

論文2002-39SC-2-4

위상정합 레이더에 대한 EA효과 분석용 타이밍 신호발생기

(An Implementation of Timing Signal Board to Analyze the EA Effect for Coherent Radar Systems)

申鉉翼*, 林重洙*, 金煥宇**

(Hyun-ik Shin, Joong-Soo Lim, and Whan-Woo Kim)

요 약

위상정합(coherent) 레이더에 대한 EA 효과를 다양하게 분석할 수 있는 타이밍 (timing) 신호 발생기를 설계 및 제작하였다. 제작한 신호발생기는 EA 장비 및 위상정합 레이더에 필요한 각종 타이밍 신호 및 모의 표적신호를 실시간으로 발생하며, 모의 표적신호 발생기능은 레이더에 대한 EA 효과를 쉽게 확인할 수 있도록 하여준다. 타이밍신호의 모든 파라미터는 프로그램에 의해 변경 가능하기 때문에, 다양한 형태의 시험 시나리오를 쉽게 구성할 수 있다.

Abstract

A timing signal board which can be used to analyze EA effect for coherent radar systems is introduced. It is capable of generating the timing signals that are needed for EA test about radar systems in real time. Its function to generate baseband target signal makes it easy to analyze EA effect. Because all parameters of timing signals can be changed by software, it is very easy to configure many kinds of test scenarios.

I. 서 론

전자공격(EA : electronic attack)은 전자전(EW : electronic warfare) 시스템을 구성하는 전자전지원(ES : electronic warfare support)뿐만 아니라, 레이더 수신기 및 신호처리기의 구성에 따라서도 큰 영향을 받는다.^[1,2] 특히 최신 레이더들은 위상정합(coherent) 기능을 가지며, 운용 프로그램에 의해 신호처리기의 구성

을 쉽게 바꿀 수 있는 DSP(digital signal processing) 소자를 사용하여 발전하고 있다. 따라서 최신 레이더에 대한 EA 효과를 실시간으로 분석하기 위해서는 EA 장비뿐만 아니라, 다양한 신호처리기 구성이 가능한 정합 위상 레이더까지를 포함한 시험환경이 요구된다.

이 경우 실제 레이더가 위상정합 레이더 기능을 대신할 수도 있지만, 다양한 성능분석을 위하여 각종 계측장비들을 이용한 모의레이더 구성이 일반적으로 널리 사용되고 있다. 특히 기존의 시험환경에서는 두 장치의 운용에 필요한 각종 타이밍신호 및 모의표적신호 또한 펄스발생기 및 과형합성기 등을 사용함으로써 상대적으로 고가의 장비를 사용하면서도 EA 장비 및 위상정합 레이더 운용에 필요한 각종 타이밍신호를 실시간으로 발생하기가 매우 어려웠으며, 이에 따른 운용, 유지 및 재구성에도 많은 어려움이 발생하였다.^[3]

본 논문에서는 안테나가 기계적으로 회전하는 위상

* 正會員, 國防科學研究所

(Agency for Defense Development)

** 正會員, 忠南大學校 情報通信工學部

(Division of Electrical and Computer Engineering, Chungnam National University)

接受日字:2001年8月8日, 수정완료일:2002年2月15日

정합 레이더에 대한 EA 효과를 실시간으로 확인할 수 있는 그림 1의 시험환경에서, 레이더의 운용타이밍 신호는 물론 EA장비의 운용 타이밍신호까지도 발생할 수 있는 타이밍 신호발생기를 설계 및 제작하고 그 기능을 시험하였다.

제작한 신호발생기는 위상정합 레이더 및 EA장비 운용에 필요한 각종 타이밍신호 뿐만 아니라, 기저대역(baseband) 모의 표적신호를 실시간으로 발생할 수 있다. 발생된 모의 표적신호는 EA 장비의 송신파형 합성에 사용될 수 있으며, 수신된 재밍신호와 합하여 레이더 신호처리기에 입력함으로써 EA 장비의 재밍효과 확인을 쉽게 할 수 있도록 한다. 모의 표적신호의 영향이 실제 상황과 유사하게 표현될 수 있도록 모의 표적신호의 세기 및 활동궤적(trajecory)은 임의로 설정될 수 있게 하였다.

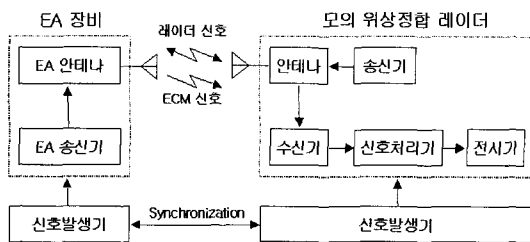


그림 1. 레이더에 대한 EA장비의 시험 구성도
Fig. 1. Test configuration of EA with radar.

특히 동일 기능의 신호발생기를 그림 1에서와 같이 상호 동기 시켜 사용하는 경우, ES 장비로부터 제공되는 위협대상 레이더의 펄스반복시간(PRI : pulse repetition interval) 등과 같은 파라미터를 정확하게 얻을 수 있기 때문에, EA 장비와 위상정합 레이더간의 동기제밍 시험도 가능하다.

본 논문에서 제작한 신호발생기는 타이밍신호 및 모의 표적신호 발생에 필요한 모든 파라미터를 프로그램에 의해 변경할 수 있으므로, EA 장비의 기능 확인에 필요한 다양한 시험 시나리오를 쉽게 구성할 수 있는 장점이 있다.

II. 신호발생기의 설계

신호발생기는 EA 장비 운용 및 안테나가 기계적으로 회전하는 위상정합 레이더 운용에 필요한 모든 타이밍 신호와 EA 장비운용 및 재밍효과 분석을 쉽게 할 수 있

도록 하는 기저대역 모의 표적신호를 발생한다. 레이더 및 EA 장비 운용과 관련된 타이밍신호와 신호발생기의 기능별 구성도를 각각 표 1과 그림 2에 나타내었다.

표 1. 신호발생기의 타이밍신호
Table 1. Timing signal of board.

관련장치	타이밍
안테나 회전 및 빔폭	• ARP(azimuth reference pulse) • ACP(azimuth changing pulse) • DT(dwll time) 펄스
송수신기	• 송신펄스 - 펄스 반복주기(PRI) - 펄스폭(PW : pulse width)
신호처리기	• CPI(coherent processing interval) 펄스 - CPI 당 송신펄스 수 • A/D(analog-to-digital) 샘플링 클락
표적발생	• 표적 트리거 펄스 - 방위각 트리거 펄스 - 거리셀 트리거 펄스 • 기저대역(baseband) 표적신호

표 1에서 보는바와 같이 신호발생기에서 필요로 하는 신호에는 안테나 회전 및 빔폭과 관련된 ARP/ACP/DT 펄스, 송수신 장치의 송·수신 타이밍과 관련된 송신펄스, 신호처리기의 위상정합 누적(integration) 구간을 표시하여 주는 CPI 펄스, 수신신호를 디지털신호로 변환하기 위한 A/D 샘플링 클락 및 모의 표적신호 발생을 위한 표적 트리거펄스 등의 디지털 타이밍 신호와 아날로그 신호인 기저대역 모의 표적신호 등이 있다.

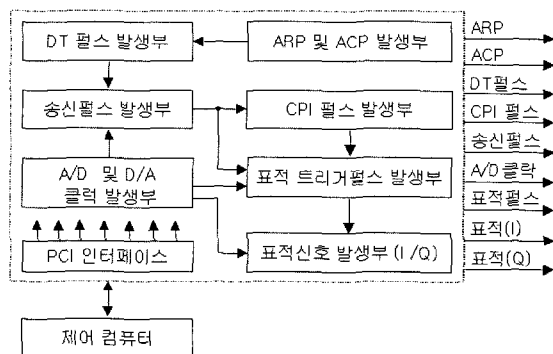


그림 2. 타이밍 신호발생기의 구성도
Fig. 2. Block diagram of timing signal board.

그림 2는 표 1에 나타난 타이밍신호들의 동기관계를 고려한 신호발생기의 구성도 이다. 각 발생부는 타이밍

로직 및 메모리(또는 래치)로 구성되며, 제어 컴퓨터에서 설정한 파라미터가 메모리(또는 래치)에 저장됨으로 프로그램에 의한 타이밍신호의 변경이 가능하다.

ARP와 ACP 신호는 각각 안테나의 절대적 기준방위 및 이를 기준으로 한 상대방위를 알려주는 신호이다. 일반적인 경우 ARP는 회전 당 한번 발생하며, ACP는 ARP를 기준으로 하여 회전 당 4,096(12-비트) 또는 16,384(14-비트)개의 펄스를 발생하는 경우가 대부분이다. 그림 3은 ARP 및 ACP 발생부의 구성도로서, ARP 래치를 사용하여 회전 당 4,096 및 16,384개의 ACP 발생 모두가 가능하도록 설계하였으며, 안테나의 회전속도와 관련된 최종 ACP는 RPM래치 값을 사용한 분주 회로를 통해 발생된다. RPM 래치 값에 따라 안테나 회전은 10단위로 10에서 60 RPM 범위에서 가변 될 수 있으며, 다른 레이더와의 동기가 필요한 경우 외부 ARP를 선택할 수 있도록 하였다.

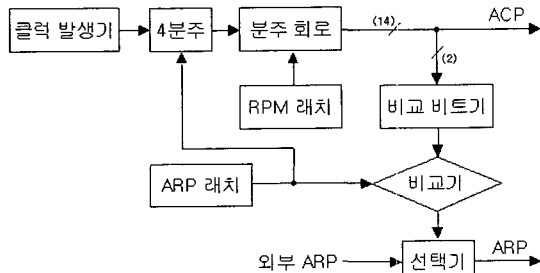


그림 3. ARP 및 ACP 발생부
Fig. 3. Generator for ARP and ACP.

안테나가 방위각 방향으로 회전하는 경우 펄스누적을 수행할 수 있는 최대 시간으로 정의되는 DT는, 안테나의 방위각 빔 폭을 $\theta_{az} [^\circ]$, 회전율을 $\omega [^\circ/\text{초}]$ 로 정의할 때 DT는

$$DT = \frac{\theta_{az}}{\omega} [\text{초}] \quad (1)$$

과 같이 표현되며, ARP를 기준으로 ACP 개수를 카운팅(counting)하여 얻어진다. 그림 4는 DT펄스 발생부의 구성도로서, 제어 컴퓨터로부터 초기에 저장된 ACP메모리 값을 순차적으로 읽어내어 ACP 카운터 출력값과 비교하여 DT 펄스를 발생한다.

그림 5는 신호발생기의 송신펄스 발생부, 표적 트리거펄스 발생부 및 레이더 신호처리기의 A/D변환기에서 사용하는 A/D 클럭과, 모의 표적신호 발생을 위한 D/A

변환기의 D/A 클럭을 발생하는 A/D 및 D/A클럭 발생부의 구성도이다. 두 클럭 모두 래치 값에 따라 독립적으로 1/2/4/8 분주가 가능하며, 필요시 외부 클럭을 선택할 수 있도록 설계하였다.

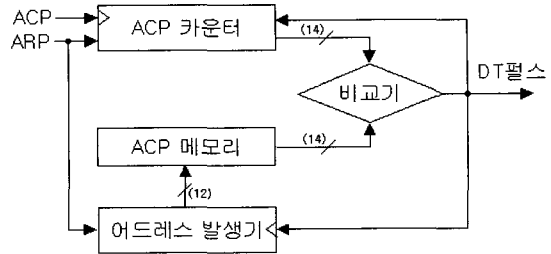


그림 4. DT 펄스 발생부
Fig. 4. Generator for DT pulse.

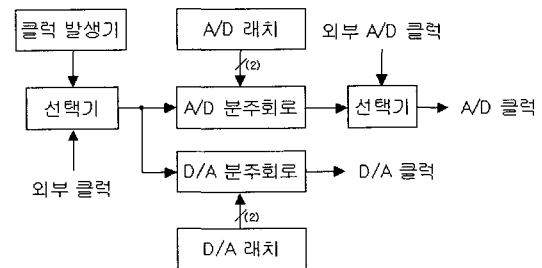


그림 5. A/D 및 D/A 클럭 발생부
Fig. 5. Generator for A/D and D/A clock.

위상정합 레이더의 송신펄스는 DT펄스를 기준으로 발생하는 n 개의 펄스 열로 구성됨으로, DT 내에서의 최대 송신펄스 수는

$$n = \frac{\theta_{az} f_p}{\omega} \quad (2)$$

과 같이 주어지며, f_p 는 펄스반복주파수(PRF : pulse repetition frequency)를 의미한다.^[4]

실제 레이더 시스템에 있어서 식 (1)로 정의되는 DT는 그림 6과 같이 여러 개의 펄스 열로 구성된 다수의 CPI로 나누어지며, PRI 및 캐리어(carrier)주파수가 CPI 단위로 변경되기도 한다.^[5] 즉, CPI는 위상정합 레이더에 있어서 신호처리기의 기본 데이터 블록을 의미한다.

송신펄스에 대한 CPI 단위의 PRI 변경은 표적이 PRF의 정수배에 해당하는 도플러 주파수를 발생하는 경우 레이더가 표적을 탐지하지 못하는 맹속(blind speed)효과를 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 레이더 측면에서는 전자보호(EP : electronic protection) 기능을

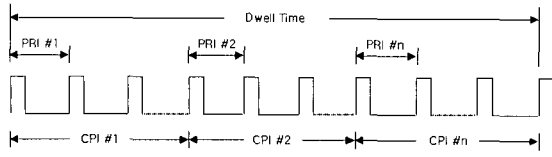


그림 6. DT 펄스의 구성
Fig. 6. Configuration of DT pulse.

수행하게 된다. 송신신호의 펄스 폭은 선형주파수변조(LFM : linear frequency modulation)등과 같이 펄스압축기법을 적용하는 경우 레이더에 따라 다양하게 변할 수 있다.

그림 7과 8은 그림 6에 나타난 위상정합 레이더의 타이밍신호를 발생하기 위한 송신펄스 발생부 및 CPI 펄스 발생부의 구성도 이다. 그림 7의 송신펄스 발생부는 CPI 단위의 PRI 및 펄스 폭 변경이 가능하도록, 운용 프로그램에서 설정한 파라미터를 저장할 수 있는 PRI 메모리와 펄스 폭 메모리를 갖고 있다. 송신펄스의 PRI 및 펄스 폭은 A/D클럭을 카운팅 하는 PRI카운터 및 펄스 폭 카운터의 출력을 각각의 메모리 값과 비교하여 원하는 송신펄스를 만들게 된다. 송신펄스도 필요시 외부 신호를 입력받을 수 있도록 구성하였다.

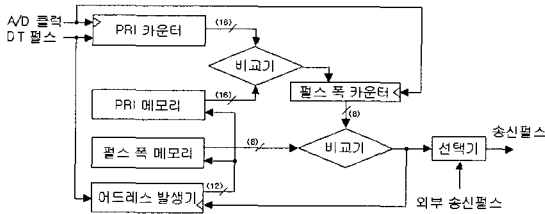


그림 7. 송신펄스 발생부
Fig. 7. Generator for transmit pulse.

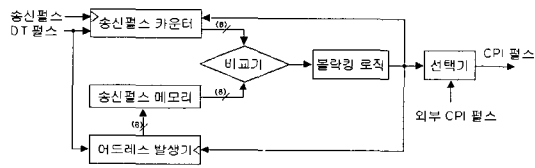


그림 8. CPI 펄스 발생부
Fig. 8. Generator for CPI pulse.

그림 8의 CPI 펄스 발생부는 DT 펄스를 기준점으로 송신펄스 카운터의 출력과 CPI 당 송신펄스 수를 저장하고 있는 송신펄스 메모리 값을 비교하여 CPI 펄스를 생성한다. 이 경우 식 (2)로 표현되는 송신펄스의 PRF 값은 $n f_b < DT$ 의 관계가 만족되어 시간여유(margin)

가 발생하도록 정해짐으로, 마지막에 발생하는 CPI 펄스는 블락킹 로직에 의해 제거되어야 한다.

표적 트리거펄스는 임의의 방위각 및 거리 셀 위치에 기저대역의 모의 표적신호를 발생할 수 있도록 하여, 실제상황과 유사한 시험환경을 구성할 수 있도록 하여준다. 특히 신호발생기를 그림 1과 같이 상호 동기시켜 사용하는 경우, 표적트리거 펄스는 펄스추적 기능을 수행할 수 있기 때문에 동기 재밍기법에 대한 성능 시험을 가능하게 하여준다. 그림 9는 표적 트리거펄스 발생부의 구성도로서, 방위각 정보는 CPI펄스를, 거리 셀 정보는 A/D클럭을 카운팅하여 얻을 수 있으며, 이를 CPI 메모리 및 거리셀 메모리 값과 비교하여 해당 트리거펄스를 만들어낸다. 즉, 두 신호가 동시에 나타나는 구간에서 표적 트리거펄스가 발생된다.

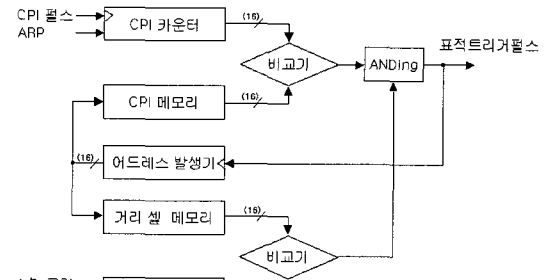


그림 9. 표적 트리거펄스 발생부
Fig. 9. Generator for target trigger pulse.

그림 10은 모의 표적신호 발생부의 구성도로서, 표적 트리거펄스가 발생하는 순간마다 메모리로부터 64개씩의 데이터를 읽어내어 이를 D/A변환함으로써 아날로그 모의 표적신호(I 및 Q 채널)를 발생하여준다.

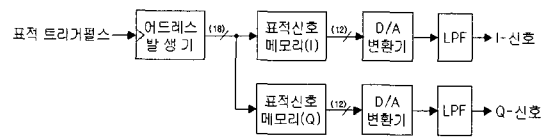


그림 10. 모의 표적신호 발생부
Fig. 10. Generator for simulated target signal.

이상에서와 같이 신호발생기의 각 발생부는 필요한 파라미터를 제어 컴퓨터로부터 전달받아 메모리 또는 래치에 저장하기 때문에, 운용 프로그램에 의해 타이밍 신호의 출력 값을 쉽게 바꿀 수 있다.

III. 신호발생기의 실험결과

신호발생기의 타이밍로직은 보드의 크기 및 기능보완에 따른 수정을 용이하게 하기 위하여 ALTERA사의 EPLD 칩 EPM7256SQC208 3개를, 표적신호 발생부의 D/A변환기는 125[MHz]/12-비트의 아날로그 디바이스사 AD9765를 사용하여 PCI 버스 기반 하에서 설계 및 제작하였으며, 구현된 신호발생기의 형상은 그림 11과 같다.

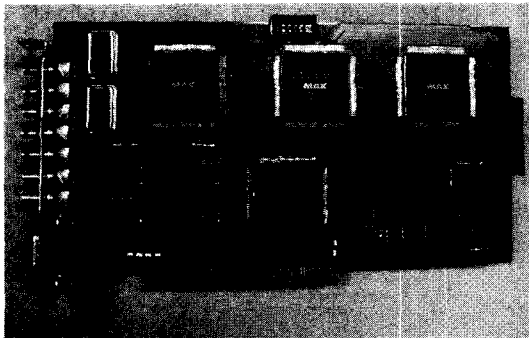


그림 11. 제작한 타이밍 신호발생기
Fig. 11. Implemented timing signal board.

표 2는 신호발생기의 기능 시험을 위하여 단거리 대공탐색레이더의 일반적인 파라미터를 기준으로 설정한 각 발생부의 출력 값으로, 안테나의 RPM은 30, 스캔 당 ACP수는 4,096, DT 당 ACP 수는 방위각 빔폭을 1.5[°]로 가정하고 17 또는 18, A/D 클럭은 2.5[MHz], 송신 PRI는 240/250/260[μs], 송신펄스 폭은 4.4[μs], DT 당 CPI 펄스는 3, CPI 당 송신펄스 수는 11, 스캔 당 표적 수는 1 개 등으로 설정하였다.

표 2. 신호발생기의 설정 값
Table 2. Test parameter for board.

항 목	설정 값
분당 ARP수(안테나 RPM)	30
스캔 당 ACP	4,096
DT 펄스	17 및 18
A/D클럭	2.5 [MHz]
송신 PRI	240/250/260 [μs]
송신 펄스폭	4.4 [μs]
DT당 CPI펄스수	3
CPI당 송신펄스수	11
스캔당 표적수	1

그림 12는 표 2의 설정 값 하에서 ARP(채널 1)를 트리거신호로 하여 ACP(채널 2)신호를 측정된 결과이다. ACP의 주기가 약 492[μs]임으로, ARP의 주기는 2.015 (4,096*492[μs])초가 되어 안테나 RPM은 30이 된다. 그림 12의 3번째 파형은 ARP를 20[초] 동안 측정하여 저장한 결과로서 계산결과와 같이 주기가 2[초]임을 알 수 있다.

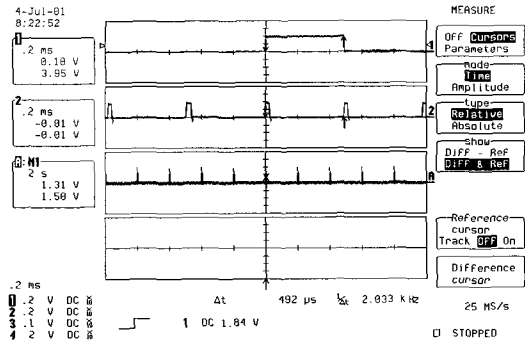


그림 12. ARP 및 ACP의 측정결과
Fig. 12. Measured results for ARP and ACP.

안테나 빔폭을 1.5[°]로 가정한 경우 회전 당 240개의 DT 펄스가 나타나며, 이에 해당하는 ACP 개수는 17.07개가 된다. 이 경우 방위각 정보에 대한 오차를 최소화하기 위하여 DT당 ACP개수를 17로 하고, 15의 배수에 해당하는 DT에서의 ACP개수는 18이 되도록 파라미터를 설정하였다. 그림 13은 17개 및 18개의 ACP로 구성된 DT를 동시에 확인하기 위하여 ARP(채널 1)를 트리거신호로 DT펄스(채널 2)를 측정된 결과이다. 마지막 DT가 15의 배수인 240번째임으로, 왼쪽의 DT가 한 ACP정도 긴 8.82[ms]임을 볼 수 있다.

위상정합 레이더의 DT 펄스는 그림 6에서와 같이

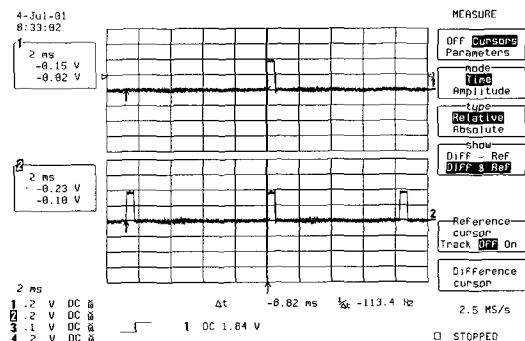


그림 13. ARP 및 DT펄스의 측정결과
Fig. 13. Measured results for ARP and DT pulse.

펄스 열로 구성된 여러 CPI로 나누어진다. 본 시험에서는 각 CPI에서의 펄스 수를 11개, 펄스 폭을 $4.4[\mu s]$, PRI를 $240/250/260[\mu s]$ 로 설정하고 각 타이밍 신호들을 측정하였다. 측정결과는 그림 14와 같다. 그림 14는 그림 6의 DT 펄스 구성과 동일한 것을 알 수 있으며, 각 CPI당 펄스 수는 11, PRI는 $240/250/260[\mu s]$, 펄스 폭은 $4.4[\mu s]$ 로 설정 값과 일치함을 확인하였다.

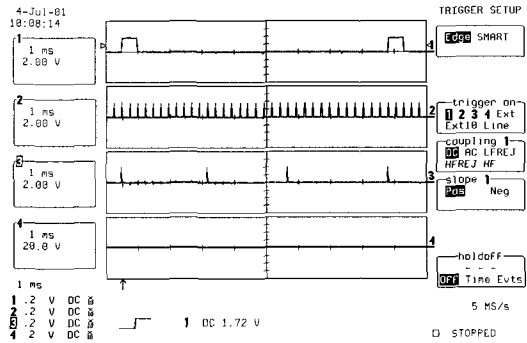


그림 14. DT펄스, 송신펄스 및 CPI펄스 측정결과
Fig. 14. Measured results for DT, transmit and CPI pulse.

모의 표적신호가 임의의 활동궤적을 갖도록 하기 위해서는 표적 트리거펄스의 방위각 및 거리 셀 위치를 안테나 매 회전마다 달리 설정해 주어야 한다. 본 시험에서는 방위각 방향에 대한 활동궤적을 측정하기 위하여 12번째 CPI에서 매 회전마다 한 CPI씩 감소하도록 파라미터를 설정하고 10회전동안 ARP(채널 1)를 트리거신호로 하여 방위각 트리거펄스(채널 2)를 측정하였다. 또한 거리셀 방향에 대한 활동궤적을 측정하기 위하여 50번째 거리 셀에서 매 회전마다 2개의 거리 셀이 증가하도록 파라미터를 설정하고 10스캔동안 송신

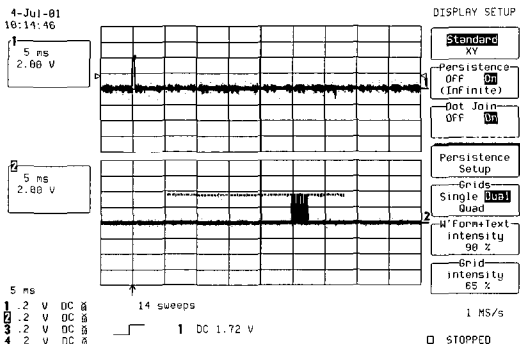


그림 15. 방위각 트리거펄스 측정결과
Fig. 15. Measured results for azimuth trigger pulse.

펄스(채널 1)를 트리거신호로 하여 거리 셀 트리거펄스(채널 2)를 측정하였다. 그림 15는 방위각에 대한 표적 트리거 펄스의 측정결과로서 매 회전마다 $8.33[\text{ms}]$ 또는 $8.82[\text{ms}]$ 씩 감소하였으며, 그림 16은 거리 셀에 대한 표적트리거 펄스의 측정결과로서 매 회전마다 $800[\text{ns}]$ 씩 증가하였다. 즉, 표적 트리거펄스가 매 회전마다 정확한 방위각 및 거리 셀 위치에서 발생됨으로 임의의 비행궤적을 갖는 모의 표적신호 발생이 가능함을 알 수 있다.

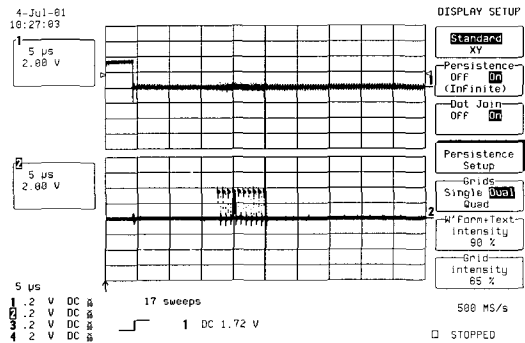


그림 16. 거리 셀 트리거펄스 측정결과
Fig. 16. Measured results for range cell trigger pulse.

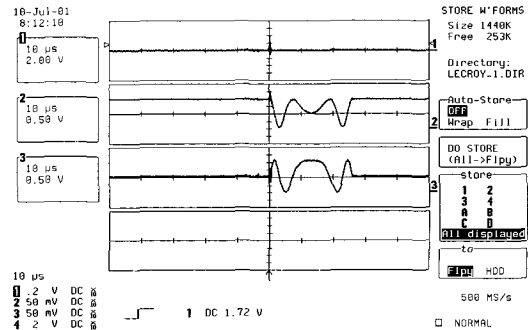


그림 17. 모의 표적신호 측정결과
Fig. 17. Measured results for simulated target signal.

마지막으로 기저대역의 모의 표적신호를 발생하기 위해서는 표적 트리거펄스가 발생하는 매 순간마다 펄스 폭에 해당하는 시간동안 메모리에 저장된 표적신호 값을 읽어내고, D/A 변환기를 통해 이를 아날로그 신호로 변환해 주어야 한다. 그림 17은 폭을 $25.6[\mu s]$ 로 설정한 경우 D/A변환기를 거쳐 발생된 기저대역에서의 아날로그 표적신호를 측정한 결과로서, 표적트리거 펄스(채널 1)에 동기 되어 I 및 Q 신호가 $25.6[\mu s]$ 동안

정확하게 발생되는 것을 확인하였다.

가능하다.

IV. 결 론

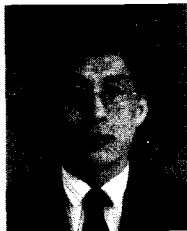
본 논문에서는 EA 장비에서 재밍을 가한 경우 그 대상인 위상정합 레이더에서의 재밍효과를 실시간으로 확인할 수 있는 시험환경에 사용될 수 있는 신호발생기를 설계 및 제작하고 그 기능을 확인하였다. 개발한 신호발생기는 기존의 시험환경에서 사용되었던 펄스발생기 및 파형합성기의 기능을 대체함으로써, 저렴한 비용에도 불구하고 오히려 보다 효율적인 기능시험을 가능하게 할 것으로 예상된다.

제작된 신호발생기의 기저대역 모의표적 신호가 안테나에서 수신된 재밍신호와 합쳐져서 레이더 신호처리기에 입력될 수 있으므로, 재밍 전·후의 모의표적 신호 탐지결과를 전시기에서 바로 확인할 수 있기 때문에 EA 장비에 대한 레이더의 표적탐지 영향을 쉽게 알 수 있다. 또한 신호발생보드 2개를 상호 동기시켜 EA 장비와 위상정합 레이더의 타이밍신호 발생기로 사용하는 경우, EA 장비와 레이더간의 동기재밍 시험도

참 고 문 헌

- [1] D. Curtis Schleher. Introduction to Electronic Warfare, Artech House, Norwood, MA, pp. 28~36, 1986.
- [2] Robert N. Lothes et al., Radar Vulnerability to Jamming, Artech House, Norwood, MA, pp. 1~27, 1990.
- [3] D.W. Olsen and M.J. Willis, "The design of a PC-based, low-cost radar video signal generator", Proceedings of the IEEE 1997 National, Vol. 2, pp. 544~551, 1997.
- [4] M.I. Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, P. 29, 1980.
- [5] D. Curtis Schleher, MTI and Pulsed Doppler Radar, Artech House, Norwood, MA, pp. 12~13, 1991.

저 자 소 개



申鉉翼(正會員)

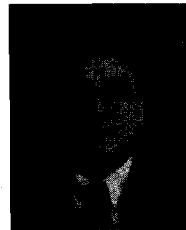
1986년 : 경북대학교 전자공학과 학사. 1988년 : 경북대학교 전자공학과 석사. 1999년~현재 : 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1988년~현재 : 국방과학연구소 선임연구원. <주관심분야 : 레이더 신호처리 및 시험평가, 재밍장치 설계 및 시험평가>



金煥宇(正會員)

1977년 : 서울대학교 전자공학과 학사. 1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1988년 6월 : University of Utah 전자공학과 공학박사. 1980년 6월~현재 : 충남대학교 정보통신공학부 교수. 2000

년~현재 : 대한전자공학회 충남지부 이사. 2000년~현재 : IEEE 대전지역 임원. <주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 통신>



林重洙(正會員)

1978년 : 경북대학교 전자공학과 학사. 1987년 : 충남대학교 전자공학과 석사. 1994년 3월 : Auburn University 전자공학과 공학박사. 1980년~현재 : 국방과학연구소 초고주파기술 팀장(책임연구원). 1998

년~현재 : 충남대학교 전자공학과 겸임 부교수. <관심분야 : 레이더 및 전자전 장비설계, 안테나 및 초고주파 장치 설계, 수치해석>