

Future School, BUPT

现代信号处理 | 综合示范文档



示范项目：模板工程化与全功能演示

# LaTeX 实验报告模板

学生姓名 王嘉然

学 号 2023212666

专业班级 23 级

指导教师 教授

提交日期 2026 年 1 月 11 日

## 摘要

本文给出一个“全功能开关”的 L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X 综合示范文档，覆盖封面、目录、图表、算法、代码、数学定理、附录与可选的参考文献、术语表、索引、批注和水印。示例以数字信号处理为背景，展示模块化结构与统一风格，强调可维护性与可扩展性。文中通过交叉引用、可重复使用的盒子环境以及多种排版元素，构成一份可直接复用的复杂报告样例。本文同时给出编译流程提示，便于将模板迁移到不同课程或项目。

**关键词：**综合示范；模块化模板；算法与代码；图表与电路；术语表与参考文献

# 目录

摘要	I
1 示例文档导览	1
1.1 编译与流程 . . . . .	1
1.1.1 排版规范与风格 . . . . .	1
2 数学与定理环境	1
3 算法与代码	2
4 表格与图像	4
5 电路图 (circuitikz)	4
6 绘图 (pgfplots)	4
A 附录：补充材料与整页插图	4
A.1 符号与参数补充表 . . . . .	4
术语表	7
缩略语表	7
索引	8
参考文献	9

# I 1 示例文档导览

## 提示

本示例以“开关式模块化”为核心：在‘tex/meta.tex’中集中控制算法、代码高亮、参考文献、术语表、索引、批注与水印等功能，主文档保持干净稳定。

## 注意

若启用‘minted’，编译需加入‘-shell-escape’；使用‘biblatex’需要biber；术语表与缩略语需运行‘makeglossaries’。详情可参考<https://ctan.org/pkg/minted>与<https://ctan.org/pkg/glossaries>。

## 警告

水印用于草稿流转，最终提交前请将“关闭”，避免正式文档出现“DRAFT”。

本示例围绕数字信号处理场景组织内容，通过第2节、第3节、第4节、第5节与第6节展示数学、算法、表格、图像、电路与绘图模块的协同工作，并以交叉引用确保一致性。示例中用48 kHz和3.3 kHz标注参数，展示‘siunitx’的规范单位写法。

模板示例引用了经典文献[1], [2], [3]，展示自动编号与参考文献列表。术语示例：DFT、FFT、奈奎斯特采样定理、PSD；缩略语示例：模数转换器(ADC)、信噪比(SNR)、线性时不变系统(LTI)。关键术语索引：数字信号处理、频谱分析、窗函数、采样定理。

## I 1.1 编译与流程

- 先运行一次编译生成辅助文件，再执行biber与makeglossaries，最后二次编译更新引用与索引。
- 图表与公式统一用\cref引用，避免手动编号出错，见式(2.2), 算法1, 表4.1, and图4.1 and 6.1。
- 若需要快速关闭某模块，仅需切换‘tex/meta.tex’中的布尔开关。

### I 1.1.1 排版规范与风格

- 统一使用‘booktabs’处理表格线条，避免竖线；使用‘threeparttable’添加表注。
- 代码块使用‘maccode’环境，并在标题中注明文件名；算法用‘algorithm2e’自动编号。
- 重要提醒用彩色盒子高亮，定义与定理使用统一样式，增强可读性。

## I 2 数学与定理环境

### 定义 2.1 ▶ 离散时间卷积

给定序列 $x[n]$ 与 $h[n]$ ，离散时间卷积定义为

$$y[n] = \sum_{m=0}^{M-1} h[m]x[n-m]. \quad (2.1)$$

该式为后续滤波器分析的基础，亦可与 式 (2.2) 对比理解频域乘法关系。

### 定义 2.2 ▶ 离散傅里叶变换

对长度为  $N$  的序列  $x[n]$ ，其 DFT 与 IDFT 表达式为

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}, \quad (2.2)$$

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k]e^{j\frac{2\pi}{N}nk}. \quad (2.3)$$

### 定理 2.1 | 采样定理

若连续时间信号的最高频率为  $f_{\max}$ ，则采样频率需满足  $f_s \geq 2f_{\max}$  才能无失真重建。

**证明：**在频域中，采样相当于频谱周期延拓。若  $f_s < 2f_{\max}$ ，频谱会发生重叠，导致混叠无法恢复原信号。  $\square$

为展示分段函数与矩阵排版，定义一个有限长低通脉冲响应：

$$h[n] = \begin{cases} \frac{\sin(\omega_c n)}{\omega_c \pi n}, & n \neq 0, \\ \frac{1}{\pi}, & n = 0. \end{cases} \quad (2.4)$$

并写作矩阵形式  $\mathbf{X} = \mathbf{F}\mathbf{x}$ ，其中

$$\mathbf{F} = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 & \cdots & \omega^{N-1} \\ 1 & \omega^2 & \omega^4 & \cdots & \omega^{2(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \omega^{N-1} & \omega^{2(N-1)} & \cdots & \omega^{(N-1)^2} \end{bmatrix}.$$

相关系统分析与采样讨论可参考 [2], [4]。术语示例：奈奎斯特采样定理、LTI、量化。  
关键术语：卷积、离散傅里叶变换、采样定理、混叠。

## I 3 算法与代码

FFT 算法与快速卷积的经典描述可参考 [3], [5]。术语示例：FFT、DFT、FIR。关键术语：重叠保存法、FFT、卷积。

---

**算法 1: 重叠保存法快速卷积**

---

**Input:** 输入序列  $x[n]$ , FIR 滤波器  $h[n]$ , 块长  $L$ **Output:** 输出序列  $y[n]$ 

- 1  $N \leftarrow \text{length}(h)$ ,  $P \leftarrow L + N - 1$
  - 2  $H \leftarrow \text{FFT}(h, P)$
  - 3 将  $x[n]$  分为重叠长度为  $N - 1$  的块序列 // 首块补零
  - 4 **for**  $b \leftarrow 0$  **to**  $B - 1$  **do**
  - 5   取块向量  $x_b$  并补零到长度  $P$
  - 6    $X \leftarrow \text{FFT}(x_b, P)$
  - 7    $Y \leftarrow X \odot H$  // 频域逐点乘法
  - 8    $y_b \leftarrow \text{IFFT}(Y)$
  - 9   丢弃前  $N - 1$  点, 将后  $L$  点拼接到输出
- 

```

1 import numpy as np
2
3 def overlap_save(x, h, block_len):
4     n = len(h)
5     p = block_len + n - 1
6     h_fft = np.fft.fft(h, p)
7     x = np.concatenate([np.zeros(n - 1), x])
8
9     out = []
10    step = block_len
11    for i in range(0, len(x) - (n - 1), step):
12        block = x[i:i + p]
13        if len(block) < p:
14            block = np.pad(block, (0, p - len(block)))
15        y = np.fft.ifft(np.fft.fft(block) * h_fft)
16        out.append(y[n - 1:n - 1 + block_len])
17    return np.concatenate(out).real

```

```

1 #include <math.h>
2
3 void hann_window(double *w, int n) {
4     const double two_pi = 2.0 * M_PI;
5     for (int i = 0; i < n; ++i) {
6         w[i] = 0.5 - 0.5 * cos(two_pi * i / (n - 1));
7     }
8 }

```

## I 4 表格与图像

表格建议统一使用 ‘booktabs’ 与 ‘threeparttable’，并通过 ‘xcolor’ 强调表头。表 4.1 and 4.2 展示了规格表与窗函数对比，图 4.1 展示了位图与矢量图并排排版。

表 4.1 滤波器设计规格

参数	数值	单位	说明
采样率 $f_s$	48	kHz	音频处理常见采样率
通带边缘 $f_p$	3.0	kHz	通带纹波 $\leq 1 \text{ dB}$
阻带边缘 $f_s$	4.0	kHz	阻带衰减 $\geq 60 \text{ dB}$
过渡带宽 $\Delta f$	1.0	kHz	由规格推导

表 4.2 窗函数对比

窗函数	主瓣宽度	最大旁瓣	典型用途
Rect	窄	高	快速粗略分析
Hann	中等	-31.5 dB	频谱估计
Hamming	中等	-42.7 dB	滤波器设计
Blackman	宽	-58 dB	高抑制需求

注：旁瓣衰减为近似值，实际结果与长度和零填充策略有关。

## I 5 电路图（circuitikz）

### 提示

该电路的标称截止频率可近似写为  $\omega_c \approx 1/\sqrt{LC}$ ，用于说明电路参数与频率响应之间的关系。

## I 6 绘图（pgfplots）

### A 附录：补充材料与整页插图

### 提示

附录适合放置原始数据、完整推导或整页截图。若存在外部 PDF，可直接整页插入。

### 注意

未检测到 ‘appendix.pdf’，请将外部材料放到项目根目录后再启用整页插入。

### I A.1 符号与参数补充表



(a) 位图示意



(b) 矢量示意

图 4.1 图像与矢量元素并排排版

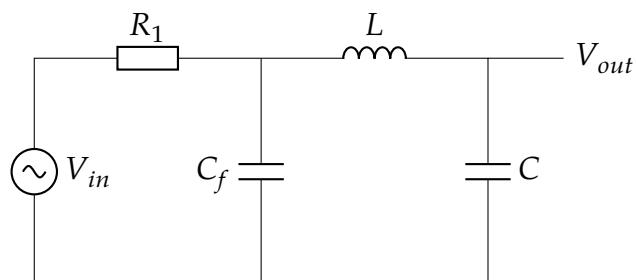
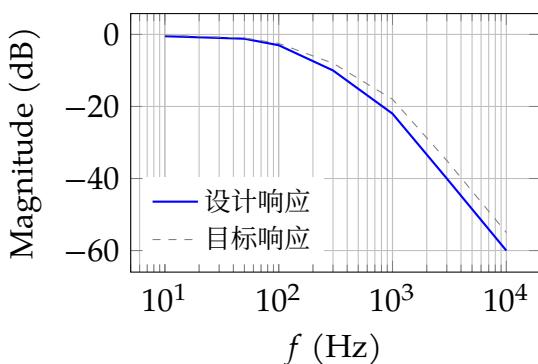
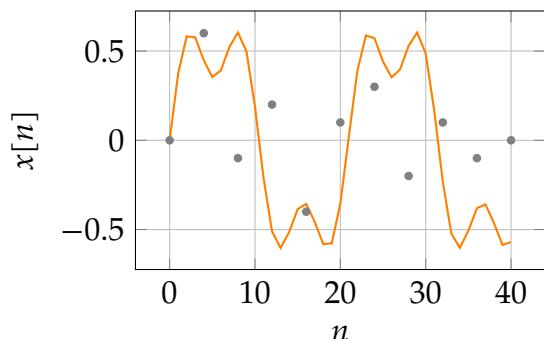


图 5.1 RLC 低通滤波器示意



(a) 幅频响应



(b) 时域样本

图 6.1 pgfplots 绘图示例

**表 A.1** 符号说明

符号	含义
$N$	DFT 点数
$L$	分块长度
$f_s$	采样频率
$\omega_c$	截止角频率

## 术语表

**DFT** 离散傅里叶变换. [1](#), [2](#)

**FFT** 快速傅里叶变换. [1](#), [2](#)

**FIR** 有限长单位冲激响应滤波器. [2](#)

**PSD** 功率谱密度. [1](#)

**奈奎斯特采样定理** 采样频率不低于信号最高频率两倍时可无失真重建. [1](#), [2](#)

**量化** 将连续幅值映射为离散电平码. [2](#)

## 缩略语表

**ADC** 模数转换器. [1](#)

**LTI** 线性时不变系统. [1](#), [2](#)

**SNR** 信噪比. [1](#)

# 索引

## F

FFT ..... 2

## 漢字

卷积 ..... 2

数字信号处理 ..... 1

混叠 ..... 2  
离散傅里叶变换 ..... 2  
窗函数 ..... 1  
采样定理 ..... 1, 2  
重叠保存法 ..... 2  
频谱分析 ..... 1

## 参考文献

- [1] D. E. Knuth, *The TeXbook*. Addison-Wesley, 1984.
- [2] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer, *Discrete-Time Signal Processing*, 3rd ed. Pearson, 2010.
- [3] J. W. Cooley and J. W. Tukey, "An algorithm for the machine calculation of complex fourier series," *Mathematics of Computation*, vol. 19, no. 90, pp. 297–301, 1965.
- [4] H. Nyquist, "Certain topics in telegraph transmission theory," *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. 47, pp. 617–644, 1928.
- [5] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, *Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*, 4th ed. Pearson, 2007.