信号。

(3) 在有误码的环境下, 且 CMI 编译码模块正常工作, 重复第 (1) 步测量步骤, 观测误码对解复接模块帧同步电路的影响, 记录测试结果。

2. 经 CMI 编译码系统传输的 PCM 话音业务测试

(1) 按准备工作要求设置各跳线开关。通过电话拨号接通电话, 使两端电话处于正常通话状态。如不能通话请检查各跳线器设置是否正确。通过电话机 2 讲话, 听 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输的话音信号是否受 CMI 编译码系统影响。(注: 系统中仅 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输, ADPCM1 至 ADPCM2 信道传输现设置为直通。)

(2) 将 CMI 模块错码选择开关 KX03 设置在 E_EN 位置 (左端), 此时引入错码使信道误码率 $P_e \approx 1 \times 10^{-2}$ 。在有误码的环境下, 且 CMI 编译码模块正常工作, 重复上述测量步骤, 记录测试结果。

3. 经 CMI 编译码系统传输的 ADPCM 话音业务测试

方法同 PCM 话音业务测试, 请学生自己组织实施。

4. 经 CMI 编译码系统传输的 m 序列信号测试

(1) 按准备工作要求设置各跳线开关。示波器以复接模块内 m 序列检测点 TPB01 信号做参考观察解复接模块内 m 序列接收输出测试点 TPB05 波形是否正确。正常情况两者信号应同步、一致。如不同步请检查各跳线器设置是否正确, 记录测试结果。

(2) 将 CMI 模块错码选择开关 KX03 设置在 E_EN 位置 (左端), 此时引入错码使信道误码率 $P_e \approx 1 \times 10^{-2}$ 。在有误码的环境下, 且 CMI 编译码模块正常工作, 重复上述测量步骤, 记录测试结果。

5. 经 CMI 编译码系统传输的开关信号指示灯观测

6. 方法同前, 请学生自己组织实施。

7. CMI 编译码系统电路故障对通信信号的影响测试

通过断开 CMI 编码模块的输入数据信号、设置编码使能在 2_3 位置 (不编码) 使 CMI 译码器失步等设置不同的故障。让同学通过观测故障现象和测量, 分析故障原因, 培养学生分析问题和解决问题的能力。具体测试在老师的指导下由学生自己组织完成。

五、实验报告

- 1、整理、分析测试数据, 总结测试结果;
- 2、叙述 CMI 码在通信系统中的作用及对通信系统影响。

6.4 HDB3 线路编码通信系统综合测试

一.实验原理

这一实验主要目的是让学生牢固所学 HDB3 线路编码的知识，加深对 AMI/HDB3 编码系统性能的认识和掌握实际通途，熟悉 HDB3 线路编译码器在一个传输系统中的性能、作用及对相关通信业务的影响，从而让使学生比较全面的、牢固的建立 AMI/HDB3 线路编码的技术。本实验是在本章实验三的基础上增加了 HDB3 编码和译码模块，实验的系统连接框图见图 6.7 所示。

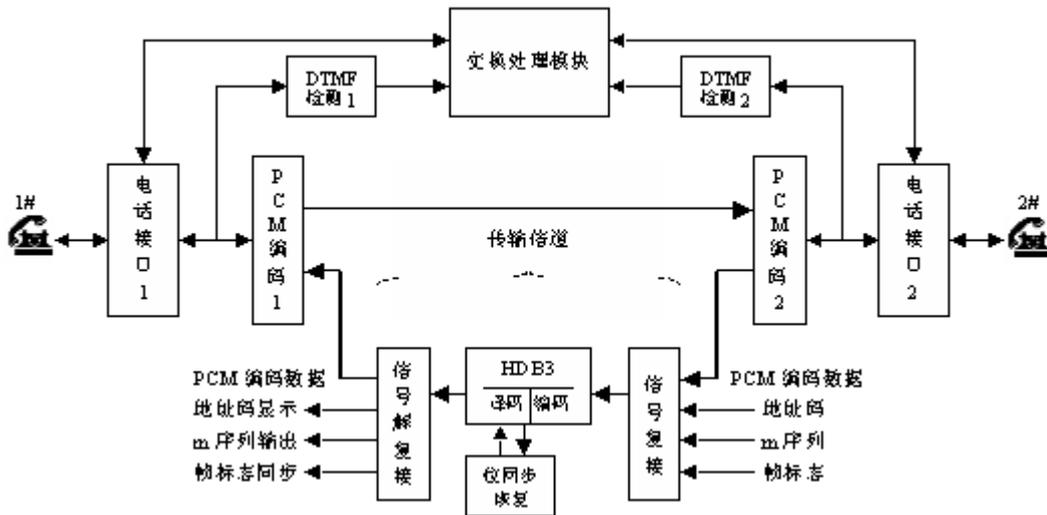


图 6.7 AMI/HDB3 线路编码系统测试组成框图

二.实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 电话机 | 二部 |

三.实验目的

1. 熟悉 HDB3 编译码器在通信系统中位置及发挥的作用
2. 了解 HDB3 码对通信系统性能的影响

四.实验内容

准备工作：

- (1) 本实验在实验二基础上进行，先按实验二要求设置各选择开关；
- (2) 首先将 HDB3 编译码模块输入数据选择开关 KD01 设置在 DT 位置（左端），位同步提取选择开关 KD02 设置在 2_3 位置（右端：单极性码），AMI/HDB3 方式选择开关 KD03 设置在 HDB3 位置（左端）；
- (3) 将解复接模块内的输入数据和时钟选择开关 KB01、KB02 设置 HDB3 位置（上端），使各终端信号经复接器、HDB3 编译码器、解复接后送到对端终端设备。

1. 经 HDB3 编译码系统传输的帧同步信号观测

- (1) 首先，示波器以复接模块帧同步信号测试点 TPB07 的信号做同步，分别观测 HDB3 编译码模块输入编码数据信号测试点 TPD01 和输出译码数据信号测试点 TPD01 的波形。电

路正常工作时，该两点波形应一致。否则，检查各跳线器设置位置是否正确，记录测试结果。

(2) 用示波器同时观测复接模块帧同步指示测试点 TPB07 与解复接模块帧同步指示测试点 TPB06 波形，观测时用 TPB07 同步。经 HDB3 编译码模块传输后解复接模块帧同步指示波形在正常时应与发端帧同步指示波形同步。如不同步请检查各跳线器设置位置是否正确，记录测试结果。

(3) 将 HDB3 编译码模块内位同步提取输入信号选择开关 KD02 设置在 1_2 位置(左端：双极性码)，使 HDB3 位同步电路失锁。在该情况下重复上述测量步骤，记录测试结果。

2. 经 HDB3 编译码系统传输的 PCM 话音业务测试

(1) 按准备工作要求设置各跳线开关。通过电话拨号接通电话，使两端电话处于正常通话状态。如不能通话请检查各跳线器设置是否正确。通过电话机 2 讲话，听 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输的话音信号是否受 HDB3 编译码系统影响。(注：系统中仅 ADPCM2 至 ADPCM1 方向经过复接系统传输，ADPCM1 至 ADPCM2 信道传输现设置为直通。)

(2) 将 HDB3 编译码模块内位同步提取输入信号选择开关 KD02 设置在 1_2 位置(左端：双极性码)，使 HDB3 位同步电路失锁。在该情况下重复上述测量步骤，记录测试结果。

3. 经 HDB3 编译码系统传输的 ADPCM 话音业务测试

方法同 PCM 话音业务测试，请学生自己组织实施。

4. 经 HDB3 编译码系统传输的 m 序列信号测试

(1) 按准备工作要求设置各跳线开关。示波器以复接模块内 m 序列检测点 TPB01 信号做参考观察解复接模块内 m 序列接收输出测试点 TPB05 波形是否正确。正常情况两者信号应同步、一致。如不同步请检查各跳线器设置是否正确，记录测试结果。

(2) 将 HDB3 编译码模块内位同步提取输入信号选择开关 KD02 设置在 1_2 位置(左端：双极性码)，使 HDB3 位同步电路失锁。在该情况下重复上述测量步骤，记录测试结果。

5. 经 HDB3 编译码系统传输的开关信号指示灯观测

方法同前，请学生自己组织实施。

6. HDB3 编译码系统电路故障对通信信号的影响测试

通过断开 HDB3 编译码模块的输入数据信号、接收译码位同步时钟提取电路失锁等设置不同的故障。让同学通过观测故障现象和测量，分析故障原因，培养学生分析问题和解决问题的能力。具体测试在老师的指导下由学生自己组织完成。

五、实验报告

1. 整理、分析测试数据，总结测试结果；
2. 叙述 HDB3 码在通信系统中的作用及对通信系统影响。

6.5 汉明纠错编码通信系统综合测试

一.实验原理

信号在无线信道中传输，由于受噪声、衰落、码间串扰、干扰等影响，最终在接收端恢复的信号会出现差错，即误码。本实验将汉明编译码接入实际信道中，通过加错（4种模式可选）测量在不同的误码率时对数据或话音业务的实际影响，加深学生对汉明码纠错性能掌握。实验的系统连接框图见图 6.8 所示。

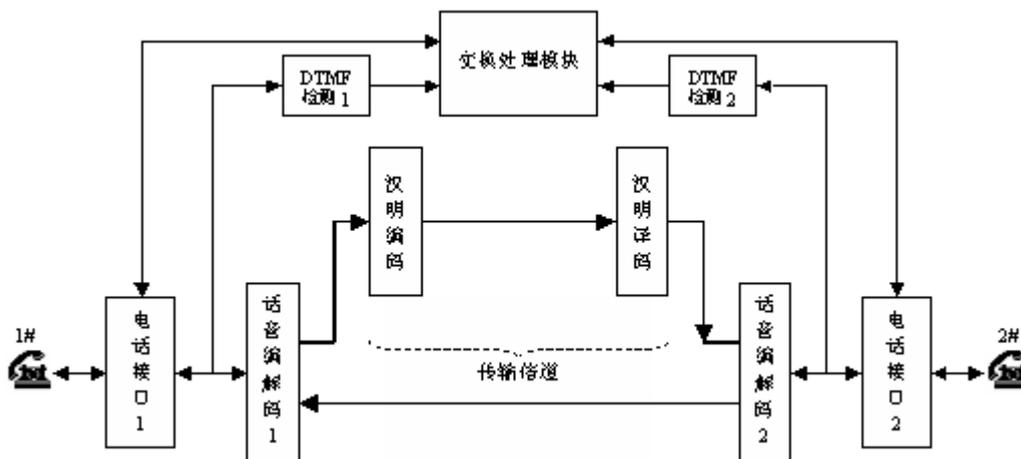


图 6.8 汉明纠错编码系统测试

二.实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 电话机 | 二部 |

三.实验目的

1. 掌握汉明编译码器的作用
2. 熟悉汉明编译码器在通信系统中的地位及发挥的作用

四.实验内容

准备工作：

(1) 将通信原理综合实验系统上电话 1 模块内发、收增益选择跳线开关 K101、K102 设置在 N 位置（左端），电话 2 模块内发、收增益选择跳线开关 K201、K202 设置在 N 位置（左端）；DTMF1 模块内增益选择跳线开关 K301 设置在 N 位置（左端），DTMF2 模块内增益选择跳线开关 K401 设置在 N 位置（左端）；ADPCM1 模块内输入信号选择跳线开关 K501 设置在 N 位置（左端），发、收增益选择跳线开关 K502、K503 设置在 N 位置（1_2：左端），输入数据选择跳线开关 K504 设置在 ADPCM2 位置（中间）；ADPCM2 模块内输入信号选择跳线开关 K601 设置在 N 位置（左端），发、收增益选择跳线开关 K602、K603 设置在 N 位置（1_2：左端），输入数据选择跳线开关 K604 设置在 CH 位置（左端）。

(2) DTMF1 模块内增益选择跳线开关 K301 设置在 N 位置（左端），DTMF2 模块内增益选择跳线开关 K401 设置在 N 位置（左端）；

(3) 将汉明编码模块跳线开关 SWC01 中 ADPCM、H_EN 短路器插入，其余拔除（00110000），将汉明译码模块跳线开关输入数据和时钟选择跳线开关 KW01、KW01 设置

在直通 LOOP 位置（右边），汉明译码使能开关 KW03 设置在工作 ON 位置（左端）；

(4) 将 2 部电话机分别接入 PHONE1 和 PHONE2 插座。

(5) 加电后用示波器测量测试点 TPMZ07 有脉冲则系统运行正常。

(6) 通过菜单选择调制方式为 “BPSK 传输系统”，调制器输入信号为 “外部数据信号” 工作方式设定 “ADPCM 编码” 方式。

注：系统中仅 ADPCM1 至 ADPCM2 方向经过纠错信道传输，ADPCM2 至 ADPCM1 信道传输现设置为直通。

1. 不同误码率下汉明系统对 ADPCM 话音通信质量测量

(1) 首先通过电话拨号接通电话，使两端电话处于正常通话状态。如不能通话请检查各跳线器设置是否正确。通过电话机 1 讲话，听 ADPCM1 至 ADPCM2 纠错信道传输的话音信号质量。测量时可以用示波器监测汉明译码模块内错码检测指示输出波形 TPW03 的波形，此时无错码。

(2) 将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 中开关 E_MOD0 接入，插入 1 位错码，主观判定通话质量，并与上述测量结果比较，记录测量结果。

(3) 将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 中开关 E_MOD1 接入、E_MOD0 拔除，插入 2 位错码，重复上述测量步骤，记录测量结果。

(4) 将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 中开关 M_SEL1、M_SEL2 都插入插入，插入更多错码，重复上述测量步骤，记录测量结果。

2. 不同误码率下汉明系统对 CVSD 话音通信质量测量

CVSD 话音编码方式的设置：先按准备工作设置各跳线器，然后将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 设置位 00010000，去掉 ADPCM 方式，将外部输入信号选择开关 KC01 设置在 CVSD 位置；将 PAM 模块内输入信号选择开关 K701 设置在 N 位置（左端），输入滤波器选择开关 K702 设置在 F 位置（左端）；将交换模块取样时钟方式设置在 H（左端）；将 CVSD 发模块内输入信号选择开关 K801 设置在 PAM 位置（左端），CVSD 收模块内输入数据和时钟选择开关 K901、K902 设置在 CH 位置（左端：来自信道）；将电话 2 模块内输入数据选择开关 K203 设置 CVSD 位置（右端）。

测试方法同 ADPCM 话音业务测试，请学生自己组织实施。

注意将 CVSD 话音传输质量与 ADPCM 话音业务进行比较。

3. 汉明编译码电路故障或异常对话音业务的影响测试

通过断开汉明编码模块的输入数据信号、将输入数据设置在 m 序列码输入、ADPCM 译码时输入 CVSD 码信号、CVSD 译码时输入 ADPCM 码信号等设置不同的故障或错误。让同学通过观测故障现象和测量，分析故障原因，培养学生分析问题和解决问题的能力。具体测试在老师的指导下由学生自己组织完成。

五、实验报告

1. 整理分析实验结果。

2. 比较 ADPCM 话音编码和 CVSD 话音编码抗误码的性能。

6.6 BPSK (DBPSK) 调制+汉明码系统测试

一.实验原理

本实验将数据和话音业务通过汉明编码经 BPSK (DBPSK) 调制信道传输。为了反映真实的传输信道，加入噪声来观测不同信噪比下系统的性能以及对数据和话音业务质量的影响。使学生建立完整的传输系统概念，巩固各功能模块所起的作用、性能及相互间的影响。BPSK、DBPSK (包括 FSK) 调制解调方式在同一套硬件平台上实现 (通过操作面板选取)，有利于同学加深 FPGA+DSP 平台组成的软件无线电概念。本实验是在实验五的基础上增加了 BPSK (或 DBPSK) 信道调制模块、信道噪声模块和 BPSK (或 DBPSK) 信道解调模块，实验的系统连接框图见图 6.9 所示。

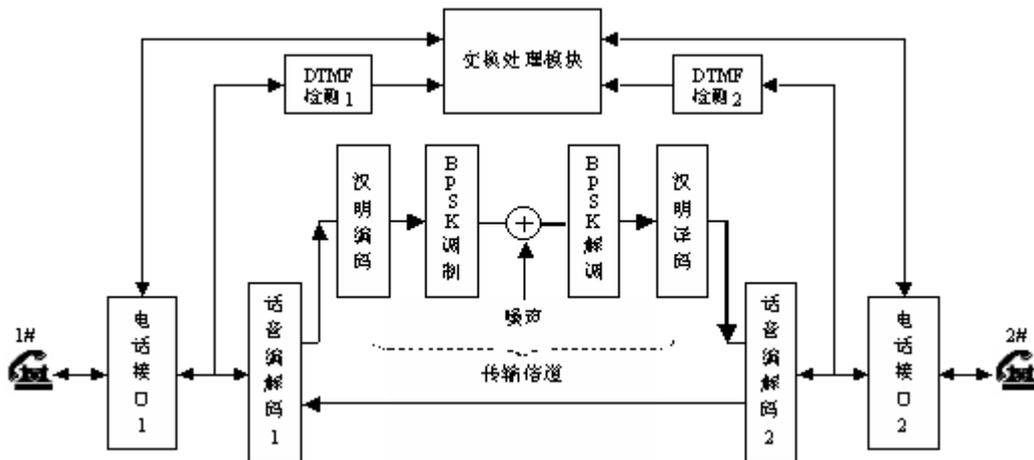


图 6.9 BPSK 调制+汉明码系统测试组成框图

二.实验仪器

- | | |
|----------------------|----|
| 1. JH5001 通信原理综合实验系统 | 一台 |
| 2. 双踪示波器 | 一台 |
| 3. 误码测试仪 | 一台 |
| 4. 电话机 | 二部 |

三.实验目的

1. 加深信道调制解调器在通信系统中的地位及作用
2. 熟悉信道误码对话音通信业务的影响
3. 加深认识纠错编码在通信系统中的作用及性能

四.实验内容

准备工作:

- (1) 本实验在实验五基础上进行，先按实验五要求设置各选择开关；
- (2) 将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 设置在和汉明编码器工作 (H_EN)，开关位置 00010000；将汉明译码模块输入数据和时钟选择开关 KW01、KW01 设置在 CH 位置 (左边)，汉明译码使能开关 KW03 设置在工作 ON 位置 (左端)；将输入数据选择开关 KC01 设置在 DT-SYS (左端：同步数据输入)；
- (3) 将解调器模块载波提取环路开关 KL01 设置在 1_2 位置 (左端：闭环)，输入信号选择开关 KL02 设置在 1_2 位置 (左端)，加入噪声；

(4) 将噪声模块输出电平选择开关 SW01 设置最小噪声电平位置 (1000001)，此时信噪比较高；

(5) 用中频电缆连接 K002 和 JL02，建立中频自环；

(6) 将 2 部电话机分别接入 PHONE1 和 PHONE2 插座。

(7) 加电后，用示波器测量测试点 TPMZ07 有脉冲则系统运行正常。

(8) 通过菜单选择调制方式为“BPSK 传输系统”，调制器输入信号为“外部数据信号”工作方式设定“ADPCM 编码”方式。

1. 汉明编译码器在实际传输信道下的检错和纠错性能测量

将误码仪 RS422 端口通过转换电缆与实验箱同步模块的 JH02 插座连接(注意插入方向：JH02 插座面对实验箱左下脚为 1 脚；插头上有小三角符号为 1 脚。误码仪必须断电后连接!)。加电后将误码仪模式设置“连续”，接口时钟选择设置“外时钟”，接口类型选择“RS422”方式。按“测试”键进入测试，测量误码率。

(1) 用示波器观测汉明译码模块内错码检测指示输出波形 TPW03 的波形。在加入汉明编译码系统时，通过噪声模块噪声电平选择开关 SW01 逐渐增加噪声电平，降低信噪比，测量各级误码率。将测量结果填入表 9.6.1。

(2) 将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 中跳线开关 H_EN 去除，开关位置 00001000；汉明译码使能开关 KW03 设置在工作 OFF 位置（右端）。在汉明编译码器功能旁通时，通过噪声模块噪声电平选择开关 SW01 逐渐增加噪声电平，降低信噪比，测量各级误码率，将测量结果填入表 6.6.1。测量时用示波器观测汉明译码模块内错码检测指示输出波形 TPW03 的波形。

表 6.6.1 误码率测量结果记录表

方式	SW001	1000001	10000010	10000100	10001000	10010000	10100000	11000000	10000000
有汉明	P_e								
无汉明	P_e								

2. 加噪环境的 ADPCM 话音通信质量测量

(1) 将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 中 ADPCM 数据接入，开关位置 00011000；通过电话拨号接通电话，使两端电话处于正常通话状态。如不能通话请检查各跳线器设置是否正确。通过电话机 1 讲话，听 ADPCM1 至 ADPCM2 方向经过调制、加噪、纠错信道传输的话音信号质量。

注：系统中仅 ADPCM1 至 ADPCM2 方向经过调制信道传输，ADPCM2 至 ADPCM1 信道传输现设置为直通。

(1) 通过噪声模块噪声电平选择开关 SW01 将噪声增加一档 (10000010)，降低信噪比。重复上述测量步骤。定性测量话音质量和观测解调器眼图信号波形。

(2) 重复上述操作逐渐降低信噪比，直至最小。测量不同误码率下的话音质量，记录测量结果。

3. 加噪环境的 CVSD 话音通信质量测量

CVSD 话音编码方式的设置：

(1) 先按准备工作设置各跳线器，然后将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 设置位 00010000，去掉 ADPCM 方式，将外部输入信号选择开关 KC01 设置在 CVSD 位置（右 2）；

(2) 将 PAM 模块内输入信号选择开关 K701 设置在 N 位置（左端），输入滤波器选择开关 K702 设置在 F 位置（左端：加滤波器）；

(3) 将 CVSD 发模块内输入信号选择开关 K801 设置在 PAM 位置（左端），CVSD 收模块内输入数据和时钟选择开关 K901 、 K902 设置在来自信道 CH 位置（左端）；

(4) 将电话 2 模块内输入数据选择开关 K203 设置 CVSD 位置。

测试方法同 ADPCM 话音业务测试，请学生自己组织实施。

注意将 CVSD 话音传输质量与 ADPCM 话音业务进行比较。

4. BPSK 调制、解调器系统故障对通信信号的影响测试

通过断开中频测试信号、解调器相干载波失锁（开环及改变频差）、调制输入数据信号选择错误、汉明编译码使能开关设置错误等设置不同的故障。让同学通过观测故障现象和测量，分析故障原因，培养学生分析问题和解决问题的能力。具体测试在老师的指导下由学生自己组织完成。

5. 将调制方式设置为 DBPSK 方式重复上述所有实验

注意仔细比较 DBPSK 与 BPSK 性能的差异。

五、实验报告

分析总结各项测量结果。