

K 대역 브릭형 능동 송수신 모듈의 설계 및 제작

A Design and Fabrication of the Brick Transmit/Receive Module for K Band

이 기 원 · 문 주 영 · 윤 상 원

Ki-Won Lee · Ju-Young Moon · Sang-Won Yun

요 약

본 논문에서는 능동 위상 배열 레이더 시스템에 적용 가능한 브릭형 구조의 능동 송수신 모듈을 설계 및 제작하였다. 제안한 브릭형 구조의 능동 송수신 모듈은 MCM(Multi-Chip Module) 형태이며, 타일형 능동 송수신 모듈에 적용할 수 있도록 하기 위하여 캐비티 구조와 주요 특성을 만족하도록 설계하였다. 제작한 브릭형 능동 송수신 모듈의 시험을 통하여 목표로 한 전기적 특성을 만족함을 확인하였으며, 능동 위상 배열 레이더에 운용 가능성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we have designed the Brick Transmit/Receive Module for K-band which can be applied to active phase array radar system. The proposed structure of T/R Module for K band is brick type for MCM(Multi Chip Module) form and the satisfaction of tile type T/R Module can apply to structure of cavity and main characteristic. The fabricated brick type T/R Module confirmed the main characteristic for electrical goal performance in test and this structure can be applied to active phase array radar.

Key words : T/R Module, Brick Type, MCM

I. 서 론

전파를 사용한 무선 통신은 군수 및 민수 분야에 폭넓게 이용되고 있다. 특히 최근 군수 분야인 레이더와 민수 분야인 통신 시스템에 모두 적용되는 구성 요소로써 송수신 모듈(transmit/receive module)의 집적화와 초소형화에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다^{[1],[2]}.

송수신 모듈은 안테나로 원하는 출력 전력을 송신하고, 이어서 안테나에서 들어오는 신호를 수신하는 회로이다^[3]. 송수신 모듈 구조로는 타일형(tile type) 구조와 브릭형(brick type) 구조가 있다. 타일형

구조는 시스템 모듈이 적층되는 방향으로 송수신 신호가 전송되는 구조이고, 브릭형 구조는 송수신 신호가 시스템 모듈과 동일 평면상에 평행한 방향으로 전송되는 구조이다. 송수신 모듈 구조에 따른 특징을 살펴보면 다음과 같다. 타일형 구조는 하나의 기판에 소자를 장착하지 않고, 다수의 기판에 소자를 장착하게 한다. 그리고 소자가 장착된 기판을 적층시켜 층과 층 사이로 송수신 신호가 전달되는 3차원 구조를 형성한다. 반면에 브릭형 구조는 타일형 구조와 달리 적층 구조가 아닌 하나의 기판에 여러 소자를 장착하여 평면인 2차원 구조로 이루어진다^[4].

「본 연구는 한국과학기술원 전파탐지특화연구 센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.」
서강대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

· 논문 번호 : 20080523-19S
· 수정완료일자 : 2008년 8월 5일

본 논문에서는 K 대역 능동 위상 배열 레이다에 적용 가능한 능동 송수신 모듈을 브릭형 구조로 설계 및 제작하였다.

II. 브릭형 능동 송수신 모듈 설계

본 논문에서 제안한 K 대역 능동 위상 배열 레이다에 적용 가능한 능동 송수신 모듈의 구조는 그림 1과 같다.

기본적인 능동 송수신 모듈의 구조에 비하여 수신 경로의 이득을 확보하기 위하여 LNA를 추가하였다. 그리고 Limiter를 대신하여 Shutter 역할을 하는 Switch를 사용하여 수신 경로를 보호할 수 있는 구조로 결정하였다.

표 1, 2는 레이다 요구 사항과 디자인 파라미터를 나타내고 있다. 능동 위상 배열 레이다는 각 배열 소자의 진폭과 위상을 각각 제어하여 개구면의 전력 분포도를 변화시켜 다양한 부엽 준위를 갖는 빔 형성과 빔 조향이 가능하다. 제안한 구조에 따른 브릭형 능동 송수신 모듈의 크기는 배열 소자의 간격을

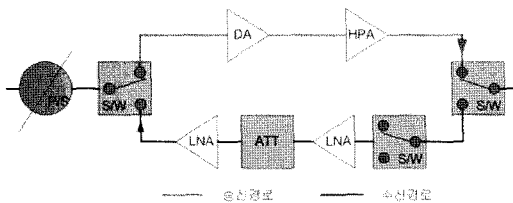


그림 1. 제안한 능동 송수신 모듈 구조
Fig. 1. The proposed structure of T/R module.

표 1. 레이다 요구 사항
Table 1. Radar requirements.

탐지 거리, R_{max}	10 km
레이다 단면적	2 m ²
목표물 최대 속도	500 m/s
레이다 탐지 범위	20°

표 2. 디자인 파라미터
Table 2. Design parameters.

수신 신호대 잡음비	14 dB
시스템 손실	10 dB
볼츠만 상수	1.38×10 ⁻²³ J/K

통해 결정된다. 배열 소자의 간격은 배열 형태, 빔 조향 범위와 Grating lobe 영역에 의하여 결정된다. 표 1과 2에 나타나 있는 파라미터를 이용하여 정사각형 위상 배열 구조와 빔 조향 범위를 -20°~20°으로 하였을 때 식 (1)에 따라 배열 소자의 간격은 약 12.4 mm가 된다.

$$d \leq \frac{\lambda_{\min}}{1 + \sin \theta_{\max}} \quad \text{where} \quad \begin{cases} \lambda_{\min}: & \text{대역내 최소 파장} \\ \theta_{\max}: & \text{최대 빔 조향각} \end{cases} \quad (1)$$

배열 소자 간격으로부터 결정된 송수신 모듈의 크기와 표 1, 2의 파라미터를 바탕으로 레이다 방정식인 식 (2)에 적용한다^{[5],[6]}.

$$R_{\max} = \frac{P_{av} G A_{eff} \sigma E(n)}{(4\pi)^2 k T_0 (NF)(S/N) L_s} t_0 \quad (2)$$

레이다 방정식에 의해 산출된 능동 송수신 모듈의 전기적 목표 성능은 표 3과 같다.

그림 2는 표 3의 능동 송수신 모듈의 목표 성능을 바탕으로 구성한 브릭형 능동 송수신 모듈의 구성도이다.

송신 및 수신 경로에 대한 RF 전력 규격은 표 4와 같고, 송신 이득은 약 27 dB이고, 수신 이득은 약 26 dB, 수신 잡음 지수는 8.37 dB로 목표 성능을 만족함을 확인할 수 있었다. Wire bonding에 의해 발생하는 손실을 고려하여 약 1 dB 정도의 손실을 보상한 소자의 특성을 바탕으로 규격을 산출하였다.

표 3. 능동 송수신 모듈의 전기적 목표 성능
Table 3. The specification of T/R module.

항 목	목표 성능
주파수 범위	17~19 GHz
위상 배열 개수	550개
이득	수신: 24±1 dB 송신: 26±1 dB
잡음 지수	8.4 dB 이하
송신 출력	0.5 W
Duty cycle	20 %, max
정재파비	2:1 이하
위상 조절 범위	4 bit(22.5° step)
이득 조절 범위	4 bit(22.5 dB/1.5 dB step)

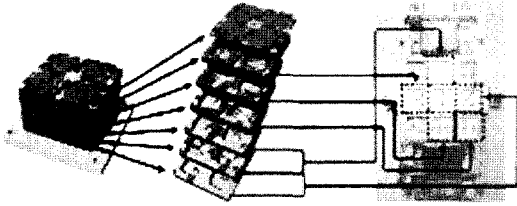


그림 2. 제안한 능동 송수신 모듈 구성도
Fig. 2. The proposed layout of T/R module.

표 4. 송/수신 전력 규격

Table 4. Power budget of transmit and receive.

송신 경로				수신 경로			
	Component	Gain [dB]	NF [dB]	Component	Gain [dB]	NF [dB]	
1	Phase shifter	-5	5.00	1	Switch	-2.75	2.75
2	Switch	-2.75	7.75	2	Switch	-2.75	5.50
3	DA	15	12.25	3	LNA	22	8.30
4	HPA	22	12.34	4	ATT	-5	8.33
5	Switch	-2.75	12.34	5	LNA	22	8.37
					Switch	-2.75	8.37
					Phase shifter	-5	8.37
	TX path total	26.5	12.34		RX path total	25.75	8.37

III. 브릭형 능동 송수신 모듈 제작

그림 3은 제작한 브릭형 능동 송수신 모듈이다. Rogers사의 RO3003 ($\epsilon=3.0$, $h=15$ mil)을 substrate로 사용하였으며, MCM(Multi Chip Module) 형태로 구성하였다. 또한, 타일형 구조의 능동 송수신 모듈에서 나타나는 캐비티 특성을 유지하기 위하여 그림 3과 같이 기구물을 구성하였다.

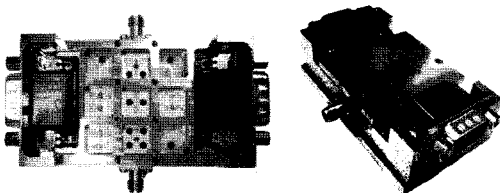


그림 3. 브릭형 능동 송수신 모듈
Fig. 3. Brick type active T/R module.

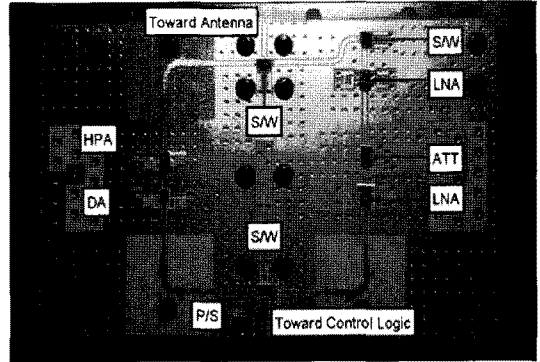


그림 4. 브릭형 능동 송수신 모듈 레이아웃
Fig. 4. Layout of Brick type active T/R module.

타일형 구조에서 나타나는 캐비티 특성을 유지하도록 제작한 브릭형 능동 송수신 모듈의 레이아웃은 그림 4와 같다. 그림 4에서 보는 바와 같이 전원 입력을 위해 기판의 좌·우측 부분에 bias를 위치하여 기구물과 기판에 직각으로 커넥터를 장착하여 전체적인 능동 송수신 모듈을 구성하였다.

표 1의 목표 성능을 기준으로 능동 송수신 모듈의 전기적 특성을 시험하였다.

그림 5는 능동 송수신 모듈의 송신 경로의 이득으로 중심 주파수에서 26 dB의 특성을 확인하였으며 목표 성능을 만족하였다.

그림 6은 수신 경로의 이득 특성으로 중심 주파수에서 수신 경로 이득은 24 dB로 목표 성능을 만족하였다.

출력 전력 특성은 그림 7과 같다. 최대 28.3 dBm @ 17.2 GHz, 최소 24 dBm @ 19 GHz의 출력 전력

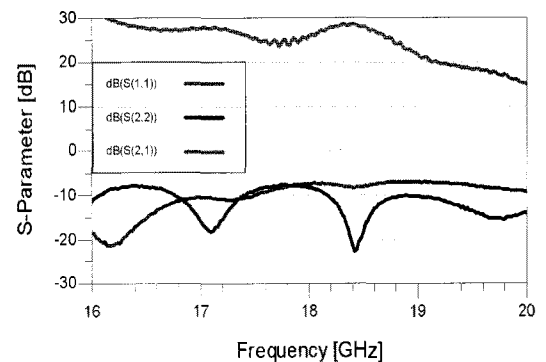


그림 5. 송신 경로 이득 측정 결과
Fig. 5. The result of gain for transmit path.

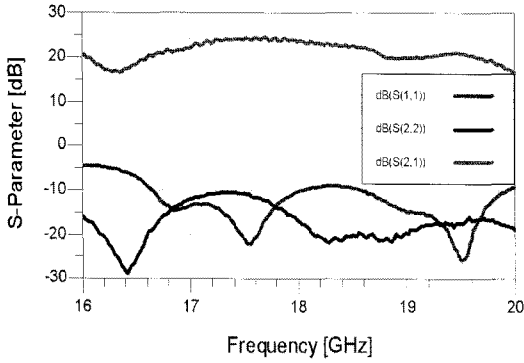


그림 6. 수신 경로 이득 측정 결과
Fig. 6. The result of gain for receive path.

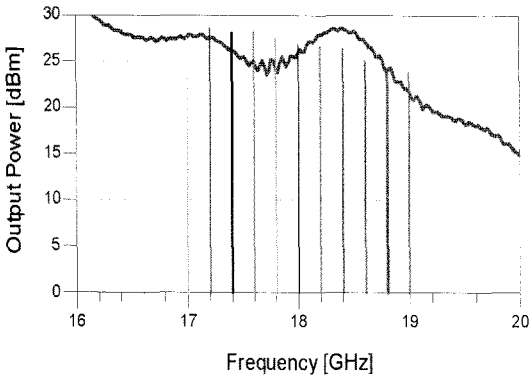


그림 7. 송신 경로 출력 전력 측정 결과
Fig. 7. The result of output power for transmit path.

특성을 확인하였으며, 18.0 GHz에서 목표 성능인 27 dBm(0.5 W)를 만족하는 결과를 확인하였다. 하지만 18.6 GHz 이상의 주파수에 대해서는 목표 성능을 만족하지 못하였다.

목표 성능을 만족하지 못하는 이유는 그림 8의 송신 경로와 수신 경로에 위치한 microstrip bend 형태의 전송 선로에서 손실이 발생하기 때문이다. 타일형 구조의 능동 송수신 모듈에서 나타나는 캐비티 특성을 얻기 위해 본 논문에서 제안한 구조를 사용했다.

Microstrip bend 구조는 그림 9와 같이 약 1.5 dB의 손실을 가지므로 송신 경로에서는 약 3 dB의 손실이 추가되었고, 수신 경로에서는 약 1.5 dB의 손실이 추가되었다.

그림 10은 잡음 지수의 측정 결과이다. 목표 성능인 8.4 dB는 충족하였지만 18.5 GHz 이상의 주파수 대역에서는 수신 경로의 임피던스 정합을 통하여 잡

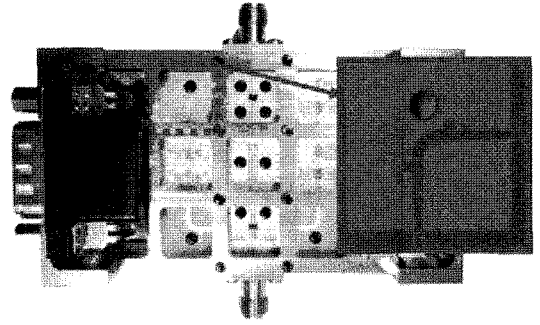


그림 8. Microstrip bend 구조
Fig. 8. The structure of microstrip bend.

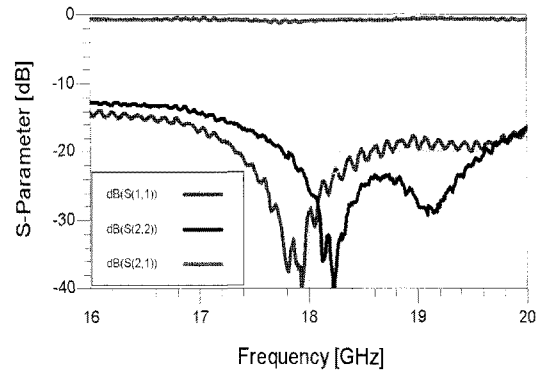


그림 9. Microstrip bend에 의한 손실
Fig. 9. The insertion loss of microstrip bend.

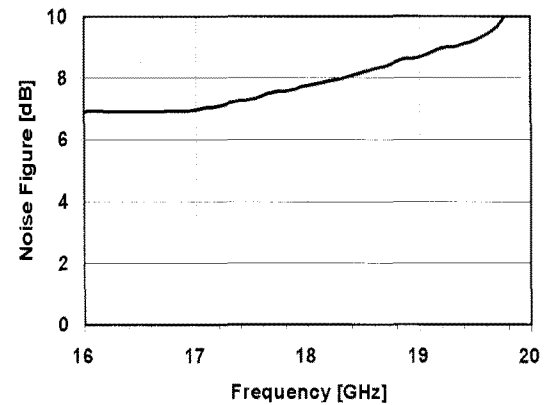


그림 10. 수신 경로 잡음 지수 측정 결과
Fig. 10. The result of noise figure for receive path.

음지수의 평탄도 확보가 추가적으로 필요하다.

송신 경로에서 위상 변화는 그림 11과 같이 0~337.5° 범위 내에 16 state에 대해 22.5° 간격으로 변화시키면서 측정하였다. 주파수별 위상 오차는 state

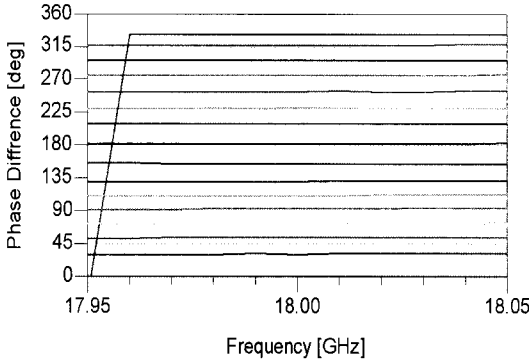


그림 11. 송신 경로 위상 변화 측정 결과
Fig. 11. The result of phase control for transmit path.

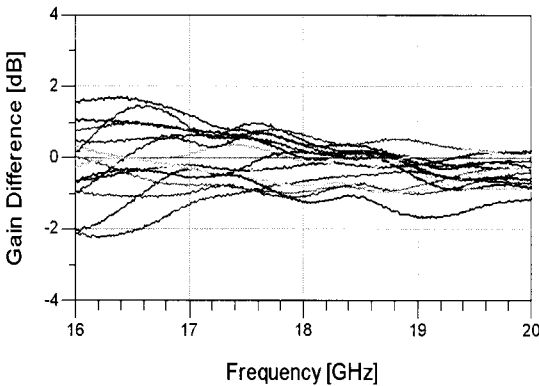


그림 12. 위상 변화에 따른 이득 변화 측정 결과
Fig. 12. The gain variation with phase control.

별로 차이가 있고, 심한 경우 state와 state 사이에 9.7°까지 발생하였으나, 평균적으로 2.2°의 위상 오차를 확인하였다. 이는 실제 시스템에 운용될 경우, 정확한 위상 보정이 필요하다.

그림 12는 위상천이기의 위상 변화시 자체 삽입 손실에 대한 변화에 대한 송신 경로의 이득의 변위를 나타낸 것이다. 17~19 GHz 대역 내에서 ± 1.5 dB의 이득 변화를 확인하였고, 실제 모듈 운용시에 보정 과정이 필요하다.

IV. 결 론

본 논문은 K 대역 능동 위상 배열 레이더에 적용 가능한 브릭형 구조의 능동 송수신 모듈을 구현하였

다. 제작한 능동 송수신 모듈의 송신 경로와 수신 경로의 주요 특성 시험을 통하여 제안한 능동 송수신 모듈의 전기적 목표 성능을 만족하는 결과를 확인하였다. 주파수 변화에 따른 위상 오차와 위상 천이에 따른 이득 변화를 확인하였다. 능동 송수신 모듈이 실제 시스템에 적용하기 위해서 주파수에 따른 위상 오차와 이득 변화에 대한 비선형 특성에 대한 보정이 필요함을 확인하였다. 또한, 브릭형 구조의 능동 송수신 모듈을 타일형 구조의 능동 송수신 모듈로 제작할 경우, 체적 및 무게가 상당히 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 본 논문을 통해 제작한 브릭형 구조의 능동 송수신 모듈의 주요 특성 시험을 확인하였고, 레이더 시스템 차원에서 추가적인 연구를 통한다면 실제 능동 위상 배열 레이더에 운용 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

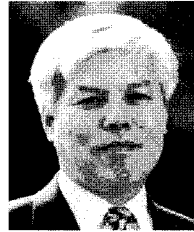
- [1] Nicholas C. Currie, Charles E. Brown, *Principles and Applications of Millimeter-wave Radar*, Artech House, 1987.
- [2] Brue A. Kopp, Michael Borkowski, and George Jerinic, "Transmit/receive modules", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 3, Mar. 2002.
- [3] Mark S. Hauhe, John J. Wooldridge, "High density packaging of X-Band active array modules", *IEEE Transactions on Components on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, vol. 20, no. 3, Aug. 1997.
- [4] David N. Mcquiddy, "Transmit/receive module technology for Z-band active array radar", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 79, no. 3, Mar. 1991.
- [5] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems 3rd Edition*, McGraw-Hill, 2001.
- [6] 이일근 외 6명, 레이더 공학과 전자전 응용, 대영사, 2006년.

이 기 원



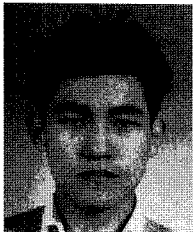
2007년 8월: 공주대학교 정보통신 공학과 (공학사)
2007년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 밀리미터파 회로, 마이크로파 능동 및 수동소자 설계 및 해석

윤 상 원



1977년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1979년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1984년 2월: University of Texas at Austin (공학박사)
1988년 1월~12월: University of Texas at Austin 방문교수
1984년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 초고주파 및 밀리미터파 회로 설계, RF 시스템

문 주 영



2001년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 밀리미터파 회로,

RF 시스템