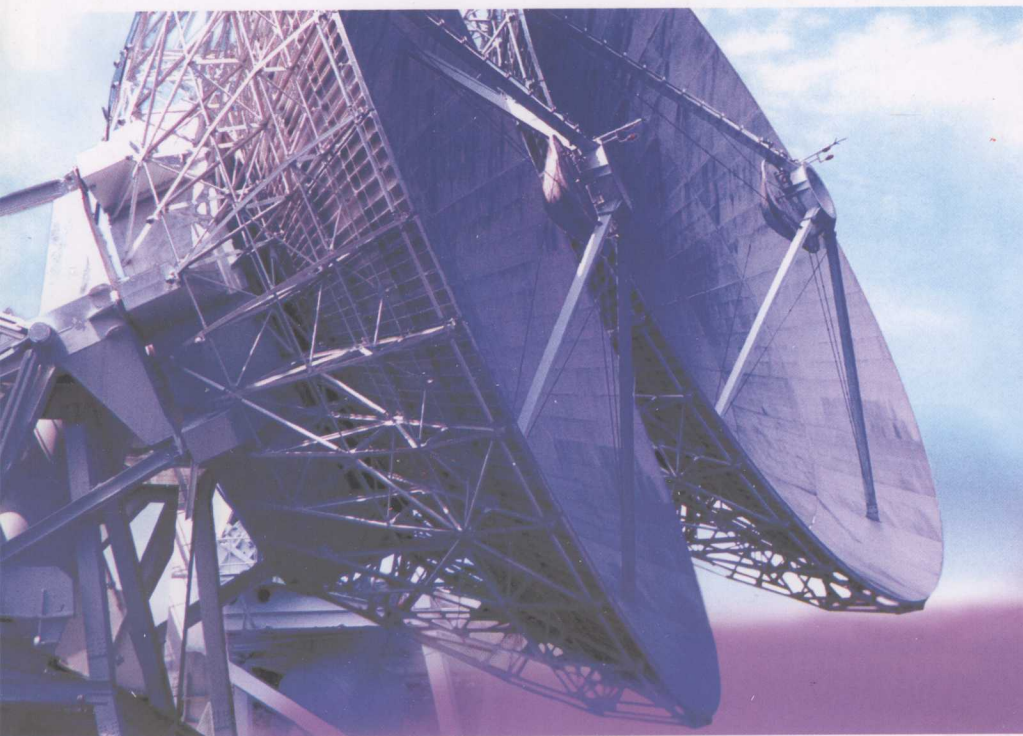




TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材



通信原理实验

主 编 卢晓轩 蔡丽萍



中国石化大学出版社



TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

通信原理实验

卢晓轩 蔡丽萍 主编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

通信原理实验/卢晓轩,蔡丽萍主编. —东营:
中国石油大学出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-5636-3343-2

I. ①通… II. ①卢…②蔡… III. ①通信原理—实
验 IV. ①TN911-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 269933 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 通信原理实验
作 者: 卢晓轩 蔡丽萍

责任编辑: 高 颖(电话 0532—86981531)

封面设计: 友一广告传媒有限公司

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 青岛锦华信包装有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)

开 本: 180 mm×235 mm 印张: 16 字数: 320 千字

版 次: 2011 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

通信原理是电子信息类专业的重要专业课。通过对此课程的学习,使学生掌握信号传输的基本理论和思维方法,掌握分析通信系统性能的基础知识,掌握经典的模拟通信系统和数字通信系统的组成、工作原理和性能分析方法,为学生分析和设计通信系统奠定必备基础。理论教学与实验教学是现代高等教育的两个重要组成部分。对于通信原理课程,通信原理实验是整个教学过程中一个非常重要的环节。

本书参考通信原理课程的教学大纲,以通信原理实验箱、SystemView 和 Matlab 仿真工具为平台,通过演示学习、硬件验证、系统设计的形式,涵盖了通信原理课程的主要知识点。全书分成四个部分,其中:第一部分采用 SystemView 仿真工具设计了大量演示实验,通过在课堂上仿真,直观地说明通信理论知识,使学生更好地理解本课程的相关内容;第二部分是硬件验证实验内容,通过硬件实现来加深学生对理论知识的理解,同时提高学生的实践动手能力;第三部分是仿真实验内容,要求通过 Matlab 来实现;第四部分是综合实验内容,采用 Simulink 仿真,使学生更好地理解和深刻地把握这些知识,并在此基础上训练和培养学生分析问题、解决问题的能力及实践动手能力,培养学生通过仿真研究通信理论的基本能力。教学中可以根据实际需要和学生的知识背景安排各部分实验。为了便于实验操作,在书后还附加了 SystemView 和 Simulink 的操作说明。

本书层次清晰、内容完整,硬件实验与仿真实验相结合,Matlab 编程和基于图形交互界面的模块化建模方法相结合,既有理论仿真,又有动手实践,既有原理的验证,又有探索创新能力的培养。

本书可作为高等院校电子信息类专业通信原理、通信系统课程的实验和课程设计等实践性教学用书,也可供高等院校师生及相关技术人员

参考。

参与本书编写工作的主要人员有卢晓轩、蔡丽萍、洪利、丁淑妍、王海燕、宋翠霞。在本书的编写过程中,中国石油大学(华东)通信原理课程组的老师们也给予了很大的帮助和支持,并提出了许多宝贵建议,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2011年5月

Contents



目 录

第 1 章 SystemView 演示实验	1
1.1 SystemView 基本知识	1
1.2 窄带随机过程实验	6
1.3 多径传播实验	9
1.4 抑制载波的双边带调幅(DSB-SC)实验	12
1.5 标准调幅(AM)实验	17
1.6 上边带调制(USB)实验	20
1.7 下边带调制(LSB)实验	24
1.8 频分多路复用(FDM)实验	27
1.9 多级调制实验	35
1.10 不归零码实验	41
1.11 单极性归零码实验	43
1.12 双极性归零码实验	45
1.13 眼图实验	47
1.14 二进制数字振幅键控(2ASK)实验	54
1.15 二进制数字移频键控(2FSK)实验	61
1.16 二进制数字移相键控(2PSK)实验	68
1.17 二进制数字差分移相键控(2DPSK)实验	73
1.18 四进制数字振幅键控(4ASK)实验	78
1.19 四进制数字移频键控(4FSK)实验	81
1.20 四进制数字移相键控(4PSK)实验	86
1.21 16QAM 实验	89
1.22 PCM 编码实验	93
1.23 矩形脉冲的匹配滤波器实验	97

第 2 章 硬件验证实验	101
2.1 HDB3 码型变换实验	101
2.2 移频键控(FSK)实验	109
2.3 移相键控(PSK)实验	119
2.4 抽样定理和脉冲调幅(PAM)实验	134
第 3 章 Matlab 仿真实验	152
3.1 Matlab 基本知识	152
3.2 高斯分布随机变量的产生	166
3.3 窄带高斯过程	167
3.4 多径传播	167
3.5 模拟信号的幅度调制	168
3.6 模拟信号的频率调制	170
3.7 数字基带接收	171
3.8 部分响应系统	172
3.9 QAM 系统蒙特卡罗仿真	174
3.10 PCM 编译码实验	179
3.11 四相绝对移相键控(QPSK)	181
3.12 16QAM 调制实验	183
3.13 最小频移键控(MSK)	185
3.14 OFDM 基本原理仿真	186
3.15 参考代码	190
第 4 章 Simulink 综合实验	202
4.1 Simulink 基本知识	202
4.2 数字基带传输系统	215
4.3 数字频带传输系统	217
4.4 参考模型	222
附录 A SystemView 系统使用说明	230
附录 B Simulink 模块库及比较常用的模块	241
参考文献	248

第 1 章 SystemView 演示实验

Chapter 1

1.1 SystemView 基本知识

随着现代通信系统的飞速发展,计算机仿真已成为今天分析和设计通信系统的主要工具,在通信系统的研发和教学中具有越来越重要的意义。仿真是衡量系统性能的工具,它通过仿真模型的仿真结果来判断原系统的性能,从而为新系统的建立或原系统的改造提供可靠的参考。

1.1.1 SystemView 简介

SystemView 是一个信号级的系统仿真软件,主要用于电路与通信系统的设计、仿真,是一个强有力的动态系统分析工具,能满足从数字信号处理、滤波器设计直到复杂的通信系统等不同层次的设计、仿真要求。

该软件自 1995 年投放市场至今,功能不断扩展,已经发展到 5.0 版本。第 1 章的实验是基于 4.5 版本开发的,在 5.0 版本下也能正常运行。

SystemView 以模块化和交互式的界面,在大家熟悉的 Windows 窗口环境下,为用户提供了一个嵌入式的分析引擎。使用 SystemView,你只需要关心项目的设计思想和过程,而不必花费大量的时间去编程建立系统仿真模型;用户只需使用鼠标点击图标即可完成复杂系统的建模、设计和测试,而不必学习复杂的计算机程序编制,也不必担心程序中是否存在编程错误。

SystemView 是基于 Windows 环境的应用软件,它对硬件的性能要求适中,在 CPU 为 486/66,16 MB 以上内存的普通 PC 上就能运行。

1.1.2 SystemView 主要特点

SystemView 的设计者希望它成为一种强有力的基于个人计算机的动态的通信系统仿真工具,以实现在不具备先进仪器的条件下同样也能完成复杂的通信系统设计与仿真。

1) 能仿真大量的应用系统

能在 DSP、通讯和控制系统应用中构造复杂的模拟、数字、混合和多速率系统。具有大量可选择的库,允许用户有选择地增加通讯、逻辑、DSP 和射频/模拟功能模

块。特别适合无线电话(GSM,CDMA,FDMA,TDMA,DSSS)、无绳电话、寻呼机和调制解调器以及卫星通信系统(GPS,DVBS,LEOS)等的设计;能够仿真(C3x,C4x等)DSP结构;可进行各种系统时域/频域分析和谱分析;可对射频/模拟电路(混合器、放大器、RLC电路和运放电路)进行理论分析和失真分析。

2) 快速方便的动态系统设计与仿真

使用熟悉的 Windows 界面和功能键(单击、双击鼠标的左右键),SystemView 可以快速建立和修改系统,并在对话框内快速访问和调整参数,实时修改、实时显示。只需简单地用鼠标点击图符即可创建连续线性系统、DSP 滤波器,并输入/输出基于真实系统模型的仿真数据。不用写一行代码即可建立用户习惯的子系统库(Meta-System)。SystemView 图标库包括几百种信号源、接收端、操作符和功能块,提供从 DSP、通信、信号处理、自动控制直到构造通用数学模型等的应用。信号源和接收端图标允许在 SystemView 内部生成和分析信号,并提供可外部处理的各种文件格式和输入/输出数据接口。

3) 在报告中方便地加入 SystemView 的结论

SystemView 通过 Notes(注解)很容易在屏幕上描述系统;生成的 SystemView 系统和输出的波形图可以很方便地使用复制(copy)和粘贴(paste)命令插入微软 Word 等文字处理器。

4) 提供基于组织结构图方式的设计

通过利用 SystemView 中的图符和 MetaSystem(子系统)对象的无限制分层结构功能,SystemView 能很容易地建立复杂的系统。首先可以定义一些简单的功能组,再通过对这些简单功能组的连接进而实现一个大系统。这样,单一的图符就可以代表一个复杂系统。MetaSystem 的连接使用也与系统提供的其他图符同样简单,只要单击一下鼠标,就会出现一个特定的窗口显示出复杂的 MetaSystem。但是在学习版中没有 MetaSystem 图符功能,必须升级到专业版才有此功能。

5) 多速率系统和并行系统

SystemView 允许合并多种数据采样率输入的系统,以简化 FIR 滤波器的执行。这种特性尤其适合于同时具有低频和低频部分的通信系统的设计与仿真,有利于提高整个系统的仿真速度,而且在局部不会降低仿真的精度,同时还可降低对计算机硬件配置的要求。

6) 完备的滤波器和线性系统设计

SystemView 包含一个功能强大、很方便设计模拟和数字以及离散和连续时间系统的图形模板环境,还包含大量的 FIR/IIR 滤波类型和 FFT 类型,并提供易于用 DSP 实现滤波器或线性系统的参数。

7) 先进的信号分析和数据块处理

SystemView 提供的分析窗口是一个能够提供系统波形详细检查的交互式可视

环境。分析窗口还提供一个能对仿真生成数据进行先进的块处理操作的接收计算器。接收计算器块处理功能十分强大,内容也相当广泛,完全满足通常所需的分析要求。这些功能包括:应用 DSP 窗口、余切、自动关联、平均值、复杂的 FFT、常量窗口、卷积、余弦、交叉关联、习惯显示、十进制、微分、除窗口、眼图模式、功能比例尺、柱状图、积分、对数基底、求模、相位、最大最小值及平均值、乘波形、乘窗口、非、覆盖图、覆盖统计、自相关、功率谱、分布图、正弦余弦、平滑(移动平均)、谱密度、平方、平方根、窗口相减、波形求和、窗口求和、正切、层叠、窗口幂、窗口常数等。SystemView 还提供了一个真实且灵活的窗口用以检查系统波形。内部数据的图形放大、缩小、滚动、谱分析、标尺以及滤波等,全都是通过敲击鼠标器实现的。

8) 可扩展性

SystemView 允许用户插入自己用 C/C++ 编写的用户代码库,而且插入的用户库自动集成到 SystemView 中,如同系统内建的库一样使用。

9) 完善的自我诊断功能

SystemView 能自动执行系统连接检查,通知用户连接出错并通过显示指出出错的图符。这个特点对用户系统的诊断是十分有效的。

1.1.3 SystemView4.5 安装说明

具体安装步骤如下:

- (1) 要求符合要求的微机,最好是在主流配置微机,Windows XP 环境;
- (2) 打开光盘中的“SystemView 专业版”文件夹;
- (3) 双击“SUV_32”图标;
- (4) 点击“Install SystemView”图标;
- (5) 提示 100%后,点击“next”;
- (6) 点击“yes”;
- (7) 点击“next”;
- (8) 点击“next”;
- (9) 点击“next”;
- (10) 点击“next”;
- (11) 提示 100%后,选择“No, I will restart my computer later”,然后点击“Finish”;
- (12) 关闭“Welcome to systemview by ELANIX”页面;
- (13) 打开光盘中“SystemView 专业版”文件夹;
- (14) 双击“SUV45CR”图标;
- (15) 点击“Professional Evaluation”图标;
- (16) 将“OK”按钮上面的“S/N:”后面数字的最后两位输入到另一个黑色窗口中的“Input the S/N number”下面,回车;

(17) 将黑色窗口中“The enable number is”后面的序列号记下来,填写到灰色小窗口中“Professional Evaluation Password”的栏目中,单击“OK”;

(18) 点击“I Accept”;

(19) 点击“确定”;

(20) 点击“否”;

(21) 点击“确定”;

(22) 点击“close”;

(23) 点击“否”。

这样就完成了 SystemView 软件的安装,并且已经处于运行状态。

1.1.4 建立通信系统基本步骤

通过一个简单的例子,一步一步地设计自己的第一个系统。通过这个例子,使大家对 SystemView 有一个感性认识,并初步掌握其使用方法和步骤。该例子是一个能产生正弦波信号,并对其进行平方运算的系统。具体操作如下:

(1) 进入 SystemView。通过双击桌面上的“SystemView”快捷图标或单击程序组中的“SystemView”,即可启动 SystemView。

(2) 设置系统运行时间。单击工具条中的系统定时  “System Time”按钮,把采样频率“Sample Rate”设置为 100 Hz,采样点数“No. of Samples”设置为 128。

(3) 定义一个幅度为 1 V,频率为 10 Hz 的正弦信号源。从图符库中拖出一个信号源图符  “Source”到设计窗口,双击该图符,在出现的信号源库窗口中选择周期信号“Periodic”中的正弦信号“Sinusoid”,按“Parameter”按钮,将参数设置窗口中的频率“Frequency”定义为 10,图符变成 。

(4) 定义一个平方运算的函数图符。从图符库“Function”中拖动一个函数图符  至设计窗口,双击该图符,在出现的函数库窗口中选择代数库“Algebraic”中的“X^a”,并在参数设置窗口中的文字框中输入 2,图符变成 。

(5) 定义两个接收图符。拖动两个接收器图符  到设计窗口,双击它们,将它们都定义为“Graphic Display”的“SystemView”信号接收类型 。

(6) 连接图符。将信号源图符(正弦输出)分别连接到函数图符和其中一个接收图符,函数图符连接到另一个接收图符。

(7) 运行系统。单击工具条中的运行按钮  运行系统,这时就会在第一个接收图形显示区中显示出正弦信号,在第二个接收图形显示区中显示出平方后的信号,如图 1-1 所示。

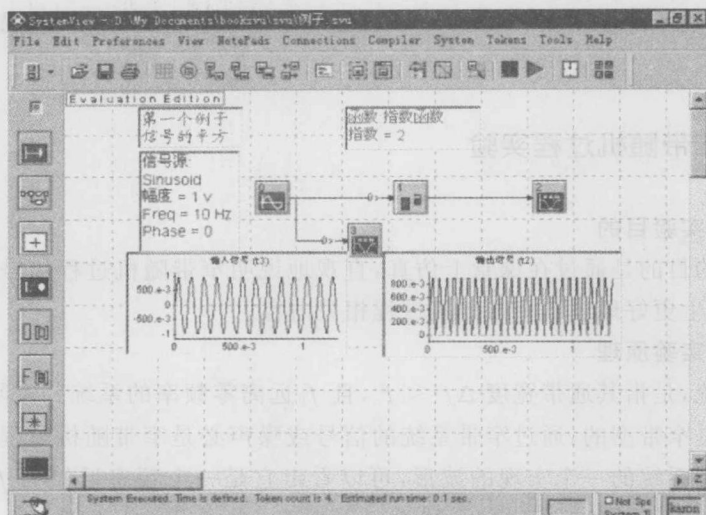


图 1-1 例子——信号的平方

(8) 可在分析窗口中显示信号。单击 “Analysis”按钮进入分析窗口,这时应该可以看到两个图形,一个是 10 Hz 的正弦信号,另一个是平方后的信号。

(9) 对输入的信号进行谱分析。单击 接收计算器按钮,选择“Spectrum”分析按钮,并分两次选中 W0 和 W1,就会出现两个新的图形,分别对应前面两个波形的频谱图,其中一个出现在 10 Hz 的位置上(对应正弦波),另一个出现在 20 Hz 的位置上(对应于正弦波的平方),如图 1-2 所示。

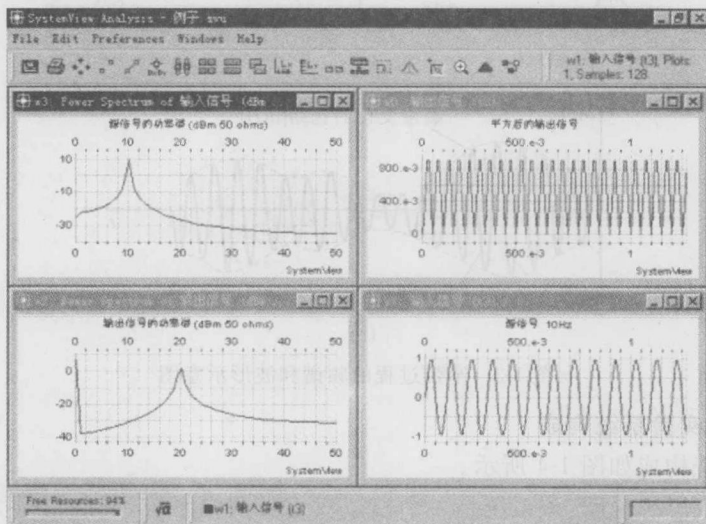


图 1-2 输出信号与频谱

(10) 结束仿真,保存用户系统。通过选择“File”菜单中的“Save”把刚才设计的内容保存下来。

1.2 窄带随机过程实验

1.2.1 实验目的

本实验的目的是通过在课堂上仿真,直观地说明窄带随机过程信号的时域和频域特点,使学生更好地理解窄带随机过程相关内容。

1.2.2 实验原理

窄带系统,是指其通带宽度 $\Delta f \ll f_c$,且 f_c 远离零频率的系统。实际上,大多数通信系统都是窄带型的,通过窄带系统的信号或噪声必是窄带随机过程。如果用示波器观察窄带系统的一个实现的波形,可以看出它是一个频率近似为 f_c 、包络和相位随机缓变的正弦波,如图 1-3 所示。

窄带随机过程的表示式为:

$$\xi(t) = a_{\xi}(t) \cos[\omega_c t + \phi_{\xi}(t)], \quad a_{\xi}(t) \geq 0 \quad (8)$$

式中, $a_{\xi}(t)$ 为随机包络; $\phi_{\xi}(t)$ 为随机相位; ω_c 为中心角频率。

显然, $a_{\xi}(t)$ 和 $\phi_{\xi}(t)$ 的变化相对于载波 $\cos \omega_c t$ 的变化要缓慢得多。

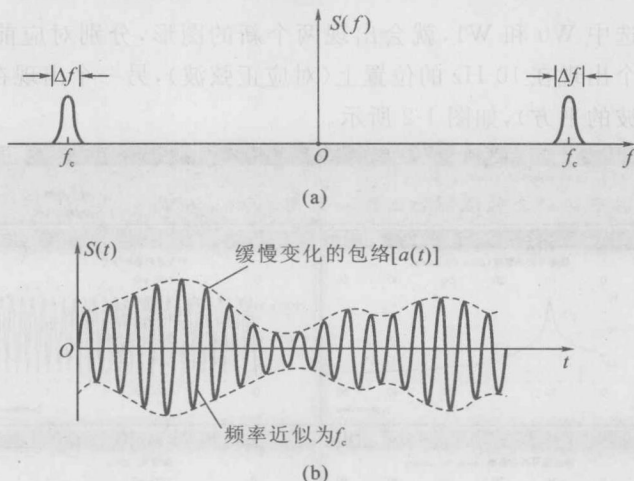


图 1-3 窄带过程的频谱和波形示意图

1.2.3 实验系统构成

实验系统构成如图 1-4 所示。

系统构成思想说明:该系统是一个模拟双边带调幅系统,调制信号为扫频信号,载波为正弦波,用乘法器实现调制,用相乘低通方式实现解调。

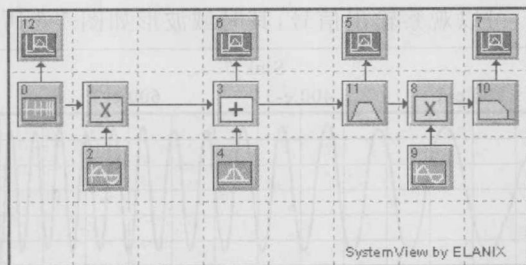


图 1-4 窄带随机过程仿真实验系统图

1.2.4 系统模块及参数设置

按照模块编号说明如下:

模块 0: 扫频器, 产生频率为 0~50 Hz、幅度为 1 V 扫频信号作为调制信号。参数设置: Amplitude(V) 为 1, Start Freq(Hz) 为 0, Stop Freq(Hz) 为 50, Period(sec) 为 1, Phase(deg) 为 0。

模块 2: 正弦波发生器, 产生频率为 500 Hz 的正弦波作为载波。参数设置: Amplitude(V) 为 1, Frequency(Hz) 为 500, Phase(deg) 为 0。注意, 连接正弦波发生器与相乘器时选择 0。

模块 4: 高斯噪声发生器, 产生 0.1 V 高斯噪声。参数设置: Constant Parameter 项选 Std Deviation, Std Deviation(V) 为 0.1, Mean(V) 为 0。

模块 11: 带通滤波器, 该器件的功能是最大限度滤除带外噪声。参数设置: BP Filter Order 为 3, Low Cutoff(Hz) 为 430, Hi Cutoff(Hz) 为 570。

模块 9: 正弦波发生器。该器件是接收端的正弦波发生器, 要求与发送端的同频同相, 因此参数设置与发送端相同, 连线时也选择 0。

模块 10: 低通滤波器。参数设置: No. of Poles 为 3, Low Cutoff(Hz) 为 70。

系统时钟设置: Sample Rate(Hz) 为 5 000, Stop Time(sec) 为 1。

1.2.5 实验结果分析

1) 输入输出对比

通过显示模块 12, 可以观察发送的基带信号, 其时域波形如图 1-5 所示。

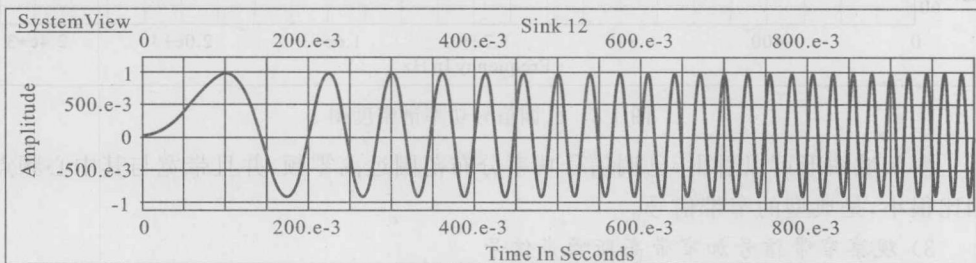


图 1-5 输入基带信号时域波形图

通过显示模块 7,可以观察输出信号,其时域波形如图 1-6 所示。

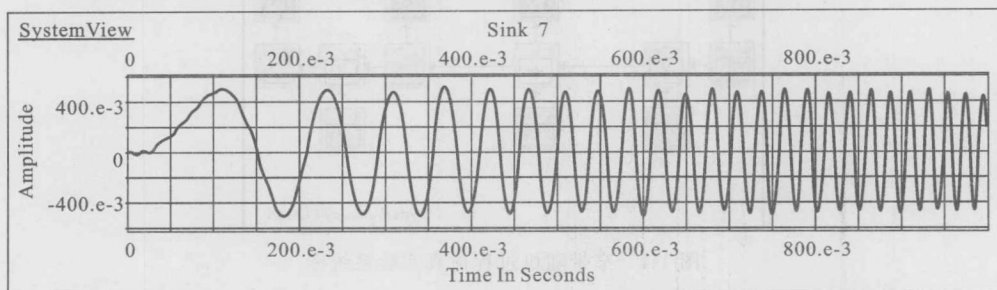


图 1-6 输出信号时域波形图

对比输入、输出信号可见,系统很好地恢复出了输入信号,说明运行正确。

2) 观察窄带信号

通过显示模块 6,可以观察已调信号,其时域波形如图 1-7 所示,其对应的功率谱密度图如图 1-8 所示。

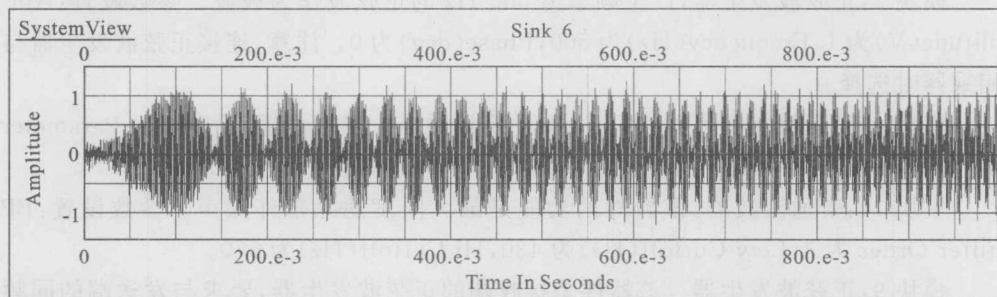


图 1-7 已调信号时域波形图

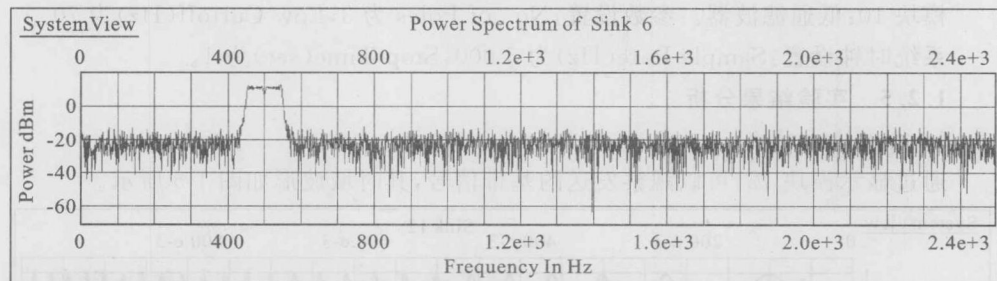


图 1-8 已调信号功率谱密度图

由频域图形可以看出,已调信号功率分布范围远离零频,并且带宽与其中中心频点相比很小,是典型的窄带信号。

3) 观察窄带信号加窄带高斯噪声信号

由图 1-8 可见,已调信号在信道中受到宽带噪声的污染,观察模块 5 是观察经过

带通滤波器过滤后信号加噪声的波形,其时域波形与功率谱密度图如图 1-9、图 1-10 所示。

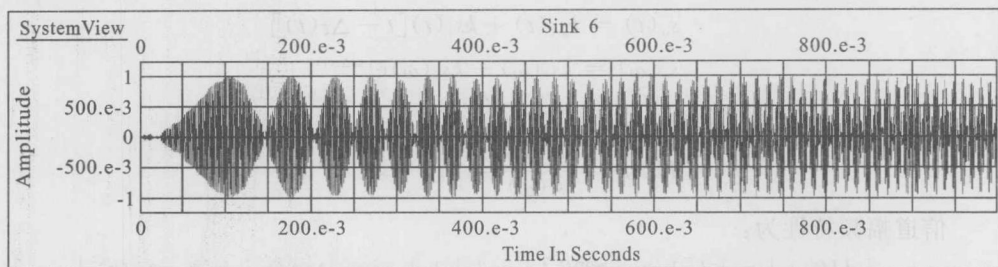


图 1-9 带通滤波器过滤后信号时域波形图

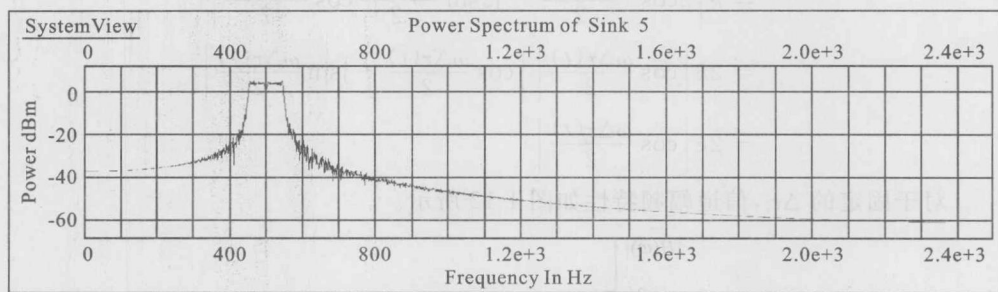


图 1-10 带通滤波器过滤后信号功率谱密度图

由图 1-10 可以看出,滤波器滤除了带外噪声,只剩下带内的窄带噪声,此时信号为窄带信号加窄带高斯噪声。

1.3 多径传播实验

1.3.1 实验目的

本实验的目的是通过在课堂上仿真,直观地说明多径传播的概念、特点及其对信号传输的影响。

1.3.2 实验原理

假设多径传播的路径只有两条,信道模型如图 1-11 所示。

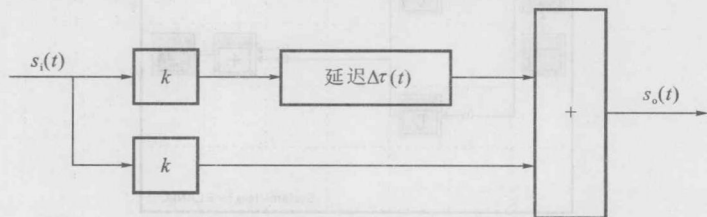


图 1-11 两径传播实验模型图

图 1-11 中, k 为两条路径的衰减系数, $\Delta\tau(t)$ 为两条路径信号传输相对时延差。当信道输入信号为 $s_i(t)$ 时, 输出信号为:

$$s_o(t) = ks_i(t) + ks_i(t)[t - \Delta\tau(t)]$$

$$\begin{aligned} s_o(\omega) &= ks_i(\omega) + ks_i(\omega)e^{-j\omega\Delta\tau(t)} \\ &= ks_i(\omega)[1 + e^{-j\omega\Delta\tau(t)}] \end{aligned}$$

$$H(\omega) = \frac{s_o(\omega)}{s_i(\omega)} = k[1 + e^{-j\omega\Delta\tau(t)}]$$

信道幅频特性为:

$$\begin{aligned} |H(\omega)| &= |k[1 + e^{-j\omega\Delta\tau(t)}]| = k|1 + \cos \omega\Delta\tau(t) - j\sin \omega\Delta\tau(t)| \\ &= k\left|2\cos^2 \frac{\omega\Delta\tau(t)}{2} - j2\sin \frac{\omega\Delta\tau(t)}{2} \cos \frac{\omega\Delta\tau(t)}{2}\right| \\ &= 2k\left|\cos \frac{\omega\Delta\tau(t)}{2}\right|\left|\cos \frac{\omega\Delta\tau(t)}{2} - j\sin \frac{\omega\Delta\tau(t)}{2}\right| \\ &= 2k\left|\cos \frac{\omega\Delta\tau(t)}{2}\right| \end{aligned}$$

对于固定的 $\Delta\tau_1$, 信道幅频特性如图 1-12 所示。

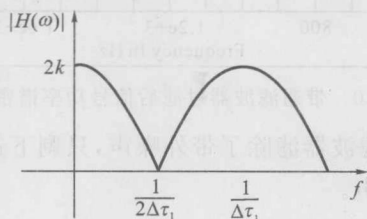


图 1-12 两径传播信道幅频特性图

上式表明, 对于信号不同的频率成分, 信道将有不同的衰减。显然, 信号通过这种传输特性的信道时, 信号的频谱将产生失真。当失真随时间随机变化时, 就形成频率选择性衰落。

1.3.3 实验系统构成

实验系统构成如图 1-13 所示。

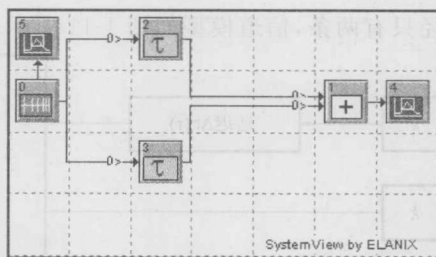


图 1-13 多径传播仿真实验系统图