(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0075900
(43) 공개일자 2019년07월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 1/40 (2006.01) *B01D 57/02* (2006.01)
G01N 27/06 (2006.01) *G01N 27/447* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 1/405 (2013.01)
B01D 57/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7007666
(22) 출원일자(국제) 2017년08월15일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2019년03월15일
(86) 국제출원번호 PCT/AU2017/050862
(87) 국제공개번호 WO 2018/032044
국제공개일자 2018년02월22일
(30) 우선권주장
2016903232 2016년08월15일 오스트레일리아(AU)
2017902304 2017년06월16일 오스트레일리아(AU)

(71) 출원인
그레이스캔 피티와이 엘티디
오스트레일리아 빅토리아 3207 포트 멜버른 윌리엄스타운 로드 9/435
(72) 발명자
라이포드 그래험 윌리엄
오스트레일리아 빅토리아 3207 포트 멜버른 윌리엄스타운 로드 9/435 그레이스캔 피티와이 엘티디 씨/-
스미스 마이클
오스트레일리아 빅토리아 3207 포트 멜버른 윌리엄스타운 로드 9/435 그레이스캔 피티와이 엘티디 씨/-
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박장원

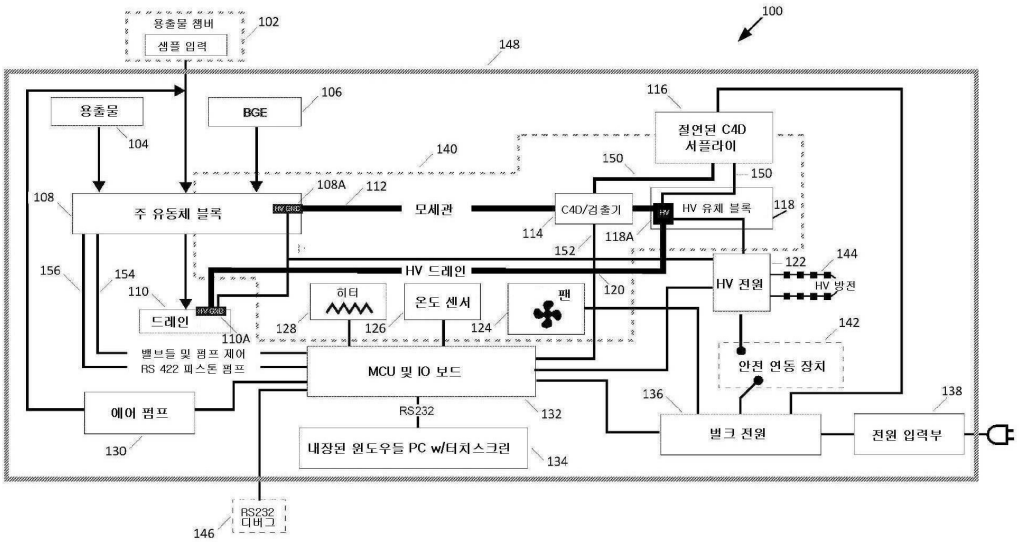
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 **용리 및 검출**

(57) 요 약

용리 장치 및 검출 장치가 설명된다. 용리 장치는, 샘플을 트랩핑하기 위한 샘플 트랩과; 그리고 액체 용리액 및 액체 용출액을 이동시키는 하나 이상의 펌프들 및/또는 밸브들을 포함하며, 상기 용출액은 상기 용리액에 의해 추출되는 상기 샘플의 추출된 부분을 포함한다. 검출 장치는, 샘플을 수용하기 위한 저전압(LV) 단부를 갖는 모세관과; 그리고 상기 모세관의 고전압(HV) 단부에 결합되어 상기 HV 단부에서 상기 모세관의 모니터링된 부분의 전도도에 기초하여 신호들을 생성하는 전도도 검출기를 포함하고, 상기 전도도 검출기는 상기 LV 단부로부터 전기적으로 절연된다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G01N 27/06 (2013.01)
G01N 27/447 (2013.01)
(72) 발명자
웹 알리스타 스튜어트
오스트레일리아 빅토리아 3207 포트 멜버른 윌리엄 스타운 로드 9/435 그레이스캔 피티와이 엘티디 씨/-
쿠식 아담 존
오스트레일리아 빅토리아 3207 포트 멜버른 윌리엄 스타운 로드 9/435 그레이스캔 피티와이 엘티디 씨/-
라이언 레이
오스트레일리아 빅토리아 3207 포트 멜버른 윌리엄 스타운 로드 9/435 그레이스캔 피티와이 엘티디 씨/-
손 이안 에밀
오스트레일리아 빅토리아 3207 포트 멜버른 윌리엄 스타운 로드 9/435 그레이스캔 피티와이 엘티디 씨/-

명 세 서

청구범위

청구항 1

용리 장치(elution apparatus)로서,

샘플을 트랩핑하기 위한 샘플 트랩과; 그리고

액체 용리액(liquid eluent) 및 액체 용출액(liquid eluate)을 이동시키는 하나 이상의 펌프들 및/또는 밸브들을 포함하며,

상기 용출액은 상기 용리액에 의해 추출되는 상기 샘플의 추출된 부분을 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 샘플 트랩은 상기 샘플을 트랩핑 또는 흡수하기 위한 표면 특성들을 갖는 트랩핑 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 트랩핑 물질은 상기 샘플을 접착하기 위한 접착 물질인 것을 특징으로 하는

용리 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 접착 물질은 접착 테이프인 것을 특징으로 하는

용리 장치.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 샘플 트랩은 상기 샘플을 흡수하기 위한 표면 구조를 갖는 것을 특징으로 하는

용리 장치.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 샘플 트랩은 상기 샘플을 흡수하기 위한 상기 물질의 일부를 포함하고, 상기 필터는 상기 용출액을 필터링하기 위한 상기 물질의 부분을 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 장치.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 용리 장치 내의 용출액을 필터링하기 위한 필터를 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 장치.

청구항 8

용리 방법으로서,

샘플 트랩에서 샘플을 트랩핑하는 단계와; 그리고

액체 용리액 및 액체 용출액을 이동시키는 단계를 포함하고,

상기 용출액은 상기 용리액에 의해 추출되는 상기 샘플의 추출된 부분을 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 물질의 일부분에서 상기 샘플을 트랩핑하기 위해 상기 샘플 트랩으로 닦는(swab) 단계와;

용리 지그(elution jig)가 상기 닦인 샘플 트랩을 수용하는 단계와;

상기 용리 지그를 손으로 또는 액추에이터에 의해 폐쇄하는 단계와; 그리고

전자 제어기에 의해 제어되는 샘플 처리 방법을 개시하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 샘플 처리 방법은:

제1 시약(reagent) 형태의 상기 용리액의 제1 부피를 상기 용리 지그에 모으는(mobilise) 단계와;

용출액을 형성하기 위해 상기 샘플 트랩의 일부를 포함하여, 상기 물질의 일부를 통과시키거나 지나가도록 상기 제1 시약을 강제하는 단계와;

상기 용출액을 가스제거(degassing) 및 필터링 시스템을 통해 이동시키는 단계와;

상기 가스제거된 용출액이 모세관(capillary)의 저전압(Low-Voltage: LV) 단부에 위치되도록 상기 가스제거된 용출액을 지면 매니폴드(ground manifold)로 이동시키는 단계와;

상기 가스제거된 용출액을 상기 모세관 내로 주입하는 단계와;

상기 모세관의 LV 단부에서 전해질 용액(electrolyte solution)을 위치시키도록 지면 매니폴드를 전해질로 플러싱하는 단계와; 그리고

상기 샘플을 분리하기 위해 고전압(High Voltage: HV) 전원 공급 장치(power supply)에 전력 공급하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 방법.

청구항 11

제8항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 물질의 일부를 사용하여 상기 용리 장치에서 상기 용출액을 필터링하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

용리 방법.

청구항 12

검출 장치에 있어서,

샘플을 수용하기 위한 저전압(LV) 단부를 갖는 모세관과; 그리고

상기 모세관의 고전압(HV) 단부에 결합되어 상기 HV 단부에서 상기 모세관의 모니터링된 부분의 전도도에 기초하여 신호들을 생성하는 전도도 검출기(conductivity detector)를 포함하고,

상기 전도도 검출기는 상기 LV 단부로부터 전기적으로 절연되는 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 전도도는 복합 전도도(complex conductivity)인 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 14

제12항 또는 제13항에 있어서,

상기 전도도 검출기에 전기적으로 전력을 공급하기 위한 무선 전기 접속을 포함하는 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 무선 전기 접속은 무선 전기 송신기 및 무선 전기 수신기를 포함하는 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 16

제12항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전도도 검출기로부터 그리고/또는 상기 전도도 검출기로 통신 신호들을 전송하기 위한 광 통신 링크를 포함하는 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 17

제12항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전도도 검출기는, 용량성 전도도 검출기, 및/또는 비접촉 전도도 검출기, 및/또는 용량성 결합 비접촉 전도도 검출기(C4D), 및/또는 모세관 유체(capillary fluid)와 접촉하는 전극들을 갖는 접촉 전도도 검출기인 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 18

제12항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전도도 검출기로부터의 전도도 신호들의 동위상 신호 성분(in-phase signal component) 및 직교 신호 성분(quadrature signal component)을 결정하는 위상 감도 검출기와;

상기 전도도 검출기로부터의 전도도 신호들에 대한 신호 채널 및 상기 전도도 검출기에 대해 생성된 변조 신호 내의 노이즈 신호들에 대한 노이즈 채널 - 상기 노이즈 채널은 상기 신호 채널과 별개이며 - 과; 그리고

상기 모세관으로부터 모니터링된 샘플 부분이 공기를 통과시킴으로써 건조가 되는 스펀지, 윅(wick) 또는 건조 표면, 또는 상기 전도도 검출기으로부터 모니터링된 샘플 부분을 멀리 전달하기 위한 드레인 도관(drain conduit) 중 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 19

제12항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,

송신 전극 및 수신 전극을 포함하는 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 20

제12항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 송신 전극 및 상기 수신 전극은 인쇄 회로 기판(PCB) 어셈블리들인 것을 특징으로 하는

검출 장치.

청구항 21

검출 방법으로서,

저전압(LV) 단부를 갖는 모세관이 샘플을 수신하는 단계와; 그리고

상기 모세관의 고전압(HV) 단부에 연결되고 그리고 상기 LV 단부로부터 전기적으로 절연된 전도도 검출기는, 상기 HV 단부에서 모세관의 모니터링된 부분의 전도도에 기초하여 신호들을 발생시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는

검출 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원들

[0002] 다음의 관련 특허 출원의 최초 출원된 명세서는 그 전체가 본원에 참고로 포함되어 있다: 호주 임시 특허 출원 2016903232(2016년 8월 15일에 출원됨) 및 2017902304(2017년 6월 16일에 출원됨).

[0003] 본 발명은, 일반적으로, 예를 들면, 무기질의 폭발물들을 스크리닝하기 위한 무기질의 폭발물 흔적들을 용출하고 검출하기 위해, 화합물들 및 이온들, 예를 들어, 분석물들 및/또는 무기질 화합물 및 이들의 성분 이온들을 용출 및 검출하는 장치들, 시스템들 및 방법들에 관한 것으로, 용리 장치, 용리 방법, 검출 장치 및 검출 방법을 포함한다.

배 경 기 술

[0004] 보안 대책의 강화들은 전세계적으로 우선 순위가 되고 있다. 예를 들어, 대량 수송 분야; 정부, 대사관 및 영사관; 경찰과 군사 인프라 및 시설들; 및 중요하고 위험한 인프라에 대한 보안이 강화되고 있다. 현재 무기들, 마약들, 밀수품 등 다양한 재료들과 물질들을 탐지하기 위해 전 세계적으로 400,000개 이상의 검문 차선들이 존재한다.

[0005] 그러나, 기존 탐지기 기술들에는 심각한 단점들이 존재한다. 예를 들어, IMS(ion mobility spectroscopy)를 사용하는 폭발성 추적 검출기들(ETD)은, 충분한 속도 및/정확성, 또는 합리적인 비용으로 무기질의 염-기반 폭발물(inorganic-salt-based explosives)(예를 들어, 염소산염, 질산염 및/또는 과염소산염)을 식별하지 못할 수 있다. IMS는 유기질의 과산화물을 검출할 수 있는 능력이 제한적이며 무기질 화합물들을 검출하지 못할 수 있다. 질량 분광 분석법은 무기질의 화합물들을 검출하지 못할 수 있다. 이온 크로마토그래피는 긴 분석 시간, 예를 들어, 25분 이상을 요구할 수 있다.

[0006] 액체 상태 검출을 위해 모세관 전기영동 또는 모세관 구역 전기영동("CZE")이, 예를 들어, 국제 특허 공개 번호 WO/2014/026224에서 제안되었을지라도, 기존의 모세관 전기 영동 검출기는 여전히 특정 애플리케이션들에 대해 민감도가 불충분하고 그리고/또는 너무 느리다.

[0007] 종래 기술과 관련된 하나 이상의 단점들 또는 제한들을 해소 또는 개선하거나 적어도 유용한 대안을 제공하는 것이 바람직하다.

발명의 내용

[0008] 본 발명에 따라, 용리 장치(elution apparatus)가 제공되고, 이 용리 장치는:

[0009] 샘플을 트랩핑하기 위한 샘플 트랩과; 그리고

[0010] 액체 용리액(liquid eluent)(용리액 유체) 및 액체 용출액(liquid eluate)을 이동시키는 하나 이상의 펌프들 및/또는 밸브들을 포함하며,

[0011] 상기 용출액은 상기 용리액에 의해 추출되는 상기 샘플의 추출된 부분을 포함한다.

[0012] 상기 샘플 트랩은 상기 샘플을 트랩핑 또는 흡수하기 위한 표면 특성들을 갖는 트랩핑 물질을 포함할 수 있다. 상기 트랩핑 물질은 상기 샘플을 접착하기 위한 접착 물질일 수 있다. 상기 접착 물질은 접착 테이프일 수 있다. 상기 샘플 트랩은 상기 샘플을 흡수하기 위한 표면 구조를 가질 수 있다. 상기 샘플 트랩은 상기 샘플을 흡수하기 위한 상기 물질의 일부를 포함하고, 상기 필터는 상기 용출액을 필터링하기 위한 상기 물질의 부분을 포함한다.

[0013] 상기 용리 장치는 상기 용리 장치 내의 용출액을 필터링하기 위한 필터를 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명은 용리 방법을 또한 제공하고, 상기 용리 방법은,

[0015] 샘플 트랩에서 샘플을 트랩핑하는 단계와; 그리고

[0016] 액체 용리액 및 액체 용출액을 이동시키는 단계를 포함하고, 상기 용출액은 상기 용리액에 의해 추출되는 상기 샘플의 추출된 부분을 포함한다.

[0017] 상기 용리 방법은,

[0018] 상기 물질의 일부분에서 상기 샘플을 트랩핑하기 위해 상기 샘플 트랩으로 닦는(swab) 단계와;

[0019] 용리 지그(elution jig)가 상기 닦인 샘플 트랩을 수용하는 단계와;

[0020] 상기 용리 지그를 손으로 또는 액추에이터에 의해 폐쇄하는 단계와; 그리고

[0021] 전자 제어기에 의해 제어되는 샘플 처리 방법을 개시하는 단계를 포함할 수 있다.

[0022] 상기 샘플 처리 방법은:

[0023] 제1 시약(reagent) 형태의 상기 용리액의 제1 부피를 상기 용리 지그에 모으는(mobilise) 단계와;

[0024] 용출액을 형성하기 위해 상기 샘플 트랩의 일부를 포함하여, 상기 물질의 일부를 통과시키거나 지나가도록 상기 제1 시약을 강제하는 단계와;

[0025] 상기 용출액을 가스제거(degassing) 및 필터링 시스템을 통해 이동시키는 단계와;

[0026] 상기 가스제거된 용출액이 모세관(capillary)의 저전압(Low-Voltage: LV) 단부에 위치되도록 상기 가스제거된 용출액을 지면 매니폴드(ground manifold)로 이동시키는 단계와;

[0027] 상기 가스제거된 용출액을 상기 모세관 내로 주입하는 단계와;

[0028] 상기 모세관의 LV 단부에서 전해질 용액(electrolyte solution)을 위치시키도록 지면 매니폴드를 전해질로 플러싱하는 단계와; 그리고

[0029] 상기 샘플을 분리하기 위해 고전압(High Voltage: HV) 전원 공급 장치(power supply)에 전력 공급하는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 상기 용리 방법은, 상기 물질의 일부를 사용하여 상기 용리 장치에서 상기 용출액을 필터링하는 단계를 포함할 수 있다.

[0031] 본 발명에 따라, 검출 장치가 제공되고, 상기 검출 장치는,

[0032] 샘플을 수용하기 위한 저전압(LV) 단부를 갖는 모세관과; 그리고

[0033] 상기 모세관의 고전압(HV) 단부에 결합되어 상기 HV 단부에서 상기 모세관의 모니터링된 부분의 전도도에 기초하여 신호들("전도도 신호들")을 생성하는 전도도 검출기(conductivity detector)를 포함하고,

[0034] 상기 전도도 검출기는 (전원 및 데이터 통신에 대해) 상기 LV 단부로부터 전기적으로 절연된다.

[0035] 상기 전도도는 복합 전도도("어드미턴스"라고도 알려짐)이며, 이는 전도도라고도 하는 실제 성분과 서셉턴스(susceptance)("감응도"라고도 함)라고도 하는 허수 성분의 합이다.

[0036] 상기 검출 장치는 전도도 검출기에 전기적으로 전력을 공급하기 위한 무선 전기 접속을 포함한다. 상기 무선 전기 접속은 무선 전기 송신기 및 무선 전기 수신기를 포함한다.

[0037] 상기 검출 장치는 상기 전도도 검출기로부터 그리고/또는 상기 전도도 검출기로 통신 신호들을 전송하기 위한 광 통신 링크를 포함한다.

[0038] 상기 전도도 검출기는, 용량성 전도도 검출기, 및/또는 비접촉 전도도 검출기, 및/또는 용량성 결합 비접촉 전도도 검출기(C4D), 및/또는 모세관 유체(capillary fluid)와 접촉하는 전극들을 갖는 접촉 전도도 검출기일 수 있다.

[0039] 상기 검출 장치는:

[0040] 상기 전도도 검출기로부터의 전도도 신호들의 동위상 신호 성분(in-phase signal component) 및 직교 신호 성분(quadrature signal component)을 결정하는 위상 감도 검출기와;

[0041] 상기 전도도 검출기로부터의 전도도 신호들에 대한 신호 채널 및 상기 전도도 검출기에 대해 생성된 변조 신호 내의 노이즈 신호들에 대한 노이즈 채널 - 상기 노이즈 채널은 상기 신호 채널과 별개이며 - 과; 그리고

[0042] (상기 검출기를 일단 지난 후) 상기 모세관으로부터 모니터링된 샘플 부분(용액)이 고체를 형성하기 위해 (가열된) 공기를 통과시킴으로써 능동적으로) 건조가 되는 스펀지, 윅(wick) 또는 건조 표면, 또는 상기 전도도 검출기으로부터 모니터링된 샘플 부분을 멀리 전달하기 위한 드레인 도관(drain conduit) 중 하나 이상을 포함한다.

[0043] 상기 검출 장치는 송신 전극 및 수신 전극을 포함하고, 상기 송신 전극 및 상기 수신 전극은 인쇄 회로 기판(PCB) 어셈블리들이다.

[0044] 본 발명은 검출 방법을 또한 제공하고, 상기 검출 방법은:

[0045] 저전압(LV) 단부를 갖는 모세관이 샘플을 수신하는 단계와; 그리고

[0046] 상기 모세관의 고전압(HV) 단부에 연결되고 그리고 상기 LV 단부로부터 전기적으로 절연된 전도도 검출기는, 상기 HV 단부에서 모세관의 모니터링된 부분의 전도도에 기초하여 신호들을 발생시키는 단계를 포함한다.

[0047] 본 발명에 따라, 용리 장치가 제공되고, 이 용리 장치는:

[0048] 샘플을 트랩핑하기 위한 샘플 트랩과; 그리고

[0049] 용리액(용리액 유체) 및 용출액을 이동시키는 하나 이상의 펌프들 및/또는 밸브들을 포함하며,

[0050] 상기 용출액은 상기 용리액에 의해 추출되는 상기 샘플의 추출된 부분을 포함한다.

[0051] 본 발명은 또한 용리 방법을 제공하고, 상기 용리 방법은,

[0052] 샘플 트랩에서 샘플을 트랩핑하는 단계와; 그리고

[0053] 용리액 및 용출액을 이동시키는 단계를 포함하고, 상기 용출액은 상기 용리액에 의해 추출되는 상기 샘플의 추출된 부분을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0054] 본 발명의 실시예들은 첨부 도면들을 참조하여 비 제한적인 예로서 이하에 서술된다.

도 1은 검출기를 포함하는 화합물들을 검출하는 시스템의 블록도이다.

도 2는 시스템의 제어기 보드의 블록도이다.

도 3은 제어기 보드의 전원 공급 장치의 블록도이다.

도 4는 시스템의 검출기의 블록도이다.

도 5는 검출기 내의 디지털 신호 처리 모듈들의 블록도이다.

도 6은 검출기의 송신 필터 회로의 회로도이다.

도 7은 검출기의 트랜스 임피던스 증폭기의 회로도이다.

도 8은 검출기를 위한 전원의 개략도이다.

도 9는 시스템의 펌웨어 아키텍처의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0055] 개관

[0056] 본 명세서에서는 샘플들을 분석하고 그리고 무기 폭발물(inorganic explosives)을 검출하기 위해 CE(capillary electrophoresis) 프로세스를 이용하는 시스템을 서술한다. CE는 서로 다른 크기들의 이온들을 분리하는 방법이다. HV 전기장은 용액 내의 이온에 적용된다. 이온들은 전기장의 극성과 이온의 극성에 따른 방향으로 이동한다. 샘플 내의 이온들은 정수압 작용(즉, 압력) 및 정전 작용(즉, 전기 삼투압 유동)에 의해 구동되는 모세관을 통해 유동한다. 모세관은 튜브이며 그리고 모세관 작용("위킹(wicking)"이라고도 함)은 시스템에서 그 기능에 반드시 필요한 것은 아니다. 각 이온의 속도는 전기장의 강도와 전기 침투 류(electroosmotic flow)에 의해 구동되는 모세관 내의 배경 전해질(background electrolyte)을 통해 이동하는 이온의 전기 이동성에 의해 결정된다. 전기 영동 이동성은 이온의 전하, 이온의 유효 단면적 및 이온이 통과하는 배경 전해질(BGE)의 점도와 관련된다. 전기 삼투 유량은 모세관의 내부 표면적 대 부피비, BGE의 pH 및인가된 전기장의 강도에 의해 결정된다. CE는 상이한 이온 유형들의 상이한 이동 속도들을 사용하여 이온이 시작 위치에서부터 알려진 거리에서 전도도 검출기에 도달하는 데 걸리는 시간을 측정하여 이온 유형들을 구분한다. 검출된 전도도는 복합 전도도("어드미턴스(admittitivity)"라고도 함)이며 전도도(conductivity)라고 하는 실제 구성 요소와 서셉턴스(susceptance)라고도 하는 허수 성분("감응도(susceptivity)"라고도 함)의 합이다. 따라서, 이 시스템은 폭발성 장치들 내에 존재하는 무기 분자의 검출에 이용될 수 있다. 검출된 분석물은 음이온 또는 양이온일 수 있다. 검출된 분석물에는 음이온: 질산염, 염산염 및 과염소산염과 함께 양이온: 나트륨, 칼륨, 암모늄 및 우레아를 포함할 수 있다.

[0057] 서술된 시스템은 분석 프로세스를 가속화하고 감도를 향상시키기 위해 인가 된 고전압(HV)을 사용하고 신속한 신호 처리를 사용하여 신속하게(예를 들어, 1분 미만) 측정을 제공한다.

[0058] 시스템 100

[0059] 도 1에 도시된 바와 같이, 시스템(100)은 :

[0060] a. 샘플 입력(102)(용출 지그를 포함함);

[0061] b. 용리 시약 용기(104);

[0062] c. 전해질 시약 용기(106);

[0063] d. 주 유동체 블록(108)("지면 매니폴드(ground manifold)"라고 함);

[0064] e. 드레인 용기(110);

[0065] f. "검출 모세관(detection capillary)", "분석 모세관(analytical capillary)", "분리 모세관(separation capillary)" 및/또는 "모세관(capillary tube)"으로도 언급되는 모세관(112);

[0066] g. 용량성 결합 비접촉 전도도 검출기(114)("C4D"로 언급됨), 또는 상기 모세관 유체와 접촉하는 전극들 및/또는 광 투과율/흡광도 검출기를 갖는 접촉 전도도 검출기;

[0067] h. 절연된 C4D 서플라이(116);

[0068] i. 고압(HV) 유체 블록(118)("HV 매니폴드(HV manifold)"로 불림);

[0069] j. HV 드레인 튜브(120) 형태의 선택적인 배출 도관; 또는 (드레인 도관 대신에), 모세관으로부터(일단 검출기(114)를 지나서) 분출된 모니터링된 용액이 건조기(예를 들어, 에어 히터 및 팬) 및 건조 영역(스폰지, 심지 또

는 건조 표면 일 수 있음)은, 배출된 모니터링된 용액을 건조시켜 고형 또는 침전물을 형성하기 위해 (공기 히터 및 팬으로부터) 건조 영역을 통과하는 공기 흐름에 의해 (능동적으로) 건조된다.

[0070] k. HV 전력을 공급하는 HV 전원(122);

[0071] l. 팬(124);

[0072] m. 적어도 하나의 온도 센서(126);

[0073] n. 히터(128);

[0074] o. 용리 지그 및 지면 매니 폴드가 분리되고 그리고/또는 용리 부피가 상호 연결 튜브들을 채우기에 불충분한 경우 용리액을 동원시키는데 사용될 수 있는 선택적인 공기 펌프(130);

[0075] p. MCU("마이크로 컨트롤러" 또는 "전자 컨트롤러"라고도 함)를 갖는 회로 보드를 포함하는 마이크로 컨트롤러 유닛(MCU) 및 입출력(I/O) 보드(132);

[0076] q. 내장 컴퓨터(134);

[0077] r. HV 전력 공급 장치(122)로부터의 HV 전력보다 낮은 전압 전력을 공급하는 "저전압(LV) 전원 공급 장치"라고도 칭하는 벌크 전력 공급 장치(136);

[0078] s. 전원 입력부(138)의 형태의 전원 및/또는 배터리 및/또는 DC 전원 공급부;

[0079] t. 열 영역(140);

[0080] u. 안전 연동 장치(142);

[0081] v. 선택적 HV 방전 컴포넌트(144);

[0082] w. 보드(132)와 전자적으로 통신하기 위한 디버그 포트(146);

[0083] x. 시스템(100)의 다른 컴포넌트 주위의 섀시(148)("케이스(case)" 또는 "케이싱(casing)"이라고도 함);

[0084] y. 하나 이상의 HV 라인들(150);

[0085] z. 적어도 하나의 광섬유를 포함하는 광섬유 링크인 광 링크(152) 형태의 광통신 링크("광통신 연결(optical communications connection)"이라고도 함);

[0086] aa. MCU 보드(132)로부터 주요 유체 블록(108)까지의 밸브 및 펌프 제어 라인(154); 및

[0087] bb. MCU 보드(132)로부터 메인 유체 블록(108)으로의 용적식 펌프 제어 라인(156)을 포함한다.

[0088] MCU(132)가 시스템(100)의 다른 컴포넌트들을 제어 및 조정하여 자동 처리 단계(수집 단계, 삽입 단계 및 활성화 단계 제외하고 아래의 단계들)를 수행하는 시스템(100)에 의해 수행되는 동작의 방법은:

[0089] a. 용적식 펌프는 HGE 모세관(112) 내로 BGE를 가압하여 BGE로 지면 매니폴드를 플러싱하여 BGE 용액을 모세관(112)의 LV 단부에 위치시킨다(프라이밍 단계);

[0090] b. 샘플 트랩이 (수집 단계에서) 샘플을 트래핑하는 단계, 즉, 샘플을 트랩 또는 흡착하기 위한 표면 특성(IONSCAN 600 트랩들과 같은 비 점착성 트랩들 및 접착 재료를 포함하는 접착 트랩을 포함) 또는 샘플을 포착하기 위해 샘플 트랩을 쓸어내는 단계를 포함하는, 트래핑 재료 내의 샘플을 트래핑 또는 흡수하기 위한 표면 구조를 갖는 트래핑 재료의 일부분 내 또는 일부분 상에 샘플을 트래핑하는 단계;

[0091] c. 샘플 트랩을 샘플 투입구(102)의 용리 지그에 삽입하고, 예를 들어, 수동으로 기계적으로 지그를 닫음으로써 수동으로 용출 지그를 작동시키거나, 또는 (삽입 또는 버튼 프레스에 의해) 지그를 자동으로 닫도록 기계에 요구함으로써 MCU 보드(132)에 의해 제어되는 나머지 자동화된 처리 단계들을 (활성화 단계에서) 활성화 (또는 "개시(initiatite)")하는 단계;

[0092] d. 용리액(용리제라고 언급될 수 있음)의 제어된 측정치(500 마이크로 리터 (㎕)이하, 예를 들어 200 ㎕의 "제1 부피(first volume)"로 지칭됨)를 용리 시약 용기(104)로부터 제1 시약의 형태로 용출 지그에 강제(또는 "동원(mobilising)")하는 또는 샘플을 용리시키기 위해 샘플 트랩의 일부분을 포함시키는 면봉 영역을 통해, 및/또는 거쳐 또는 통과하여 제1 시약을 강제하여 용출물(즉, 용리된 샘플 유체 또는 용리된 샘플 용액)을 형성시키는 단계;

[0093] e. 트래핑 물질의 일부분을 사용하여 용리 장치에서 용출물을 선택적으로 필터링하는 것을 포함하는 (필터링 단계에서) 용리액을 필터(교체 가능한 샘플 필터일 수 있음)가 필터링하는 단계;

[0094] f. 용리액을 가스 제거 시스템을 통해 이동시키는 단계, 및 가스 제거 시스템이 (가스 제거 단계에서) 용리액을 가스 제거 하는 단계 - 교체 가능한 샘플 필터는 한 단계에서 필터링 단계 및 가스 제거 단계를 수행한다.

[0095] g. 가스 제거된 용리액이 모세관의 LV 단부에 위치되도록 가스 제거된 용리액(즉, 가스제거된 샘플 용액)을 지면 매니폴드로 이동시키는 단계, 즉, 가스 제거된 필터링된 용리액을 HV 모세관(112)의 LV 단부의 전방에 (정렬 단계에서) 정렬시키는 단계;

[0096] h. 유체 정역학(유체 압력) 주입 또는 전기 운동(몇 초 동안의 낮은 HV) 주입(사출 단계에서)에 의한 작은 양의 이온에 의해, 주 유동체 블록(108)은 정렬된 필터링된 용출 유체로부터 모세관(112)으로 작은 양의 이온들을 주입하는 단계

[0097] i. 주 유동체 블록(108)이 HV 모세관(112)의 LV 단부를 둘러싸고 있는 임의의 잔류하는 용리액(또는 샘플 유체)을 선택적인 드레인 용기(110)로 플러싱하고, 그리고 플러싱된 샘플 유체를 대체하기 위해 모세관(112)의 LV 말단에 새로운 BGE (106)를 (예비 분리 플러싱 단계에서) 도입하는 단계;

[0098] j. HV 유동체 블록(108)은 전체 HV 전압을 인가함으로써 샘플을 분리하도록 (고정된 시간 동안 또는 출력이 검출될 때까지) HV 전력 공급부에 에너지를 공급하여 이온 불리가 발생하도록 하고, MCU(132)는 (분리 단계에서) C4D(114)의 출력을 모니터링하고 그리고 기록하는 단계;

[0099] k. 분리 단계의 마지막에서, 시간 또는 C4D 데이터 분석에 기초하여 MCU (132)에 의해 결정되며, MCU(132)는 HV를 턴 오프하는 단계; 및

[0100] l. 주 유동체 블록(108)은 HV 모세관(112)을 새로운 BGE로 플러싱하여 잔류 분리 생성물을 제거하여 다음 분리를 위해 (모세관 플러싱 단계에서) 준비된다.

[0101] UI(134)는 동작 방법에서 처리 방법을 수행하며, 상기 동작은:

[0102] a. 후 처리를 용이하게 하기 위해 베이스 라인 제거하는 단계;

[0103] b. 기준 이온들(즉, 용리 시약(104)내의 이온 마커들)을 식별하는 단계;

[0104] c. 내부 표준 기준 이온 진폭에 대해 데이터 진폭을 정규화하는 단계;

[0105] d. 데이터에서 모든 이온 피크들의 종들을 식별하는 단계;

[0106] e. 각 타겟 이온 종들에 대한 특정 교정 계수들을 사용하여 검출된 각 타겟 이온의 양을 계산하는 단계;

[0107] f. 각 타겟의 양을 종 트리거 임계값과 비교하는 단계; 그리고

[0108] g. 모든 종들이 트리거 임계값보다 낮으면, 즉, 타겟들이 발견되지 않으면, 사용자 인터페이스에 "위협 없음(NO TREAT)"을 표시하고, 그렇지 않으면, 사용자 인터페이스이에 "위협(TREAT)"을 표시한다.

[0109] 동작시, 시스템(100)은 샘플을 수신한다. 샘플은 샘플 트랩을 포함하는 샘플링 장치에 의해 타겟의 표면으로부터 획득될 수 있다. 시스템(100)을 운영하는 사람("운영자(operator)" 또는 "사용자(user)"로 지칭될 수 있음)은 샘플 또는 샘플을 포함하는 샘플 트랩을 샘플 입력(102)을 통해 시스템(100)에 삽입한다. 운영자는, 샘플을 삽입함으로써 및/또는 사용자 인터페이스(UI)에 사용자 입력(예를 들어, 수동 입력)을 적용함으로써, 시스템(100)에 의해 실행되는 자동화된 처리 단계들("자동 용출 공정(automatic elution process)"라고도 함)을 개시한다. 샘플 입력(102)은 샘플을 용리시키고, 샘플을 주 유동체 블록(108)에 제공한다. 자동 용리 공정에서, 샘플 입력(102)은 시스템(100)에 의한 섭취를 위해 샘플(100)을 액체에 주입한다. 공기 펌프(130)는 용리액 및/또는 용리액을 샘플 기판을 통해 주 유동체 블록(108)에 동원하기 위해 짧은 저압 펄스를 제공할 수 있다.

[0110] 시스템(100)은 샘플을 트랩핑하기 위한 샘플 트랩을 포함하는 용리 장치; 및 용리 장치에서 용리액("초기 용리액(initial elution fluid)"이라고도 함)을 필터링하기 위한 초기 필터를 포함한다. 용리액은 시스템(100)에 의해 초기 필터를 통해 유도된다. 샘플 트랩은 샘플을 흡착시켜 트랩하는 재료의 일부("샘플 트랩 재료(sample trap material)"라고도 함)를 포함할 수 있다. 샘플 트랩 재료는 접착에 의해 샘플을 트랩하는 접착 재료를 포함하거나 또는 접착 재료로 구성될 수 있다. 초기 필터는 샘플 트랩 재료의 일부를 포함할 수 있다. 샘플을 트랩하는 샘플 트랩 재료의 부분은 관심 대상 물체(예 : 사람의 옷)를 면봉으로 닦을 수 있기 때문에 "닦여진 영

역(swabbed area)"이라고 할 수 있다. 따라서, 샘플 트랩 재료는, 트랩 및 초기 필터로서 용리 장치에서 두 가지 기능들을 가질 수 있다. 샘플 트랩 재료는 접착 테이프를 포함할 수 있으며, 이 접착 테이프는 시판되는 미세 공극 테이프("점착 테이프(tacky tape)"라고도 함)일 수 있으며, 그리고/또는 예를 들어, 부직 재료, 직물 재료, 스펀지 재료 및/또는 폴리머 재료의 기성품 샘플 트랩과 같은 이온 이동도 분석기 기반의 폭발성 트레이스 검출기로부터의 샘플 트랩을 포함 할 수 있고, 그리고/또는 샘플을 트랩하는 표면 구조를 갖는 물질을 포함할 수 있다.

[0111] 용리 장치는 용리액 및 용출액을 이동시키기 위해 주 유동체 블록(108)에 복수의 펌프들 및 밸브들을 포함시키며, 용출액은 용리액에 의해 추출되는 샘플의 추출된 부분을 포함한다.

[0112] 유체는 액체 및 기체를 포함할 수 있다. 본원에 서술된 용리액, 용출액 및 전해질 유체는 액체일 수 있으며, 즉 이들은 액체 형태 또는 액체 상태이고, 액체 상태를 사용하는 것은 기체 상태를 사용하는 보다 바람직할 수 있다. 처리된 샘플은 하나 이상의 필터들에 의해 큰 미립자들 및 부스러기들로 필터링된다.

[0113] 용리 장치는, 대상 입자들이 샘플링 장치로부터 용출액으로 용리액에 의해 이동되는 방법을 제공한다. 또한, 필터링된 처리 샘플은 용리액(즉, 가스가 제거된 용출액, 용출된 가스가 제거된 샘플로도 알려짐)이 모세관 주 유동체 블록(108)에 전달되기 전에 가스 성분을 제거하기 위해 가스 제거 시스템을 통해 전달된다. 가스 제거 시스템은 공기를 대기로 배출시키는 소수성 멤브레인(단순한 가스 제거 메커니즘) 또는 용출액(기체 용액)에서 기포를 제거하도록 압력을 제어하는 밀폐 챔버(가스 제거 매니폴드)로 구성될 수 있다.

[0114] 용리 시약 용기(104)는 용리액("시약 1(Reagent 1)"이라고도 함)을 함유하고, 전해질 시약 용기(106)는 전해액("시약 2(Reagent 2)"라고도 함)을 함유한다.

[0115] 용출액, 용리액 및 전해질 유체는 주 유동체 블록(108)에 대한 "입력 유체(input fluids)"로 지칭될 수 있다.

[0116] 용리 시약 용기(104) 및 전해질 시약 용기(106)는 밀봉된 용기들의 형태로 공기가 없는(특히, 산소 및 이산화탄소가 없는) 저장부를 제공한다. 밀봉된 용기들은 접을 수 있는 가방들일 수 있다. 밀봉된 용기들은 각각 유체 커넥터(예를 들어, 호스 또는 파이프 또는 복수 개의 유체 커넥터)에 의해 주 유동체 블록(108)에 개별적으로 연결된다. 또한, 유체가 지면 매니폴드에 들어가기 전에 다수의 교체 가능한 10마이크론 필터들이 큰 입자들을 제거하기 위해 사용될 수 있다.

[0117] 주 유동체 블록(108)(또는 "지면 매니폴드")은 샘플 입력(102)으로부터 용출액을 수용한다. 지면 매니폴드(108)는 용기들(104 및 106) 각각으로부터 시약 1 및 시약 2를 수용한다. 주 유동체 블록(108)은 분리를 위해 모세관(112)에 각각의 수량으로 일련의 유체를 제공한다. 지면 매니폴드(108)는 지면 매니폴드에서 유체 처리를 수행하기 위해 유체 전환을 위한 복수의 밸브들 및 유체 이동을 유도하기 위한 복수의 용적식 펌프들을 포함한다. 지면 매니폴드(108)는 플러싱 방법에서 지면 매니폴드(108) 및 모세관의 플러싱을 수행하기 위한 유체 경로들 및 유체 제어들을 포함한다.

[0118] 주 유동체 블록(108)의 밸브들 및 펌프들의 시퀀싱 및 전자 제어는 이후에 더 서술되는 MCU 보드(132)에 의해 제어 및 수행된다.

[0119] 드레인 용기(110)는 주 유동체 블록(108)과 유체 연통되어, 유체 처리 방법으로부터 폐 유체, 즉, 모세관(112)에 전달되지 않는 입력 유체들의 일부 및 모세관(112), HV 유체 블록(118) 및 HV 드레인(120)을 횡단하는 유체를 수용한다. 드레인 용기(110)는 드레인 병 및/또는 가요성 가방을 포함할 수 있다. 드레인 용기(110)는 예를 들어, 전해질 및 용리제를 보충 및/또는 교체할 때 사람에 의한 통상적인 서비스 중에 비워지거나 교체될 수 있다.

[0120] 모세관(112)은 처리된 샘플을 수용 및 유지하고, 처리된 샘플을 전달하며, 그리고 주 유동체 블록(108)으로부터 C4D(114)의 전도성 테스트 전극들을 통해 HV 유체 블록(118)으로 처리된 샘플의 분리를 위한 컬럼으로서 유체 전달 인테리어를 제공한다.

[0121] 이후에 서술되는 작동 방법 동안, HV 전위는 HV 전극과 접지 전극 사이에서 (그 길이를 따라) 모세관(112)에 인가된다. HV 전극(118A)은 HV 전극(118A)을 HV 유체 블록(118)(또는 "HV 매니폴드")에 압입 또는 결합시킴으로써 HV 유체 블록 (118) 내로 내장된다. 접지 전극(108A)은 접지 전극 (108A)을 지면 매니폴드(108)에 압입 또는 결합시킴으로써 지면 매니폴드(108)에 내장된다. 전압 전위는 샘플 내의 이온을 모세관(112)을 통해 HV 전극쪽으로 강제한다.

[0122] 모세관(112)은, 예를 들어, IDEX Health & Science, LLC로부터 업처치 피팅과 같은 나사 고정구 및/또는 다른

상업적으로 이용 가능한 저압 피팅을 사용하여 매니폴드 피팅을 사용하여 각 매니 폴드(108, 118)에 연결된다. 모세관은 LV 매니 폴드(108)에 연결된 저전압(LV) 단부 및 HV 매니폴드(118)에 연결된 HV 단부를 포함한다. 모세관(112)의 길이를 따라 대략 133V/mm의 선형 전압 구배가 있다.

[0123] 모세관(112)의 선택된 치수는, 모세관(112)이 쉽게 폐쇄되고 모세관에 제공되는 유체가 (예를 들어, 1.2 마이크론 필터로) 잘 필터링되어야 한다. 모세관(112)은, 약 25 내지 50 미크론(마이크로미터)의 내경(ID) - 예를 들어, 25 미크론, 30 미크론 또는 50 미크론의 공칭 내경 및 약 364 미크론, 예를 들어, C4D(114)의 매니폴드 피팅들 및 내부 관통 구멍들과 일치하는 명목상으로 370 미크론인 외경(OD)를 가질 수 있다.

[0124] 모세관(112)의 길이는 가장 빠른 속도로 충분한 이온 피크 분리(선택도)를 달성하는데 필요한 거리에 기초하여 선택되며, 예를 들어, 길이는 전체적으로 약 300mm일 수 있고, 이는 C4D(114)가 접지 단으로부터 약 270mm에 장착될 수 있게 하고, 모세관(112)의 양단에서 피팅으로 진입할 수 있게 한다. 이 길이는 1mm 슬러그 길이가 HV 전위 하에서 충분히 분리되어 유체 체적에서 분리된 이온들 사이에 충분한 분해능을 제공하여 알고리즘 프로세싱을 가능하게 할 수 있다(슬러그 길이는 "슬러그(slug)"라 불리는 모세관의 샘플 부분의 길이이다). 명목 샘플 부피는 1 ㎜ 길이에 대해 0.49 나노리터(nl)이고 25um 모세관을 갖는다. 직경 2 미크론의 변화는 슬러그 길이가 0.491 nl(-14.3 %/+ 18.2 %)에 대해 0.857에서 1.182 ㎜까지 변할 수 있음을 의미한다. 이 볼륨은 민감도, 특수성 및 동적 범위를 최적화하도록 변경될 수 있다.

[0125] 검출 모세관(112)은 후술하는 제조 방법에서 선택된 전기 저항을 단부 사이에서 갖는다.

[0126] 모세관(112)은 용융 실리카 튜브로 형성된다.

[0127] 모세관(112)은 정확한 전기 삼투 흐름을 확립하고 3개의 층들에서 신호 손실을 감소시키기 위해 복수의 라이닝 층들로 내부 코팅될 수 있다: HDMB, PSS 및 HDMB 층은 제조 후 단계에서 모세관의 전처리로서 유체 플러싱 시퀀스를 사용하여 순차적으로 적용된다. 검출 모세관(112) 내의 BGE는 BGE의 온도 및 성질에 영향을받는 말단에서 말단 까지의 유체 저항(또는 "항력(drag)")을 갖는다.

[0128] 모세관(112)은 외부 폴리이미드 코팅을 가질 수 있다.

[0129] 모세관(112)은 자연 곡률을 갖는 코일로서 공급될 수 있다.

[0130] 모세관(122)은 시판용 튜브, 예를 들어 Polymicro(Molex)의 TSP025375 또는 SGE의 062710일 수 있다.

[0131] 샤시(148)는 열 영역(140)을 포함하는데, 이 열 영역(140)은 이하에 서술되는 온도 제어 시스템에 의해 제어되는 온도를 갖는 열 제어된 볼륨(또는 공간)이다. 샤시(148)는 또한 열 영역(140) 외부의 분리 영역("주 장치 공간"으로도 알려짐), 즉, 열 영역(140) 외부의 섀시(148) 내부 공간을 포함한다. 열 영역 경계는 열 영역(140)의 둘레를 제공하고 열 영역(140)을 주 장치 공간으로부터 분리시킨다. 열 영역 경계는 HV 인클로저 내에 있으며 HV 인클로저 내에서 부분 공기 재순환을 사용하여 유지된다.

[0132] 열 영역(140)은 온도가 명목상 일정한 온도(예를 들어, 섭씨 35도 또는 섭씨 55도)로 유지되는 절연 인클로저 내의 개념적 영역이다. 열 영역(140)은 다음의 구성 요소를 포함한다:

[0133] a. 모세관(112);

[0134] b. 히터(128);

[0135] c. 적어도 하나의 온도 센서(126);

[0136] d. 팬(124);

[0137] e. HV 유동체 블록(118);

[0138] f. C4D(114);

[0139] g. 절연된 C4D 서플라이(116)(열 경계를 통과함)의 HV 측면 상에, 도 8을 참조하여 이하에서보다 상세히 설명되는 HV 전력 모듈(600);

[0140] h. 선택적으로 HV 드레인 튜브(120)의 HV면(또한 열 경계를 통과함); 및

[0141] i. 모세관 적합 나사가 있는 주 유동체 블록(108)의 일부.

[0142] 섀시(148)는 이후에서 서술되는 하나 이상의 수동으로 개방 가능한 커버들("장치 커버(device cover)"라고도

함)을 포함한다. 섀시(148)는 정전기 형성을 완화시키기 위해 도전성 코팅을 갖는 절연 벽들을 포함한다. 안전 연동 장치(142)는 장치 커버들 중 하나가 개방되면 (제거되는 것을 포함할 수 있음) HV 전원 공급 장치로의 입력으로부터 전력을 제거(즉, 디커플링)한다.

[0143] HV 전원 공급 장치 내에 수용될 수 있고, 저항 체인(예를 들어, 직렬로 6개의 1-G-ohm 7-kV 저항) 및/또는 방전 저항을 제공하는 것과 같은 전도성 필러를 포함하는 통상적으로 절연 물질로서 구현될 수 있는 HV 방전 컴포넌트(144)는, 방전 경로를 제공하여, 예를 들어, 안전 연동 장치(142)에 의해 입력 전력이 제거될 때 HV 전원(122)이 방전할 수 있도록 한다.

[0144] HV 방전 컴포넌트는, 튜브의 전압 구배를 제어하여 코로나 방전을 줄이고, 프린징 전류를 제어하며, 그리고 아크 방전 가능성을 낮추는 메커니즘의 일부일 수 있다.

[0145] 검출기가 C4D 타입일 때, C4D(114)는 C4D(114)에 의해 모니터링되는 모세관 (112)의 일부에서 유체의 복합 전도도를 측정한다: 모세관(112)의 모니터링된 이 부분은 C4D(114)를 통과한다. 모니터링되는 부분은 "모니터링된 섹션(monitored section)"이라고 할 수 있다. C4D(114)는 적어도 두 면에서 모세관(114)의 모니터링된 부분을 둘러싸고, C4D(114)는 모니터링된 부분의 유체의 복잡한 도전율 변화의 측정들에 의해 모니터링된 부분에서 모세관(112)을 통과하는 이온을 측정할 수 있다. C4D(114)는 AC 신호가 통과하는 2개의 전극들을 포함하며, 그 내부에서 복합 전도도가 측정된다. 모니터링되는 부분은 모세관(112)의 유체 운반 내부와 일치하는(즉, 위치에 대응하는) C4D(114)의 2개의 전극들 사이의 AC 전기장에 의해 정의된다. 모세관(114)의 모니터링된 부분에 도달할 때 모니터링되는 샘플의 부분은 "모니터링된 샘플 부분(monitored sample portion)"으로 언급된다. C4D 센서 폭은 분자 그룹들 사이에 요구되는 간격, 예를 들어 1mm를 결정한다.

[0146] C4D(114)는 모세관의 HV 단부에 실질적으로 근접하여 위치하며, 전형적으로 HV 단부로부터 10 내지 40mm이다.

[0147] 모세관 벽(112)의 절연 파괴를 회피하거나 최소화하기 위해, C4D는 HV 전위를 기준으로 하고(즉, HV 유체 블록(118)의 고전압과 동일한 고전압으로 충전됨), 이는 "모니터링된 샘플 부분(monitored sample portion)"에 걸쳐 모세관 내의 유체와 모세관(112) 외부의 C4D 전극들 사이에 고전압 강하가 인가되면 발생할 수 있다. 따라서, 모세관 벽에 걸친 전압 강하는 모세관(112)에 대해 특정된 미리결정된 절연 파괴 값과 동일하거나 작을 수 있다. C4D(114)가 HV 전위를 기준으로 하기 때문에, C4D(114)는 절연 전원(116)에 의해 전력이 공급되고, 그리고 C4D(114)는 C4D(114) 내에서 MCU 보드(132)로 연장되는 광 링크(152)의 형태로 전기적으로 분리된 통신 접속을 통해 통신한다(즉, 데이터 전송을 위해 전자 신호들을 송신 및 수신한다).

[0148] 절연된 C4D 서플라이(116)는 C4D(114)에 전력을 공급하기 위해 직류(DC) 절연 전력을 제공한다. 절연된 C4D 서플라이(116)는 HV 전원(122) 및 C4D(114)에 연결된 HV 부분(수신기)을 포함한다. 절연된 C4D 서플라이(116)는 (절연된 C4D 서플라이(116)의 HV 부분에 연결된) 시스템(100)의 HV면과 시스템(100)의 LV면 사이의 완전한 HV 전위 절연을 연결한다. 절연된 C4D 서플라이(116)는 C4D(114)에 전력을 전송하기 위해 LV 측상의 벌크 전원(136)에 전기적으로 접속된다. 절연된 C4D 공급부(116) 및 C4D(114)는 HV 전극에서 전기적으로 본딩된다.

[0149] HV 유체 블록(118)은 검출 모세관(112)의 HV 단부를 위한 유체 연결, 선택적 드레인 튜브(120)의 HV 단부를 위한 유체 연결 및 검출 모세관(112)을 위한 HV 전극을 제공한다. HV 유체 블록(118)은 열 구역(118) 내에 장착된다.

[0150] 장착된 경우, 드레인 튜브(120) 및 HV 유체 블록(118)은 검출 모세관(112)의 HV 단부로부터 드레인(110)으로의 전기 전도성 유체 경로를 제공한다. 드레인 튜브(120)의 LV 단부, 즉 "드레인 단부(drain end portion)"에는 HV 접지("GND") 전극이 연결되고, 이는, 드레인(110)과 거의 동일한 전압으로, "저전압(low voltage)" 또는 "접지 전압(ground voltage)"으로 지칭된다. 드레인(110)은 HV GND 전극(110A, 110B)의 형태로 저전압 포인트에 전기적으로 연결되고, 드레인(110) 및 드레인(110) (및 드레인 튜브(120)의 드레인 단부 부분)의 모든 유체는 LV 또는 접지 전위로 유지된다. 드레인 튜브(120)의 길이는 약 2 미터이다. 드레인 튜브(120)는 약 65㎛의 ID를 갖는다. 드레인 튜브(120)는 단부에서 단부까지 검출 모세관(112)의 전기 저항과 거의 동일한 전기 저항을 갖는다. 드레인 튜브(120)는 검출 모세관(112)의 유체 저항에 기초하여 선택되는, 예를 들어, 검출 모세관(112)의 유체 저항의 약 0.2 배 (또는 1/5)의 유체 저항을 갖는다.

[0151] HV 전원(122)은 고전압 전원을 HV 매니폴드(118) 및 절연된 C4D 전원(116)에 HV 유체 블록(118)을 통해 공급하는 HV 측상의 HV 출력을 포함한다. HV 전원(122)은 시스템(100)에 고전압을 제공하고, HV 관리 및 이온 속도의 요구 사항, 예컨대 36-40 킬로 볼트(kV)의 밸런싱에 의해 고전압이 선택된다.

[0152] 고전압 전원(122)은 일반적으로 100 마이크로 암페어(uA) 미만의 낮은 전류를 제공한다.

[0153] HV 전원(122)은 열 영역(140) 외부에 장착되어 열 영역의 체적을 감소시킨다.

[0154] HV 전원(122)은 후술하는 바와 같이 MCU 보드(132)로부터의 제어 신호에 의해 제어된다. HV 전원(122)은 HV 전원 동작을 모니터링하기 위해 전압 피드백 신호들 및 전류 피드백 신호들을 MCU 보드(132)로 전송한다. HV 전원(122)으로부터의 HV 출력은 아크 보호를 제공하기 위해 전류가 제한될 것으로 예상된다. HV 출력은 모세관(112)의 길이에 걸쳐 고전압이 인가되도록 HV 유체 블록 (118)의 HV 전극(118A)에 연결된다. HV GND 출력은 (선택적 드레인 튜브(120)의 LV 단부에 연결되는) 드레인(110) 내의 2개의 HV GND 전극들(110A) 및 주 유체 블록(118)에 각각 연결된다. HV GND 출력은 금속 섀시(148) 및 복수의 GND 전극들(108A, 110A)에 접속된다.

[0155] HV 전원(122)은 다음의 파라미터 값들을 가질 수 있다:

[0156] a. 40 kV DC의 DC 출력 전압, 0에서 40 kV DC까지 조절 가능;

[0157] b. 출력 리플 및 50 볼트 피크-투-피크(Vpk-pk) 미만의 잡음;

[0158] c. EMC는 EN55022(CISPR22) ClassB, FCC 클래스 B,

[0159] EN61000-4-2,3,4,5,6,8,1,1; 및

[0160] d. 작동 온도는 -40℃ 내지 + 65℃.

[0161] HV 전원(122)은 상업적으로 이용 가능한 전원, 예를 들어, 미국 울트라 볼트 (UltraVolt, Inc)로부터의 40A12-P4 또는 스펠맨 인코포레이티드(Spellman Inc.)로부터의 UM40P4일 수 있다.

[0162] 팬(124)은 모세관(112) 온도의 변화에 의해 야기된 분리 변동을 완화시키기 위해 히터 (128)를 통해 모세관(112) 주위의 공기를 유도한다.

[0163] 적어도 하나의 온도 센서(126)는, 이후에서 서술된 것처럼 MCU 보드(132)에 연결되어 열 영역 내의 온도를 관리하는 제어 루프에 대한 온도 정보를 제공하는 상업적으로 이용 가능한 컴포넌트(예를 들어, 텍사스 인스트루먼트의 TMP100 또는 TE Connectivity의 MS8607)를 포함한다. 온도는 실온보다 높을 수 있는 공칭 온도 (예를 들어, 섭씨 35도 또는 섭씨 55도)로 조절될 수 있다.

[0164] 히터(128)는 예를 들어 펄스 폭 변조(PWM)를 사용하여 생성된 전기 신호를 사용하여 MCU 보드(132)에 의해 제어되는 전기 저항 가열 요소이다. 이 컴포넌트의 실제 전력 및 폼 팩터는 디바이스의 작동 온도 범위에서 안정된 온도를 유지하는 데 필요한 최대 전력과 일치하는 20W의 최대 열 출력을 가지도록 선택된다.

[0165] 내장형 컴퓨터(134)는 이용 가능한 운영 시스템, 예를 들어 마이크로 소프트 윈도우 또는 리눅스를 갖는 PC의 형태일 수 있거나 강건한 특수 목적의 운영 시스템일 수 있다. 내장형 컴퓨터(134)는 MCU 보드(132)와 통신하고, 사용자 인터페이스(UI) 프로세스를 실행(또는 구현)하여 UI를 제공하는 플랫폼을 제공한다. 내장형 컴퓨터(134)는 운영자를 위한 UI를 제공하는 반면, 시스템(100)을 개발, 테스트 또는 디버깅하는 사람("개발자" 또는 "디버거"라고 함)은 디버그 포트(146)를 사용하여 MCU 보드(132)에 액세스할 수 있다.

[0166] 벌크 전원(136)은 전력 인렛(138)을 통한 입력으로서 AC 주 전력을 수신하는 스위치 모드 전원("스위치 모드 파워 서플라이"로도 알려짐)일 수 있고, 그리고 MCU 보드(132), 팬(124), HV 전원(122) 및 격리된 C4D 전원(116)에 전력을 공급하기에 적합한 출력으로서 DC 전압(예를 들어, 12V)을 제공한다. 전력 인렛(138)은 표준 IEC(International Electrotechnical Commission) 메인 케이블 및 플러그를 통해 표준 소켓(예 : 벽 소켓)에 연결하고 이로부터 전원을 공급받을 수 있다. 벌크 전원(136)은 다음 파라미터 값들을 가질 수 있다:

[0167] a. 12VDC로 규정된 DC 출력 전압;

[0168] b. 120mV pk-pk로 지정된 출력 리플 및 노이즈;

[0169] c. 230 VAC 입력에서 측정된 89%의 일반 효율.

[0170] d. 85 내지 264 VAC의 AC 입력 전압;

[0171] e. 47 내지 63 Hz의 AC 주파수 범위;

[0172] f. UL 60950-1에 승인된 안전 표준;

[0173] g. EN55022를 준수하는 전자파 적합성(EMC)(CISPR22) ClassB, FCC 클래스 B, EN61000-3-2, -3;

[0174] h. 고온에서 경감될 수 있는 -40℃ 내지 +70℃의 작동 온도; 및

[0175] i. 크기 159 x 97 x 38 mm (길이 x 폭 x 길이 - LxWxH).

[0176] 벌크 전원(136)은 또한 적절한 배터리 팩이 장치에 전원을 제공할 수 있도록 특정된 저전압 DC-DC 변환기일 수 있다. 출력 DC 전압(예컨대, 12V)은 MCU 보드(132), 팬(124), HV 전원(122) 및 격리된 C4D 서플라이(116)에 전력을 공급하기에 적합할 것이다. 히터(128)는 변환 손실을 피하기 위해 배터리 팩으로부터 직접 전력을 공급받을 수 있다.

[0177] 벌크 전원(136)은 대만의 MEAN WELL 사의 "HRP-150-12"와 같은 상업적으로 이용 가능한 전원의 요소일 수 있거나 또는 그 요소를 포함할 수 있다.

[0178] C4D(114)를 포함하는 시스템(100) 내의 민감한 HV 컴포넌트들은 전기적으로 패러데이 케이지(Faraday Cage)에 밀폐되어 HV 서브어셈블리에 하우징될 수 있다.

[0179] MCU 및 IO 보드(132)는 전자 인터페이스 및 컴퓨팅 자원을 제공하여 시스템 (100)의 다른 전자 및 유체 컴포넌트를 제어한다. MCU 및 IO 보드(132)는 시스템(100) 내의 관련 밸브들, 펌프들 및 모터들을 제어함으로써 여기에 서술된 용출 방법을 제어한다. MCU 및 IO 보드(132)는 시스템(100) 내의 센서들로부터의 측정값을 나타내는 신호들을 수신하고, 내장형 컴퓨터(134)의 UI와 통신한다.

[0180] 시스템(100) 내의 센서들은, 온도 센서(126); C4D(114); HV 모세관의 LV 단부, 지면 매니폴드의 중간 지점에서 압력을 모니터링하고 에어 펌프가 장착된 경우 공기 압력을 모니터링하는 압력 센서들을 포함한다.

[0181] MCU 및 IO 보드(132)는 내장형 컴퓨터(134)와 통신하기 위한 복수의 UART들, ADC 채널들, DAC 및 PWM 채널들, I2C(Inter-Integrated Circuit) 제어기들, SPI(Serial Peripheral Interface) 인터페이스들, 타이머 및 카운터들, C4D(114), 용적식 펌프 또는 펌프들(156), 히터(128), 포트(146)에 연결된 디버깅 컴퓨터, 센서들 및 HV 전원(122)과 같은 전원을 포함할 수 있다.

[0182] 특히, 도 2에 도시된 바와 같이, MCU 및 IO 보드(132)는 다음의 인터페이스들을 포함한다:

[0183] a. 유체 처리 방법에서 주 유동체 블록(108)을 제어하기 위해 밸브-펌프 제어 라인(154)을 통해 전송할 신호들을 생성하는 복수의 솔레노이드 밸브-제어 인터페이스(202)(각각의 인터페이스 회로를 구비함);

[0184] b. 용적식 펌프 제어 인터페이스(206)를 포함하여 유체 처리 방법에서 용적 형 펌프 또는 양수 펌프를 제어하기 위해 용적식 펌프 라인(156)을 통해 보내지는 신호들을 생성하는 펌프 제어 인터페이스;

[0185] c. 용적식 펌프들에 대한 (PWM 인터페이스들 및 디지털 인터페이스들 형태의) 인터페이스들(204)을 제어하기 위해 IO 보드(132)를 통해 전송될 신호들을 생성하는 복수의 펌프-제어 인터페이스들;

[0186] d. 직렬 통신 표준, 예컨대 비동기 직렬을 사용하여 통신하도록 구성된 UART를 포함하는 내장형 컴퓨터(134)와 통신하기 위한 인터페이스(208);

[0187] e. 버퍼링된 PWM 신호를 제공하는 히터 제어를 위한 인터페이스(232)("스위치드 12V 출력");

[0188] f. I2C 표준에 따라 동작하는 적어도 하나의 온도 센서(126)를 위한 인터페이스(234)("오프 보드 센서");

[0189] g. I2C(Inter-Integrated Circuit) 표준에 따라 작동하는, 예를 들어, HV 모세관의 압력을 측정하기 위해 주 유동체 블록 상의 하나의 압력 센서에 대한 인터페이스(234)("오프 보스 센서들");

[0190] h. 광 링크(152)를 통해 통신하도록 구성된 범용 비동기 송수신기(UART)를 포함하는 광 링크(152)를 통해 C4D(114)와 통신하는 인터페이스(216);

[0191] i. HV 전원을 제어하기 위해 HV 전원(122)에 제어 신호들을 전송하는 인터페이스(218); 예를 들어, HV 전원에 대한 입력 범위에 대응하는 선택된 범위, 예를 들어, 0 내지 5V의 출력 전압을 갖는 DAC;

[0192] j. HV 전원(122)로부터 전압 피드백 신호들을 수신하기 위한 인터페이스 (218); 예를 들어, MCU상의 ADC 입력 범위에 대응하는 선택된 범위, 예를 들어 0 내지 3V의 입력 전압을 갖는 ADC;

[0193] k. HV 전원(122)으로부터 전류 피드백 신호들을 수신하기 위한 인터페이스 (218); MCU상의 ADC 입력 범위에 대응하는 선택된 범위, 예를 들어 0 내지 3V의 입력 전압을 갖는 ADC; 및

[0194] i. 절연된 C4D 서플라이(116)에 전력을 전송하기 위한 인터페이스(236)("스위치드 5V 출력").

[0195] MCU(또는 "마이크로 컨트롤러")는 1MB의 내장형 플래시 메모리, 192KB의 SRAM 및 64KB의 데이터 RAM을 갖춘 ARM Cortex-M4를 포함할 수 있다. MCU에 포함 된 메모리는 MCU에 최대 클럭 속도, 예를 들어 168 MHz로 RAM의 명령어 및 데이터에 대한 0 대기 상태 액세스를 제공할 수 있다. MCU는 내장형 컴퓨터(134)와의 데이터 수집, 처리 및 데이터 통신을 수행하기에 충분한 RAM을 가질 수 있다. 이러한 MCU는 시스템(100)의 다른 컴포넌트들과 통신하기 위한 입출력 인터페이스들 및 주변 장치들을 갖추고 있다. MCU는 상업적으로 입수 가능한 마이크로 컨트롤러, 예를 들어, STMicroelectronics N.V.("ST")의 STM32F405VGT6 일 수있다.

[0196] 솔레노이드 드라이버 IC와 같은 집적 회로(IC)는 저 전류 마이크로 컨트롤러 출력들을 고전류 주변 장치들에 연결하는데 사용할 수 있으며 그리고 다음과 같은 파라미터들 값들 및 피처들을 가질 수 있다.

[0197] a. 0.9A와 2.5A 사이의 출력 전류 제한, 일반적으로 1.2A;

[0198] b. 통상적으로 0.55 옴 및 1.1 옴까지의 온 저항;

[0199] c. 통상적으로 0.075 A의 솔레노이드 전류;

[0200] d. 과전압 보호 및 과전류 보호 기능을 포함한 결함 허용 피처들, 손상없이 단락된 솔레노이드 코일을 견딜 수 있는 구성;

[0201] e. 열 셧다운 피처들, 즉, 과전류 오류의 경우, IC는 내부 온도가 너무 높아지면 스위치가 꺼지고 과전류 오류가 제거되면 자동으로 다시 시작;

[0202] f. 각 출력의 상태에 관한 정보를 나타내는 진단 신호를 제공하고 개방 부하 및 과전압 조건을 나타냄;

[0203] g. IC에서 방출된 전자기 방사를 완화하고 솔레노이드 코일들로부터 유도성 과도 현상을 완화하며 그리고 솔레노이드 드라이버 IC의 전기적 스트레스를 줄이기 위해 부하 스위칭 중 제어된 슬루 레이트;

[0204] h. MCU에 직접 접속하기 위한 인터페이스, 및 IC마다 각각의 주변 장치에 대한 복수의 제어 출력들(예를 들어, 16)을 포함하며, MOSFET들 및 과전류 경감 회로에 기초한 등가 회로보다 적은 컴포넌트를 허용한다.

[0205] 솔레노이드 드라이버 IC는 상업적으로 이용 가능한 IC, 예를 들어, "프리스케일" MC33996 (NXP Semiconductors, 네덜란드)일 수 있다.

[0206] 하이-사이드 스위치 IC와 같은 IC는 다수의 MCU 출력들을 고전류 12V 부하를 필요로하는 인터페이스 232("스위칭된 12V 출력들") 주변 장치에 연결하는 데 사용될 수 있다. 고전류 부하는 HV 전원(122); 공기 펌프(130); 및 히터(128)를 포함한다. 이 IC는 다음의 파라미터 값들 및 피처들을 가질 수 있다:

[0207] a. 최대 9A(채널당)의 출력 전류 제한;

[0208] b. 통상적으로 0.05 옴 및 0.1 옴까지의 온 저항;

[0209] c. 과전압 보호 및 과전류 보호를 포함하는 결함 허용 피처들 및 단락된 부하에 대한 출력 전류를 제한하는 구성;

[0210] d. 열 셧다운 피처들, 즉, 과전류 오류의 경우, IC는 내부 온도가 너무 높아지면 스위치가 꺼지고 과전류 오류가 제거되면 자동으로 다시 시작;

[0211] e. 각 출력의 출력 전류에 관한 정보를 나타내고 그리고 고장 조건들을 나타내는 진단 신호들을 제공; 및

[0212] f. IC에서 방출되는 전자기 방출들을 완화하고, 고전류 부하들의 유도성 과도 현상들을 완화하며, 그리고 IC의 전기적 스트레스 및 온보드 전원들에 대한 간섭을 줄이기 위해 부하 스위칭 중에 제어된 슬루 레이트(또는 "슬로프 제어").

[0213] 고전류 12V 인터페이스들은 상업적으로 이용 가능한 IC, 예를 들어 스위스 ST의 VNQ7050일 수 있다.

[0214] 하이-사이드 스위치 IC와 같은 IC는 MCU의 제어 신호들을 절연된 C4D 서플라이(116)와 같은 5V 전력을 필요로하는 주변 장치들에 연결하는데 사용될 수 있다. 하이사이드 스위치는 다음의 파라미터 값들 및 특성들을 가질 수 있다.

[0215] a. 0.5와 5A 사이의 출력 전류 제한;

[0216] b. 통상적으로 0.022 Ohm의 온 저항, 최대 0.035 Ohm의 온 저항;

[0217] c. 과열 및 과전류 보호 기능을 포함한 결함 허용 피처들 및 손상 없이 단락된 출력을 견딜 수있는 구성;

[0218] d. MCU에 진단 출력을 제공하는 것을 포함하는 진단 피처들; 및

[0219] e. 출력상의 오류가 다른 출력과 간섭하지 않거나 IO 보드를 손상시키지 않도록 전류 출력 세트를 설정.

[0220] 하이-사이드 스위치 IC는 상업적으로 이용 가능한 IC, 예를 들어 Texas Instruments 사의 TPS2557일 수 있다.

[0221] MCU("범용 입력 x 12")에 대한 범용 입력들(238)은 스위치 검출 인터페이스를 포함하고, 이 스위치 검출 인터페이스는 최대 22개의 입력 상태들을 읽을 수 있고 그리고 읽기 상태들을 나타내는 정보를 SPI 인터페이스(인터페이스 238, "입력 수신기")를 통해 MCU로 전송할 수 있다. 통합 피처들에는 다음이 포함될 수 있다:

[0222] a. 습윤 전류: IC는 각 스위치 입력에서 12V까지의 일정한 전류 풀-업 또는 GND로의 풀-다운을 제공하며 이는 스위치 접점을 통해 알려진 습윤 전류를 제공하여 스위치 접점의 유효 수명을 연장시킬 수 있고 그리고 신뢰성을 향상시킨다.

[0223] b. 아날로그 측정: IC는 모든 입력 채널을 아날로그 입력 핀으로 스위칭할 수 있어 MCU가 모든 입력 채널의 전압을 측정할 수 있으며, 이는 MCU 보드 132의 아날로그 입력들의 수를 늘리는데 사용할 수 있다.

[0224] c. 결합 허용: 이 IC는 모든 입력들에 대해 정전기 방전(ESD) 및 과전압으로부터 보호된다.

[0225] 스위치 검출 인터페이스는 상업적으로 이용 가능한 IC, 예를 들어 Freescale Semiconductor 사의 MC33978을 포함할 수 있다.

[0226] 도 3에 도시된 바와 같이, MCU 보드(132)는 벌크 12V 전원(136)으로부터의 입력 전력을 MCU 보드(132)에서 사용하기 위한 다수의 더 낮은 전압으로 변환하기 위한 복수의 온보드 전원들(300)을 포함한다. 전원들(300)은 선형(LDO) 및 스위칭 형 서플라이들을 포함한다. 아날로그 회로에 선명한 전원을 공급하기 위해 저잡음 선형 레귤레이터들이 포함되어 있으며 스위칭 레귤레이터는 다음과 같은 다양한 부하들에 대해 고전류 5V 전원을 공급한다.

[0227] a. 5V 전원(302);

[0228] b. 2개의 독립적인 3.3V 디지털 서플라이들(304A, 304B), 각각 최대 300mA;

[0229] c. 3.3V 아날로그 서플라이(306); 및

[0230] d. 7V 서플라이(308).

[0231] 5V 서플라이(302)는 다음의 피처들을 제공하도록 선택된 최대 3.5A에서 5V 또는 3.3V를 제공하기 위해 하나 이상의 동기식 벅 레귤레이터 IC들(예컨대, 상업적으로 이용 가능한 LT8610)을 포함한다:

[0232] a. 12V를 5V 또는 3.3V로 변환할 때 90% 이상의 효율;

[0233] b. 5V로 전력을 공급받는 다른 레귤레이터들의 파워 온 시퀀싱을 제어하는 "파워 굿" 출력으로서, 5V 서플라이가 강하하는 경우, 마이크로 컨트롤러는 깨끗하게 리셋될 것임; 및

[0234] c. 마이크로 컨트롤러가 스위칭 주파수를 설정할 수 있어 스위칭 노이즈가 다른 민감한 측정과 간섭하지 않도록, 예를 들어 마이크로 컨트롤러에 의해 제공된 외부 클록으로부터 신호들을 수신하는 클록 입력.

[0235] 두 개의 독립적인 3.3V 서플라이는 저잡음 서플라이, 예를 들어 듀얼 선형 레귤레이터(예를 들어, 시중에서 판매되는 ISL9012)로 다음과 같은 기능을 제공한다.

[0236] a. 3.3V 서플라이들 중 하나가 아날로그 회로에 전력을 공급하기 때문에 발생하는 낮은 출력 노이즈; 및

[0237] b. 다른 3.3V 서플라이들이 MCU의 리셋 입력을 제어하기 때문에 발생하는 마이크로 컨트롤러 리셋.

[0238] 저잡음 유형일 수 있는 7V 서플라이는 컨트롤러 보드 PCB의 아날로그 회로에 전력을 공급할 수 있다. 선형 레귤레이터(예를 들어, 시중에서 판매하는 TPS7A4101) 또는 스위칭 +/- 7V 서플라이를 사용하여 DAC 및 기타 아날로그 컴포넌트의 연산 증폭기(opamp)들에 최대 50mA를 공급할 수 있다.

[0239] 전술한 바와 같이, MCU 및 IO 보드(132)는 시스템(100) 내의 센서들로부터의 측정치를 나타내는 신호들을 수신하고, 그리고 시스템(100) 내의 센서들은 온도 센서(126); C4D(114); 아날로그 압력 센서(예를 들어, 휘트스톤 브리지 타입); 및 디지털 압력 센서(Inter-Integrated Circuit type)가 있다.

[0240] 센서 브리지 인터페이스(또는 "브리지 센서 인터페이스")는 압력 센서 또는로드 셀과 같은 휘트스톤 브리지 유

형 센서들을 측정하는 데 사용될 수 있다. 센서 브리지 인터페이스는 온칩에 통합된 다음과 같은 피처들을 갖추고 있다(일반적인 멀티 칩 구현에 비해 부품 수를 줄이고 성능을 향상시킴).

[0241] a. 고해상도 ADC : 통합 24비트 ADC는 스케일링 및 선형 오류가 있는 프론트 엔드 증폭기가 필요없이 센서 브리지에서 MCU로의 출력을 직접 디지털화한다.

[0242] b. 매우 낮은 드리프트와 오프셋을 제공하는 통합된 자체 교정;

[0243] c. 50 Hz, 60 Hz 및 대역 외 잡음을 제거하는 통합 디지털 필터들; 및

[0244] d. 통합된 I2C 인터페이스를 통해 여러 브리지 센서들을 MCU 보드(132)의 단일 I2C 버스에 연결하여 PCB 복잡성과 외부 배선을 감소시킴.

[0245] 센서 브리지 인터페이스는 상업적으로 이용 가능한 IC, 예컨대 리니어 테크놀로지(Linear Technology)의 LT2485를 포함할 수 있다.

[0246] 전술한 바와 같이, 간단한 가스제거 필터 대신에 가스제거 매니폴드가 사용된다면, 진공 어큐뮬레이터의 절대 압력을 유지하기 위해 압력 센서가 필요하다. 압력 센서는 전기적 배선 및 전기적 노이즈에 대한 민감성을 최소화하기 위해 MCU 보드(132) 상에 장착될 수 있다. 압력 센서는 압 저항식 감지 소자를 포함한다. 압력 센서가 보정되고 온도가 보상된다. 압력 센서는 압력에 직접 비례하며 전압을 공급한다. 압력 센서는 MCU 보드(132)의 PCB에 직접 납땜된 듀얼 인라인 패키지 (DIP)에 하우징된다. 압력 센서는 공기/진공 펌프(130)의 출력에 연결된 가요성 튜빙에 연결하기 위해 케이스 본체의 측면으로부터 돌출하는 가시(barbed) 포트를 갖는다. 압력 센서는 하니웰(Honeywell)의 HSCDRNN030PAAA3과 같은 상업적으로 이용 가능한 IC일 수 있다.

[0247] 도 2에 도시된 바와 같이, 섀시(148)가 평평한 표면, 즉 중력을 가로지르는 표면상에 있는지를 결정하기 위해 시스템(100)이 사용하는 3축 가속도계 회로 (230)(3개의 선형 가속도계들 또는 3개의 직각 치수로 정렬된 변환기 포함)를 MCU 보드(132)가 포함한다. 정상적인 정역학 작동 조건을 유지하고 샘플 입력 블록 (102)의 정확한 동작을 위해 선택된 방향(즉, 기울어지지 않음)으로 시스템(100)을 작동시키는 것이 바람직할 수 있다. 가속도계 회로(230)는 X, Y 및 Z 축 가속도 정보를 나타내는 전자 신호들을 MCU에 제공하며, MCU는 중력의 방향을 분석함으로써 기울기를 결정한다. 가속도계 회로(230)는 I2C 버스를 통해 MCU와 통신하기 위한 I2C 인터페이스를 포함하여 MCU 보드(132) 상에 장착될 수 있다. 가속도계 회로 (230)는 상업적으로 이용 가능한 가속도계, 예를 들어 Freescale사의 MMA8451Q를 포함한다.

[0248] C4D(114)는 전술한 바와 같이 모니터링된 부분 내의 유체의 전기 복합 전도도를 측정한다. 모니터링된 부분은 모세관(112)의 섹션이다. C4D(114)는 용량성으로 결합된 전극에 의해 모니터링된 부분에 인가된 가변 주파수 사인파 AC 자극의 크기 및 위상을 측정한다.

[0249] 도 4에 도시된 바와 같이, 용량성 결합 전극은 전술한 커패시터를 형성하는 한 쌍의 전극, 즉, 송신(Tx) 전극(402) 및 수신(Rx) 전극(404)이다. Tx 전극(402) 및 Rx 전극(404)은 인쇄 회로 기판(PCB) 어셈블리로서 제조될 수 있다. 용량적으로 결합된 전극들은 PCB를 관통하는 모세관(112)과 함께 인쇄 회로 기판상에 도금된 관통 구멍일 수 있고, PCB들 사이에 샌드위치된 비 도전성 공간 재료에 의해 작은 거리, 예컨대 1mm가 이격된다. C4D(114)는 2개의 전극들(402, 404) 사이의 불필요한 누화를 감소시키기 위해 Tx 및 Rx 전극(402, 404) 사이에 장착된 전기 스크린 (418)("능동 차폐물"이라고도 함)을 포함한다. 전기 스크린(418)은 Tx 및 Rx PCB 상의 접지면이다.

[0250] AC 자극은 송신 전극(402)에 보내지는 정현파 자극 파형("Tx 신호"라고 함)을 포함하고, 결과 AC 전류는 수신 전극(404)에서 측정된다. 결과로 나오는 AC 전류는 모니터링되는 부분의 유체 복합 전도도를 나타내며 그에 비례한다.

[0251] Tx 신호는 주파수를 가지며, 이 주파수는 Tx 및 Rx 전극들(402, 404)의 기하학적 구조에 기초하여 선택되어 최상의 식별 및 감도, 및 잡음 내성, 예컨대 공칭적으로 1.001 MHz를 제공한다.

[0252] Rx 전극(404)으로부터의 Rx 신호는 감지 전류의 형태로 < 2 uA로 매우 작고, 도 4에 도시된 바와 같이, C4D(114)는 Rx 전극(404)으로부터의 Rx 신호를 증폭하여이를 Rx 전압 신호로 변환하는 저잡음 트랜스 임피던스 증폭기의 형태인 Rx 증폭기 (406)를 포함한다.

[0253] C4D(114)는, Rx 증폭기(406)로부터 Rx 전압 신호를 수신하고, Rx 전압 신호를 디지털화(또는 "샘플링")하고 그리고 결과적인 디지털화된 Rx 신호를 C4D 프로세서(410)로 전송하는 Rx ADC 회로(408)(앤티-펠리어싱 회로, 버

퍼 및 ADC를 포함)을 포함한다. Rx ADC 회로(408)는 초당 100 메가 샘플(MSPS)의 고속 컨버터이다.

[0254] C4D 프로세서(410)는 ADC 회로들(408, 412)로부터의 신호를 연속적으로 판독 (또는 수신)하고, 그리고 C4D 신호 처리 방법(후술 됨)을 연속적으로 실행하여 이들 수신된 디지털 신호들을 필터링 및 변환하고, 모니터링된 부분의 복소 도전율 정보(즉, 복합 전도도 값)를 추출한다. C4D 프로세서(410)는 추출된 복합 전도도 정보를 나타내는 신호를 생성하여 광 링크(152)를 통해 MCU 보드(132)로 전송한다. C4D 프로세서(410)는 디지털화된 Rx 신호를 필터링하고, 필터링된 디지털 Rx 신호를 크기 및 위상 정보(전자 크기 및 위상 신호들로 표현)로 변환하는 것을 포함하여 C4D 신호 처리 방법을 수행하도록 구성된 FPGA(field-programmable gate array) 위상 신호)를 포함한다.

[0255] C4D(114)는 C4D 프로세서(410)에 연결된 Tx DAC(414)를 포함한다. C4D 프로세서(410)는 Tx DAC(414)를 구동하여 Tx 전극(402)에 대한 여기 신호(예를 들어, 1.001MHz 사인파)를 발생시킨다. 여기 신호는 Rx 전극(404)에서의 신호-대-잡음비를 향상시키기 위해 높은 진폭(예를 들어, 25 Vpk-pk)을 갖는다. DAC(414)로부터의 여기 신호는 Tx 필터 회로(416)를 통과하여 Tx 전극(402) 및 Tx ADC 회로(412)에 대한 Tx 신호를 생성한다.

[0256] C4D(114)는 또한 Tx 신호, 즉, Tx 전극(402)에 전송되는 동일한 Tx 신호를 수신하는 Tx ADC 회로(412)(Rx ADC 회로(408)의 앤티 앨리어싱 필터, 버퍼 및 ADC와 유사한 앤티 앨리어싱 필터, 버퍼 및 ADC를 포함함)를 포함한다. Tx ADC 회로(412)는 Tx 신호를 디지털화하여 C4D 프로세서(410)로 전송하고, 이러한 C4D 프로세서(410)는 C4D 신호 처리 방법에서 C4D(114)의 Tx DAC와 Rx ADC 사이의 아날로그 섹션 내의 이득 에러 및 온도 드리프트를 보상하기 위해 디지털화 된 Tx 신호를 사용한다.

[0257] 도 4에 도시되지 않은 보조 저속 ADC는 C4D(114) 내의 C4D 공급 전압을 측정하고, 결과 측정된 공급 전압은 C4D 처리 방법에서 신호 상관을 통한 전원 변동의 영향을 보정하는데 사용될 수 있다. 보조 ADC는 SPI 인터페이스를 통해 C4D 컨트롤러(410)와 통신할 수 있으며 상업적으로 이용 가능한 ADC IC(예를 들어, Linear Technology LTC1408)일 수 있다.

[0258] DAC(414)는 스퓨리어스 고조파 또는 이미지 산물의 생성을 완화하기 위해 ADC 회로들(408, 412)과 동일한 샘플레이트로 실행된다. DAC는 차동 전류 출력을 가질 수 있다. 전류를 전압으로 변환하기 위해 DAC 출력들은 접지에 대한 저항으로 종결된다. DAC는 상업적으로 이용 가능한 DAC, 예를 들면, Analog Devices AD9704일 수 있다.

[0259] Tx 전극(402)과 Rx 전극(402) 사이의 결합은 고저항이다. Tx 전극(402)은 높은 진폭으로 구동되어 SNR을 향상시킨다. DAC(414)로부터의 여기 신호는 Tx 필터 회로(416)에 의해 필터링된 샘플링 클록(420)으로부터의 고주파 잡음을 갖는다.

[0260] 도 6에 도시된 바와 같이, Tx 필터 회로(416)는 저역 통과 필터(LPF)(417A) 형태의 앤티 앨리어싱 필터; 및 대역 통과 필터 및 버퍼를 제공하는 대역 통과 필터(bandpass filter, BPF)(417B)를 포함한다. DAC(414)의 차동 출력은(LPF)(417A)의 Tx 필터 회로(416)의 부하 저항에서 종단되어, 각 출력에 공칭 풀 스케일 전압(예 : +400mV)을 제공한다. 2단 필터의 공칭 이득은 Tx 필터 회로(416)의 출력 op앰프를 클리핑없이 (예를 들어, 대략 25Vpk-pk) 풀 스케일로 구동하도록 선택된다. BPF(417B) 내의 Tx 필터 회로(416)의 출력 op 앰프는 저항 직렬 종단(R55)(예를 들어, 50Ω)을 갖고, (i) Tx 전극(402)의 캐패시턴스; (ii) PCB 추적으로부터 출력 op 앰프를 분리한다. Tx 필터 회로(416)의 출력 op 앰프는 +15V 전원으로부터 실행되는 듀얼 op 앰프일 수 있으며, 이는 고출력 드라이브로 저잡음(175MHz GBW, 230V/us 슬루 레이트, 10 나노볼트/제곱근 - 헤르츠-nV/VHz)으로 빠르다. Tx 필터 회로(416)의 출력 op 앰프는 상업적으로 이용 가능한 op 앰프, 예를 들어 TI THS4082일 수 있다.

[0261] 도 7에 도시된 바와 같이, Rx 증폭기(406)는 프론트 엔드 버퍼로서 저잡음 JFET 트랜지스터를 포함하고, op 앰프 스테이지가 뒤따른다. JFET는 op 앰프 스테이지보다 낮은 잡음을 가질 수 있으므로 하이브리드 회로는 op 앰프 스테이지보다 나은 성능을 보일 수 있다. 회로 Rx 증폭기(406)의 이득은, 예를 들면 다음과 같이 설정된다. 입력 전류는 100mV/uA이다. op 앰프는 상업적으로 이용 가능한 op 앰프(예를 들어, LT 6236IS6)와 같이 매우 낮은 전압 잡음(예를 들어, 1.1 nV/ VHz)의 빠른 op 앰프(예를 들어, 215 MHz GBW, 70 V/us)일 수 있다. 입력 노드에서의 부유 용량의 영향들을 완화하기 위해, 스크린(418)(또는 "능동 차폐물")은 Rx 증폭기(406)의 op 앰프 회로 위에 배치된다. 스크린(418)은 Rx 증폭기(406)의 출력의 DC 성분으로 구동되므로, 스크린 (418)으로부터 입력 노드까지의 임의의 부유 용량은 효과적으로 비 충전된다. 저역 통과 필터는 출력의 고주파수 성분을 제거하고, 스크린(418)을 구동하기 위해 DC 전압을 남긴다.

[0262] ADC 회로들(408, 412)은 차동 잡음 제거를 위해 송신 신호 및 수신 신호를 동시에 샘플링할 수 있게하는 듀얼

채널 ADC를 포함한다. 듀얼 채널 ADC는 목표 SNR을 달성하기에 충분한 샘플 속도와 정밀도를 갖추고 있다. 이하에서 설명되는 바와 같이, C4D 제어기(410)에서의 후속하는 필터링 및 데시메이션(decimation)은 오버 샘플링 이론에서 기술된 바와 같이 보다 낮은 샘플 속도로 더 높은 정밀도로 출력을 생성한다. 듀얼 채널 ADC는 상업적으로 이용 가능한 ADC(예를 들어, Maxim MAX19516)일 수 있다.

[0263] ADC 회로(408, 422) 각각은 각각의 ADC의 입력을 구동하기 위해 앤티 앨리어싱 필터 및 버퍼를 포함한다. 안티-앨리어싱 필터는 샘플링된 데이터 내에서 원하지 않는 이미지를 생성하는 ADC의 나이키스트 주파수보다 높은 주파수, 특히 측정되는 신호와 동일한 주파수에서 이미지 주파수를 생성하는 노이즈를 롤오프한다(예를 들어, 100 - 99 = 1 MHz). 안티-앨리어싱 필터는 이 노이즈를 감쇄시켜 C4D 측정에 미치는 영향을 줄인다. op 앰프의 양극 입력 핀 및 음극 입력 핀의 입력 임피던스는 공통 모드 제거를 제공하기 위해 매칭된다. op 앰프는 상업적으로 이용 가능한 op 앰프일 수 있다(예를 들어, TI THS4521).

[0264] 도 8에 도시된 바와 같이, C4D(114)는 격리된 C4D 서플라이(116)의 HV 전력 모듈(600) 내의 복수의 상이한 전원들로부터 전력을 수신한다.

[0265] 격리된 C4D 서플라이(116)는 절연 인클로저(140) 외부에 장착된 무선 전력 송신기 모듈 및 C4D(114)의 외부에 장착된 수신기 모듈을 포함한다. C4D 모듈을 둘러싼 절연 인클로저는 LV와 HV면 사이에서 최소 60 킬로볼트(kV) 절연을 제공하는 송신기 모듈(LV에서)과 수신기 모듈(HV에서) 사이에 절연을 제공한다. 단열재는 절연 유형(예를 들어, 연면 거리가 170mm 이상인 10mm 두께의 투명 PVC)일 수 있다. 수신기 모듈의 수신기 코일(602)은 상이한 크기의 코일에 대한 향상된 커플링 효율 및 분리 허용 오차를 위해 송신된 모듈의 송신기 코일과 동일한 물리적 크기일 수 있다. 무선 전력 전송 모듈은 C4D 모듈에 최대 1A의 +5V를 제공할 수 있으며 Wurth bq500212AEVN-550(송신기) 및 bq51013BEVM-764(수신기)와 같은 상용 모듈을 기반으로 할 수 있다.

[0266] 도 8에 도시된 바와 같이, 격리된 C4D 서플라이(116)의 HV 전력 모듈(600)은 수신기 코일(602)로부터 전력을 수신하는 무선 전원 수신기(606), 및 출력 전원 (606)에 전력(예를 들어, 접지 및 + 5V)을 제공한다.

[0267] 도 8에 도시된 바와 같이, 격리된 C4D 서플라이(116)의 출력 전원(606)은 ADC의 프론트 엔드 및 C4D의 op 앰프 버퍼들에 전력을 공급하기 위해 아날로그(저잡음) 전원(예를 들어, 최대 100mA에서 3V)를 포함한다. 아날로그(저잡음) 전원은 전압 수퍼바이저 IC에 의해 제어되는 인 에이블 입력을 가지므로, 무선 전력 수신기(604)로부터 공급되는 경우에 아날로그(저잡음) 전원은 깨끗하게 재시작된다. 아날로그(저잡음) 전원은 선형 레귤레이터 IC를 포함할 수 있으며, 상업적으로 이용 가능한 IC, 예를 들어, U11, ADP151-3.0V일 수 있다.

[0268] 도 8에 도시된 바와 같이, 절연된 C4D 서플라이(116)의 출력 전원(606)은 Rx 증폭기(406)에 대한 저잡음 전원을 포함한다. 이 전원은, 저잡음 선형 레귤레이터에 의해 이후에 (예를 들어, 5V로) 레귤레이트 다운되는 무선 전력 수신기(604)로부터의 입력(예를 들어, 5V)보다 높은 중간 전압(예를 들어, 6V)을 제공하는 부스트 컨버터를 포함한다. 부스트 컨버터는 C4D(114)의 측정 대역폭 내의 전압 조정기로부터의 스위칭 잡음을 완화하기 위해 동기 입력을 갖는다(따라서 스위칭 주파수는 C4D 제어기(410)로부터의 외부 기준에 고정될 수 있다). 부스트 컨버터는 전압 수퍼바이저 IC에 의해 제어되는 인에이블 입력을 가지므로, 무선 전력 수신기(604)로부터 공급되는 경우에 아날로그(저잡음) 전원이 깨끗하게 재시작된다. 부스트 컨버터는 상업적으로 이용 가능한 컨버터, 예를 들어 Texas Instruments TPS55340일 수 있다. 선형 레귤레이터는 프런트-엔드 앰프에 전력을 공급하기 때문에 잡음이 적다. 선형 레귤레이터는 부스트 컨버터 출력(예를 들어, 6V)과 호환 가능한 입력 전압 범위를 가질 수 있다. 선형 레귤레이터는 상업적으로 이용 가능한 레귤레이터, 예를 들면, Analog Devices ADP7142-5.0V일 수 있다.

[0269] 도 8에 도시된 바와 같이, 절연된 C4D 서플라이(116)의 출력 전원(606)은 C4D 제어기(410) 용 코어 전원을 포함한다. 코어 전원은 C4D 제어기(410)의 특정 전력 요건에 기초하여 선택된다. 프로그래밍 가능한 디지털 코어를 위해 1.1V 전원을 요구하는 Altera Cyclone V FPGA 형태의 C4D 제어기(410)에 대해, 코어 전원은 상업적으로 이용 가능한 모듈, 예를 들어, EN6337QI일 수 있다.

[0270] 도 8에 도시된 바와 같이, 절연된 C4D 서플라이(116)의 출력 전원(606)은 내부 PLL들 및 ADC들(408, 412) 및 DAC(414)와 통신하는 IO 뱅크들을 포함하는 C4D 프로세서(410)의 컴포넌트를 위한 디지털 전원을 포함한다. 이러한 디지털 전원은 2.5 V 전원을 공급할 수 있다. 전원 모듈은 알테라 EP53A8HQI와 같은 상업적으로 이용 가능한 모듈일 수 있다.

[0271] 도 8에 도시된 바와 같이, 절연된 C4D 서플라이(116)의 출력 전원(606)은 C4D 보드상의 다양한 디지털 회로 및 컴포넌트들에 전력(예를 들어, 3.3V)을 공급하기 위한 디지털 서플라이를 포함한다. 이들 기타 컴포넌트들은

C4D 프로세서(410)의 구성 플래시 메모리, JTAG 인터페이스, 클럭 생성기(420) 및 광 트랜시버(422)(광섬유 트랜시버 또는 자유-공간 광 트랜시버, 예를 들어, LED 및 광 검출기 일 수 있음)를 포함할 수 있다.

[0272] 도 8에 도시된 바와 같이, 절연된 C4D 서플라이(116)의 출력 전원(606)은 최대 33mA에서 +/- 15V를 제공하는 송신 버퍼 전자 회로, 예를 들어, PCB 장착 모듈(U8, NTA01515MC)에 전력을 공급하기위한 아날로그 송신 버퍼 서플라이를 포함한다. 아날로그 송신 버퍼 서플라이에는 수동 L-C 네트워크가 포함되어 있어 op 앰프들에 깨끗한 전원을 공급한다.

[0273] 디지털 전원, 기타 디지털 서플라이 및 아날로그 송신 버퍼 서플라이는 모두 단일 전원 서플라이 모듈(예를 들어, Altera EP53A8HQI)로 제공될 수 있다.

[0274] 도 4에 도시된 바와 같이, C4D(114)는 광 링크(152)를 통해 통신하기 위한 광 트랜시버(422)를 포함한다. C4D 전자 기기에서 고전압(예를 들어, 40kV)이 존재하기 때문에, MCU 보드(132)와의 통신은 전기적으로 격리하는 비동기 직렬 광 링크 (152)를 통해 이루어진다. 광 링크(152)는 한 쌍의 플라스틱 광섬유를 포함할 수 있다. 광 링크(152)는 HV 엔클로저의 광학적으로 투명한 부분을 포함하거나 또는 광학적으로 투명한 부분일 수 있다. 광 트랜시버(422)는 광 송신기 및 광 수신기를 포함한다. 광 트랜시버(422)는 C4D PCB 상에 하나 이상의 모듈의 형태일 수 있다. 광 송신기/수신기 모듈은 다음을 갖는다.

[0275] a. 플라스틱 광섬유 케이블 또는 투명 인클로저(예를 들어, 가시적인 빨강, 예를 들어, 650 nm)와 호환되는 작동 파장;

[0276] b. 광케이블 또는 인클로저와 결합하기 위한 통합 광 커넥터들 또는 로케이터들;

[0277] c. C4D 프로세서(410)로의 직접 로직 접속, 예를 들어, 3.3V CMOS 로직; 및

[0278] d. 예를 들어, 약 3Mbps의 모든 필요한 데이터를 전송하기에 충분한 데이터 레이트.

[0279] 광 트랜시버(422)는 Everlight 부품 번호(p/n) PLT133/T10W 또는 SunLED XZM2ACR78W 송신기 및 Everlight p/n PLR135/T10 수신기와 같은 상업적으로 이용 가능한 모듈들을 포함할 수 있다.

[0280] C4D 프로세서(410)는 다음과 같은 피처들을 제공한다:

[0281] a. 이하에서 서술되는 C4D 신호 처리 방법을 구현하기에 충분한 기능;

[0282] b. 저전력 소비;

[0283] c. C4D PCB에 적합한 포장; 및

[0284] d. 예를 들어, 산업용 온도 범위 장치(-40℃ 내지 + 85℃)와 같은 적합한 온도 범위.

[0285] 도 5에 도시된 바와 같이, C4D 프로세서(410)는, 검출된 Rx 신호 및 검출된 Tx 신호("잡음(noise)"이라고도 함)의 동 위상("I") 및 직교("Q") 신호 성분을 분리하기 위한 위상 감도 검출기들을 포함한다.

[0286] C4D 프로세서(410)는 C4D 신호 처리 방법을 연속적으로 실행하여 수신된 디지털 신호를 필터링 및 변환하고, 모니터링된 부분의 전도도 정보(즉, 전도도 값)를 수학적으로 추출한다.

[0287] C4D 신호 처리 방법에서, C4D 프로세서(410)는 다음 기능들을 수행한다:

[0288] a. 여기 신호(excitation signal)를 나타내는 데이터를 생성하는 단계;

[0289] b. 구성 및 통신을 위해 ADC 회로(408, 412) 및 DAC(414)를 제어하는 단계;

[0290] c. ADC 회로들(408, 412)로부터 스트리밍되는 데이터로부터 복소 도전율 정보(즉, 복소 도전율 값)를 추출하는 단계; 및

[0291] d. 광 링크(152)를 통해 MCU와 통신하는 단계.

[0292] 도 5에 도시된 바와 같이, C4D 신호 처리 방법에서, C4D 프로세서(410)는, 예를 들어, 사인파 주파수, 예를 들어, 100 MHz보다 실질적으로 높은 샘플 속도로, DDS(direct digital synthesis) 모듈(502)에서 DDS를 사용하여 고주파(예를 들어, 1.0000 MHz 및 1.0001 MHz)에서 여기 사인파 및 믹싱 사인파를 나타내는 신호를 생성한다. 프로세서(410)는 여기 사인파를 사용하여 DAC 출력 포트를 통해 DAC(414)로 전송되는 송신(또는 "여기") 신호(506)를 생성한다. 프로세서(410)는 후술하는 수신 처리 경로에서 사용하기 위한 믹싱 신호를 생성하기 위해 믹싱 사인파를 사용한다. 저 레벨(예를 들어, 0.5 또는 1비트) 의사 랜덤 잡음 신호는 난수 생성기 (RNG)에 의해

생성되고 그리고 RNG-가산기 모듈(504)에 의해 가산기("+")에 의해 여기 신호로 합산된다. 부가된 잡음 신호는 DAC(414)에서 DAC 양자화의 고조파 효과를 감소시킬 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 송신 신호(506)는 DAC(414)로부터 Tx 필터 회로 (416)로 전달되고, 이후 2개의 경로들: (1) 송신 전극(402)을 통해 수신 전극(404) 및 Rx ADC 회로 (408)로의 물리적 전송 경로; 및 (2) Tx ADC 회로(412) 내의 감쇠기 및 필터 컴포넌트들을 통한 시뮬레이션된 전송 경로로 분리되고, 물리적 전송 경로의 적어도 일부를 시뮬레이트한다. Rx ADC 회로(408) 및 Tx ADC 회로(412)로부터 각각 2개의 결과적인 수신 신호들(508 및 510)은 프로세서(410)에 의해 수신되고, 후술하는 바와 동일하게 처리되어, 차동 잡음 소거가 처리 중에 인가되어 전기 페로그램을 생성할 수 있도록 광 직렬 링크(530)에서 4개의 출력 신호를 제공한다(이들 4개의 출력 신호들은 물리적 전송 경로를 통한 위상 및 크기, 및 시뮬레이션된 전송 경로를 통한 위상 및 크기를 나타낸다).

[0293] 각각의 수신 신호들(508 및 510)은, 믹서(512)를 사용하여 믹싱 신호에 의해 산술적으로 곱해지고, 수신 신호의 여기 주파수 성분을 IF(중간 주파수)(예를 들어, 1MHz에서 100Hz까지)로 감소된다. 이를 통해 다음 신호 처리 단계들에서 요구되는 초당 계산 수를 줄일 수 있다. 방사된 전자기 간섭을 줄이고 그리고 수신된 전자기 간섭의 영향을 줄이기 위해, 주파수 변조 "확산 스펙트럼(Spread Spectrum)"이 확산-스펙트럼 컴포넌트(514)에 의해 여기 및 믹싱 신호에 부가되어, 여기 주파수가 작은 범위, 예를 들면, 약 1 kHz에 걸쳐 빠르게 시프트된다. 여기 신호 및 믹싱 신호 모두에 확산 스펙트럼 주파수 변조를 부가하면, 믹서(512)의 출력이 단일 무변조 주파수 성분을 다시 한번 갖도록 주파수 변조가 제거된다.

[0294] 2개의 데시메이션 및 로우-패스 필터 단계는 필터들(516, 518)을 데시메이팅(decimating)함으로써 직렬로 수행되어, 샘플 레이트를 관리 가능한 주파수(예를 들어, 100MHz ~ 10kHz)로 감소시킨다. 그 후, IF 신호는 90도의 미분 위상(DDS 모듈(522)에 의해 생성된 동 위상 및 직교 위상 또는 I 및 Q 혼합 신호)을 갖는 사인파들과 (믹서(520)에 의해) 혼합된다. 이러한 믹싱 단계는, IF 사인파의 최대점, 최소점 및 제로 크로싱 점에서만이 아니라 감소된 샘플 속도에서 확인될 수 있는 수신 신호의 위상 및 크기 성분을 생성함으로써 최종 결과의 신호 대 잡음비를 효과적으로 증가시킨다. I 및 Q 신호는 IF와 VQ 믹스 주파수의 합인 믹서(520)의 주파수 결과(200Hz를 생성하는 100Hz 및 100Hz와 같은)에 중심을 둔 필터(524)에 의해 대역 통과 필터링된다. 아크 탄젠트 어플리케이션, 사분면 검출 및 미분을 포함하는 프로세싱 블록(526)에 의해 수행되는 프로세싱은 위상 변화를 결정한다(도 5에서 도시되지 않음). 정사각형 애플리케이션, 합 및 제곱근을 포함하는 프로세싱 블록(526)에 의해 수행되는 프로세싱은 크기를 결정한다. 처리 블록(526)으로부터의 크기 신호들 및 미분 위상 신호들은 광 직렬 링크(530)를 통과하기 전에 필터 (528)에 의해 저역 통과 필터링된다. 사용자 인터페이스로 전달된 결과 정보는 용출액 내의 분석물의 양을 나타내는 전극들(402, 404)을 통과할 때 유체의 전도도를 포함하는 전기 페로그램 신호가 된다.

[0295] C4D 프로세서(410)는 상업적으로 이용 가능한 FPGA, 예를 들어, 19 x 19 mm BGA 패키지의 Altera Cyclone V p/n 5CEFA5U19I7N일 수 있다.

[0296] 도 9에서 도시되었듯이, MCU에는 다음과 같은 소프트웨어 계층:

[0297] a. 애플리케이션 로직 층(702);

[0298] b. 드라이버 층(704);

[0299] c. 하드웨어 추상화 계층(HAL)(706);

[0300] d. 하드웨어 계층(708); 및

[0301] e. 외부 디바이스 층(710)을 포함한다.

[0302] 애플리케이션 로직 층(702)은 드라이버 초기화, 이벤트 처리, 센서 데이터의 판독 및 기록을 포함하는 시스템(100)의 활동을 제어 및 조정한다. 애플리케이션 로직 층(702) 내의 각각의 애플리케이션은 개별적인 태스크로서 구현되어 애플리케이션 계층 컴포넌트들 사이에 격리를 제공한다.

[0303] 도 9에 도시된 것처럼, 애플리케이션 로직 층(702)은 애플리케이션 로직 층(702)내의 모듈들의 전체적인 조정을 관리하는 시스템 펌웨어 모듈(712), 및 는 내장형 컴퓨터(134) 및/또는 (디버그 포트(146)를 통한) 외부 컴퓨터와의 통신을 관리한다. 시스템 펌웨어 모듈(712)은, (i) 내장형 컴퓨터(134)로부터의 스크립트 명령들; (ii) 외부(진단) 컴퓨터로부터의 명령들; (iii) 펌웨어 관리자들로부터의 출력들을 포함하는 입력들을 수신한다. 시스템 펌웨어 모듈(712)은 (i) 내장형 컴퓨터(134)에 대한 응답들 및 데이터; (ii) 진단 컴퓨터에 대한 응답들 및 데이터; 및 (iii) 펌웨어 관리자에게 명령들(스크립트 입력)을 포함하는 출력들을 발생시킨다.

[0304] 도 9에 도시된 바와 같이, 애플리케이션 로직 층(702)은 HV 전원(122)의 폐쇄 루프 제어를 제어하는 HV 관리자 모듈(714)을 포함한다. HV 관리자 모듈(714)은, 다음의 입력들: 제어 스크립트로부터의 목표 HV 전압; HV 전원(122)로부터 (ADC 드라이버(716)를 통한) HV 전압 피드백; HV 전원(122)으로부터 (ADC 드라이버(716)를 통한) HV 전류 피드백을 얻는다. HV 관리자 모듈(714)은 (예를 들어, DAC 드라이버(718)를 통해) HV 전원(122)에 제어 신호를 생성할 수 있다.

[0305] 도 9에 도시된 것처럼, 애플리케이션 로직 층(702)은 용적식 펌프에 대한 인터페이스를 처리하는 펌프 관리자 모듈들(720, 726, 730, 734)을 포함한다. 펌프 관리자 모듈들은 제어 스크립트의 목표 유량/볼륨/토크 값; 펌프로부터의 유량 및 볼륨 피드백; 및 드라이버들(724, 728, 732, 736)을 통해 펌프들에 신호들을 생성하기 위해 압력 센서들로부터 압력 피드백을 사용한다.

[0306] 도 9에 도시된 것처럼, 애플리케이션 로직 층(702)은 가스 제거 매니폴드가 이용되는 경우 진공 서플라이의 폐 루프 제어를 처리하는 진공 관리자 모듈(738)을 포함한다. 진공 관리자 모듈(738)은 다음의 입력(들): 목표 진공 범위(사전 설정 또는 구성으로부터의); 진공 센서로부터 (ADC 드라이버(740)를 통해) 진공 피드백을 취한다. 진공 관리자 모듈(738)은 다음의 출력(들): 진공 펌프의 온/오프 제어; 진공 밸브들의 온/오프 제어를 생성한다.

[0307] 도 9에 도시된 것처럼, 애플리케이션 로직 층(702)은 검출기 관리자 모듈 (742)을 포함하고, 이 검출기 모듈은 C4D(114)에 대한 (UART(744)를 통한) 인터페이스를 처리한다. 검출기 관리자 모듈(742)은 C4D로부터 전도도 정보를 수신하여 이를 UI에 전달한다. 검출기 관리자 모듈(742)은 또한 C4D에 전원이 공급되지 않는 경우 이들이 손실되기 때문에 C4D에 레지스터 설정을 유지한다.

[0308] 도 9에 도시된 것처럼, 애플리케이션 로직 층(702)은 열 구역(140)에서 온도의 폐 루프 제어를 처리하는 열 관리 모듈(746)을 포함한다. 열 관리자 모듈(746)은 다음의 입력들: 목표 온도(사전 설정 또는 구성으로부터의); 및 온도 센서 (126)로부터 I2C 드라이버(748)를 경유하는 온도를 취한다. 열 관리자 모듈(746)은 (PWM 드라이버(750)를 통한) 히터(128)의 제어와 같은 출력을 생성한다.

[0309] C4D와 선택 사양인 HV 드레인은 적절한 전기적 절연을 얻기 위해 다른 요소와 상당한 공간과 전기적 절연을 가지며 비활성 폴리머들 또는 세라믹들과 같은 고 임피던스 물질을 사용하여 장착된다. 장착 장치에는 격리된 데이터 신호가 요구된다.

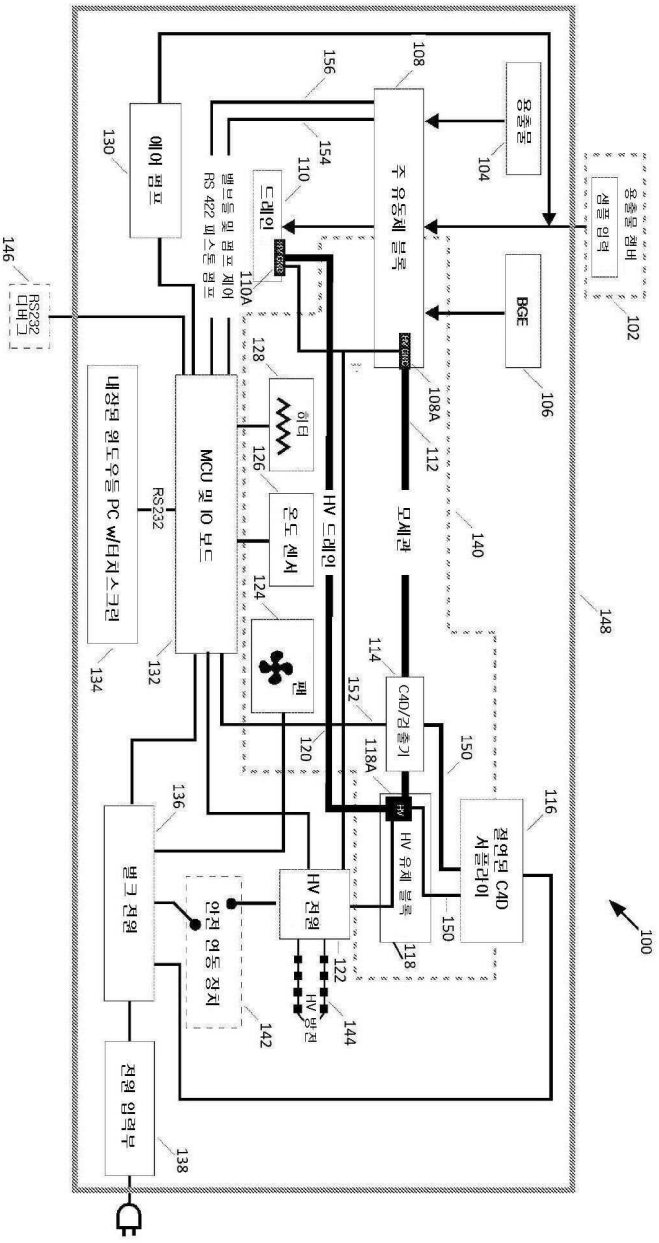
[0310] 해석

[0311] 통상의 기술자에게는 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서 많은 수정이 명백할 것이다.

[0312] 본 명세서에서 임의의 이전 공보(또는 그것으로부터 유도된 정보)에 대한 참조 또는 알려진 모든 사항에 대한 언급은 승인 또는 입회 또는 이전 공보(또는 그로부터 파생된 정보) 또는 알려진 사안은 이 명세와 관련된 분야에서 일반적인 지식의 일부를 형성한다.

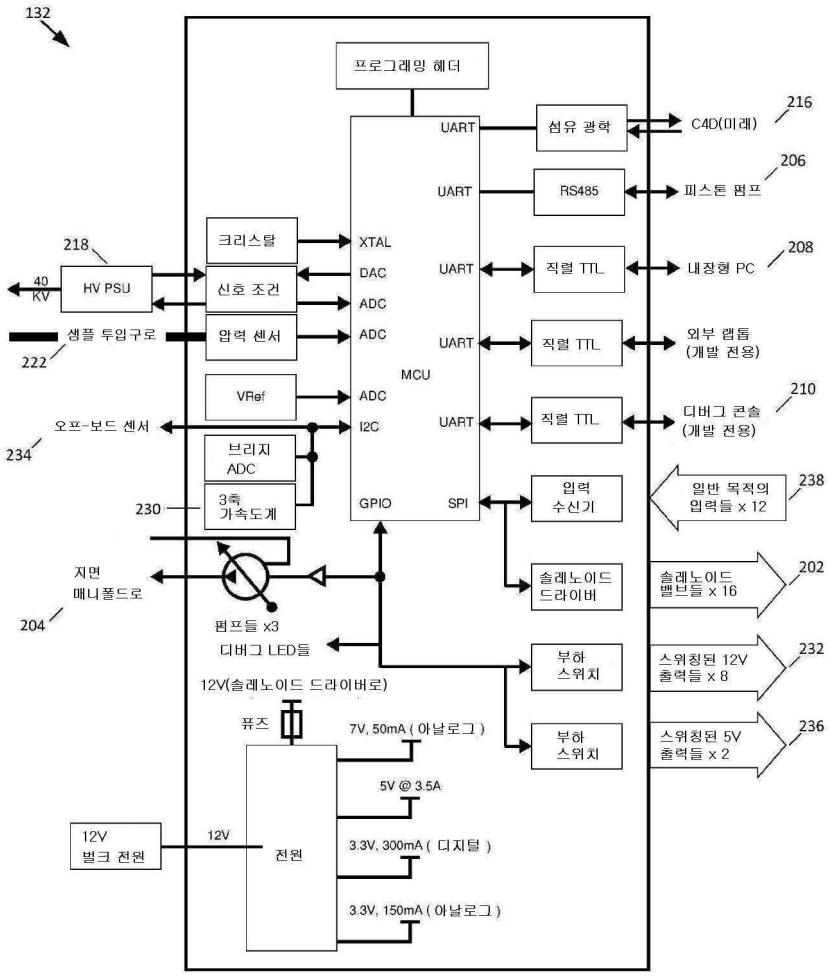
도면

도면1

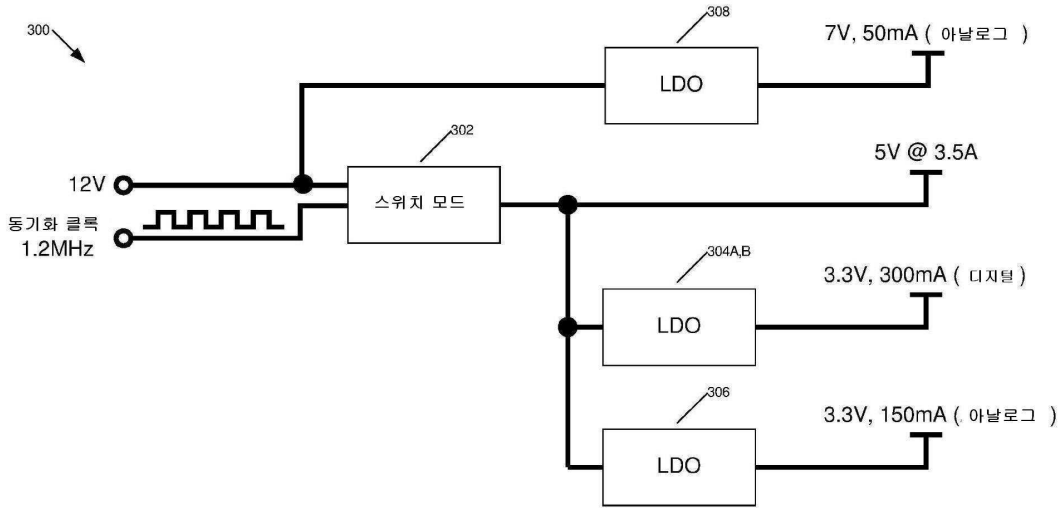


용출물
주 유동체 블록
BGE
용출물 채비
샘플 입력
에어 펌프
드레인
벨브들 및 펌프 제어
RS 422 피스톤 펌프
RS232 디버그
MCU 및 IO 보드
히터
온도 센서
팬
HV 드레인
모세관
C4D/검출기
HV 유체 블록
절연된 C4D 서플라이
HV 전원
HV 방전
안전 연동 장치
벌크 전원
전원 입력부
RS232
내장된 윈도우들 PC w/터치스크린
100
102
104
106
108
108A
110
110A
112
114
116
118
118A
120
122
124
126
128
130
132
134
136
138
140
142
144
146
148
150
152
154
156

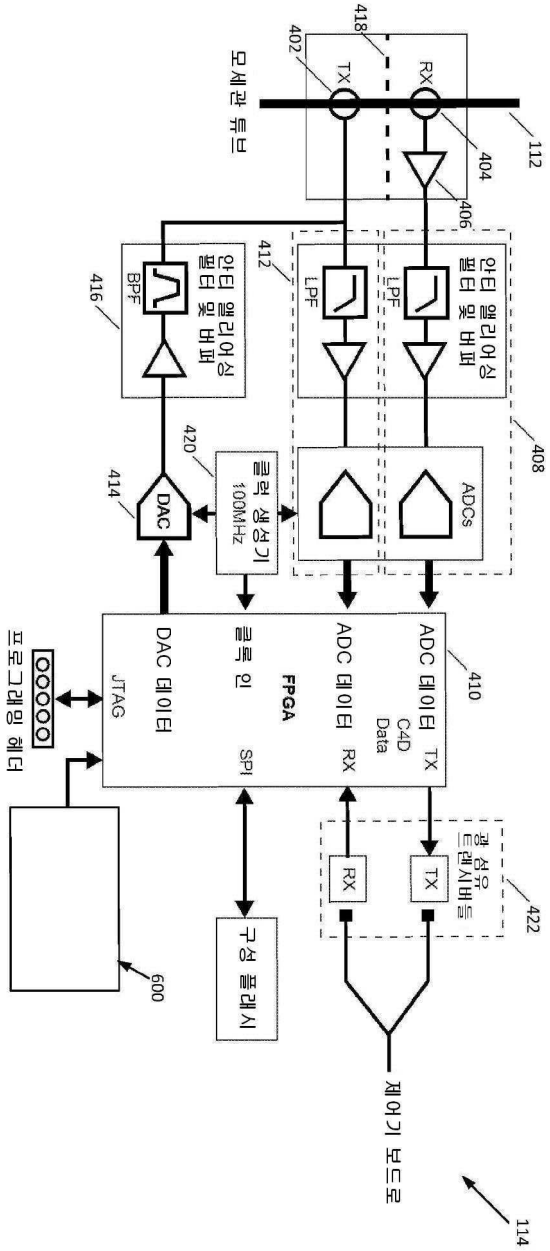
도면2


132
프로그래밍 헤더
UART
섬유 광학
C4D(미래)
216
UART
RS485
피스톤 펌프
206
218
크리스탈
XTAL
40 KV
HV PSU
신호 조건
DAC
UART
직렬 TTL
내장형 PC
208
ADC
샘플 투입구로
222
압력 센서
ADC
UART
직렬 TTL
외부 랩톱 (개발 전용)
MCU
VRef
ADC
오프-보드 센서
234
I2C
UART
직렬 TTL
디버그 콘솔 (개발 전용)
210
브리지 ADC
230
3축 가속도계
GPIO
SPI
입력 수신기
일반 목적의 입력들 x 12
238
지면 매니폴드로
204
솔레노이드 드라이버
솔레노이드 밸브들 x 16
202
펌프들 x3
디버그 LED들
부하 스위치
스위칭된 12V 출력들 x 8
232
12V(솔레노이드 드라이버로)
퓨즈
7V, 50mA (아날로그)
부하 스위치
스위칭된 5V 출력들 x 2
236
5V @ 3.5A
12V 벌크 전원
12V
전원
3.3V, 300mA (디지털)
3.3V, 150mA (아날로그)

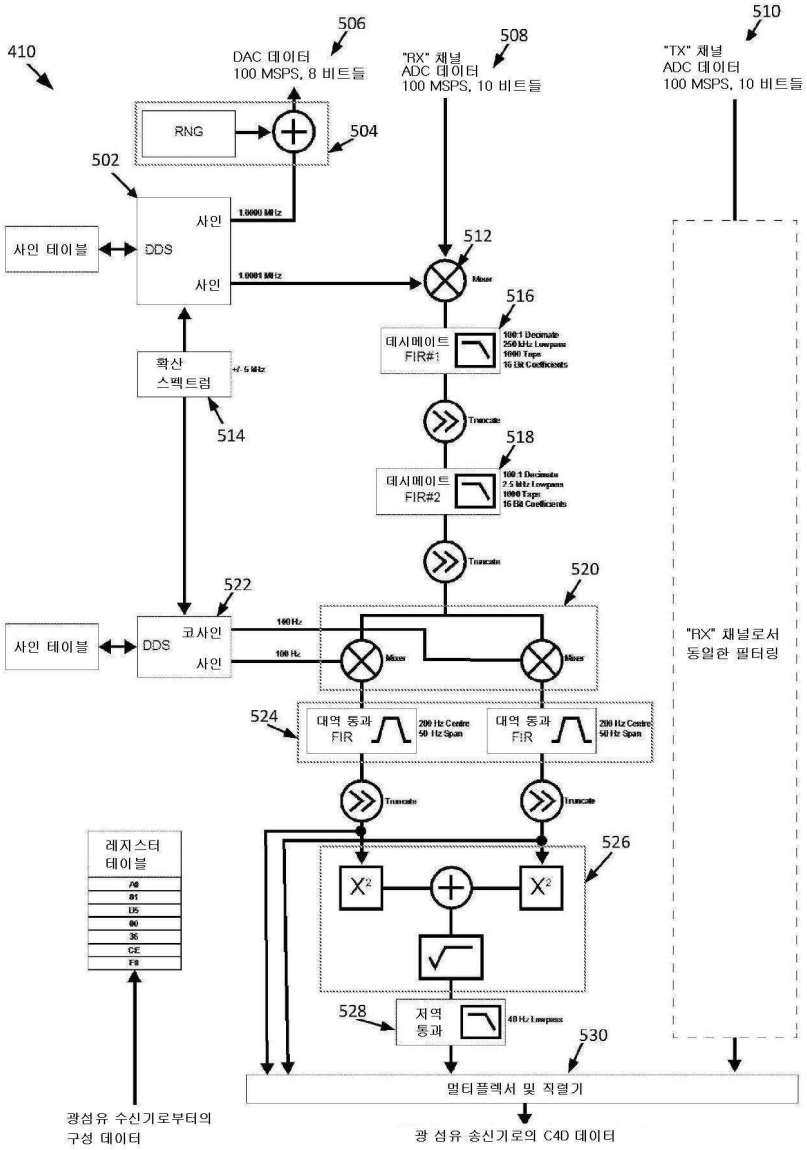
도면3


300
308
LDO
7V, 50mA (아날로그)
302
5V @ 3.5A
12V
스위치 모드
동기화 클록
1.2MHz
304A,B
LDO
3.3V, 300mA (디지털)
306
LDO
3.3V, 150mA (아날로그)

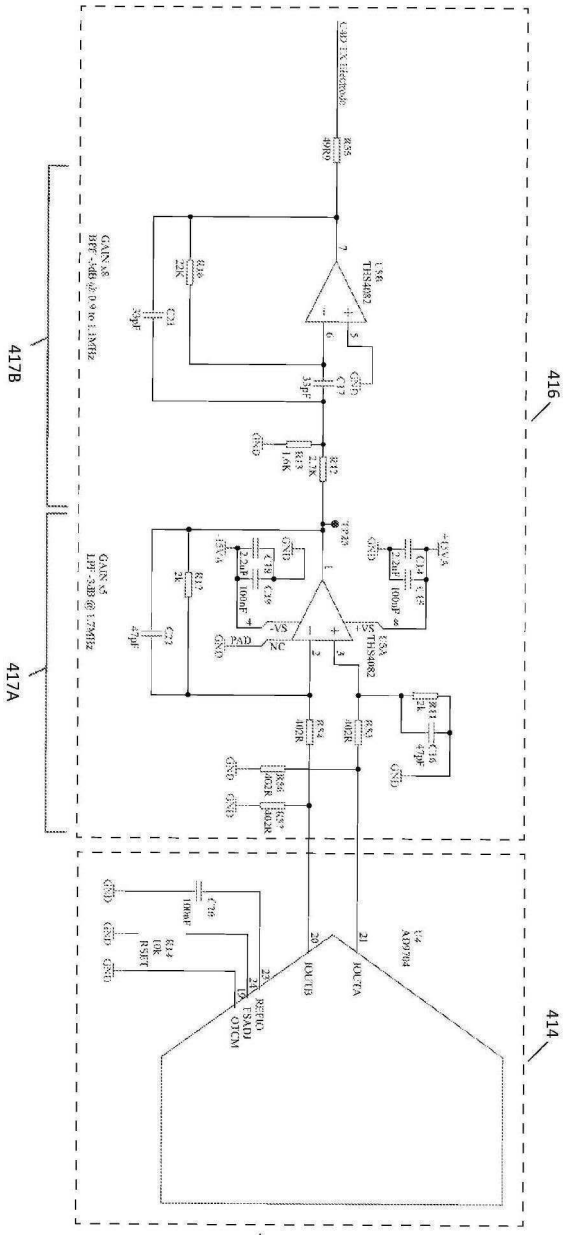
도면4


모세관 튜브
418
402
TX
RX
112
404
406
412
안티 앨리어싱 필터 및 버퍼
LPF
LPF
416
안티 앨리어싱 필터 및 버퍼
BPF
408
420
414
DAC
클럭 생성기 100MHz
ADCs
410
ADC 데이터 TX
C4D Data
ADC 데이터 RX
클록 인
FPGA
SPI
DAC 데이터
JTAG
프로그래밍 헤더
광 섬유 트랜시버들
RX
TX
422
구성 플래시
600
제어기 보드로
114

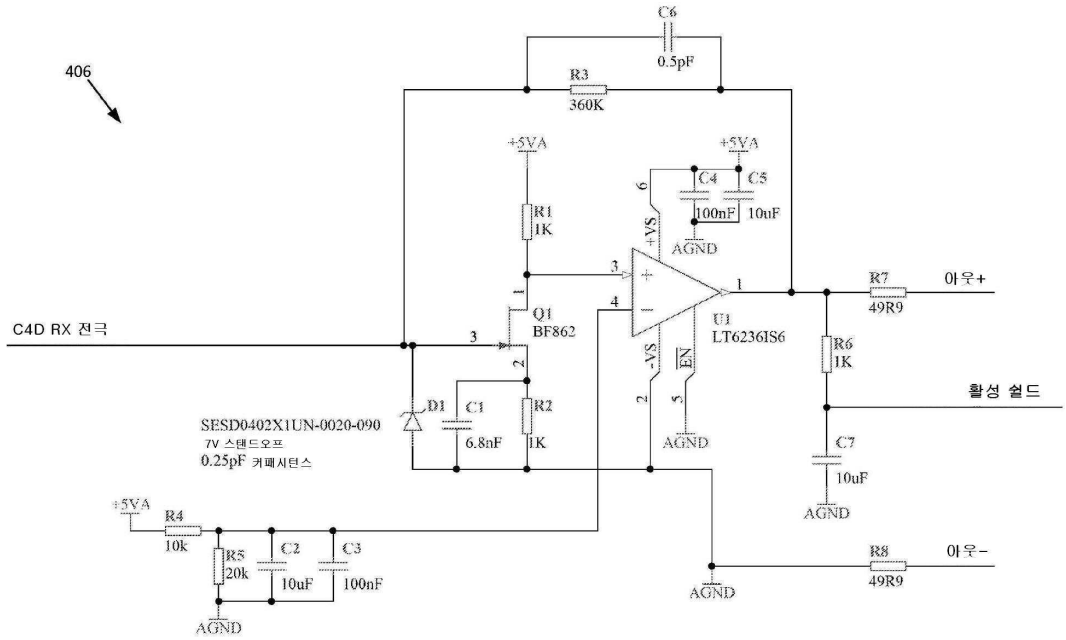
도면5


410
506
DAC 데이터
100 MSPS, 8 비트들
508
"RX" 채널
ADC 데이터
100 MSPS, 10 비트들
510
"TX" 채널
ADC 데이터
100 MSPS, 10 비트들
RNG
504
502
사인
DDS
사인
사인 테이블
512
Mixer
516
데시메이트
FIR#1
확산
스펙트럼
514
Truncate
518
데시메이트
FIR#2
Truncate
520
522
코사인
DDS
사인
사인 테이블
100 Hz
Mixer
"RX" 채널로서
동일한 필터링
524
대역 통과
FIR
대역 통과
FIR
Truncate
Truncate
레지스터
테이블
526
X²
X²
528
저역
통과
530
멀티플렉서 및 직렬기
광섬유 수신기로부터의
구성 데이터
광 섬유 송신기로의 C4D 데이터

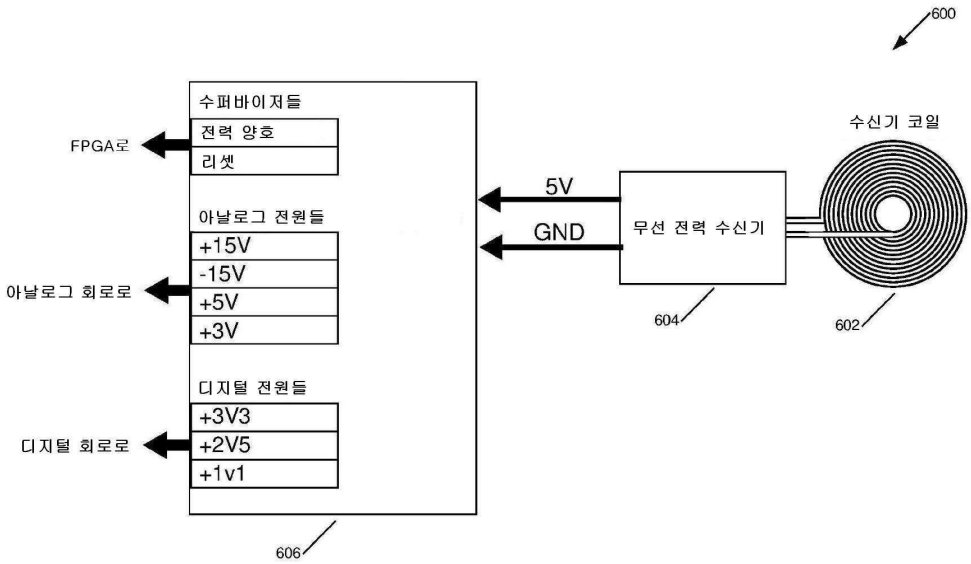
도면6



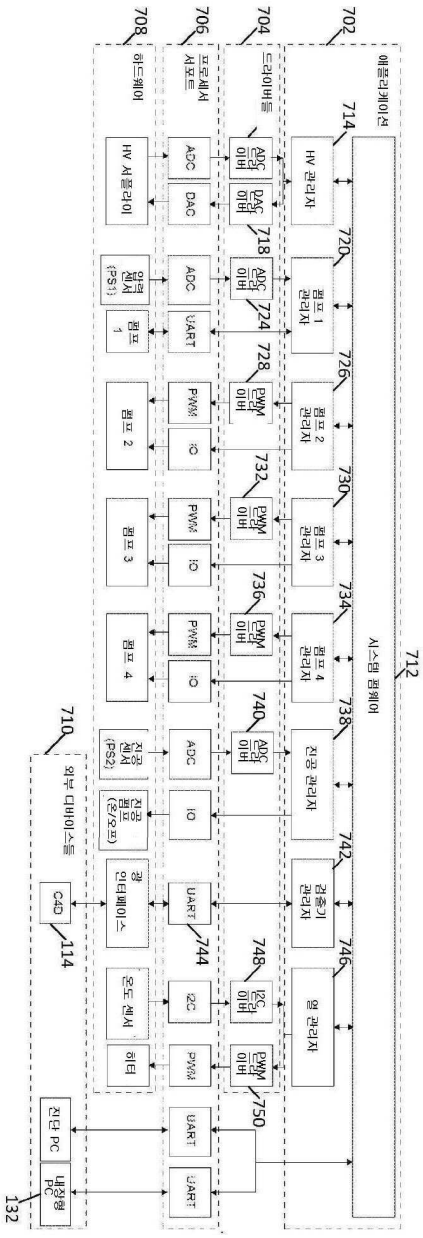
도면7


406
C6
0.5pF
R3
360K
+5VA
R1
1K
C4
C5
100nF
10uF
AGND
+VS
-VS
EN
U1
LT6236IS6
R7
49R9
아웃+
C4D RX 전극
Q1
BF862
R6
1K
활성 쉴드
SESD0402X1UN-0020-090
7V 스탠드오프
0.25pF 커패시턴스
D1
C1
6.8nF
R2
1K
C7
10uF
R4
10k
R5
20k
C2
10uF
C3
100nF
R8
49R9
아웃-

도면8


600
수퍼바이저들
전력 양호
리셋
FPGA로
아날로그 전원들
+15V
-15V
+5V
+3V
아날로그 회로로
디지털 전원들
+3V3
+2V5
+1v1
디지털 회로로
606
5V
GND
무선 전력 수신기
604
수신기 코일
602

도면9


708
하드웨어
706
프로세서 서포트
704
드라이버들
702
애플리케이션
714
712
시스템 펌웨어
710
외부 디바이스들
114
132
HV 서플라이
HV 관리자
ADC
DAC
ADC 인터페이스
DAC 인터페이스
720
718
724
728
726
732
730
736
734
740
738
742
746
748
750
입력 (PS1)
펌프 1
펌프 2
펌프 3
펌프 4
잔응 (PS2)
잔응 펌프 (온/오프)
광 인터페이스
온도 센서
히터
UART
PWM
IO
I2C
펌프 1 관리자
펌프 2 관리자
펌프 3 관리자
펌프 4 관리자
잔응 관리자
검출기 관리자
열 관리자
PWM 인터페이스
I2C 인터페이스
CAD
진단 PC
내장형 PC