

MQAM, DPSK, OFDM-MQAM과 OFDM-DPSK의 위상 잡음 영향 연구

Phase Noise Influence on SER of MQAM, DPSK, OFDM-MQAM, OFDM-DPSK

권요안 · 김인석

Johann Kwon · Ihnseok Kim

요약

본 논문에서는 DPSK(Quadrature Phase Shift Keying), MQAM(M-ary Quadrature Amplitude Modulation), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)-MQAM, OFDM-DPSK 변조 방식에 대한 SER(Symbol Error Rate)을 위상 잡음에 대한 영향을 정량적으로 도출하였다. 시뮬레이션(MATLAB)을 이용하여 위상 잡음이 없는 이상적인 경우와 비교하였으며, 또한 상기 변조 방식에 대하여 심벌 레이트와 변조 대역폭간의 비에 따른 위상 잡음 영향을 분석하였고, 각 변조에서 요구되는 최소 위상 잡음 조건을 제시하고 도출하였다.

Abstract

In this paper, we report phase noise effects on SER(Symbol Error Rate) of MQAM(M-ary Quadrature Amplitude Modulation), DPSK(Differential Phase Shift Keying), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)-MQAM and OFDM-DPSK. SER of each modulation method has been quantified at the various offset frequencies of the local oscillator and compared with phase noise effects with the ideal cases, which have no phase noise, through the MATLAB simulation. And the ratio of modulation bandwidths to the SERs at the various frequency offsets for the above modulation methods have been analyzed for the system requirement of minimum phase noise characteristics.

Key words : Phase Noise, SER, MQAM, OFDM, DPSK

I. 서론

최근 정보 통신 시대에 접어들면서 많은 양의 정보를 실시간 통신이 이루어지게 하기 위해 점차 통신 속도의 고속화와 대용량화가 요구되고 있으며, 이것을 만족시키기 위해서는 높은 캐리어 주파수와 낮은 위상 잡음을 가진 발진기가 필요하다. 특히 발진기의 위상 잡음은 디지털 통신의 성능을 좌우하는 주요한 변수이다. 이상적인 발진기의 출력 신호는 주파수 스펙트럼상에서 1개의 주파수 성분을 가지지만 실제에는 발진시 생겨난 위상 잡음으로 대역폭

을 형성하게 된다. 위상 잡음이 통신 시스템에 미치는 영향은 데이터 에러, 지터(Jitter) 그리고 수신기 민감도 저하등으로 크게 3종류로 분류할 수 있다^[1].

데이터 에러(data error)는 그림 1과 같이 위상 잡음으로 데이터 또는 심벌이 결정 영역(decision boundary)을 지나가거나 또는 추가된 다른 잡음의 영향으로 에러가 생성되는 것이며, 지터(Jitter)는 시간축에서의 위상 에러에 의해 신호의 동기를 파괴시키는 요인이며, 그리고 세 번째 종류로 그림 2와 같이 위상 잡음에 의해 수신 신호가 잡음 속에 파묻혀 감도 저하를 유발하는 경우가 있다. 또한 OFDM 시스템

경희대학교 전자정보대학 전파통신공학과(Dept. of Radio Communication Engineering, Kyunghee University)

· 논문 번호 : 20061103-16S

· 수정완료일자 : 2007년 1월 29일

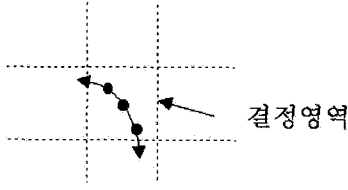


그림 1. 위상 잡음에 의해 심벌이 결정 영역(decision boundary)를 침범하는 현상
 Fig. 1. A phenomenon showing symbols trespassing decision boundary by phase noise.

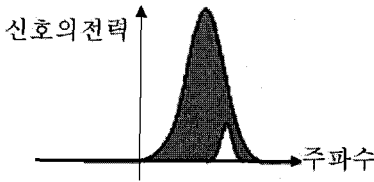


그림 2. 위상 잡음에 의해 수신 신호가 잡음 속에 파묻히는 현상을 보여주는 그림
 Fig. 2. Receiving signal buried in phase noise in frequency domain.

에서는 위상 잡음에 의해 수신 신호의 위상 천이와 송신 신호와 수신단간의 심벌 동기 신호와의 불일치에 의한 직교성 파괴와 인접 채널 간섭(ICI: Inter-channel Interference)이 생겨 SER(Symbol Error Rate)과 BER(Bit Error Rate)에 영향을 준다.

OFDM-QAM, QPSK(Quadrature Phase Shift Keying)에서의 위상 잡음에 대한 BER, SER의 영향은 많은 참고문헌 [2]~[20]에서 보고되었으나 대부분 각각의 변조에 국한되어 있었으며, 다양한 위상 잡음의 오프셋 주파수별로 SER을 계산을 하지 않았다. 또한 MQAM, DPSK, OFDM-MQAM, OFDM-DPSK 변조 방식에서 위상 잡음의 영향을 비교 보고한 문헌은 없었다. 따라서 본 논문에서는 다양한 오프셋 주파수 별로 MQAM, DPSK, OFDM-MQAM, OFDM-DPSK 변조 방식에서의 국부 발진기의 위상 잡음에 따른 SER의 변화와 위상 잡음이 있는 경우와 없는 경우의 그 차이를 위상 잡음과 E/N 비(E : 신호의 전력, N : 잡음 전력)에 따른 SER의 차이 변화를 상기 변조 방식에서의 영향을 종합적으로 비교 연구하였으며, 또한 심벌 레이트와 변조 대역폭간의 비율에 따라 SER을 MATLAB을 이용하여 계산하였다.

II. 국부 발진기의 위상 잡음에 의한 디지털 변조의 SER 모델

SER에 영향을 주는 주요 인자는 E/N 비이며, 각 변조 방식에서의 E/N 비와 SER의 관계는 식 (1)~(6)으로 표현되어진다.

2-1 MQAM^[21]

식 (2)~(6)은 MQAM의 SER을 표현한 식이다.

$$P_{QAM} = 1 - \frac{1}{M} [(\sqrt{M}-2)^2 P\langle C_1 \rangle + 4(\sqrt{M}-2)P\langle C_2 \rangle + 4P\langle C_3 \rangle] \quad (1)$$

$$P\langle C_1 \rangle = [1 - 2Q(\sqrt{2a^2})]^2 \quad (2)$$

$$P\langle C_2 \rangle = [1 - 2Q(\sqrt{2a^2})][1 - Q(\sqrt{2a^2})] \quad (3)$$

$$P\langle C_3 \rangle = [1 - 2Q(\sqrt{2a^2})]^2 \quad (4)$$

$$a = \sqrt{\frac{3E_s}{2N(M-1)}} \quad (5)$$

여기서, E_s 는 심벌 에너지, N 은 잡음 전력, M 은 심벌수이고, $P\langle C_1 \rangle$ 은 그림 3에서 사각형의 빗금 친 부분 4개의 영역에 있는 심벌을 에러 없이 수신할 확률을 의미하고, $P\langle C_2 \rangle$ 은 회색 부분 영역에 있는 심벌이 에러 없이 수신할 확률을 의미하며, 그리고 $P\langle C_3 \rangle$ 은 나머지 영역에서 에러 없이 수신할 확률은 의미한다. 그러므로 심벌 에러가 일어날 확률은 식 (1)로 표현되어진다.

2-1 DPSK^[21]

DPSK의 SER은 식 (6)으로 표현된다.

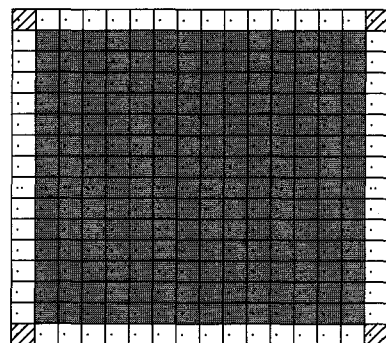


그림 3. 256 QAM 정상도
 Fig. 3. 256 QAM of constellation diagram.

$$P_{DPSK} \leq \frac{\pi}{4} \frac{\cos \pi/2M}{\sqrt{\cos \pi/2M}} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{2 \frac{E_s}{N} \sin \frac{\pi}{2M}} \right) \quad (6)$$

식 (1)~(6)은 SER의 주요한 변수는 E_s/N 비임을 보여주고 있으며, 위상 잡음이 존재할 경우, 실제 E_s/N 비를 악화시킨다. 악화된 E_s/N 비를 dB 단위로 정량적으로 표현하면 식 (7)로 표현이 된다^[22].

식 (7)을 이용하여 위상 잡음 효과를 고려한 실제 E_s/N 비는 다음과 같다.

$$S_{deg} = 10 \log \left(1 + \sigma^2 \frac{E}{N} \right) \quad (7)$$

여기서 σ^2 는 위상 잡음 분산(phase noise variance)이다. 식 (7)에 의해 위상 잡음 효과를 고려한 MQAM과 DPSK의 SER은 식 (8)과 (9)로 나타내어질 수 있다.

· MQAM

$$a = \sqrt{\frac{3E_s}{2N(M-1)} \frac{\frac{E_s}{N}}{1 + \sigma^2 \frac{E_s}{N}}} \quad (8)$$

· DPSK

$$P_{DPSK} \leq \frac{\pi}{4} \frac{\cos \pi/2M}{\sqrt{\cos \pi/2M}} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{2 \frac{\frac{E_s}{N}}{1 + \sigma^2 \frac{E_s}{N}} \sin \frac{\pi}{2M}} \right) \quad (9)$$

식 (7)에서의 σ^2 을 구하기 위해 발진기 위상 잡음의 함수를 규격화된 로렌츠 모델(normalized Lorentzian model)^[22]을 이용하면 식 (10)으로 나타내어진다.

$$\sigma^2 = \int_{-B_{\phi}/2}^{-B_{\phi}/2} S_{\phi}(f) df = 2 \int_0^{B_{\phi}/2} \frac{A}{1 + \frac{f^2}{f_{3dB}^2}} df \quad (10)$$

f_{3dB} 는 발진기의 출력 전력 레벨이 3 dB 감소할 때의 주파수, 그리고 A 는 잡음 레벨을 의미한다.

OFDM-MQAM과 OFDM-QPSK의 경우, 위상 잡음의 영향으로 ICI와 CPE(Common Phase Error)가 존재하며, 이를 고려한 비는 식 (11)로 주어진다^[2].

$$(E_s/N)_{PN} = \frac{E_s}{N} / \left(1 + \sigma^2 \frac{E_s}{N} \right) \quad (11)$$

OFDM에서의 악화된 E_s/N 비는 식 (12)로 정의되어 질 수 있다.

$$(S_{deg})_{OFDM} = 10 \log \left(1 + 4\sigma^2 \frac{E_s}{N} \right) \quad (12)$$

식 (7)과 (12)를 비교하면 E_s/N 비 앞의 계수 차이 4가 존재하므로 OFDM에서 위상 잡음 효과가 훨씬 더 민감함을 예측할 수 있다.

그러므로 OFDM-DPSK에서는 식 (13)으로 표현되고, OFDM-MQAM에서는 식 (5)가 식 (13)으로 바뀌게 되고, 식 (13)을 식 (2)~(4)에 대입하면 OFDM-MQAM의 SER을 계산할 수 있다.

· OFDM-MQAM

$$a = \sqrt{\frac{3E_s}{2N(M-1)} \frac{\frac{E_s}{N}}{1 + 4\sigma^2 \frac{E_s}{N}}} \quad (13)$$

· OFDM-DPSK

$$P_{DPSK} \leq \frac{\pi}{4} \frac{\cos \pi/2M}{\sqrt{\cos \pi/2M}} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{2 \frac{\frac{E_s}{N}}{1 + 4\sigma^2 \frac{E_s}{N}} \sin \frac{\pi}{2M}} \right) \quad (14)$$

한편, 식 (10)~(12)의 E_s/N 비를 E/N 비로 변형하면 식 (15)을 얻는다^[23].

$$\frac{E_s}{N} = \frac{ET_s}{N/W} = \frac{E/R_s}{N/W} = \frac{E}{N} \frac{W}{R_s} \quad (15)$$

여기서 R_s 는 심벌 레이트(율), W 는 변조 대역폭, T_s 는 심볼주기 그리고 E 는 신호의 전력이다. 식 (15)을 이용하여 MQAM, DPSK, OFDM-MQAM, OFDM-DPSK의 위상 잡음에 따른 SER을 E/N 비와 변조 대역폭 대 심벌 레이트 비로 계산할 수 있게 된다.

III. 시뮬레이션 결과 및 분석

3-1 QAM에서 위상 잡음에 의한 SER 변화

그림 4는 변조 대역폭과 심벌 레이트의 비가 1일 때, 4, 16, 64, 256, 1024 QAM의 위상 잡음을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 변화 추이를 보여 주고 있다. 그림 4(a)는 위상 잡음이 오프셋 주파수 1 kHz에서 -92 dBc/Hz일 경우의 SER은 위상 잡음에

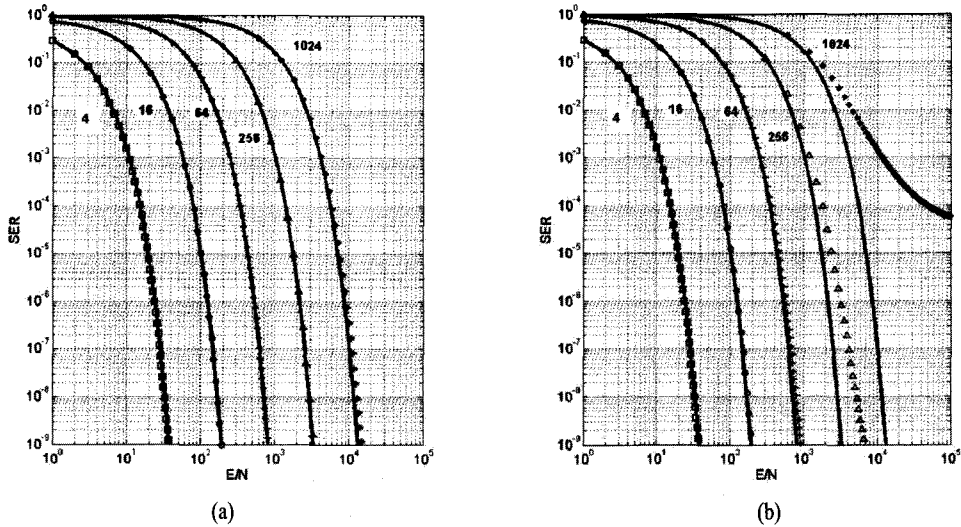


그림 4. (a) R/W=1, 3 dB 대역폭 주파수 0.001, 오프셋 주파수 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz일 때, 4, 16, 64, 256, 1024-QAM에서 위상 잡음 유무에 따른 SER 비교, (b) 3 dB 대역폭 주파수 0.004, 오프셋 주파수 1 kHz: -86 dBc/Hz, 10 kHz: -105 dBc/Hz, 100 kHz: -125 dBc/Hz, 1 MHz: -145 dBc/Hz일 때, MQAM의 SER 변화

Fig. 4. (a) SER comparison of 4, 16, 64, 256, 1024-QAM with phase noise W/R=13 dB Bandwidth: 0.001, offset frequency 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz, (b) 3 dB Bandwidth: 0.004, offset frequency 1 kHz: -86 dBc/Hz, 10 kHz: -105 dBc/Hz, 100 kHz: -125 dBc/Hz, 1 MHz: -145 dBc/Hz.

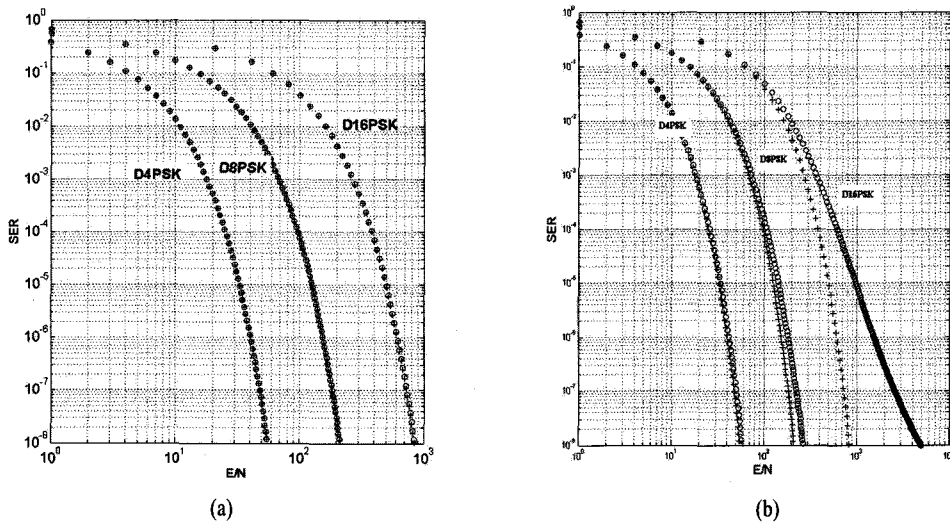


그림 5. (a) R/W=1, 3 dB 대역폭 주파수 0.001, 오프셋 주파수 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz일 때, D4PSK, D8PSK, D16PSK에서 위상 잡음 유무에 따른 SER 비교, (b) 3 dB 대역폭 주파수 0.01, 오프셋 주파수 1 kHz: -81 dBc/Hz, 10 kHz: -101 dBc/Hz, 121 kHz: -118 dBc/Hz, 1 MHz: -141 dBc/Hz일 때, D4PSK, D8PSK, D16PSK에서 위상 잡음 유무에 따른 SER 비교

Fig. 5. (a) SER comparison of D4PSK, D8PSK and D16PSK with phase noise W/R=13 dB Bandwidth: 0.001, offset frequency 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz, (b) 3 dB Bandwidth: 0.01 at offset frequency 1 kHz: -81 dBc/Hz, 10 kHz: -101 dBc/Hz, 121 kHz: -118 dBc/Hz, 1 MHz: -141 dBc/Hz.

대한 영향을 받지 않고 있음을 보여주고 있으며, 그림 4(b)는 4, 16, 64 QAM에서는 SER의 변화가 없으나 256과 1024 QAM에서부터 오프셋 주파수 1 kHz에서 -86 dBc/Hz일 때, SER의 변화가 나타나기 시작함을 보여주고 있다. 그림 4(b)는 1024 QAM에서 위상 잡음이 오프셋 주파수 -86 dBc/Hz 이상부터는 SER 변화량이 훨씬 커졌으며 256 QAM에서도 SER 변화량이 커지고 있음을 보여주고 있다. 그러므로 오프셋 주파수 1 kHz에서 위상 잡음이 -90 dBc/Hz 이하일 때는 4, 16, 64, 256, 1024 QAM의 SER은 위상 잡음의 영향에 받지 않으나, -89 dBc/Hz 이상부터는 위상 잡음에 대한 영향이 1024 QAM에서 민감함을 보여주고 있다. 이는 심벌수가 증가할수록 위상 잡음에 민감하다는 것을 의미한다. 또한, 위상 잡음이 -86 dBc/Hz인 경우에 E/N 비가 40 dB 이상이 되면 SER을 4, 16, 64, 256 QAM에서 10^{-4} 이하로 낮출 수 있지만 1024 QAM에서는 10^{-4} 이하의 값을 기대할 수 없음을 그림 4(b)에서 보여준다.

3-2 DPSK에서의 위상 잡음에 의한 SER 변화

그림 5는 변조 대역폭과 심벌 레이트의 비가 1일 때, D4PSK, D8PSK, D16PSK의 위상 잡음을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 변화 추이를 보여주고 있다. 그림 5(a)는 위상 잡음이 오프셋 주파수 1 kHz에서 -92 dBc/Hz일 경우의 SER은 위상 잡음에 대한 영향을 받지 않고 있음을 보여주고 있으며, 그림 5(b)는 오프셋 주파수 1 kHz에서 -86 dBc/Hz일 때, D4PSK에서는 SER의 변화가 없으나 D8PSK와 D16PSK에서부터 SER의 변화가 나타나며 특히, D16PSK가 D8PSK보다 훨씬 커졌음을 보여주고 있다. 이것은 MQAM과 마찬가지로 심벌수가 증가할수록 위상 잡음에 대한 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다. 또한, 위상 잡음이 -86 dBc/Hz인 경우에 E/N 비가 20 dB 이상이 되면 SER을 D4PSK, D8PSK에서 10^{-4} 이하로 낮출 수 있지만 D16PSK에서는 E/N 비를 40 dB 이상 올려도 10^{-4} 이하의 값을 기대할 수 없음을 그림 5(b)에서 보여준다.

3-3 OFDM-MQAM에서의 위상 잡음에 의한 SER 변화

그림 6은 그림 4와 마찬가지로 변조 대역폭과 심벌 레이트의 비가 1일 때, OFDM-4, 16, 64, 256, 1024-QAM의 위상 잡음을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 변화 추이를 보여주고 있다. 그림 4(a)와 달리 그림 6(a)는 위상 잡음이 오프셋 주파수 1 kHz에서 -92 dBc/Hz일 경우의 SER은 위상 잡음에 대한 영향을 OFDM-1024 QAM에서 SER의 변화를 보여주고 있으며, 그림 6(b)는 4, 16 QAM에서는 SER의 변화가 없으나 64, 256 QAM과 1024 QAM에서부터 오프셋 주파수 1 kHz에서 -86 dBc일 때, SER의 변화가 나타나기 시작함을 보여주고 있다. 특히 256 QAM과 1024 QAM에서 위상 잡음이 오프셋 주파수 -86 dBc이상부터는 그림 4(b)와 비교하면 SER 변화폭이 커지고 있음을 그림 5(b)에서 보여주고 있다. 이는 OFDM-MQAM이 MQAM에 비해 위상 잡음에 민감하다는 것을 의미한다. 또한, 위상 잡음이 오프셋 주파수 1 kHz에서 -86 dBc/Hz인 경우에 E/N 비가 40 dB 이상이 되면 SER을 4, 16, 64 QAM에서 10^{-4} 이하로 낮출 수 있지만 256과 1024 QAM에서는 이하의 10^{-4} 값을 기대할 수 없음을 그림 6(b)에서 보여준다.

3-4 OFDM-DPSK에서의 위상 잡음에 의한 SER 변화

그림 7은 변조 대역폭과 심벌 레이트의 비가 1일 때, OFDM-D4PSK, D8PSK, D16PSK의 위상 잡음을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 변화 추이를 보여주고 있다. 그림 7(a)는 그림 5(a)와 같이 위상 잡음이 오프셋 주파수 1 kHz에서 -92 dBc/Hz일 경우의 SER은 위상 잡음에 대한 영향을 받지 않고 있음을 보여주고 있으며, 그림 7(b)는 오프셋 주파수 1 kHz에서 -86 dBc/Hz일 때, OFDM-D4PSK에서부터 변화가 나타나기 시작하며 OFDM-D8PSK와 D16PSK에서부터 SER의 변화폭이 훨씬 커졌음을 보여주고 있다. 또한, 위상 잡음이 -86 dBc/Hz인 경우에 E/N 비가 20 dB 이상이 되면 SER을 OFDM-D4PSK에서 10^{-4} 이하로 낮출 수 있지만 그림 5(b)와 달리 OFDM-D8PSK와 D16PSK에서는 E/N 비를 40 dB 이상 올려도 10^{-4} 이하의 값을 기대할 수 없음을 그림 7(b)에서 보여준다. OFDM-DPSK가 DPSK보다 위상

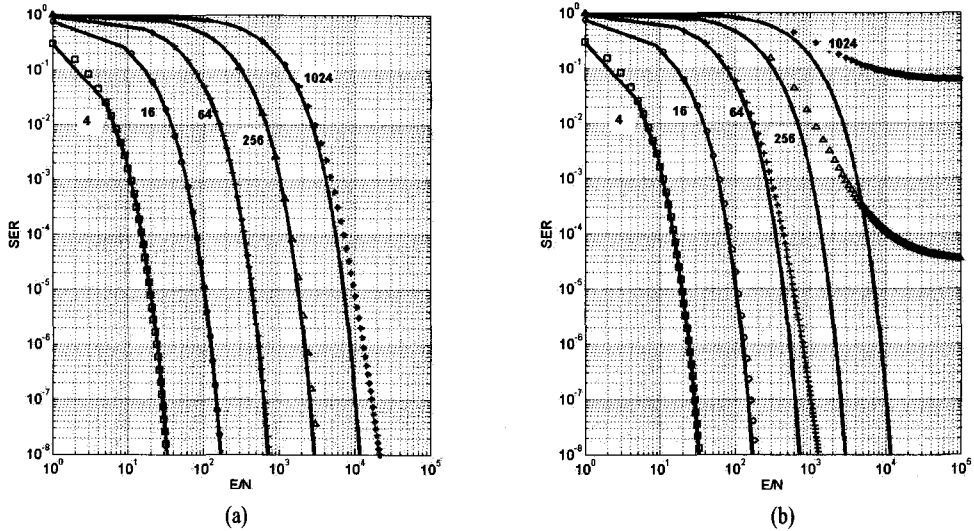


그림 6. (a) $R/W=1$, 3 dB 대역폭 주파수 0.001, 오프셋 주파수 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz일 때, OFDM-4, 16, 64, 256, 1024-QAM에서 위상 잡음 유무에 따른 SER 비교, (b) 3 dB 대역폭 주파수 0.004, 오프셋 주파수 1 kHz: -86 dBc/Hz, 10 kHz: -105 dBc/Hz, 100 kHz: 125 dBc/Hz, 1 MHz: 145 dBc/Hz일 때, SER 변화

Fig. 6. (a) SER comparison of OFDM-4, 16, 64, 256, 1024-QAM with phase noise $W/R=13$ dB Bandwidth: 0.001 at offset frequency 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz, (b) 3 dB Bandwidth: 0.004 at offset frequency 1 kHz: -86 dBc/Hz, 10 kHz: -105 dBc/Hz, 100 kHz: 125 dBc/Hz, 1 MHz: 145 dBc/Hz.

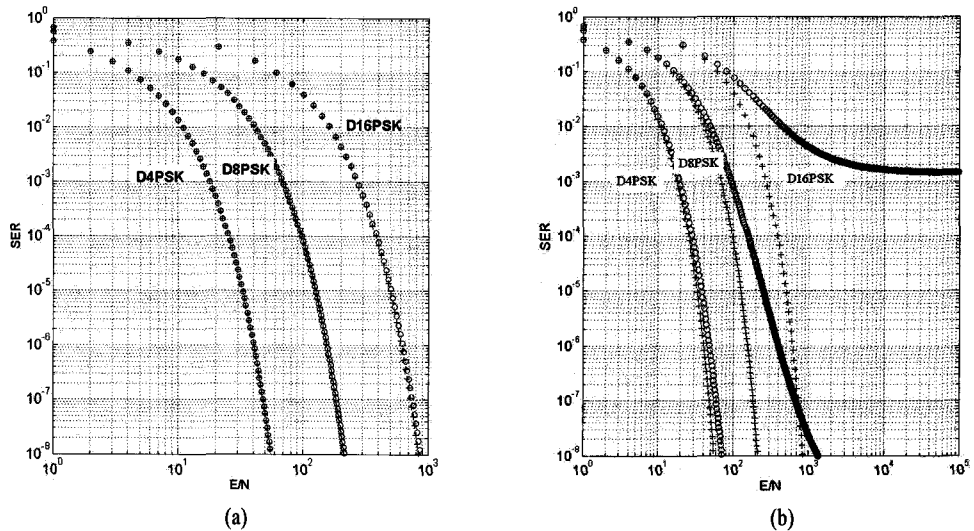


그림 7. (a) $R/W=1$, 3 dB 대역폭 주파수 0.001, 오프셋 주파수 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz일 때, OFDM-D4PSK, D8PSK, D16PSK에서 위상 잡음 유무에 따른 SER 비교, (b) 3 dB 대역폭 주파수 0.01, 오프셋 주파수 1 kHz: -81 dBc/Hz, 10 kHz: -101 dBc/Hz, 100 kHz: -121 dBc/Hz, 1 MHz: -141 dBc/Hz일 때, 위상 잡음 유무에 따른 SER 비교

Fig. 7. (a) SER comparison of OFDM-D5PSK, D8PSK and D16PSK with phase noise $W/R=13$ dB Bandwidth: 0.001 at offset frequency 1 kHz: -92 dBc/Hz, 10 kHz: -112 dBc/Hz, 100 kHz: -132 dBc/Hz, 1 MHz: -152 dBc/Hz, (b) 3 dB Bandwidth: 0.004 at offset frequency 1 kHz: -81 dBc/Hz, 10 kHz: -101 dBc/Hz, 100 kHz: -121 dBc/Hz, 1 MHz: -141 dBc/Hz.

잡음에 민감하다.

그림 6(a)의 16 QAM과 그림 7(a)의 D16PSK를 비교하면 DSPK가 QAM에 비해 상대적으로 위상 잡음의 영향을 덜 받으나, SER의 절대값을 비교하면 16 QAM에서 SER 10^{-4} 값을 얻기 위해서는 E/N 비 20 dB이면 충분하나, D16PSK에서는 25 dB의 E/N 비가 필요하다.

IV. 결 론

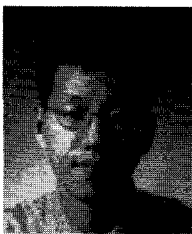
QAM, DPSK, OFDM-MQAM, OFDM-DPSK에서의 위상 잡음의 영향에 따른 SER의 성능을 각각의 변조에 대해 위상 잡음 영향을 정량적으로 도출하였다. 시뮬레이션 결과를 토대로 국부 발진기의 위상 잡음 특성은 QAM에서는 오프셋 주파수 1 kHz에서 최소 -90 dBc 이하, OFDM-QAM에서는 -92 dBc 이하, DPSK와 OFDM-DPSK에서는 -81 dBc 이하가 필요함을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] William F. Egan, *Practical RF System Design*, IEEE Press, pp. 247-248, 2000.
- [2] Heung-Gyoon Ryu, Ying-Shan Lee, "Phase noise analysis of the OFDM communication system by the standard frequency deviation", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, Issue 1, pp. 41-47, Feb. 2003.
- [3] J. R. Alexovich, R. M. Gagliardi, "The effect of phase noise on noncoherent digital communications", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 38, Issue 9, pp. 1539-1548, Sep. 1990.
- [4] Jianhua Zhang, H. Rohling, and Ping Zhang, "Analysis of ICI cancellation scheme in OFDM systems with phase noise", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 50, Issue 2, pp. 97-106, Jun. 2004.
- [5] Songping Wu, Y. Bar-Ness, "OFDM systems in the presence of phase noise: consequences and solutions", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 52, Issue 11, pp. 1988-1996, Nov. 2004.
- [6] S. R. Herlekar, Hsiao-Chun Wu, Chi Zhang, and A. Srivastava, "Phase noise analysis for ICI self-cancellation coded OFDM with short-channel synchronization devices", *Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '05. IEEE*, vol. 1, Nov. Dec. 2005.
- [7] P. Robertson, S. Kaiser, "Analysis of the effects of phase-noise in orthogonal frequency division multiplex(OFDM) systems", *Communications, ICC 95 Seattle, Gateway to Globalization, IEEE International Conference*, vol. 3, pp. 1652-1657, Jun. 1995.
- [8] A. Garcia Armada, "Understanding the effects of phase noise in orthogonal frequency division multiplexing(OFDM)", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 47, Issue 2, pp. 153-159, Jun. 2001.
- [9] R. Howald, S. Kesler, and M. Kam, "BER performance of M-QAM using OFDM with RF carrier phase noise", *System Theory, Proceedings of the Thirtieth Southeastern Symposium*, pp. 419-423, Mar. 1998.
- [10] R. Narasimhan, "Performance of diversity schemes for OFDM systems with frequency offset, phase noise, and channel estimation errors", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, Issue 10, pp. 1561-1565, Oct. 2002.
- [11] D. Petrovic, W. Rave, and G. Fettweis, "Common phase error due to phase noise in OFDM-estimation and suppression", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC. 15th IEEE International Symposium*, vol. 3, pp. 1901-1905, Sep. 2004.
- [12] Songping Wu, Y. Bar-Ness, "Computationally efficient phase noise cancellation technique in OFDM systems with phase noise", *Spread Spectrum Techniques and Applications, IEEE Eighth International Symposium*, pp. 788-792, Aug. Sep. 2004.
- [13] K. Sathananthan, C. Tellambura, "Performance analysis of an OFDM system with carrier frequency offset and phase noise", *Vehicular Technology Conference, VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th*, vol. 4, 7-11 pp. 2329-2332, Oct. 2001.
- [14] R. Narasimhan, "Performance of diversity schemes for OFDM systems with frequency offset, phase

- noise and channel estimation errors", *IEEE International Conference on Communications, ICC 2002*, vol. 3, Apr. pp. 1551-1557, May 2002.
- [15] T. Pollet, M. Van Bladel, M. Moeneclaey, "BER sensitivity of OFDM systems to carrier frequency offset and Wiener phase noise", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, Issue 234, pp. 191-193, 1995.
- [16] D. Petrovic, W. Rave, and G. Fettweis, "Performance degradation of coded-OFDM due to phase noise", *Vehicular Technology Conference, VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual*, vol. 2, pp. 1168-1172, Apr. 2003.
- [17] C. Muschallik, "Influence of RF oscillators on an OFDM signal", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 41, Issue 3, pp. 592-603, Aug. 1995.
- [18] L. Piazzo, P. Mandarini, "Analysis of phase noise effects in OFDM modems", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, Issue 10, pp. 1696-1705, Oct. 2002.
- [19] R. L. Howald, S. Kesle, and M. Kam, "BER performance analysis of OFDM-QAM in phase noise", *Information Theory, Proceedings. 1998 IEEE International Symposium*, pp. 256, Aug. 1998.
- [20] K. Hamaguchi, Y. Shoji, and H. Ogawa, "BER performance of coherent-QPSK transmissions affected by phase noise from frequency converters", *IEEE VTS 54th Vehicular Technology Conference, VTC 2001*.
- [21] Rodger E. Ziemer, Roger L. Peterson, *Introduction to Digital Communication*, Prentice Hall, 2001.
- [22] Ana Garcia Armada, "Understanding the Effects of Phase Noise in Orthogonal Frequency Division Multiplexing", *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 47, no. 2, pp. 153-159, Jun. 2001.
- [23] Sklar Bernard, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, 2001.

권요안



PLL, UWB

1992년 2월: 경희대학교 물리학과 (이학사)
 1997년 8월: 경희대학교 물리학과 (이학석사)
 2002년 9월~현재: 경희대학교 전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] 초고주파 발전기, LNA,

김인석



공학과 교수

1974년 2월: 경희대학교 전파공학과 (공학사)
 1984년 2월: Ottawa Univ. 전기공학과 (공학석사)
 1990년 10월: Ottawa Univ. 전기공학과 (공학박사)
 1992년 3월~현재: 경희대학교 전파공학과 교수
 2000년 9월~현재: IEEE Trans. MTT 편집위원
 2002년 1월~현재: IEEE Microwave & Wireless Components Letters 편집위원
 [주 관심분야] 초고주파 수동소자, 비선형 마이크로파 회로, 공진기, 필터, 발전기, 전자파차폐 측정 방법 등