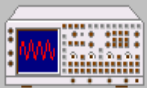


第6章 数字信号处理技术

本章学习要求：

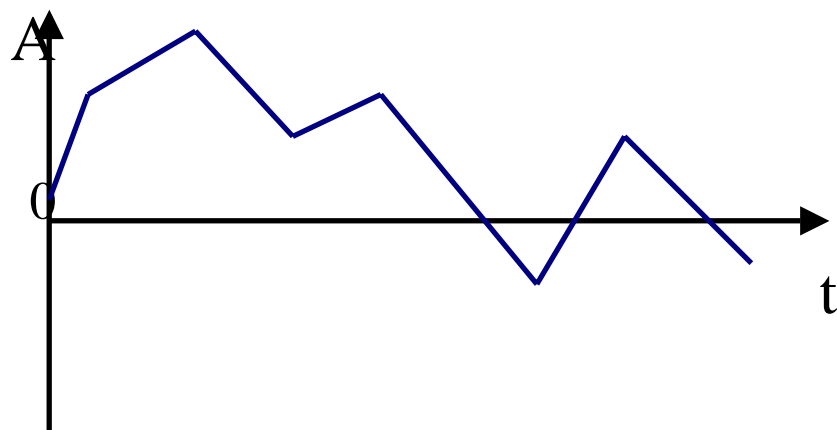
- 1.了解信号模数转换和数模转换原理
- 2.掌握信号采样定理，能正确选择采样频率
- 3.了解数字信号处理中信号截断、能量泄露、栅栏效应等现象
- 4.掌握常用的数字信号处理方法



6.1 数字信号处理概述

6.1.1 数字信号处理的主要研究内容

数字信号处理主要研究用数字序列来表示测试信号，并用数学公式和运算来对这些数字序列进行处理。内容包括数字波形分析、幅值分析、频谱分析和数字滤波。



$X(0)$

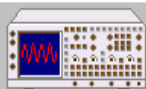
$X(1)$

$X(2)$

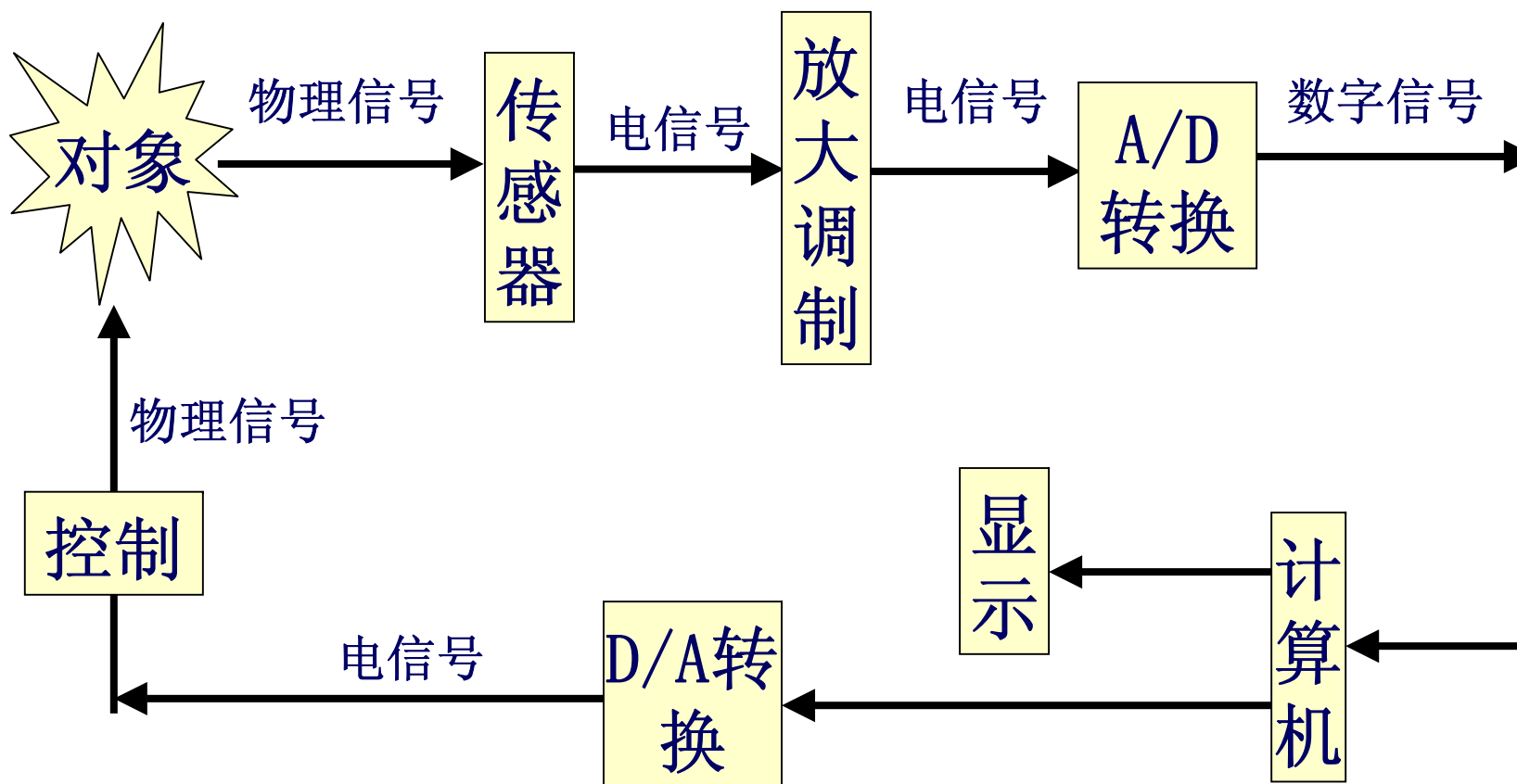
$X(3)$

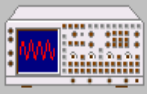
$X(4)$

$$E = \frac{1}{N} \sum X(i)$$



6.1.2 测试信号数字化处理的基本步骤



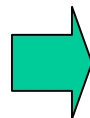
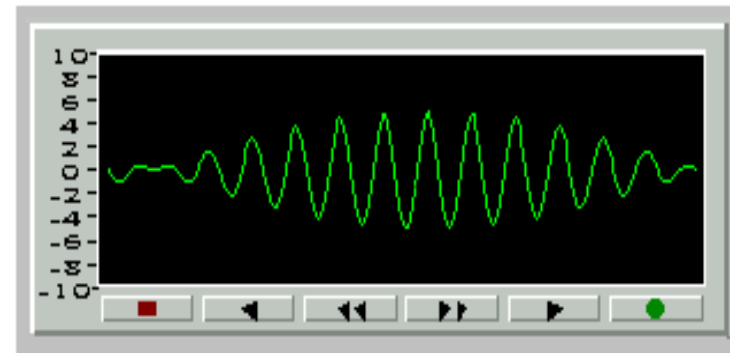
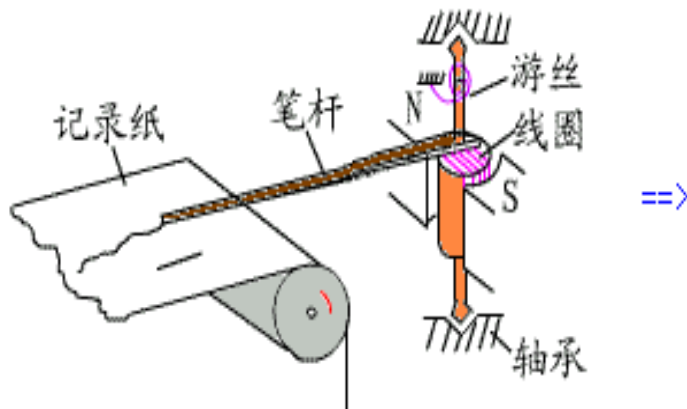


6.1 数字信号处理概述

华中科技大学机械学院

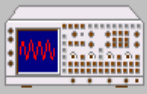
6.1.3 数字信号处理的优势

1) 用数学计算和计算机显示代替复杂的电路和机械结构



$$E[x^2(t)] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N x^2(n)$$



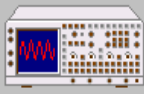


6.1 数字信号处理概述

2) 计算机软硬件技术发展的有力推动

a) 多种多样的工业用计算机。

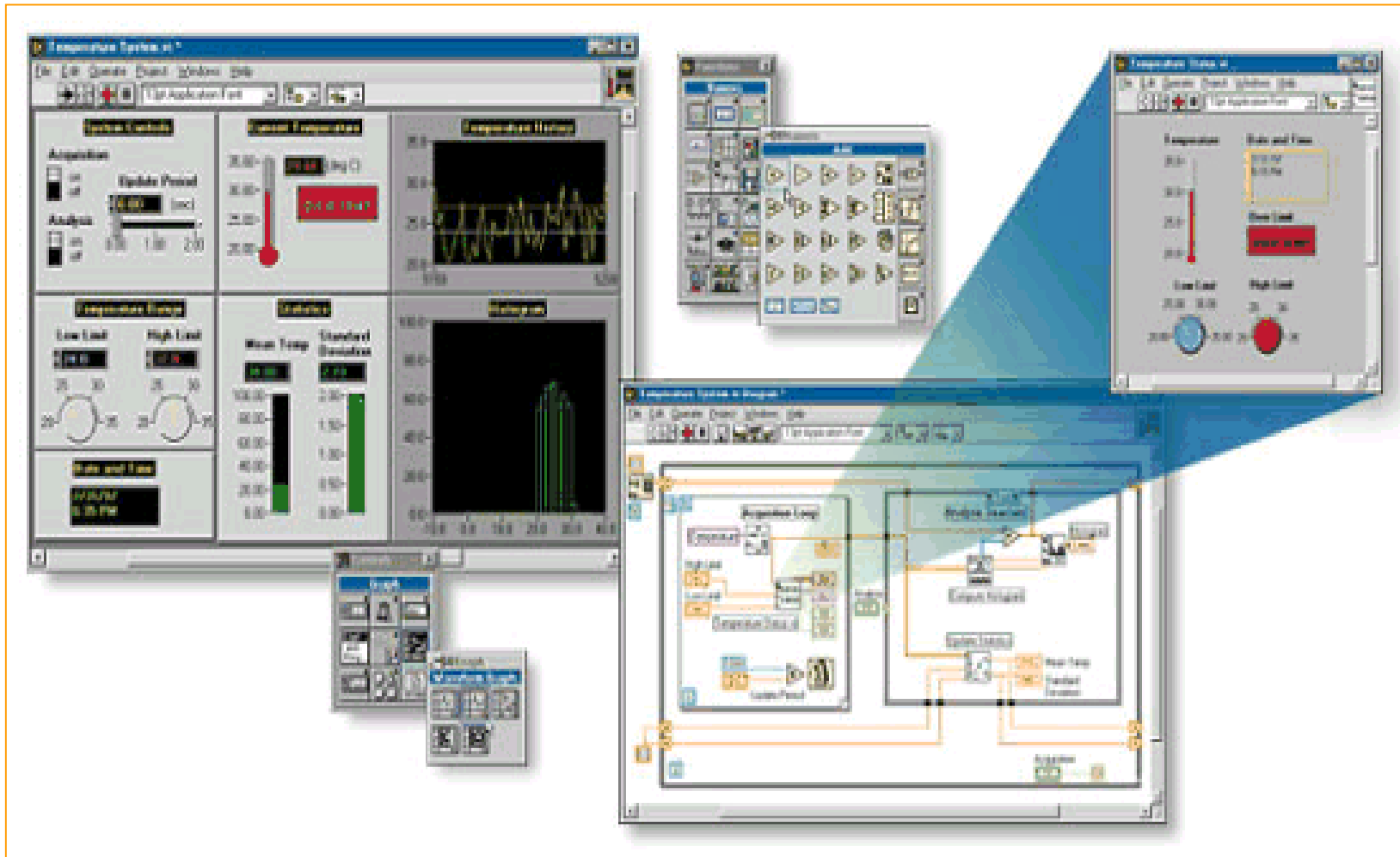


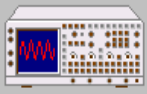


6.1 数字信号处理概述

华中科技大学机械学院

b) 灵活、方便的计算机虚拟仪器开发系统





6.1 数字信号处理概述

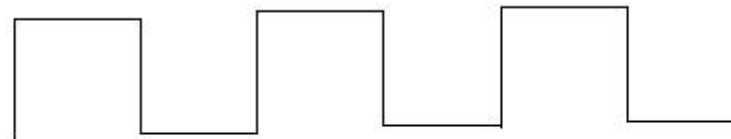
华中科技大学机械学院

案例：铁路机车FSK信号检测与分析

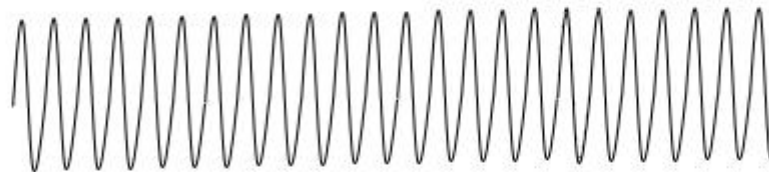
京广线计划提速到200公里/小时

合作任务：机车状态信号识别(频率解调)

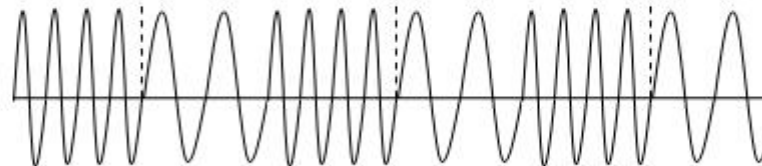
机车状态



载波

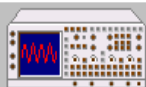


发射信号



虚拟仪器设计方案





6.1 数字信号处理概述

华中科技大学机械学院

仿真计算

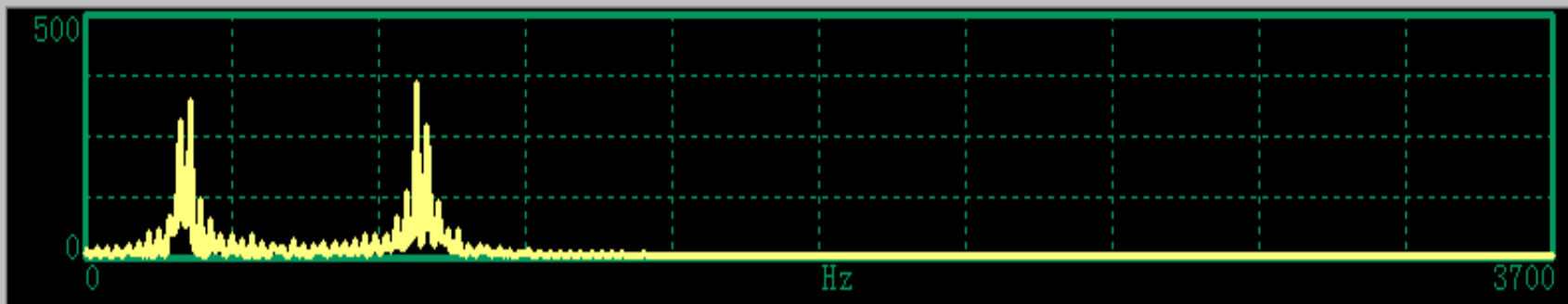
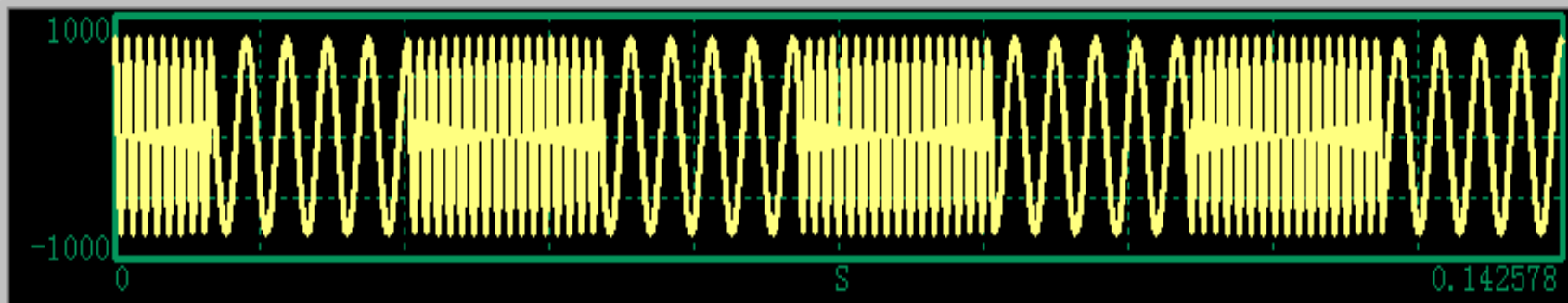
中心频率 550

偏频 300

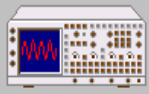
低频 26

幅值 800

采样频率 5120

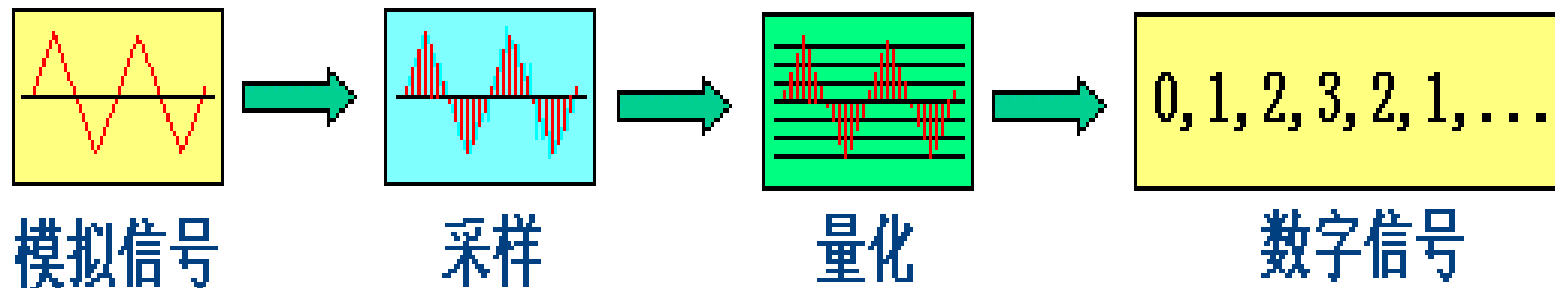


铁路机车FSK通信信号模拟实验系统



6.2 模数(A/D)和数模(D/A)

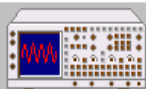
6.2.1 A/D转换



采样——利用采样脉冲序列，从信号中抽取一系列离散值，使之成为采样信号 $x(nT_s)$ 的过程。

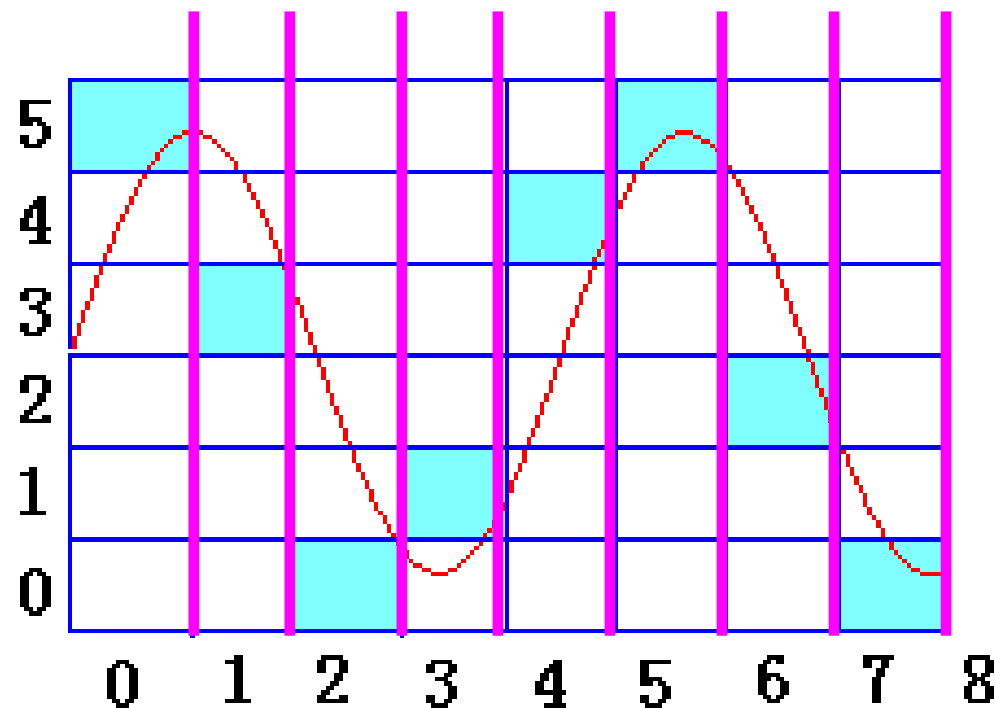
量化——把采样信号经过舍入变为只有有限个有效数字的数，这一过程称为量化。

编码——将经过量化的值变为二进制数字的过程。



6.2 模数(A/D)和数模(D/A)

华中科技大学机械学院



$$x(1) = 5$$

$$x(5) = 4$$

$$x(2) = 3$$

$$x(6) = 5$$

$$x(3) = 0$$

$$x(7) = 2$$

$$x(4) = 1$$

$$x(8) = 0$$

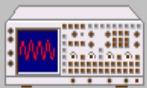
信号的6等份量化过程

4位A/D: XXXX

$$X(1) \rightarrow 0101$$

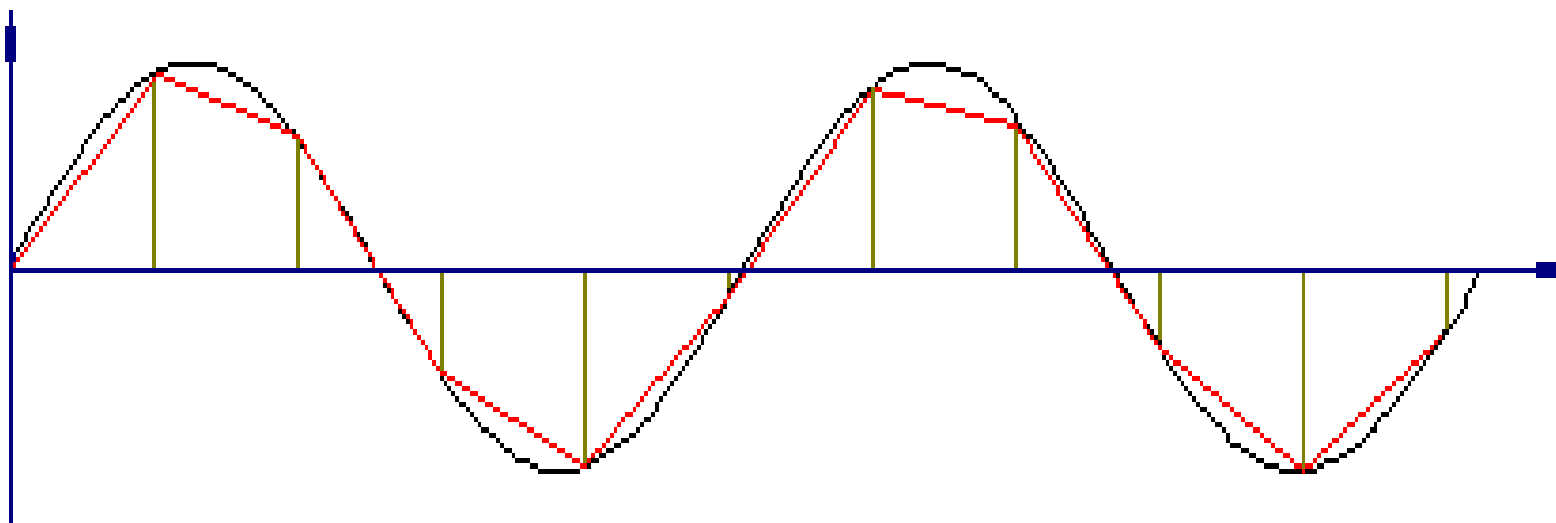
$$X(2) \rightarrow 0011$$

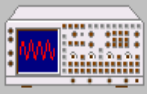
$$X(3) \rightarrow 0000$$



离散采样误差

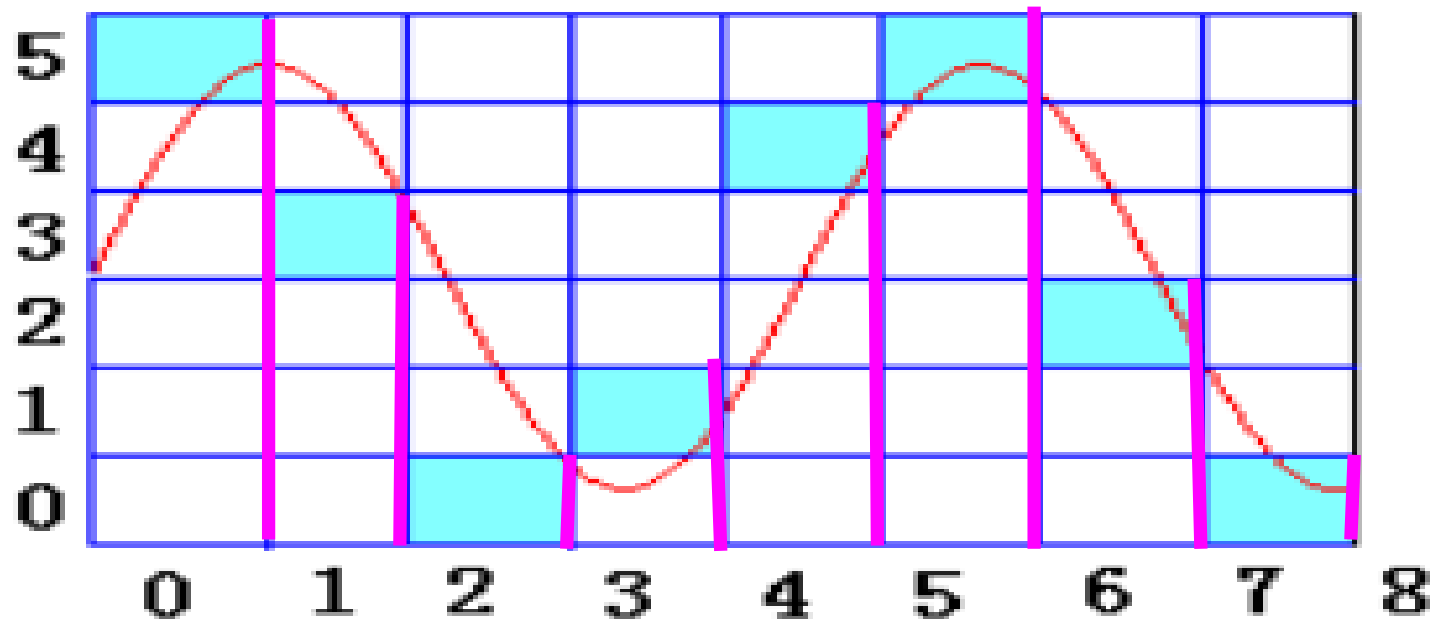
模拟信号经过采样后变为有限个数据点的离散信号，数据点间用直线进行插值逼近，所造成的误差称为离散采样误差，采样频率越高，误差越小。

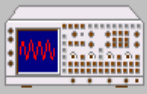




量化误差

把采样信号 $x(nT_s)$ 经过量化变为只有有限个有效数字的数，这一过程所产生的误差称为量化误差，

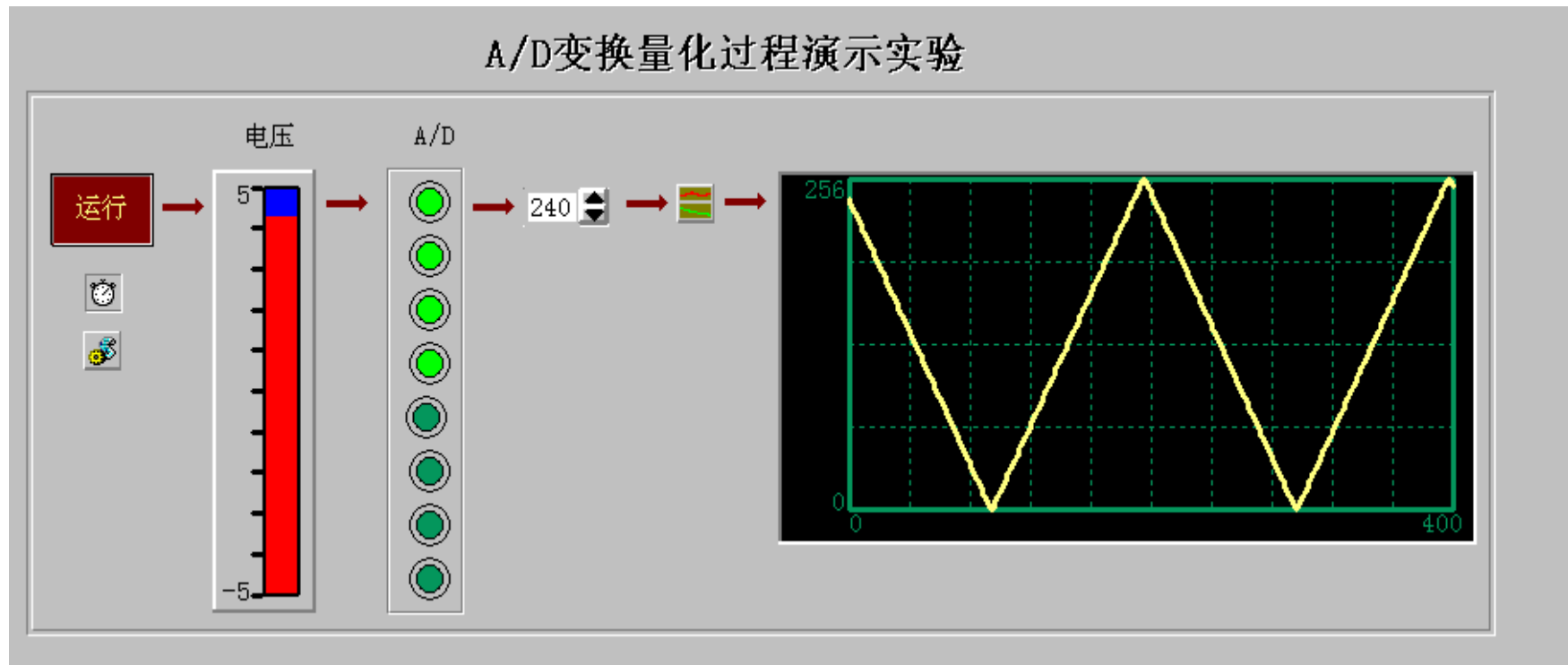


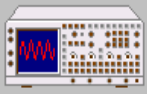


6.2 模数(A/D)和数模(D/A)

华中科技大学机械学院

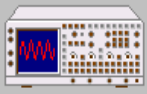
实验:





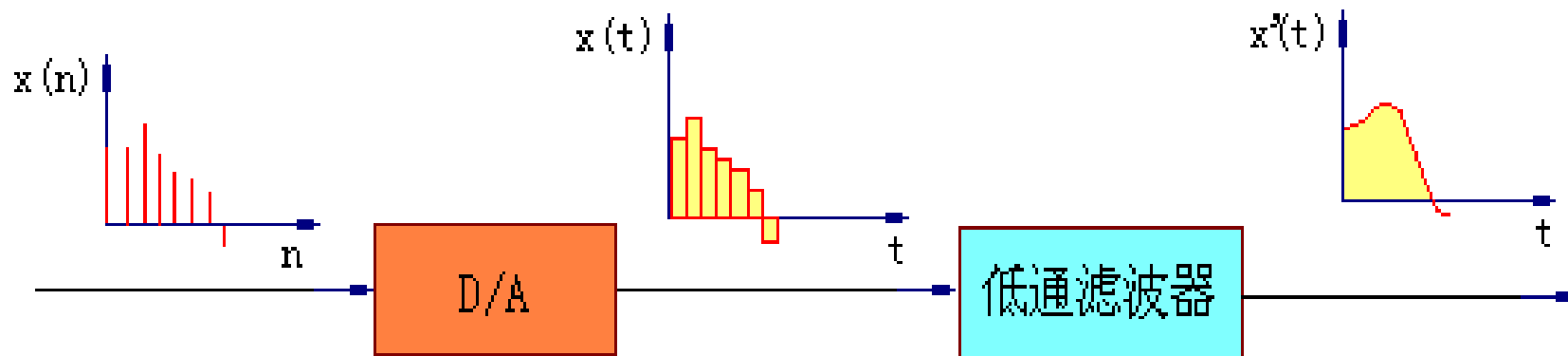
2) A/D转换器的技术指标

- (1) 分辨率;
 - 用输出二进制数码的位数表示。位数越多，量化误差越小，分辨力越高。常用有**8位**、**10位**、**12位**、**16位**等。
- (2) 转换速度;
 - 指完成一次转换所用的时间，如：**1ms(1KHz)**;
10us(100kHz)
- (3) 模拟信号的输入范围;
 - 如，**5V**，**+/-5V**，**10V**，**+/-10V**等。



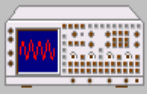
6.2.2 D/A转换过程和原理

D/A转换器是把数字信号转换为电压或电流信号的装置。



D/A转换器的技术指标

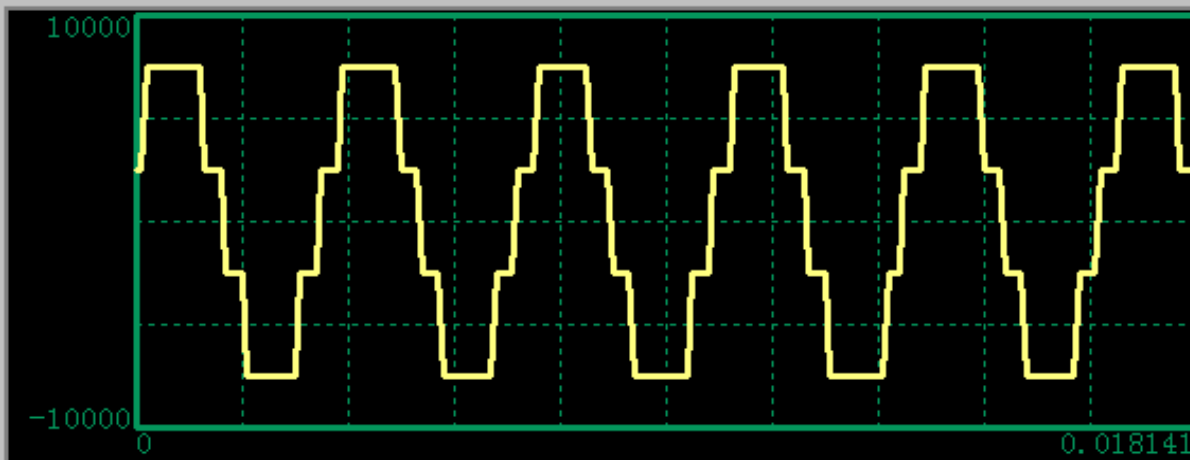
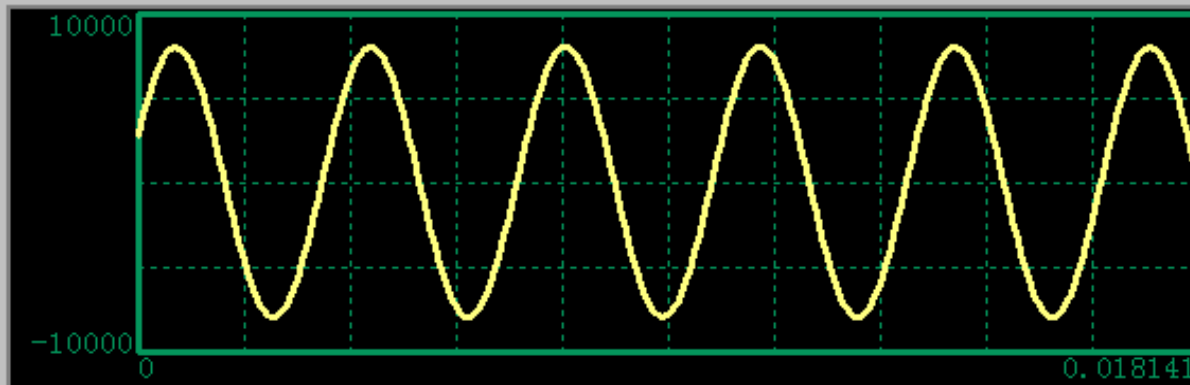
- 分辨率;
- 转换速度;
- 模拟信号的输出范围;



6.2 模数(A/D)和数模(D/A)

A/D、D/A转换过程中的量化误差实验:

采样信号的量化误差实验



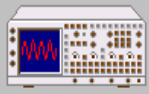
RUN



等分数

4

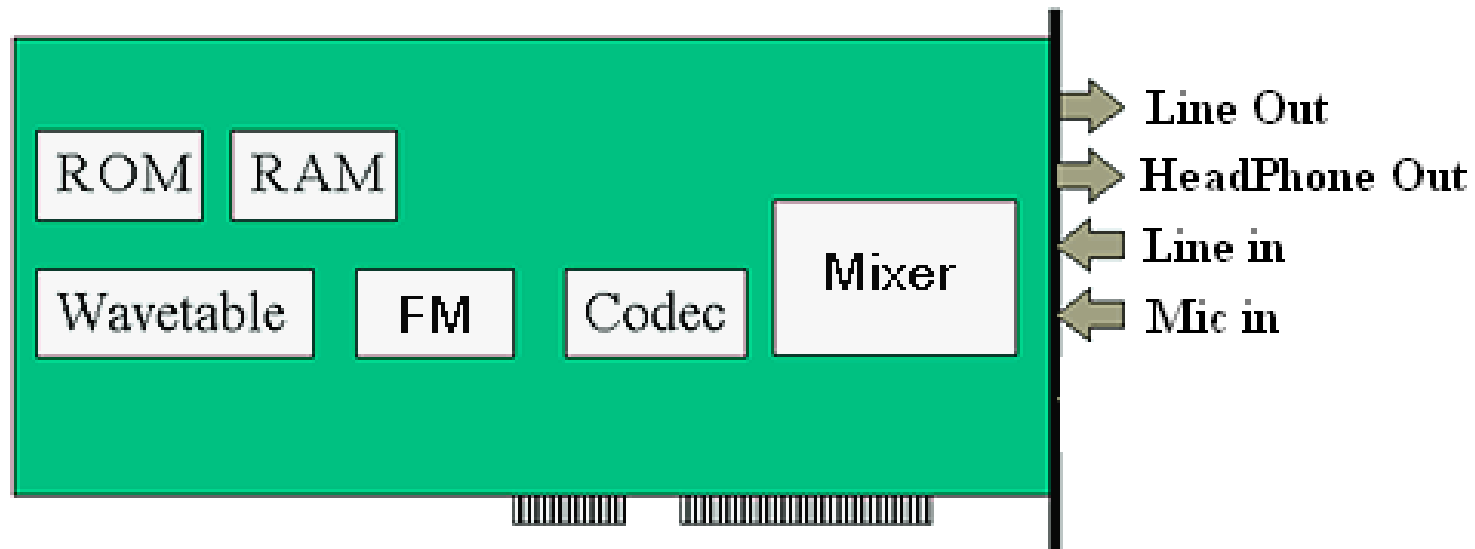


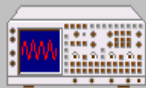


6.2 模数(A/D)和数模(D/A)

声卡简介（双通道A/D、D/A卡）

声卡是多媒体电脑的主要部件之一，声卡上有数模转换芯片(D/A)，用来把数字化的声音信号转换成模拟信号，同时还有模数转换芯片(A/D)，用来把模拟声音信号转换成数字信号，实验学习时可以将声卡作为一个双通道的A/D卡和D/A卡使用。

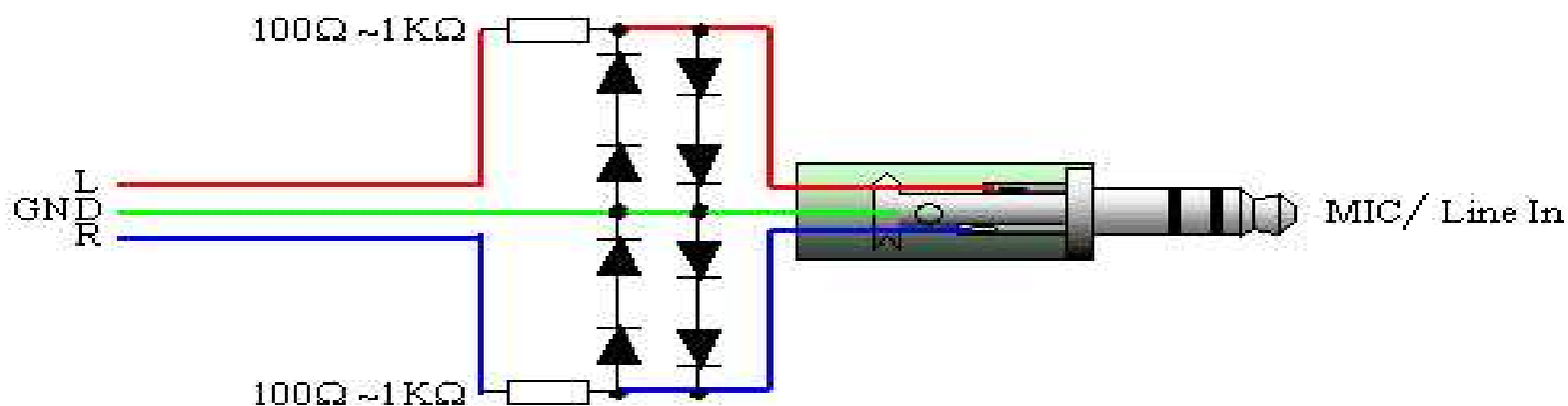


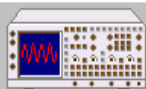


声卡的信号输入接口(A/D)

声卡信号输入接口包括MIC和Line in两种。MIC口输入阻抗是 $1500\ \Omega \sim 20\text{k}\ \Omega$ ，最小输入电压 10mV ，单通道输入。Line In口输入阻抗为 $10\ \text{k}\ \Omega \sim 47\ \text{k}\ \Omega$ ，输入电平范围 $500\ \text{mV} \sim 2\ \text{V}$ ，双通道输入。声卡是用来采集声音信号，其频率特性线性段在 $20\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 之间。

为防止测量信号超量程造成损坏，可以采用下面电路对声卡输入端进行保护。。



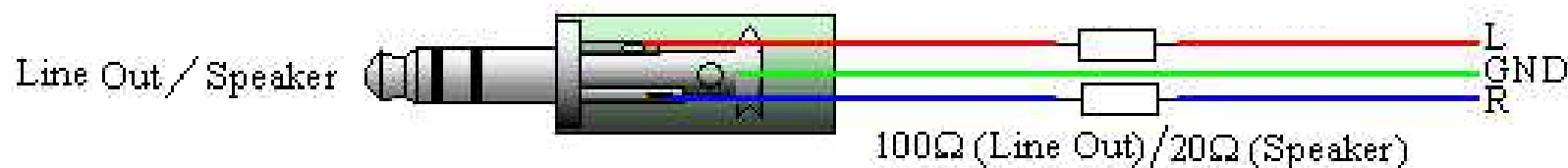


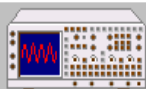
6.2 模数(A/D)和数模(D/A)

声卡的输出接口(D/A)

声卡输出口包括Speaker和Line out。Speaker输出阻抗为 $8\ \Omega$ ，输出功率2W。Line out输出阻抗为 $20\ \Omega \sim 500\ \Omega$ ，最大输出电平2V。

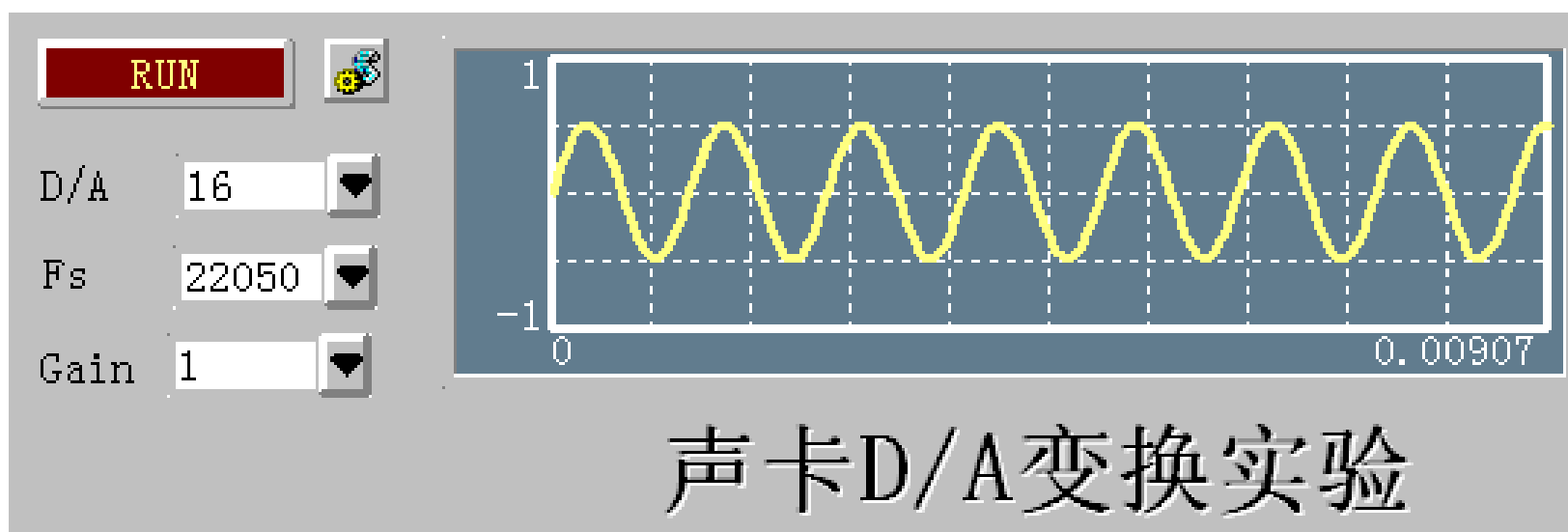
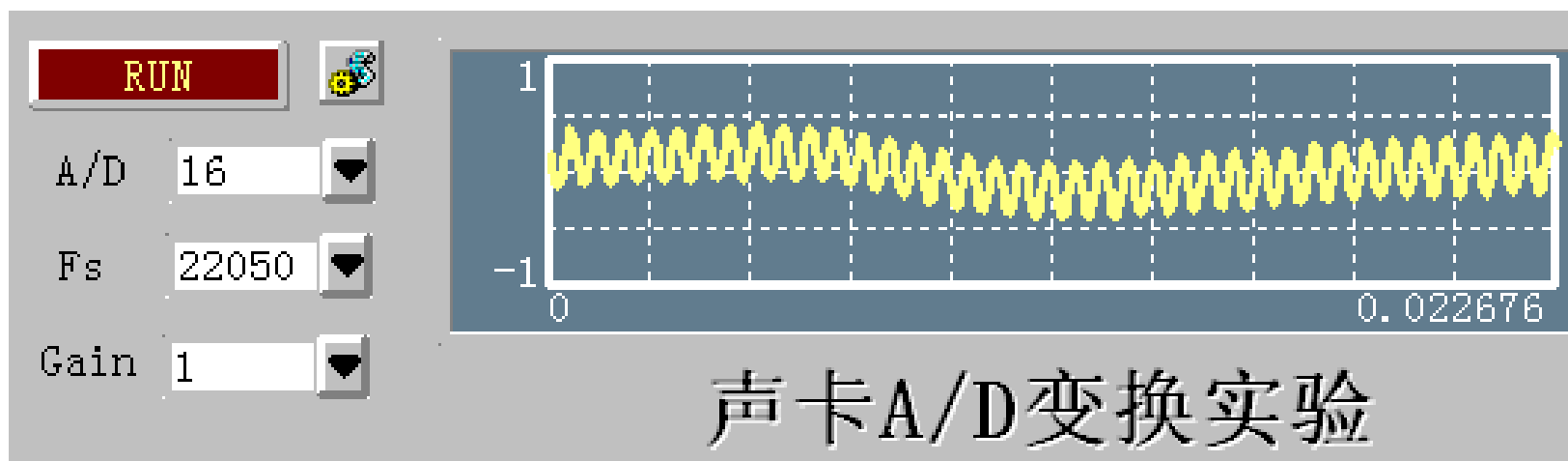
通常可以直接将插头连接在Line out或Speaker，为防止短路对声卡造成的损坏，可在连接电路中串联电阻。

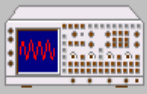




6.2 模数(A/D)和数模(D/A)

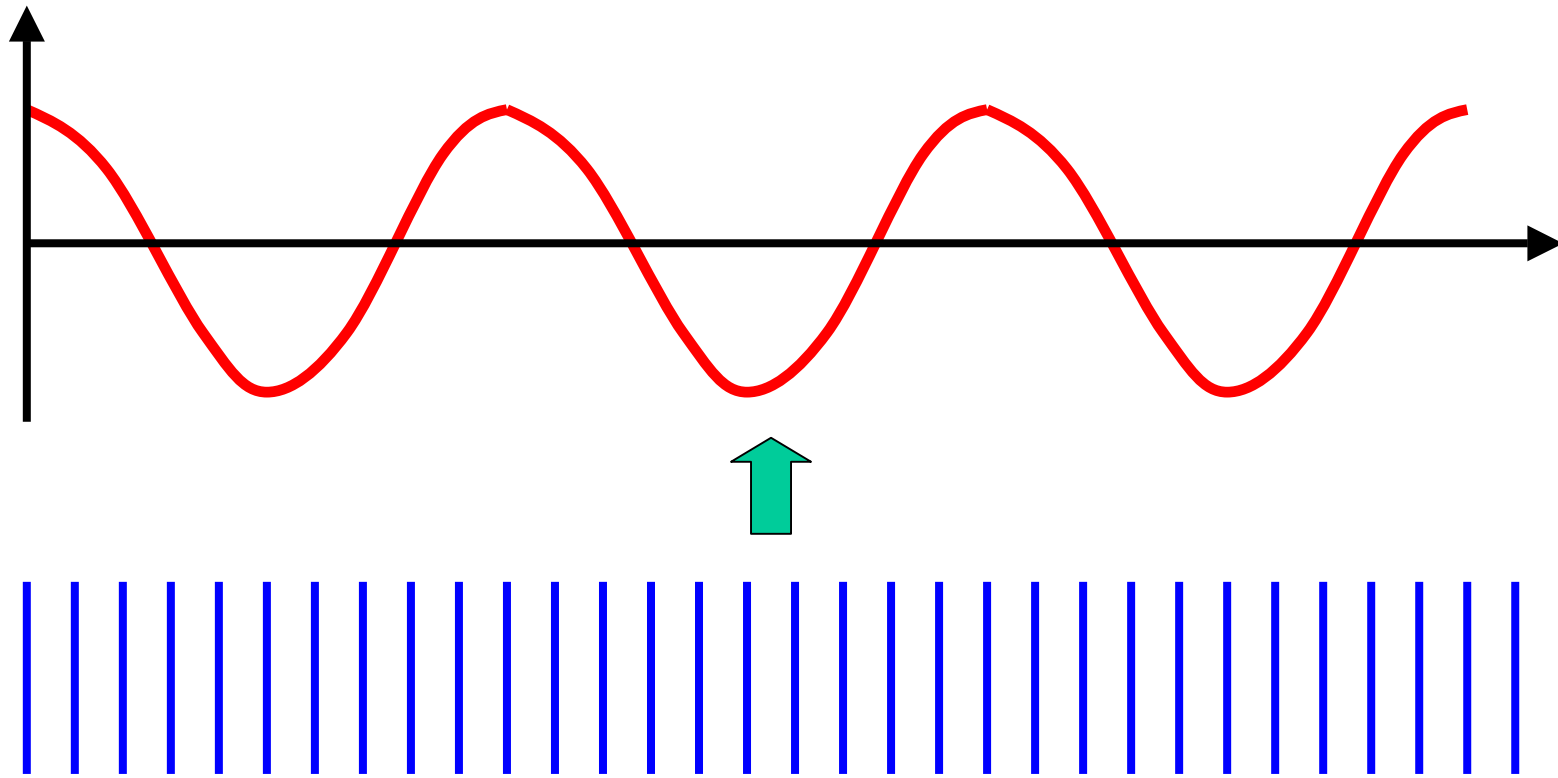
华中科技大学机械学院

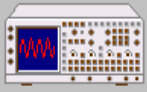




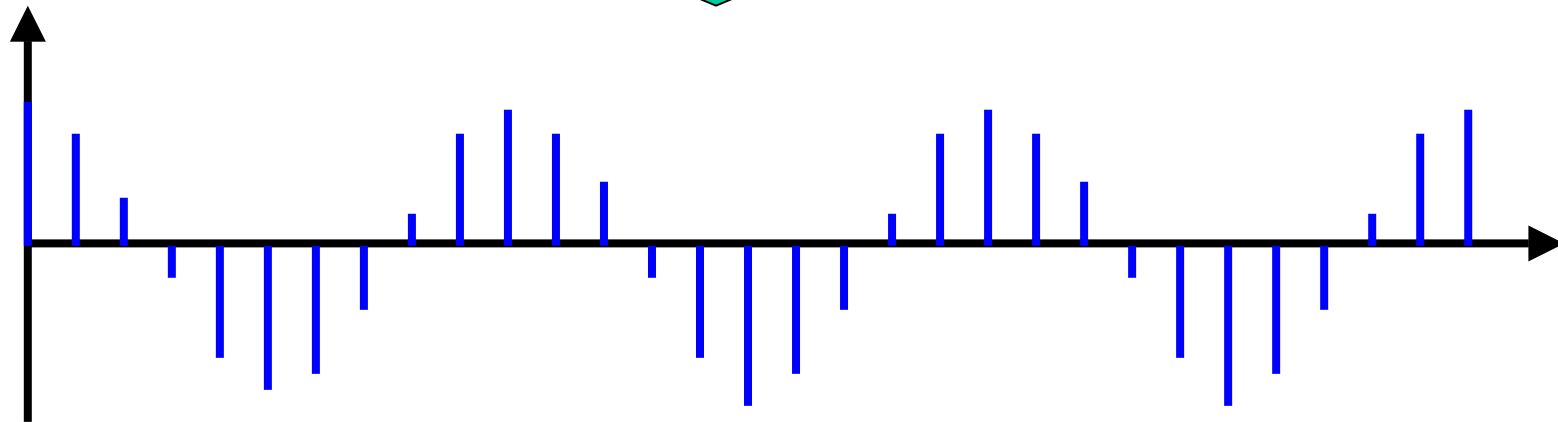
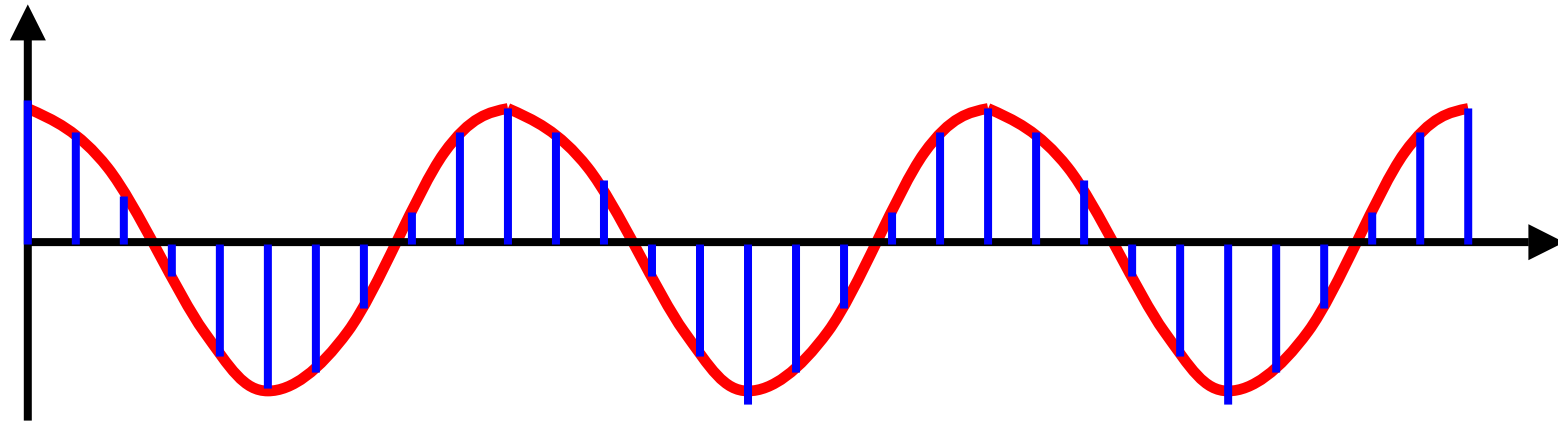
6.3 采样定理

采样是将采样脉冲序列 $p(t)$ 与信号 $x(t)$ 相乘，取离散点 $x(nt)$ 的值的值的过程。

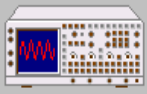




6.3 采样定理

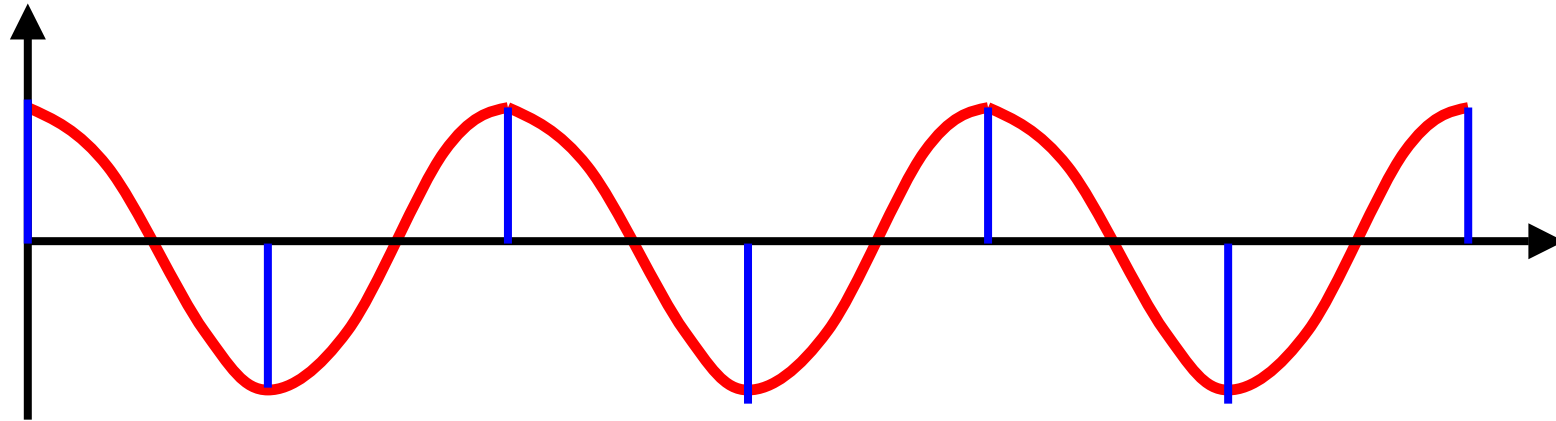


$X(0), X(1), X(2), \dots, X(n)$

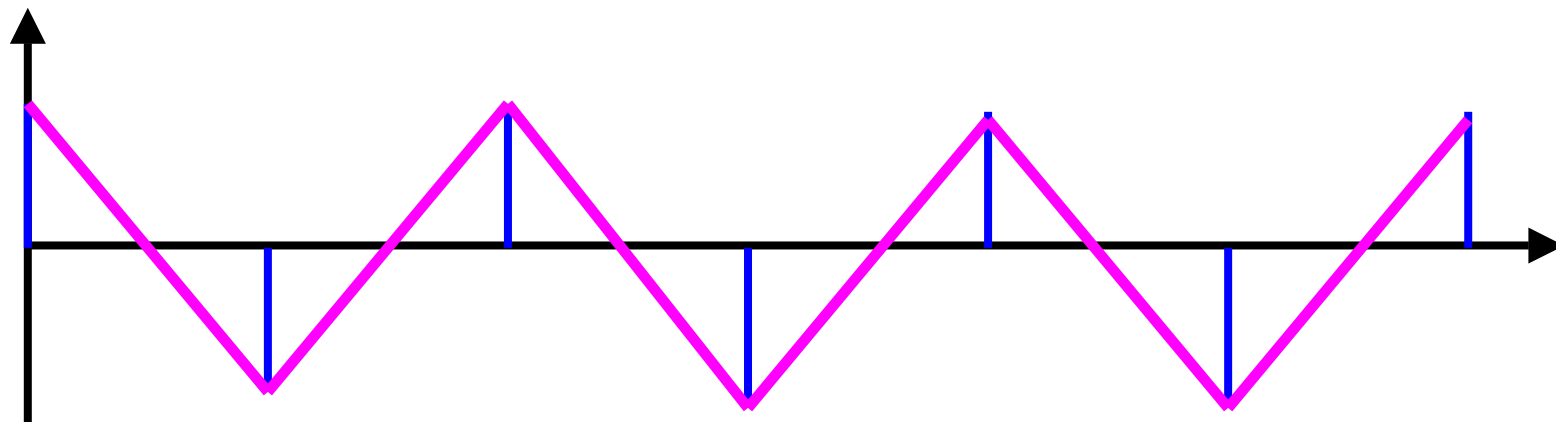


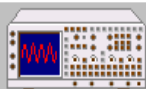
6.3 采样定理

每周期应该有多少采样点？

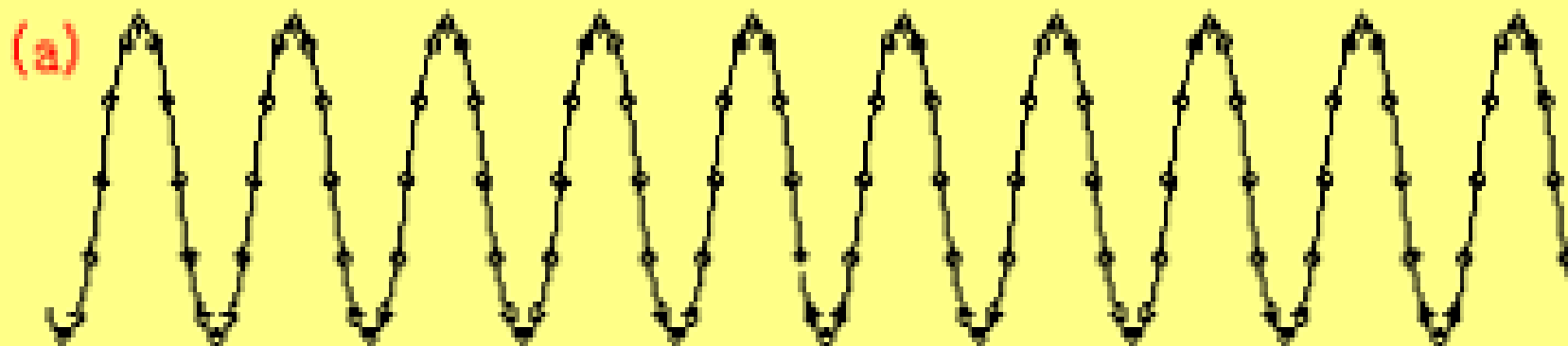


最少2点:

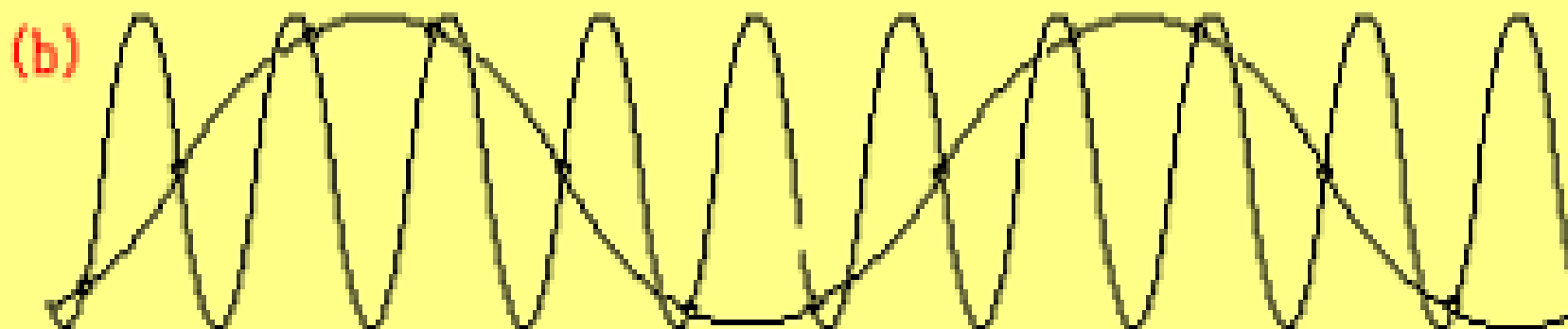




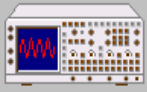
6.3 采样定理



采样频率正确

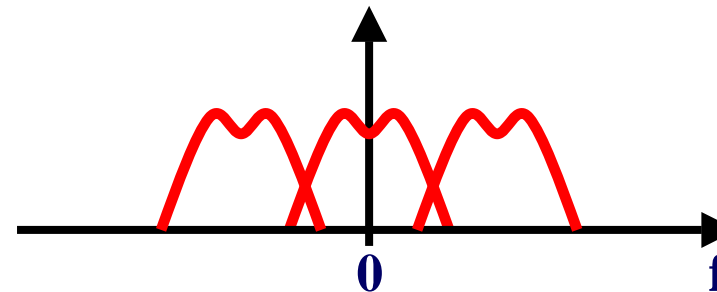
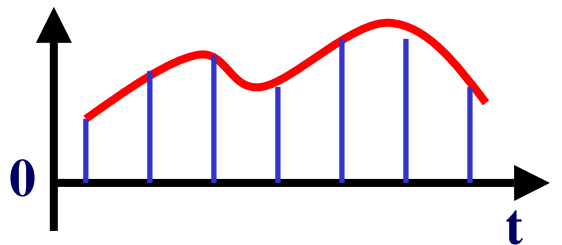
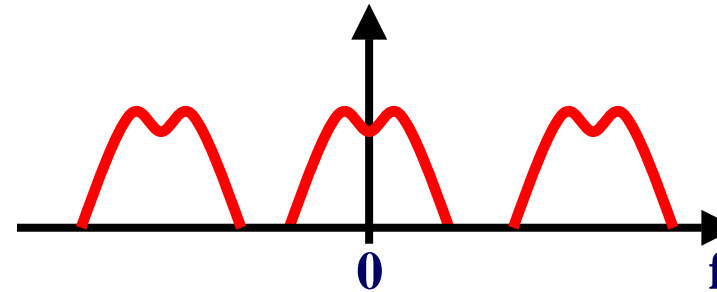
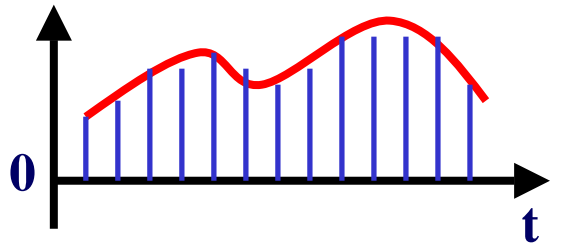
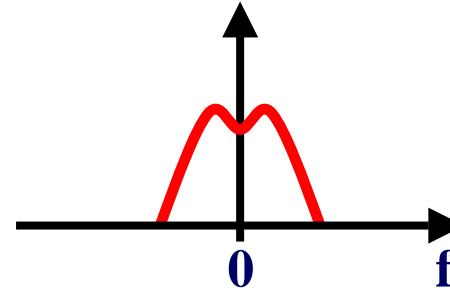
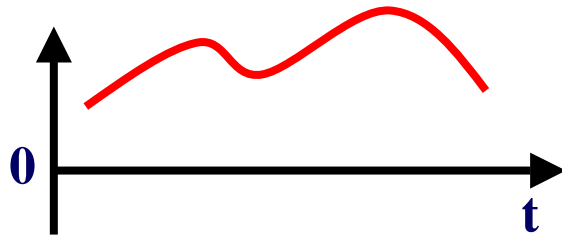


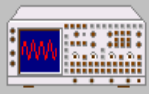
采样频率过低



6.3 采样定理

频域解释



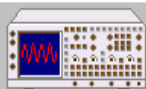


6.3 采样定理

采样定理

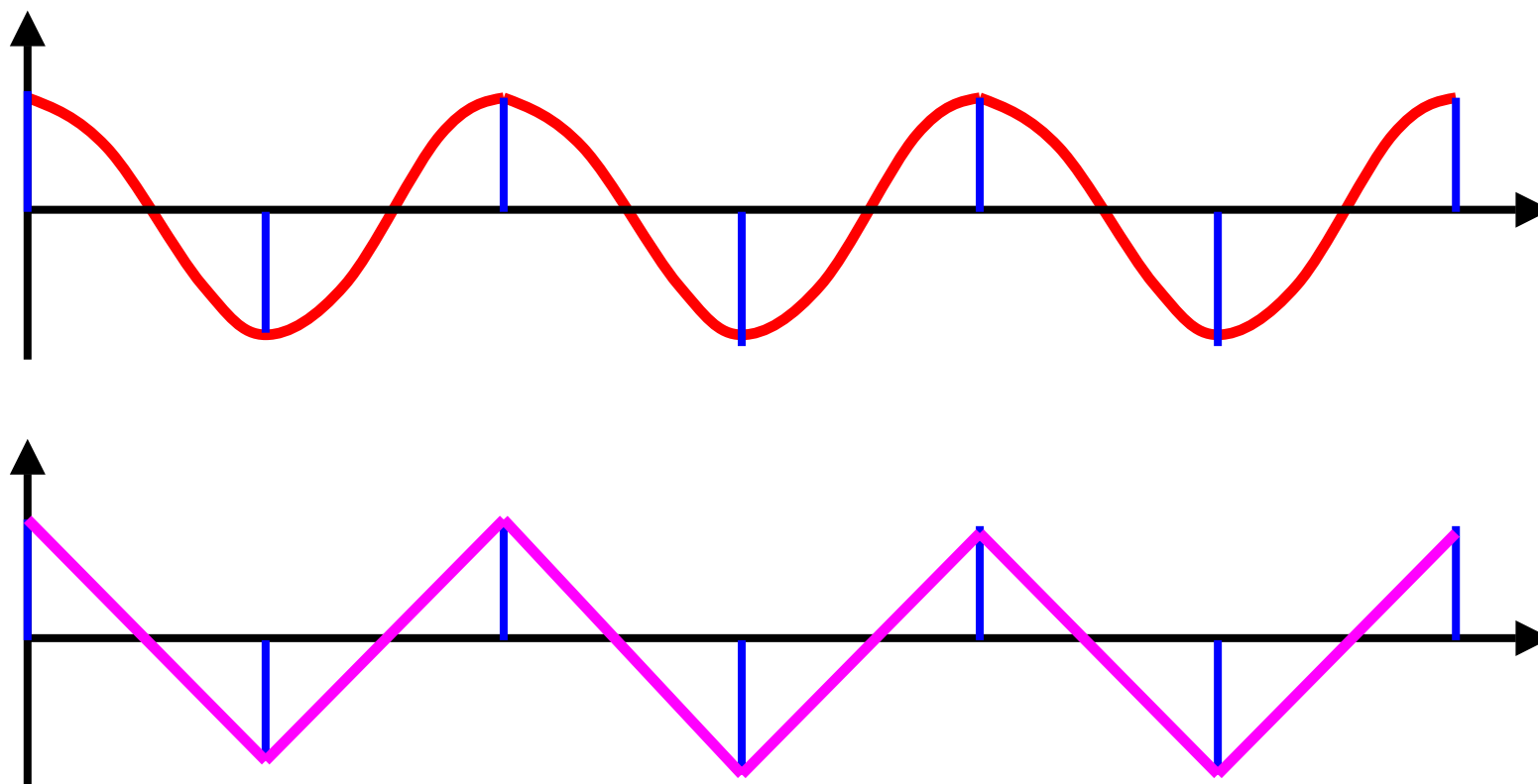
为保证采样后信号能真实地保留原始模拟信号信息，信号采样频率必须至少为原信号中最高频率成分的2倍。这是采样的基本法则，称为采样定理。

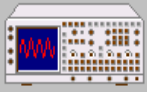
$$F_s > 2 F_{\max}$$



6.3 采样定理

需注意，满足采样定理，只保证不发生频率混叠，而不能保证此时的采样信号能真实地反映原信号 $x(t)$ 。工程实际中采样频率通常大于信号中最高频率成分的3到5倍。

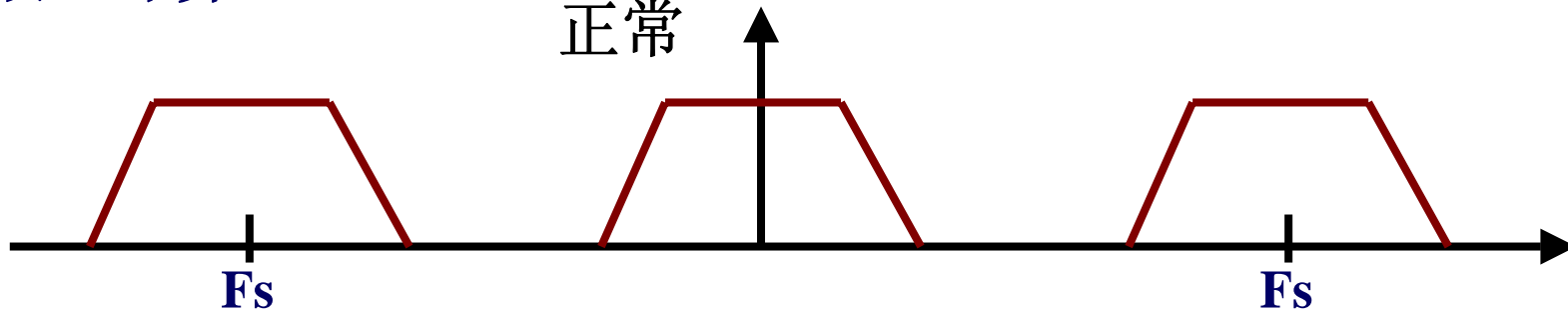




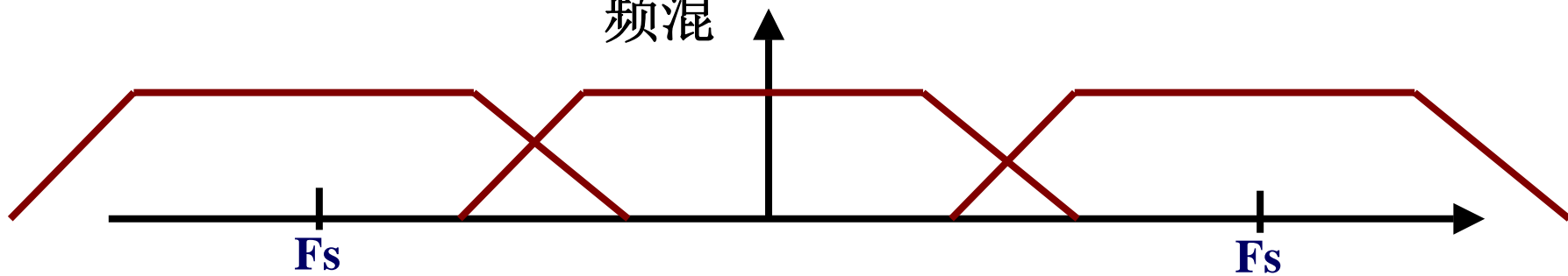
6.3 采样定理

频混计算:

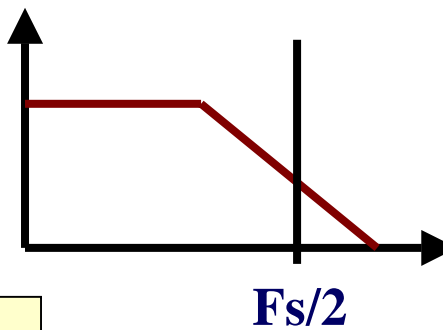
正常



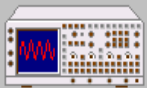
频混



工程处理:

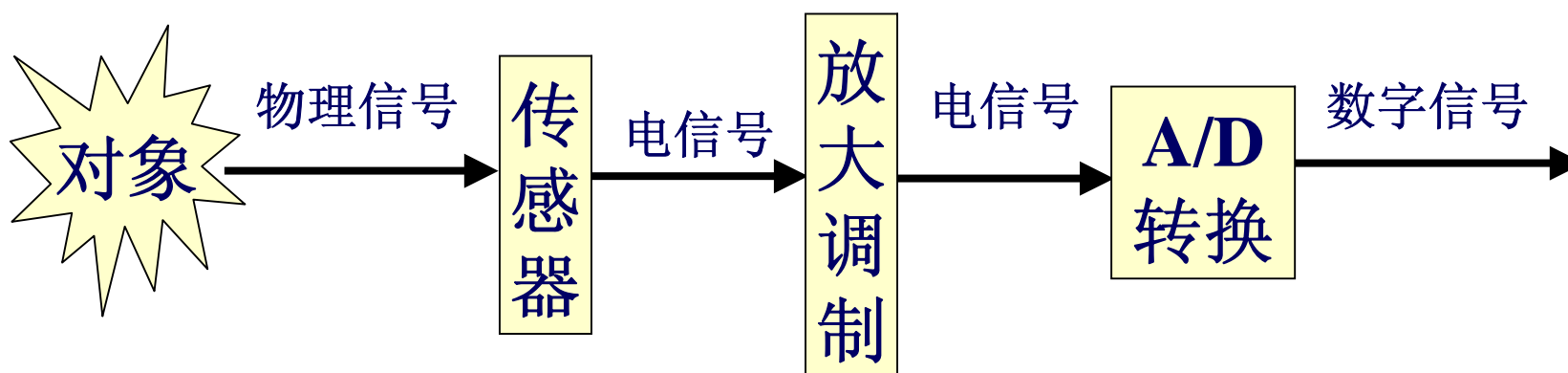


混迭频率= F_s -信号频率

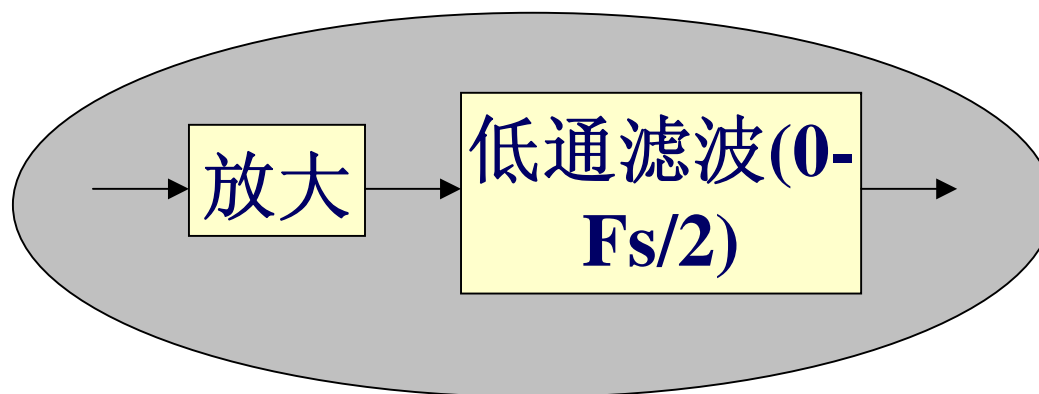


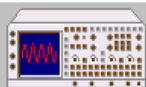
6.3 采样定理

A/D采样前的抗混迭滤波:



展开 ↓

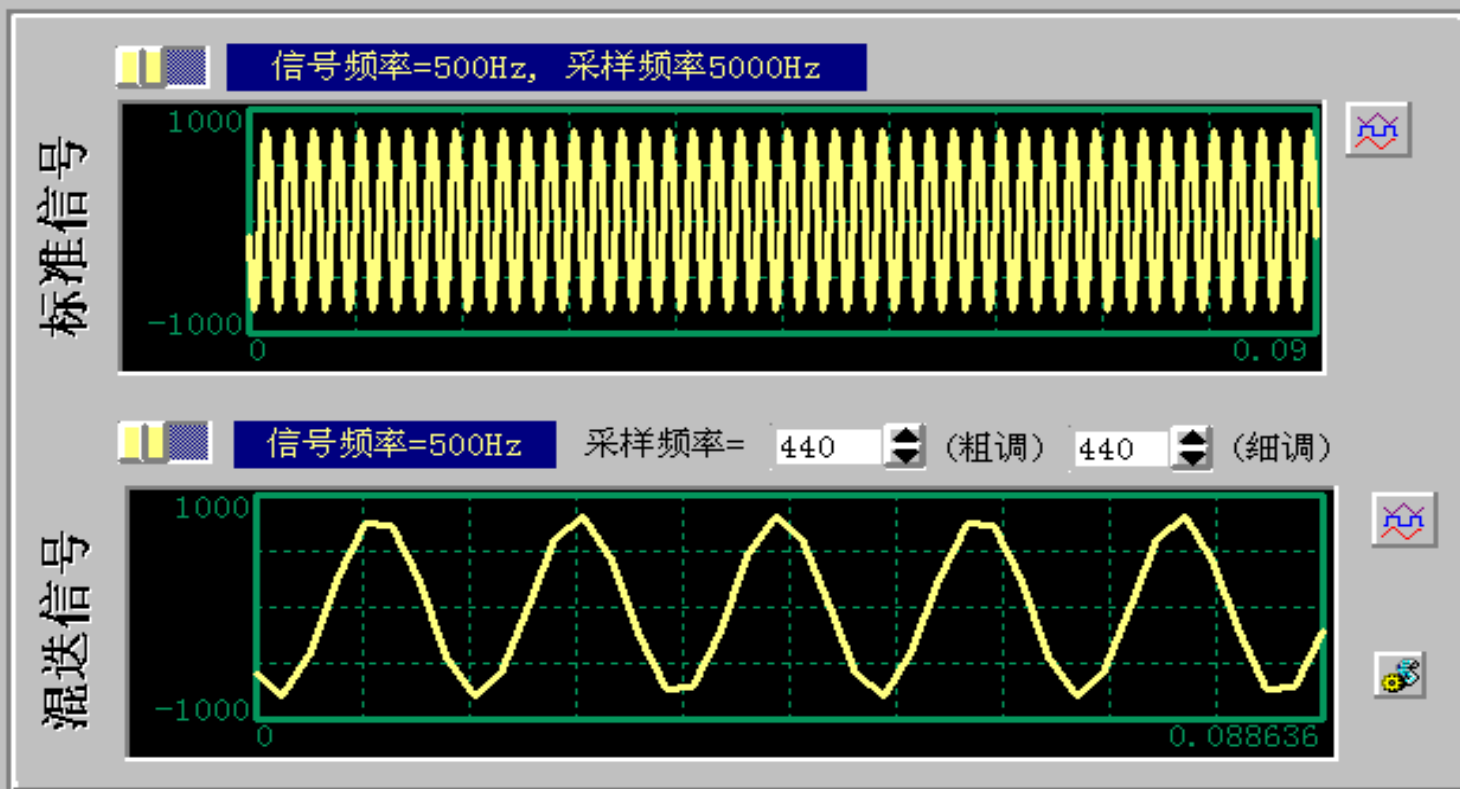




6.3 采样定理

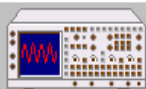
实验:

频率混迭和采样定理(时域)



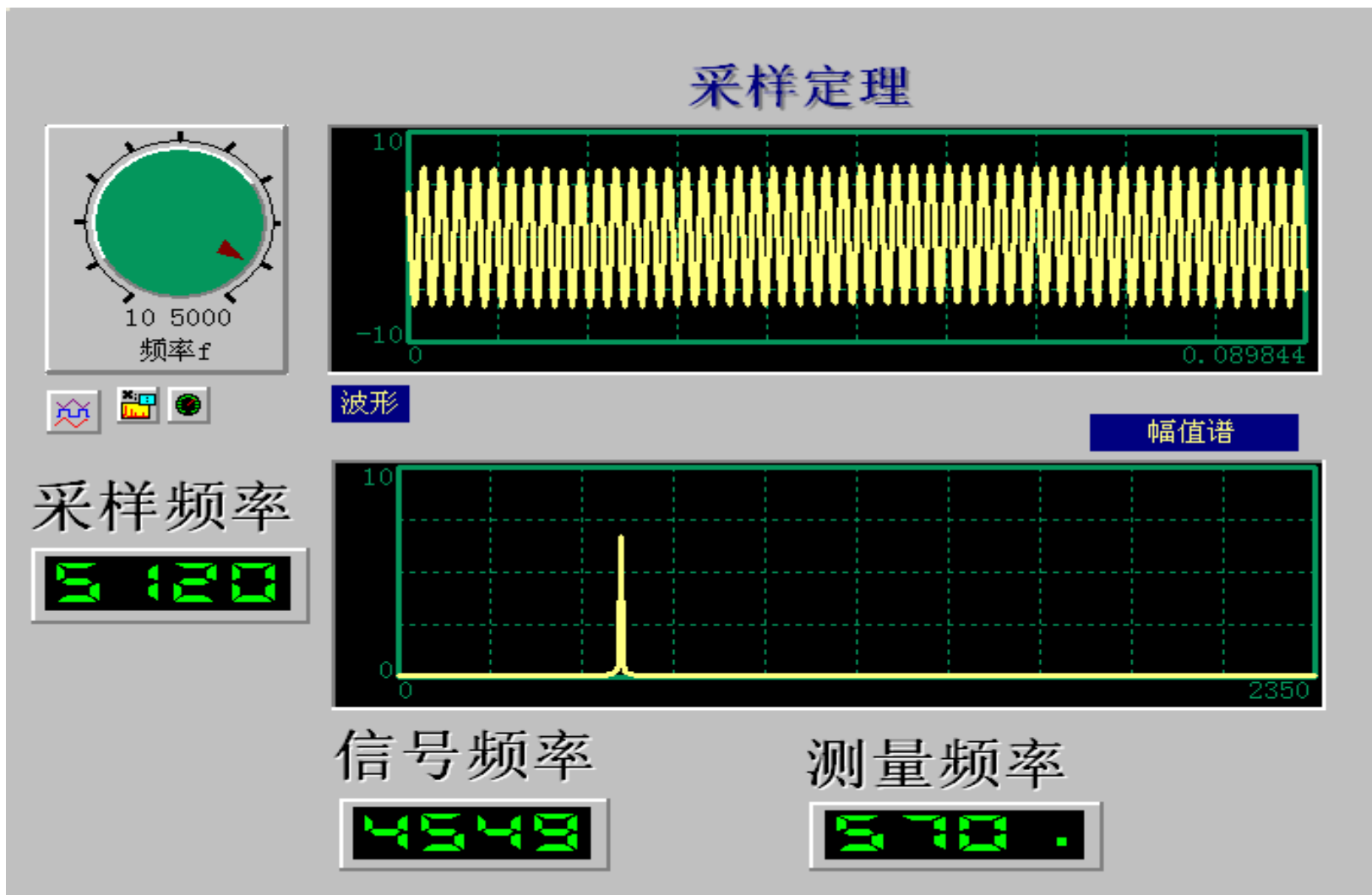
信号频率=500Hz 采样频率

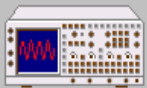
440



6.3 采样定理

频混现象实验:



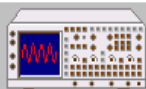


6.3 采样定理



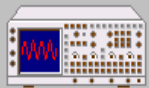
动手做：

将声卡作为A/D、D/A卡，
设计一个双通道信号采集
器和信号发生器。



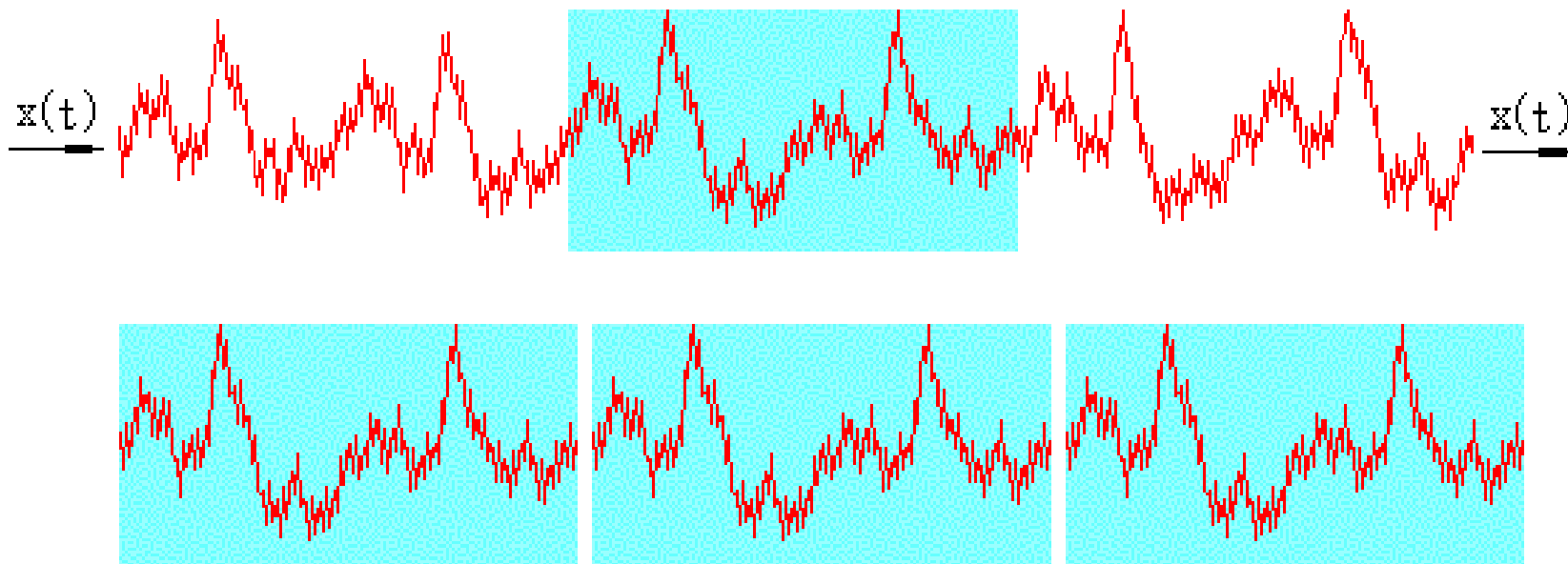
6.3 采样定理



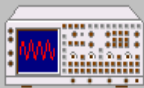


6.4 信号的截断、能量泄漏

用计算机进行测试信号处理时，不可能对无限长的信号进行测量和运算，而是取其有限的时间片段进行分析，这个过程称信号截断。



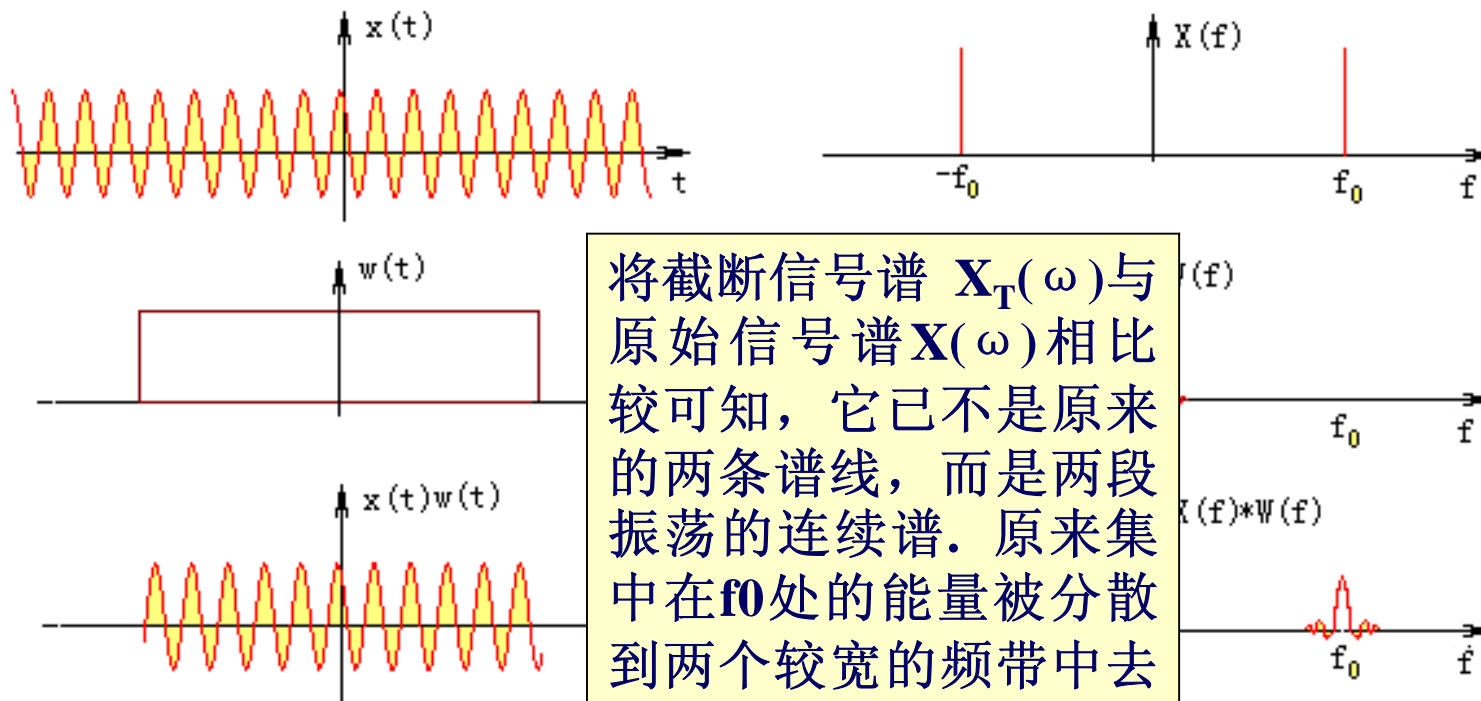
为便于数学处理，对截断信号做周期延拓，得到虚拟的无限长信号。



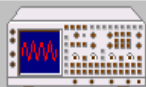
6.4 信号的截断、能量泄漏

周期延拓后的信号与真实信号是不同的，下面我们就从数学的角度来看这种处理带来的误差情况。

设有余弦信号 $x(t)$ ，用矩形窗函数 $w(t)$ 与其相乘，得到截断信号： $y(t) = x(t)w(t)$

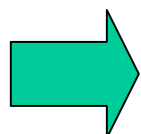
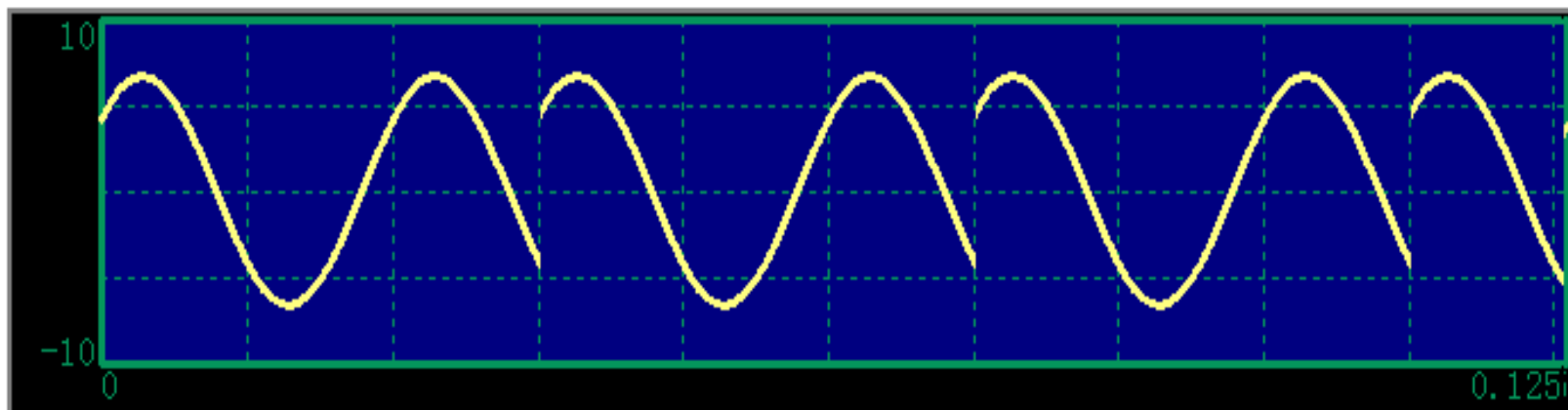
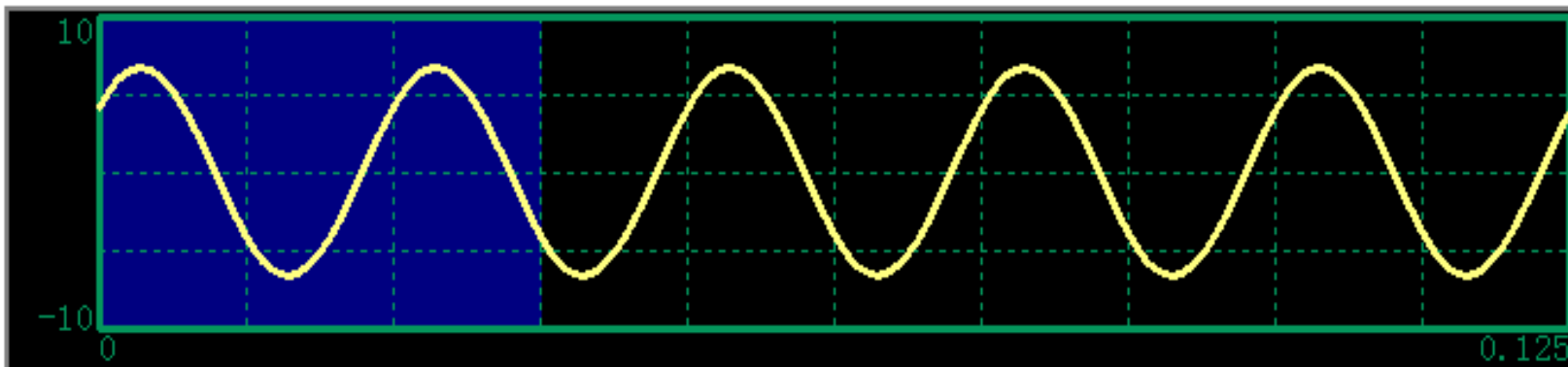


将截断信号谱 $X_T(\omega)$ 与原始信号谱 $X(\omega)$ 相比较可知，它已不是原来的两条谱线，而是两段振荡的连续谱。原来集中在 f_0 处的能量被分散到两个较宽的频带中去了，这种现象称之为频谱能量泄漏。

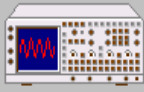


6.4 信号的截断、能量泄漏

周期延拓信号与真实信号是不同的：

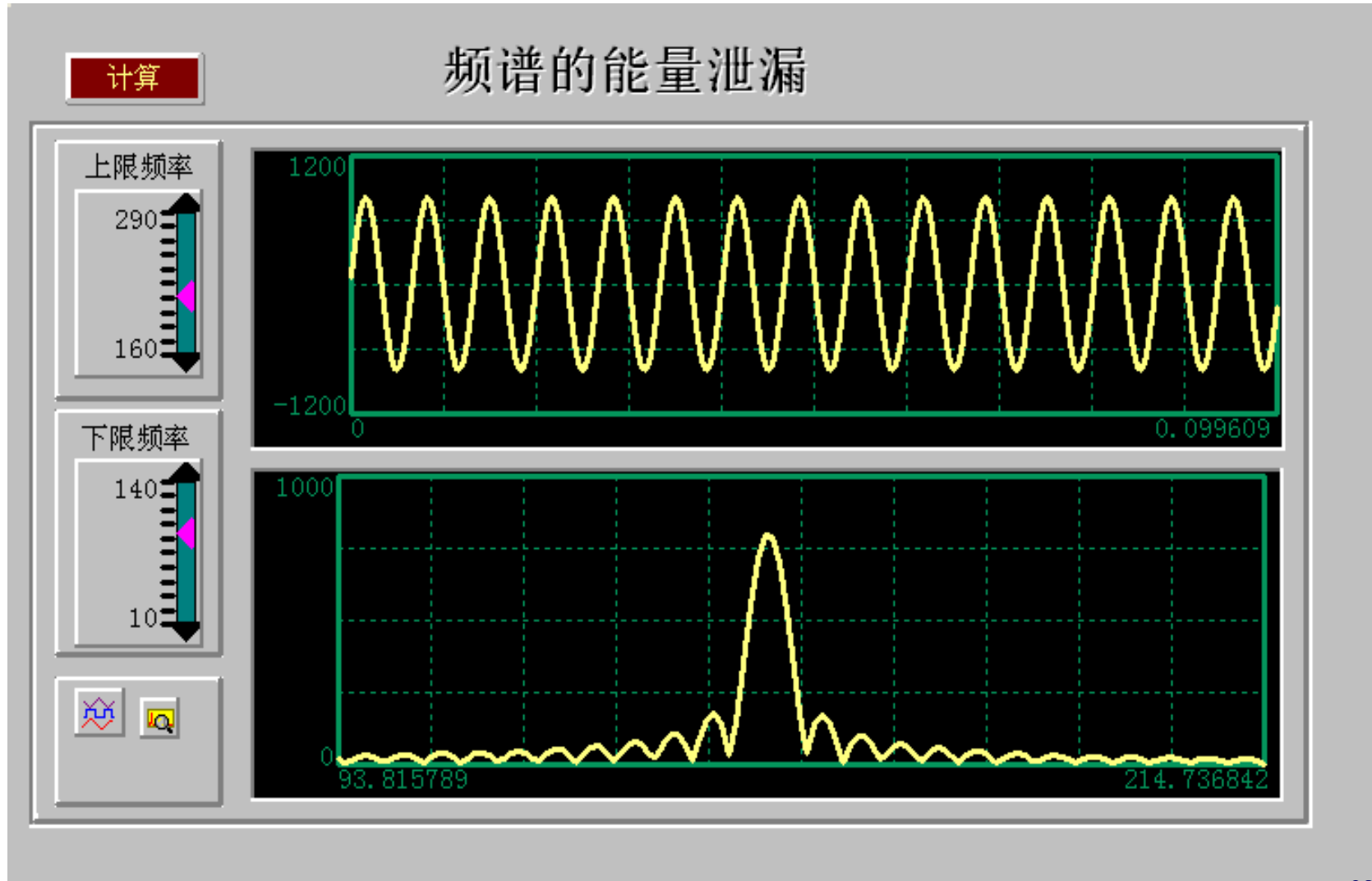


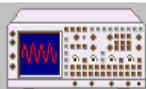
能量泄漏误差



6.4 信号的截断、能量泄漏

能量泄漏实验：

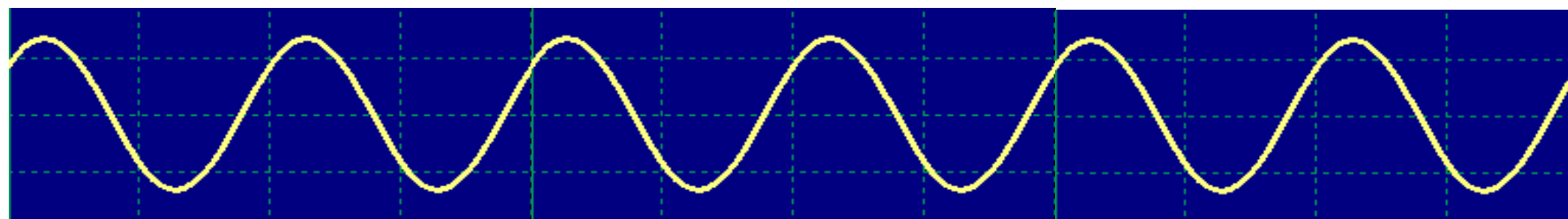
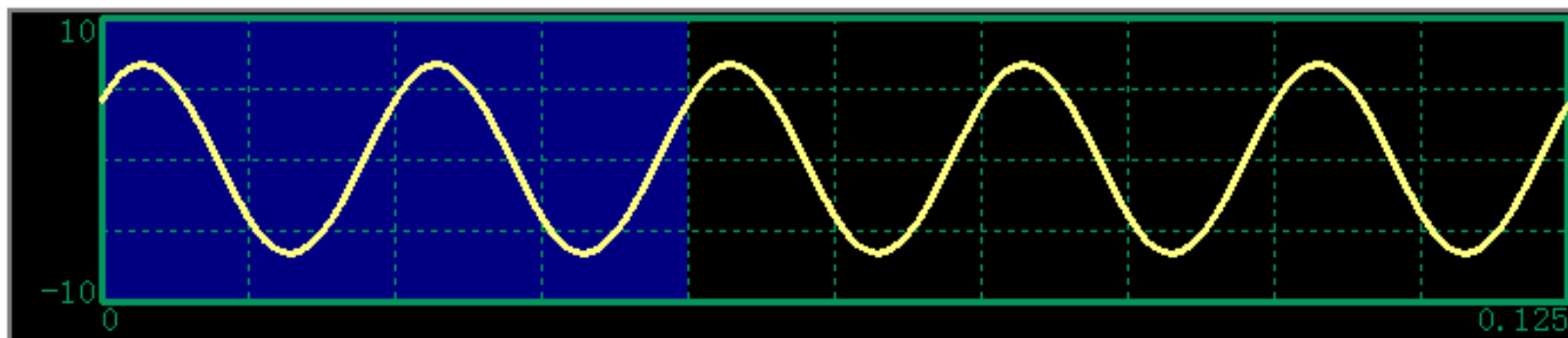


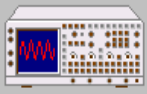


6.4 信号的截断、能量泄漏

华中科技大学机械学院

克服方法之一：信号整周期截断





6.5 DFT与FFT

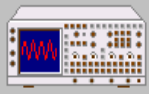
6.5.1 离散傅立叶变换

离散傅里叶变换（**Discrete Fourier Transform**）一词是为适应计算机作傅里叶变换运算而引出的一个专用名词。

$$\mathbf{x}(t) \xrightarrow{\text{截断、周期延拓}} \mathbf{x}_T(t)$$

周期信号 $\mathbf{x}_T(t)$ 的傅里叶变换：

$$H(f) = \int_0^T x(t) e^{-j2\pi \cdot f \cdot t} dt$$



6.5 DFT与FFT

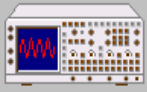
对周期信号 $x_T(t)$ 采样，得离散序列 $x_T(n)$ ，将积分转为集合：

$$H(f) = \sum_0^{N-1} x(n) e^{-j2\pi \cdot f \cdot n \cdot \Delta t}$$

展开，得连续傅立叶变换计算公式：

$$H(f) = \left[\sum_0^{N-1} x(n) \cos(2\pi \cdot f \cdot n \cdot \Delta t) + j \sum_0^{N-1} x(n) \sin(2\pi \cdot f \cdot n \cdot \Delta t) \right]$$

用计算机编程很容易计算出指定频率点值：



6.5 DFT与FFT

VBScript 样例

f=? //计算的频率点

Fs=?

N=1024

dt=1.0/Fs

pi=3.1415926

XR=0

XI=0

For n=0 To N-1

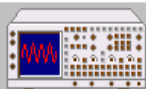
XR=XR+x(n)*cos(2*pi*f*n*dt)*dt

XI=XI+x(n)*sin(2*pi*f*n*dt)*dt

Next

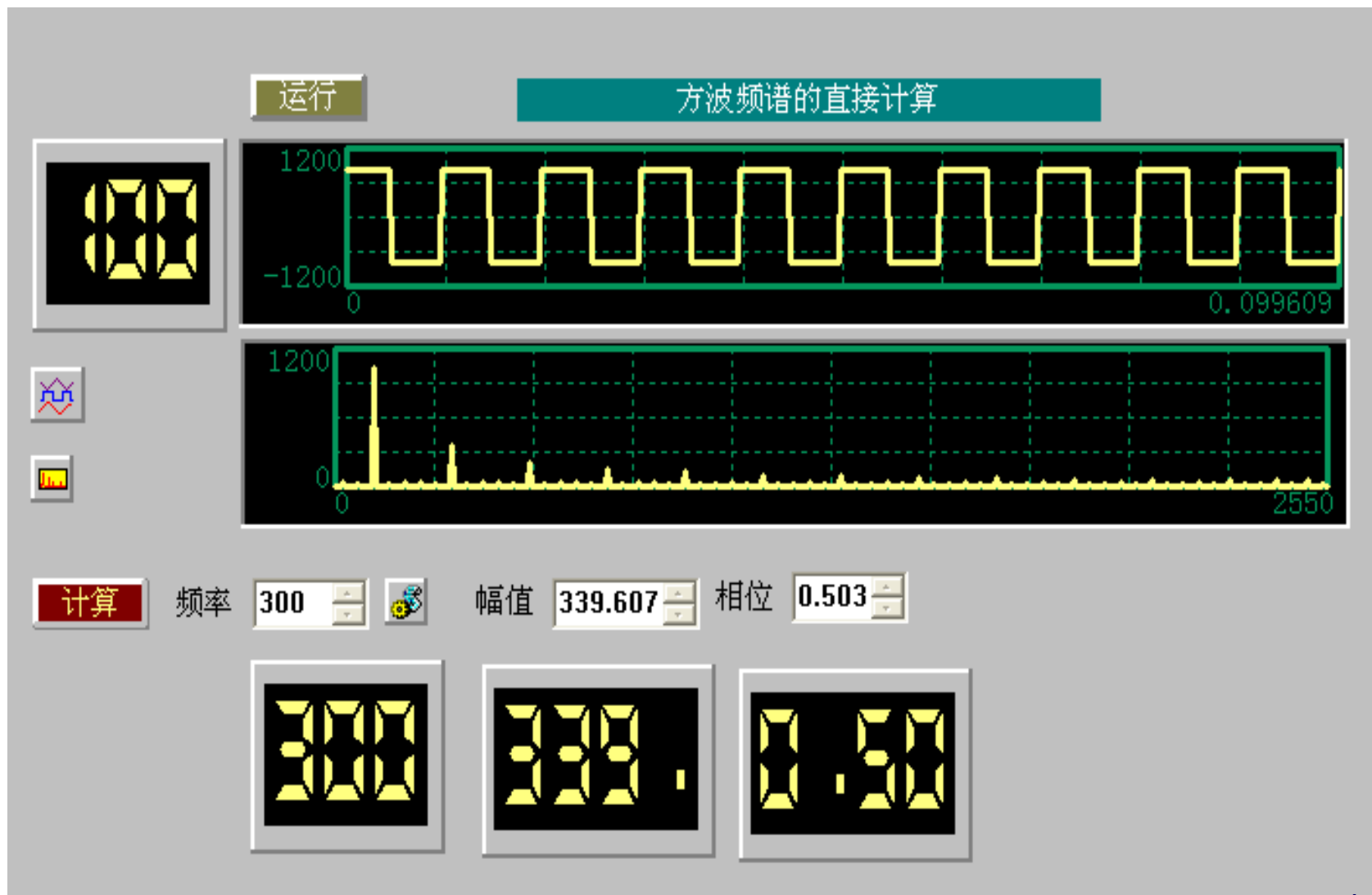
A=sqr(XR*XR+XI*XI)

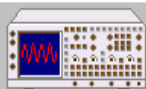
Q=atn(XI/XR)



6.5 DFT与FFT

连续傅立叶变换编程计算实验：





6.5 DFT与FFT

采样信号频谱是一个连续频谱，不可能计算出所有频率点值，设频率取样间隔为：

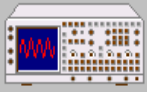
$$\Delta f = fs / N$$

频率取样点为 $\{0, \Delta f, 2\Delta f, 3\Delta f, \dots\}$ ，有：

$$H(k\Delta f) = \sum_0^{N-1} x(n)e^{-j2\pi k\Delta f n \Delta t} = \sum_0^{N-1} x(n)e^{-j2\pi kn / N} \Delta t \quad , k=0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$= \left[\sum_0^{N-1} x(n) \cos(2\pi nk / N) + j \sum_0^{N-1} x(n) \sin(2\pi nk / N) \right] \cdot \Delta t$$

该公式就是离散傅立叶计算公式(DFT)



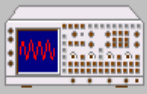
6.5.2 快速傅立叶变换

快速傅立叶变换(FFT)是离散傅立叶变换的一种有效的算法，通过选择和重新排列中间结果，减小运算量。

展开各点的DFT计算公式：

$$XR(1)=x(0).\cos(2\pi*0*1/N)+x(1).\cos(2\pi*1*1/N)+x(2).\cos(2\pi*2*1/N).....$$

$$XR(2)=x(0).\cos(2\pi*0*2/N)+x(1).\cos(2\pi*1*2/N)+x(2).\cos(2\pi*2*2 /N).....$$

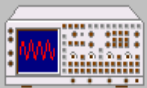


6.5 DFT与FFT

有大量重复的cos、sin计算，FFT的作用就是用技巧减少cos、sin项重复计算。

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ \vdots \\ X[N-1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_N^0 & W_N^0 & \dots & W_N^0 \\ W_N^0 & W_N^1 & \dots & W_N^{N-1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_N^0 & W_N^{N-1} & \dots & W_N^{(N-1)(N-1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ \vdots \\ x[N-1] \end{bmatrix}$$

当采样点数为1024点,DFT要求一百万次以上计算量,而FFT则只要求一万次。



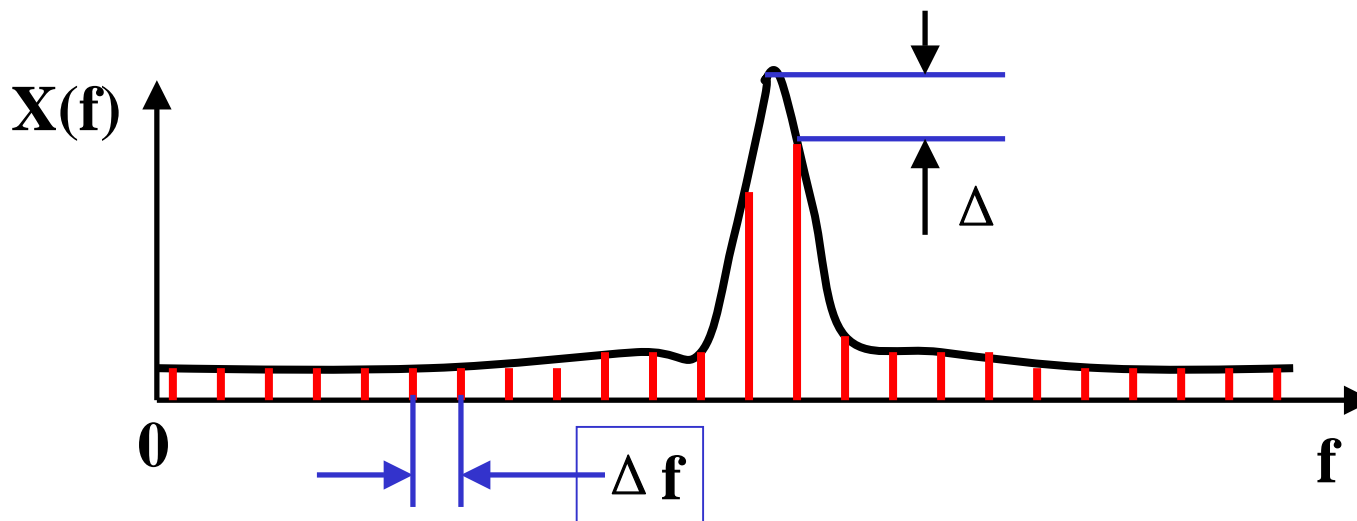
6.6 栅栏效应与窗函数

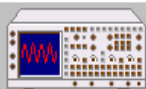
6.6.1 栅栏效应

为提高效率,通常采用FFT算法计算信号频谱, 设数据点数为 N , 采样频率为 F_s 。则计算得到的离散频率点为:

$$X_s(F_i), \quad F_i = i * F_s / N, i = 0, 1,$$

如果信号中的频率分量与频率取样点不重合, 则只能按四舍五入的原则, 取相邻的频率取样点谱线值代替。

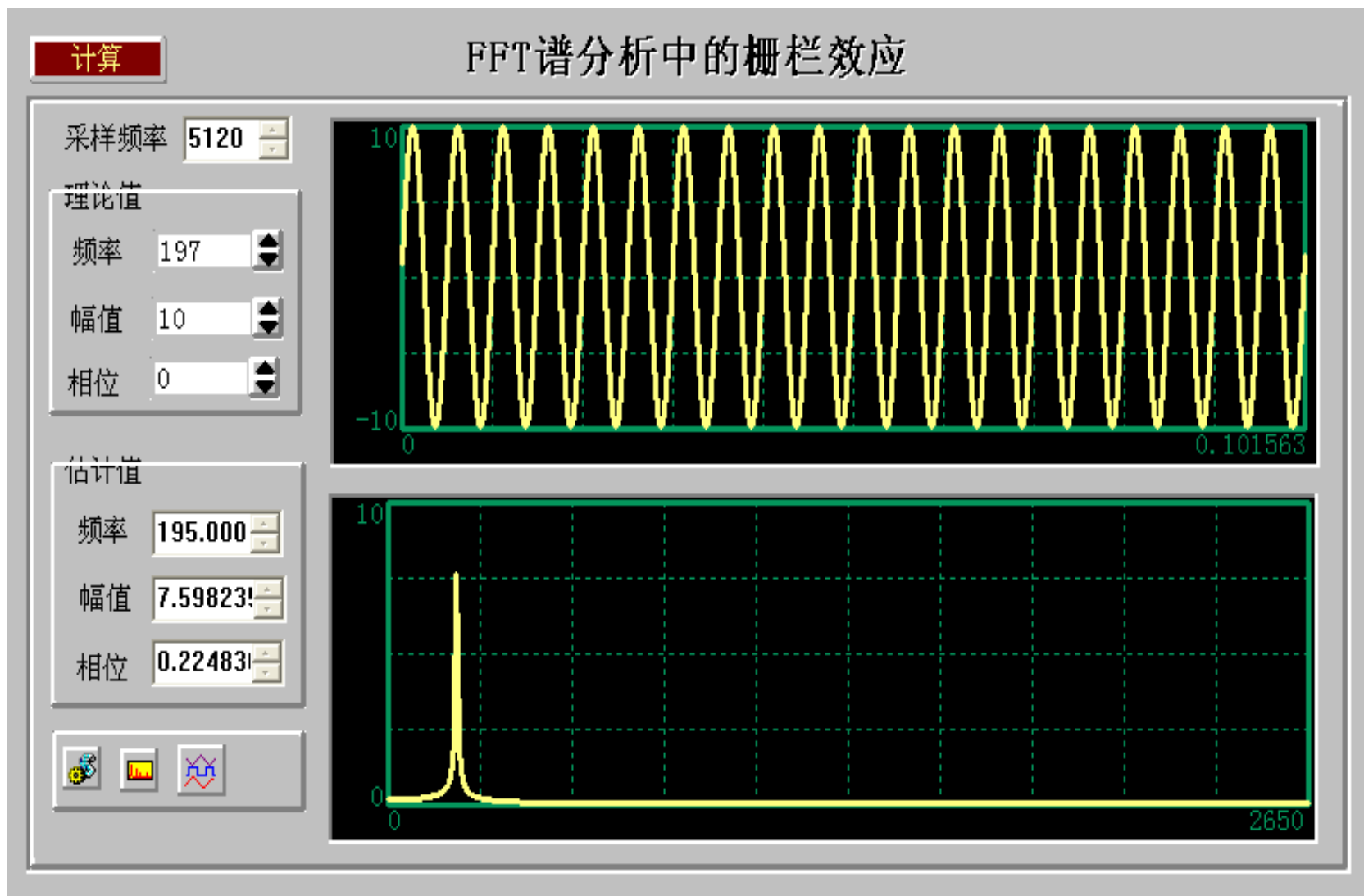


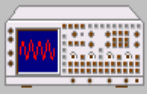


6.6 栅栏效应与窗函数

华中科技大学机械学院

栅栏效应误差实验：

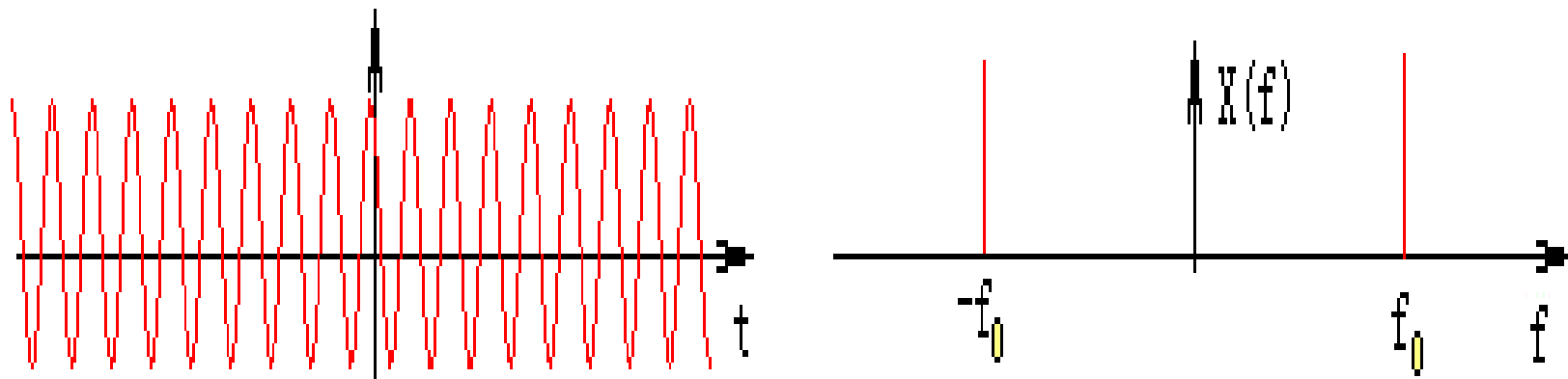


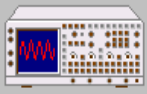


6.6.2 能量泄漏与栅栏效应的关系

频谱的离散取样造成了栅栏效应，谱峰越尖锐，产生误差的可能性就越大。

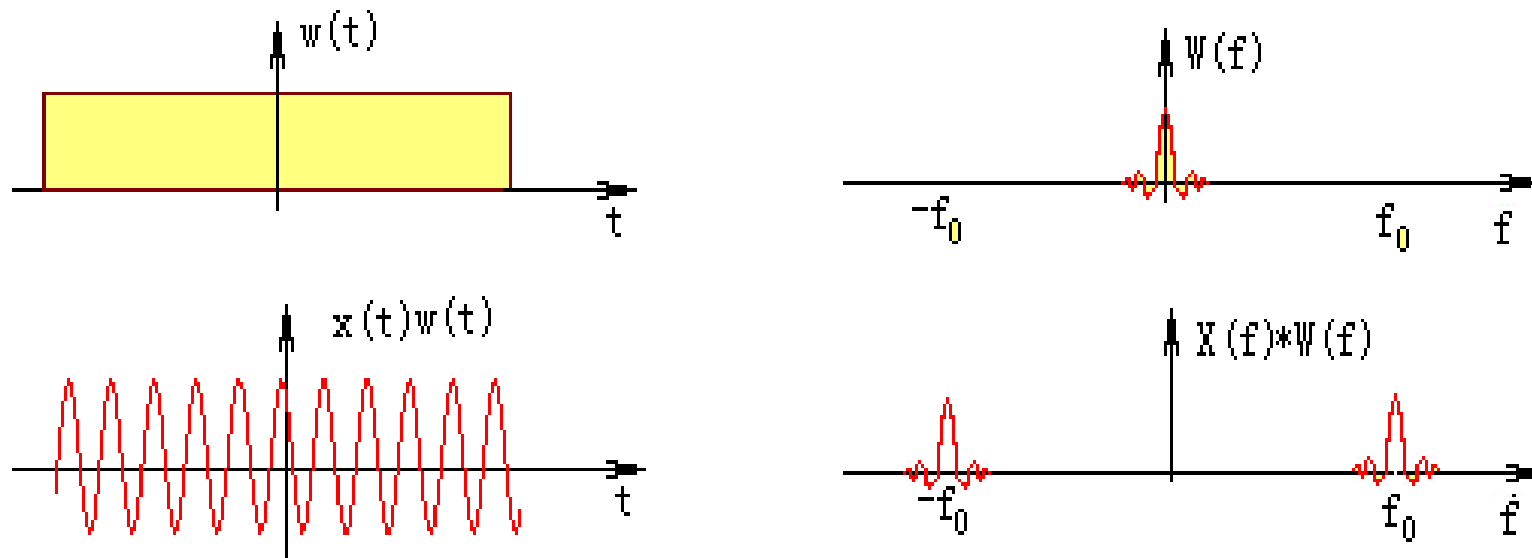
例如，余弦信号的频谱为线谱。当信号频率与频谱离散取样点不等时，栅栏效应的误差为无穷大。



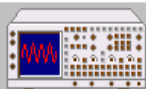


6.6 栅栏效应与窗函数

实际应用中，由于信号截断的原因，产生了能量泄漏，即使信号频率与频谱离散取样点不相等，也能得到该频率分量的一个近似值。

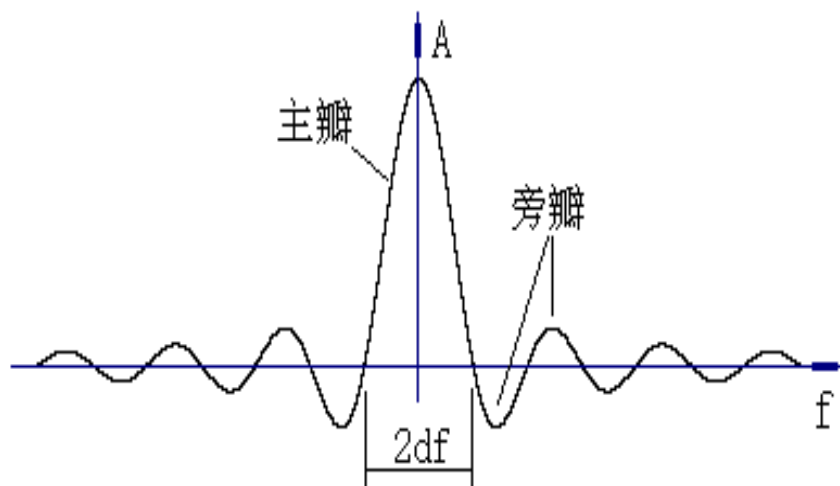


从这个意义上说，能量泄漏误差不完全是有害的。如果没有信号截断产生的能量泄漏，频谱离散取样造成的栅栏效应误差将是不能接受的。

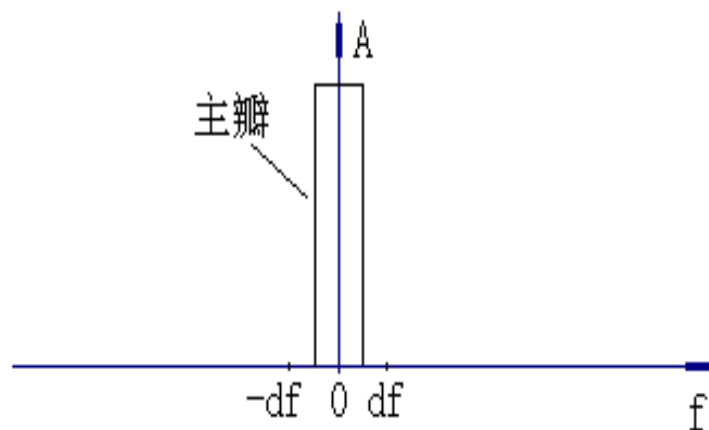


6.6 栅栏效应与窗函数

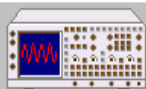
能量泄漏分主瓣泄漏和旁瓣泄漏，主瓣泄漏可以减小因栅栏效应带来的谱峰幅值估计误差，有其好的一面，而旁瓣泄漏则是完全有害的。



(a) 矩形窗函数的谱窗形状



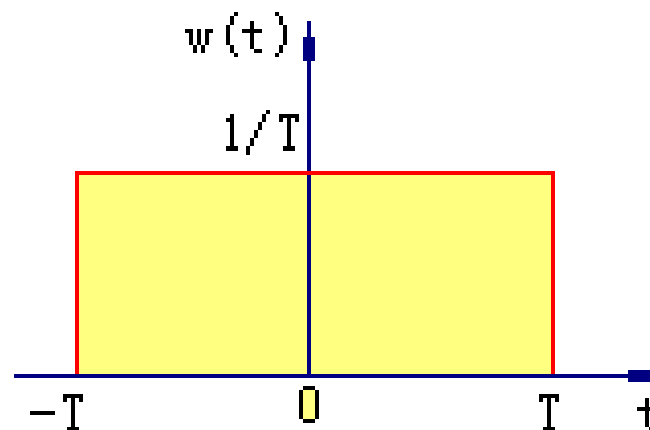
(b) 理想时窗函数的谱窗形状



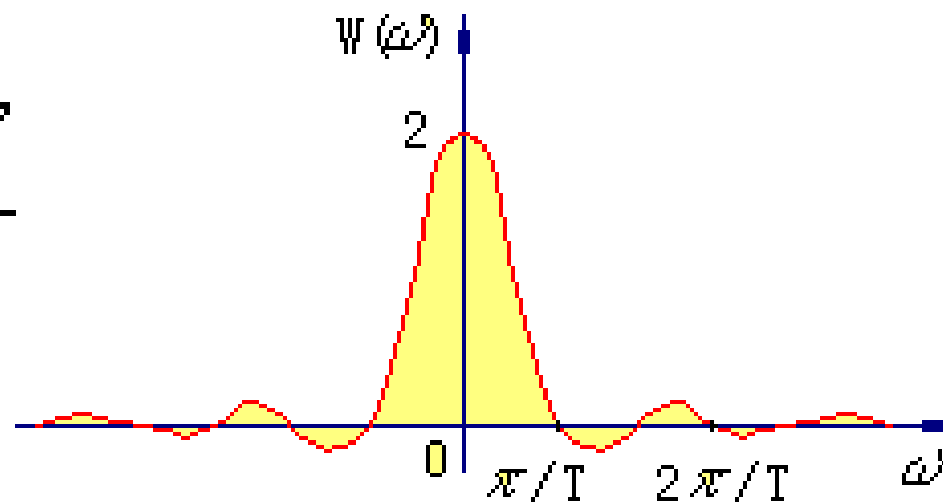
6.6.3 常用的窗函数

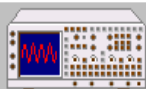
1) 矩形窗

$$w(t) = \begin{cases} \frac{1}{T} & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$



$$W(\omega) = \frac{2 \sin \omega T}{\omega T}$$



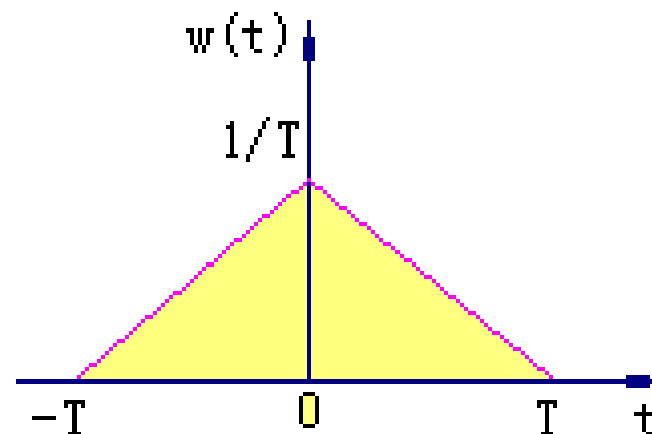


6.6 栅栏效应与窗函数

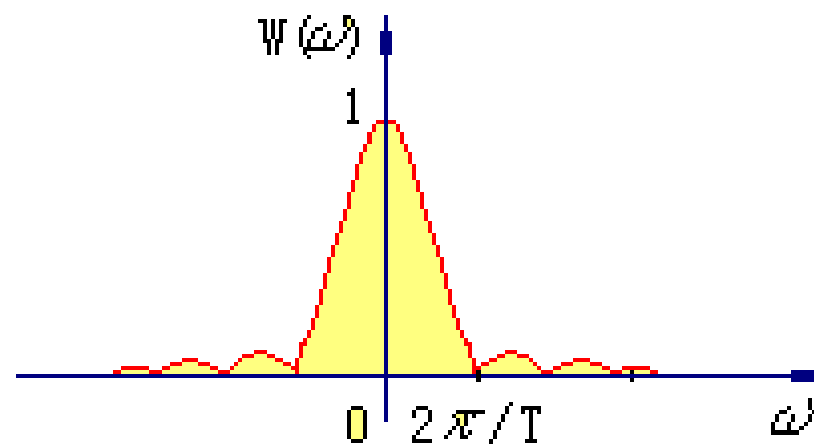
华中科技大学机械学院

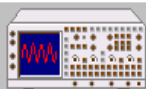
2) 三角窗

$$w(t) = \begin{cases} \frac{1}{T} \left(1 - \frac{|t|}{T}\right) & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$



$$W(\omega) = \left(\frac{\sin \omega T / 2}{\omega T / 2} \right)^2$$



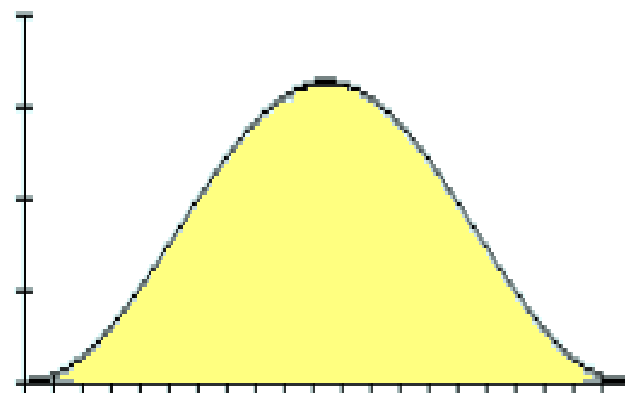


6.6 栅栏效应与窗函数

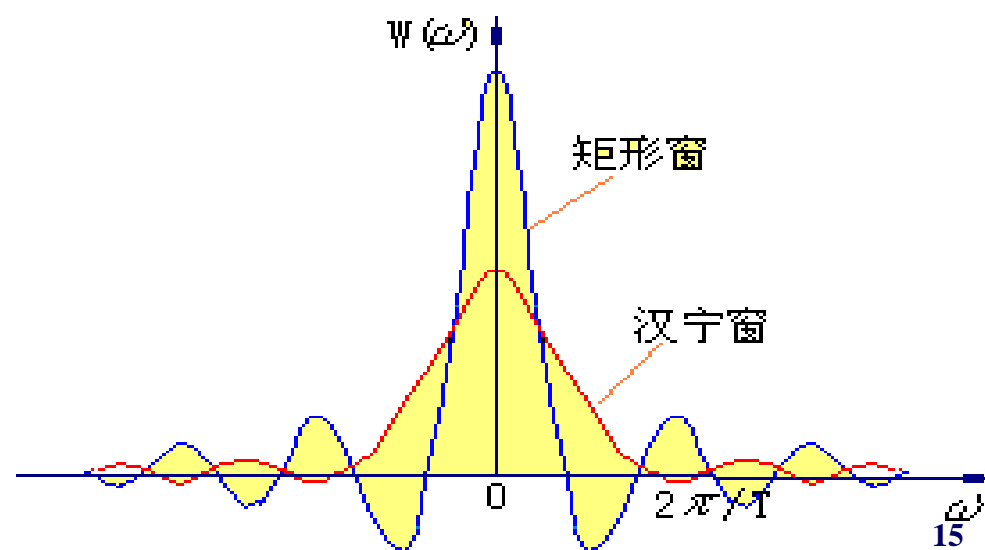
华中科技大学机械学院

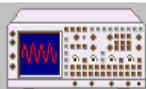
3) 汉宁窗

$$w(t) = \begin{cases} \frac{1}{T} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \frac{\pi t}{T} \right) & |t| \leq T \\ 0 & |t| > T \end{cases}$$

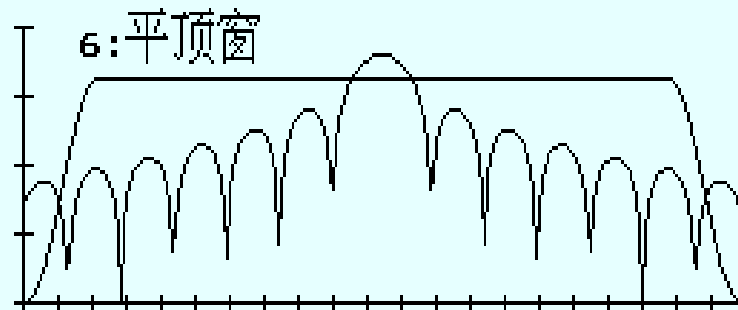
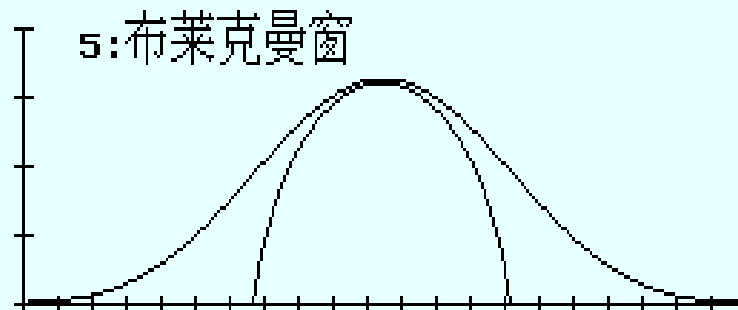
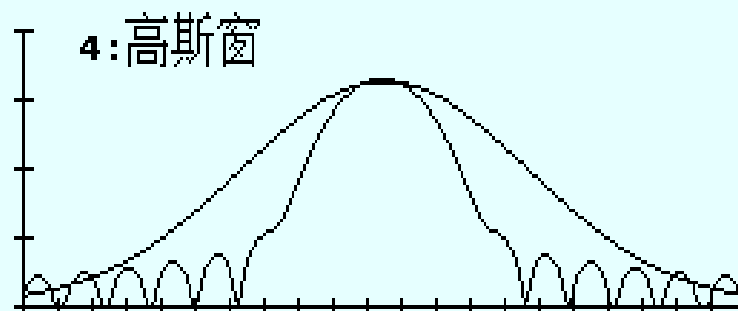
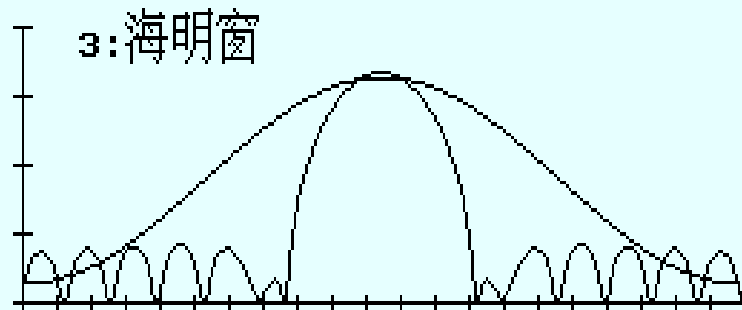
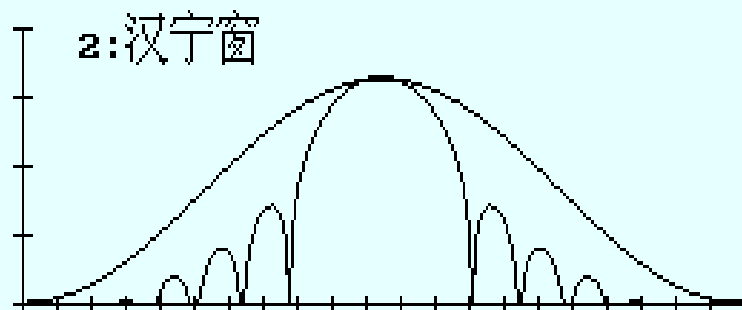
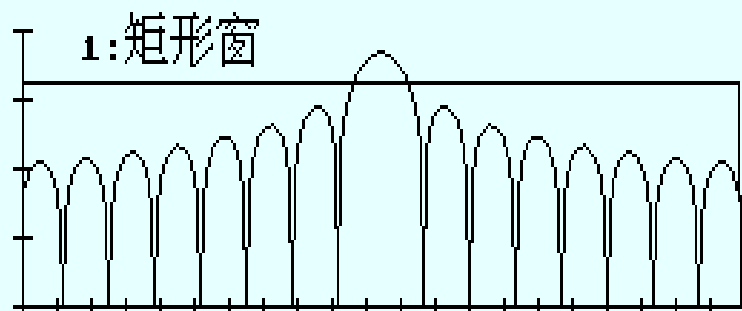


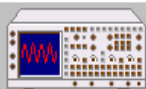
$$W(\omega) = \frac{\sin \omega T}{\omega T} + \frac{1}{2} \left[\frac{\sin(\omega T + \pi)}{\omega T + \pi} + \frac{\sin(\omega T - \pi)}{\omega T - \pi} \right]$$





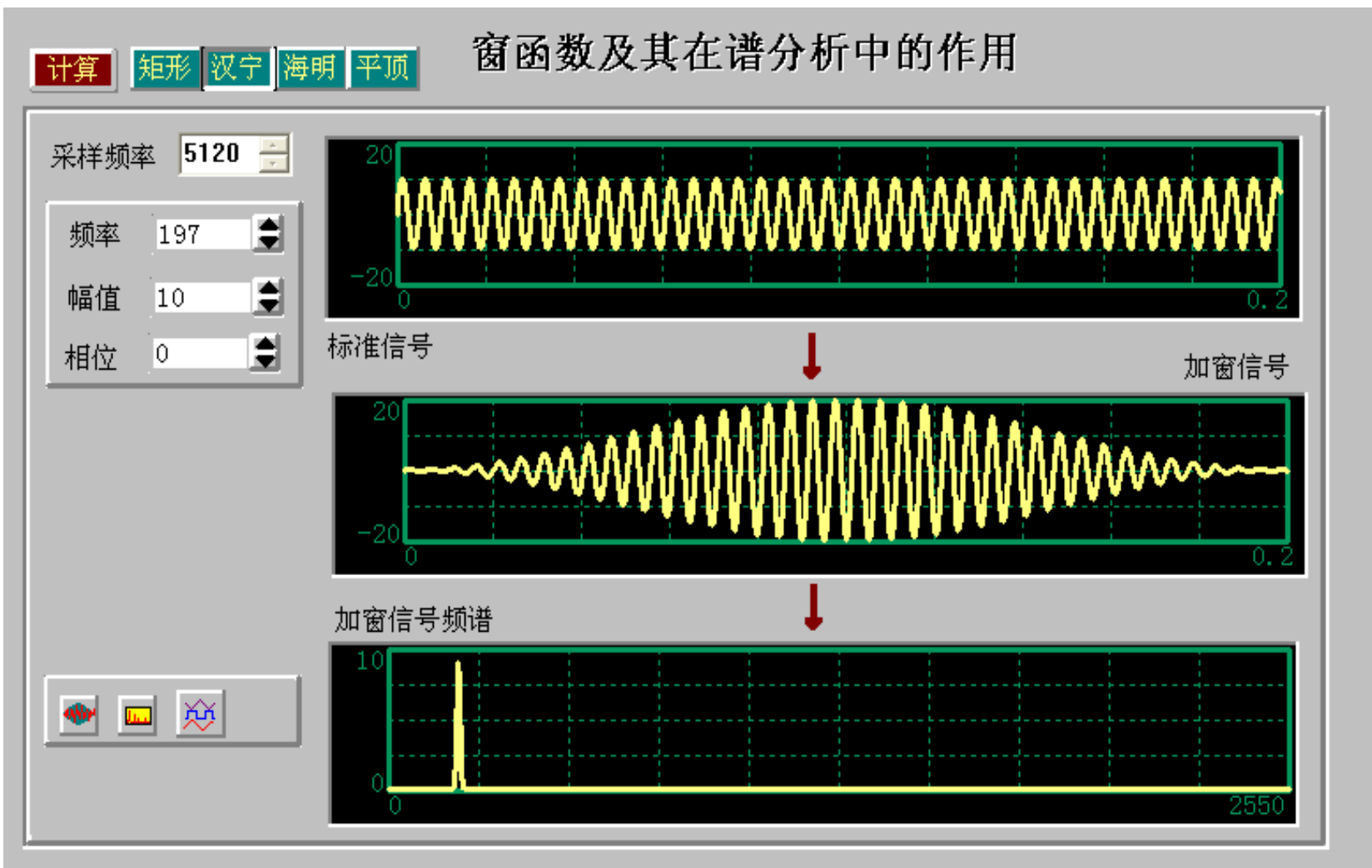
常用窗函数

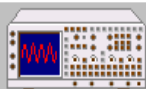




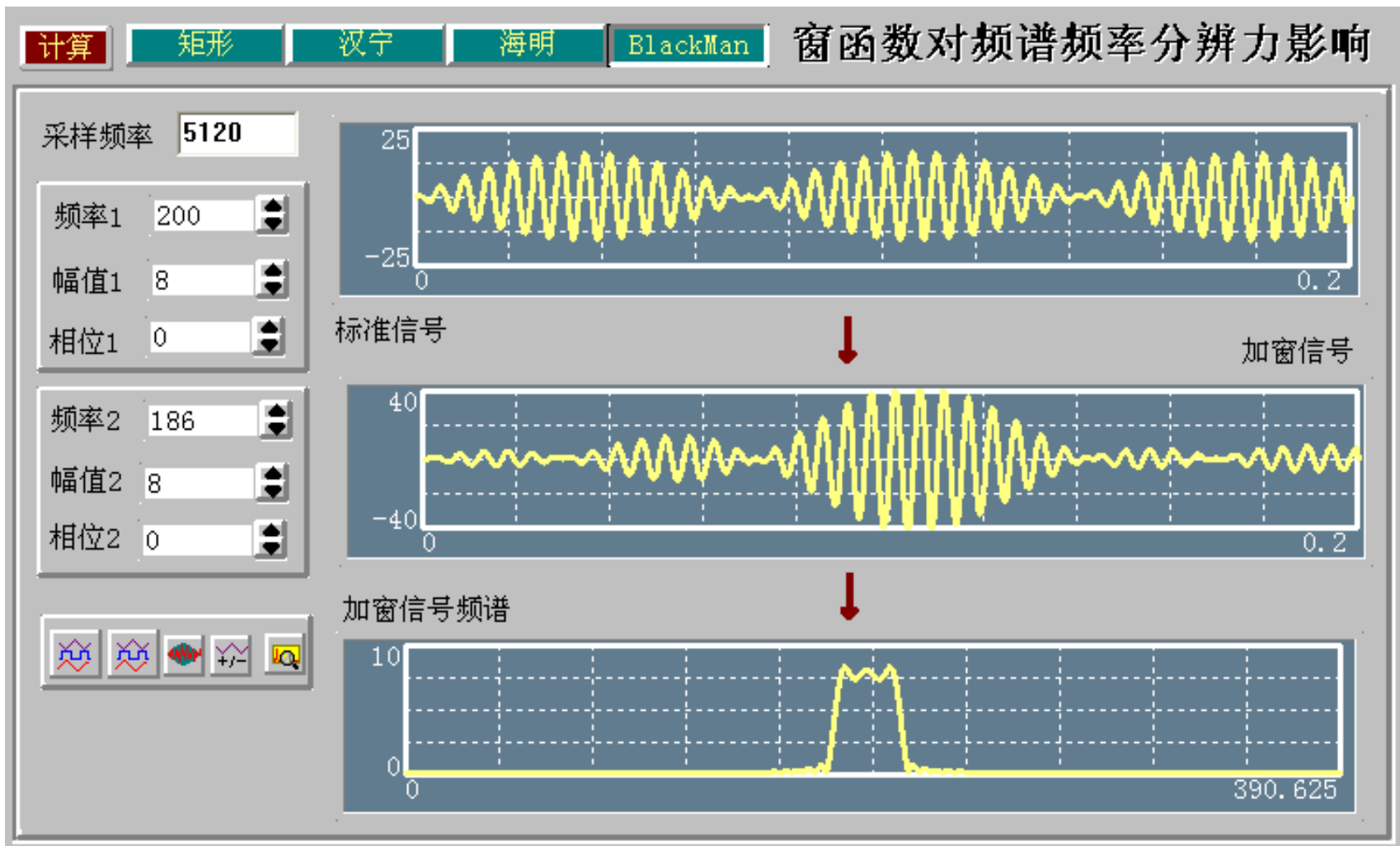
6.6 栅栏效应与窗函数

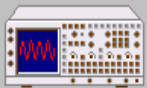
窗函数在减小栅栏效应误差中的作用实验：





6.6 栅栏效应与窗函数

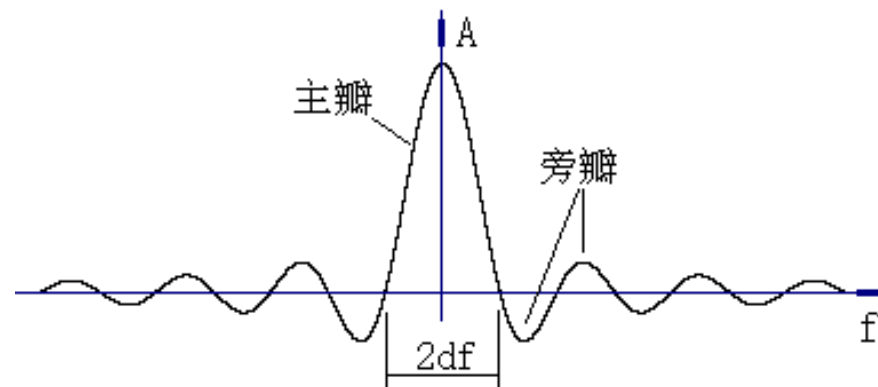




6.6 栅栏效应与窗函数

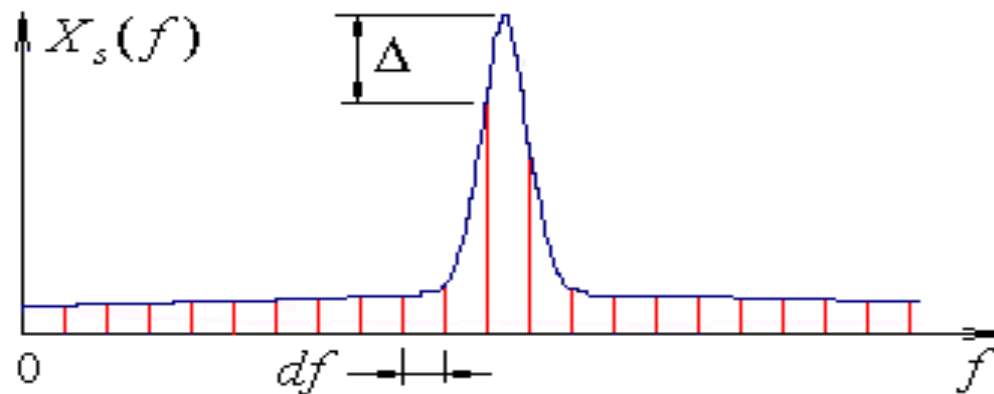
总结:

信号截断 \rightarrow 能量泄漏

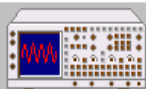


(a) 矩形窗函数的谱窗形状

FFT \rightarrow 栅栏效应



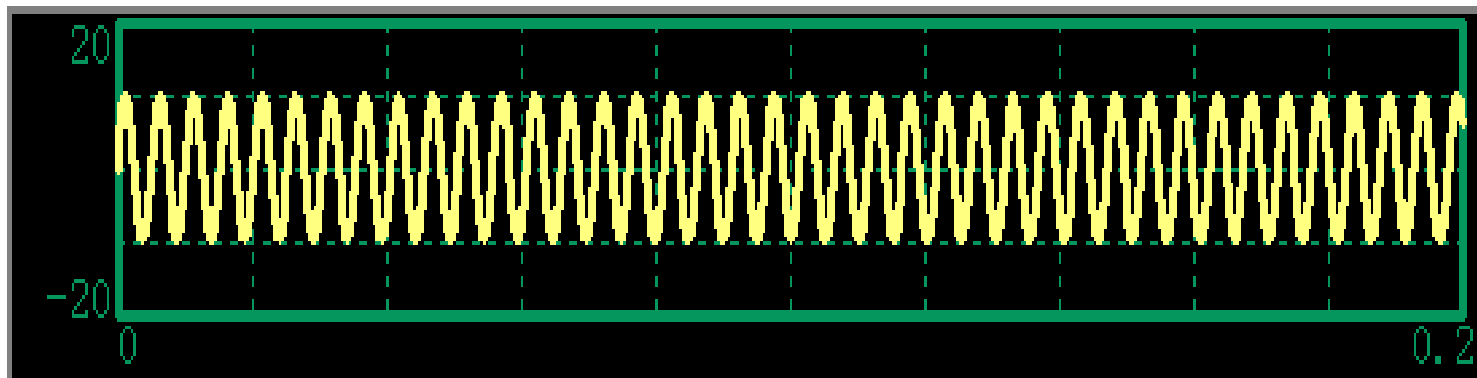
从克服栅栏效应误差角度看，能量泄漏是有利的。



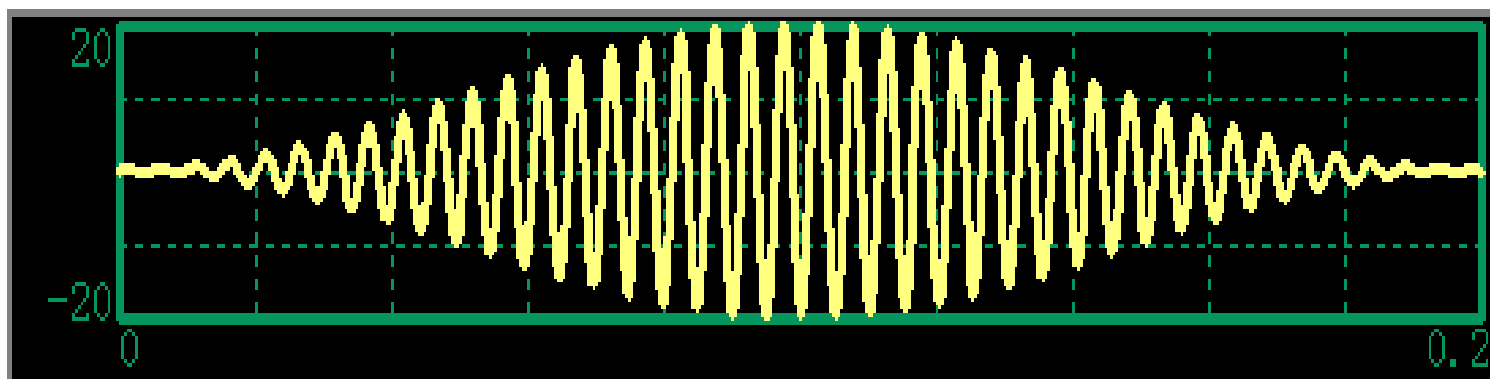
6.6 栅栏效应与窗函数

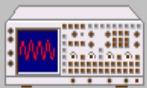
通过加窗控制能量泄漏，减小栅栏效应误差：

加矩形窗



加汉宁窗



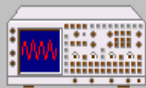


6.6 栅栏效应与窗函数



动手做：

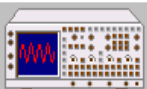
设计一个离散傅立叶计算程序，计算方波的频谱。观察栅栏效应带来的计算误差。



6.6 栅栏效应与窗函数

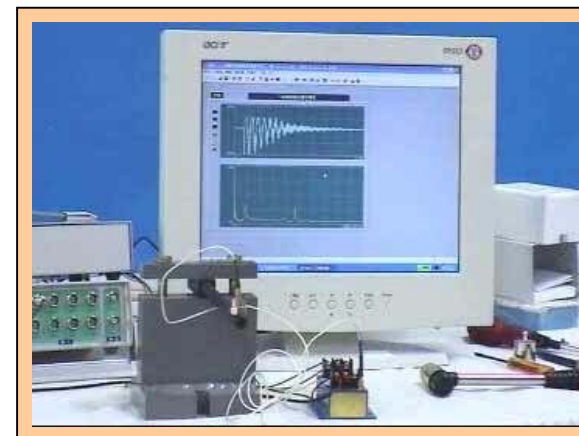
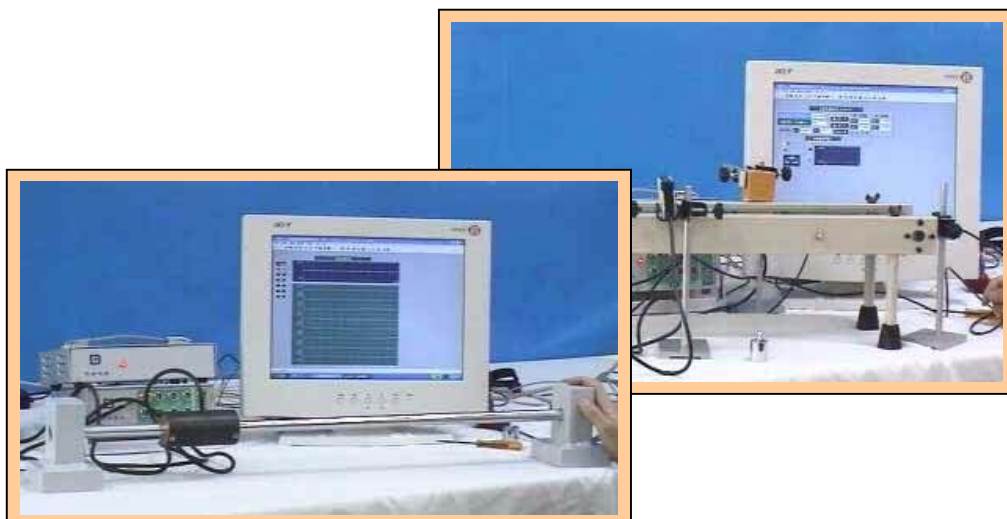
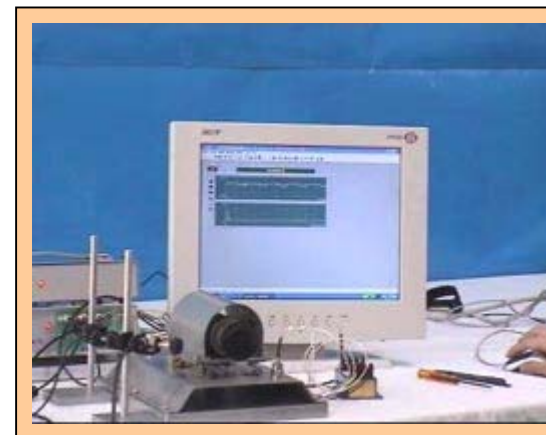
思考题：

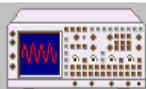
1. **A/D**， **D/A**转换器的主要技术指标有那些？
2. 信号量化误差与**A/D**， **D/A**转换器位数的关系？
3. 采样定理的含义， 当不满足采样定理时如何计算混迭频率？
4. **A/D**采样为何要加抗混迭滤波器， 其作用是什麽？
5. 数字信号处理中采样信号的频谱为何一定会产生能量泄漏？
6. 用**FFT**计算的频谱为何一定会存在栅栏效应误差？
7. 窗函数的作用是什麽？



6.7 常用的数字信号处理算法

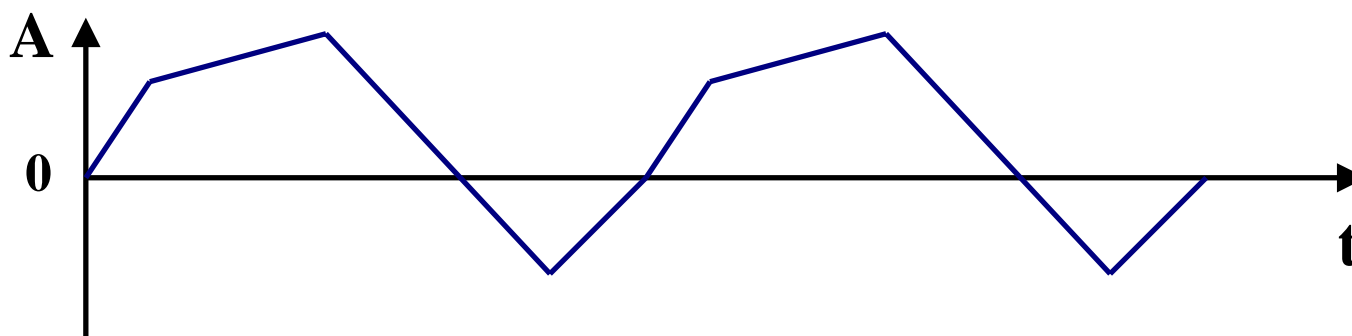
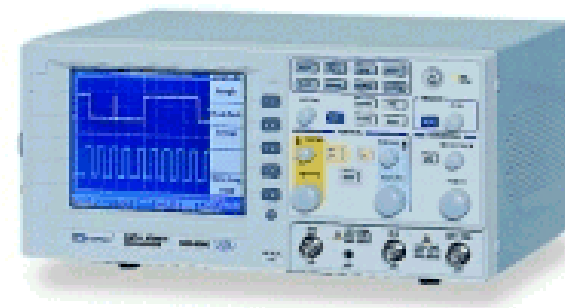
数字信号处理是测试技术中最常用和最需要掌握的部分，无论开发简单或复杂的测控系统或仪器，都会用到数字信号处理知识。



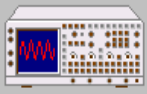


6.7.1 时域波形参数计算

时域波形分析是最常用的信号分析手段，用示波器、万用表等普通仪器显示信号波形就可以特征参数。



峰值/双峰值 均值 有效值 方差 周期



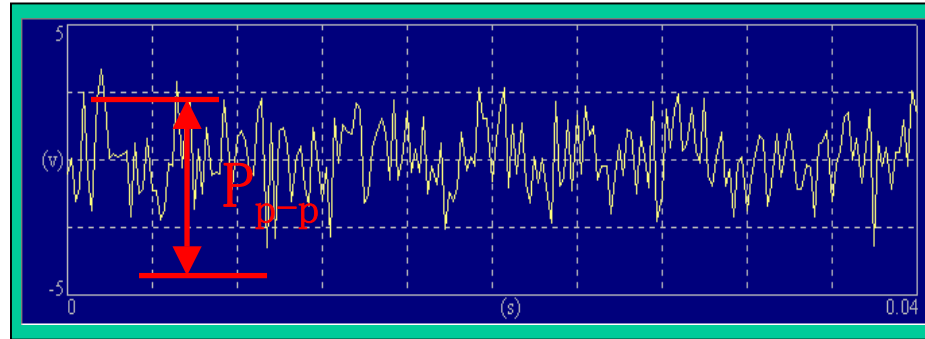
6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

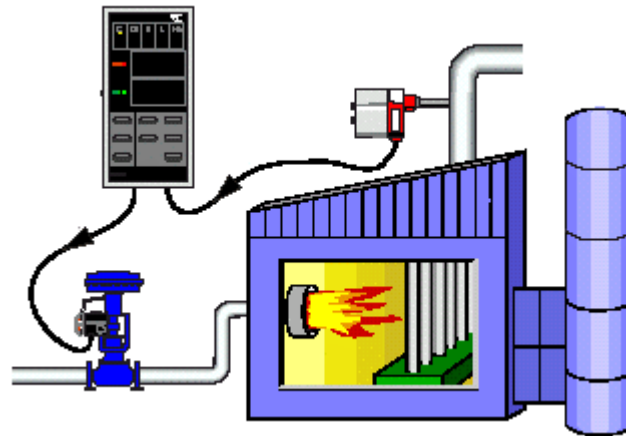
波形分析的应用

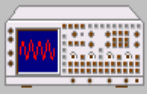
信号类型识别

信号基本参数识别



超门限报警

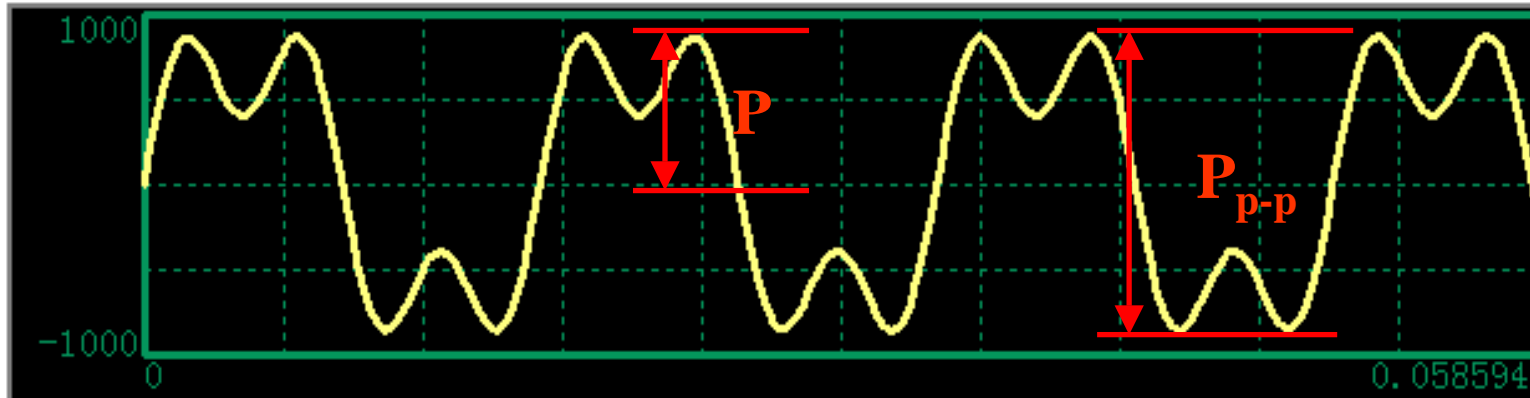




6.7 常用的数字信号处理算法

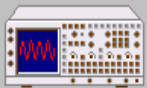
华中科技大学机械学院

1) 峰值 P ，双峰值 P_{p-p}



```
P1=data(0)
P2=data(0)
For K = 0 To N
  If P1<data(k) Then
    P1=data(k)
  End If
```

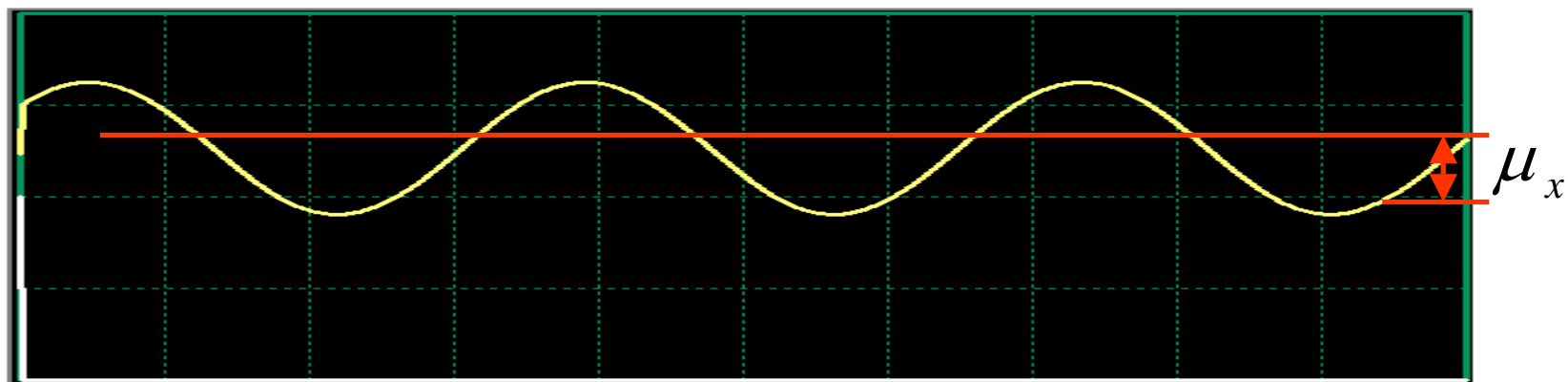
```
If P2>data(k) Then
  P2=data(k)
End If
Next
P=P1
P2P=P1-P2
```

6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

2)均值
$$E[x(t)] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N x(n)$$



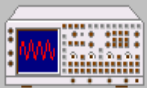
U=0

For K = 0 To N

U=U+data(k)

Next

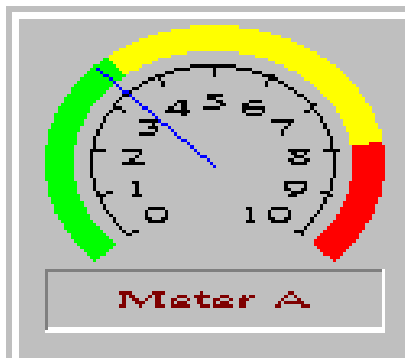
U=U/N



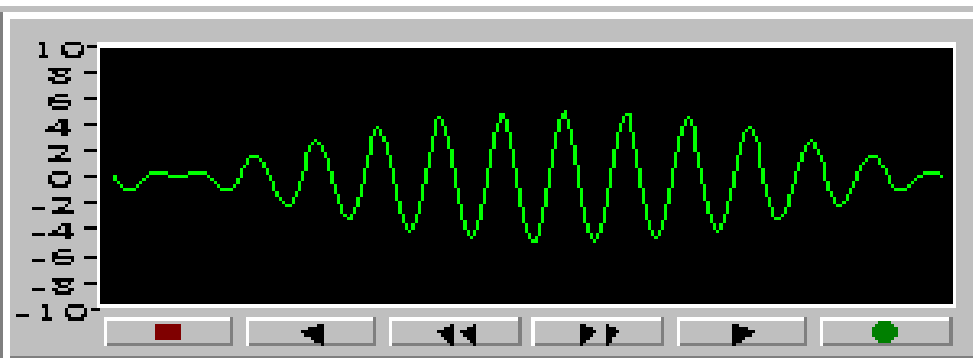
6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

3)均方值 $E[x^2(t)] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N x^2(n)$



信号有效值



信号波形

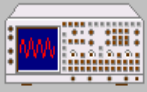
```
E2=0
```

```
For K = 0 To N
```

```
E2=E2+data(k)*data(k)
```

```
Next
```

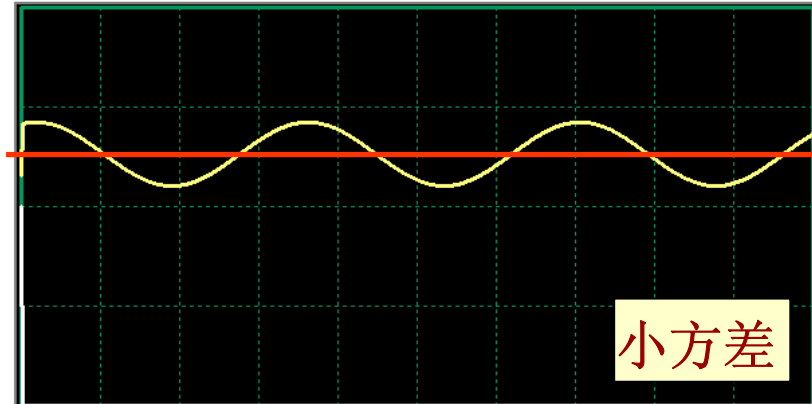
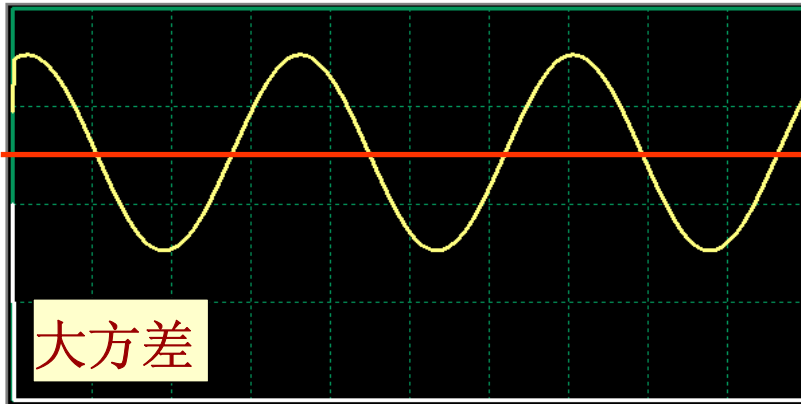
```
RMS=sqr(E2/N)
```



6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

4)方差 $E[(x(t) - E[x(t)])^2] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N (x(t) - \mu)^2$



U=0

For K = 0 To N

U=U+data(k)

Next

U=U/N

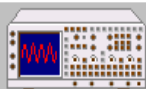
V2=0

For K = 0 To N

V2=V2+(data(k)-U)*(data(k)-U)

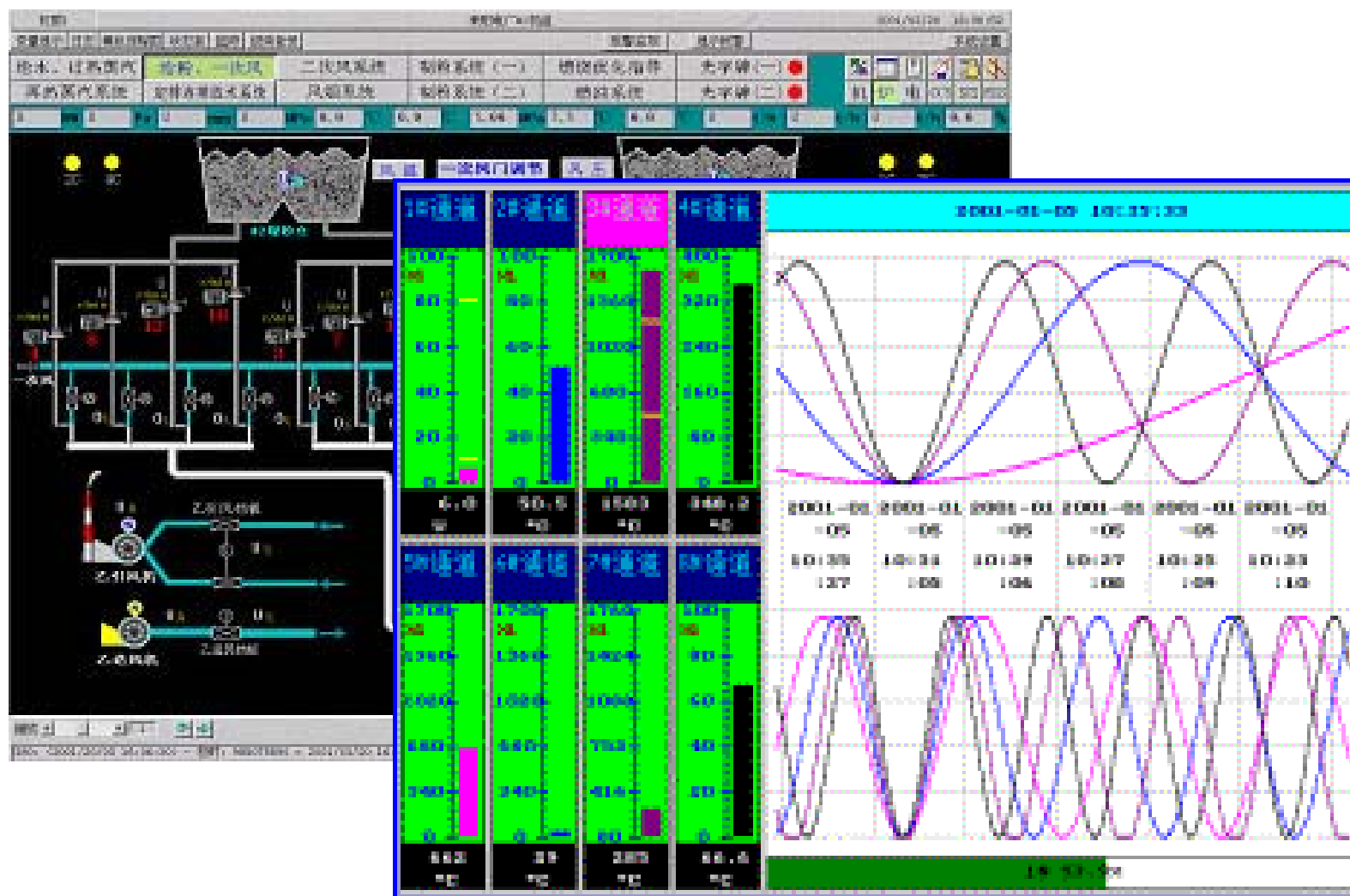
Next

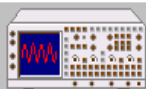
V=V2/N



6.7 常用的数字信号处理算法

案例：管道压力监测与超限报警

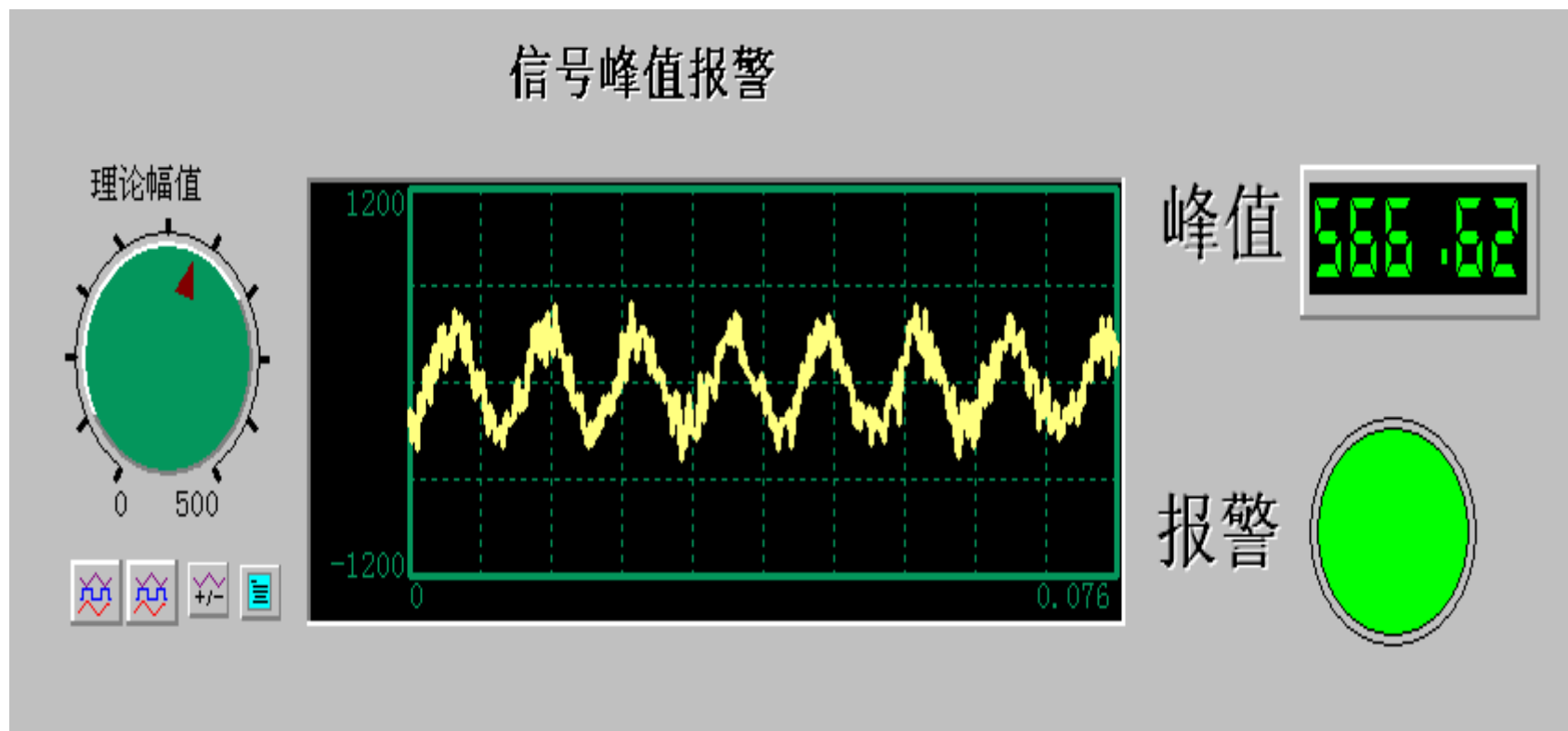


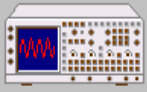


6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

信号幅值报警系统设计实验：

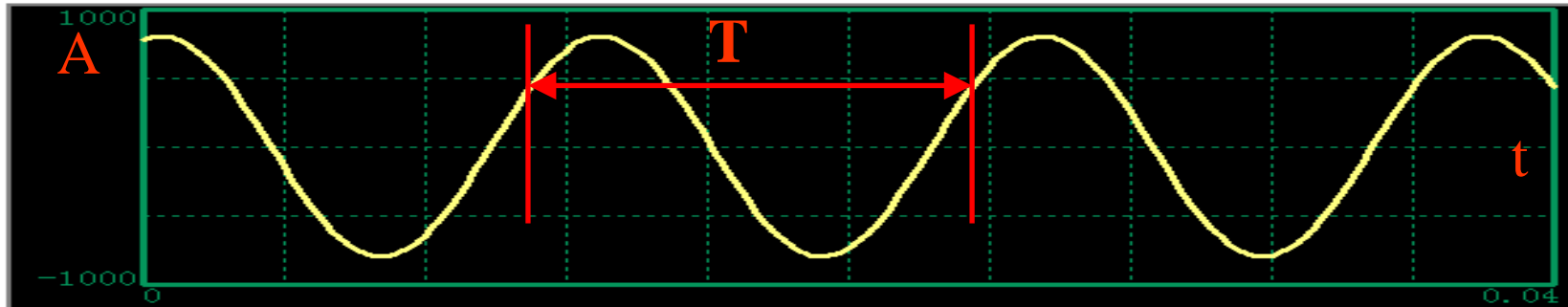




6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

5) 周期T



n=0

AT=0.8*P

For K = 2 To N

**If data(k-1)<AT And data(k-2)<AT And
data(k+1)>AT And data(k+2)>AT Then**

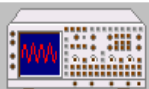
ti(n)=K

n=n+1

End If

Next

T=(ti(2)-ti(1))*dt

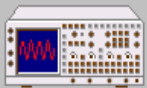


6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

案例：发动机转速测量

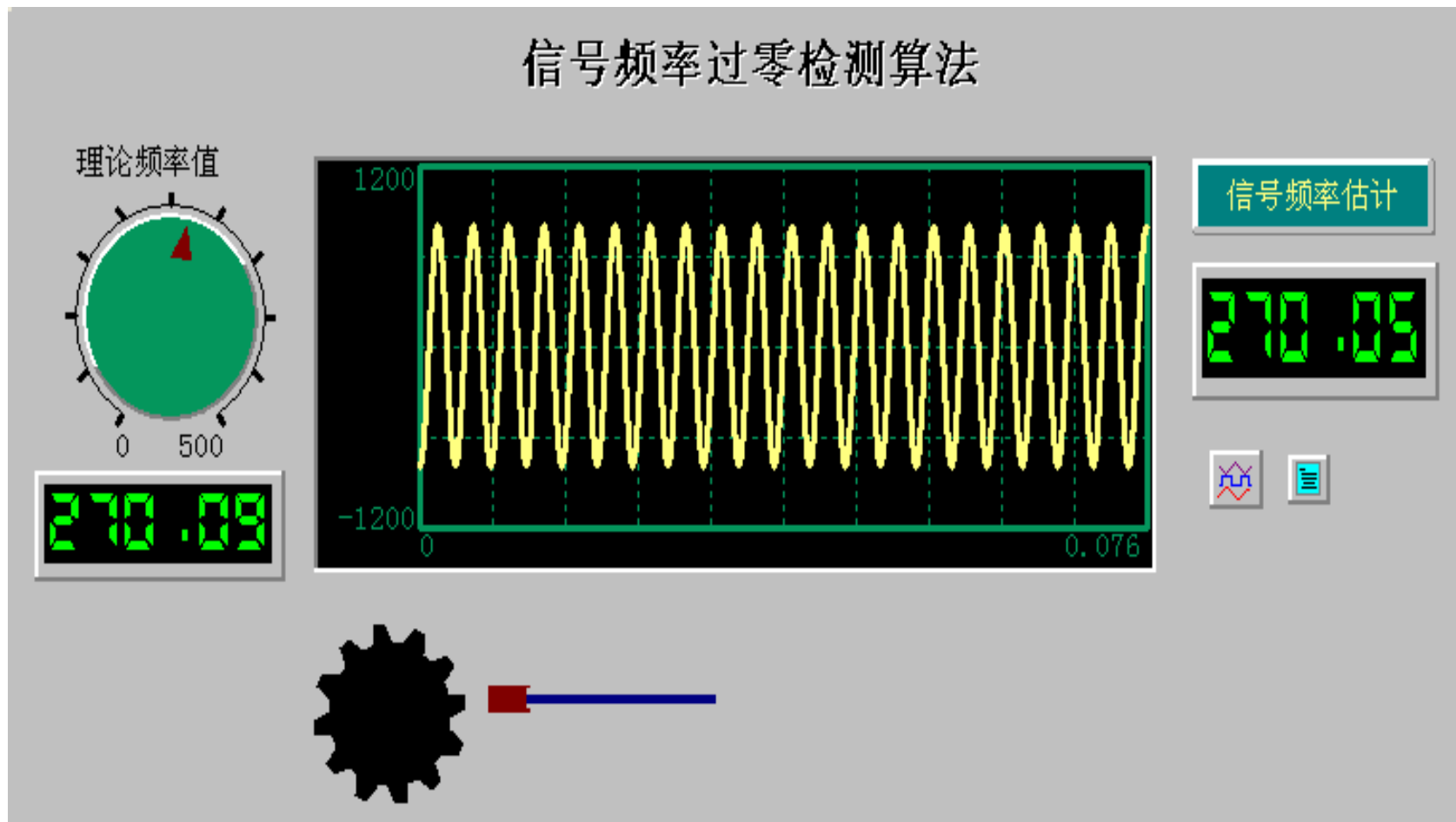


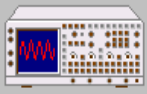


6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

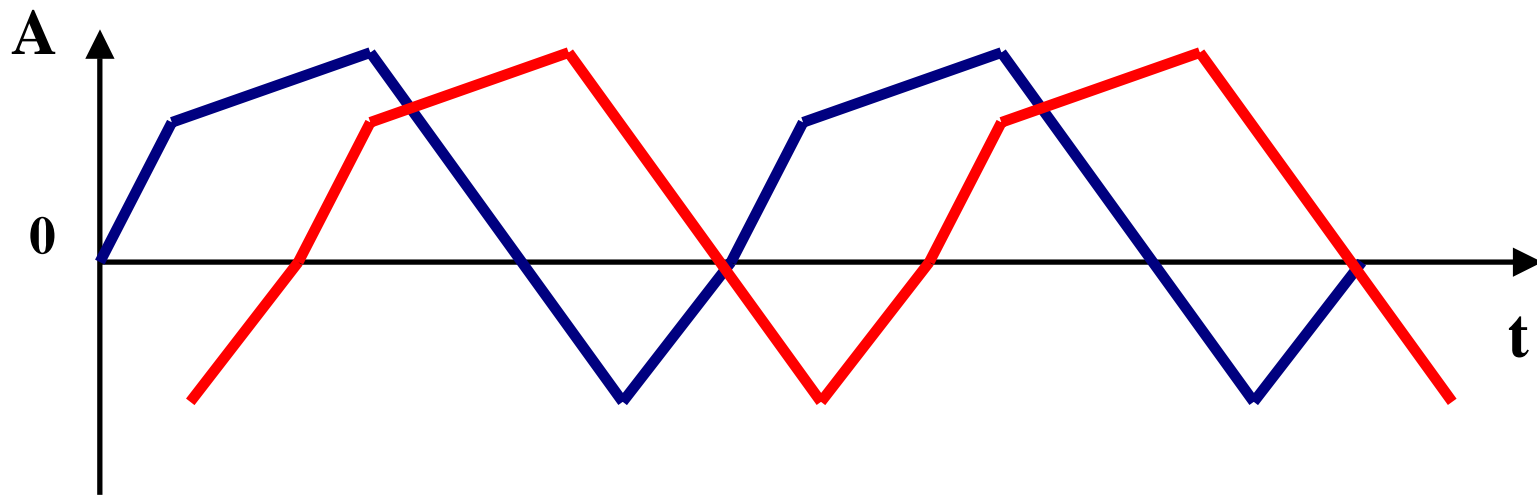
数字转速表设计实验：

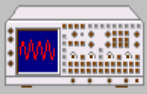




6.7.2 数字相关函数计算

变量之间的相依关系称为相关。信号之间的相似关系称为相关函数。

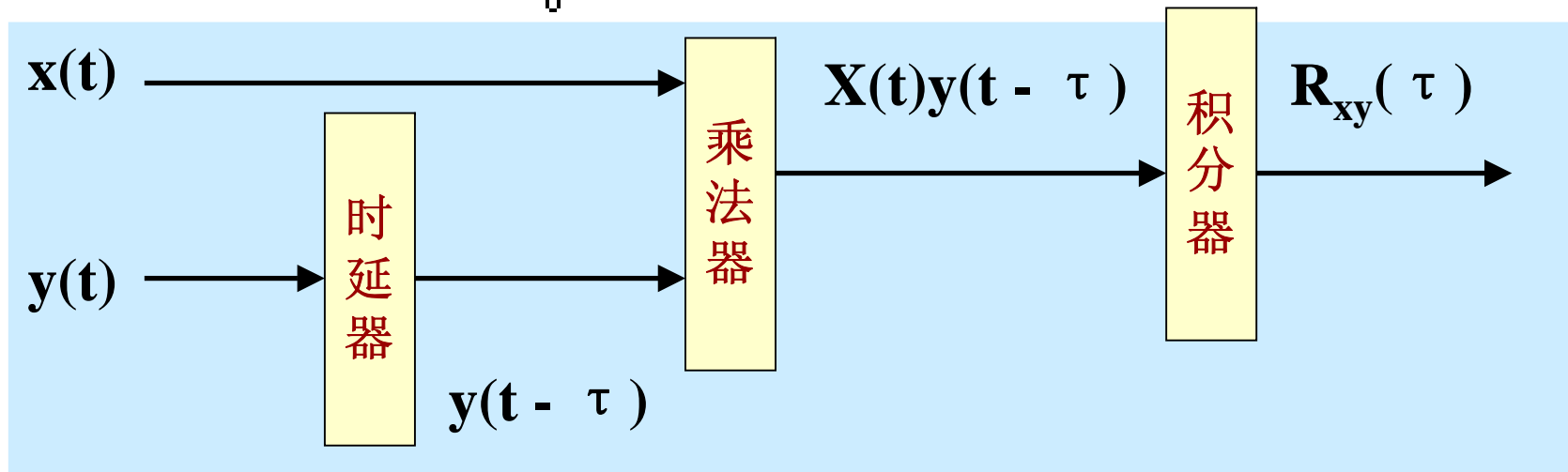




6.7 常用的数字信号处理算法

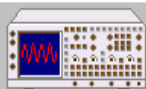
华中科技大学机械学院

计算公式:
$$R(k) = \left[\sum_0^{N-1} x(n)y(k+i) \right] / N, \quad k=0, 1, 2, \dots$$



```
For i = 0 To N
r(i)=0
For j = 0 To N
    r(i)=r(i)+x(j)*y(j+i)
Next
Next
```

```
For i = 0 To N
r(i)=r(i)/N
Next
```



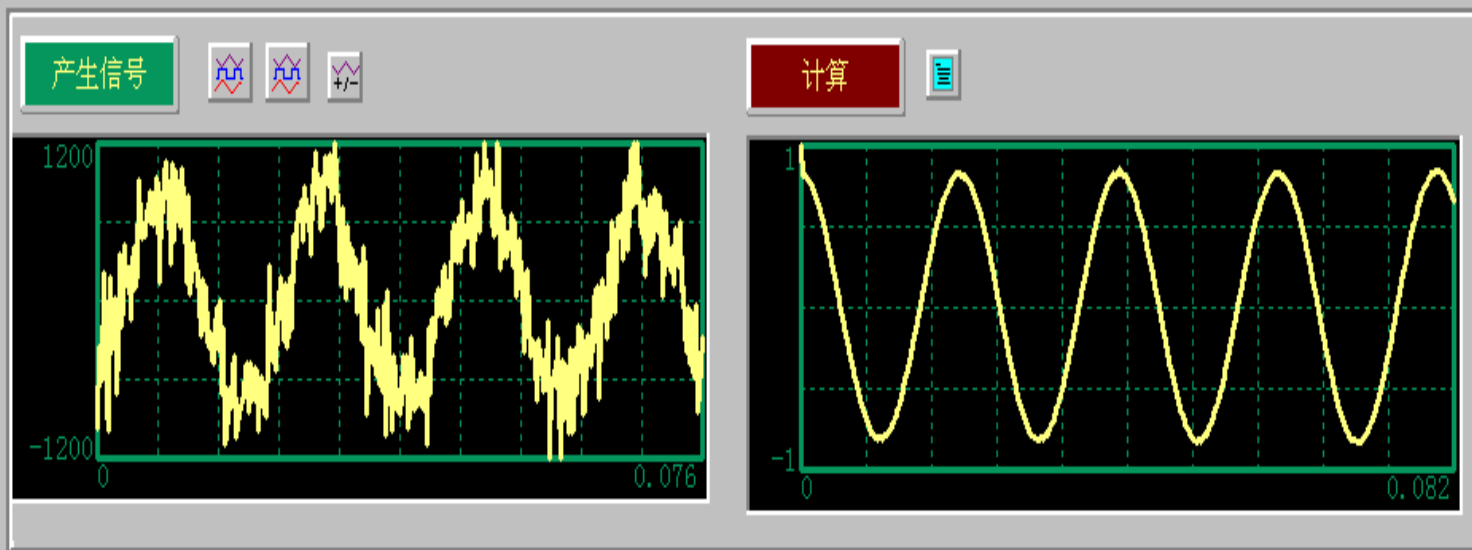
6.7 常用的数字信号处理算法

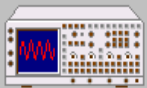
华中科技大学机械学院

实验：自相关分析



直接法计算自相关系数





6.7.3 信号频率成分直接估计算法

离散傅里叶变换的计算公式为：

$$H(f) = \left[\sum_0^{N-1} x(n) \cos(2\pi \cdot f \cdot n \cdot \Delta t) + j \sum_0^{N-1} x(n) \sin(2\pi \cdot f \cdot n \cdot \Delta t) \right]$$

f=?

Fs=?

N=1024

dt=1.0/Fs

pi=3.1415926

XR=0

XI=0

For n=0 To N-1

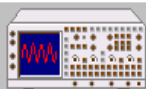
XR=XR+x(n)*cos(2*pi*f*n*dt)*dt

XI=XI+x(n)*sin(2*pi*f*n*dt)*dt

Next

A=sqr(XR*XR+XI*XI)

Q=atn(XI/XR)

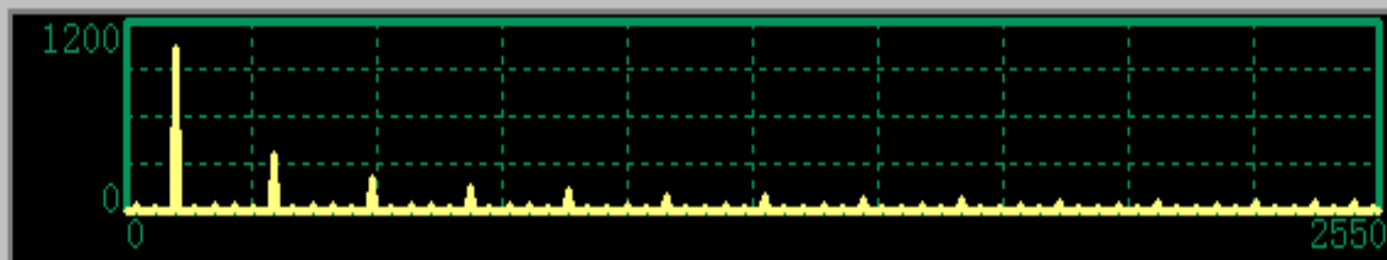
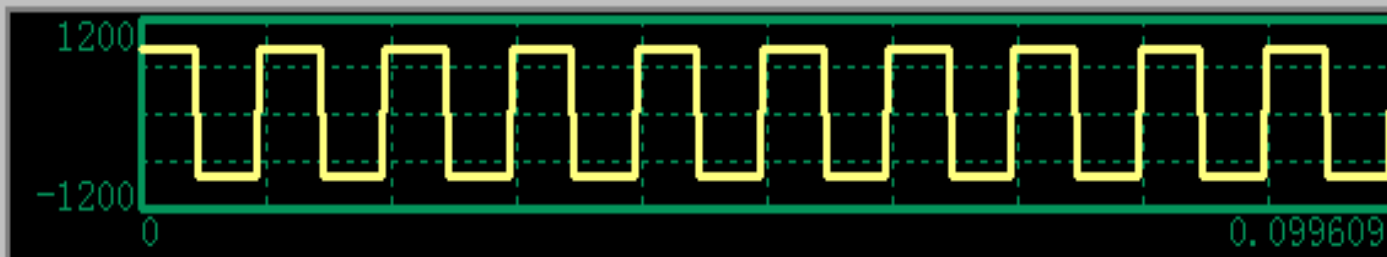


6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

运行

方波频谱的直接计算



计算

频率

500

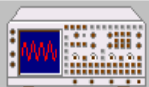
幅值

203.846

相位

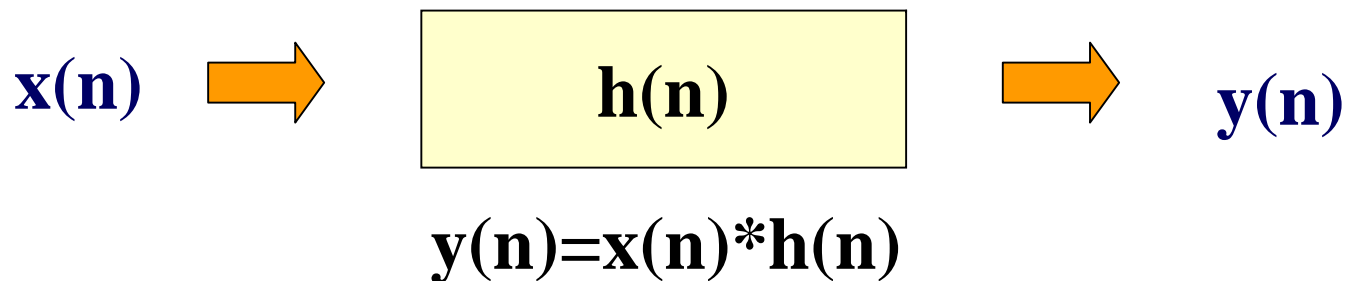
-0.576





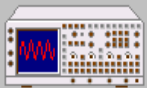
6.7.4 数字滤波

利用离散时间系统特性对输入信号进行加工处理，把输入序列 $x(n)$ 变换成一定的输出序列 $y(n)$ ，从而达到改变信号频率构成的目的。



设数字滤波器的脉冲响应序列为 $\{h_0, h_1, h_2, \dots, h_m\}$ ，则，展开：

$$y(k) = h_0 x(k) + h_1 x(k+1) + h_2 x(k+2) + \dots + h_m x(k+m)$$
$$k = 0, 1, \dots$$



6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

将数字滤波器系数带入公式中就可以对信号进行数字滤波。

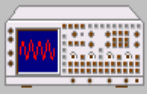
最平通带FIR滤波器设计工具 -- 深圳蓝津

滤波器阶次 滤波器系数

```
For i=0 To N-7  
Y(i)=-0.064X(i-0)+0.041X(i-1)+0.301X(i-2)  
+0.454X(i-3) +0.301X(i-4)+0.041X(i-5)  
-0.064X(i-6)  
Next
```

0 0.5

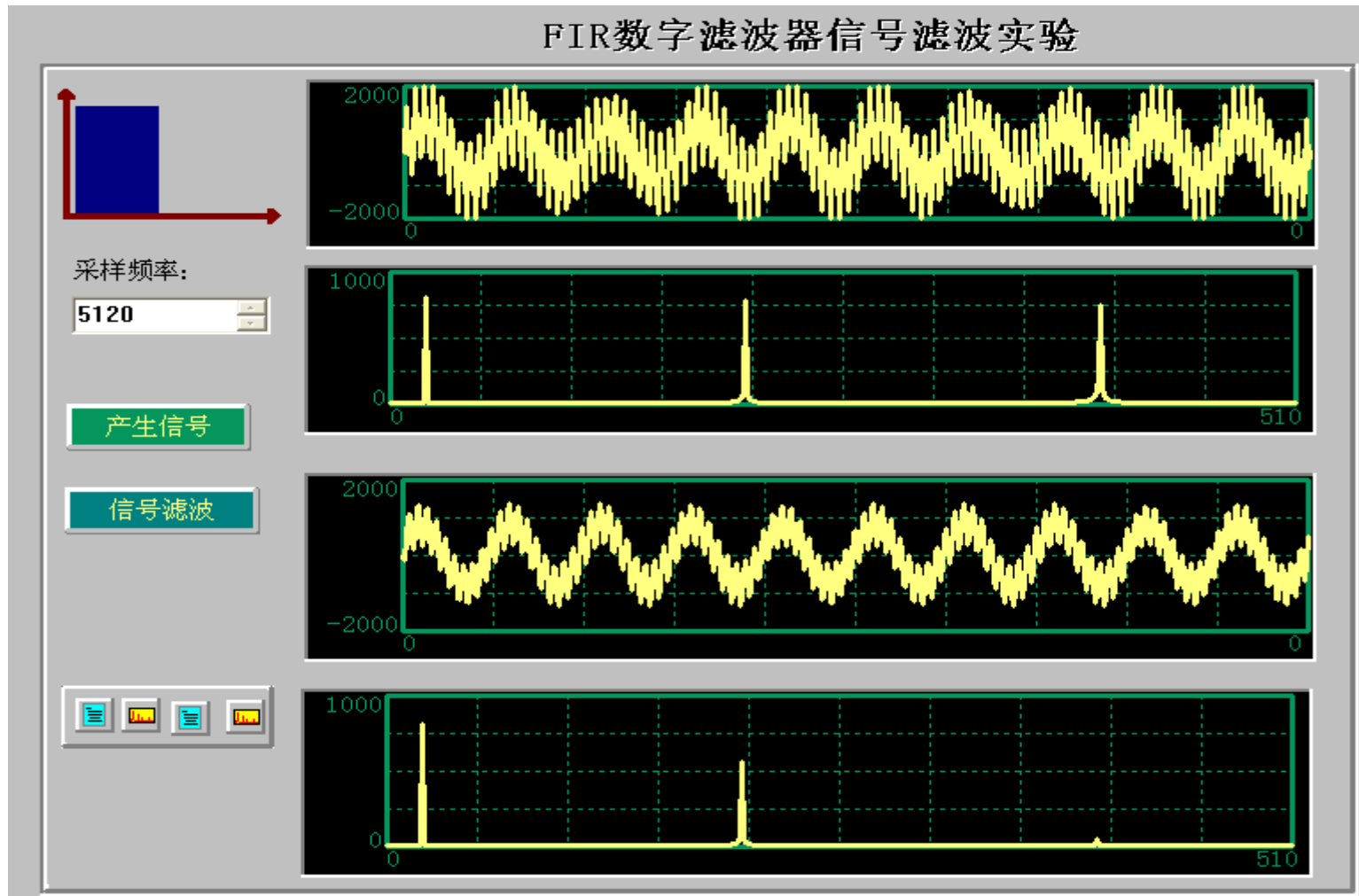
计算

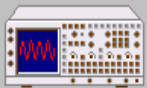


6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

样例信号:

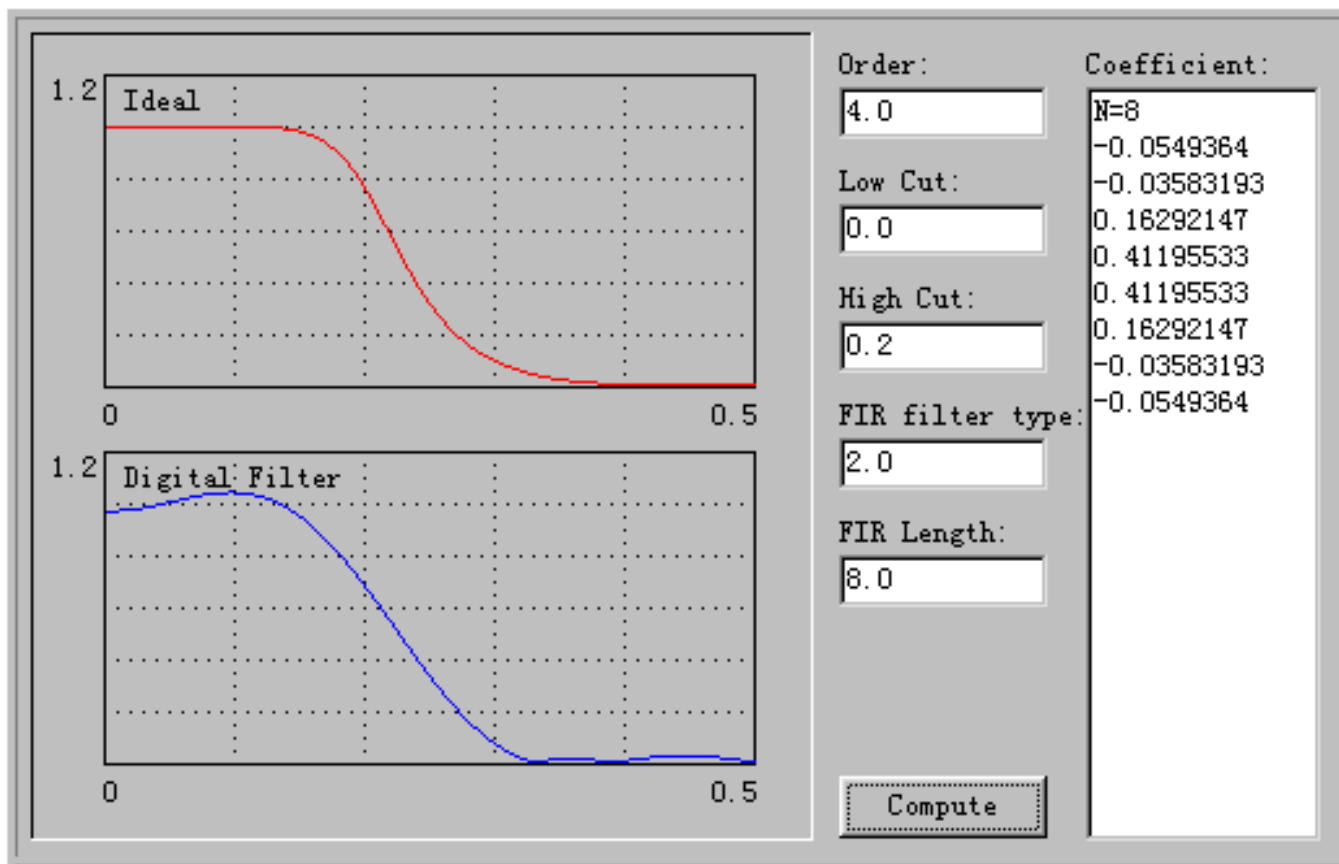


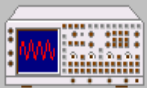


6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

数字滤波器系数有专用软件计算，这里我们提供一个网络计算工具：





6.7 常用的数字信号处理算法

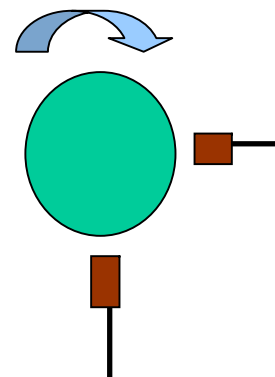
华中科技大学机械学院

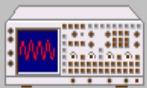
数字滤波应用实例：

滤除信号中的零漂和低频晃动，便于门限报警



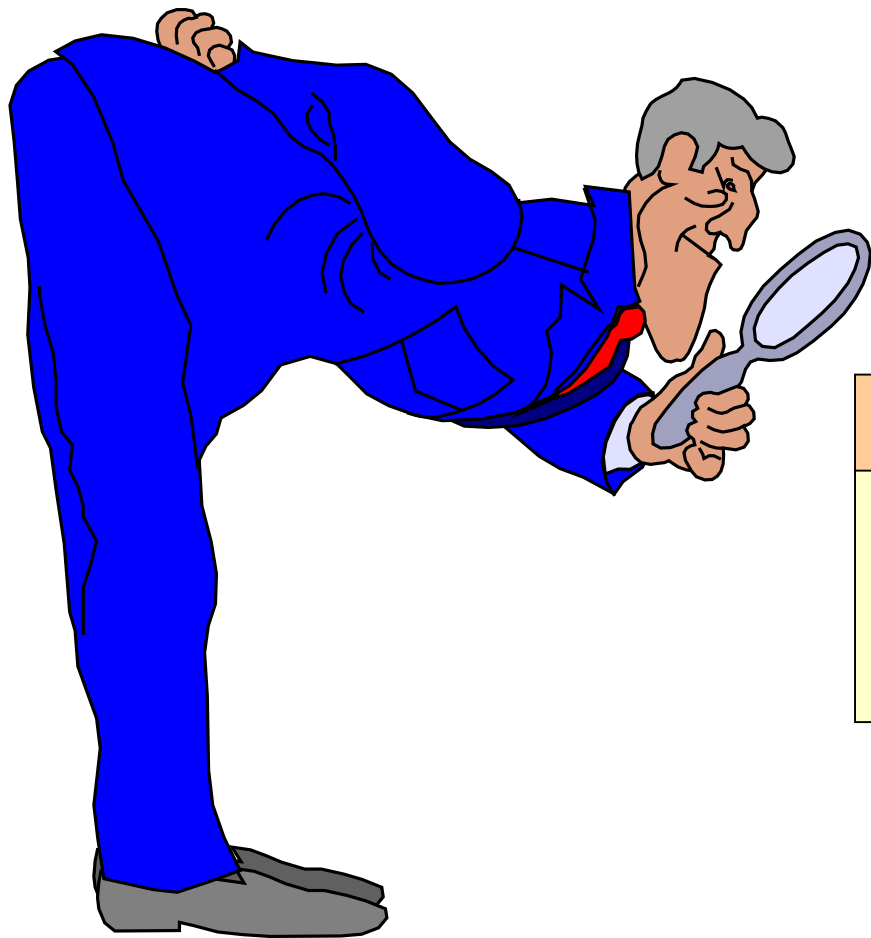
滤除信号中的高频噪声，以便于观察轴心运动规律





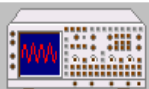
6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院



动手做：

用所学的数字信号分析算法设计一个简单的声音信号分析程序。



6.7 常用的数字信号处理算法

华中科技大学机械学院

思考题:

- 1.目前数字信号处理正在逐步取代用模拟电路实现的模拟信号处理，为什么？
- 2.按数字信号处理公式，用你熟悉的计算机语言，写出常用数字信号处理算法的计算程序？
- 3.按采样数据 $x(1), x(2), \dots, x(n)$ ，计算信号的时域波形参数？

$F_s=10\text{Hz}, X_i\{0,2,3,0,-1,-2,0,2,3,0,-1,-2,0\}$

