

# FM Demodulator

Visier Rational  
Lumen Institute  
visier@lument.org

Visier Emotional  
Lumen Institute  
visier@lument.org

Visier Philosophical  
Lumen Institute  
visier@lument.org

## Abstract

本文主要讨论了 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,利用 Hilbert 变换得到基带信号的同向正交信号。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。同向正交解调的优势之一在于不需要对载波进行相位同步，这使得解调过程更加简单和高效。

### 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：

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



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 载波影响

- 采样率为 100MHz
- 频偏为 200kHz
- 基带信号为 10kHz
- 127 阶 FIR, 100kHz 截止频率

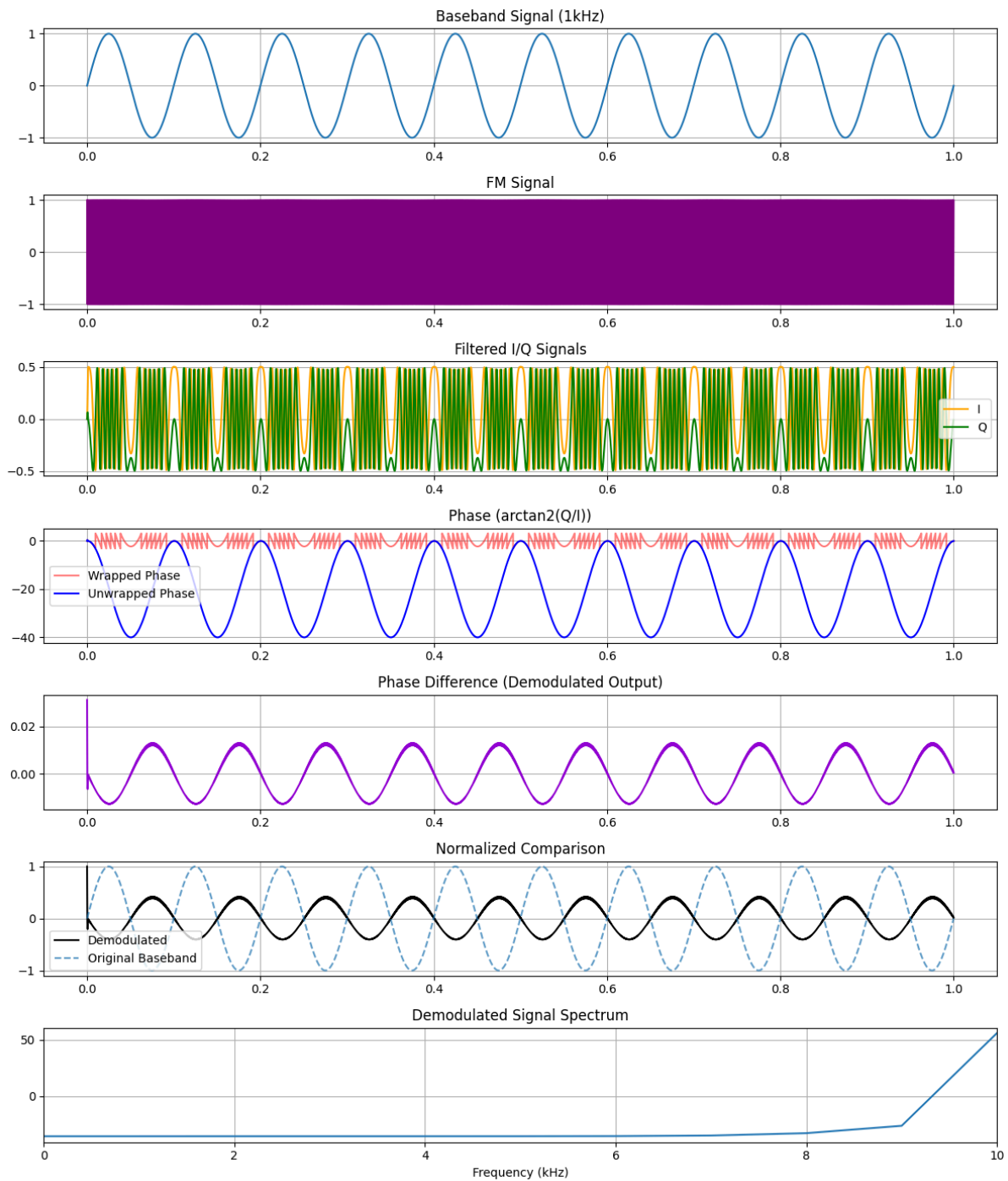


Figure 3.1.1: 载波为 1MHz

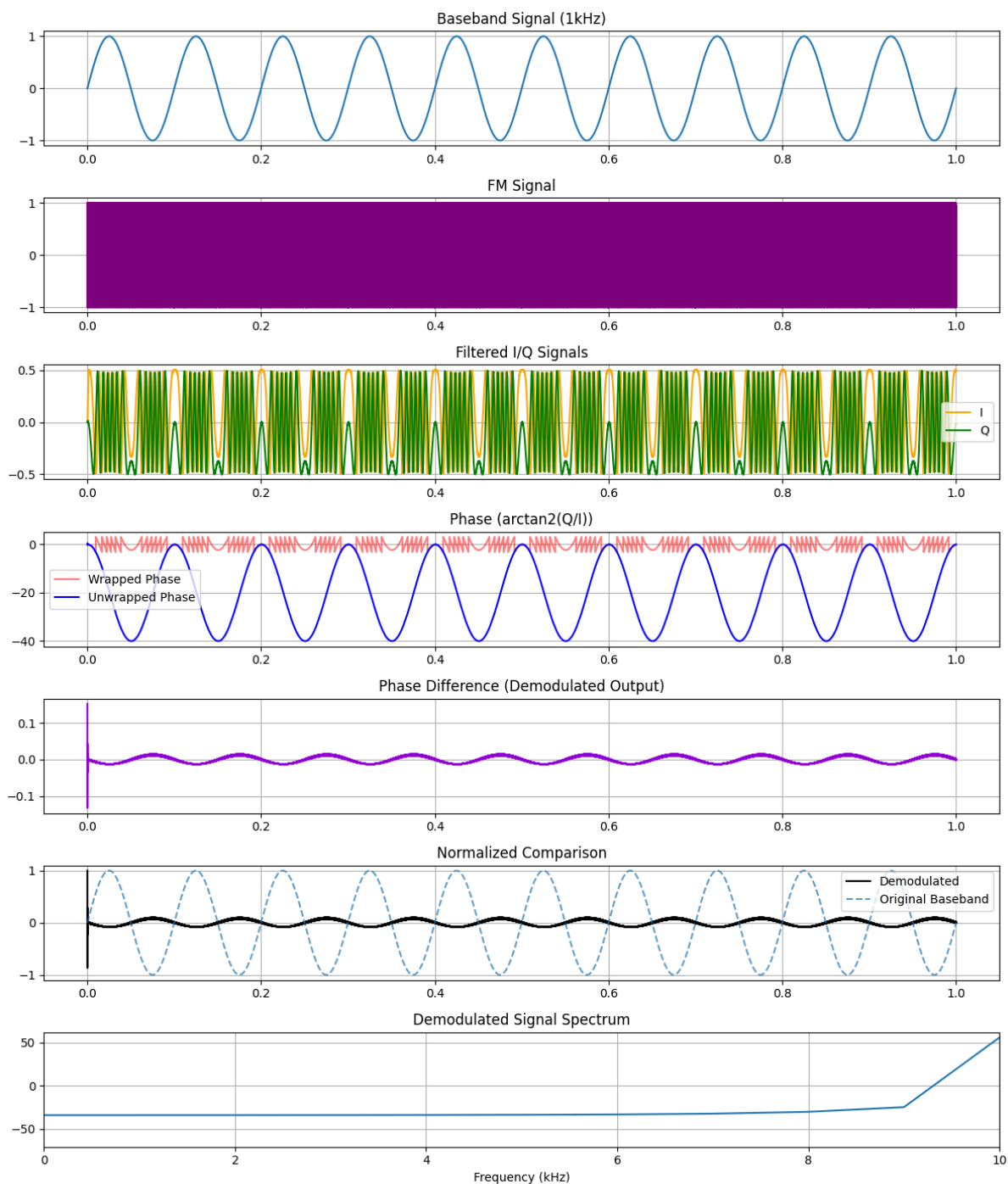


Figure 3.1.2: 载波为 5MHz

观察到载波频率对解调结果的影响。载波频率过高时，解调衰减明显。

### 3.2 基带信号频率影响

- 载波频率为 1MHz
- 采样率为 100MHz
- 频偏为 200kHz
- 127 阶 FIR, 100kHz 截止频率

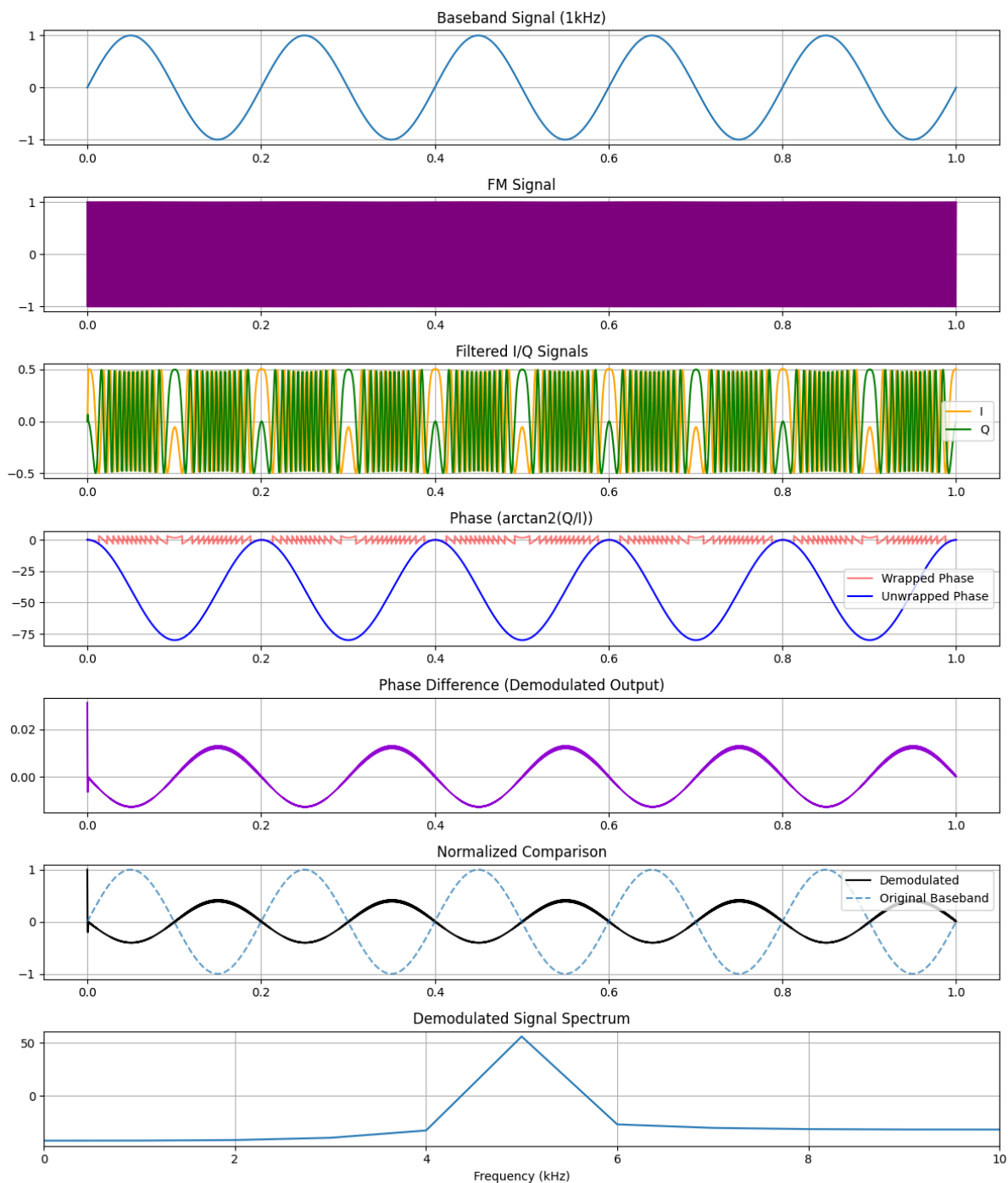


Figure 3.2.3: 基带信号为 5kHz

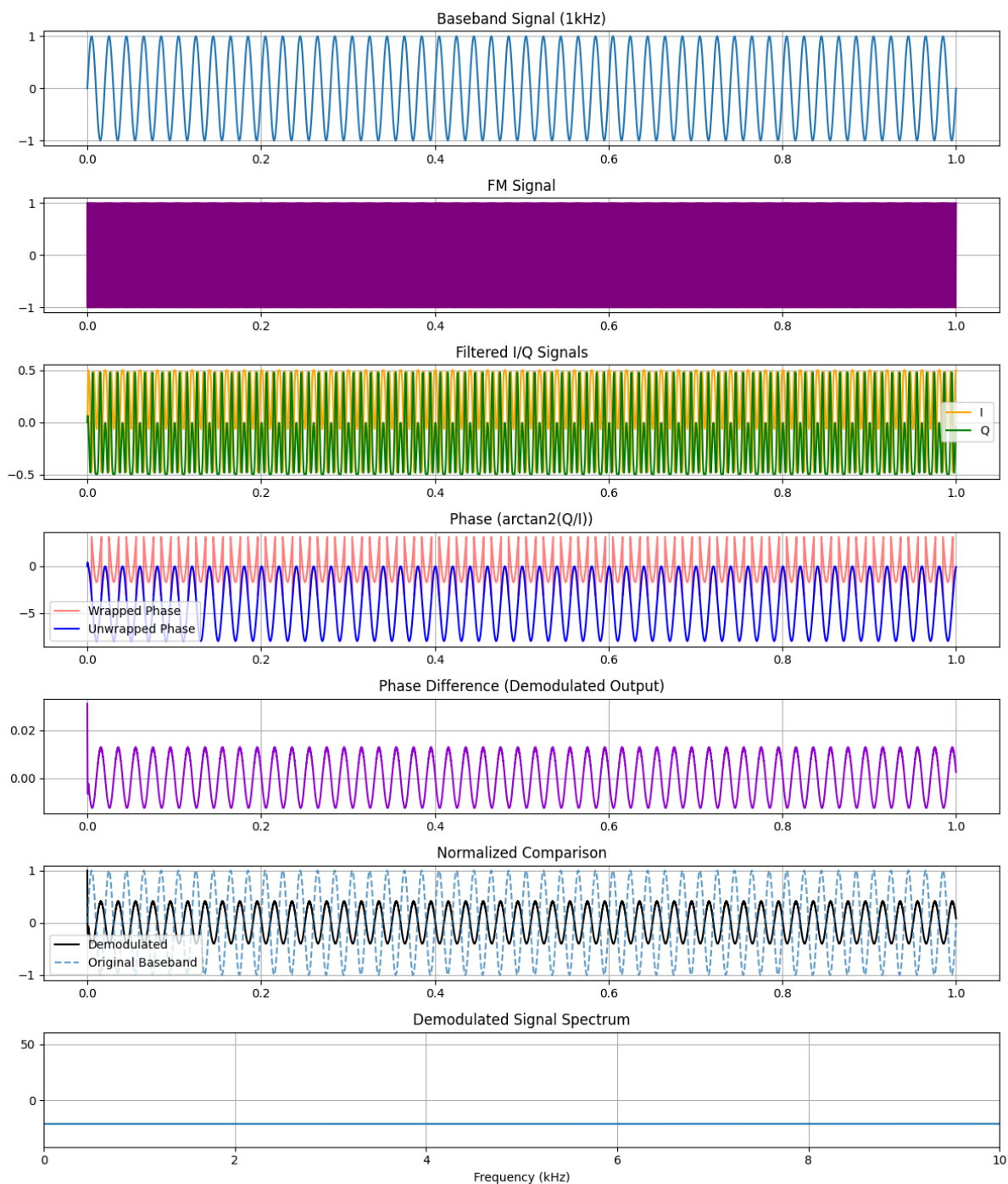


Figure 3.2.4: 基带信号为 50kHz

观察到基带信号频率对解调结果的影响并不大。

### 3.3 频偏影响

- 载波频率为 1MHz
- 采样率为 100MHz
- 基带信号为 10kHz
- 127 阶 FIR, 100kHz 截止频率

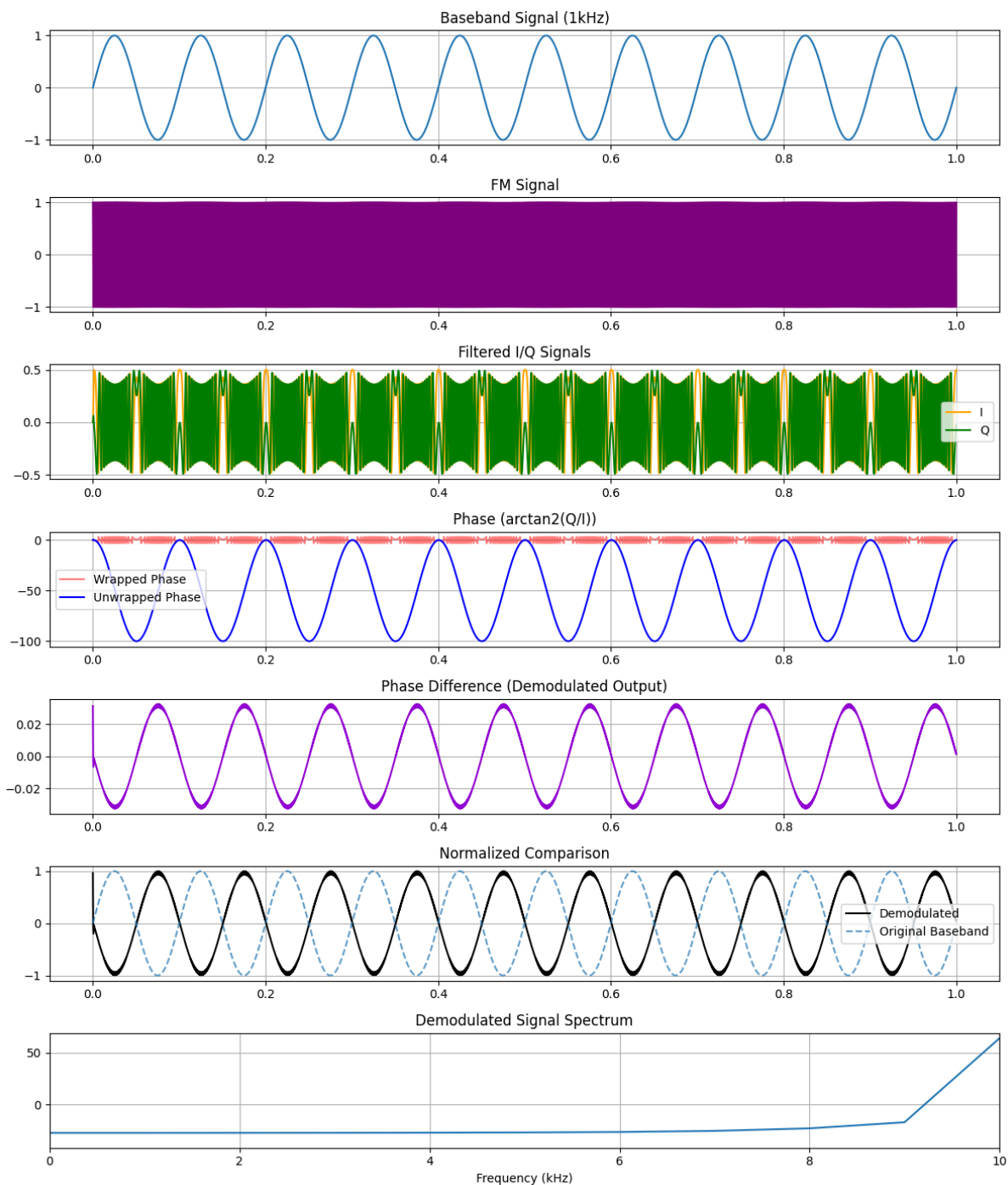


Figure 3.3.5: 频偏为 20kHz

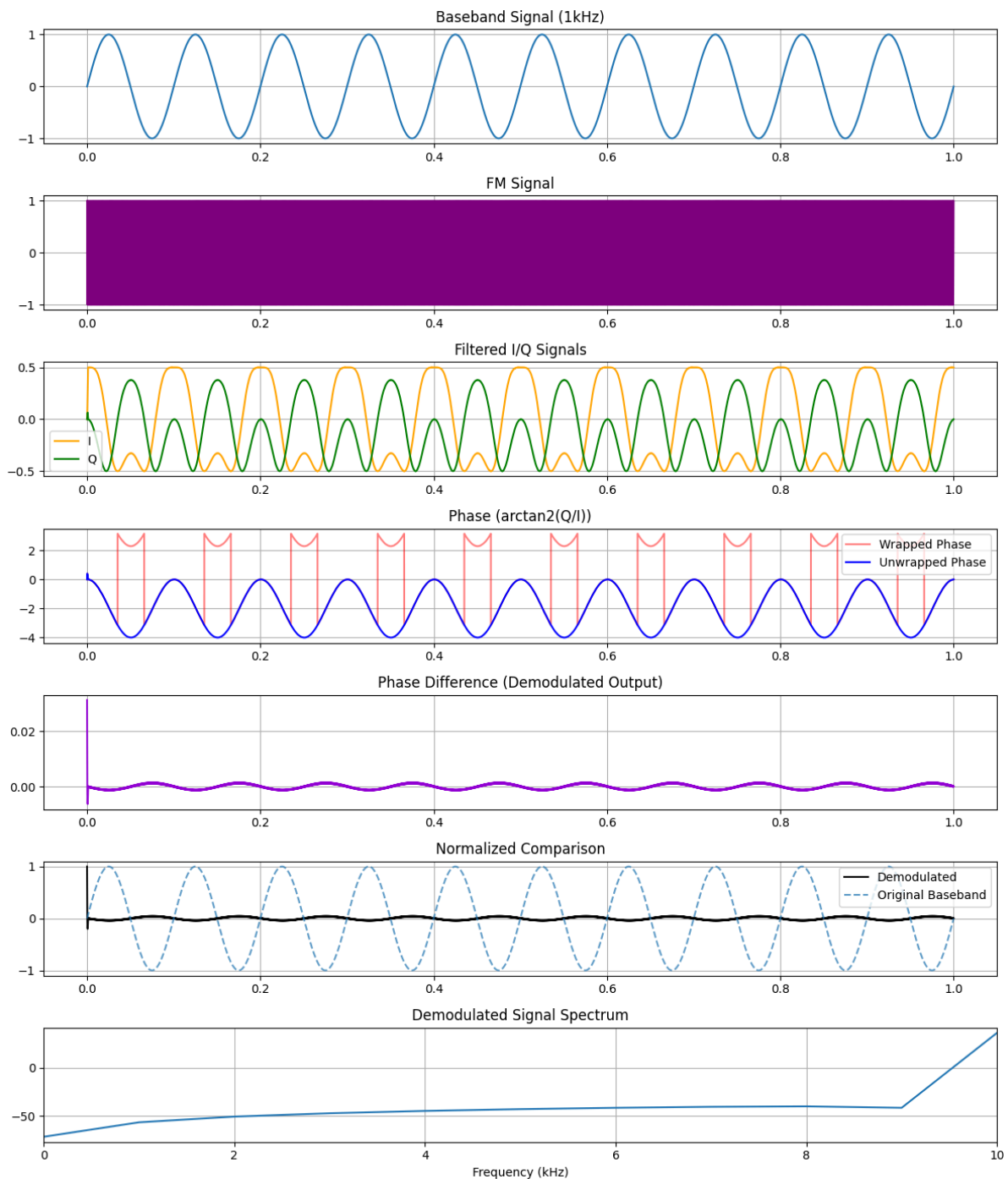


Figure 3.3.6: 频偏为 500kHz

观察到频偏对解调结果的影响较大。频偏过小时，解调结果会出现明显的失真。实际上，频偏过大时，解调结果也会受到影响，但在本实验中未能观察到明显的变化。



滤波器的性能对于解调结果至关重要。这里就不做仿真了，自行探索吧。