

전자전 다중 위협 재밍을 위한 멀티빔 송수신장치용 광대역 고출력 송수신모듈 개발

Development of Wideband High-Power TRM for Electronic Warfare Multiple Threat Jamming Transceiver

장경남 · 조상왕* · 김지덕 · 고재현* · 전영일* · 강창현

Kyeong-Nam Jang · Sang-Wang Cho* · Ji-Deok Kim · Jae-Heon Ko* · Young-Il Jeon* · Chang-Hyun Kang

요 약

본 논문에서는 전자전 다중 위협 재밍을 위한 멀티빔 송수신장치에 소요되는 8채널의 고출력송수신모듈(TRM)에 대한 설계 및 제작 그리고 측정 결과를 소개하였다. 설계된 TRM은 2~6 GHz 대역 내에서 운용되는 전자전 다중 위협 재밍을 위한 멀티빔 송수신장치내 다중빔송수신모듈의 다중재밍신호와 배열안테나모듈의 수신신호를 증폭하는 역할을 한다. TX Mode에서 연속파 기준 43 dBm 이상의 출력을 가지며, RX Mode에서는 이득 10 dB 이상, 잡음지수 5 dB 이하의 특성을 갖도록 설계하였다. 각 Mode별 입력 VSWR은 2:1 이하이며, 송신, 수신경로 격리도는 50 dBc 이상의 특성을 갖는다. 각 채널간의 진폭과 위상의 정합도는 각각 2 dB, 10° 이하이며, TTD(true time delay)와 Digital Attenuator를 사용하여 채널별 신호 세기와 위상의 보정기능을 갖도록 하였다.

Abstract

An eight-channel transmit/receive module (TRM) was designed for a wideband electronic warfare multiple threat jamming transceiver. In the system, the TRM amplifies a multijamming signal from a multibeam transceiver module and a small radio frequency (RF) signal from an antenna. In TX mode, it has an output power of more than 43 dBm for a continuous wave. In RX mode, it has a gain of more than 10 dB and noise figure of less than 5 dB. The voltage standing wave ratio is less than 2:1, and the TX and RX path isolation is 50 dBc or more. The RF signal amplitude and phase variation are less than 2 dB and 10°, respectively. True time delay and a digital attenuator are used to compensate for the signal amplitude and phase for each channel.

Key words: Electronic Warfare, Multibeam, TRM, Wideband, PhasedArray, RADAR, Digital Beamforming

I. 서 론

전자전 무기체계에서 지휘통신체계는 물론 무기체계

를 무력화하고(EA: electronic attack), 적의 공격으로부터
아군의 장비와 인원을 보호(ES: electronic support, EP:
electronic protect)하는 역할을 한다.

RFHIC(주) (RFHIC Co., Ltd.)

*LIG넥스원(주) (LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received September 1, 2021 ; Revised September 23, 2021 ; Accepted October 6, 2021. (ID No. 20210901-073)

· Corresponding Author: Chang-Hyun Kang (e-mail: chkang@rfhic.com)

최근 전자전 제밍 시스템은 전장운용 환경에서 빠른 동작 속도와 정밀 빔 조향으로 적의 초고주파 탐색기 및 레이더와 같은 RF위협에 대응 가능한 전자교란용 광대역(2~6, 6~18 GHz) 송수신기로 개발되고 있다. 현재 운용 중인 SLQ-200K, ALQ-200K 등에 적용된 TWTA(traveling wave tube amplifier)는 일정한 예열 시간과 수 kV의 고전압 전원이 필요하며, TWTA의 고효율 RF신호가 안테나까지 도달하는 데 많은 손실과 열이 발생하게 된다. 장치의 크기가 크고 고장 발생 시 높은 수리비용과 긴 수리기간이 발생하는 단점이 있으며, 수동 위상배열(passive electronically scanned array: PESA) 방식으로 운용되기 때문에 구조적 특성상 다중빔 형성에 제약이 따르게 된다. 이러한 TWTA의 운용상 단점을 보완하기 위해서 예열시간이 짧고 저전압 전원이 필요한 GaN 반도체 기반의 광대역 고효율 증폭기가 적용된 송수신모듈로 대체 개발되는 추세이며, 능동 위상배열(active electronically steering array: AESA) 구조로 송수신기를 운용하여 일부 모듈의 고장이 발생하더라도 전체 시스템에 큰 영향이 없고, 개별 배열의 크기 / 위상을 변화시켜 다양한 빔 형성 및 조향이 가능하도록 개발하고 있다^{[1]~[4]}.

본 논문에서는 Digital Beamforming 구조의 송수신 장치에 소요되는 2~6 GHz 대역의 20 W 고효율송수신 모듈을 개발하였다. 다중빔 기능을 구현하기 위해 Digital TTD와 Digital Attenuator를 사용하여 각 채널별 신호의 세기와 위상 보상기능을 추가하였으며, 8채널 위상배열 구조로 모듈 간 신호와 위상의 크기 편차를 줄여 각각의 채널이 동일한 성능을 보일 수 있도록 하였고, 제안한 모듈의 Budget을 통하여 예상 성능을 확인 후 송수신 규격별 성능 측정을 통해 요구 성능이 만족함을 확인하였다.

II. 송수신모듈 설계

2-1 고효율송수신모듈 구조

고출력송수신모듈의 주요 목표 성능은 표 1과 같다.

TX Mode에서 최종 출력은 20 W(@CW)이고, RX Mode에서는 이득 10 dB, 잡음지수 5 dB이고, 송수신 격리도는 50 dB을 목표로 하고 있다. 총 8채널을 배열하여 시스템에서 운영하며 채널 간 신호 및 위상편차는 2 dB 이하,

표 1. 고효율송수신모듈 주요 요구사항

Table 1. Specification of high power TRM.

No.	Specification	Requirement
1	Frequency range	2~6 GHz
2	TX output power	≥ 43 dBm, CW
3	Input VSWR	$\leq 2 : 1$
4	Magnitude deviation between channel	≤ 2 dB
5	Phase deviation between channel	$\leq 10^\circ$
6	RX gain	≥ 10 dB
7	Noise figure	≤ 5 dB
8	TX / RX isolation	≥ 50 dBc
9	Magnitude/phase compensation function	-

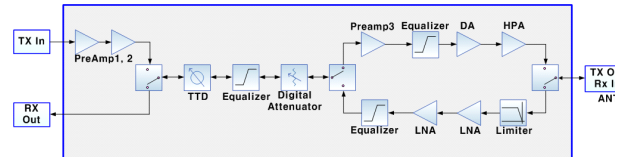


그림 1. 고효율송수신모듈 블록도

Fig. 1. Block diagram of high power TRM.

10° 이하이며, 각 채널별 신호의 크기와 위상을 보정하는 기능을 필요로 한다. 그림 1은 위의 규격을 기준으로 설계한 송수신모듈의 블록도이다.

대역내의 이득 평탄도를 맞추기 위해 Common, TX 그리고 RX Path에 Equalizer를 사용하였다. 안테나 Port의 송수신 Duplexer기능은 광대역 특성을 만족하기 위해 RF Switch를 적용하였으며, 20 W 이상의 RF신호를 통과시켜야 하기 때문에 GaN 기반의 High Power RF Switch를 사용하였다.

2-2 고효율송수신모듈 설계

고출력송수신모듈의 TX Mode는 표 2와 같이 다중빔송수신모듈에서 발생하는 다중제밍신호(-15 dBm)를 받아 최종 43 dBm 이상의 출력을 보이도록 설계하였다.

표 3은 RX Mode에서의 10 dB 이상의 이득과 5 dB 이하의 수신경로 잡음지수 특성을 보이도록 설계된 Budget을 나타낸다.

표 2와 표 3에서 보는 것과 같이 TX Mode에서 최종출

표 2. 송신경로 버짓

Table 2. TX path budget.

Parameter	Gain (dB)	Output power (dBm)
Connector	-0.1	-15.10
Preamp1	15	-0.10
Preamp2	15	14.90
Switch	-0.5	14.40
TTD	-16.9	-2.50
Equalizer	-1.4	-3.90
Digital attenuator	-3.1	-7.00
Switch	-0.5	-7.50
Preamp3	20	12.50
Equalizer	-1.4	11.10
Driveamp	14.5	25.60
HPA	19.5	45.10
Switch	-1.3	43.80
Connector	-0.1	43.70

표 3. 수신경로 버짓

Table 3. RX path budget.

Parameter	Gain (dB)	Cumulative gain (dB)	Noise figure (dB)	Cumulative NF (dB)
Connector	-0.1	-0.1	0.1	0.10
Switch	-1.3	-1.4	1.3	1.40
Limiter	-0.68	-2.08	0.68	2.08
LNA	20	17.92	1.48	3.56
PAD	-2	15.92	2	3.58
LNA	20	35.92	1.48	3.60
Equalizer	-1.4	34.52	1.4	3.60
Switch	-0.5	34.02	0.5	3.60
Variable att	-3.1	30.92	3.1	3.60
Equalizer	-1.4	29.52	1.4	3.60
TTD	-16.9	12.62	16.9	3.70
Switch	-0.5	12.12	0.5	3.71
Connector	-0.1	12.02	0.1	3.71

력 레벨은 43.7 dBm(23.4 W), RX Mode에서 수신 이득은 12 dB, 잡음지수는 3.71 dB로 규격에 만족하는 것을 확인할 수 있다.

2-3 고출력송수신모듈 제작 및 측정

그림 2는 제작된 송수신모듈의 형상이고, 총 3개의 Port(TX Input, RX Output, Antenna)로 구성되어 있다.

다음 그림 3은 TX Mode에서 고출력송수신모듈의 출력 특성을 나타낸 그래프이다.

출력레벨은 대역내 최소 출력레벨이 43.5 dBm(22.3 W)으로 확인되었다. 그림 4는 RX Mode에서 이득, In/Output VSWR 측정화면으로 1.5~6.5 GHz대역을 측정하였다.

그림 4에서와 같이 In/Output VSWR은 1.846, 1.694로 나타났고, Gain은 13.1 dB로 규격을 만족하였다. 수신경로 잡음지수는 다음 표 4에 정리하였으며, 목표규격인 5 dB 이하를 만족하였다.

제작된 고출력송수신모듈의 TX 및 RX Path 격리도는 -80 dB로 규격을 만족하였다. 본 모듈은 전자전 다중 위협 재밍을 위한 멀티빔 송수신장치 내에 8개의 시체가 소



그림 2. 제작된 고출력송수신모듈
Fig. 2. Fabricated highpower TRM.

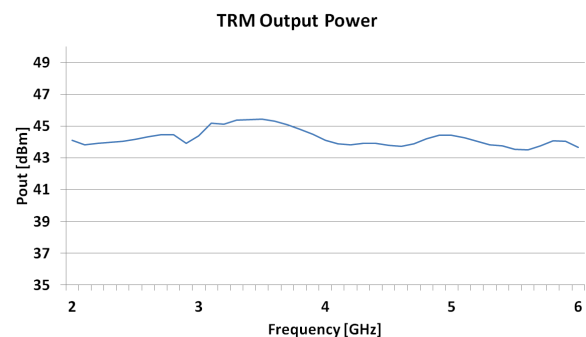


그림 3. 최적화된 출력레벨
Fig. 3. Optimized output power.

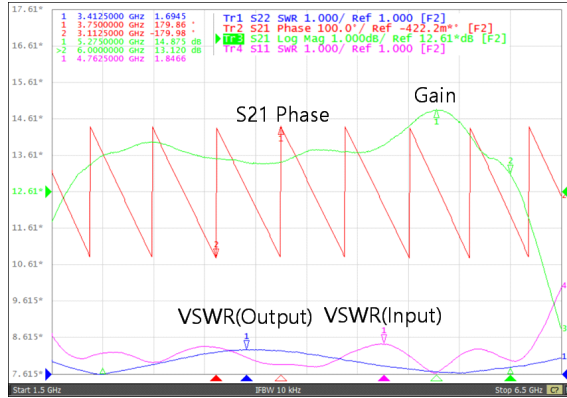


그림 4. 수신경로 이득, 입출력 정재파비 특성
Fig. 4. Gain, in/output VSWR of Rx path.

표 4. 수신경로 잡음지수 측정값
Table 4. RX path noisefigure.

Frequency[GHz]	Noisefigure[dB]
2.0	2.495
2.4	2.640
2.8	2.806
3.2	2.733
3.6	2.741
4.0	2.925
4.4	3.035
4.8	2.964
5.2	3.278
5.6	3.409
6.0	3.777

요되며, 각 모듈 간 성능 편차는 신호의 크기 2 dB, 위상 10° 이내를 만족하여야 한다. 성능측정 방법은 레퍼런스 모듈을 기준으로 Normalize된 출력 크기와 위상을 기준으로 나머지 7식의 모듈에 대한 신호의 크기와 위상 차이를 측정하였다. 그 결과는 표 5에 나타내었다.

표 5에서 확인할 수 있는 것처럼 채널간 모듈 특성의 편차는 목표치를 만족하였다. 다음으로 그림 5 및 그림 6은 신호세기 및 위상보정 기능을 위하여 사용한 TTD, Digital Attenuator 제어 특성 그래프이다.

TTD는 0~1275 pS 범위에서 8 bit(5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640 pS) 제어가 가능하며, Digital Attenuator는 0~

표 5. 채널간 크기/위상 편차

Table 5. Amplitude / phase variation.

TRM No.	TX mode		RX mode	
	Mag[dB]	Phase[°]	Mag[dB]	Phase[°]
001	0.000	0.0	0.000	0.0
002	1.313	8.3	0.600	-9.1
003	-0.710	-6.3	-1.058	8.6
004	0.756	-6.5	-1.524	6.9
005	-0.758	5.0	0.735	3.3
006	0.903	5.6	-1.462	-6.2
007	0.733	-6.4	-1.552	8.3
008	-0.325	5.8	-1.579	-7.8

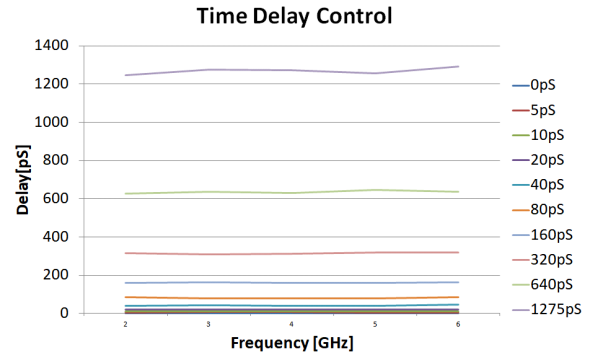


그림 5. 고효율송수신모듈 TTD 지연시간 특성
Fig. 5. Time delay of TTD.

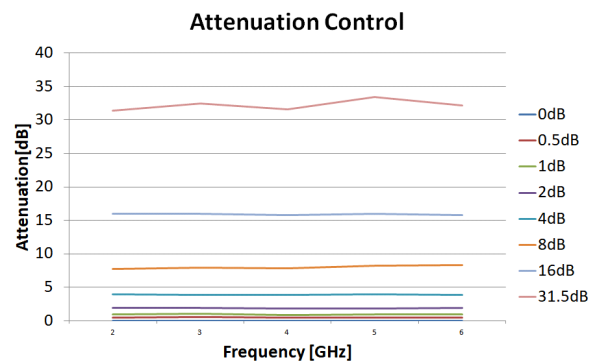


그림 6. Digital attenuator 감쇄특성

Fig. 6. Attenuation of digital attenuator.

31.5 dB 범위에서 6 bit(0.5, 1, 2, 4, 8, 16 dB) 제어가 가능한 부품을 사용하여 신호세기와 위상의 보정이 가능함을

보였다.

III. 결 론

본 논문에서는 전자전 다중 위협 재밍을 위한 멀티빔 송수신장치용 고출력송수신모듈을 개발하였다. 제작된 모듈이 요구된 규격에 만족하는 것을 확인하였고, 채널 간 위상과 이득을 제어할 수 있는 Digital TTD와 Digital Attenuator기능을 보유하고 있다.

다수의 송수신모듈을 이용한 Digital Beamforming 형태는 기존에 사용 중인 TWTA대비 장치의 크기가 작고 효율이 높다. 또한 모듈 고장시 소요되는 비용과 시간이 줄어들어 운용비 절감에 효과적일 것으로 기대된다.

References

[1] J. Lim, W. Jung, "Trend of electronic attack(EA) technology," *The Proceedings of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 6, pp.

14-24, Nov. 2013.

[2] J. Lim, S. Park, S. Jun, H. Jin, K. Kim, and T. Kim, et al., "Design and fabrication of an L-band digital TR module for radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 11, pp. 857-867, Nov. 2018.

[3] J. Kim, S. Cho, S. Choi, D. Kim, H. Park, and D. Kim, et al., "Development of wide-band planar active array antenna system for electronic warfare," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 6, pp. 467-478, Jun. 2019.

[4] J. Jung, J. Ryu, J. Park, and J. Seo, "A study on configuration of true time delay phase shifter for wideband beam steering phased array antenna," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology (KIMST)*, vol. 20, no. 3, pp. 413-420, 2017.

장 경 남 [RFHIC(주)/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2997-5509>



2013년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학사)

2015년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학석사)

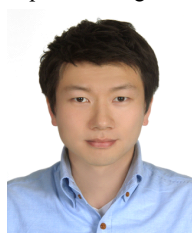
2016년 11월~2020년 1월: (주)제트에이치티 선임연구원

2020년 2월~현재: RFHIC(주) 선임연구원

[주 관심분야] 전자전 시스템, 레이더 시스템, RF 송수신 모듈

조 상 왕 [LIG넥스원(주)/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8799-1684>



2008년 2월: 성균관대학교 정보통신공학부 (공학사)

2007년 12월~현재: LIG넥스원(주) 수석연구원

[주 관심분야] 전자전 시스템, RF Receiver, RF Jamming System

김 지 덕 [RFHIC(주)/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-1158-4561>



2005년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부(공학사)

2005년 4월~현재: RFHIC(주) 전문연구원
[주 관심분야] 전자전 시스템, 레이더 시스템, RF Transmitter

전 영 일 [LIG넥스원(주)/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3704-1255>



2015년 2월: 광운대학교 전자융합공학과(공학사)

2017년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)

2017년 5월~현재: LIG넥스원(주) 선임연구원

[주 관심분야] 전자전 EA 시스템, RF 송

수신기

고 재 현 [LIG넥스원(주)/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0692-2220>



1997년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 1월~현재: LIG넥스원(주) 수석연구원

[주 관심분야] 전자전 시스템, 전자공격 기법 개발

강 창 현 [RFHIC(주)/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4433-8404>



2005년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)

2004년 12월~현재: RFHIC(주) 전문연구원
[주 관심분야] 전자전 시스템, 레이더 시스템, RF 송수신 모듈