

---

《数字通信基础》  
实验指导书

Chadly MOUKOURI NGAMI

辽宁工业大学

2013年9月

---

## 目 录

实验一	图符库的使用 .....	3
实验二	信号的时域与频域分析实验	Error! Bookmark not defined.
实验三	信号的运算 ...	Error! Bookmark not defined.
实验四	信号的分解与合成	Error! Bookmark not defined.
实验五	数字基带传输系统仿真实验一	Error! Bookmark not defined.
实验六	模拟信号的数字传输仿真	Error! Bookmark not defined.
实验七	用户自定义滤波器的设计	Error! Bookmark not defined.
实验八	通信系统仿真 .	Error! Bookmark not defined.
实验九	信号的幅度调制 .....	3
实验十	信号抽样及恢复	Error! Bookmark not defined.
实验十一	数字基带传输系统仿真实验二	Error! Bookmark not defined.
实验十二	匹配滤波器 ...	Error! Bookmark not defined.
实验十三	幅移键控 ASK..	Error! Bookmark not defined.
实验十四	频移键控 FSK..	Error! Bookmark not defined.
实验十五	相移键控 PSK .	Error! Bookmark not defined.
实验十六	16QAM .....	Error! Bookmark not defined.
实验十七	接收信号中载波的提取 .....	3
实验十八	标准调幅 .....	Error! Bookmark not defined.
实验十九	双边带调制 (DSB)	Error! Bookmark not defined.
实验二十	单边带调制 (SSB)	Error! Bookmark not defined.
实验二十一	窄带角度调制 (NBFM、NBPM)	Error! Bookmark not defined.



## 实验一 图符库的使用

### 一、 实验目的

- 1、了解 SystemVue 图符库的分类
- 2、掌握 SystemVue 各个功能库常用图符的功能及其使用方法

### 二、 实验内容

按照实例使用图符构建简单的通信系统，并了解每个图符的功能。

### 三、 基本原理

**SystemVue** 的图符库功能十分丰富，一共分为以下几个大类

#### 1. 基本库

SystemView 的基本库包括信源库、算子库、函数库、信号接收器库等，它为该系统仿真提供了最基本的工具。



(信源库): SystemView 为我们提供了 16 种信号源，可以用它来产生任意信号



(算子库) 功能强大的算子库多达 31 种算子，可以满足您所有运算的要求



(函数库) 32 种函数尽显函数库的强大库容!



(信号接收器库) 12 种信号接收方式任你挑选，要做任何分析都难不倒它

#### 2. 扩展功能库

扩展功能库提供可选择的能够增加核心库功能的用于特殊应用的库。它允许通信、DSP、射频/模拟和逻辑应用。



(通信库): 包含有大量的通信系统模块的通信库，是快速设计和仿真现代通信系统的有力工具。这些模块从纠错编码、调制解调、到各种信道模型一应俱全。



(DSP 库): DSP 库能够在你将要运行 DSP 芯片上仿真 DSP 系统。该库支持大多 DSP 芯片的算法模式。例如乘法器、加法器、除法器 and 反相器的图标代表真正的 DSP 算法操作符。还包括高级处理工具: 混合的 Radix

FFT、FIR 和 IIR 滤波器以及块传输等。



(逻辑运算库): 逻辑运算自然离不开逻辑库了, 它包括象与非门这样的通用器件的图标、74 系列器件功能图标及用户自己的图标等。



(射频/模拟库): 射频/模拟库支持用于射频设计的关键的电子组件, 例如: 混合器、放大器和功率分配器等。

### 3. 扩展用户库

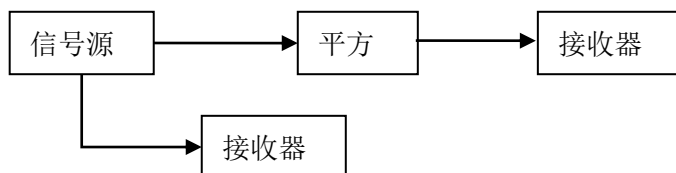
扩展的用户库包括有扩展通信库 2、IS95/CDMA、数字视频广播 DVB 等。



通信库 2: 扩展的通信库 2 主要对原来的通信库加了时分复用、OFDM 调制解调、QAM 编码与调制解调、卷积码收缩编解码、GOLD 码以及各种衰落信道等功能。4.5 版中, 通信库 2 已被合并到基本通信库中。

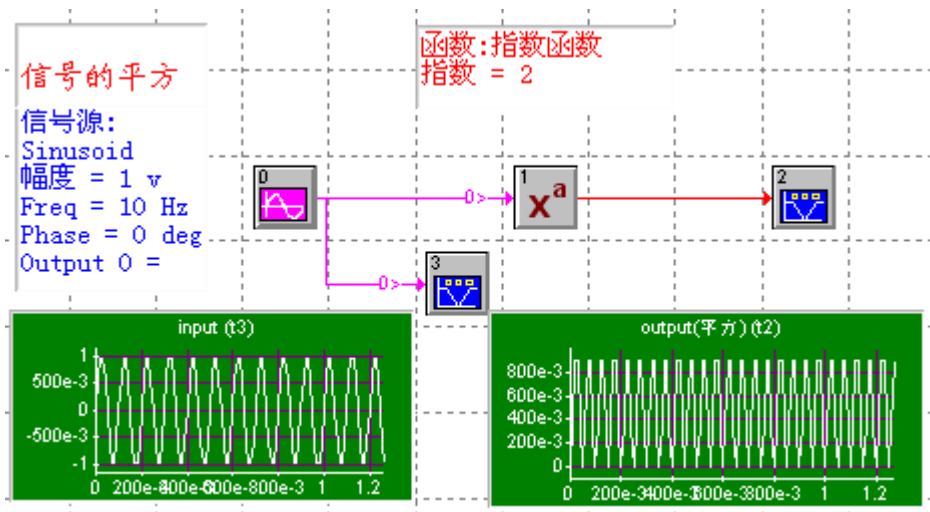
IS95 库: IS95 库为设计 CDMA 和个人通信系统提供了一个快捷的工具。除了产生 CDMA 所需的信号发生器模型、调制解调信号模型外, 还设计了复合 IS95 建议的 CDMA 所有信道模型, 可按两种速率工作。

## 四、 实验步骤




第一部分: 计算信号的平方

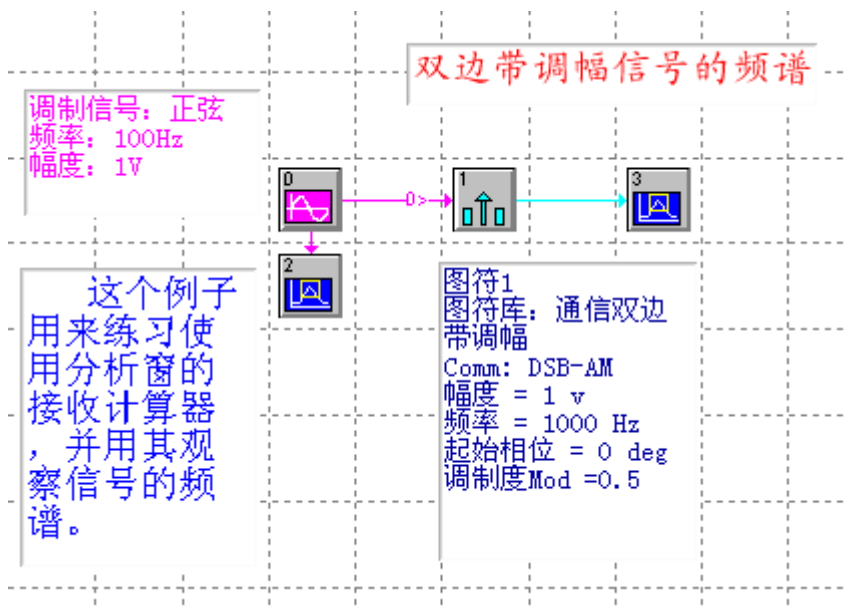


- 1) 从基本图符库中选择信号源图符, 选择正弦波信号, 参数设定中设置幅度为 1, 频率为 10Hz, 相位为 0。
- 2) 选择函数库, 并选择 Algebraic 标签下的  图符。在参数设定中设置 a=2, 表示进行  $x^2$  运算。
- 3) 放置两个接收器图符, 分别接收信号源图符的输出和函数算术运算的输出, 并选择 Graphic 标签下的  图符, 表示在系统运行结束后才显示接收到的波形。
- 4) 将图符进行连接, 运行仿真, 最终结果如下图所示:



## 第二部分 常规双边带条幅 (AM)

- 1) 按快捷键  切换到通信图符库 Comm，从图符库中拖动一个图符  至设计窗口，双击该图符，选择调制器“Modulators”中的“DSB-AM”，并在参数设置窗口中的文字框中输入幅度 1V，频率 1000Hz，调制度 0.5，确认退出，图符变成  。
- 2) 放置两个接收器图符，用于接收调制信号和已调信号波形。
- 3) 对图符进行连线，如下图所示：



- 4) 设置仿真参数:
  - i. 仿真时间 102.3ms
  - ii. 采样点 1024
  - iii. 采样频率 10kHz
- 5) 运行仿真，并得到各个接收器的波形。

---

## 五、 实验结果

- 1、 画出以上两个部分的调制信号和已调信号的波形以及算术表达式

---

# 实验二 信号的时域与频域分析实验

## 一、 实验目的

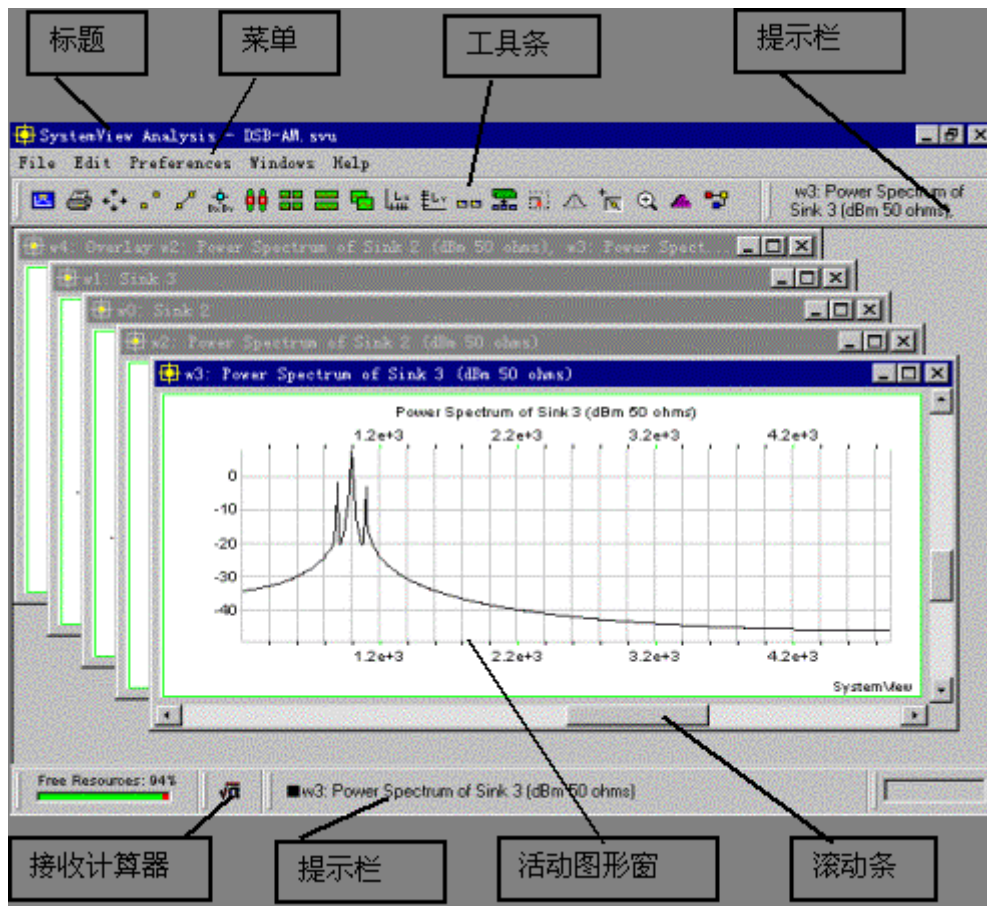
- 1、掌握信号的时域与频域的分析方法
- 2、掌握 SystemVue 分析窗口的使用。
- 3、能利用分析窗口对波形进行时域与频域的分析

## 二、 实验内容



- 1、建立简单的调制系统，并使用分析窗口对输出信号进行时域与频域的分析，得出分析结果。

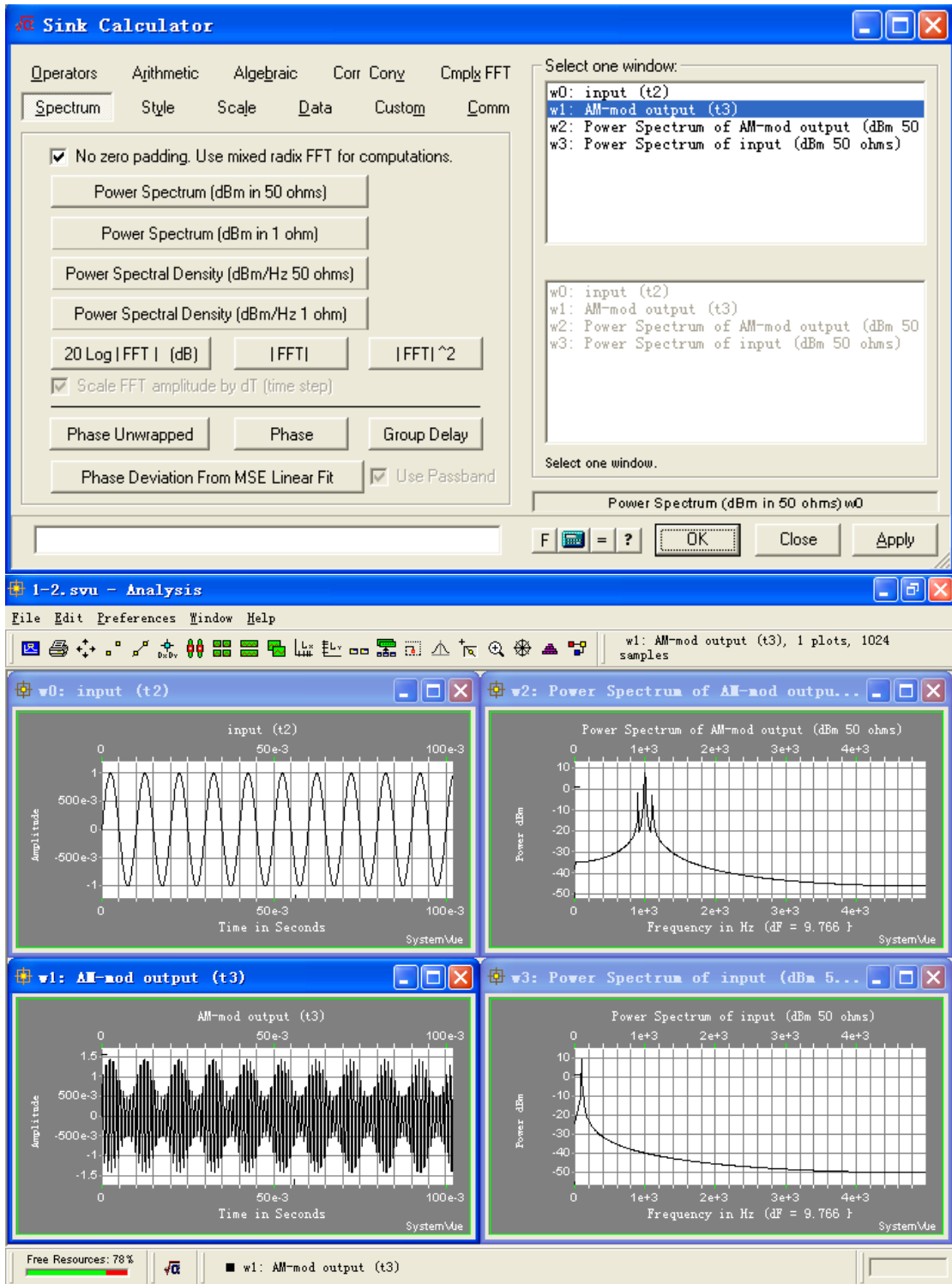
## 三、 基本原理


分析窗口是用户观察 SystemVue 数据输出的基本工具。如图所示。有多种选项可以增强显示的灵活性和用途。这些功能可以通过单击分析窗工具条上的快捷按钮或通过下拉菜单来激活。在系统设计窗口中单击分析窗口按钮，即可访问分析窗口。在分析窗口中单击系统按钮即可返回系统设计窗口。分析窗口包括标题栏、菜单栏、工具条、滚动条、活动图形窗口和提示信息区。同设计窗口一样，滚动条包括用于左右滚动的水平滚动条和用于上下滚动的垂直滚动条；提示信息区显示分析窗口的状态信息、坐标信息和分析的进度指示；活动图形窗显示输出的各种图形，如波形图、功率谱、眼图等。

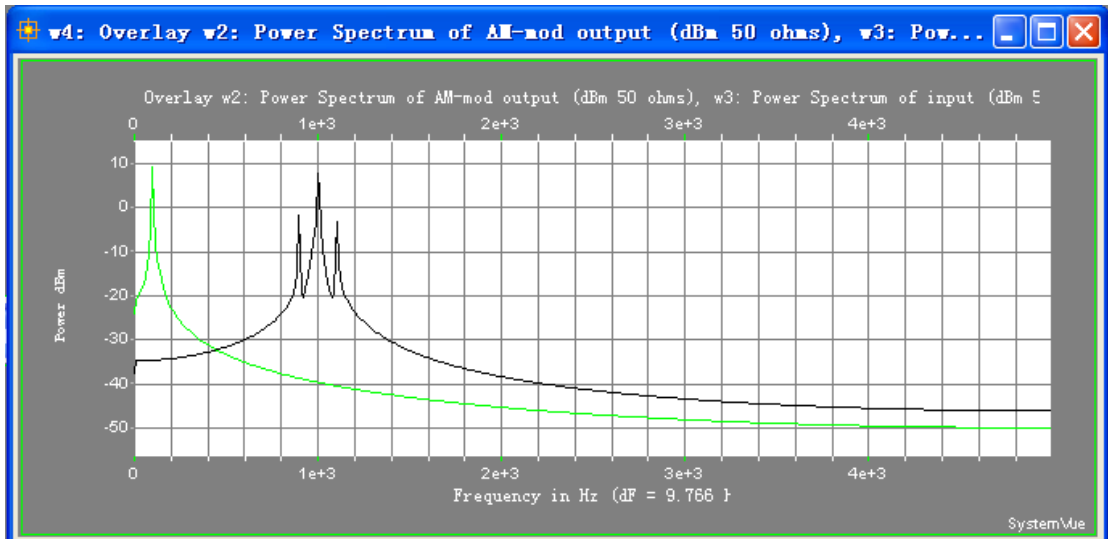


## 四、实验步骤


- 1、点击菜单栏的 File，选择 New System 建立一个新文件。
- 2、建立一个常规双边带的调制系统，如实验一所示。
- 3、单击  “Analysis” 快捷按钮进入分析窗口，这时应该可以看到两个图形，一个是 100Hz 的正弦信号，另一个是调制后的信号。可参考分析窗口工具条，根据个人习惯重新调整窗口显示排列。
- 4、对输入的信号进行谱分析。单击  接收计算器按钮，出现接收计算器选择窗口，选择 “Spectrum” 分析按钮，并分两次选中 W0、W1，就会出现两个新的图形 W2、W3，分别对应前面两个波形的频谱图，其中一个出现在 100Hz 的位置上（对应未调制的正弦波），另一个在中心频率为 1000 Hz 的位置上显示出载波和上下两个边带的频谱。

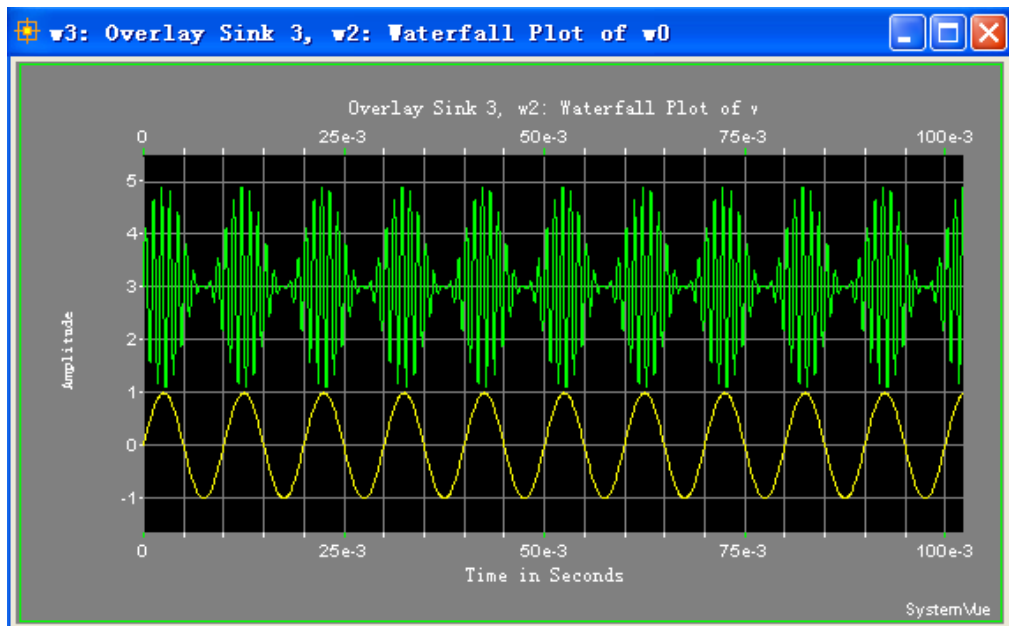


5、对调制信号和已调信号的功率谱进行叠绘。单击 ，operators 下 overlayplots,再 Ctrl 同时选中要叠加的多个窗口 OK



## 6、绘制瀑布（WaterFall）图：

单击  接收计算器按钮，出现接收计算器选择窗口，选择“Style”下的 WaterFall 按钮，并在右边的窗口中选中 W1（AM 调制信号），然后设置 Y Offset 的值为-3，即表示将 AM 调制信号的波形向上垂直移动 3 个单位，得到新的信号波形。然后将移动后的信号波形与调制信号波形叠绘，得到如下波形窗口：



## 五、 实验结果

- 1、 分别读取已调信号频谱中的上下边带的峰值点。
- 2、 修改双边带调制信号的调制参数，观察调制参数的变化对已调信号时域和频域上施加的影响，并作好记录。

# 实验三 信号的运算

## 一、实验目的

- 1、掌握 SystemVue 中函数库与算子库的使用
- 2、进一步熟悉 SystemVue 中分析窗口的使用

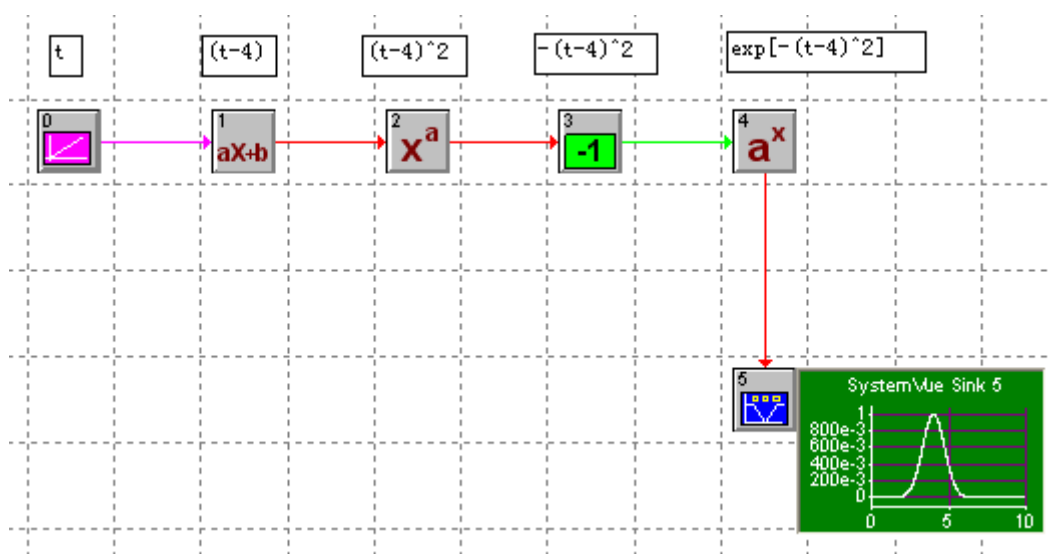
## 二、实验内容

- 1、熟悉函数库中常用图符的功能，并使用相应的图符完成信号的运算操作

## 三、实验步骤

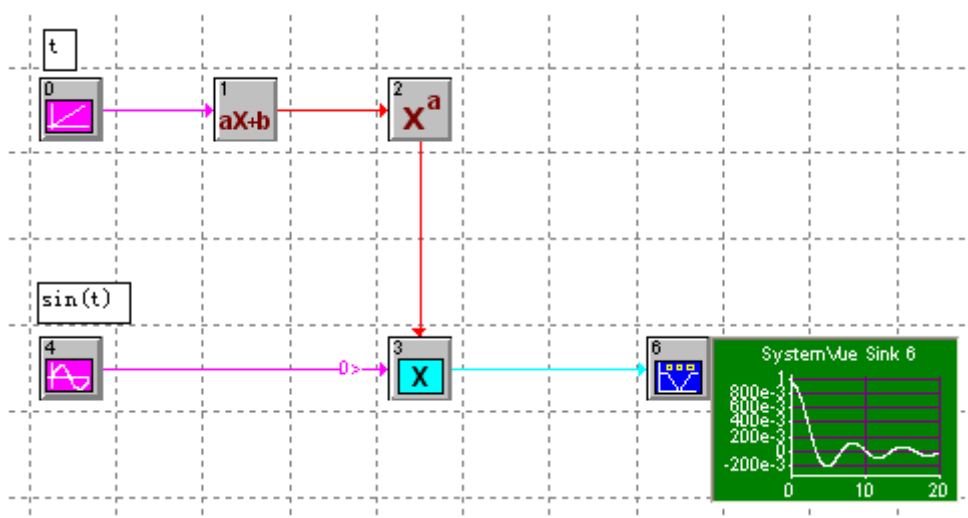
第一部分：实现高斯函数  $y(t) = e^{-(t-4)^2}$

1. 选择信源图符库，并选择 Aperiodic 下的 Time 图符，增益参数设定为 1，表示一个线性增加的信号。
2. 选择函数库的 Polynomial (多项式) 图符，对信号代入多项式。设定多项式为  $t-4$ ，即  $X^5, X^4, X^3, X^2$  系数均设定为 0，而  $X$  和  $X^0$  系数分别设定为 1 和 -4。
3. 选择 Function 图符库下的  $X^a$  图符，用来表示信号的  $a$  次方，按照函数式， $a=2$ 。
4. 在 Operator (算子库) 中选择 Negate 图符，表示负号。
5. 选择 Function 图符库下的  $a^x$  图符，用来表示  $a$  的  $x$  次方，按照函数式， $a=e=2.71828$ 。



## 第二部分 实现函数 $\frac{\sin(t)}{t}$

1. 设定仿真时间参数，设定仿真时间为 20 秒，采样频率 20Hz。
2. 选择信源图符库，并选择 Aperiodic 下的 Time 图符，增益参数设定为 1，表示一个线性增加的信号。
3. 选择函数库的 Polynomial(多项式)图符，对信号代入多项式。设定多项式为  $t+e^{-10}$  (防止出现仿真时间为 0 时的分母为 0 的情况)。
4. 选择 Function 图符库下的  $X^a$  图符，用来表示信号的 a 次方，按照函数式， $a=-1$ 。
5. 选择信源图符库，并选择一正弦信号，设定其幅度为 1，频率为 0.15Hz。
6. 将两路信号通过相乘器相乘得到  $\frac{\sin(t)}{t}$  信号，并通过接收器显示，最终仿真结果如下图所示：



## 四、实验结果

1. 画出相应的信号输出波形
2. 利用 SystemView 绘制实指数信号  $f(t) = 2e^{-5t}$ ，给出系统模型，并画出波形图

# 实验四 信号的分解与合成

## 一、实验目的

- 1、了解信号的分解与合成原理。
- 2、掌握 FIR 滤波器的设计方法。

## 二、实验内容

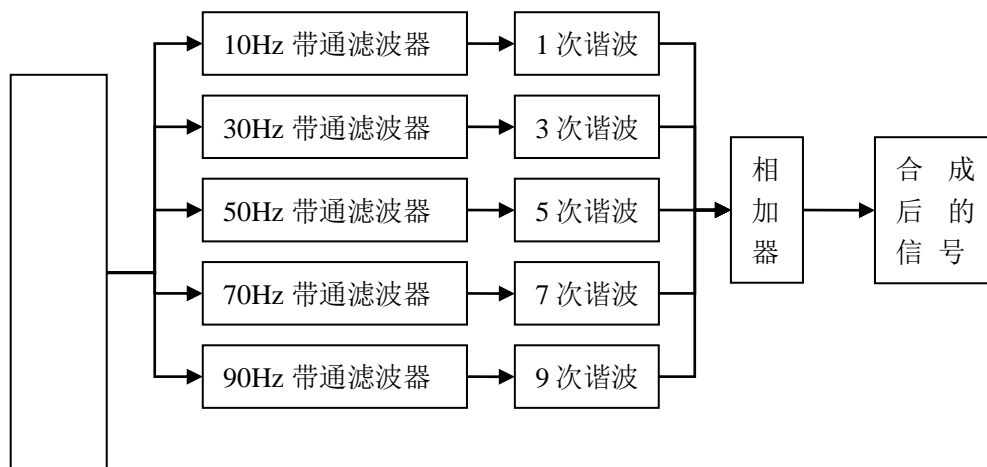
- 1、通过设计一个仿真模型，进行信号的分解与合成。

## 三、基本原理

为了便于研究信号传输和信号处理等问题，往往将一些信号分解为比较简单（基本）的信号分量之和。分解的方法有多种，常见的分析方法有：直流分量与交流分量，偶分量与奇分量，脉冲分量与正交函数集等。其中将信号分解为正交函数集的研究方法在信号与系统理论中占有重要地位。傅立叶分析法是常见的一种，一个矩形信号可分解为：

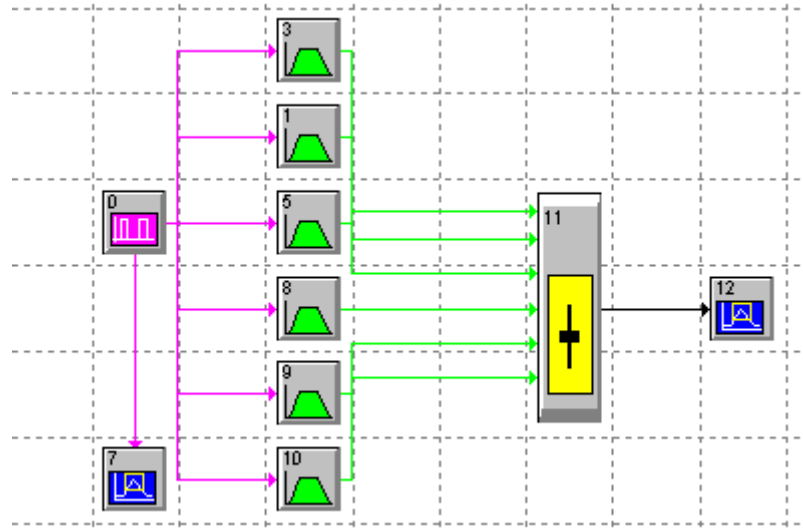
$$f(x) = \frac{4}{\pi} \left[ \sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \Lambda + \frac{1}{2n-1} \sin(2n-1)x + \Lambda \right]$$

由此可看出，其傅立叶展开式只含有奇次谐波分量 1, 3, 5... 2n-1, 于是可按照下图对方波信号进行分解，然后再通过相加器进行信号的合成。



## 四、 实验步骤

- 1、 设定系统的仿真时间参数：仿真时间为 20 秒，采样频率为 1KHz，采样点数为 20480 个。
- 2、 从信源图符中选择脉冲信号，设定其为方波，频率为 10Hz
- 3、 分别设定 6 个带通滤波器，通带频率分别为 10Hz，30Hz，50Hz，70Hz，90Hz，110Hz 带宽都为 4Hz。信号通过这 6 个带通滤波器以后分别得到 1, 3, 5, 7, 9, 11 次谐波分量。



- 4、 为每个谐波分量连接一个接收器，观察 6 个谐波分量的波形
- 5、 将 6 个谐波分量通过加法器进行叠加，得到合成以后的信号波形。

## 五、 实验结果

- 1、 画出原方波信号的频谱图以及合成信号的频谱图，并对两者进行比较，分析得到的结果。

---

# 实验五 数字基带传输系统仿真实验

## 一、 实验目的

- 1、 加深对数字基带信号传输的无失真条件的了解。
- 2、 熟悉奈奎斯特第一准则的验证方法

## 二、 实验内容

1. 验证奈奎斯特第一准则。

## 三、 基本原理

传输数字基带信号受到约束的主要因素是系统的频率特性,当基带脉冲信号通过系统时,系统的滤波作用使脉冲拖宽,在时域上,它们重叠到附近的时隙中去。接收端按约定的时隙对各点进行抽样,并以抽样时刻测定的信号幅度为依据进行判决,来导出原脉冲的消息,若重叠到临近时隙内的信号太强,就可能发生错误判决,从而产生码间串扰。

奈奎斯特第一准则给出了消除这种码间干扰的方法,并指出了信道带宽与码速率的基本关系,即

$$R_b = \frac{1}{T_b} = 2f_N = 2B_N$$

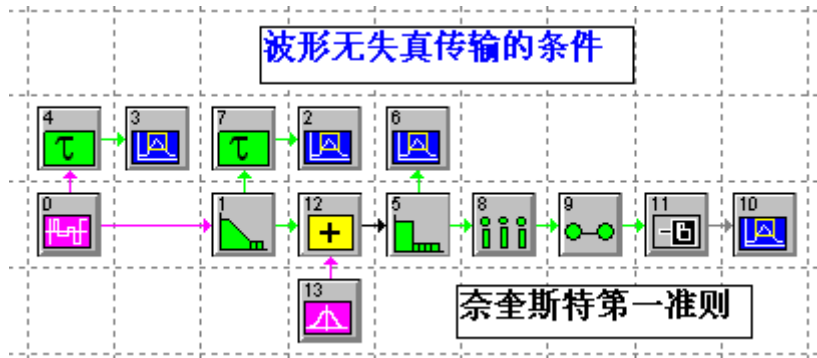
其中  $R_b$  为传码率,单位为 B/s (波特/秒)。 $f_N$  和  $B_N$  分别为理想信道的低通截止频率和奈奎斯特带宽。

假定有一数字基带信号,其码速率为 100b/s,则按照奈奎斯特第一准则,为保证数字基带信号的无失真传输,传输信道的带宽必须要在 50Hz 以上。同理,如果数字基带信号的码速率高于 100b/s,则在 50Hz 的带宽下不能保证信号的无失真传输。

## 四、 实验步骤

- 1、 设定系统的仿真时间参数: 采样频率设定为 1000Hz, 采样点位 512 个
- 2、 放置信号源: 码速率为 100b/s 的伪随机信号
- 3、 放置用于整型的升余弦滚降低通滤波器,其截止频率设定为 50Hz,在 60Hz 处有-60dB 的衰落,相当于一个带宽为 50Hz 的信道
- 4、 为了模拟传输的噪声, 将低通滤波器的输出叠加上一个高斯噪声, 设定其标准差为 0.1。
- 5、 接收端由一个低通 FIR 滤波器、一个抽样器、一个保持器和一个缓冲器组成, 分别完成信号的滤波, 抽样, 判决以及整型输出。其中抽样器的抽样频率与数据信号的

数据率一致，设为 100Hz。为了比较发送端和接收端的波形，在发送端的接收器前和升余弦滚降滤波器后各加入了一个延迟图符。最终的仿真系统如下图所示：



- 6、关闭噪声信号，运行仿真，将输入信号波形与输出信号波形进行叠加，观察仿真结果。
- 7、开启噪声信号，比较输入信号与输出信号的波形
- 8、改变噪声幅度，观察输出信号的变化。
- 9、将伪随机信号的码速率修改为 110b/s，运行仿真，再次观察输入输出信号波形的差别。

## 五、 实验结果

1. 画出仿真过程中的相关波形

# 实验六 模拟信号的数字传输仿真

## 一、实验目的

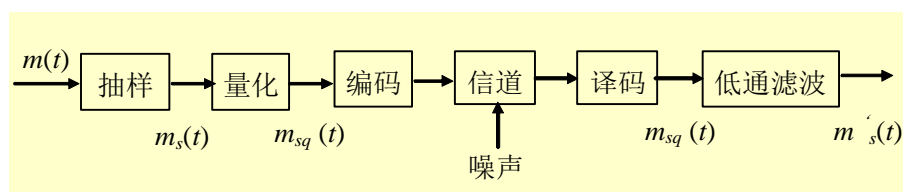
- 1、掌握 PCM 的编码原理。
- 2、掌握 PCM 编码信号的压缩与扩张的实现方式

## 二、实验内容

- 1、设计一个 PCM 调制系统的仿真模型
- 2、采用信号的压缩与扩张方式来提高信号的信噪比

## 三、基本原理

在现代通信系统中，以 PCM（脉冲编码调制）为代表的编码调制技术被广泛地应用于模拟信号和数字传输中，所谓脉冲编码调制，就是将模拟信号的抽样量化值变换成代码，其编码方式如下图所示：



PCM 编码经过抽样、量化、编码三个步骤将连续变化的模拟信号转换为数字编码。为了便于用数字电路实现，其量化电平数一般为 2 的整数次幂，这样可以将模拟信号量化为二进制编码形式。其量化方式可分为两种：

### 1、均匀量化编码：

常用二进制编码，主要有自然二进制码和折叠二进制码两种。

### 2、非均匀量化编码：

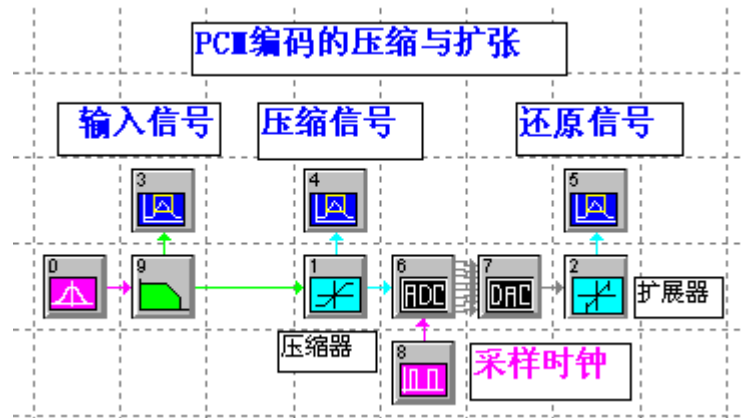
常用 13 折线编码，它用 8 位折叠二进制码来表示输入信号的抽样量化值，第一位表示量化值的极性，第二至第四位（段落码）的 8 种可能状态分别代表 8 个段落的起始电平，其它 4 位码（段内码）的 16 种状态用来分别代表每一段落的 16 个均匀划分的量化级。

通常情况下，我们采用信号压缩与扩张技术来实现非均匀量化，就是在保持信号固有的动态范围的前提下，在量化前将小信号放大，而将大信号进行压缩。采用信号压缩后，用 8 位编码就可以表示均匀量化 11 位编码是才能表示的动态范围，这样能有效地提高校信号编码时的信噪比。

## 四、实验步骤

SystemVue 系统仿真软件中，系统提供了 A 律和  $\mu$  律两种标准的压缩器和扩张器，用户可以根据需要选取其中一种进行仿真实验。

- 1、 设置一个均值为 0，标准差为 0.5 的具有高斯分布的随机信号作为仿真用的模拟信号源。
- 2、 在信号源的后方放置一个巴特沃思低通滤波器，设置其截止频率为 10Hz，滤除高频分量。
- 3、 在滤波器右侧放置一个 A 律 13 折线的压缩器（在通信库的 Processors 标签下），对信号进行压缩，并设定最大输入为 1v。
- 4、 放置一个模数转换器（在逻辑库下的 Mix Signal 中），对压缩的模拟信号进行抽样量化，并编码为数字信号，根据 PCM 的要求，设定编码位数为 8 位，输出真假值为 1 和 0，阈值为 0.5，最大最小输入为正负 1.28v；并放置一个 100Hz 的采样时钟信号对模拟信号进行抽样。由此可得出 8 位编码的 PCM 信号。
- 5、 放置一个数模转换器，将编码好的 PCM 信号重新还原为模拟信号。数模转换器的参数设置与模数转换器基本相同
- 6、 将模数转换器的 8 个数据位与数模转换器相对应的 8 个数据位相连，将数字信号送入数模转换器。
- 7、 放置一个扩张器，接收从数模转换器产生的经过压缩的模拟信号，并对其进行扩张，还原为原始信号，参数的设置与压缩器基本相同。最终的仿真系统如下图所示：



## 五、实验结果

- 1、 画出仿真系统中各个接收器的波形。

# 实验七 用户自定义滤波器的设计（选做）

## 一、实验目的

1. 掌握用户自定义滤波器的设计方法

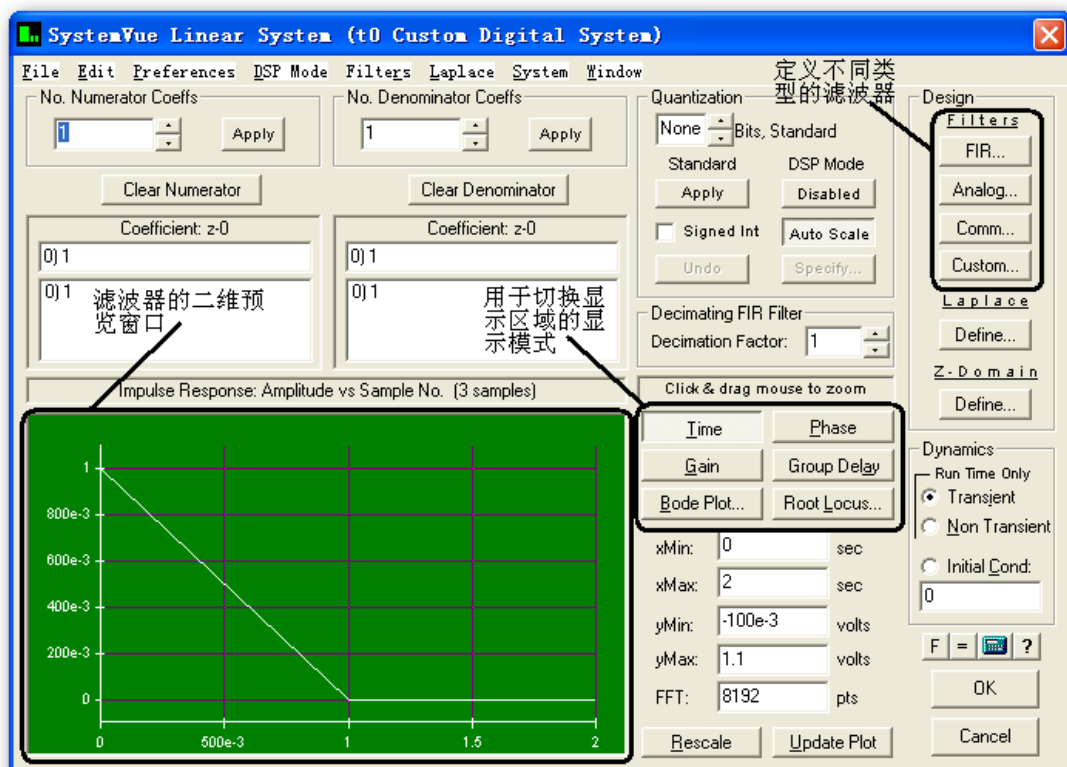
## 二、实验内容

1. 使用 SystemVue 设计低通，高通，带通以及带阻滤波器
2. 设计适当的仿真模型来验证滤波器的功能

## 三、基本原理

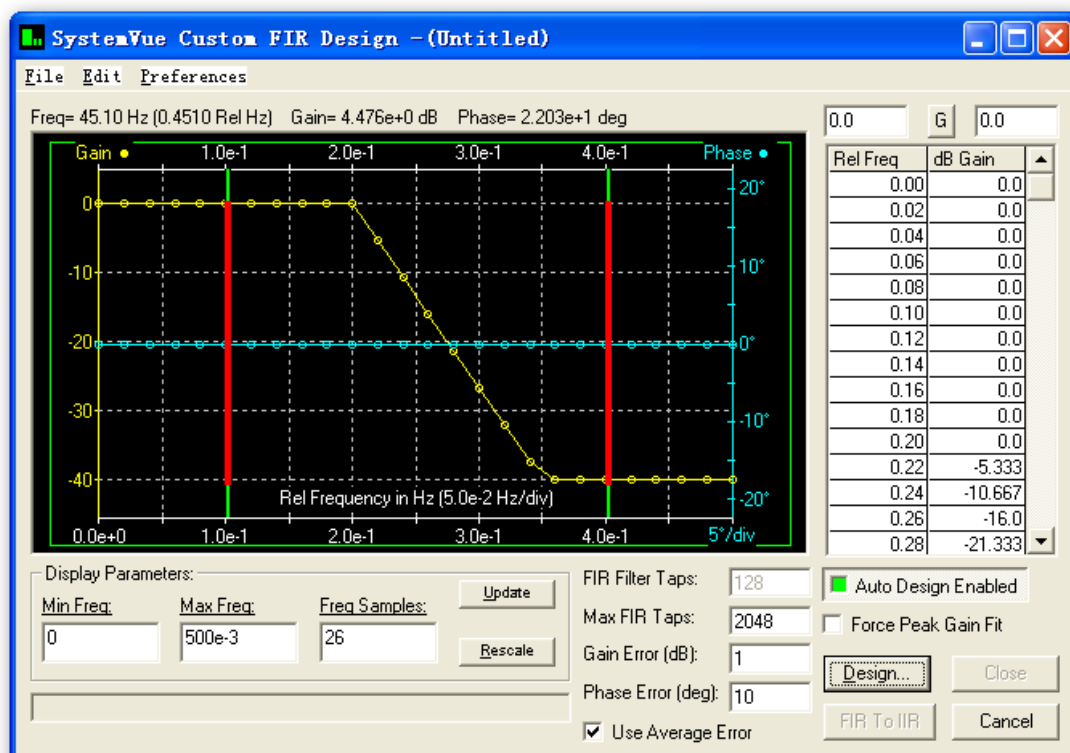
使用 SystemVue 能够完成 FIR 滤波器，模拟滤波器以及各种通信滤波器的设计，已能满足用户大多数的设计要求，但如果用户需要设计特殊的滤波器类型，又不能用一定的具体传输函数表达式表示，SystemVue 则提供了另外一个快捷有效的设计途径——用户自定义滤波器类型。用户只需要将关心的频带、频率增益或衰落点、关键相位点的具体增益或相位值手工输入即可完成特殊要求的滤波器。

选择“New Filter/Linear System”项，即可进入到滤波器的设计窗口，通过滤波器的参数设置，最终完成滤波器的设计，滤波器的设计窗口如下图所示：



窗口右上角列出了 SystemVue 能够设计的各种滤波器，从上到下分别为 FIR 滤波器、模拟滤波器、通信滤波器以及用户自定义滤波器。

点击 Custom...按钮进入用户自定义滤波器设计窗口：



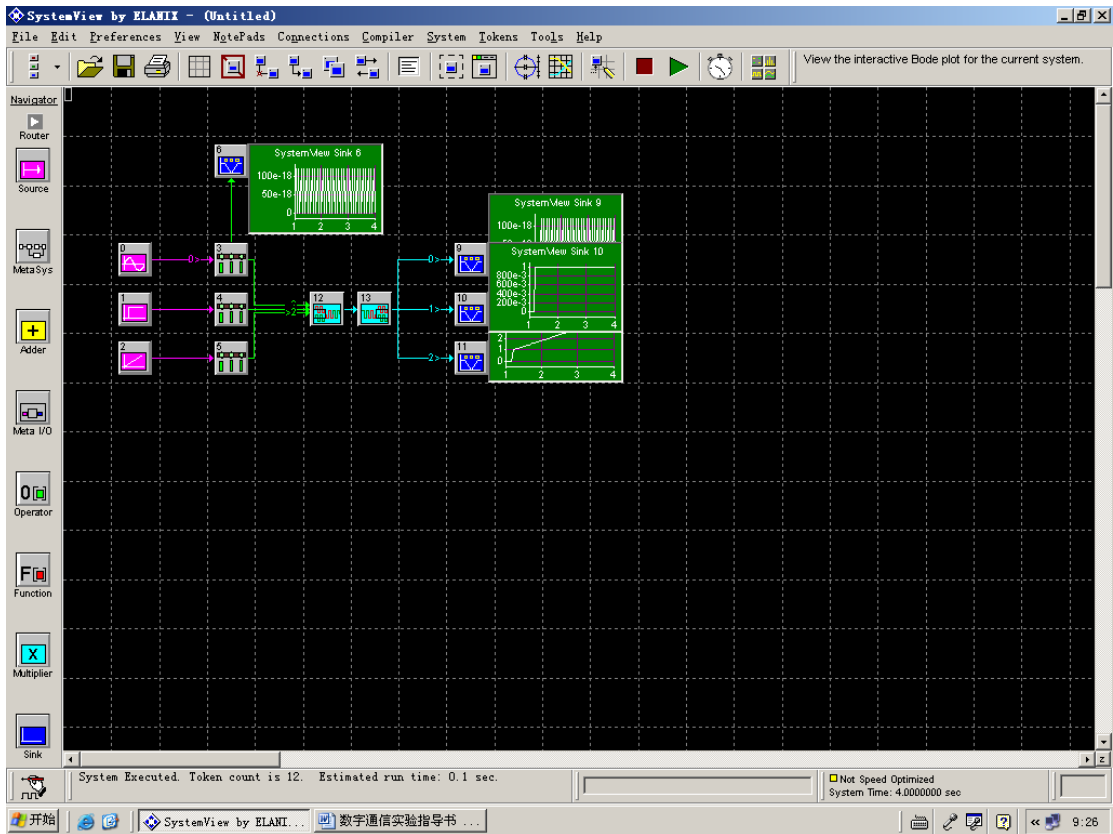
该设计窗口提供三种输入相位频率特性的手段，既可以在图形界面下用鼠标器直接拖曳设置，又可在文本输入框内输入数字，还可以通过模板文件输入。在输入参数以前，用户首先必须确定的内容有最小相对频率(Min Freq)，最大相对频率(Max Freq)，关键频点数(Freq Samples)以及FIR滤波器的抽头数(FIR Filter Taps)。通常频率点的间隔为最大频率减最小频率按频点数等分，用户也可手工输入频点值。当所有值输入完毕后，按“Update”按钮可刷新系统的幅度频率特性曲线。选择文件菜单中的“Save Template”可将设计好的滤波器参数存为自己的模板文件以便将来再次使用。如果对输入的结果不满意，则按“Clear”按钮清除，重新设计。全部设计完毕，按“Design”进行滤波器的设计，Cancel退出用户自定义滤波器设计界面。

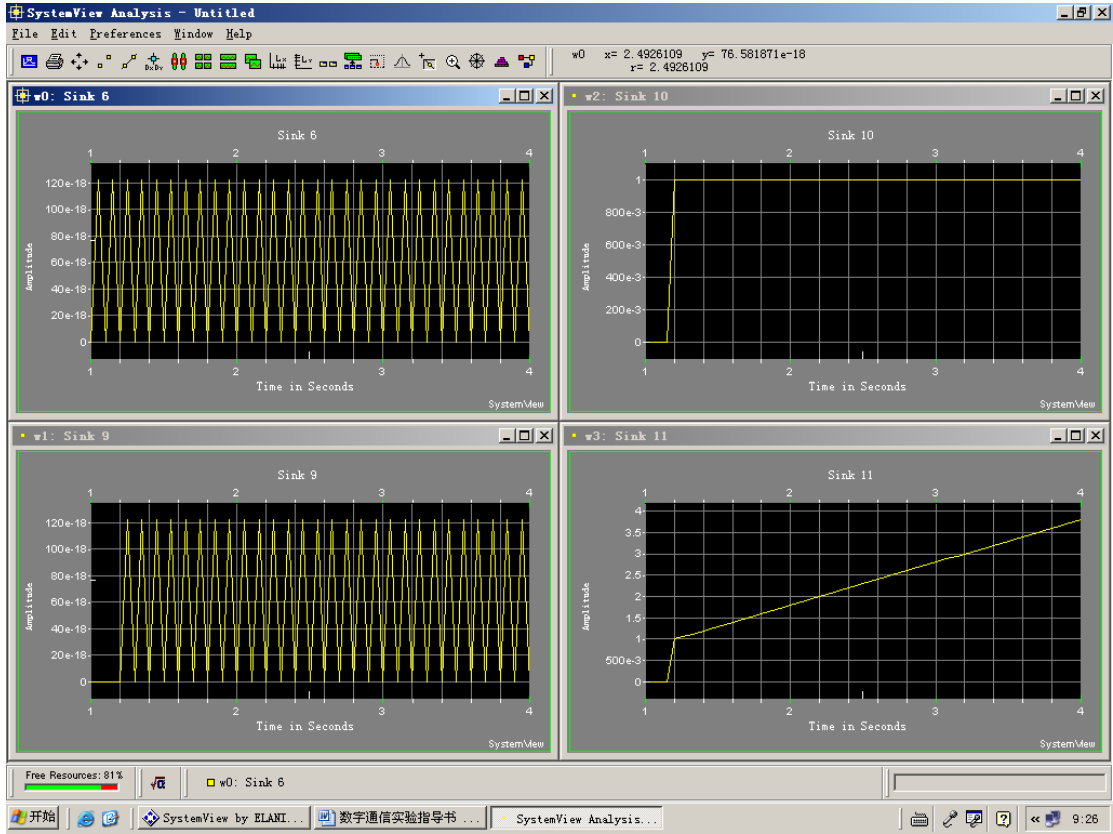
## 四、实验步骤

1. 选择“New Filter/Linear System”项，进入到滤波器的设计窗口，点击 Custom...按钮进入用户自定义滤波器设计窗口。
2. 设计低通滤波器，将相关参数输入设计窗口，产生低通滤波器
3. 采用同样的方法产生高通，带通以及带阻滤波器。
4. 利用信号源产生测试信号，验证所设计滤波器的频率特性

## 五、实验结果

1. 给出所设计滤波器的频率响应曲线
2. 绘制出测试信号通过滤波器前后的时域波形以及频域波形





---

# 实验八 通信系统仿真

## 一、实验目的

1. 进一步熟练掌握使用 SystemVue 进行通信系统仿真的方法
2. 熟练掌握通信系统的组成,并能动手进行一个通信系统的设计,完成一路或者多路信息的传输。

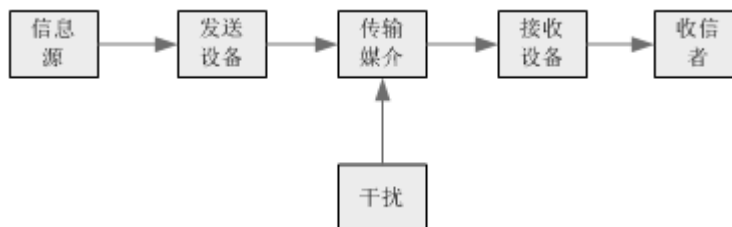
## 二、实验内容

1. 结合已掌握的通信知识,设计一个简单的通信系统,其中包含了通信系统的基本要素

## 三、基本原理

### 1. 通信系统的基本组成

通信的任务是克服信息源与收信者之间在地理(距离)上的障碍,迅速而准确地传送信息,下图显示了一个通信系统的组成:



通信系统的组成

### 2. 多路复用技术

随着通信技术的发展和通信系统的广泛应用,通信网的规模和需求越来越大。因此提高系统的容量已经成为一个非常重要的问题,在原来只传输一路信号的链路上,可能要传输多路信号。多路复用技术应运而生。

现在采用的通信系统中,多路复用技术主要有三种:时分复用、频分复用以及码分复用。

## 四、实验步骤

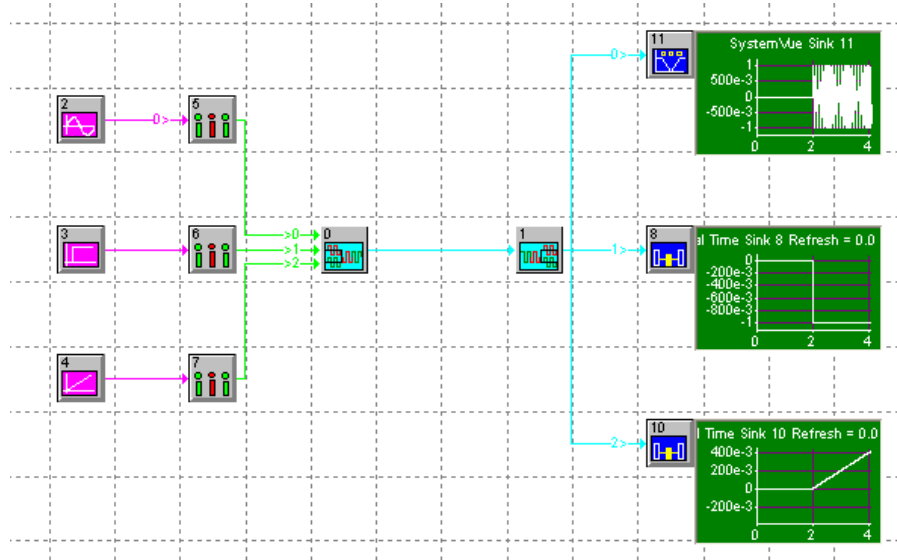
1. 确定采用的多路复用技术以及复用的信号路数
2. 在设计窗口中放置相应的复用器以及解复用器,并根据复用信号的数量进行参数设置
3. 如果是采用时分多路复用,为了保证时分复用器的正常工作,必须使各路

信号先通过采样器进行采样，降低其数据率。

- 按照相应的多路复用技术放置图符，运行仿真并观察波形



- 选用 **ReSample**，参数自定义调试。



时分复用仿真系统

## 五、实验结果

- 用探针工具分析并记录各个信号输入/输出点的波形，如果信号发生延时，查找是哪个图符造成的。

## 实验九 信号的幅度调制

### 一 概述

模拟通信现在虽然已不多用，但它仍然是通信系统的基础。由于从消息变换而来的原始信号具有频率较低的频谱分量，这种信号在许多信道中不适宜直接进行传输。因此，在通信系统的发送端通常需要有调制过程，而在接收端则需要有反调制过程——解调过程。调制在通信系统中具有十分重要的作用，所谓调制，就是按调制信号（基带信号）的变化规律去改变载波的某些参数的过程，下面我们讨论一下模拟调制调制方式的基础——幅度调制。

### 二 原理及框图

幅度调制是正弦型载波的幅度随调制信号作线性变化的过程。设正弦型载波为

$$s(t)=A\cos(\omega t+a)$$

式中  $\omega$ ——载波角频率；

$A$ ——载波的幅度；

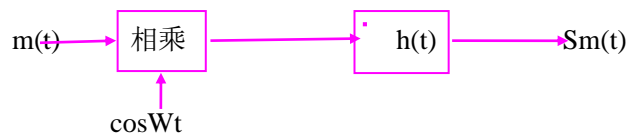
$a$ ——载波的初始相位。

那么，幅度调制信号（已调信号）一般可表示为

$$S(t)=Am(t)\cos(Wt+a)$$

式中  $m(t)$ 为基带调制信号。

下面是幅度调制的原理框图：

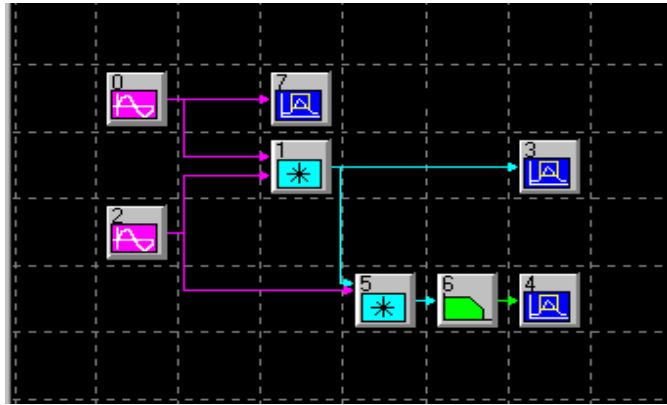


由以上表示式可见，幅度已调信号，在波形上它的幅度随基带信号变化而呈正比例地变化；在品扑结构上，它的频谱完全是基带信号频谱结构在频域内的简单搬移（精确到常数因子）。由于这种搬移是线性的，因此，幅度调制又称为线性调制。

因而，从频域的角度来讲，要恢复原来的信号，只须加适当的滤波器即可，对已调信号进行频谱的反向搬移。由以上可知，所谓调幅信号，就是用信号的幅度来装载信息，以达到远距离通信的目的。

### 三 步骤

- 1 根据幅度调制与解调原理，用 Systemview 软件建立一个仿真电路，如下图所示：



图表 1 仿真电路

## 2 元件参数配置

Token 0,2 余弦信号([0],频率 0.5Hz;[2],频率 10Hz)

Token 1,5 相乘器

Token 3,4,7 信号接收器

Token 6 低通滤波器(IIR Analog Filter Bessel

截止频率 7Hz,极点数 3)

3 运行时间设置 运行时间=4S; 采样频率=50.25hz

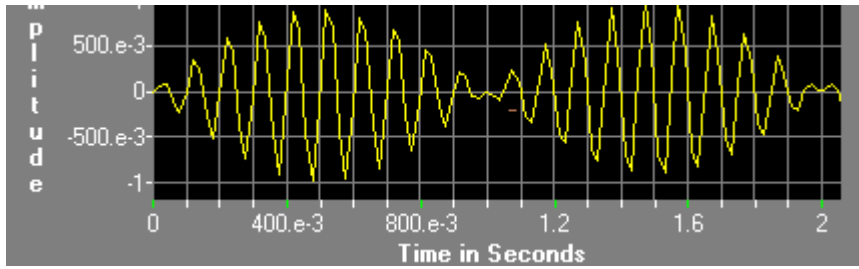
## 4 运行系统

在系统内运行该系统后,转到分析窗观察 Token3,4,7 三个点的波形.

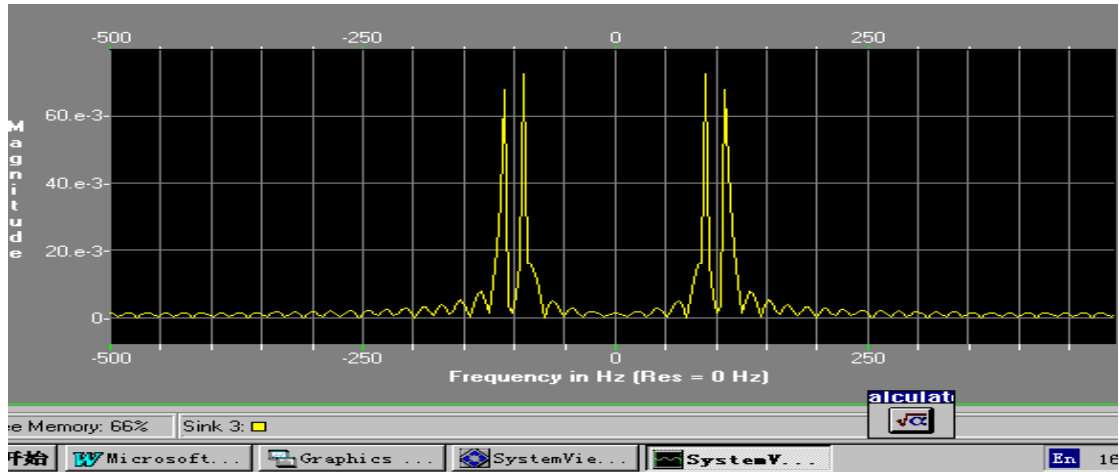
5 频谱图 在分析窗绘出该系统调制后的频谱图.

## 幅度调制运行结果

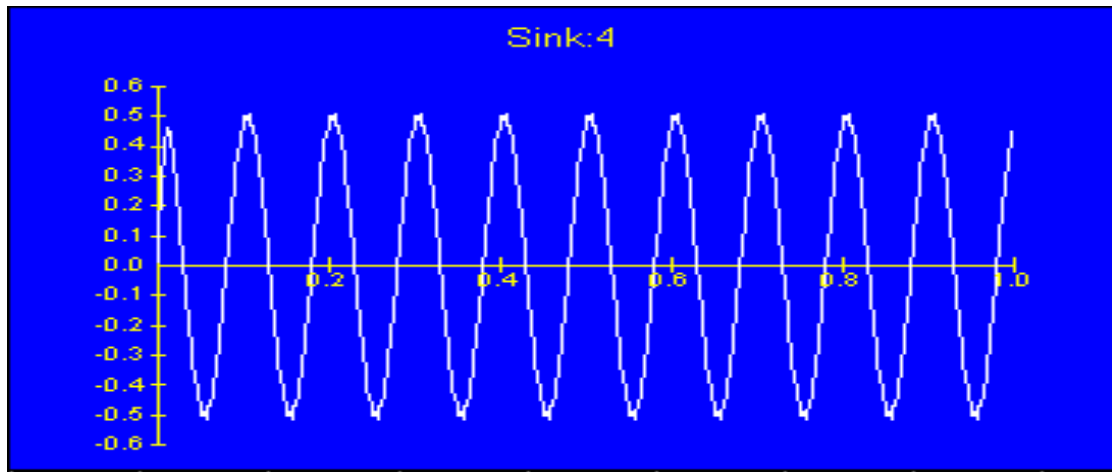
### 1 已调信号波形

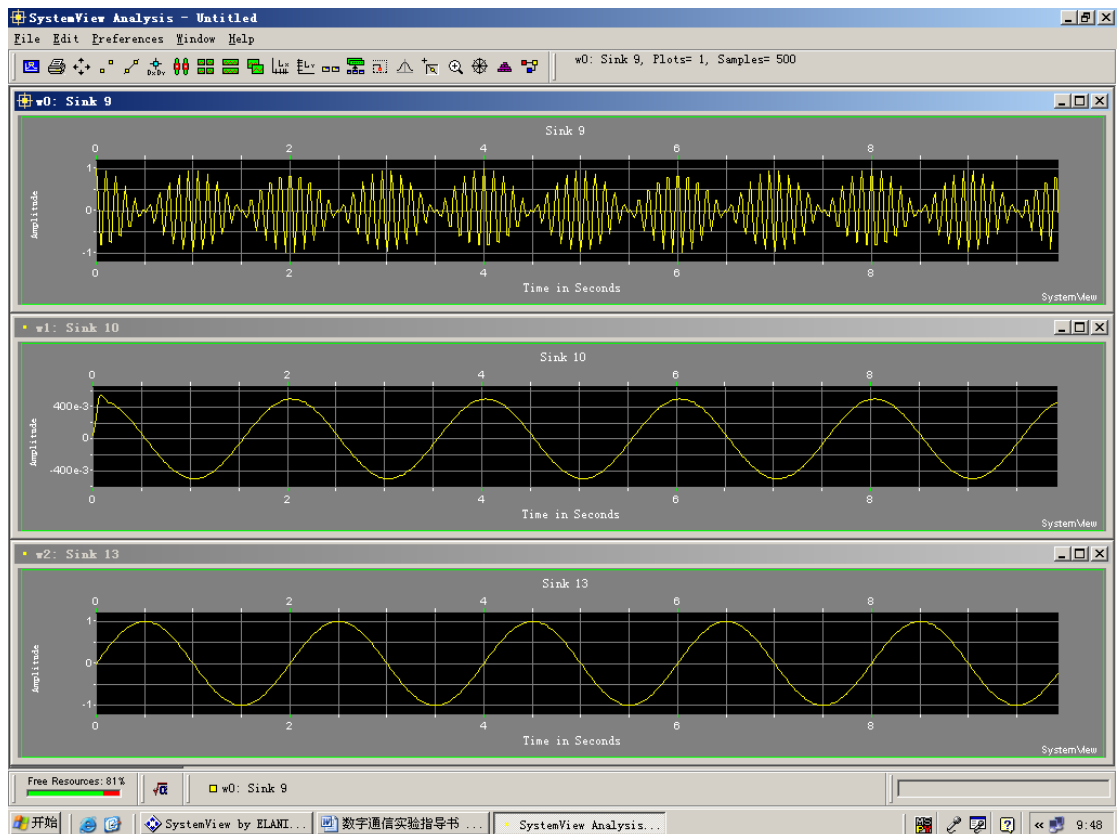
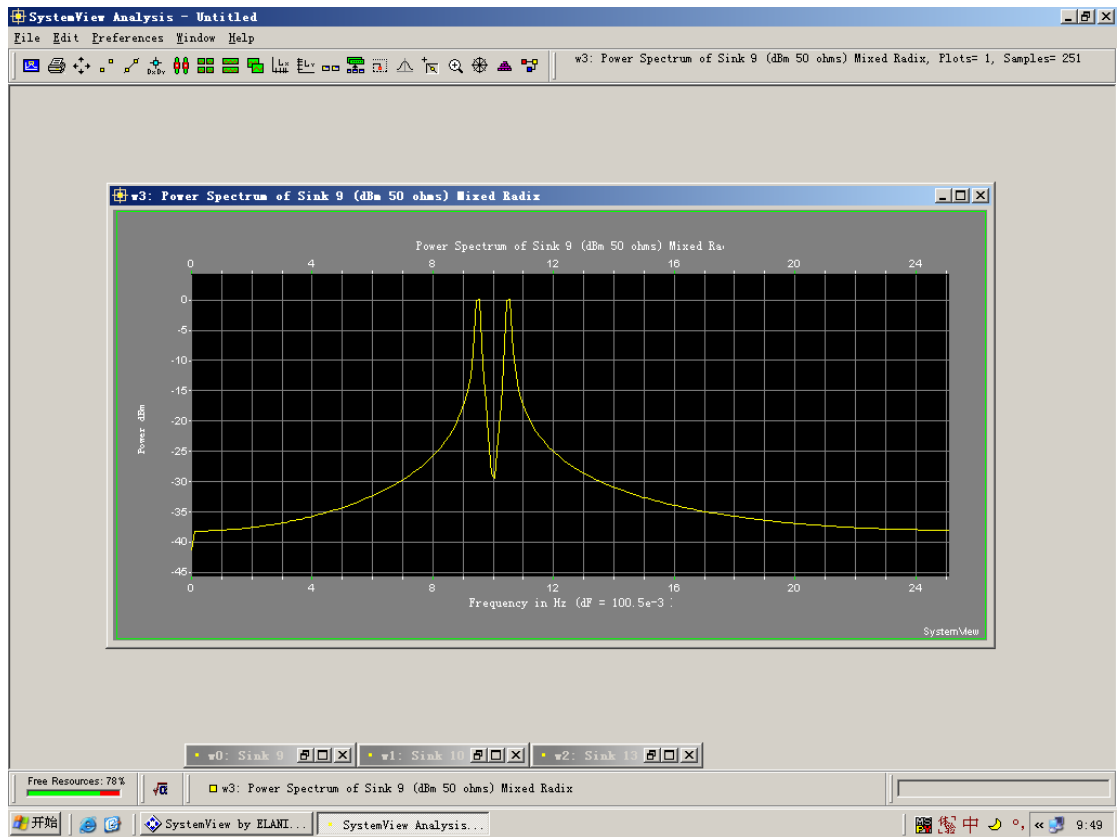


2 已调信号频谱



3 解调后的调制信号





# 实验十 信号抽样及恢复

## 一 概述

由于模拟通信的有效性和可靠性很低，不能满足实际通信的需要，现在普遍采用数字通信，可大大提高可靠性和有效性。但是实际的信号一般都是模拟信号，所以模拟信号数字化是实现数字通信的基础，而模数转化的第一步就是信号的抽样。我们的目的就是用离散值来代替模拟信号，以便于在新道中传输，而且由这些离散值能准确无误地恢复原来的模拟信号。

## 二 原理及框图

1 抽样 一个频带限制在  $(0-F_m)$  范围内的信号  $f(t)$ ，如果用频率为  $f_s \leq 2f_m$  的脉冲序列对其进行等间隔抽样，则抽样信号能完全确定原信号  $f(t)$ ，这也就是奈奎斯特定理。

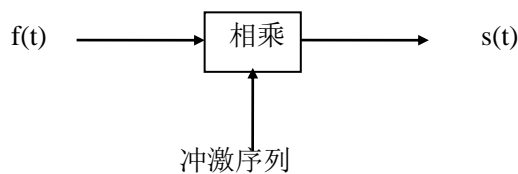
此外实际中还有一类带通信号，频带限制在  $(f_1-f_2)$  范围内，此时抽样频率最小为

$$f_s = 2B + 2(f_2 - nB)/n, \text{ 其中 } n \text{ 为小于 } f_2/B \text{ 的最大整数。}$$

上面的定理也可以从频谱的角度来说明。

原理框图

$$\text{抽样信号为 } s(t) = f(t) \times \delta(t)$$

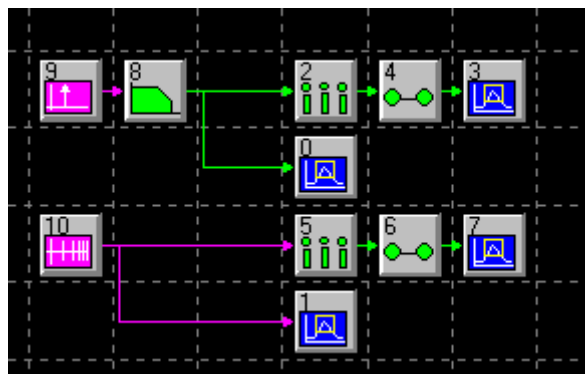


## 2 恢复

由频谱图标显示的频谱图可知通过适当的滤波器既可恢复原信号。

## 三 步骤

1 根据信号的抽样及恢复定理，用 Systemview 软件建立仿真电路如下：



## 2 元件参数的配置

- Token 0, 1, 3, 7 观察点—分析窗
- Token 2, 5 采样器 (采样频率[2]=50Hz, [5]=40Hz)
- Token 4, 6 保持 (保持值为 0)
- Token 8 低通滤波器 (极点数=7, 截止频率=10Hz)
- Token 9 信号源 (单位冲激信号, 偏移量为 0)

Token 10?

3 运行时间设置

运行时间= 2.047s

采样频率=1000Hz

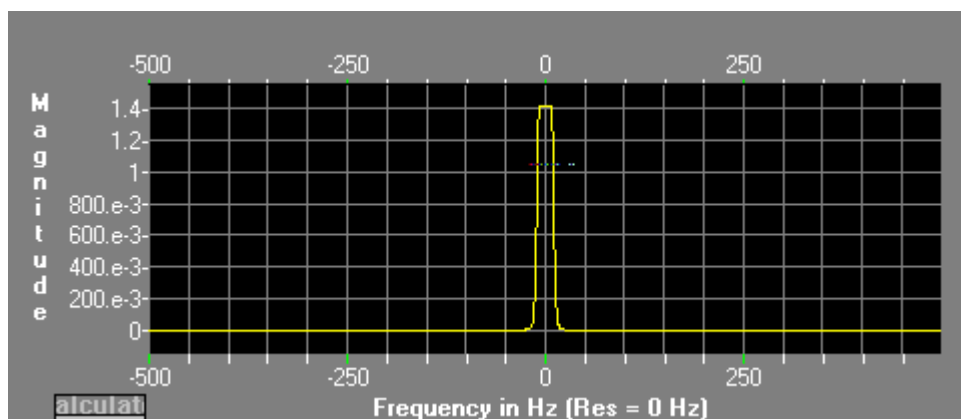
4 运行系统

在 Systemview 系统窗内运行该系统后，转到分析窗观察 Token 0,1,3,7 三个点的波形。

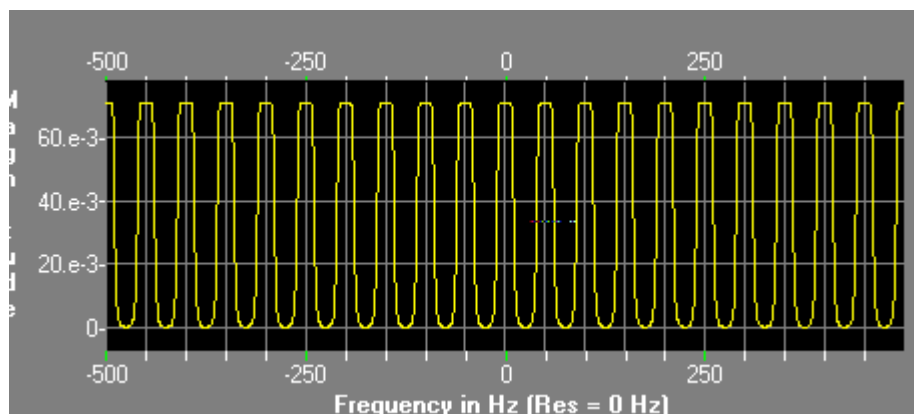
5 功率谱 在分析窗绘出该系统抽样后的功率谱。

信号抽样及恢复运行结果

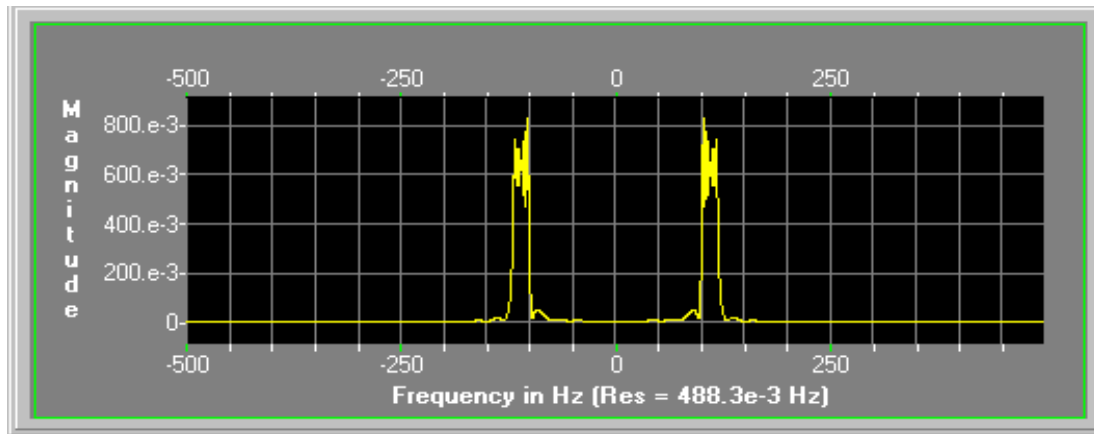
1 原低通信号频谱



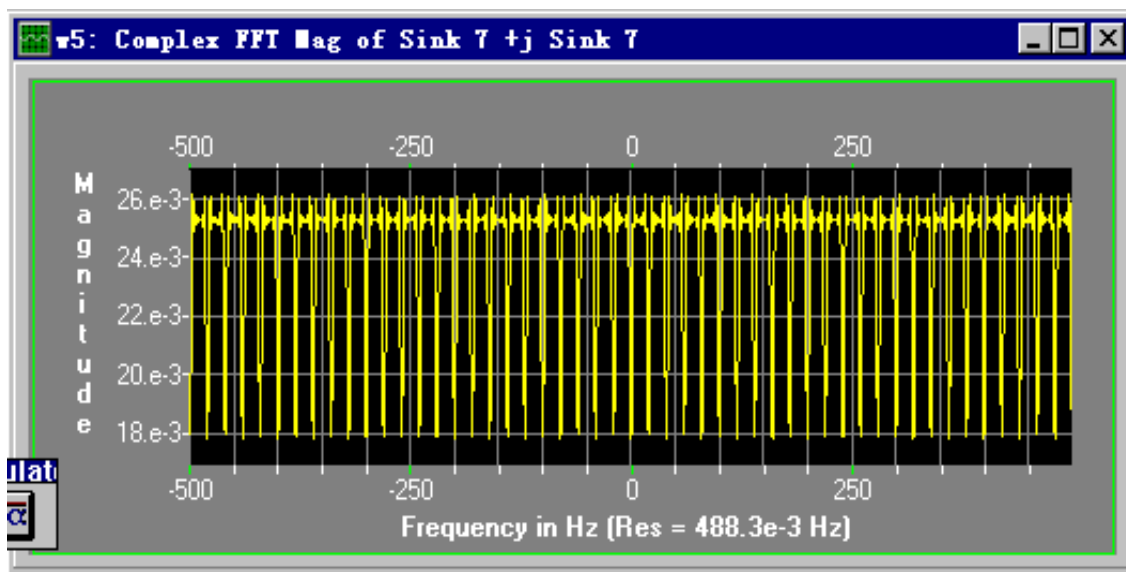
2 低通信号抽样后的频谱



3 原带通信号频谱



#### 4 带通信号抽样后频谱



由上面的频谱图可知，所谓抽样，实质上是对原信号的频谱进行搬移，对信号来说做的是线性变化，其目的是对信号进行调制，以使信号适合于在信道中传输。如果想得到原信号，只需要根据频谱图，选择适当的线性系统（滤波器），实现对频域的操作。

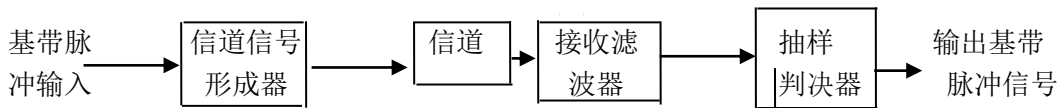
## 实验十一 数字基带传输系统仿真实验二

### 一 概述

由于模拟通信系统的抗干扰能力不能满足实际需要，引入了数字通信，通信的根本任务是远距离传递信息，因而如何准确地传输数字信息是数字通信的一个重要组成部分。由于未经调制的电脉冲信号所占据的频带通常从直流和低频开始，因而称为数字基带信号。在某些有线信道中特别是传输距离不太远的情况下，数字信号可以直接传送。我们称之为数字信号的基带传输。目前，虽然在实际使用的数字通信系统中基带传输制不如频带传输制那样广泛，但是，对于基带传输的研究仍然具有十分重要的意义。因为即使在频带传输中也同样存在基带传输问题；另外，随着数字通信技术的发展，基带传输这种方式也有迅速发展的趋势。目前，它不仅用于低速数据传输，而且还用于高速数据传输；第三，理论上还可以证明，任何一个采用线性调制的频带传输系统，总可以由一个等效的基带传输系统代替。

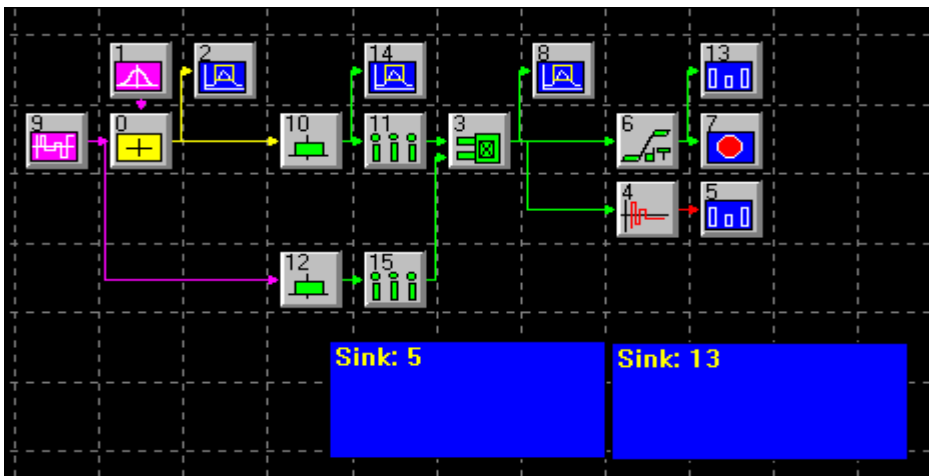
### 二 原理及框图

数字基带系统主要由信号源，信道信号形成器，信道，接收滤波器以及抽样判别器组成。这里的信道信号形成器用来产生适合于信道传输的基带信号，信道可以是允许基带信号通过的媒质，接收滤波器用来接收信号和尽可能排除信道噪声和其它干扰的；抽样判别器则是在噪声的背景下用来判定与再生基带信号的。基带传输系统的基本结构如下：



### 三 步骤

- 1 根据基带传输系统的结构框图，用 Systemvie 软件建立一个仿真电路：



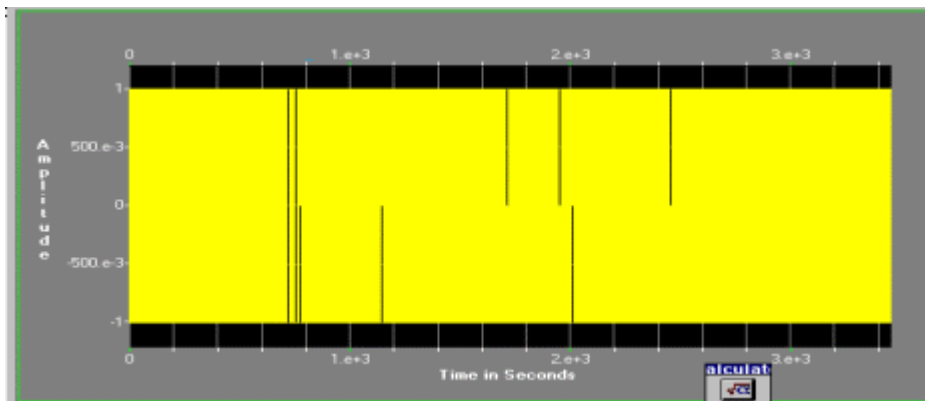
- 2 参数配置

Token 0	相加器
Token 1	高斯型噪声
Token 2,8,14,16	信号观察点（分析型）
Token 5,13	信号观察点（显示当前值型）
Token 9	随机序列（频率为 1HZ，电平数为 2）
Token 11,15	采样器（频率为 1HZ）
Token 3	逻辑异或门
Token 4	计算算术均值（时间窗为 1S）
Token 6	积分器（增益为 1）
Token 7	停止（当接收数据大于 100 时停止系统仿真）

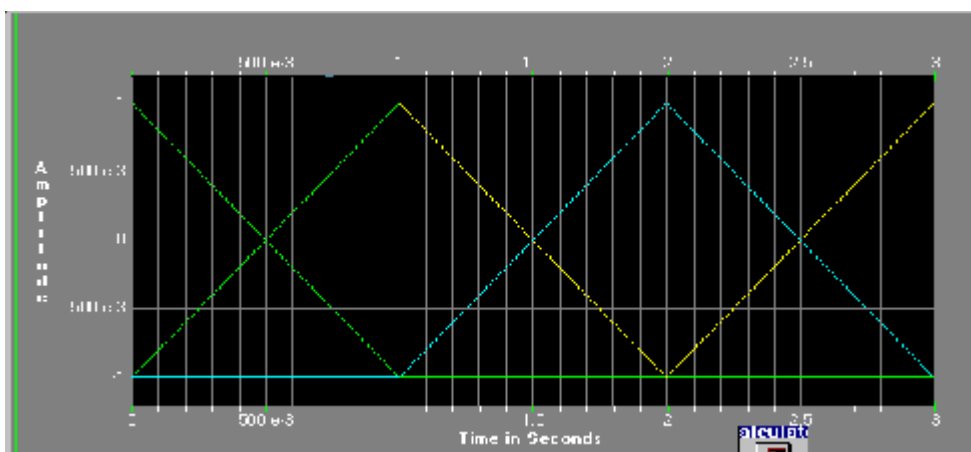
- 3 运行时间设置      运行时间=19999S;      采样频率=1HZ
- 4 运行系统  
在 Systemview 系统窗内运行该系统后，转到分析窗观察各点的波形。
- 5 眼图及误码率  
在分析窗绘出接收滤波器的输出端的眼图，并且在分析窗内观察误码率波形图。

### 数字基带系统运行结果

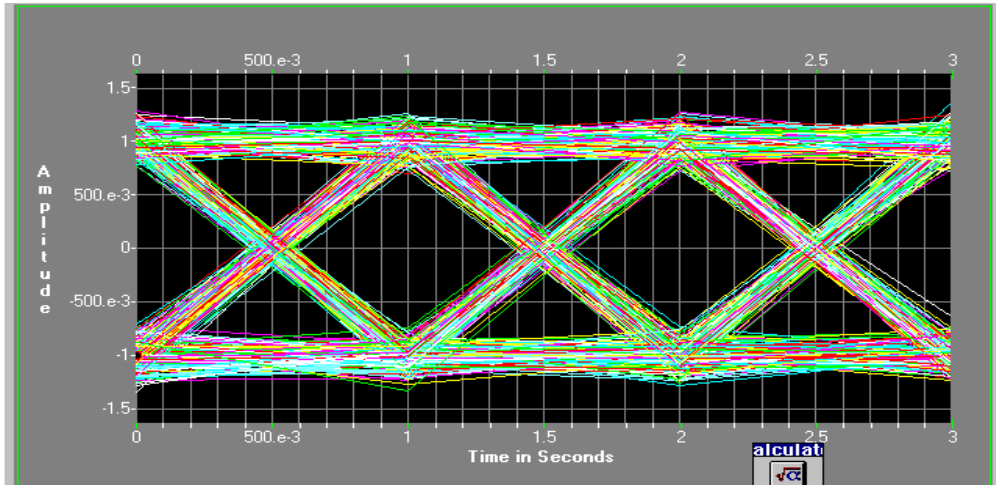
- 1 数字基带系统接收滤波器的输出波形



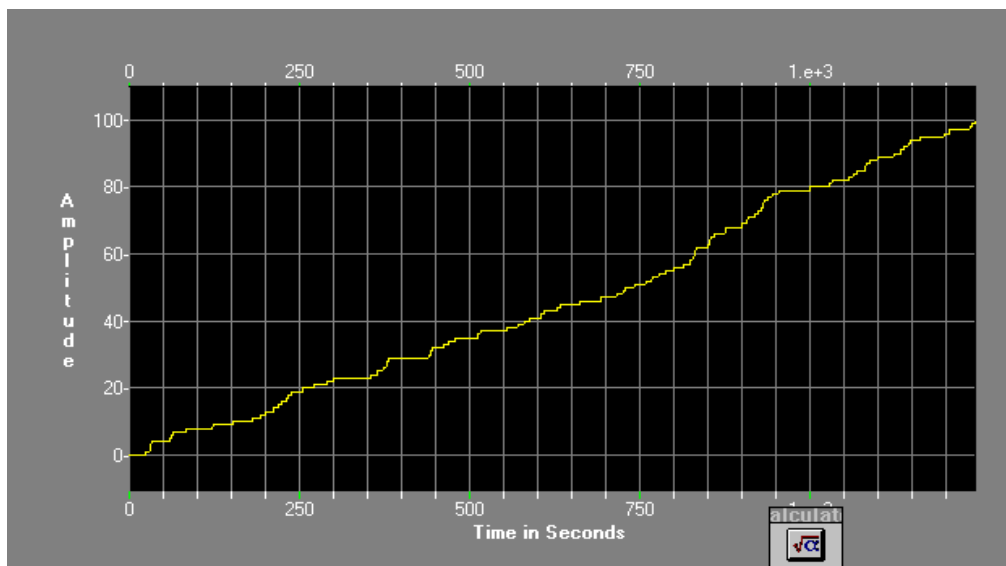
2. 没有噪声存在时绘出的眼图



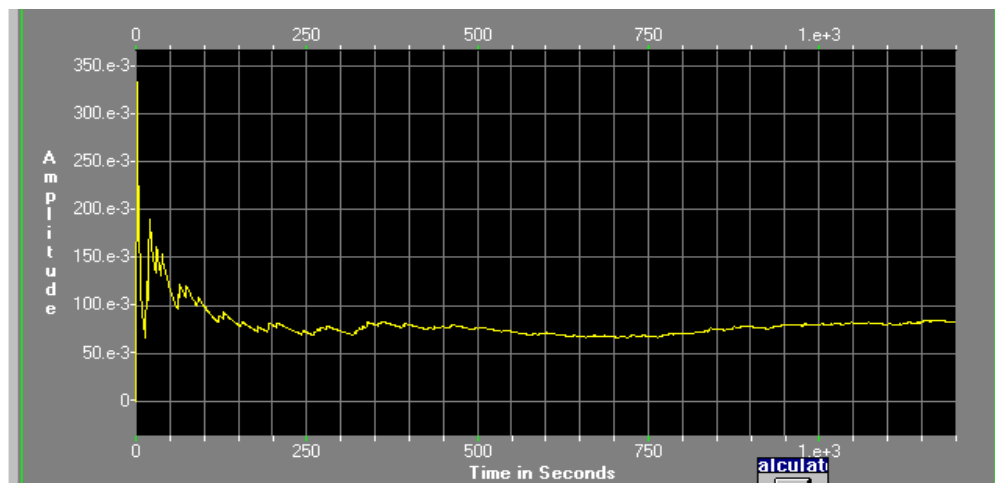
- 3 当噪声的功率谱密度为 0.02W/HZ 时绘出的眼图



4 误码个数积分结果



5 误码率的平均运行估计



# 实验十二 匹配滤波器

## 一 概述

一个通信系统的质量优劣在很大程度上取决于接收系统的性能。这是因为，影响信息可靠传输的不利因素（信道特性的不理想及信道中存在噪声等）将直接作用到接收端，对信号接收产生影响。在信号和噪声共同作用下，怎样的解调系统才是最佳的，也就是说，设计怎样的接收系统才能使噪声对信号的影响最小，是一个通信系统设计时所要考虑的首要问题。而匹配滤波器在一个最佳接收系统中起着关键性的作用。

## 二 实验原理及框图

所谓匹配滤波器是指输出信噪比最大的最佳线性滤波器。下面我们来实现匹配滤波器的一种形式——模拟计算式动态滤波器，其原理如下：

设匹配滤波器的输入信号  $u_1(t)$  为：

$$u_1(t) = \begin{cases} \cos \omega_0 t & 0 < t < T \\ 0 & \text{其它 } t \end{cases}$$

则与该信号相匹配的线性滤波器的冲激响应  $h(t)$  为：

$$h(t) = u_1(T-t) = \cos \omega_0 (T-t)$$

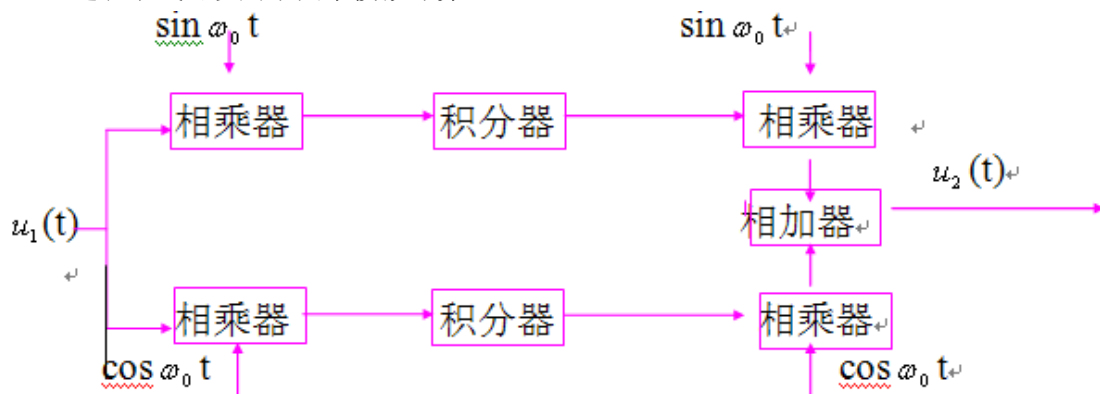
若设  $\omega_0 T = 2\pi k$ ,  $k$  为任一整数，则

$$h(t) = \cos \omega_0 t$$

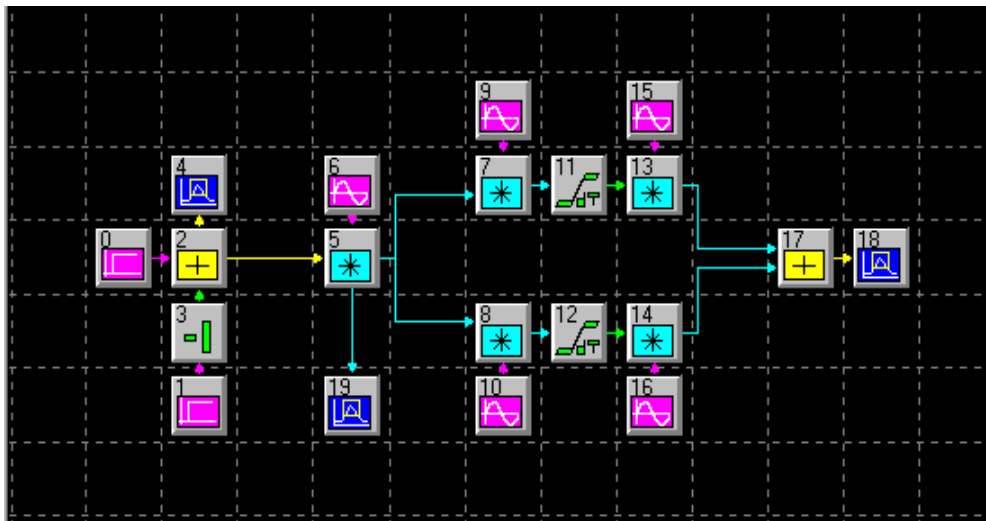
由于匹配滤波器的输出  $u_2(t)$  是输入信号  $u_1(t)$  与  $h(t)$  的卷积，则

$$\begin{aligned} u_2(t) &= \int_0^t u_1(t') h(t-t') dt' \\ &= \cos \omega_0 t \int_0^t u_1(t') \cos \omega_0 t' dt' + \sin \omega_0 t \int_0^t u_1(t') \sin \omega_0 t' dt' \end{aligned}$$

上述表示式可以用下图来模拟计算。



1 根据匹配滤波器的实现原理框图，用 Systemview 软件建立一个仿真电电路如下图所示：



## 2 元件参数配置

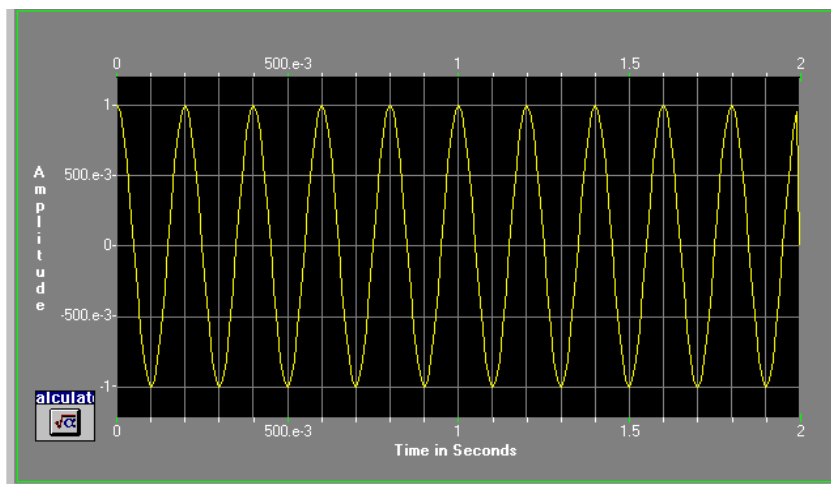
- Token 0,1 信号源（阶越信号[0]偏置为 0； [1]偏置为 2）
- Token 2,17 相加器
- Token 3 取负值
- Token 4,19,18 信号观察点（分析型）
- Token 5,7,8,13,14 相乘器
- Token 6,10,16 正弦波（频率为 5HZ）
- Token 9,15 余弦波（频率为 5HZ）相位 180
- Token 11,12 积分器

3 运行时间设置： 运行时间=2S； 采样频率=100HZ

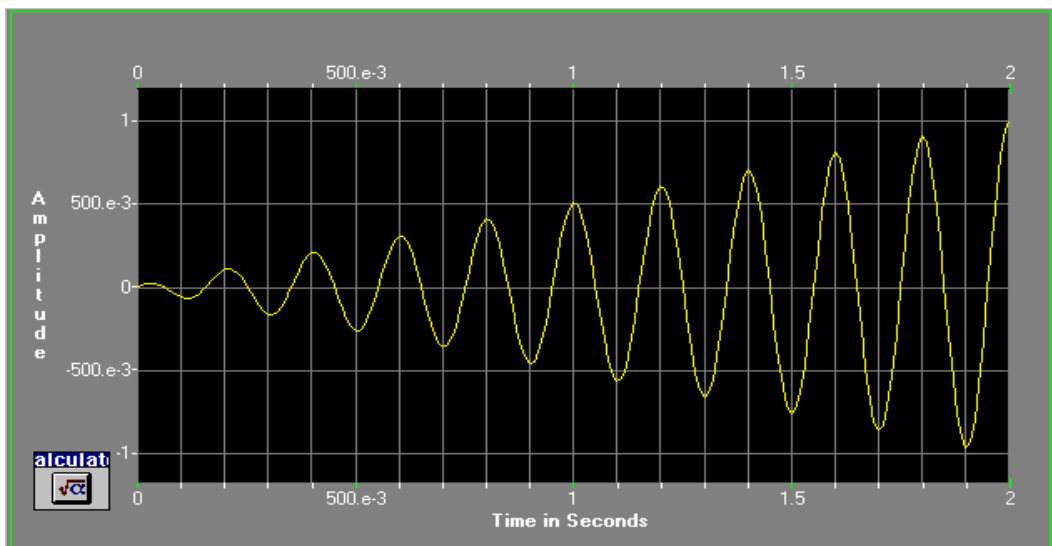
4 运行系统 在 Systemview 系统窗内运行改系统后，转到分析窗观察 4， 18， 19 三个点的 波形。

## 匹配滤波器实验结果

### 1 信号发送端的波形



2 接收滤波器的输出波形



由上面的接收滤波器的输出波形可知：有用信号的功率在某一点达到最大值。在数字通信中使输出信噪比在某一特定时刻达到最大具有特别重大的意义，因为数字传输中我们最关心的是能否在噪声的背景下正确地判断信号。例如在二进制数字调制中，我们只需要在一段接收信号内判断两种可能信号中出现地是哪一种。显然，在判断时刻地信噪比愈高，愈有利于作出正确地判决。所以，匹配滤波器在数字接收系统中具有十分重要地作用。

## 实验十三 幅移键控 ASK

### 一概述

为使发送的数字信号适合于在带通信道中传输，必须对数字信号进行调制。类似于模拟调制，数字调制也有三种基本的方式：分别用正弦波的幅度、频率、相位来传递数字信号。我们首先来看一下幅移键控—载波的幅度随着调制信号而变化。最简单的形式是载波在二进制信号 1 或 0 控制下通或断，这种二进制幅度键控的方式称为通—断键控（OOK）。本实验采用这种方式。

### 二 原理及框图

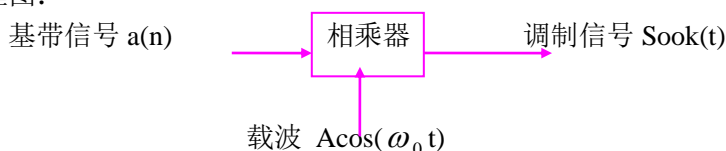
1. 调制部分：设信息源发出的是由二进制符号 0、1 组成的序列，则一个二进制的振幅键控信号可以表示成一个单极性矩形脉冲序列与一个正弦载波的相乘，。所以二进制幅度键控调制器可用一个相乘器来实现。

OOK 信号表达式：

$$S_{ook}(t) = a(n) \times A \cos(\omega_0 t)$$

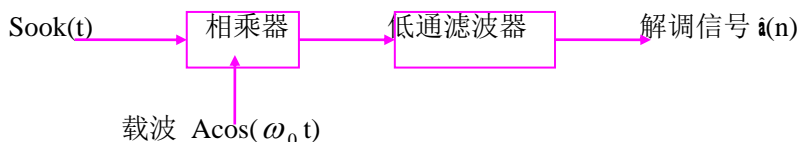
A: 载波幅度       $\omega_0$ : 载波频率      a(n): 二进制数字信号

原理框图：



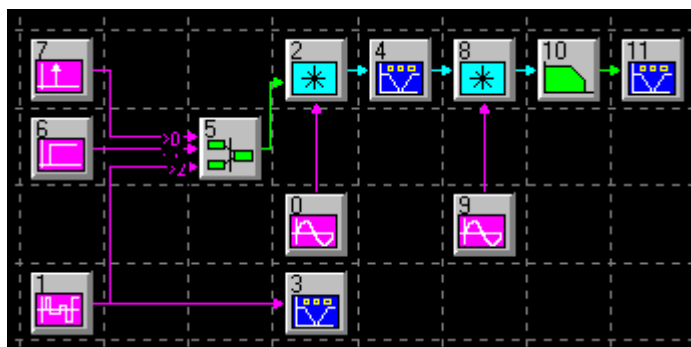
2. 解调部分：解调有相干和非相干两种。非相干系统设备简单，但在信噪比较小时，相干系统的性能优于非相干系统。这里采用相干解调。

原理框图：



### 三 步骤

1. 根据 ASK 调制与解调原理,用 Systemview 软件建立一个仿真电路如下:



图表 2 Ask 仿真电路

## 2. 元件参数配置

- Token 0,9 载波—正弦信号（频率=20HZ）  
Token 1 基带信号—PN 序列（频率=10HZ，电平数为 2）  
Token 2,8 相乘器 两者直接相连，跨过中间的分析窗  
Token 3,4,11 信号观察点—系统窗（Graphic SystemView）  
Token 6 阶越信号（幅度=1，偏移为 0）  
Token 7 冲激信号（增益为 1，偏移为 0）  
Token 5 数据选择器（[6, 7]为输入端，[1]为控制端，Token 6 和 Token 7 连接到 input port, Token 1 连接到 control Port）Logic Switch  
Token 10 模拟低通滤波器（截止频率=12HZ，极点数为 5）

## 3. 运行时间设置

运行时间= 1S; 采样频率=100HZ

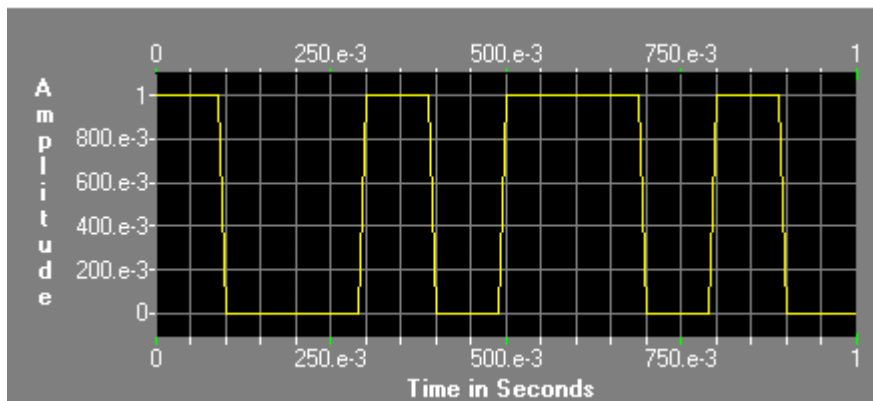
## 4. 运行系统

在 Systemview 系统窗内运行该系统后，转到分析窗观察 Token 3,4,11 三个点的波形。

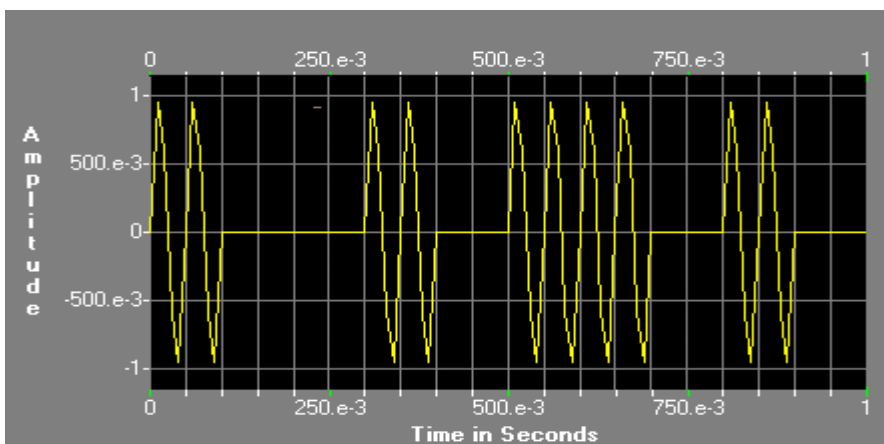
5.信号频谱 :在分析窗绘出该系统调制后的频谱图。

### ASK 结果

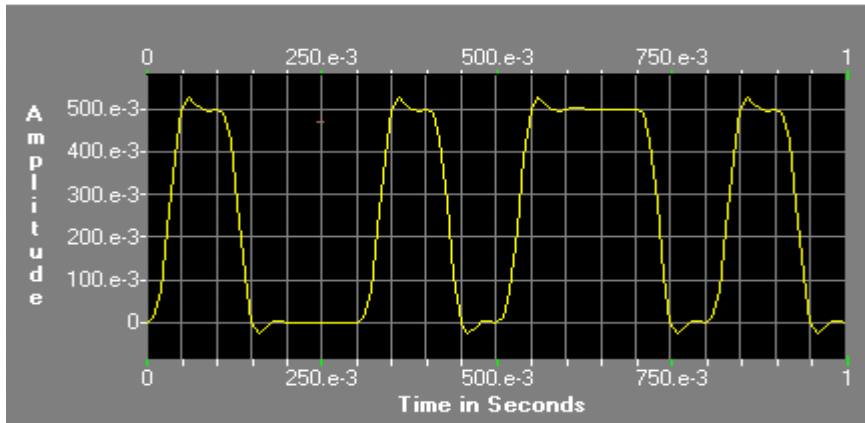
#### 1 源波形



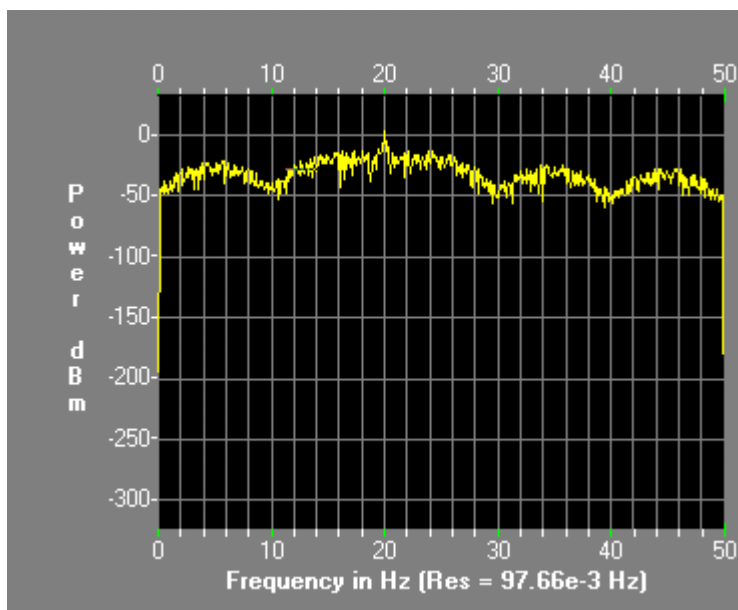
#### 2 调制后的波形



#### 3 解调后的波形



#### 4 调制后的功率谱



由上图可知，二进制幅移键控信号的频谱宽度是二进制基带信号的两倍。二进制振幅键控方式是数字调制中出现最早的，这种方法最出用于电报系统，但由于它在抗噪声的能力上较差，故在数字通信中用得不多，但它是其他数字调制得基础，因此分析它仍然是必要的。

## 实验 十四 频移键控 FSK

### 一概述

FSK 是数字信息传输中使用较早、较广的一种调制方式，它的主要优点是：实现起来比较容易，相对于幅移键控抗噪声与抗衰落性能较好。因此在中低速数据传输和衰落信道中得到广泛应用。

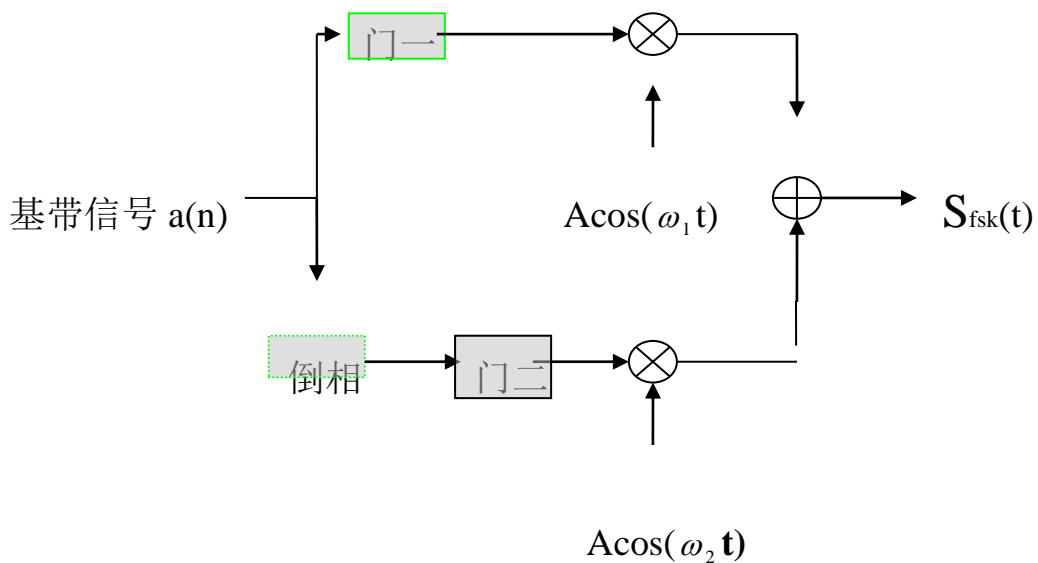
### 二原理及框图

FSK 是用数字基带信号去调制载波的频率。因为数字信号的电平是离散的，所以，载波频率的变化也是离散的。在本实验中，二进制基带信号是用正负电平表示。对于 2FSK，载波频率随着调制信号 1 或 -1 而变，1 对应于载波频率  $F_1$ ，-1 对应于载波频率  $F_2$ 。

调制部分：用数字信号去调制载波的频率。且 2FSK 可以看作是两个不同载频的 ASK 已调信号之和。

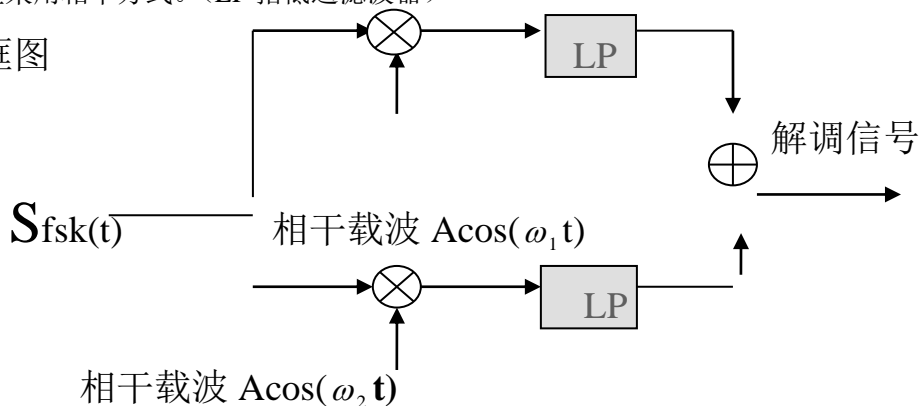
$$S_{FSK}(t) = \begin{cases} A\cos(\omega_1 t) & a(n)=1 \\ A\cos(\omega_2 t) & a(n)=-1 \end{cases}$$

原理框图：



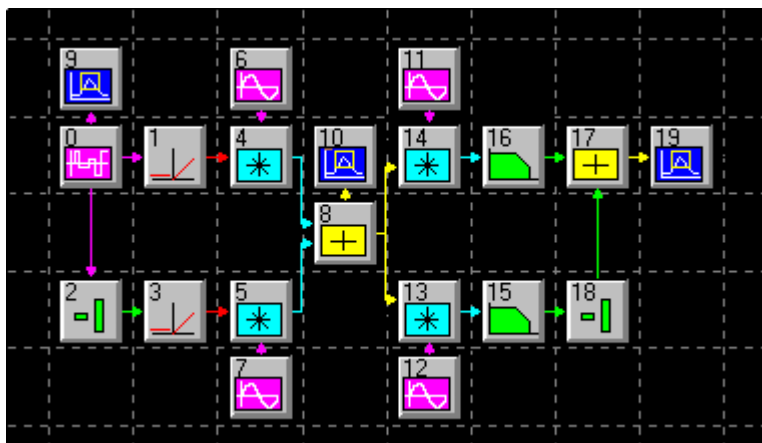
2 解调部分：2FSK 信号可看成是两个载频不同的 ASK 信号，有相干和非相干两种解调方式。这里采用相干方式。（LP 指低通滤波器）

原理框图



### 三 步骤

1 根据 2FSK 调制解调原理，用 Systemview 软件建立仿真电路：



#### 2.元件参数的配置

Token 0 基带信号---PN 序列(频率=50HZ,电平=2Level,0 偏移

Token 1,18 反相器

Token 2,3 半波整流器 (门限=0V)

Token 4,5,13,14 乘法器

Token 8,17 加法器

Token 6,7,11,12 载波---正弦波发生器([6,11]=500HZ;[7,12]=1000HZ)

Token 15,16 模拟低通滤波器

Token 14,15,16 观察点----分析窗

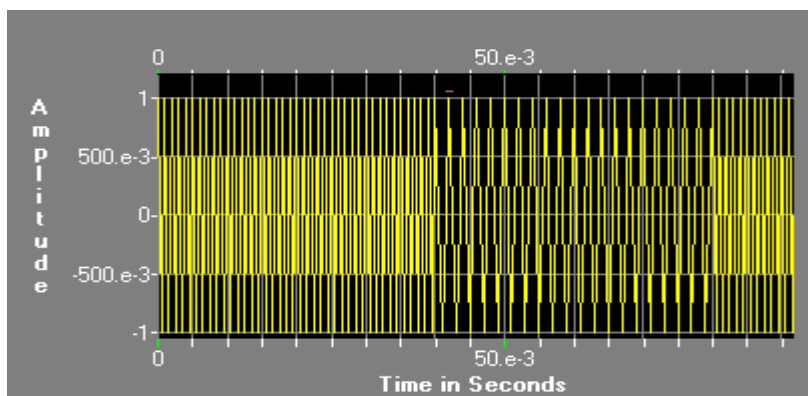
3.运行时间设置 运行时间=0.5 秒； 采样频率=2000 赫兹

4.运行系统 在系统窗内运行系统后，观察分析 Token14, 15, 16 点的波形。

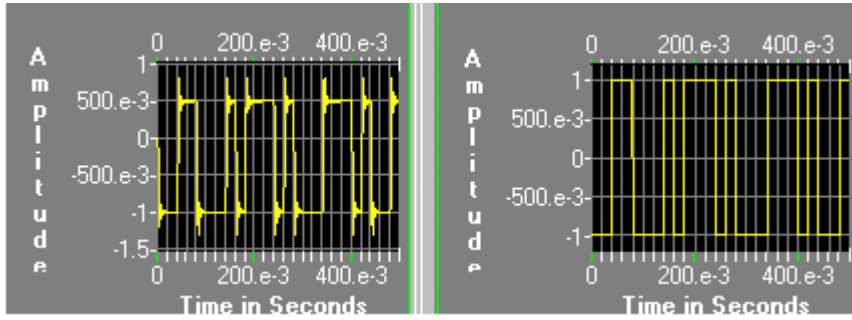
5.功率谱 在分析窗绘出该系统调制后的功率谱。

#### 2FSK 运行结果

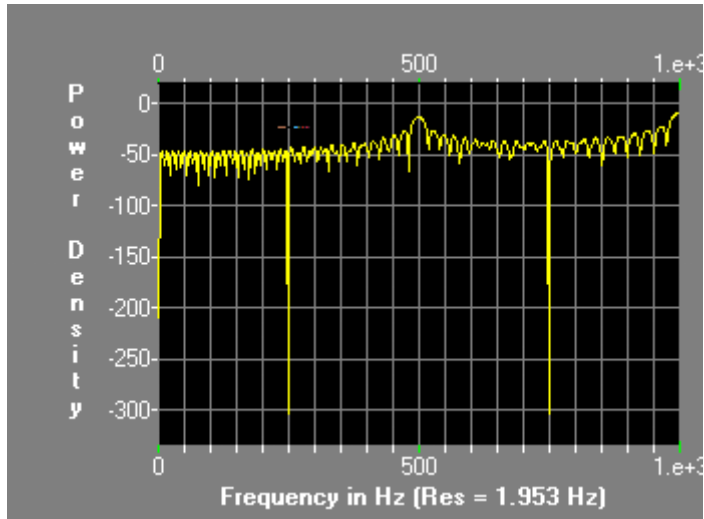
1 调制波形放大后如下：



2 源波形和解调波形



### 3 调制波的频谱图



由频谱图可以看出，幅移键控属于非性调制。2FSK 是数字通信中用得较广泛得一种方式。在话带内进行数据速度较低时采用 FSK 方式,在衰落信道中传输数据时也被广泛采用。

# 实验十五 相移键控 PSK

## 一概述

用数字信号得离散值对载波得幅度、频率、相位进行键控，可获得 ASK、FSK、PSK。这三种调制方式在抗加性噪声能力、信号频谱利用率等方面，PSK 性能最好。目前相干 PSK 已在中、高速数据传输中得到了应用。

## 二实验原理及框图

二进制相移键控（2PSK）就是根据数字基带信号得两个电平，使载波相位在两个不同得数值间切换得一种相位调制方法。通常两个载波相位相差 $\pi$ 弧度，如果被调制得二进制信号是用正负电平表示的，则 2PSK 与双边带抑制载波调幅（DSB）是完全等效的。因此 PSK 可写成如下形式：

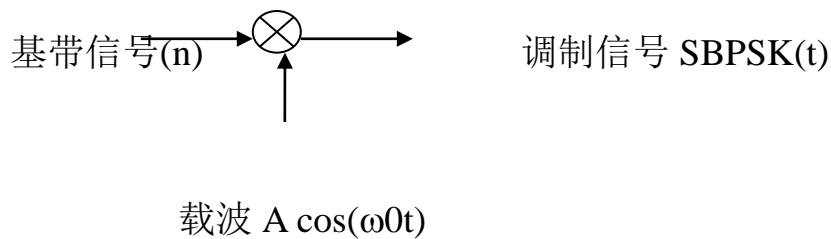
$$SPSK(t) = Aa(n)\cos(\omega_0 t + \theta)$$

1.调制部分：在 2PSK 中，常用相位 0 或 $\pi$ 来分别表示 1 或-1。这里用调相法生成 2PSK 信号：将数字信号与载波直接相乘。这也是 DSB 信号产生的方法。

$$SBPSK(t) = \cos(\omega_0 t + \Phi_i), \quad \Phi_i = 0 \text{ 或 } \pi$$

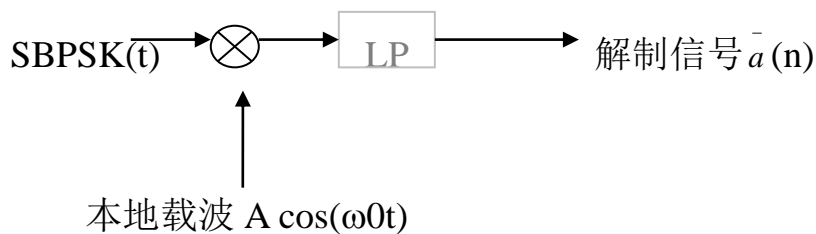
$$SBPSK(t) = \begin{cases} A \cos(\omega_0 t) & a(n) = 1 \\ -A \cos(\omega_0 t) & a(n) = -1 \end{cases}$$

原理框图：



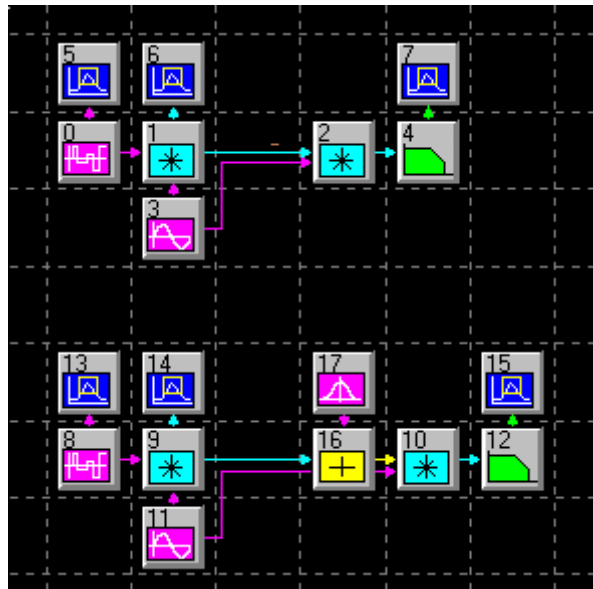
2 解调部分：BPSK 必须采用相干解调。

原理框图：



## 三步骤

1 根据 BPSK 调制与解调原理,用 Systemview 软件建立一个仿真电路:



## 2 元件参数配置

Token 0,8 基带信号—PN 码序列 (频率=50HZ, 电平=2)

Token 1,2,9,10 相乘器

Token 3,11 载波—余弦信号 (频率=1000HZ)

Token 4,12 模拟低通滤波器 (截止频率=225HZ)

Token 16 相加器

Token 17 高斯噪声 (功率密度=0.000001W/HZ)

Token 5,6,7,13,14,15 观察点—分析窗

## 3 运行时间设置

运行时间=1S;

采样频率=20000HZ

#### 4 运行系统

在系统窗内运行该系统后，转到分析窗观察观察点的波形

#### 5 功率谱

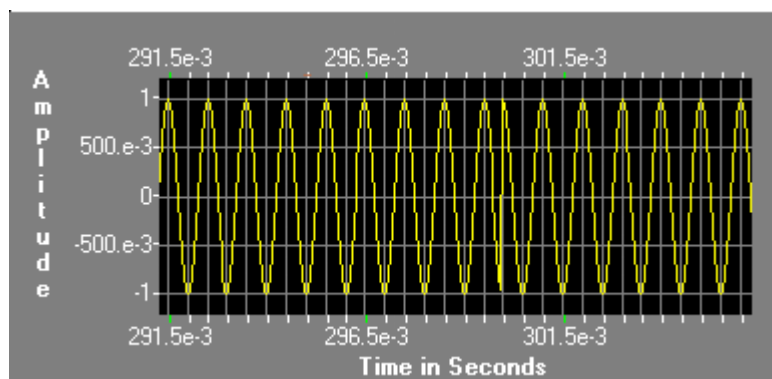
绘出信号调制后的功率谱。

#### 6 眼图：

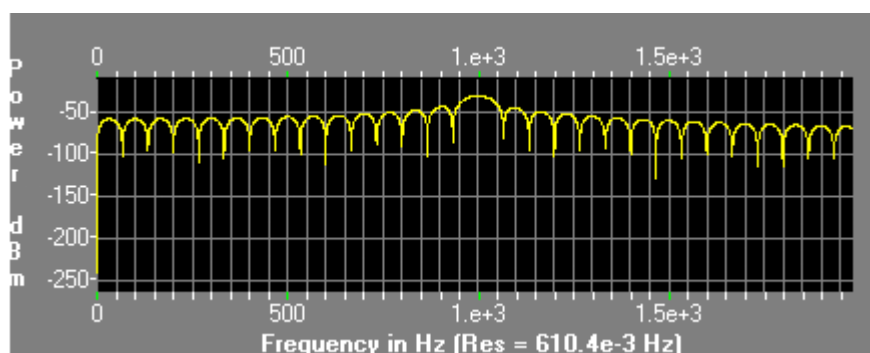
分别绘出理想无噪声和有噪声情况下的眼图。

### 相移键控 PSK 运行结果

#### 1 2PSK 信号波形图（放大后）：



#### 2 调制信号的功率谱



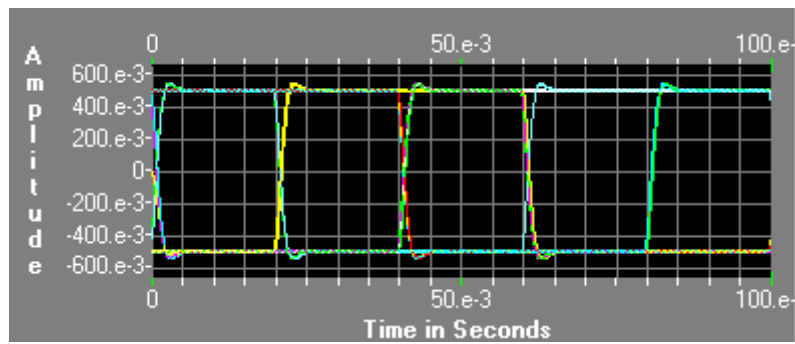
#### 3. 眼图

运行仿真——点击分析窗口左下角“接收计算器”（根号 a）——点击“style”标签——选“slice”组——设置“start”跟“length”  
时间切片的长度一般设置为当前采样频率下采样周期的 2 倍，比如采样周期为 10ms，则时

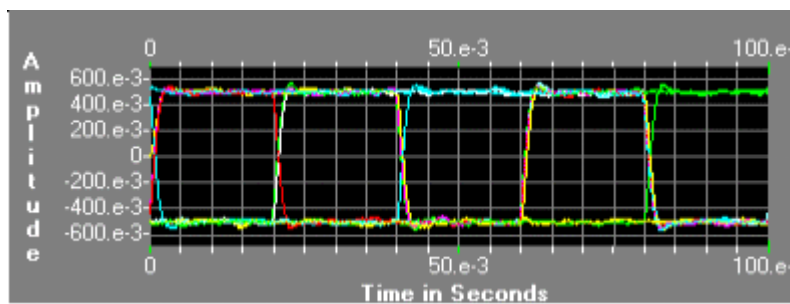
间切片长度设为 20ms (注意单位) 2 个网孔

本题  $f_s=20\text{kHz}$ , 周期= $0.05\text{ms}$  取时间长度  $0.1\text{ms}$

(1) 无噪声



(2) 有噪声 (噪声功率谱密度= $0.000001\text{W}/\text{HZ}$ )



# 实验十六 16QAM

## 一概述

由于通信信道受频带得限制，必须不断提高频带利用率，如  $M (M > 2)$  调制方式得研究。一般说来，多进制都能在相同得频带内以更快得速率来传递信息，但是，随着  $M$  的增加，信号空间图中的各点最小距离减小，相应的判决区也减小，从而信号的可靠性降低了。要保证可靠性，必须提高发射功率。

振幅相位联合键控 (APK) 在  $M$  较大的情况下，不仅可以提高系统的频带利用率，且设备简单。16QAM 是 APK 的一种实现方式，是用两路数字信号分别对两个互相正交的同载波进行同步调制，再将两个已调的双边带信号合成后进行传输。由于采用了幅度调制与解调，不但设备简单，且在频带和功率利用上也最有效。但 16QAM 不属于恒定包络调制方式，因而不使用于具有非线性部件的信道。

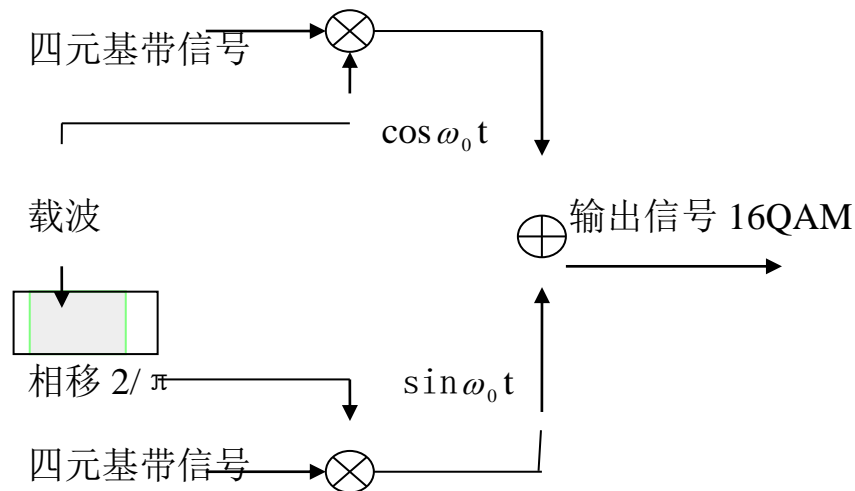
## 二 原理及框图

16QAM 第  $i$  个信号的表达式为： $S_i(t) = A_i \cos(\omega_0 t + \phi_i) \quad i=1,2,\dots$

1 调制部分：16QAM 的产生有两种方法：

- (1) 正交调幅法：它是用两路正交的 4 电平 ASK 信号迭加而成；
- (2) 复合相移法：它是用两路正交的 4 电平 PSK 信号迭加而成；

在这里采用正交调幅法。原理框图如下：



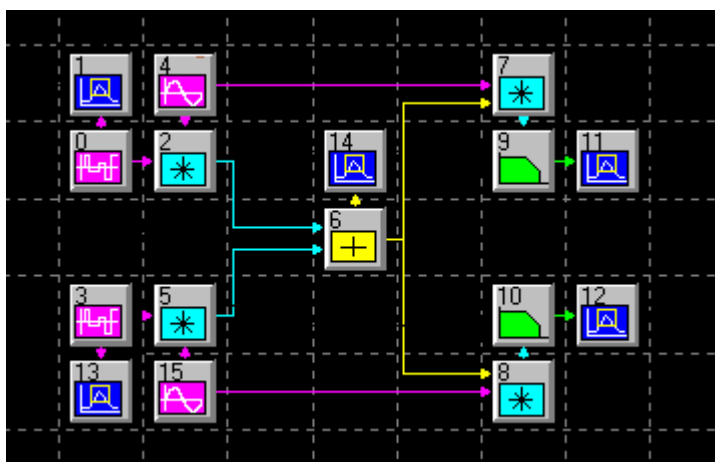
## 2 解调部分

由于是采用正交调幅法，所以它的解调器必是一个正交相干解调器。

## 三 步骤

1 根据 16QAM 调制解调原理,用 Systemview 软件建立一个仿真电

路:



## 2 元件参数配置

Token 0,3 基带信号—PN 码序列（频率=50HZ；电平=4）

Token 2,5,7,8 相乘器

Token 4,15 载波（频率=1000HZ，[4]正弦，[15]余弦）

Token 9,10 模拟低通滤波器（极点数=9，截止频率=275HZ）

Token 6 相加器

Token 1,11,12,13,14 信号观察点—分析窗

3 运行时间设置 运行时间= 1 秒； 采样频率=8000HZ

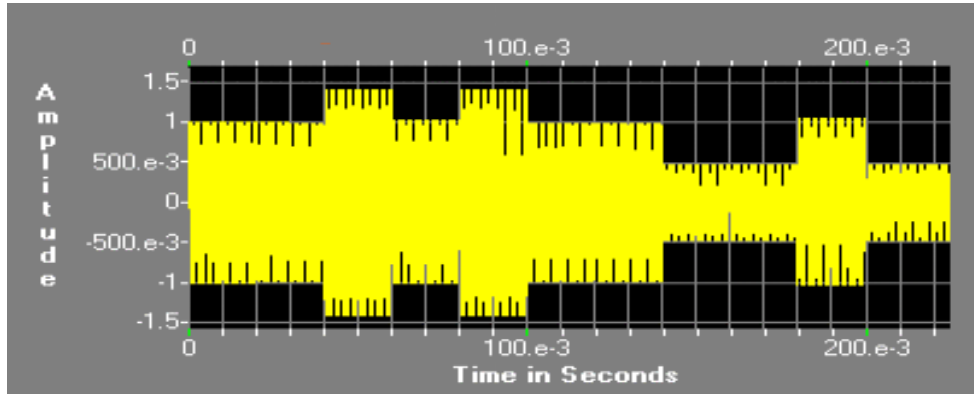
## 4 运行系统

在系统窗运行系统后，转到分析窗观察所设五个点的波形。

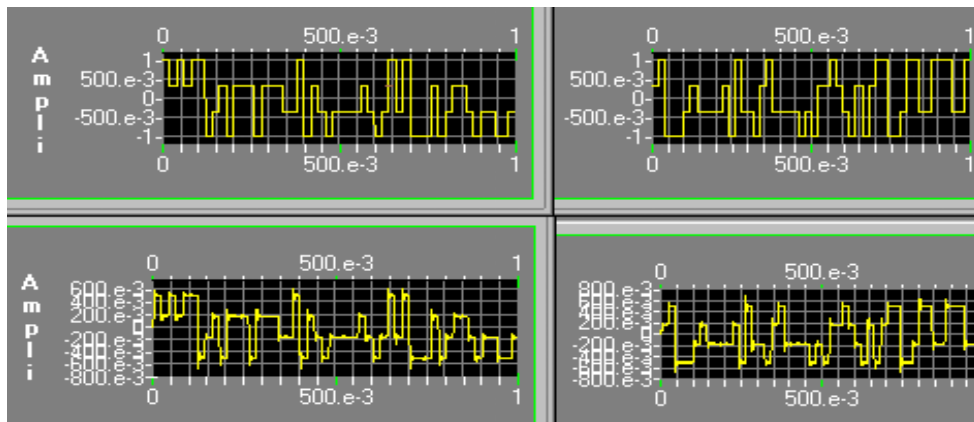
## 5 在分析窗内绘出星座图

## 16QAM 运行结果

1 调制信号波形放大后如图：

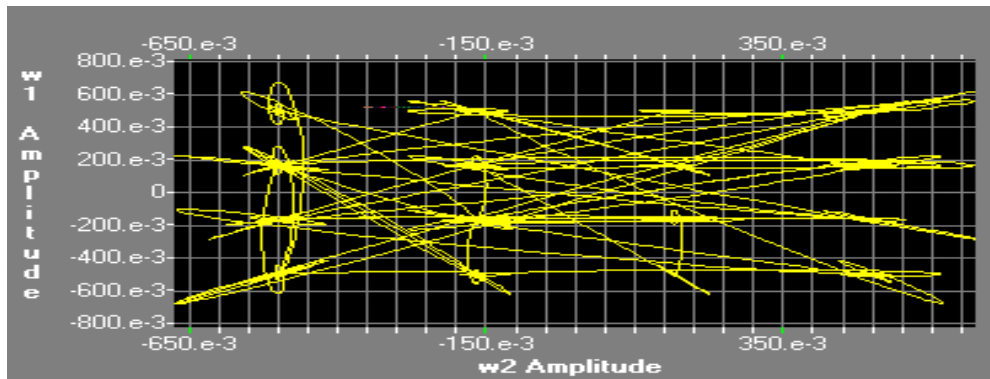


2 原信号和解调后的信号



2 绘出的星座图如下

分别选中 sink11、sink12 为坐标绘制星座图。



由以上可以看出 16QAM 信号采用幅度和相位联合调制，它们分别携带信息，能充分利用信号平面，从而使有效性和可靠性都得到提高。是一种比较理想得调制方式。

利用 *SystemView* 观察信号眼图或相位转换图，仍然是利用信宿计算器的对话框。仍以观察 16QAM 发送信号为例，其信号星座图和相位转换图与同相支路码信号（I 信号）和正交支路码信号（Q 信号）有关。在分析窗下单击信宿计算器按钮，在出现的对话框中，首先单击 **Style** 按钮，在“Select one window from each list:” 栏内选中系统输入的 I 信号（w0:）后，单击 **Scatter Plot** 按钮，再在“Versus” 栏内选中系统输入的 Q 信号（w1:），如图 17 所示，最后单击按钮 **OK** 结束设置操作，出现信号星座图显示活动窗口。

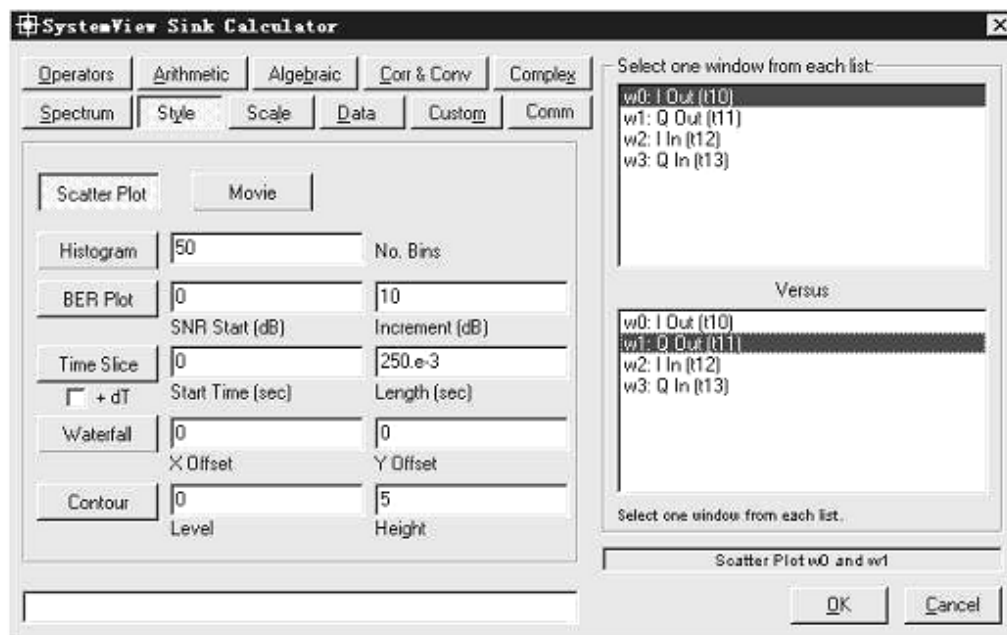


图 17 观察星座图或相位路径的对话框设置

# 实验十七 接收信号中载波的提取

## 一概述

在通信系统中，为使信号适合于在实际信道中传输，引进了各种调制方式，因此，在信号的接收端，必须用一定地方式解调出原来地信号。当采用同步解调或相干解调时，接收端需要提供一个与发射端同频同相地相干载波，这个相干载波地获取就称为载波提取。在这里，同频同相是非常重要的，它关系到是否能正确地恢复原来地信号，所以我们采用锁相环来保证所提取的载波和发射的载波同频同相。

## 二原理及框图

一般以调信号不包含载波分量，但对信号进行某种非线性变换后，就可以直接从其中提取出载波分量来。

由锁相环的跟踪特性可知：当已调信号的调频率处于锁相环的闭环低通特性的通带之外时，输出信号的相位已不能跟踪输入信号相位的变化。此时，压控振荡器就没有相位调制，是一个未调载波

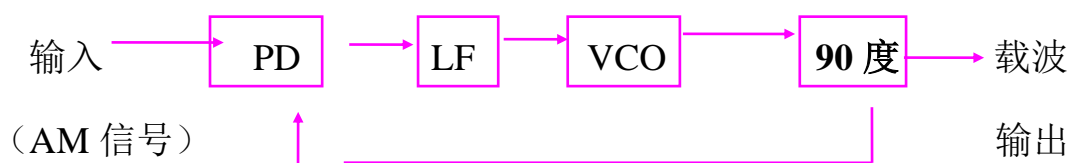
$$u_0(t) = u_0 \cos \omega_0 t$$

当输入信号  $u_i(t)$  的载频产生缓慢漂移时，由于环路要维持锁定，压控振荡器输出的未调载波的频率也会跟随着漂移。这种环路输出相位没有跟踪输入的相位的调制，而是跟踪了输入信号载频的漂移，这也是一种跟踪状态，称为载波跟踪。

由于  $\theta_2(t)$ （输出信号的相位）未跟踪输入信号的相位  $\theta_1(t)$ ，由

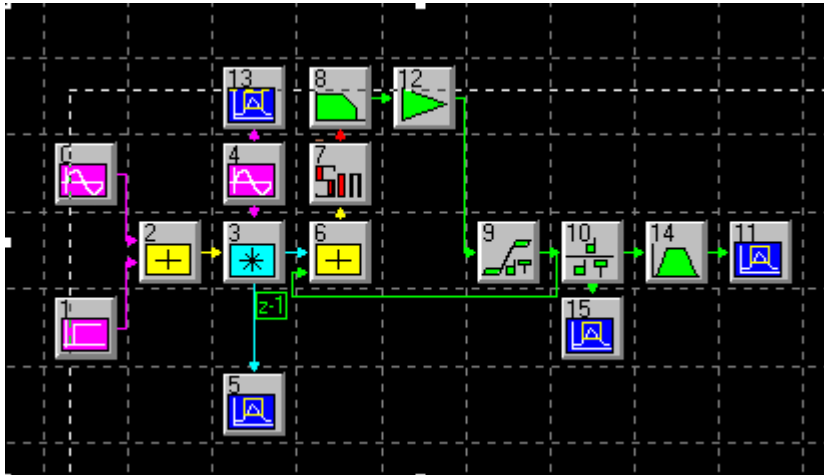
$$\theta_e(t) = \theta_1(t) - \theta_2(t)$$

的关系，显然此环路的相位误差一定比较大，恰恰就是  $\theta_e(t)$  跟踪了  $\theta_1(t)$  的相位调制。这就是误差频率响应的高通特性。载波跟踪环的压控振荡器输出电压与输入信号的载波载相位上相差 90 度，经 90 度相移后可得到输入信号的相干载波。原理框图如下：



## 三 步骤

1. 根据载波的提取原理框图，用 *Systemview* 软件建立一个仿真电路，如下图所示：



## 2. 元件参数配置

Token 0 , 4 正弦载波 ([0] 频率为2HZ; [4] 频率为10HZ)

Token 1 阶越信号 (幅度为2, 偏置伪)

Token 2, 6 相加

Token 5, 11, 15, 13 信号观察点——分析窗

Token 3 相乘器

Token 7 正弦函数

Token 8 低通滤波器 (截止频率为99HZ, 极点数为2)

Token 9 积分器 (起始值为0)

Token 10 微分器

Token 12 增益 (1.7)

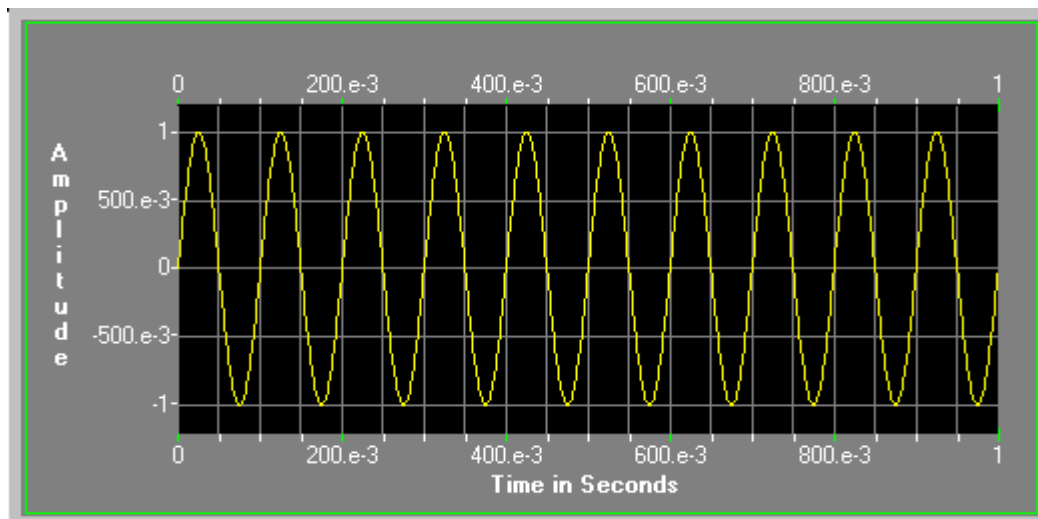
Token 14 带通滤波器 (频率9.8—10.2, 极点数为)

3. 运行时间设置 运行时间= 1S; 采样频率=1000HZ

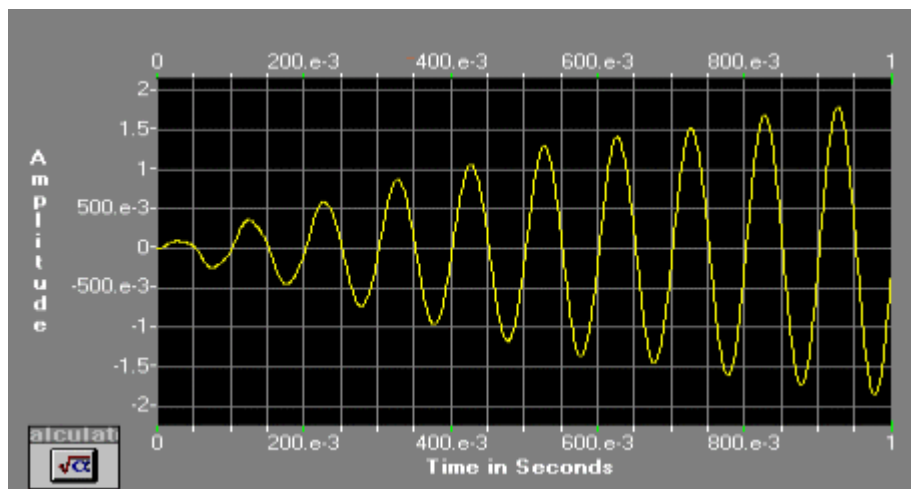
4. 运行系统 在 *Systemview* 系统窗内运行该系统后, 转到分析窗观察 各个点的波形。

## 接收信号的载波提取运行结果

### 1 发送端的载波波形



### 2 所提取的载波波形



由上两幅图可以看出，所提取的载波和原来发送的载波是同频同相的，这就是锁相环跟踪输入信号频率的结果。实验过程中应不断地调整各个参数，以达到最佳的接收效果。

## 实验十八 标准调幅

### 一. 概述

在连续波的模拟调制中，最简单的形式是使单频余弦载波的幅度在平均值处随调制信号线性变化，或者输出已调信号的幅度与输入调制信号  $f(t)$  呈线性对应关系，这种调制称为标准调幅或一般调幅，记为 AM。本实验采用这种方式。

### 二. 实验原理及其框图

1. 调制部分：标准调幅的调制器可用一个乘法器来实现。

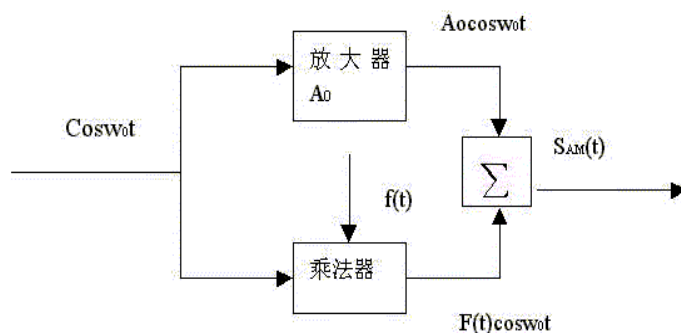
$$\text{AM 信号时域表达式: } S_{\text{AM}}(t) = [A_0 + f(t)] \cos \omega_0 t$$

$A_0$ : 载波幅度     $\omega_0$ : 载波频率     $f(t)$ : 被调信息信号

频域表示式

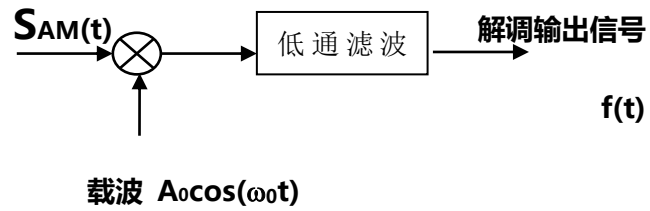
$$S_{\text{AM}}(\omega) = \pi A_0 [\delta(\omega + \omega_0) + \delta(\omega - \omega_0)] + [F(\omega + \omega_0) + F(\omega - \omega_0)]/2$$

原理框图



2. 解调部分：解调有相干和非相干两种。非相干系统设备简单，但在信噪比较小时，相干系统的性能优于非相干系统。这里采用相干解调。

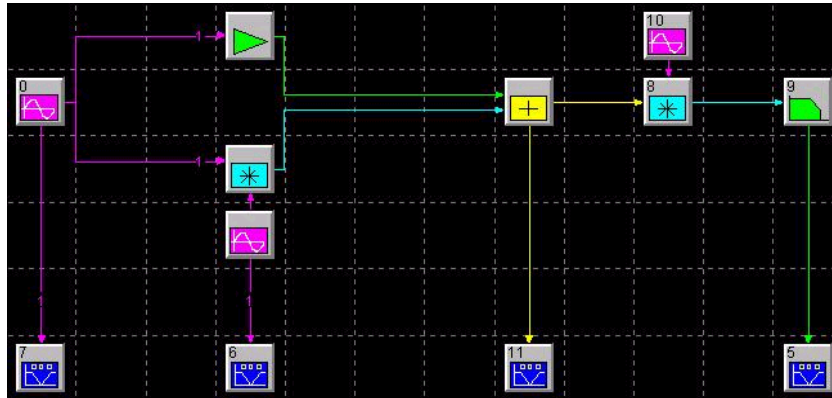
### 原理框图



### 三. 实验步骤

1. 根据 AM 调制与解调原理, 用 Systemview 软件建立一个仿

真电路, 如下图所示:



(图一 仿真电路)

#### 2. 元件参数配置

Token 0: 被调信息信号—正弦波发生器 (频率=50 Hz)

Token 1,8: 乘法器

Token 2: 增益放大器 (增益满足不发生调制的条件)

Token 4: 加法器

Token 3,10: 载波—正弦波发生器 (频率=1000 Hz)

Token 9: 模拟低通滤波器 (截止频率=75 Hz)

---

Token 5,6,7,11: 观察点—分析窗

### 3. 运行时间设置

运行时间=0.5 秒

采样频率=20,000 赫兹

### 4. 运行系统

在 Systemview 系统窗内运行该系统后, 转到分析窗观察

Token 5,6,7,11 四个点的波形。

### 5. 功率谱

在分析窗绘出该系统调制后的功率谱。

## 四. 实验报告

1、

察实验波形 : Token 7 - 被调信息信号波形; Token 6 - 载波波形; Token 11 - 已调波形; Token 5 - 解调波形。

2、

理波形, 存入实验文档 AM - 01, 并与参考文档 AM - 02 相比较。

3、

变增益放大器的增益, 观察过调制现象, 说明为什么不能发生过调制。

4、

察 AM 的功率谱, 分析说明实验结果与理论值之间的差别。

5、

---

变参数配置, 将所得不同结果存档后, 与实验结果进行比较,  
说明参数改变对结果的影响。

## 实验十九 双边带调制(DSB)

### 一、概述

在标准调幅时,由于已调波中含有不携带信息的载波分量,故调制效率较低。为了提高调制效率,在标准调幅的基础上抑制掉载波分量,使总功率全部包含在双边带中。这种调制方式称为抑制载波双边带调幅,简称双边带调制(DSB)

### 二、实验原理

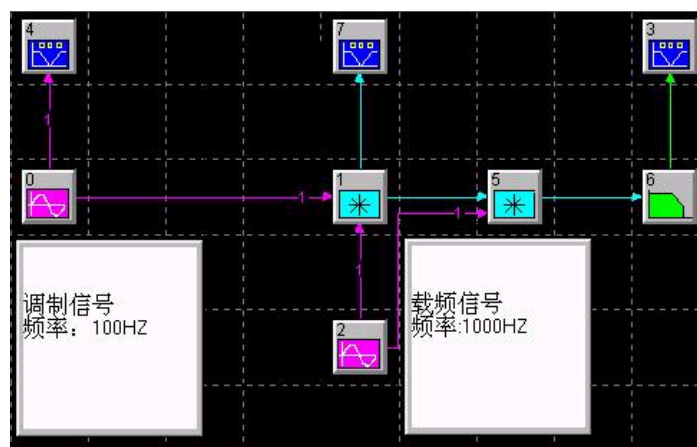
实现双边带调制就是完成调制信号与载波信号的相乘运算。原则上,可以选用任何非线性器件或时变参量电路来实现乘法器的功能,如平衡调制器或环形调制器。通常采用的平衡调制器的电路简单、平衡性好,并可将载波分量抑制到-30~-40dB。双边带调制节省了载波功率,提高了调制效率,但已调信号的带宽仍与调制信号一样,是基带信号带宽的两倍。由于双边带信号的频谱是基带信号频谱的线性搬移,所以属于线性调制。

双边带调制信号的时间表示式:  $S_{DSB}(t) = f(t)\cos\omega_0t$

双边带调制信号的频域表示式:  $S_{DSB}(\omega) = [F(\omega + \omega_0) + F(\omega - \omega_0)]/2$

### 三、实验步骤

1. 用 Systemview 软件建立的一个 DSB 系统仿真电路如下图示。



---

## 2. 元件参数的配置

Token 0: 被调信息信号—正弦波发生器 (频率=50 Hz)

Token 1,5: 乘法器

Token 2: 载波—正弦波发生器 (频率=1000 Hz)

Token 6: 模拟低通滤波器 (截止频率=75 Hz)

Token 4,7,3: 观察点—分析窗

## 3. 运行时间设置

运行时间=0.5 秒

采样频率=20,000 赫兹

## 4. 运行系统

在 Systemview 系统窗内运行该系统后, 转到分析窗观察

Token 4,7,3 三个点的波形。

## 5. 功率谱

在分析窗绘出该系统调制后的功率谱。

## 四. 实验报告

1、

察实验波形 : Token 4 - 被调信息信号波形; Token 7 - 已

调波形; Token 3 - 解调波形。

2、

理波形, 存入实验文档 DSB - 01, 并与参考文档 DSB - 02

相比较。

3、

察 DSB 的功率谱,并与 AM 信号相比较, 说明其优劣。

---

4、

变参数配置，将所得不同结果存档后，与实验结果进行比较，

说明参数改变对结果的影响。

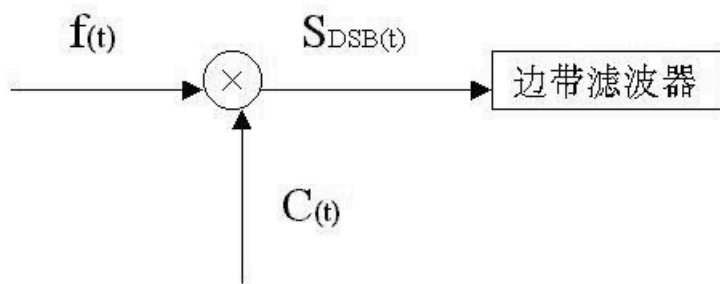
## 实验二十 单边带调制(SSB)

### 一. 概述

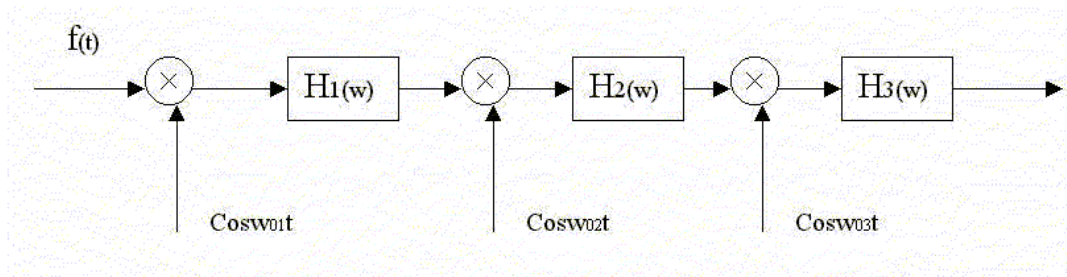
双边带信号虽然抑制了载波,提高了调制效率,但调制后的频带宽度仍是基带信号带宽的 2 倍,而且上、下边带是完全对称的,它们所携带的信息完全相同。因此,从信息传输的角度来看,只用一个边带传输就可以了。我们把这种只传输一个边带的调制方式称为单边带抑制载波调制,简称为单边带调制(SSB)。采用单边带调制,除了节省载波功率,还可以节省一半传输频带。

### 二. 实验原理

由于单边带调制中只传送双边带信号的一个边带(上边带或下边带),因此产生单边带信号的最简单方法,就是先产生双边带信号然后让它通过一个边带滤波器,这种产生单边带信号的方法称为滤波法。如下图示:

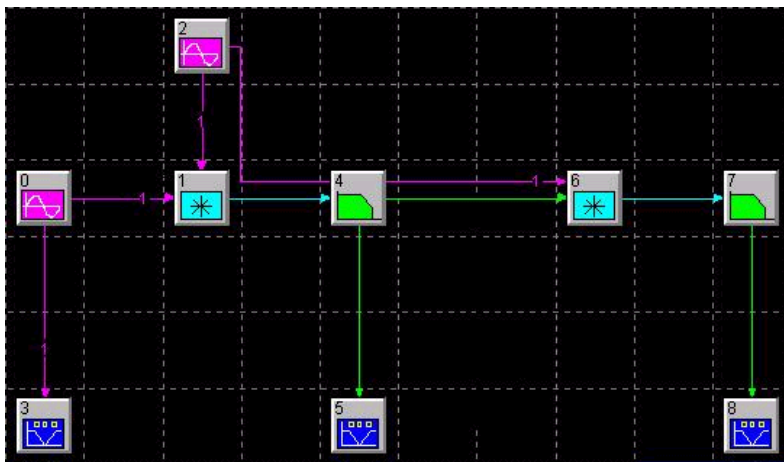


滤波法要求滤波器在 $\omega_0$ 处有理想的锐截止特性。为降低制作难度,也可采用多级频率搬移的方法实现:先在低频处产生单边带信号,然后通过变频将频谱搬移到更高的载频处。下图示出了三级滤波产生单边带信号的原理:



产生 SSB 信号的方法还有:相移形成法,混合形成法。

### 三. 实验电路图



### 四.

#### 实验报告

1. 观察实验波形：Token 3 - 被调信息信号波形；Token 5 - 已调波形；Token 8 - 解调输出波形。
2. 整理波形，存入实验文档 SSB - 01，并与参考文档 SSB - 02 相比较。
3. 观察 SSB 的功率谱,并与 AM、DSB 信号相比较，说明其优劣。
4. 改变参数配置，将所得不同结果存档后，与实验结果进行比较，说明参数改变对结果的影响。



---

## 实验二十一 窄带角度调制(NBFM、NBPM)

### 一. 概述

当载波幅度保持不变,其频率或相位随调制信号线形变化的调制称为频率调制或相位调制。由于载波频率或相位的变化都将引起角度的变化,因此频率调制和相位调制统称为角度调制。

根据角度被改变的大小,可将角度调制分为宽带调制(宽带调频和宽带调相)和窄带调制(窄带调频和窄带调相)。如果调频信号或调相信号的最大瞬时相位偏移保持在很小的范围内,即满足条件  $|K_{PM}f(t)dt|_{\max} \ll \pi/6$  或  $|K_{FM} \int f(t)dt|_{\max} \ll \pi/6$ , 则称为窄带调频或窄带调相。当上述条件不满足时,就称为宽带调频或宽带调相。

频率调制就是载波信号的瞬时频率偏移随调制信号  $f(t)$ 线性变化的调制,即  $\omega(t) = \omega_0 + K_{FM}f(t)$ , 式中  $K_{FM}$  称为调频器的灵敏度,单位为弧度/秒/伏。调

频波的瞬时相位为:  $\theta(t) = \omega_0 t + k_{FM} \int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau$  式中  $K_{FM}f(t)$  称为瞬时频率偏移, 简称频偏,其最大频偏为:  $\Delta_{WFM} = k_{FM} |f(t)|_{\max}$ 。

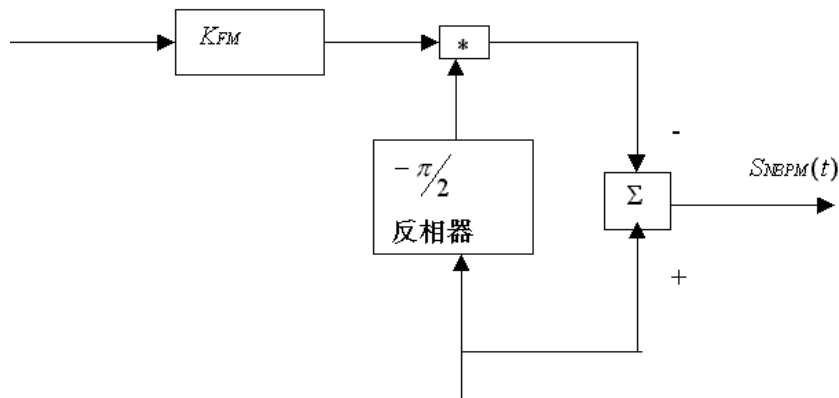
相位调制就是载波信号的瞬时相位偏移随调制信号  $f(t)$ 线性变化的调制,即  $\theta(t) = \omega_0 t + K_{PM}f(t)$ , 式中  $K_{PM}$  称为调相器灵敏度,单位为弧度/伏。调相波的瞬时频率为  $W(t) = W_0 + K_{PM} df(t)/dt$ , 式中  $K_{PM} df(t)/dt$  称为瞬时频率偏移,其最大频偏为  $K_{PM} |df(t)/dt|_{\max}$ 。

### 二. 实验原理

从角度调制的相位与频率关系可以看出,调频信号可通过直接调频和间接

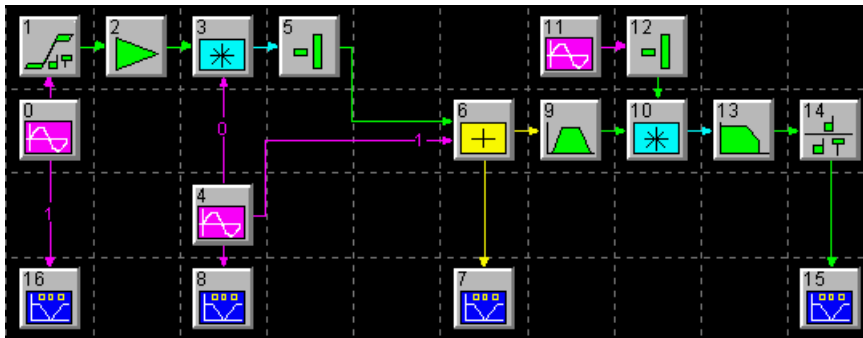
调频两种方法得到,所谓间接调频就是先对调制信号积分再调相而得到。同样,调相信号也可以通过直接调相和间接调相两种方法得到,间接调相就是先对调制信号进行微分再进行频率调制。单音调频信号的表示式为:  
 $S_{FM}(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + \beta_{FM} \sin \omega_f t]$  其中  $K_{FM}A_f/\omega_f$  称为调频指数,也是调频波的最大相偏。

窄带调相产生的原理框图为

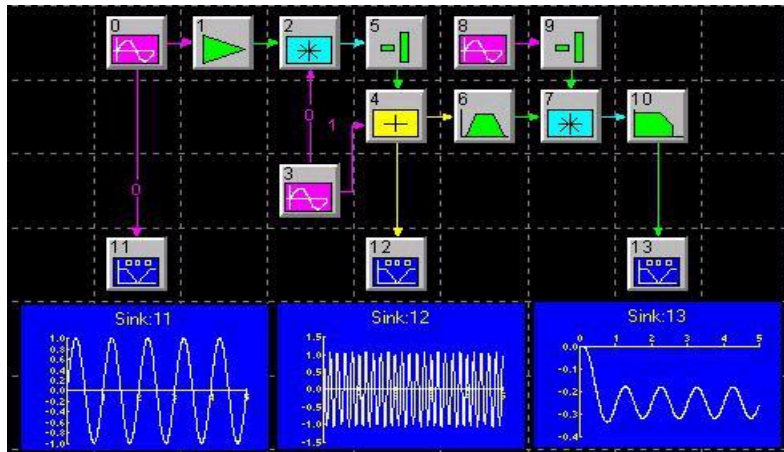


### 三. 实验电路图

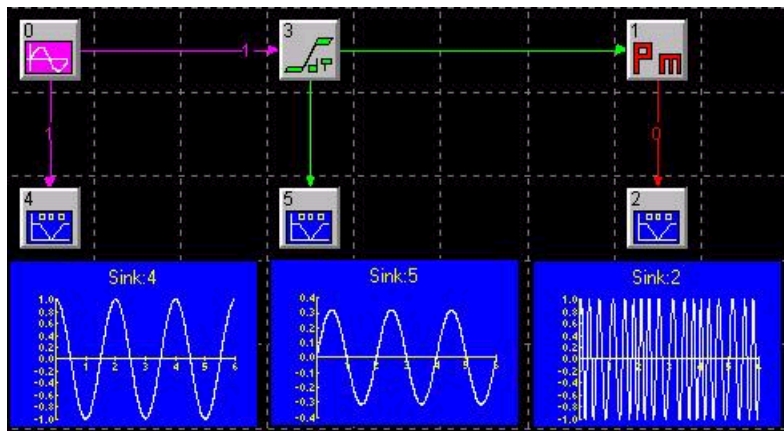
窄带调频的调制和解调



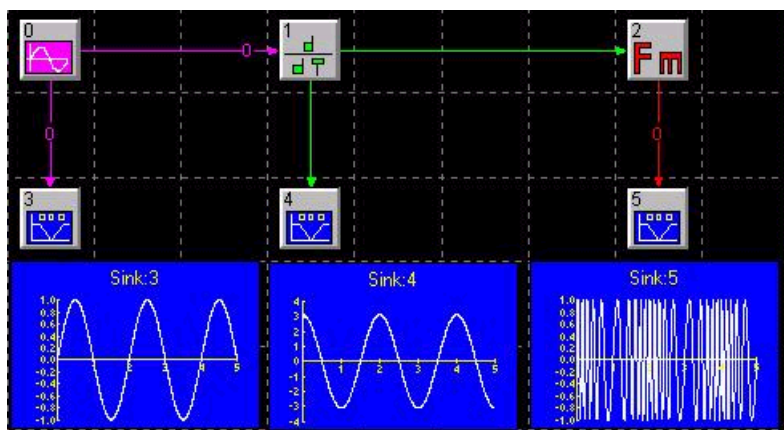
窄带调相信号的调制与解调



由 PM 信号得到 FM 信号



由 FM 信号得到 PM 信号



#### 四.

#### 验报告

- 
1. 观察实验波形：调制信号波形；已调波形；解调输出波形。
  2. 整理波形，存入实验文档 NBFM - 01 与 NBPM - 01，并与参考文档 NBFM - 02 与 NBPM - 02 相比较。
  3. 观察 NBFM 与 NBPM 信号的功率谱，说明为什么角度调制是非线性调制。
  4. 改变参数配置，将所得不同结果存档后，对实验结果进行比较，说明参数改变对结果的影响。