



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년04월08일
(11) 등록번호 10-1251204
(24) 등록일자 2013년03월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 29/04 (2006.01) G01B 17/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0040573
(22) 출원일자 2011년04월29일
심사청구일자 2011년04월29일
(65) 공개번호 10-2012-0122440
(43) 공개일자 2012년11월07일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110018794 A
정현조 외 3인. 비선형 음향효과에 의한 고온재료의 파괴인성 열화도 평가, 비파괴검사학회*
KR1020090045151 A
KR1020100072820 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
원광대학교산학협력단
전북 익산시 신용동 344-2
(72) 발명자
정현조
전라북도 익산시 무왕로9길 60, 제일4차 아파트 601동 605호 (영등동)
(74) 대리인
특허법인 태웅

전체 청구항 수 : 총 10 항

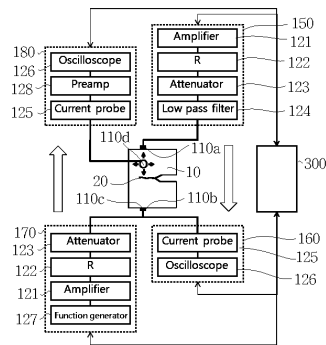
심사관 : 박재우

(54) 발명의 명칭 **초음파 비파괴 검사 장치 및 초음파 비파괴 검사 방법**

(57) 요약

본 발명은 균열과 같은 비선형 결함의 정확한 검출을 위하여 고출력 전압의 초음파로 가진하고, 수신 신호에서 비선형 성분인 고조파를 추출하며, 추출된 고조파에 대하여 시간 역전 처리를 하고 시간 역전된 신호를 재송신함으로써 균열에 초음파 빔을 집속한 다음, 피검사물 표면 스캔을 통하여 균열을 탐상하는 검사장치 및 검사 방법이다. 표면 스캔시 자동 표면 스캐닝 검사 장치를 사용하면 초음파 빔의 결함 집속성과 신호대 잡음비(S-N ratio)를 향상시켜 고해상도 및 고정확도의 결함 영상을 얻을 수 있다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

피검사물을 향하여 제1 신호의 초음파를 방사하는 제1 초음파 센서;
 상기 제1 초음파 센서에 연결되어 상기 제1 초음파 센서의 신호 입출력을 제어하는 제1 신호부;
 상기 제1 신호가 상기 피검사물의 결함 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 수신하는 제2 초음파 센서;
 상기 제2 초음파 센서에 연결되어 제2 초음파 센서의 신호 입출력을 제어하는 제2 신호부;
 상기 제2 신호에서 비선형 성분의 파형을 추출하고, 상기 추출된 비선형 성분을 시간 역전 처리한 제3 신호를 생성하는 제3 신호부;
 상기 제3 신호부에 연결되며 상기 제3 신호부에서 생성된 상기 제3 신호를 상기 피검사물로 방사하는 제3 초음파 센서;
 상기 제3 신호가 상기 피검사물을 통과한 제4 신호를 입수하는 제4 초음파 센서;
 상기 제4 초음파 센서와 연결되며, 상기 제4 신호의 피크 진폭(peak amplitude)을 읽어 결함의 유무 또는 존재 위치를 검출하는 제4 신호부; 를 포함하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 제2 초음파 센서 및 상기 제3 초음파 센서의 중심 주파수는 상기 제1 초음파 센서의 중심 주파수의 k 배 또는 $1/m$ 배(여기서, k 및 m 은 양의 정수이다)인 것을 특징으로 하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,
 상기 제2 초음파 센서 및 상기 제3 초음파 센서는 동일한 것으로서 초음파의 송신 및 수신을 겸할 수 있는 송수신 겸용 초음파 센서인 것을 특징으로 하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 제2 초음파 센서의 신호 수신 시간은 상기 제1 초음파 센서의 신호 송신 시간보다 더 긴 것을 특징으로 하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 제3 초음파 센서가 상기 제3 신호를 계속해서 방사하는 동안, 상기 제4 초음파 센서를 상기 피검사물의 표면에 접촉시키고, 상기 제4 초음파 센서를 이동시키면서 각 위치에서 상기 제4 신호를 수신하며, 상기 제4 신호의 피크 진폭을 읽어 상기 결함의 유무 또는 존재 위치를 검출하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,
 상기 제1 초음파 센서, 상기 제2 초음파 센서, 상기 제3 초음파 센서 중 적어도 하나는 복수의 초음파 센서가 배열된 어레이 트랜스듀서인 것을 특징으로 하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

피검사물을 향하여 제1 신호를 방사하고,

상기 피검사물의 결함 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 기준값 이상의 시간동안 입수하며,

주파수 영역에서 상기 제2 신호의 저조파 또는 고조파의 피크값의 하한치가 입수되는 조건을 만족하는 상기 제2 신호의 입수 시간의 최소값을 상기 기준값으로 설정하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 11

삭제

청구항 12

제1 초음파 센서로부터 피검사물을 향하여 제1 신호를 방사하는 제1 신호부;

상기 피검사물의 결함 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 제2 초음파 센서로 수신하는 제2 신호부;

상기 제2 신호로부터 비선형 성분의 파형을 추출하고 상기 추출된 비선형 성분을 시간 역전 처리한 제3 신호를 제3 초음파 센서를 통하여 피검사물에 방사하는 제3 신호부;

상기 제3 신호가 계속해서 방사되는 동안 상기 제2 초음파 센서 또는 상기 제3 초음파 센서와 동일한 중심 주파수를 갖는 제4 초음파 센서를 상기 피검사물의 표면에 접촉시키고 상기 제4 초음파 센서를 이동시킬 때 각 위치에서 수신되는 제4 신호를 입수하는 제4 신호부;

상기 제4 신호의 피크 진폭을 기록하여 결함의 유무 또는 위치를 검출하는 제어부; 를 포함하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 13

송신용 초음파 센서, 송수신 겸용 초음파 센서, 수신용 초음파 센서 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 송신용 초음파 센서와 동일한 중심 주파수를 갖는 버스트형(burst type) 신호인 제1 신호가 상기 송신용 초음파 센서로부터 피검사물에 방사되며,

상기 피검사물의 결함 또는 경계면에서 반사된 제2 신호는 기준값 이상의 시간에 걸쳐 상기 송수신 겸용 초음파 센서로 수신되고,

상기 송수신 겸용 초음파 센서에 수신된 상기 제2 신호를 변환하여 주파수 스펙트럼을 구하며,

주파수 영역에서 윈도우 함수를 이용하여 상기 주파수 스펙트럼으로부터 저조파 또는 고조파 스펙트럼을 추출하고,

상기 저조파 또는 고조파 스펙트럼을 시간 역전 처리한 다음 시간 영역의 신호로 역변환시킨 제3 신호를 구하며,

상기 제3 신호를 상기 송수신 겸용 초음파 센서의 입력 신호로 하여 상기 피검사물을 향하여 재방사하고,

상기 제3 신호가 재방사되는 동안 상기 송수신 겸용 초음파 센서와 동일한 중심 주파수를 갖는 상기 수신용 초음파 센서를 상기 피검사물의 표면에 접촉시키며,

상기 수신용 초음파 센서를 이동시키면서 각 위치에서 제4 신호를 수신하고,

상기 제4 신호에서 피크 진폭을 읽어 결함의 유무 또는 위치를 검출하는 초음파 비파괴 검사 장치.

청구항 14

송신용 초음파 센서로부터 피검사물을 향하여 제1 신호를 방사하는 제1 단계;

상기 피검사물의 결함 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 송수신 검용 초음파 센서로 입수하는 제2 단계;

상기 제2 신호에서 비선형 성분의 파형을 추출하고 상기 추출된 비선형 성분을 시간 역전 처리한 제3 신호를 상기 송수신 검용 초음파 센서를 통하여 상기 피검사물에 재방사하는 제3 단계;

상기 송수신 검용 초음파 센서와 동일한 중심 주파수를 갖는 수신용 초음파 센서를 상기 피검사물의 표면에 접촉시키고 상기 수신용 초음파 센서를 이동시키면서 각 위치별로 제4 신호를 입수하며 상기 제4 신호의 피크 진폭을 토대로 결함의 유무 또는 존재 위치를 검출하는 제4 단계; 를 포함하는 초음파 비파괴 검사 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 초음파를 이용하여 결함을 검사하는 초음파 비파괴 검사 장치 및 초음파 비파괴 검사 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 비파괴 검사 기법 중에서 산업 설비의 결함을 검출하고 신뢰성을 평가하기 위한 대표적인 기법이 초음파 탐상 시험이다. 초음파 탐상 시험시, 균열과 같은 비선형 결함은 가장 검사하기 어려운 결함이다. 미세 균열에 대하여는 균열 선단부의 회절파나 균열면의 반사파를 식별하여 결함 검사를 하는 것이 일반적인 방법이다.

[0003] 그러나 단힌 균열 또는 부분적으로 단힌 균열의 경우 균열 선단부의 회절 신호가 아주 미약하거나 균열면의 반사 신호가 나타나지 않기 때문에 결함의 검출이 매우 어렵다.

[0004] 결함에 빔을 집속하고 이에 따라 검출 신호를 강화하는 위상배열 초음파 검사가 개발되고 있지만 비선형 결함인 균열의 검출에는 개선 효과를 기대하기 힘들다.

[0005] 또한, 강력한 입사파를 방사하고 상기 입사파에 의하여 균열면이 개폐될 때 발생하는 비선형 성분을 검출하는 방식을 생각해 볼 수 있지만, 단힌 균열의 경우 강력한 입사파에 불구하고 균열면의 개폐에 의한 비선형 성분 출력이 워낙 미약하여 성공적인 검사가 수행되기 어렵다.

[0006] 한편, 비선형 결함에 한정되지 않고 경계면이나 Lamb파의 다중 모드에 기인한 비선형 성분 신호가 입수될 때 이에 대한 심층적인 분석 방법이 새롭게 개발될 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 이러한 문제점을 개선하기 위한 것으로서, 비선형 성분 신호의 특정 모드에 대하여 심층 분석이 가능한 초음파 비파괴 검사 장치 및 초음파 비파괴 검사 방법을 제공한다.

[0008] 비선형 결함의 검출을 위한 경우, 피검사물 내부에 강력한 초음파를 방사하여 단힌 균열의 개폐를 유발한다. 균열 개폐에 따른 비선형 성분 신호를 포함하는 전체 신호를 수신한 다음, 푸리에 변환에 의해 비선형 성분만을 추출하고, 시간 역전 및 재송신을 통하여 검사 대상인 비선형 결함에 빔을 집속한다. 이에 따라 강력한 반사파를 획득하여 피로 균열에 대한 정확한 비파괴 검사를 수행할 수 있는 초음파 비파괴 검사 장치 및 초음파 비파괴 검사 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은, 비선형 결함이나 경계면을 포함하여 다중 모드의 비선형 성분 신호를 유발하는 검사 환경에 관심을 두고, 주파수 영역에서 고조파나 저조파를 포함한 다중 모드의 반사파 신호가 입수된 경우 특정 주파수의 고조파 또는 저조파에 대한 선별적인 분석이 가능한 초음파 비파괴 검사 장치 및 초음파 비파괴 검사 방법을 제시한다.

다.

- [0010] 본 발명은 특정 주파수의 고조파 또는 저조파에 대한 선별적인 빔 집속, 시간 역전 처리를 수행한다. 이를 통하여 특정 차수의 고조파 또는 저조파가 비선형 결합에서 야기된 것인지, 경계면에서 야기된 것인지, Lamb파의 다중 모드에서 기인한 것인지 여부를 포함하여 검사 환경 및 검사 목적에 최적화된 정확한 검사가 가능하다.
- [0011] 일 실시예로서, 본 발명은 균열과 같은 비선형 결합의 정확한 검출을 위하여 고출력 전압의 초음파로 가진하고, 수신 신호에서 비선형 성분인 고조파를 추출하며, 추출된 고조파에 대하여 시간 역전 처리를 하고 시간 역전된 신호를 재송신함으로써 균열에 초음파 빔을 집속한 다음, 피검사물 표면 스캔을 통하여 균열을 탐상하는 검사장치 및 검사 방법을 제시한다. 표면 스캔시 자동 표면 스캐닝 검사 장치를 사용하면 초음파 빔의 결합 집속성과 신호대 잡음비(S-N ratio)를 향상시켜 고해상도 및 고정확도의 결합 영상을 얻을 수 있다.
- [0012] 일 실시예로서, 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치는, 피검사물을 향하여 제1 신호의 초음파를 방사하는 제1 초음파 센서; 상기 제1 초음파 센서에 연결되어 상기 제1 초음파 센서의 신호 입출력을 제어하는 제1 신호부; 상기 제1 신호가 상기 피검사물의 결합 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 수신하는 제2 초음파 센서; 상기 제2 초음파 센서에 연결되어 제2 초음파 센서의 신호 입출력을 제어하는 제2 신호부; 상기 제2 신호에서 비선형 성분의 파형을 추출하고, 상기 추출된 비선형 성분을 시간 역전 처리한 제3 신호를 생성하는 제3 신호부; 상기 제3 신호부에 연결되며 상기 제3 신호부에서 생성된 상기 제3 신호를 상기 피검사물로 방사하는 제3 초음파 센서; 상기 제3 신호가 상기 피검사물을 통과한 제4 신호를 입수하는 제4 초음파 센서; 상기 제4 초음파 센서와 연결되며, 상기 제4 신호의 피크 진폭(peak amplitude)을 읽어 결합의 유무 또는 존재 위치를 검출하는 제4 신호부; 를 포함한다.
- [0013] 일 실시예로서, 본 발명의 초음파 비파괴 검사 방법은, 송신용 초음파 센서로부터 피검사물을 향하여 제1 신호를 방사하는 제1 단계; 상기 피검사물의 결합 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 송수신 겸용 초음파 센서로 입수하는 제2 단계; 상기 제2 신호에서 비선형 성분의 파형을 추출하고 상기 추출된 비선형 성분 신호를 시간 역전 처리한 제3 신호를 상기 송수신 겸용 초음파 센서를 통하여 상기 피검사물에 재방사하는 제3 단계; 상기 송수신 겸용 초음파 센서와 동일한 중심 주파수를 갖는 수신용 초음파 센서를 상기 피검사물의 표면에 접촉시키고 상기 수신용 초음파 센서를 이동시키면서 각 위치별로 제4 신호를 입수하며 상기 제4 신호의 피크 진폭을 토대로 결합의 유무 또는 존재 위치를 검출하는 제4 단계; 를 포함한다.

발명의 효과

- [0014] 본 발명은 피검사물의 내부를 전파하여 되돌아온 신호를 이용하기 때문에 피검사물의 실제 기하학적 형상과 물성을 사전에 알아야 할 필요가 없다. 그리고, 비선형 신호 성분만을 추출하고 여기에 시간 역전법을 적용하므로 단단 균열, 층간 박리, 비접착부 등과 같은 비선형 결합을 정확하게 탐지할 수 있다.
- [0015] 또한, 특정 주파수의 고조파 또는 저조파를 선별적으로 추출하여 빔 집속 및 시간 역전 처리를 수행하므로, 비선형 결합은 물론, 경계면, Lamb파의 다중 모드 등으로 야기된 비선형 성분 신호나, 평판 형상의 피검사물에서 다양한 모드의 반사파로 야기되는 비선형 성분 신호 등 다양한 검사 목적에 최적화된 정확한 분석이 가능하다.
- [0016] 피검사물의 표면 또는 표면 내부의 균열과 같은 비선형 결합의 효과적인 검출을 위하여 비선형과 성분의 추출과 이의 시간역전, 재송신을 수행하면, 비선형 성분의 발생 음원인 원래 균열 위치에 입사 초음파의 빔 집속이 가능하다. 더욱 강한 결합 고조파 신호의 방출이 가능하고 이 신호를 시편의 표면 위치에서 스캐닝을 통하여 정확한 결합 위치 정보를 얻을 수 있다.
- [0017] 따라서, 단단 균열과 같이 지금까지 해결하기 곤란하였던 결합 검사의 문제점을 해결 가능하며, 결합 검사 정확도를 획기적으로 개선할 수 있어, 실제 현장에서의 적용성이 아주 우수할 것으로 예상된다.
- [0018] 수십 개의 센서를 사용하는 어레이 트랜스듀서는 물론 단일의 송, 수신 센서를 사용할 수 있고, 피검사물의 형상과 물성에 의존하지 않으며, 비선형 신호만의 추출과 이의 시간역전 및 재송신을 통하여 비선형 결합만의 선별적인 검출이 가능하다. 비선형 성분을 발생한 최초의 결합에 강력한 입사 초음파의 빔 집속이 가능하므로 미소 균열과 같은 비선형 결합의 탐상을 위한 첨단 검사 기술을 제공할 것으로 판단된다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치를 도시한 블록도이다.

- 도 2는 본 발명의 비파괴 검사 장치를 도시한 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 시간 영역의 제2 신호를 19 μ s 동안 수신한 그래프이다.
- 도 4는 도 3의 제2 신호에 대한 주파수 스펙트럼이다.
- 도 5는 도 4의 확대도이다.
- 도 6은 본 발명의 시간 영역의 제2 신호를 30 μ s 동안 수신한 그래프이다.
- 도 7은 도 6의 제2 신호에 대한 주파수 스펙트럼이다.
- 도 8은 도 7의 확대도이다.
- 도 9는 본 발명에서 제2 고조파(20MHz) 성분을 추출하기 위한 윈도우 함수를 도시한 그래프이다.
- 도 10은 제2 고조파 성분을 추출한 다음 역푸리에 변환을 이용하여 얻은 시간 영역 신호를 도시한 그래프이다.
- 도 11은 도 10에 대하여 시간 역전 처리하고 진폭을 정규화한 그래프로서 제3 신호의 시간 영역 파형을 나타낸다.
- 도 12는 제4 초음파 센서의 이동 위치를 도시한 블록도이다.
- 도 13은 도 12의 v3 또는 h3위치에서 제4 초음파 센서에 입수된 제4 신호를 도시한 그래프이다.
- 도 14 내지 도 21은 v1 위치, v2 위치, v4 위치, v5 위치, h1 위치, h2 위치, h4 위치, h5 위치에서 제4 신호의 파형을 도시한 그래프이다.
- 도 22는 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치에서 어레이 트랜스듀서가 적용된 경우를 도시한 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하 도 1 내지 도 22를 함께 참조하며 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치 및 초음파 비파괴 검사 방법에 대하여 설명한다.
- [0021] 초음파 비파괴 검사에서 단함 또는 부분적 단함 균열은 결함(20)의 지시 신호가 거의 나타나지 않거나 아주 미약하여 결함(20)의 탐지가 어렵다. 본 발명은 피로 균열, 층간 분리, 비접착 등과 같은 비선형 결함을 아주 정확하게 검출할 수 있도록, 비선형 성분 신호를 추출하고 이를 시간 역전 처리하고 재송신을 통하여 결함(20)에의 빔 집속을 달성한다. 그 결과 크기가 큰 결함 지시 신호를 얻을 수 있고, 이를 측정하므로써 결함(20)의 유무 및 결함의 위치에 대한 정보를 정확하게 얻을 수 있다.
- [0022] 이하, 비선형 신호로 검출되는 피로 균열, 층간 분리된 부분, 비접착 부분 등을 통칭하여 '비선형 결함'으로 정의한다.
- [0023] 균열을 포함한 비선형 결함에 대하여 강력한 초음파가 방사되면 균열의 열림이 증폭되거나 미소한 균열면의 불음과 떨어짐이 유발되면서 비선형 성분의 신호가 출력된다. 초음파 센서(110)로 검출한 신호에서 비선형 성분은 균열로 인하여 유발된 것이며 균열의 주변 지점에서 반사된 신호는 비선형 성분을 실질적으로 포함하지 않는다. 비선형 성분이 검출되는 위치는 비선형 결함의 존재 위치에 해당하므로, 비선형 성분이 검출되는 위치에 초음파 빔을 집속하면 비선형 결함을 정확하게 검출할 수 있다.
- [0024] 여기서 '사전 정보'를 정의한다. '사전 정보'라 함은, 피검사물(10)의 표면 지오메트리, 피검사물(10)의 특정 매질에 대한 초음파의 전파 속도, 피검사물(10)에서의 초음파 속도, 음압에 따른 초음파의 속도 변화, 등방성 매질, 이방성 매질, 불균질 매질 등 피검사물(10)의 재료 특성, 초음파 센서(110)의 크기, 초음파 센서(110)의 배열 간격 중 적어도 하나를 말한다.
- [0025] 비선형 결함 위치에 초음파 빔을 정확히 집속하기 위하여 본 발명은 비선형 성분 이외의 신호는 필터링하여 걸러내고, 비선형 성분을 주성분으로 포함한 협대역 신호를 피검사물(10)에 방사한다. 이때 피검사물(10)에 방사되는 신호는 시간 역전 처리되므로 피검사물(10)의 특성을 포함한 사전 정보를 몰라도 비선형 결함이 존재하는 위치에 정확하게 초음파 빔을 집속할 수 있다.
- [0026] 본 발명은, 특정 주파수의 고조파 또는 저조파를 선별적으로 추출하여 빔 집속 및 시간 역전 처리를 수행하므로, 비선형 결함 검사에 한정되지 않는다. 경계면, Lamb파의 다중 모드 등으로 야기된 비선형 성분 신

호나, 평판 형상의 피검사물에서 다양한 모드의 반사파로 야기되는 비선형 성분 신호 중에서 관심을 두는 특정 모드의 신호를 추출하고 이를 시간 역전 처리한다. 이에 따라 검사를 원하는 위치에 정확하게 빔을 집중할 수 있으므로, 다양한 검사 목적에 최적화된 정확한 분석이 가능하다.

- [0027] 시간 역전 처리에 대하여 먼저 설명하고, 다음으로 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치 및 초음파 비파괴 검사 방법에 관한 실시예를 설명하며, 이어서 구체적인 실험예에 대하여 설명한다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 시간 역전 처리에 의한 초음파 빔 집중 과정을 설명하는 모식도이다. 도 1에서는 N개의 초음파 센서(110)가 배열된 어레이 트랜스듀서(100)에 대한 시간 역전법을 도시하고 있지만, 본 발명의 실시예는 어레이 트랜스듀서(100)에 한정되지 않고 날개로 설치되는 초음파 센서(110)에 의하여도 얼마든지 구현할 수 있다.
- [0029] 도 1의 첫째 그림을 참조하면 어레이 트랜스듀서(100)에 마련되는 N개의 초음파 센서(110) 중에서 하나의 초음파 센서(110)를 가진시킨다. 가진된 입사파는 피검사물(10)에 전파된다.
- [0030] 도 1의 둘째 그림을 참조하면 피검사물(10)의 결함(20)에서 반사되는 산란 신호는 각 초음파 센서(110)에 수신된다. 피검사물(10)의 매질 특성, 피검사물(10)의 표면 지오메트리, 각 초음파 센서(110)로부터 결함(20)까지의 거리 차이는 각 초음파 센서(110)별 에코 신호의 시간 지연량 차이나 각 초음파 센서(110)의 파형 차이와 같은 물리량으로 표현된다.
- [0031] 본 발명의 시간 역전법에 따르면 상기 시간 지연량 차이나 파형 차이에 관한 데이터를 요구할 뿐 사전 정보에 대한 지식은 전혀 필요로 하지 않는다.
- [0032] 결함(20)에서 초음파가 반사되며 결함(20)까지의 거리를 초음파의 속도로 나눈 것이 전파 시간이므로, 각 초음파 센서(110)별 시간 지연량 차이나 파형 차이에는 피검사물(10)의 표면 지오메트리나, 각 초음파 센서(110)로부터 결함(20)까지의 거리 차이 등의 사전 정보가 이미 포함되어 있다. 따라서, 초음파 센서(110)에서 방사 및 입수되는 신호로부터 시간 지연량을 계산하고 시간 역전 처리를 이용하면 표면 지오메트리나 매질 특성과 같은 사전 정보를 몰라도 결함(20) 검출이 가능해진다.
- [0033] 본 발명에 따르면, 어레이 트랜스듀서(100)나 피검사물(10)에 대한 사전 정보를 전혀 몰라도, 피검사물(10)의 내부를 전파하여 되돌아온 신호를 이용하기 때문에 피검사물(10)의 기하학적 형상과 물성에 관한 사전 정보가 상기 되돌아온 신호에 그대로 반영되어 있다. 시간 역전법은, 어레이 트랜스듀서(100)나 피검사물(10)에 대한 사전 정보가 전혀 입력되지 않아도 초음파의 전파 시간은 해당 어레이 트랜스듀서(100)나 피검사물(10)에 대하여 불변인 특성에 기반을 두고 있다.
- [0034] 도 1의 셋째 그림을 참조하면, 사전 정보를 획득할 필요없이, N개의 초음파 센서(110)에 입수된 파형을 각 초음파 센서(110)별 시간 지연량 차이를 근거로 해서 시간 역전 처리한다. 각 초음파 센서(110)는 시간 역전 처리된 새로운 파형을 피검사물(10)에 입사시킨다. 시간 역전 처리된 초음파 빔은 결함 위치에 정확하게 집중된다.
- [0035] 수신 신호의 시간 역전 처리에서 수신된 원래의 신호를 그대로 사용하거나, 관심을 두는 특정 모드의 비선형 신호를 선별적으로 추출하고 이를 시간 역전 처리하며, 다양하게 존재할 수 있는 결함에 대해 선별적인 빔 집중 및 시간 역전 처리를 수행하고, 해당 결함의 정확한 분석이 가능하다.
- [0036] 도 1의 넷째 그림을 참조하면, 결함 위치에 집중된 초음파 빔은 각 초음파 센서(110)에 다시 입수된다. 입수된 파형은 신호 대 잡음비가 개선된 파형으로서, 결함 위치나 결함(20)의 크기에 대한 정확한 정보를 담고 있다. 즉, 시간 역전법에 의하여 산출된 시간 지연량을 반영하여 시간 역전 처리한 상태에서 각 초음파 센서(110)를 가진시키면, 가진된 초음파는 결함(20)에 집중하도록 전파된다. 결함(20)에 초음파가 집중되면 신호 대 잡음비가 개선되므로 깨끗한 결함 영상을 얻을 수 있고 결함(20)의 검출 정확도가 향상된다.
- [0037] 결함에 집중된 초음파 빔의 결함 반사(또는 산란) 신호는 제4의 수신 장치를 통하여 입수된다. 제4의 수신 장치는, 도 2에 도시된 점대점 방식의 제4 초음파 센서(110d)는 물론, 자동 스캐닝 방식의 접촉식/비접촉식 초음파 센서, 공기 접촉식 탐촉자, 레이저 간섭계 등을 이용할 수 있다.
- [0038] 제4의 수신 장치를 피검사물의 표면에 대고 이동시키면서 신호를 입수하면, 결함과 가장 가까운 위치에서 더 직접적이고 간편하게 결함의 반사 신호를 얻을 수 있고, 신호대 잡음비(S-N ratio)가 향상된 고해상도 및 고정확도의 결함의 유무 및 위치에 대한 C-scan 영상 지도를 획득할 수 있다.
- [0039] 도 2는 본 발명의 비파괴 검사 장치를 도시한 블럭도이다. 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치는 제1 신호부

(150), 제2 신호부(160), 제3 신호부(170), 제4 신호부(180) 및 이들을 통합 제어하는 제어부(300) 중 적어도 하나를 포함한다.

- [0040] 제1 신호부(150)는 제1 초음파 센서(110a)에 연결되어 제1 초음파 센서(110a)의 신호 입출력을 제어한다. 제1 초음파 센서(110a)는 피검사물(10)을 향하여 제1 신호에 해당하는 초음파를 방사한다.
- [0041] 제2 신호부(160)는 제2 초음파 센서(110b)에 연결되어 제2 초음파 센서(110b)의 신호 입출력을 제어한다. 상기 제1 신호는 피검사물(10)의 결함(20) 또는 피검사물(10)의 경계면에서 반사되어 제2 신호가 되며, 제2 신호는 제2 초음파 센서(110b)를 통하여 제2 신호부(160)에 수신된다.
- [0042] 비선형 결함의 검사 정확도 향상을 위하여 제2 초음파 센서(110b)의 신호 수신 시간은 제1 초음파 센서(110a)의 신호 송신 시간보다 더 긴 것이 바람직하다. 제2 신호의 수신 시간이 길어질수록 고조파 성분의 피크 진폭이 증가되므로 노이즈 없이 순수한 고조파 성분을 추출할 수 있으며 이를 시간 역전 처리한 제3 신호의 정확도가 향상되고, 비선형 결함에 대한 초음파 빔 집속도가 향상되므로 신호 대 잡음비가 양호한 결함 영상을 얻을 수 있다.
- [0043] 제3 신호부(170)는 상기 제2 신호에서 비선형 성분의 파형을 추출하고, 상기 비선형 성분을 시간 역전 처리한 제3 신호를 생성한다. 제3 신호부(170)는 제3 초음파 센서(110c)에 연결되며, 제3 신호부(170)에서 생성된 제3 신호는 제3 초음파 센서(110c)를 통하여 피검사물(10)로 방사된다.
- [0044] 일 실시예로서, 제3 초음파 센서(110c) 및 제2 초음파 센서(110b)는 동일한 것으로서 초음파의 송신 및 수신을 겸할 수 있는 송수신 겸용 초음파 센서(110)가 바람직하며, 제2 신호의 수신 및 제3 신호의 송신에 공통적으로 사용될 수 있다. 이에 한정되지 않고 제2 신호를 수신하는 제2 초음파 센서(110b)와 제3 신호를 방사하는 제3 초음파 센서(110c)를 별개로 설치할 수 있음은 물론이다.
- [0045] 제3 신호는 제2 신호로부터 비선형 성분만을 추출한 신호이므로 균열과 같은 비선형 결함에 대한 정보를 담고 있다. 따라서, 제2 신호로부터 추출된 비선형 성분만을 시간 역전 처리한 제3 신호는 사전 정보를 전혀 몰라도 시간 역전 처리에 따라 비선형 결함에 정확하게 집속된다.
- [0046] 제4 신호부(180)는 제4 신호를 수신한다. 제4 신호는 균열을 포함한 비선형 결함에서 반사된 신호이며 제4 초음파 센서(110d)를 통하여 제4 신호부(180)로 수신된다. 도 2 및 도 12를 참조하면, 제4 초음파 센서(110d)는 피검사물(10)의 표면에 접촉하여 이동하면서 각 위치에서 제4 신호의 피크 진폭(peak amplitude)을 읽어들이고 상기 피크 진폭의 크기로부터 균열을 포함한 비선형 결함의 유무 또는 존재 위치를 검출한다.
- [0047] 일 실시예로서, 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치는, 피치 캐치(pitch-catch)형으로 된 송신용 초음파 센서(110)와 수신용 초음파 센서(110)를 포함하고, 비선형 결함으로 인한 비선형 조화파(nonlinear harmonic spectrum) 성분의 추출을 위하여, 수신용 초음파 센서(110)의 중심 주파수는 송신용 초음파 센서(110)의 중심 주파수의 k 배 또는 $1/m$ 배이다.
- [0048] 여기서, k 및 m 은 양의 정수이며 수신용 초음파 센서(110)는 k 배의 중심 주파수를 갖는 고조파(harmonics, 高調波) 또는 $1/m$ 의 중심 주파수를 갖는 저조파(subharmonic, 低調波) 수신에 최적화된다.
- [0049] 예를 들어 송신용 초음파 센서(110)의 중심 주파수가 10MHz이고 수신용 초음파 센서(110)의 중심 주파수가 20MHz인 경우, 상기 k 는 2이고, 수신용 초음파 센서(110)는 중심 주파수 20MHz의 고조파 수신에 최적화된다. 도 1을 참조하면 송신용 초음파 센서(110)는 제1 초음파 센서(110a)를 포함하며 제1 초음파 센서(110a)의 중심 주파수는 10MHz이고 제1 신호는 10MHz의 중심 주파수를 갖는 초음파이다. 수신용 초음파 센서(110)는 제2 초음파 센서(110b)를 포함하며 제2 초음파 센서(110b)의 중심 주파수는 20MHz이고 제2 초음파 센서(110b)는 제1 신호의 2배의 주파수를 갖는 20MHz 고조파 수신에 최적화된다.
- [0050] 제2 신호로부터 20MHz 고조파를 윈도우(window)로 추출하여 시간 역전 처리하고 피검사물(10)에 재방사한 신호가 제3 신호이다. 제3 신호는 별도의 초음파 센서(110)에 의하지 않고 제2 신호를 수신하는 제2 초음파 센서(110b)를 송수신 겸용으로 사용하여 피검사물(10)에 방사될 수 있다. 피검사물(10)로 방사된 제3 신호가 비선형 결함에서 반사된 다음 제4 초음파 센서(110d)로 수신되는 신호가 제4 신호이다.
- [0051] 한편, 다른 예로서, 송신용 초음파 센서(110)의 중심 주파수가 10MHz이고 수신용 초음파 센서(110)의 중심 주파수가 5MHz인 경우, 상기 m 은 2이고 수신용 초음파 센서(110)는 제1 신호의 $1/2$ 배의 주파수를 갖는 5MHz 저조파 수신에 최적화된다. 제2 신호로부터 5MHz 저조파 만을 추출하여 시간 역전 처리하고 피검사물(10)에 재방사한

신호가 제3 신호이다.

- [0052] 일 실시예로서, 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치는, 제1 초음파 센서(110a)로부터 피검사물(10)을 향하여 제1 신호를 방사하는 제1 신호부(150)와, 피검사물(10)의 결함(20) 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 제2 초음파 센서(110b)로 수신하는 제2 신호부(160)와, 제2 신호로부터 비선형 성분의 파형을 추출하고 상기 추출된 신호를 시간 역전 처리한 제3 신호를 제3 초음파 센서(110c)를 통하여 피검사물(10)에 방사하는 제3 신호부(170)와, 제3 신호가 계속해서 방사되는 동안 제2 초음파 센서(110b) 또는 제3 초음파 센서(110c)와 동일한 중심 주파수를 갖는 제4 초음파 센서(110d)를 피검사물(10)의 표면에 접촉시키고 제4 초음파 센서(110d)를 이동시킬 때 각 위치에서 수신되는 제4 신호를 입수하는 제4 신호부(180)를 포함한다.
- [0053] 제어부(300)는 제4 신호의 피크 진폭을 기록하여 비선형 결함의 유무 또는 위치를 검출한다. 제3 신호를 송신하는 제3 초음파 센서(110c) 및 제2 신호를 수신하는 제2 초음파 센서(110b)는 동일한 중심 주파수를 갖는 동일한 센서로서, 송수신 겸용 초음파 센서(110)인 것이 바람직하다. 제4 신호를 수신하는 제4 초음파 센서(110d)는 제2 신호를 수신하는 제2 초음파 센서(110b) 또는 제3 신호를 송신하는 제3 초음파 센서(110c)와 동일한 중심 주파수를 갖는 수신용 초음파 센서(110)인 것이 바람직하다.
- [0054] 일 실시예로서, 본 발명의 초음파 비파괴 검사 방법은, 송신용 초음파 센서(110)로부터 피검사물(10)을 향하여 제1 신호가 방사되는 제1 단계, 피검사물(10)의 결함(20) 또는 경계면에서 반사된 제2 신호를 장시간에 걸쳐 송수신 겸용 초음파 센서(110)로 입수하는 제2 단계, 상기 제2 신호에서 비선형 성분의 파형을 추출하고 이를 시간 역전 처리한 제3 신호를 상기 송수신 겸용 초음파 센서(110)를 통하여 피검사물(10)에 재방사하는 제3 단계, 상기 송수신 겸용 초음파 센서(110)와 동일한 중심 주파수를 갖는 수신용 초음파 센서(110)를 피검사물(10)의 표면에 접촉시키고 이를 이동시키면서 각 위치별로 제4 신호를 입수하며 제4 신호의 피크 진폭을 토대로 비선형 결함의 유무 또는 존재 위치를 검출하는 제4 단계를 포함한다.
- [0055] 일 실시예로서, 본 발명의 초음파 비파괴 검사 장치는, 송신용 초음파 센서(110), 송수신 겸용 초음파 센서(110), 수신용 초음파 센서(110) 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0056] 송신용 초음파 센서(110)와 동일한 중심 주파수를 갖는 버스트형(burst type) 신호로서 제1 신호가 송신용 초음파 센서(110)로부터 피검사물(10)에 방사된다.
- [0057] 피검사물(10)의 결함(20) 또는 경계면에서 반사된 제2 신호는 기준값 이상의 시간 동안 장시간에 걸쳐 송수신 겸용 초음파 센서(110)로 수신된다. 상기 수신된 시간 영역의 제2 신호를 푸리에 변환하여 주파수 스펙트럼이 구해지면 주파수 영역에서 윈도우 함수를 이용하여 저조파 또는 고조파 스펙트럼을 추출한다. 추출된 저조파 또는 고조파 스펙트럼을 시간 역전 처리한다. 시간 역전 처리된 신호가 시간 영역의 신호로 역변환되면 제3 신호가 된다.
- [0058] 이렇게 구해진 시간 영역의 제3 신호를 증폭한 다음 송수신 겸용 초음파 센서(110)의 입력 신호로 하여 피검사물(10)을 향하여 재방사한다. 제3 신호가 계속해서 재방사되는 동안 송수신 겸용 초음파 센서(110)와 동일한 중심 주파수를 갖는 수신용 초음파 센서(110)를 피검사물(10)의 표면에 접촉시키고 수신용 초음파 센서(110)를 이동시키면서 각 위치에서 시간 영역 신호인 제4 신호를 수신한다. 수신된 제4 신호에서 피크 진폭을 읽어 비선형 결함의 유무 또는 위치를 검출한다.
- [0059] 다음으로 본 발명의 실험예에 대하여 설명한다.
- [0060] 제1 신호부(150)는 증폭부(121)(Amplifier), 저항부(122)(load), 감쇠부(123)(Attenuator), 저역 통과 필터(124)(low pass filter) 중 적어도 하나를 포함하며, 제1 초음파 센서(110a)와 연결된다. 예를 들어 증폭부(121)는 주파수 10 MHz, 30 사이클의 사인 파형을 발생한다. 이와 같은 주파수 및 주기 조건에서 상기 사인 파형은 0.3×10^{-5} sec 동안 발생된다.
- [0061] 저항부(122)는 상기 사인 파형의 반사파를 방지하는 것이다. 감쇠부(123)는 상기 사인 파형의 출력을 단계적으로 스텝(step) 조정한다. 저역 통과 필터(124)는 상기 사인 파형의 노이즈를 제거하고 10 MHz 성분만을 출력한다. 제1 신호부(150)에서 출력되는 신호가 제1 신호이며 이에 따라 제1 초음파 센서(110a)가 가진다.
- [0062] 제1 초음파 센서(110a)는 중심 주파수 10 MHz 이며, 리튬니오베이트(LiNbO₃) 소자로 만들어지는 것이 바람직하다. 리튬니오베이트(LiNbO₃) 소자는 선형성이 아주 우수하므로, 균열면을 제외한 다른 위치에서의 비선형 성분 발생을 최대한 억제할 수 있다.

- [0063] 제2 신호부(160)는 전류계(125)(current probe), 신호 표시기(126)(oscilloscope) 중 적어도 하나를 포함한다. 제1 초음파 센서(110a)에서 방사된 제1 신호는 균열면을 통과하며 제2 초음파 센서(110b)에 제2 신호로 입수된다. 제2 초음파 센서(110b)는 중심 주파수 20 MHz 를 갖는 것이 바람직하며, 비선형 결함 이외의 위치에서 발생하는 비선형 성분을 최대한 억제하기 위하여 선형성이 우수한 리튬니오베이트(LiNbO₃) 소자로 제작되는 것이 바람직하다. 제2 초음파 센서(110b)는 전류계(125)에 연결되어 출력 신호가 측정되며, 신호 표시기(126)에 그 파형이 표시된다. 신호 표시기(126)와 GPIB 등으로 연결된 제어부(300)는 CPU를 구비하여 시간 역전 처리, 주파수 영역 변환, 시간 영역 역변환 등의 신호 처리 작업을 한다.
- [0064] 제2 초음파 센서(110b)에 입수되는 신호는 증폭하지 않는 것이 바람직하다. 만약 제2 신호를 증폭 회로를 사용하여 증폭하는 경우 증폭 회로에 의한 비선형성이 야기될 수 있기 때문이다.
- [0065] 제2 초음파 센서(110b)에 수신된 시간 영역의 제2 신호는 도 3 및 도 6에 도시된다. 도 3은 본 발명의 시간 영역의 제2 신호를 19 μ s 동안 수신한 그래프이다. 도 6은 본 발명의 시간 영역의 제2 신호를 30 μ s 동안 수신한 그래프이다. 도 3의 경우 1.9×10^{-5} sec (19 μ s) 동안 제2 신호가 입수되고 도 6의 경우 3.0×10^{-5} sec (30 μ s) 동안 제2 신호가 입수된다.
- [0066] 도 4는 도 3의 제2 신호에 대한 주파수 스펙트럼이다. 도 5는 도 4의 확대도이다. 도 6은 본 발명의 시간 영역의 제2 신호를 30 μ s 동안 수신한 그래프이다. 도 7은 도 6의 제2 신호에 대한 주파수 스펙트럼이다. 도 8은 도 7의 확대도이다. 도 10은 제2 고조파 성분을 추출한 다음 역푸리에 변환을 이용하여 얻은 시간 영역 신호를 도시한 그래프이다. 도 11은 도 10에 대하여 시간 역전 처리하고 진폭을 정규화한 그래프로서 제3 신호의 시간 영역 파형을 나타낸다.
- [0067] 주파수 영역의 신호로 변환된 제2 신호는 도 4, 도 5, 도 7, 도 8에 도시된다. 도 5는 도 4를 부분 확대한 것이고, 도 8은 도 7을 부분 확대한 것이다. 도 5 및 도 8을 비교하면 20MHz의 고조파 성분은 도 7에 비하여 도 8이 2배 이상 증가된 피크값을 갖는 것을 알 수 있다. 이와 같이 수신 신호를 장시간 동안 수신하면 고조파 성분의 진폭이 증가하며, 이후에 제2 고조파 성분만을 추출하여 시간 역전하고 재송신하면 원래 균열 위치에서 더 강력한 빔 집중이 이루어진다.
- [0068] 즉, 제2 신호는 기준값 이상의 시간 동안 장시간 입수되는 것이 바람직하다. 제2 신호의 입수 시간이 길수록 비선형 성분의 주파수 영역 피크값이 더 증가되며, 그 결과 시간 역전 처리 및 재송신시에 빔 집중효과가 더 우수하다. 신호가 장시간 수신되면 피검사물(10) 내부에서 다중 반사된 신호가 수신되므로 비선형 성분의 피크가 더 증가되기 때문이다.
- [0069] 제2 신호의 입수 시간의 하한값인 상기 기준값은 제2 고조파의 피크값에 비례하므로 고조파 피크값의 최소값을 기준으로 결정된다. 예를 들어 '제2 신호의 주파수 영역의 저조파 또는 고조파의 피크값의 하한치' 가 제2 신호부(160)에 입수되는 조건을 만족하는 제2 신호의 입수 시간의 최소값을 상기 기준값으로 잡는다.
- [0070] 도시된 실시예에 따르면 '제2 신호의 주파수 영역의 저조파 또는 고조파의 피크값의 하한치' 가 1로 설정된 경우 '제2 신호의 입수 시간의 최소값인 상기 기준값'은 30 μ s로 설정된다.
- [0071] 도 9는 제2 고조파인 20MHz 성분을 추출하기 위한 윈도우 함수이다. 제어부(300)는 주파수 영역의 신호로 변환된 도 4, 도 5, 도 7, 도 8의 제2 신호에 윈도우 함수를 연산하여 원하는 저조파 또는 고조파 성분을 추출한다. 도시된 실험예에 따르면 k가 2인 경우로서 제2 신호로부터 2차 고조파인 20MHz 성분을 추출한다.
- [0072] 2차 고조파를 추출한 다음 역변환하여 시간 영역의 신호로 나타낸 것이 도 10의 파형이다. 도 10의 파형에 대하여 시간 역전 처리하면 도 11의 파형이 된다. 즉, 제2 신호부(160)에 입수된 제2 신호는 제어부(300)에서 주파수 영역 변환, 윈도우 함수 연산, 시간 영역 변환, 시간 역전 처리 등의 작업을 거쳐 도 11에 도시된 제3 신호가 된다.
- [0073] 제3 신호부(170)는 상기 제3 신호를 제3 초음파 센서(110c)를 통하여 피검사물(10)에 재방사한다. 이를 위하여 제3 신호부(170)는 함수 발생기(127)(function generator), 증폭부(121), 저항부(122), 감쇠부(123) 중 적어도 하나를 포함한다. 함수 발생기(127)는 제어부(300)에서 연산된 제3 신호와 동일한 파형을 생성하고, 상기 파형은 증폭부(121), 저항부(122), 감쇠부(123) 중 적어도 하나를 거쳐 제3 초음파 센서(110c)를 가진다.
- [0074] 검사 정확도 향상을 위하여 제2 초음파 센서(110b) 및 제3 초음파 센서(110c)는 20 MHz의 중심 주파수를 갖는 동일한 송수신 겸용 초음파 센서(110)로서 리튬니오베이트(LiNbO₃) 소자로 만들어지는 것이 바람직하다.

- [0075] 제3 신호가 피검사물(10)에 계속해서 방사되는 동안 최초의 수신 센서인 제2 초음파 센서(110b)와 동일한 중심 주파수인 20 MHz의 중심 주파수를 갖는 제4 초음파 센서(110d)를 통하여 제4 신호를 입수한다. 제4 초음파 센서(110d)는 피검사물(10)의 표면에 부착되어 이동되면서 각 위치에서 시간 영역의 제4 신호를 수신한다. 수신된 신호는 프리 앰프(128)에서 증폭되거나, 전류계(125) 또는 신호 표시기(126)에 값이 표시된다. 수신한 신호의 피크 진폭을 기록하여 비선형 결함의 유무 및 존재 위치에 대한 정보를 얻는다.
- [0076] 제4 초음파 센서(110d)의 이동 위치는 도 12에 도시된다. 수신된 시간 영역의 제4 신호는 도 13 내지 도 21에 도시된다. 상기와 같이 피로 균열의 길이 방향으로 5개 위치(h1~h5), 이와 수직인 방향으로 5개 위치(v1~v5)에서 측정된 신호는 도 13 내지 도 21과 같다.
- [0077] 도 12 내지 도 21을 참조하면, 참조 부호 h3 위치 및 v3 위치에서 제4 신호의 피크값이 검출된다. 참조 부호 v1 위치, v2 위치, v4 위치, v5 위치, h1 위치, h2 위치, h4 위치, h5 위치에서 제4 신호의 파형은 도 14 내지 도 21에 순차적으로 표시되며 피크값의 크기는 도 13보다 훨씬 작다.
- [0078] 따라서, 제어부(300)는 제4 신호의 피크값이 검출된 참조 부호 h3 위치 및 v3 위치에 비선형 결함이 존재하는 것으로 판단한다.
- [0079] 제1 신호의 송신시에 비선형 성분이 발견된 균열 위치 v3/h3 지점에서 가장 큰 진폭의 제4 신호가 탐지되고, 이 신호는 다른 위치에서 측정된 신호와 비교할 때 월등히 큰 것으로 확연하게 구별되는 균열의 위치 정보를 제공한다. 이러한 실험 결과는 비선형 성분의 추출 및 이에 대한 시간 역전 처리에 따라 비선형 결함에 정확하게 초음파 빔이 집중되었기 때문이다.
- [0080] 본 실험예에서는 피검사물의 표면에 평면형의 단일 송, 수신용 센서를 부착하고 실험을 수행하였지만, 피검사물이 임의 형상의 곡면을 포함하는 경우 도 22에 도시된 바와 같이 복수의 초음파 센서가 배열된 형상 가변형 어레이 트랜스듀서를 이용할 수 있다.
- [0081] 도 22를 참조하면, 복수의 초음파 센서(110)가 배열된 어레이 트랜스듀서(100)와, 상기 어레이 트랜스듀서(100)에서 입출되는 신호를 처리하여 시간 역전 처리 및 빔 집속을 자동 수행하는 제어부(300)를 포함한다. 스캐닝 유닛(200)은 어레이 트랜스듀서(100)를 피검사물(10)의 표면에 밀착시키고 검사 위치에 따라 어레이 트랜스듀서(100)를 이동시킨다.
- [0082] 스캐닝 유닛(200)은, 피검사물(10)의 표면에 대하여 어레이 트랜스듀서(100)를 탄력적으로 밀어서 접촉시키는 가압부(230), 검사 위치 변경시 가압부(230) 및 어레이 트랜스듀서(100)를 이동시키는 이동부(210), 어레이 트랜스듀서(100)를 파지하여 이동부(210)와 함께 이동시키는 파지부(220) 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0083] 도시된 형상 가변형 어레이 트랜스듀서(100)는 피검사물(10)의 표면 지오메트리가 변화되어도 유연하게 구부러지면서 피검사물(10)의 표면에 완전 밀착되고, 초음파 빔 포커싱(focusing) 및 초음파 빔 스티어링(steering)을 자동 제어할 수 있는 장점이 있다.
- [0084] 어레이 트랜스듀서(100)는 전자적 시간지연에 의한 빔의 조향이 가능하므로 기본적으로 한 위치에서 넓은 범위의 검사가 가능하다. 피검사물이 큰 경우, 어레이 트랜스듀서(100)를 다른 영역으로 이송하여 앞의 검사 절차를 반복하므로써 피검사물의 전체 검사가 가능하다.
- [0085] 즉, 어레이 트랜스듀서(100) 중 특정의 초음파 센서로부터 제1 신호를 방출하고 결함에서 반사되는 신호를 모든 센서로부터 수신한 제2 신호를 획득한다. 제2 신호로부터 비선형 성분 신호의 추출과 시간 역전 처리를 수행한 제3 신호를 생성하고 모든 센서로부터 동시에 제3 신호를 재송신하면, 곡면 형상을 가진 피검사물 내부의 비선형 결함에 강력한 입사 빔의 집속이 가능하다.
- [0086] 시간 역전된 제3 신호가 방사되는 동안, 점대점(point-by-point) 개념으로 제4 초음파 센서(110d)를 위치시키고 신호를 측정하거나, 자동 이동되면서 미소 표면 변위를 측정할 수 있는 제4의 수신 장치를 사용한다.
- [0087] 제4의 수신 장치는 비접촉식 초음파 센서, 공기 접촉식 탐촉자, 레이저 간섭계 등이 될 수 있다. 점대점 방식으로 이동되는 제4 초음파 센서 또는 자동 스캐닝 방식으로 이동되는 제4의 수신 장치를 이용하면 결함과 가장 가까운 위치에서 더 직접적으로 결함의 반사신호를 얻을 수 있고, 신호대 잡음비(S-N ratio)가 향상된 고해상도 및 고정확도의 결함의 유무 및 위치에 대한 C-scan 영상 지도를 획득할 수 있다
- [0088] 정리하면, 어레이 트랜스듀서(100)는 제1 신호, 제2 신호, 제3 신호의 송수신 용으로 사용하고, 제4 신호의 입수는 제4 초음파 센서(110d)와 같이 점대점으로 이동되는 접촉식 초음파 센서는 물론 자동 이동되면서 스캐닝하

는 비접촉식 초음파 센서, 공기접촉식 탐촉자, 레이저 간섭계에 의한다.

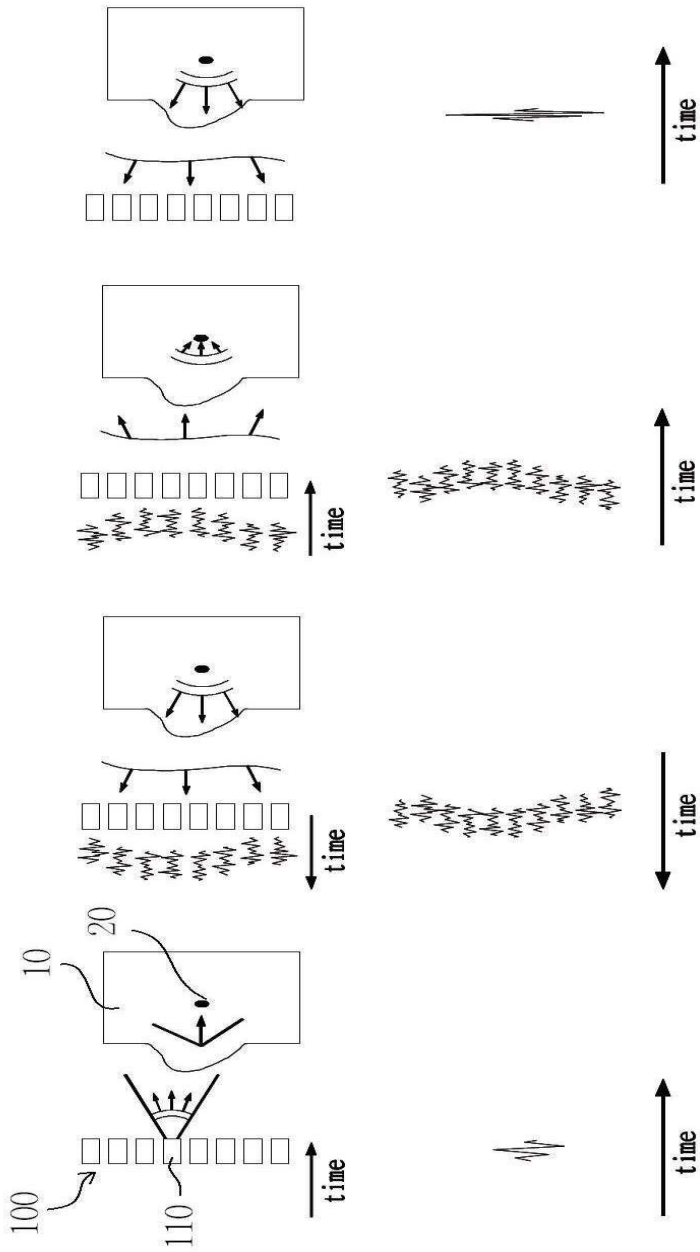
[0089] 이상에서 본 발명에 따른 실시예들이 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 범위의 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 다음의 특허청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

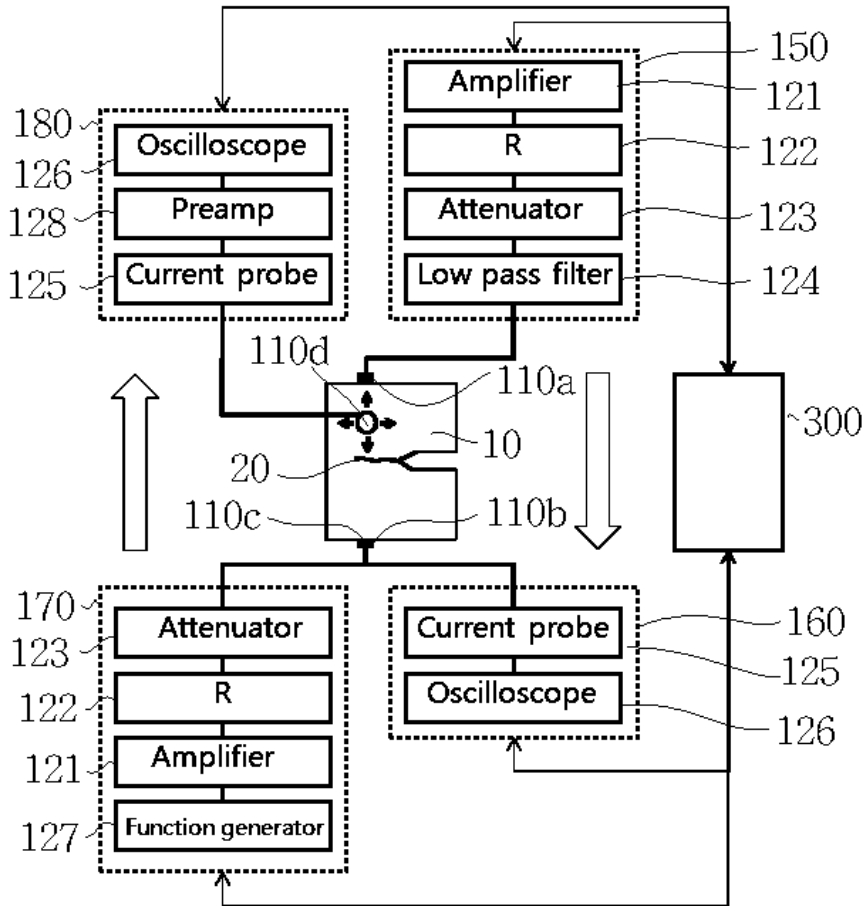
- [0090]
- | | |
|------------------|------------------|
| 10...피검사물 | 20...결합 |
| 100...어레이 트랜스듀서 | 110...초음파 센서 |
| 110a...제1 초음파 센서 | 110b...제2 초음파 센서 |
| 110c...제3 초음파 센서 | 110d...제4 초음파 센서 |
| 121...증폭부 | 122...저항부 |
| 123...감쇠부 | 124...저역 통과 필터 |
| 125...전류계 | 126...신호 표시기 |
| 127...함수 발생기 | 128...프리 앰프 |
| 150...제1 신호부 | 160...제2 신호부 |
| 170...제3 신호부 | 180...제4 신호부 |
| 300...제어부 | 200...스캐닝 유니트 |
| 210...이동부 | 220...파지부 |
| 230...가압부 | |

도면

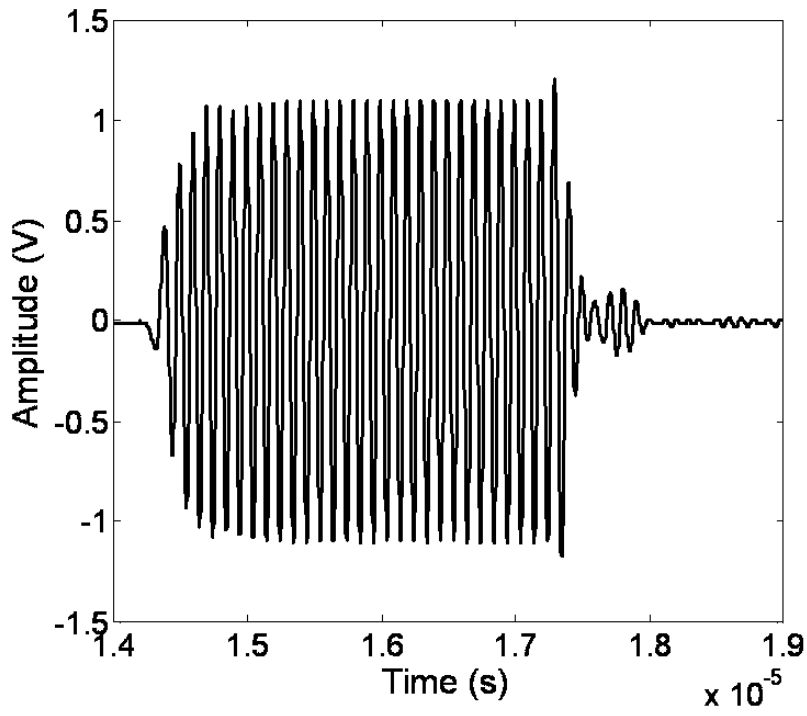
도면1



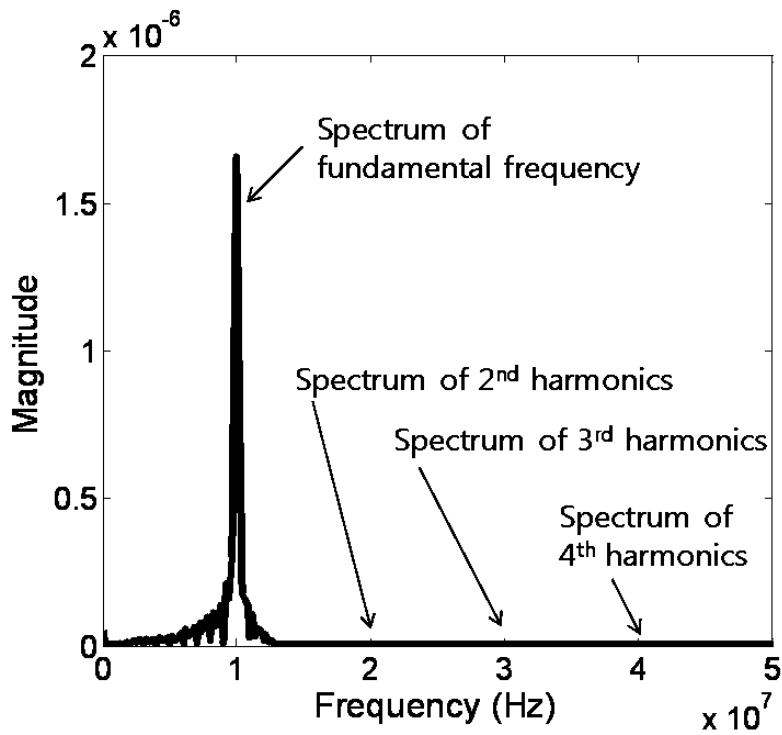
도면2



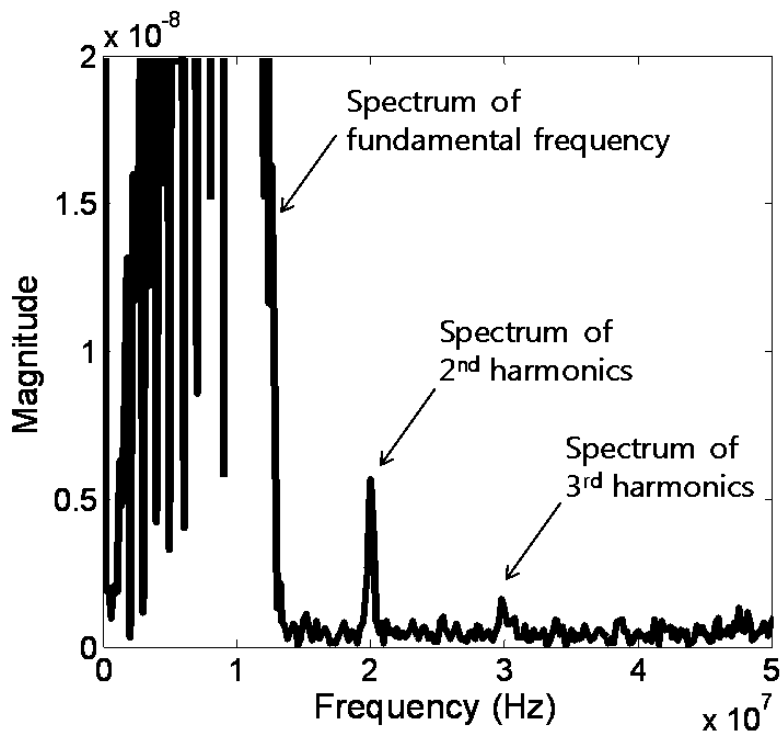
도면3



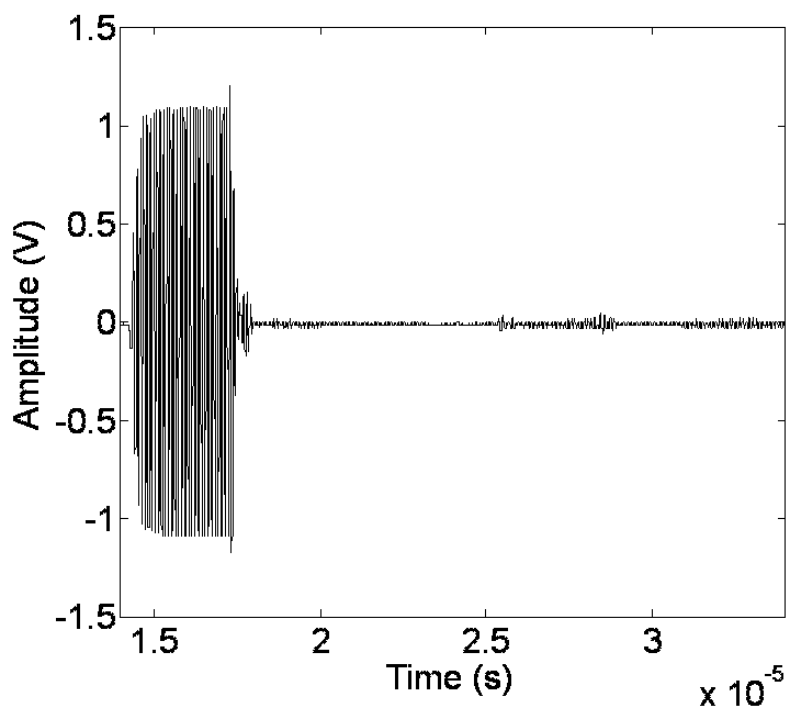
도면4



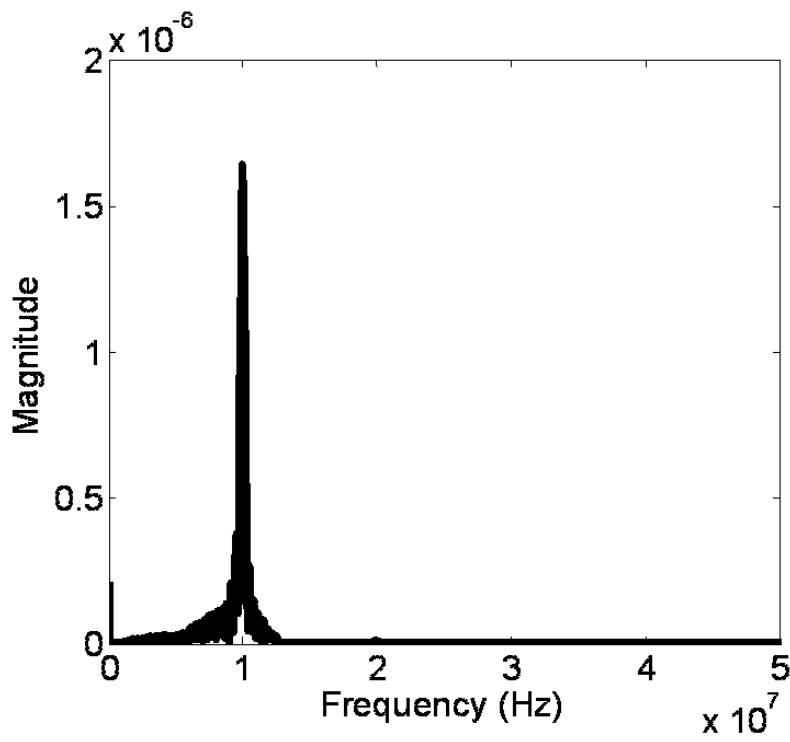
도면5



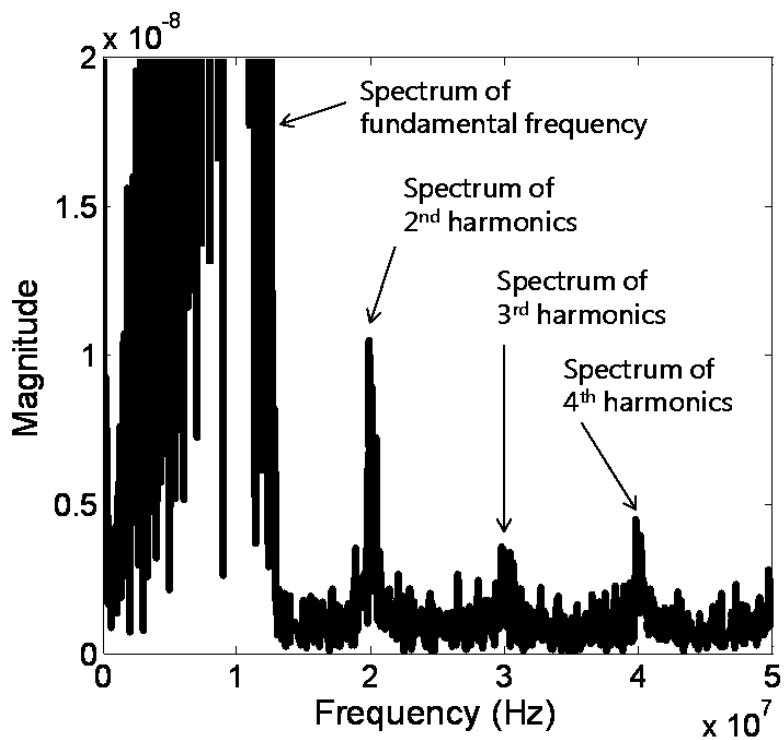
도면6



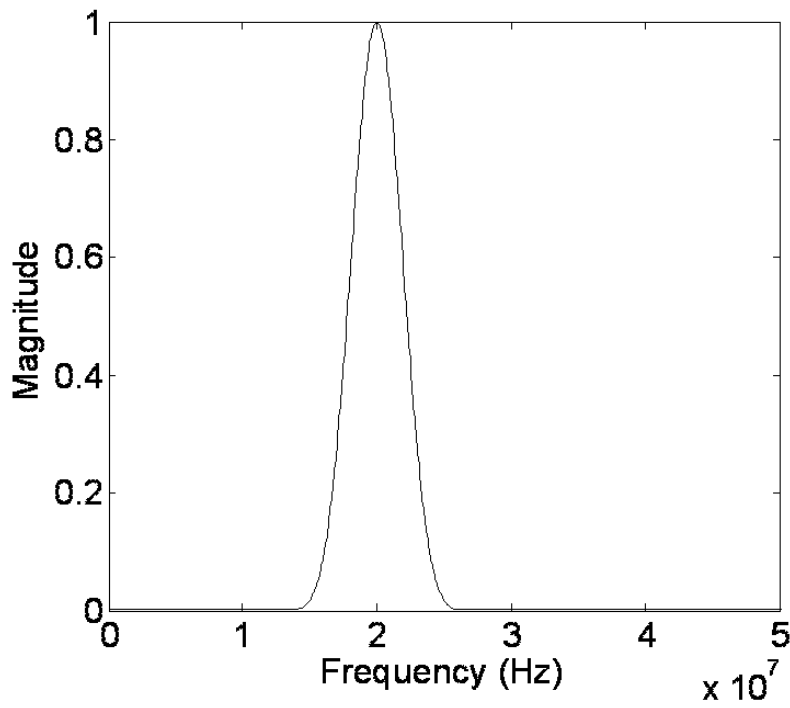
도면7



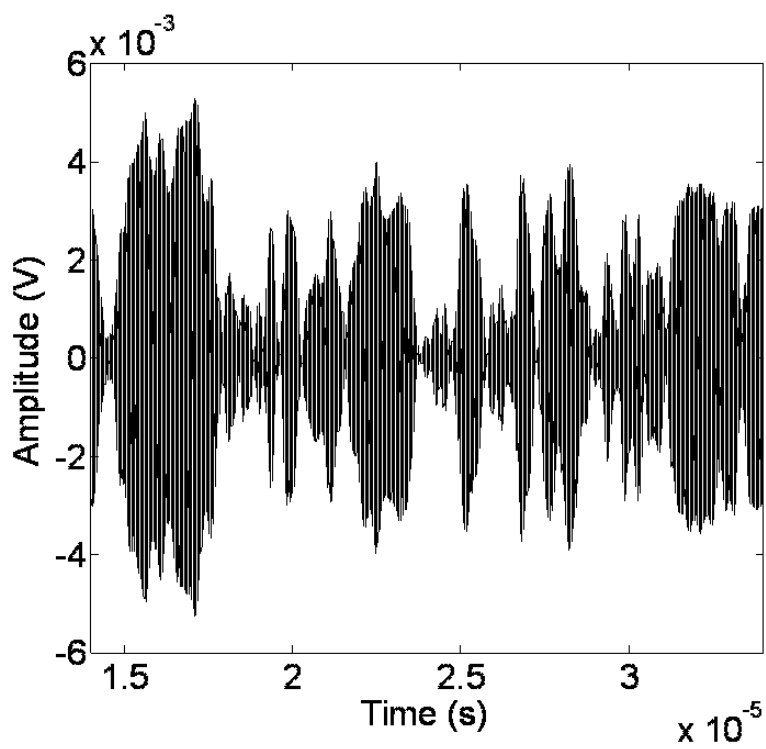
도면8



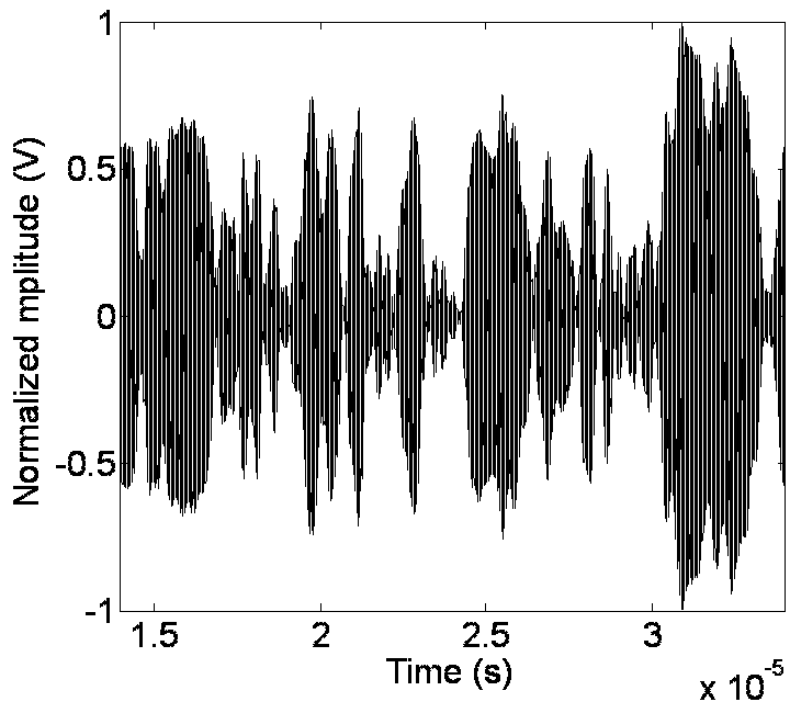
도면9



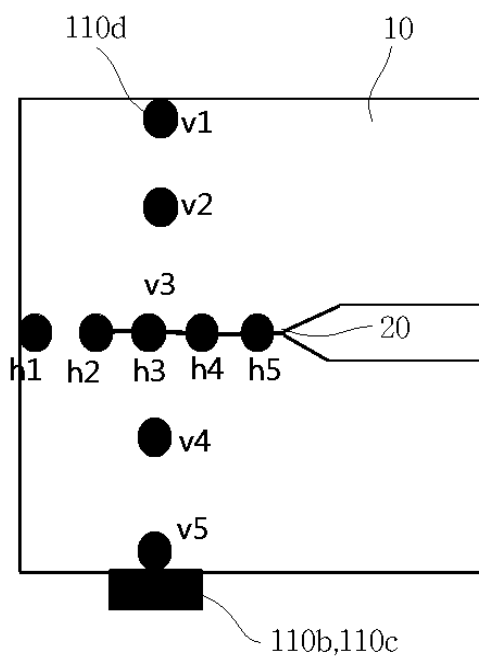
도면10



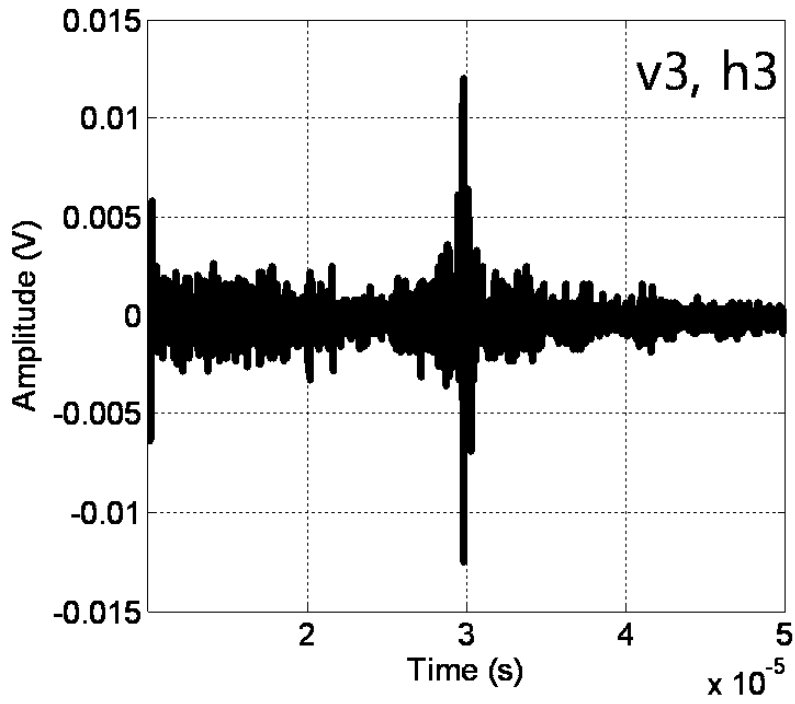
도면11



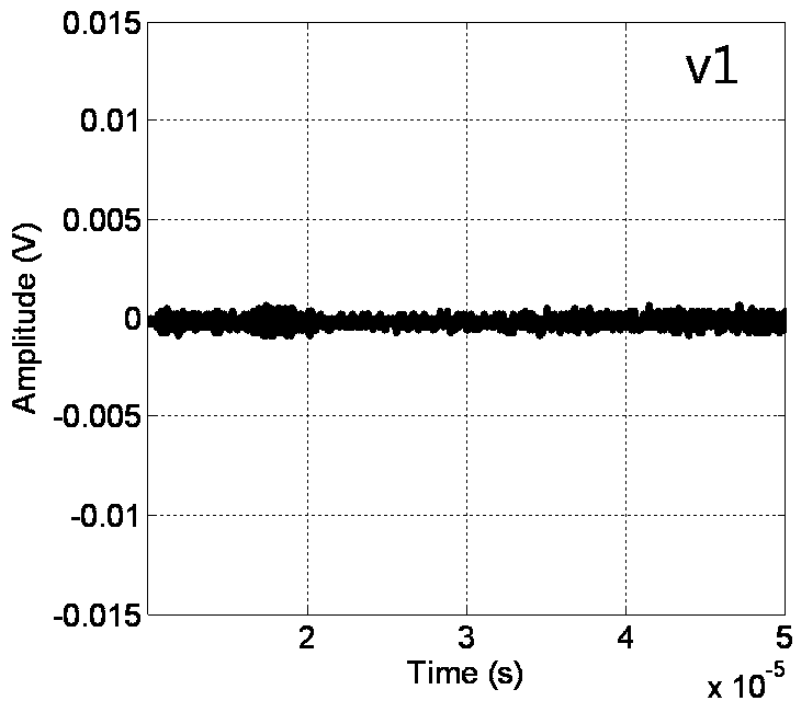
도면12



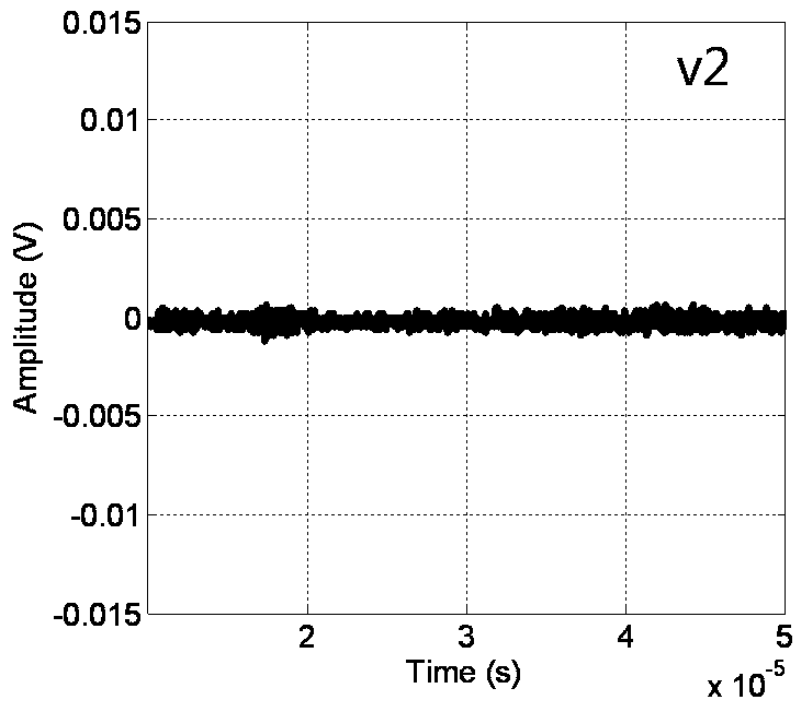
도면13



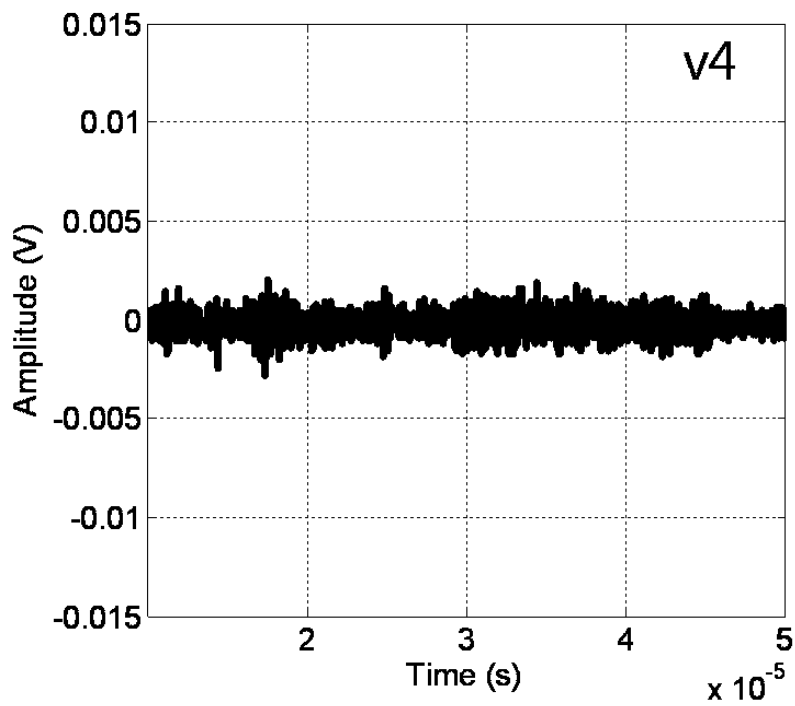
도면14



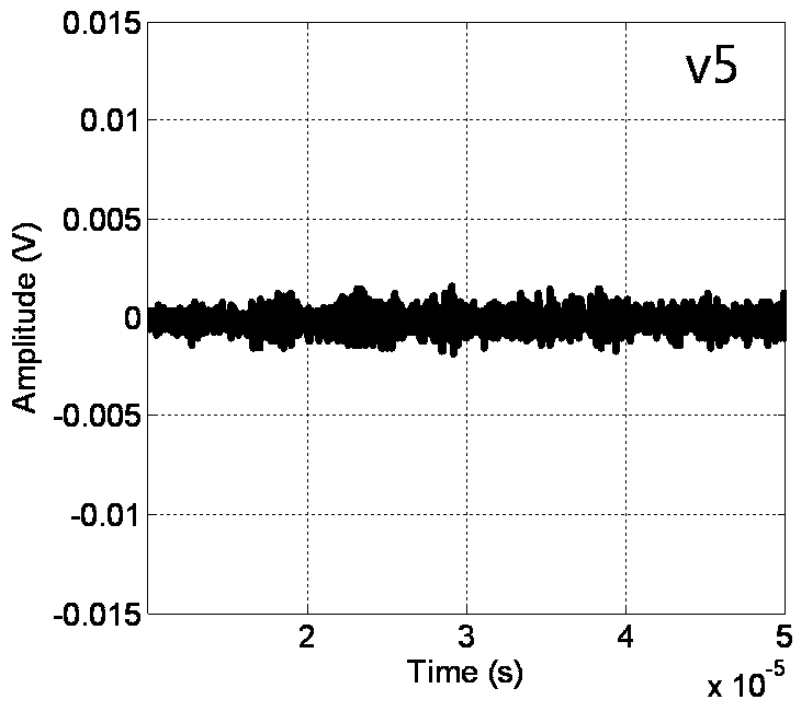
도면15



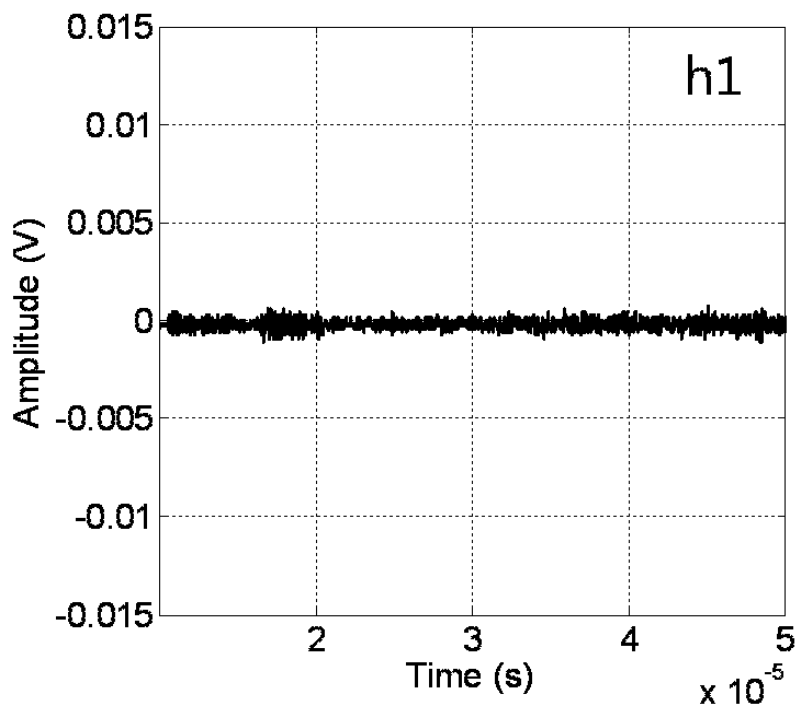
도면16



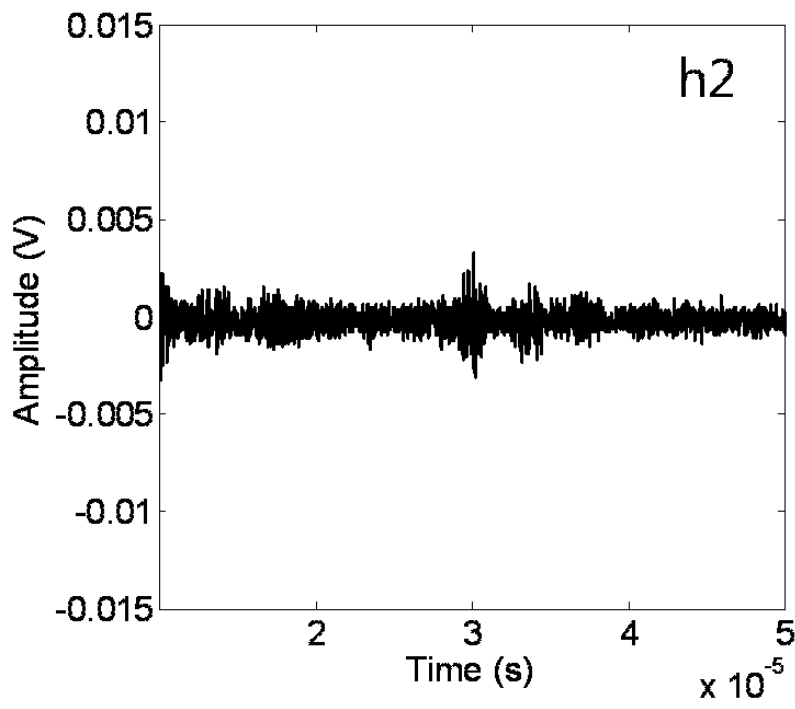
도면17



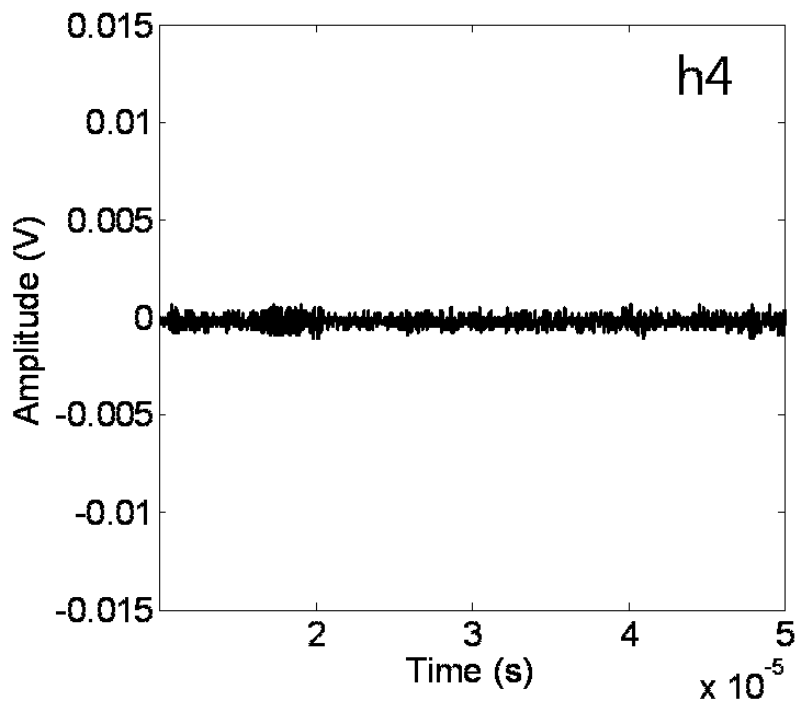
도면18



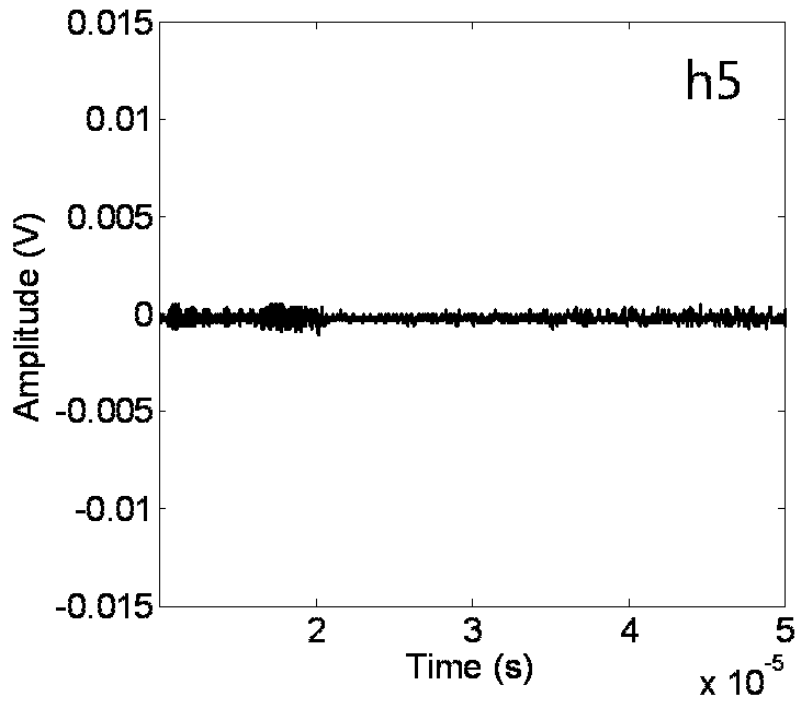
도면19



도면20



도면21



도면22

