

# 능동 배열 레이더 시스템 구현을 위한 반도체형 송수신기 설계

## Design of Solid-State Transmitter and Receiver for Active Array Radar System

이유리 · 김종필\* · 이수호 · 정명득\*\*

Yu-Ri Lee · Jong-Pil Kim\* · Soo-Ho Lee · Myung-Deuk Jeong\*\*

### 요 약

본 논문에서는 능동 배열 레이더 시스템에 적용 가능한 S-band, 〇 kW급 반도체형 송수신기의 설계 및 제작 측정에 관해서 소개하였다. 이득 63 dB, 최장 펄스 폭 200 usec, 최대 duty 10 %, 펄스간 안정도 63 dB의 송신 특성을 가지며, 이득 23 dB, 잡음 지수 3.2 dB의 수신 특성을 갖는다. 펄스간 안정도 분석을 위해 펄스 네트워크 분석기를 수신 모드로 사용하여 별도의 실험 셋업을 구성하였다. 측정 결과, 제시된 특성을 모두 만족하는 것을 확인하였다.

### Abstract

This paper presents design and measurement result of S-band, 〇 kW solid-state transmitter and receiver for active array radar system. Transmitter characteristics show 63 dB gain, 200 usec pulse width(max.), 10 % duty(max.) and 63 dB pulse to pulse stability. Receiver characteristics show 23 dB gain and 3.2 dB noise figure. Receiving mode for pulse network analyzer is used for pulse to pulse stability measurement. Measurement results satisfies all specification.

Key words : SSPA, Active Array Radar, MTI, Pulse To Pulse Stability

### I. 서 론

기존의 수동 배열 레이더 시스템은 마그네트론이나 TWTA 등의 높은 출력을 낼 수 있는 진공 소자를 이용한 단일 송신기로 구성되었으나, 능동 배열 레이더 시스템에서는 단일 소자의 출력은 마그네트론이나 TWTA에 비해 낮지만, 이득 및 위상 가변이 용이한 반도체 소자(solid-state)를 이용한 송신기 여러 개를 결합한 형태로 구성된다<sup>[1]</sup>.

반도체 소자를 이용한 송신기를 구현할 경우, 진공 소자를 이용한 송신기와 비교하였을 때 여러 장

점을 지닌다. 반도체 소자를 이용한 송신기의 경우, 수 kV의 DC 전원을 요하는 진공 소자와 달리 수십 V의 비교적 낮은 DC 전원 사용이 용이하다. 이로 인해 전원 공급기의 크기와 무게가 줄어드는 이점을 가진다. 또한, 여러 개의 송신기를 결합하기 때문에 송신기 중 일부가 고장나더라도 전체 성능에 치명적인 영향을 미치지 않고 기능을 수행할 수 있는 이점 (graceful degradation)이 있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 능동 배열 레이더 시스템에 적용 가능한 S-band, 〇 kW의 반도체형 송수신기 설계와 측정에 관한 내용을 기술하였다.

「이 연구는 국방과학연구소(ADD)의 체계개발 사업비로 연구되었음.」

LIG넥스원(LIGNex1)

\*아주대학교 전자공학과(Electronic Engineering, Ajou University)

\*\*국방과학연구소(Agency of Defence Development)

· 논문 번호 : 20090911-107

· 교신저자 : 이유리(e-mail : leeyuri@lignex1.com)

· 수정완료일자 : 2010년 12월 7일

## II. 반도체형 송수신기 설계

반도체형 송수신기는 펄스 변조된 신호를 고출력 증폭하여 안테나로 전달하고, 안테나로부터 수신된 신호를 저잡음 증폭하는 기능을 한다. 또한 상위 시스템과 고속의 LVDS(Low Voltage Differential Signaling) 통신을 통하여 상위 시스템의 명령을 수행하고, 반도체형 송수신기의 상태를 전달한다. 본 논문에서 설계한 반도체형 송수신기의 사양은 표 1과 같다. 이와 같은 반도체형 송수신기의 사양은 적용 할 능동 배열 레이더 시스템의 탐지 거리 및 기능 등에 의한 요구 사항에 따라 결정된다.

하나의 능동 배열 레이더 시스템에는 동일한 성능을 갖는 여러 개의 반도체형 송수신기가 적용된다. 다수의 반도체형 송수신기가 동일한 성능을 내기 용이하도록 내부 구성을 기능별로 모듈화하여 설계하였다. 또한 온도 등과 같은 주변 환경의 변화에 출력 전력 및 이득을 일정하게 유지하고, 반도체 송수신조립체 간의 차이를 줄일 수 있도록 ALC(Automatic Level Control) 기능을 갖도록 설계하였다. 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 Look-up table을 참조하는 디지털 방식이 아닌 아날로그 루프 방식을 사용하였다. 아날로그 루프 방식을 사용하면 오차가 0%에 가까우며, 펄스 신호 내에서 droop까지도 개선할 수 있는 장점을 갖는다.

주어진 사양을 만족하는 송수신기를 구현하기 위해 그림 1과 같이 구성하였다. 입력된 펄스 RF 신호를 0 kW의 고출력 신호로 증폭하는 송신 기능을 구현하기 위해서 구동 모듈과 4개의 고출력 모듈을 설계하였다. 구동 모듈의 출력 신호를 4개의 고출력

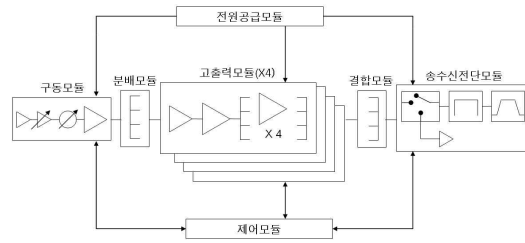


그림 1. 반도체형 송수신기 구성도  
Fig. 1. Block diagram of solid state transceiver.

모듈로 공급하기 위해 Anaren사의 40276을 분배 모듈로 사용하였으며, 고출력 모듈의 출력 신호를 결합하기 위해 고출력 저손실의 결합 모듈을 설계하였다. 송수신 경로를 분리하고 수신된 미약한 신호를 저잡음 증폭하기 위해 송수신 전단 모듈을 설계하였다. 제어 모듈은 각 모듈에 제어 신호를 전달하고 모듈의 고장 신호를 수집한다. 또한 반도체형 송수신기를 과신호로부터 안정적으로 동작할 수 있도록 감시 회로와 보호 회로를 포함한다. 각 모듈에 필요한 전원은 인가된 DC 신호를 전원 공급 모듈을 통해 down converting하여 공급한다.

### 2.1 구동 모듈 설계

구동 모듈은 입력된 펄스 RF 신호를 4개의 고출력 모듈이 구동 가능한 레벨로 증폭하는 것을 주요 기능으로 한다. 송수신기의 출력 위상과 레벨을 조정하기 위한 위상 가변 기능과 레벨 가변 기능을 포함하고, 과도한 펄스 등으로부터 송수신기를 보호하기 위한 송신 출력 차단 기능을 포함한다. 구동 모듈은 RF 입력 레벨의 변화와 위상 가변기, 스위치 등의 내부 소자의 동작에 따른 삽입 손실의 변화에 영향이 적은 장점을 가진다. 그림 2에 구동 모듈의 RF 구성도를 나타내었다.

A부분은 커플러와 검출기로 구성되어 있다. 입력된 펄스 RF 신호를 일부 커플링하여 제어 모듈에 전달하여 과신호로부터 보호하기 위한 모니터링 신호로 이용한다. 제어 모듈에서는 반도체형 송수신기를 과신호로부터 보호하기 위해 D영역의 스위치를 제어하게 된다. B부분은 최종단에 위치한 소자가 포화 영역에서 동작하도록 3개의 증폭기로 구성되어 있다. 전달 받은 RF 입력 신호가 일정 영역에서 변화

표 1. 반도체형 송수신기 사양  
Table 1. Specification of solid state transceiver.

주파수 범위		S-band
송신 특성	출력 전력	0 kW
	이득	63 dB
	최장 펄스 폭	200 us
	최대 duty비	10 %
	펄스간 안정도	63 dB min.
수신 특성	이득	23 dB Typ.
	잡음 지수	3.2 dB max.

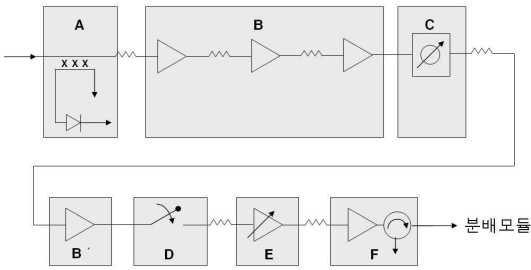


그림 2. 구동 모듈 RF 구성도  
Fig. 2. Block diagram of drive module.

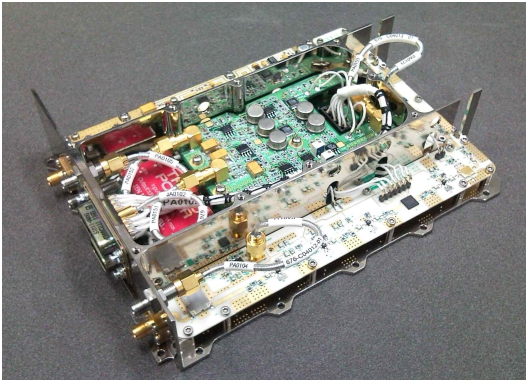


그림 3. 구동 모듈 제작 사진  
Fig. 3. Photo of drive module.

하여도 일정한 출력이 C부분에 전달되도록 하였다. B'부분 역시 포화 영역에서 동작하도록 구성하여 C 부분 위상 가변기의 위상 변화에 따라 삽입 손실이 변화하더라도 일정한 출력을 전달할 수 있도록 설계하였다. E부분은 레벨 가변 기능을 수행하고, F부분은 4개의 고출력 모듈이 구동 가능한 레벨까지 출력을 증폭하며 반사파로부터 증폭기를 보호하기 위해 아이솔레이터를 사용하였다.

### 2-2 고출력 모듈 설계

고출력 모듈은 구동 모듈의 출력 신호를 분배 모듈을 통해 분배받아 최종 출력을 만족시키기 위한 레벨로 증폭하는 것을 주요 기능으로 한다. 고출력 모듈의 출력 레벨을 만족시키기 위해 AB급 증폭단 1단과 C급 증폭단 2단의 총 3단의 증폭단으로 구성되며, 최종단은 증폭 소자 4개를 결합하여 최종 출력을 얻는다. 그림 4에 고출력 모듈의 RF 구성도를 나타내었다.

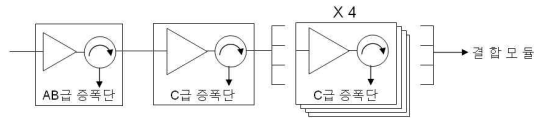


그림 4. 고출력 모듈 RF 구성도  
Fig. 4. Block diagram of power module.

AB급 증폭단은 분배 모듈로부터 전달된 펄스 RF 신호를 첫 번째 C급 증폭단이 구동 가능한 레벨로 증폭한다. 첫 번째 C급 증폭단은 AB급 증폭단에서 입력된 신호를 4개의 C급 증폭단이 구동 가능한 영역까지 증폭한다. 증폭된 신호는 전력분배기를 거쳐 4개의 C급 증폭단으로 입력되고, 최종 출력을 만족시키기 위한 레벨로 증폭되어 전력 결합기를 통해 고출력 모듈의 최종 출력을 얻는다. C급 증폭단에는 Si 계열의 BJT 소자를 사용하였다. 이 소자는 정합 회로를 포함하고 있다. 사용된 소자는 입, 출력 반사파와 구동 레벨에 민감한 특성을 지녀, 설계상 주의를 필요로 한다. 본 논문에서는 반사파로부터 C급 증폭단 소자를 보호하기 위해 아이솔레이터를 사용하였다. 구동 레벨에 민감한 소자를 안정적으로 사용하기 위해서는 다음과 같이 설계하였다. 종단의 C급 소자가 손상을 입어 출력 레벨이 낮아지는 경우, 반도체형 송수신기는 ALC 기능을 갖기 때문에 목표 전력을 내기 위해 손상을 입지 않은 소자에 구동 레벨을 높게 된다. 이는 정상 기능을 하는 소자에 손상을 가하는 동작이 된다. 이를 방지하기 위해 본 논문에서는 C급 소자의 소모 전류를 감지하여, 정상 범위를 벗어날 경우, ALC의 목표 전력을 낮추도록 설계하였다. 이는 일부 소자가 손상을 입더라도 시스템을 안정적으로 동작할 수 있는 graceful degradation의 장점을 갖게 한다. 또한 C급 소자마다 이득의 차이와 분배기의 포트간 삽입 손실이 존재한다. 이는 특정 소자의 구동 레벨을 높게 되는 동작이 될 수 있다. 본 논문에서는 이를 방지하기 위해 C급 소자의 이득을 개별적으로 측정하여 포트간 삽입 손실 차이를 상쇄시킬 수 있도록 배치하였다.

결합기 설계시에는 C급 증폭단 출력이 아이솔레이터를 사용하였으므로, 100 Ω 저항을 제거한 형태의 윌킨슨 구조의 전력결합기를 사용하여 삽입 손실을 줄여 결합 효율을 높였다.

2-3 결합 모듈 설계

결합 모듈은 고출력 모듈의 출력을 결합하여 최종 출력을 얻는 것을 주요 기능으로 한다. 결합 효율을 높이기 위해 삽입 손실이 최소화 되고, 4개의 고출력 모듈의 출력을 결합해야 하기 때문에 아킹 등의 현상이 일어나지 않도록 높은 파워의 핸들링이 가능해야 한다. 이러한 점을 고려하여 사용 기판을 선정하였고, 100 Ω 저항을 제거한 윌킨슨 구조를 사용하였다. 실제 본 논문의 반도체형 송수신기에서 요구되는 결합기의 크기는 88 mm×820 mm로, 일반적으로 사용되는 microstrip 구조를 사용할 경우, 유전체 손실에 의해 삽입 손실이 예상되기 때문에, 유전체 손실을 최소화하기 위해 기판의 유전율과 공기의 유전율을 혼합한 유전율이 적용되는 suspended 구조를 사용하였다. 이를 이용하여 물리적 크기 대비 결합손실을 줄일 수 있으나, 기판을 공기 중에 띄워야 하는 어려움이 있다.

따라서 공기에 가까운 유전율을 갖고 유전체 손실이 사용 기판 대비 매우 작은 물질을 사용하여 기판을 접지면에서 띄워 suspended 구조를 완성하였다.

그림 4는 시뮬레이션 모델 및 결과이며, 표 2에 시뮬레이션 및 측정 결과를 비교하였다. 커넥터를 포함한 측정 결과는 0.2~0.3 dB 가량 삽입 손실이 증가되었으나, 이는 측정 오차와 제작된 결합기의

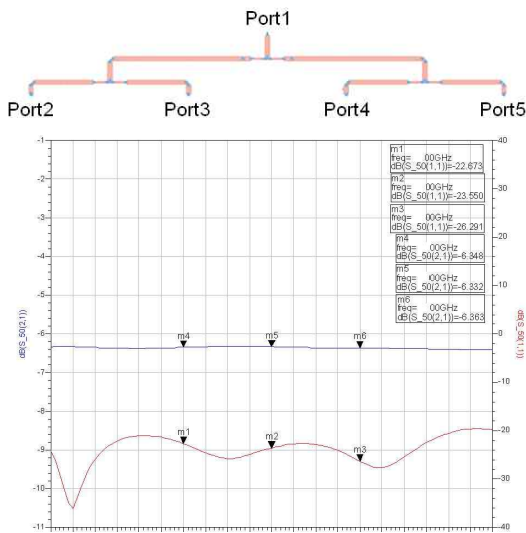


그림 5. 결합 모듈 M&S 결과  
Fig. 5. M&S result of combiner module.

표 2. 결합 모듈 M&S 및 측정 결과

Table 2. M&S and measurement results of combiner module.

	M&S(삽입 손실)	측정 결과(삽입 손실)
F_L	6.3 dB	6.5 dB
F_M	6.3 dB	6.6 dB
F_H	6.3 dB	6.5 dB

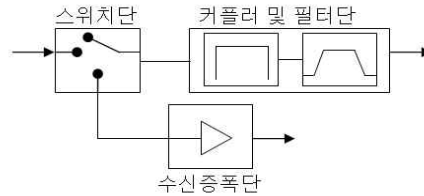


그림 6. 송수신 전단 모듈 RF 구성도  
Fig. 6. Block diagram of duplexer module.

하우징 및 결합기 패턴의 도금 conductivity와 설계에 사용된 conductivity와의 차이에서 기인하는 것으로 분석된다.

2-4 송수신 전단 모듈 설계

송수신 전단 모듈은 송수신 경로를 분리하여 결합 모듈로부터 전달된 신호를 안테나로 저손실로 전달하는 송신 기능과 안테나로부터 수신된 신호를 저잡음 증폭하는 기능을 수행하며, 송신 순방향 및 역방향 신호를 모니터링하도록 신호 검출 경로를 제공하도록 설계되었다. 안테나로부터 유입되는 비정상적인 역방향의 큰 신호로부터 수신부를 보호하기 위한 역방향 과입력 제한 기능을 포함하며, 송신 고조파를 억압하기 위한 고조파 억압 여파 기능을 포함한다. 그림 6에 송수신 전단 모듈의 구성도를 나타내었다. 송수신 경로를 분리하고 역방향의 큰 신호로부터 수신부를 보호하기 위한 스위치단과 송신 신호의 순방향 및 역방향 신호 검출과 송신 고주파 억압을 위한 커플러 및 필터단 수신 신호 저잡음 증폭을 위한 수신 증폭단으로 구성된다.

본 논문에서 사용한 스위치단은 90° 하이브리드 커플러를 사용한 반사형 구조를 설계하였다. 일반적으로 송수신단을 분리하기 위해 사용되는 써큘레이터 구조보다 가볍고 크기가 작다는 장점이 있다. 송신 상태에는 90° 하이브리드 커플러의 분배 포트( $\angle$ )

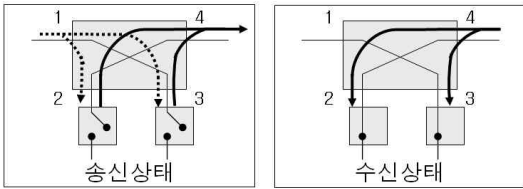


그림 7. 스위치단 동작 원리  
Fig. 7. Concept of switch module.

에 위치한 스위치를 off시켜 임피던스를 open 상태를 만들어 전반사시켜 결합 포트( $\Delta$ )에서 전반사된 신호를 결합한다. 결합된 신호는 커플러 및 필터단으로 전달되어 안테나로 출력된다. 수신 상태에는 각각의 분배 포트( $\Delta$ )에 위치한 스위치를 on시켜 신호를 수신한다. 스위치 후단에는 리미터를 구성하여 비정상적인 역방향의 큰 신호로부터 수신단을 보호할 수 있도록 하였다. 리미터를 지난 수신 신호는 수신 증폭단에서 저잡음 증폭된다.

2-5 제어 모듈 및 ALC 기능 설계

제어 모듈은 외부적으로는 상위로부터 LVDS 통신을 통해 명령을 전달받아 타이밍을 생성하고, 제어 명령을 적용하고, 반도체형 송수신기의 고장 상태 정보를 제공한다. 내부적으로는 외부의 과도한 입력으로부터 반도체형 송수신기를 보호하고, 내부 고장 상태를 점검하여 안정적으로 동작할 수 있도록 제어하도록 설계되었다. 또한 ALC 회로에 목표 전력값을 제공한다.

고출력 모듈에 사용된 C급 소자는 펄스 신호에 사용되는 소자로 특정 펄스 폭, duty 비를 넘어설 경우, 또는 구동 레벨이 과입력될 경우 소자의 wire bonding이 연소되어 소자를 사용할 수 없게 된다. 이를 방지하기 위해 제어 모듈에서 반도체형 송수신기의 입력 신호를 관찰하여 특정 펄스 폭, duty 비를 넘을 경우 구동 모듈의 스위치를 이용하여 송신 경로를 제어한다. ALC 알고리즘 적용시에는 손상을 입은 C급 소자를 소모 전류 감시 회로를 통해 감지하여 ALC의 목표 전력을 낮추어 설정하도록 제어하여 정상 동작하는 C급 소자의 구동 레벨이 과입력 되지 않도록 보호한다.

ALC 적용 방식은 look-up table을 사용하여 출력 펄스가 특정 범위를 벗어날 경우, 레벨을 제어하는

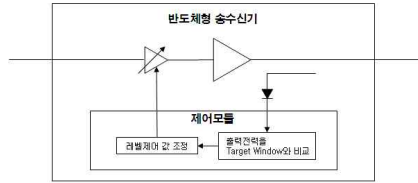
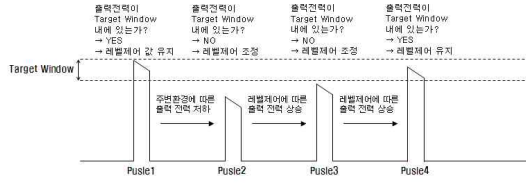


그림 8. 디지털 방식을 적용한 ALC  
Fig. 8. Digital ALC algorithm.

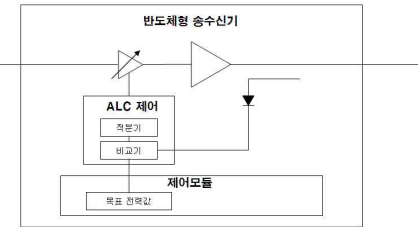
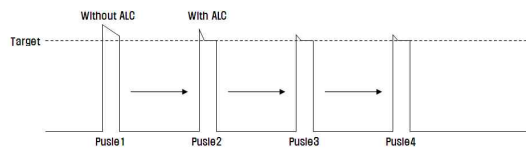


그림 9. 아날로그 방식을 적용한 ALC  
Fig. 9. Analog ALC algorithm.

디지털 방식이 주로 사용된다. 그림 8에서 보듯이 이는 출력 펄스 신호를 일정 범위 내에서 유지할 수 있지만, 일정 범위의 오차가 있고, 펄스 내 droop이 존재하는 문제점이 있다. 또한 일정 범위에 펄스 신호가 존재하더라도 오차가 존재한다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 아날로그 루프를 사용한 펄스 내에서 목표 전력과 비교하여 그 차를 적분 후 구동 모듈 내의 가변 증폭 소자의 이득을 제어하는 방식이다. 이 방식을 적용함으로써 목표 전력과의 오차가 0%에 가깝게 개선하였으며, 펄스 내의 droop까지 개선할 수 있었다. 또한 목표 전력과의 오차가 거의 없기 때문에 펄스간 안정도 역시 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 9에 본 논문에서 적용한 ALC 적용 원리를 나타내었다. 표 3에는 디지털 방식을

표 3. ALC 방식에 따른 특성 비교

Table 3. Comparison of digital and analog ALC.

	Digital ALC	Analog ALC
Droop	0.4 dB @펄스 폭: 200 us	0.01 dB @펄스 폭: 200 us
	1 dB @펄스 폭: 100 us	0.01 dB @펄스 폭: 100 us
펄스간 안정도	60 dB @F_L	70 dB @F_L
	63 dB @F_M	69.4 dB @F_M
	65 dB @F_H	70 dB @F_H

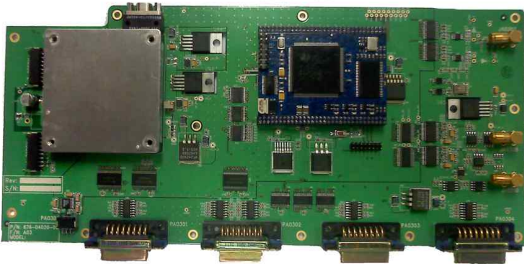


그림 10. 제어 모듈 제작 사진

Fig. 10. Photo of control module.

적용한 ALC와 아날로그 방식을 적용하였을 때 성능을 비교하였다. 본 논문에서 적용한 아날로그 ALC 방식을 적용할 경우, 특성이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

### III. 반도체형 송수신기 측정

표 4에 반도체형 송수신기의 측정 결과를 나타내었다. 능동형 배열 레이더 시스템에 적용하기 위한 송신 및 수신 성능을 비롯한 모든 성능을 만족하였다. 그림 11에 침투전력계를 사용하여 측정한 송신

표 4. 반도체형 송수신기 측정 결과

Table 4. Measurement results of solid state transceiver.

주파수 범위		S-band	만족
송신 특성	출력 전력	○ kW	○ kW
	이득	63 dB	63.2 dB
	최장 펄스 폭	200 us	200 us
	최대 duty비	10 %	10 %
	펄스간 안정도	63 dB min.	69.4 dB
수신 특성	이득	23 dB Typ.	23.8~25.2 dB
	잡음 지수	3.2 dB max.	2.2~2.6 dB

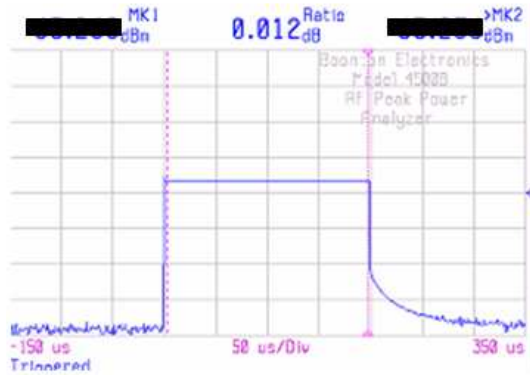


그림 11. 송신 특성 측정 결과

Fig. 11. Measurement result of transmit characteristic.



그림 12. 수신 특성 측정 결과

Fig. 12. Measurement result of receive characteristic.

출력 펄스 신호를 보였다. 아날로그 ALC를 적용한 펄스 파형으로 200 us의 펄스 폭에서 droop이 0.012 dB가 측정되어 펄스 내에서 에너지 손실이 없음을 확인할 수 있었다. 그림 12에 잡음 지수 분석기를 이용하여 측정한 수신 이득 및 잡음 지수 특성을 나타내었다.

반도체형 송수신기의 펄스간 안정도 사양은 레이더 시스템의 MTI(Moving Target Indication) 개선도로부터 도출된다. 레이더 시스템의 MTI는 클러터와 타겟을 구별하는 능력으로, MTI 개선도는 식 (1)에 의해 분석할 수 있다.

$$\frac{1}{I_F} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3} + \frac{1}{I_4} + \frac{1}{I_5} + \frac{1}{I_6} + \frac{1}{I_7} \quad (1)$$

여기서,  $I_1$  : Pulse to pulse phase change

$I_2$  : Pulse to pulse amplitude change



- $I_3$  : Pulse width
- $I_4$  : Pulse timing
- $I_5$  : Frequency change of STALO
- $I_6$  : Phase change of STALO
- $I_7$  : Quantization noise of DAC

이 중 송신기와 관련된 요소는  $I_1$ (pulse to pulse phase change)과  $I_2$ (pulse to pulse amplitude change)이다.  $I_1$ 와  $I_2$ 의 조합으로부터 반도체형 송수신기의 펄스간 안정도를 구할 수 있다.  $I_1$ 과  $I_2$ 는 식 (2), (3)으로부터 구할 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$I_1 = 20\log[1/\Delta\Phi] \tag{2}$$

여기서,  $\Delta\Phi$  : Interpulse phase change[radian]

$$I_2 = 20\log[A/\Delta A] \tag{3}$$

여기서,  $A$  : Pulse amplitude[V]

$\Delta A$  : Interpulse phase change[V]

즉, 반도체형 송수신기의 펄스간 안정도는 송신 펄스 신호의 크기와 위상 변화량 조합이라고 할 수 있다. 송신 펄스 신호의 크기와 위상의 변화량이 적을수록 펄스간 안정도는 개선되고, 레이더 시스템이 클러터와 타겟을 구별할 수 있는 능력이 향상되는 것이다.

제작된 반도체형 송수신기의 펄스간 안정도를 구하기 위해 그림 13과 같이 시험을 구성하고  $\Delta\Phi$ 와  $\Delta A$ 를 얻었다. 시험 구성을 검증하고, 측정 결과를 비교하기 위해 상용 계측기인 신호 발생기(Agilent, E8275-D)의 안정도를 측정하여 72.99 dB의 값을 확인하였다. 입력 신호의 펄스간 안정도가 반도체형 송수신기의 펄스간 안정도에 영향을 미치는 것을 줄이기 위해 펄스간 안정도가 높은 신호발생기를 입력 신호로 사용하였으며, 펄스 네트워크를 수신 모드로 사용하여  $S_{21}$ 의 크기와 위상을 측정하여  $\Delta\Phi$ 와  $\Delta A$ 를 얻

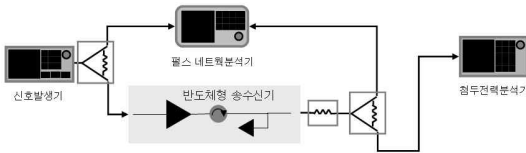


그림 13. 펄스간 안정도 측정 구성도  
Fig. 13. Measurement set-up of pulse to pulse stability.

표 5. 반도체형 송수신기 특성 비교  
Table 5. Comparison of solid-state transceivers characteristics.

	Our work	A사	B사	C사
Freq.	S-band	2.7~3.0 GHz	1.2~1.4 GHz	1.2~1.4 GHz
Gain	63 dB	22 dB	50 dB	80 dB
Output power	○ kW	1.5 kW	1 kW	6 kW
Pulse width	200 us	150 us	8 ms	100 us
Duty cycle	10 %	10 %	5 %	7 %(max)
Pulse droop	0.01 dB	0.5 dB	0.6 dB	10 dB

었다. 식 (2), (3)으로부터  $I_1$ 은 73.35 dB,  $I_2$ 는 74.06 dB를 얻어, 반도체형 송수신기의 펄스간 안정도는 69.48 dB가 됨을 확인할 수 있었다. 이는 주어진 사양을 충분히 만족하고, 상용 계측기 성능에 준한다고 할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 능동 배열 레이더 시스템에 적용 가능한 반도체형 송수신기를 설계하고 제작하여 측정하였다. 기능별로 구동 모듈, 고출력 모듈, 결합 모듈, 송수신 전단 모듈을 설계, 제작하였으며, 주요 소자를 안정적으로 동작시키고, 성능을 개선하기 위한 제어 모듈을 설계, 제작하여 적용하였다. 각 모듈을 통합하여 구성한 반도체형 송수신기를 측정하였다. 특히, MTI 개선도에 영향을 미치는 펄스간 안정도 측정을 위해 펄스 네트워크 분석기를 수신 모드로 사용하여 측정 셋업을 구성하였다. 측정 결과, 펄스간 안정도를 포함한 송신 특성, 수신 특성을 모두 만족함을 확인할 수 있었다. 표 5에 해외 업체에서 개발된 반도체형 송수신기와 그 특성을 비교하였다. 본 논문의 반도체형 송수신기가 동등 이상의 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] Michael Hanczor, Mahesh Kumar, "12-kW S-band

solid-state transmitter for modern radar system", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 41, no. 12, pp. 2237-2242, 1993.

[2] Merrill I. Skolnik, *Radar Handbook*, McGraw-Hill,

p. 5.1, 1990.

[3] Edward D. Ostroff, Michael Brokowski, Harry Thomas, and James Curtis, *Solid-state Radar Transmitters*, Artech house, Inc., pp. 198-199, 1985.

이 유 리



2005년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)  
2007년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)  
2007년 2월~현재: LIGNex1 초고주파연구센터 주임연구원  
[주 관심분야] RF 소자 및 시스템 설계 및 분석

이 수 호



1992년: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)  
1992년~현재: LIGNex1 초고주파연구센터 수석연구원  
[주 관심분야] 능동/수동 회로 설계, 능동 배열 레이더 시스템 설계

김 중 필



1998년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)  
1997년 11월~2000년 9월: 단암전자 통신연구소 주임연구원  
2000년 10월~현재: LIGNex1 초고주파연구센터 선임연구원  
2008년~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] RF 소자 및 시스템 분석

정 명 득



2003년: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)  
1991년~현재: 국방과학연구소 책임연구원  
[주 관심분야] 능동 배열 레이더 시스템