



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. A61B 5/04 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년03월28일 10-0700112 2007년03월20일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2006-0010629 2006년02월03일 2006년02월03일	(65) 공개번호 (43) 공개일자
----------------------------------	---	------------------------

(73) 특허권자 경희대학교 산학협력단
 경기 용인시 기흥읍 서천리 1

 우응제
 경기도 성남시 분당구 구미동 121번지 삼익빌라 106동 104호

 오동인
 경기 용인시 구성읍 마북리 현대필그린아파트 104동 1702호

 서진근
 서울특별시 서초구 반포1동 30-18 삼호가든맨션 라동 308호

 권오인
 서울특별시 양천구 목6동 929 목동한신아파트 112동 1502호

(72) 발명자 우응제
 경기도 성남시 분당구 구미동 121번지 삼익빌라 106동 104호

 오동인
 경기 용인시 구성읍 마북리 현대필그린아파트 104동 1702호

 서진근
 서울특별시 서초구 반포1동 30-18 삼호가든맨션 라동 308호

 권오인
 서울특별시 양천구 목6동 929 목동한신아파트 112동 1502호

(74) 대리인 심창섭
 김용인

(56) 선행기술조사문헌
05311878
* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 유창용

전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 전기 임피던스 단층촬영 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명은 측정 대상 내부의 전기적 특성을 정확하게 검출하기 위한 것으로, 측정대상에 부착된 다수의 전극들 중에서 적어도 하나의 선택된 전극 쌍을 통해 상기 측정대상에 전류를 주입하고, 선택되지 않은 전극들을 통해 상기 측정대상 표면의 전압들을 검출하는 단계와; 상기 검출된 전압들의 기울기를 근거로 하여 상기 검출된 전압들에 포함된 노이즈를 제거하는 단계와; 상기 검출된 전압들의 최대값에 따라 다수개의 볼트미터의 이득을 각각 조절하는 단계와; 상기 볼트미터들을 이용하여 상기 검출된 전압들을 각각 증폭하는 단계와; 상기 볼트미터들의 이득값 및 상기 증폭된 전압들을 근거로 하여 상기 측정대상의 내부를 영상화하는 단계를 포함한다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

측정대상에 부착된 다수의 전극들 중에서 적어도 하나의 선택된 전극 쌍을 통해 상기 측정대상에 전류를 주입하고, 선택되지 않은 전극들을 통해 상기 측정대상 표면의 전압들을 검출하는 단계와;

상기 검출된 전압들의 기울기를 근거로 하여 상기 검출된 전압들에 포함된 노이즈를 제거하는 단계와;

상기 검출된 전압들의 최대값에 따라 다수개의 볼트미터의 이득을 각각 조절하는 단계와;

상기 볼트미터들을 이용하여 상기 검출된 전압들을 각각 증폭하는 단계와;

상기 볼트미터들의 이득값 및 상기 증폭된 전압들을 근거로 하여 상기 측정대상의 내부를 영상화하는 단계를 포함하는 전기 임피던스 단층촬영 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 선택된 전극 쌍을 통해 상기 측정대상에 전류를 주입하는 단계는,

상기 전극 쌍 및 주파수를 선택하는 단계와;

상기 선택된 주파수에 따른 전압 신호를 생성하는 단계와;

상기 전압 신호를 전류로 변환하는 단계와;

상기 선택된 전극들을 통해 상기 측정대상에 상기 전류를 각각 주입하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 방법.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 선택된 전극 쌍을 통해 상기 측정대상에 전류를 주입하는 단계는,

전압 신호를 위상이 서로 다른 두 전류로 변환하는 단계와;

진폭 및 주파수가 동일하도록 상기 두 전류를 교정하는 단계와;

상기 선택된 전극 쌍을 통해 상기 측정대상에 상기 두 전류를 각각 주입하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 방법.

청구항 4.

제 1 항에 있어서,

상기 검출된 전압들의 기울기를 근거로 하여 상기 검출된 전압들에 포함된 노이즈를 제거하는 단계는,

상기 검출된 전압의 기울기가 임계값을 초과하면, 상기 임계값을 초과하는 구간의 전압을 기설정된 전압값으로 대체하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 방법.

청구항 5.

제 4 항에 있어서,

상기 검출된 전압들의 최대값에 따라 다수개의 볼트미터의 이득을 각각 조절하는 단계는,

상기 검출된 전압의 최대값이 상기 볼트미터의 최대출력의 90% 이상이 되도록 상기 볼트미터의 이득을 조절하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 방법.

청구항 6.

제 4 항에 있어서,

상기 볼트미터들의 이득값 및 상기 증폭된 전압들을 근거로 하여 상기 측정대상의 내부를 영상화하는 단계는,

상기 볼트미터의 이득값에 따라 상기 증폭된 전압의 크기를 조절하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 방법.

청구항 7.

전류 주입 및 전압 감지를 위해 측정대상에 부착되는 다수의 전극들과;

전류를 공급하는 전류원과;

적어도 하나의 선택된 전극 쌍에 상기 전류를 선택적으로 제공하기 위한 다수의 스위치를 포함하는 제 1 보드와;

선택되지 않은 전극들을 통해 상기 측정대상 표면의 전압들을 검출하고, 상기 검출된 전압들의 기울기를 근거로 하여 상기 검출된 전압들에 포함된 노이즈를 제거하고 상기 검출된 전압들의 최대값에 따라 상기 검출된 전압들의 증폭률을 각각 조절한 후 상기 검출된 전압들을 증폭하는 다수개의 볼트미터들과;

상기 전극 쌍을 선택하고, 상기 볼트미터들의 증폭률 및 상기 검출된 전압들을 수집하는 메인 제어기와;

상기 전류원, 상기 제 1 보드, 상기 볼트미터들, 상기 메인 제어기 간의 네트워크를 제어하기 위한 제 2 보드를 포함하는 전기 임피던스 단층촬영 시스템.

청구항 8.

제 7 항에 있어서,

상기 전류원은,

상기 메인 제어기의 명령에 따라 디지털 전압신호를 출력하는 제어부와;

상기 디지털 전압신호를 두 개의 아날로그 전압신호로 각각 변환하는 두 개의 제 1 D/A 컨버터와;

상기 아날로그 전압신호들의 진폭을 각각 조절하기 위한 두 개의 제 2 D/A 컨버터와;

상기 아날로그 전압신호들을 전류로 각각 변환하는 두 개의 전압-전류 컨버터와;

진폭 및 주파수가 일치하도록 상기 전압-전류 컨버터에서 출력되는 두 전류를 교정하는 교정기를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 시스템.

청구항 9.

제 7 항에 있어서,

상기 볼트미터는,

상기 검출된 전압을 증폭시키는 전압 증폭기와;

상기 증폭된 전압을 디지털 전압 데이터로 변환하는 A/D 컨버터와;

상기 디지털 전압 데이터로부터 노이즈를 제거하고 상기 전압 증폭기의 이득을 조절하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 시스템.

청구항 10.

제 9 항에 있어서,

상기 A/D 컨버터는 비균일 샘플링 방법으로 상기 증폭된 전압을 샘플링하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 시스템.

청구항 11.

제 7 항에 있어서,

상기 볼트미터는 ID, 상기 조절된 증폭률, 상기 검출된 전압을 상기 메인 제어기에 전송하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 시스템.

청구항 12.

제 7 항에 있어서,

상기 볼트미터들의 증폭률 및 상기 검출된 전압들을 수집되는 동안, 상기 메인 제어기는 상기 측정대상 내부에 남아 있는 저장 전하를 방전하도록 상기 선택된 전극 쌍을 제어하는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 시스템.

청구항 13.

제 7 항에 있어서,

상기 볼트미터들은 대칭 방사형으로 배열되는 것을 특징으로 하는 전기 임피던스 단층촬영 시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 의료 장비에 관한 것으로, 특히 측정 대상 내부의 전기적 특성을 정확하게 검출하기 위한 전기 임피던스 단층촬영 장치 및 방법에 관한 것이다.

일반적으로 인체 또는 물체의 내부 구조를 영상화하는 데는 X-선, MRI, 초음파 등이 사용되고 있다. 특히, 인체 또는 물체의 전기적 특성을 영상화하기 위해 MRI 기술을 활용하여 측정대상 내부의 전류밀도를 영상화하는 기술이 개발되고 있다.

인체 또는 물체의 전기적 특성을 영상화하기 위한 다른 기술로는, 1970년대 말부터 활발히 연구되어온 전기 임피던스 단층촬영(EIT : Electrical Impedance Tomography) 기술이 있다. 이 EIT 기술은 측정대상의 전기적 특성을 나타내는 저항률 또는 도전율 영상을 제공한다. 그 EIT 기술은 주로 인체를 측정대상으로 하여, 그 인체의 표면에 여러 개의 전극을 부착하여 인체 내부의 도전율을 영상화한다. 즉 인체의 표면에 부착된 여러 전극들을 통해 전류를 인가한 후에 그 전극을 통해 전압을 측정하여 인체 내부의 도전율을 영상화하는 기술이다. 이렇게 인체 내부를 도전율에 따라 영상화할 수 있는 것은 혈액, 뼈, 허파, 심장, 뼈 등의 인체 내부의 생체조직들이 서로 다른 전기적 특성을 갖기 때문이다.

그러나, 기존의 EIT 기술 및 장치를 이용하여 인체의 전압을 측정하는 경우, 측정된 전압은 다양한 노이즈를 포함한다. 그 노이즈들은 인체의 여러 장기들의 전기적 특성을 정확하게 검출하는 것을 어렵게 하기 때문에 인체 내부를 정확하게 영상화할 수 없다. 또한, 기존의 EIT 장치는 많은 소자들을 포함하며 그 구조가 매우 복잡하므로, EIT 장치의 크기가 크고 제조단가가 높다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상술한 종래 기술들의 단점을 보완하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 측정된 전압으로부터 노이즈를 제거하여 측정 대상 내부의 전기적 특성을 정확하게 검출하기 위한 전기 임피던스 단층촬영 시스템 및 방법을 제공하는 데 있다.

발명의 구성

상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 전기 임피던스 단층촬영 방법은, 측정대상에 부착된 다수의 전극들 중에서 적어도 하나의 선택된 전극 쌍을 통해 상기 측정대상에 전류를 주입하고, 선택되지 않은 전극들을 통해 상기 측정대상 표면의 전압들을 검출하는 단계와; 상기 검출된 전압들의 기울기를 근거로 하여 상기 검출된 전압들에 포함된 노이즈를 제거하는 단계와; 상기 검출된 전압들의 최대값에 따라 다수개의 볼트미터의 이득을 각각 조절하는 단계와; 상기 볼트미터들을 이용하여 상기 검출된 전압들을 각각 증폭하는 단계와; 상기 볼트미터들의 이득값 및 상기 증폭된 전압들을 근거로 하여 상기 측정대상의 내부를 영상화하는 단계를 포함한다.

본 발명의 전기 임피던스 단층촬영 장치는, 전류 주입 및 전압 감지를 위해 측정대상에 부착되는 다수의 전극들과; 전류를 공급하는 전류원과; 적어도 하나의 선택된 전극 쌍에 상기 전류를 선택적으로 제공하기 위한 다수의 스위치를 포함하는 제 1 보드와; 선택되지 않은 전극들을 통해 상기 측정대상 표면의 전압들을 검출하고, 상기 검출된 전압들의 기울기를 근거로 하여 상기 검출된 전압들에 포함된 노이즈를 제거하고 상기 검출된 전압들의 최대값에 따라 상기 검출된 전압들의 증폭률을 각각 조절한 후 상기 검출된 전압들을 증폭하는 다수개의 볼트미터들과; 상기 전극 쌍을 선택하고, 상기 볼트미터들의 증폭률 및 상기 검출된 전압들을 수집하는 메인 제어기와; 상기 전류원, 상기 제 1 보드, 상기 볼트미터들, 상기 메인 제어기 간의 네트워크를 제어하기 위한 제 2 보드를 포함한다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.

전기 임피던스 단층촬영(electrical impedance tomography; EIT)은 인체, 동물 등과 같은 측정대상 내부의 도전을 분포를 영상화하기 위한 것이다. 전기 임피던스 단층촬영 장치는 측정대상의 둘레, 예를 들어 인체의 가슴 둘레에 부착된 다수개의 전극을 이용하여 인체에 전류를 주입하고 상기 주입된 전류에 기인하는 경계 전압(boundary voltages)을 인체의 표면에서 측정한다. 그리고, 상기 측정된 경계 전압을 근거로 하는 도전을 분포 영상을 생성한다.

본 발명은 2가지의 전기 임피던스 단층촬영 방법을 제안한다. 제 1 타입은 하나의 전류원으로부터 임의로 선택된 전극 쌍을 통해 측정대상에 전류를 제공하는 것이고, 제 2 타입은 다수의 전류원을 이용하는 것으로, 각 전류원은 지정된 전극을 통해 측정대상에 전류 패턴을 주입하는 것이다. 여기서, 모든 액티브 전류원들로부터 나오는 전류의 총계는 항상 0이 된다. 상기의 2가지 전기 임피던스 단층촬영 방법을 구현할 수 있는 본 발명의 EIT 시스템에서, 모든 또는 선택된 전극들로부터의 전압은 병렬로 연결된 다수의 볼트미터(voltmeter)에 의해 동시에 측정된다.

도 1은 본 발명의 EIT 시스템의 일 예를 나타낸 도면이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 EIT 시스템(20)은, PC(10)와의 통신을 위한 USB 인터페이스를 갖춘 메인 제어기(210)와, 인트라-네트워크(intra-network) 제어기를 포함하는 디지털 마더보드(또는 digital backplane)(220)와, 교정기를 포함하는 밸런스된 전류원(balanced current source)(230)과, 스위칭 회로를 포함하는 아날로그 마더보드(or analog backplane)(240)와, 측정대상 내부에 전류를 주입하고 상기 측정대상의 전압을 감지하는 다수의 전극들(250)과, 상기 아날로그 마더보드(240) 및 상기 디지털 마더보드(220)와 전기적으로 각각 연결되는 다수의 볼트미터들(전압 측정부)(260)을 포함한다.

상기 PC(10)는 USB 인터페이스에 의해 연결된 상기 메인 제어기(210)를 통해 EIT 시스템(20)의 모든 기능을 제어한다. USB 포트를 구비한 상기 PC(10)가 콘솔(console) 또는 EIT 시스템(20)의 사용자 인터페이스 장치로서 사용될 수 있다. 상기 PC(10)는 커맨드(commamnd) 및 데이터를 USB 포트를 통해 상기 메인 제어기(210)와 교환한다. 상기 커맨드는 최대 10 바이트의 패킷으로 전송된다. 상기 PC(10)는 EIT 소프트웨어를 포함한다. 도 2는 PC에서 실행중인 소프트웨어의 스크린 캡처를 도시한다. 일 예로서, 본 연구자는 Matlab 환경에서 실행되는 소프트웨어를 도시한다. 도 2의 좌측은 키 커맨드들의 리스트이고, 우측에 도시된 윈도우는 영상 재구성 결과를 나타낸다.

상기 PC(10)와 EIT 시스템(20)의 연결을 위해 유선 또는 무선 데이터 링크가 사용된다. 유선 연결의 경우, USB 광 분리를 갖춘 정규 USB 케이블이 사용된다. 무선 RF 연결의 경우, USB 제어기를 이용하는 주문형 설계 USB 카드를 사용한다. 상기 USB 제어기는 안테나를 갖춘 2.4GHz RF 직렬 통신 모듈에 인터페이스된다. 도 3은 RF 모듈을 갖춘 주문형 설계 USB 카드의 일 예를 도시한다.

도 4는 메인 제어기의 일 예를 나타낸다. 상기 메인 제어기(210)는 상기 PC(10)로부터 커맨드를 수신하면 측정대상의 경계 전압 데이터를 수집하기 위해 EIT 시스템의 모든 기능을 제어한다. 예를 들어, 상기 메인 제어기(210)는 상기 PC(10)의 커맨드에 따라 주파수 및 채널을 선택한다. 채널을 선택하기 위해 상기 메인 제어기(210)는 전류 주입용 전극(250) 및 전압 감지용 전극(250)을 설정한다. 그리고, 상기 메인 제어기(210)는 측정대상 내부에 전류를 주입하도록 상기 전류 주입

용 전극을 제어하고, 측정대상의 전압을 감지하도록 상기 전압 감지용 전극을 제어한다. 또한, 상기 메인 제어기(210)는 상기 감지된 전압뿐만 아니라 상기 볼트미터(260)들의 채널정보(ID), 이득정보 등을 수집한다. 상기 수집된 데이터는 영상 재구성을 위해 상기 PC(10)로 전송된다. 또한, 상기 메인 제어기(210)는 상기 전류원(230) 및 상기 볼트미터(260)들의 동기화를 위해 40MHz의 클럭 신호를 제공한다.

상기 메인 제어기(210)는 상기 PC(10)와의 통신을 위해 USB 제어기를 포함한다. 상기 USB 제어기는 USB 광 분리기를 통해 2Mbps로 상기 PC(10)에 직접 연결될 수 있다. 대안적으로, 무선 RF 연결에서는 상기 USB 제어기가 1Mbps로 2.4GHz 직렬 통신 모듈과 인터페이싱된다.

상기 메인 제어기(210)와 상기 전류원(230), 상기 메인 제어기(210)와 상기 볼트미터(260)들 간의 데이터 링크는 인트라-네트워크라 부르며, 하프-듀플렉스(half-duplex) 고속 직렬 데이터 통신 채널을 기초로 한다. 이들 데이터 통신 채널은 상기 디지털 마더보드(220) 상의 2개의 FPGA(field-programmable gate array) 집적회로, 즉 인트라-네트워크 제어기에 의해 제어된다. 이런 직렬 인트라-네트워크는 시스템을 통해 디지털 클럭 노이즈를 전파하는 디지털 버스를 제거하는데 사용될 수 있다.

도 5는 원형의 디지털 마더보드의 일 예를 나타낸다. 상기 디지털 마더보드(220)는 상기 메인 제어기(210) 아래에 위치하며, 2개의 34-핀 커넥터를 통해 어드레스, 데이터 및 제어신호를 상기 메인 제어기(210)와 주고 받는다. 도 5에서 상기 디지털 마더보드(220)의 중간에 위치한 상기 인트라-네트워크 제어기는 2개의 FPGA 형태로 구현된다. 상기 인트라-네트워크 제어기는 상기 메인 제어기(210)와 다른 구성요소들 간의 커맨드 및 데이터 전송을 제어한다. 상기 인트라-네트워크 제어기는 10Mbps 데이터 레이트를 갖는 총 9개의 하프-듀플렉스 동기 직렬 포트를 포함한다. 동일한 FPGA에서 구현되는 시분할 멀티플렉싱 방법을 이용함에 의해, 각 직렬 포트는 8개의 볼트미터(260)를 담당한다. 각 볼트미터(260)에 대한 디지털 제어 신호 및 DC 전력은 상기 디지털 마더보드(220)의 외주에 방사형으로 배치된 다수의 6-핀 커넥터를 통해 상기 볼트미터(260)에 제공된다.

도 6은 내장형(on-board) 교정기(calibrator)를 갖는 밸런싱된 전류원의 일 예를 나타낸다. 상기 전류원(230)은 상기 디지털 마더보드(220) 아래에 위치하며, 클럭 신호 및 동기화 신호를 수신하기 위해 8개의 4-핀 커넥터를 통해 상기 디지털 마더보드(220)와 연결된다. 또한, 상기 전류원(230)은 상기 아날로그 마더보드(240) 상에 위치하며, 상기 전류원(230)의 외주를 따라 배치된 M개의 커넥터들은 상기 아날로그 마더보드(240)의 커넥터들과 연결된다.

도 7은 전류원의 구성을 간략하게 나타낸 블록도이다. 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 전류원(230)은 FPGA(또는 집적회로)(231), 16비트 D/A 컨버터 (digital-analog converter)(234), 8비트 D/A 컨버터(235), 전압-전류 컨버터(236) 및 교정기(또는 임피던스 컨버터)(237)를 포함한다.

상기 FPGA(231)는 상기 메인 제어기(210)에서 전송된 정규화된 정현파의 1/4 주기의 16비트 데이터를 저장하는 메모리(232)와 상기 정현파의 주파수를 조절하는 제어부(233)을 포함한다. 또한, 도면에 도시되지 않았지만, 상기 FPGA(231)는 인트라-네트워크 연결을 위한 직렬 포트와, 디지털 파형 발생기와, 16비트의 데이터를 출력하는 어드레스 발생기를 더 포함한다.

상기 제어부(233)는 상기 어드레스 발생기를 이용하여 상기 정현파의 주파수를 조절하는데, 예를 들어 10Hz-500KHz 범위에서 한 주파수를 선택할 수 있다. 상기 제어부(233)는 상기 8비트 D/A 컨버터(235)의 출력을 제어함으로써 상기 16비트 D/A 컨버터(234)에서 출력되는 전압 신호의 진폭을 조절할 수 있다. 따라서, 상기 전류원(230)은 가변 진폭 및 주파수를 갖는 전압 신호를 생성한다. 또한, 상기 제어부(233)는 각 정현파 주기의 시작시 동기 펄스를 출력한다. 상기 출력된 동기 펄스는 타이밍 펄스로서, 상기 디지털 마더보드(220)를 통해 모든 볼트미터(260)에 전송된다.

상기 16비트 D/A 컨버터(234)로부터의 전압 신호는 상기 전압-전류 컨버터(236)에 의해 전류로 변환된다. 상기 전압-전류 컨버터(236)로써 전류 펌프 회로가 사용될 수 있다. 상기 교정기(calibrator)(237)는 상기 전류원(230)의 출력 임피던스를 최대화하기 위한 2개의 디지털 전위차계(가변저항)를 포함한다. 하나는 상기 두 전압-전류 컨버터(236)들의 저항값을 밸런싱하는데 사용되며, 다른 하나는 상기 전압-전류 컨버터(236)들의 출력에서 용량성(stray) 캐패시턴스를 삭제하기 위해 사용된다. 상기 전압-전류 컨버터(236)들의 저항값을 밸런싱하는 이유는 선택된 2개의 전극(250)에 동일한 값의 전류를 공급하기 위함이다. 본 발명에서는 상기 전류원(230)이 64MW의 출력 임피던스를 갖도록 설계된다. 상기 전류원(230)의 출력은 T-바 스위치를 이용하는 상기 아날로그 마더보드(240)의 스위칭 네트워크를 통해 선택된 전극(250) 쌍에 전송된다.

도 8은 볼트미터의 일 예를 나타낸 도면이고, 도 9는 64개의 볼트미터와 64개의 전극을 포함하는 EIT 시스템의 일 예를 나타낸 도면이다. 다수개의 볼트미터(260), 예를 들어 8, 16, 32, 또는 64개의 볼트미터가 상기 디지털 마더보드(220)와 상기 아날로그 마더보드(240)에 각각 연결되며, 방사형으로 배치된다. 상기 볼트미터(260)는 상기 아날로그 마더보드(240)의 스위치를 통해 상기 전극(250)과 일대일로 연결될 수 있다.

도 10은 볼트미터의 구성을 간략하게 나타낸 도면이다. 도 10을 참조하면, 상기 볼트미터(260)는 차폐 구동 회로(shield drive circuit)(261), 차동 증폭기(262), 대역 통과 필터(263), 전압 증폭기(264), A/D 컨버터(analog-digital converter)(265), 및 제어부(266)를 포함한다. 상기 차폐 구동 회로(261)는 상기 제어부(266)의 명령에 따라 해당 전극(250)으로부터 감지된 전압을 수신한다. 상기 차동 증폭기(262)는 인접 전극(250) 쌍 간의 차동 전압(differential voltage)을 단일단 신호(single-ended signal)로 변환하기 위하여 1의 고정 이득을 갖는다. 상기 차동 증폭기(262)에서 출력된 신호는 상기 대역 통과 필터(263)에 의해 대역통과 필터링되고, 그 후 가변 이득을 갖는 상기 전압 증폭기(264)에 제공된다. 상기 전압 증폭기(264)는 2500의 최대 이득을 갖는 디지털 전위차계를 포함한다. 상기 전압 증폭기(264)에 의해 증폭된 신호는 비균일 샘플링 기술에 따라 10MHz 샘플링 주파수로 12비트의 A/D 컨버터(265)에 의해 디지털화된다. 상기 비균일 샘플링 기술은 상기 증폭된 신호 각각의 주기마다 다른 타이밍으로 샘플링하는 것을 말한다. 예를 들어, 신호의 하나의 주기를 1이라고 가정했을 때, 홀수 번째 주기 동안에는 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 주기마다 상기 신호를 샘플링하고 짝수 번째 주기 동안에는 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 주기마다 상기 신호를 샘플링하는 것이다.

상기 제어부(266)는 FPGA 형태로 구성되며, 인프라-네트워크용 하프-듀플렉스 동기식 직렬 포트와, 스파이크 노이즈 제거용 디지털 필터와, 자동 이득 제어기를 포함한다. 상기 제어부(266)는 상기 A/D 컨버터(265)에서 연속해서 출력되는 전압 데이터의 기울기를 계산하고, 상기 계산된 기울기가 임계값을 초과한다면 상기 전압 데이터에 노이즈가 포함되었다고 판단하고 상기 노이즈 제거용 디지털 필터를 이용하여 해당 전압 데이터를 새로운 값으로 대체한다. 예를 들어, 도 11에서와 같이, 상기 전압 데이터에 노이즈가 포함되면, 상기 노이즈 구간에 해당하는 상기 전압 데이터를 다른 값으로 대체한다. 상기 대체 값은 상기 전극(250)에 공급된 전류 값을 근거로 하여 예측되는 이상적인 전압 값이다. 또한, 상기 제어부(266)는 상기 메인 제어기(210)에서 출력되는 정현파의 적어도 하나의 주기 동안 상기 전압 데이터의 피크값을 검출한다. 그리고, 상기 제어부(266)는 상기 검출된 피크값이 상기 A/D 컨버터(265) 출력의 90%에 도달하도록 1과 2500 사이에서 상기 전압 증폭기(264)의 이득(gain)을 조절한다. 상기 제어부(266)는 상기 전압 증폭기(264)의 이득(또는 증폭률)을 조절하기 위해 상기 전압 증폭기(264)에 포함된 가변 저항을 제어한다. 본 발명에서 상기 볼트미터(260)는 신호 평균에 요구되는 데이터 샘플의 수를 적절히 선택함에 의해 104dB의 SNR(signal-to-noise ratio)을 갖도록 설계된다.

도 12는 아날로그 마더보드(240)의 일 예를 나타낸 도면이다. 상기 아날로그 마더보드(240)는 선택된 전극(250) 쌍에 주입 전류를 제공하기 위한 스위치들을 포함한다. 전류 주입에 사용되는 모든 전극(250) 쌍은 상기 전류원(230)으로부터 동일한 신호 경로 길이를 가진다. 상기 아날로그 마더보드(240)의 상부에 상기 전류원(230) 및 상기 디지털 마더보드(220)가 적층되며, 모든 볼트미터(260)는 방사 대칭 방식으로 상기 아날로그 마더보드(240) 및 상기 디지털 마더보드(220)에 플러깅된다. 상기 아날로그 마더보드(240)는 전극 커넥터로부터의 상기 볼트미터(260)에 대한 라우팅 경로를 포함한다.

상기 아날로그 마더보드(240)는 상기 전류원(230) 아래에 배치되고, 상기 전류원(230)의 커넥터들에 연결된다. 상기 아날로그 마더보드(240)는 상기 전류원(230)의 M개의 커넥터와 연결되는 M개의 커넥터를 포함한다. 또한, 상기 아날로그 마더보드(240)는 주입 전류를 선택된 전극(250) 쌍에 라우팅하기 위한 스위치들을 포함한다. 일부 스위치는 이전 전류 주입에 의해 측정대상 내부에 남아 있는 저장 전하를 방출하기 위해서 상기 선택된 전극(250)을 일시 단락 회로로 만든다.

상기 아날로그 마더보드(240)는 다수의 전류 감지 저항들을 포함한다. 주입 전류는 전류 흐름 경로와 직렬로 배치된 전류 감지 저항들을 각각 통과한다. 상기 전류 감지 저항은 2개의 인접 전극들 간의 통상의 전압 차이 대신에 저항들 간의 전압차를 감지함에 의해 전류를 측정할 수 있다. 그리고, 상기 전류 감지 저항에 의해 측정된 전류를 근거로 하여 상기 측정 대상의 표면전압을 보상한다. 예를 들어, 1mA의 전류가 주입되어야 하는데 실제로 주입되는 전류가 0.99mA이라면, 상기 표면전압의 값을 1mA의 전류에 의해 유도되는 크기로 올려준다.

상기 볼트미터를 인접 전극들의 한쌍 또는 전류 감지 저항의 2개의 터미널 중 어느 하나에 연결하기 위해서는 다른 T-바스 스위치가 사용된다. 이들 스위치 모두는 메인 제어기(210)로부터의 커맨드에 기초하여 각 볼트미터(260) 내의 FPGA에 의해 제어된다.

도 13에 도시된 바와 같이, 본 발명은 시스템을 초기화할 때 각 볼트미터(260)들의 이득 및 주파수 차이로 인한 오차를 보정하기 위한 볼트미터 보정기(270)를 포함한다. 상기 볼트미터 보정기(270)는 볼트미터(260)들 간의 이득 차이를 보정하기 위한 인트라-채널 교정기(intra-channel calibrator)와, 주파수에 따라 다른 값을 출력하지 않도록 볼트미터(260)를 교

정하는 인터-채널 교정기(저항 팬텀)를 포함한다. 본 발명에서 총 65,536개의 가능한 이득들 중에서 31개의 다른 이득을 통상 이용하고, 다중 주파수 동작에서, 10Hz-500KHz의 범위 내의 4,096개의 가능한 주파수중에서 8개의 주파수가 선택된다. 따라서, 상기 인트라-채널 교정기에 의한 인트라-채널 교정 이후에, 상기 볼트미터(260)가 64개인 경우에 해당하는 $31 \times 8 \times 64$ 의 크기를 갖는 수의 3차원 테이블이 생성된다. 상기 인트라-채널 교정기는 직렬 포트를 통해 상기 PC(10)에 연결되며, 상기 PC(10)는 반자동 방식으로 교정 시퀀스를 제어한다. 상기 PC(10)에서 실행중인 인트라-채널 교정 소프트웨어는 각 채널로부터 전압 데이터의 실시간 교정에서 연속적인 사용을 위해 하드디스크에 교정 테이블을 저장한다.

상기 볼트미터(260)들의 특징들은 많은 이유에 기인하여 동일할 수 없다. 각 볼트미터(260)의 파라미터들의 변동을 보상하기 위해서(인터-채널 변동을 보상하기 위하여), 본 발명은 저항 팬텀(resistor phantom)을 제안한다. 상기 팬텀의 저항치는 고정밀 디지털 멀티미터를 이용함에 의해 정확히 측정된다. 상기 저항 팬텀에 연결된 모든 케이블을 이용하여 모든 주입 전류에 대한 경계 전압 데이터의 세트를 측정한다. 상기 측정된 전압 데이터의 진폭 및 위상은 수치적으로 계산된 이상값과 비교된다. 이는 상기 전압 데이터 세트에서 각 전압 데이터에 대한 복소수 값의 스케일링 팩터를 생성한다. 이러한 복소수 모두를 포함하는 인터-채널 교정 테이블은 실시간 교정을 위해 상기 PC(10)에 저장된다. 본 발명에서 200nm의 직경과 100nm 높이를 갖는 원통형의 2차원 살린 팬텀(saline phantom)이 제안된다. 이 팬텀에는 0.44S/m 도전율의 살린으로 채워진다.

본 발명의 전기 임피던스 단층촬영 방법을 설명하면 다음과 같다.

먼저, 측정대상을 영상화하기 위한 명령을 상기 메인 제어기(210)가 상기 PC(10)로부터 수신하면, 상기 메인 제어기(210)는 상기 PC(10)의 명령에 따라 채널 및 정현파의 주파수를 선택한다. 이때, 상기 메인 제어기(210)는 상기 선택된 채널에 해당하는 한 쌍의 전극(250)을 선택한다. 상기 선택된 한 쌍의 전극(250)은 측정대상에 전류를 주입하는 용도로 사용되고, 선택되지 않은 전극(250)들은 측정대상 표면의 전압을 측정하는 용도로 사용된다. 또한, 상기 메인 제어기(210)는 상기 전류원(230) 및 상기 볼트미터(260)들의 동기화를 위해 40MHz의 클럭 신호를 출력한다.

상기 채널 및 정현파의 주파수가 선택되면, 상기 메인 제어기(210)는 상기 전류원(230)을 제어하기 위한 제어신호를 상기 디지털 마더보드(220)을 통해 출력한다. 상기 제어신호는 상기 선택된 주파수에 관한 정보를 포함한다.

상기 전류원(230)의 FPGA(231)는 상기 메인 제어기(210)로부터 상기 제어신호를 수신 및 저장하고, 상기 수신된 제어신호를 근거로 하여 정현파 전압 신호를 생성한다. 특히 상기 FPGA(231)는 상기 제어신호에 포함된 주파수 정보를 근거로 하여 상기 전압 신호를 생성하고, 생성된 상기 전압 신호를 두 개의 16bit D/A 컨버터(234)에 전송한다. 이때, 상기 FPGA(231)는 상기 16bit D/A 컨버터(234)에 전송된 상기 전압 신호의 진폭을 조절하기 위해 상기 8비트 D/A 컨버터(235)를 제어한다. 이후, 두 개의 상기 16bit D/A 컨버터(234)에 출력된 상기 전압 신호들은 상기 전압-전류 컨버터(236)들에 의해 전류로 변환되고, 상기 두 전류는 상기 교정기(237)에 전송된다. 상기 교정기(237)는 진폭 및 주파수가 동일하도록 두 전류를 조절한다. 여기서, 상기 두 전류는 180° 의 위상 차를 갖는다.

더불어, 상기 메인 제어기(210)는 상기 교정기(237)를 통과한 두 전류가 상기 선택된 두 전극(250)에 각각 전송되도록 상기 선택된 전극(250)들에 대응하는 상기 아날로그 마더보드(240)의 스위치들을 온시킨다. 그러면, 상기 두 전류는 2개의 상기 선택된 전극(250)을 통해 측정대상 내부에 주입된다.

상기 측정대상 내부에 주입된 전류는 측정대상 내부 조직들의 저항률 또는 도전율 차이에 따라 그 표면에 서로 다른 크기의 전압을 유도(induce)하게 된다. 상기 선택되지 않은 전극(250)들이 상기 측정대상 표면의 전압을 감지하면, 상기 선택되지 않은 전극(250)들에 대응하는 상기 볼트미터(260)들은 상기 전극(250)에 의해 감지된 표면 전압을 상기 아날로그 마더보드(240)를 통해 수신한다.

그리고, 각 볼트미터(260)의 제어부(266)는 상기 감지된 표면 전압 데이터의 기울기를 근거로 하여 상기 표면 전압 데이터에 노이즈가 포함되었는지를 판단한 후, 노이즈가 포함되었다면 해당 전압 데이터를 다른 전압 값으로 대체한다. 또한 상기 제어부(266)는 상기 전압 데이터의 최대값에 따라 상기 전압 증폭기(264)의 이득을 조절한다. 예를 들어, 상기 제어부(266)는 상기 전압 데이터의 최대값이 상기 A/D 컨버터(265) 최대출력의 90%에 도달하면 상기 전압 증폭기(264)의 이득을 조절하지 않고, 반대로 상기 전압 데이터의 최대값이 상기 A/D 컨버터(265) 최대출력의 90%에 미치지 못하면 상기 전압 증폭기(264)의 이득을 크게 한다.

상기 전압 데이터로부터 노이즈가 제거되고 상기 전압 증폭기(264)의 이득이 조절되면, 상기 전압 증폭기(264)는 상기 조절된 이득 값에 따라 상기 전압 데이터를 증폭시키고, 상기 A/D 컨버터(265)는 상기 전압 증폭기(264)에서 출력된 전압

데이터를 디지털 값으로 변환한다. 그런 다음, 각 제어부(266)는 채널정보 및 이득정보와 함께 상기 디지털화된 전압 데이터를 상기 디지털 마더보드(220)를 통해 상기 메인 제어기(210)에 전송한다. 여기서, 상기 채널정보는 해당 볼트미터(260)를 나타내는 ID 또는 번호를 포함하고, 상기 이득정보는 상기 제어부(266)에 의해 조절된 이득 값을 포함한다.

상기 메인 제어기(210)는 상기 볼트미터(260)들로부터 전송된 상기 채널정보, 상기 이득정보, 그리고 상기 전압 데이터를 수집한 후, 상기 수집된 정보 및 전압 데이터를 상기 PC(10)에 전송한다. 상기 채널정보, 상기 이득정보, 상기 전압 데이터가 수집되는 동안, 상기 메인 제어기(210)는 측정대상 내부에 남아 있는 저장 전하를 방출하도록 상기 선택된 전극(250)들을 제어한다.

상기 PC(10)는 상기 채널정보, 상기 이득정보, 상기 전압 데이터를 상기 메인 제어기(210)로부터 수신하고, 각 채널별 이득정보 및 전압 데이터를 내부의 하드디스크 등과 같은 저장매체에 저장한다. 그리고, 상기 PC(10)는 상기 채널별 이득정보를 고려하여 상기 전압 데이터를 처리한다. 왜냐하면, 상기 볼트미터(260)들의 이득 값이 서로 다르므로 상기 검출된 전압 데이터를 그대로 사용한다면, 측정대상 내부의 전기적 특성을 정확하게 표현하기 어렵기 때문이다. 따라서, 각 볼트미터(260)의 이득 값에 따라 해당 전압 값을 차감하거나 증대시켜야 한다. 예를 들어, 상기 볼트미터(260)의 이득 값이 기준 이득 값보다 더 크다면, 해당 전압 값을 줄인다. 또는, 상기 볼트미터(260)의 이득 값과 상기 기준 이득 값의 비율을 해당 전압 값과 곱한다.

상기 채널별 이득정보를 고려하여 상기 전압 데이터를 처리한 후, 상기 PC(10)는 상기 전압 데이터를 이용하여 측정대상의 내부를 영상화한다. 측정대상 표면의 전압 데이터를 이용하여 측정대상의 내부를 영상화하기 위한 다양한 방법이 적용될 수 있다.

발명의 효과

아날로그 마더보드와 디지털 마더보드가 서로 분리되고 아날로그 마더보드 및 디지털 마더보드와 연결되는 볼트미터들이 대칭 방사형으로 배열되므로, 디지털 클럭 노이즈의 현저하게 줄일 수 있다.

또한, 다수개의 전극과 다수개의 볼트미터를 이용할 뿐 아니라 각 볼트미터들은 스파이크 노이즈를 제거할 수 있고 이득을 자동으로 조절할 수 있기 때문에 측정대상의 정확한 전압 데이터를 얻을 수 있다.

이상에서 설명한 내용을 통해 당업자라면 본 발명의 기술 사상을 이탈하지 아니하는 범위에서 다양한 변경 및 수정이 가능함을 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 기술적 범위는 실시예에 기재된 내용으로 한정되는 것이 아니라 특허 청구의 범위에 의해 정해져야 한다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 EIT 시스템의 일 예를 나타낸 블록도,

도 2는 PC에서 실행중인 소프트웨어의 스크린 캡처,

도 3은 RF 모듈을 갖춘 USB 카드의 일 예를 나타낸 도면,

도 4는 메인 제어기의 일 예를 나타낸 도면,

도 5는 원형의 디지털 마더보드의 일 예를 나타낸 도면,

도 6은 내장형(on-board) 교정기(calibrator)를 갖는 전류원의 일 예를 나타낸 도면,

도 7은 전류원의 구성을 간략하게 나타낸 블록도,

도 8은 볼트미터의 일 예를 나타낸 도면,

도 9는 64개의 볼트미터와 64개의 전극을 포함하는 EIT 시스템의 일 예를 나타낸 도면,

도 10은 볼트미터의 구성을 간략하게 나타낸 블록도,
 도 11은 노이즈를 포함하는 전압 데이터를 나타낸 도면,
 도 12는 아날로그 마더보드의 일 예를 나타낸 도면,
 도 13은 볼트미터 보정기를 포함하는 본 발명의 EIT 시스템이다.

* 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명*

10 : PC 20 : EIT 시스템

210 : 메인 제어기 220 : 디지털 마더보드

230 : 전류원 231 : FPGA

232 : 메모리 233 : 제어부

234 : 8bit DAC 235 : 16bit DAC

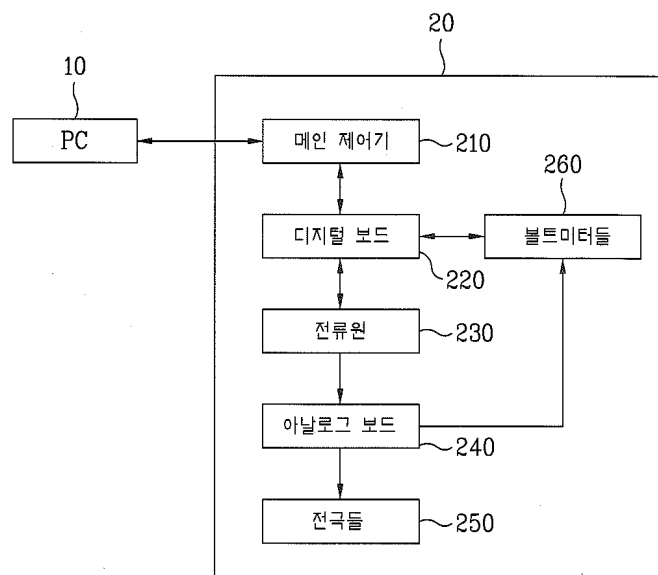
236 : 전압-전류 컨버터 237 : 교정기

240 : 아날로그 마더보드 250 : 전극

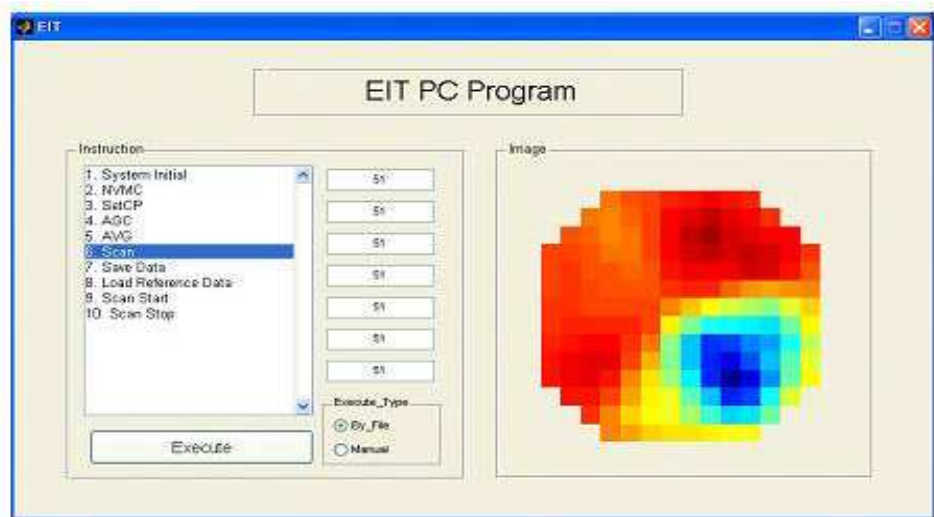
260 : 볼트미터

도면

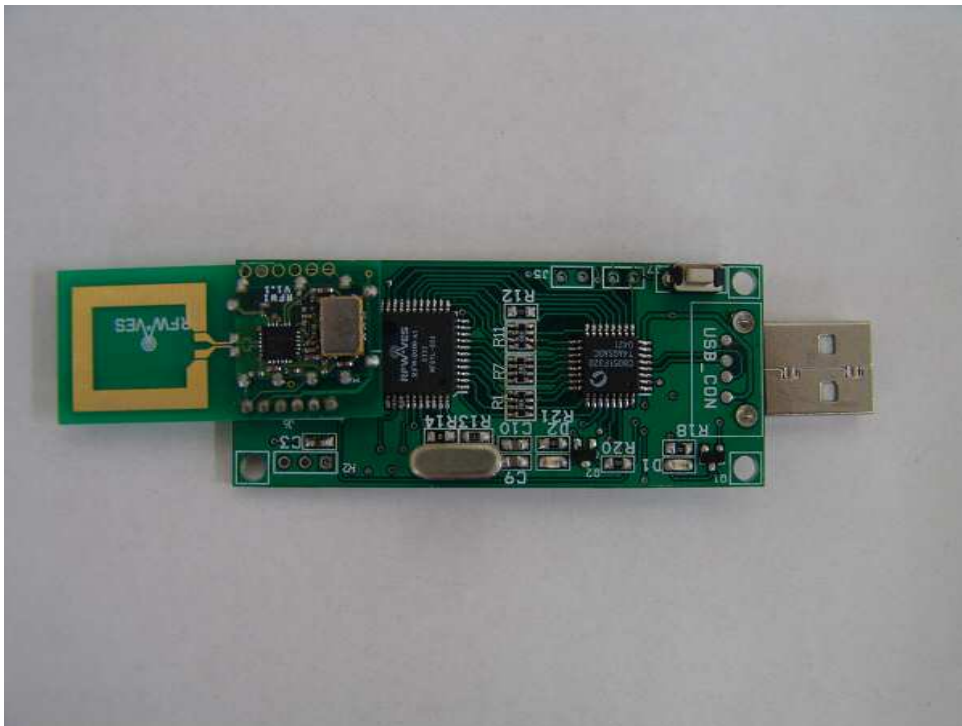
도면1



도면2



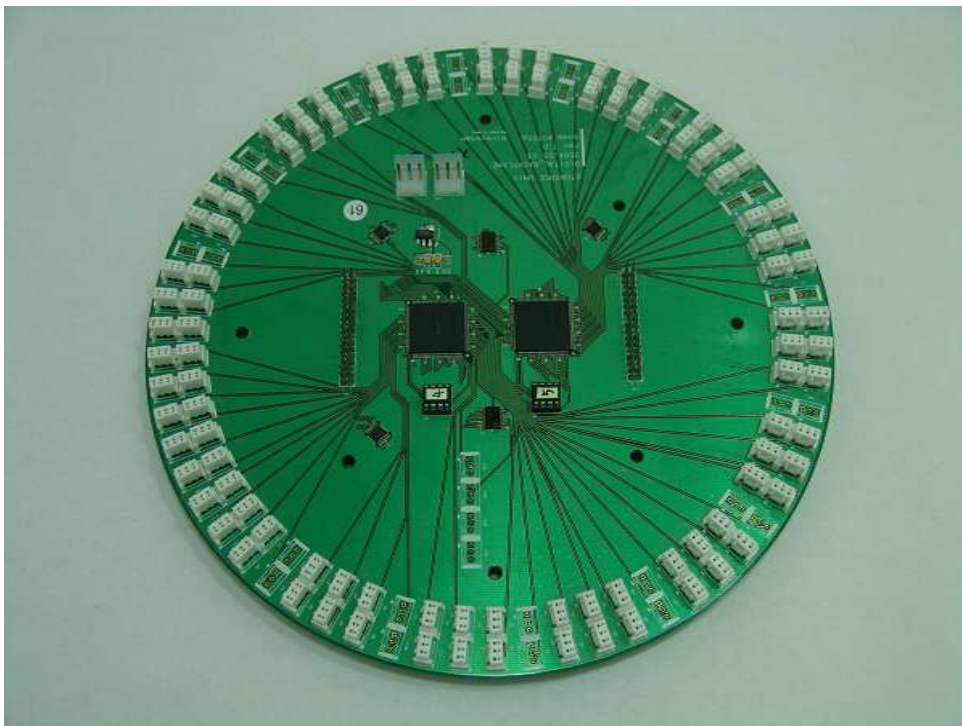
도면3



도면4



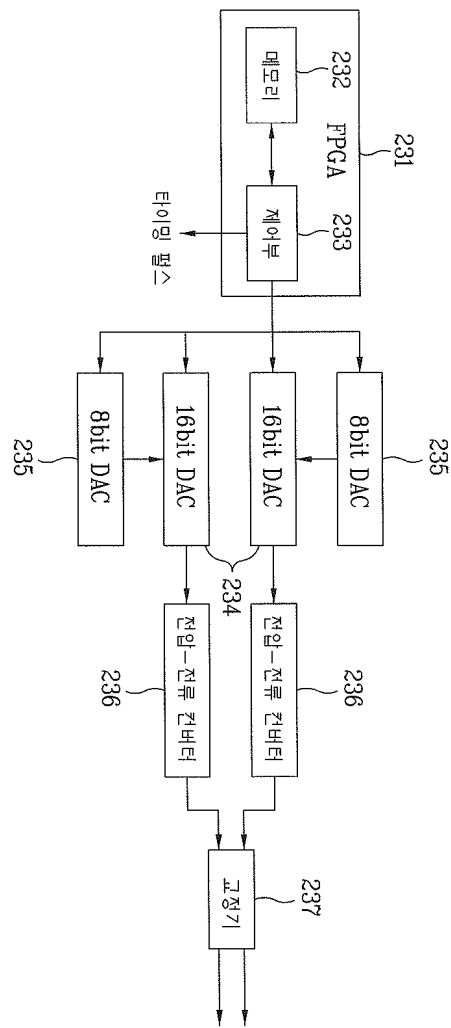
도면5



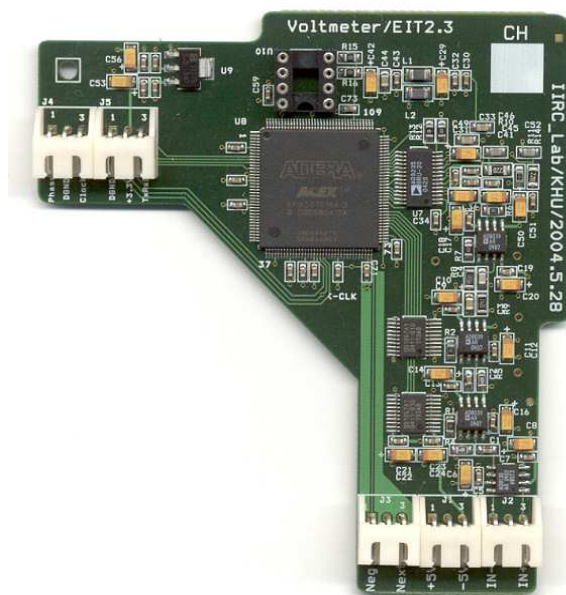
도면6



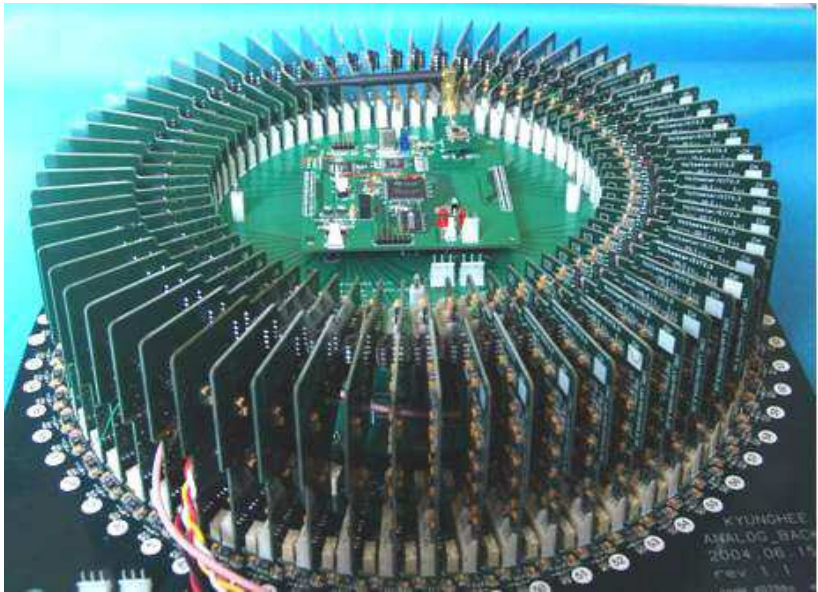
도면7



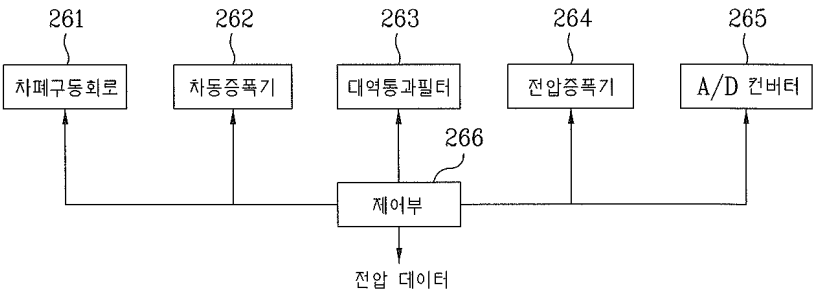
도면8



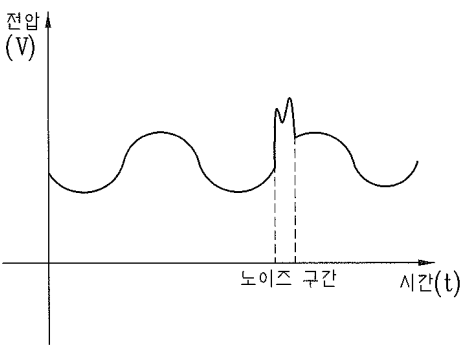
도면9



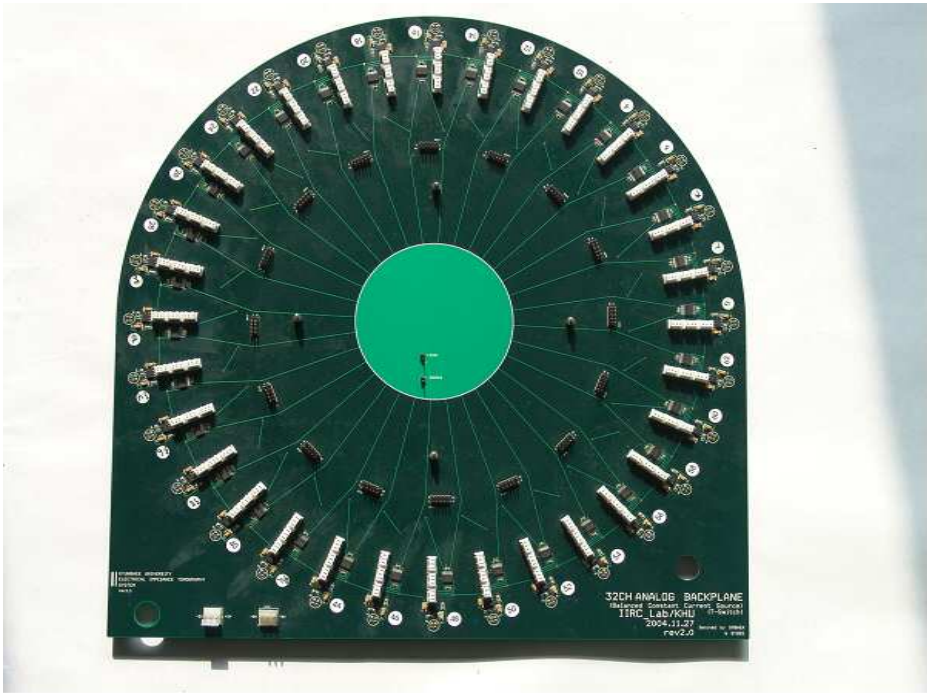
도면10



도면11



도면12



도면13

