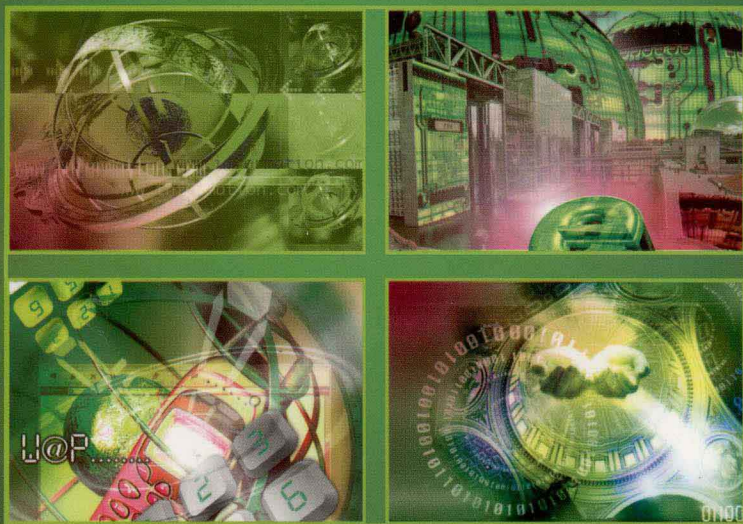


❖ 普通高等教育电子信息类规划教材 ❖

信号与系统操作、仿真 与综合设计实验

SIGNAL AND SYSTEM OPERATIONS,
SIMULATIONS AND SYNTHESIS EXPERIMENTS



刘舒帆 赵红 陆辉 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电子信息类规划教材

信号与系统操作、仿真与 综合设计实验

刘舒帆 赵红 陆辉 任姝婕 汪莹 编著



机械工业出版社

“信号与系统实验”课程是通信电子、信息工程等专业的一门基础实验课程。本书紧密配合“信号与系统”课程理论教学,力求通过实验课程的开设培养读者的创新思维与工程实践能力。

全书共4章,包括信号与系统的基本操作实验;MATLAB辅助设计与仿真实验;LabVIEW虚拟仪器实验;信号与系统综合设计实验。附录中介绍了信号与系统常用测量仪器的使用;MATLAB的基本操作;LabVIEW的使用方法以及本书MATLAB子函数使用情况的速查表。

本书对实验基本原理的介绍简明扼要,涉及的计算机软件知识通俗易懂。书中提供了大量的典型例题程序和相应的实验内容、设计课题,适合实验教学和读者自学。

本书可作为大学本科或专科通信工程、电子信息类专业的信号与系统实验教材,也可作为其他理工科相关专业的教师和学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统操作、仿真与综合设计实验 / 刘舒帆等编著. —北京:机械工业出版社,2010.8

普通高等教育电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-31075-4

I. ①信… II. ①刘… III. ①信号系统—实验 IV. ①TN911.6-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第146372号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李馨馨

责任编辑:李馨馨 赵东旭

责任印制:杨 曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2010年10月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·17.25印张·423千字

0 001—3 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-31075-4

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

信号与系统实验是通信、电子、信息工程以及相关专业的必修课程。该实践课程由电路分析基础实验课程做基础,为后续的数字信号处理、语音处理、现代通信系统等专业基础实践课程做先导。学好这门实践课程,对于理解信号与系统的基本理论和提高学生的实际动手能力,是十分重要的。

随着大规模集成电路和计算机技术的发展,信号与信息处理以及相关学科与计算机的联系越来越紧密。这不仅体现在学科本身的建设上,同时也影响到这些专业学科教学的全过程。MATLAB 和 LabVIEW 软件是对信号与系统课程的学习非常有帮助的辅助设计、分析及测试工具。因此,作为专业基础教学的实践课程,信号与系统实验中不但有许多基本的实验方法和手段需要学生熟练掌握,而且要把 MATLAB 和 LabVIEW 这些有效的新型实验方法介绍给学生,使他们开拓思路,勇于实践,提高认识问题和解决问题的能力,更好地理解和掌握信号与系统的理论。

本书最大的特点是把 LabVIEW 引入到信号与系统实验中。这是因为,①LabVIEW 的虚拟仪器使用方便,可以根据用户的需要制作成面板美观的各种虚拟仪器,完成常见的测试任务;②LabVIEW 的程序框图比 MATLAB 的 Simulink 功能更多,图形更形象,建立的电路结构也更易于理解;③LabVIEW 与 MATLAB 有着紧密的联系,它的 MathScript 功能可以完成许多类似 MATLAB 的程序运行的功能;④LabVIEW 具有更强大的硬件接口功能,可以方便地与其他实际电路连接,完成数据的采集和数据的输入输出。不过,本书考虑到学生已掌握知识的程度,暂时未将与硬件相关的部分编入实验。

由于同时使用 MATLAB 和 LabVIEW 软件,使信号与系统课程的大部分知识点都获得了有效的研究手段,也极大地丰富了实验教学的内容。

本书共 4 章,40 个实验专题,能够满足 80~90 学时的教学任务。为了使學生能够更好地掌握信号与系统理论与实践知识,本书对每个实验的基本原理都进行了简明扼要的介绍,并对 MATLAB 和 LabVIEW 部分提供了大量的典型例题程序。在每个实验课题中都安排了实验任务或设计任务及思考题,适合实验教学和學生自学。书中“*”代表选做与选学内容。

本书主要由刘舒帆编写,赵红、汪莹参加了第 1 章和附录 A 中部分内容的编写,陆辉、任姝婕参加了第 2 章和附录 B 中部分内容的编写。由于编者水平有限,书中存在着错漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章	信号与系统基本操作实验	1
1.1	连续时间信号的测量	2
1.1.1	实验目的	2
1.1.2	实验原理	2
1.1.3	实验任务	3
1.1.4	实验要求及注意事项	4
1.1.5	实验器材	4
1.1.6	实验预习	4
1.1.7	实验报告	4
1.2	系统频率响应的测量	5
1.2.1	实验目的	5
1.2.2	实验原理	5
1.2.3	实验任务	7
1.2.4	实验要求及注意事项	10
1.2.5	实验器材	10
1.2.6	实验预习	10
1.2.7	实验报告	10
1.3	矩形脉冲通过一阶电路	10
1.3.1	实验目的	10
1.3.2	实验原理	11
1.3.3	实验任务	14
1.3.4	实验要求与注意事项	16
1.3.5	实验器材	16
1.3.6	实验预习	16
1.3.7	实验报告	16
1.4	二阶电路的瞬态响应	16
1.4.1	实验目的	16
1.4.2	实验原理	17
1.4.3	实验任务	19
1.4.4	实验要求及注意事项	20
1.4.5	实验器材	20



1.4.6 实验预习	20
1.4.7 实验报告	20
1.5 正弦波信号与锯齿波信号的频谱	20
1.5.1 实验目的	20
1.5.2 实验原理	21
1.5.3 实验任务	23
1.5.4 实验要求及注意事项	25
1.5.5 实验设备	25
1.5.6 实验预习	26
1.5.7 实验报告	26
1.6 矩形信号的频谱分析	26
1.6.1 实验目的	26
1.6.2 实验原理	26
1.6.3 实验任务	28
1.6.4 实验步骤与要求	29
1.6.5 实验设备	31
1.6.6 实验预习及思考题	31
1.6.7 实验报告	32
1.7 连续时间系统的模拟	32
1.7.1 实验目的	32
1.7.2 实验原理	32
1.7.3 实验任务	35
1.7.4 实验要求及注意事项	36
1.7.5 实验器材	36
1.7.6 实验预习	36
1.7.7 实验报告	36
1.8 RC 有源滤波器	36
1.8.1 实验目的	36
1.8.2 实验原理	36
1.8.3 实验任务	38
1.8.4 实验要求及注意事项	40
1.8.5 实验器材	40
1.8.6 实验预习	40
1.8.7 实验报告	41
1.9 二阶有源网络的传输特性	41
1.9.1 实验目的	41
1.9.2 实验原理	41
1.9.3 实验任务	43
1.9.4 实验要求及注意事项	44



1.9.5	实验仪器	44
1.9.6	实验预习	44
1.9.7	实验报告	44
第2章	MATLAB 辅助设计与仿真分析实验	45
2.1	MATLAB 的上机操作与实践	46
2.1.1	实验目的	46
2.1.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	46
2.1.3	实验内容	47
2.1.4	实验设备	49
2.1.5	实验预习	49
2.2	连续时间信号的产生	49
2.2.1	实验目的	49
2.2.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	50
2.2.3	实验原理	51
2.2.4	实验任务	57
2.2.5	实验预习	57
2.2.6	实验报告	57
2.3	拉普拉斯变换及其应用	58
2.3.1	实验目的	58
2.3.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	58
2.3.3	实验原理	58
2.3.4	实验任务	62
2.3.5	实验预习	62
2.3.6	实验报告	62
2.4	连续时间系统的冲激响应与阶跃响应	63
2.4.1	实验目的	63
2.4.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	63
2.4.3	实验原理	64
2.4.4	实验任务	67
2.4.5	实验预习	67
2.4.6	实验报告	67
2.5	卷积的应用	67
2.5.1	实验目的	67
2.5.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	67
2.5.3	实验原理	68
2.5.4	实验任务	72
2.5.5	实验预习	73
2.5.6	实验报告	73
2.6	连续时间信号的傅里叶分析	73



2.6.1	实验目的	73
2.6.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	73
2.6.3	实验原理	74
2.6.4	实验任务	79
2.6.5	实验预习	79
2.6.6	实验报告	79
2.7	连续系统的零极点分析	79
2.7.1	实验目的	79
2.7.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	80
2.7.3	实验原理	80
2.7.4	实验任务	87
2.7.5	实验预习	88
2.7.6	实验报告	88
2.8	连续系统的频率响应	88
2.8.1	实验目的	88
2.8.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	89
2.8.3	实验原理	89
2.8.4	实验任务	96
2.8.5	实验预习	97
2.8.6	实验报告	97
2.9	离散时间信号与信号的频谱分析 (FFT)	97
2.9.1	实验目的	97
2.9.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	97
2.9.3	实验原理	98
2.9.4	实验任务	103
2.9.5	实验预习	104
2.9.6	实验报告	104
2.10	信号的调制与解调	104
2.10.1	实验目的	104
2.10.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	104
2.10.3	实验原理	104
2.10.4	实验任务	109
2.10.5	实验预习	109
2.10.6	实验报告	109
2.11	信号的时域抽样与重建	109
2.11.1	实验目的	109
2.11.2	实验原理	109
2.11.3	实验任务	115
2.11.4	实验预习	115

2.11.5	实验报告	115
2.12	z 变换及其应用	115
2.12.1	实验目的	115
2.12.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	115
2.12.3	实验原理	116
2.12.4	实验任务	122
2.12.5	实验预习	123
2.12.6	实验报告	123
2.13	离散系统的零极点分析	123
2.13.1	实验目的	123
2.13.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	123
2.13.3	实验原理	124
2.13.4	实验任务	130
2.13.5	实验预习	130
2.13.6	实验报告	130
2.14	离散系统的频率响应	130
2.14.1	实验目的	130
2.14.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	131
2.14.3	实验原理	131
2.14.4	实验任务	138
2.14.5	实验预习	138
2.14.6	实验报告	138
2.15	IIR 数字滤波器的设计	139
2.15.1	实验目的	139
2.15.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	139
2.15.3	实验原理	141
2.15.4	实验任务	149
2.15.5	实验预习	150
2.15.6	实验报告	150
2.16	用窗函数法设计 FIR 数字滤波器	150
2.16.1	实验目的	150
2.16.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	150
2.16.3	实验原理	152
2.16.4	实验任务	161
2.16.5	实验预习	162
2.16.6	实验报告	162
第 3 章	LabVIEW 虚拟仪器实验	163
3.1	信号的产生与测量	164
3.1.1	实验目的	164



3.1.2	实验原理	164
3.1.3	实验任务	167
3.1.4	实验设备	167
3.1.5	实验预习	167
3.2	常用信号及其频谱测量	168
3.2.1	实验目的	168
3.2.2	实验原理	168
3.2.3	实验任务	171
3.2.4	实验设备	171
3.2.5	实验预习	171
3.3	信号的卷积运算	171
3.3.1	实验目的	171
3.3.2	实验原理	172
3.3.3	实验任务	175
3.3.4	实验设备	175
3.3.5	实验预习	175
3.4	信号的尺度变换	176
3.4.1	实验目的	176
3.4.2	实验原理	176
3.4.3	实验任务	177
3.4.4	实验设备	177
3.4.5	实验预习	177
3.5	信号相乘及其频谱	177
3.5.1	实验目的	177
3.5.2	实验原理	178
3.5.3	实验任务	179
3.5.4	实验设备	179
3.5.5	实验预习	179
3.6	相位对信号合成的影响	179
3.6.1	实验目的	179
3.6.2	实验原理	179
3.6.3	实验任务	180
3.6.4	实验设备	181
3.6.5	实验预习	181
3.7	抽样频率与信号频谱的混叠	181
3.7.1	实验目的	181
3.7.2	实验原理	181
3.7.3	实验任务	183
3.7.4	实验设备	184



3.7.5	实验预习	184
3.8	信号通过 IIR 数字滤波器	184
3.8.1	实验目的	184
3.8.2	实验原理	185
3.8.3	实验任务	188
3.8.4	实验设备	188
3.8.5	实验预习	188
3.9	FIR 数字滤波器的设计	188
3.9.1	实验目的	188
3.9.2	实验原理	188
3.9.3	实验任务	191
3.9.4	实验设备	191
3.9.5	实验预习	191
第 4 章	信号与系统综合设计实验	192
4.1	非周期虚拟信号发生器的设计	193
4.1.1	设计目的	193
4.1.2	设计原理	193
4.1.3	设计任务	193
4.1.4	设计报告要求	194
4.2	用 MathScript 实现信号的采集与谱分析	194
4.2.1	设计目的	194
4.2.2	设计原理	194
4.2.3	设计任务	196
4.2.4	设计报告要求	196
4.3	基于 FDATool 的数字滤波器设计	196
4.3.1	设计目的	196
4.3.2	设计原理	196
4.3.3	设计任务	200
4.3.4	设计报告要求	201
4.4	基于 LabVIEW 的滤波特性测试系统	201
4.4.1	设计目的	201
4.4.2	设计原理	201
4.4.3	设计任务	203
4.4.4	设计报告要求	203
4.5	信号的自相关、互相关和功率谱研究	203
4.5.1	设计目的	203
4.5.2	设计原理	203
4.5.3	设计任务	204
4.5.4	设计报告要求	205



4.6 声音信号的采样与处理	205
4.6.1 设计目的	205
4.6.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	206
4.6.3 设计原理	206
4.6.4 设计任务	206
4.6.5 设计报告要求	208
附录	209
附录 A 信号与系统常用测量仪器的使用	210
A.1 信号发生器	210
A.2 交流毫伏表	216
A.3 选频电平表	218
A.4 示波器	227
附录 B MATLAB 的基本操作与使用方法	238
B.1 MATLAB 的工作环境	238
B.2 MATLAB 的基本语法	239
附录 C LabVIEW 的使用方法	249
C.1 为什么要使用 LabVIEW	249
C.2 LabVIEW 的基本编程环境	250
C.3 控件属性	254
C.4 数据类型	255
C.5 程序结构	256
附录 D 本书 MATLAB 子函数使用情况速查表	260
参考文献	262

第 1 章

信号与系统基本操作实验

- 1.1 连续时间信号的测量
- 1.2 系统频率响应的测量
- 1.3 矩形脉冲通过一阶电路
- 1.4 二阶电路的瞬态响应
- 1.5 正弦波信号与锯齿波信号的频谱
- 1.6 矩形信号的频谱分析
- 1.7 连续时间系统的模拟
- 1.8 RC 有源滤波器
- 1.9 二阶有源网络的传输特性

1.1 连续时间信号的测量

1.1.1 实验目的

- (1) 了解常用的连续时间信号。
- (2) 学习和掌握连续时间信号的基本测量方法。

1.1.2 实验原理

1. 常用的连续时间信号

$$(1) \text{ 单位冲激信号 } \begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \\ \delta(t) = 0 \quad (t \neq 0) \end{cases}$$

$$(2) \text{ 单位阶跃信号 } u(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (t \geq 0) \end{cases}$$

$$(3) \text{ 单位斜变信号 } R(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ t & (t \geq 0) \end{cases}$$

$$(4) \text{ 指数信号 } f(t) = ke^{at}, \quad a \text{ 为实数}$$

$$(5) \text{ 复指数信号 } f(t) = ke^{st}, \quad s = \sigma + j\omega$$

$$(6) \text{ 正弦信号 } f(t) = k \sin(\omega t + \theta)$$

$$(7) \text{ 抽样函数信号 } S_a(t) = \frac{\sin t}{t}$$

$$(8) \text{ 钟形脉冲信号 } f(t) = Ee^{-(t/\tau)^2}$$

另外, 还有周期性的矩形脉冲信号、锯齿波信号、三角波信号等。

2. 连续时间信号的基本测量方法

在实际操作中, 非周期的信号波形一般很难用传统的电子仪器来产生。因而, 对于传统的操作实验来说, 主要研究的对象是周期性信号的波形。

反映一个周期性连续时间信号特点的物理量有波形、幅度、周期和频率、相移等。可以用示波器进行周期性连续时间信号的观察和测量, 用频率计来测量信号的频率及周期。测量电路如图 1-1 所示。

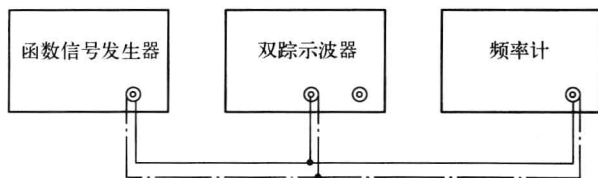


图 1-1 周期性连续时间信号的测量

1.1.3 实验任务

1. 测量正弦信号

按照图 1-1 连接电路，函数信号发生器按表 1-1 输出频率和电压幅值为一定值的正弦信号。用双踪示波器观察正弦交流电压的波形，测量其峰-峰值、周期和频率，频率计测量信号的频率，将测量结果填入表 1-1 中。

表 1-1 测量正弦信号

仪 器	信号发生器		双踪示波器						频率计
	电压	频率	电压			周期			频率
	U_m	f	V/DIV	H	U_{p-p}	s/DIV	D	T	f
测量值	0.6V	1 kHz							
测量值	1.5V	12.5kHz							

表中，V/DIV 表示双踪示波器的 Y 轴（电压）灵敏度； H 为波形峰-峰所占的格数；s/DIV 表示双踪示波器的 X 轴扫描速率； D 为波形一个周期所占的格数。

2. 调整矩形信号

按照图 1-1 连接电路，并将函数信号发生器的输出信号调整为矩形信号。按图 1-2 的波形调整好函数信号发生器的输出频率和电压幅度值。

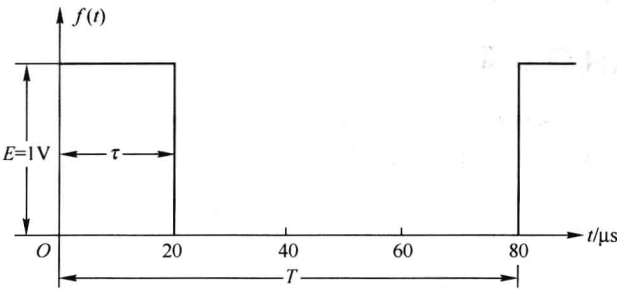


图 1-2 一个周期性矩形信号

细致地调节函数信号发生器的“波形对称性”（或脉冲占空比）调节控制件，使双踪示波器上波形的脉冲宽度 τ 与周期 T 的比值为 1:4。

测量表 1-2 中的有关数据，并做好记录。

表 1-2 调整矩形信号

仪器	信号发生器		双踪示波器								频率计
	电压	频率	电压			周期			脉冲宽度		频率
	U	f	V/DIV	H	E	s/DIV	D	T	d	τ	f
测量值					1V			80μs		20μs	



3. 观察锯齿波和三角波

(1) 将函数信号发生器的输出信号波形调整为锯齿波信号, 使函数信号发生器的输出频率为 10kHz, 电压幅度值为 2V。在如图 1-3 所示的坐标中描绘所观察到的信号一个周期的波形, 试写出该波形的数学表达式。

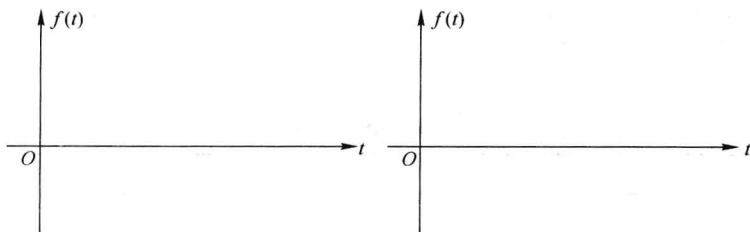


图 1-3 描绘观察到的信号

(2) 细致地调节函数信号发生器的“波形对称性”调节控制件, 使双踪示波器上的波形由锯齿波信号转换为三角波信号。在如图 1-3 所示的坐标中描绘所观察到的信号一个周期的波形, 试写出该波形的数学表达式。

4. 观察单脉冲信号

将函数信号发生器的单脉冲信号作为被测量信号, 用示波器观察其波形。此时, 示波器的 X 轴扫描速率应放置在 20ms/DIV~0.2s/DIV 范围的挡位上。由观察到的信号, 理解单脉冲信号与周期性脉冲信号的关系。

1.1.4 实验要求及注意事项

为了提高测量的准确度, 连接电路和进行测量时应尽量将函数信号发生器、示波器、频率计等实验仪器的接地端接在一起, 以减少仪器之间的相互影响。

1.1.5 实验器材

函数信号发生器	一台
双踪示波器	一台
频率计	一台

1.1.6 实验预习

- (1) 预习信号发生器、频率计及双踪示波器的使用方法。
- (2) 熟悉各种信号的波形, 了解信号的主要物理量及其测量方法。
- (3) 预习思考题如下:
 - 1) 信号的有效值、振幅值以及峰-峰值之间符合怎样的关系?
 - 2) 信号的周期和频率有何关系?

1.1.7 实验报告

- (1) 简述各项实验任务, 整理并填写表 1-1、表 1-2。

- (2) 描绘锯齿波信号、三角波信号的波形，并列写对应波形的数学表达式。
- (3) 简述单脉冲信号与周期性脉冲信号的关系。
- (4) 回答预习思考题。

1.2 系统频率响应的测量

1.2.1 实验目的

- (1) 了解连续线性时不变系统的基本分析方法。
- (2) 掌握系统的正弦稳态响应的研究方法。
- (3) 学习系统频率响应特性的基本测量方法。

1.2.2 实验原理

1. 系统的正弦稳态响应

当连续线性时不变 (LTI) 系统的激励信号为单一的正弦信号时，测量系统中的某一响应，得到的稳态响应仍为同频率的正弦信号。

在学习电路基础课程时已知，正弦稳态电路中的电阻、电感、电容分别符合下列规律：

(1) 电阻 R 两端的正弦电压与流过电阻的正弦电流之间符合公式 $\dot{U} = R\dot{I}$ ，其电压与电流波形的相位一致。

(2) 电感 L 两端的正弦电压与流过电感的正弦电流之间符合公式 $\dot{U} = Z_L \dot{I}$ ，其中， $Z_L = j\omega L$ ，电压的相位超前电流的相位 90° 。

(3) 电容 C 两端的正弦电压与流过电容的正弦电流之间符合公式 $\dot{U} = Z_C \dot{I}$ ，其中， $Z_C = 1/j\omega C$ ，电压的相位滞后电流的相位 90° 。

由这些元件组成的电路系统不论多么复杂，每个单一元件上的电压与电流总是符合上述关系。

在信号与系统课程中，往往把单个元件上的正弦稳态响应作为结论来使用，并将研究的重点放在整个系统上。

2. 系统的频率响应特性

从理论课程的学习中可知，系统可以从时间域和频率域两个角度来进行研究。一个 LTI 系统中，时域、频域之间的关系符合图 1-4。

把系统的频域响应向量 $\mathbf{R}(j\omega)$ 与激励向量 $\mathbf{E}(j\omega)$ 相比，即得到系统的频率响应特性

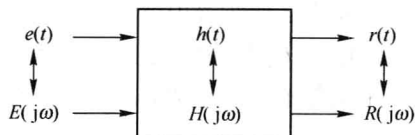


图 1-4 LTI 系统时域、频域之间的关系

$$H(j\omega) = \frac{\mathbf{R}(j\omega)}{\mathbf{E}(j\omega)} = |H(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)}$$

由此可知，系统的频率响应特性其模 $|H(j\omega)|$ 和幅角 $\varphi(\omega)$ 都是频率的函数。 $|H(j\omega)|$ 称为系统的“幅频响应特性”，它反映了响应与激励在幅度上与频率的关系； $\varphi(\omega)$ 称为系统的