

BPSK 모드를 사용하는 원격제어 장치의 위상잡음 스펙트럼 분포 설계

김영완*

Phase noise spectrum distribution design of remote controller using BPSK mode

Young-wan Kim*

Department of Radio Communication Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

요 약

본 논문에서는 BPSK 변조 방식과 50 kbps 저속 데이터 전송모드를 사용하는 원격제어 장치의 위상잡음 스펙트럼 분포를 설계하고 제시하였다. FSK 전송 방식보다 전송 성능이 우수한 BPSK 방식을 적용할 경우, 위상잡음에 의한 열화가 발생한다. 위상잡음에 의한 열화를 최소화하기 위해서는 요구 위상잡음을 갖는 채널 환경에서 신호를 전송하는 것이 중요하다. 요구 위상잡음 환경에 적합한 채널 환경 및 단말 장치 구현을 위하여 요구 성능을 만족하는 위상잡음 스펙트럼 분포를 설계한다. 위상잡음 설계 파라미터인 감쇠 정수와 잡음 대역폭에 대한 위상잡음 영향도를 해석하고 위상잡음 스펙트럼 분포 설계 파라미터로 적용하였다. IESS-308 위상잡음 특성을 기준으로 위상잡음 영향을 분석하고, 원격제어 장치에 적합한 위상잡음 스펙트럼 분포도와 설계 방법을 제시하였다.

ABSTRACT

The phase noise spectrum distribution for remote controller using the BPSK mode and low data rate of 50 kbps was designed and proposed in this paper. In case of applying the BPSK that transmission performance is superior to FSK method, the performance degradations due to phase noise are generated. To minimize the phase noise effect, it is important to dispatch the digital signal in channel environment with required phase noise characteristics. To provide the terminal design technique and the proper channel environment with required phase noise characteristics, the phase noise spectrum distribution was designed for required phase noise characteristics. By analyzing the phase noise effects for damping factor and noise bandwidth of the carrier recovery circuit, the phase noise spectrum design that consider the damping factor and noise bandwidth was performed. Based on the IESS-308 standards, also, the phase noise effects was analyzed. The phase noise spectrum design techniques and phase noise spectrum that is suitable to remote controller were proposed.

키워드 : 위상잡음, BPSK 모드 위상잡음, 원격제어장치, 위상잡음 스펙트럼 분포 설계

Key word : Phase noise, BPSK mode phase noise, Remote controller, Phase noise spectrum distribution design

접수일자 : 2014. 06. 18 심사완료일자 : 2014. 07. 09 게재확정일자 : 2014. 07. 23

* **Corresponding Author** Young-wan Kim(E-mail:ywkim@kunsan.ac.kr, Tel:+82-63-469-4852)

Department of Radio Communication Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.8.1805>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

원격 단말장치를 조정하고 모니터링 하는 원격 제어는 ISM 대역 무선 신호를 사용하여 디지털 신호를 전송한다. 디지털 전송 신호는 일반적으로 FSK 변조 방식을 사용하고 있다[1]. FSK 변조 방식은 저속 데이터 전송 및 간단한 통신 구조로 널리 사용되고 있으며, 무선 신호 전송 이외에도 유선상으로 전송되는 디지털 신호에도 적용되고 있다[2]. FSK 변조 방식은 진폭편이(ASK) 방식에 비해 전송 성능은 우수하나, 위상편이(PSK) 방식 보다는 낮은 전송 성능을 갖는다. 따라서 FSK 변조 방식보다는 PSK 변조 방식을 사용하여 원격 제어 및 모니터링 신호의 우수한 전송 성능을 실현할 필요가 있다.

PSK 변조는 위상편이 방식으로 채널(송수신)상에서 발생하는 위상잡음에 의해 성능이 열화된다[3, 4]. 위상잡음은 진폭과 위상이 임의로(random) 변하는 특성을 가지므로 위상잡음의 열화 요소를 제거하기가 어렵다. 따라서 위상잡음 발생을 최소화 하거나 위상잡음에 대한 열화를 최소화할 수 있는 수신기 설계, 그리고 위상잡음에 대한 열화 요소를 고려하여 허용할 수 있는 열화 성능에서 단말장치가 동작되도록 위상잡음 스펙트럼 분포를 제시하여 채널 특성이 구현되도록 하는 설계 방식을 사용하고 있다[5-7]. 위상잡음 스펙트럼 분포 설계에는 적절한 위상잡음 분포 특성 설계가 필요하다. 즉, 위상잡음 특성이 낮으면 전송되는 신호의 복원이 어렵게 되며, 너무 높은 위상잡음 분포 특성은 위상잡음을 갖는 단말 회로가 복잡하고 고가의 회로 구현이 요구된다.

본 논문에서는 저속 데이터 전송과 FSK 변조 방식을 주로 사용하는 원격제어 장치의 신호 전송에 PSK 전송 방식을 적용할 경우, 위상잡음에 대한 성능 열화와 위상잡음에 대한 요구 성능을 제공하는 위상잡음 스펙트럼 분포 특성을 설계하여 제시한다. 통신 구조가 간단하고 전송 성능이 우수한 BPSK 변조 모드를 적용하며, 저속 데이터 전송시 위상잡음에 대한 열화 특성이 지배적으로 나타나므로 이를 최소화하기 위한 수신 반송파 회로의 파라미터별 위상잡음 영향을 분석하여 위상잡음 스펙트럼 분포 설계 파라미터로 적용한다. 수신 반송파 회로의 파라미터별 위상잡음 영향을 분석에는 디지털 통신 방식에 적용되는 IESS-308 위상잡음 특성을 적용한다[8].

II. 원격제어단말의 BPSK모드 위상잡음

2.1. BPSK 변조방식의 위상잡음 해석

BPSK 전송모드를 적용한 원격제어 단말의 위상잡음에 의한 영향과 수신 반송파의 파라미터별 위상잡음 영향도를 해석한다. 원격제어 단말은 BPSK 변조 방식과 50 kbps의 저속 데이터 전송, 그리고 전송 신호의 신호대 잡음비 9.58 dB에서 10^{-5} BER 성능을 적용한다.

BPSK 변조 신호에 대한 위상잡음 조건 오율 함수는 다음과 같이 표현할 수 있다[9].

$$P_2(\phi) = \frac{1}{2} [erfc\{\sqrt{\rho} \cos\phi\}] \quad (1)$$

여기서, ρ 는 비트당 에너지대 잡음비(E_b/N_o)이며,

$$erfc(y) = 2Q(\sqrt{2}y) \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_y^\infty e^{-z^2} dz \text{이다.}$$

위상잡음에 의한 영향은 식 (1)의 조건 오율 식을 이용하여 위상잡음 분포 함수에 대한 평균 오율 식으로 구할 수 있다.

$$P_M = \int_{-\pi}^{\pi} P_M(\phi) P(\Phi) d\phi \quad (2)$$

여기서, 위상에러 확률 분포 함수는 Gaussian 함수를 적용한다.

$$P(\Phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\epsilon} e^{-\frac{\phi^2}{2\sigma_\epsilon^2}} \quad (3)$$

식 (2)에 의한 BPSK 변조 신호의 위상잡음에 대한 성능은 그림 1과 같다.

위상잡음의 신호대 잡음비가 20 dB 이상일 경우, 위상잡음에 의한 영향은 무시할 정도로 낮은 열화 특성을 보여주고 있으나, 위상잡음이 증가할 경우 전송 신호의 신호대 잡음비가 증가하여도 수신 신호를 복원할 수 없는 경우가 발생한다. 즉, 위상잡음의 신호대 잡음비가 15 dB 보다 낮을 경우, 위상잡음에 의한 열화가 증가하기 시작하며 10 dB 일 경우, 전송 신호의 전력을 증가하여도 10^{-5} BER 오율 특성을 만족하기가 어렵게 된다.

그림 2는 식 (2)를 이용하여 산출한 위상잡음 환경에서 복원된 반송파 신호의 신호대 잡음비에 의한 전송 신호의 열화 성능(degradation)이다.

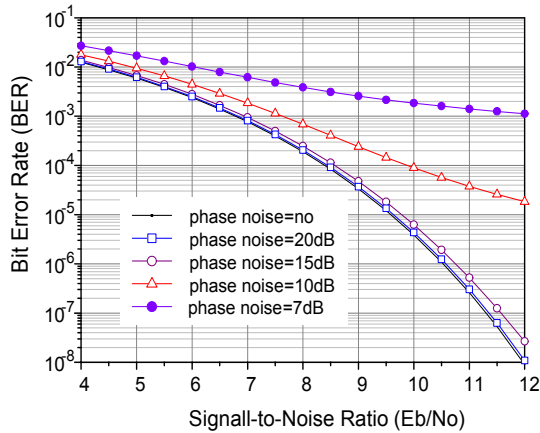


그림 1. 위상잡음에 의한 BPSK 변조 신호의 성능
Fig. 1 Performance due to phase noise for BPSK signal

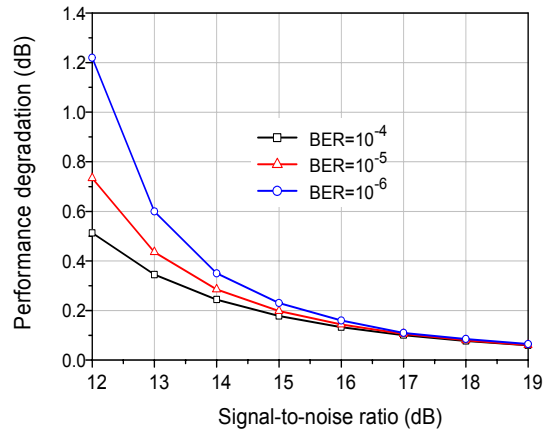


그림 2. 위상잡음의 신호대 잡음비에 의한 BPSK 변조 신호의 성능 열화
Fig. 2 Performance degradation due to phase noise signal-to-noise ratio for BPSK signal

그림 2에서 위상잡음에 의한 열화 성능이 0.1 dB 일 경우, 복원 반송파 신호의 신호대 잡음비는 약 17.4 dB 이상 이어야 함을 보여준다. 표 1은 표 2에서 BER 10^{-4} , 10^{-5} , 그리고 10^{-6} 에 대한 열화도(0.1, 0.2, 0.3 dB)에 반송파 복원 신호의 요구 신호대 잡음비를 요약한 것이다.

표 1. BPSK 변조 신호의 열화도에 따른 요구 위상잡음 신호대 잡음비

Table. 1 Required signal-to-noise ratio according to BER degradation for BPSK signal

BER	열화도 (dB)	요구 신호대 잡음비 (dB)
10^{-4}	0.1	17.2
	0.2	14.6
	0.3	13.4
10^{-5}	0.1	17.2
	0.2	15.0
	0.3	13.9
10^{-6}	0.1	17.4
	0.2	15.4
	0.3	14.3

본 논문에서는 10^{-5} BER에서 0.2 dB 열화도를 갖는 요구 위상잡음 신호대 잡음비를 설계 목표로 한다.

2.2. 수신 반송파 회로의 파라미터별 위상잡음 해석

위상잡음은 수신 반송파 복원회로 파라미터에 따라 영향도가 다르게 나타나므로 수신 반송파 회로의 잡음 대역폭과 위상동기회로의 감쇠 정수(damping parameter)에 대한 영향도를 해석한다. 여기서 위상잡음 특성은 디지털 통신 방식에 적용되는 IESS-308 규격을 적용한다. 그림 3은 IESS-308규격의 위상잡음 스펙트럼 분포이다.

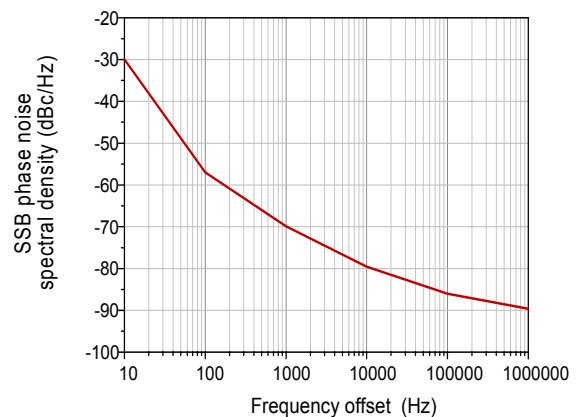


그림 3. IESS-308 위상잡음 스펙트럼 분포 규격
Fig. 3 Phase noise spectral density of IESS-308 standard

여기서, 수신 반송파 복원 회로는 감쇠 정수(ξ)와 잡음 대역폭(B_L)을 갖는 고 이득 2차 루프 회로를 적용한다[10].

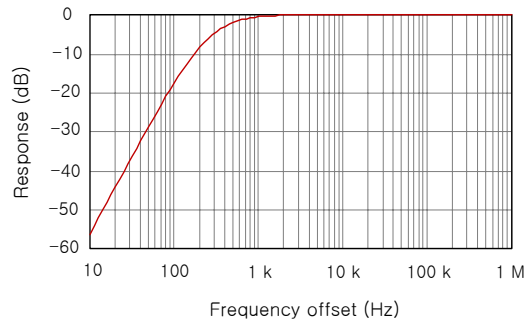
$$H(s) = \frac{2\xi\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4)$$

$$\omega_n = \frac{8\xi B_L}{1 + 4\xi^2}$$

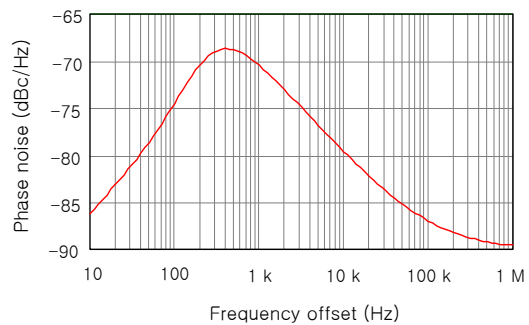
수신 반송파 복원 회로에서는 배경 잡음과 위상 잡음에 의한 영향이 나타나므로 다음과 같이 배경 잡음 분산과 위상 잡음 분산으로 표현할 수 있다[11].

$$\sigma_\epsilon^2 = \sigma_n^2 + \sigma_\phi^2 \quad (rad^2) \quad (5)$$

배경 잡음은 수신 반송파 복원 회로의 잡음 대역폭내의 저역 성분이 위상 에러($H(f)^2$)로 작용하며, 입력 신호의 위상 잡음은 대역폭 바깥의 고역 성분이 위상 에러($1-H(f)^2$)로 나타난다. 그림 4(a)는 식 (4)의 전달함수의 감쇠 정수가 1이고 잡음 대역폭인 1 kHz인 반송파 복원회로의 전달 함수이며, 그림 4(b)는 그림 2의 위상 잡음이 반송파 복원 회로에서 반송파 복원 회로의 전달 함수에 의해 고역 통과된 위상 에러 성분을 보여준다.



(a)



(b)

그림 4. 반송파 복원회로의 (a) 전달 함수 및 (b) 위상 에러 ($\xi=1.0$, $B_L= 1$ kHz)

Fig. 4 (a) transfer function of carrier recovery circuit and (b) phase error in carrier recovery circuit

표 2. 복원 반송파 회로의 감쇠 정수와 잡음 대역폭에 대한 위상잡음과 배경잡음에 의한 위상 에러

Table. 2 Phase error due to phase noise and AWGN according to damping factor and noise bandwidth of carrier recovery circuit

감쇠 정수	위상 에러	위상 에러의 신호대 잡음비 (dB)			
		잡음 대역폭 (Hz)			
		50	500	1000	5000
0.707	σ_n^2	29.60	19.60	16.59	9.60
	σ_ϕ^2	21.67	28.87	29.38	30.98
	σ_ϵ^2	21.02	19.11	16.37	9.56
1.0	σ_n^2	29.60	19.60	16.59	9.60
	σ_ϕ^2	22.63	29.03	29.70	31.37
	σ_ϵ^2	21.83	19.13	16.38	9.57
1.2	σ_n^2	29.60	19.60	16.59	9.60
	σ_ϕ^2	23.01	29.09	29.80	31.52
	σ_ϵ^2	22.14	19.14	16.39	9.57

표 2는 식 (5)를 적용하여 그림 2와 같은 위상잡음과 9.58 dB의 신호대 잡음 환경에서 BPSK 전송모드와 50 kbps의 데이터 전송을 갖는 원격제어 장치의 위상 에러를 산출하여 나타내었다. 표 1로부터 0.2 dB 열화도와 10^{-5} BER 성능을 만족하기 위해서는 요구 신호대 잡음 비가 15.0 dB이므로 반송파 복원 회로의 잡음 대역폭은 1 kHz 이하의 대역폭으로 구현되어야 함을 표 2에서 보여주고 있다. 표 2는 보다 높은 위상 에러 신호대 잡음 비를 갖기 위해서는 적은 반송파 복원 회로의 잡음 대역폭과 높은 감쇠 정수를 가져야 한다는 것을 나타내고 있다. 잡음 대역폭이 작을 경우, 반송파 신호의 획득 시간이 지연되어 수신 신호의 복원이 지연될 수 있으므로 위상잡음에 의한 영향과 반송파 신호의 획득 시간과의 절충이 필요하다.

III. 위상잡음 스펙트럼 분포 설계

본장에서는 2장의 요구 위상잡음 신호대 잡음비와 반송파 신호의 잡음대역폭과 감쇠 정수에 대한 영향도를 고려하여 BPSK 전송모드를 갖는 원격제어 장치의 위상잡음 스펙트럼 분포를 설계한다.

반송파 복원 회로에서의 전송 신호의 신호대 잡음비로부터 배경잡음 분산($\sigma_{n,LOOP}^2$)을 구하여 요구 위상잡음 신호대 잡음비의 분산값($\sigma_{\epsilon,carrier}^2$)으로부터 설계 위상잡음 분산값을 도출한다.

$$\sigma_{\phi,required}^2 = \sigma_{\epsilon,carrier}^2 - \frac{\sigma_{n,LOOP}^2}{8} \quad (6)$$

식 (6)을 신호대 잡음비로 표시하면,

$$SNR_{\phi,required}^{-1} = SNR_{\epsilon,carrier}^{-1} - SNR_{\phi,noise}^{-1} \quad (7)$$

여기서, $SNR_{\phi,noise} = 9 + SNR_{n,LOOP}$ 이다.

식 (6)으로부터 도출된 위상잡음 분산값을 공진기를 갖는 발진기의 위상잡음 발생 모델과 식 (4)의 전달 함수를 적용하여 위상잡음 분포 성분($1/f^3$, $1/f^2$, $1/f$)들의 계수를 산출하여 위상잡음 성분의 스펙트럼 분포를 설계한다[11].

$$\sigma_{k_n}^2 = \int_0^{f_i} \frac{k_n}{f^n} \frac{\left(\frac{2\pi f}{\omega_n}\right)^4}{\left\{1 - \left(\frac{2\pi f}{\omega_n}\right)^2\right\}^2 + 4\xi^2 \left(\frac{2\pi f}{\omega_n}\right)^2} df$$

$f_i : \text{Nyquist bandwidth}$

(8)

그림 5는 위상잡음 스펙트럼 분포 설계 식과 감쇠 정수 1.0, 그리고 1 kHz 잡음 대역폭을 적용한 원격제어 장치의 송신부(또는 수신부)의 위상잡음 스펙트럼 분포도이다.

그림 3의 IESS-308 규격의 위상잡음 스펙트럼 분포와 비교할 경우, 다소 높은 (~18 dB) 위상잡음 특성을 나타내고 있다. 그러나 BPSK 전송모드에서 50 kbps의 저속 데이터를 위상잡음에 의한 낮은 열화 특성(0.2 dB)

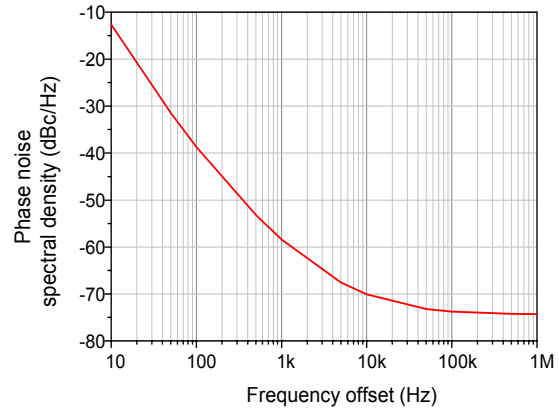


그림 5. 설계된 원격제어 장치를 위한 위상잡음 스펙트럼 분포 (감쇠 정수=1.0, 잡음 대역폭 1.0 kHz)
 Fig. 5 Designed phase noise spectrum distribution for remote controller(damping factor=1.0, noise bandwidth=1.0 kHz)

으로 전송할 수 있다. 요구 위상잡음 특성보다 높은 회로 구현은 복잡하거나 고가의 회로 구성이 되어야 하므로 전송 데이터 특성에 적합한 위상잡음을 갖는 회로 설계가 적합하다.

IV. 결론

본 논문에서는 BPSK 전송모드와 50 kbps 저속 데이터를 갖는 원격제어 장치를 위한 위상잡음 스펙트럼 분포를 설계하고 제시하였다. 위상잡음은 디지털 변조 신호의 전송 성능 열화 요인으로 작용하며, 위상잡음에 의한 성능 열화를 보정할 방법이 어렵다. 따라서 전송 방식에 적합한 요구 위상잡음 스펙트럼 분포를 기준으로 회로를 설계하고 구현하는 방법이 최적의 방식이다. 본 논문에서는 BPSK 전송모드에서의 위상잡음을 해석하고, IESS-308 규격을 기준으로 위상잡음 스펙트럼 설계를 위한 감쇠 정수 및 잡음 대역폭에 대한 위상잡음 영향도를 해석하여 설계 파라미터로 적용하였다. 요구하는 전송 방식에 적합한 위상잡음 스펙트럼 분포 제시로 위상잡음 환경에 적합한 전송 성능을 갖는 원격제어 장치의 구현과 운용이 가능하며, 다른 전송 방식에 대한 위상잡음 스펙트럼 분포 설계에 적용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT/SW 창의연구과정의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0502-13-1067).

REFERENCES

- [1] M. Rostami, E. Macedo, J. Santos and A. Navarro, "Robust cable remote control for set-top boxes," in *Proceeding of Electrotechnical Conference 2002*, pp. 66-69, 2002.
- [2] V. Vande Keere, B. Staelens and J. Vandewege, "Rapid prototyping of a CATV network termination for ATM-based video-on-demand services," in *Proceeding of Rapid System Prototyping, Thessaloniki*, pp. 44-49, 1996.
- [3] S. Hussain and S. K. Barton, "The Performance of Coherent BPSK in the Presence of Oscillator Phase Noise for Ka-band Pico-terminal Inbound Links", *Wireless Personal Communications*, vol. 1, no. 2, pp. 111-115, 1995.
- [4] Young-wan Kim, "Phase Noise Evaluation of Multi-mode based-COMS Communication Transponder," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 20-25, 2012.
- [5] V. Syrjala, M. Valkama, L. Anttila, T. Riihonen and D. Korpi, "Analysis of phase noise effect on microwave attenuation precision measurement using a heterodyne receiver," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. PP, no. 99, pp. 1-14, 2014.
- [6] Wei Zhu, Haiying Meng and Liming Mao, "A low phase noise local oscillator module for instrumentation application," in *Proceeding of the IEEE International Wireless Symposium*, Beijing, pp. 1-4, 2013.
- [7] M. Pardo, L. Sorenson and F. Ayazi, "An Empirical Phase-Noise Model for MEMS Oscillators Operating in Nonlinear Regime," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, vol. 59, no. 5, pp. 979 - 988, 2012.
- [8] Intelsat, "Performance Characteristics for Intermediate Data Rate (IDR) Digital Carriers : IESS 308" and "QPSK/FDMA Performance Characteristics for INTELSAT Business Services (IBS) : IESS 309", *Intelsat*, Rev. 10, Feb. 2000.
- [9] Young-wan Kim, "Performance Analysis of M-ary APSK Modulation Method in the Presence of Phase Noise," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 7, pp. 1511-1517, 2014.
- [10] Floyd. M. Gardner, *Phaselock Techniques*, 2nd ed. John Wiley & Sons, NY, 1979.
- [11] Young-wan Kim, "Design Program of Phase Noise Distribution Spectrum for Signal Source of M-ary APSK Satellite Communication System," in *Proceeding of International Conference on Future Information & Communication Engineering 2014*, Hongkong, pp 7-10, 2014.



김영완(Young-wan Kim)

1983년 경북대학교 전자공학사
 1985년 경북대학교 전자공학석사
 2003년 충남대학교 전자공학박사
 1984~1990 동양정밀공업(주) 중앙연구소 과장
 1990~1992 (주) 유영통신 이사
 1992~2004 한국전자통신연구원 책임연구원
 2004~현재 군산대학교 전파공학과 교수
 ※관심분야 : RF/Microwave 시스템 및 회로설계, 디지털 위성방송/통신시스템, 마이크로파 소자