

FM Demodulator

Visier Rational
Lumen Institute
visier@lument.org

Visier Emotional
Lumen Institute
visier@lument.org

Visier Philosophical
Lumen Institute
visier@lument.org

Abstract

这篇资料主要介绍了 FM 解调器的基本原理与设计实现。采用 FPGA 实现，主要包括 NCO、混频器和 FIR 滤波器等模块。注意，此种解调方式只能针对特定条件下的 FM 信号进行解调，且不包含 FM 调制讲解。

1 Introduction

本文档用于解释附属工程 FM Demodulator 的设计与实现。采用 FPGA 实现，主要包括 NCO、混频器和 FIR 滤波器等模块。

2 Theory Supports

本工程采用同向正交法 (I/Q) 进行 FM 解调。I/Q 信号的生成和处理是通过 NCO（数控振荡器）和混频器实现的。解调过程使用了 FIR 滤波器来提取所需的信号成分。

2.1 FM Modulation signal derivation

FM 调制信号：

$$X_{\text{RF}}(t) = A \cos(2\pi f_c t + \varphi(t))$$

正交分量形式:

$$X_{\text{FM}}(t) = I(t) \cos(2\pi f_c t) - Q(t) \sin(2\pi f_c t)$$

欧拉公式形式:

$$X_{\text{FM}}(t) = A e^{j(2\pi f_c t + \varphi(t))}$$

解析信号：

$$X_{\text{analytic}}(t) = X_{\text{RF}}(t) + jH[X_{\text{RF}}(t)]$$

其中 $H[X_{\text{RF}}(t)]$ 是 $X_{\text{RF}}(t)$ 的希尔伯特变换。乘以 $e^{-j2\pi f_c t}$ 得到基带信号：

$$X_{\text{base}}(t) = X_{\text{analytic}}(t) e^{-j2\pi f_c t}$$

意义：频谱搬移，载波归 0 基带信号欧拉公式展开:

$$X_{\text{base}}(t) = A e^{j\varphi(t)} = I(t) + jQ(t)$$

2.2 FM Demodulation

解调过程的核心是从基带信号中提取出相位信息 $\varphi(t)$ 。通过对基带信号进行希尔伯特变换，可以得到正交分量 $I(t)$ 和 $Q(t)$ 。解调后的信号可以表示为：

$$\varphi(t) = \arg(X_{\text{base}}(t)) = \arctan\left(\frac{Q(t)}{I(t)}\right)$$

数字实现中，通常使用差分方法来近似计算相位变化：

$$s(t) \propto \frac{d}{dt} \arctan\left(\frac{Q(t)}{I(t)}\right) \\ \approx I[n-1]Q[n] - Q[n-1]I[n]$$



此种解调方式只能针对特定条件下的 FM 信号进行解调

3 条件说明

3.1 最优解调条件

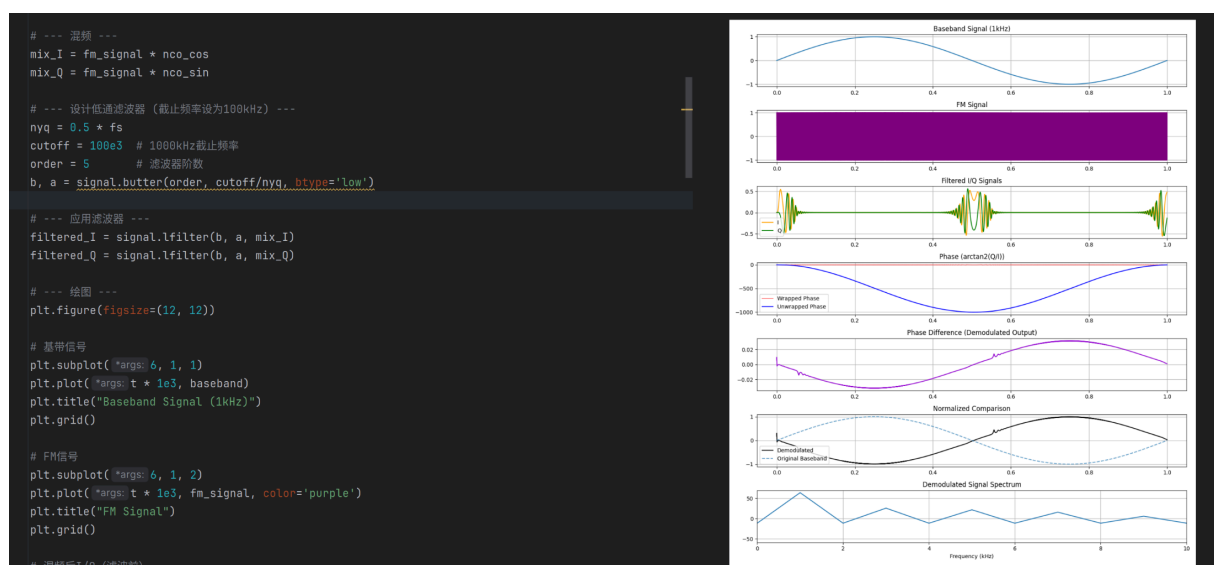


Figure 3.1.1: 基带信号频率为 1kHz，FIR 截止频率为 100kHz 的解调结果

3.2 滤波器影响

滤波器的设计对解调结果有显著影响。过宽的带宽可能导致噪声干扰，而过窄的带宽则可能导致信号失真。

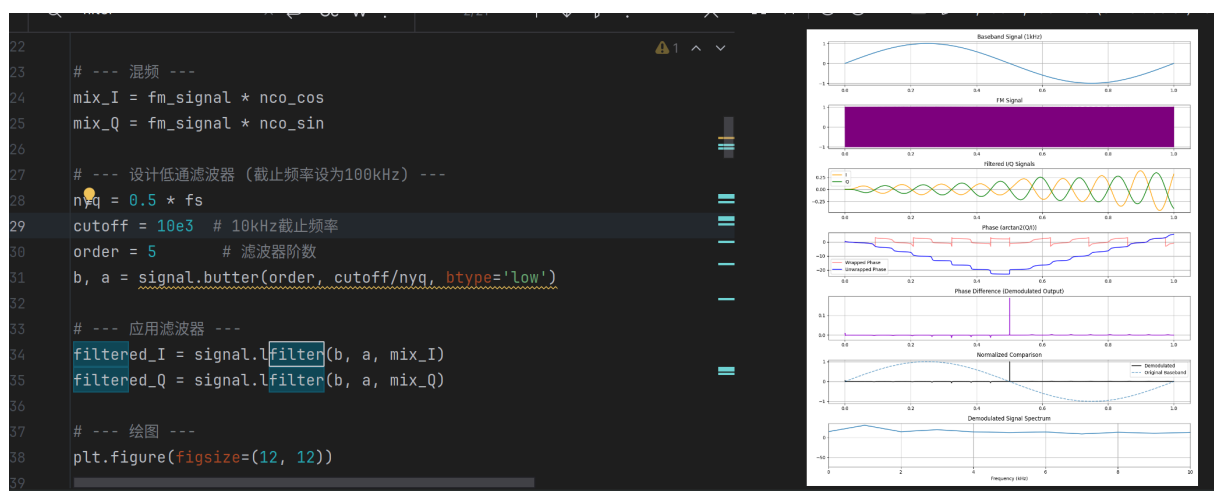


Figure 3.2.2: FIR 截止频率为 10kHz 的滤波器响应

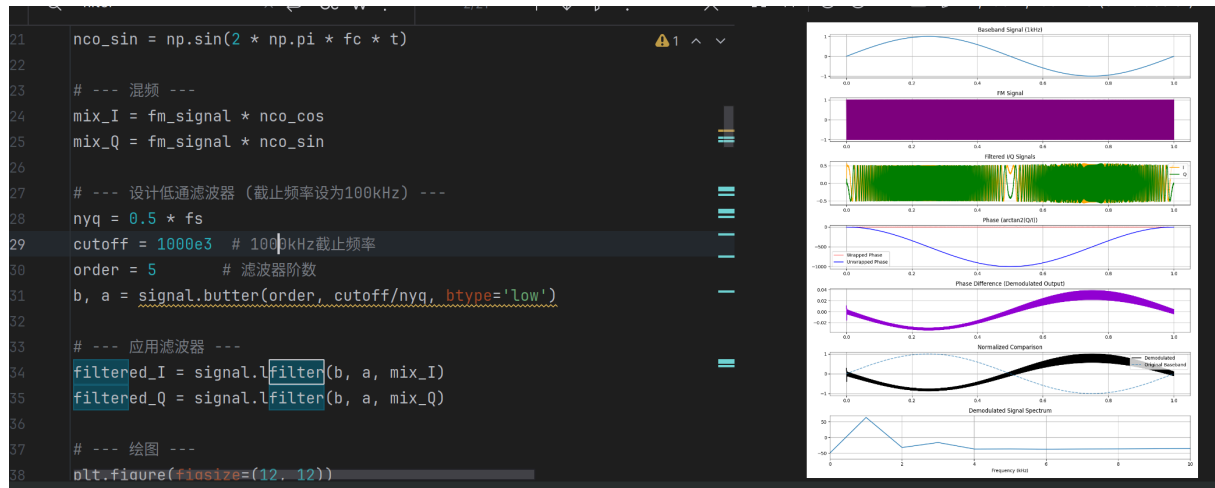


Figure 3.2.3: FIR 截止频率为 1000kHz 的滤波器响应

3.3 基带信号频率影响

基带信号的频率也会影响解调结果。较低频率的基带信号可能导致解调器无法正确跟踪相位变化，而较高频率的基带信号则可能导致过采样和计算负担。

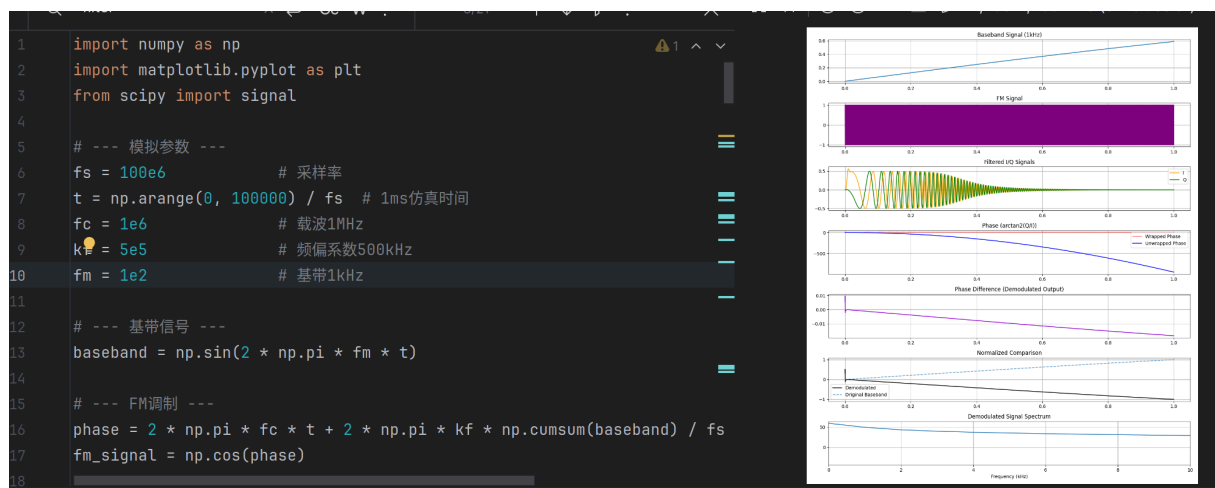


Figure 3.3.4: 基带信号频率为 100Hz 的响应

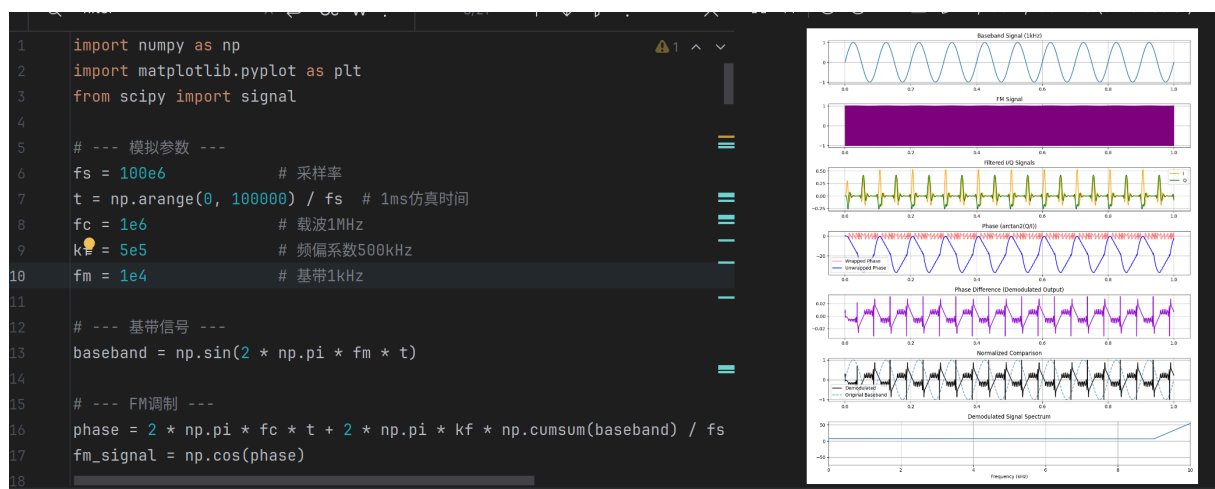


Figure 3.3.5: 基带信号频率为 10kHz 的响应