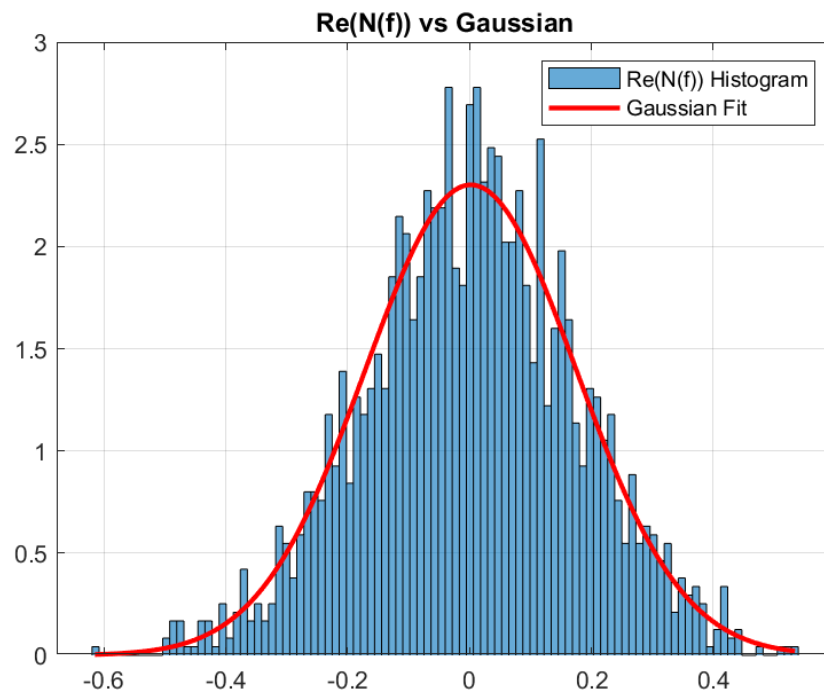


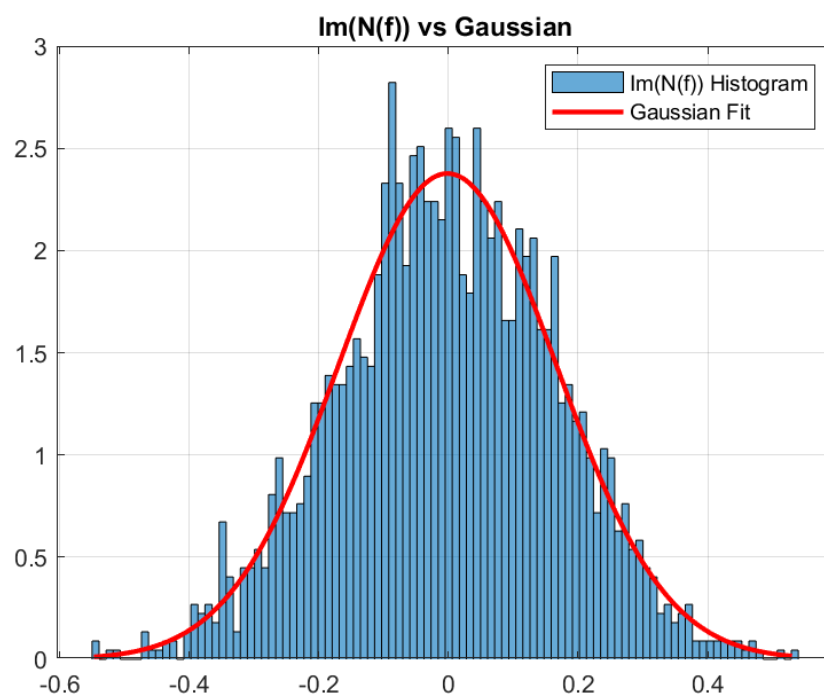
- 1、經過 FFT， $N(f)$ = 接收訊號 $R(f)$ - 傳送訊號 $S(f)$ 。將實驗結果中的 $N(f)$ 的實數部分 $\text{Re}(N(f))$ 及虛數部分 $\text{Im}(N(f))$ 其分別的期望值及變異數統計出來。

	$\text{Re}(N(f))$	$\text{Im}(N(f))$
期望值	0.002	-0.0015
變異數	0.03	0.0282

- 2、將 $\text{Re}(N(f))$ 的機率分布(probability density)模擬出來，並與有相同期望值及變異數的 Gaussian distribution 比較。



- 3、將 $\text{Im}(N(f))$ 的機率分布(probability density)模擬出來，並與有相同期望值及變異數的 Gaussian distribution 比較。



4、算出子載波的平均 E_s/N_0 。此 E_s/N_0 與 Homework 3 訂的 SNR 的差值為多少，為何會出現此差值。

i. 子載波的平均 $E_s/N_0 = 34.0892 = 15.3262$ (dB)

$$\text{Ideal SNR} = 10.0065 \text{ (dB)}$$

$$E_s/N_0 - \text{Ideal SNR} = 5.3197 \text{ (dB)}$$

ii. 出現差值原因：

$$\text{Ideal SNR} = 10\log(P_{\text{signal}}/P_{\text{noise}})$$

$$E_s/N_0 = 10\log\left(\frac{E_s}{\sigma^2_{\text{real}} + \sigma^2_{\text{imagin}}}\right) = 10\log\left(\frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} \times \frac{T_{\text{system}}}{T_{\text{sample}}}\right) \text{ (dB)}$$

\therefore 一個 OFDM 符號的總能量是所有子載波能量的和 $E_{\text{total}} = 600E_s$

$\therefore E_{\text{total}}$ 分布在 $N = 2048$ 個時域取樣點

$$\therefore P_{\text{signal}} = \frac{E_{\text{total}}}{N} = \frac{600}{2048}E_s \Rightarrow E_s = \frac{2048}{600}P_{\text{signal}}$$

$$\therefore E_s/N_0 = \text{SNR} + 10\log\left(\frac{2048}{600}\right)$$

\therefore 因為 SNR 是以時域整體平均功率與噪聲功率的比值來衡量，而 E_s/N_0 則是以每個符號的能量對噪聲譜密度的比值來定義，二者因子不同（如 OFDM 子載波數與 IFFT 點數的能量分散）而產生差異。

5、模擬 BER vs E_b/N_0 （至少三點）並與上課投影片(或是上網找到的圖)中的結果比較。請說明如何得到 E_b/N_0 ，如何計算 BER。BER 與 Mapping 有關，Mapping 為 Gray mapping 如下。

SNR(dB)	E_b/N_0 (dB)	BER	Variance of Re(N(f))
2	4.32	9.9817e-03	0.1847
4	6.33	1.6433e-03	0.1165
6	8.32	1.0417e-04	0.0736
8	10.32	1.6667e-06	0.0465
10	12.33	0.0000e+00	0.0293
12	14.32	0.0000e+00	0.0185
14	16.32	0.0000e+00	0.0117

I. 求 E_b/N_0

i. 生成 SNR。構造 X，調變得到時域信號 s_m ，計算 s_m 功率，加上時域噪聲得到 r_m ，解調變後進行頻域分析，經計算得 Variance of noise real and imaginary part($var_{Re} + var_{Im}$)

ii. 依據求得 E_s/N_0 ，再求 E_b/N_0

$$E_s/N_0 = 2/(var_{Re} + var_{Im})$$

$$E_b/N_0 = 10\log_{10}\left(\frac{1}{2} \times E_s/N_0\right) \text{ (dB)}$$

II. 計算 BER

- i. 理論 $BER = 0.5 * \text{erfc}(\sqrt{E_b/N_0})$
- ii. 計算 $BER = (\text{error bits} / \text{total bits})$
 1. 隨機生成 01 組成的 bit 序列
 2. 2 bits 為一組，映射到 QPSK 星座圖四象限(Mapping)
 3. 加入 AWGN 在 I-Q 分量上 =>接收符號
 4. 根據接收符號所在象限對應到最接近的 bit 組合
 5. 比較還原後與原始 bits 序列，計算 BER(error bits 數/ total bits 數)

