

教师课堂教学竞赛参赛内容目录

《信号与系统》教学大纲中基本教学内容共 9 章，此次教学设计的 3 个节段分别选自第 4、5 等两章。

1. 周期信号的频谱.....

1

选自第 4 章：信号的频域分析/第 1 节：连续时间周期信号的频域分析

2. 信号的时域抽样.....10

选自第 4 章：信号的时域抽样和频域抽样/第 1 节：信号的时域抽样

3. 单边带幅度调制.....23

选自第 5 章：信号的幅度调制与解调/第 1.2.3 节：单边带幅度调制

任课教师		班 级	光电 13-1BF
课程名称	信号与系统	章 节	4.1.2
课 题	周期信号的频谱		
课时安排	1 课时		
教学教具	多媒体+板书		
教法设计	引导、讲授、练习、自主研究		
教 学 目 标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 了解时域波形与频谱的联系。 2. 理解周期信号频谱的物理概念。 3. 掌握周期信号频谱的求解方法和特性及有效带宽的工程意义。 4. 了解频谱在日常生活及工程中的一些应用。 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握利用变换域分析事物的科学研究方法，培养学生在日常生活中从不同角度全面客观的看待问题。 2. 通过对频谱有效带宽的理论与工程分析，懂得在分析问题的时候讲事物普遍联系起来系统的考虑问题，理论联系实际的科学态度及严谨的思维方式在科学研究及工程应用中的必要性及重要性。 3. 通过了解频谱的应用，深切体会科学知识在生产生活中的实用价值。 4. 通过音阶频谱分析和男女生声音转换的自主研究题目，引导学生利用所学到的科学知识，学以致用，分析解决实际问题，激发学生刻苦学习的热情及热爱科学的情怀。 		
教学重点	<ol style="list-style-type: none"> 1、周期信号频谱的物理概念。 2、周期信号频谱的共同特性。 		
教学难点	<ol style="list-style-type: none"> 1、周期信号时域波形与频谱的联系。 2、信号的有效带宽及工程意义。 		

教 学 内 容

教师活动

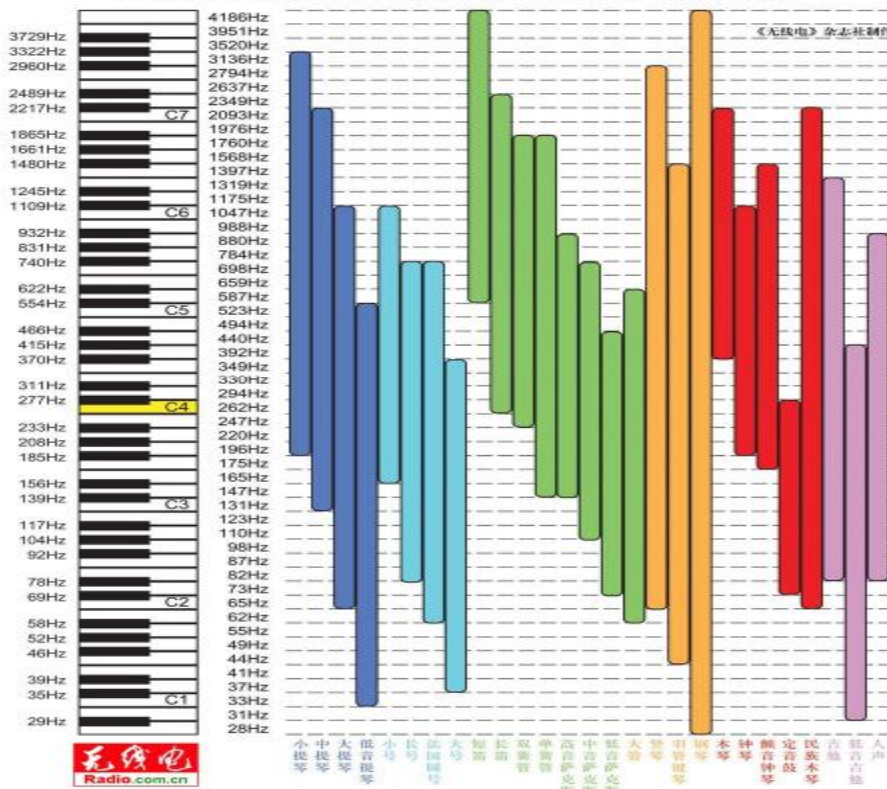
学生活动

一、知识回顾与新课引入

1. 中学物理讲过的声音三要素是哪三个？哪一个与音乐中八个音符直接相关？这一要素由什么决定？

答：声音的三要素是响度、音调、音色，音调与音符直接相关，音调由振动频率决定。

标准音阶及常用乐器频率范围对照表（完全版）



知识回顾 静心上课

回顾中学 一起回忆知识，并

大家熟悉的住了而没有音乐联系起

来，引出频率这一物理

量。又什么关系的疑问。

给出标准

音阶及常用乐器频率范围对照表。

从视觉上

“看”音乐。

2. 傅立叶级数的三种具体表现形式。

答：纯指数形式：
$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t}$$

三角函数形式：
$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

纯余弦形式: $x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t + f_n)$

3. 从信号分析的角度，傅立叶级数的意义是什么？

答：将信号表示为不同频率正弦分量的线性组合。

4. 能否根据傅立叶级数类从频率的角度分析音调呢？

带着这样的疑问，我们来学习今天的新课——周期信号的频谱。

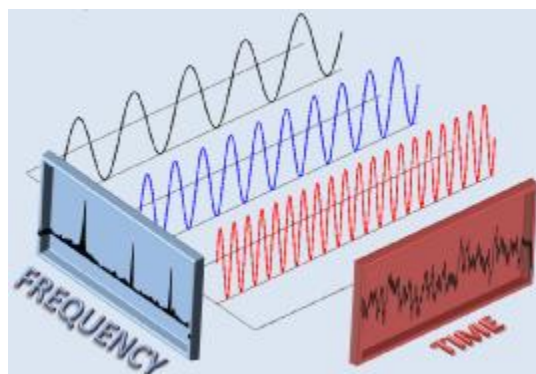
§ 4.1.2 周期信号的频谱

新课内容分为三部分。第一部分是本堂课的重点也是难点，周期信号频谱的物理概念，将信号时域波形与傅立叶级数联系起来建立频谱的感性认识，通过纯指数形式引出频谱的物理概念；第二部分是本堂课的重点内容，通过周期矩形脉冲信号道出周期信号频谱的共同特性；第三部分，频谱的应用，举例子，让同学们感受一下身边的与频谱有关的科学。

一、频谱的概念

通过傅立叶级数可知，周期信号可以分解为不同频率虚指数信号之和

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t}$$



老师带领 回顾上节
学生一起回 课内容，背
忆，并在黑 出具体公
板上写出三 式。
个表达式。

(针对上图向学生提问)

图中的信号在时域和频域两个维度体现的图形一样吗?

(等待学生回答,待大多数学生能理解图形的各个坐标含义并判断图形不一样,展示图片)



(继续提问)

频域维度的图形是如何表示的呢? (频域语气加重)

图中时域和频域现实的图形不同,是从不同的角度看的同一个信号。

不同的时域信号,只是傅里叶级数的系数 C_n 不同,因此通过研究傅里叶级数的系数来研究信号的特性。引出频谱的概念

1. 频谱的概念

C_n 是频率的函数,它反映了组成信号各次谐波的幅度和相位随频率变化的规律,称频谱函数。

2. 频谱的表示

直接画出信号各次谐波对应的 C_n 线状分布图形,这种图形称为信

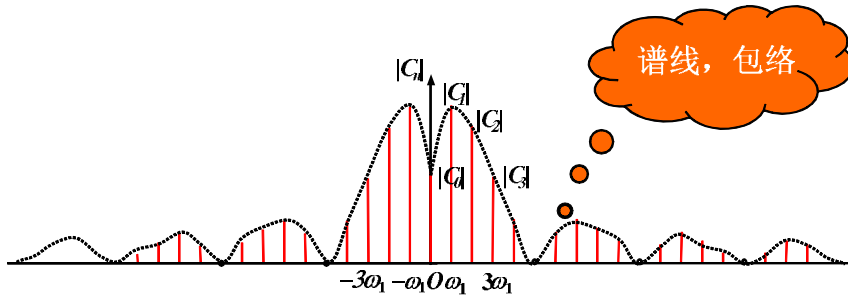
新课引入 同学们结合实际,联想傅立叶级数,积极思考。

教师引出 新课内容、相互联系、突出重点。

号的频谱图。

$$C_n = |C_n| e^{j f_n}$$

其中， $|C_n|$ 为幅度频谱， f_n 相位频谱。



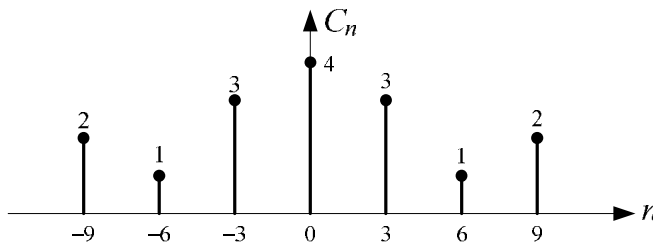
例 1 计算如下连续周期信号的频谱，并画出频谱图。

$$x(t) = 4 + 6 \cos(\omega_0 t) + 2 \cos(2\omega_0 t) + 4 \cos(3\omega_0 t)$$

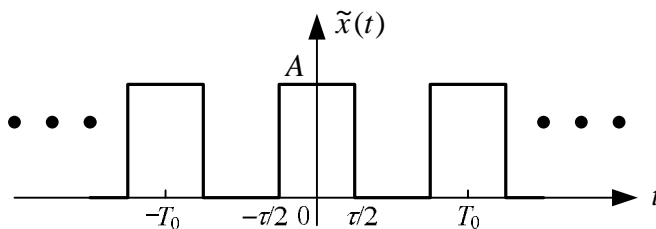
解： $x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega_0 t}$

$$= 4 + 3(e^{j\omega_0 t} + e^{-j\omega_0 t}) + (e^{j2\omega_0 t} + e^{-j2\omega_0 t}) + 2(e^{j3\omega_0 t} + e^{-j3\omega_0 t})$$

$$C_0 = 4, C_{\pm 1} = 3, C_{\pm 2} = 1, C_{\pm 3} = 2$$

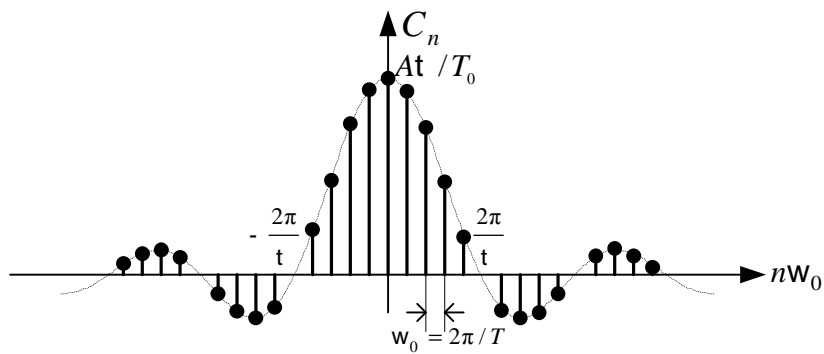


例 2 周期矩形脉冲信号的频谱图



$$C_n = \frac{At}{T_0} \text{Sa}\left(\frac{n\omega_0 t}{2}\right)$$

教师播放
动画，并简
单介绍各坐
标的物理意
义。



二、频谱的特性

1. 离散频谱特性

周期信号的频谱是由间隔为 ω_0 的谱线组成的。

信号周期 T_0 越大, ω_0 就越小, 则谱线越密。反之, T_0 越小, ω_0 越大, 谱线则越疏。

2. 幅度衰减特性

当周期信号的幅度频谱随着谐波 $n\omega_0$ 增大时, 幅度频谱 $|C_n|$ 不断衰减, 并最终趋于零。

若信号时域波形变化越平缓, 高次谐波成分就越少, 幅度频谱衰减越快; 若信号时域波形变化跳变越多, 高次谐波成分就越多, 幅度频谱衰减越慢。

$x(t)$ 不连续时, C_n 按 $1/n$ 的速度衰减;

$x(t)$ 不连续时, C_n 按 $1/n^2$ 的速度衰减。

3. 信号的有效带宽

问题提出

第一个零点集中了信号绝大部分能量(平均功率)

由频谱的收敛性可知, 信号的功率集中在低频段。

在满足一定失真条件下, 信号可以用某段频率范围的信号来表示, 此频率范围称为频带宽度(带宽)。

$0 \sim 2\pi/t$ 这段频率范围称为周期矩形脉冲信号的有效频带宽度, 即

教师展示 学生氛围
小学语文的活跃, 在文
一篇课文和理科中
《画杨桃》, 提高情商。
强调不同角
度看同一事
物得到的结
论可能不
同, 教育学
生多换位换
角度思考问
题。

$$W_B = \frac{2\pi}{t}$$

(1)信号时域压缩，频域扩展；时域扩展，频域压缩。

(2)为了充份利用频带，频带变窄，脉宽展宽，但同时通信速度降低，即通信速度和占用频带是一对矛盾。

信号的有效带宽有多种定义方式。

物理意义：在信号的有效带宽内，集中了信号绝大部分谐波分量。若信号丢失有效带宽以外的谐波成分，不会对信号产生明显影响。

说明：当信号通过系统时，信号与系统的有效带宽必须“匹配”。

傅立叶级数的意义

周期信号经过傅立叶级数展开，将时域信号 $x(t)$ 转换到了频域表示 $t \rightarrow \omega$ 。

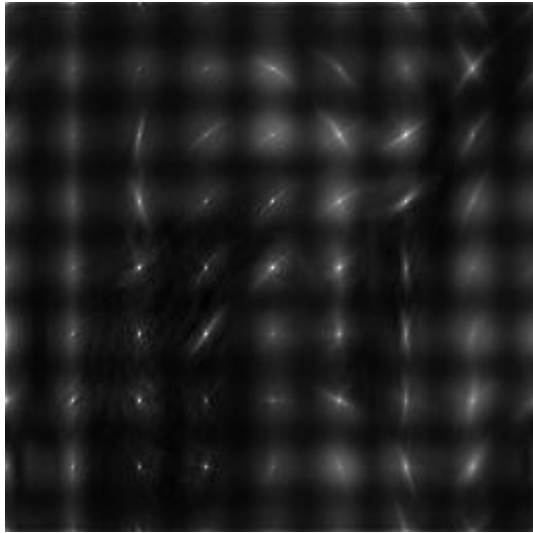
4. 相位谱的作用

让学生通过图片感性认识相位谱的作用。

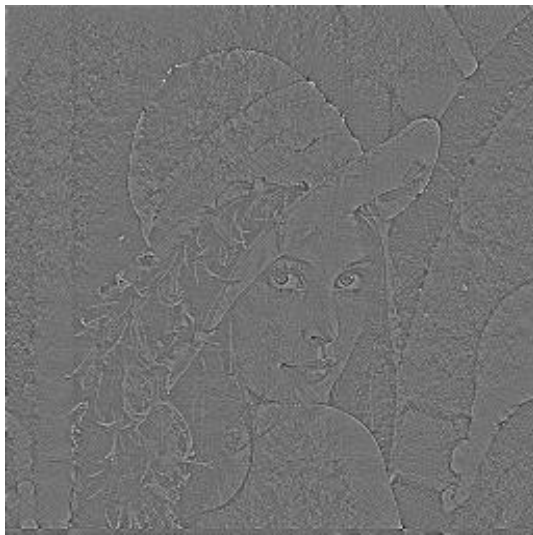


原图

学生交流
讨论，各抒
己见。



幅频不变，零相位



幅频为常数，相位不变 (相位没失真，清晰)

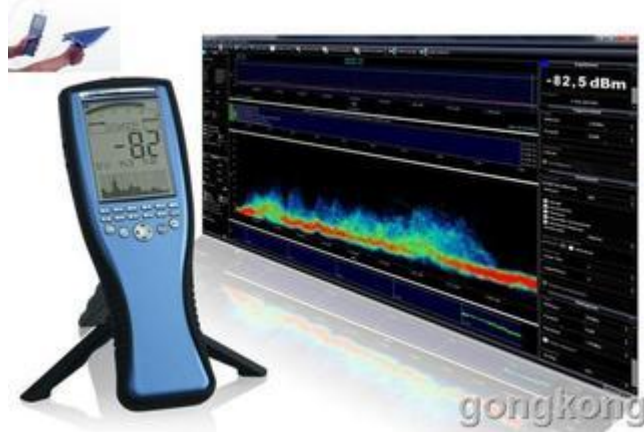
通过图形
讲解概念与
表述。

学生根据
概念和表述
做题，进行
理解。

三、频谱的应用

频谱仪在通信监测的应用

无线通讯因频谱使用的规定，必须使用高频，并经由天线收发信号，透过频谱分析仪搭配天线很容易侦测目前通讯信号的强度与载波的频率，例如使用方向性天线，二组量测设备便能找出信号源，这也是相关单位取缔非法电波(如非法地下电台)的主要侦测技术。



四、课堂小结

时域波形到频谱，傅立叶级数到频谱；

周期信号的频谱具有离散频谱、幅度衰减、信号有效带宽等特性，相位谱的作用；

频谱的应用。

下节课我们将会讲到连续傅立叶级数的基本性质及连续周期信号的功率谱，将进一步分析时域与频域的关系及频谱的工程应用。换一个角度看世界，另一番风景。

五、作业

1、练习题

第 201 页 习题 4-3 & 习题 4-4。

2、自主研究

(1)分析音阶的频谱：①录制你所喜欢乐器弹奏的音阶，并保存为 wav 格式；②对所采集的音阶信号进行频谱分析，比较各音阶的频谱。

(2)男生女生声音信号的转换：①采集 wav 格式的男女生语音信号；②对所采集的男女生信号分析其频谱，并比较频谱特点；③实现男生女生声音信号的转换。

六、课后分析（成功之处、失败的教训、教学中的应变、学生的见解、教案的修正、课后学生的提问）

--	--	--

	<p>从应用的 角度考虑问 题。</p>	
--	------------------------------	--

	<p>将信号与 系统匹配起 来。</p> <p>从图片感 受相位谱的</p>	<p>学生领会。</p>
--	--	--------------

	作用	
--	----	--

		<p>学生发现 奇妙的情 况，产生浓 厚的兴趣。</p>
--	--	--

		<p>应用举例。 学生将所学与应用结合。</p>
--	--	--------------------------

	<p>课堂总结</p> <p>引出下一堂 课内容</p>	<p>学生跟着老 师一起回顾 本堂课内容</p>
--	----------------------------------	----------------------------------

	作业练习	
	自主研究	感兴趣的同 学自主研究

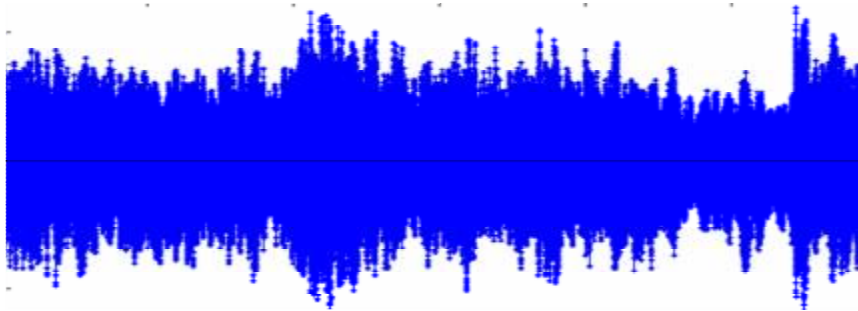
任课教师	周峰	班 级	光电 13-1BF
课程名称	信号与系统	章 节	4.5.1
课 题	信号的时域抽样		
课时安排	1 课时		
教学教具	多媒体+板书		
教法设计	引导、讲授、练习、自主研究		
教 学 目 标	<p>知识目标:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 了解连续信号与离散信号的联系与区别、数字的物理实质。 2. 掌握信号时域抽样定理的理论推导。 3. 理解抽样定理的内涵。 4. 了解时域抽样定理在日常生活中的一些应用。 <p>能力目标:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握利用离散表示现实模拟信号的思路和近似的科学研究方法。 2. 通过对抽样定理的推导,懂得利用基本概念延伸应用及数学逻辑思维在科学研究中的必要性及重要性。 3. 通过了解抽样的工程应用,深切体会在工程实现中理论与现实的差距。 4. 通过信号时域抽样引起的混叠和信号未知最高频率如何确定其采样间隔的自主研究题目,培养如何抓住主要矛盾解决应用需求的思维。让学生感到学有所用,激发学生学习基础理论课的兴趣与动力。 		
教学重点	<ol style="list-style-type: none"> 1、时域抽样定理的理论推导。 2、时域抽样定理的内涵。 		
教学难点	<ol style="list-style-type: none"> 1、时域抽样定理的理论推导。 2、混叠误差与截断误差的分析与比较。 		

教 学 内 容	教师活动	学生活动
<p>一、知识回顾与新课引入</p> <p>1. 大自然自身产生的信号大部分是上述哪种信号？现如今，我们使用的电子设备绝大多数处理的都是哪种信号？</p> <p>答：大自然产生的绝大部分都是模拟信号。我们现在处在数字时代，电子设备绝大多数处理的都是数字信号。</p> <p>2. 模拟信号、离散信号、数字信号的各自的特征是什么？它们是如何联系起来的？</p> <p>答：模拟信号：时间连续、幅度连续；离散信号：时间离散、幅度连续；数字信号：时间离散、幅度离散。模拟信号经过时域采样得到离散信号，离散信号经过量化得到数字信号，数字信号又可以通过模数转换得到模拟信号。</p> <p>3. 对于不同的信号，我们的采样间隔是一样的吗？如何采样才能恢复原始信号呢？</p> <p>答：带着这样的疑问，我们来学习今天的新课——信号的时域抽样。让我们将大自然的模拟信号与电子产品的数字信号联系起来，探究其间的内在规律。</p> <h2 style="text-align: center;">§ 4.5.1 信号的时域抽样</h2> <p>新课内容分为三部分。第一部分，时域抽样的定义及为什么要抽样；第二部分本堂课的重点也是难点，根据信号抽样前后的频谱来推导时域抽样定理，并理解该定理的内涵；第三部分，抽样定理的应用，举例子，让同学们感受一下理论与工程的联系及如何从工程上分析出主要矛盾。</p>	<p>知识回顾</p>	<p>静心上课</p>

一、时域抽样的定义和意义

1、什么是信号抽样

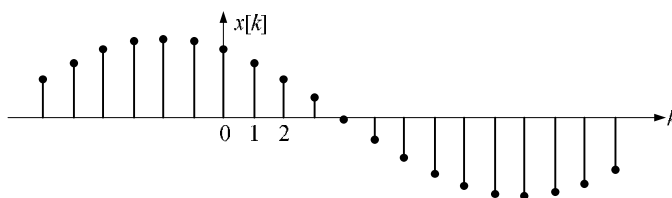
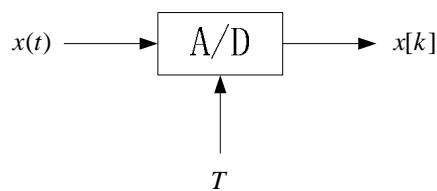
首先听一段音乐看两张照片



听到的音乐和看到的照片在计算机中都是以数字信号存储的。

那什么是信号抽样呢？

信号抽样是指从连续时间信号 $x(t)$ 或 $f(x, y)$ 中抽取其样点而得到离散序列 $x[k]$ 或 $f[x, y]$ 。



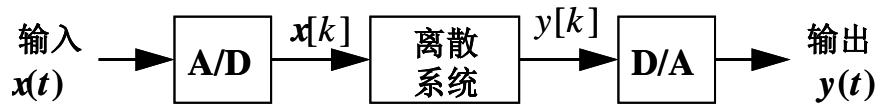
表达式为

$$x[k] = x(t)|_{t=kT}$$

要在能恢复原始信号的基础上进行采样，才有价值。
学生领会从应用价值的角度思考问题进行采样，才有价值。

教师引出新课内容、相互联系、突出重点。
同学们结合实际，联想数码产品，积极思考。

2、为什么进行信号抽样



用数字方式处理模拟信号

离散信号与系统的主要优点:

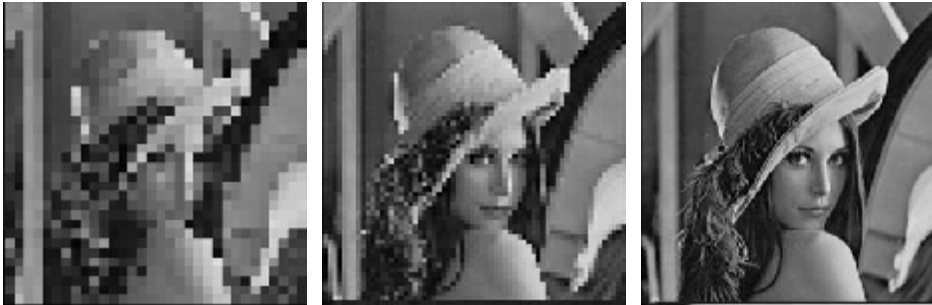
- (1) 信号稳定性好: 数据用二进制表示, 受外界影响小。
- (2) 信号可靠性高: 存储无损耗, 传输抗干扰。
- (3) 信号处理简便: 信号压缩, 信号编码, 信号加密等
- (4) 系统精度高: 可通过增加字长提高系统的精度。
- (5) 系统灵活性强: 改变系统的系数使系统完成不同功能。

用生活中常听到的信息, 存储时确实是数字的。学生产生兴趣

二、抽样定理

1、如何进行信号抽样

先看几幅图像 (采样间隔从左至右依次减小)



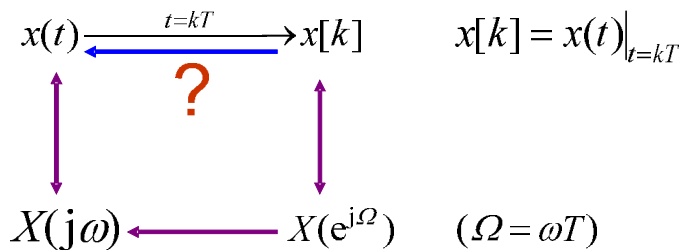
听三段音乐 (采样间隔从第一至第三依次减小)

结论:

T 越小, $x[k]$ 越接近于 $x(t)$, 失真越小; 样点数越多, 信号传输和处理效率越低。

如何选取抽样间隔 T ?

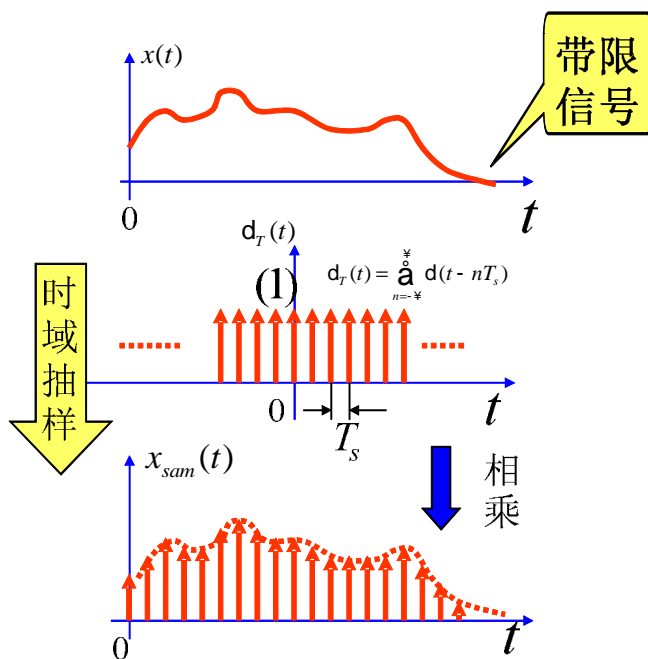
2、信号抽样的理论推导



连续信号 $x(t)$ 的频谱为 $X(j\omega)$,

离散序列 $x[k]$ 频谱为 $X(e^{j\Omega})$

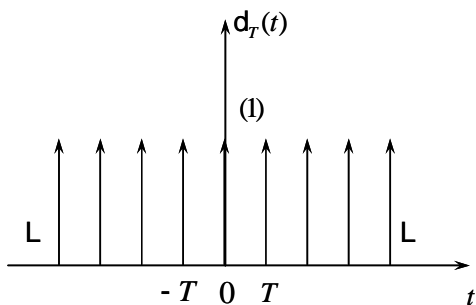
时域冲激抽样 (理想抽样)



其中采样脉冲序列表达式为

$$d_T(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT)$$

其波形为

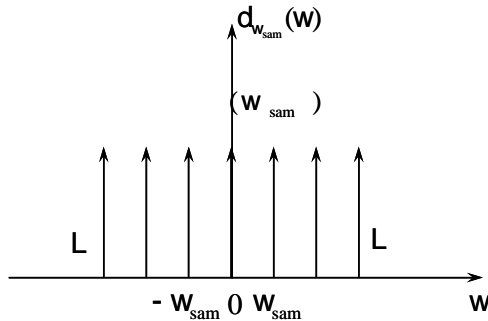


其中采样脉冲序列的频谱表达式为

介绍优点

$$d_{w_{sam}}(w) = w_{sam} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(w - n w_{sam})$$

频谱的波形为



其中： T 为抽样间隔， $w_{sam} = 2\pi/T$ 为抽样角频率

则有

$$x_{sam}(t) = x(t)d_T(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x(kT)\delta(t - kT)$$

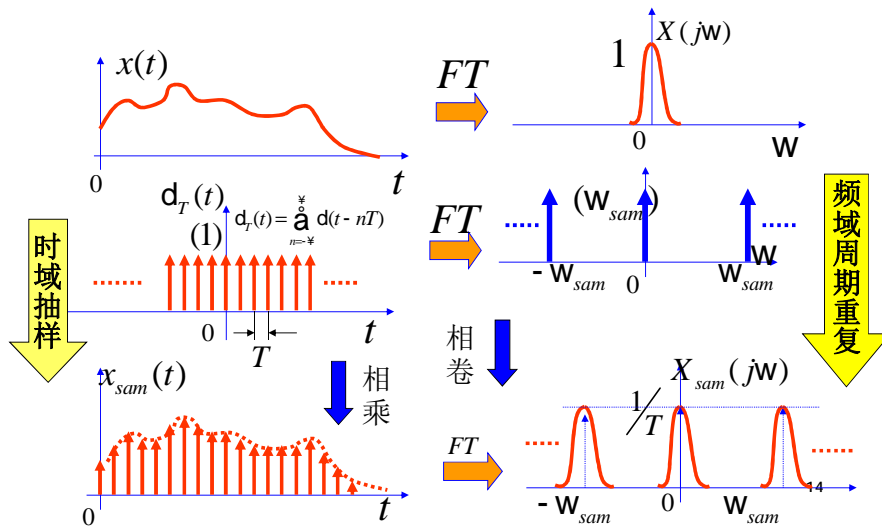
采样信号

频域卷积定理

$$X_{sam}(jw) = \frac{1}{2\pi} X(jw) * w_{sam} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(w - n w_{sam})$$

采样信号频谱

$$= \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X[j(w - n w_{sam})]$$



若连续信号 $x(t)$ 的频谱为 $X(jw)$ ，离散序列 $x[k]$ 频谱为 $X(e^{jw})$ ，

且存在 $x[k] = x(t)|_{t=kT}$ 。

学生从视

觉和听觉上

则有 $X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X[j(\omega - n\omega_{\text{sam}})]$ ($\omega = \omega T$)。

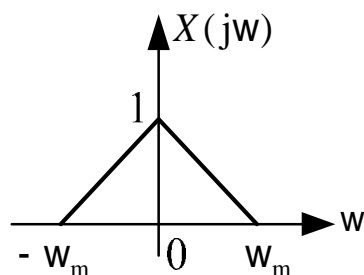
注意:信号抽样后的信号 $x_{\text{sam}}(t)$ 经过量化编码后才是离散序列

$x[k]$. 严格的说应该是: $X_{\text{sam}}(j\omega) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X[j(\omega - n\omega_{\text{sam}})]$ 。

结论: 信号时域的离散化导致其频域的周期化。

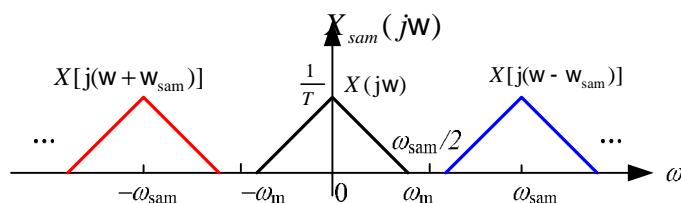
3、抽样定理

离散序列 $x[k]$ 频谱与抽样间隔 T 之间的关系

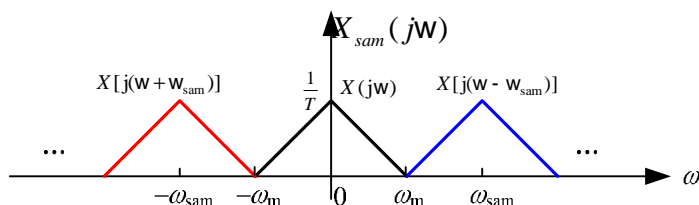


其中 ω_m 称为信号的最高频率。

当 $\omega_{\text{sam}} > 2\omega_m$



当 $\omega_{\text{sam}} = 2\omega_m$

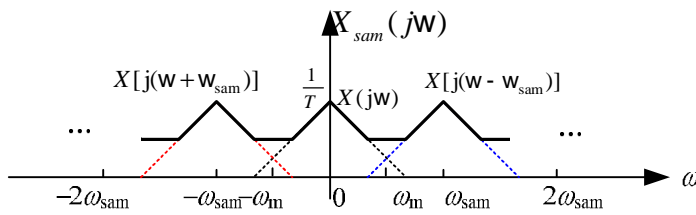


当 $\omega_{\text{sam}} < 2\omega_m$

感受不同采
样间隔对失
真的影响。

教师严格

推导公式。



混叠(aliasing)

小结: $w_{sam} > 2w_m$, 可以恢复原信号, $w_{sam} = 2w_m$, 可以恢复原信号,

$w_{sam} < 2w_m$, 不可以恢复原信号。

抽样定理的内容:

若带限信号 $x(t)$ 的最高角频率为 w_m , 则在满足一定条件下, 信号 $x(t)$ 可以用等间隔 T 的抽样值唯一表示。抽样间隔 T 需满足:

$$T \leq 1/(2f_m) = \pi/w_m$$

或 抽样频率 f_{sam} 满足 $f_{sam} \geq 2f_m$ (或 $w_{sam} \geq 2w_m$)

其中 $f_{sam} = 2f_m$ 为最小抽样频率, 称为 Nyquist Rate.

奈奎斯特频率 f_s , 奈奎斯特间隔 T_s .

例 1 已知实信号 $x(t)$ 的最高频率为 f_m (Hz), 试计算对各信号 $x(2t)$, $x(t)*x(2t)$, $x(t)\otimes x(2t)$ 抽样不混叠的最小抽样频率。

解: 根据信号时域与频域的对应关系 及 抽样定理得:

对信号 $x(2t)$ 抽样时, 最小抽样频率为 $4f_m$ (Hz);

对 $x(t)*x(2t)$ 抽样时, 最小抽样频率为 $2f_m$ (Hz);

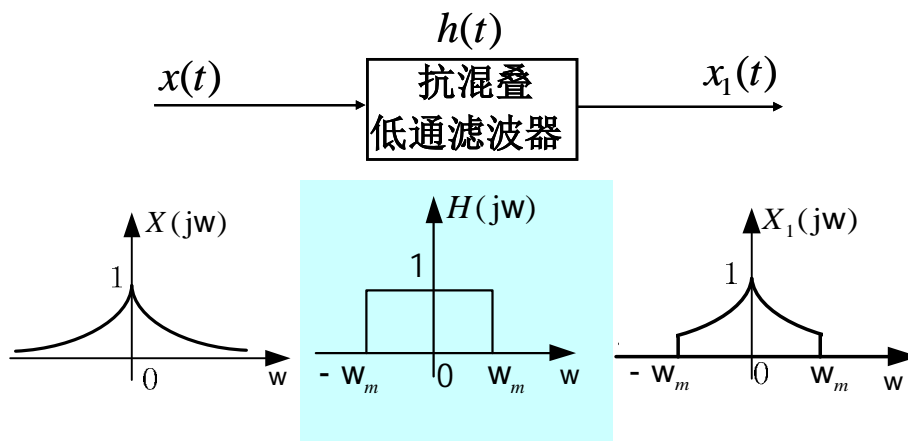
对 $x(t)\otimes x(2t)$ 抽样时, 最小抽样频率为 $6f_m$ (Hz)。

4、信号抽样实现

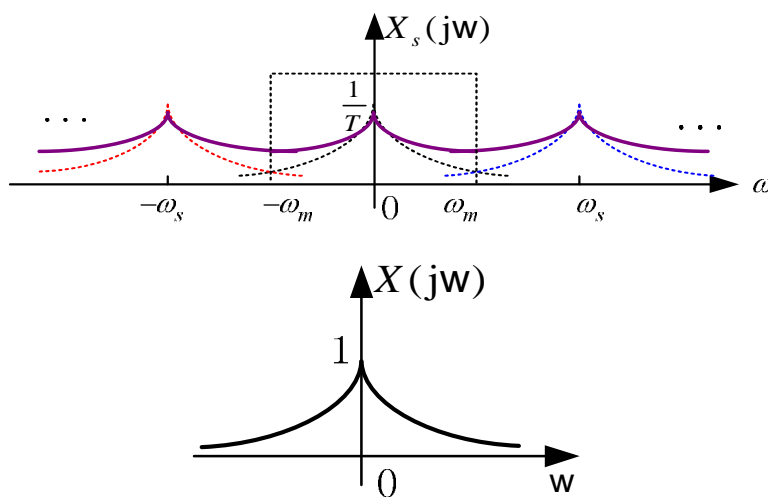


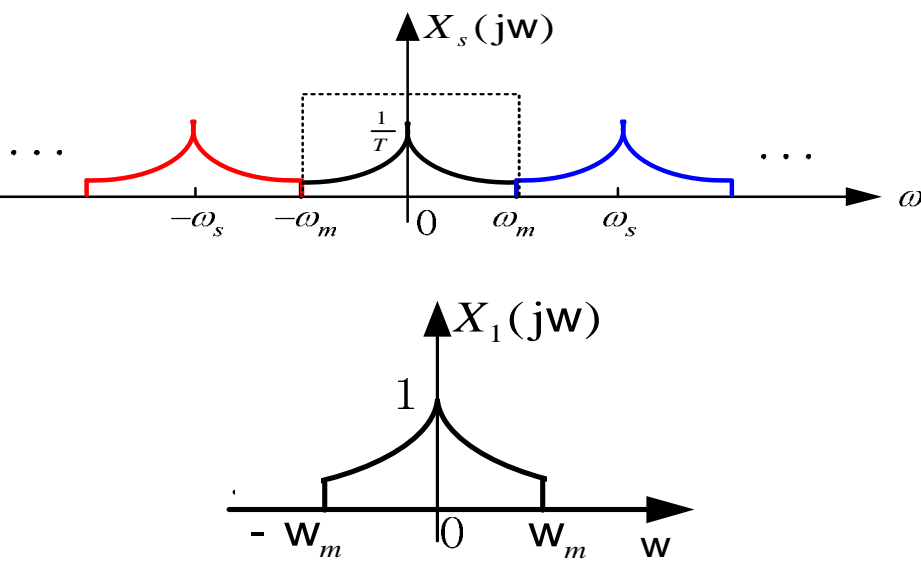
三、抽样定理的应用

1、许多实际工程信号不满足带限条件



混叠误差与截断误差比较





播放三段音乐，感知不同抽样频率的语音信号效果比较。

思考题

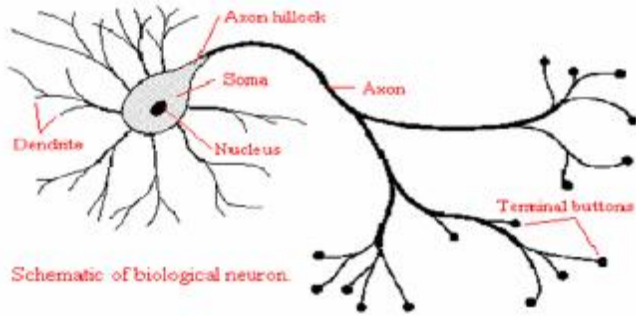
(1)根据时域抽样定理，对连续时间信号进行抽样时，只需抽样速率 $f_s \geq 2f_m$ 。在工程应用中，抽样速率常设为 $f_s \geq (3\sim 5)f_m$ ，为什么？

(2)若连续时间信号 $x(t)$ 的最高频率 f_m 未知，如何确定抽样间隔 T ？

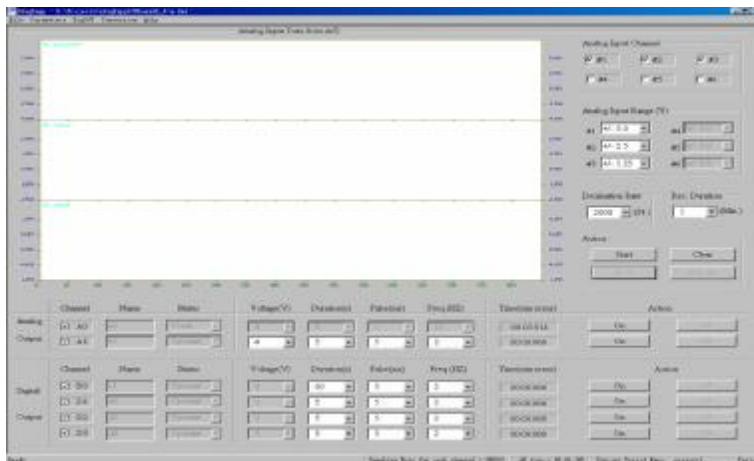
2、抽样定理的实际应用举例

利用离散系统处理连续时间信号

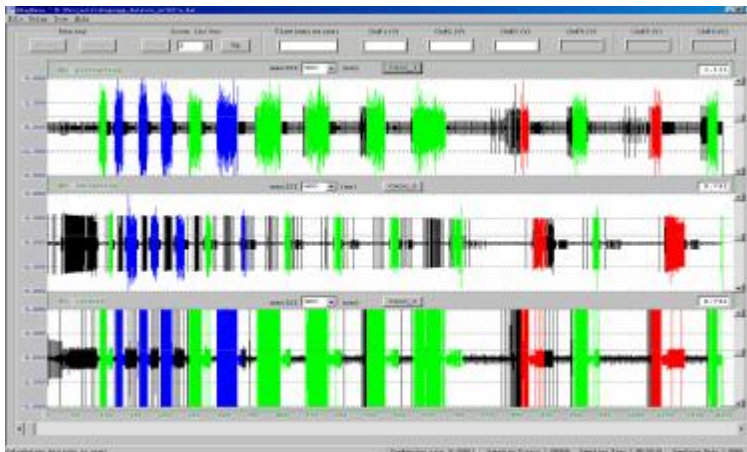
生物医学信号处理



生物神经细胞（元）结构图

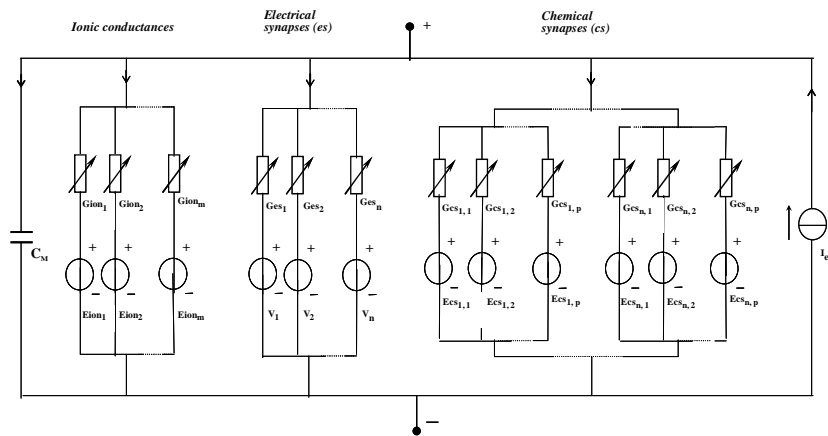


生物信号采集系统接口



采集的生物信号的模式识别

学生领会
推导过程的
精华。



神经元等效电路

四、课堂小结

信号抽样与意义；

抽样定理的推导与内涵；

抽样定理的应用。

下节课我们将会讲到频域抽样定理，将进一步分析时域与频域的抽样定理的工程应用。揭示信号在不同角度下的内在联系。

五、作业

1、练习题

第 208 页 习题 4-30。

2、自主研究

(1)信号时域抽样引起的混叠：研究 $\sin(2\pi f_0 t)$ 的抽样，抽样频率 $f_s=8\text{kHz}$ ，抽样时间 1 秒钟。①对频率为 2kHz, 2.2 kHz, 2.4 kHz 和 2.6 kHz 正弦信号抽样，利用 `sound(x, fs)` 播放这四个不同频率的正弦信号；②对频率为 7.2 kHz, 7.4 kHz, 7.6 kHz 和 7.8 kHz 正弦信号抽样，`sound(x, fs)` 播放这四个不同频率的正弦信号；③比较①和②的实验结果，解释所出现的现象。

(2)若连续时间信号 $x(t)$ 的最高频率未知，如何确定信号的抽样间隔 T ？

六、课后分析（成功之处、失败的教训、教学中的应变、学生的见解、教案的修正、课后学生的提问）

--	--	--

--	--	--

强调定理 学生领会
的内涵。 其内涵。

		<p>学生思考 问题并做 题。</p> <p>从实际的 角度来考虑 抽样定理。</p>
--	--	---

	<p>提出工程 问题。</p>	<p>学生认识 电子芯片。</p>
--	---------------------	-----------------------

--	--	--

		<p>学生感受 混叠的影 响。</p>
--	--	-----------------------------

	<p style="text-align: center;">举例说明</p>	
--	--	--

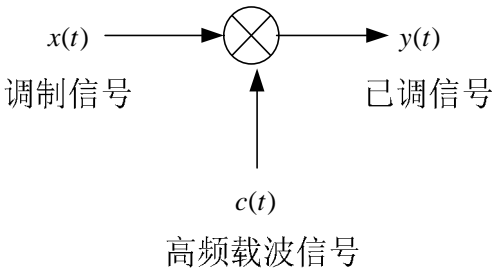
--	--	--

--	--	--

		<p>学生感性 上认识学科 基础与工程 应用和学术 前沿。</p>
	<p>课堂总结</p>	<p>学生跟着老 师一起回顾 本堂课内容</p>
	<p>引出下一堂 课内容</p>	

	作业练习	
	自主研究	感兴趣的同 学自主研究

任课教师		班 级	光电 13-1BF
课程名称	信号与系统	章 节	5.3.1 & 5.3.2 & 5.3.3
课 题	信号的幅度调制与解调（一）		
课时安排	1 课时		
教学教具	多媒体+板书		
教法设计	引导、讲授、练习、自主研究		
教 学 目 标	<p>知识目标：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 了解调制解调产生的背景和意义。 2. 理解双边带调幅、同步解调和单边带调幅的原理。 3. 掌握采用带通滤波器或者希尔伯特变换实现单边带幅度调制的方法。 4. 了解希尔伯特变换在科研上的一些应用。 <p>能力目标：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 掌握面向工程应用提出问题，利用专业基础知识分析问题及解决问题的研究思路。 2. 通过对信号调制与解调的探究，社会需求反作用于理论研究在科学研究中的必要性及重要性。 3. 通过了解希尔伯特变换在科研上的一些应用，深切体会基础学科的基本概念和基本方法在前沿学科的实用价值，激发学习兴趣。 4. 通过利用 MATLAB 仿真希尔伯特变换和用 Simulink 实现双边带和单边带的调制/解调的自主研究题目，引导学生利用仿真软件理解与分析所学到的理论知识，并仿真工程实际，让学生体会不仅可以做实物进行实践，也能够用软件在仿真实践，开拓了学生对实践的进一步认识。 		
教学重点	<ol style="list-style-type: none"> 1、双边带调幅信号的频谱分析。 2、单边带幅度调制分析。 		
教学难点	<ol style="list-style-type: none"> 1、同步解调和非同步解调。 2、单边带幅度调制的实现。 		

教 学 内 容	教师活动	学生活动
<p>一、知识回顾与新课引入</p> <p>1. 在通信系统中，根据电磁波理论，天线的尺寸与被辐射信号的波长l有何关系？</p> <p>答：天线的尺寸$\approx \frac{1}{10}l$。</p> <p>2. 在通信系统中，直接传输语音信号所需天线的尺寸是多少？</p> <p>答：语音信号的波长约为300km，则其天线的尺寸$\approx 30\text{km}$。</p> <p>3. 现如今我们使用的手机的天线这么小，是如何实现通话的呢？</p> <p>带着这样的疑问，我们来学习今天的新课——信号的幅度调制。</p> <h2 style="color: red;">§ 5.3 信号的幅度调制与解调（一）</h2> <p>新课内容分为三部分。第一部分是本堂课的重点，双边带幅度调制及解调，根据傅立叶变换的频移特性和频域转移实现与推导双边带调幅信号的频谱；第二部分，单边带幅度调制的实现方法；第三部分，希尔伯特变换在前沿学科的应用，举例子，让同学们感受一下前沿科学问题与基础学科的基本概念、基本方法的关系。</p> <p>一、双边带调幅信号的频谱分析(Amplitude Modulation)</p> <p>幅度调制方框图</p>  <pre> graph LR x["x(t) 调制信号"] --> M((X)) c["c(t) 高频载波信号"] --> M M --> y["y(t) 已调信号"] </pre>	<p>知识回顾</p> <p>设置疑问点</p>	<p>静心上课</p> <p>学生产生疑惑</p> <p>带着疑问听课</p>

其中

$$c(t) = \cos \omega_c t, \quad y(t) = x(t) \cos \omega_c t$$

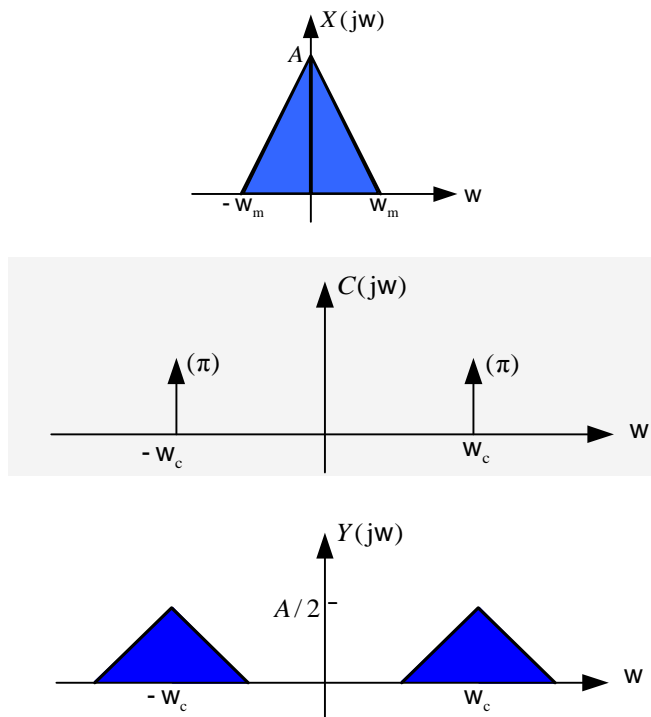
将信号在频域进行分析，其表示为

$$\cos \omega_c t \textcircled{R} \pi[d(\omega + \omega_c) + d(\omega - \omega_c)]$$

$$Y(j\omega) = \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * \pi[d(\omega + \omega_c) + d(\omega - \omega_c)]$$

$$Y(j\omega) = \frac{1}{2} \{ X[j(\omega + \omega_c)] + \frac{1}{2} X[j(\omega - \omega_c)] \}$$

双边带调幅中各信号频谱

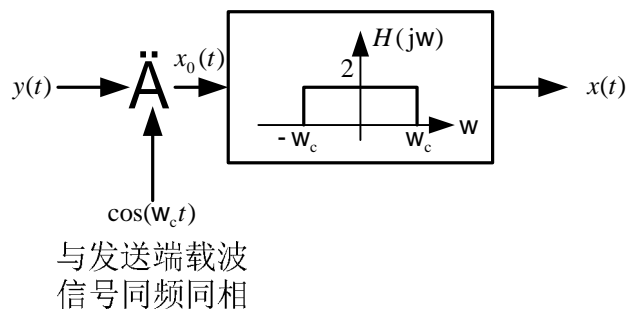


教师引出
新课内容、
相互联系、
突出重点。

二、解调

1、同步解调

同步解调的方框图如下所示



其中

$$c(t) = \cos \omega_c t$$

$$y(t) = x(t) \cos \omega_c t$$

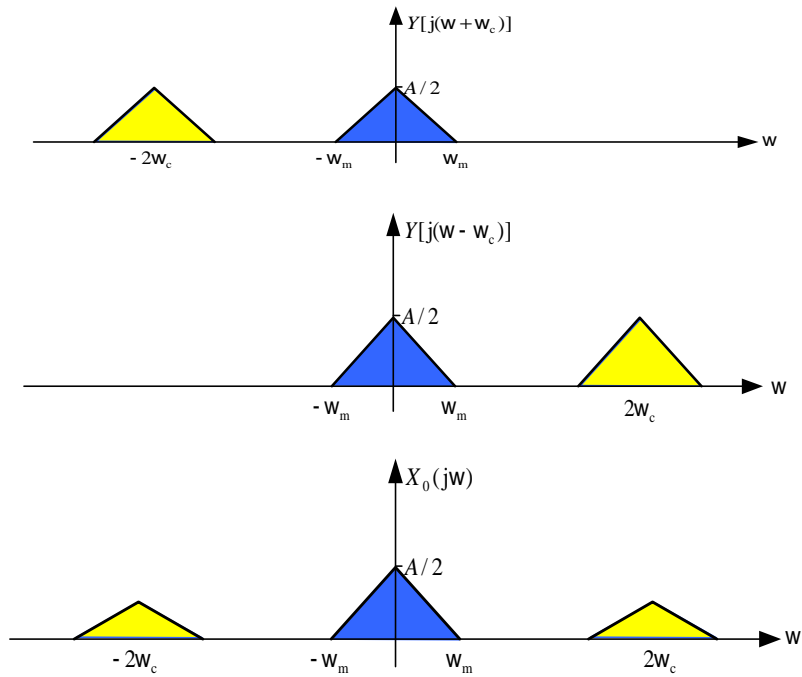
$$x_0(t) = y(t) \cos(\omega_c t)$$

其频域表达式为

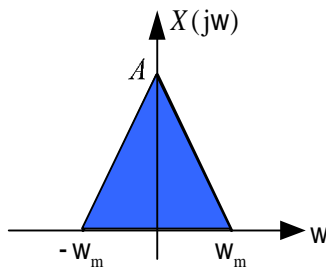
$$X_0(j\omega) = \frac{1}{2\pi} Y(j\omega) * \pi[d(\omega + \omega_c) + d(\omega - \omega_c)]$$

$$X_0(j\omega) = \frac{1}{2} \{Y[j(\omega + \omega_c)] + Y[j(\omega - \omega_c)]\}$$

同步解调中各信号频谱



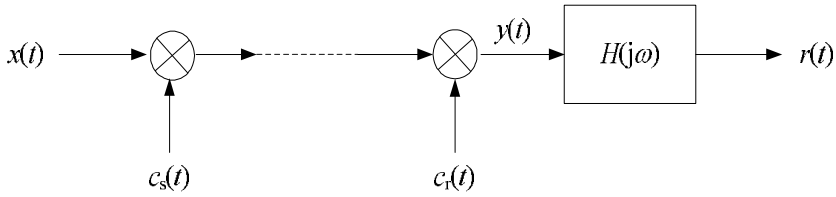
则有 $X(j\omega) = X_0(j\omega)H(j\omega)$ 的波形如下



2、非同步解调

教师在黑板上画出频谱图
学生跟着老师的思路分析频谱

非同步解调的方框图如下所示



其中

$$c_s(t) = \cos(\omega_1 t)$$

$$c_r(t) = \cos(\omega_2 t)$$

$$y(t) = x(t) \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t)$$

$$= \frac{x(t)}{2} \{ \cos[(\omega_1 + \omega_2)t] + \cos[(\omega_1 - \omega_2)t] \}$$

$$Y(j\omega) = \frac{1}{4} \{ X[j(\omega + \omega_1 + \omega_2)] + X[j(\omega - \omega_1 - \omega_2)] \\ + X[j(\omega + \omega_1 - \omega_2)] + X[j(\omega - \omega_1 + \omega_2)] \}$$

$$r(t) = \frac{1}{4} x(t) \cos[(\omega_1 - \omega_2)t]$$

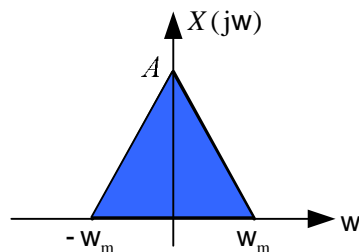
若调制与解调端载波频率不等，则解调后的信号将会失真。

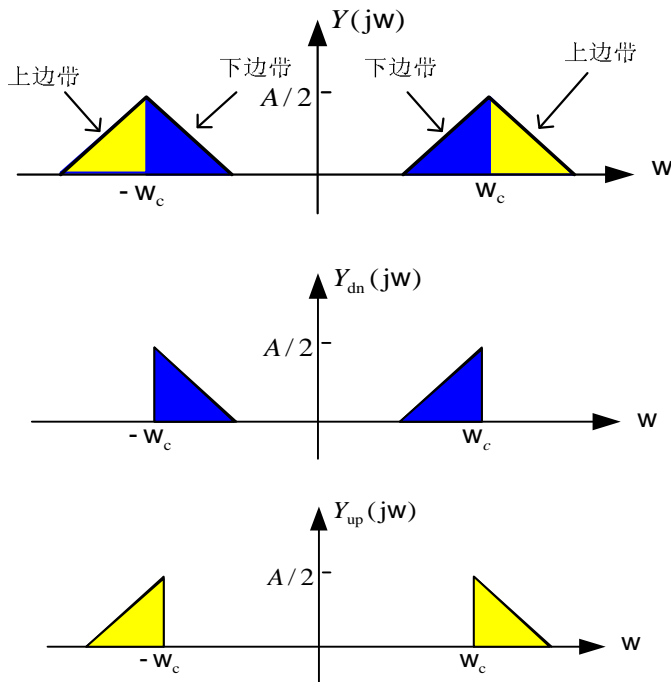
三、单边带幅度调制

1、单边带幅度调制的意义和基本过程

由于 $x(t)$ 为实信号，则 $X(j\omega)$ 幅度谱偶对称，相位谱奇对称。传输过程中，采用单边带，可节省信道资源，提高传输效率。

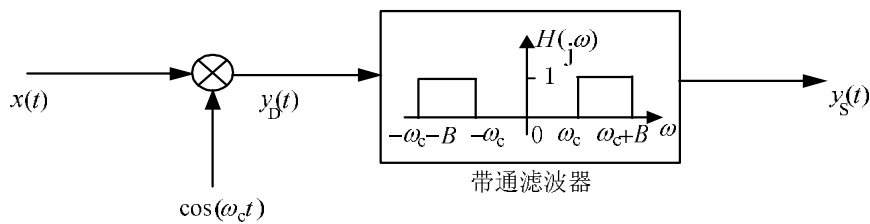
调制之后的表达式为 $y(t) = x(t) \cos(\omega_c t)$ ，其频谱为





2、单边带幅度调制实现

方法一：采用带通滤波器



上边带调制框图

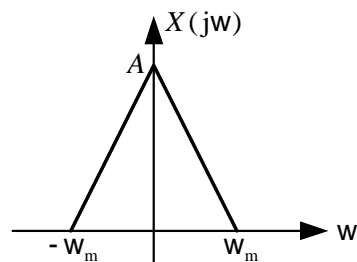
注：改变带通滤波器的通频带可实现下边带调制

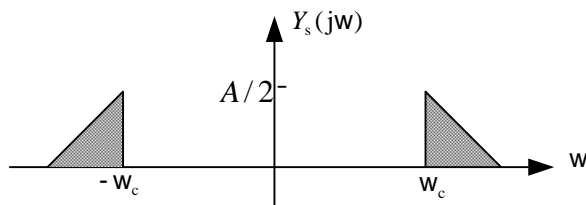
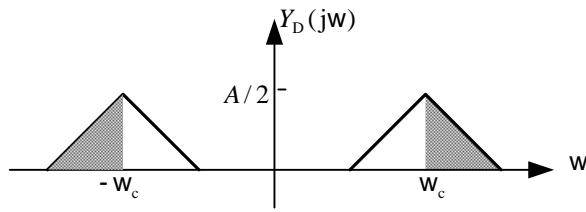
其时域和频域表达式如下：

$$y_D(t) = x(t) \cos(\omega_c t)$$

$$Y_D(j\omega) = \frac{1}{2} \{ X[j(\omega + \omega_c)] + X[j(\omega - \omega_c)] \}$$

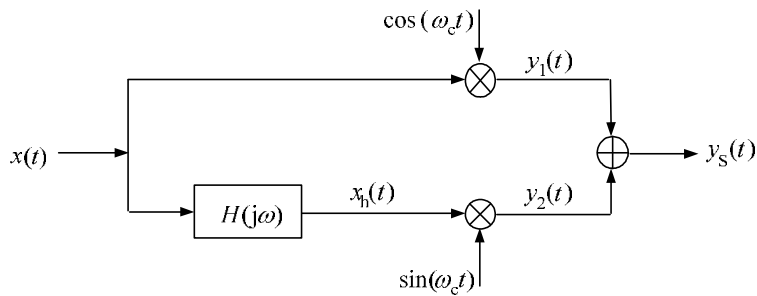
$$Y_S(j\omega) = Y_D(j\omega) \times H(j\omega)$$





由于锐截止的滤波器在实际应用中很难实现，则采用相移特性来处理。

方法二：利用希尔伯特(Hilbert)变换



下边带调制 $H(jw) = -j \operatorname{sgn}(w)$

上边带调制 $H(jw) = j \operatorname{sgn}(w)$

分析下边带调制的频域，即 $H(jw) = -j \operatorname{sgn}(w)$ 的情况，其表达式为

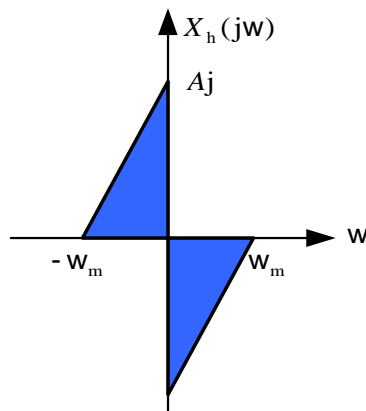
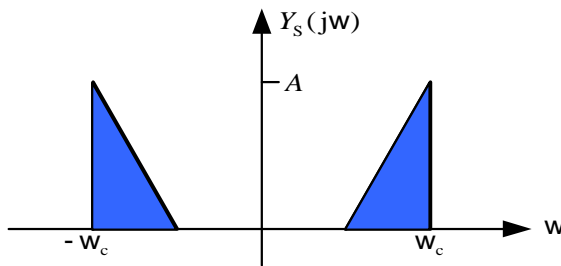
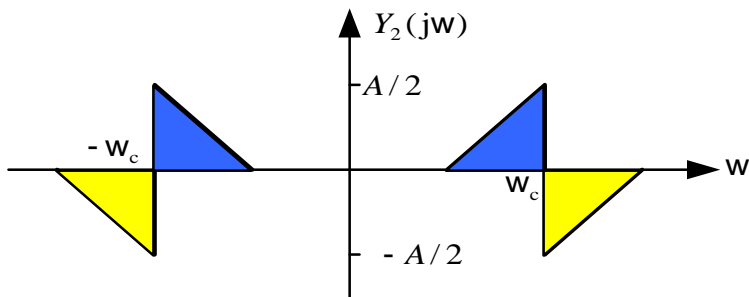
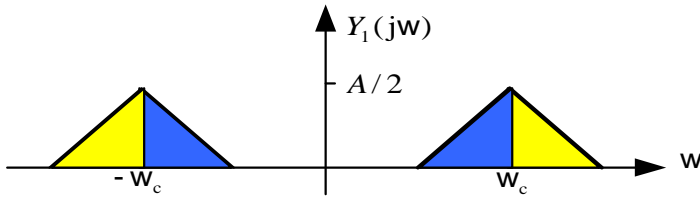
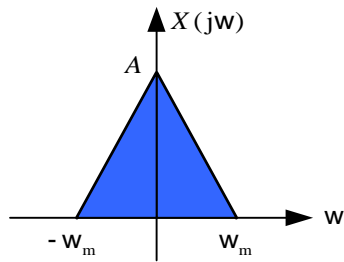
$$Y_1(jw) = \frac{1}{2} \{ X[j(w + w_c)] + X[j(w - w_c)] \}$$

$$X_h(jw) = X(jw)H(jw) = -jX(jw)\operatorname{sgn}(w)$$

$$Y_2(jw) = F[x_h(t) \sin w_c t] = \frac{1}{2j} \{ X_h[j(w - w_c)] - X_h[j(w + w_c)] \}$$

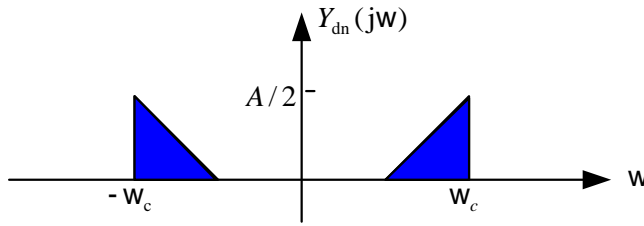
$$Y_S(jw) = Y_1(jw) + Y_2(jw)$$

各信号的频谱为

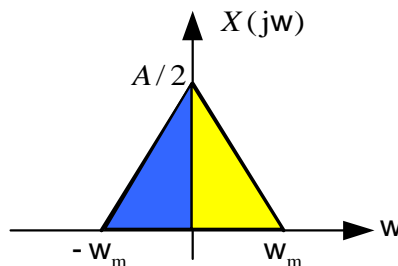
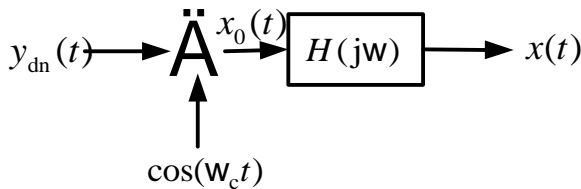
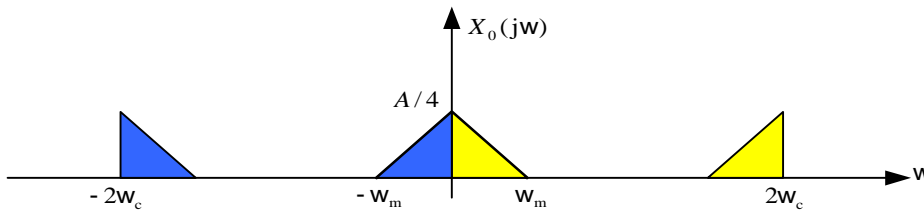


$$X_h(j\omega) = X(j\omega)H(j\omega) = -jX(j\omega)\text{sgn}(\omega)$$

3、已调信号的解调——采用同步解调



$$X_o(jw) = \frac{1}{2} \{Y_{dn}[j(w+w_c)] + Y_{dn}[j(w-w_c)]\}$$



4、与前沿研究是关系

OPEN
 SUBJECT AREAS:
 ULTRAFAST PHOTONICS
 MICROWAVE PHOTONICS

Experimental observation of optical differentiation and optical Hilbert transformation using a single SOI microdisk chip

Ting Yang, Jianji Dong, Li Liu, Shasha Liao, Sisi Tan, Lei Shi, Dingshan Gao & Xinlong Zhang

Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China.

Received
 12 September 2013
 Accepted
 14 January 2014
 Published
 4 February 2014

Correspondence and requests for materials should be addressed to J.J.D. (jdong@mail.hust.edu.cn) or X.L.Z. (xlzhang@mail.hust.edu.cn)

Optical differentiation and optical Hilbert transformation play important roles in communications, computing, information processing and signal analysis in optical domain offering huge bandwidth. Meanwhile, silicon-based photonic integrated circuit is one of the most promising candidates for all-optical signal processing due to its intrinsic advantages of low power consumption, compact footprint, ultra-high speed and compatibility with electronic integrated circuits. In this study, we analyze the interrelation between first-order optical differentiation and optical Hilbert transformation and then experimentally demonstrate a feasible integrated scheme which can simultaneously function as first-order optical differentiation and optical Hilbert transformation based on a single microdisk resonator. This finding may motivate the development of integrated optical signal processors.

非同步调制 学生感受失
 出现的问题 真

四、课堂小结

双边带的幅度调制与解调；

单边带的幅度调制实现与解调；

希尔伯特变换在前沿研究中的应用。

下节课我们将会讲到频分复用和离散信号幅度调制，如何利用信号调制来提高现代通信系统的传输效率，有效利用信道资源等现实意义。让学生感受随身携带的智能机与正在学习的课程密切相关，通过专业学习“看进”智能机内部的缤纷多彩。

五、作业

1、练习题

第 254 页 习题 5-18。

2、自主研究

(1)用 MATLAB 实现希尔伯特变换。

(2)用 Simulink 实现双边带和单边带的调制/解调，基带信号为 $g(t) = 3\cos(10t) + 2\cos(20t)$ ，载波信号为 $f(t) = \cos(100t)$ ，接收端的理想低通滤波器的带宽为 30。

六、课后分析（成功之处、失败的教训、教学中的应变、学生的见解、教案的修正、课后学生的提问）

--	--	--

	<p>理论结合实际，理论上能实现，但是实际会遇到问题。</p>	
--	---------------------------------	--

--	--	--

--	--	--

		<p>学生感受不 实用滤波器 也能实现单 边带调制</p>
--	--	---

--	--	--

	<p>与学术前沿 结合</p> <p>课堂总结</p>	<p>学生认识基 础学科与学 术前沿的关 系</p> <p>学生跟着老</p>
--	---------------------------------	---

		<p>师一起回顾 本堂课内容</p>
	<p>引出下一堂 课内容</p>	
	<p>作业练习</p>	
	<p>自主研究</p>	<p>感兴趣的同 学自主研究</p>

--	--	--