

目 录

实验一 常规双边带幅度调制系统设计及性能分析.....	1
一、实验目的	1
二、实验仪器	1
三、实验原理	1
3.1 AM 信号时域表达式及时域波形图.....	1
3.2 AM 信号频域表达式及频域波形图.....	2
3.3 AM 信号的解调	3
四、实验内容	5
五、实验要求	5
实验二 BPSK 调制、解调实验.....	6
一、实验目的	6
二、实验内容	6
三、基本原理	6
3.1 数字调制.....	6
3.2 数字解调.....	10
四、实验步骤	13
4.1 数字调制.....	13
4.2 数字解调.....	14
五、实验要求	15
实验三 模拟信号数字化传输系统的建模与分析.....	16
一、实验目的	16
二、实验仪器	16
三、实验原理	16
3.1 信号的压缩和扩张.....	16
3.2 PCM 编码与解码	17
四、实验内容	18
五、实验要求	18

实验一 常规双边带幅度调制系统设计及性能分析

一、实验目的

- 1、熟悉常规双边带幅度调制系统各模块的设计；
- 2、研究常规双边带幅度调制系统的信号波形、信号频谱、信号带宽、输入信噪比、输出信噪比及两者之间的关系；
- 3、掌握 MATLAB 和 SIMULINK 开发平台的使用方法；
- 4、熟悉 Matlab 与 Simulink 的交互使用。

二、实验仪器

带有 MATLAB 和 SIMULINK 开发平台的微机。

三、实验原理

AM 信号产生的原理图如图 1 所示。AM 信号调制器由加法器、乘法器和带通滤波器（BPF）组成。图中带通滤波器的作用是让处在该频带范围内的调幅信号顺利通过，同时抑制带外噪声和各次谐波分量进入下级系统。

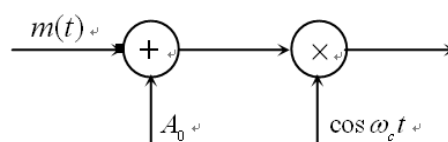


图 1 AM 信号的产生

3.1 AM 信号时域表达式及时域波形图

AM 信号时域表达式为

$$s_{AM}(t) = [A_0 + m(t)] \cos \omega_c t$$

式中 A_0 为外加的直流分量； $m(t)$ 为输入调制信号，它的最高频率为

f_m ，无直流分量； ω_c 为载波的频率。为了实现线性调幅，必须要求

$$|m(t)|_{\max} \leq A_0$$

否则将会出现过调幅现象，在接收端采用包络检波法解调时，会产生严重的失真。如调制信号为单频信号时，常定义 $\beta_{AM} = (A_m / A_0) \leq 1$ 为调幅指数。

AM 信号的波形如图 2 所示，图中认为调制信号是单频正弦信号，可以清楚地看出 AM 信号的包络完全反应了调制信号的变化规律。

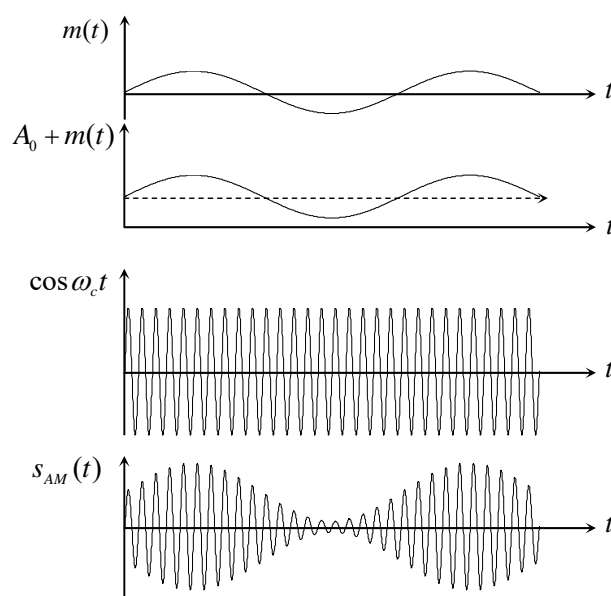


图 2 AM 信号波形

3.2 AM 信号频域表达式及频域波形图

对 AM 信号进行傅里叶变换，就可以得到 AM 信号的频域表达式 $S_{AM}(\omega)$ 如下：

$$\begin{aligned} S_{AM}(\omega) &= \mathcal{F}[s_{AM}(t)] \\ &= \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] + \pi A_0[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] \end{aligned}$$

式中， $M(\omega)$ 是调制信号 $m(t)$ 的频谱。

AM 信号的频谱图如图 3 所示。

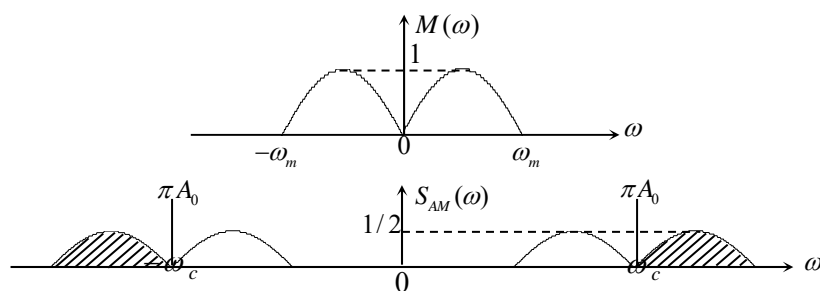


图 3 振幅调制频

通过 AM 信号的频谱图可以得出以下结论：

- (1) 调制前后信号的频谱形状没有变化，仅仅是信号频谱的位置发生了变化。
- (2) AM 信号的频谱由位于 $\pm\omega_c$ 处的冲激函数和分布在 $\pm\omega_c$ 处两边的边带频谱组成。
- (3) 调制前基带信号的频带宽度为 f_m ，调制后 AM 信号的频带宽度变为

$$B_{AM} = 2f_m$$

一般我们把频率的绝对值大于载波频率的信号频谱称为上边带 (USB)，如图 3 中阴影所示，把频率的绝对值小于载波频率的信号频谱称为下边带 (LSB)。

3.3 AM 信号的解调

AM 信号的解调一般有两种方法，一种是相干解调法，也叫同步解调法；另一种是非相干解调法，也叫包络检波法。由于包络检波法电路很简单，而且又不需要本地提供同步载波，因此，对 AM 信号的解调大都采用包络检波法。

(1) 相干解调法

用相干解调法接收 AM 信号的原理方框如图 4 所示。

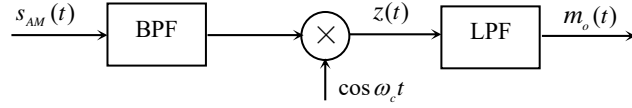


图4 AM 信号的相干解调法

相干解调法一般由带通滤波器（BPF）、乘法器、低通滤波器（LPF）组成。相干解调法的工作原理是：AM 信号经信道传输后，必定叠加有噪声，进入 BPF 后，BPF 一方面使 AM 信号顺利通过，另一方面，抑制带外噪声。AM 信号 $s_{AM}(t)$ 通过 BPF 后与本地载波 $\cos \omega_c t$ 相乘，进入 LPF。LPF 的截止频率设定为 ω_c （也可以为 ω_m ），它不允许频率大于截止频率 ω_c 的成分通过，因此 LPF 的输出仅为需要的信号。图中各点信号表达式分别如下：

$$\begin{aligned}
 s_{AM}(t) &= [A_0 + m(t)] \cos \omega_c t \\
 z(t) &= s_{AM}(t) \cdot \cos \omega_c t = [A_0 + m(t)] \cdot \cos \omega_c t \cdot \cos \omega_c t \\
 &= \frac{1}{2} (1 + \cos 2\omega_c t) [A_0 + m(t)] \\
 m_o(t) &= \frac{1}{2} m(t)
 \end{aligned}$$

式中，常数 $A_0/2$ 为直流成分，可以方便地用一个隔直电容除去。

相干解调中的本地载波 $\cos \omega_c t$ 是通过对接收到的 AM 信号进行同步载波提取而获得的。本地载波必须与发送端的载波保持严格的同频同相。

相干解调法的优点是接收性能好，但要求在接收端提供一个与发送端同频同相的载波。

（2）非相干解调法

AM 信号非相干解调法的原理框图如图 5 所示，它由 BPF、线性包络检波器（linear envelope detector，简称 LED）和 LPF 组成。图中 BPF 的作用与相干解调法中的 BPF 作用完全相同；LED 把 AM 信号的包络

直接提取出来,即把一个高频信号直接变成低频信号;LPF 起平滑作用。

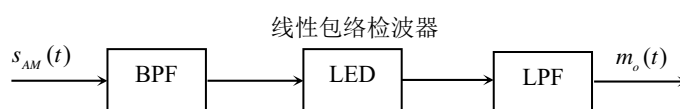


图 5 AM 信号的非相干解调

包络检波法的优点是实现简单、成本低、不需要同步载波,但系统抗噪声性能较差(存在门限效应)。

四、实验内容

1. 在 MATLAB 和 SIMULINK 开发平台上设计常规双边带幅度调制、相干解调系统。系统参数如下:信源取频率为 3K、幅度为 1 的正弦信号,载波频率为信源频率的 30 倍,调制指数为 2/3;
2. 测试调制前后信号波形、信号谱频;
3. 比较信道输入信噪比分别为 1 和 20 两种情况下,输出波形有何不同。系统仿真步长设为 1e-6,仿真时间设为 3 秒;
4. 测试上述系统的输出信噪比,并用数字显示器显示;(仿真时间设为 0.2 秒)
5. 用 MATLAB 语言编程,绘出输出信噪比与输入信噪比之间的关系。

五、实验要求

1. 设计实验过程和步骤,完成上述各项实验内容;
2. 记录实验图形和实验数据,并对实验图形和实验数据进行详细分析;
3. 将实验过程和步骤、实验图形和数据、分析过程和结果写成 WORD 文档;
4. 文档结尾补充实验心得。

实验二 BPSK 调制、解调实验

一、实验目的

- 1、掌握绝对码、相对码概念及它们之间的变换关系。
- 2、掌握用键控法产生 2ASK、2FSK、2PSK、2DPSK 信号的方法。
- 3、掌握相对码波形与 2PSK 信号波形之间的关系、绝对码波形与 2DPSK 信号波形之间的关系。
- 4、了解 2ASK、2FSK、2DPSK 信号的频谱与数字基带信号频谱之间的关系。
- 5、掌握 2PSK/2DPSK 相干解调原理。

二、实验内容

- 1、用示波器观察绝对码波形、相对码波形。
- 2、用示波器观察 2ASK、2FSK、2PSK、2DPSK 信号波形。
- 3、用示波器观察 2PSK/2DPSK 相干解调器各点波形。

三、基本原理

3.1 数字调制

本实验用到数字信源模块和数字调制模块。信源模块向调制模块提供数字基带信号（NRZ 码）和位同步信号 BS（已在实验电路板上连通，不必手工接线）。调制模块将输入的绝对码 AK（NRZ 码）变为相对码 BK、用键控法产生 2ASK、2FSK、2DPSK 信号。调制模块内部只用+5V 电压。

数字调制单元的原理方框图如图 1 所示。

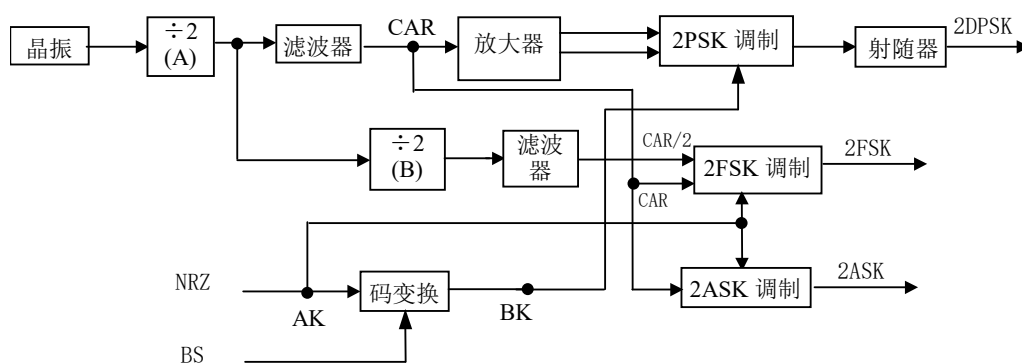


图 1 数字调制方框图

本单元有以下测试点及输入输出点：

- CAR 2DPSK 信号载波测试点
- BK 相对码测试点
- 2DPSK 2DPSK 信号测试点/输出点， $V_{p-p} > 0.5V$
- 2FSK 2FSK 信号测试点/输出点， $V_{p-p} > 0.5V$
- 2ASK 2ASK 信号测试点， $V_{p-p} > 0.5V$

用晶体振荡器与信源共用，位于信源单元，其它各部分与电路板上主要元器件对应关系如下：

- $\div 2$ (A) U8：双 D 触发器 74LS74
- $\div 2$ (B) U9：双 D 触发器 74LS74
- 滤波器 A V6：三极管 9013，调谐回路
- 滤波器 B V1：三极管 9013，调谐回路
- 码变换 U18：双 D 触发器 74LS74；U19：异或门

74LS86

- 2ASK 调制 U22：三路二选一模拟开关 4053
- 2FSK 调制 U22：三路二选一模拟开关 4053
- 2PSK 调制 U21：八选一模拟开关 4051

- 放大器 V5: 三极管 9013
- 射随器 V3: 三极管 9013

将晶振信号进行 2 分频、滤波后，得到 2ASK 的载频 2.2165MHz。放大器的发射极和集电极输出两个频率相等、相位相反的信号，这两个信号就是 2PSK、2DPSK 的两个载波，2FSK 信号的两个载波频率分别为晶振频率的 1/2 和 1/4，也是通过分频和滤波得到的。

下面重点介绍 2PSK、2DPSK。2PSK、2DPSK 波形与信息代码的关系如图 2 所示。

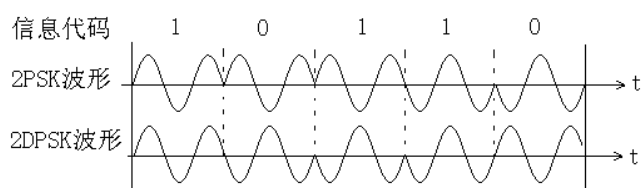


图 2 2PSK、2DPSK 波形

图中假设码元宽度等于载波周期的 1.5 倍。2PSK 信号的相位与信息代码的关系是：前后码元相异时，2PSK 信号相位变化 180° ，相同时 2PSK 信号相位不变，可简称为“异变同不变”。2DPSK 信号的相位与信息代码的关系是：码元为“1”时，2DPSK 信号的相位变化 180° 。码元为“0”时，2DPSK 信号的相位不变，可简称为“1 变 0 不变”。

应该说明的是，此处所说的相位变或不变，是指将本码元内信号的初相与上一码元内信号的末相进行比较，而不是将相邻码元信号的初相进行比较。实际工程中，2PSK 或 2DPSK 信号载波频率与码速率之间可能是整数倍关系也可能是非整数倍关系。但不管是那种关系，上述结论总是成立的。

本单元用码变换——2PSK 调制方法产生 2DPSK 信号。相对于绝对码 AK、2PSK 调制器的输出就是 2DPSK 信号，相对于相对码、2PSK 调制器的输出是 2PSK 信号。图中设码元宽度等于载波周期，已调信号的相

位变化与 A_k 、 B_k 的关系当然也是符合上述规律的，即对于 A_k 来说是“1 变 0 不变”关系，对于 B_k 来说是“异变同不变”关系，由 A_k 到 B_k 的变换也符合“1 变 0 不变”规律。

图 3 中调制后的信号波形也可能具有相反的相位， B_k 也可能具有相反的序列即 00100，这取决于载波的参考相位以及异或门电路的初始状态。

2DPSK 通信系统可以克服上述 2PSK 系统的相位模糊现象，故实际通信中采用 2DPSK 而不用 2PSK（多进制下亦如此，采用多进制差分相位调制 MDPSK），此问题将在数字解调实验部分再详细介绍。

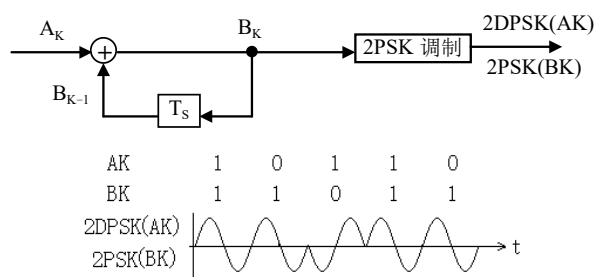


图 3 2DPSK 调制器

2PSK 信号的时域表达式为

$$S(t) = m(t) \cos \omega_c t$$

式中 $m(t)$ 为双极性不归零码 BNRZ，当“0”、“1”等概时 $m(t)$ 中无直流分量， $S(t)$ 中无载频分量，2DPSK 信号的频谱与 2PSK 相同。

2ASK 信号的时域表达式与 2PSK 相同，但 $m(t)$ 为单极性不归零码 NRZ，NRZ 中有直流分量，故 2ASK 信号中有载频分量。

2FSK 信号（相位不连续 2FSK）可看成是 A_k 与 $\overline{A_k}$ 调制不同载频信号形成的两个 2ASK 信号相加。时域表达式为

$$S(t) = m(t) \cos \omega_{c1} t + \overline{m(t)} \cos \omega_{c2} t$$

式中 $m(t)$ 为 NRZ 码。

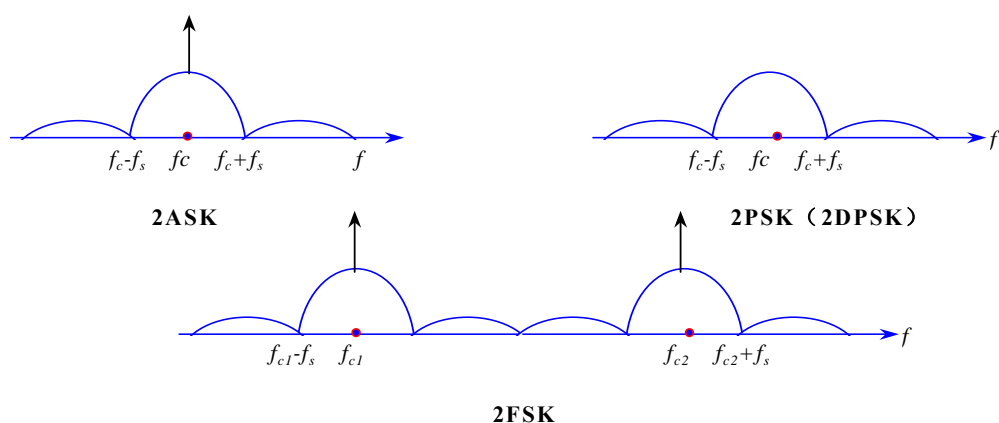


图 4 2ASK、2PSK (2DPSK)、2FSK 信号功率谱

设码元宽度为 T_s , $f_s = 1 / T_s$ 在数值上等于码速率, 2ASK、2PSK (2DPSK)、2FSK 的功率谱密度如图 4 所示。可见, 2ASK、2PSK (2DPSK) 的功率谱是数字基带信号 $m(t)$ 功率谱的线性搬移, 故常称 2ASK、2PSK (2DPSK) 为线性调制信号。多进制的 MASK、MPSK (MDPSK)、MFSK 信号的功率谱与二进制信号功率谱类似。

本实验系统中 $m(t)$ 是一个周期信号, 故 $m(t)$ 有离散谱, 因而 2ASK、2PSK (2DPSK)、2FSK 也具有离散谱。

3.2 数字解调

可用相干解调或差分相干解调法 (相位比较法) 解调 2DPSK 信号。在相位比较法中, 要求载波频率为码速率的整数倍, 当此关系不能满足时只能用相干解调法。本实验系统中, 2DPSK 载波频率等码速率的 13 倍, 两种解调方法都可用。实际工程中相干解调法用得最多。

本实验采用相干解调法解调 2DPSK 信号。2DPSK 模块内部使用 +5V、+12V 和 -12V 电压。图 5 为解调器的原理方框图。

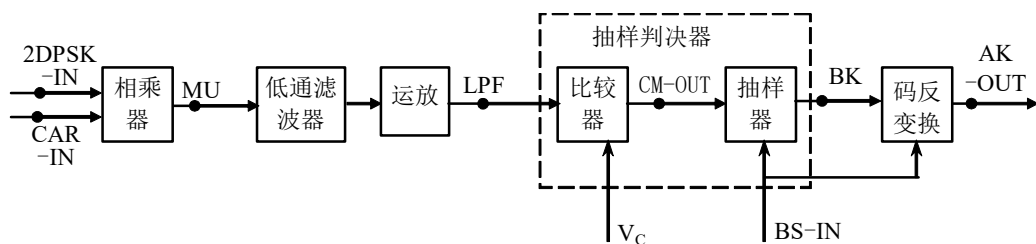


图 5 2DPSK 相干解调方框图

2DPSK 解调模块上有以下测试点及输入输出点：

- MU 相乘器输出信号测试点
- LPF 低通、运放输出信号测试点
- Vc 比较器比较电压测试点
- CM 比较器输出信号的输出点/测试点
- BK 解调输出相对码测试点
- AK-OUT 解调输出绝对码的输出点/测试点（3

个）

- BS-IN 位同步信号输入点

2DPSK 解调器方框图中各单元与电路板上元器件的对应关系如下：

- 相乘器 U29：模拟乘法器 MC1496
- 低通滤波器 R31；C2
- 运放 U30：运算放大器 UA741
- 比较器 U31：比较器 LM710
- 抽样器 U32:A：双 D 触发器 7474
- 码反变换器 U32:B：双 D 触发器 7474；U33:A：异

或门 7486

在实际应用的通信系统中，解调器的输入端都有一个带通滤波器用来滤除带外的信道白噪声并确保系统的频率特性符合无码间串扰条件。本实验系统中为简化实验设备，发端即数字调制的输出端没有带

通滤波器、信道是理想的，故解调器输入端就没加带通滤波器。

下面对 2DPSK 相干解调电路中的一些具体问题加以说明。

- MU 的波形接近图 6 所示的理论波形，略有区别。
- 信源是周期为 24bit 的周期信号，当 24bit 的相对码 BK 中“1”码和“0”码个数不相等时，相乘器 U29 的输出信号 MU 及低通滤波器输出信号 LPF 是正负不对称的信号。在实际的 2DPSK 通信系统中，抽样判决器输入信号是一个均值为 0 且正负对称的信号，因此最佳判决电平为 0。本实验系统中， V_c 决定判决电平。当 $V_c=0$ 而相对码 BK 中“1”码和“0”码个数差别太大时，可能出现误判决，即解调器出现误码。因为此时 LPF 信号的正电平或负电平非常接近 0 电平，抽样脉冲（位同步信号）稍不理想就会造成误码。电位器 R_{39} 用来调节判决电平，当 BK 中“1”码与“0”码个数差别比较大时出现误码时，可调节 R_{39} 使 V_c 等于 LPF 信号的中值（最佳判决门限）。实际通信系统中的 2DPSK 相干解调器（或差分相干解调器）不需要调节判决电平。
- 比较器的输出 CM 为 TTL 电平信号，它不能作为相对码直接送给码反变器，因为它并不是一个标准的单极性非归零码，其单个“1”码对应的正脉冲的宽度可能小于码元宽度、也可能大于码元宽度。另外，当 LPF 中有噪声时，CM 中还会出现噪声脉冲。
- 异或门 74LS86 输出的绝对码波形的高电平上叠加有小的干扰信号，经 U34 整形后即可去掉。

DPSK 相干解调器模块各点波形示意图如图 6 所示。

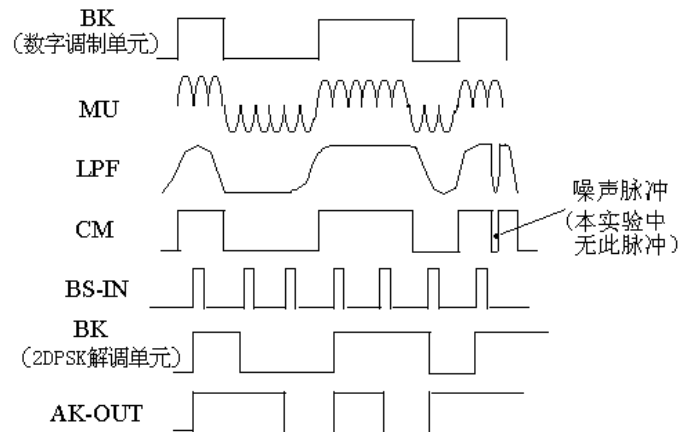


图 6 2DPSK 相干解调波形示意图

四、实验步骤

4.1 数字调制

本实验使用数字信源单元及数字调制单元。

1、熟悉数字调制单元的工作原理。接通电源，打开实验箱电源开关。将数字调制单元单刀双掷开关 K7 置于左方 N (NRZ) 端。

2、用数字信源单元的 FS 信号作为示波器的外同步信号，示波器 CH1 接信源单元的 (NRZ-OUT) AK (即调制器的输入)，CH2 接数字调制单元的 BK，信源单元的 K_1 、 K_2 、 K_3 置于任意状态 (非全 0)，观察 AK、BK 波形，总结绝对码至相对码变换规律以及从相对码至绝对码的变换规律。

3、示波器 CH1 接 2DPSK，CH2 分别接 AK 及 BK，观察并总结 2DPSK 信号相位变化与绝对码的关系以及 2DPSK 信号相位变化与相对码的关系 (此关系即是 2PSK 信号相位变化与信源代码的关系)。注意：2DPSK 信号的幅度比较小，要调节示波器的幅度旋钮，而且信号本身幅度可能不一致，但这并不影响信息的正确传输。

4、示波器 CH1 接 AK、CH2 依次接 2FSK 和 2ASK；观察这两个信号与 AK 的关系（注意“1”码与“0”码对应的 2FSK 信号幅度可能不相等，这对传输信息是没有影响的）。

4.2 数字解调

本实验使用数字信源单元、数字调制单元、载波同步单元、2DPSK 解调单元，它们之间的信号连结方式如图 7 所示, 其中实线是指已在电路板上布好的, **虚线是实验中要手工连接的**。实际通信系统中, 解调器需要的位同步信号来自位同步提取单元。本实验中尚未用位同步提取单元, 所以位同步信号直接来自数字信源。在做 2DPSK 解调实验时, 位同步信号送给 2DPSK 解调单元。

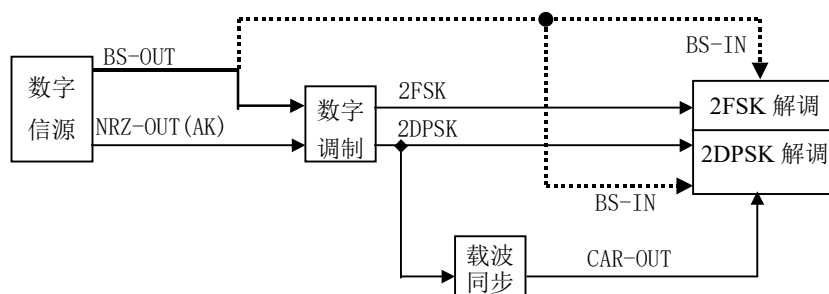


图 7 数字解调实验连接图

1. 复习前面实验的内容并熟悉 2DPSK 解调单元的工作原理，接通实验箱电源。将数字调制单元单刀双掷开关 K7 置于左方 NRZ 端。
2. 检查要用到的数字信源、数字调制及载波同步单元是否工作正常，**保证载波同步单元处于同步态**。
3. 2DPSK 解调实验

(1) 将数字信源单元的 BS-OUT 用信号连线连接到 2DPSK 解调单元的 BS-IN 点, 以信源单元的 FS 信号作为示波器外同步信号, 将示波器的 CH1 接数字调制单元的 BK, CH2 (建议使用示波器探头的 x10 衰减档) 接 2DPSK 解调单元的 MU。MU 与 BK 同相或反相, 其波形应接近图 6

所示的理论波形。

(2) 示波器的 CH2 接 2DPSK 解调单元的 LPF, 可看到 LPF 与 MU 同相。当一帧内 BK 中“1”码“0”码个数相同时, LPF 的正、负极性信号电平与 0 电平对称, 否则不对称。

(3) 示波器的 CH1 接 VC, 调节电位器 R_{39} , 保证 VC 处在 0 电平(当 BK 中“1”与“0”等概时 LPF 的中值即为 0 电平), 此即为抽样判决器的最佳门限。

(4) 观察数字调制单元的 BK 与 2DPSK 解调单元的 MU、LPF、BK 之间的关系, 再观察数字调制单元中 AK 信号与 2DPSK 解调单元的 MU、LPF、BK、AK-OUT 信号之间的关系。

(5) 断开、接通电源若干次, 使发端 CAR 信号与载波同步 CAR-OUT 信号的相位关系出现跳变, 重新进行步骤(4)中的观察。

五、实验要求

画各信号波形并回答以下各题:

- 1、设绝对码为全 1、全 0 或 1001 1010, 求相对码。
- 2、设相对码为全 1、全 0 或 1001 1010, 求绝对码。
- 3、总结绝对码至相对码的变换规律、相对码至绝对码的变换规律。
- 4、总结 2DPSK 信号的相位变化与信息代码(即绝对码)之间的关系以及 2DPSK 信号的相位变化与相对码之间的关系(即 2PSK 的相位变化与信息代码之间的关系)。
- 5、设绝对码为 1001101, 根据实验观察得到的规律, 画出 CAR-OUT 与 CAR 同相、反相时 2DPSK 相干解调 MU、LPF、BS、BK、AK 波形示意图, 总结 2DPSK 克服相位模糊现象的机理。

实验三 模拟信号数字化传输系统的建模与分析

一、实验目的

1. 进一步掌握 Simulink 软件使用的基本方法；
2. 熟悉信号的压缩扩张；
3. 熟悉信号的量化；
4. 熟悉 PCM 编码与解码。

二、实验仪器

带有 MATLAB 和 SIMULINK 开发平台的微机。

三、实验原理

3.1 信号的压缩和扩张

非均匀量化等价于对输入信号进行动态范围压缩后再进行均匀量化。中国和欧洲的 PCM 数字电话系统采用 A 律压扩方式，美国和日本则采用 μ 律方式。设归一化的话音输入信号为 $x \in [-1, 1]$ ，则 A 律压缩器的输出信号 y 是：

$$y = \begin{cases} \frac{Ax}{1 + \ln A} & |x| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{\operatorname{sgn}(x)}{1 + \ln A} (1 + \ln A|x|) & \frac{1}{A} < |x| \leq 1 \end{cases}$$

其中， $\operatorname{sgn}(x)$ 为符号函数。A 律 PCM 数字电话系统国际标准中，参数 $A=87.6$ 。

Simulink 通信库中提供了“A-Law Compressor”、“A-Law Expander”以及“Mu-Law Compressor”和“Mu-Law Expander”来实现 A 律和 μ 律压缩扩张计算。

压缩系数为 87.6 的 A 律压缩扩张曲线可以用折线来近似。16 段折线点坐标是

$$x = \left[-1, -\frac{1}{2}, -\frac{1}{4}, -\frac{1}{8}, -\frac{1}{16}, -\frac{1}{32}, -\frac{1}{64}, -\frac{1}{128}, 0, \frac{1}{128}, \frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1 \right]$$

$$y = \left[-1, -\frac{7}{8}, -\frac{6}{8}, -\frac{5}{8}, -\frac{4}{8}, -\frac{3}{8}, -\frac{2}{8}, -\frac{1}{8}, 0, \frac{1}{8}, \frac{2}{8}, \frac{3}{8}, \frac{4}{8}, \frac{5}{8}, \frac{6}{8}, \frac{7}{8}, 1 \right]$$

其中靠近原点的 4 段折线的斜率相等，可视为一段，因此总折线数为 13 段，故称 13 段折线近似。用 Simulink 中的“Look-Up Table”查表模块可以实现对 13 段折线近似的压缩扩张计算的建模，其中，压缩模块的输入值向量设置为

$$[-1, -1/2, -1/4, -1/8, -1/16, -1/32, -1/64, -1/128, 0, 1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1]$$

输出值向量设置为

$$[-1:1/8:1]$$

扩张模块的设置与压缩模块相反。

3.2 PCM 编码与解码

PCM 是脉冲编码调制的简称，是现代数字电话系统的标准语音编码方式。A 律 PCM 数字电话系统中规定：传输话音信号频段为 300Hz 到 3400Hz，采样率为 8000 次/秒，对样值进行 13 折线压缩后编码为 8bit 二进制数字序列。因此，PCM 编码输出的数码速率为 64Kbps。

PCM 编码输出的二进制序列中，每个样值用 8 位二进制码表示，其中最高比特位表示样值的正负极性，规定负值用“0”表示，正值用

“1”表示。接下来 3 位比特表示样值的绝对值所在的 8 段折线的段落号，最后 4 位是样值处于段落内 16 个均匀间隔上的间隔序号。在数学上，PCM 编码的低 7 位相当于对样值的绝对值进行 13 折线近似压缩后的 7bit 均匀量化编码输出。

四、实验内容

1. 设计一 PCM 编码器，要求该编码器能够对取值在 $[-1; 1]$ 内的归一化信号样值进行编码；
2. 设计一个对应于以上编码器的 PCM 解码器；
3. 在以上两项内容的基础上，建立 PCM 串行传输系统，并在传输信道中加入指定错误概率的随机误码。

五、实验要求

1. 设计实验过程和步骤，完成上述各项实验内容；
2. 记录实验图形和实验数据，并对实验图形和实验数据进行详细分析；
3. 将实验过程和步骤、实验图形和数据、分析过程和结果写成 WORD 文档；
4. 文档结尾补充实验心得。

