

초음파 섹터 B-스캐너의 개발(I)

—프론트 엔드 부분—

권성재 · 박종철 · 이범석 · 신동희
김주한 · 김영모 · 박송배

==요 약==

개발된 초음파 섹터 B-스캐너 시제품에서 프론트 엔드 하드웨어는 초음파펄스의 송신 및 수신을 담당하는 부분으로서 변환자에 펄스를 인가하는 펄스발생기, 진폭이 미약한 애널로그 신호를 처리하는 수신회로 및 기계식 섹터 탐촉자를 구동하는 조향제어 회로의 3부분으로 크게 나눌 수 있다. 본 논문에서는 위 3부분의 기능 및 설계에 관하여 기술한다. 완성된 프론트 엔드 하드웨어의 특징가운데 중요한 몇가지만 살펴보면, 링다운 시간을 감소시키는 펄스발생기를 사용하여 축방향의 해상도를 증가시켰고 시가변이득 증폭기에 필요한 제어전압을 여러 형태로 만들 수 있으며 탐촉자내에 있는 감지기의 출력파형을 기준으로 본 초음파 진단장치의 모든 시스템에 공급될 레이트 펄스를 만들어 주는 것이라고 말할 수 있다.

= Abstract =

Development of Ultrasound Sector B-Scanner(I)

—Front-End Hardware Part—

Sung Jae Kwon, Jong Chul Park, Bum Suk Lee, Dong Hee Shin,
Joo Han Kim, Young Mo Kim, and Song Bai Park

A prototype ultrasound sector B-scanner has been developed where the front-end hardware refers to all the necessary circuits for transmitting the ultrasound pulses into the human body and receiving the reflected echo signals from it.

The front-end hardware can generally be divided into three parts, i.e., a pulse generator for insonification, a receiver which is responsible for processing of low-level analog signals, and a steering controller for driving the mechanical sector probe whose functions and design concepts are described in this paper.

The front-end hardware is implemented which incorporates the following features: improvement of the axial resolution using a circuit which reduces the ring-down time, flexibility of generating time-gain compensation curve, and adoption of a one-chip microcomputer for generating the rate pulses based on the sensor output waveforms.

<1986. 6. 12 접수>

한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Dept. of Electrical Eng. and Electronic Eng., Korea Advanced Institute of Science and Technology

I. 서 론

전자공학 및 신호처리기술이 최근 들어 급속히 발달함에 따라 인체내부를 정량적 또는 정성적으로 관찰할 수 있는 전자의료장비가 많이 개발되어 왔다. 인체내부를 투시할 수 있는 진단장치로서는 X선, 감마선, 핵자기공명등을 이용한 단층촬영장치가 있으나 초음파 진단장치는 X선, 감마선 진단장치와는 달리 촬영시 인체에 전혀 해가 없고 실시간 관찰이 가능하며 시스템 가격이 비교적 저렴하다는 점에서 내과, 산부인과, 소아과등에서 거의 필수적인 진단장치로 되어 가고 있다.

우리가 이번에 개발한 초음파 섹터 진단장치는 기계식 주사를 하는 탐촉자를 사용한 것으로서 이 장치의 일부인 애널로그 부분, 즉 프론트 엔드는 초음파 신호의 획득 및 처리 그리고 전기적 신호를 초음파로 바꾸어주는 역할을 맡고 있다. 초음파의 송신 및 수신을 담당하는 프론트 엔드의 구성을 살펴보면 조향(steering)을 위한 기계식 탐촉자 제어부, 전기적인 펄스를 발생시키는 펄스발생기(pulse generator), 그리고 인체내에서 반사되어 돌아오는 신호를 처리하는 수신회로(receiver)로 구성된다.

II. 펄스발생기 및 수신회로의 구성

프론트 엔드는 전체 시스템의 화질을 결정하는 중요한 역할을 하고 있는데 그 수신회로를 살펴보면 반사신호(echo signal)를 증폭시키는 저 잡음의 전치증폭기(pre-amplifier), 시가변이득증폭기(time gain compensation amplifier), 대수증폭기(logarithmic amplifier), STC(sensitivity time control)회로 및 몇가지 신호처리 회로가 있다. 그림 1은 프론트 엔드의 구성도를 보여주고 있다. 조향제어회로는 III장에서 설명한다.

회로의 흐름을 간단히 설명하면 다음과 같다. 펄스발생기는 조향제어부에서 발생시키는 RP(rate pulse)의해서 트리거되어 변환자에 전기적인 펄스를 인가해 주며 변환자는 전기적인 펄스에 의해 초음파 펄스를 발생하게 된다. 이때 조향제어부에서는 변환자에 내장된 아마튜어(armature)를 적절히 구동하여 변환자의 펄스발사 방향각을 결정하게 된다. 변환자로부터 발사된 초음파 펄스는 인체내의 경계면에서 반사신호(echo signal)로 되돌아오게 되며 이 신호는 전치증폭기에 의

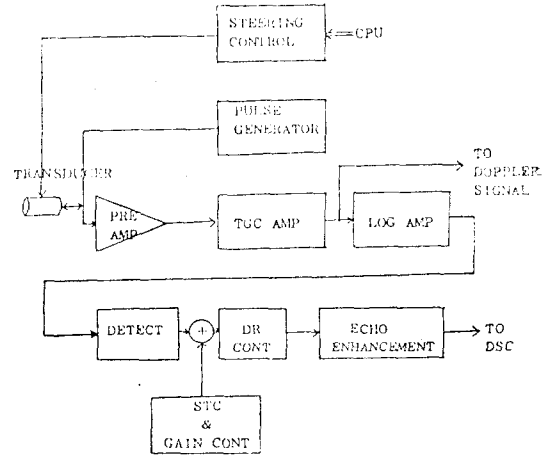


그림 1. 프론트엔드의 구성도
Fig. 1. Block diagram of the front end.

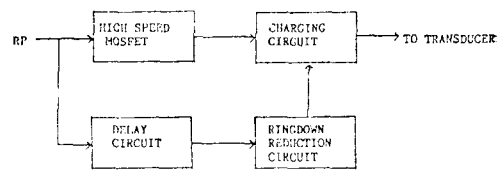


그림 2. 펄스발생기의 구성도
Fig. 2. Block diagram of the pulse generator.

해 증폭되어 시가변증폭기에 가해진다. 반사신호는 초음파 펄스의 진행거리에 따라 감쇠되는데 시가변이득증폭기에서 시간에 따라 이득을 증가시켜서 보상해 준다. 시가변이득증폭기의 출력은 대수증폭기와 도플러 회로의 입력으로 각각 보내진다. 대수증폭기는 비선형 증폭기로 다이내믹 레인지(dynamic range)를 신호처리에 적합하도록 압축시켜주게 된다. STC 및 이득제어부는 화면의 밝기를 깊이에 따라 선택적으로 조절할 수 있도록 대수증폭기의 출력에 직류 레벨을 더해준다. 다이내믹 레인지 제어는 콘트라스트에 해당하는 부분이며 에코 인핸스먼트(echo enhancement)는 반사신호의 가장자리를 강하게 해주며 모두 전면 패널(front panel)에서 조작이 가능하다. 이와같이 처리된 신호는 디지털주사변환기의 입력으로 들어가게 된다.

1. 펄스발생기

펄스발생기는 변환자를 전기적으로 여기시켜 변환자가 초음파를 발생하도록 하는 부분이다. 펄스발생기는 조향제어부에서 발생되는 RP에 의해서 트리거되어 총

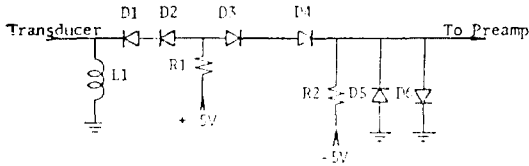


그림 3. 리미터회로
Fig. 3. Limiter circuit.

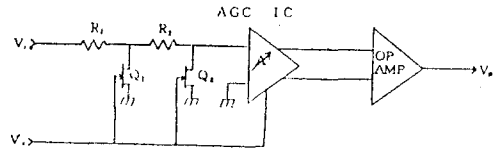


그림 6. 시가변이득증폭기의 구성도
Fig. 6. Schematic of TGC amp.

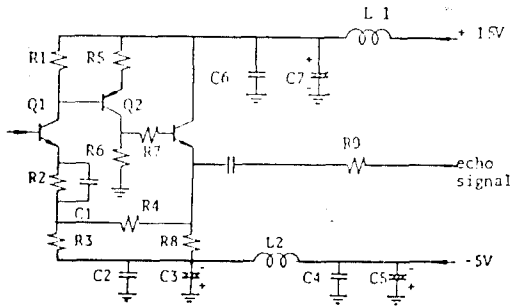


그림 4. 전치증폭기회로
Fig. 4. Preamplifier circuit.

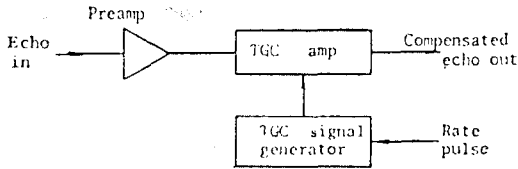


그림 5. 깊이에 따른 감쇠의 보상
Fig. 5. Attenuation compensation with depth.

전된 콘텐츠의 고전압을 순간적으로 방전시켜 신호대 잡음비를 증가시키며 링다운(ringdown) 시간을 줄이는 회로를 사용하여 축방향의 해상도(axial resolution)를 향상시키고 있다. 펄스발생기의 구성도는 그림 2에 나타나 있다.

2. 전치증폭기

변환자에서 수신되는 반사신호는 그 레벨이 매우 낮으므로 일단 증폭시켜 주게 되는데 이를 위하여 전치증폭기가 필요하다. 전치증폭기의 입력은 변환자와 연결되는데 변환자가 여기될때 고전압이 발생되므로 입력단에 리미터회로가 삽입된다. 그림 3은 다이오드로 구성된 리미터회로를 보여준다. D1-D4는 고내압 시그널 다이오드이며 D5-D6는 스위칭 다이오드로서 전치증폭기의 입력전압을 $\pm 0.6V$ 미만으로 제한시켜준다. 그림 4는 전치증폭기회로인데 이득은 약 17dB이며 신호 레벨이 낮으므로 잡음지수가 적은 소자를 사

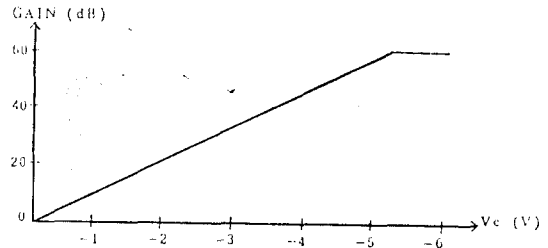


그림 7. 시가변이득증폭기의 특성
Fig. 7. Gain characteristic of TGC amp with its control voltage.

용하고 있다. 주파수특성은 1에서 10 MHz 까지 거의 평탄하며 동가입력잡음은 약 $30\mu V$ 정도이다. 출력단의 R9는 시가변이득증폭기와의 임피던스 정합을 위한 것이다.

3. 시가변이득증폭기

B-스캐너에서 매질의 반사계수는 CRT(cathode-ray tube)의 그레이 레벨로 나타나게 되는데 매질의 반사계수가 일정한 경우 밝기는 같게 나타나야하나 깊이에 따른 매질의 감쇠특성으로 인해 지수적으로 감소되어 어둡게 나타난다. 따라서 수신회로에 그림 5와 같이 시간에 따라 이득을 조절할 수 있는 시가변이득증폭기를 사용함으로써 시간에 따른 반사신호의 감쇠를 보상할 수 있다. 시가변이득증폭기는 그림 6에서 보는 것처럼 JFET를 가변저항으로 사용하여 약 20 dB 만큼 이득을 감소시킨 후 자동이득조절 집적회로로 약 40 dB의 가변이득을 얻고 있다. 그림 7에 시가변이득증폭기의 특성이 나타나 있다.

4. 대수증폭기

일반적으로 변환자로 부터 수신되는 반사신호는 시가변이득증폭기에서 감쇠를 보상해주어도 매질의 반사계수에 따라 그 크기가 달라지므로 매우 넓은 다이내믹 레인지를 갖게된다. 따라서 화면에 나타내는데 적합하도록 대수증폭기에서 다이내믹 레인지를 압축시켜

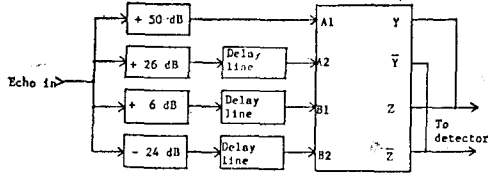


그림 8. 대수증폭기의 구성도
Fig. 8. Block diagram of the logarithmic amplifier.

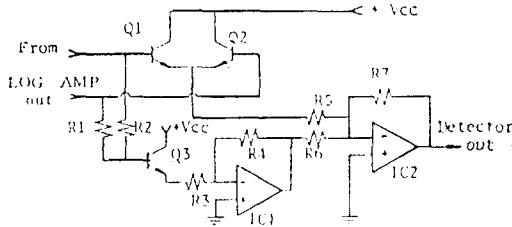


그림 9. 전파정류회로
Fig. 9. Full-wave rectifier.

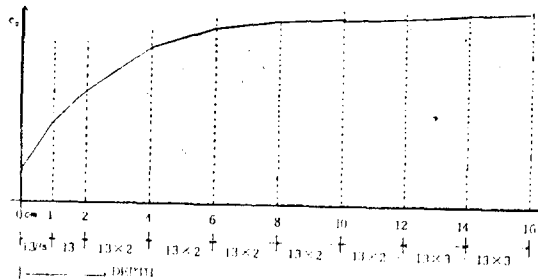


그림 10. STC 곡선의 한 예
Fig. 10. An example of STC curve.

주고 있다. 대수증폭기는 4개의 선형증폭기를 대수집적회로와 결합하여 의사대수특성을 얻고 있으며 그림 8에 대수증폭기의 구성도가 주어져 있다. 여기서 지연선은 각 선형증폭기의 시간지연이 다른 것을 동기화시키기 위한 것이다. 대수증폭기는 약 80 dB의 입력을 압축시켜 40 dB 정도의 출력을 만들어낸다. 대수증폭기의 출력단에는 그림 9와 같은 전파정류회로가 있어 압축된 반사신호의 포락선을 얻고 있다.

5. STC 회로

STC(sensitivity time control)회로는 시간에 따라 화면의 밝기를 가변하는 회로이다. 초음파 신호는 거리가 멀어질수록 미약해져서 어둡게 나타나므로 깊이 에 따라 적당한 밝기로 보상해주고 있다. 제어신호는

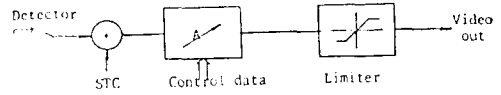


그림 11. 다이내믹 레인지 제어
Fig. 11. Dynamic range control.

중앙처리장치에서 소프트웨어로 처리하고 있으며 전면 패널에서 임의로 조정되고 STC 곡선의 모양은 화면에 나타나도록 되어 있다. STC의 출력신호는 대수증폭기의 출력신호와 더해져서 직류바이어스레벨을 변화시키게 되어 화면의 밝기를 변화시키게 된다. 그림 10은 STC 곡선의 한 예이다.

6. 다이내믹 레인지 제어

반사신호는 원래의 다이내믹 레인지가 대수스케일로서 축소되어 있는데 이중에서 특히 우리가 보고자하는 신호레벨을 얻기 위하여 다이내믹 레인지 제어회로를 사용한다. 이 부분은 연산증폭기를 사용하여 이득을 가변할 수 있도록 되어 있는데 고주파 영역에서도 좋은 특성을 갖도록 계전기로서 저항값을 선택하고 있다. 수신회로의 최종 출력은 A/D 변환기에 가해져 디지털 신호로 바뀌게 되는데 A/D 변환기의 비트 수가 6이므로 36 dB의 다이내믹 레인지를 갖는다. 반면에 반사신호는 매질의 반사계수에 따라 각기 다른 값을 갖게 되므로 다이내믹 레인지 제어회로의 이득에 따라서 A/D 변환이 되는 영역이 좁아질 수도 있고 넓어질 수도 있다. 그러므로 이득이 크게되면 다이내믹 레인지가 적어지고 이득이 적어지면 다이내믹 레인지는 넓어진다.

한편 반사신호의 직류바이어스레벨을 변화시킴으로써 A/D 변환되는 영역이 반사계수가 큰 쪽일 수도 있고 작은 쪽일 수도 있는데 STC 및 이득제어에 따라 결정된다. 화면에서는 STC를 변화시킴으로써 밝기가 변하게 되며 화면의 콘트라스트에 해당하는 것이 바로 다이내믹 레인지 제어이다. 그림 11은 다이내믹 레인지 제어회로를 보여준다.

7. 에코 인핸스먼트

이 부분은 파 필드(far field)에서의 해상도를 개선하기 위한 것으로 출력신호가 어떤 레벨보다 큰 경우 이것을 적분하여 입력단에 부궤환시킴으로써 이루어진다. 반사신호는 파 필드에서 많은 잡음을 포함하고 있으므로 파 필드에서의 해상도가 저하되는데 그림 12와

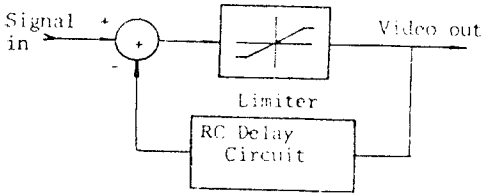


그림 12. 에코 인텐스먼트의 구성도
Fig. 12. Block diagram for achieving echo enhancement.

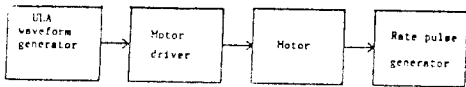


그림 13. 조향제어부의 구성도
Fig. 13. Block diagram of the steering controller.

같은 부채환회로를 구성하여 반사신호의 상승에지를 강조하여 잡음을 감소시키는 효과를 얻고 있다.

III. 조향제어부(Steering Controller)

섹터진단장치는 부채꼴 형태의 화면을 얻기 위해서 섹터의 아펙스(apex)를 기준으로 좌우 여러 각도로 펄스를 발사하게 된다. 본 진단장치에서는 기계식 섹터 탐촉자(mechanical sector probe)를 사용하고 있으며 펄스발사방향의 결정은 탐촉자내에 있는 소형 아마추어를 구동함으로써 이루어진다. 그림 13에 조향제어부의 구성도를 나타내었다. 조향제어부는 크게 3부분으로 나눌 수 있는데, 첫번째는 탐촉자내의 모터를 구동할 명령이 되는 ULA(uniform ladder algorithm) 파형을 만드는 부분과 두번째는 모터구동회로, 그리고 세번째는 탐촉자의 감지기(sensor)에서 나오는 파형을 기준으로 본 진단장치의 각 시스템에 필요한 RP를 만드는 부분이다.

1. ULA 파형발생기

그림 14에 ULA 파형발생기의 구성도를 나타내었으며 각 부분의 파형은 그림 15와 같다. 상승/하강계수기는 RP를 클럭으로 하여 F/R(forward/reverse)가 1인 경우는 상승계수기로 0인 경우에는 하강계수기로 동작하게 된다. 각도데이터는 F/R의 상승에지에서 상승/하강계수기에 로드되어 하한기준점을 지정해 준다. 또한 상승/하강계수기는 B/M 제어신호에 따라 M 모드일 때는 디스에이블되어 정지상태에 있게 되며 그때의 출력은 M 모드(또는 도플러모드)를 관찰할 위치를 나

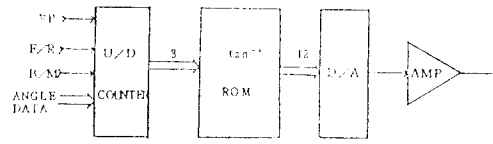


그림 14. ULA 파형발생기
Fig. 14. ULA waveform generator.

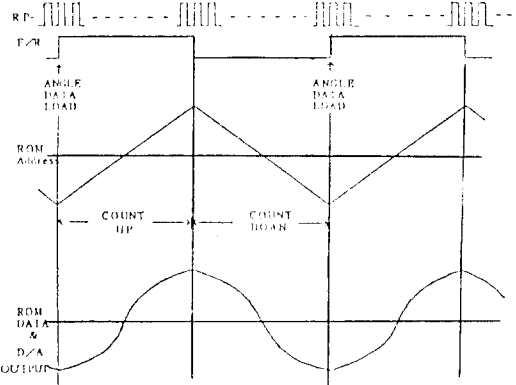


그림 15. ULA 파형발생기 각부의 파형
Fig. 15. Timing diagram for ULA waveform generator.

타내는 각도데이터가 된다. 상승/하강계수기의 출력은 ROM의 번지를 지정해주며 디지털주소변환기의 ULA 방식에 적합하도록 \tan^{-1} 함수로 프로그램되어 있다.

2. 모터구동회로

모터구동회로는 기계식 섹터 탐촉자내의 모터를 구동하는 것으로서 각도명령신호와 탐촉자내의 감지기로부터 얻은 실제의 각도를 서로 비교하여 그 차를 증폭하여 구동함으로써 실제의 각도가 각도명령신호와 같도록 제어하고 있다.

각도의 감지는 각도에 따라 인덕턴스값이 변하는 인덕터를 탐촉자내에 설치하여 검출하고 있는데 수정발진기에서 470 kHz의 주파수로 발전시켜 V/A 변환기에서 정현파 전류로 변환하여 각도감지 인덕터에 가한 후 여기서 나타나는 진폭변조된 파형을 로락션 검파함으로써 얻어진다. 각도명령과 실제각도의 차인 차신호(error signal)는 루프보상회로에서 극보상을 한후 전력증폭기에 의해 증폭되어 탐촉자의 아마추어를 구동

3. RP 발생부

모터의 실제각도와 각도명령과는 약 5 ms의 시간지

하게 된다. 그림 16에 모터구동회로의 구성도가 주어
져 있다.

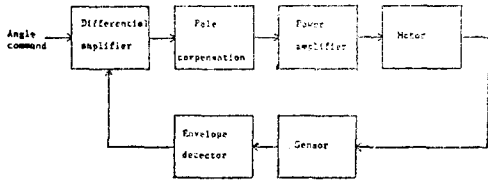


그림 16. 모터구동회로의 구성도
Fig. 16. Block diagram of the motor driver.

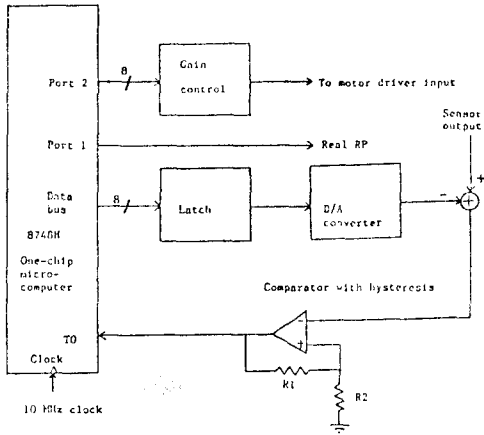
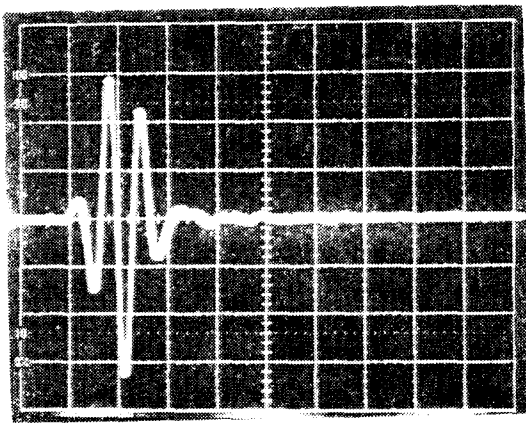


그림 17. RP 발생부의 구성도
Fig. 17. Block diagram of the rate pulse generator.

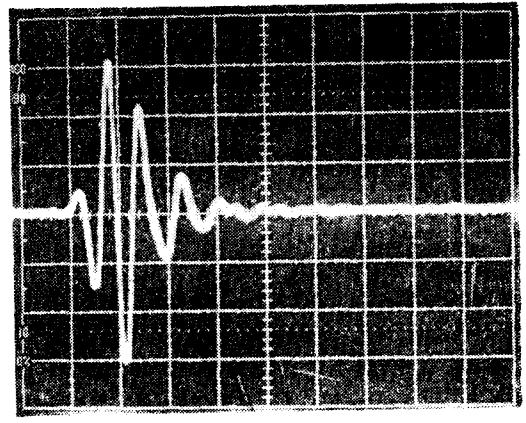
연이 있게 된다. 이 문제도 해결하고 디지털주소변환
기의 ULA 방식을 만족하도록 인텔사의 단일칩마이크
로컴퓨터인 8748H를 사용하여 감지기의 출력은 ULA
방식으로 미리 설정한 비교전압과 서로 비교하여 RP
를 발생시키고 있다. 또한 인터럽트가 걸리는 경우 각
도명령의 진폭을 조금씩 바꾸어 시간이 경과함에 따라
바뀌어지는 모터의 동특성을 보상시켜 일정한 주사각
을 유지시키도록 하고 있다. 8748H의 ROM의 300번
지에서 3 FF 번지까지 ULA 방식의 비교전압이 들어있
다. 그림 17에 RP 발생부의 구성도가 주어져 있다.

IV. 결 과

그림 1과 같은 구성도로 이루어진 프론트 엔드 부분
이 3장의 기판(PCB)으로 완성되었다. 이밖에 애널로
그마더보드(mother board), 랙(rack), 전력공급기등
도 완성되었다. 그림 18(a)는 펄스발생기에서 400V의
임펄스를 변환자에 인가시켰을 때 물속의 와이어 타겟
(wire target)에서 돌아온 반사신호를 보여주고 있다.
그림 18(b)는 KB-Aerotech 사의 펄스발생기를 사용했
을 때의 반사신호인데 그림 18(a)보다 축방향의 해상도
가 떨어짐을 알 수 있다. 그림 19는 조향제어부에 관한
것으로 삼각파와 모양이 비슷한 ULA 파형과 감지기의
출력을 보여준다. 시간지연 및 모터가 좌에서 우로 또
는 우에서 좌로 방향을 바꿀때 각도명령을 빨리 따라
가지 못하는 사실을 알 수 있다. 단일칩마이크로컴퓨

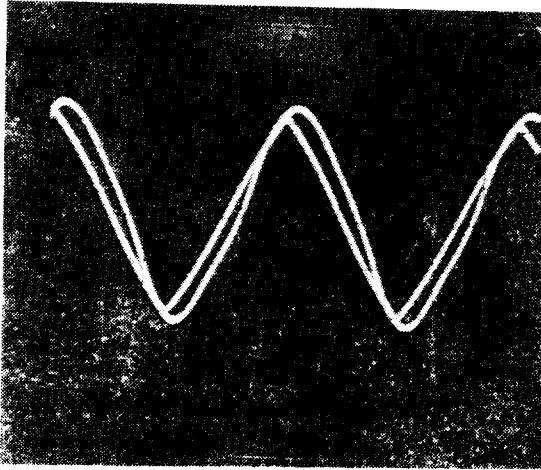


(a)
수직축 : 50 mV/div



(b)
수평축 : 0.5 μs/div

그림 18. 우리가 제작한 펄스발생기(a)와 KB-Aerotech 사의 것(b)과 비교
Fig. 18. Comparison of the performance of our pulse generator with that of KB-Aerotech pulse generator.



수직축 : 2 V/div
수평축 : 20 ms/div

그림 19. 조향제어부에서 ULA 파형과 감지기의 출력
Fig. 19. ULA waveform versus sensor output waveform.

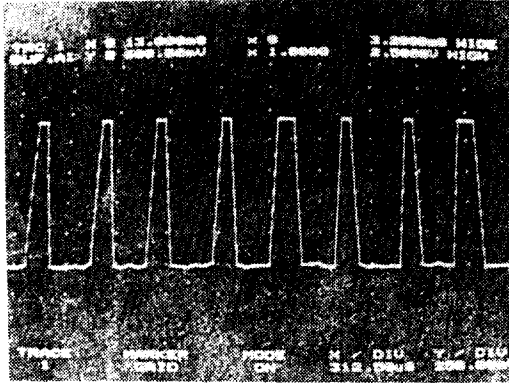


그림 20. RP 발생부의 출력
Fig. 20. Generated RP based on the sensor output.

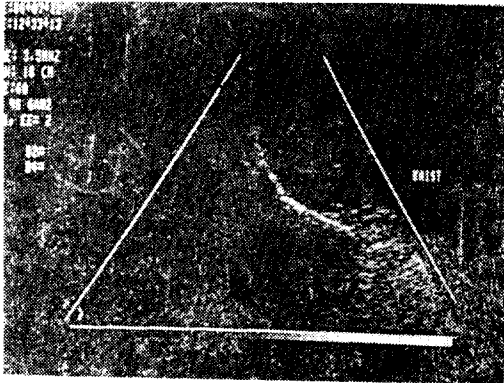


그림 21. 인체 간 및 시험편의 영상

터를 사용하여 발생시킨 RP는 그림 20에 주어져 있으며 디지털 시스템의 올바른 동작을 위해서 필요한 RP의 반복주기, 즉 $320\ \mu\text{s}$ 이상이 만족됨을 알 수 있다. 그림 21은 인체의 간의 단면영상과 뉴클리어오하이오(Nuclear Ohio)사에서 제작한 시험편(test phantom)의 영상을 보여주고 있다. 간의 영상에서는 횡격막을 볼 수 있고 시험편의 영상으로부터 축방향의 해상도는 약 3 mm 정도임을 알 수 있다.

V. 결 론

진술한 애널로그 하드웨어를 기본으로 하여 개발된 섹터 스캐너는 기계적인 조향방식을 채택했으며 심장 및 복부의 진단에 매우 유용하게 사용할 수 있다. 본 초음파 섹터 스캐너의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 펄스발생기에 링다운시간을 감소시켜 주는 회로를 채택하여 축방향의 해상도를 향상시켰다.
- 2) 다양한 중심주파수를 갖는 탐촉자를 사용할 수 있으므로 진단깊이와 해상도를 고려하여 사용자가 편리하게 선택할 수 있다.
- 3) B 모드 뿐만아니라 M 모드(또는 도플러모드)를 관찰할 수 있도록 ULA 파형발생기를 구성함.
- 4) 시가변이득증폭기의 이득을 제어하는 곡선의 파형을 임의로 만들 수 있다.
- 5) 조향제어부에 프로세서(processor)를 사용하여 만든 RP를 본 초음파 섹터스캐너의 전 부분에 공급시켜주며 각도명령의 진폭을 조정하여 주사각을 일정하게 해준다.
- 6) 여러 종류의 섹터각도(80° , 60° , 30°)로 인체의 각 장기의 단면영상을 관찰할 수 있다.

본 연구의 결과로서 현재 전량 수입되고 있는 초음

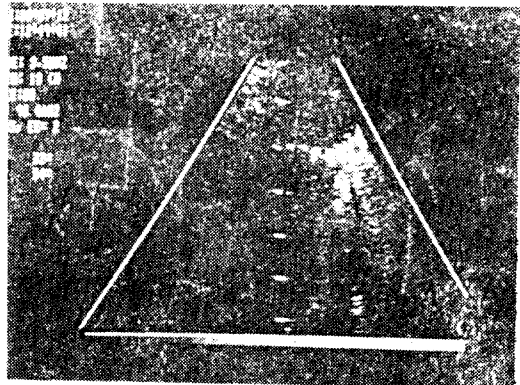


Fig. 21. Ultrasound sector image of the human liver and test phantom.

파 섹터 스캐너의 대부분을 국산화할 수 있게 되었고 저렴한 가격으로 현대적인 의료장비를 널리 보급하고 충분한 사후서비스를 보장하는 일이 가능하게 되었다.

<본 논문은 과학기술처지원사업인 “컴파운드 초음파 진단장치의 개발”의 연구결과중 일부를 밝힌다.>

참 고 문 헌

- 1) Final Project Report, “A Study on the Development of Ultrasonic Compound Scanners,” *Circuit and System Lab, KAIST, September 1985.*
- 2) M.E. Schafer and P.A. Lewin, “The Influence of Front-End Hardware on Digital Ultrasound Imaging,” *IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics, vol. SU-31, no. 4, pp. 295-306, July 1984.*
- 3) M.C. Maggines, “Methods and Terminology for Diagnostic Ultrasound Systems,” *Proc. IEEE, vol. 67, no. 4, pp. 641-653, April 1979.*
- 4) J.F. Havlice and J.C. Taenzer, “Medical Ultrasonic Imaging: An Overview of Principles and Instrumentation,” *Proc. IEEE, vol. 67, no. 4, pp. 620-641, April 1979.*
- 5) L.E. Kinsler, “Fundamentals of Acoustics,” *John Wiley and Sons, 1976.*
- 6) B.D. Steinberg, “Principles of Aperture and Array System Design,” *John Wiley and Sons, 1976.*