
신호수신시스템 성능예측을 위한 신호원 모의발생 방안 연구

김동규* · 윤원식*

*아주대학교

Study of the RF Test signal generation methods for receiver performance verification

Dong-gyu Kim* · Won-sik Yoon*

*Ajou University

E-mail : markkim2010@ajou.ac.kr, wsyoon@ajou.ac.kr

요 약

전파를 수집하고 분석하는 신호수신시스템은 실 운용환경에서 검증되기 전에 정밀한 모의전파신호원을 이용한 정량적인 성능예측 및 실 환경과 유사한 모의전파환경에서 검증되어야 한다. 신호수신시스템은 전파의 주파수(Frequency), 펄스 변조(Pulse Modulation), 스캔 변조(Scan Modulation), 펄스 내 위상변조(Phase Modulation On Pulse), 펄스 내 주파수 변조(Frequency Modulation On Pulse) 등 다양한 신호특성에 대한 측정, 분석능력을 갖는다. 이러한 신호원들은 기본적으로 실험실 환경에서 모의발생 되어야 하고 전파가 다수 존재하는 복잡한 전파환경 또한 모의되어야 한다. 본 논문에서는 효과적인 전파신호원의 모의발생, 운용시나리오에 따른 정밀고주파시험신호 모의방법에 관한 연구 결과를 서술한다.

ABSTRACT

A Signal Receiving system to collect and analyze RF signals should be verified under simulated RF signal environment prior to verification on operation in fields and tested by using simulated RF signals in order to estimate its electrical performance. Generally, typical Signal Receiving system can measure, analyze frequency, pulse modulation, scan modulation, phase modulation on pulse, frequency modulation on pulse etc on RF signals. These RF signals should be generated from simulated RF sources in laboratory. Also the simultaneous RF signals should be simulated on laboratory. This paper describes the results of studying effective simulated RF signal source generation, the methods of the precise RF test signal generation in consideration of operational scenario.

키워드

Simulated RF signal, Signal Receiving system, Pulse modulation, Scan modulation

1. 서 론

본 논문에서는 레이더 신호를 수집처리하는 신호수신시스템 성능예측을 위해 사용되는 모의전파신호원 발생 방안을 연구한다. 실제 운용환경에서 장비 성능검증 전에 실험실 환경에서 단일 전파 모의 신호원, 다중 전파 모의 신호원, 복잡하

고 정밀한 모의 전파 신호원을 이용한 장비 성능검증은 반드시 수행되어야 한다. 현대의 레이더 시스템은 주파수변조, 펄스변조, 스캔 변조 특성을 갖는 것은 기본이고 펄스 내 위상 변조, 펄스 내 주파수 변조 특성 등 다양한 특성을 갖는다. 신호수신시스템은 고밀집화된 신호 환경(High density signal environment)에서 광대역에 걸쳐

존재하는 최신 레이더 신호를 수집, 분석할 수 있어야 한다. 실 운용환경에서 시험 전에 실험실환경에서 시험시나리오를 설정하고 각종 모의 전파신호원을 이용한 시험, 검증은 무기체계 개발과정에서 가장 효과적이고 현실적인 방법이다. II장에서는 신호수신시스템에 요구되는 모의전파신호원의 종류, III장에서는 모의전파신호원 발생방안에 대해서 살펴본다. IV장에서는 구현한 모의전파신호원에 대한 신호수집시스템 측정결과를 제시한다. V장에서는 운용시나리오에 따른 정밀한 모의 신호원의 발생 방안 연구결과를 서술한다. 마지막으로 향후 발전방향 및 결론에 대해서 서술한다.

II. 모의전파신호원 종류

전자전(Electronic Warfare)의 중요한 한 분야로 시뮬레이터는 훈련 및 장비 시험평가에 폭 넓게 사용된다. 개발자, 운용자, 사용자 모두에게 매우 유용한 시험환경을 제공한다.[1] 전자전 수신기로 사용되는 신호수신시스템은 구성품 단위 시험, 시스템시험, 운용시험 단계를 거쳐 성능을 입증하고 실전 배치된다. 단계별 시험 시 일반 신호발생기로 시험할 수 있는 부분은 매우 제한적이므로, 구성품 단위 시험, 시스템 시험 단계에는 정밀한 모의전파신호원을 발생하는 전용 모의전파신호원 발생기를 이용하여 전기적인 성능 검증이 필요하다.

시험에 소요되는 모의전파신호원은 주파수, 펄스변조, 스캔변조, 펄스 내 변조 특성을 갖는다. 각 특성을 조합하여 모의전파신호원을 생성, 신호수신시스템에 제공되어야 한다. 그림1은 모의전파신호원의 특성을 도식화한 그림이다.

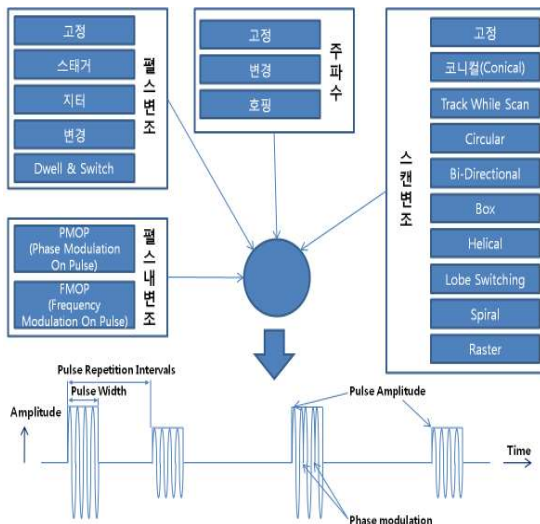


그림 1. 모의전파신호원의 특성

III. 모의전파신호원 발생 방안

고속주파수 동조용 RF 소스원인 Digitally Tuned Oscillator, 위상변조를 위한 위상변위기, 펄스변조를 위한 핀 다이오드 스위치, 프로그래머블 감쇄기는 모의전파신호원을 발생하기 위한 구성품으로 사용된다. 그림 2는 모의전파신호원 발생 계통이다. 그림 2에서 위상변위기와 FM(Frequency Modulation) 소스는 실 구현 시에는 적용하지 않았으나, 펄스 내 주파수변조 및 펄스내 위상변조를 위해 사용될 수 있다. 한 개의 DTO에서 시분할로 반송파 신호를 생성하고 위상변조, 펄스변조, 스캔변조를 펄스단위로 적용하여 복잡한 모의전파신호원을 발생할 수 있다.

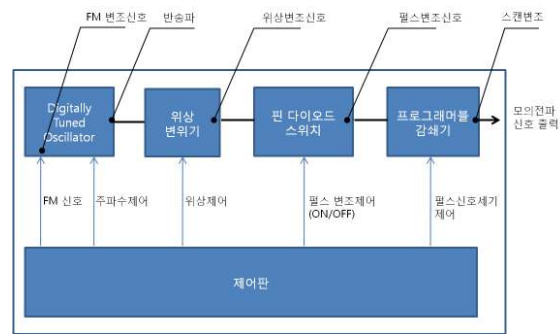


그림 2. 모의전파신호원 발생계통

각 구성품은 최소 1[μs] 이하의 안정화 시간 갖는 고속 스위칭 소자들을 적용을 기본으로 하여 펄스단위(Pulse by Pulse) 발생이 가능하도록 하였다. 구성품 주요규격은 다음과 같다.

구분	주요 규격
Digitally Tuned Oscillator	주파수 : 2~18 [GHz] 동조시간 : 1[μs] 이하 RF 출력 : 10 +/- 2.5 [dBm] Spurious : 60 [dBc]
위상 변위기	주파수 : 2~18 [GHz] 스위칭 속도 : 500 [ns] 이하 위상정확도 : +/- 10 [도] 이하 해상도 : 11.25 [도] (5bit)
핀 다이오드 스위치	주파수 : 2~18 [GHz] 스위칭속도 : 20 [ns] 이하 격리도 : 80 [dB] 이상 삽입손실 : 3.5 [dB] 이하
프로그래머블 감쇄기	주파수 : 2~18 [GHz] 스위칭 속도 : 1 [μs] 이하 최대 감쇄 : 60 [dB] 이상 해상도 : 0.5 [dB] (7bit)

IV. 모의전파신호 발생 결과

주파수, 펄스변조, 스캔변조 특성을 갖는 모의 전파신호 발생 후 신호수신시스템과 스펙트럼 분석기로 계측한 결과이다.

① 정현파특성을 갖는 변경주파수 모의 후 측정 : 2500[MHz] +/- 10[MHz] 정현파 0.2[Hz], 펄스반복주기 100[μs], 펄스폭 1[μs]

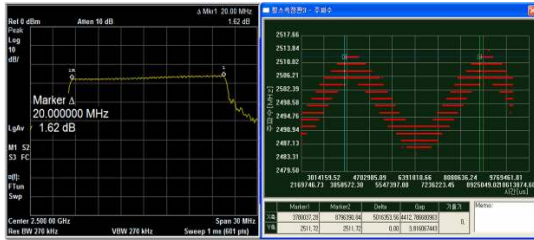


그림 3. 주파수변조 : 변경주파수 발생

② 스테거 특성을 갖는 펄스반복주기 모의 후 측정 : 13500[MHz], 펄스반복주기 32단 스테거, 펄스폭 1.5[μs]

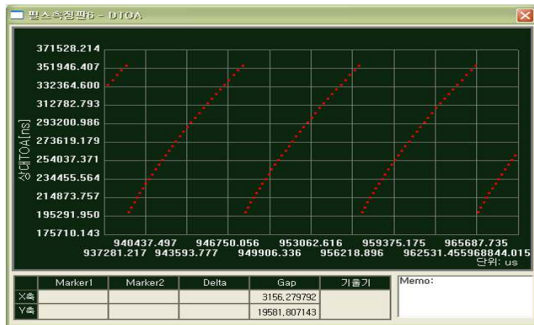


그림 4. 펄스변조 : 32단 스테거

③ 정현파 패턴을 갖는 펄스반복주기 모의 후 측정 : 4000[MHz], 펄스반복주기 200[μs] +/- 15% 정현파 50[Hz], 펄스폭 1.5[μs]

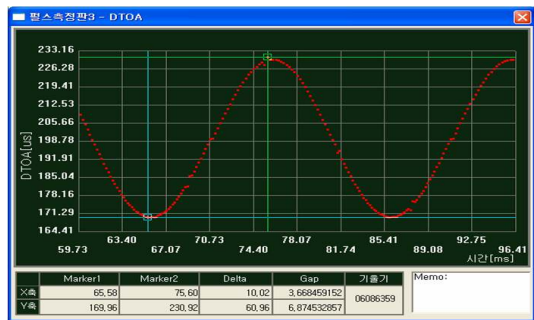


그림 5. 펄스변조 : 정현파 변경패턴

④ 지터 패턴을 갖는 펄스반복주기 모의 후 측정 : 3400[MHz], 펄스반복주기 100[μs] +/- 5%, 펄스폭 2[μs]

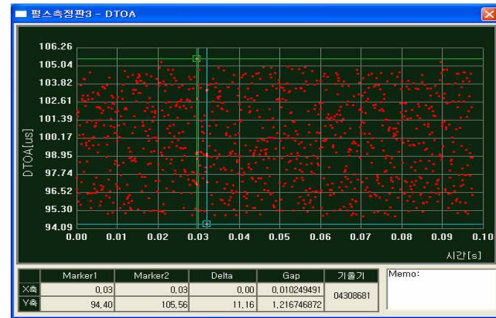


그림 6. 펄스변조 : 지터 패턴

⑤ Conical 스캔특성을 갖는 신호모의 후 측정 : 6500[MHz], 펄스반복주기 100[μs], 펄스폭 10[μs], 스캔주파수 80[Hz]

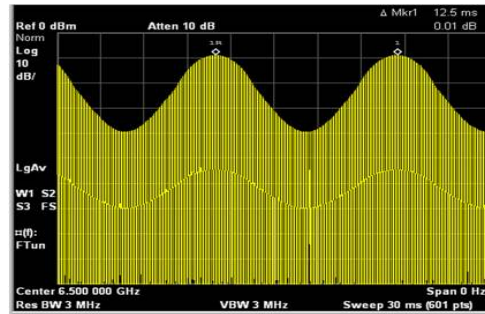


그림 7. 스캔변조 : Conical

⑥ Circular 스캔특성을 갖는 신호모의 후 측정 : 10100[MHz], 펄스반복주기 100[μs], 펄스폭 1[μs], 스캔주파수 100[Hz]

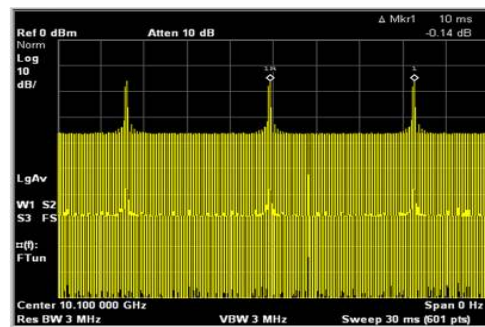


그림 8. 스캔변조 : Circular

Digitally Tuned Oscillator가 생성한 반송과주파수에 핀다이오드 스위치로 고속 펄스변조와 프로그래머블 감쇄기로 스캔변조를 적용해 신호수집시스템 시험에 필요한 다양한 모의신호를 발생가능함을 알 수 있다.

V. 운용시나리오에 따른 정밀 신호원 모의

가상의 시험시나리오를 적용하여 운용환경과 유사한 상황을 모의함으로써 다양한 시험에 적용할 수 있다. 이런 환경을 동적으로 모의하는데 그림 2. 모의전파신호원 발생계통에서 프로그래머블 감쇄기와 위상변위기를 활용하여 신호세기과 도플러 주파수량을 포함한 정밀 신호원을 모의할 수 있다.

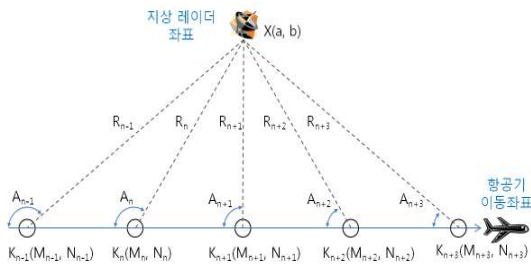


그림 9. 시험시나리오

그림 9에서 지상레이더와 항공기 이동좌표를 2 차원 상에서 가정하면, 항공기에 탑재된 신호수집 시스템이 수신하는 신호세기의 변화량은 아래 식과 같이 단방향 수식으로 계산된다.[2] 항공기 이동조건에 따른 거리별 신호세기를 계산결과 값으로 프로그래머블 감쇄기에 적용하면, 모의전파신호의 펄스단위 신호세기 적용가능하다.

$$(P_T * G_{TE}) / (L_T) = (4\pi)^2 * S_n * R_n^2 * L_E / G_E * \lambda$$

- P_T = 지상레이더 송신기출력[Watt]
- G_{TE} = 지상레이더 송신안테나 이득
- L_T = 지상레이더 송신기 손실
- S_n = 신호수신시스템을 탑재한 항공기에서 수신신호세기[Watt]
- R_n = 지상레이더에서 항공기간 거리[m]
- L_E = 신호수신시스템에서 손실
- G_E = 신호수신시스템의 수신안테나 이득
- λ = 파장

동일하게 신호 수신 시스템을 탑재한 항공기는 이동시 도플러효과로 인한 주파수 변이가 주파수 성분에 포함되어 신호수집시스템에 측정된다. 최신 신호 수신 시스템은 FDOA(Frequency Difference Of Arrival)를 이용한 정밀 방향탐지를 할 수 있다.[3] 이런 종류의 신호수신 시스템을 시험하기 위해서는 항공기 위치와 속도를 고려한 아래수식을 적용한다. 도플러 변화량 환산후 위상변위기에 적용하여 도플러신호가 첨가된 모의전파신호를 발생시킬 수 있다.

$$f_{dn} = (V * \cos(A_n) * f_c) / C$$

$$f_{dn} = \text{도플러 주파수}$$

- V = 신호수신시스템을 탑재한 항공기 속도
- A_n = 지상레이더 위치 및 항공기 진행경로에 따른 각도 변화량
- f_c = 레이더 송신 주파수
- $C = 3 * 10^8 \text{ m/s}$

VI. 결 론

전자전의 한분야로서 항공기나 함정 등 다양한 플랫폼에 장착되는 신호수신시스템 성능을 고려하여 모의전파신호를 발생시키는 방안은 마련되어야 한다. 본 문서에서는 주파수변조, 펄스변조, 스캔변조 등 복잡한 신호특성을 구현하는 방법에 대해 살펴보았고, 가상의 시험시나리오를 적용한 정밀한 모의 신호 발생방안에 대해 살펴보았다. 가상 시나리오에 따른 신호세기나 도플러 주파수량을 가변하여 모의전파신호원을 적용 구현한다면, 실제 운용환경과 유사한 상황에서 최신 신호수신 시스템의 성능을 예측 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] D. Curtis Schleher Ph. D., Introduction to Electronic Warfare, ARTECH HOUSE INC., 19~20, 1994
- [2] Richard G. Wiley, Electronic Intelligence : The Analysis of Radar Signals Second Edition, ARTECH HOUSE INC., 41~42, 1993
- [3] David L. Adamy, EW102 A Second Course in Electronic Warfare, ARTECH HOUSE INC., 167~169, 2004