

3차원 펄스 레이더 시험용 타이밍 신호 발생기 구현

An Implementation of Timing Signal Generation Board for 3D Pulse Radar Testing Systems

李鍾必*, 李一根*, 金賢柱*

Jong Pil Lee*, Ill-Keun Rhee*, Hyoun-Ju Kim*

요 약

본 논문에서는 3차원 레이더 시험용 타이밍신호 발생기를 개발하였다. 개발된 발생기는 모의표적신호에 고차 정보를 모의할 수 있는 기능을 갖추었고, 내부에 구상변조 기능을 가지고 있어 80MHz까지의 변조된 신호를 발생시킬 수 있다. 또한 기저대역신호를 외부에서 입력받아 중간주파수로 변환하는 과정을 보드 내에서 처리가 가능하므로 다양한 시험환경을 쉽게 구현할 수 있고 별도의 파형합성기가 필요 없어 저렴한 비용으로 레이더 시험장비 구성이 가능하다. 아울러 운용프로그램에 따라 쉽게 파라미터를 변경할 수 있는 충분한 메모리를 내장하고 있어 시험환경을 변경할 필요가 있을 때 시간 및 비용을 절감할 수 있다.

Abstract

This paper describes some major schemes for developing timing signal generator which can be used for testing of 3D radars. The developed generator has a function not only to simulate information on elevation angle for the simulated target signals but also to generate a modulated signal up to 80MHz. Because this generator has an internal modulating function instead of an external modulating function and has sufficient memory enough to change the parameters according to operating programs, its realization of various test-environments for testing a radar can be made with easy and with low expense.

Keywords : 레이더, 시험장비, 파형합성기, 타이밍신호, 모의표적

1. 서 론

현대의 레이더는 군사용 탐색 및 추적레이더, 항공 교통 통제레이더 및 기상레이더 등 많은 분야에서 다양한 기능을 가지고 사용되고 있다. 아울러 여러 가지 기능을 복합적으로 가지고 있는 다기능레이더가 개발

되어 사용되고 있다. 이러한 레이더의 개발 및 운용을 위해 중요한 부분 중의 하나는 개발된 레이더의 기능과 성능을 시험 및 분석하는 것이다. 따라서 레이더를 분석 평가하기 위한 시험장비의 개발이 병행되어야만 요구 조건을 충족시킬 수 있는 레이더의 개발이 가능하다.

이러한 시험 장비를 구현하는 효과적인 방법 중 하나는 상용화 되어있는 계측장비를 사용하는 것으로서, 개발기간이 적게 소요되고 장비개발에 따른 위험요소

* 한남대학교 전자공학과

(Dept. of Electronics, Hannam Univ.)

接受日: 2005年 9月 15日, 修正完了日: 2005年 12月 16日

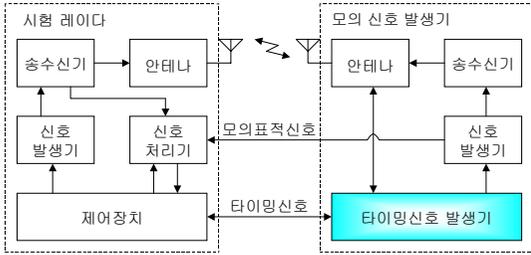


그림 1. 레이더 시험장비 구성도

Fig. 1. Configuration of radar test equipment

를 줄일 수 있다. 하지만 상용화된 계측기를 사용하는데 따르는 문제점으로는 레이더 시험용으로 특화된 계측기가 아니므로 고가 장비의 일부 기능만을 사용하게 됨으로써 많은 장비가 필요하며, 이에 따른 개발비 상승을 가져올 수 있다. 또한 다양한 성능시험과 특정 신호를 발생하기 위한 장비의 재구성에 어려움이 있다. 따라서 개발 레이더의 시험항목에 적합한 특정 시험장비의 개발이 요구된다.

그림 1은 일반적인 레이더 시험장비 구성도로서 그 중에서 타이밍신호 발생기는 시험 레이더와 모의 신호 발생기가 정확하게 동기 되어 시험신호를 송수신 하도록 타이밍 신호를 발생하는 기능을 갖는다.

본 논문에서는 레이더 송수신 안테나의 방위각 측면에서 기계적으로 360도 회전을 하여 탐색하고, 고각 측면에서 빔 조향을 통하여 90도 영역을 탐색하는 3차원 펄스레이더의 성능 분석을 위한 각종 레이더 파형, 환경신호 및 표적신호를 모의 발생하는데 필요한 모든 타이밍신호를 발생하는 장비의 설계 및 구현 기법과 함께 그 성능평가 결과를 기술한다.

본 논문의 주요 구성을 보면 제 1장에서는 본 논문의 배경 및 목적을 기술하였고, 제 2장에서는 제작된 발생기의 요구 성능에 대해 다루었다. 제 3장에서는 3차원 펄스레이더의 타이밍신호에 대한 분석 및 신호발생기의 방위각 관련 타이밍신호, 레이더 송수신 관련 타이밍신호 및 모의표적신호 관련 타이밍신호 발생부에 대한 설계이론 및 블록에 설명하였다. 제 4장에서는 제작된 장치의 측정 및 결과에 대한 분석을 다루었으며, 마지막 장에서는 본 장비의 향후 발전방향과 추가적으로 필요한 성능에 대해 언급하였다.

II. 레이더 타이밍신호 발생기

요구성능

표 6. 타이밍신호 발생기 요구 성능

Table 6. Required specification of timing signal generator

구분	타이밍 신호	요구 성능
방위각 관련	ARP	10 ~ 60 rpm
	ACP	16384펄스/1회전
	NRP	0 ~ 360±0.05°
레이더 송신펄스 관련	RTP	12개 이상/1EGP당
	EGP	5개 이상/1AGP당
	AGP	2개 이상/Dwell time
모의표적 신호 관련	최대 SCAN	128스캔 @ 1표적
	최대 표적수	8000개 @ 1스캔
	거리 모의	0.6 ~ 30km
	모의신호 펄스폭	최대 40μs

타이밍 신호발생기는 레이더 송신신호 관련 타이밍 신호, 안테나 회전에 관련된 타이밍 신호 및 모의표적 신호관련 타이밍 신호를 발생시키며, 기저대역의 모의 표적신호 및 중간주파수(IF:Intermediate Frequency)로 변환된 모의표적신호를 발생시킨다. 실전에 적용 가능한 레이더 시험장비용 타이밍신호 발생기의 주요 파라미터와 요구 성능은 표 1과 같다.

III. 레이더 타이밍신호 발생기 설계

타이밍 신호발생기는 크게 데이터/명령 분배부, 펄스발생부와 표적신호 발생부로 구성되며 그림 2와 같이 표현된다. 주요 타이밍신호는 펄스발생부에서 생성되고 표적신호 발생부에서는 아날로그신호인 모의표적신호를 생성한다.

안테나 구동기관련 타이밍신호인 방위각 기준펄스(ARP:Azimuth Reference Pulse)신호는 안테나구동기의 기준방위각을 표시하는 신호로서 구동기 1회전에 1펄스를 발생한다. 구동기의 방위각 변화량을 지시하는 방위각 변화 펄스(ACP:Azimuth Changing Pulse) 신호는 1회전에 16,384개의 펄스를 발생하며, 1펄스가 나타낼 수 있는 방위각은 식 (1)과 같이 계산 될 수 있다.

$$\theta_{ACP} = \frac{360^\circ}{N_{pulse}} z \quad (1)$$

여기서, θ_{ACP} 는 1개의 ACP 펄스가 표현하는 방위각

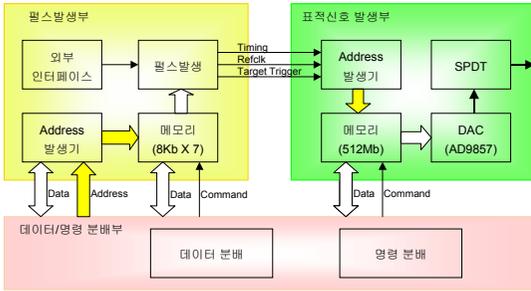


그림 2. 타이밍신호 발생기 블록도

Fig. 2. Block diagram of a timing signal generator

이고, N_{pulse} 는 구동기가 1회전 할 때 발생하는 펄스 수이다.

N_{pulse} 을 16,384개로 설정했을 때에는 θ_{ACP} 의 값은 0.022° 이다. 또한 레이더 송신신호와 관련이 있는 레이더 송신펄스(RTP: Radar Transmitting Pulse) 신호를 결정하는데 있어서는 몇 가지 중요한 변수들을 고려해야 한다. 우선 이동표적지시기(MTI: Moving Target Indicator) 필터를 사용하는 레이더는 측정하고자 하는 도플러주파수의 모호성을 해소하기 위해서 가장 빠른 속도의 목표물에서 발생하는 도플러 주파수보다 높은 PRF(Pulse Repetition Frequency)를 사용해야 한다 [1],[2]. 이와 반대로 장거리 탐색레이더에서 거리 측정의 모호성을 해소하기 위해서는 최대거리 왕복시간보다는 큰 주기의 신호가 필요하다. 거리의 모호성 해소를 위한 최소 주기의 계산은 식(2)와 같이 계산된다. 또한 RTP의 최대 펄스폭은 최소 탐지거리와 관계가 있으며 그 계산식은 식(3)과 같다.

$$T = \frac{2R_{max}}{c} [s] \quad (2)$$

$$\tau = \frac{2R_{min}}{c} [s] \quad (3)$$

여기서, c 는 전파속도, T 는 RTP 신호의 주기, τ 는 RTP신호의 펄스폭이며 R_{max} 는 최대거리, R_{min} 는 최소거리이다.

RTP 신호는 그림 3에서와 같이 방위각 그룹 펄스(AGP:Azimuth Group Pulse)와 고각 그룹 펄스(EGP:Elevation Group Pulse)에 의해 초기화되며 주기와 펄스폭은 A/D clock의 주파수와 펄스반복주기(PRI:Pulse Repetition Interval) 메모리, 펄스폭(PW:Pulse Width)메모리에 설정된 값에 따라 변경가능하다.

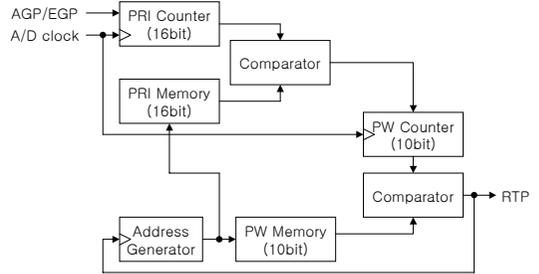


그림 3. ACP, ARP 및 NRP 발생 블록도

Fig. 3. Block diagram of an ACP, ARP, NOP generator

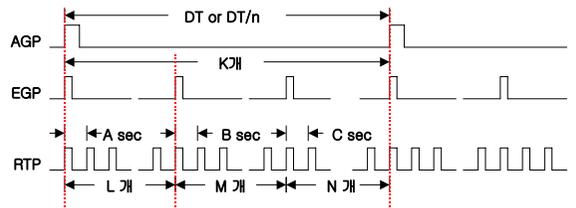


그림 4. AGP, EGP, RTP 발생 타이밍도

Fig. 4. Timing diagram for AGP, EGP, RTP

EGP신호는 RTP신호를 고각의 그룹단위로 구분하기 위한 신호이며, RTP 메모리에 RTP신호의 모의갯수를 저장한다. 따라서 고각단위의 레이더 빔별로 RTP 펄스의 개수를 다르게 지정할 수 있으며 최대 16개 까지 지정가능하다. 또한 레이더 신호처리기 시험에서 신호처리기의 기본 데이터 블록으로 사용되는 CPI(Coherent Processing Interval) 펄스로 사용 될 수 있다. 그림 4는 AGP, EGP, RTP 신호들의 타이밍을 나타낸다.

AGP신호는 EGP신호를 방위각 그룹단위로 구분하기 위한 신호로서 별도의 EGP 메모리에 개수를 저장한다. 따라서 각 방위각 단위로 EGP 펄스의 개수를 다르게 지정할 수 있으며 최대 16단계로 고각을 지정할 수 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 AGP는 안테나가 회전할 때에 펄스누적을 수행할 수 있는 최대 시간으로 정의되는 DT(Dwell Time)나 DT/n(n은 정수)으로 설정 가능하다[3]. 그림 5와 그림 6은 EGP와 AGP 신호 발생 블록도이다.

타이밍신호 발생기는 레이더 신호처리기의 성능을 점검을 위한 주요 기능인 모의표적발생을 위해서 시험자가 원하는 방위각, 고각, 거리에 정확히 표적을 위치시켜야 한다. 여기에 필요한 타이밍 신호로는 Scan,

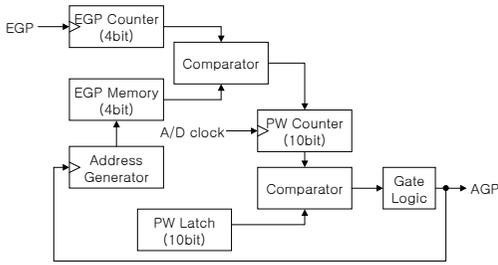


그림 5. AGP(Azimuth Group Pulse) 발생 블록도
Fig. 5. Block diagram of an AGP generator

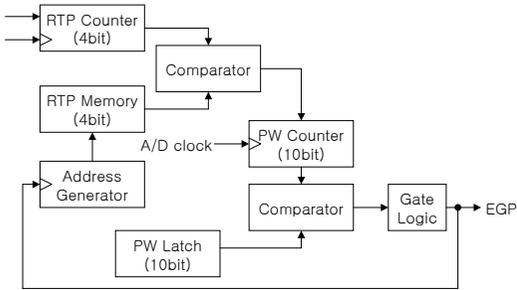


그림 6. EGP(Elevation Group Pulse) 발생 블록도
Fig. 6. Block diagram of an EGP generator

Azimuth, Elevation, Range, T trigger, DAC clock 등이 이용되며 이 신호들을 조합함으로써 표적신호를 발생할 수 있다.

Scan 신호는 모의 시나리오에 따라 이동표적이 몇 번째 스캔에 위치하는지를 모의하는데 필요하며, 최대 128스캔까지 모의 가능하도록 설계되었다. Azimuth 신호는 모의표적의 방위각 정보를 가지고 있는 신호로서, 1회전에 최대 512개의 단위로 방위각 표현이 되도록 설계하였다. Elevation 신호는 모의표적의 고각 정보를 가지고 있는 타이밍 신호로서, 고각을 8개의 단위로 표적모의가 가능하다. 마지막으로 Range 신호는 모의표적의 거리 정보를 가지고 있는 신호로서, 거리 해상도인 최소거리와 최대모의할 수 있는 거리는 식(4)와 식(5)을 이용하여 각각 계산할 수 있다.

$$R_{resolution} = \frac{c}{2 \times f_{sample}} \quad (4)$$

$$R_{max-sim} = R_{resolution} \times 2^{16} \quad (5)$$

여기서, f_{sample} 는 신호처리의 샘플링 클럭이

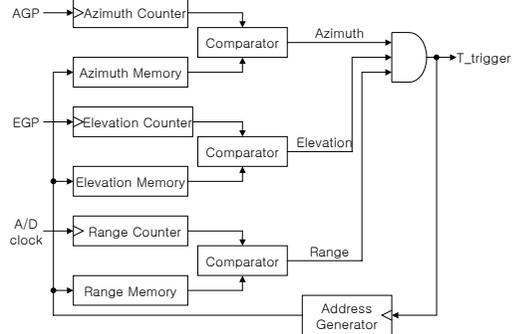


그림 7. 표적 트리거 신호 발생 블록도
Fig. 7. Block diagram of a target-trigger generator

며, 만일 f_{sample} 이 50MHz의 클럭을 사용했을 경우에 거리해상도인 $R_{resolution}$ 은 3m이다. 또한 최대모의할 수 있는 거리 $R_{max-sim}$ 는 대략 200km까지이다.

T trigger 신호는 모의표적신호의 시작을 표시하는 타이밍 신호로서, 그림 7의 표적 트리거 신호 발생 블록도에 보이는바와 같이 Scan, Azimuth, Elevation, Range 신호가 모두 일치할 때 발생된다. 또한 T trigger 신호 발생시기는 모의표적신호의 파형을 저장한 파형메모리의 디지털 데이터를 아날로그신호로 변환하는 시점이기도 하다.

DAC clock 신호는 모의표적신호를 발생하기 위한 디지털-아날로그 변환기와 파형메모리의 주소를 지정하는 주소발생기에 입력되는 신호이다. DAC clock은 해당 표적을 모의하고자 하는 시간만큼 공급되어 정해진 시간동안만 아날로그 변환을 함으로써 결과적으로 모의표적신호의 펄스폭을 지정하는데 이용되는 타이밍 신호이다. DAC clock의 개수는 그림 8에서와 같이 13비트의 'DAC clock memory'에 저장된 수만큼 발생되며, DAC clock의 주파수에 따라 모의표적의 최대 펄스폭이 결정된다. 표 2는 T_trigger 신호 1개에 의해서 모의할 수 있는 표적신호의 최대 펄스폭을 나타낸다. 보통의 단일 표적 반향신호의 펄스폭은 송신펄스폭과 동일하여 큰 값을 필요로 하지 않지만 표적 반향신호 이외의 클러터, 해수면 반사에 의한 신호를 모의하는데 이용될 수 있다.

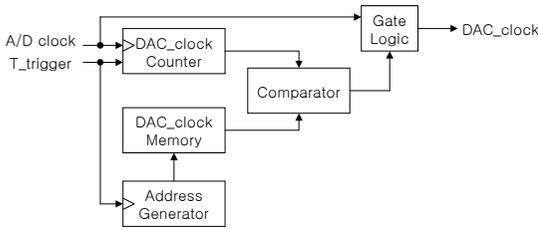


그림 8. DAC clock 발생 블록도

Fig. 8. Block diagram of a DAC clock generator

표 13. 주파수에 따른 표적신호 최대 펄스폭

Table 13. Maximum pulse width according to frequency of a DAC clock

DAC clock 주파수	DAC clock의 수	최대펄스폭
6MHz	8,192	1.365ms
12MHz	8,192	0.683ms
24MHz	8,192	0.341ms

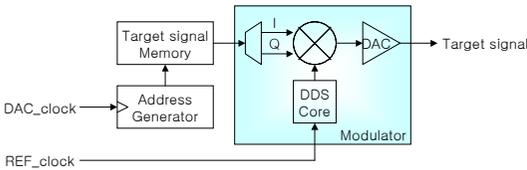


그림 9. 표적 신호 발생 블록도

Fig. 9. Block diagram of a target signal generator

신호발생기에서 모의 표적신호를 발생하기 위한 구성은 그림 9와 같으며, 사용한 디지털-아날로그 변환기는 Analog Devices사의 AD9857을 사용하였다. AD9857은 동작모드를 DAC모드 와 Modulation모드로 선택 발생할 수 있어 기저대역 및 IF로 변환된 모의 표적신호를 구현하는데 용이하다[4].

또한 대용량의 표적신호 메모리를 사용함으로써 시나리오에 따라 많은 수의 표적을 발생할 수 있게 하였다. 그리고 모의 시나리오 반복기능을 가지고 있어서 연속적이고 긴 시간동안의 시험에 유용하게 사용될 수 있다.

IV. 결과 및 분석

레이다 타이밍신호 발생기는 확장성이 우수한 VME 보드 형태로 제작되었으며 형상은 그림 10과 같다. 제어는 VME버스 상에서 컴퓨터에 의해 발생하고자 하



그림 10. 타이밍신호 발생기

Fig. 10. Figure of a target signal generator

는 타이밍 신호에 맞는 파라미터를 보드 내부에 있는 레지스터 및 메모리에 저장한 다음 발생명령에 맞추어 순차적으로 읽어내어 신호를 발생한다.

타이밍신호 발생기의 성능을 검증하기 위하여 내부 레지스터 및 메모리에 설정한 파라미터는 다음과 같다. 안테나 구동기의 회전속도는 30rpm, 안테나 1회전당 ACP 수는 16,384개, 레이더 기준방위가 진북과 이루는 각은 151도, DT당 방위각 그룹 펄스 수는 2개, 1AGP당 EGP 수는 5개, 1EGP당 RTP수는 12개, 표적은 방위각이 2도, 고각이 0도, 거리가 2.4km이고, 펄스폭이 14μs로 설정하였다.

그림 11의 채널3은 안테나 구동기의 회전속도를 30rpm으로 설정했을 때의 ARP 주기를 측정된 결과로서 2.0초 간격으로 펄스가 반복됨을 확인하였다.

그림 12의 채널4는 안테나 회전속도가 30rpm에 회



그림 11. ARP 주기 측정결과

Fig. 11. Measurement result of an ARP period 전당 16,384개의 ACP 펄스를 발생하도록 설정(2m /16,384 = 122.070μs)했을 때의 측정결과로서, 122.074

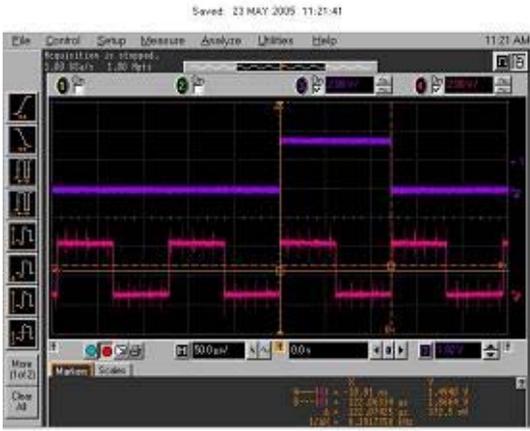


그림 12. ACP 주기 측정결과

Fig. 12. Measurement result of an ACP period

μs 동안 측정되어 1회전에 16,384개($122.074\mu s * 16,384$ 개 = $2,000.06ms$)의 ACP펄스를 발생함을 확인하였다.

그림 13은 이동체에 설치된 레이더의 기준방위각이 진북과 이루는 각을 151도로 설정하였을 때 ARP와 NRP 신호의 시간차인 Δt 를 측정된 결과화면이다. 측정결과를 가지고 주기를 2초로 하여 방위각 차를 계산하면($838.986ms/2,000ms$) $\times 360^\circ$ 와 같이 계산되며 결과는 151.017도로 설정값과 0.017도의 오차를 가지고 모의됨을 확인하였다.

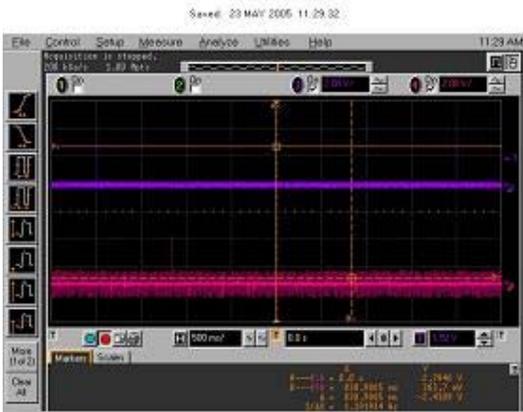


그림 13. ARP와 NRP 사이의 시간차 측정결과

Fig. 13. Measurement result of interval time between ARP and NRP

그림 14의 채널4는 레이더 송신펄스를 PRI가 400/270



그림 14. RTP 신호 PRI 측정결과

Fig. 14. Measurement result of a RTP μs , PW는 $15\mu s$ 로 설정했을 때의 측정결과로서 PRI가 $400.0\mu s$ 로서 모의하고자 하는 타이밍 신호를 정확히 모의되며, EGP당 RTP 개수가 메모리에 설정한 개수대로 모의됨을 확인하였다.

그림 4-7은 AGP(채널1)와 EGP(채널2) 펄스 신호의 측정결과로서, Dwell time 당 2개의 AGP가 측정되고 AGP당 5개의 EGP 펄스가 측정됨으로써 요구조건 범위 내에 있는 설정 값과 같이 측정됨을 확인하였다.

그림 16은 발생된 모의 표적신호를 오실로스코프를 이용하여 측정된 결과로서 채널1의 레이더 송신펄스를 기준으로 $2.4km$ 를 모의하여 측정된 결과이다. 모의 표적신호의 발생시간이 레이더 송신펄스의 상승모서리를



그림 15. EGP 신호 PRI 측정결과

Fig. 15. Measurement result of an ERP

기준으로 $16.0513\mu s$ 떨어진 곳에서 표적신호가 측정됨

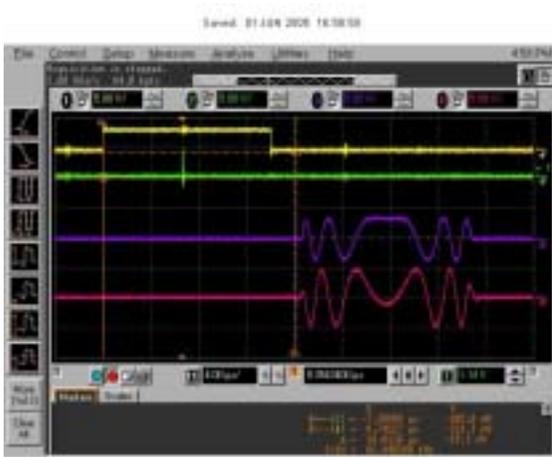


그림 16. T trigger 신호 측정결과
Fig. 16. Measurement result of a T trigger

으로써 계산결과 2.407km에 모의됨으로써 설정 거리인 2.4km와 7m의 오차를 보임으로써 요구조건인 10m를 만족함을 볼 수 있다.

그리고 측정결과에서 모의신호의 펄스폭이 설정 값인 14 μ s와 0.0118 μ s의 오차를 가지고 발생됨으로 요구 조건인 0.05 μ s 이하를 만족함을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 3차원 레이더 시험용 타이밍신호 발생기를 제작하고 기능의 우수성을 확인하였다. 신호발생기는 방위각, 고각, 거리 및 속도 등의 정보를 가지고 있는 표적신호를 파라미터의 변경만으로 쉽게 구현할 수 있다. 이와 더불어 내부에 기저대역 신호 발생을 위한 DAC 기능뿐만 아니라 구상변조기능을 가지고 있어 중간주파수의 변조된 신호를 발생할 수 있다. 이와 더불어 기저대역신호를 외부에서 입력받아 중간주파수로 변환하는 과정을 보드 내에서의 처리가 가능하므로 다양한 시험환경을 쉽게 구현할 수 있다.

또한 제작된 보드의 구조가 확장이 용이한 VME 인터페이스 형태로 제작되어서 채널 확장과 인터페이스 보드를 추가함으로써 다기능 레이더 및 추적레이더 시험환경도 구현할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 황춘식 외, 전자전시스템, 청문각, Seoul, Korea, July 1994.
- [2] Bassem R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*, Hall/CRC, Huntsville, Alabama, 2000.
- [3] 신현익, 임중수, 김환우, “위상정합 레이더에 대한 EA효과 분석용 타이밍 신호발생기”, 전자공학회 논문지, 제39권, SC편, 제2호, 116-122쪽, 2002년 3월.
- [4] Analog Device Inc., *AD9857 Data sheet*, ADI, REV. B, 2002.

저 자 소 개

이 종 필 (학생회원)



1999년2월 : 한남대학교 전자공학과(공학사)
2004년2월~현재 :한남대학교 전자공학과 석사과정
2000년3월~현재 : (주)미래시스템
[주 관심분야] 전자전, 레이더 신호처리

이 일 근 (정회원)



1982년2월 :경북대학교 전자공학과(공학사)
1986년6월:미국 Oregon State University 전자공학과(공학석사)
1990년2월 미국 Oregon State University 전자공학과(공학박사)
1990년3월~현재: 한남대학교 전자공

학과 교수

[주 관심분야] 에레이 신호처리, 스펙트럼 분석 및 관리

김 현 주 (학생회원)



2004년 2월 한남대학교 전자공학과(공학사)
2004년 9월 ~ 현재 : 한남대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 스펙트럼 분석, 신호처리