

OFDM 무선통신 시스템용 RF발진기의 위상잡음과 BER 관계분석

윤성하* · 이영철*

*경남대학교 정보통신공학과

전파통신연구실

Analysis of Phase Noise and BER Characteristics of RF Oscillator on OFDM Wireless Communication Systems

Seong-Ha Yun* · Young-Chul Rhee*

*Div. of Information & Comm. Eng., Kyungnam University

E-mail : paulweb76@hanmail.net , micropt@kyungnam.ac.kr

요 약

본 논문은 디지털 마이크로파 다수 반송파 시스템에 적용되는 고안정 국부발진기의 위상잡음에 대해서 분석하였다. 위상잡음의 영향을 분석하기 위해 Lorentzian 모델을 사용하여 위상잡음 분산 값을 구하였으며, 기저대역 I, Q 채널에서 BER과의 특성을 모의실험 하였다. 시스템에 미치는 영향을 알아보기 위해서 BER 특성을 분석한 결과, 위상잡음에 따라 영향을 많이 받으며, 특히 고차원 변조방식을 가질수록 위상잡음에 더 영향을 많이 받음을 확인하였다. 모의실험결과 BER을 10^{-5} 을 기준으로 했을 경우, QPSK 변조방식은 분산값에 따라서 대략 4dB, 16-QAM 변조방식은 대략 9dB 정도의 성능차이를 나타내었다.

I. 서 론

기존의 음성신호를 대부분 전송하던 아날로그 무선 통신 방식에서 정보통신 기술의 발전과 통신 서비스의 다양함으로 인해 대용량의 데이터와 영상신호를 전송하는 디지털 무선통신 방식으로 변화되었다. 그러한 대용량 데이터 전송과 제한된 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하기 위해서 OFDM과 같은 통신방식이 제안되어 DVB, DAB, WLAN, WMAN에 적용되어 사용되어지고 있다 [1].

OFDM 방식에서 디지털 변조된 신호는 마이크로파 및 밀리미터파의 반송파에 의하여 전송되어지며, 다채널 전송시스템에 할당된 주파수에 의하여 RF Front-End 단에서 정보의 상·하향 변환을 위하여 송신기와 수신기에서는 국부발진기가 사용되어진다. 그러한 송수신기의 국부발진기 설계에서 사용되는 능동소자의 비선형 동작특성의 영향으로 출력 발진신호가 왜곡되거나 불안정하게 되므로 발진기의 고안정특성은 그것의 위상잡음

으로 판정할 수 있다. 특히, 이러한 RF발진기의 위상잡음은 다채널 OFDM 시스템에서 부반송파 간의 직교성에 영향을 주어 ICI(Inter-Carrier Interference)를 증가시키는 요인으로 작용하므로, 이러한 위상잡음의 영향으로 나타나는 현상들에 대한 정확한 예측과 분석을 통하여 전체 시스템의 성능을 만족하는 국부발진기 위상잡음의 허용 범위를 분석하고 위상잡음의 허용한도 내에서 고안정, 저위상잡음의 특성을 나타내는 RF 국부발진기를 설계하는 것이 중요하다[2].

본 논문에서는 디지털 무선 통신시스템에서 적용되는 고안정 국부발진기의 위상잡음 특성을 분석하기 위해서 일반적인 Lorentzian 모델에 의해 유도된 위상잡음 전력스펙트럼밀도(PSD)[3]를 이용하여 RF 국부발진기의 위상잡음 분산 값을 구하였으며, 이를 이용하여 RF Front-End 단 국부발진기의 위상잡음과 BER 관계를 분석하였다.

II. 디지털 무선 OFDM 시스템의 위상잡음

그림1은 OFDM시스템의 블록도를 나타내며, 복소기저대역 OFDM신호는 다음과 같이 나타낸다[1].

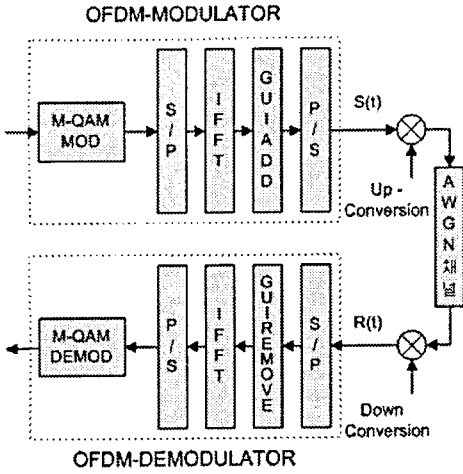


그림1. OFDM 시스템 블록도

$$s(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{j\frac{2\pi}{T}kt} \quad (2-1)$$

신호 $s(t)$ 가 AWGN 채널로 송신되기 전에 송신신호는 1차적으로 송신기의 국부발진기 위상잡음에 의해 영향을 받게 되며, 또한 수신된 신호는 수신기 국부발진기에 의해서도 영향을 받게 되어 최종적으로 위상잡음이 포함된 수신신호 $r(t)$ 는 다음과 같다[1].

$$r(t) = \{s(t) \cdot e^{j\phi_c(t)}\} \cdot e^{j\phi_r(t)} \quad (2-2)$$

여기서, $\phi_c(t)$ 와 $\phi_r(t)$ 는 송·수신단에 사용되는 국부발진기에서 발생하는 위상잡음 성분으로서 RF front-end단을 지나 위상잡음이 포함된 수신신호의 OFDM의 기저대역단에서 FFT변환을 거쳐서 나오는 k 번째 부반송파 신호는 위상잡음에 의한 OFDM 신호의 영향에 대해 두 가지 성분으로 분리할 수 있으며, 첫 번째는 k 번째 부반송파에 의해 생성되며, 두 번째는 인접한 부반송파의 서로 다른 신호에 의해 생성된다[1,4].

첫 번째 경우는 다음과 같다.

1) $l = k$ 인 경우, CPE(Common Phase Error)

$$-\sum_{r=0}^{N-1} s_r \sum_{n=0}^{N-1} \phi(n) = j \cdot s_k \cdot \Phi \quad (2-3)$$

두 번째 경우는 다음과 같다.

2) $l \neq k$ 인 경우, ICI

$$-\sum_{r=0}^{N-1} s_r \sum_{n=0}^{N-1} \phi(n) \cdot e^{j(2\pi/N)(r-k)n} \quad (2-4)$$

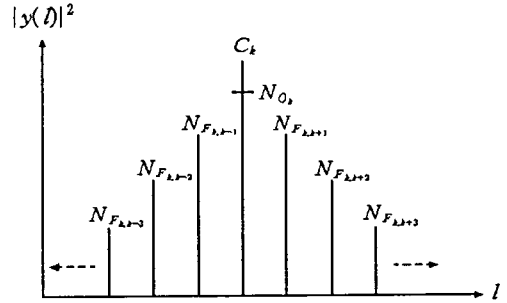


그림2. P_{CPE} 와 P_{ICI} 를 발생시키는 k 번째 잡음성 반송파와 잡음성분

그림2는 FFT영역에서 관찰한 k 번째 잡음성 캐리어로 인해 발생하는 잡음성분들을 나타낸 것이다. C_k 는 원하는 부반송파와 정보신호의 전력이고, N_c 는 이 신호에 크기 감쇄와 위상회전을 일으키는 방해전력이다.

III. RF발진기의 위상잡음과 SNR 특성

RF front-end단의 국부발진기에서 발생하는 위상잡음에 의한 영향으로 인해 OFDM 신호에 생성된 CPE와 ICI는 간섭전력 P_{CPE} 와 P_{ICI} 를 생성시키게 되어 통신시스템의 신호대 잡음비에 영향을 미치게 된다. 위상잡음이 고려된 신호대 잡음비는 다음과 같다[3,6,7].

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{with(\phi)} = \frac{\frac{S}{N}_{without(\phi)}}{1 + 4 \cdot \sigma_\phi^2 \cdot \frac{S}{N}_{without(\phi)}} \quad (2-5)$$

여기서, 위상잡음 분산 σ_ϕ^2 는 위상잡음 전력 스펙트럼 밀도의 적분에 의해서 구할 수 있으며, 다음과 같다[3,7].

$$\sigma_\phi^2 = \int_{-B/2}^{B/2} S_\phi(f) df \quad (2-6)$$

위상잡음 전력스펙트럼 밀도는 Lorentzian의 모델에 의해 유도되어 표준 주파수 편차 f_d 에 대한 함수로서 다음과 같이 구해질 수 있다[5].

$$S_\phi(f) = \frac{1}{1 + f^2 / (d/k)^2} df \quad (2-7)$$

식(2-6)을 사용하여 모의실험 되어진 위상잡음 분산값은 표준 주파수 편차 f_d 에 대한 함수로서 그림3에 보여진다.

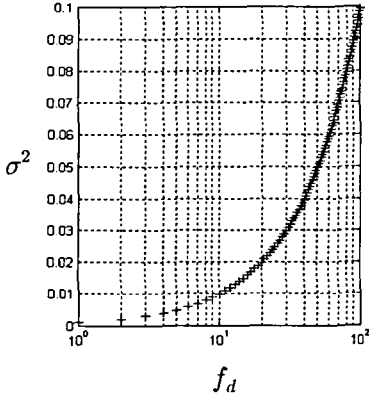


그림3. 위상잡음의 분산값

모의실험 된 위상잡음 분산에 따른 SNR의 감소가 식(2-5)에 의해서 계산되며, 그 결과는 그림4와 같다.

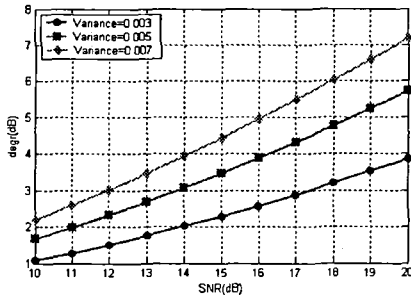


그림4. 위상잡음 분산에 따른 SNR특성곡선

위상잡음 분산에 의해서 최종적으로 나타나는 SNR의 감소는 수신단 기저대역의 성능지수인 BER에 영향을 미치게 된다.

IV. 모의실험 및 분석

모의실험을 위해서 그림1에서 언급된 OFDM시스템 구성도를 이용하였다. OFDM 시스템에서 국부발진기의 위상잡음과 BER의 관계를 모의실험하기 위하여 식(2-6)을 사용하여 계산되어진 위상잡음의 분산값 0.003, 0.005, 0.007을 선정하였으며 위상잡음 분산값은 (2-5)의 SNR식에 대입하여 구성된 OFDM 시스템의 위상잡음과 BER의 관계를 분석하였다. 무선 다채널 OFDM을 위한 파라미터 값은 표1과 같이 설정하였다.

위상잡음으로 의해서 기저대역에서의 영향을 살펴보기 위해서 성상도에 대한 해석이 필요하다.

그림5는 수치해석된 위상잡음 분산값에 따른 QPSK 성상도의 특성을 나타내는 그림이다.

표 1. 모의실험에 사용된 OFDM 파라미터

Sub-carrier	52
Guard interval	0.8us
FFT length	64
변조방식	QPSK, 16-QAM
Phase Noise Variance	Ideal, 0.003, 0.005, 0.007

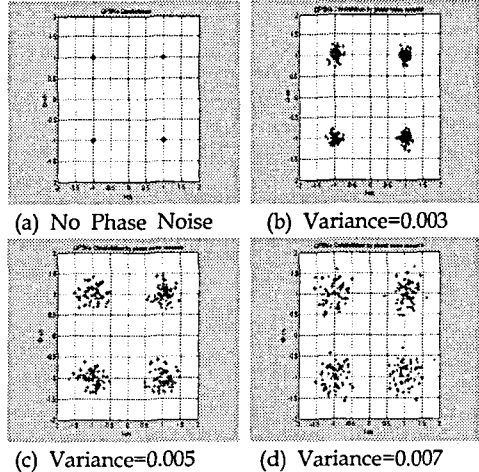


그림5. 위상잡음에 따른 성상도 특성(QPSK)

그림5에서 (a)는 위상잡음이 없는 경우 이상적인 성상도를 보여주며, (b)~(d)는 위상잡음이 증가함을 보이고 있고, 그에 따른 분산값은 각각 0.003, 0.005, 0.007이다. 위상잡음이 증가할수록 성상도에서 에러백터가 커지는 것을 알 수 있다.

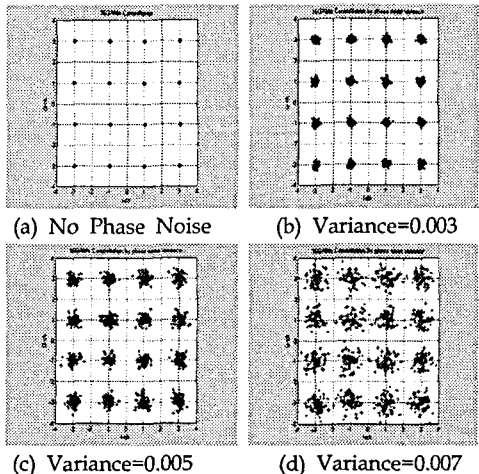


그림6. 위상잡음에 따른 성상도 특성(16-QAM)

그림6은 수치해석된 위상잡음 분산에 따른

16-QAM 성상도의 특성을 나타내는 그림이다. QPSK와 마찬가지로 위상잡음이 증가함에 따라 성상도의 에러백터가 커짐을 알 수 있으며, QPSK보다는 16QAM 변조방식이 위상잡음으로 인한 왜곡이 더 민감함을 알 수 있다.

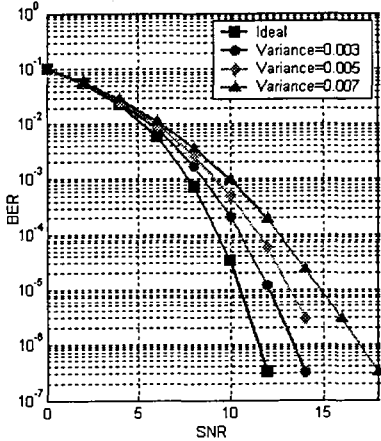


그림7. 위상잡음에 따른 BER 특성(QPSK)

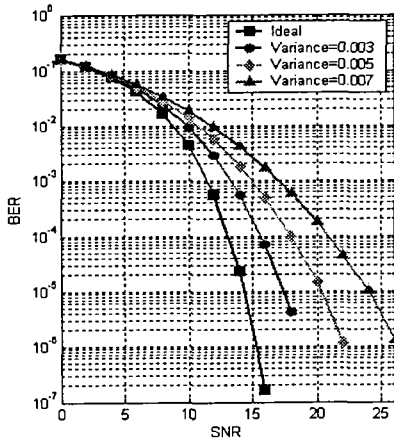


그림8. 위상잡음에 따른 BER 특성(16-QAM)

그림7과 그림8은 각각 AWGN환경에서 QPSK 변조방식과 16-QAM 변조방식을 사용한 경우 OFDM시스템에서 BER특성곡선을 나타낸다. $BER = 10^{-5}$ 를 기준으로 하는 경우, QPSK 변조방식은 분산값에 따라서 최소 2dB에서 최대 4dB의 성능차이를 나타내었으며, 16-QAM 변조방식은 분산값에 따라 최소 3dB에서 최대 9dB의 성능차이를 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 디지털 마이크로파 다수 반송파

통신시스템으로 많이 적용되는 OFDM시스템에서 주파수 상·하향 변환을 위해 사용되는 국부발진기의 위상잡음에 따른 BER성능을 모의실험 하였다. 모의실험을 위해서 Lorantizan모형을 사용하여 유도된 위상잡음의 전력스펙트럼밀도(PSD)에 의해 위상잡음 분산값이 계산되었다. 계산된 위상잡음 분산값에 의한 위상잡음 영향이 고려된 SNR식을 수식적으로 구성된 OFDM 시스템에 적용하여 위상잡음 특성에 따른 BER 성능을 모의 실험하였다. 모의실험결과 위상잡음이 존재하는 경우, 성상도에서 많은 에러백터가 발생하였으며, QPSK와 16-QAM 변조방식에서는 같은 분산값을 사용하였을 때, 차수가 높은 16-QAM이 위상잡음에 좀 더 민감한 특성을 나타냄을 알 수 있었고, 분산값이 0.007인 경우 16-QAM 변조방식에서 최대 9dB의 성능차이를 나타내었다.

향후연구로 고안정 저위상잡음 특성을 위한 유전체 공진 발진기가 적용된 PL-DRO 회로 설계 시에 위상동기 발진기 각단의 전체 위상잡음에 대한 영향을 정확히 분석하고, 저위상잡음을 가지는 발진기의 구조와 설계가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Ana Garcia Armada, "Understanding the Effects of Phase Noise in OFDM.", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol 47. no.2, pp. 153-159, June 2001.
- [2] Bar-Giora Goldberg, "The effects of clock jitter on data conversion devices" RFdesign, pp. 26~32, August 2002.
- [3] Heung-Gyoon Ryu and Ying-Shan Lee "Phase Noise Analysis of the OFDM Communication System by the Standard Frequency Deviation" IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 49, no. 1, pp. 41~47, FEBRUARY 2003.
- [4] Claus Muschallik, "Influence of RF Oscillators on an OFDM signal", IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 41, no. 3, pp. 592-603, August 1995.
- [5] T.Pollet, M. van Bladel "BER sensitivity of OFDM systems to carrier frequency offset and Wiener phase noise", IEEE Transactions on Communication, vol. 43, no.2/3/4, pp. 191-193, Feb./Mar./Apr.1995.
- [6] Hiroshi Harada and Ramjee Prasad, "simulation and software radio for mobil communication" Artech House Publishers
- [7] W.P.Robins, "Phase Noise IN Signal sources-(Theory and Applications)", Peter Peregrinus Ltd on behalf of the Institution of Electrical Engineers, pp.232-241, 1982