

现代测试技术 实践教程

龚丽农 车晓岩 编

中国石油大学出版社

现代测试技术

实践教程

.....

龚丽农 车晓岩 编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代测试技术实践教程/龚丽农,车晓岩编. —东营:
中国石油大学出版社,2008.7
ISBN 978-7-5636-2637-3

I. 现… II. ①龚…②车… III. 测试技术—教材 IV. TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 111790 号

书 名: 现代测试技术实践教程
作 者: 龚丽农 车晓岩

责任编辑: 宋秀勇(电话 0546-8392139)
封面设计: 九天设计

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: yibian8392139@163.com
印 刷 者: 泰安开发区成大印刷厂
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546-8392139)
开 本: 180×235 印张:7.375 字数:141 千字
版 次: 2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 14.00 元



● 前 言 ●

现代测试技术在高等理工院校各专业的教学计划中,是一门重要的专业基础课,而实验课是完成本课程教学的重要环节。实验课的主要任务是通过实验巩固和消化课堂所讲授的理论内容,验证课堂讲授的测试理论,建立对测试仪器、设备、元件的感性知识。了解和掌握有关非电量电测的最基本的测试技术和有关的主要仪器的操作和调试,并进一步了解测试仪器的性能和工作原理。对测试的全过程进行初步实践,提高学生的动手能力和学习兴趣。其目的是使学生掌握非电量检测的基本方法和选用传感器的原则,培养学生独立处理问题和解决问题的能力。

本实践教程中,实验二十二至二十五由青岛农业大学信息学院车晓岩编写,其余部分由青岛农业大学机电工程学院龚丽农编写。

本实践教程用于“机械工程测试技术”、“传感器与检测技术”等课程的实践环节。教师可根据不同专业、不同课时选择合适的实验项目。

编 者

2008 年 7 月



目 录

第1章 信号的描述	1
实验一 波形分解	3
实验二 波形合成	6
实验三 相位对波形失真的影响	7
实验四 幅值对波形失真的影响	9
实验五 非正弦周期信号的分解与合成	10
第2章 测试系统的特性实验	13
实验六 二阶系统特性测试	15
实验七 传感器系统静态特性测试	17
实验八 二阶系统动态特性测试	18
第3章 传感器实验	21
实验九 金属箔式应变片性能测试	23
实验十 金属箔式应变片单臂、半桥、全桥比较	25
实验十一 半导体应变片的工作特性	27
实验十二 差动螺管式电感传感器的工作特性	29
实验十三 差动变压器的工作特性及零点残余电压的补偿	32
实验十四 差动变面积式电容传感器	35
实验十五 热电偶原理及现象	38
实验十六 压电传感器的工作特性	40
实验十七 霍尔传感器的特性及应用	42
实验十八 光电传感器测转速	44
实验十九 热敏电阻演示	45
实验二十 霍尔传感器综合特性与应用	46
实验二十一 压电传感器的动态响应	49
实验二十二 光纤位移传感器	50
第4章 信号调理、记录和处理实验	53
实验二十三 无源和有源滤波器	55



实验二十四 采样定理	57
实验二十五 相关实验	59
第5章 计算机辅助测试实验	63
实验二十六 位移测试与测试系统标定	65
第6章 常用工具软件使用实验	67
实验二十七 MATLAB 操作入门	69
实验二十八 MATLAB 的语言结构和编程方法	70
实验二十九 矩阵运算与多项式拟合程序设计	71
实验三十 SIMULINK 建模与仿真	73
实验三十一 LABVIEW 操作入门	74
实验三十二 虚拟压力单位转换器设计	75
实验三十三 虚拟信号发生器设计	76
实验三十四 虚拟信号发生器频谱分析	77
附录1 实验项目涉及的主要仪器设备简介	78
附录2 计算机虚拟仪器图形编程 LABVIEW	82



第1章

信号的描述



实验一 波形分解

一、实验目的

1. 对信号分析中的波形分解、合成及非正弦周期信号的幅值频谱的物理实质建立感性认识与了解。

2. 加深理解信号检测与传输中确保不失真条件的重要性。

3. 学会用示波器检查各高次谐波与基波之间初始相位差是否为零的测试方法。

二、实验仪器

1. XPF-Ⅱ谐波分析实验仪 1 台。

2. 双踪示波器 1 台。

3. 数字电压表 1 台。

4. 频率计或信号发生器 1 台或信号与系统实验箱 1 台。

三、实验内容及基本原理

本实验内容包括以下四个部分。

1. 测带通滤波器频率特性实验：

将信号发生器的开关打到上方,通过旋钮改变频率,使其在 80~120 Hz 范围内变化,在输出端测出其相对应的电压,填入表 1-1 中。

表 1-1

f/Hz	80	90	96	98	99	99.5	99.8	99.9	100	100.1	100.5	101	103	105	110	120
U/V																

2. 信号分解实验：

实验原理:对某一个非正弦周期信号 $f(t)$,其周期为 T ,频率为 f ,则可以分解为无穷项谐波之和,即

$$\begin{aligned}
 f(t) &= c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_n\right) \\
 &= c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(2\pi f_0 t + \varphi_n)
 \end{aligned} \quad (1)$$

上式表明,各次谐波的频率分别是基波频率 f_0 的整数

倍。如果 $f(t)$ 是一个锯齿波,其波形如图 1-1 所示。其数学表达式为:

$$f(t) = \frac{A}{T}t - \frac{A}{2}, 0 \leq t \leq T$$

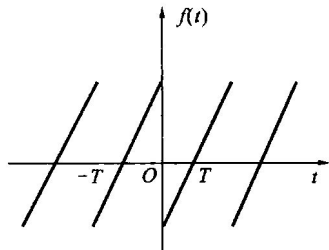


图 1-1 锯齿波



$$f(t+nt)=f(t) \quad (2)$$

对 $f(t)$ 进行谐波分析可知:

$$c_0=0, c_n=\frac{A}{2\pi n}, \varphi_n=\pi$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad f(t) &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{2\pi n} \sin\left(\frac{2\pi n}{T}t + \pi\right) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{2\pi n} \sin(2\pi n f_0 t + \pi) \\ &= \frac{A}{2\pi n} \left\{ \sin(2\pi f_0 t + \pi) + \frac{1}{2} \sin[2\pi(2f_0)t + \pi] + \dots \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

即锯齿波可以分解为基波的 1 次, 2 次, $\dots$, n 次, $\dots$ 无穷多项谐波之和, 其幅值分别为基波幅值的 $\frac{1}{n}$, 且各次谐波之间初始相位角差为零(基波幅值为 $\frac{A}{2\pi}$)。

反过来, 用上述这些谐波可以合成一个锯齿波。

同理, 只要选择符合要求的不同频率成分和相应的幅值比例及相位关系的谐波, 便可近似地合成相应的方波、三角波等非正弦周期波形。

四、实验步骤

1. 接通交流 220 V 电源, 拨动电源开关, 指示灯亮。
2. 用示波器从 C_1 点观察锯齿波图形, 从 C_2 点观察方波图形。
3. 检查信号频率是否为 100 Hz 左右。
4. 用插头线连接 C_1 与 B 两点(即把锯齿波信号送入各带通滤波器)。
5. 缓慢调节 Φ_1 电位器, 确定 BPF-1 的中心频率使之与信号频率相同, 即 100 Hz 左右(通过示波器 f_0 点应观察到 100 Hz 的正弦波), 精确测出频率 f_0 (不得用频率计)。

调节观察方法有两种:

方法一: 用示波器测量, 读出 f_0 点的幅值, 调节 Φ_1 使幅值最大。请思考这是什么道理?

方法二: 用双线示波器观察、比较锯齿波与基波的波形, 使之同相位。

6. 用上述方法一, 调节 $\Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_7$ 依次确定 BPF-2, BPF-3, $\dots$, BPF-7 中心频率分别为 $2f_0, 3f_0, \dots, 7f_0$ 。

7. 验证各高次谐波与基波之间的初始相位差是否为零, 方法有两种:

方法一(李沙育图形法): 把基波送入示波器的 X 输入, 再分别把 $2f_0, 3f_0, \dots, 7f_0$ 次的高次谐波送入 Y 输入, 观察李沙育图形(正确图形见图 1-2)。

方法二: 利用双通道示波器, 一个通道观察基波, 另一个通道分别观察 2, 3, $\dots$, 7 次谐波与基波时序上的关系。

注意: 用此法之前必须将各高次谐波的幅值调节为基波幅值的 $\frac{1}{n}$, 当各次谐波与

基波之间的初始相位差不为零时,需再次微调 $\Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_7$ 。

8. 用示波器分别从 $f_0, 2f_0, 3f_0, \dots, 7f_0$ 处测量并记录幅值(可预先调节锯齿波的幅值,使 f_0 处的基波成分为 1 V,以便于计算,分析比较各谐波之间的比例关系)。

9. 把插头的一端从 C_1 改接到 C_2 (即把方波送入各带通滤波器),改接前应先调整对称电位器,使方波对称。

(1) 观察并测量各谐波成分幅值,并与锯齿波分解的结果进行对照(比较谐波成分及其幅值和相位)。

(2) 用李沙育图形法观察与调节各谐波与基波分量的相位差为零:将基波分量相位调节后的波形送示波器的 Y 轴, $2f_0$ 分量相位调节后的信号送示波器的 X 轴。按下示波器上的 X-Y 方式转换按钮 CH1-X 键,屏幕上出现李沙育图形(适当降低示波器的亮度,以避免示波器荧光粉受损),调节 $2f_0$ 分量相位,使李沙育图形满足图 1-2 所示波形。之后, f_0 分量相位调节器不动,分别观察和调节其他各通道的李沙育图形,使其满足要求(相位差为 0)。

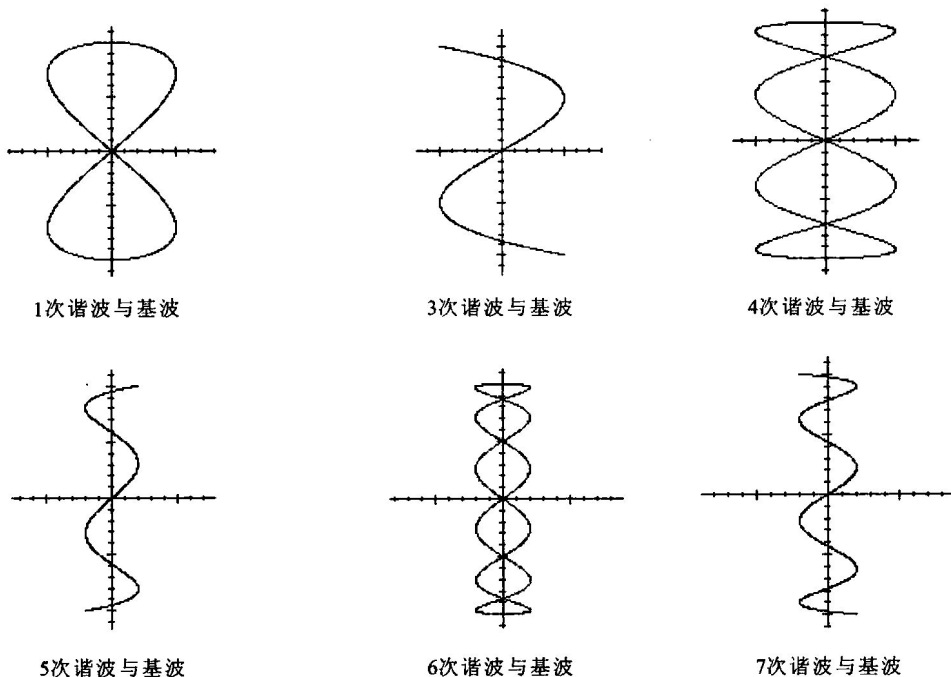


图 1-2 各高次谐波与基波的李沙育图形

五、实验准备及预习要求

1. 将要合成的几种典型的非正弦周期信号(如锯齿波、方波、三角波)进行傅氏



级数展开,确定出所含谐波分量及各高次谐波与基波之间的初始相位差和幅值比例关系(要求此项工作在课前完成)。

2. 参考《测试技术信号处理》教材中有关内容:

- (1) 信号的分类。
- (2) 信号的描述方式。
- (3) 一、二阶影响特性。
- (4) 滤波器原理(高通、低通、带通)。

六、实验报告内容及格式

1. 实验目的。
2. 实验内容。
3. 实验装置。
4. 实验原理(测试实验系统图)。
5. 实验步骤。
6. 实验结果与分析(包括实验数据、处理图形、主要关系式和有关程序)。
7. 回答思考题。

实验二 波形合成

一、实验目的

1. 进一步掌握利用傅氏级数进行谐波分析的方法。
2. 观察合理的频率结构、正确的幅值比例和正确的初始相位关系在合成波形中的重要作用。

二、实验仪器

1. XPF-Ⅱ谐波分析实验仪 1 台。
2. 双踪示波器 1 台。
3. 数字电压表 1 台。
4. 频率计或信号发生器 1 台或信号与系统实验箱 1 台。

三、实验内容

1. 根据合成波形的种类预先计算结果(见课前预习要求),分别确定出谐波成分及各次谐波与基波之间的初相位差和幅值比例关系。
2. 保持 $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_7$ 不变(即保持各高次谐波与基波之间初始相位差为



零),根据预先计算,确定各高次谐波的符号,拨动倒相器开关(或正、或负)。

3. 按计算好的幅值比例关系,分别调节各次谐波幅值(即 $A_1, A_2, \dots, A_7$)。

4. 根据计算好的频率结构,有选择地依次接通 $K_1, K_2, \dots, K_7$,由输出点即可用示波器分别观察到合成的近似波形(锯齿波、方波、三角波等均可以合成)。

5. 观察幅值、相位及频率结构在波形合成中的作用。

(1) 分别改变频率结构(即分别打开开关 $K_1, K_2, \dots, K_7$,观察频率结构正确与否,对波形失真影响的情况)。

(2) 分别改变 A_1, A_2 和 A_6, A_7 ,观察幅值正确与否,对波形失真影响的情况。

(3) 分别改变 Φ_1, Φ_2 和 Φ_6, Φ_7 ,观察相位正确与否,对波形失真影响的情况。

四、实验准备及预习要求

1. 将要合成的几种典型的非正弦周期信号(如锯齿波、方波、三角波)进行傅氏级数展开,确定出所含谐波分量及各高次谐波与基波之间的初始相位差和幅值比例关系(要求此项工作在课前完成)。

2. 参考《测试技术信号处理》教材有关内容:

(1) 信号的分类。

(2) 信号的描述方式。

(3) 一、二阶影响特性。

(4) 滤波器原理(高通、低通、带通)。

五、实验报告内容及格式

1. 实验目的。

2. 实验内容。

3. 实验装置。

4. 实验原理(测试实验系统图)。

5. 实验步骤。

6. 实验结果与分析(包括实验数据、处理图形、主要关系式和有关程序)。

8. 回答思考题。

实验三 相位对波形失真的影响

一、实验目的

1. 了解非正弦周期信号进行波形分解后还可以进行相位调节。

2. 加深理解相位在波形失真中的重要作用。



二、实验仪器

1. XPF-II 谐波分析实验仪 1 台。
2. 双踪示波器 1 台。
3. 数字电压表 1 台。

三、实验内容

1. 观察波形移相范围：

测量输入输出信号移相范围,可用两种方法来测量(滤波器输入端接锯齿波)。

(1) 李沙育图形法。示波器用 X-Y 方式显示,把 u_i 输入示波器的 X 轴,把 u_o 输入示波器的 Y 轴,选择适当的挡位,使之易于观测。当两信号相位差为 0° 时,波形为一直线,当两信号相位差为 90° 时,波形为一个正椭圆,当两信号相位差为 $0^\circ < \varphi_F < 90^\circ$ 时,波形为一个右斜椭圆,参见图 1-3,此时, $\varphi_F = \arcsin\left(\frac{A}{B}\right)$ 。当 $\varphi_F > 90^\circ$ 时,与之类似,不过椭圆方向向左倾斜, $\varphi_F = 180^\circ - \arcsin\left(\frac{A}{B}\right)$ 。

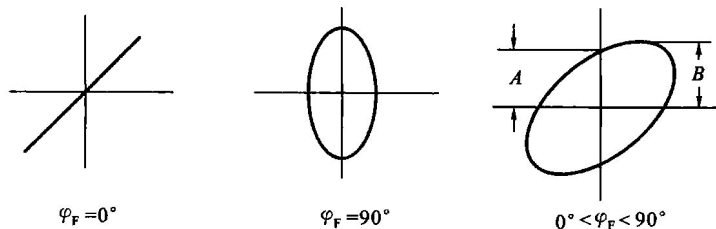


图 1-3 李沙育图形

(2) 直接比较法。利用示波器的双通道进行测试,把输入信号接入示波器一通道,输出接二通道,观察并计算相位差。 $\varphi_F = \frac{l}{L} \times 360^\circ$, 如图 1-4 所示。

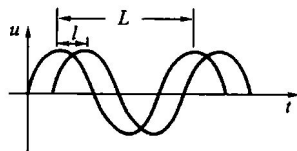


图 1-4 移相波形

2. 相位对波形失真的影响：

按锯齿波合成调节好后,各通道幅值不变,分别改变各通道相位,观察、记录各高次谐波相位对合成波的影响。



四、实验报告

1. 总结相位在波形失真中的作用。
2. 画出在实验中 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间各移相的波形图。
3. 比较用李沙育图形测量移相与直接比较法测量移相,测出的相位差是否相同。

实验四 幅值对波形失真的影响

一、实验目的

1. 进一步了解非正弦周期信号进行波形分解后各次谐波的幅值。
2. 加深理解幅值对波形失真的重要性。

二、实验仪器

1. XPF-Ⅱ 谐波分析实验仪 1 台。
2. 双踪示波器 1 台。
3. 数字电压表 1 台。

三、实验内容

1. 测量滤波器幅值。
将锯齿波信号送入各带通滤波器,测量并记录各滤波器输出幅值。
2. 按锯齿波合成信号调好,观察加法器输出信号。
3. 相位不变。
 - (1) 改变 A_1 幅值,其他不变,观察输出波形。
 - (2) A_1 恢复原来幅值,改变 A_3 幅值,观察基波与 3 次谐波合
 - (3) A_1, A_3 恢复原来幅值,改变 A_5 幅值,观察基波与 3, 5 次谐波合
4. 用同样方法逐个改变各次谐波幅度观察并记录输出

四、实验报告

1. 分析幅值对波形失真的影响。
2. 总结波形分解与合成的调试过程。

其总叠加波形。
在输出端观察结果并记



实验五 非正弦周期信号的分解与合成

一、实验目的

1. 掌握傅氏级数谐波分析方法。
2. 了解不同的非正弦周期信号波形的谐波成分有哪些不同,进一步掌握锯齿波与方波所含频谱的差异。

二、实验仪器

1. XPF-4 型谐波分析实验仪 1 台。
2. 双踪示波器 1 台。
3. 数字万用表 1 个。

三、实验内容

1. 锯齿波波形的分解与合成。
2. 方波波形的分解与合成。

四、实验步骤

1. 锯齿波波形的分解与合成。

(1) 接通实验仪交流 220 V 电源,拨动“电源”开关,指示灯亮。

(2) 将锯齿波信号接入滤波器的输入端,将各通道幅值调到最大,实验接线如图 1-5 所示。

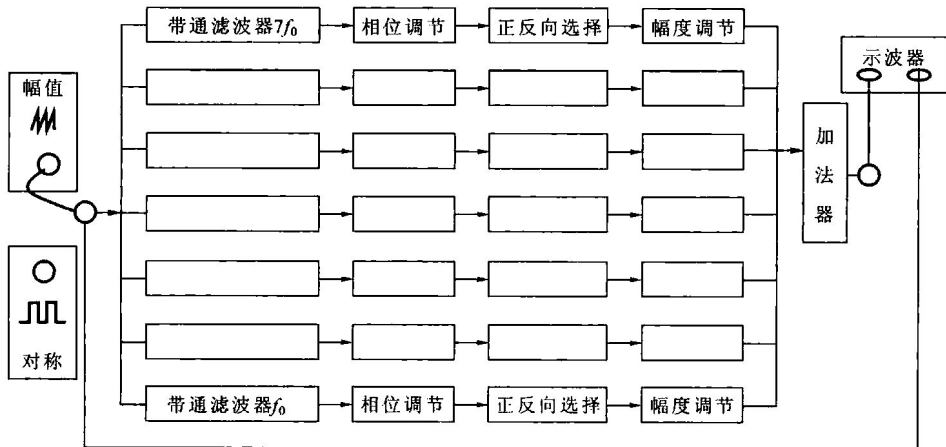


图 1-5 实验接线图

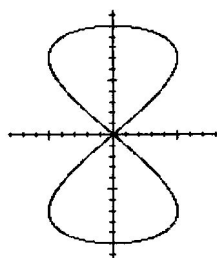


(3) 用示波器和万用表观察、记录各通道输出波形的幅值与频率,并填入表 1-2 中。

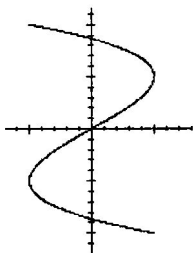
表 1-2 锯齿波的幅频特性

通道	f_0	$2f_0$	$3f_0$	$4f_0$	$5f_0$	$6f_0$	$7f_0$	锯齿波
频率								
有效值/V								

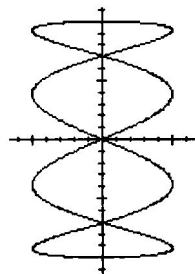
(4) 用李沙育图形法观察与调节各谐波与基波分量的相位差为零。将基波分量相位调节后的波形送示波器的 Y 轴, $2f_0$ 分量相位调节后的信号送示波器的 X 轴。按下示波器上的 X-Y 方式转换按钮 **CH1-X** 键, 屏幕上出现李沙育图形(适当降低示波器的亮度, 以避免示波器荧光粉受损), 调节 $2f_0$ 分量相位, 使李沙育图形满足图 1-6 所示波形。之后, f_0 分量相位调节器不动, 分别观察和调节其他各通道的李沙育图形, 使其满足要求(相位差为 0)。



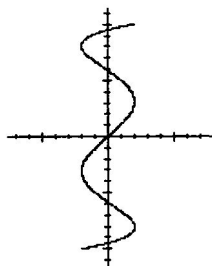
2次谐波与基波



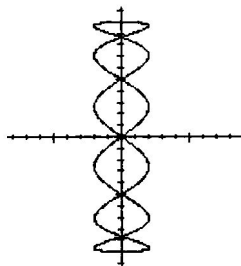
3次谐波与基波



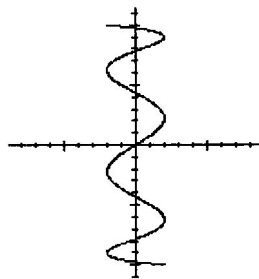
4次谐波与基波



5次谐波与基波



6次谐波与基波



7次谐波与基波

图 1-6 各高次谐波与基波的李沙育图形

(5) 将示波器的一个通道接入加法器的输出端, 另一个通道接入锯齿波的输出端, 恢复示波器的双通道显示方式。将正反向选择开关全部拨向正向, 将 $2f_0 \sim 7f_0$ 开关拨向地端, 观察双通道波形。

(6) 依次打开 $2f_0 \sim 7f_0$ 开关, 观察合成波形的变化, 记录其总叠加波形。

(7) 将基波分别与 $2f_0 \sim 7f_0$ 波形叠加(任选 2 个通道), 在输出端观察结果并记