
전력제어 직접변환 수신 6단자 소자 설계 및 제작

김영완*

Design and implementation of power-controlled front-end module for direct conversion receiver

Young-Wan Kim*

요 약

본 논문에서는 국부발진 신호와 수신 RF 신호 전력을 제어할 수 있는 전력제어 6단자 소자를 구성하고 설계 제작하였다. 가변적인 6단자 수신 신호 전력을 제어하여 일정한 전력 세기를 갖는 6단자 소자 출력 신호로 유지하여 전력검파기의 포화 및 성능 열화를 방지할 수 있는 직접변환 6단자 구조를 제안하였다. 이를 위하여 직접변환 수신 방식의 성능을 개선하고 유지할 수 있는 전력제어 6단자 소자를 해석하고, 전력제어 소자와 6단자 소자를 구현하였다. 제작된 전력제어 6단자 소자는 1.69 GHz 주파수 대역에서 36 dB의 전력 제어와 약 1.6 dB 이내의 이득차, 그리고 약 4° 이내의 위상차를 갖는 양호한 수신 전처리기 성능을 나타내었다.

ABSTRACT

The power-controlled six-port element that can control the local oscillator signal power and receiving RF signal power was designed and implemented in this paper. The direct conversion six-port element configuration was proposed, which provides the constant six-port output power by controlling the six-port input power with various signal strength. The direct conversion six-port element protects the power detector element of six-port receiver from the saturation status and compensates the transmission performance degradation. For implementation of power-controlled six-port element, the power-controlled six-port element including the power controller was analyzed. The implemented power-controlled six-port element shows the power control capability of 36 dB and gain imbalance of about 1.6 dB, phase imbalance of about 4° in the frequency range of 1.69 GHz. The measured results show the good performance as direct conversion front-end element.

키워드

전력제어 6단자 소자, 직접변환 전처리기, 직접변환 수신 소자

Key word

Power-controlled six-port element, Direct conversion FEM, Direct conversion receiving element

* 군산대학교 (ywkim@kunsan.ac.kr)

접수일자 : 2010. 03. 15

심사완료일자 : 2010. 05. 12

I. 서론

직접변환 수신 방식은 전송 링크 신호와 동일한 주파수를 갖는 국부발진 신호를 사용하여 수신 RF 신호를 기저대역 신호로 변환하여 정보를 복원한다[1][2]. 수동형 직접변환 방식은 6(5) 단자 소자를 전처리기로 사용하여 수신 RF 신호와 국부발진 신호를 위상 조합하여 3개 이상의 출력 신호를 발생한다. 6단자 소자의 출력 신호는 전력 검파기에 의해 전송된 정보 신호를 전력 검파하여 정보 신호를 복원한다[3][4]. 이러한 전력 검출기 회로는 수신 전송 신호의 진폭 및 위상 신호를 선형적으로 검파하여야 한다. 즉 일정한 범위내의 전력수신이 요구되며, 포화 상태를 방지하여 수신 성능 열화 현상을 방지하여야 한다. 따라서 직접변환 구조의 수신 성능은 수신 RF 신호와 국부발진 신호의 전력에 따라 변화하므로 성능 개선을 위한 전력제어가 요구된다.

본 논문에서는 6단자 직접변환 수신방식의 수신 RF 신호와 국부발진 신호의 전력에 의존하는 가용성 제한과 성능 변화에 대한 문제점 등을 해결할 수 있는 전력 제어 집중소자형 6단자 소자 구조를 제안하고 구현한다. 전력 제어 6단자 소자는 국부발진 신호와 수신 RF 신호 전력 검출 및 비교제어기, 전력 제어 집중소자형 6단자 소자, 그리고 수신 RF 신호와 국부발진 신호 전력분배기를 포함하여 구성된다.

국부발진 신호 전력 대비 수신 RF 신호 전력 제어 6단자 소자 구현으로 국부발진 및 수신 RF 신호 전력 세기에 따라 변화하는 수신 성능 저하를 제거하고 일정한 성능을 유지할 수 있다.

II. 전력제어 직접변환 6단자 소자

2.1 전력제어 직접변환 6단자 소자 구성

전력제어 직접변환 6단자 소자는 그림 1과 같은 구성을 갖는다. 전력제어 집중소자형 6단자 소자는 저잡음 증폭기 출력 신호를 입력받고, 상기 입력된 수신 신호를 일정한 전력비로 배분하는 수신 RF 신호 전력분배기와 국부발진 출력 신호를 입력받고, 입력된 국부발진 신호를 일정한 전력비로 배분하는 국부발진 신호 전력분배기, 전력 배분된 수신 RF 신호와 전력 배분된 국부발진

신호를 검파하고 비교하는 수신 RF 신호와 국부발진 신호 전력 검출 및 비교제어기, 그리고 제어 신호에 의해 수신 RF 입력 신호와 국부발진 입력 신호를 전력 제어하는 전력 제어 6단자 소자로 구성된다.

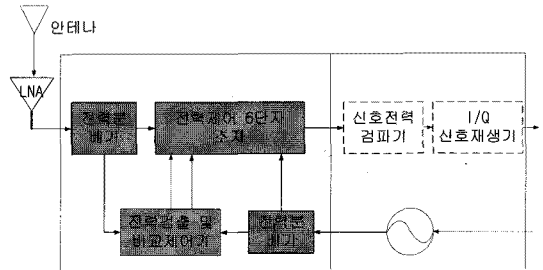


그림 1. 전력제어 6단자 소자 구성 전처리기.
Fig. 1. Power-controlled six-port front-end element.

여기서, 전력제어 6단자 소자는 그림 2와 같이, 6단자 소자와 수신 RF 신호와 국부발진 입력 신호를 일정한 크기로 증폭하는 증폭기, 그리고 입력 제어신호에 의해 요구되는 신호 크기로 전력 세기를 조절하는 전력 감쇠기로 구성된다.

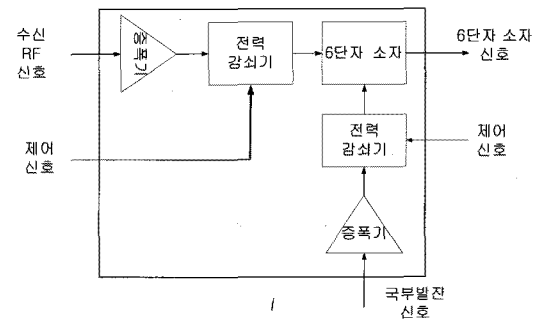


그림 2. 전력제어 6단자 소자 구성도.
Fig. 2. Configuration of power-controlled six-port element.

수신 RF 신호와 국부발진 신호 전력 검출 및 제어기는 그림 3과 같이 전력 배분된 수신 RF 신호와 전력 배분된 국부발진 신호를 전력 검출하는 검출기와 전력 검파된 신호를 비교하여 수신 RF 입력 신호와 국부발진 입력 신호의 전력 세기를 제어하는 신호를 발생하는 비교 제어기로 구성된다. 여기서 검출기는 다이오드 검파기, 검파 신호의 고차 주파수 성분을 제거하는 $\lambda/4$ 개방 스텐브와 저역통과필터로 구성된다.

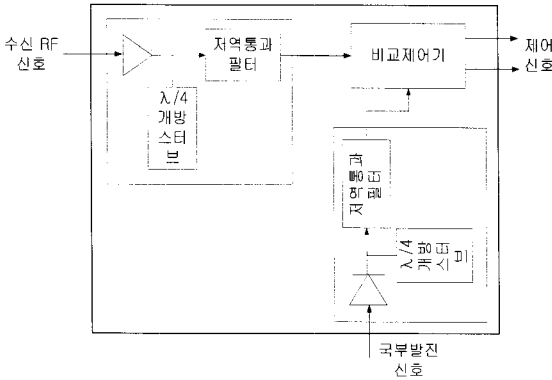


그림 3. 전력검출 및 비교제어기 구성도.
Fig. 3. Configuration of power detection and comparison-controller.

2-2 전력제어 직접변환 6단자 소자 동작

수신기에 입력되는 저잡음 증폭기 출력 신호는 수신 전처리 장치에 입력되며, 입력된 신호는 전력분배기에 의해 전력제어 6단자 소자의 수신 RF 입력 신호와 전력 검출 및 비교제어기의 입력 신호로 전력 분배된다. 여기서 전력분배기는 다음과 같은 산란 계수([S]_{pd})를 갖는다.

$$[S]_{pd} = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

수신 환경에 따라 전력값이 변하는 저잡음 증폭기 출력 신호의 분배된 수신 RF 입력 신호는 수신 성능 향상과 유지를 위하여 일정한 전력 세기를 갖는 전력제어 RF 입력 신호로 제어된다. 분배된 수신 RF 신호의 전력 제어를 위한 제어 신호는 또 다른 전력 분배된 수신 RF 신호의 전력을 검출하고 비교하는 전력 검출 및 비교제어기에서 발생된다. 전력 검출 및 비교제어기에 입력되는 전력 분배된 수신 RF 신호는 다이오드 검파기에서 반파 정류되며, 출력 신호의 고주파 신호를 제거하기 위하여 λ/4 개방 스테브와 지역통과필터에 의해 반파 정류 신호의 DC 신호 성분이 비교제어기로 입력된다. 또한, 전력제어 6단자 소자에 입력되는 국부발진 입력 신호의 세기는 먼저, 신호 전력 검파기의 포화를 방지하고 향상된 수신 성능을 유지하기 위하여 일정한 값을 갖는 전력제어 국부발진 입력 신호로 제어되며, 아울러 국부발진 입력

신호의 세기는 전력제어 RF 입력 신호와 일정한 값으로 유지되기 위하여 동일한 과정을 수행한다.

비교제어기는 전력 검파 신호를 입력하여 다음과 같은 과정을 수행한다. 먼저, 국부발진 입력 신호의 세기에 의한 신호 전력 검파기의 포화를 방지하기 위하여, 일정한 기준 신호값(예시, -27 dBm)을 갖는 전력제어 국부발진 입력 신호에 등가적인 전력 감쇠기 제어 기준 신호값(A)을 설정한다. 비교제어기는 일정한 기준 신호값을 갖는 전력제어 국부발진 입력 신호를 유지하기 위하여 기준 신호값, A와 국부발진 신호 전력 검파 신호를 비교하고, 일정한 세기를 갖는 전력제어 국부발진 입력 신호를 위한 국부발진 신호 전력 감쇠기 제어 신호를 발생한다.

또한, 수신 RF 입력 신호는 전력제어 국부발진 입력 신호와 동일한 전력으로 유지되기 위하여, 비교제어기는 수신 RF 입력 신호 전력과 비교하는 기준 신호값, B를 설정하고, 기준 신호값, B와 수신 RF 입력 신호 전력 검파 신호를 비교하여 일정한 세기를 갖는 RF 입력 신호를 위한 수신 RF 입력 신호 전력 감쇠기 제어 신호를 발생한다.

비교제어기의 제어 신호는 디지털 전력 감쇠기인 경우, 디지털 제어 신호이며, 아날로그 전력 감쇠기인 경우, 그림 4와 같이 펄스 지속 시간(T_b)을 조절하여 DC 제어 신호 크기가 생성되는 펄스 제어 신호로 발생된다. 펄스 제어 신호는 시변수를 결정하는 저항과 커패시터로 구성된 펄스 제어 신호 정류 회로를 통하여 DC 제어 신호로 생성되어, 전력제어 6단자 소자의 전력 감쇠기 제어 신호로 작용한다.

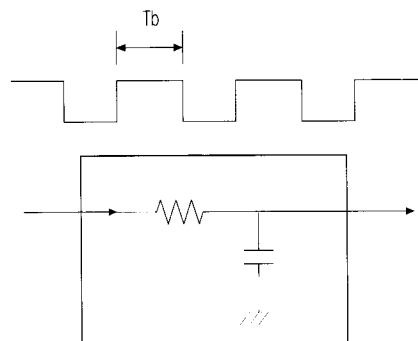


그림 4. 디지털 제어신호 DC 정류.
Fig. 4. DC rectification of digital control signal

전력제어 6단자 소자는 상기와 같은 과정으로 수신 RF 입력 신호와 국부발진 입력 신호를 수신한다. 전력제어 6단자 소자는 낮은 주파수 영역에서 소형화가 가능한 동축케이블형 집중소자형 전력 결합기와 저항형 전력 분배기로 구성되는 경우, 집중소자형 6단자 소자의 산란 계수([S]_{sp})는 다음과 같다.

$$[S]_{sp} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-j}{\sqrt{2}} + j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-j}{\sqrt{2}} + 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{\sqrt{2}} - 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{\sqrt{2}} + j \\ \frac{-j}{\sqrt{2}} & \frac{-j}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & \frac{-1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ +j & +1 & -1 & +j & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

단자 5 입력 신호에 대해 단자 1 출력 신호와 단자 2 출력 신호는 동일한 -90° 위상값을 갖는다. 그리고 단자 3 출력 신호와 단자 4 출력 신호는 동일한 -180° 위상값을 가지며, 단자 1 출력 신호와 단자 2 출력 신호와는 90° 위상차를 갖는다. 또한, 단자 6 입력 신호에 대해 단자 1 출력 신호와 단자 4 출력 신호는 동일한 +90° 위상값을 가지며, 단자 2 출력 신호는 동일한 위상값을 그리고 단자 3 출력 신호는 -180° 위상값을 갖는다.

한편, 집중소자형 6단자 소자의 이득 특성을 살펴보면, 전력분배기의 산란 계수와 전력 결합기의 산란 계수 간에 일정한 전력차(3dB)가 발생하므로, 전력제어 6단자 소자에 동일한 전력 세기를 갖는 RF 신호와 국부발진 입력 신호가 입력되는 경우에는 일정한 전력차(3 dB)가 발생된다. 이 경우, 전력제어 신호에 의해 동일한 전력 세기로 제어(RF 입력 신호 3 dB 증가)되어 집중소자형 6단자 소자의 산란 계수([S]_{sp-2})는 식 (3)과 같이 동일한 이득 특성(전력 손실)을 갖는다.

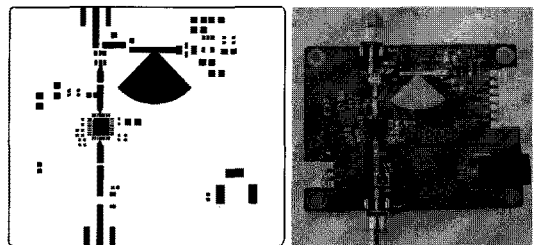
$$[S]_{sp-2} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -j + j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -j + 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 - 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 + j \\ -j & -j & -1 & -1 & 0 & 0 \\ +j & +1 & -1 & +j & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)과 같이 동일한 이득 특성(전력 손실)과 90° 위상값을 갖는 전력제어된 집중소자형 6단자 소자를 이용한 수신 전처리기의 출력 신호는 각각의 신호 전력 검파기에 입력되어 다이오드 검파기에 의해 기저대역 정보 신호로 정류되어 복원된다.

III. 전력제어 직접변환 수신 전처리기 설계 및 제작

전력제어 6단자 소자는 1.69 GHz 대역에서 동작하는 전력제어 소자와 집중소자형 6단자 소자 그리고 제어부로 설계 제작된다. 제어부는 별도 제작없이 PC 기반 제어 프로그램을 활용하였으며, 전력제어 소자 구현을 위한 기관은 유전율 10.2의 RO3210을 사용하여 설계 제작하였다.

전력제어 소자는 수신 RF 신호를 증폭하고 출력 제어 신호에 의해 신호를 조절하는 감쇠기 그리고 출력 신호의 전력 세기를 검출하는 검파기로 설계되었으며, 그림 5는 전력제어 회로 구성과 제작된 소자를 보여준다. 증폭과 감쇠기는 HMC625를 사용하였으며, 전력 검파는 Schottky 다이오드 검파 회로를 설계하였다. 전력제어 소자는 가변적인 수신 RF 신호(-31 dBm ~ +5 dBm)를 일정한 크기(-27 dBm)를 갖는 신호로 전력 제어한다. 그림 6은 수신 신호를 일정한 크기(-27.17 dBm)로 전력 조정하는 기능을 측정하는 구성도이다.



(a) (b)
그림 5. 전력제어 소자 회로 설계
(a) 회로 layout과 (b) 제작도.
Fig. 5. Power controller circuit design
(a) circuit layout and (b) implementation.

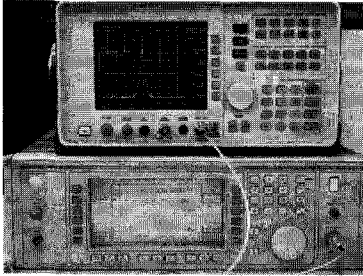


그림 6. 전력제어기 측정.
Fig. 6. Power controller measurement.

그림 7은 전력분배기와 twist-wire 동축케이블을 사용하여 제작된 전력제어 6단자 소자를 보여준다.

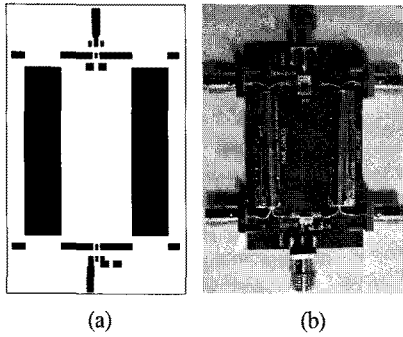


그림 7. 전력제어 6단자 소자 회로 설계
(a) 회로 layout과 (b) 제작도.
Fig. 7. Power-controlled six-port element circuit design
(a) circuit layout and (b) implementation.

그림 8은 제작된 전력제어 6단자 소자의 성능 측정값이다.

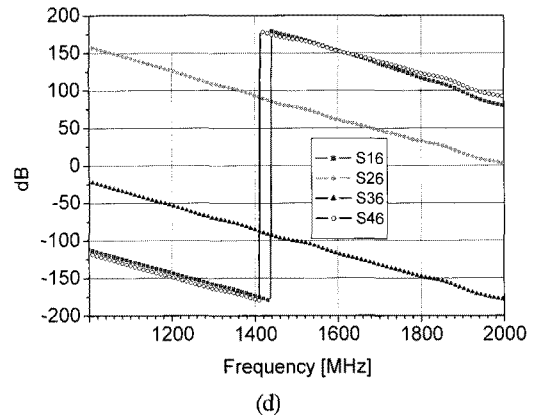
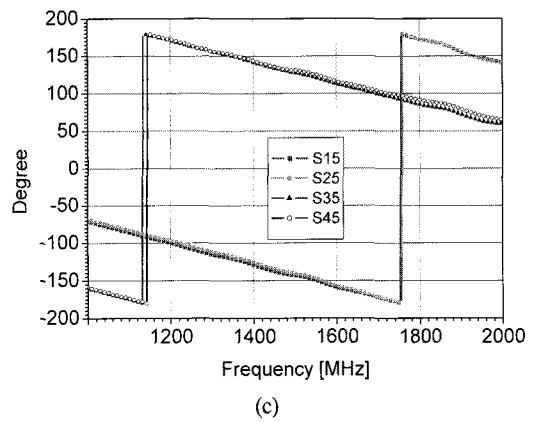
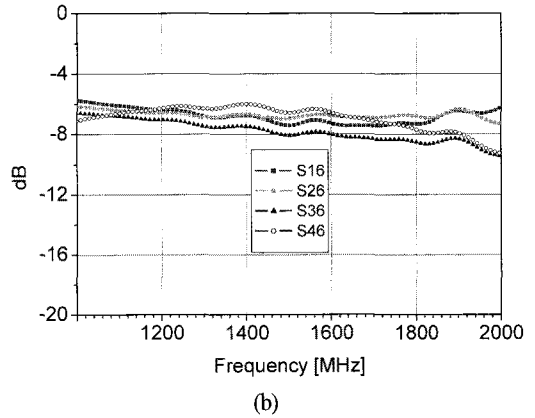
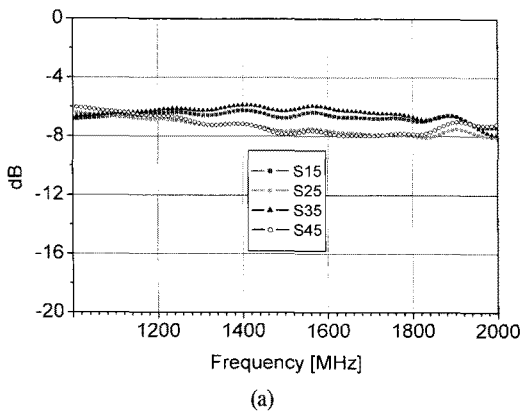


그림 8. 제작된 전력제어 6단자 소자 측정값
(a) 단자 5 전달이득과 (b) 단자 6 전달이득, 그리고
(c) 단자 5 전달위상과 (d) 단자 6 전달위상.
Fig. 8. Performance of measured power-controlled six-port element, transmission gain of (a) port 5 and (b) port 6, transmission phase of (c) port 5 and (d) port 6.

그림 8(a)와 그림 8(b)로부터 설계 중심주파수 1.69 GHz 영역에서 단자 5와 단자 6의 전달이득 특성을 살펴보면, 단자 5에 대해서 약 -6.35 dB ~ -7.95 dB이며, 단자 6에 대한 전달 이득은 약 -6.92 dB ~ -8.28 dB이다. 또한, 그림 8(c)로부터 단자 5에 대하여 단자 1과 단자 2, 그리고 단자 3과 단자 4의 위상은 동위상값을 가지며 단자 간에는 90° 위상차를 갖는 것을 알 수 있다. 아울러 그림 8(d)로부터 단자 6에 대한 위상 관계도 식 (3)과 같은 동일한 위상 관계를 갖는 것을 알 수 있다. 따라서 제작된 전력제어 6단자 소자는 식 (3)과 같은 이득과 위상 관계를 갖는 특성을 나타내고 있으며, 약 1.6 dB 이내의 이득차와 약 4° 이내의 위상차를 갖는 양호한 성능을 갖는다.

IV. 결론

본 논문에서는 국부발진 신호와 수신 RF 신호 전력을 제어할 수 있는 전력제어 6단자 소자를 구성하고 설계 제작하였다. 6단자 소자 출력 신호의 전력을 제어하여 전력 검파기의 포화 및 성능 열화를 방지하고 직접변환 수신 방식의 성능을 개선하고 유지할 수 있는 전력제어 6단자 소자를 해석하여 전력제어기와 6단자 소자를 구현하였다. 제작된 전력제어 6단자 소자는 가변적인 입력 신호 전력을 일정한 전력으로 유지하여 넓은 범위의 입력 신호에 대해 동일한 성능을 유지하였다. 이러한 전력제어 6단자 소자는 약 1.6 dB 이내의 이득차와 약 4° 이내의 위상차를 갖는 양호한 수신 전처리 성능을 나타내었다.

참고문헌

[1] S. O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu, R. G. Bosisio and T. A. Denidni, "Ka-band analog front-end for software-defined direct conversion receiver", *IEEE Trans. MTT*, vol. 53, no. 9, September 2005.

[2] 양우진, 김영완, "Six-Port 직접변환을 이용한 QPSK 수신기 설계 및 제작," *한국전자과학회논문지*, 제 18 권, 제 1호, pp. 15-23, 2007.

[3] Shinichiro, et al, "A software defined radio platform with direct conversion: SOPRANO," *Kluwer Journal on Wireless Personal Communications*, pp. 1-8, 2001.

[4] S. O. Tatu, E. Moldovan, Ke Wu and Renato G. Bosisio, "A new direct millimeter-wave six-port receiver," *IEEE Trans.* vol. 49, no. 12 December 2001.

저자소개

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