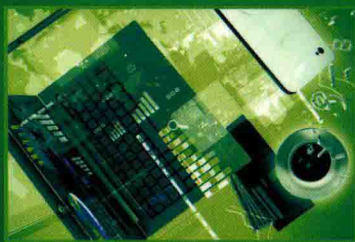


❖ 普通高等教育电子信息类规划教材 ❖

信号与系统实验

SIGNALS AND SYSTEMS EXPERIMENT



龚晶 许凤慧 卢娟 孙梯全 娄朴根 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

信号与系统实验

龚 晶 许凤慧 卢 娟 孙梯全 娄朴根 编著

刘舒帆 主审



机械工业出版社

“信号与系统实验”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。

全书正文分两部分，第一部分包括 10 项信号与系统的基本操作实验；第二部分包括 16 项 MATLAB 辅助设计与仿真实验。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，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，并布置了相应的实验内容和设计课题，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

信号与系统实验 / 龚晶等编著. —北京：机械工业出版社，2017.1

普通高等教育电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-55811-8

I. ①信… II. ①龚… III. ①信号理论—高等学校—教材 ②信号系统—实验—高等学校—教材 IV. ①TN911.6-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 323558 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 责任校对：张艳霞

责任编辑：李馨馨 责任印制：李 洋

封面设计：鞠 杨

北京京师印务有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·13.5 印张·320 千字

0001—2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-55811-8

定价：36.80 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

服务咨询热线：(010) 88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：(010) 88379649

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网：www.golden-book.com

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 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 这种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 and 掌握信号与系统的理论。

本着以上的目的,集多年教学的经验,根据本校专业设置的特点,借鉴兄弟学校教学改革的成功经验,我们编写了本教材。

本书分两部分,共 26 个实验专题,能够满足 30~40 学时的教学任务。

第一部分为信号与系统基本操作实验,共有 10 个实验专题。使学生了解和掌握信号与系统最基本的研究方法,训练他们的动手能力。这一部分的实验是必不可少的,也是仅用计算机模拟实验所不能替代的。

第二部分为 MATLAB 辅助设计与仿真分析实验,共有 16 个实验专题。训练学生利用 MATLAB 软件仿真进行信号与系统分析与应用。

为了使学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,并在 MATLAB 部分提供了大量的典型例题程序。在每个实验专题中都布置了实验任务或设计任务及思考题,适合实验教学和自学。书中“*”代表选做与选学内容。

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,以及本书 MATLAB 子函数使用情况的速查表。

本书由龚晶、许凤慧、卢娟、孙梯全、娄朴根编写。刘舒帆、陆辉、赵红对本书的编写给予了大力支持,提出了很多宝贵意见,在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一部分 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	25
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	27
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	31
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	35
1.7.5	实验器材	35
1.7.6	实验预习	35
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	40
1.9	二阶有源网络的传输特性	40
1.9.1	实验目的	40
1.9.2	实验原理	41
1.9.3	实验任务	42
1.9.4	实验要求及注意事项	43



1.9.5	实验仪器	43
1.9.6	实验预习	43
1.9.7	实验报告	44
1.10	抽样定理与信号恢复	44
1.10.1	实验目的	44
1.10.2	实验原理	44
1.10.3	实验任务	47
1.10.4	实验要求及注意事项	49
1.10.5	实验仪器	49
1.10.6	实验预习	49
1.10.7	实验报告	50
第二部分	MATLAB 辅助设计与仿真分析实验	51
2.1	MATLAB 的上机操作与实践	52
2.1.1	实验目的	52
2.1.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	52
2.1.3	实验内容	53
2.1.4	实验设备	55
2.1.5	实验预习	55
2.2	连续时间信号的产生	55
2.2.1	实验目的	55
2.2.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	56
2.2.3	实验原理	57
2.2.4	实验任务	63
2.2.5	实验预习	63
2.2.6	实验报告	63
2.3	拉普拉斯变换及其应用	64
2.3.1	实验目的	64
2.3.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	64
2.3.3	实验原理	64
2.3.4	实验任务	68
2.3.5	实验预习	68
2.3.6	实验报告	68
2.4	连续时间系统的冲激响应与阶跃响应	69
2.4.1	实验目的	69
2.4.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	69
2.4.3	实验原理	70
2.4.4	实验任务	73
2.4.5	实验预习	73
2.4.6	实验报告	73



2.5 卷积的应用	73
2.5.1 实验目的	73
2.5.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	73
2.5.3 实验原理	74
2.5.4 实验任务	78
2.5.5 实验预习	79
2.5.6 实验报告	79
2.6 连续时间信号的傅里叶分析	79
2.6.1 实验目的	79
2.6.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	79
2.6.3 实验原理	80
2.6.4 实验任务	85
2.6.5 实验预习	85
2.6.6 实验报告	85
2.7 连续系统的零极点分析	85
2.7.1 实验目的	85
2.7.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	86
2.7.3 实验原理	86
2.7.4 实验任务	93
2.7.5 实验预习	94
2.7.6 实验报告	94
2.8 连续系统的频率响应	94
2.8.1 实验目的	94
2.8.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	95
2.8.3 实验原理	95
2.8.4 实验任务	102
2.8.5 实验预习	103
2.8.6 实验报告	103
2.9 离散时间信号与信号的频谱分析 (FFT)	103
2.9.1 实验目的	103
2.9.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	103
2.9.3 实验原理	104
2.9.4 实验任务	109
2.9.5 实验预习	110
2.9.6 实验报告	110
2.10 信号的调制与解调	110
2.10.1 实验目的	110
2.10.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	110
2.10.3 实验原理	110

2.10.4	实验任务	115
2.10.5	实验预习	115
2.10.6	实验报告	115
2.11	信号的时域抽样与重建	115
2.11.1	实验目的	115
2.11.2	实验原理	115
2.11.3	实验任务	121
2.11.4	实验预习	121
2.11.5	实验报告	121
2.12	z 变换及其应用	121
2.12.1	实验目的	121
2.12.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	121
2.12.3	实验原理	122
2.12.4	实验任务	128
2.12.5	实验预习	129
2.12.6	实验报告	129
2.13	离散系统的零极点分析	129
2.13.1	实验目的	129
2.13.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	129
2.13.3	实验原理	130
2.13.4	实验任务	136
2.13.5	实验预习	136
2.13.6	实验报告	136
2.14	离散系统的频率响应	136
2.14.1	实验目的	136
2.14.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	137
2.14.3	实验原理	137
2.14.4	实验任务	144
2.14.5	实验预习	144
2.14.6	实验报告	144
2.15	IIR 数字滤波器的设计	145
2.15.1	实验目的	145
2.15.2	实验涉及的 MATLAB 子函数	145
2.15.3	实验原理	147
2.15.4	实验任务	155
2.15.5	实验预习	156
2.15.6	实验报告	156
2.16	用窗函数法设计 FIR 数字滤波器	156
2.16.1	实验目的	156



2.16.2 实验涉及的 MATLAB 子函数	156
2.16.3 实验原理	158
2.16.4 实验任务	167
2.16.5 实验预习	168
2.16.6 实验报告	168
附录	169
附录 A 信号与系统常用测量仪器的使用	170
A.1 信号发生器	170
A.2 交流毫伏表	176
A.3 选频电平表	178
A.4 示波器	184
附录 B MATLAB 的基本操作与使用方法	192
B.1 MATLAB 的工作环境	192
B.2 MATLAB 的基本语法	193
附录 C 本书 MATLAB 子函数使用情况速查表	204
参考文献	205

第一部分

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
- 1.10 抽样定理与信号恢复

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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。

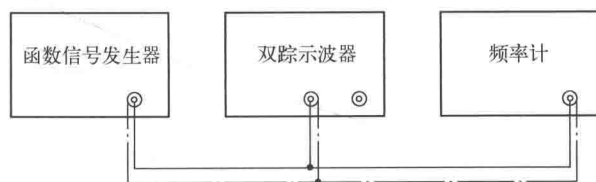


图 1-1 周期性连续时间信号的测量

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，用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。

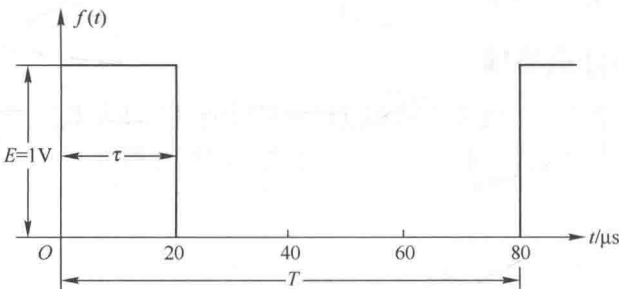


图 1-2 一个周期性矩形信号

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			80 μ s		20 μ s	



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。

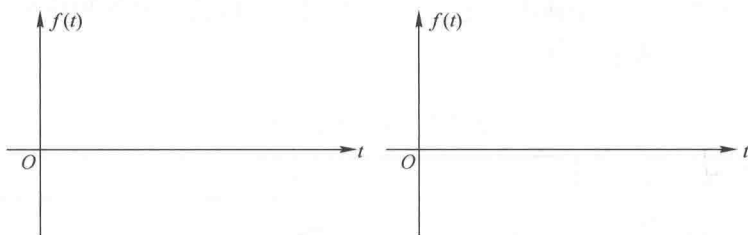


图 1-3 描绘观察到的信号

(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 $20\text{ms}/\text{DIV} \sim 0.2\text{s}/\text{DIV}$ 范围的档位上。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

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

由此可知, 系统的频率响应特性其模 $|H(j\omega)|$ 和辐角 $\varphi(\omega)$ 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

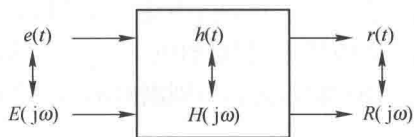


图 1-4 LTI 系统时域、频域之间的关系



“相频响应特性”，它反映了响应与激励的相移与频率的关系。幅频特性和相频特性两者统称为系统的“频率响应特性”，简称“频响特性”。

根据系统激励与响应向量的不同（电压或电流），可以分为图 1-5 所示的 6 种系统频响特性函数。如当激励和响应位于同一对端口时称为“策动点函数”，激励和响应位于不同端口时称为“转移函数”。其中，用得最多的是转移电压比和策动点阻抗。

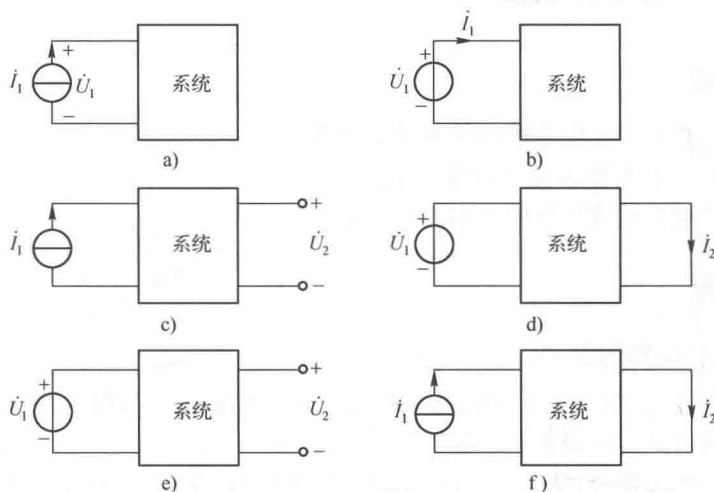


图 1-5 6 种系统频响特性函数

a) 策动点阻抗 $= \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1}$ b) 策动点导纳 $= \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1}$ c) 转移阻抗 $= \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1}$ d) 转移导纳 $= \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1}$ e) 转移电压比 $= \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1}$ f) 转移电流比 $= \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}$

从激励信号的角度，当 LTI 系统的激励信号为单一的正弦信号时，可以得到系统中某一端对的正弦稳态响应特性；当 LTI 系统的激励信号为一组排列有序的正弦信号时，可以得到系统中某一端对的频率响应特性。

3. 系统频响特性的测量方法

系统频率响应特性的测量方法主要有逐点描绘法和扫频测量法。

(1) 逐点描绘法。逐点描绘法是严格按照频率特性的定义进行的。图 1-6 为逐点描绘法测量转移电压比的原理方框图。其中，信号发生器为系统提供频率可调、幅度恒定的输入电压 U_1 。在整个工作频段内逐点改变输入信号的频率 f ，用交流电压表分别测出各个测量频率 f 时的输入电压 U_1 和输出电压 U_2 ，计算出 U_2 与 U_1 的比值，即可根据测量数据描绘出幅频特性曲线。用双踪示波器分别测出不同频率时 U_2 和 U_1 之间的相位差，即可描绘出相频特性曲线。

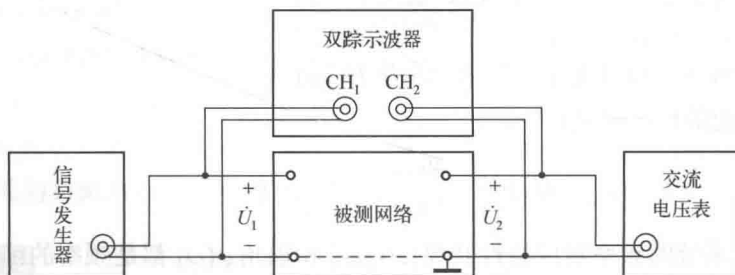


图 1-6 逐点描绘法测量转移电压比的原理方框图

逐点描绘法的优点是可以使用常用的简单仪器进行测量,但由于测量一条特性曲线需取的频率点一般需要 10 个以上,很费时间。而且由于测量时间过长会因测量仪器不稳定等原因影响到测试数据的准确性,因此,所测得的频率特性是近似的。

(2) 扫频测量法。扫频测量法主要使用频率特性测试仪(又称扫频仪)进行测量,它能在仪表的荧光屏上直接显示出一定频率范围内的频率特性曲线。

扫频仪的工作原理如图 1-7 所示。扫描电压发生器产生锯齿波电压,它一方面供给示波管的水平偏转板,使电子束在水平方向偏转;

另一方面控制扫频信号发生器,使扫频信号发生器的输出信号的频率与扫描电压的幅度成正比。因此,电子束在荧光屏上的每一水平位置,都对应于某一频率,并且是按顺序均匀变化的。这样荧光屏上的水平扫描线便表示频率轴。扫频信号发生器输出的频率均匀变化而幅度恒定的电压加在被测系统的输入端后,被测系统的输出电压必然由系统的幅频特性所决定,此电压经检波器放大后加到示波管的垂直偏转板,在荧光屏上便显示出被测系统的幅频特性曲线。频率范围可通过调节扫频信号发生器而改变。由于扫频发生器不可能有很宽的扫频范围,所以频率特性测试仪一般分为若干个频段,或分别做成用于不同频段的仪器。

为了便于将荧光屏上观察到的图形与频率相对应,扫频仪内还设有频标发生器,使频率稳定和准确。

扫频测量法与逐点描绘法比较,具有快速、可靠、直观等特点,因此,扫频测量法得到了广泛的应用。但扫频仪仅能显示电路的幅频特性曲线,相位差的测量仍需使用示波器。

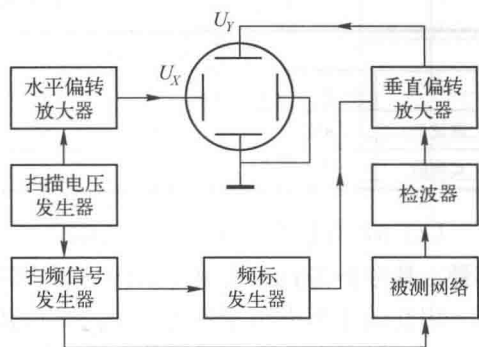


图 1-7 扫频测量法工作原理图

1.2.3 实验任务

1. 系统的正弦稳态响应

(1) RL 串联电路的正弦稳态响应。按照图 1-8 连接电路,信号发生器提供一正弦交流信号,其中 $f=8\text{kHz}$, 电压 $U=4\text{V}$ (以交流电压表测量值为准)。

用交流电压表测量各元件上的电压数值。根据图 1-9, 用元件测量值计算电路中的总电压 U , 计算总电压与总电流的相位差 φ 。将测量数据与计算数据填入表 1-3。

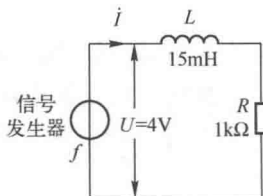


图 1-8 RL 串联电路

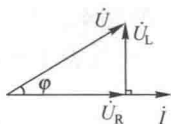


图 1-9 电路相量图

用双踪示波器测量电路中总电压 $\dot{U}$ 与总电流 $\dot{i}$ 的相位差 φ , 填入表 1-3。其中, 总电流