

논문 2006-43SC-4-8

수중 음향신호 인식성능 향상 알고리즘 개발

(A Development of Improved Recognition Algorithm for Ultrasonic Signal)

김 영 진*, 허 경 무**, 우 광 준**

(Young Jin Kim, Kyung Moo Huh, and Kwang Joon Woo)

요 약

장비를 사용해서 해양자원을 탐사하고 개발하기 위해서 수중초음파 통신은 유용한 수단이 된다. 이러한 응용을 위해서는 정보전달 및 원격제어가 필수적인데, 해양환경에서 다양한 형태의 노이즈가 발생하여 제어의 효율성과 수중통신의 신뢰성이 저하되고 있다. 그래서 기존의 방법은 하드웨어적인 방법으로 제어정보를 수신하고 이를 반복적으로 기준 정보와 비교하는 방법을 사용하고 있어 제어신뢰성이 중요시되는 시스템에서는 효율성이 떨어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 해양환경 변화에 따른 영향이 없이 초음파 신호를 인식할 수 있는 수중 초음파신호 검출성능 향상 알고리즘을 제안하려 한다. 제안하는 알고리즘의 적합성을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

Abstract

Underwater ultrasonic communication is critical to explore and development ocean using instrument. Essential to these applications is the reliable teleoperation and telemetering of the unit. but The problem is that the controllability of the instrument and the reliability of submarine communication are decreased, as so various passive noises are generated. In the existing methods, the control informations, received from an observation instrument, are identified used by hardware and repeatedly compared with standard information. However, such a method weakens the efficiency in controllability-centered systems. This study presents an ultrasonic signal detection algorithm that can identify the ultrasonic signal without the influence of disturbances due to underwater environmental changes. Likewise, the logicity of detection algorithm were ascertained by simulation.

Keywords : improved detection algorithm, ultrasonic signal, passive noise, underwater environmental.

I. 서 론

수중에서는 정보전달을 위하여 전자파 및 빛은 과도한 전달손실 문제로 수중 초음파가 유용한 통신수단으로 사용된다. 수중 음파는 전달에 필요한 매질의 변화와 깊이에 따른 온도변화, 그리고 다중반사파 등의 영향을 받는데^[1] 이러한 환경에서도 수중 초음파 신호를 안정적으로 인식할 수 있어야 한다. 특히 송신 정보를

생성하고 전송한 후 수신부에서 필요 주파수 성분을 정확히 추출하여 제어 정보로 활용하기 위해서는 매질의 변화와 반사파에 의한 영향 등을 고려하여 음파 신호를 해석하고 판별하는 과정이 중요하다^{[2][3]}. 그러나 기존의 수중 음향신호 인식 알고리즘^[4]은 수중 매체를 통해 전달된 음향신호가 통과하는 대역통과필터에서 단일주파수(12.5kHz)를 사용하고 있어 정보의 전송량에 제약을 받으며, 별도의 주파수 선택부가 존재하지 않아 필요 주파수 성분을 추출할 수 있는 주파수 선택효율이 낮다^[5]. 또한 기준신호와 입력된 정보신호를 비교하기 위한 수중음향신호 검출 비교부에서는 수중음향신호 검출의 비교 기준이 되는 기준전압을 운용환경이 다르기 때문에 최적화시키기 곤란한 문제점이 있어 음향신호 인식효율

* 학생회원, 단국대학교 전자컴퓨터공학과
(Dankook university. Dept. of electronic and computer eng.)

** 정회원, 단국대학교 전자공학과
(Dankook university. Dept. of electronic eng.)

접수일자: 2006년5월12일, 수정완료일: 2006년7월6일

이 떨어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 다중경로페이딩과 배경잡음에 의한 영향^[6]이 적은 수중음향신호 인식 성능 향상 알고리즘을 제안하였다. 대역통과필터에서는 원하는 주파수 대역의 신호를 추출하고, 주파수 선택부는 필요주파수 신호 3개를 추가로 검출하여 주파수 선택성을 향상시켰으며, 신호 검출을 판별하기 위한 가변형 기준전압 비교부를 추가하여 전달손실^[7]에 따른 영향을 효과적으로 제거하였다.

II. 수중 초음파신호 검출성능 향상 알고리즘

1. 수중 초음파신호 검출

수중 초음파신호 검출과정은 그림 1과 같이 입력 신호가 포함된 필요 주파수대역(30-50kHz)의 신호를 필터링하고 공진주파수에서 떨어진 중간주파수(35.0kHz)성분을 보정하고 필요한 주파수 성분(33.0kHz, 35.0kHz, 38.0kHz)을 추출하여 정의된 가변형 기준전압 비교부를 통해 신호로 검출하며, 음파해석 알고리즘을 통해 초음파 신호로 인식하는 과정을 수행하게 된다.

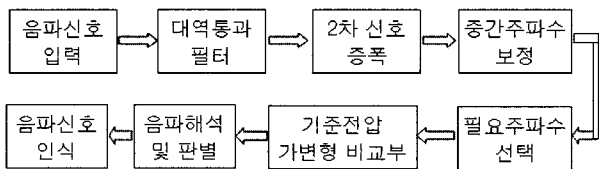


그림 1. 수중 초음파신호 검출 과정
Fig. 1. The detection of underwater ultrasonic signal

2. 대역통과 필터

그림 2에서는 RLC 병렬공진회로 2개를 콘덴서 결합 방식으로 조합하여 대역폭과 주파수 선택성이 향상된 대역통과필터를 보여주고 있다. 대역통과필터를 통과한 신호 성분 중 중간주파수 성분의 세력을 보정하기 위하여 전체 신호를 재차 증폭하고 중간주파수 성분을 추가로 추출하여 이상적인 대역통과 필터에 근접하는 대역통과필터를 설계하였다.

콘덴서 결합방식의 대역통과필터의 동작특성을 보면 임계 결합의 두 공진기의 부하 Q는 한 공진기에 대한 부하 Q_m 이 0.707배가 되어, 하나의 공진 회로보다 3dB 대역폭이 더 넓어지게 되고, 대역폭 이외의 주파수의 정지 대역에서 급경사지게 되는 특성을 갖게 된다. 콘덴서 결합방식 대역통과필터의 동작은 낮은 주파수 대역에서 2개의 병렬 인덕터에 의한 리액턴스 감소, 2개의 병렬 커패시터 영향 무시, 1개의 직렬 커패시터에

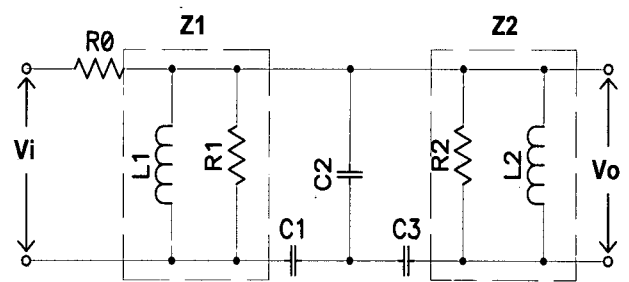


그림 2. 제안 시스템의 대역통과필터회로
Fig. 2. Band-pass filter circuit of proposed.

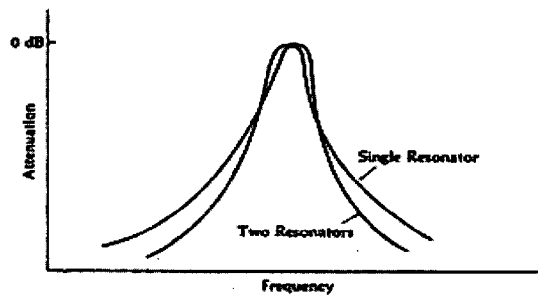


그림 3. 공진기 결합수에 따른 선택도 특성비교
Fig. 3. Compare selectivity of single and two resonator.

의한 리액턴스 증가로, 이들 각각은 특성에 6dB/octave 씩을 기여하여 최종적으로 18dB/octave의 비율로 감쇠한다. 그리고 높은 주파수 대역에서는 반대로 2개의 병렬 인덕터에 의한 영향은 무시되며, 3개의 커패시터가 하나의 병렬접속 회로와 같이 동작하면서 6dB/octave의 비율로 감쇠한다. 결과적으로 그림 3에서와 같이 공진기의 결합개수가 증가하면 대역폭은 증가하고 정지대역의 경사특성이 향상되어 이상적인 대역통과필터에 가까운 특성을 얻게 된다.

3. 필요주파수 성분 추출

2차 신호 증폭회로의 출력 신호는 주파수 선택회로의 입력신호(V_i)로 입력되며, 그림 5와 식(1)은 전달함수 특성을 보여주고 있다.

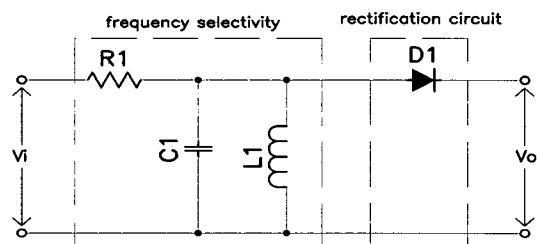


그림 4. 필요주파수 성분 추출회로
Fig. 4. Detector of necessary frequency.

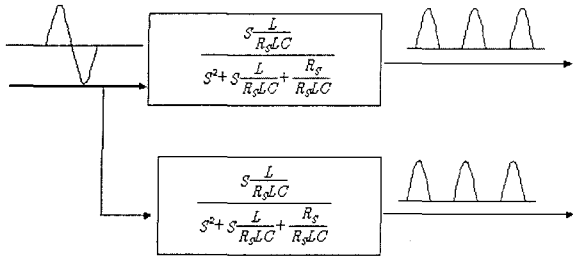


그림 5. 필요주파수 선택부 전달함수
Fig. 5. Transfer function of frequency Selection in the proposed.

$$\frac{\frac{1}{CS} \cdot SL}{\frac{1}{CS} + SL} = \frac{SL}{S^2 CL + 1},$$

$$\frac{\frac{SL}{S^2 CL + 1}}{R_s + \frac{SL}{S^2 CL + 1}} = \frac{S \cdot \frac{L}{R_s LC}}{S^2 + S \cdot \frac{L}{R_s LC} + \frac{R_s}{R_s LC}},$$

$$= \frac{S \times 7047}{S^2 + S \times 7047 + 5.031 \times 10^{10}} \quad (1)$$

$$F_2 = 35.7kHz, \quad R_2 = 33 \times 10^3$$

$$C_2 = 0.0033 \times 10^{-6}, \quad L_2 = 4.622 \times 10^{-3}$$

기존의 시스템에서는 2차적으로 필요주파수 성분을 추출하지 않고 신호레벨을 비교하는 수중음향신호 검출 비교부로 직접 전달되나, 그림 4와 같이 제안하는 시스템에서는 공진회로의 첨예도(Q=160)가 높은 필요 주파수 선택회로를 설계하여 적용하였다. FSK (Frequency Shift Keying) 변조방식을 적용하기 위하여 3개의 상이한 주파수를 사용하는데 주파수간의 차이가 적어 필요한 주파수 성분만을 선택하는 일이 중요하다^[8]. 그래서 RLC 병렬 공진회로를 사용하여 식(2)과 같이 공진 시 임피던스가 최대가 되는 특성을 트랜지스터의 바이어스

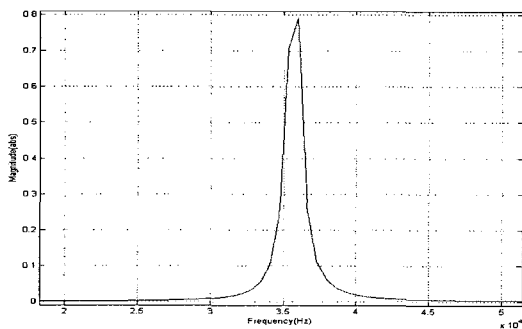


그림 6. 필요주파수 선택부의 공진특성
Fig. 6. Resonance characteristic of frequency selection part.

로 사용하여 출력전압의 진폭이 식(3)과 같은 3개의 필요 주파수 신호 성분을 추출하였다. 결과적으로 필요주파수 성분만을 선택적으로 추출해낼 수 있게 되어 초음파 정보신호의 검출효율과 전송정보의 신뢰성을 높일 수 있게 된다.

$$Z_T = R + Z = R + \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC} \quad (2)$$

$$V_O = V_P \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{R}{\omega L})^2 (1 - \omega^2 LC)^2}} \quad (3)$$

4. 수중음향신호 검출 비교부

가. 비교기 기준전압 (V_{ref}) 설정

입력신호 검출을 위하여 그림 7과 같이 비반전 비교기를 사용하였으며 비교기의 기준전압을 식(4)을 이용하여 설정하였으며, 식(5)은 $V_{cc} = 5[V]$ 공급 시 실제 비교기를 통해 측정된 결과이다.

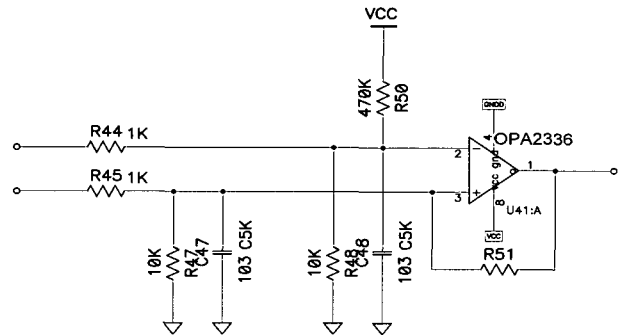


그림 7. 비반전 전압 레벨 검출기
Fig. 7. Non-inverted voltage level detector.

$$V_{ref1} = (\frac{R50}{R48 + R50})v_{cc} \quad (4)$$

$$V_{ref1} = (\frac{10K}{10K + 470K})5$$

$$V_{ref1} = 0.10V \quad (5)$$

나. 비교기 입력 신호전압 (V_s) 검출

비반전 비교기의 입력 신호전압은 식 (6)과 같이 검출할 수 있다. 식(7)은 초음파 신호가 입력되었을 경우 비교기를 통해서 측정된 신호전압이다. 설계된 비교기는 입력되는 신호세기에 따라 0.2 ~ 1.2[V] 정도로 가변되어 나타난다. 이 결과는 오차가 아니고 기준전압 ($V_{ref} = 0.1V$)보다 높게 나타나면 신호전압으로 인식하므로 설계된 비교기를 통해 계산한 결과($V_s = 0.41V$)는

신호 전압으로서 인식 가능한 상태가 된다.

$$V_s = \left(\frac{R_{47}}{R_{45} + R_{47}}\right) i_c R_{45} \quad (6)$$

$$V_s = \left(\frac{10K}{10K + 1K}\right) \times 0.45mA \times 1K$$

$$V_s = 0.41[V] \quad (7)$$

그러나 기준전압을 너무 높게 설정하면 전달손실에 의해 감쇄된 신호성분이 충분히 증폭되고 전달되지 못하여 기준 전압보다 낮게 검출되어 신호로 인식되지 못하였고, 너무 낮게 설정하면 외란성 노이즈 성분이 증폭되어 오동작하는 현상이 발생하여 동작오율을 증가시키는 요인으로 작용하였다.

다. 가변형 기준전압 비교부

그림 7은 가변형 기준전압 비교부이며, 입력신호의 감쇄와 노이즈에 의한 영향을 받지 않도록 기준전압을 가변형태로 설계하여 적용하였다. 이 경우 입력신호의 증감에 따라 식(8)의 전압성분($i_c R_{44}$)의 양도 동시에 증감되므로 외란성 노이즈에 의한 오동작 현상을 제거할 수 있었으며, 입력 신호 성분이 충분히 증폭되어 전달되는 경우에는 비교기준 전압의 양도 함께 증가되므로 기준 전압을 높게 설정하는 효과가 나타나게 된다. 식(9)은 가변형 기준전압회로에서 식(5)과 비교하여 보정된 기준전압을 측정된 결과이다.

$$V_{ref2} = \left(\frac{R_{48}}{R_{48} + R_{50}}\right) v_i + i_c R_{44} \quad (8)$$

$$V_{ref2} = \left(\frac{10K}{10K + 470K}\right) 5 + (0.445mA \times 1K)$$

$$V_{ref2} = 0.54V \quad (9)$$

III. 수중 초음파신호 생성 및 전송

수중 통신을 위하여 송신 측에서 수중 초음파신호 생성은 신호의 주기와 듀티비를 달리하여 두개의 반송파 신호(33.0, 35.0kHz)를 생성하며, 이 신호를 정보구분신호(stop signal), 동기신호(sync. signal)등을 이용, 변조하는 방법으로 정보신호를 생성하였다. 정보신호는 두개의 주파수를 교번하는 FSK 변조방식으로 생성한 정보를 프로토콜에 따라서 ASK(Amplitude shift keying)방식으로 정보의 길이와 간격을 상이하게 단속하여 정보의 전송량을 증대시킬 수 있는 FSK와 ASK 조합형 변

조방식을 사용하였다. 생성된 신호는 트로이달 코일과 트랜스듀서를 이용하여 수중음향 신호로 송출하였다.

IV. 실험 및 고찰

수중 음향신호 인식성능 향상 알고리즘의 성능을 MATLAB을 이용하여 대역통과필터의 특성, 주파수 선택성 실험, 수중음향신호 검출성능을 전달함수를 구하고 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

1. 대역 통과필터 특성 평가

제어 신호 정보로 활용하기 위한 필요 주파수 신호 성분을 통과시키는 대역통과필터의 특성을 확인하였다. 기존의 원격제어 시스템에서는 단일 주파수 성분을 사용하므로 한 개의 공진회로를 이용하여 필요한 주파수 성분을 획득할 수 있었으나, 제안하는 시스템에서는 3개의 주파수 성분을 사용 제어신호 정보로 활용하고 있

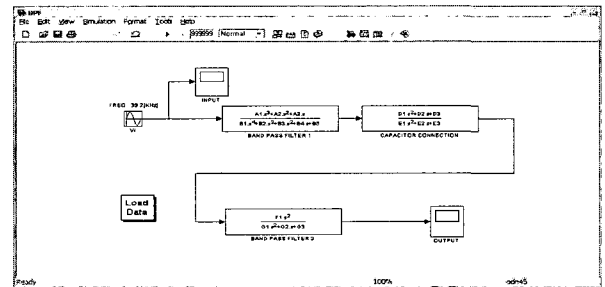


그림 8. 제안시스템 대역통과 필터회로 모델링
Fig. 8. Modeling of proposed band-pass filter.



(a) 제안 대역통과필터회로 특성(33.0kHz)
(a) Characteristic of band-pass filter in the proposed (33.0kHz)



(b) 제안 대역통과필터회로 특성(35.0kHz)
(b) Characteristic of band-pass filter in the proposed (35.0kHz)



(c) 제안 대역통과필터회로 특성(38.0kHz)
(c) Characteristic of band-pass filter in the proposed (38.0kHz)

으므로 3개 주파수 성분이 포함된 사용주파수 대역인 30~50kHz 구간의 대역통과 필터의 특성을 확인하였다.

그림 8은 대역통과 필터회로에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 (a)와 (c) 두개의 공진주파수에서는 높은 신호전달특성을 보이나, 그림 (b)의 중간 주파수 대역은 공진주파수에서 떨어져 신호세력이 저감된 특성을 나타내고 있다. 그래서 중간주파수 신호성분을 2차로 증폭하고 추가로 추출하는 방법을 사용하여 신호세력을 보강하였다.

2. 주파수 선택성 실험

필요 주파수 신호 추출특성을 평가하기 위하여 주파수 선택성 실험을 하였다. 기존 시스템은 단일 주파수를

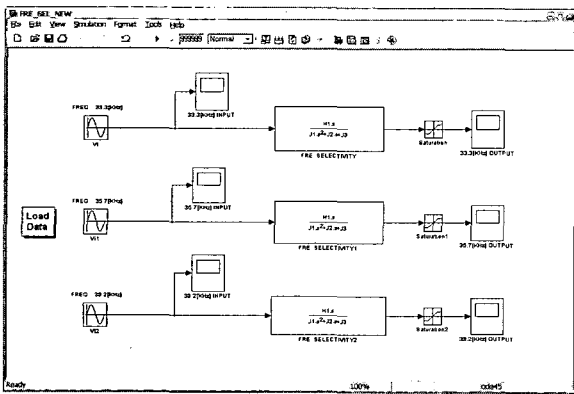
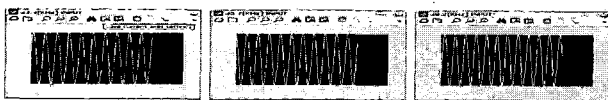


그림 9. 주파수 선택회로 모델링
Fig. 9. Modeling of frequency Selection.



(a) 제안시스템 각 주파수별 입력 파형
(a) Input signal of proposed selective circuit



(b) 제안 주파수 선택특성(TR 후단 33.0kHz)
(b) Frequency selectivity of proposed system(33.0kHz)



(c) 제안 주파수 선택특성(TR 후단 35.0kHz)
(c) Frequency selectivity of proposed system(35.0kHz)



(d) 제안 주파수 선택특성(TR 후단 38.0kHz)
(d) Frequency selectivity of proposed system(38.0kHz)

사용하기 때문에 주파수 선택회로를 요구하지 않는다.

그림 9는 주파수 선택회로의 시뮬레이션, 모델을 보여주고 있으며, 그림 (a)는 각 주파수별 입력 파형이다. 실험결과 그림 (b)~(d)과 같이 주파수 추출회로를 이용하여 설정한 3개의 필요주파수 신호가 높게 검출되는 것을 확인할 수 있었다. 공진점에서 떨어져서 저감된 주파수의 신호는 기준전압 보정치로 사용된다.

3. 수중 초음파신호 검출성능 평가

그림 10에서 위의 그림은 기존 방식의 비교검출 회로를 모델링 한 것이고, 아래는 제안 시스템을 모델링한 것이다. 추출된 주파수를 입력으로 하여 수중음향신호를 제어신호 정보로 변환하는 과정에서 발생하는 노이즈에 따른 영향을 줄인 제어신호 정보의 생성특성을 확인하였다.

(1) 기존시스템 시뮬레이션 결과

그림 (a)는 기존시스템 비교검출부의 결과 파형이다. V_S 는 비교검출회로에 입력되는 입력 파형이고, V_{ref} 는 기준신호 파형이다. V_S 가 V_{ref} 보다 높으면 출력이 high, 낮으면 low가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그러나 기준전압 설정레벨에 따라 수중 음향 신호의 진폭 변화에 능동적으로 대응하기 곤란하였다.

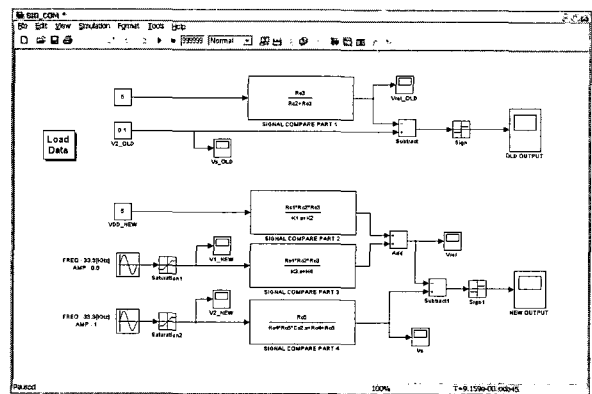
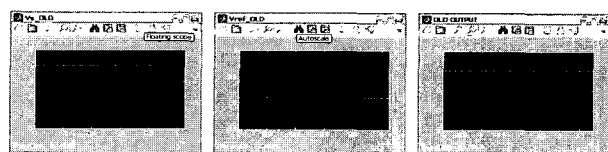


그림 10. 기존 및 제안 시스템의 비교회로 모델링
Fig. 10. Modeling of comparator existed and proposed.



(a) 기존 시스템의 비교기 동작특성
(a) Characteristic of comparator in the existed

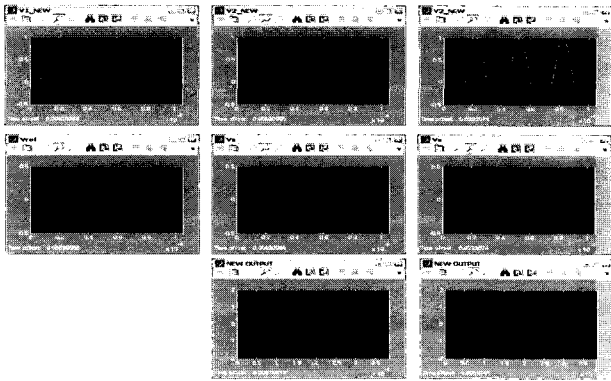


그림 11. 제안시스템 비교기의 동작특성
Fig. 11. Characteristic of comparator in the proposed.

(2) 제안시스템 시뮬레이션 결과

제안 시스템의 비교검출 회로는 기준전압(V_{ref})이 고정되어 있지 않고, 이전 단계(그림 9)인 필요주파수 선택부에서 출력의 신호세력이 변화되는 특성을 이용하여 기준전압(V_{ref})를 설정하였다. 그림 11의 중앙 위쪽의 파형은 보상된 기준신호전압(V_{ref})값 보다 낮은 신호 성분이 입력된 경우 출력에는 무신호조건으로 판단하여 하단부와 같이 동작(low)된 결과를 보여주고, 우측상부는 보상된 기준전압($V_1 = 0.4V$)과 비교하여 높은 신호전압 ($V_2 = 1$)이 입력되어 우측 하부 파형과 같이 출력신호(high)가 나타난 결과를 보여주고 있다. 결과적으로 기준신호가 입력되는 신호의 세기에 따라 보정치가 대응하여 변화하므로 낮은 기준전압(V_{ref})에서 노이즈가 입력신호로 검출되는 현상을 제거할 수 있었고, 높은 기준전압레벨에서 신호감쇠의 영향으로 검출된 입력신호가 기준전압 레벨에 도달하지 못하여 무신호 조건으로 판단되는 현상을 제거할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 해저에서의 다중반사파 등 극한 환경에서도 수중 초음파 신호를 안정적으로 인식할 수 있는 수중 초음파신호 검출성능향상 알고리즘에 대하여 제안하였다. 원하는 주파수 대역의 정보신호를 추출할 수 있도록 RLC 병렬공진회로 2개를 콘덴서 결합방식의 대역통과 필터를 구성하여 필요로 하는 신호성분을 통과시키고 그 외의 신호성분은 노이즈로 판단하여 제거하였다. 이렇게 획득한 신호는 OP-Amp.를 사용하여 과구동하는 방법으로 디지털 신호로 변환하고, 변환된 신호를 RLC병렬 공진회로에서 공진 시 임피던스가 최대

가 되는 특성을 트랜지스터 구동을 위한 바이어스(bias)로 사용하여 3개의 필요 주파수 신호를 안정적이고 효과적으로 검출해 낼 수 있었다. 특히 수중의 매질변화와 외란성 노이즈 성분에 의해 발생하는 신호 진폭의 저감으로 기준신호보다 낮아져서 정보신호로 인식되지 못하게 되는 현상을 가변형 기준전압 비교기를 통해서 도달하는 수중음향신호의 진폭에 비례하는 보정제어를 통해서 제거하였다.

참 고 문 헌

- [1] 임용곤, 박종원, 최영철, “Multipath를 고려한 수중 영상전송 시스템 설계”, 한국해양정보통신학회 논문지 제5권 제 1호, 2001.
- [2] 김영철, 오창현, 강희조, 조성준, “수중음향통신의 채널특성”, 한국해양정보 통신학회지 제4권 1호. 2002.
- [3] 박지현, “수중 데이터 통신시스템 설계를 위한 수중 음향채널 특성 해석”, 한국음향학회, 2002.
- [4] 김영진, 허경무, “Acoustic releaser 제어를 위한 강인한 수중음향신호 인식 알고리즘의 개발, 전자공학회 논문지, 제41권 SC편 제 3호, 2004, 5.
- [5] 이의형, 손윤준, 김기만, “하이드로폰 송신 어레이를 이용한 수중음향통신 시스템의 성능향상”, 한국음향학회지, 제21권 제7호, pp606-613, 2002.
- [6] R, Alksne, Rapidly Deployable System Underwater Acoustic Telemetry Trial Report, DSTO Report, March, 2000.
- [7] Thorp, W. H., “Deep ocean sound attenuation in the sub and low-kylocycle per second region”, JASA, vol 38, 2001.
- [8] 이의형, 김기만, “BFSK 변조를 이용한 수중음향통신의 실험적 고찰”, 한국음향학회지, 제22권 제5호, 2003.

저 자 소 개



김 영 진(학생회원)
 2002년 단국대학교 전자컴퓨터
 공학과 석사졸업.
 2002년~ 동 대학원 전자컴퓨터
 공학과 박사과정 재학 중.
 2001년 한국생산기술연구원 위촉
 연구원 재직 중.

<주관심분야 : 초음파센서 응용개발, 리니어 서보
 모터 제어, 잉크젯분사 응용개발, 수중운용장비
 개발>



허 경 무(정회원)
 1979년 서울대학교
 전자공학과 졸업.
 1981년 한국과학기술원 전기및
 전자공학과 석사졸업.
 1989년 동대학원 박사졸업.
 2006년 현재 단국대학교
 전자컴퓨터학부 교수.

<주관심분야 : 3차원 디스플레이, 로봇트 제어,
 검사 자동화, 시스템 제어, 학습 제어, Servo
 Motor 제어, 디지털제어기 설계 및 시뮬레이션>



우 광 준(정회원)
 1974년 한양대학교
 전자공학과 학사졸업.
 1977년 스트라스브르대학교 전자
 제어공학과 석사졸업.
 1980년 국립그르노블공과대학교
 제어계측공학과 박사졸업.

<주관심분야: Process Control, System Network
 Moter Servo Control에 대한 연구>