

위성 통신 시스템 응용을 위한 우수한 성능의 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기

류근관² · 안기범¹ · 김성찬^{2*}

High Performance Ku-band 2W MMIC Power Amplifier for Satellite Communications

Keun-Kwan Ryu² · Ki-Burm Ahn¹ · Sung-Chan Kim^{2*}

¹ASB Inc., Daejeon 305-510, Korea

²Department of Electronics & Control Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

요 약

본 논문에서는 위성 통신 시스템 응용을 위하여 Ku 대역에서 동작 가능한 2W MMIC (monolithic microwave integrated circuit) 전력증폭기를 개발하였다. 2W MMIC 전력증폭기는 WIN (wireless information networking) semiconductor Corp.의 GaAs 기반 PHEMT (pseudomorphic high electron mobility transistor) 공정을 사용하여 개발되었다. 개발된 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기의 측정결과, 13.75 GHz ~ 14.5 GHz의 동작주파수 범위에서 29 dB 이상의 이득, 33.4 dBm 이상의 포화 출력전력을 얻었다. 특히 전력부가효율은 29 %로 기존에 발표된 GaAs 기반 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기 상용 제품들에 비하여 높은 결과를 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we demonstrated a Ku-band 2W MMIC power amplifier for satellite communication applications. The device technology used relies on 0.25 μm GaAs pseudomorphic high electron mobility transistor (PHEMT) of Wireless Information Networking (WIN) Semiconductor foundry. The 2W MMIC power amplifier has gain of over 29 dB and saturation output power of over 33.4 dBm in the frequency range of 13.75 ~ 14.5 GHz. Power added efficiency (PAE) is a 29 %. To our knowledge, this is the highest power added efficiency reported for any commercial GaAs-based 2W MMIC power amplifier in the Ku-band.

키워드 : 전력증폭기, Ku 대역, 2W, PHEMT, MMIC

Key word : power amplifier, Ku-band, 2W, PHEMT, MMIC

접수일자 : 2014. 09. 17 심사완료일자 : 2014. 10. 08 게재확정일자 : 2014. 10. 20

* **Corresponding Author** Sung-Chan Kim(E-mail:sckim@hanbat.ac.kr, Tel:+82-42-821-1130)

Department of Electronics & Control Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.11.2697>

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. 서론

지상과 위주의 초고속 인터넷 및 방송 통신 기술은 서비스 제공지역 및 인프라 구축 비용 측면에서 한계가 있으며, 이러한 한계는 위성 통신 기술을 이용한 광대역 무선 인터넷을 통하여 보완하거나 확장할 수 있다. 위성 통신 기술은 위성을 이용해 지구국과 지구국 간 통신을 행하는 통신 기술로 각종 통신 서비스와 방송 서비스를 처리하는데 활발히 활용되고 있다. 통신 위성은 육상 마이크로파 통신에서의 중계국 기능과 비슷하게 지구국에서 발사된 신호를 받아, 증폭하여 다른 지구국으로 재전송하는 기능을 수행한다. 종래의 지상파 방송은 난시청 해소를 위하여 수백개의 중계기지국을 건설하고 운영해야 하므로 막대한 비용과 오랜 건설시간이 소요되었으나, 위성 방송은 단 1기의 위성만으로 광범위한 지역을 시간차 없이 방송 서비스를 제공할 수 있어 난시청을 일시에 해소 가능하다는 장점이 있다.

전 세계 초고속 인터넷 및 방송 통신 시장은 2000년대로 들어서면서 꾸준하게 증가되는 추세이며, 그 중에서도 초고속 데이터 통신이 가능한 13.75 GHz~14.50 GHz의 Ku 대역 위성 통신 기술에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있다[1-6].

Ku 대역 주파수 자원을 이용한 초고속 방송 통신 융합 서비스는 여러 가지 장점에도 불구하고 높은 Ku 대역 RF 부품의 가격으로 인하여 주파수 자원 활용도가 낮은 상태이다. Ku 대역 위성 방송통신 시스템의 장비에 사용되는 RF 부품의 경우, 전량 외국 부품을 수입하여 사용하고 있어 기술 종속이 심화되어 부품의 국산화는 물론 더 나아가 기술경쟁력 제고가 절실하다. 특히, 위성 통신용 지상 안테나 시스템의 주요 부분인 block-up converter (BUC)에 사용되는 고선형성 및 높은 신뢰성이 요구되는 증폭기 (amplifier)와 혼합기 (mixer)는 다른 부품들과 비교하여 부가가치가 매우 높아 국산 부품의 개발이 더욱 절실히 필요한 실정이다. 더군다나 우리나라의 경우 최근 초고속 위성통신망의 핵심 기술 중 하나인 위성 탑재체를 국산화하는 등 향후 시장규모가 더욱 확대될 위성통신망 부문경쟁에서 선전할 것으로 기대되어지고 있다.

따라서 본 논문에서는 13.75~14.50 GHz Ku 대역 위성 통신용 안테나 시스템의 주요 부분인 outdoor unit (ODU)을 구성하는 block-up converter (BUC)에 사용되

는 핵심 부품인 MMIC(monolithic microwave integrated circuit) 전력증폭기를 개발하였다. 본 논문에서 개발된 전력증폭기의 요구 규격은 국내 BUC 업체들의 요구 사항을 반영하여 설정하였다. 주요 성능지표로서 13.75 ~ 14.5 GHz의 동작 주파수 범위에서 25 dB 이상의 이득 (gain), -10 dB 이하의 입력/출력반사계수 (return loss), 33 dBm 이상의 포화 출력전력 (saturation output power), 25 % 이상의 전력부가효율 (power added efficiency) 등을 설정하였다.

II. 2W MMIC 전력증폭기 설계

Ku 대역에서 동작하는 2W MMIC 전력증폭기를 개발하기 위하여 마이크로스트립(microstrip) 기반의 AlGaAs/InGaAs/GaAs depletion-mode PHEMT(pseudomorphic high electron mobility transistor) 소자를 사용하여 설계를 진행하였다. PHEMT 공정은 대만 WIN(wireless information networking) Semiconductor Corp.의 PP2521 라이브러리(library)를 사용하였다. PP2521 라이브러리는 0.25 μm 의 게이트 길이(gate length)와 4 mil 두께의 GaAs 기판(substrate)을 사용한다.

그림 1에 Ku 대역에서 동작하는 2W MMIC 전력증폭기의 회로도를 나타내었다. 설계된 전력증폭기는 출력전력을 위한 최종단, 최종단을 구동하기 위한 중간단, 소신호 이득을 위한 입력단의 3단으로 구성되어 있다.

2W MMIC 전력증폭기의 종단 설계를 위하여 PP2521 라이브러리에서 제공하는 PHEMT 소자 중 가장 게이트 폭이 큰 소자를 선택하였다. 단위 게이트 폭이 150 μm , 게이트 수가 8 개인 PHEMT 소자의 load-pull 시

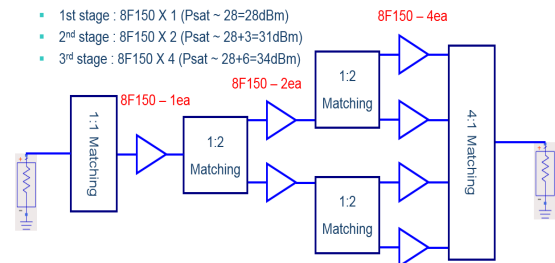


그림 1. Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기 회로도
Fig. 1 Schematic diagram of the Ku-band 2W MMIC power amplifier

물레이션 결과 약 28 dBm의 출력전력을 기대할 수 있으므로 최종 33 dBm (2W) 이상의 출력전력을 얻기 위하여 4개의 PHEMT 단위 소자를 병렬로 연결하였다.

3단으로 구성된 전력증폭기는 마이크로스트립 라인을 사용하여 정합 (matching) 회로를 구성하였다. 입력 정합 회로는 높은 이득 구현을 위하여 공액정합 (conjugate matching) 하였으며 출력 정합회로는 높은 출력전력 구현을 위하여 전력정합을 실시하였다. 각 단의 단위 셀의 입력/출력 임피던스를 추출하여 그 추출값을 이용하여 단간 정합을 수행하였으며 PHEMT 소자의 단위 셀의 안정도 개선을 위하여 RC 병렬회로를 단위셀마다 삽입하였다.

바이어스 회로는 $\lambda/4$ 단락 스틱 (short stub)와 바이패스 (bypass) 커패시터를 사용하여 Ku 대역 고주파 신호가 바이어스 라인으로 손실되는 것을 방지하도록 설계하였으며 저항을 삽입하여 안정도를 향상시켰다.

설계된 2W MMIC 전력증폭기의 전체 회로 패턴은

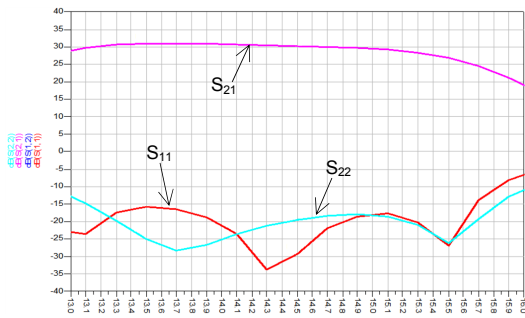


그림 2. 설계된 2W MMIC 전력증폭기의 S-parameter 특성
Fig. 2 S-parameters characteristics of the simulated 2W MMIC power amplifier

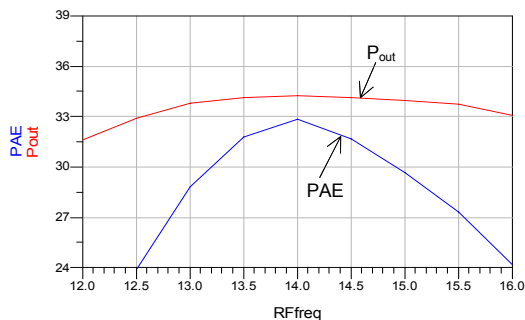


그림 3. 설계된 2W MMIC 전력증폭기의 출력전력 및 효율 특성
Fig. 3 Output power and PAE characteristics of the simulated 2W MMIC power amplifier

Agilent사의 Momentum 전자기 시뮬레이션 툴 (tool) 을 통하여 최적화를 수행하였다. 그림 2와 그림 3에 전자기 시뮬레이션을 통하여 최적화된 전력증폭기의 S-parameters 특성과 출력전력 및 효율특성을 각각 나타내었다. 시뮬레이션 결과, 13.75 ~ 14.5 GHz의 동작 영역에서 30 dB 이상의 이득 특성과 -15 dB 이하의 입력 및 출력 반사손실 특성을 얻었다. 출력 전력 특성은 13.75 ~ 14.5 GHz의 동작영역에서 34 dBm 이상을 얻었으며 30 % 이상의 효율특성을 얻었다.

III. 2W MMIC 전력증폭기 측정 결과

제작된 2W MMIC 전력증폭기의 성능 검증을 위하여 일차적으로 On-wafer 시험을 진행하였다. bare die 상태의 MMIC를 측정하기 위하여 DC 전원을 공급하기 위한 회로가 포함된 on-wafer 시험용 지그 (Jig)에 조립된 형태로 probe station을 사용하여 S-parameter를 측정하였다. 2W MMIC 전력증폭기는 최종적으로 입/출력에 조립되는 본딩 (bonding) 와이어 (wire)의 인덕턴스를 미리 고려하여 부정합 (mismatch) 상태로 설계하였으며, on-wafer 측정 결과 입력 출력 임피던스가 설계대로 부정합 되어있는 것을 확인하였다.

그림 4에 지그에 조립되어진 2W MMIC 전력증폭기를 나타내었다. 지그 조립 시험의 경우 입력/출력 포트는 Ku 대역에서의 손실을 최소화하기 위하여 K-타입 커넥터를 사용하였으며 기판은 Rogers사의 RO4003을 사용하였다. DC 전원 공급 포트에는 회로 안정화를 위하여 100 pF의 바이패스 커패시터를 사용하였으며, MMIC

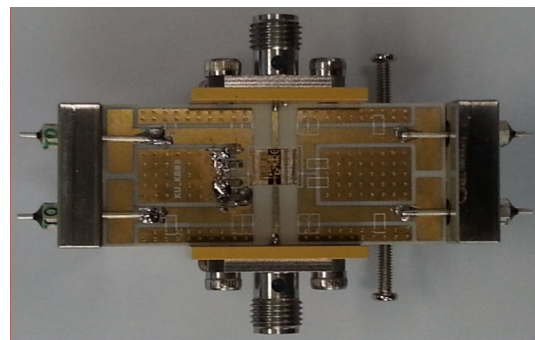


그림 4. 제작된 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기
Fig. 4 The fabricated Ku-band 2W MMIC power amplifier

의 입/출력 임피던스 부정합은 지그에 MMIC를 조립하면서 본딩 와이어의 길이와 수량을 조절하면서 최종 결과를 얻었다. 그림 5에 제작된 2W MMIC 전력증폭기의 S-parameter 특성을 나타내었다. 측정결과, 사용 주파수 13.75 ~ 14.50 GHz 대역 내에서 이득은 29 dB, 입/출력 반사손실은 -13dB 이하의 우수한 특성을 얻었다. 포화 출력전력 특성은 동작주파수 범위 내에서 33.4 dBm 이상의 특성을 얻었다. 13.75 GHz와 14.5 GHz에서의 포화 출력전력 특성을 그림 6과 그림 7에 각각 나타내었다.



그림 5. 제작된 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기의 S-parameters 측정결과

Fig. 5 S-parameters characteristics of the fabricated Ku-band 2W MMIC power amplifier

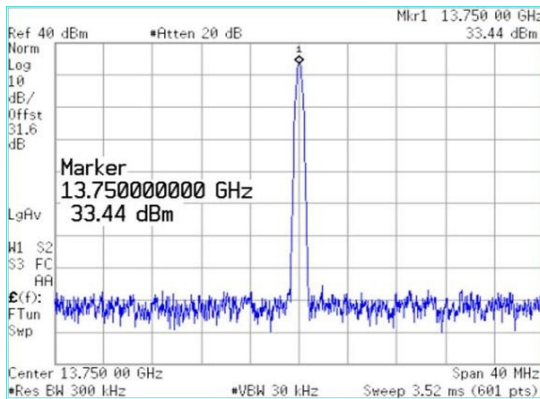


그림 6. 제작된 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기의 포화 출력 전력 특성 (@13.75 GHz)

Fig. 6 Saturation output power characteristic of the fabricated Ku-band 2W MMIC power amplifier(@13.75 GHz)

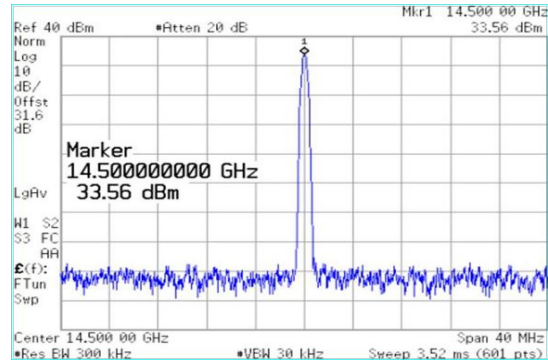


그림 7. 제작된 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기의 포화 출력 전력 특성 (@14.5 GHz)

Fig. 7 Saturation output power characteristic of the fabricated Ku-band 2W MMIC power amplifier(@14.5 GHz)

제작된 2W MMIC 전력증폭기의 선형성을 확인하기 위하여 출력 3차 교차점(IP3: third order intercept point) 특성을 측정하였다. 측정 결과 40 dBm의 출력 3차 교차점 특성을 얻었다. 그림 8과 그림 9에 13.75 GHz와 14.5 GHz에서의 출력 3차 교차점 특성을 각각 나타내었다.

일반적으로 시스템의 송신부 최종단에 사용되는 전력증폭기는 전체 송신기 전력의 대다수를 차지할 정도로 매우 큰 전력을 소비한다. 이런 관점에서 전력증폭기의 전력부가효율은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 지표로서 활용된다. 본 논문에서 개발된 2W MMIC 전력 증폭기는 8 V의 드레인 전압이 인가되었을 때 860 mA의 드레인 전류값을 얻어 29 %의 전력부가효율을 얻었다.

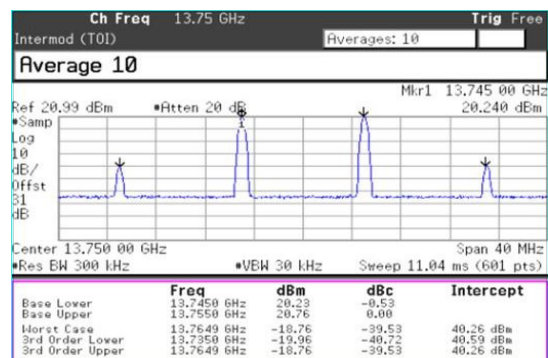


그림 8. 제작된 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기의 출력 3차 교차점 특성 (@13.75 GHz)

Fig. 8 OIP3 characteristics of the fabricated Ku-band 2W MMIC power amplifier(@13.75 GHz)

표 1. 2W MMIC 전력증폭기의 특성 비교

Table. 1 Comparison of characteristics for 2W MMIC power amplifier

Company	Hittite[7]	AMTL[8]	Triquint[9]	MA-com[10]	This research
Part number	HMC949	ASTRA 2154011	TGA2510	AM42-0007	-
Device technology	GaAs PHEMT	0.15 μ m GaAs PHEMT	0.25 μ m GaAs PHEMT	0.5 μ m GaAs FET	0.25 μ m GaAs PHEMT
Frequency (GHz)	12-16	15(12-19)	12.5-17	14-14.5	13.75-14.5
P _{sat} (dBm)	35.5	30	34	33	33.4
Gain (dB)	31	11.5	26	22	29
Drain bias voltage (V)	7	5	7.5	9	8
Supply current(@P _{sat}) (mA)	1900	775	1200	850	860
Power added efficiency (%)	26	25	27	26	29

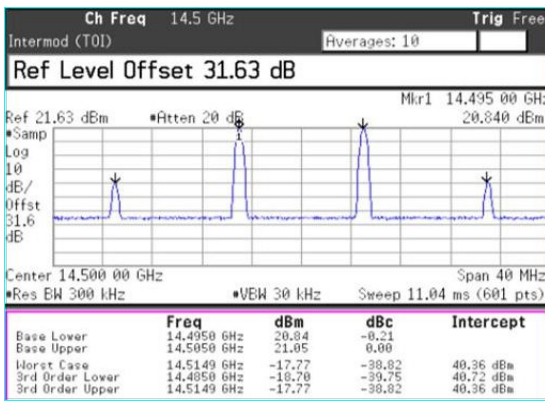


그림 9. 제작된 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기의 출력 3차 교차점 특성 (@14.5 GHz)

Fig. 9 OIP3 characteristics of the fabricated Ku-band 2W MMIC power amplifier(@14.5 GHz)

본 논문에서 개발된 전력증폭기의 성능 수준을 검증하기 위하여 현재 세계적으로 판매되고 있는 GaAs 기반 Ku 대역 2W MMIC 전력증폭기들의 성능을 비교하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 개발된 2W MMIC 전력증폭기는 기존에 발표된 GaAs 기반 Ku 대역 2W급 MMIC 전력증폭기 상용제품들과 비교하여 출력전력 특성은 동등하며 이득특성과 전력부가효율은 더 우수한 결과를 얻었다.

IV. 결론

본 논문에서는 Ku 대역에서 동작하는 2W MMIC 전력증폭기를 개발하였다. 개발된 2W MMIC 전력증폭기는 on-wafer 측정 및 지그에 조립된 상태로 측정되었다. 지그에 조립된 2W MMIC 전력증폭기의 측정결과, 13.75 GHz에서 14.5 GHz까지의 동작주파수 범위에서 29 dB의 이득과 -13 dB 이하의 입/출력 반사계수 특성을 얻었다. 40 dBm의 출력 3차 교차점 특성을 얻었으며 33.4 dBm의 포화 출력전력을 얻었다. 특히 전력부가효율은 29 %로 기존에 발표된 GaAs 기반의 상용제품들에 비하여 높은 결과를 얻을 수 있었다. 추후 패키지화 및 신뢰성 시험등을 거쳐서 국내 최초로 Ku 대역에서 동작 가능한 2W MMIC 전력증폭기의 상용 제품화가 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 산하 (재)충청지역 사업평가원 융합전자기기 선도산업의 지원에 의해 수행 되었습니다. 또한 본 연구는 시스템반도체 기반조성사업의 설계 톨 지원을 받아 수행되었습니다. 그리고 본 연구는 한밭대학교 연구년 기간에 수행되었습니다.

REFERENCES

[1] H. Z. Liu, C. C. Wang, Y. H. Wang, J. W. Huang, C. H. Chang, W. Wu, C. L. Wu, C. S. Chang, "A four-stage Ku-band 1 watt PHEMT MMIC power amplifier", in *Proceeding of IEEE GaAs IC Symposium*, pp. 33-36, 2002.

[2] A. Bessemoulin, "A 1-Watt Ku-band Power Amplifier MMIC using Cost-effective Organic SMD Package," in *Proceeding of IEEE 12th GAAS Symposium*, pp. 587-590, Amsterdam, 2004.

[3] C. H. Lin, H. Z. Liu, C. K. Chu, H. K. Huang, Y. H. Wang, C. C. Liu, C. H. Chang, C. L. Wu, "A Fully Matched Ku-band 9W PHEMT MMIC High Power Amplifier," in *Proceeding of IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium Symposium*, pp. 165-168, 2006.

[4] C. H. Lin, H. Z. Liu, C. K. Chu, H. K. Huang, C. C. Liu, C. H. Chang, C. L. Wu, C. S. Chang, Y. H. Wang, "A Compact 6.5-W PHEMT MMIC Power Amplifier for Ku-Band Applications," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 17, no. 2, pp. 154-156, 2007.

[5] M. Chakravarti, P. Venkateshwarlu, R. R. Reddy, "A 2Watt Ku-band MMIC power amplifier design," in *Proceeding of IEEE Applied Electromagnetics Conference*, pp. 1-4, 2011.

[6] Adeline Dechansiaud, "Design of an Integrated Cascode Cell for Compact Ku-Band Power Amplifiers," in *Proceeding of 42nd European Microwave Conference*, pp. 1091-1094, Amsterdam, 2012.

[7] "HMC949," *Hittite microwave corporation data sheet*, v02.0211.

[8] "ASTRA 2154011," *ATML data sheet*, 2007.

[9] "TGA2510," *TriQuint Semiconductor data sheet*, 2009.

[10] "AM42-0007-DIE," *MA-COM Technology Solutions data sheet*.



류근관(Keun-Kwan Ryu)

1992년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학사
 1994년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학석사
 2000년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학박사
 2000년 3월 ~ 2003년 1월 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원
 2003년 3월 ~ 현재 국립한밭대학교 전자·제어공학과 교수
 ※관심분야 : 초고주파용 능동/수동 회로 설계



안기범(Ki-Burm Ahn)

1998년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학사
 2000년 8월 광운대학교 전파공학과 공학석사
 2000년 9월 ~ 2005년 8월 주에이에스비 선임연구원
 2005년 8월 ~ 2010년 9월 한국전자통신연구원 위성무선융합기술연구부 선임연구원
 2010년 10월 ~ 현재 주에이에스비 수석연구원
 ※관심분야 : 초고주파용 능동/수동 회로 설계



김성찬(Sung-Chan Kim)

1999년 2월 동국대학교 전자공학과 공학사
 2001년 2월 동국대학교 전자공학과 공학석사
 2006년 2월 동국대학교 전자공학과 공학박사
 2006년 3월 ~ 2007년 2월 밀리미터파 신기술 연구센터 박사후연구원
 2009년 한국전자통신연구원 초빙연구원
 2007년 3월 ~ 현재 국립한밭대학교 전자·제어공학과 교수
 ※관심분야 : 밀리미터파 소자 및 회로 설계