



信号分析与处理

主讲教师：于淼 齐冬莲

课前准备

主讲教师（**理论课**）：

齐冬莲

13958008868
qidl@zju.edu.cn

玉泉校区电机工程楼208

于 淼

13777467705
zjuyumiao@zju.edu.cn

玉泉校区教2-229

课前准备

主讲教师（**实验课**）：

张建良

13758247189

10910059@zju.edu.cn

玉泉校区电机工程楼219

季瑞松

13486377015

0017688@zju.edu.cn

玉泉校区教9-618

课程资源

MOOC

<https://www.icourse163.org/course/ZJU-1450039178>

学在浙大

<http://courses.zju.edu.cn:8060/course/9312/content#/>

精品课程

http://www.icourses.cn/coursestatic/course_6799.html

实验室

紫金港东3-409

目录

1

概 述

2

相关概念

3

课程内容

概述

信息时代的特征——

用**信息科学**和计算机技术的理论和手段来解决
科学、工程和经济问题

概述

1. 信号分析与处理的问题无处不在

- 古老通讯方式：烽火、旗语、信号灯
- 近代通讯方式：电报、电话、无线通讯
- 现代通讯方式：计算机网络通讯、视频电视传播、卫星传输、移动通讯



概述

2. 已渗透到现代自然科学和社会科学的所有领域

- 工业监控、地震预报、人工智能、交通监控
- 宇宙探测、军事侦察、武器技术、指挥系统
- 经济预测、财务统计、市场信息、股市分析
- 新闻传媒、影视制作、远程教育、虚拟手术

概述

实例1：谐波分析

□ 电网正常情况下，供电频率允许误差：

□ 装机容量 ≥ 300 万Kw，为 $\pm 0.2\text{Hz}$

□ 装机容量 < 300 万Kw，为 $\pm 0.5\text{Hz}$

□ 电网非正常状况下，供电频率允许误差不应超过 $\pm 1.0\text{Hz}$

电弧炉

电网

幅度

频谱分析

50

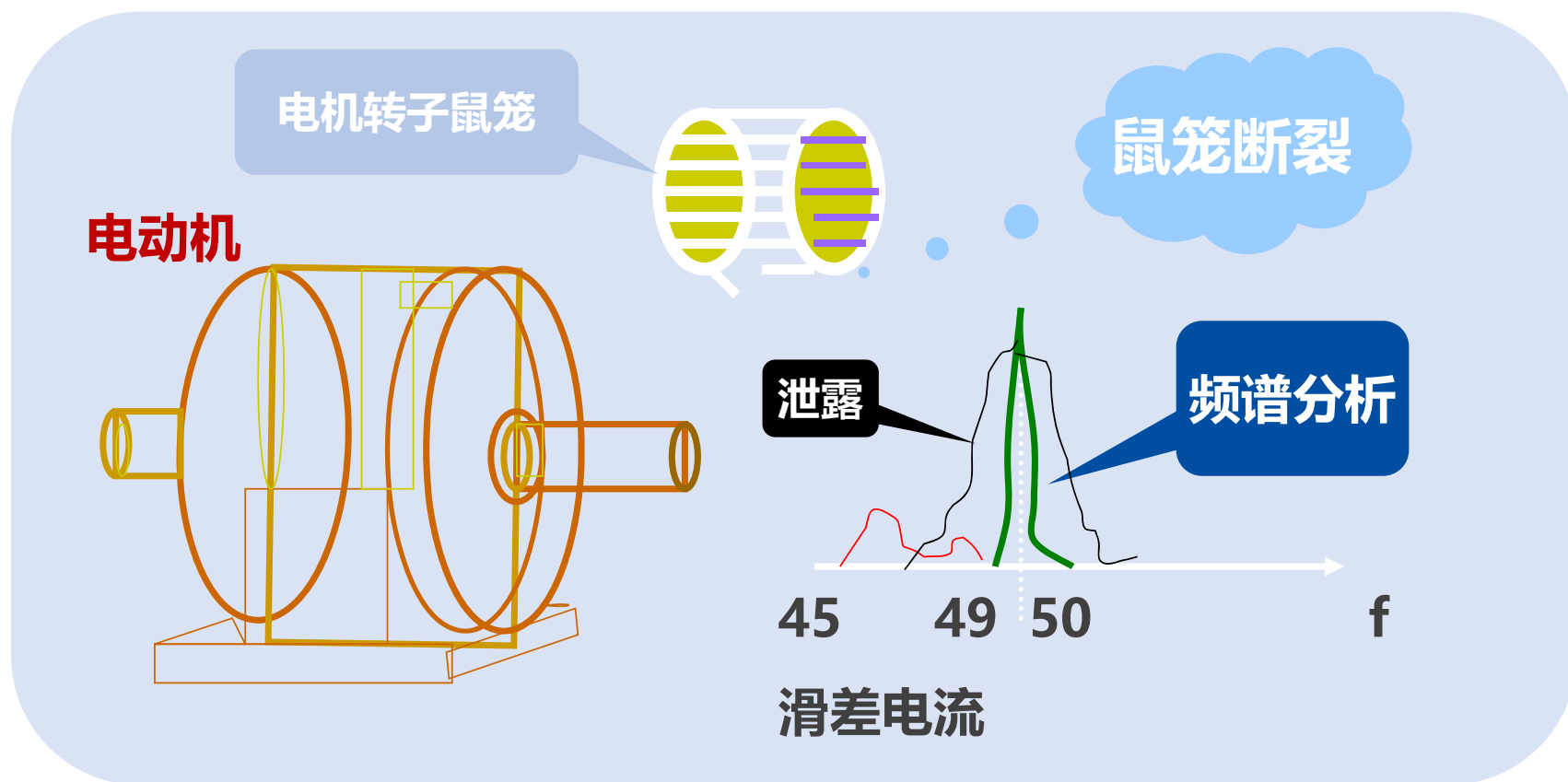
250

f

什么是谐波？
电网谐波的危害？

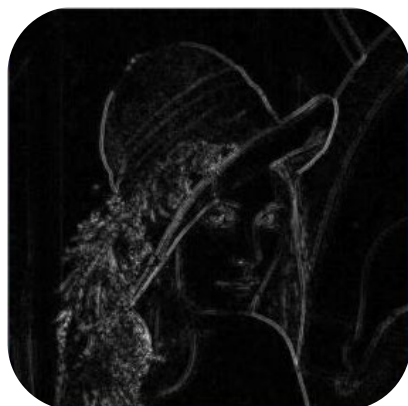
概述

实例2：故障诊断—电动机鼠笼断条



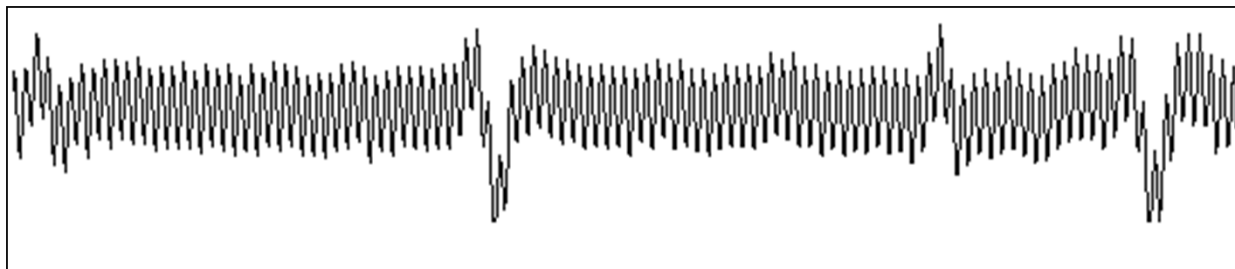
概述

实例3：图像的边缘检测

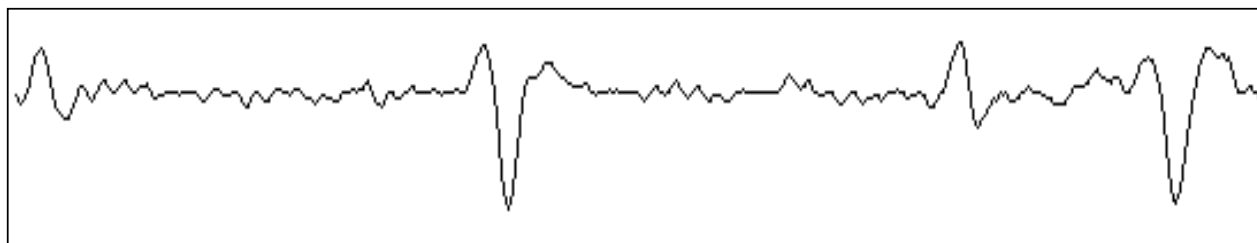


概述

实例4：生物医学信号的滤波



滤波以前干扰严重



滤波以后干扰消除

目录

1

概 述

2

相关概念

3

课程内容

相关概念

■ 要解决

表示信息的语言、文字、图像、数据等

人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的抽象内容

声、光、电等运载消息的物理量

• 什么是信号?

信号是**消息**的表现形式，**信息**是消息的抽象内容，消息则是**信号**的具体内容。

• 什么是系统?

系统是由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体。

• 信号作用于系统产生什么响应?

信号-信息-消息

2021年央视春晚



类比

信号

信号是便于传送和交换的声、光、电等运载消息的物理量

载体

各省收视率



类比

消息

消息是能够表示信息的语言、文字、图像、数据等

内容

“北热南冷” 原因

	北方	南方
文化差异	春晚以北方年俗为主，北方喜爱的相声、小品等语言类节目是卖点	
气候原因	天寒地冻待在家	气候温暖出门玩
折射经济	南盛北衰的现状，是中国经济新旧更替的折射	
	

类比

信息

信息是指需要传送、交换、存储和提取的内容，具有抽象性，只有通过一定的形式才能把它表现出来

信息是消息所包含的内容，信号是消息的载体

相关概念

1、信号的描述

- 物理上：信号是信息寄寓变化的形式
- 数学上：信号是一个或多个变量的函数
- 形态上：信号表现为一种波形
- 信号的自变量
 - 时间、位移
 - 周期、频率、幅度、相位

- 信号是时间 t 的函数
 - 具有一定的波形，表现出一定波形的时间特性
- 信号是频率 f 的函数
 - 在一定条件下，信号通常可以分解为不同频率的正弦分量，不同的信号包含大小不同的频率分量、主要频率占有不同的范围等，这就是信号的频率特性

相关概念

1、信号的描述

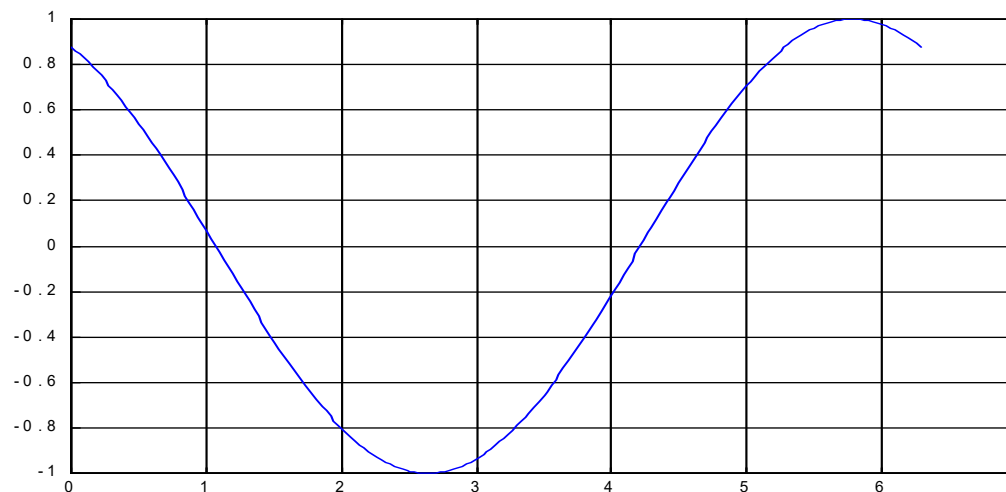
信号的数学描述——**表达式**

$$y = A \cos(x + 0.5)$$

周期= 2π

相位= 0.5

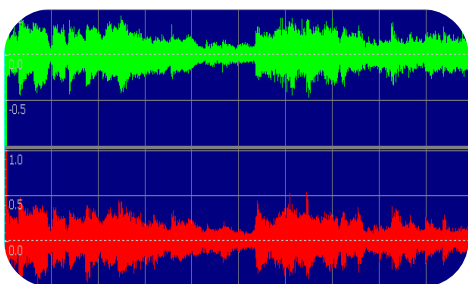
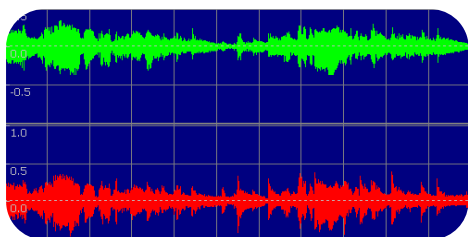
幅度= A



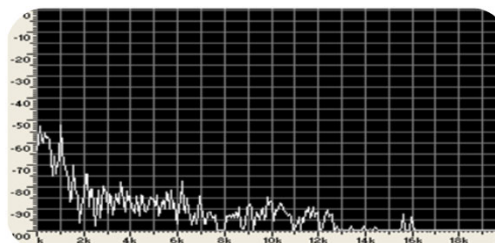
相关概念

1、信号的描述

信号的波形图描述



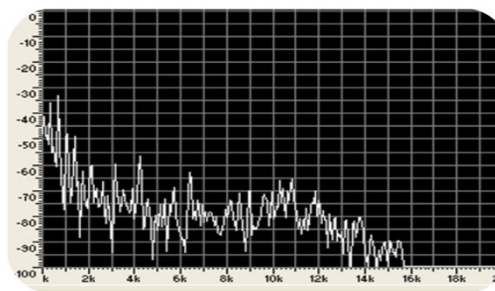
能被人耳听到的声音的振动频率在20-20kHz之间
人声的频率范围是300Hz-3400Hz



男声



男声的平均基频为216Hz



女声

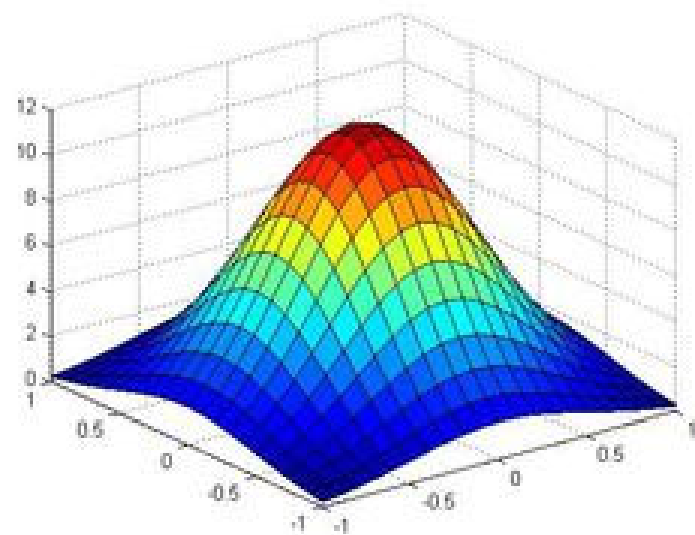
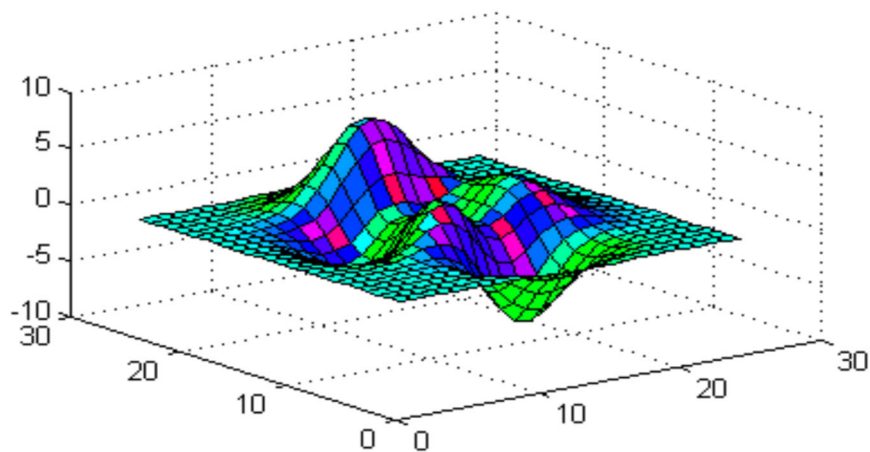


女声的平均基频为320Hz

相关概念

1、信号的描述

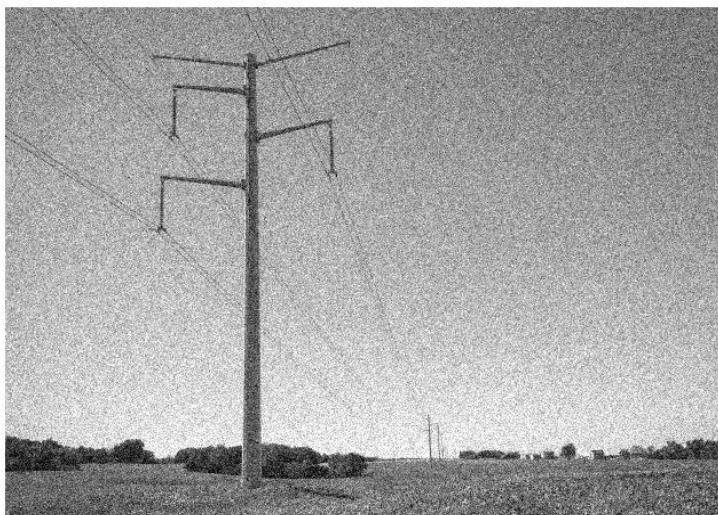
信号的三维描述



相关概念

1、信号的描述

图像



黑白平面图像，由位于平面上不同位置的灰度像素点组成

相关概念

2、信号的分类

1 确定性信号与随机信号

2 连续信号与离散信号

3 周期信号与非周期信号

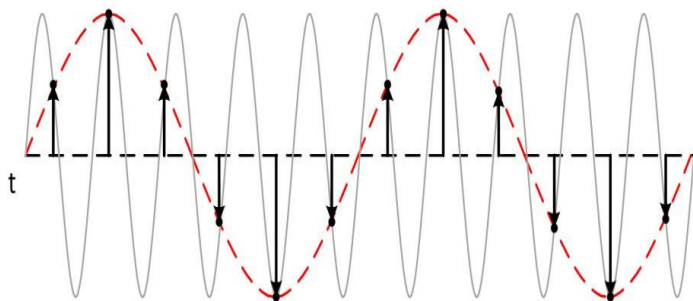
4 能量信号与功率信号

相关概念

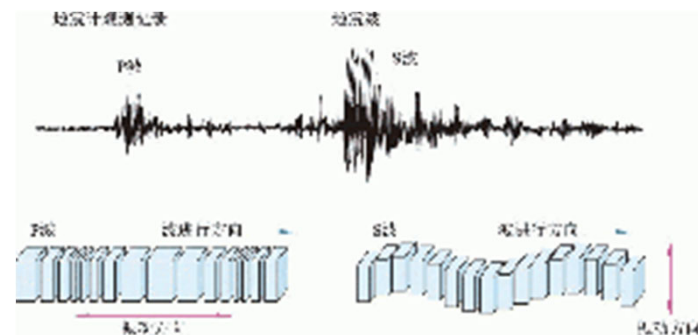
2、信号的分类

(1) 确定性信号与随机信号

- 确定性信号：按确定性规律变化
 - 可以用数学解析式或确定性曲线准确地描述，在相同条件下能够重现
 - 只要掌握了变化规律就能准确地预测它的未来。如：正弦信号等



- 随机信号：不遵循任何确定性规律变化
 - 未来值不能用精确的时间函数描述，只能知道它的统计特性，无法准确地预测
 - 在相同的条件下，也不能准确地重现。如：马路上的噪声、生物电、地震波等



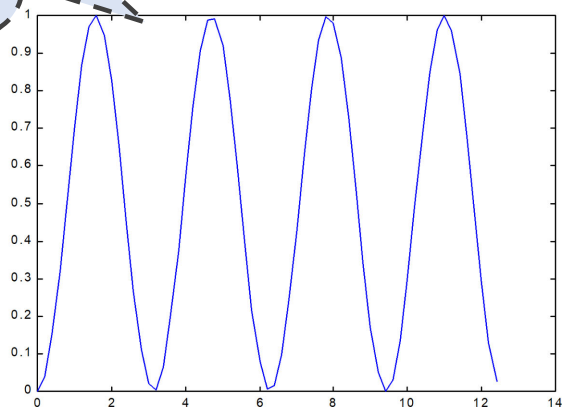
相关概念

2、信号的分类

(2) 连续信号与离散信号

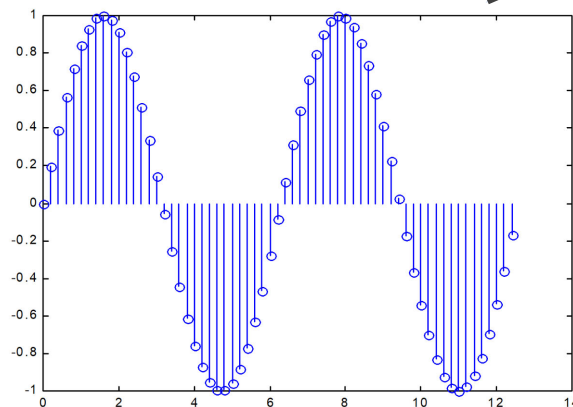
自变量连续可变，信号在自变量的连续值上都有定义

连续信号



自变量取一组离散值，信号仅定义在离散时刻点上

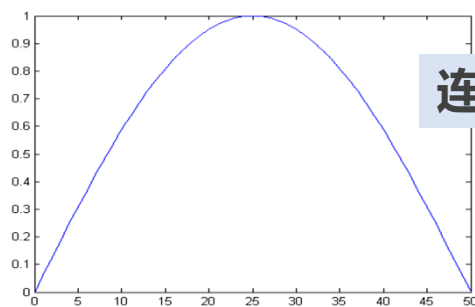
离散信号



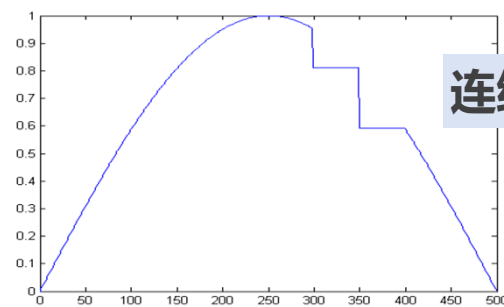
相关概念

2、信号的分类

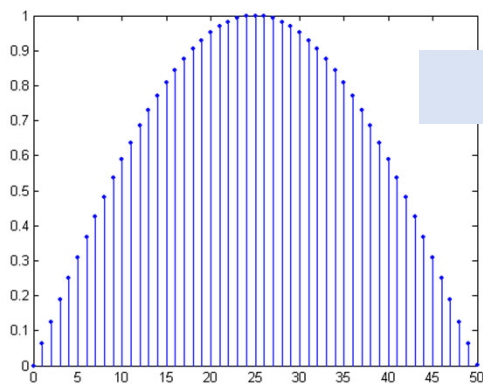
(2) 连续信号与离散信号



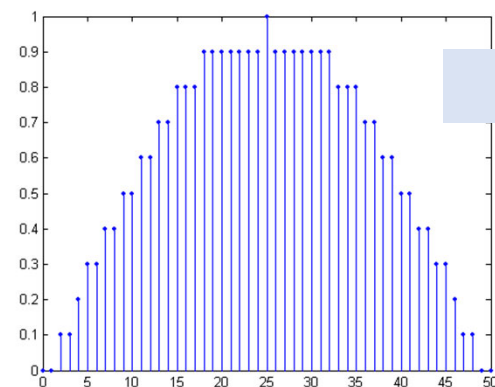
连续信号 (模拟信号)



连续信号 (幅度不连续)



离散信号



数字信号

相关概念

2、信号的分类

(3) 周期信号与非周期信号

- 周期信号：

- 对于连续信号，若存在 $T > 0$ ，使

- $X(t) = x(t + nT)$

n 为整数

- 对于离散信号，若存在大于零的整数 N ，使

- $X(n) = x(n + kN)$

k 为整数

- 则称 $x(t)$ 、 $x(n)$ 为周期信号， T 和 N 分别为 $x(t)$ 和 $x(n)$ 的周期

- 非周期信号：不具有周期的信号

- 可看作周期无穷大的周期信号

相关概念

(3) 周期信号与非周期信号

- 离散周期信号的基本周期N和基本角频率 Ω

- 基本周期：满足 $X(n)=x(n+kN)$ 的**最小**N

- 基本角频率：
$$\Omega = \frac{2\pi}{N}$$

Ω 的量纲为**弧度**

相关概念

2、信号的分类

(4) 能量信号和功率信号

- 信号的能量

$$W = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |x(t)|^2 dt$$

- 信号的平均功率

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x^2(t) dt$$

◆ 能量信号：W为有限值，P=0 (如,单个矩形脉冲信号)

◆ 功率信号：P为不等于零的有限值 (如,幅度有限的周期信号)

◆ 即非能量信号又非功率信号：W为无穷值，P=0

相关概念

- 例：证明幅度有限的周期信号必定是功率信号。

证明 周期信号在一个周期内的能量是

$$E_1 = \int_{t_1}^{t_1+T_0} |x(t)|^2 dt$$

其中 t_1 是任意时间，由于周期相同，在 n 个周期中信号的能量为

$$E_n = n \cdot E_1 = n \cdot \int_{t_1}^{t_1+T_0} |x(t)|^2 dt$$

对所有时间（即全部周期）的平均信号功率就是信号功率

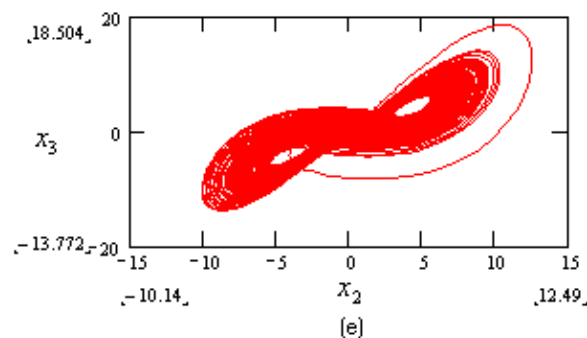
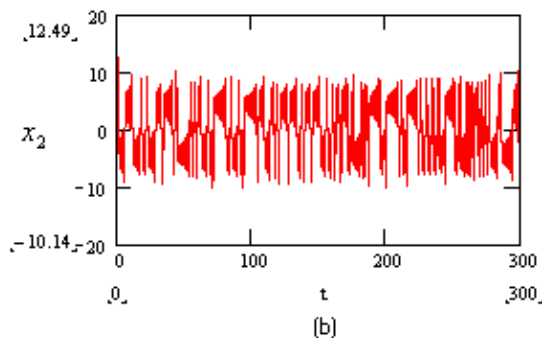
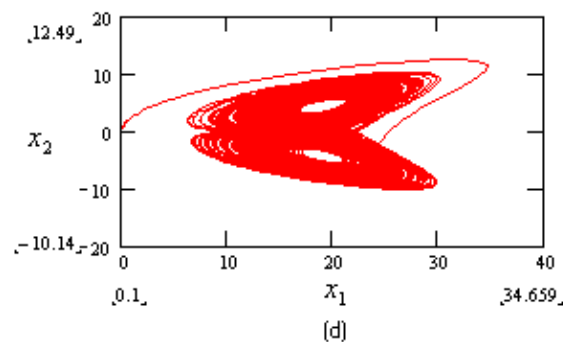
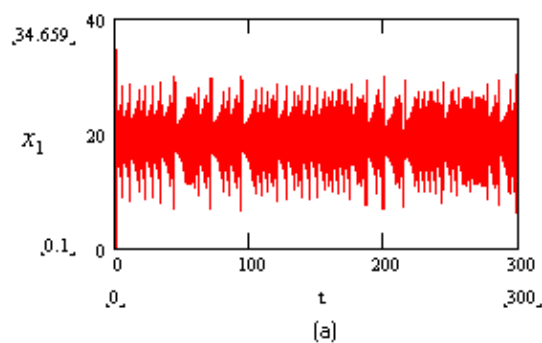
$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{E_n}{nT_0} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{T_0} \cdot \int_{t_1}^{t_1+T_0} |x(t)|^2 dt$$

P 为有限值，得证

相关概念

□ 扩展学习：混沌 (chaos) 信号

- 通俗地讲，混沌信号是一种貌似随机实际上遵循严格规律产生的信号



相关概念

3、信号处理系统

- ◆ 信号分析 是揭示信号自身的特性（时域、频域特性），以及信号发生某些变化时其特性的相应变化
- ◆ 信号处理 是指通过对信号的加工和变换，把一个信号变换成另一个信号的过程
- ◆ 系统 是由若干相互联系的单元组成的、具有某种功能有机整体
- ◆ 系统和信号相互依存
 - 要产生信号并对信号进行传输、处理和转化，需要一定的物理装置（系统）
 - 系统在外加信号作用下将产生某种反应，这种外加信号称为系统的输入或激励，相应的反应称为系统的输出或响应
 - 系统和系统之间通过信号来联系，信号则在系统之间以及系统内部流动

相关概念

系统研究的内容和方法

建立系统的数学模型
(用数学表示式来表征系统的特性) 或物理模型
(用具有理想特性的符号组合成图形来表征系统的特性)



数学方法求出数学模型
或物理模型的解答



对所得的结果做出物理解释，
赋予物理意义

连续系统的系统分析：列写微分方程→ 求解微分方程

离散系统的系统分析：列写差分方程→ 求解差分方程

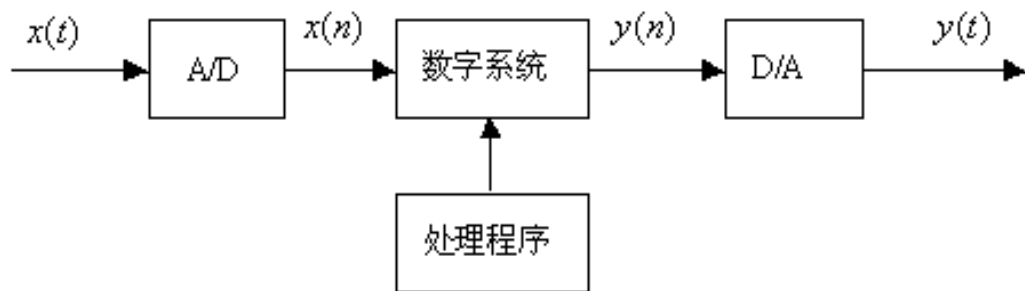
相关概念

3、信号处理系统

- 模拟信号处理系统：**输入模拟信号，通过模拟元件及模拟电路构成的模拟系统的加工、处理，输出的仍然是模拟信号



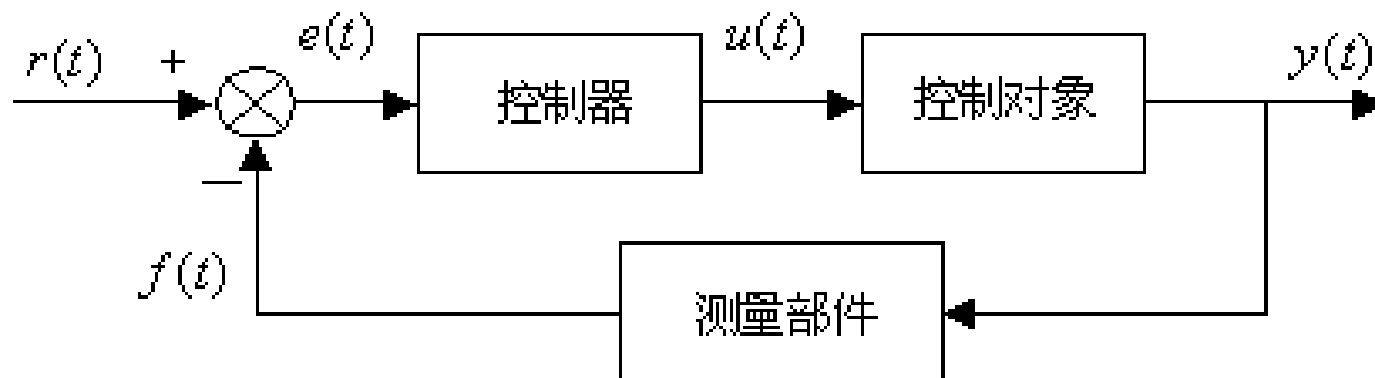
- 数字信号处理系统：**用数字计算机的运算功能代替模拟电路装置，达到信号加工变换的目的



相关概念

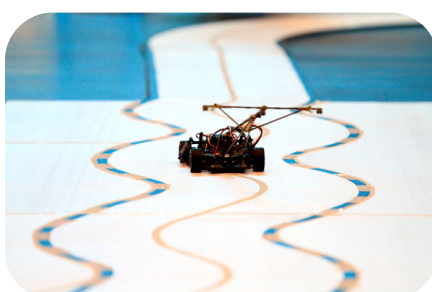
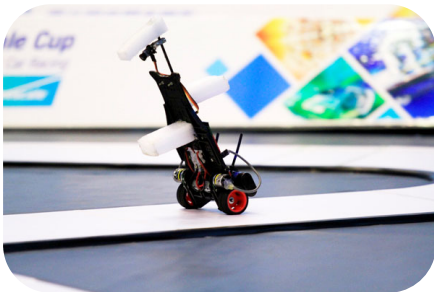
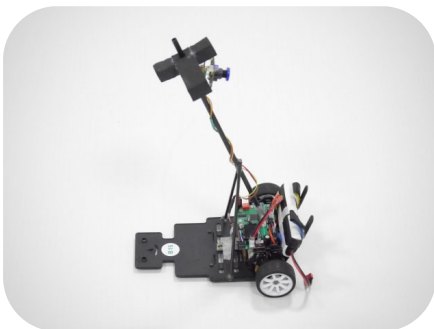
4、信号分析、处理与自动控制系统

- 自动控制系统**：由相互制约的若干部分组成，为达到某一控制目的具有一定功能的整体，它利用控制器使控制对象的物理量自动地按预定的规律变化



相关概念

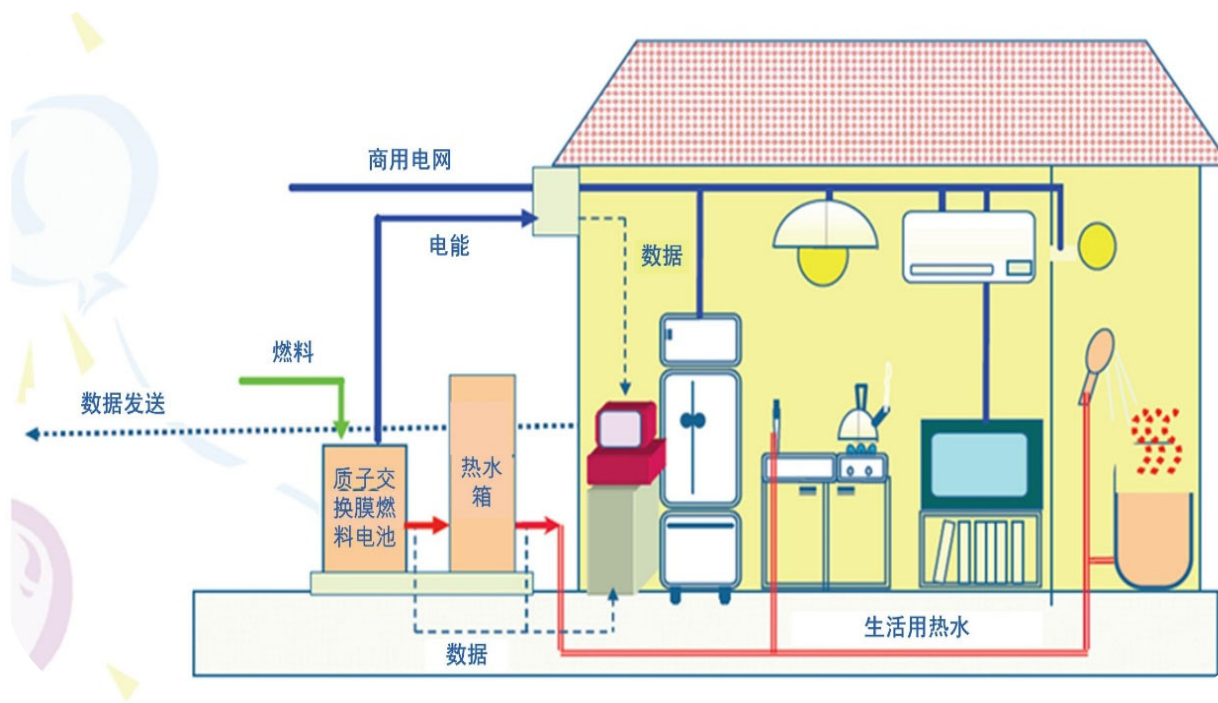
4、信号分析、处理与自动控制系统



智能车系统

相关概念

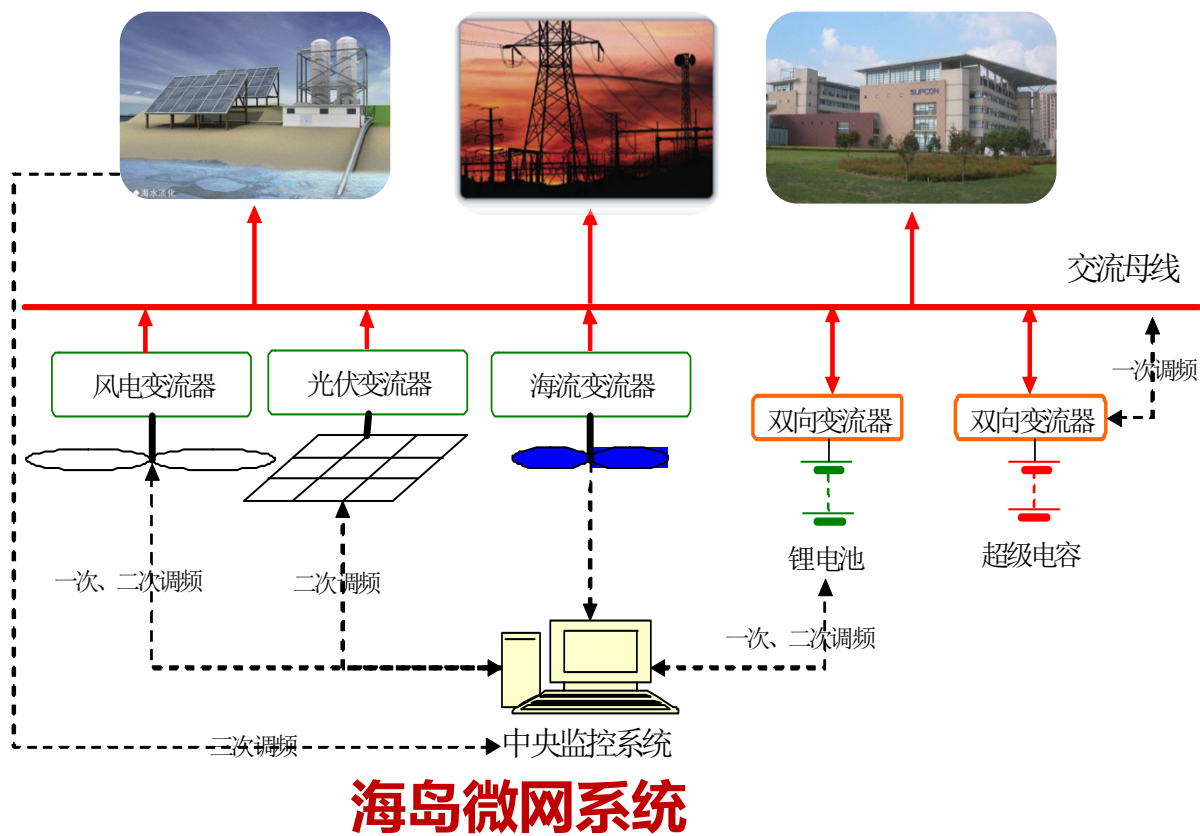
4、信号分析、处理与自动控制系统



冷热电联供系统

相关概念

4、信号分析、处理与自动控制系统



目录

1

概 述

2

相关概念

3

课程内容

课程内容

第二章 连续信号的分析

- ◆ 信号的时域分析：基本信号、奇异信号，时域运算，信号的分解
- ◆ 频域分析：傅立叶变换，傅立叶变换的基本性质，卷积定理和抽样定理
- ◆ 拉普拉斯变换分析：信号的拉普拉斯变换，复频域分析

第三章 离散信号的分析

- ◆ 连续信号的离散化和采样定理
- ◆ 离散信号的时域分析：基本信号、奇异信号，时域运算
- ◆ 离散信号的频域分析：从DFS到DFT，FFT
- ◆ 离散信号的Z域分析：从拉氏变换到Z变换、收敛域、基本性质、用Z变换解差分方程

课程内容

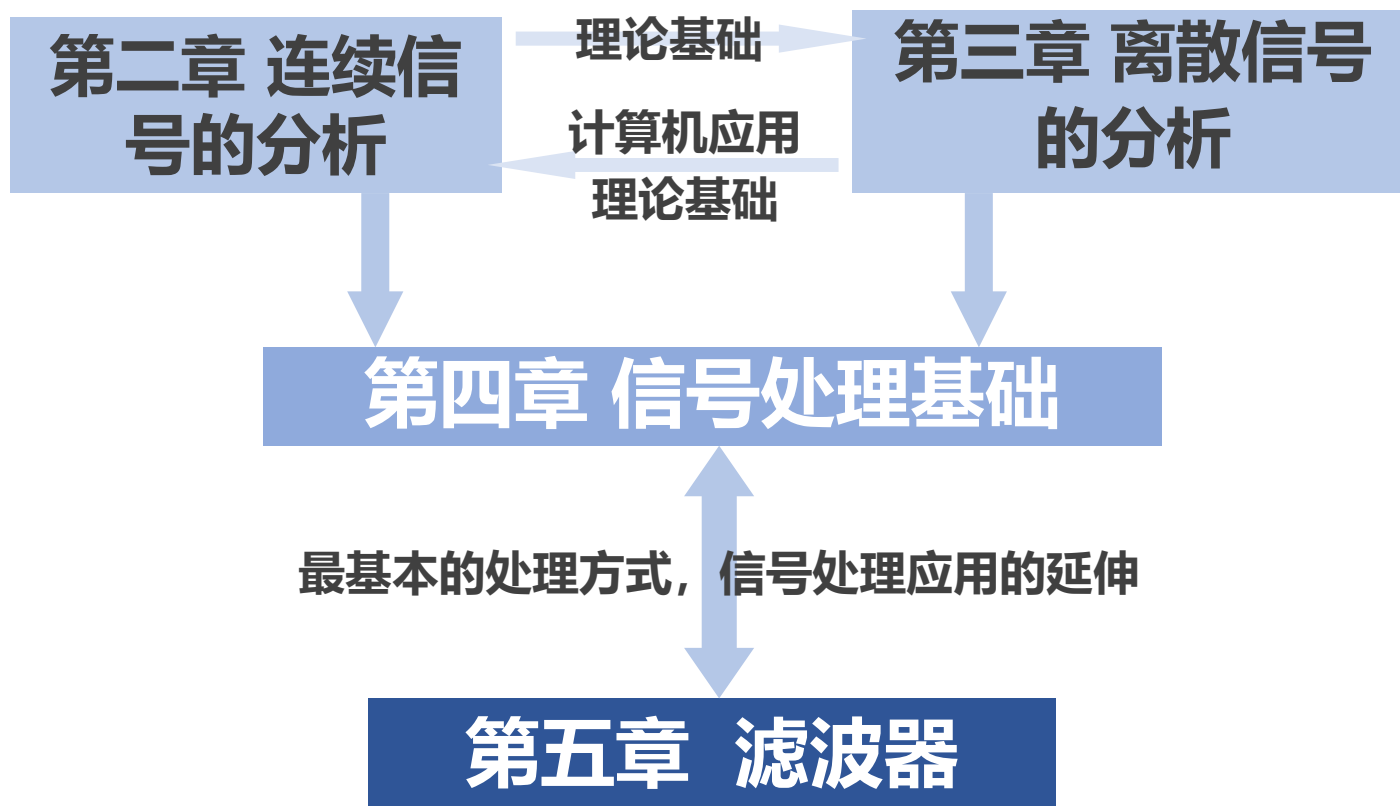
第四章 信号处理基础

- ◆ 系统及其性质
- ◆ 信号的线性系统处理：时域分析法，频域分析法，复频域分析法

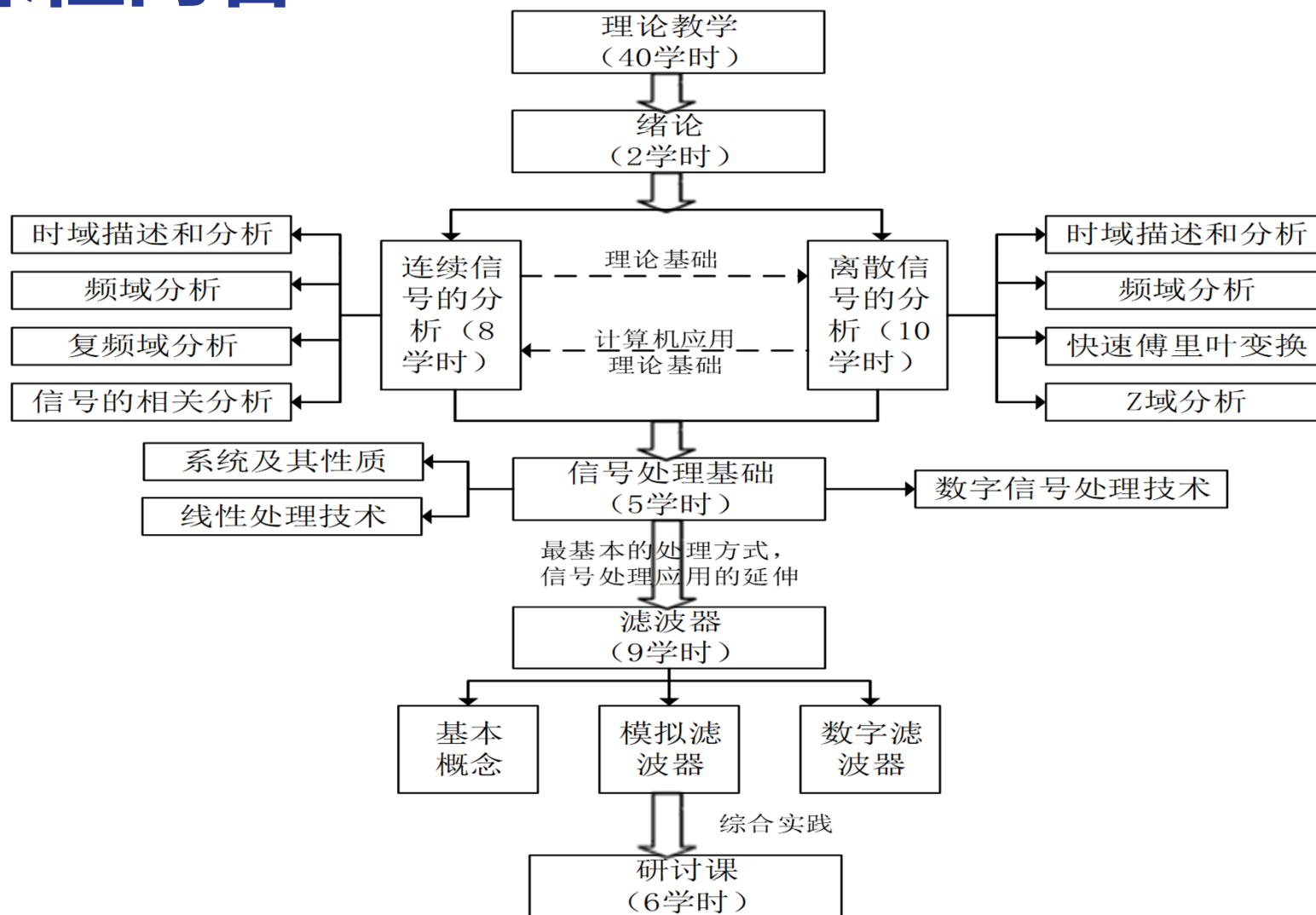
第五章 滤波器

- ◆ 概述：滤波器的定义、分类、技术指标
- ◆ 模拟滤波器设计：巴特沃思低通滤波器、切比雪夫低通滤波器，其它类型滤波器
- ◆ 数字滤波器设计：IIR数字滤波器，FIR数字滤波器

课程内容



课程内容



课程内容

• 研讨课

可选题目

- 题目1：电力系统谐波分析
- 题目2：数字滤波器的典型应用
- 题目3：多速率信号处理技术及其应用
- 题目4：FFT及其工程应用
- 题目5：电气系统中的过采样和欠采样
- 题目6：电气系统的信号采样与滤波
- 题目7：无人机巡线视频图像分析
- 题目8：移动机器人路径识别
- 题目9：声控系统设计
- 题目10：……

具体要求

- 每小组人数不能多于3人
- 可围绕信号分析与处理相关内容，结合具体应用背景，自由选题，或结合SRTP、省创和国创选题
- 提交研究报告，需按照学术论文格式撰写，包括题目、作者、摘要、引言、正文和参考文献等
- 提交8分钟的汇报PPT
- 提交MATLAB源代码，并可现场演示

课程内容

学习要点

- 注重物理含义，避免繁琐的公式推导
- 明白为什么
- 注重实践

课程内容

参考书目

- 《信号与系统》，Alan V.Oppenheim等著，刘树堂译，西安交通大学出版社
- 《信号、系统与信号处理》，吴湘淇编著，电子工业出版社
- 《应用Web和Matlab的信号与系统基础》，Edward W Kamen等著，高强等译，电子工业出版社
- 《信号与系统例题分析及习题》，乐正友、杨为理、应启珩著，清华大学出版社

课程内容

电子期刊

- 数据采集与处理
- 信号处理
- 自动化学报
- IEEE Transactions on Signal Processing
- IEEE Signal Processing Letters
- IEEE Signal Processing Magazine
- IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing
- IET Signal Processing

课程内容

课程网站

- 麻省理工学院开发课程信号与系统 Signals and Systems
 - <http://www.myoops.org/cocw/mit/Electrical-Engineering-and-Computer-Science/6-003Fall-2003/CourseHome/index.htm>
- 犹他州立大学 Signals and Systems
 - http://www.myoops.org/cocw/usu/Electrical_and_Computer_Engineering/Signals_and_Systems/index.htm
- Signals and Systems at Uppsala University
 - <http://www.signal.uu.se/>
- Signals and Systems at Berkeley university
 - <http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/eecs20/>
- Signals and Systems at University of Wisconsin-Madison
 - <http://www.engr.wisc.edu/ece/courses/ece330.html>
- Signals and Systems Lab at COMSOL Group
 - <http://www.comsol.com/products/signal/>
- Foundation Course on Signals and Systems - DEP
 - <http://www.dep.iitb.ac.in/spring04/signals/index.html>

课后作业

作业： P7

- 2: (1)-(4)
- 4: (1)-(3)

预习：

- 连续信号的时域描述和分析
- **MATLAB仿真软件**



谢谢大家