

차세대 VSAT 위성통신시스템의 위상잡음 스펙트럼 분포 해석

김영완*

Phase Noise Spectrum Distribution Analysis for Next-generation VSAT Satellite System

Young-wan Kim*

IT Convergence and Communication Engineering Major, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

요 약

본 논문에서는 차세대 위성통신 규격인 DVB-RCS2 기반 VSAT 단말 시스템의 송수신부 위상잡음 스펙트럼 분포 특성을 분석한다. VSAT 순방향 링크는 DVB-S2 ACM 기반 APSK 고차 전송모드를 사용하며, 역방향 링크는 DVB-RCS2 기반 PSK 및 QAM 계열의 고차 전송 모드를 사용한다. 고차 전송 모드를 사용함에 따라 위상잡음에 의한 영향이 나타나며, 위성전송시스템 신호발생부의 위상잡음 특성에 따라 전송 성능의 열화가 지배적으로 나타난다. 위성전송 환경에 따라 가변적으로 전송 데이터 율와 전송 모드를 가변하는 전송방식을 고려하여 요구 위상잡음 특성을 분석하고 차세대 VSAT 전송 파라미터를 수용하는 전송시스템 신호발생부의 위상잡음 특성을 제시한다.

ABSTRACT

Phase noise spectrum distributions of signal generators for next-generation VSAT satellite system based on DVB-RCS2 were analyzed in this paper. The forward link of VSAT system utilizes the APSK higher-order modulation methods based on the DVB-S2 ACM, the modulation methods of the return link utilizes the higher-order PSK and QAM based on the DVB-RCS2. In digital satellite system using the higher-order modulation techniques, the phase noise have an effect on transmission performance, the transmission performance is dominantly degraded by the phase noise of signal generators in the transmission system. The phase noise spectrum distribution of signal generators are analyzed by considering the ACM conditions that adopts the modulation techniques and data rates due to satellite transmission environment. The proper phase noise spectrum distribution for next-generation VSAT system based on DVB-RCS2 are proposed from the analyzed phase noise spectrum characteristics.

키워드 : 차세대 위성통신시스템, VAST, 위상잡음스펙트럼, ACM 모드의 위상잡음

Key word : Next-generation satellite system, VSAT, Phase noise spectrum, ACM phase noise

Received 27 July 2016, Revised 27 July 2016, Accepted 05 August 2016

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

IT Convergence and Communication Engineering Major, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.10.1831>

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

차세대 VSAT(Very Small Aperture Terminal) 위성 통신시스템은 초고속 인터넷 서비스, 감시 및 경계 서비스, 재난 대응용 긴급 통신 서비스 등 다양한 위성통신서비스를 제공하는 1.2 m 안테나급을 갖는 단말국 시스템이다. 차세대 VSAT 단말국은 순방향 링크 및 역방향 링크의 양방향 위성 링크로 중심국에 접속된다. VSAT 위성통신 시스템의 순방향 링크는 DVB-S2를 적용하여 최대 80 Msps 데이터 전송을 데이터를 전송하며, 역방향 링크는 DVB-RCS2를 적용하여 최대 8 Msps 전송율을 갖는 양방향 ACM 기능을 지원한다[1,2].

제한된 대역폭내에 고용량의 데이터를 전송하기 위해서는 고차모드 전송 방법을 적용하며, 위성통신 환경에 따라 전송 데이터와 변조 방식을 가변하는 적응형 방식을 사용한다. 이러한 고차 전송 모드 및 고속 데이터 전송에서는 위성 전송 채널의 채널 특성에 따라 열화 특성이 나타난다. 위상잡음에 대한 연구는 주로 위상잡음 발생과 전송방식에 대한 열화 특성 분석, 그리고 위상잡음 영향을 최적화하기 위한 시스템 설계에 대해서 이루어지고 있다[3,4]. 그러나, 위상잡음에 의한 전송 품질 저하 및 열화를 방지하기 위하여 위성통신시스템의 신호발생부에서 발생하는 위상잡음 특성을 규정하여 시스템 설계가 가능하고, 구현된 전송시스템을 통하여 요구 품질을 갖는 위성통신서비스를 실현할 필요성이 있다.

따라서 본 논문에서는 차세대 VSAT 위성통신시스템의 위상잡음 특성을 분석하고 고차모드 전송이 갖는 양방향 ACM 전송방식에 적합한 위상잡음 스펙트럼 분포 특성을 분석하고 제안한다. 순방향 링크와 역방향 링크의 전송방식과 전송 데이터 율을 일정한 열화 성능 이내로 위성 전송할 수 있는 시스템 위상잡음 특성을 분석하여 VSAT 시스템의 위상잡음 스펙트럼 분포를 도출한다. 아울러 주파수가 증가할수록 위상 잡음 특성이 증가하므로 송신부의 전단부(front-end) 신호 발생기의 위상잡음 스펙트럼 분포 특성을 분석하고, 위성통신 시스템 구성에 따른 요구 위상잡음 스펙트럼 분포 특성을 제안한다. 위상잡음 영향 분석은 VSAT 위성전송모드의 전송파라미터를 고려할 수 있는 모의 해석적인 분석 모델을 통하여 도출하며, 위상잡음 스펙트럼 분포는 요구 전송 품질 정도에 따라 위상잡음에 의한 열화

정도를 평가하여 위상잡음 특성을 분석한다.

II. 차세대 VSAT 시스템

차세대 VSAT 시스템은 중심국 서브시스템(Hub) 과 단말국 서브시스템(Terminal)로 구성된다. 그림 1과 같이 Ku/Ka 대역 위성을 이용하여 DVB-S2/DVB-RCS2 표 기반의 위성통신서비스를 사용자에게 제공한다. 중심국 서브시스템은 성형 위성망 구조에서 중심국 역할을 수행하는 서브시스템으로서 순방향 링크 송신 기능과 역방향 링크 수신 기능을 수행한다. 단말국 서브시스템은 성형 위성망 구조에서 단말국 역할을 수행하는 서브시스템으로서 위성을 경유하여 중심국 서브시스템과 접속을 수행하고 양방향으로 데이터를 송수신하여 사용자에게 고속 멀티미디어 데이터 서비스를 제공한다[2].

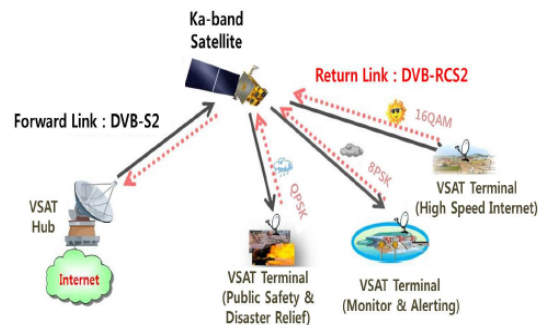


Fig. 1 Next generation VSAT system service configuration

표 1은 차세대 VSAT 시스템의 채널 특성을 나타내고 있다[5].

Table. 1 Channel characteristics for next generation VSAT system

link items	forward	return
standard	DVB-S2 ACM	DVB-RCS2
frame	TDM	MF-TDMA
frequency	29.6~30GHz	19.8~20.2GHz
data rate	~ 80 Msps	~ 8 Msps
modulation	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK	QPSK, 8PSK, 16QAM
channel code	LDPC, BCH	16-state Turbo

그림 1과 표 1로부터 순방향 채널에서는 16APSK와 32APSK 등 고차 전송모드를 사용하나, 역방향 채널에서는 8PSK와 16QAM 고차 전송모드를 사용한다. 아울러, 순방향에서는 80 Msps 최대 전송율로 서비스하고 있으나, 역방향에서는 최대 8 Msps의 전송 율을 갖는 채널 특성을 갖는다. 따라서 순방향 채널 특성과 역방향 채널 특성을 고려한 위상잡음 특성을 해석하고 전송 시스템의 스펙트럼 분포 특성을 규정하여야 한다.

III. 고차전송모드의 위상잡음 특성

VSAT 시스템의 순방향 고차 변조 방식인 16APSK와 32APSK 신호의 위상잡음에 대한 영향을 모의 해석하기 위하여 고차 전송모드 신호의 성상도를 고려한다. 그림 2와 그림 3은 16APSK와 32APSK 변조 신호의 성상도를 보여준다[5].

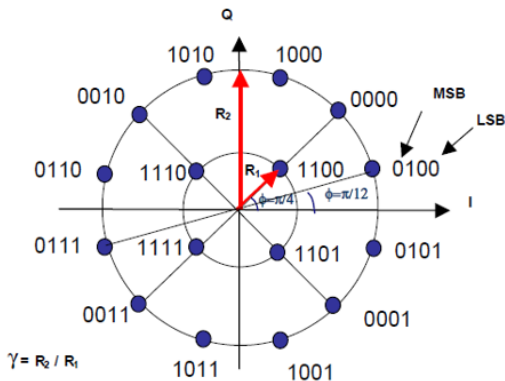


Fig. 2 Signal constellation of 16APSK

위상잡음 성능 평가를 위하여 16APSK의 경우 DVB-S2 표준에서 사용되는 심볼 매핑률을 적용하였다. 성상도의 내부 링(inner ring)의 성좌도와 내부 링(outer ring)의 성좌도 크기 비율($\gamma = R_2/R_1$)은 2.57, 2.60, 2.75, 2.85, 3.15를 적용한다. 32APSK의 경우도 DVB-S2 표준에서 사용되는 심볼 매핑률을 적용하였으며, 내부 링(inner ring) 성좌도간의 비율($\gamma_1 = R_2/R_1$)과 내부 링과 외부 링의 성좌도 비율($\gamma_2 = R_3/R_1$)은 각각 2.53, 2.54, 2.64, 2.72, 2.84와 4.30, 4.33, 4.64, 4.87, 5.27을 적용한다.

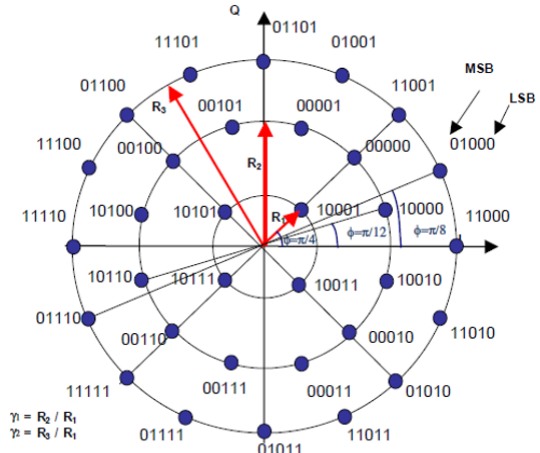


Fig. 3 Signal constellation of 32APSK

아울러, 역방향 링크의 16QAM 고차 변조 방식을 사용하기 위하여 그림 4와 같은 16QAM 신호의 성상도를 고려한다.

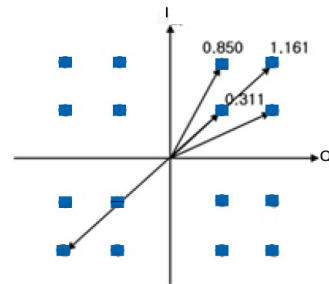


Fig. 4 Signal constellation of 16QAM

IV. VSAT 시스템의 위상잡음 특성

4.1. 16APSK와 32APSK 신호의 위상잡음 영향 평가

위상잡음의 영향은 표 1의 순방향 링크 전송 특성과 모의 분석 모델을 사용하여 평가한다. 16APSK인 경우, 위상잡음 영향이 가장 크게 나타나는 내부 링 성좌도와 외부 링 성좌도간의 비율(γ)이 3.15 인 경우를 고려한다. 아울러 32APSK에서는 $\gamma_1 = 2.84$, $\gamma_2 = 5.27$ 인 경우의 위상잡음 영향을 분석한다. 그림 5는 16APSK와 32APSK 전송 모드에 대한 위상 잡음 영향을 나타내고 있다.

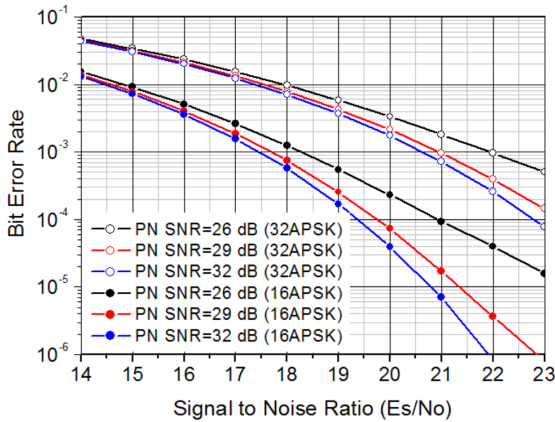


Fig. 5 Phase noise effects for 16APSK and 32APSK modulation signals($\gamma = 0.35, \gamma_1 = 2.84, \gamma_2 = 5.27$)

표 2는 16APSK와 32APSK신호의 위상잡음 모의 분석 모델에 의해 산출된 요구 위상잡음의 신호대 잡음비 결과를 나타내고 있다.

Table. 2 Required phase noise signal-to-noise ratio for 16 APSK and 32APSK according to service quality

Modulation BER Loss(dB)	16APSK (dB)	32APSK (dB)
10 ⁻³	0.1	34.4
	0.2	31.3
	0.3	29.9
2x10 ⁻⁴	0.1	36.4
	0.2	33.4
	0.3	31.7

4.2. 8PSK와 16QAM 신호의 위상잡음 영향 평가

표 1의 VSAT 역방향 링크 전송 특성과 분석 모델을 사용하여 16QAM 신호와 전송되고 있는 8PSK 신호에 대한 위상잡음의 영향을 분석하며, 결과는 그림 6에 나타나 있다.

표 3은 16QAM 신호와 8PSK 신호의 위상잡음 모의 분석 모델에 의해 산출된 요구 위상잡음의 신호대 잡음비 결과를 나타내고 있다.

표 2와 표 3에서 위상잡음에 의한 2x10⁻⁴ 서비스 오율 및 0.2 dB 요구 성능 열화 목표에 대한 위상잡음의 신호대 잡음비를 고려하여 각 변조 방식에 대한 위상잡음 스펙트럼 분포 특성을 해석한다.

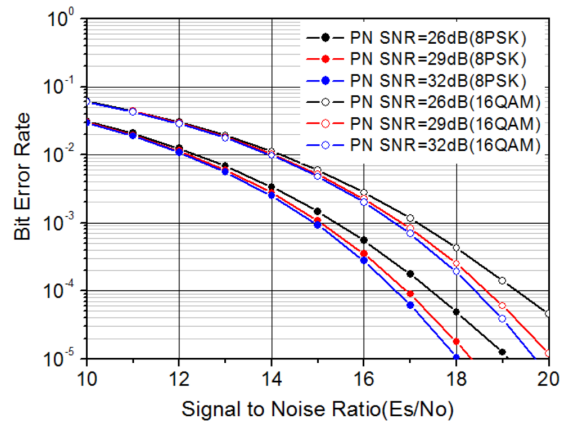


Fig. 6 Phase noise effects for 8PSK and 16QAM modulation signals

Table. 3 Required phase noise signal-to-noise ratio for 16 QAM according to service quality

Modulation BER Loss(dB)	8PSK (dB)	16QAM (dB)
10 ⁻³	0.1	33.6
	0.2	30.7
	0.3	29.0
2x10 ⁻⁴	0.1	34.9
	0.2	31.9
	0.3	30.2

4.3. 16QAM, 16APSK 그리고 32APSK 신호의 위상잡음 스펙트럼 분포 특성

표 1과 같은 전송 방식과 위성전송 시스템의 중심국 서브시스템과 단말국 서브시스템의 시스템 특성을 고려하여 위상잡음 특성 분포를 배분하며 중심국 서브시스템의 주파수 합성기형 위상잡음 특성으로 표현한다. 아울러 단말국 서브시스템의 위상잡음 특성은 단말국 서브시스템의 RF front-end부를 고려하여 공진기형 위상잡음 분포 특성으로 표현한다.

공진기형 위상잡음 스펙트럼 분포 특성은 Leeson 모델을 사용하며, 주파수 합성기는 그림 7과 같은 구조를 갖는 주파수 합성기를 고려한다[6].

$$S_{\phi}(f) = 10 \log \left[\frac{FkT}{2P_s} \left\{ 1 + \frac{f_o^2}{(2fQ_L)^2} \right\} \left(1 + \frac{f_c}{f} \right) \right] \quad (1)$$

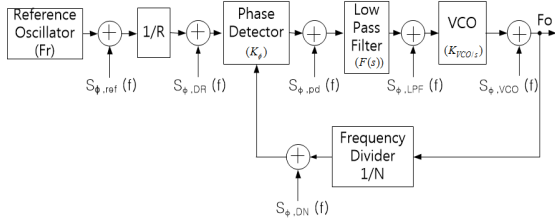


Fig. 7 Phase noise spectral density of a typical frequency synthesizer(simple model)

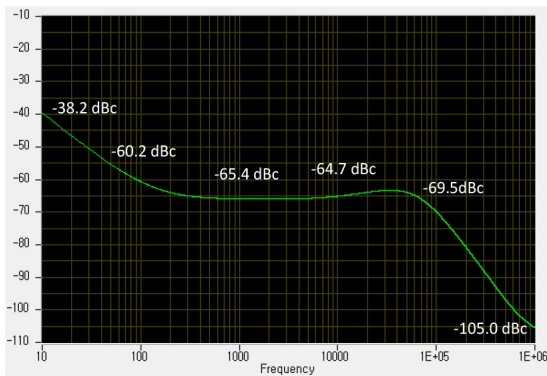
여기서, F 는 실험적으로 구할 수 있는 잡음 지수이며, P_s 와 T 는 각각 발진기에서 이용할 수 있는 전력 과 절대 온도를 말한다. 그리고 f_c 와 f 는 플릭커 주파수와 오프셋 주파수이다.

주파수 합성기의 위상잡음 스펙트럼 분포 모델은 다

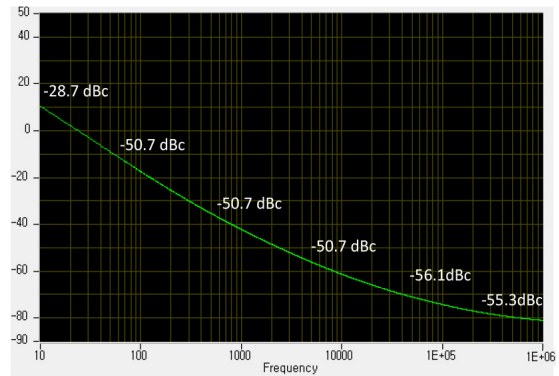
음과 같이 표현할 수 있다[7].

$$S_{\phi, output}(f) = |H(f)|^2 \left[\left(\frac{N}{R} \right)^2 S_{\phi, ref}(f) + \frac{N^2}{K_{\phi}^2} \right] \times \left\{ S_{\phi, pd}(f) + \frac{S_{\phi, LPF}(f)}{|F(f)|^2} \right\} + N^2 \times \left\{ S_{\phi, DR}(f) + S_{\phi, DN}(f) \right\} + |1 - H(f)|^2 \times S_{\phi, VCO}(f)$$

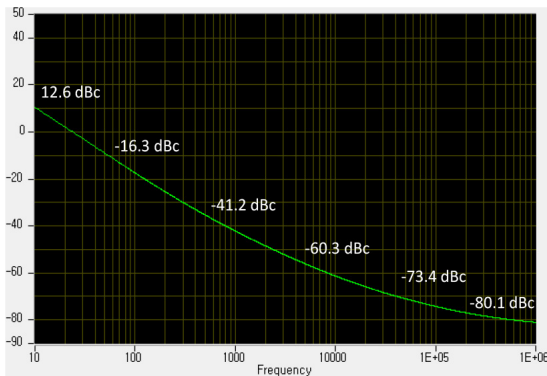
여기서, 전달함수로는 정상 상태 위상 에러(steady-state phase error)를 최소화하는 $(s + s_1)/s$ 루프 함수와 감쇠 정수(damping factor: ζ)를 갖는 고 이득 2차 루프 회로를 적용한다.



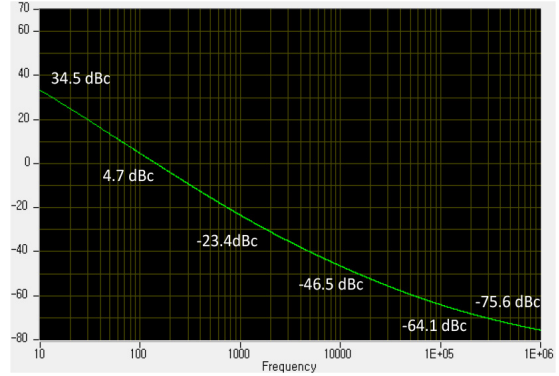
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 8 Return link phase noise spectrum distribution characteristics for 16QAM modulation signal(bandwidth = 8 kHz) (a) VSAT Hub(receiver) (b) VSAT Terminal(transmitter)

Fig. 9 Forward link phase noise spectrum distribution characteristics for 32APSK modulation signal (bandwidth = 40 kHz) (a) VSAT Hub(transmitter) (b) VSAT Terminal(receiver)

$$H(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

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

VSAT 위성전송시스템의 중심국 서브시스템과 단말국서브시스템의 순방향 링크 및 역방향 링크의 위상잡음 스펙트럼 분포는 그림 7과 그림 8에 보여주고 있다. 여기서, 수신 반송파 회로의 등가 잡음대역폭은 전송 데이터 율의 1/000 ~ 1/2000 비율로 고려한다.

그림 8과 그림 9의 위상잡음 스펙트럼 분포 특성은 변조방식, 전송 데이터 율과 잡음대역폭을 고려한 VSAT 전송시스템의 송수신부 위상잡음 스펙트럼 분포 특성으로, ACM 전송모드를 수용하는 위상잡음 스펙트럼 분포 특성으로 적용할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 차세대 VSAT 위성시스템의 중심국 서브시스템과 단말국 서브시스템의 위상잡음 특성을 해석하고 ACM 모드를 수용할 수 있는 위상잡음 스펙트럼 분포 특성을 제안하였다. 중심국 서브시스템은 주파수합성기 구조의 위상잡음 스펙트럼 특성을 제시하였으며, 단말국 서브시스템의 위상잡음 특성은 공진기형 위상잡음 스펙트럼 분포를 제안하였다. 제안된 위상잡음 스펙트럼 분포 특성은 차세대 VSAT 채널부 위상

잡음 규격과 시스템 설계 기준으로 활용할 수 있다.

REFERENCES

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB), "Digital Video Broadcasting(DVB); Second generation," ETSI EN 302 307, June 2004.
- [2] D. H. Wang and D. G. Oh, "A Study for the Next-generation Satellite Communication System Design and Modem Functional Verification based on DVB-RCS2," *Journal of Satellite, Information and Communications*, vol. 10, no. 3, pp. 62-67, July 2015.
- [3] P. Y. Wang, M. C. Chou, et al, "A Ku-band low-phase-noise transformer coupled VCO for satellite communications," in *2016 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology*, pp. 1-3, September 2016.
- [4] Y. F. Wang and J. H. Lee, "A Simple Phase Noise Suppression Scheme for Massive MIMO Uplink Systems," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. PP, no. 99, pp. 1-12, September 2016.
- [5] Digital Video Broadcasting (DVB), *Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2) Part2: Lower Layers for Satellite standard*, ETSI EN 301 545-2.
- [6] D. B. Leeson, "Simple Model of Feedback Oscillator Noise Spectrum," in *Proc. of the IEEE*, pp. 329-330, Feb. 1966.
- [7] Y. W. Kim and J. D. Yu, "Phase Noise Model of Single Loop Frequency Synthesizer," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 54, no. 1, pp. 112-119, Feb. 2008.



김영완(Young-wan Kim)

1983년 경북대학교 전자공학사
 1985년 경북대학교 전자공학석사
 2003년 충남대학교 전자공학박사
 1992~2004 한국전자통신연구원 책임연구원
 2004~현재 군산대학교 IT융합통신공학 교수

※관심분야 : RF/Microwave 시스템 및 회로설계, 디지털 위성방송/통신시스템, 마이크로파 소자