



An Experimental Guide
to Signal Analysis and Processing

信号分析与处理 实验指导书

钱 玲 虞粉英 李彧晟



科学出版社

信号分析与处理实验指导书

钱 玲 虞粉英 李彧晟 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是与“信号与系统”、“数字信号处理”和“DSP 技术应用”三门课程配套的实验指导书,主要内容包括硬件实验和软件实验,其中,每个实验都给出实验目的、实验原理、实验内容和实验后的思考。硬件实验中仪器的使用说明、软件实验中软件的使用说明均在附录中呈现。本书的特点是覆盖面广、实用性强,通过阅读本书可以了解上述三门课程的精髓。

本书可以作为高等院校电子信息类专业本科生或专科生的实验指导教材,也可供有关技术人员和科研管理人员使用,或作为自学人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

信号分析与处理实验指导书/钱玲,虞粉英,李彧晟编著. —北京:科学出版社, 2012. 3

ISBN 978-7-03-033615-6

I. ①信… II. ①钱…②虞…③李… III. ①信号分析-实验-高等学校-教学参考资料②信号处理-实验-高等学校-教学参考资料 IV. ①TN911-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 028828 号

责任编辑:顾 艳 胡 凯/责任校对:刘亚琦

责任印制:赵 博/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 3 月第一次印刷 印张: 13 1/2

字数: 306 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

“信号与系统”、“数字信号处理”和“DSP 技术应用”是通信工程、电子信息工程、计算机应用技术、电气工程及其自动化等电类专业的重要技术课程,本书是配合这三门课程的实验指导书。

本实验指导书分“信号分析与处理硬件实验篇”和“信号分析与处理软件实验篇”。其中,硬件实验主要是用相关实验仪器和 DSP 集成环境来验证课程中的理论知识和技术方法;软件实验主要是应用 Matlab 软件的集成环境仿真课程中的信号与系统的时域、频域和复频域的波形和频谱、响应和频响,从而达到硬件实验难以达到的效果。

硬件实验篇中,实验 1~实验 4 配合“信号与系统”课程;实验 5~实验 8 配合“数字信号处理”课程;实验 9~实验 15 配合“DSP 技术应用”课程。软件实验篇同时配合“信号与系统”和“数字信号处理”两门课程,其中,实验 16~实验 24 对应“信号与系统”课程的有关章节;实验 25~实验 28 对应“数字信号处理”课程的有关章节。学生在学习和实验过程中可以对应起来参考。附录 A 介绍了硬件实验 1~实验 8 中常用仪器的使用方法,便于读者迅速掌握;附录 B 简单介绍了 Matlab 软件以及相应程序中的 Matlab 函数,便于读者迅速查阅;附录 C 介绍了硬件实验 9~实验 15 中 CCS 开发环境、C 语言开发文件说明、C2000 DSP 教学实验箱的原理和功能,便于读者学习和掌握。

本书由钱玲主编,实验 1~实验 8 以及附录 A 由虞粉英执笔,实验 9~实验 15 以及附录 C 由李彧晟执笔,实验 16~实验 28、附录 B 由钱玲执笔。朱晓华教授对本书进行了主审,徐天成副教授对本书提出了宝贵的建议,编者所在的南京理工大学电子工程系同事对本书提出了诸多修改意见,对本书给予很大帮助。孙理、张燕洪博士研究生和侯亚丽、周文霞硕士研究生在绘图、校订等方面做了大量工作,在此一并表示感谢。

本实验指导书已被南京理工大学多个专业采用,经过三年时间的修改和完善,现正式出版。本书能顺利出版,也要感谢南京理工大学电子工程系苏卫民教授的大力支持。

书中若有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 10 月于南京

目 录

前言

第一篇 信号分析与处理硬件实验篇

实验 1	周期信号的频谱测试	3
实验 2	系统频率响应特性的测量	7
实验 3	信号通过线性系统	10
实验 4	信号的采样和采样定理	15
实验 5	通用 DSP 实现 IIR 滤波器	19
实验 6	通用 DSP 实现 FIR 滤波器	23
实验 7	FIR 滤波器结构的实现	27
实验 8	FFT 分析信号频谱	30
实验 9	DSP 开发基础实验	32
实验 10	任意信号发生器	38
实验 11	DSP 数据采集	42
实验 12	FIR 滤波器的 DSP 实现	57
实验 13	使用 TI 库函数实现 FIR 滤波器	64
实验 14	使用 TI 库函数实现 IIR 滤波器	71
实验 15	基于 DSP 的实时频谱分析	78

第二篇 信号分析与处理软件实验篇

实验 16	熟悉 Matlab 环境与连续时间信号的时域分析	89
实验 17	连续时间信号的时域分析	96
实验 18	连续信号的变换域分析	103
实验 19	连续时间系统的时域分析	109
实验 20	连续时间系统的变换域分析	115
实验 21	傅里叶变换域的应用	121
实验 22	离散时间信号的时域和变换域分析	129
实验 23	离散时间系统的时域与变换域分析	136
实验 24	系统的状态变量分析法	143
实验 25	IIR 数字滤波器的设计	150
实验 26	FIR 数字滤波器的设计	155
实验 27	快速傅里叶变换(FFT)及其应用	160
实验 28	滤波器结构及其量化效应	165

附 录

附录 A 实验仪器使用说明	175
附录 B Matlab 软件简介	178
附录 C DSP 开发实验预备知识	185

第一篇

信号分析与处理硬件实验篇

实验 1 周期信号的频谱测试

1.1 实验目的

- 1) 掌握周期信号频谱的测试方法。
- 2) 了解典型信号频谱的特点,建立典型信号的波形与频谱之间的关系。

1.2 实验原理及方法

1) 信号的频谱可分为幅度谱、相位谱和功率谱,分别是将信号的基波和各次谐波的振幅、相位和功率按频率由低到高依次排列而成的图形。根据信号的频谱可以了解信号包含的频率成分以及各成分的相对变化规律。

2) 周期连续时间信号的频谱具有离散性、谐波性、收敛性。

例如,正弦波、周期矩形脉冲、三角波的波形和幅度谱分别如图 1.1~图 1.3 所示。

(1) 正弦波的波形和幅度谱如图 1.1 所示。

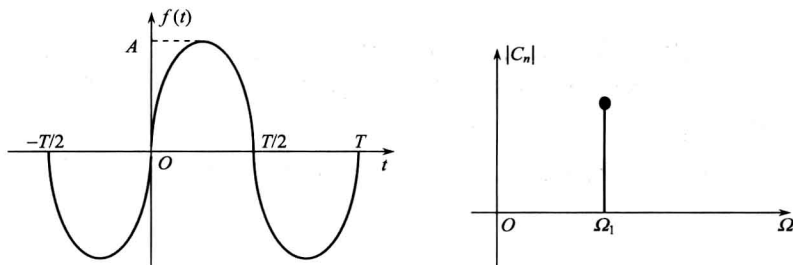


图 1.1 正弦波的波形和幅度谱

(2) 周期矩形脉冲的波形和幅度谱如图 1.2(a)所示。

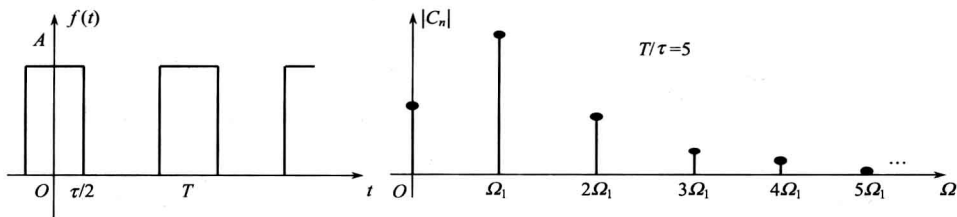


图 1.2(a) 周期矩形脉冲的波形和幅度谱

当周期矩形脉冲的周期 T 变化和 τ 变化时,幅度谱如图 1.2(b)所示。

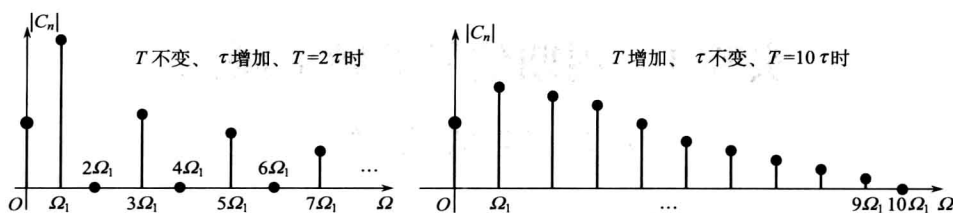


图 1.2(b) 周期矩形脉冲的幅度谱

(3) 三角波的波形和幅度谱如图 1.3 所示。

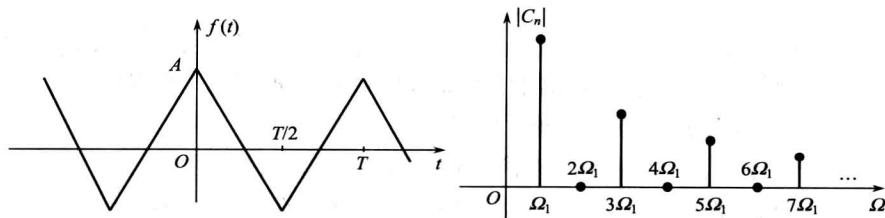


图 1.3 三角波的波形和幅度谱

由于周期信号的频谱具有离散性,因此,频谱的测试方法可用频谱分析仪直接测量,亦可用逐点测量法进行测量,本实验使用“逐点测量法”测量幅度谱。所谓“逐点测量法”就是按频率由低到高将输入信号的各谐波分量一个一个地测量出来。测量中使用的仪器为选频电平表,选频电平表有两种型号,分别为 HX-D21 型和 YX5014 型,其使用方法见附录 A。

1.3 实验前预习内容

- 1) 计算重复频率为 500Hz 的方波、三角波的频谱,并画出频谱图。
- 2) 计算重复频率为 500Hz、脉冲宽度分别为 0.4ms 和 1ms 的对称矩形脉冲的频谱,并画出频谱图。

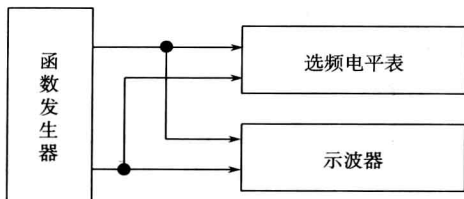


图 1.4 实验原理图

- 3) 利用 Matlab 画出频率分别为 10kHz 与 12kHz 的两正弦信号叠加的时域波形图。

1.4 实验原理图

实验原理如图 1.4 所示。

1.5 实验内容及步骤

1. 测试对称方波的频谱

将函数发生器、示波器、选频电平表按图 1.4 连接好;信号源输出 CH1 的输出波形调为方波(P),输出频率调为 500Hz,输出信号幅度调为 $V_{pp}=10V$;按附录 A 中介绍的选频电平表的使用方法将选频电平表的频率从 200Hz 逐渐提高,测出方波的前九次谐波分量,测量数据填入表 1.1。

表 1.1 对称方波的前九次谐波幅度

$f(n)$									
$ C_n $									

2. 测试三角波的频谱

在实验步骤 1 的基础上,将函数发生器输出 CH1 的输出波形调为三角波(T),频率为 1000Hz,幅度为 $V_{pp}=10V$;用选频电平表测出前九次谐波分量,将测量数据填入表 1.2。

表 1.2 三角波的前九次谐波幅度

$f(n)$									
$ C_n $									

3. 测试周期矩形脉冲的频谱

1) 将函数发生器的输出线接“脉冲”输出端,信号周期(PP)调为 2ms,脉宽(PW)调为 0.4ms,用选频电平表测出信号的前九次谐波分量,填入表 1.3。

表 1.3 周期矩形脉冲的前九次谐波幅度

$f(n)$									
$ C_n $									

2) 将信号的脉宽(PW)调为 1ms,周期(PP)保持 2ms 不变,测出前九次谐波分量,填入表 1.4,并与 1)进行比较。

表 1.4 周期矩形脉冲的前九次谐波幅度

$f(n)$									
$ C_n $									

4. 观测两正弦信号叠加后的波形及频谱

将信号源、示波器、选频电平表和实验板按图 1.5 所示连接好,并将信号源的输出波形均调为正弦波(S)。

1) 将信号源两路输出(CH1,CH2)的频率分别调为 10kHz 和 11.9kHz,信号幅度均调为 $V_{pp}=5V$,观测示波器上的输出波形并定性记录,然后测出其频谱,记录测量数据。

2) 将信号源两路(CH1,CH2)的频率差距加大,即分别调为 500Hz 和 10kHz,幅度仍为 $V_{pp}=5V$,观测示波器上的输出波形并记录,然后测出其频谱,记录测量数据。

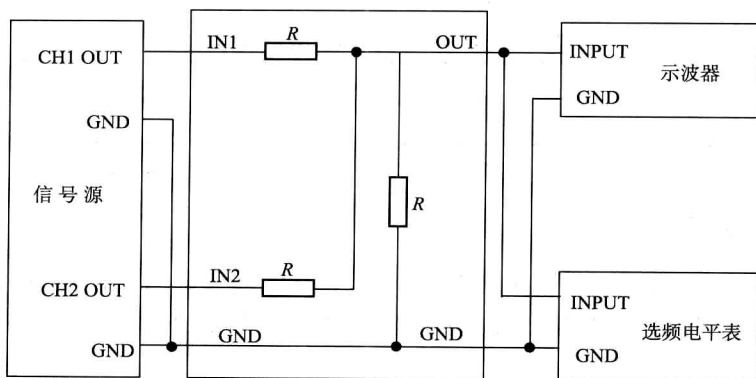


图 1.5 正弦信号叠加的原理图

1.6 实验仪器及设备

双踪示波器一台,函数发生器一台,选频电平表一台,实验板一块。

1.7 实验报告要求

- 1) 叙述实验内容及实验步骤。
- 2) 整理实验数据,并根据实验数据画出频谱图。
- 3) 对“1.5 实验内容及步骤”中第 3 项内容的实验数据进行分析并给出结论。
- 4) 画出实验中观测到的正弦信号叠加的波形,并将实验波形与仿真波形进行比较。
- 5) 说明不同频率正弦信号叠加后信号的特点。若输入信号的频率和幅度发生变化,输出波形有何改变?

实验 2 系统频率响应特性的测量

2.1 实验目的

- 1) 掌握频率响应特性的测量方法。
- 2) 研究典型网络的频率响应特性。

2.2 实验原理

1) 系统的频率响应特性是指系统在正弦信号激励下,系统的稳态响应随激励信号频率变化的情况,用向量形式表示为

$$H(j\Omega) = \frac{Y(j\Omega)}{X(j\Omega)} = |H(j\Omega)| e^{j\varphi(\Omega)} \quad (2.1)$$

其中: $|H(j\Omega)|$ 为幅频特性,表示输出信号与输入信号的幅度比随输入信号频率变化的关系; $\varphi(\Omega)$ 为相频特性,表示输出信号与输入信号的相位差随输入信号频率变化的关系。

2) $H(j\Omega)$ 可根据系统函数 $H(s)$ 求得:

$$H(j\Omega) = H(s) \big|_{s=j\Omega} \quad (2.2)$$

因此,对于给定的电路,可根据 s 域模型先求出系统函数 $H(s)$,再求 $H(j\Omega)$,然后讨论系统的频响特性。

3) 频响特性的测量可分别测量幅频特性和相频特性:对于一稳定系统,在正弦信号激励下,其稳定响应是与激励信号同频率的正弦信号。若激励信号为 $x(t) = A\sin(\Omega_0 t + \varphi_0)$,则系统的稳态响应为 $y(t) = |H(j\Omega_0)| A\sin(\Omega_0 t + \varphi_0 + \varphi(\Omega_0))$ 。由此可见,响应与激励信号的幅度比就是幅频特性在当前频率下的取值,而响应与激励的相位差则是相频特性在当前频率下的取值;当激励信号的频率 Ω_0 发生变化时,响应的幅度及相位就会随之而改变。因此,幅频特性的测试采用改变激励信号的频率,逐点测出响应的幅度,然后用描图法描出响应与激励的幅度比随频率变化的规律;相频特性的测量方法亦可改变激励信号的频率,用双踪示波器逐点测出输出信号与输入信号的延时 τ ,推算出相位差:

$$\varphi(\Omega) = 2\pi \times \frac{\tau}{T} \quad (2.3)$$

当响应超前于激励时, $\varphi(\Omega)$ 为正;当响应落后于激励时, $\varphi(\Omega)$ 为负,然后描出相位差 $\varphi(\Omega)$ 随频率变化的规律。

2.3 实验原理图

图 2.1 中, $R=38\text{k}\Omega$, $C=3900\text{pF}$, 方框内为实验板上的电路。

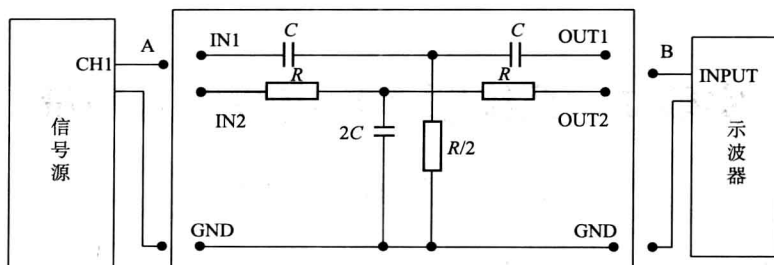


图 2.1 实验原理图

2.4 实验前预习内容

- 1) 写出原理图中高、低通及并联后滤波器网络的电压转移函数。
- 2) 利用 Matlab 画出图中高、低通及并联后滤波器网络的幅频特性及相频特性曲线，并计算截止频率。
- 3) 思考测量输入、输出信号相位差的具体方法。
- 4) 思考测试频响特性时，测试点频率应如何选取。

2.5 实验内容及步骤

将信号源输出 CH1 的信号波形调为正弦波，信号的幅度调为 $V_{pp}=10V$ 。

1. RC 高通滤波器的频响特性的测量

将信号源的输出端(A)接实验板的 IN1 端，滤波后的输出信号 OUT1 接示波器的输入端(B)；根据被测电路的参数及系统的幅频特性，将输入信号的频率从低到高逐次改变十次以上(幅度保持 $V_{ipp}=10V$)，逐个测量输出信号的峰峰值大小(V_{opp})及输出信号与输入信号的相位差 $\varphi(\Omega)$ ，并将测量数据填入表 2.1。

表 2.1 RC 高通滤波器测量数据

V_{ipp}/V	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
f/Hz										
V_{opp}/V										
$\varphi(\Omega)$										

2. RC 低通滤波器的频响特性的测量

将信号源的输出端(A)接实验板的 IN2 端，滤波后的输出信号 OUT2 接示波器的输入端(B)；根据被测电路的参数及系统的幅频特性，将输入信号的频率从低到高逐次改变

十次以上(幅度保持 $V_{ipp}=10V$), 逐个测量输出信号的峰峰值大小 $V_{opp}(V)$ 及 $\varphi(\Omega)$, 并将测量数据填入表 2.2。

表 2.2 RC 低通滤波器测量数据

V_{ipp}/V	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
f/Hz										
V_{opp}/V										
$\varphi(\Omega)$										

3. 双 TRC 带阻滤波器的频响特性的测量

将实验板上的两输入端 IN1 与 IN2 短接, 输出端 OUT1 与 OUT2 短接; 并将信号源的输出端(A)接实验板输入端(IN1 或 IN2), 滤波后的输出端(OUT1 或 OUT2)接示波器的输入端(B)。根据被测电路的参数及系统的幅频特性, 将输入信号的频率从低到高逐次改变十次以上(幅度保持 $V_{ipp}=10V$), 逐个测量输出信号的峰峰值大小 $V_{opp}(V)$ 及 $\varphi(\Omega)$, 并将测量数据填入表 2.3。

表 2.3 双 TRC 带阻滤波器测量数据

V_{ipp}/V	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
f/Hz										
V_{opp}/V										
$\varphi(\Omega)$										

2.6 实验仪器及设备

信号源一台, 双踪示波器一台, 实验板一块。

2.7 实验报告要求

- 1) 叙述实验内容及实验步骤。
- 2) 整理实验数据, 并以 $\lg f$ 为横坐标, V_o/V_i 为纵坐标, 绘制三种滤波器的幅频特性曲线; 以 $\lg f$ 为横坐标, $\varphi(\Omega)$ 为纵坐标, 绘制三种滤波器的相频特性曲线。
- 3) 将实验所得的频率响应特性曲线与仿真图进行比较, 并将测得的各滤波器的截止频率与理论值进行比较, 分析其结果是否一致; 若误差较大则分析误差原因。

实验 3 信号通过线性系统

3.1 实验目的

- 1) 观察对称方波通过线性系统后波形的失真,了解线性系统的频响特性对信号传输的影响。
- 2) 测试线性系统的时域特性——阶跃响应。

3.2 实验原理

3.2.1 对称方波通过电路的波形变化

本实验所采用的激励信号为对称方波,此信号具有极丰富的频率分量,当这样的信号通过线性系统时,若系统的频率响应特性不满足无失真传输的条件,那么方波中的某些频率分量必然被抑制,造成输出信号与输入信号的不同(失真)。若系统的频率响应特性不同,则被抑制的频率亦会不同,输出信号的形状亦不相同。

1. 对称方波通过微分电路(高通滤波器)

微分电路如图 3.1 所示,该电路的时间常数 $T=RC$,若输入的方波的脉宽 τ 远大于电路的时间常数 T ,则输出的波形为尖脉冲;若方波的脉宽 τ 远小于电路的时间常数 T ,则输出的波形近似方波,如图 3.1 所示。

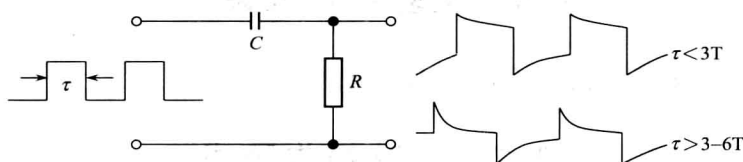


图 3.1 微分电路

从频域角度分析,微分电路实质上是一个高通滤波器,其系统函数为

$$H(s) = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}}$$

其截止频率为

$$\Omega_c = \frac{1}{RC}$$

当方波通过高通滤波器时,基波及低次谐波分量将受到衰减,从而产生平顶失真。而

且 RC 越小(截止频率越大),失真越大,即波形越尖;反之波形失真较小,波形较平坦。

2. 对称方波通过积分电路(低通滤波器)

积分电路如图 3.2 所示,该电路的时间常数为 $T=RC$,若输入的方波的脉宽 τ 远大于电路的时间常数 T ,则输出的波形近似方波;若方波的脉宽 τ 远小于电路的时间常数 T ,则输出的精度大大降低,波形接近三角波,如图 3.2 所示。

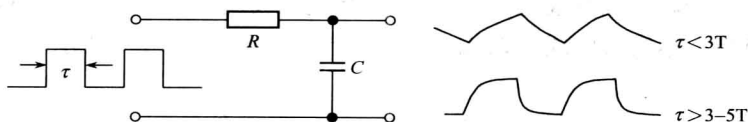


图 3.2 积分电路

同样从频域角度分析,积分电路实质上是一个低通滤波器,其系统函数为

$$H(s) = \frac{1}{RC} \cdot \frac{1}{s + \frac{1}{RC}}$$

其截止频率为

$$\Omega_c = \frac{1}{RC}$$

当方波通过低通滤波器时,高次谐波分量将受到衰减,因而输出信号中只有低频分量,因此输出波形的前沿变倾斜。而且 RC 越大(截止频率越小),前沿倾斜越大,即波形失真越大;反之波形失真较小,波形较接近方波。

3. 对称方波通过 LC 低通滤波器

LC 低滤波器的电路如图 3.3 所示。

LC 低滤波器的截止频率为

$$\Omega_c = 2/\sqrt{(L_1 + L_2)C}$$

当对称矩形脉冲(方波)通过低通滤波器时,频率高于 f_c 的谐波分量将被截止(或衰减)到达不了输出端,只有 $f < f_c$ 的低频分量可以到达输出端,所以当不同频率的方波通过此滤波器时,能通过的频率分量将不同,方波的频率越高,通过的频率分量越少,即失真越大。

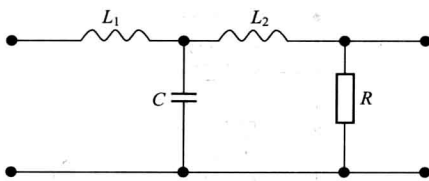


图 3.3 LC 低通滤波器

(1) 若方波的基波分量 $f_1 < f_c$,而三次谐波分量 $f_3 > f_c$,则能通过的只有 f_1 ,即输出端为正弦信号。

(2) 若方波的三次谐波分量 $f_3 < f_c$,而五次谐波分量 $f_5 > f_c$,则能通过的只有 f_1 、 f_3 ,即输出端信号为基次和三次谐波的合成波形。

(3) 若方波的频率 $f \ll f_c$,则通过的谐波分量大大增加,输出波形更接近方波,但此时在波形的前沿将出现一峰值,这就是吉布斯现象。