

# 脉搏、语音及图像信号的傅里叶分析

(本实验上课需自带 U 盘)

## 一、实验简介

任何波形的周期信号均可用傅里叶级数来表示。傅里叶级数的各项代表了不同频率的正弦或余弦信号，即任何波形的周期信号都可以看作是这些信号（谐波）的叠加。利用不同的方法，可以从周期信号中分解出它的各次谐波的幅值和相位。也可依据信号的傅里叶级数表达式，将各次谐波按表达式的要求叠加得到所期望的信号。

## 二、实验目的

- 1、了解常用周期信号的傅里叶级数表示。
- 2、了解周期脉搏信号、语音信号及图像信号的傅里叶分析过程
- 3、理解体会傅里叶分析的理论及现实意义

## 三、实验仪器

脉搏语音实验仪器，数字信号发生器，信号加法器，电脑

## 四、实验原理

### 1、周期信号傅里叶分析的数学基础

任意一个周期为  $T$  的函数  $f(t)$  都可以表示为傅里叶级数：

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega_0 t) d(\omega_0 t)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega_0 t) \cos(n\omega_0 t) d(\omega_0 t)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega_0 t) \sin(n\omega_0 t) d(\omega_0 t)$$

其中  $\omega_0$  为角频率，称为基频， $a_0$  为常数， $a_n$  和  $b_n$  称为第  $n$  次谐波的幅值。任何周期性非简谐交变信号均可用上述傅里叶级数进行展开，即分解为一系列不同次谐波的叠加。

对于如图 1 所示的方波，一个周期内的函数表达式为：

$$f(t) = \begin{cases} h & (0 \leq t < \frac{\pi}{2}) \\ -h & (-\frac{\pi}{2} \leq t < 0) \end{cases}$$

其傅里叶级数展开为：

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{4h}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{2n-1} \right) \sin(2n-1)\omega_0 t \\ &= \frac{4h}{\pi} \left( \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right) \end{aligned}$$

同理：对于如图 2 所示的三角波，函数表达式为：

$$f(t) = \begin{cases} \frac{4h}{T} t & (-\frac{T}{4} \leq t < \frac{\pi}{4}) \\ 2h(1 - \frac{2t}{T}) & (\frac{T}{4} \leq t < \frac{3T}{4}) \end{cases}$$

其傅里叶级数展开为：

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{8h}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left( \frac{1}{2n-1} \right)^2 \sin(2n-1)\omega_0 t \\ &= \frac{8h}{\pi^2} \left( \sin \omega_0 t - \frac{1}{3^2} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5^2} \sin 5\omega_0 t + \dots \right) \end{aligned}$$

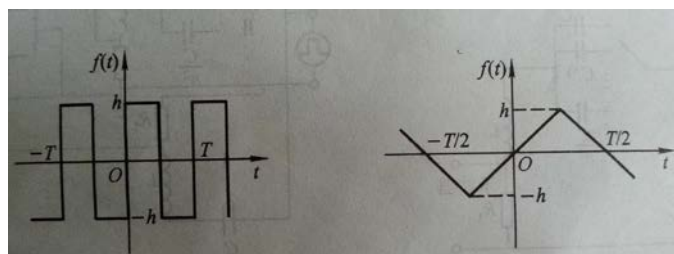


图 1 方波

图 2 三角波

从以上各式可知，任何周期信号都可以表示为无限多次谐波的叠

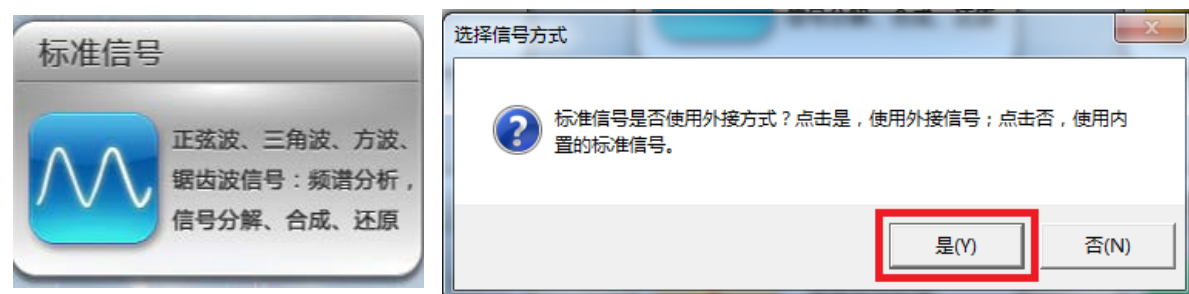
加，谐波次数越高，振幅越小，它对叠加波的贡献就越小，当小至一定程度时(谐波振幅小于基波振幅的 5%)，则高次的谐波就可以忽略而变成有限次数谐波的叠加，这对设计仪器电路是很有意义的。

## 实验内容



### 1、 傅里叶级数的合成

#### 标准信号/外接



(1) 利用数字信号发生器产生频率分别为 100Hz、300Hz、500Hz 的正弦信号，并使其位相相同，振幅比为：1:1/3: 1/5,将上述三个信号，分别通过加法器输入到傅里叶分析仪，观察并记录其波形。

信号发生器 CH1 输出 正弦波 100Hz 3Vpp

CH2 输出 正弦波 300Hz 1Vpp

CH3 输出 正弦波 500Hz 0.6Vpp

观察和记录波形，进行傅里叶分析，“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

截图（在电子报告中命名为：图 1 信号发生器合成方波）

（2）利用数字信号发生器产生方波，输入到傅里叶分析仪，并将其与上述合成后的信号相比较。两者有何差异？试分析引起的原因，应如何消除？

信号发生器 CH1 输出 方波 100Hz 3Vpp

CH2 关闭

CH3 关闭

观察和记录波形，进行傅里叶分析，“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

截图（在电子报告中命名为：图 2 信号发生器输出方波）

在电子报告中回答：比较图 1 和图 2，列举差异之处，并分析原因和指出减小差异的方法。

（3）利用数字信号发生器产生频率分别为 200Hz、600Hz、1000Hz 的正弦信号,振幅比为： $1:1/3^2:1/5^2$ ，并且保证其相位相差  $180^\circ$ ，然后通过加法器输入到傅里叶分析仪，观察并记录其波形，并与数字信号发生器产生的三角波相比较。

信号发生器 CH1 输出 正弦波 200Hz 2.25Vpp

**CH2 输出 正弦波 600Hz 0.25Vpp 180°**

**CH3 输出 正弦波 1000Hz 0.09Vpp**

观察和记录波形，进行傅里叶分析，“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

截图（在电子报告中命名为：**图 3 信号发生器合成三角波**）

**信号发生器 CH1 输出 三角波 200Hz 2.25Vpp**

**CH2 关闭**

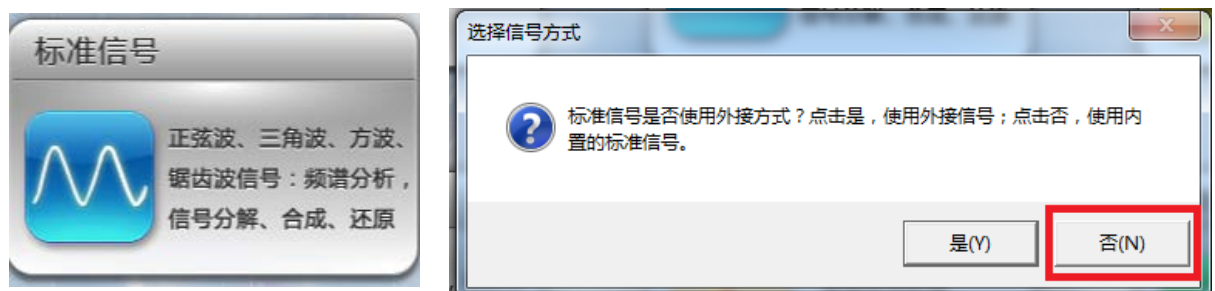
**CH3 关闭**

观察和记录波形，进行傅里叶分析，“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

截图（在电子报告中命名为：**图 4 信号发生器输出三角波**）

在电子报告中回答：比较图 3 和图 4，列举差异之处，并分析原因和指出减小差异的方法。

## 2. 标准信号/内接



利用傅里叶分析仪分别产生方波与三角波，进行傅里叶分析，记录各正弦波频率以及相对的幅度之间的关系，并与上述加法器输入信号相比较。

**滤波与选频分析：**

对上述傅里叶分析的频谱，分别选择低频段和高频段信号通

过傅里叶反变换，观察它们图像并导出保存，试分析低通滤波和高通滤波图像的区别。

(1) 标准信号：方波 频率 1 幅值 50



标准信号			
<input type="checkbox"/> 正弦波			
频率：	10.0	幅值：	20.0
<input type="checkbox"/> 三角波			
频率：	1	幅值：	100
		占空比：	0.5
<input checked="" type="checkbox"/> 方波			
频率：	1	幅值：	50
		占空比：	0.5

观察和记录波形，进行傅里叶分析，“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

进行选频，选择 3 个较小频率正弦信号做频率合成

截图（在电子报告中命名为：图 5 内置方波信号的分解和低通滤波）

在电子报告中回答：比较图 5 中“相对强度”栏，指出实验频谱特征与理论预测的异同，并分析原因，比较图 2 和图 5 “相对强度”栏中，频率和幅值的比例关系

在电子报告中回答：比较图 5 中“时域图”和低通滤波“合成图”，列举异同，并分析原因

重新进行选频，选择 3 个较大频率正弦信号做频率合成

截图（在电子报告中命名为：图 6 内置方波信号的分解和高通滤波）

在电子报告中回答：比较图 6 中“时域图”和低通滤波“合成图”，列举异同，并分析原因

(2) 标准信号：三角波 频率 1 幅值 100



标准信号			
<input type="checkbox"/> 正弦波			
频率：	10.0	幅值：	20.0
<input checked="" type="checkbox"/> 三角波			
频率：	1	幅值：	100
		占空比：	0.5
<input type="checkbox"/> 方波			
频率：	10.0	幅值：	20.0
		占空比：	0.5

察和记录波形，进行傅里叶分析，“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

进行选频，选择 2 个较小频率正弦信号做频率合成

截图（在电子报告中命名为：图 7 内置三角波信号的分解和低通滤波）

在电子报告中回答：比较图 7 中“相对强度”栏，指出实验频谱特征与理论预测的异同，并分析原因，比较图 4 和图 5 “相对强度”栏中，频率和幅值的比例关系

在电子报告中回答：比较图 7 中“时域图”和低通滤波“合成图”，列举异同，并分析原因

重新进行选频，选择 2 个较大频率正弦信号做频率合成

截图（在电子报告中命名为：图 8 内置三角波信号的分解和高通滤波）

在电子报告中回答：比较图 8 中“时域图”和低通滤波“合成图”，列举异同，并分析原因

### 3. “脉搏信号”的傅里叶分析

(1) 用傅里叶分析仪软件中提供的“脉搏信号”模块和脉搏语音仪上的光电探测器测试自己脉搏波的信号，观察你的脉搏信号。



(2) 选择完整的周期信号进行频谱分析，并选择合适的频段，测量其中心频率。

截图（在电子报告中命名为：图 9 脉搏信号）

“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

在电子报告中记录中心频率  $f_1$

(3) 深呼吸后，重复上述实验，请比较两次中心频率的变化。

截图（在电子报告中命名为：图 10 深呼吸后的脉搏信号）

“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

在电子报告中记录中心频率  $f_2$ ，并比较  $f_1$  和  $f_2$  的变化

### 4. 语音信号的傅里叶分析与识别

(1) 用傅里叶分析仪软件提供的“语音信号”模块，通过外置麦克风采集语音信号，并选择合适的频段，记录该频段语音信号的傅里叶分析频谱。





采样，频谱变换，“相对强度”栏中观察频率和相对强度的特征

选频，合成，与原信号对比

截图（在电子报告中命名为：图 11 语音信号）

### （2）语音对比

利用软件提供的“语音对比”模块，通过麦克风采集两次相同或不同元音的信号，重复上述过程，分别记录两次频谱的分布，体验语音识别功能。



完成“a”音的通道 A 信号采集，频谱变化；通道 B 信号采集，频谱变换；语音识别和谱线对比

截图（在电子报告中命名为：图 12 语音 a 的识别）

完成“i”音的通道 A 信号采集，频谱变化；通道 B 信号采集，频谱变换；语音识别和谱线对比

截图（在电子报告中命名为：图 13 语音 i 的识别）

### （3）“长时语音”

通过外置麦克风采集一段语音信号，并观察傅里叶分析频谱实时频谱

变化。



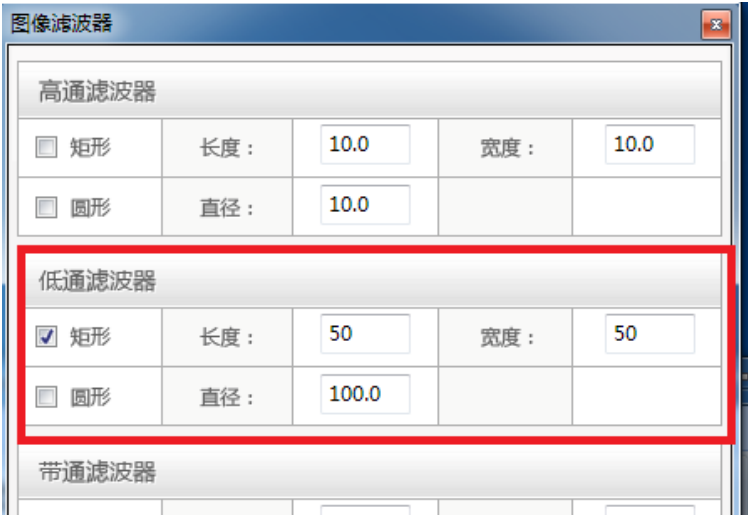
录音，傅里叶分析，截图（在电子报告中命名为：图 14 长时语音）

5. 图像信号的傅里叶分析

用傅里叶分析仪软件提供的“图片分析”模块，分别选择图片“双缝”、“彩色十字”、“光字”以及“箭头”进行空域的傅里叶频谱分析。分别选择低通和高通滤波器进行滤波，记录所用滤波器的参数并将滤波后的图片导出保存。



（1）打开图片，选择“双缝”图片，灰度变换，频谱变换  
在滤波器栏中选择低通滤波：矩形，长度 50，宽度 50



图像滤波，截图（在电子报告中命名为：图 15 双缝图片低通滤波）  
在滤波器栏中选择高通滤波：矩形，长度 50，宽度 50



图像滤波，截图（在电子报告中命名为：图 16 双缝图片高通滤波）

（2）对图片“彩色十字”、“光字”以及“箭头”重复以上步骤  
截图（在电子报告中命名为：图 17 彩色十字图片低通滤波，图 18 彩色十字图片高通滤波，图 19 光字图片低通滤波，图 20 光字图片高通滤波，图 21 箭头图片低通滤波，图 22 箭头图片高通滤波，）  
在电子报告中回答：比较“原图片”和“低通滤波图”，列举异同并分析原因；比较“原图片”和“高通滤波图”，列举异同并分析原因  
注意：本实验最终实验报告提交 pdf 电子版即可，请按时发送至邮箱：  
[phylabsustc@163.com](mailto:phylabsustc@163.com)，报告文件名命名格式：学号+姓名+做实验日期+座位号+“傅立叶报告”，来做实验请自备 u 盘拷贝数据。

# 报告要求

本实验最终实验报告提交 pdf 电子版即可，请按时发送至邮箱：

[phylabsustc@163.com](mailto:phylabsustc@163.com)。

报告文件名命名格式：学号+姓名+做实验日期+座位号+“傅立叶报告”。

## 实验名称

脉搏、语音及图像信号的傅里叶分析

## 实验目的

- 1、了解常用周期信号的傅里叶级数表示。
- 2、了解周期脉搏信号、语音信号及图像信号的傅里叶分析过程。
- 3、理解体会傅里叶分析的理论及现实意义。

## 实验仪器

脉搏语音实验仪器，数字信号发生器，信号加法器，电脑

## 实验原理

阅读实验讲义，重点弄清以下问题。

1. 任一周期函数的傅里叶级数展开公式。
2. 方波，三角波的傅里叶级数展开公式。

## 实验内容

阅读实验讲义，简要概括。

## 数据记录

对照所有实验内容。每一小项都应有相应截图对应。图片截图要求能看清实验日期。

---

---

---

以下内容课后完成部分

## 数据处理

比较分析截图中的信号图像或数据，回答实验内容上每一小项的提问。

## 误差分析

定性误差分析即可。

## 实验结论

简要陈述实验方法及结果，实验结果是否与傅里叶原理相符，如果不相符，简述原因。