

# 바이어스 시퀀스와 스위칭 타임 튜닝을 통한 반도체 송수신 모듈의 강건성 향상에 대한 연구

## A Study on Robustness Improvement of the Semiconductor Transmitter and Receiver Module By the Bias Sequencing and Tuning the Switching Time

유우성<sup>\*★</sup>, 금종주<sup>\*\*</sup>, 김도열<sup>\*</sup>, 한성<sup>\*</sup>

Woo-Sung Yoo<sup>\*★</sup>, Jong-Ju Keum<sup>\*\*</sup>, Do-Yeol Kim<sup>\*</sup>, Sung Han<sup>\*</sup>

### Abstract

This paper describes that how to enhance the robustness of semiconductor TRM(Transmitter and Receiver Module) through the bias sequencing and tuning the switching time. Previous circuit designs focused on improving the MDS(Minimum Detection Signal) performance. Because TRM has critical problem which transmission output signal leak into receiver by it's compact design. Under this condition, TRM was frequently broken down within the MTBF(Mean Time Between Failure). This study proposes the bias sequencing and tuning the switching time to improve above problem. At first, we collected major failure symptom and infer it's cause. Second, we demonstrated it's effect by derive the improvement method and apply it to our system. And finally we can convinced that the proposed method clear the frequent failure problem with its lack of isolation.

### 요약

본 논문에서는 순차바이어스와 스위칭 타임 튜닝기법을 통한 반도체 송수신모듈(TRM : Transmitter and Receiver Module)의 강건성 향상 방법에 대해 기술한다. 기존의 회로설계는 TRM의 소형화로 인한 송신출력신호가 수신기로 유기되어 최소수신감도(MDS : Minimum Detection Signal) 개선에 초점을 맞추어졌으나, 평균고장시간(MTBF : Mean Time Between Failure)을 만족하지 못하고 빈번히 고장이 발생하는 문제가 있었다. 본 연구는 이러한 현상을 개선하는 방법으로 순차바이어스 및 스위칭 타임 튜닝기법을 제안한다. 첫 번째로 주요 고장증상 수집 및 원인을 추론하였으며, 두 번째로 개선방법을 도출하고 시스템에 적용하여 효과를 검증하였다. 제안한 방법을 적용하여 격리도 부족에 따른 빈번한 고장증상이 해소되었다.

*Key words* : TRM, Transistor Bias Sequence, Active Phase Array Radar, Feedback oscillation, GaN

\* LIGNex1.Co., Ltd

\*\* Defense Agency for Technology and Quality

★ Corresponding author : [ywoos9271123@gmail.com](mailto:ywoos9271123@gmail.com), 054-469-8060

Manuscript received Jul. 11, 2016; revised Sep. 02, 2016 ; accepted Sep. 26, 2016

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.

1. 서론

레이더는 전파를 방사하여 물체에서 반사되는 전파를 수신하고 물체에 관련된 각종 정보를 분석하고자 기술적으로 많은 발전을 이룩해 왔으며 레이더 시스템의 응용과 적용분야에 따라서 탐색 레이더, SAR(Synthetic aperture radar) 및 유도 레이더와 다기능레이더, 기상레이더, 군사적 목적, 선박과 항공기 및 자동차 등 상용화를 위한 민수용 레이더 시스템으로 구분할 수 있다. [1]-[3]

기존의 진공관을 대체하기 위하여 최근의 레이더 설계 동향은 저출력 SSPA(Solid state power amplifier)모듈을 다양한 직병렬 구조로 설계함으로써 원하는 출력의 SSPA설계가 가능하며 수 와트(W)에서 수십 와트(W)까지의 작은 파워만으로도 위상배열형태로 레이더시스템을 설계함으로써 수 킬로와트(kW)급의 고출력 레이더와 같은 성능을 유지할 수 있으며 응용에 따라 소형화에도 용이하다. [4]-[5]

T/R모듈은 고출력 송신기능을 수행하는 SSPA를 포함한 송수신 기능을 하나의 모듈에 통합한 것으로 송수신 기능뿐 아니라 위상 및 이득제어를 통한 빔 조향 및 빔 폭 변화가 가능하게 구성된다. 이러한 T/R 모듈은 배열의 빔 합성으로 TWTA(Traveling wave tube amplifier)와 유사한 고출력을 획득하면서 TWTA와 같은 중앙집중식 송신기보다 신뢰성이 높고 기계적 빔 조향보다 기민성이 요구되는 전자전 체계의 고출력 능동 배열 송신 장치 또는 능동 위상 배열 레이더의 핵심 구성품이다.[6]

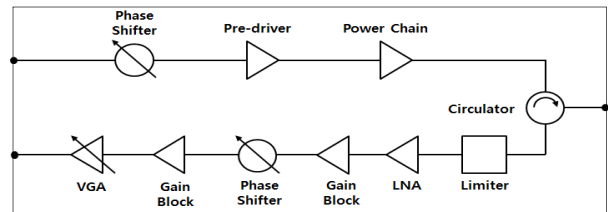
최근에는 고출력 트랜지스터로 Si나 GaAs에 비하여 넓은 Energy band gap과 고온 안정성이 우수한 GaN이 각광받고 있다. 또한, GaN은 AlGaIn/GaN 형태의 이종접합이 가능하여 고출력, 고주파수 동작이 요구되는 응용에 아주 적합하며, 화학물질에 대한 탁월한 내부 특성을 지니고 있다. 높은 항복전압과 전류 구동능력으로 소자 단위 면적당 출력밀도가 높아 고출력을 더 작은 회로에서 얻을 수 있기 때문에 LDMOS(Laterally diffused MOSFET)에 비해 회로 구성이 간단해진다. 열전도성면에서 우수한 SiC를 GaN의 기관으로 성장시켜 사용하면 채널온도를 200°C이하로 유지하면서 수백 와트(W) 이상의 고출력 증폭할

수 있으며 높은 전력밀도를 얻을 수 있어, 우수한 자체 열 발산 기능으로 냉각 설비가 차지하는 부적과 가격을 줄일 수 있는 장점이 있다. [7]-[8]

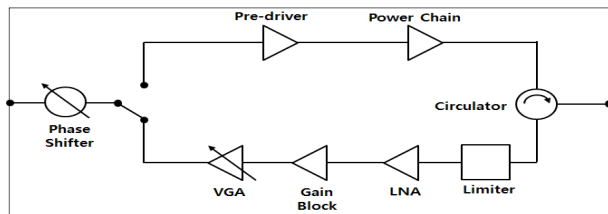
T/R모듈 구조는 그림1과 같이 크게 separate, shared, common leg 구조로 나눌 수 있다.

T/R 모듈의 크기는 복사 소자 배열에 따라 제한되며 복사 반대 방향의 모듈 크기를 최소화 하는 것이 전체 시스템의 실장성에 매우 유리하다.

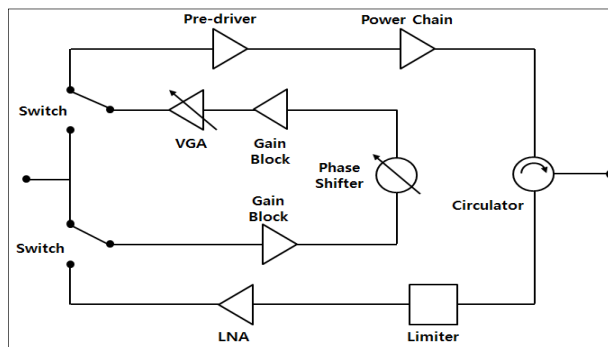
T/R모듈의 전기적 구조에는 MMIC(Monolithic microwave integrated circuit)의 수를 줄일 수 있으며, 송수신시 동일 소자를 사용하여 동일한 송수신 이득 위상 조절 특성을 유지할 수 있는 Common leg 구조가 가장 널리 적용되고 있다.[9]



(a) Separate structure  
(a) Separate 구조



(b) Shared structure  
(b) Shared 구조



(c) Common leg structure  
(c) Common leg 구조

Fig. 1. T/R Module Structure.[9]

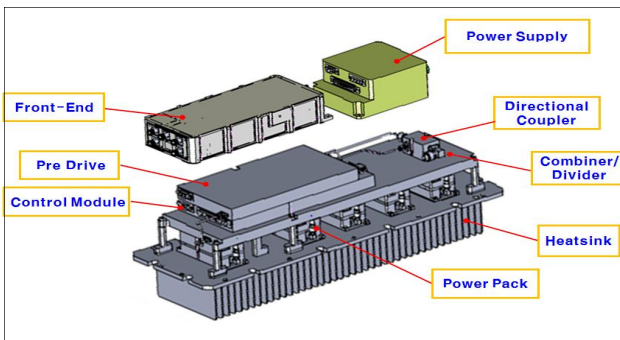
그림 1. T/R 모듈 구조.[9]

기존의 회로설계는 TRM의 소형화 구현에 따른 물리적 크기의 제약으로 인한 격리도 부족현상이 발생하였으며, 송수신 경로 간 간섭현상 개선에 주안점을 두었다. 하지만, 평균고장시간을 만족하지 못하는 현상이 발생하였다. 본 논문에서는 이 현상을 개선하기 위하여 고장유형에 따른 원인분석을 수행하여 송수신 경로의 격리도 문제점을 도출하고, 순차바이어스와 스위칭 타임 튜닝기법을 이용한 TRM의 강건성 향상기법을 제안한다.

## II. 본론

### 1. TRM의 형상 및 구성

본 과제에서도 T/R모듈의 설계 파라미터를 분석하여 주요 성능을 Trade-off하여 common-leg T/R모듈 구조로 구현하였으며, 구성 및 형상은 그림2와 같다.



수신전단기(Front-end), 고출력증폭기(Power-pack), 소신호를 이용하여 고출력을 얻기 위한 결합기/분배기(Combiner/Divider), 출력신호의 파워를 모니터링하기 위한 커플러(Directional coupler)로 구성되어 있으며, 내부의 상세한 블록도는 그림3과 같다.

### 2. TRM의 강건성 저해 요소분석

T/R 모듈의 구조는 송신경로와 수신경로를 공유하므로 빠른 스위칭 타임과 높은 경로 간 격리도 확보가 무엇보다 중요하다. 실험실 환경이 아닌 필드환경에 적용 후, 고장유형에 대한 증상 및 현상을 확인하고 주요 불량증상에 대한 현상분석과 해결방안을 증명하였다.

주요 불량증상은 전단구동부의 파워트랜지스터 (Power Transistor) 고장과 고출력 송신단의

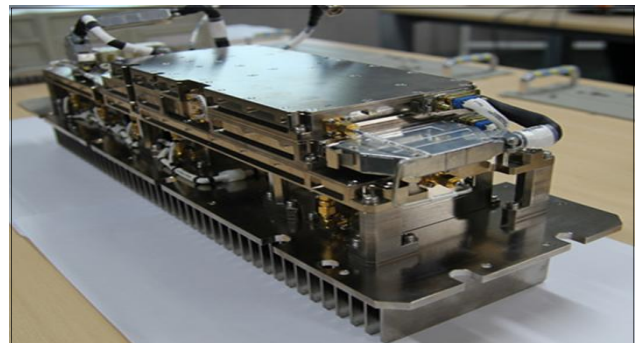


Fig. 2. Configuration and the shape of the T/R Module  
그림2. T/R모듈의 구성 및 형상

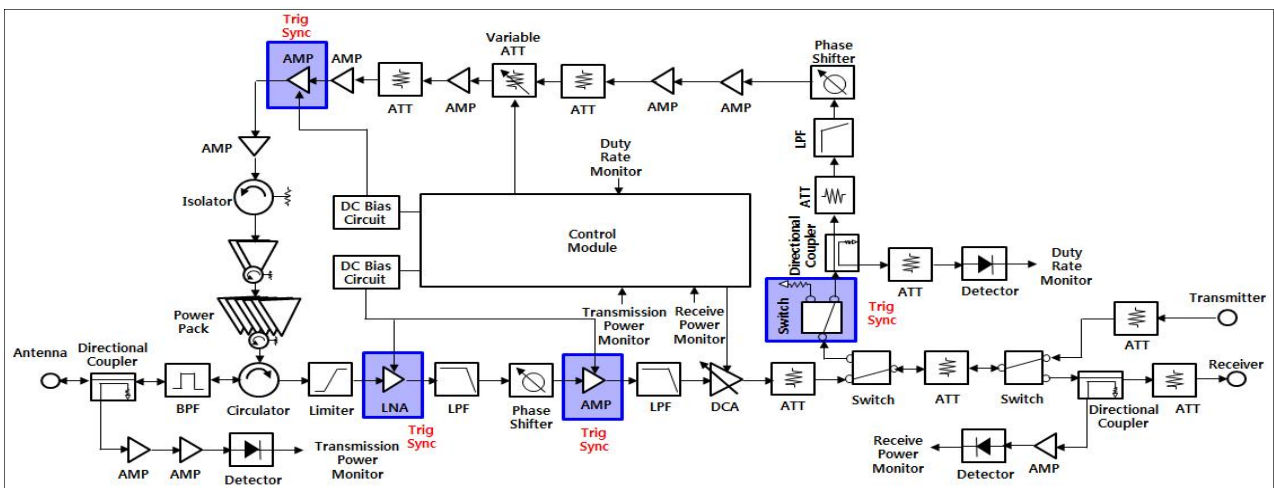


Fig. 3. T/R Module Block diagram  
그림3. T/R모듈 블록도

HPA(High Power Amplifier)를 보호하기 위한 Over-rate 검출회로의 오동작으로 인한 저출력현상이었다. 송신경로의 이득 계산치(Gain Budget)와 제어순서를 검토한 결과 문제점은 없었다.

따라서, T/R모듈의 송신구간이 아닌 수신구간에서 송신단에 영향을 끼칠 수 있는 요소에 대하여 검토하였으며, 격리도가 부족할 경우 발생 가능한 요소에 대하여 검토를 수행하였다.

T/R모듈은 송신구간에서는 SSPA를 통해 증폭된 펄스가 출력되며, 수신구간에는 LNA(Low Noise Amplifier)를 통해 표적등과 같은 반사체로부터 입력되는 미세신호를 증폭하여 수신기로 전달하는 역할을 한다.

송수신 경로 간 격리도는 수신전단기의 서큘레이터(Circulator)의 격리도와 LNA의 바이어스를 이용한 격리도, 그리고 스위치의 격리도 합산으로 이루어진다.

그림4는 T/R모듈의 수신신호가 송신경로로 유입될 수 있는 격리도 모델을 도식화한 것으로 궤환발진(Feedback Oscillation) 발생 조건을 간략화하여 나타낸다.

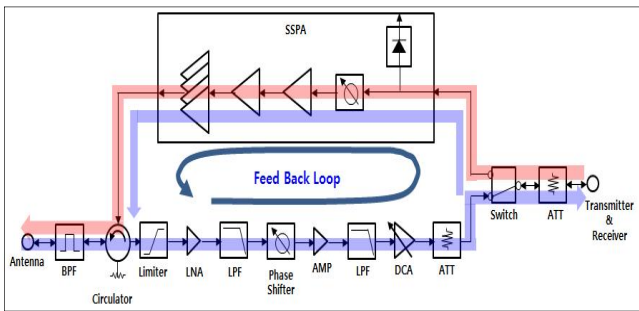


Fig. 4. Isolation Model of the T/R Module  
그림 4. T/R모듈 격리도 모델

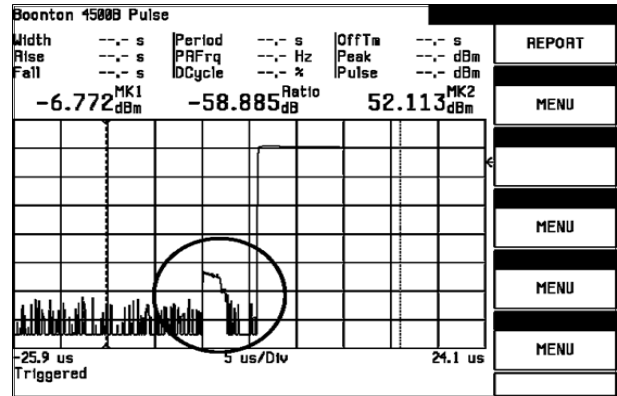
바이어스 전압 제어 시퀀스는 송신제어와 수신제어를 반복하는 트리거(Trig)신호에 따라 LNA와 SSPA내부의 HPA의 전원 공급을 반대로 제어하여 페루프가 형성되지 않도록 설계되어야 한다.

만약, 페루프가 형성되면 LNA와 HPA의 발진을 야기하게 된다.[10]

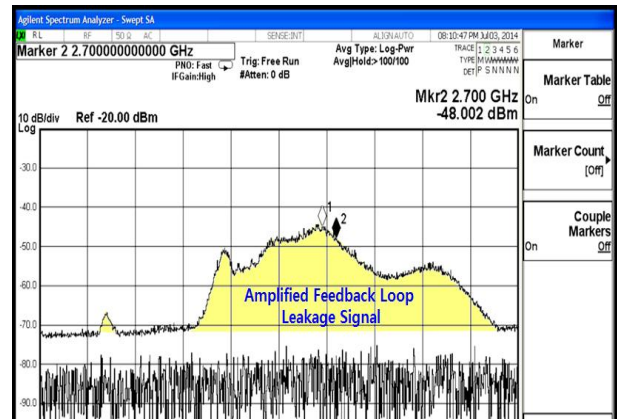
그림5.(a)는 T/R모듈의 출력을 중단(Termination)시킨 상태에서 서의 펄스출력을 측정된 것으로, T/R모듈 송신경로의 노이즈 성분이 수신경로의

이득을 얻어 다시 송신레벨에 궤환되어 송신펄스 6usec 이전에 발진성분을 나타낸다.

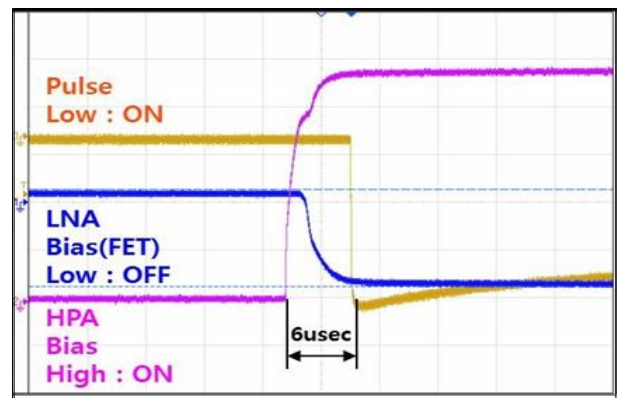
이는 T/R모듈 송신경로의 노이즈 성분이 수신경로의 이득을 얻어 다시 송신레벨에 실려 나오는 페루프가 형성된 것이다.



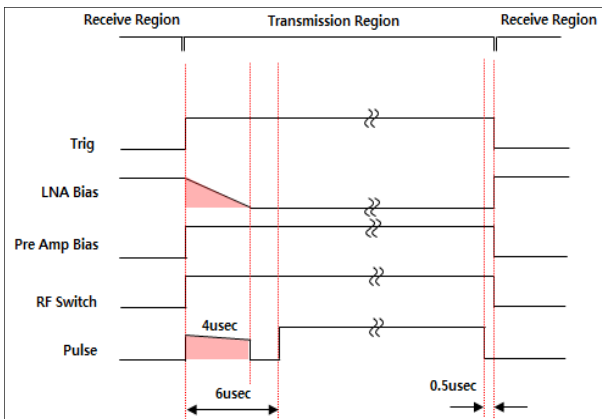
(a) Oscillation of the T/R module output  
(a) T/R모듈의 발진



(b) Amplified feedback loop leakage signal  
(b) 궤환루프의 증폭된 누설신호



(c) Switching time of the T/R module  
(c) T/R 모듈의 스위칭 타임



(d) Timing structure of the T/R module  
(d) T/R모듈 타이밍도

Fig. 5. Oscillation of T/R Module by the Feedback  
그림 5. 케환에 의한 T/R모듈 발진

그림5.(b)는 T/R모듈의 출력단을 중단시킨 상태에서 커플링단자에 40dB 감쇠기를 연결하여 수신 구간동안 수신신호가 송신구간으로 누설되어 증폭된 신호를 측정하는 것으로, 커플러의 커플링계수 10dB와 감쇠기의 40dB를 감안하면, 실제 레벨은 약 0dBm 이상으로 측정되었다.

그림5.(c)는 T/R모듈의 송신경로의 HPA의 바이어스와 수신경로의 LNA 바이어스, 그리고 펄스출력을 측정하는 것으로 LNA의 바이어스 하강시간이 약 4usec이며, HPA의 바이어스 상승시간은 0.2usec이내임을 알 수 있다.

그림5.(d)의 T/R 모듈의 제어 타이밍도를 보면 트리거신호가 인가되면, LNA의 바이어스와 HPA로 사용되는 전치증폭기(Pre-Amplifier)의 바이어스가 트리거신호와 동기 되어 반대로 동작한다.

이 때, LNA의 바이어스 하강시간이 약 4usec이므로, 송신경로와 수신경로가 LNA의 바이어스 하강시간인 약 4usec동안 동시에 활성화 상태로 동작하게 된다.

즉, LNA 바이어스의 하강시간인 약 4usec 동안 수신기로 0dBm 수준으로 신호가 유입되고, 수신경로의 이득과 경로채널로 유입된 신호의 증폭이 이루어지게 된다.

그리고, 격리도 부족으로 인한 발진과 표적에 반사되어 들어온 펄스수신신호 또는 주변 환경의 클러터(Clutter)로 인한 중첩된 펄스수신신호가 송신경로에 유입되면 그림6.과 같이 Over-rate가 동작하게 된다.

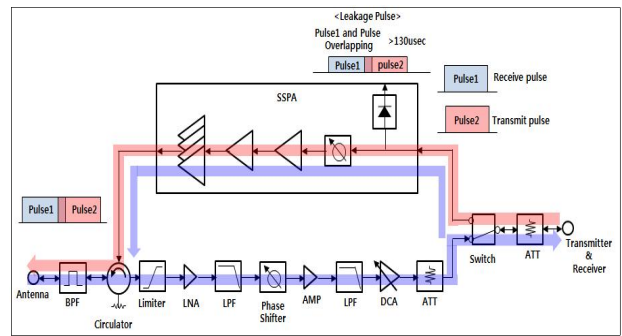


Fig. 6. Over-rate model by feedback oscillation  
그림 6. 케환발진에 의한 Over-rate 모델

주요 불량 발생원인인 전단구동부는 그림7.과 같이 3-stage 증폭부로 구성되어 있으며, 필드에서 발생한 저출력 고장증상의 대부분은 2<sup>nd</sup> Amp로 사용되는 GaN소자인 TriQuint사의 T2G6001528-Q3 18Watt Transistor의 고장으로 발생하였다.

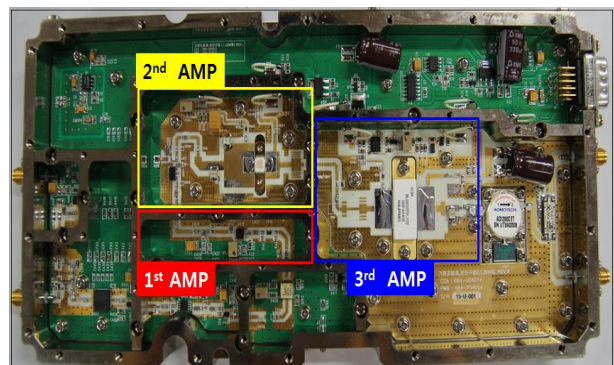


Fig. 7 Configuration of Pre-drive  
그림 7 Pre-drive의 형상

GaN과 같은 고출력 RF부품의 바이어스회로는 소자의 불안정한 상태나 발진 및 드레인(Drain) 전압의 작은 전압변화에도 큰 드레인 전류를 유지하는 등의 문제가 발생하므로, 특별한 주의가 필요하다. [11]

따라서, 무엇보다 중요한 문제가 순차바이어스이며, T2G6001528-Q3 파워트랜지스터의 바이어스 인가순서는 표1.과 같이 권장하고 있다.[12]

송신경로와 수신경로 간 격리도 부족으로 인하여 케환루프가 형성되면, 수신된 신호가 수신기의 이득과 송신기 드라이브용 증폭기(1st AMP\_상시 ON상태)를 거치면서 증폭된 신호가 2<sup>nd</sup> AMP와 3<sup>rd</sup> AMP에 인가되게 된다.

즉, 2<sup>nd</sup> AMP와 3<sup>rd</sup> AMP의 드레인 전압은 큰 RF 신호가 인가된 상태에서 트리거신호에 동기되어 “ON”/“OFF”를 반복하게 된다.

본 과제의 경우, T/R모듈의 수신입력에 0dBm이 인가되면, 수신채널 이득과 송신채널과의 격리도 및 송신채널이득을 합산하여, T2G6001528-Q3 부품에 가해지는 신호의 세기는 약 +20dBm 수준이었다. 이는 GaN소자의 불안정상태를 유도하게 되고 고장을 초래하게 된다. [13]

Table 1. Bias-up and Bias-down procedure of transistor[12]  
표 1. 트랜지스터의 바이어스 인가 순서[12]

| Bias-up Procedure   |
|---|
| Set gate voltage( $V_G$ ) to -5.0V                                    |
| Set drain voltage( $V_D$ ) to 28V                                     |
| Slowly increase $V_G$ until quiescent $I_D$ is 50mA                   |
| Apply RF signal   |
| Bias-down Procedure   |
| Turn off RF signal  |
| Turn off $V_D$ and wait 1 second to allow drain capacitor dissipation |
| Turn off $V_G$  |

3. 개선 및 시험결과

Over-rate현상과 전단구동부에 소요되는 파워트랜지스터 소자의 고장현상은 송신경로와 수신경로간의 격리도 부족으로 인하여 발생한 것으로 하드웨어를 변경할 수도 있으나 광범위한 회로 및 기구물 변경이 소요된다.

따라서, 시스템 운용에 영향이 없도록 제어기를 이용하여 LNA의 바이어스는 그대로 두고, HPA의 순차바이어스와 스위치의 제어 타이밍을 변경하였다. 기존의 회로는 트리거신호와 동기되어 LNA의 바이어스를 “OFF”시킴과 동시에 HPA의 바이어스를 “ON”하여 스위치를 송신경로로 연결되도록 구현되었으나, 개선된 타이밍 시퀀스는 트리거신호와 LNA의 바이어스를 동기 되도록 “OFF”하고, HPA의 바이어스 “ON”타이밍을 트리거신호에 비하여 4usec 지연시켜서 “ON”, 송수신 경로 선택용 스위치가 송신경로로 5usec 지연하여 연결되도록 하였다. 제안하는 상세 타이밍도는 그림8.과 같다.

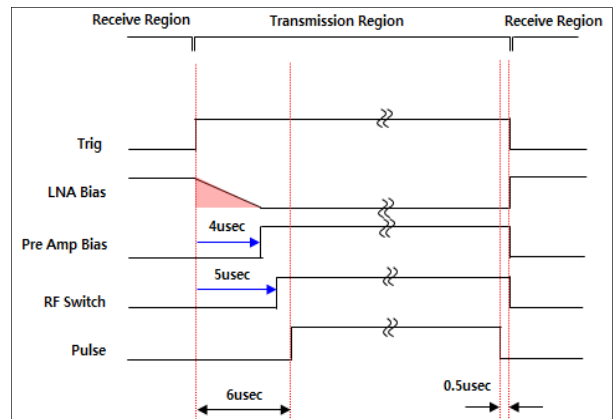


Fig. 8. Improved Timing structure of the T/R module  
그림 8. 개선된 T/R모듈 타이밍도

그림9.는 구현한 제어 타이밍 측정결과이며, 전치증폭기의 바이어스가 트리거신호 4usec 이후에 “ON”되고 5usec이후에 스위치가 송신경로로 선택되도록 한 후, 펄스생성기에서 6usec 이후에 펄스가 생성됨을 확인하였다.

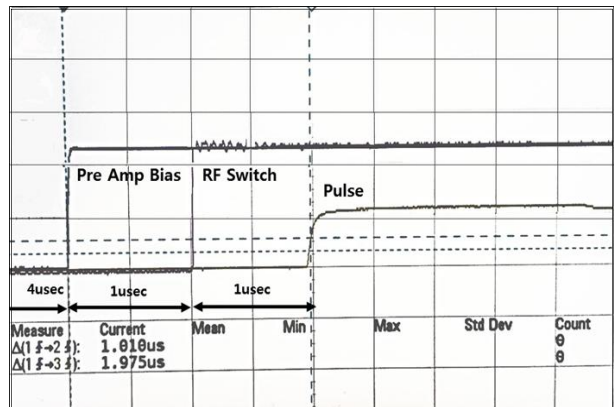


Fig. 9. The measured control timing after improving  
그림 9. 개선 후 측정된 제어타이밍

펄스입력 2usec이전(즉, 트리거발생 후 4usec)에 전치증폭기의 바이어스를 “ON”하는 것은 HPA의 충분한 바이어스 안정화 시간을 확보하기 위함이다.

또한, 펄스입력 1usec이전(즉, 트리거발생 후 5usec)에 송수신 경로 선택용 스위치의 송신경로제어가 이루어지는 것은 스위치소자의 경로 간 격리도인 40dB를 이용하여 HPA에 바이어스가 “ON”되는 순간에 유기될 수 있는 RF신호를 최대한 억압하여 HPA를 보호하는 효과가 있다.

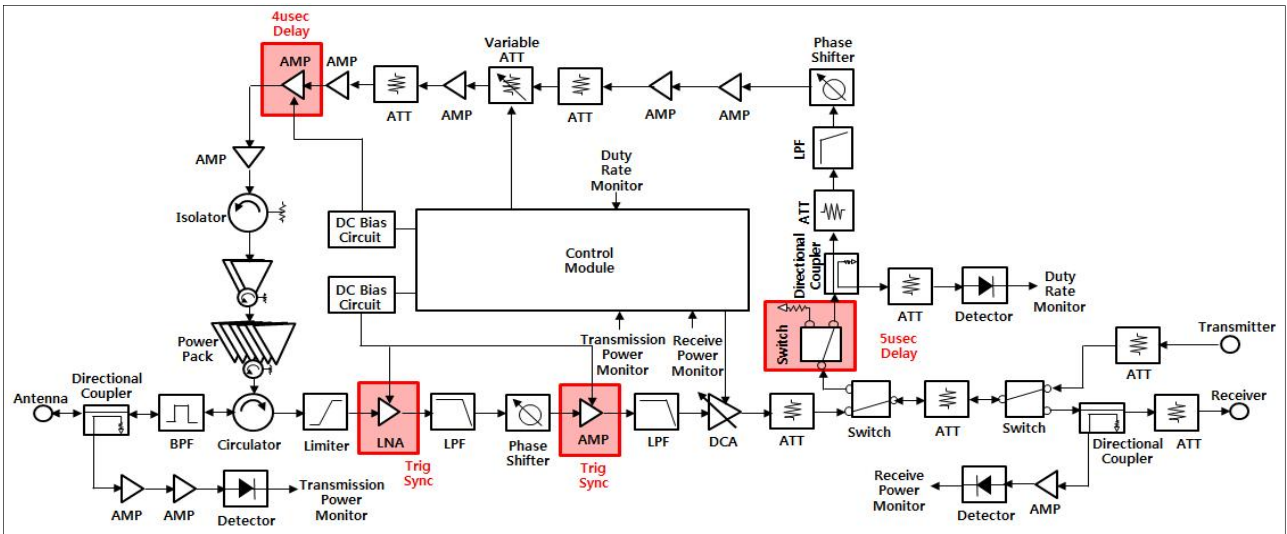
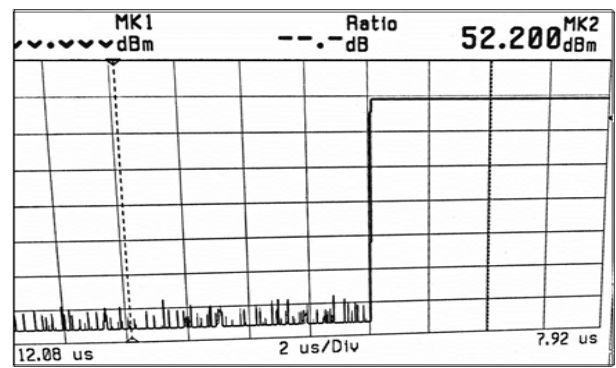


Fig. 10. The block diagram representation of improved bias sequence and control timing of the T/R Module  
 그림 10. 개선된 바이어스 시퀀스와 제어타이밍을 표현한 T/R모듈 블록도

그림10.은 T/R 모듈의 블록도에 순차바이어스 및 제어타이밍을 조정한 전자소자를 표현한 것으로 필드 환경에서 발생 가능한 지형지물에 따른 강한 클러터와 같은 신호성분이 송신구간 동안에 유입되더라도 전단구동부 파워트랜지스터의 바이어스 인가 순서를 만족하도록 하며, 스위치를 송신기에서 펄스발생 1μsec이전에 “ON”시킴으로써, Over-rate검출회로의 오동작 및 HPA의 고장유발 현상을 제거할 수 있다.

그림11.(a)는 LNA, HPA, 그리고 송수신 경로선택 스위치의 순차바이어스와 제어 타이밍을 개선하기 전 출력펄스를 측정한 것으로, LNA의 바이어스가 완전히 “OFF”되기 이전 약 4μsec동안 수신신호가 송신경로로 유기되어 증폭되어 출력되는 것이다.

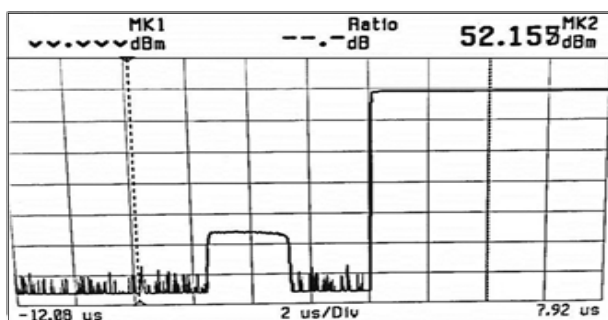


(b) Pulse waveform after improvement  
 (b) 개선 후 출력펄스

Fig.11. Comparison of transmission pulse  
 그림 11. 송신펄스 출력 비교

그림11.(b)는 LNA의 바이어스 하강시간을 줄이기 어려우므로 펄스를 송신하기 전 2μsec지점(즉, LNA의 바이어스가 완전히 꺼지는 지점)에서 HPA의 바이어스를 “ON”시키고, 펄스를 송신하기 1μsec 이전에 스위치가 송신경로로 선택되도록 제어한 파형으로, 궤환루프가 회피됨으로써 수신신호가 송신경로로 유기되지 않아 안정한 출력파형을 보였다.

시험결과를 바탕으로, 필드환경에 적용하여 약 12개월간 주요 불량증상인 전단구동부에 소요되는 파워트랜지스터의 고장현상과 Over-rate 현상에 대한 효과를 확인하였다.



(a) Pulse waveform before improvement  
 (a) 개선 전 출력펄스

순차바이어스와 스위치 제어 타이밍을 수정하기 전에는 1년 이내에 25%수준의 불량률을 보인 반면, 순차바이어스와 스위치 제어 타이밍 튜닝을 적용한 이후에는 동일 불량은 발생하지 않았다.

송수신 경로 간 격리도 문제로 인하여 하드웨어의 평균고장시간에 직접적인 영향성을 확인하였으며, T/R 모듈의 강건성을 개선하였다.

### III. 결론

본 논문에서는 능동 위상 배열시스템에 적용되는 T/R모듈의 공통경로 사용으로 인한 송수신 경로 간 격리도의 중요성과 격리도 부족 시 하드웨어 고장을 유발하며, 평균고장시간(MTBF)에 직접적인 영향을 끼치는 사실을 도출하였다.

해결방법으로 시간 및 비용의 부담이 큰 하드웨어 변경을 배제하고, 송수신기 증폭소자의 순차바이어스 조정과 하드웨어의 구성형태에 따른 스위칭소자의 제어 타이밍 튜닝을 통하여 송수신 경로 간 격리도를 확보하는 방법을 제안하였다.

레이더시스템이 운용되는 필드환경에 적용하여 장기간에 걸쳐 효과를 검증하였으며, 제안한 기법을 적용한 이후에는 동일불량은 발생하지 않았다.

본 논문에서 제안한 기법은 송수신 경로를 공유하는 어떤 형태의 T/R모듈에도 적용 가능하며, 유사 시스템 및 장비의 격리도 확보를 통한 T/R 모듈의 강건성 확보에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

### References

- [1] Merrill Skolnik, *Radar handbook I Third Edition*, Mc Grow Hill, 2008.
- [2] William L. Melvin, James A. Scheer, *Principles of Modern Radar : Advanced Techniques*, SciTech PUBLISHING, 2012.
- [3] Mark A, Richards, James A.Scheer, William A.Holm, *Principles of Modern Radar : Basic Principles*, SciTech PUBLISHING, 2010.
- [4] T.Bertuch, M.Pamies, C.Locker, P.Kontt, H.Erkens, R.Wunderlich, S.Heinen, "System aspect of a low-cost coherent radar system with aesa antenna for maritime applications," *2010 International Kharkov symposium of physics and engineering of microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves(MSMW)*, 2010, pp. 1-6.
- [5] C.Tarran, "Advances in affordable Digital Array Radar," *2008 IET waveform Diversity & Digital Radar Conference-Day2: From Active Modules to Digital Radar*, 2008, pp. 1-6.
- [6] Sung-Kyun, Park, "Design and Build of Transmit/Receive Module for X Band", *The journal of Korean institute of electromagnetic engineering and science*, vol.19, no.2, pp. 168-173, Feb. 2008.
- [7] Terry Edwards, "Semiconductor Technology Trends for Phased Array Antenna Power Amplifiers," *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Radar Conference*, 2006.
- [8] Ryoung-seo, Koo, "A Study on the Optimum Design of Transceiver Module for Solid-State Radar," Ph.D. Thesis,, Kyungnam University, 2013.
- [9] Dong-Yoon, Kim, Min-Kil, Chong, Sang-Keun, Kim, Sang-Mi, Chon, Hyung-Gi, Na, Seung-Hun, Baik, Chang-Soo, Ahn, Seon-Joo, Kim, "T/R Module Development for X-Band Active Phase-Array Radar," *The journal of Korean institute of electromagnetic engineering and science*, vol.20, no.12, pp. 1243-1251, Dec. 2009.
- [10] Sung-Kyun, Park and Hai-Young, Lee, "Compact T/R Module Having Improved T/R Isolation Using a Bias Timing Scheme," *The journal of Korean institute of electromagnetic engineering and science*, vol.23, no.12, pp. 1380-1387, Dec. 2012.
- [11] John Bellantroni, "Bias Techniques for GaN and pHEMT Depletion Mode Devices" <http://www.triquint.com/products/d/bias-techniques-gan-phemt-depletion-mode-devices/>
- [12] TriQuint, "T2G6001528-Q3, 18W, 28V, DC-6GHz, GaN RF Power Transistor" <http://www.triquint.com/products/d/DOC-B-0000>



0410/

[13] NITRONEX, "Bias Sequencing and  
Temperature Compensation for GaN HEMPs"  
<http://nitronex.com.previewyoursite.com/pdfs/AN-00.pdf>

## BIOGRAPHY

### Woo-Sung Yoo (Member)



2003 : BS degree in  
Electronic Engineering,  
Kwangwoon University.  
2002~present : Research  
Engineer, LIGNex1.

### Jong-Ju Keum (Member)



1989 : BS degree in  
Electronic Engineering,  
Dankook University.  
1991 : MS degree in  
Electronic Engineering,  
Dankook University.

1992~present : Research Engineer, Defense  
Agency for Technology and Quality.

### Do-Yeol Kim (Member)



2012 : BS degree in Radio  
Frequency Engineering,  
Korea Maritime and Ocean  
University.  
2013~present : Research  
Engineer, LIGNex1.

### Sung Han (Member)



1991 : BS degree in  
Electronic Engineering,  
Donga University.  
1993 : MS degree in  
Electronic Engineering,  
Pusan National University.

1997~present : Research Engineer, LIGNex1.