



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0077894
(43) 공개일자 2014년06월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05B 1/02 (2006.01) H01L 21/67 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7008383
(22) 출원일자(국제) 2012년08월30일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2014년03월28일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/053067
(87) 국제공개번호 WO 2013/033348
국제공개일자 2013년03월07일
(30) 우선권주장
61/528,939 2011년08월30일 미국(US)
61/635,310 2012년04월19일 미국(US)

(71) 출원인
와틀로 일렉트릭 매뉴팩처어링 컴파니
미국 미주리 63146 세인트 루이스 랙랜드 로드
12001
(72) 발명자
슈미트 필립스 에스.
미국 미네소타 55987 위노나 번디 블러바드 1241
스완슨 칼 티.
미국 몬타나 63139 세인트 루이스 론 에비뉴 3307
아파트먼트 4
렘케 존 에프.
미국 미네소타 55942 휴스턴 게이즈 쿨레 드라이브
19830
(74) 대리인
리엔목특허법인

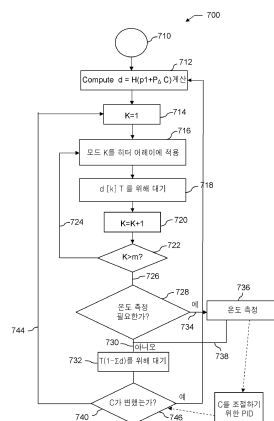
전체 청구항 수 : 총 26 항

(54) 발명의 명칭 열 어레이 제어 시스템 및 방법

(57) 요약

시스템 및 방법이 제공된다. 한 모습에서, 상기 시스템 및 방법은 복수의 모드들 중의 각 모드에 대해 시간 주기를 계산할 수 있을 것이다. 상기 시스템 및 방법은 상기 모드에 따라서 복수의 열 엘리먼트들에 전력을 제공하기 위해서 대응하는 시간 주기 동안 각 모드를 통해서 인덱스를 부여할 수 있을 것이다. 상기 시스템 및 방법의 다른 모습에서 복수의 모드들 중의 각 모드를 통해서 연속해서 인덱스를 부여하며 그리고 인덱스 부여된 모드에 전력을 인가하며 상기 인덱스 부여된 모드에 대해 상기 열 엘리먼트들의 전기적인 특성을 측정한다.

대표도 - 도7a



특허청구의 범위

청구항 1

열 (thermal) 시스템으로서:

복수의 열 엘리먼트들;

복수의 전력 노드들을 구비한 제어 시스템을 포함하며,

각 열 엘리먼트는 상기 복수의 전력 노드들 사이에 연결되며,

상기 제어 시스템은 복수의 모드들 중 각 모드에 대한 시간 주기를 계산하고, 상기 모드에 따라서 상기 복수의 열 엘리먼트들에게 전력을 공급하기 위해서 대응 시간 주기 동안 각 모드를 통해서 인덱스를 부여하도록 구성된, 열 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제어 시스템은 상기 모드에 대해 상기 열 엘리먼트들의 전기적인 특성을 측정하기 위해서 각 모드를 통해서 인덱스를 부여하고, 그리고 각 모드에 대해서 상기 측정된 전기적인 특성을 기반으로 하여 상기 시간 주기를 다시 계산하도록 구성된, 열 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 타겟 셋포인트들을 계산하는 것은 상기 열 엘리먼트들의 베이스라인 저항값을 측정하는 것을 포함하는, 열 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 타겟 셋포인트들을 계산하는 것은 상기 베이스라인 저항값, 온도 변화, 그리고 각 열 엘리먼트의 저항값의 온도 계수 ((temperature coefficient of resistance (TCR))를 기반으로 하여 타겟 저항값을 계산하는 것을 포함하는, 열 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 타겟 셋포인트들을 계산하는 것은 각 모드에 대한 상기 타겟 저항값을 타겟 전압이나 타겟 전류로 변환하는 것을 포함하는, 열 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 열 엘리먼트들 중 제1 열 엘리먼트 그리고 제2 열 엘리먼트는 제1 노드와 제2 노드 사이에 연결되며,

상기 제2 노드에 상대적인 상기 제1 노드의 제1 극성에 의해서 상기 제1 열 엘리먼트는 활성화되며 그리고 상기 제2 열 엘리먼트는 비활성화되며, 상기 제2 노드에 상대적인 상기 제1 노드의 제2 극성에 의해서 상기 제1 열 엘리먼트는 비활성화되며 그리고 상기 제2 열 엘리먼트는 활성화되는, 열 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 복수의 열 엘리먼트들 중의 열 엘리먼트는 전력 노드들의 각 쌍 사이에 연결된, 열 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제어 시스템은 활성화 전압, 리턴 전압, 그리고 개방-회로 상태를 상기 전력 노드들 각각에 선택적으로 인가하도록 구성된, 열 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 제어 시스템은 복수의 제어 모드들을 정의하도록 구성되며,

각 제어 모드는 상기 복수의 열 엘리먼트들 중 적어도 하나의 열 엘리먼트에게 에너지를 공급하도록 구성된, 열 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제어 시스템은 각 열 엘리먼트에 대해, 각 열 엘리먼트를 미리 정의된 저항값 셋 포인트로 구동시킬 전력 명령 (power command)을 기반으로 하여 각 모드를 활성화시키기 위해서 시간 주기를 결정하도록 구성된, 열 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 열 엘리먼트는 에너지 소산성 (dissipative) 엘리먼트인, 열 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 열 엘리먼트는 저항성 엘리먼트인, 열 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 열 엘리먼트들은 온도 종속적 전기 저항을 가진 전기 전도성 재료로 구성된, 열 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제어 시스템은 상기 저항성 엘리먼트의 온도를 계산하기 위해서 상기 저항성 엘리먼트의 저항값을 측정하도록 구성된, 열 시스템.

청구항 15

히터 (heater)로서:

베이스 플레이트;

상기 베이스 플레이트에 고정된 베이스 히터;

상기 베이스 히터에 고정된 기층 (substrate);

상기 기층에 고정되며, 복수의 히터 엘리먼트들을 포함하는 조정 (tuning) 히터;

상기 조정 히터에 고정된 척 (chuck); 그리고

복수의 전력 노드들을 구비한 제어 시스템을 포함하며,

각 히터 엘리먼트는 상기 복수의 전력 노드들 사이에 연결되며,

상기 제어 시스템은 복수의 모드들 중 각 모드에 대한 시간 주기를 계산하고, 상기 모드에 따라서 상기 복수의 히터 엘리먼트들에게 전력을 공급하기 위해서 대응 시간 주기 동안 각 모드를 통해서 인덱스를 부여하도록 구성된, 히터.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제어 시스템은 상기 모드에 대해 상기 히터 엘리먼트들의 전기적인 특성을 측정하기 위해서 각 모드를 통해서 인덱스를 부여하고, 그리고 각 모드에 대해서 상기 측정된 전기적인 특성을 기반으로 하여 상기 시간 주기를 다시 계산하도록 구성된, 시스템.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 복수의 히터 엘리먼트들 중 제1 히터 엘리먼트 그리고 제2 히터 엘리먼트는 제1 노드와 제2 노드 사이에 연결되며,

상기 제2 노드에 상대적인 상기 제1 노드의 제1 극성에 의해서 상기 제1 히터 엘리먼트는 활성화되며 그리고 상기 제2 히터 엘리먼트는 비활성화되며, 상기 제2 노드에 상대적인 상기 제1 노드의 제2 극성에 의해서 상기 제1 히터 엘리먼트는 비활성화되며 그리고 상기 제2 히터 엘리먼트는 활성화되는, 시스템.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 복수의 히터 엘리먼트들 중의 히터 엘리먼트는 전력 노드들의 각 쌍 사이에 연결된, 시스템.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 제어 시스템은 활성화 전압, 리턴 전압, 그리고 개방-회로 상태를 상기 전력 노드들 각각에 선택적으로 인가하도록 구성된, 시스템.

청구항 20

열 어레이를 제어하기 위한 방법으로서,

복수의 모드들 중 각 모드에 대한 시간 주기를 계산하는 단계;

대응하는 시간 주기 동안 각 모드를 통해서 인덱스를 부여하여, 각 열 엘리먼트를 셋포인트로 구동하기 위해서 상기 모드에 따라 복수의 열 엘리먼트들에게 전력을 제공하는 단계;

상기 모드의 전기적인 특성을 측정하기 위해서 각 모드를 통해서 인덱스를 부여하는 단계;

각 모드의 상기 측정된 전기적인 특성을 기반으로 하여 각 모드에 대한 시간 주기를 다시 계산하는 단계를 포함하는, 열 어레이 제어 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 방법은:

복수의 모드들 중 각 모드를 통해서 연속해서 인덱스를 부여하는 단계;

인덱스 부여된 모드로 전력을 공급하며, 그 인덱스 부여된 모드에 대한 열 엘리먼트들의 전기적인 특성을 측정하는 단계를 포함하는, 열 어레이 제어 방법.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 전기적인 특성의 측정을 기반으로 하여 엘리먼트의 열 플럭스 (heat flux) 및 온도 중 적어도 하나를 계산하는 단계를 더 포함하는, 열 어레이 제어 방법.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 전기적인 특성은 상기 엘리먼트로 제공된 전력인, 열 어레이 제어 방법.

청구항 24

제22항에 있어서,

온도 및 열 플럭스 중 적어도 하나가 문턱 양 (threshold amount)을 변경하면 경보를 트리거하는 단계를 더 포함하는, 열 어레이 제어 방법.

청구항 25

제24항에 있어서,

온도 및 열 플럭스 중 적어도 하나에서의 변화를 기반으로 하여 프로세스 파라미터를 바꾸는 단계를 더 포함하는, 열 어레이 제어 방법.

청구항 26

제25항에 있어서,

전력을 상기 열 엘리먼트로 제공하는 것은 낮은 평균 전력을 제공하는 것을 포함하는, 열 어레이 제어 방법.

명세서

기술분야

[0001] 관련된 출원들 상호 참조

[0002] 본원은 2011년 8월 30일에 출원된 미국 임시 출원 번호 61/528,939 그리고 2012년 4월 19일에 출원된 임시 출원 번호 61/635,310에 대한 우선권의 이익을 향유하며, 이 출원들의 내용들은 그 전체가 본원에 참조로서 편입된다. 본원은, 본원과 동시에 출원되었으며 그리고 본원과 함께 공동으로 양도된 "High Definition Heater and Method of Operation", "High Definition Parallel Control Systems for Heaters", "Thermal Array System", "Thermal Array System", "Thermal Array System" 그리고 "System and Method for Controlling A Thermal Array" 제목의 같이 계속중인 출원들에 또한 관련되며, 이 출원들의 내용들은 그 전체가 본원에 참조로서 편입된다.

배경기술

[0003] 본원은 열 어레이 (thermal array)를 제어하기 위한 시스템 및 방법에 일반적으로 관련된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 열 (thermal) 어레이를 제어하기 위한 시스템 및 방법을 제공하려고 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 관련된 기술분야의 약점들 및 다른 한계들을 극복함에 있어서, 본원은 열 (thermal) 엘리먼트를 제어하기 위한 시스템 및 방법을 제공한다. 한 모습에서, 상기 시스템 및 방법은 복수의 모드들 중의 각 모드에 대해 시간 주기를 계산할 수 있을 것이다. 상기 시스템 및 방법은 상기 모드에 따라서 복수의 열 엘리먼트들에 전력을 제공

하기 위해서 대응하는 시간 주기 동안 각 모드를 통해서 인덱스를 부여할 수 있을 것이다. 상기 시스템 및 방법의 다른 모습에서 복수의 모드들 중의 각 모드를 통해서 연속해서 인덱스를 부여하며 그리고 인덱스 부여된 모드에 전력을 인가하며 상기 인덱스 부여된 모드에 대해 상기 열 엘리먼트들의 전기적인 특성을 측정한다.

[0006] 본원의 추가의 모습들, 특징들 및 이점들은 이어지는 설명을, 본 명세서에 부가되며 그리고 일부를 형성하는 도면들 및 청구범위를 참조하면서 리뷰한 이후의 본 발명이 속한 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자들에게는 쉽게 명백하게 될 것이다.

발명의 효과

[0007] 본 발명의 효과는 본 명세서의 해당되는 부분들에 개별적으로 명시되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1a는 조정 (tuning) 레이어를 구비하며 그리고 본 발명 개시의 한 모습의 원칙들에 따라서 구축된 히터의 부분적인 측면 모습이다.

도 1b는 조정 레이어 또는 조정 히터를 구비하며 그리고 본 발명 개시의 원칙들에 따라서 구축된 히터의 다른 모습의 분해 조립도이다.

도 1c는 본 발명 개시의 원칙들에 따라 베이스 히터용으로 예시적인 4개의 구역들 그리고 조정 히터용으로 18개의 구역들을 예시하는 히터의 원근적인 분해 조립 모습이다.

도 1d는 추가의 조정 레이어를 구비하고 그리고 본 발명 개시의 원칙들에 따라 구축된 고 해상도 히터 시스템의 다른 모습의 측면 모습이다.

도 2는 양방향 열 어레이에 대한 개략도이다.

도 3a는 다중-병렬 열 어레이에 대한 개략도이다.

도 3b는 다중-병렬 및 양방향 열 어레이에 대한 개략도이다.

도 4는 다중-병렬 및 양방향 열 어레이에 대한 다른 개략도이다.

도 5는 주소지정 가능한 스위치들을 구비한 열 어레이에 대한 개략도이다.

도 6a는 열 어레이를 제어하기 위한 방법을 예시한 흐름도이다.

도 6b는 도 6a로부터의 제어 방법을 예시한 타이밍 도면이다.

도 7a는 열 어레이를 위한 다른 제어 방법을 예시한 흐름도이다.

도 7b는 설명된 방법들 중 하나의 예를 위해서 사용된 네 개의 노드 토폴로지이다.

도 8은 열 어레이의 모드 (mode)의 전기적인 특성을 측정하기 위한 방법을 예시한 흐름도이다.

도 9a는 열 어레이를 캘리브레이트하기 위한 방법을 예시한 흐름도이다.

도 9b는 열 어레이에 대해 타겟 셋 포인트들을 계산하기 위한 방법을 예시한 흐름도이다.

도 10은 제어기 시스템의 한 구현에 대한 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 다음의 설명을 속성에 있어서 단지 예시적인 것이며 그리고 본 발명의 개시, 응용, 또는 사용들을 제한하려고 의도된 것이 아니다. 예를 들면, 본 발명 개시의 다음의 모습들은 반도체 프로세싱에서 사용하기 위한 척들 (chucks), 그리고 몇몇의 예들에서는, 정전형 척들 (electrostatic chucks)에 관한 것이다. 그러나, 여기에서 제시된 히터들 그리고 시스템들은 다양한 응용에서 채택될 수 있을 것이며 그리고 반도체 프로세싱 응용분야들로만 한정되지 않는다는 것을 이해해야만 한다.

[0010] 도 1a를 참조하면, 본 발명 개시의 한 가지 모습은 히터 (50)이며, 이 히터 (50)는 내장된 적어도 하나의 히터 회로 (54)를 구비한 베이스 히터 레이어 (52)를 포함한다. 상기 베이스 히터 레이어 (52)는 상기 히터 회로 (54)를 파워 서플라이 (도시되지 않음)에 연결하기 위해서 그 베이스 히터 레이어를 관통하여 형성된 적어도 하나의 구멍 (56) (또는 비아 (via))을 가진다. 상기 베이스 히터 레이어 (52)는 주된 가열을 제공하며 반면에 보

이는 것처럼 상기 히터 레이어 (52) 가까이 배치된 조정 (tuning) 히터 레이어는 상기 히터 (50)에 의해서 제공된 열 분배의 미세 조정을 제공한다. 상기 조정 레이어 (60)는 내장된 복수의 개별 가열 엘리먼트들을 포함하며, 이것들은 개별적으로 제어된다. 상기 복수의 개별 가열 엘리먼트들 (62)을 상기 파워 서플라이 그리고 제어기 (도시되지 않음)에 연결시키기 위해서 적어도 하나의 구멍 (64)이 상기 조정 레이어 (60)를 관통하여 형성된다. 더 보이는 것처럼, 라우팅 레이어 (66)가 상기 베이스 히터 레이어 (52) 그리고 상기 조정 레이어 (60) 사이에 배치되며 그리고 내부 공동 (68)을 한정한다. 전기적인 리드들의 첫 번째 집합 (70)은 상기 히터 회로 (54)를 파워 서플라이에 연결시키며, 이것은 상기 히터 레이어 구멍 (56)을 통해서 확장된다. 베이스 히터 레이어 (52) 내 상기 구멍 (55)에 추가하여 전기적인 리드들의 두 번째 집합 (72)은 복수의 가열 엘리먼트들 (62)을 상기 파워 서플라이에 연결시키며 그리고 상기 라우팅 레이어 (66)의 내부 공동 (68)을 통해서 확장된다. 상기 라우팅 레이어 (66)는 옵션이며, 그리고 상기 히터 (50)는 상기 라우팅 레이어 (66) 없이도 사용될 수 있으며 그리고 대신에 베이스 히터 레이어 (52) 그리고 상기 조정 히터 레이어 (60)만을 구비할 수 있다는 것을 이해해야만 한다.

[0011] 다른 모습에서, 열 분배의 미세 조정을 제공하는 것보다는, 상기 조정 레이어 (60)는 상기 척 (12) 내의 온도를 측정하기 위해서 대안으로 사용될 수 있을 것이다. 이 모습은 온도 종속적인 저항 회로들의 복수의 영역-특정 또는 지각있는 위치들을 제공한다. 각 개별 센서를 측정하기 위해서 필요한 신호 와이어들의 개수에 상대적으로 실질적으로 더 많은 센서들이 사용될 것을 허용하는 멀티플렉싱 스위칭 배치를 경유하여 이 온도 센서들 각각은 개별적으로 읽혀질 수 있으며, 상기 배치의 예시적인 형태들은 아래에서 더욱 상세하게 제시된다. 온도 감지 피드백은 기층 (26)으로부터 상기 척 (12)으로의 열 플럭스 (heat flux)를 조절하기 위해 후면 냉각 가스 압력의 특정 구역을, 예를 들면, 제어하기 위한 제어 결정들을 위해서 필요한 정보를 제공할 수 있다. 이 동일한 피드백은, 베이스 가열 구역 (54)의 온도 제어를 위해서 또는 보조의 차가운 유체 열 교환기들을 경유하여 플레이트 냉각 유체 온도 (도시되지 않음)의 균형을 잡기 위해서 상기 베이스 히터 (50) 근처에 설치된 온도 센서들을 대체하거나 또는 증가시키기 위해서 또한 사용될 수 있다.

[0012] 한가지 모습에서, 상기 베이스 히터 레이어 (50) 그리고 상기 조정 레이어 (60)는 둘러싼 히터 회로 (54) 그리고 보통은 250° C 아래인 매개물 온도 애플리케이션들 용 폴리이미드 (polyimide) 재질인 조정 레이어 가열 엘리먼트 (62)로부터 형성된다. 게다가, 상기 폴리이미드 재질은 열 전도성을 증가시키기 위한 재질들로 도핑될 수 있을 것이다.

[0013] 다른 모습들에서, 상기 베이스 히터 레이어 그리고/또는 상기 조정 히터 레이어 (60)는 레이어드 (layered) 프로세스에 의해서 형성되며, 이 경우 상기 레이어는 다른 것들 중에서도 두꺼운 필름, 얇은 필름, 열 분사, 또는 졸-겔 (sol-gel)과 연관된 프로세스들을 이용하여 재료를 기층에 붙이거나 또는 축적하는 것을 통해서 형성된다.

[0014] 한 모습에서, 상기 베이스 가열 회로 (54)는 Inconel®로부터 형성되며 그리고 상기 조정 레이어 가열 엘리먼트들 (62)은 니켈 재질이다. 또 다른 모습에서, 상기 조정 레이어 가열 엘리먼트들 (62)은 저항의 충분한 온도 계수를 가진 재질로 형성되어, 상기 엘리먼트들이 히터들 그리고 온도 센서들 둘 모두로서 기능하도록 하며, 이는 일반적으로 "2선식 제어 (two-wire control)"로 언급된다. 그런 히터들 그리고 그것들이 재질들이 미국 특허 No. 7,196,295 그리고 계속중인 미국 특허 출원 일련 번호 11/475,534에 개시되며, 이것들은 본원과 함께 공동으로 양도된 것이며 그리고 그 개시된 것들은 그 전체가 본원에 참조로서 편입된다.

[0015] 2선식 제어와 함께, 본 발명 개시의 다양한 모습들은 상기 열 임피던스 조정 레이어 (60)에서 개별 엘리먼트들 각각에 인가된 전압 및/또는 전류를 알거나 또는 측정한 것을 통해서 상기 레이어 가열 엘리먼트들 (62)에 대한 온도, 전력, 및/또는 열 임피던스 기반의 제어를 포함하며, 이는 이 엘리먼트들 각각으로부터의 열 플럭스 출력과 동일하게 제1의 사례에서 대응하여 곱셈 그리고 나눗셈을 통해서 전기적인 전력 및 저항값으로 변환되며 그리고 제2의 사례에서는 상기 엘리먼트 온도와와 알려진 관계로 변환된다. 이것들은 함께 각 엘리먼트 상의 열 임피던스 부하를 계산하고 모니터링하기 위해서 사용될 수 있어서, 사용 또는 유지보수, 프로세싱 오류들, 장비 기능하락으로 인해 챔버 또는 척에서의 물리적인 변화들로부터의, 그러나 그것들로 한정되지는 않는, 결과일 수 있는 영역-특정 (area-specific) 열 변화들을 오퍼레이터 또는 제어 시스템이 탐지하고 그리고 보상하는 것을 허용하도록 한다. 대안으로, 상기 열 임피던스 조정 레이어 (60) 내의 개별적으로 제어되는 가열 엘리먼트들에는 셋포인트 저항값이 할당될 수 있으며, 이 셋포인트 저항값은, 반도체 프로세싱 동안에 기층 온도를 제어하기 위해서 상기 기층 상의 대응 영역들로부터 시작하여 상기 베이스 히터 레이어 (52)로의 열 플럭스를 변경하거나 또는 차단하는 동일한 또는 상이한 특정 온도들에 대응한다.

- [0016] 한 모습에서, 상기 베이스 히터 (50)는, 예를 들면, 실리콘 접착제 또는 심지어는 압력 감지 접착제를 사용하여 척 (51)에 본딩된다. 그러므로, 상기 히터 레이어 (52)는 1차적인 (primary) 가열을 제공하며, 그리고 상기 조정 레이어 (60)는 가열 프로파일을 미세 조정, 또는 조절하여, 일정한 또는 바람직한 온도 프로파일이 상기 척 (51)에, 그래서 상기 기층 (substrate) (도시되지 않음)에 제공되도록 한다.
- [0017] 본 발명 개시의 다른 모습에서, 변형 부하 (strain load)들에 노출될 때에 상기 조정 레이어 가열 엘리먼트들 (62)의 열적인 민감도를 향상시키기 위해서, 상기 조정 레이어 가열 엘리먼트들 (62)의 열 팽창 계수 (coefficient of thermal expansion (CTE))는 상기 조정 가열 레이어 기층 (60)의 CTE에 부합된다. 2선식 제어 를 위한 많은 적합한 재질들은 열 그리고 변형 둘 모두에 대한 저항값 민감도를 포함하는 저항기 온도 디바이스 들 (Resistor Temperature Devices (RTDs))과 유사한 특징들을 나타낸다. 상기 조정 레이어 가열 엘리먼트들 (62)의 CTE를 상기 조정 히터 레이어 기층 (60)에 부합시키는 것은 실제의 가열 엘리먼트 상의 변형을 줄어줄게 한다. 그리고, 동작 온도들이 증가할수록, 변형 레벨들은 증가하는 경향이 있으며, 그래서 CTE 부합은 팩터 (factor) 이상이 된다. 한 모습에서, 상기 조정 레이어 가열 엘리먼트들 (62)은 약 15 ppm/° C의 CTE를 갖는 높은 순도의 니켈-철 합금이며, 그리고 그것을 둘러싼 상기 폴리이미드 재질은 대략 16 ppm/° C의 CTE를 갖는다. 이 모습에서, 상기 조정 히터 레이어 (60)를 다른 레이어들에 접합시키는 재질들은 상기 조정 히터 레이어 (60)를 척 (12)의 다른 부재들로부터 물리적으로 분리하는 탄성 특성들을 나타낸다. 유사한 CTE들을 구비한 다른 재질들은 본 발명 개시의 범위 내에서 남아있으면서 또한 채택될 수 있을 것이라는 것이 이해되어야만 한다.
- [0018] 이제 도 1b - 도 1d를 참조하면, 베이스 히터 레이어 그리고 (도 1a에서 위에서 일반적으로 제시된 것과 같은) 조정 레이어 둘 모두를 구비한 히터의 한 예시의 모습이 예시되며 그리고 참조번호 80으로 일반적으로 표시된다. 상기 히터 (80)는 베이스 플레이트 (82) (또한 냉각 플레이트로도 언급된다)를 포함하며, 이는 한 모습에서 약 두께 16mm인 알루미늄 플레이트이다. 베이스 히터 (84)는, 한 모습에서 보이는 것과 같은 탄성중합체 본드 레이어 (86)를 이용하여 상기 베이스 플레이트 (82)에 고정된다. 상기 탄성중합체 본드는 미국 특허 No. 6,073,577에서 개시된 것일 수 있으며, 이 특허는 그 전체가 본원에 참조로서 편입된다. 상기 베이스 히터 (84)의 제일 위에 기층 (88)이 배치되며, 그 기층은 본 발명 개시의 한 모습에 따라서 약 1mm 두께의 알루미늄 재 질이다. 상기 기층 (88)은 상기 베이스 히터 (84)로부터의 필요한 전력의 양을 소산하기 (dissipate) 위한 열 전도성을 구비하도록 설계된다. 상기 베이스 히터 (84)가 필요한 양의 열 전도성을 가지지 않으면서도 상대적으로 높은 전력을 가지기 때문에, 이 베이스 히터 (84)는 인접한 컴포넌트들 상에 (저항성 회로 자취로부터의) "경계" 풋말들 ("witness" marks)을 남길 것이며, 그럼으로써 전반적인 히터 시스템의 성능을 감소시킨다.
- [0019] 조정 히터 (90)는 상기 기층 (88)의 제일 위에 배치되며 그리고 위에서 제시된 것처럼 탄성중합체 본드 레이어 (94)를 이용하여 척 (92)에 고정된다. 한 모습에서 상기 척 (92)은 대략 2.5mm의 두께를 가진 산화 알루미늄 재 질이다. 여기에서 제시된 상기 재질들 그리고 치수들은 단지 예시적일 뿐이며 그래서 본 발명의 개시는 여기에 서 제시된 것과 같은 특정 모습들로 제한되지 않는다는 것이 이해되어야만 한다. 추가로, 상기 조정 히터 (90)는 상기 베이스 히터 (84)보다 더 낮은 전력을 가지며, 그리고 위에서 제시된 것처럼, 상기 기층 (88)은 상기 베이스 히터 (84)로부터의 전력을 소산시키도록 기능하며, 그래서 상기 조정 히터 (90) 상에 "경계" 풋말들이 형성되지 않도록 한다.
- [0020] 상기 베이스 히터 (84) 그리고 상기 조정 히터 (90)는 도 1c에 더욱 상세하게 도시되며, 그 도면에서 예시의 네 (4) 개의 구역이 베이스 히터 (84)용으로 도시되며, 그리고 상기 조정 히터 (90) 용으로 열여덟 (18) 개 구역들 이 도시된다. 하나의 모습에서, 상기 히터 (80)는 450mm의 척 크기들과 함께 사용하도록 적응되지만, 상기 히터 (80)는 열 분산을 고도로 맞추기 위한 자신의 능력으로 인해서 더 큰 또는 더 작은 척 크기들과 함께 사용될 수 있을 것이다. 추가로, 여기에서 예시된 것과 같이 쌓인/평면적인 (stacked/planar) 구성들이 아니라 상기 척 주 변에, 또는 상기 척을 가로지른 미리 정해진 위치들에 고 선명 히터 (80)가 사용될 수 있을 것이다. 또한, 상기 고 선명 히터 (80)는 반도체 프로세싱 장비 내 다른 컴포넌트들 중에서도 프로세스 키트들, 챔버 벽들, 뚜껑들 (lids), 가스 라인들, 그리고 분수기들 (showerheads) 내에서 사용될 수 있을 것이다. 여기에서 예시되고 그리 고 설명된 상기 히터들 그리고 제어 시스템들은 어떤 개수의 애플리케이션들에서도 사용될 수 있을 것이며, 그 래서 상기 반도체 히터 척 애플리케이션은 본 발명 개시의 범위를 제한하는 것으로서 해석되어서는 안 된다는 것이 또한 이해되어야만 한다.
- [0021] 본 발명의 개시는 상기 베이스 히터 (84) 그리고 상기 조정 히터 (90)가 가열 기능에만 한정되지 않는 것으로 또한 예상한다. "베이스 기능적 레이어 (base functional layer)" 또는 "조정 레이어 (tuning layer)"로 각각 언급되는 이 멤버들 중 하나 또는 그 이상은 본 발명의 범위 내에 여전히 남아있으면서도 대안으로 온도 센서

레이어 또는 다른 기능적인 멤버일 수 있다는 것이 이해되어야만 한다.

- [0022] 도 1d에서 보이는 것처럼, 상기 척 (12)의 제일 위 표면 상에 2차적인 (secondary) 조정 레이어 히터 (99)를 포함시켜서 이중의 조정 능력이 제공될 수 있을 것이다. 상기 2차적인 조정 레이어는 본 발명의 범위 내에 남아있으면서도 가열 레이어라기보다는 온도 감지 레이어로서 대안으로 사용될 수 있을 것이다. 따라서, 임의의 개수의 조정 레이어 히터들이 사용될 수 있을 것이며 그리고 여기에서 예시되고 그리고 설명된 것들로 제한되어서는 안 된다.
- [0023] 이제 도 2를 참조하면, 열 어레이 시스템 (100)이 제공된다. 상기 시스템 (100)은 제어기 (110)를 포함한다. 상기 제어기 (110)는 제어 회로 또는 마이크로프로세서 기반의 제어기일 수 있다. 상기 제어기 (110)는 센서 측정치들을 수신하도록 구성되며 그리고 그 측정치들을 기반으로 하여 제어 알고리즘을 구현하도록 구성될 수 있을 것이다. 몇몇의 예들에서, 상기 제어기는 하나 또는 그 이상의 열 어레이 엘리먼트들의 전기적인 특성을 측정할 수 있을 것이다. 게다가, 상기 제어기 (110)는 전력이 상기 어레이의 각 열 엘리먼트에 어떻게 제공되는가를 상기 측정치들을 기반으로 하여 판별하기 위해서 복수의 스위치들을 포함하고 그리고/또는 제어할 수 있을 것이다.
- [0024] 일 예에서, 전력은 참조번호 112, 114, 116에 의해 표시된 것과 같은 3-상 전력 입력을 통해서 상기 어레이로 제공된다. 상기 입력 전력은 정류기 회로 (118)에 연결되어, 양의 직류 전류 (DC) 전력 라인 (120) 그리고 음의 DC 전력 라인 (122)을 제공한다. 상기 전력은 여섯 개의 전력 노드들을 통해서 상기 열 어레이로 분배될 수 있다. 상기 제어기 (110)는 복수의 스위치들을 제어하도록 구성될 수 있을 것이며, 그래서 상기 양의 전력 라인 (120)이 상기 6개의 전력 노드들 중 어느 하나로 경로가 정해질 수 있도록 하며 그리고 상기 음의 전력 라인 (122)이 복수의 전력 노드들 중 어느 하나로 또한 경로가 정해질 수 있도록 한다.
- [0025] 도시된 구현에서, 상기 전력 노드들은 2개 그룹의 노드들로 구성된다. 노드들의 제1 그룹은 참조번호 136a의 전력 노드, 참조번호 136b의 전력 노드, 그리고 참조번호 136c의 전력 노드를 포함한다. 제2 그룹은 참조번호 138a의 전력 노드, 참조번호 138b의 전력 노드, 그리고 참조번호 138c의 전력 노드를 포함한다. 도시된 구현에서, 상기 열 엘리먼트들은 3개 그룹의 열 엘리먼트들 그리고 각 그룹은 여섯 개의 열 엘리먼트들을 포함한 행렬 배열로 구성된다. 그러나, 여기에서 설명된 각 구현에서, 더 많은 또는 더 적은 노드들이 사용될 수 있으며, 또한, 열 엘리먼트들의 개수는 노드들의 개수에 따라서 대응하여 증가되거나 또는 감소될 수 있을 것이다.
- [0026] 상기 열 엘리먼트들의 제1 그룹 (160)은 모두 참조번호 138a의 노드에 연결된다. 유사하게, 열 엘리먼트들의 제2 그룹 (170)은 모두 참조번호 138b의 전력 노드에 연결되며, 열 엘리먼트들의 제3 그룹 (180)은 모두 참조번호 138c의 전력 노드에 연결된다. 상기 열 엘리먼트는 히터 엘리먼트들일 수 있다. 상기 히터 엘리먼트들은, 예를 들면, 온도 종속적인 전기적 저항값을 가진 전기적 전도성의 재질로 형성될 수 있다. 더 상세하게는, 상기 열 엘리먼트들은 저항, 커패시턴스, 또는 인덕턴스와 같은 전기적인 특성들을 가진, 온도에 관련이 있는 히터 엘리먼트들일 수 있다. 상기 열 엘리먼트들이 저항성 엘리먼트들처럼 열을 소산하는 (dissipative) 엘리먼트들로 또한 일반적으로 분류될 수 있을 것이다. 따라서, 여기에서 설명된 구현들 각각에서 상기 열 엘리먼트는 위에서 설명된 특성들 중 어느 것을 가질 수 있을 것이다.
- [0027] 각 그룹 내에서, 여섯 개의 열 엘리먼트들은 열 엘리먼트들의 쌍들로 구성된다. 예를 들면, 제1 그룹 (160)에서, 열 엘리먼트들의 첫 번째 쌍 (146a)은 제1 열 엘리먼트 (164) 그리고 제2 열 엘리먼트 (168)를 포함한다. 상기 제1 열 엘리먼트 (164)는 상기 제2 열 엘리먼트 (168)와 전기적 병렬 접속으로 구성된다. 또한, 상기 제1 열 엘리먼트 (164)는 단일방향 회로 (162)와는 전기적으로 직렬 연결이다. 상기 단일방향 회로 (162)는 한 방향으로만 상기 열 엘리먼트 (164)를 통해서 전류가 흐르도록 하고 그리고 반대 방향으로 흐르지 않게 하도록 구성될 수 있을 것이다. 그러럼, 상기 단일방향 회로 (162)는 가장 간단한 모습인 다이오드로서 도시된다.
- [0028] 상기 제1 단일방향 회로 (162)는, 캐소드는 참조번호 136a의 노드에 연결되고 그리고 아노드는 열 엘리먼트 (164)를 통해서 참조번호 138a의 노드에 연결된 다이오드로서 도시된다. 유사한 방식으로, 상기 제2 단일방향 회로 (166)는, 캐소드는 상기 제2 열 엘리먼트 (168)를 통해서 참조번호 138a의 노드에 연결되고 그리고 아노드는 참조번호 136a의 노드에 연결된 다이오드로서 도시되며, 그럼으로써 상기 제2 단일방향 회로 (166)와는 반대인 상기 제1 단일방향 회로 (162)의 단일방향 속성을 예시한다. 단일방향 회로로서의 다이오드의 구현은 하나의 볼트 파워 서플라이에 대해서만 작동할 것이지만, 그러나 다양한 다른 회로들은, 예를 들면, 고 전력 공급 전압들을 위해서 동작하는 실리콘 제어-정류기들 (silicon controlled-rectifiers (SCR's))을 이용하는 회로들을 포함하여 고안될 수 있을 것이라는 것에 유의한다. 단일방향 회로들의 그런 구현들은 나중에 더 상세하게 설명되지만, 여기에서 설명된 어떤 구현들과 결합해서도 사용될 수 있을 것이다.

- [0029] 유사한 방식에서, 상기 제2 열 엘리먼트 (168)는 제2 단일방향 회로 (166)와 전기적으로 직렬 연결이며, 가장 간단한 모습인 다이오드로서 다시 도시된다. 상기 제1 열 엘리먼트 (164) 그리고 상기 제1 단일방향 회로 (162)는 참조번호 138a의 전력 노드 그리고 참조번호 136a의 전력 노드 사이에서 상기 제2 열 엘리먼트 (168) 그리고 상기 제2 단일방향 회로 (166)와 병렬이다. 따라서, 상기 제어기 (110)가 참조번호 136a의 노드에 양의 전압을 인가하고 그리고 참조번호 138a의 노드에 음의 전압을 인가한다면, 전력은 상기 제1 쌍 (146a)의 상기 제1 열 엘리먼트 (164) 그리고 상기 제2 열 엘리먼트 (168) 둘 모두를 가로질러서 인가될 것이다. 위에서 설명된 것처럼, 상기 제1 단일방향 회로 (162)는 상기 제2 단일방향 회로 (166)와 반대 방향으로 향한다. 것처럼, 상기 제1 단일방향 회로 (162)는 참조번호 138a의 노드에 양의 전압이 인가되고 그리고 참조번호 136a의 노드에는 음의 전압이 인가될 때에 전류가 상기 제1 열 엘리먼트 (164)를 통해서 흐르도록 하지만, 참조번호 136a의 노드에 양의 전압이 제공되고 그리고 참조번호 138a의 노드에는 음의 전압이 제공될 때에는 전류가 흐르는 것을 막는다. 대조적으로, 참조번호 136a의 노드에 양의 전압이 제공되고 그리고 참조번호 138a의 노드에는 음의 전압이 제공될 때에, 전류는 상기 제2 열 엘리먼트 (168)를 통해서 흐르도록 허용되지만, 그러나, 상기 극성이 전환될 때에는, 상기 제2 열 엘리먼트 (168)를 통한 전류 흐름은 상기 제2 단일방향 회로 (166)에 의해서 막힌다.
- [0030] 추가로, 그룹 내의 열 엘리먼트들의 각 쌍은 전력 노드들 (136a, 136b, 136c)의 제1 그룹의 상이한 전력 노드에 연결된다. 따라서, 상기 제1 그룹 (160)의 열 엘리먼트들의 제1 쌍 (146a)은 참조번호 136a의 노드 그리고 참조번호 138a의 노드 사이에 연결된다. 상기 제2 쌍 (146b)은 참조번호 136b의 전력 노드 그리고 참조번호 138a의 전력 노드 사이에 연결되며, 반면에 열 엘리먼트들의 그룹 (160)의 제3 쌍 (146c)은 참조번호 136c의 전력 노드 그리고 참조번호 138a의 전력 노드 사이에 연결된다. 것처럼, 상기 제어기 (110)는 전력 노드 (138a)를 공급 전력 또는 리턴 (return)에 연결시킴으로써 엘리먼트들의 그룹을 선택하도록 구성될 수 있으며, 그러면 노드들 (136a, 136b, 또는 136c) 중 하나를 공급 전력 또는 리턴에 연결시킴으로써 열 엘리먼트들의 쌍 (146a, 146b, 146c)이 각각 선택될 수 있다. 또한, 상기 제어기 (110)는 참조번호 138a의 노드와 노드들 (136a, 136b, 그리고 /또는 136c) 사이에 제공된 전압의 극성을 기반으로 하여 각 쌍의 제1 엘리먼트 또는 각 쌍의 제2 엘리먼트에게 전력을 공급하도록 선택할 수 있을 것이다.
- [0031] 동일한 방식에서, 열 엘리먼트들의 상기 제2 그룹 (170)은 상기 제2 그룹의 노드들의 노드 (138b) 그리고 노드 (136a, 136b, 그리고 136c) 사이에 연결된다. 것처럼, 그룹 (170)의 열 엘리먼트들의 제1 쌍 (146d)은 전력 노드 (136a)를 이용하여 선택될 수 있을 것이며, 반면에 그룹 (170)의 열 엘리먼트들의 제2 쌍 (146e) 및 제3 쌍 (146f)은 각각 참조번호 136b의 노드 및 참조번호 136c의 노드에 의해서 선택될 수 있을 것이다.
- [0032] 마찬가지로, 열 엘리먼트들의 상기 제2 그룹 (180)은 상기 제2 그룹의 노드들의 노드 (138c) 그리고 노드 (136a, 136b, 그리고 136c) 사이에 연결된다. 그룹 (180)의 열 엘리먼트들의 제1 쌍 (146g)은 전력 노드 (136a)를 이용하여 선택될 수 있을 것이며, 반면에 그룹 (170)의 열 엘리먼트들의 제2 쌍 (146h) 및 제3 쌍 (146i)은 각각 참조번호 136b의 노드 및 참조번호 136c의 노드에 의해서 선택될 수 있을 것이다.
- [0033] 도시된 구현을 위해서, 상기 제어기 (110)는 복수의 스위치들을 조작하여 상기 양의 전력 라인 (120)을 상기 제1 그룹의 전력 노드들 중 하나에 연결시키고 그리고 음의 전력 라인 (122)을 상기 제2 그룹의 전력 노드들에 연결시키며, 대안으로, 상기 양의 전력 라인 (120)을 상기 제2 그룹의 전력 노드들에 연결시키고 그리고 음의 전력 라인 (122)을 상기 제1 그룹의 전력 노드들에 연결시킨다. 것처럼, 상기 제어기 (110)는 제어 신호 (124)를 제1 극성 제어 스위치 (140) 그리고 제2 극성 제어 스위치 (142)에 제공한다. 상기 제1 극성 제어 스위치 (140)는 상기 제1 그룹의 전력 노드들을 상기 양의 전력 공급 라인 (120) 또는 상기 음의 전력 공급 라인 (122) 중 어느 하나에 연결시키며, 반면에 상기 제2 극성 스위치 (142)는 상기 제2 그룹의 전력 노드들을 상기 양의 전력 공급 라인 (120) 또는 상기 음의 전력 공급 라인 (122)에 연결시킨다.
- [0034] 추가로, 상기 제어기 (110)는 제어 신호들 (126)을 제1 그룹 전력 스위치들 (130, 132, 그리고 134)에게 제공한다. 상기 스위치들 (130, 132, 그리고 134)은 스위치의 출력 (140) (양의 공급 라인 (120) 또는 음의 공급 라인 (122))을 각각 상기 제1 노드 (136a), 제2 노드 (136b), 그리고 제3 노드 (136c)에 연결시킨다. 추가로, 상기 제어기 (110)는 제어 신호들 (128)을 제2 그룹 전력 스위치들 (150, 152, 그리고 154)에게 제공한다. 상기 스위치들 (150, 152, 그리고 154)은 스위치의 출력 (142) (양의 공급 라인 (120) 또는 음의 공급 라인 (122))을 각각 상기 제1 노드 (138a), 제2 노드 (138b), 그리고 제3 노드 (138c)에 연결시킨다.
- [0035] 이제 도 3a를 참조하면, 다중-병렬 열 어레이 시스템 (200)이 제공된다. 상기 시스템 (200)은 제어 시스템 (210)을 포함한다. 상기 제어 시스템은 마이크로프로세서, 스위치들, 그리고 여기에서 설명된 로직을 구현하기 위해서 본 명세서 도처에서 설명된 것들과 유사한 다른 분리된 컴포넌트들을 포함할 수 있을 것이다. 열 엘리먼트

트들은 전력 노드들의 쌍을 가로질러 다중-병렬 방식으로 배치된다. 도시된 구현을 위해서, 여섯 개의 전력 노드들 (212, 214, 216, 218, 220, 222)이 배치된다. 또한, 각 열 엘리먼트는 전력 노드들의 쌍 사이에 연결된다. 더 상세하게는, 각 열 엘리먼트는 전력 노드들의 상이한 쌍 사이에 연결된다. 것처럼, 각 노드는 자신과 그리고 다른 각 전력 노드 사이에 연결된 하나의 열 엘리먼트를 가진다.

[0036] 따라서, 참조번호 230의 열 엘리먼트는 참조번호 212의 노드와 참조번호 222의 노드 사이에 연결되며, 참조번호 232의 열 엘리먼트는 참조번호 212의 노드와 참조번호 220의 노드 사이에 연결되며, 참조번호 234의 열 엘리먼트는 참조번호 212의 노드와 참조번호 218의 노드 사이에 연결되며, 참조번호 236의 열 엘리먼트는 참조번호 212의 노드와 참조번호 216의 노드 사이에 연결되며, 그리고 참조번호 238의 열 엘리먼트는 참조번호 212의 노드와 참조번호 214의 노드 사이에 연결된다. 것처럼, 참조번호 212의 노드는 열 엘리먼트 (230, 232, 234, 236, 또는 238)를 통해서 다른 노드들 (214, 216, 218, 220, 그리고 222) 각각에 연결된다.

[0037] 유사하게, 참조번호 240의 열 엘리먼트는 참조번호 214의 노드와 참조번호 222의 노드 사이에 연결되며, 참조번호 242의 열 엘리먼트는 참조번호 214의 노드와 참조번호 220의 노드 사이에 연결되며, 참조번호 244의 열 엘리먼트는 참조번호 214의 노드와 참조번호 218의 노드 사이에 연결되며, 그리고 참조번호 246의 열 엘리먼트는 참조번호 214의 노드와 참조번호 216의 노드 사이에 연결된다. 참조번호 214의 노드와 참조번호 212의 노드 사이에 연결된 열 엘리먼트는 이미 참조번호 238의 열 엘리먼트로서 식별되었다는 것에 유의한다. 추가로, 엘리먼트들의 서로 다른 쌍 사이의 연결들은, 참조번호 216의 노드 및 참조번호 222의 노드 사이에 연결된 참조번호 250의 열 엘리먼트, 참조번호 216의 노드 및 참조번호 220의 노드 사이에 연결된 참조번호 252의 열 엘리먼트, 참조번호 216의 노드 및 참조번호 218의 노드 사이에 연결된 참조번호 254의 열 엘리먼트, 참조번호 218의 노드 및 참조번호 222의 노드 사이에 연결된 참조번호 260의 열 엘리먼트, 참조번호 218의 노드 및 참조번호 220의 노드 사이에 연결된 참조번호 262의 열 엘리먼트, 그리고 참조번호 220의 노드 및 참조번호 222의 노드 사이에 연결된 참조번호 270의 열 엘리먼트에 의해서 제공된다.

[0038] 상기 제어기 (210)는 전력 연결, 리턴 연결, 또는 각 노드에 대한 개방 회로를 제공하도록 구성된다. 추가로, 상기 다중-병렬 토폴로지는 도 2에서 제공된 행렬 토폴로지와는 상당히 상이하다는 것이 인식될 수 있다. 상기 다중-병렬 토폴로지는 상기 열 엘리먼트 네트워크가 열 감지를 위한 모든 엘리먼트들의 인터랙션을 이해하기 위한 것은 물론이며 가열을 위한 전력 분배에 관해서 전체적으로 고려되어야 한다는 것을 제공한다. 예를 들면, 공급 전력이 참조번호 212 노드에 제공되고 그리고 리턴 연결이 참조번호 222의 노드에 제공된다면, 1차적인 전력 경로는 참조번호 230의 열 엘리먼트를 통한 것이다. 그러나, 2차적인 경로들은 상기 네트워크 내 다른 엘리먼트들 각각을 통해 반대로 참조번호 222의 노드 쪽으로 존재할 것이다. 것처럼, 상기 제어기 (210)는 노드들의 어떤 구성으로 전력 및 리턴을 제공할 때에 상기 1차적인 경로의 열 엘리먼트로 제공되는 전력은 물론이며 상기 2차적인 경로들을 통해서 다른 엘리먼트들 모두에게 제공되는 전력도 고려해야만 한다. 이 태스크는 설계, 주위의 영향들 또는 제조 공차들의 어느 하나에 의해서 상이한 특성들을 가지는 각 열 엘리먼트를 기반으로 하여 매우 복잡할 수 있다.

[0039] 이 토폴로지를 위해서, 상기 제어 방식은 여섯 개(6)의 와이어들 그리고 열다섯 개 (15)의 엘리먼트들을 채택하며 SRC들, 다이오드들, 그리고 위에서 제시된 다른 엘리먼트들을 구비한 스위칭 회로들을 사용하지 않는다. 이 제어 방식을 위한 와이어들에 관한 엘리먼트들의 최대 개수는 $E = \frac{1}{2}(N \times (N - 1))$ 이다. 각 와이어가 계속해서 전력을 공급받고, 임의의 노드 조합에 독립적인 전압들이 인가되면, 이 시스템은 제어하기 어려울 수 있다. 본 발명 개시의 이런 모습에 따라, 와이어들은 선택적으로 전력, 리턴에 연결되거나 또는 개방-회로로 남으며, 원하는 평균적인 가열 분배를 산출하기 위해서 특정된 시간 주기 동안 이 조합들의 시퀀스들을 이용한다. 예를 들면, 한가지 조합은 A 및 B를 전력에 연결하고, C 및 D는 리턴에 연결하며, 그리고 E 및 F는 개방-회로로 남겨두는 것일 수 있다; 다른 조합은 A 및 C를 전력에 연결하고, D는 리턴에 연결하며, 그리고 B, E 및 F는 개방-회로로 남겨두는 것일 수 있다. 이런 조합들 또는 모드 (mode)들은 그러면 변하는 시간 주기들 동안 조정 레이어 가열 엘리먼트들에 순서대로 적용되며, 예를 들면, 제1 모드는 제1 시간 t_1 동안 적용되며, 제2 모드는 제2 시간 t_2 동안 적용되는 등이며, 그래서 그 결과인 시간이 정해진 시퀀스는 상기 조정 레이어 히터에 원하는 평균 가열 분배를 산출하도록 한다. 한 모습에서, 타이밍 시퀀스 구간들은 상기 히터의 열 시간 상수보다 아주 더 짧게 사용되어, 상기 히터에서 온도 리플 (temperature ripple)이 충분히 낮은 레벨로 유지되도록 한다. 주어진 여섯 개의 와이어의 예에서, N-와이어들에 대해 301개의 가능한 비-중복 (non-redundant) 모드들이 존재하며, 이 경우 비-중복 모드는 적어도 하나의 엘리먼트에서는 전력을 생성하고 그리고 그 시스템에서 다른 모드에서는 동일한 엘리먼트들에서 동일한 전력을 생성하지 않는 모드이다. 개방-회로들과 연관된 모드들이 제거된다면, 그러면

N-와이어들에 대한 비-중복 모드들의 개수 $Modes = 2^{N-1} - 1$ 이다. 따라서, 동일한 여섯 개의 와이어, 열다섯 개의 엘리먼트 시스템에 대해, 31개의 비-중복, 비-제로 (null) 모드들이 존재한다. 여섯 개의 노드, 열다섯 개의 엘리먼트 시스템에 대한 결과인 모드 행렬 $[PxM]$ 은 (15×301) 또는 $(15 \text{ by } 31)$ 이며 그리고 행렬식

$$[P_E] = [PxM] \bullet [Modes]$$

에 대한 솔루션이 필요하며, 이 경우에 P_E 는 상기 엘리먼트들로부터의 전력 (열 플럭스 (heat flux)) 출력의 벡터이다. 개방 회로들이 있으면, 다중 병렬 모드들의 개수 $= (3^N - 2^{N+1} - 1)/2$ (비-중복)이다. 전체 개방-회로 포함 행렬이 사용되고 그리고 주어진 타임 윈도우 내에 생성되어야만 하는 모드들의 개수로 인해서 구현하기 힘들고 그리고 오류가 발생할 경향이 큰 모드 벡터를 생성한다면, 상기 $[PxM]$ 행렬은 불충분하게 결정될 뿐이며 그리고 좋지 않은 상태일 것 같다. 또한, 모든 원하는 전력 벡터들에 대해서 해결책이 항상 가능한 것은 아니다. 행렬 조건을 기반으로 하여 선택된 모드들의 부분집합을 선택함으로써 복잡성 및 오류들이 줄어들 수 있을 것이다. 모드들의 선택된 부분집합의 행렬 조건을 평가하기 위한 한가지 방법은 $[PxM]$ 행렬의 부분집합들에 대해 특이값 분해 (singular value decomposition)를 수행하고, 부분집합들을 서로에게 대해서 비교하고 그리고 가장 큰 비-제로 특이값의 가장 작은 비-제로 특이값에 대한 가장 작은 비율을 가진 집합을 선택하는 것이다. 전력이 상기 시스템에 추가되기만 할 수 있기 때문에 비-음수 모드들만이 사용될 수 있

며, 그래서 이 행렬 부분집합 $[PxM_R]$ 이 비-음수 최소 자승 문제
$$\min_{Modes} \left\| [PxM_R] \bullet [Modes] - [P_E] \right\|_2^2$$
 를 풀기 위

해서 사용될 수 있도록 하며, 이 경우에 $Modes \geq 0$ 이다. 이 솔루션의 나머지들 (residues)을 검사하는 것은 솔루션 오류의 측정을 준다. 이 솔루션들의 한정된 개수는 거의 정확할 것이지만, 와이어들 및 엘리먼트들의 개수가 증가하면, 상기 시스템은 더욱 강제적이 되며 그리고 각 엘리먼트에 대한 낮은-오류 독립적 전력 솔루션의 범위는 감소한다. 제시된 상기 방법은 상기 엘리먼트들에 대한 전력 제어를 위한 것이며 그리고 불충분하게 정해진 지형 때문에, 낮은 TCR을 가진 안정적인 저항성 엘리먼트들은 가장 낮은 오류의 솔루션들을 산출할 것이지만, 이는 높은 TCR 엘리먼트들을 사용하거나 또는 이 시스템을 온도 제어 하에 가져가기 위해서 분리된 온도 감지 평면을 사용하는 것을 배제하지 않는다.

[0040] 이제 도 3b를 참조하면, 다중-병렬 그리고 양방향 열 어레이 시스템 (300)이 제공된다. 상기 열 어레이 시스템 (300)은 제어 시스템 (310)을 포함한다. 상기 제어 시스템 (310)은 마이크로프로세서, 스위치들, 그리고 여기에서 설명된 로직을 구현하기 위해서 본 명세서 도처에서 설명된 것들과 유사한 다른 분리된 컴포넌트들을 포함할 수 있을 것이다. 도 2에서와 같이, 상기 열 엘리먼트들은 전력 노드들의 쌍을 가로질러 다중-병렬 방식으로 배치된다. 양방향성이므로, 2배 개수의 열 엘리먼트들이 동일한 개수의 노드들과 함께 제어될 수 있다. 도시된 실시예들을 위해서, 여섯 개의 전력 노드들 (312, 314, 316, 318, 320, 322)이 배치된다. 또한, 열 엘리먼트의 각 쌍은 전력 노드들의 쌍 사이에 연결된다. 더 상세하게는, 열 엘리먼트의 각 쌍은 전력 노드들의 상이한 쌍 사이에 연결된다. 그러럼, 각 노드는 자신과 그리고 다른 각 전력 노드 사이에 연결된 한 쌍의 열 엘리먼트를 가지며, 이 경우에 각 쌍 내의 열 엘리먼트들은 공급 전력의 상이한 극성에 의해서 활성화된다.

[0041] 따라서, 열 엘리먼트 쌍 (350)은 참조번호 312의 노드 그리고 참조번호 322의 노드 사이에 연결된다. 상기 열 엘리먼트 쌍 (350)은 제1 열 엘리먼트 (322) 그리고 제2 열 엘리먼트 (334)를 포함한다. 상기 제1 열 엘리먼트 (322)는 상기 제2 열 엘리먼트 (334)와 전기적 병렬 연결로 구성된다. 또한, 상기 제1 열 엘리먼트 (332)는 단일방향 회로 (330)와 전기적으로 직렬 연결이다. 상기 단일방향 회로 (330)는 상기 열 엘리먼트 (332)를 통해서 한 방향으로만 전류가 흐르도록 허용하지만 반대 방향으로만 허용하지 않도록 구성될 수 있을 것이다. 그러럼, 상기 단일방향 회로 (330)는 가장 단순한 모습으로 다이오드로 도시된다.

[0042] 상기 제1 단일방향 회로 (330)는, 캐소드는 참조번호 312의 노드에 연결되고 그리고 아노드는 열 엘리먼트 (332)를 통해서 참조번호 314의 노드에 연결된 다이오드로서 도시된다. 유사한 방식으로, 상기 제2 단일방향 회로 (336)는, 캐소드는 참조번호 314의 노드에 연결되고 그리고 아노드는 상기 제2 열 엘리먼트 (334)를 통해서 참조번호 312의 노드에 연결된 다이오드로서 도시되며, 그러므로써 상기 제2 단일방향 회로 (336)와는 반대인 상기 제1 단일방향 회로 (330)의 단일방향 속성을 예시한다.

[0043] 그러럼, 상기 제1 단일방향 회로 (330)는 참조번호 322의 노드에 양의 전압이 인가되고 그리고 참조번호 312의 노드에는 음의 전압이 인가될 때에 전류가 상기 제1 열 엘리먼트 (332)를 통해서 흐르도록 하지만, 참조번호 312의 노드에 양의 전압이 제공되고 그리고 참조번호 322의 노드에는 음의 전압이 제공될 때에는 전류가 흐르는 것을 막는다. 대조적으로, 참조번호 312의 노드에 양의 전압이 인가되고 그리고 참조번호 322의 노드에는 음의

전압이 인가될 때에, 전류는 상기 제2 열 엘리먼트 (334)를 통해서 흐르도록 허용되지만, 그러나, 상기 극성이 전환될 때에는, 상기 제2 열 엘리먼트 (334)를 통한 전류 흐름은 상기 제2 단일방향 회로 (336)에 의해서 막힌다.

[0044] 열 엘리먼트 쌍 (352)은 참조번호 312의 노드 그리고 참조번호 320의 노드 사이에 연결되며, 열 엘리먼트 쌍 (354)은 참조번호 312의 노드 그리고 참조번호 318의 노드 사이에 연결되며, 열 엘리먼트 쌍 (356)은 참조번호 312의 노드 그리고 참조번호 316의 노드 사이에 연결되며, 그리고 열 엘리먼트 쌍 (358)은 참조번호 312의 노드 그리고 참조번호 314의 노드 사이에 연결된다. 것처럼, 참조번호 312의 노드는 열 엘리먼트 쌍 (350, 352, 354, 356, 또는 358)을 통해서 다른 노드들 (314, 316, 318, 320, 그리고 322) 각각에 연결된다. 유사하게, 열 엘리먼트 쌍 (360)은 참조번호 314의 노드 그리고 참조번호 322의 노드 사이에 연결되며, 열 엘리먼트 쌍 (362)은 참조번호 314의 노드 그리고 참조번호 320의 노드 사이에 연결되며, 열 엘리먼트 쌍 (364)은 참조번호 314의 노드 그리고 참조번호 318의 노드 사이에 연결되며, 그리고 열 엘리먼트 쌍 (366)은 참조번호 314의 노드 그리고 참조번호 316의 노드 사이에 연결된다. 참조번호 314의 노드 그리고 참조번호 312의 노드 사이의 연결은 참조번호 358의 열 엘리먼트 쌍을 통해서 이미 식별되었다는 것에 유의한다.

[0045] 추가로, 엘리먼트들의 다른 쌍 각각 사이의 연결들은 참조번호 316의 노드 그리고 참조번호 322의 노드 사이에 연결된 열 엘리먼트 쌍 (370), 참조번호 316의 노드 그리고 참조번호 320의 노드 사이에 연결된 열 엘리먼트 쌍 (372), 참조번호 316의 노드 그리고 참조번호 318의 노드 사이에 연결된 열 엘리먼트 쌍 (373), 참조번호 318의 노드 그리고 참조번호 322의 노드 사이에 연결된 열 엘리먼트 쌍 (380), 참조번호 318의 노드 그리고 참조번호 320의 노드 사이에 연결된 열 엘리먼트 쌍 (382), 그리고 참조번호 320의 노드 그리고 참조번호 322의 노드 사이에 연결된 열 엘리먼트 쌍 (390)에 의해서 제공된다.

[0046] 상기 제어기 (310)는 전력 연결, 리턴 연결, 또는 각 노드에 대한 개방 회로를 제공하도록 구성된다. 위에서 설명된 것처럼, 상기 다중-병렬 토폴로지는 상기 열 엘리먼트 네트워크가 열 감지를 위한 모든 엘리먼트들의 인터랙션을 이해하기 위한 것은 물론이며 가열을 위한 전력 분배에 관해서 전체적으로 고려되어야 한다는 것을 제공한다. 예를 들면, 공급 전력이 참조번호 312 노드에 제공되고 그리고 리턴 연결이 참조번호 322의 노드에 제공된다면, 1차적인 전력 경로는 참조번호 350의 열 엘리먼트를 통한 것이다. 그러나, 2차적인 경로들은 상기 네트워크 내 다른 엘리먼트들 각각을 통해 반대로 참조번호 322의 노드 쪽으로 존재할 것이다. 것처럼, 상기 제어기 (310)는 노드들의 어떤 구성으로 전력 및 리턴을 제공할 때에 상기 1차적인 경로의 열 엘리먼트로 제공되는 전력은 물론이며 상기 2차적인 경로들을 통해서 다른 엘리먼트들 모두에게 제공되는 전력도 고려해야만 한다.

[0047] 이제 도 4를 참조하면, 양방향 및 다중-병렬 열 엘리먼트 시스템의 다른 구현이 제공된다. 상기 시스템 (400)은 제어기 (410)를 포함하며, 이는 복수의 전력 노드들을 제어한다. 도시된 구현을 위해, 상기 제어기 (410)는 여섯 개의 전력 노드들 (412, 414, 416, 418, 420, 그리고 422)을 제어한다. 이전에 설명된 것처럼, 각 노드는 열 엘리먼트를 통해서 다른 노드들 각각에 연결된다. 또한, 양방향의 경우세, 각 엘리먼트는 두 개의 열 엘리먼트들을 통해서 각각의 다른 엘리먼트에게 연결되며, 이 경우에 상기 열 엘리먼트들 중 하나의 열 엘리먼트는 제1 극성에 있는 노드들의 쌍을 연결시키며 그리고 두 번째 열 엘리먼트는 반대 극성에 있는 엘리먼트들의 쌍을 연결시킨다.

[0048] 상기 시스템 (400)에서, 각 단일방향 회로 (430)는 SCR (432), 다이오드 (436) 그리고 제너 다이오드 (434)를 포함한 엘리먼트들의 조합으로서 도시된다. 상기 단일방향 엘리먼트 (430)는 각 열 엘리먼트, 예를 들면, 참조번호 438의 열 엘리먼트와 전기적으로 직렬 연결이다. 도시된 것처럼, 상기 열 엘리먼트 (438) 그리고 상기 단일방향 회로 (430)는 참조번호 414의 노드 그리고 참조번호 412의 노드 사이에 전기적으로 직렬로 연결된다. 양의 공급 전압이 참조번호 414의 노드에 공급되었고 그리고 참조번호 412의 노드에 리턴이 공급되었으면, 상기 열 엘리먼트 (438) 그리고 SCR (432)를 통해서 전류가 흐르도록 허용될 것이다. 상기 열 엘리먼트 (438)는 참조번호 414의 노드 그리고 SCR (432)의 아노드에 연결된다. SCR (432)의 아노드는 상기 열 엘리먼트 (438) 그리고 다이오드 (436)의 아노드에 연결된다. 다이오드 (436)의 캐소드는 제너 다이오드 (434)의 캐소드에 연결된다. 또한, 제너 다이오드 (434)의 아노드는 상기 SCR (432)의 소스 그리고 참조번호 412의 노드에 연결된다.

[0049] 상기 SCR (432)는 SCR에 게이트 전류가 존재하면 시동한다. 상기 SCR은 전류가 상기 다이오드 (436)의 방향으로 흐르고 그리고 상기 제너 다이오드 (434)의 전압 간극 (voltage gap)을 초과할 때에 게이트 전류를 수신한다. 상기 SCR의 게이트 전류가 기기들의 다른 구성에 의해서 트리거될 수 있다. 또한, 상기 트리거하는 것은 전기적이지 않은 어떤 수단, 예를 들면, 광학적 또는 자기적 수단에 의한 것일 수 있다. 일단 상기 SCR이 활성화되어 전류를 전도하면, 이것은 전류가 중단될 때까지 멈추지 않는다. 이 구성이 예시적인 목적들을 위해서 도시되지

만, 추가의 단일방향 구성들이 사용될 수 있을 것이라는 것에 유의한다. 예를 들면, 상기 SCR을 의도하지 않게 트리거하는 것을 방지하기 위한 완충기를 제공하기 위해서 추가의 엘리먼트들이 상기 SCR 그리고 다이오드들과 함께 사용될 수 있을 것이다

[0050] 따라서, 열 엘리먼트 그리고 단일방향 회로를 포함하는 참조번호 440과 같은 열 구성이 각 노드, 예를 들면, 참조번호 414의 노드 및 참조번호 412의 노드 사이에 제공된다. 또한, 양방향 구성에서, 반대의 극성들을 가진 두 개의 열 구성들이 상기 복수의 전력 노드들 중의 노드들의 각 쌍 사이에 연결될 수 있을 것이다. 예를 들면, 열 구성 (440)이 단일방향 회로 (430)가 아닌 반대의 극성에서 참조번호 414의 노드 및 참조번호 412의 노드 사이에 연결된다. 볼 수 있는 것처럼, SCR (433)의 캐소드는 참조번호 414의 노드에 연결되며, 반면 SCR (432)의 캐소드는 참조번호 412의 노드에 연결된다. 그러므로, 각각은 반대의 극성 상태들에서만 전도할 것이다.

[0051] 상기 제어기 (410) 내에서, 각 노드는 참조번호 492에 의해 표시된 스위치들의 쌍에 연결될 수 있을 것이다. 스위치들의 상기 쌍은 트랜지스터들, 예를 들면, 반-브리지 구성에서 전기장 효과 트랜지스터들 (field effect transistor (FETs))일 수 있다. 제1 트랜지스터 (490)는 활성화될 때에 상기 노드 (412)를 리턴 전압에 연결시키는 로우 (low) 제어 스위치일 수 있으며, 반면에 제2 트랜지스터 (491)는 활성화될 때에 상기 노드 (412)를 공급 전압에 연결시키는 하이 (high) 제어 스위치일 수 있다. 상기 제1 트랜지스터 (490)는 션트 (shunt) (498)를 통해서 음의 전압 라인으로 연결된 소스 그리고 상기 복수의 노드들 중 하나의 노드에 연결된 드레인을 가질 수 있다. 다른 트랜지스터 (491)는 상기 노드 (412)에 연결된 소스 그리고 양의 전압 노드에 연결된 드레인을 가질 수 있다. 또한, 상기 제1 트랜지스터 (490) 그리고 상기 제2 트랜지스터 (491)는 제어 회로 또는 마이크로프로세서 구현 제어 로직에 연결된 게이트를 각각 가질 수 있다. 상기 제어 시스템 스위칭 배치 (예를 들면, 반 브리지 구성)는 여기에서 적용된 어떤 토폴로지들에도 적용될 수 있다는 것에 또한 유의한다.

[0052] 다른 노드 각각은 트랜지스터들의 대응하는 쌍을 또한 가진다. 특히, 노드 (414)는 트랜지스터 쌍 (493)에 연결되며, 노드 (416)는 트랜지스터 쌍 (494)에 연결되며, 노드 (418)는 트랜지스터 쌍 (495)에 연결되며, 노드 (420)는 트랜지스터 쌍 (496)에 연결되며 그리고 노드 (422)는 트랜지스터 쌍 (497)에 연결된다. 상기 제어 회로 (410)가 상기 노드들 각각에 리턴, 공급 전력, 또는 개방 회로의 조합을 제공하지만, 적어도 하나의 노드는 공급 전압에 연결될 것이며 그리고 적어도 하나의 노드는 리턴에 연결될 것이다. 공급 전력, 리턴 (예를 들면, 그라운드), 그리고 개방 회로 상태들의 다양한 조합들이 상기 노드들에 제공될 수 있다. 각 조합은 상기 열 엘리먼트 어레이에 전력을 공급하기 위한 가능한 모드이다.

[0053] 각 모드 또는 노드 상태들의 조합에 대해, 전류는 상기 션트 (498)를 통해서 흐를 것이며 그리고 상기 제어 회로 (410)에 의해서 측정될 수 있을 것이다. 또한, 네트워크 저항값과 같은 상기 열 엘리먼트 어레이의 전기적인 특성들을 판별하기 위해서 마이크로프로세서가 상기 션트를 가로지르는 전압 또는 상기 션트를 통한 전류를 측정할 수 있을 것이다. 예를 들면, 상기 네트워크 저항값은 각 모드에 적용된 시간의 양을 제어하기 위해서, 또는 입력 전압, 듀티 사이클, 전류, 또는 다른 전기적인 특성들과 같은 다른 회로 파라미터들을 수정하기 위해서 사용될 수 있을 것이다.

[0054] 이제 도 5를 참조하면, 주소 지정 가능한 스위치들을 구비한 열 어레이 시스템 (500)이 제공된다. 제어기 (510)는 양의 노드 (514) 그리고 음의 노드 (516)에 연결될 수 있다. 전력 소스 (512)는 상기 양의 노드 (514) 그리고 상기 음의 노드 (516) 사이에 연결된다. 각 열 엘리먼트는 상기 양의 노드 (514) 그리고 상기 음의 노드 (516) 사이에서 주소 지정 가능한 스위치와 전기적으로 직렬로 연결된다.

[0055] 주소지정 가능한 스위치 각각은 예를 들면, 트랜지스터들, 비교기를 및 SCR들 또는 집적 디바이스들, 예를 들면, 마이크로프로세서들, 필드-프로그래머블 게이트 어레이 (FPGA)들, 또는 주문형 반도체 (ASIC)들을 포함하는 개별 엘리먼트들의 회로일 수 있다. 신호들은 상기 양의 노드 (514) 그리고/또는 음의 노드 (516)를 통해서 상기 주소지정 가능한 스위치들 (524)로 제공될 수 있다. 예를 들면, 전력 신호는 주파수 변조, 진폭 변조, 듀티 사이클 변조될 수 있을 것이며, 또는 상기 스위치나 현재 활성화될 스위치들의 신원을 나타내는 스위치 신분 증명을 제공하는 반송파 신호를 포함할 수 있을 것이다. 추가로, 다양한 명령들, 예를 들면, 스위치 온, 스위치 오프, 또는 캘리브레이션 명령들이 동일한 통신 매체를 통해 제공될 수 있을 것이다. 일 예에서, 세 개의 식별자들이 상기 주소지정 가능한 스위치들 모두에게 전달되어 27개의 주소지정 가능한 스위치들의 제어를 허용하며 그래서, 그럼으로써, 27개 열 엘리먼트들을 독립적으로 활성화하고 비활성화시킨다. 각 열 엘리먼트 (522) 그리고 주소지정 가능한 스위치 (524)는 상기 양의 노드 (514) 그리고 음의 노드 (516) 사이에 연결된 주소지정 가능한 모듈 (520)을 형성한다. 주소지정 가능한 스위치 각각은 상기 전력 라인들로부터 전력 그리고 통신을 수신할 수 있을 것이며, 그러므로, 상기 제1 노드 (514) 그리고/또는 상기 제2 노드 (516)에 또한 따로따로 연결될

수 있을 것이다.

[0056] 상기 주소지정 가능한 모듈들 각각은 유일 ID를 가지며 그리고 각 식별자를 기반으로 하여 그룹들로 분리될 수 있을 것이다. 예를 들면, 첫 번째 로우 (row) 내 주소지정 가능한 모든 모듈들 (520, 530, 532, 534, 536, 538, 540, 542, 그리고 544)은 제1의 또는 1의 x 식별자를 가질 수 있을 것이다. 유사하게, 두 번째 로우 (row) 내 주소지정 가능한 모든 모듈들 (546, 548, 550, 552, 554, 556, 558, 560, 562)은 2의 x 식별자를 가질 수 있을 것이며, 한편 세 번째 로우 (row) 내 주소지정 가능한 모든 모듈들 (564, 566, 568, 570, 572, 574, 576, 578, 580)은 3의 x 식별자를 가질 수 있을 것이다. 동일한 방식으로, 주소지정 가능한 모듈들 (520, 530, 532, 546, 548, 550, 564, 566, 568) 중 처음 세 개의 컬럼 (column)들 (582)은 1의 z 식별자를 가질 수 있을 것이다. 그리고, 두 번째 세 개의 컬럼들 (584)은 2의 z 식별자를 가질 수 있을 것이며, 세 번째 세 개의 컬럼들 (586)은 3의 z 식별자를 가질 수 있을 것이다. 유사하게, 상기 그룹 내 각 모듈의 주소를 지정하기 위해서, 주소지정 가능한 모듈들 각각은 각 그룹 내에서 유일한 y 식별자를 가진다. 예를 들면, 그룹 (526) 내에서, 주소지정 가능한 모듈 (534)은 1의 y 식별자를 가지며, 주소지정 가능한 모듈 (5346)은 2의 y 식별자를 가지며, 그리고 주소지정 가능한 모듈 (538)은 3의 y 식별자를 가진다.

[0057] 이제 도 6a를 참조하면, 열 엘리먼트 어레이를 제어하기 위한 방법 (600)이 제공된다. 상기 방법은 블록 610에서 시작한다. 블록 612에서 상기 제어기는 상기 어레이의 각 열 엘리먼트에 대해서 셋 포인트들을 계산한다. 예를 들면, 저항값 셋 포인트들이 각 열 엘리먼트에 대해 세팅되어, 그 엘리먼트에 대해 측정된 저항값이 그 엘리먼트로의 전력 공급을 중지시키기 위한 트리거로서 사용될 수 있도록 한다. 블록 614에서, 각 열 엘리먼트에 대한 타임 윈도우가 계산된다. 상기 타임 윈도우는 특별한 열 엘리먼트에게 전력을 공급하기 위해서 할당된 시간일 수 있다. 상기 열 엘리먼트 저항값이 상기 셋 포인트 위에 있으면, 상기 제어기는 그 타임 윈도우의 나머지 동안에 휴지 상태로 유지될 수 있을 것이며 또는 다음의 열 엘리먼트에게 전력을 공급하기 위해서 다음 윈도우로 직접 이동할 수 있을 것이다. 그러나, 각 열 엘리먼트에 대해 최소의 대기 시간을 가지는 것이 바람직할 수 있을 것이며, 그래서 전력이 측정 목적들을 위해서 상기 시스템에 지속적으로 제공되지 않도록 하며, 그럼으로써 가열 애플리케이션을 위해 필요한 것을 넘어서 엘리먼트들을 가열한다.

[0058] 블록 616에서, 상기 제어기는 상기 시간 윈도우의 끝 부분이 현재의 열 엘리먼트를 위해서 도달되었는가의 여부를 판별한다. 상기 타임 윈도우의 끝 부분이 현재의 엘리먼트를 위해 도달되었다면, 상기 방법은 라인 620을 따라서 블록 622로 간다. 블록 622에서, 상기 제어기는 어레이 내 다음의 열 엘리먼트로 증가하며 그리고 블록 616으로 진행하여 그곳에서 상기 프로세스가 계속된다. 상기 타임 윈도우의 끝 부분이 현재의 엘리먼트를 위해 도달되지 않았다면 상기 방법은 라인 618을 따라서 블록 624로 간다. 블록 624에서, 상기 제어기는 동시에 상기 열 엘리먼트에 전력을 제공하고 그리고 상기 열 엘리먼트의 전기적인 특성들을 측정한다. 블록 626에서, 상기 제어기는 상기 열 엘리먼트가 상기 열 엘리먼트 셋 포인트를 초과했는가의 여부를 상기 측정된 특성들을 기반으로 하여 판별한다. 상기 셋 포인트가 초과되었다면, 상기 방법은 상기 타임 윈도우가 완료될 때까지 대기하거나, 또는 약간의 지연 이후에 라인 628을 따라서 블록 622로 진행한다. 블록 622에서, 상기 열 엘리먼트는 다음의 열 엘리먼트로 증가되며 그리고 상기 프로세스는 블록 616으로 진행한다. 상기 측정된 특성들을 기반으로 하여 상기 열 엘리먼트가 상기 셋 포인트를 초과하지 않았다면, 상기 프로세스는 라인 630을 따라서 블록 616으로 따라가며, 그곳에서 상기 프로세스는 계속된다.

[0059] 이제 도 6b를 참조하면, 상기 방법 (600)의 한 시나리오를 예시한 타이밍 도면이 제공된다. 제1 엘리먼트가 제1 타임 윈도우 (650) 동안에 고려된다. 상기 제1 엘리먼트의 저항값은 라인 654에 의해서 표시된다. 다시, 상기 열 엘리먼트의 저항값은 상기 열 엘리먼트의 온도와 관련이 있을 수 있다는 것에 유의한다. 제1 열 엘리먼트를 위한 셋 포인트는 라인 652에 의해서 표시된다. 전력이 상기 열 엘리먼트로 인가되기 때문에 상기 열 엘리먼트의 온도는 상기 제1 타임 윈도우 (650) 내내 증가한다. 그러나, 상기 제1 열 엘리먼트는 너무 차갑고 그리고 상기 제1 타임 윈도우 (650)가 지나가기 이전에 상기 셋 포인트 (652)에 도달하지 않는다.

[0060] 제2 타임 윈도우 (656) 동안에, 상기 제어기는 저항값 (658)을 측정하기 위해서 제2 엘리먼트에 전력을 제공한다. 이 순간에, 온도, 그리고 그러므로 상기 저항값 (658)은 상기 엘리먼트 셋 포인트 (660)보다 즉각 더 높다. 저항이 너무 높기 때문에, 상기 엘리먼트는 너무 뜨겁다고 판별된다. 그러므로, 상기 제2 열 엘리먼트는 제2 타임 윈도우 (656) 나머지 동안 즉시 턴 오프된다. 상기 제어기는 상기 제2 타임 윈도우의 나머지 동안에 휴지 상태로 유지될 수 있을 것이며 또는 미리 정해진 시간 지연 이후에 제3 타임 윈도우 (662)로 이동할 수 있다.

[0061] 제3 타임 윈도우 (662) 동안에, 제3 엘리먼트는 전력을 공급받고 그리고 모니터링된다. 상기 제3 엘리먼트의 저항값 (664)은 상기 제3 엘리먼트의 셋 포인트 (666)보다 아래에서 시작한다. 전력이 상기 제3 엘리먼트로 제공

되면, 상기 저항값이 포인트 (668)에서 표시된 것과 같은 상기 제3 엘리먼트의 셋 포인트 (666)에 도달할 때까지, 그 저항값은 라인 664에 의해서 표시된 것처럼 증가한다. 상기 타임 윈도우의 종료 이전에 상기 셋 포인트에 도달할 때에, 상기 엘리먼트는 턴 오프되며 그리고 상기 제어기는 상기 제3 타임 윈도우 (662)의 나머지 동안에 휴지 상태에 있을 것이다. 이 예에서처럼, 단 세 개의 열 엘리먼트들만이 존재한다면, 상기 제1 타임 윈도우는 참조번호 670에 의해 표시된 것처럼 반복될 것이다. 여기에서 다시, 상기 제1 엘리먼트의 저항값 (672)은 제1 엘리먼트 셋 포인트 (674) 아래에서 시작한다. 그러나, 상기 제1 엘리먼트는 타임 윈도우 (650)의 마지막 시작 포인트로부터 데워졌다. 그러므로, 상기 제1 엘리먼트의 저항값 (672)은 상기 타임 윈도우 (670)의 끝 부분 이전에 결국에는 포인트 (676)에서 상기 제1 셋 포인트 (674)에 도달한다. 상기 제1 엘리먼트는 자신의 마지막 활성화로부터 자신의 에너지의 일부를 보유하며, 인가된 전력은 셋 포인트에 도달하기에 충분했으며 그리고 타임 윈도우 (670)의 끝 부분 이전에 턴 오프된다. 그러므로, 상기 제어기는 타임 윈도우 (670)의 나머지 동안 휴지 상태에 남아있으며 또는 미리 정해진 시간 지연 이후에 상기 제2 엘리먼트를 위한 타임 윈도우로 직접 진행한다. 그러면 다양한 타임 윈도우가 각 열 엘리먼트의 상태 그리고 주변의 영향들을 기반으로 하여 반복될 것이다.

[0062] 상기 제어 방법은 다양한 열 상태들 하에서 세 개의 양의 (positive) TCR 조정 레이어 가열 엘리먼트들의 행동을 보여준다. 비록 다른 구현들이 사용될 수 있을 것이지만, 예를 들면, 음의 TCR 가열 엘리먼트의 경우에 상기 셋포인트들은 더 높은 저항값 레벨로부터 접근될 것이다. 상기 제어 방법은 상기 엘리먼트에 에너지를 공급받을 때에 획득된 전압 및/또는 전류 정보를 활용하여, 그 엘리먼트를 위해서 할당된 타임 윈도우 동안에 각 엘리먼트의 저항값을 계산함으로써 달성된다. 알려진 전압 또는 전류 소스 각각에 의해서 상기 전력이 공급되는 한은 전류만을 또는 전압만을 측정함으로써 상기 엘리먼트 저항값이 추론될 수 있을 것이라는 것이 인지되어야만 한다. 가열 엘리먼트에 에너지를 공급하는 것은 그 엘리먼트의 온도를 증가시키며, 그래서 그 엘리먼트가 능동적으로 전력을 공급받는 동안에 그 엘리먼트의 저항값은 증가한다. 이전에 획득된 캘리브레이션 정보를 활용하여, 샘플링된 그리고 활성 저항값 (active resistance)은 그 가열 엘리먼트를 위해 이전에 할당된 셋 포인트에 비교된다. 상기 저항값이 상기 할당된 셋 포인트보다 더 낮은 한은, 상기 엘리먼트는 그 할당된 타임 윈도우의 끝까지 에너지를 공급받는다; 또는, 상기 엘리먼트 저항값이 자신의 타겟 셋 포인트 저항값 위에 있거나 또는 그 위로 증가하면, 상기 엘리먼트는 즉시 턴 오프되고 그리고 할당된 타임 윈도우 나머지 동안 오프 (off)인 채로 유지한다. 각 엘리먼트는 차례로 활성이 되며, 그러면 상기 사이클은 다시 시작하며 그리고 계속해서 반복된다.

[0063] 타임 윈도우는 고정된 지속시간일 필요는 없다. 상기 시스템이 각 엘리먼트로부터 충분한 에너지를 소산시켜서 제1 측정에 필요한 최소의 "정각의-시간(On-time)"이 상기 엘리먼트가 다시 활성화되기 이전에 상기 시스템에 의해서 소산될 수 있는 것보다 더 많은 에너지에 기여하지 않도록 하는 것으로 충분하며, 그리고 충분한 에너지가 최대의 "정기적인-시간" 동안에 공급될 수 있어서 상기 제어 시스템이 자신의 활성 윈도우 동안에 제어하는 것을 가정하기 위해서 각 엘리먼트의 평균 온도가 증가될 수 있도록 하는 것으로 충분하다. 상기 조정 레이어에서의 모든 가열 엘리먼트들이 자신들의 할당된 타임 윈도우들 동안에 자신의 개별 셋 포인트들에 일치하여 도달할 때에 안정된-상태 제어가 달성된다. 조정 히터 레이어를 위한 최소의 셋 포인트 범위, 충분하고 공급된 전력, 짧은 시간의 윈도우 지속 시간, 빠른 샘플링, 그리고 최소로 필요한 개수의 엘리먼트들을 선택함으로써 제어에 있어서의 효율성이 달성된다.

[0064] 이제 도 7a를 참조하면, 열 어레이를 제어하기 위한 다른 방법이 제공된다. 상기 방법은 블록 710에서 시작하며, 이곳에서 각 열 엘리먼트를 위한 전력 명령과 함께 저항값 셋 포인트들이 각 모드에 대해서 계산된다. 블록 712에서, 각 모드에 대한 시간 주기가 결정된다. 블록 714에서, 상기 모드는 제1 모드 또는 초기 모드로 세팅된다. 블록 716에서, 상기 제어기는 현재의 모드를 상기 히터 어레이에 적용한다. 블록 718에서, 상기 제어기는 시간 주기의 끝을 기다리며 상기 모드에 의해서 정의된 것과 같은 전력을 계속해서 제공한다. 블록 720에서, 상기 모드는 증가된다. 블록 722에서, 상기 제어기는 현재의 모드가 시퀀스의 마지막 모드인가의 여부를 판별한다. 현재 모드가 시퀀스에서 모드들의 전체 개수보다 더 크지 않다면, 상기 방법은 라인 724를 따라서 블록 716으로 가며, 그 블록에서 현재 모드가 적용되며 그리고 상기 방법을 계속된다.

[0065] 블록 722를 다시 참조하면, 현재 모드가 시퀀스 내 모드들의 전체 개수보다 더 크다면, 상기 방법은 라인 726을 따라서 블록 728로 간다. 블록 728에서, 상기 제어기는, 예를 들면, 상기 열 엘리먼트들의 특성들을 측정함으로써 상기 시스템이 상기 열 엘리먼트들에서 온도를 판별할 필요가 있는가의 여부를 결정한다. 상기 제어 시스템은 미리 정해진 시퀀스들의 개수를 포함하는 다양한 알고리즘들을 기반으로 하여, 시간 주기를 기반으로 하여, 또는 식별된 주변의 특성들을 기반으로 하여 상기 열 특성들을 측정할 수 있을 것이다. 온도가 측정될 필요가 없다면, 상기 방법은 라인 734를 따라서 블록 736으로 가며, 그곳에서 상기 온도들은 본 명세서의 다른 곳에서

설명된 것과 같이 결정된다. 상기 방법은 그러면 라인 738을 따라서 블록 732로 간다. 대안으로, 상기 온도가 블록 728에서 측정될 필요가 없다면, 상기 방법은 라인 730을 따라서 블록 732로 간다. 블록 732에서, 상기 제어기는 할당된 시퀀스 시간이 지나갈 때까지 대기한다. 상기 시스템이 상기 할당된 시퀀스 시간동안 대기하는 것이 중요할 수 있으며, 그렇지 않다면 추가의 열이 상기 시스템에 예상했던 것보다 더 빠르게 추가될 수 있을 것이며, 이는 상기 알고리즘의 안전성을 손상시킬 수 있을 것이다. 상기 방법은 그러면 블록 740으로 진행한다.

[0066] 블록 740에서, 상기 제어기는 상기 전력 명령이 변경되었는가의 여부를 상기 측정을 기반으로 하여 판별한다. 따라서, 블록 736에서 상기 제어기에 의해서 수행된 측정에 기초하여 블록 742에서 표시된 것처럼, PID 알고리즘과 같은 알고리즘이 그 전력 명령을 조절한다. 블록 742에서 상기 알고리즘은 상기 조절된 전력 명령을 판별하고 그리고 그 전력 명령이 변경되었다는 정보를 블록 740으로 제공한다. 그 전력 명령이 블록 740에서 변경되었다면, 상기 방법은 라인 746을 따라서 블록 712로 가며, 이 블록에서 각 모드에 대한 시간 주기들이 다시 계산된다. 그러면 상기 방법은 계속된다. 상기 시스템 특성들이 변경되지 않았다면, 상기 방법은 라인 744를 따라서 블록 714로 가며, 그곳에서 상기 제어 시스템은 상기 제1 모드를 리셋하고 그리고 상기 방법은 계속된다.

[0067] 도 7b에 도시된 것처럼 6개의 열 엘리먼트들 (752)과 함께 네 개의 노드들 (750)을 구비한 시스템이 한가지 특정 예에서 제공된다. 다중-병렬 어레이는 여러 히터들에 연결된 n-와이어 전력 인터페이스로 구성되며, 그래서 제어 와이어들의 모든 가능한 페어링이 그것들 사이에 연결된 단일의 히터를 가지도록 한다. 이 방식으로 연결될 수 있는 히터들의 개수가 $n(n-1)/2$ 와 같다는 것을 쉽게 볼 수 있다.

[0068] 도 7b에 관련하여 설명된 전개는 정규화된 시스템을 가정한 것이며, 이 경우에 히터 저항값들은 모두 1 옴이며 그리고 제어 라인들은 1 볼트, 0 볼트에서 구동되거나, 또는 개방-회로이다 (높은 임피던스). 그러나, 상기 시스템은 여기에서 제시된 식들을 이용하여 다른 전압들 및 저항값들을 가진 시스템으로 크기 조절될 수 있다.

[0069] 한 구현에서 이 방법은 상기 제어를 두 개의 부분, 즉, 일정한 부분 및 편향 부분의 두 부분들로 분할하며, 이 경우에 상기 일정한 부분은 모든 히터들에 대해서 동일하며, 그리고 상기 편향 부분은 모든 히터들에 대해서 동일하며 그리고 대칭적이다. 다른 제어 분할들이 가능하여 하나의 제어에서 더 큰 유연성을 제공할 수 있다. 예를 들면, 시스템은 두 개의 상이한 일정한 부분들 그리고 단일의 편향 부분으로 분할되어, 상이한 중간 (mean) 전력 레벨들에서 두 개의 개별적인 제어 구역들을 허용한다. 또한, 상기 시스템은 상기 히터들의 부분집합에서 더 큰 범위의 제어를 주기 위해서 단일의 일정한 부분 그리고 두 개의 편향 부분들로 분할될 수 있을 것이다. 상기 분할하는 것에 상관없이, c 상의 강제들이 위반될 수 있으며, 그리고 비록 안정된 제어가 보장될 수 없더라도 제어가 가능한 제어 벡터들을 적용하는 것이 가능하다는 것에 주목한다.

[0070] 이 방법의 어떤 구현에서, 제어 상수들의 상이한 집합들을 유지하고, 그리고 시스템의 행동을 상이한 동작 상태들에 더 잘 부합시키기 위해서 그 상이한 집합들 사이에서 동적으로 전환하는 것이 유리할 수 있을 것이다.

[0071] 상기 시스템을 위해서 모드 테이블이 구축될 수 있을 것이다. 상기 어레이에 대한 전력 적용의 각 유일한 조합에 대해서, 각 전력 공급 및 히터용으로 전력이 계산될 수 있을 것이다. 이 값들은 모드 테이블에 저장될 수 있다.

[0072] 아래는 4-노드 시스템 모드 테이블이다. "nan"이라고 된 위치들은 개방-회로 라인들을 표시한다. 예를 들면, Mode #11은 V1 및 V4에 연결된 그라운드 (제로 전력을 생성한다), V3에 연결된 전력 (2.67 와트를 생성한다)을 구비하며, 그리고 V2는 개방-회로이다.

Mode #	p(total)	p(v1)	p(v2)	p(v3)	p(v4)	p(r12)	p(r13)	p(r14)	p(r23)	p(r24)	p(r34)
1	4.00	0.00	2.00	2.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00
2	4.00	0.00	2.00	0.00	2.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00
3	4.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
4	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
5	3.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
6	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
7	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00
8	2.67	nan	0.00	0.00	2.67	0.11	0.11	0.44	0.00	1.00	1.00
9	2.67	nan	0.00	2.67	0.00	0.11	0.44	0.11	1.00	0.00	1.00
10	2.67	0.00	nan	0.00	2.67	0.11	0.00	1.00	0.11	0.44	1.00
11	2.67	0.00	nan	2.67	0.00	0.11	1.00	0.00	0.44	0.11	1.00
12	2.67	0.00	2.67	nan	0.00	1.00	0.11	0.00	0.44	1.00	0.11
13	2.67	0.00	2.67	0.00	nan	1.00	0.00	0.11	1.00	0.44	0.11
14	2.67	0.00	0.00	nan	2.67	0.00	0.11	1.00	0.11	1.00	0.44
15	2.67	0.00	0.00	2.67	nan	0.00	1.00	0.11	1.00	0.11	0.44
16	2.67	nan	0.00	1.33	1.33	0.44	0.11	0.11	1.00	1.00	0.00
17	2.67	0.00	nan	1.33	1.33	0.44	1.00	1.00	0.11	0.11	0.00
18	2.67	0.00	1.33	nan	1.33	1.00	0.44	1.00	0.11	0.00	0.11
19	2.67	0.00	1.33	1.33	nan	1.00	1.00	0.44	0.00	0.11	0.11
20	2.00	nan	nan	0.00	2.00	0.00	0.25	0.25	0.25	0.25	1.00
21	2.00	nan	0.00	nan	2.00	0.25	0.00	0.25	0.25	1.00	0.25
22	2.00	nan	0.00	2.00	nan	0.25	0.25	0.00	1.00	0.25	0.25
23	2.00	0.00	nan	nan	2.00	0.25	0.25	1.00	0.00	0.25	0.25
24	2.00	0.00	nan	2.00	nan	0.25	1.00	0.25	0.25	0.00	0.25
25	2.00	0.00	2.00	nan	nan	1.00	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00

[0073]

[0074]

이 모드 테이블로부터, 모드들의 부분집합에 대한 히터 전력을 포함하는 행렬 A 를 구축한다. 이 행렬은 적어도 랭크 (rank) n 이어야만 하며, 이 경우 n 은 상기 시스템 내 히터들의 개수이다. 모드들의 한 가지 최적의 선택은 A 의 결과가 되며, 이는 낮은 행렬 조건수 (matrix condition number), 최대의 평균 전체 전력, 최대의 이용 가능한 전력 편향, 그리고 최소 개수의 모드들을 가진다.

[0075]

일 예로서, 모드 1 - 모드 10을 선택하는 것은 다음의 결과를 준다:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0.11 & 0.11 & 0.44 & 0 & 1 & 1 \\ 0.11 & 0.44 & 0.11 & 1 & 0 & 1 \\ 0.11 & 0 & 1 & 0.11 & 0.44 & 1 \end{bmatrix}$$

[0076]

[0077]

이 행렬이 최소-로우 (minimal-row) 솔루션이 아니며, 또한 다른 솔루션들의 가장 낮은 조건수 (condition number)를 가지지도 않지만, 제어 가능한 시스템을 타나낸다는 것에 유의한다.

[0078]

이 행렬로부터, 전력 제어 알고리즘이 아래에서 보이는 것과 같이 구축될 수 있다.

[0079]

표기 약정은 아래에서와 같이 사용된다:

[0080]

행렬 (대문자 굵은 이탤릭체)

[0081]

벡터 (소문자 굵은 이탤릭체)

[0082]

스칼라 (소문자 이탤릭체)

[0083]

모든 위치에서 벡터는 1들을 구비한다

[0084]

엘리먼트-방식의 행렬 분할 연산기호

[0085] 평균 히터 전력 $\bar{p}$ 는 일반화된 듀티 사이클 벡터 $\mathbf{d}$ 를 이용하여 제어될 수 있으며, 이 경우에

[0086] $0 \leq d_i \leq 1$ 그리고 $\sum_{i=1}^m d_i \leq 1$

[0087] 그리고 시간들에 대해서 상기 어레이에 모드들 m_i 가 적용되며, 그래서

[0088] $\mathbf{A}^T \mathbf{d} = \mathbf{p}$

[0089] 우리가 $\mathbf{d}$ 를 다음과 같이 선택하는 것을 볼 수 있다

[0090] $\mathbf{d} = \mathbf{H}(\bar{p}\mathbf{1} + p_\Delta \mathbf{c}) = \bar{p}\mathbf{H}\mathbf{1} + p_\Delta \mathbf{H}\mathbf{c}$

[0091] 이 경우에 $\mathbf{c}$ 는 $m \times 1$ 제어 벡터이며, 그것의 엘리먼트들은 $-1 \leq c_i \leq 1$ 을 충족시키며, 그리고 $\bar{p}$ 그리고 p_Δ 은 일정한 중간 전력 (mean power) 그리고 편향 전력 (deviation power) 파라미터들이며, 그리고 $\mathbf{H}$ 는 Moore-Penrose 의사-인버스 (pseudo-inverse), 즉, $\mathbf{H} = \text{pinv}(\mathbf{A}^T)$ 이며, 그러면 제어 벡터 엘리먼트들에 비례한 편향 레벨과 함께 합계된 각 히터 내의 고정된 중간 제어 레벨을 얻을 것이며, 이는 다음과 같다:

[0092] $\mathbf{p} = \bar{p} + \Delta p = \bar{p}\mathbf{1} + p_\Delta \mathbf{c}$

[0093] $\bar{p}$ 그리고 p_Δ 에 대한 값들은 임의적으로 선택될 수 있지만, 다음의 제한들에 종속된다:

$$\bar{p} \leq \frac{1 - p_\Delta |\mathbf{1H}\mathbf{1}|}{\mathbf{1H}\mathbf{1}}$$

[0094] $\bar{p} \geq p_\Delta \max(|\mathbf{H}\mathbf{1}| \div \mathbf{H}\mathbf{1})$

[0095] 최대의 가능한 편향 p_Δ 을 얻기 위해서, 상기 부등함들의 오른쪽 측들의 같게 세팅하고 그리고 $\bar{p}$ 및 p_Δ 에 대해서 풀면 다음과 같다:

[0096] $\bar{p} = \frac{\max(|\mathbf{H}\mathbf{1}| \div \mathbf{H}\mathbf{1})}{\mathbf{1H}\mathbf{1} \max(|\mathbf{H}\mathbf{1}| \div \mathbf{H}\mathbf{1}) + |\mathbf{1H}\mathbf{1}|}$

[0097] 도 7b에서의 예에 대해, $\mathbf{A}^T$ 의 의사-인버스는 $\mathbf{H}$ 를 생성한다:

[0098] $\mathbf{H} = \text{pinv}(\mathbf{A}^T) = \begin{bmatrix} -0.199432 & 0.176632 & 0.173926 & 0.163697 & 0.169614 & -0.297939 \\ 0.153326 & -0.241645 & 0.235286 & 0.148082 & -0.301471 & 0.242824 \\ 0.215387 & 0.214565 & -0.286556 & -0.290792 & 0.211658 & 0.214995 \\ -0.126356 & -0.152259 & 0.138518 & -0.097446 & 0.156789 & 0.261924 \\ -0.149469 & 0.143359 & -0.132658 & 0.159100 & -0.127411 & 0.272288 \\ 0.160492 & -0.126985 & -0.169760 & 0.168541 & 0.262082 & -0.159336 \\ 0.284613 & 0.285435 & 0.286556 & -0.209208 & -0.211658 & -0.214995 \\ 0.138044 & 0.188285 & -0.061245 & 0.182287 & -0.063245 & 0.024007 \\ 0.186182 & -0.131370 & -0.065526 & 0.183376 & 0.039389 & -0.083488 \\ -0.117500 & -0.074486 & 0.179800 & -0.045754 & 0.189377 & 0.014794 \end{bmatrix}$

[0099] 그러면, $\bar{p}$ 및 p_{Δ} 의 값들은 위에서 설명된 것과 같이 계산될 수 있을 것이다:

$$\bar{p} = \frac{\max(|H|\bar{1} + H\bar{1})}{\bar{1}H\bar{1}\max(|H|\bar{1} + H\bar{1}) + |\bar{1}H|\bar{1}} = 0.48907$$

$$p_{\Delta} = \frac{1}{\bar{1}H\bar{1}\max(|H|\bar{1} + H\bar{1}) + |\bar{1}H|\bar{1}} = 0.063065$$

[0102] 듀티 사이클들에 대한 식은

$$d = H(\bar{p}\bar{1} + p_{\Delta}c) = \bar{p}H\bar{1} + p_{\Delta}Hc$$

[0104] 을 이용하여 c 의 함수로서 풀릴 수 있어서, 다음을 얻는다:

$$d = \begin{bmatrix} 0.091210 \\ 0.115617 \\ 0.136576 \\ 0.088604 \\ 0.080799 \\ 0.066041 \\ 0.107959 \\ 0.064579 \\ 0.062877 \\ 0.071518 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.2577e-002 & 1.1139e-002 & 1.0969e-002 & 1.0324e-002 & 1.0697e-002 & -1.8789e-002 \\ 9.6695e-003 & -1.5239e-002 & 1.4838e-002 & 9.3388e-003 & -1.9012e-002 & 1.5314e-002 \\ 1.3583e-002 & 1.3531e-002 & -1.8072e-002 & -1.8339e-002 & 1.3348e-002 & 1.3559e-002 \\ -7.9686e-003 & -9.6022e-003 & 8.7356e-003 & -6.1454e-003 & 9.8878e-003 & 1.6518e-002 \\ -9.4262e-003 & 9.0409e-003 & -8.3661e-003 & 1.0034e-002 & -8.0352e-003 & 1.7172e-002 \\ 1.0121e-002 & -8.0083e-003 & -1.0706e-002 & 1.0629e-002 & 1.6528e-002 & -1.0049e-002 \\ 1.7949e-002 & 1.8001e-002 & 1.8072e-002 & -1.3194e-002 & -1.3348e-002 & -1.3559e-002 \\ -8.7057e-003 & 1.1874e-002 & -3.8624e-003 & 1.1496e-002 & -3.9885e-003 & 1.5140e-003 \\ 1.1742e-002 & -8.2848e-003 & -4.1324e-003 & 1.1565e-002 & 2.4841e-003 & -5.2652e-003 \\ -7.4101e-003 & -4.6975e-003 & 1.1339e-002 & -2.8855e-003 & 1.1943e-002 & 9.3301e-004 \end{bmatrix} c$$

[0106] 시간 양 (time quantum) τ 은 제어기에서, 예를 들면, 마이크로초로 구현될 수 있도록 선택될 수 있을 것이다. 상기 히터 시스템의 열 시간 상수보다 충분히 더 작은 상기 시스템에 대한 베이스 제어 루프 주기 T 를 또한 선택한다. 예를 들면, 1 초.

[0107] (예를 들면, 듀티 사이클의 형상인) 시간 주기는 다음과 같이 정의될 수 있을 것이며,

$$d_c = \text{round}\left(\frac{d\tau}{\tau}\right) = \text{round}(1,000,000d)$$

[0109] 그리고 상기 식에서 d 에 대해서 대체하여 다음을 얻는다:

$$d_c = \begin{bmatrix} 91210 \\ 115617 \\ 136576 \\ 88604 \\ 80799 \\ 66041 \\ 107959 \\ 64579 \\ 62877 \\ 71518 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -12577 & 11139 & 10969 & 10324 & 10697 & -18789 \\ 9669 & -15239 & 14838 & 9339 & -19012 & 15314 \\ 13583 & 13531 & -18072 & -18339 & 13348 & 13559 \\ -7969 & -9602 & 8736 & -6145 & 9888 & 16518 \\ -94262 & 9041 & -8366 & 10034 & -8035 & 17172 \\ 10121 & -8008 & -10706 & 10629 & 16528 & -10049 \\ 17949 & 18001 & 18072 & -13194 & -13348 & -13559 \\ -8706 & 11874 & -3862 & 11492 & -3989 & 1514 \\ 11742 & -8285 & -4132 & 11565 & 2484 & -5265 \\ -7410 & -4697 & 11339 & -2885 & 11943 & 933 \end{bmatrix} c$$

[0111] 이 식은 상기 제어기에서 제어 벡터 c (이는 플로팅 포인트 값들의 벡터임)로부터 상기 듀티 사이클 d_c 를 계산하는 함수와 함께 상수 계수 행렬들의 쌍으로서 구현될 수 있다

[0112] 상기 제어를 구현하기 위해서, A 에서의 로우들 (rows)에 대응하는 모드들을 알 필요가 있으며, 우리의 예에서 이것은 다음과 같이 도시된 모드 테이블의 처음 10개의 로우들을 포함한다.

Mode #	p(total)	p(v1)	p(v2)	p(v3)	p(v4)	p(r12)	p(r13)	p(r14)	p(r23)	p(r24)	p(r34)
1	4.00	0.00	2.00	2.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00
2	4.00	0.00	2.00	0.00	2.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00
3	4.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
4	3.00	0.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00
5	3.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
6	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
7	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00
8	2.67	nan	0.00	0.00	2.67	0.11	0.11	0.44	0.00	1.00	1.00
9	2.67	nan	0.00	2.67	0.00	0.11	0.44	0.11	1.00	0.00	1.00
10	2.67	0.00	nan	0.00	2.67	0.11	0.00	1.00	0.11	0.44	1.00

실제의 하드웨어 구현이 전력 와이어들 각각에 반-브리지 구동기들을 사용할 것이기 때문에, 라인이 하이 (high), 로우 (low)로 구동되는가, 또는 개방-회로인가의 여부를 단순히 알기만 하면 충분하다. 그래서, 구동 와이어들 각각에 대한 전력 값들을 조사함으로써 출력 모드들을 구축할 수 있으며, 이 경우에 제로 전력 (zero power)은 로우 (low) 구동이며, 비-제로 전력은 하이 (high) 구동이며, 그리고 "nan" 전력은 개방 회로이다. 예를 들면 그 결과는 다음과 같다:

Mode #	v1	v2	v3	v4
1	low	high	high	low
2	low	high	low	high
3	low	low	high	high
4	low	high	low	low
5	low	high	high	high
6	low	low	high	low
7	low	low	low	high
8	open	low	low	high
9	open	low	high	low
10	low	open	low	high

제어의 실행은 다음과 같은 의사코드에 따라서 진행할 수 있을 것이다:

```

initialize timer M with a time quantum of  $\tau$ 
start timer M
do
    set cmp = 0
    set i = 1
    get the current value of  $c$  and compute  $d_c$ 
    set M's count value to zero
    do
        apply mode  $m_i$  to the system

         $cmp = cmp + d_c[i]$ 

        while M's count value is less than cmp do
            loop
             $i = i + 1$ 

        while i is  $\leq$  the number of elements in  $d_c$ 
            turn off all outputs

            while M's count value is less than  $\frac{T}{\tau}$  do

```

- [0133] loop
- [0134] loop
- [0135] 이제 도 8을 참조하면, 저항값들을 측정하기 위한 방법 (800)이 제공된다. 특히 상기 방법 (800)은 도 7a의 방법과 함께 (예를 들면, 블록 736) 사용하기에 특히 유용하다. 블록 810에서, 특성은 예를 들면 널 (null) 벡터에 할당되며 그리고 상기 모드는 제1 모드로 세팅될 수 있다. 블록 812에서, 상기 제어기는 상기 열 어레이에 활성 모드를 적용한다. 블록 814에서, 상기 제어기는 상기 활성 모드 (active mode)를 위해서 상기 어레이로 제공된 전류의 양을 측정한다. 블록 816에서, 상기 제어기는 다음의 모드에 인덱스들을 부여하여 그것을 활성 모드로 만든다. 블록 818에서, 상기 제어기는 그 활성 모드가 모드들의 전체 개수보다 더 큰가의 여부를 판별한다. 상기 활성 모드가 모드들의 전체 개수보다 더 크지 않다면, 상기 방법은 라인 820을 따라서 블록 812로 가고, 그곳에서 상기 다음의 모드가 상기 열 어레이에 적용된다.
- [0136] 블록 818을 다시 참조하면, 상기 활성 모드가 모드들의 전체 개수보다 더 크다면, 상기 방법을 라인 822를 따라서 블록 824로 간다. 블록 824에서, 상기 제어기는 상기 활성 모드에 인가된 전류 그리고 상기 저항값들의 관계를 기반으로 하여 각 열 엘리먼트에 대한 전류를 결정한다. 상기 방법은 그러면 블록 826으로 진행하고, 그곳에서 상기 시스템에 제공된 전압 그리고 각 열 엘리먼트에 할당된 전류를 기반으로 하여 각 열 엘리먼트에 대한 저항값이 결정된다. 그 저항값 측정으로부터, 상기 제어기는 그러면 각 열 엘리먼트에 대해 저장된 온도 저항값 관계에 따라서 각 열 엘리먼트의 온도를 결정할 수 있다.
- [0137] 몇몇의 구현들에서, 상기 시스템은 각 열 엘리먼트의 저항값들을 계산하기 위해서 상기 모드에 인가된 전류를 측정할 수 있다. 몇몇의 구현들에서, 상기 시스템은 상기 노드들 각각에서의 전압과 같은 다른 파라미터들을 또한 또는 대안으로 측정할 수 있을 것이다. 추가적인 측정들을 획득하는 것은 상기 관계를 과도하게 억제하는 것을 도울 수 있으며 그리고 상기 저항값들을 결정하기 위해서 최소 제곱법이 사용될 수 있을 것이다. 상기 관계를 과도하게 억제하는 것은 상기 계산들에서의 오류를 줄어줄게 하며 그리고 각 열 엘리먼트에 대해 더욱 신뢰성있는 저항 값들을 제공할 수 있다. 이것이 도 7a 및 도 7b의 일괄 (batch) 프로세싱 방법에 적용될 수 있을 것이지만, 이것은 도 6a 및 도 6b에 관련하여 설명된 인덱스 부여 방법에도 마찬가지로 적용될 수 있을 것이다.
- [0138] 상기 저항값이 상기 열 엘리먼트에서 온도 정보를 계산하기 위해서 사용될 수 있지만, 상기 열 엘리먼트 그리고/또는 열 어레이에 전체적으로 제공된 전력은 상기 열 엘리먼트들에서의 열 플럭스 (heat flux)를 계산하기 위해서 사용될 수 있다. 몇몇의 구현들에서 이 정보는 예를 들면 전력 셋포인트용의 프로세스 파라미터들을 변경하는 피드백으로서 사용될 수 있을 것이다. 몇몇의 구현들에서, 이 특성들은, 예를 들면, 프로세싱 시간 또는 제조 프로세스들에서의 다른 프로세스 특성들과 같은 다른 환경적인 변수들 제어하기 위해서 외부 프로세스로의 피드백으로서 사용될 수 있을 것이다. 한 예는 칩 수율을 증가시키기 위해서 반도체 제조 프로세스에서 프로세싱 시간을 조절하는 것을 포함할 수 있을 것이다. 다른 예는 시스템 열화를 위해 시스템 진단을 제공하는 것을 포함할 수 있을 것이다.
- [0139] 몇몇의 구현들에서, 상기 열 엘리먼트는 히터로서만 동작하며, 다른 구현들에서는, 상기 열 엘리먼트들은 히터들 그리고 열 센서들로서 동작할 수 있으며, 심지어는 다른 구현들에서는 열 센서들로서만 동작한다. 상기 열 엘리먼트들이 단지 센서들로서만 활용되거나 또는 겹치지 않는 시간 주기들 동안에 센서와 히터 사이에서 전환되는 것으로 활용되는 경우의 구현들에서, 감지하는 것 (sensing)은 낮은 전압 공급 그리고/또는 낮은 전력 공급 (예를 들면, 짧은 시간 주기)을 이용하여 달성될 수 있을 것이다.
- [0140] 상기 열 어레이 (thermal array)는 상기 열 엘리먼트의 온도를 크게 교란하지 않으면서 상기 측정을 획득하기 위해서 작은 양의 전류로 전력을 공급받을 수 있을 것이다. 예를 들면, 상기 열 어레이는 적용된 시간 주기 동안에 측정되는 온도에 대해 5%보다 작은 온도 변화를 일으키게 할 수 있는 전압으로 전력을 공급받을 수 있을 것이다. 일 예에서, 1초보다 작은 동안에 제공된 펄스 전력에 의해서 낮은 평균 전력이 제공된다.
- [0141] 다른 구현들에서, 상기 제어기는 각 열 엘리먼트의 또는 열 엘리먼트들 조합의 측정된 저항값 (온도) 그리고/또는 전력 (열 플럭스)을 기반으로 하여 경보를 생성할 수 있을 것이다. 그 경보는 시각적인 경보, 청각적인 경보, 제어 신호, 메시지 (예를 들면, 텍스트 또는 이메일)를 포함하는 많은 모습들을 취할 수 있을 것이다.
- [0142] 측정의 한 특정 예는 도 7b에서 네 개의 노드들 그리고 여섯 개의 엘리먼트들을 구비한 시스템에 관련하여 제공된다. 이 토폴로지를 이용하여, 온도 측정 어레이가 가능해진다. 센서들의 전체 어레이에 대한 온도를 계산하기

위해서 단일의 통합된 측정 시스템을 이용하여 더 작은 전기적인 연결 (노드들)을 이용하여 측정하기 위해서 다수의 열 엘리먼트들이 RTD 센서들로서 사용될 수 있다. 다양한 조합들에서 하나 또는 그 이상의 노드들로 인가된 낮은 전력의 빠른 연속적인 측정들을 통해서 (파워 모드들로 불린다), 모든 센서 저항값들이 계산되어 온도로 변환될 수 있다. 또한, 상기 열 어레이를 측정하기 위해서 사용된 모드들이 아닌 상이한 모드들이 전력 공급을 위해서 사용될 수 있다는 것에 유의한다.

[0143] 다음의 변수들이 정의된다:

[0144] $nNodes = N$ # $N > 2$ 인 노드들, 이는 $N=2$ 는 단일의 스탠드-얼론 RTD 용이기 때문이다

[0145] $nSensors = N \times (N-1)/2$ # 상이한 노드 쌍들 사이에 연결될 수 있는 센서들

[0146] $iModes = 2^{N-1} - 1$ # 전력 모드들 (플로팅 노드들, 리턴던시들, 또는 0-벡터들이 없음)

[0147] 다음에, 전력 모드 (Power Mode) 행렬이 $iModes \times nNodes$ 의 크기로 정의되며, 이는 $V+$ 또는 0으로 전력을 공급받는 각 노드의 모든 조합들을 유지하지만, 그 경우에 마지막 노드는 항상 0이다 (예를 들면, 리턴 또는 그라운드). $V+$ 를 1과 같도록 정규화하면, 그러면 전력 모드 행렬은 단지 이진 테이블이다 (왜냐하면 노드들을 0 또는 1 중 어느 하나이어야 하기 때문이다). ($nNodes \geq 5$ 에 대한) 전력 모드 행렬 $[M]$ 은 다음과 같이 예시된다 [컬럼1 = 최하위 비트]:

$$[M] = \begin{matrix} & & & & & & & & & & mode\# \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\ & & & . & & & & & \\ & & & . & & & & & \\ & & & . & & & & & \\ 0 & 0 & 1 & . & . & . & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & . & . & . & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & . & . & . & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & . & . & . & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ . \\ . \\ . \\ 2^{N-1}-4 \\ 2^{N-1}-3 \\ 2^{N-1}-2 \\ 2^{N-1}-1 \end{matrix} \end{matrix}$$

[0148]

[0149] $[M]$ 에서 각 전력 모드에 대한 모든 노드 쌍들 사이의 차이의 절대값으로부터 라우팅 행렬 $[R]$ 이 그 후에 형성된다. 이는 크기 $iModes \times nSensors$ 인 $[R]$ 으로 귀결되며, 이는 $N > 3$ 에 대해서는 정방 행렬이 아니며 그리고 $N > 5$ 에 대해서는 최적도 아니다. 이용 가능한 모드들의 부분집합들을 이용하여 $N > 5$ 에 대한 $[R]$ 의 행렬 조건이 줄어들 수 있으며, 이는 계산의 시간 그리고 계산 오류를 줄어뜨리게 할 수 있을 것이다. $N > 5$ 에 대해서, 최소의 조건 $[R]$ 은 $[M]$ 의 모드들만을 사용하여 얻어질 수 있으며, 이 경우 두 개의 노드들은 동시에 활성이며 (active) 그리고 $N-2$ 개 노드들이 동시에 활성이다.

[0150] ($N > 5$ 에 대해서) 상기의 테이블에 대한 지배적인 식들은 다음과 같다:

[0151] 두 개의 활성 노드들을 구비한 모드들의 개수 = $(N-1) \times (N-2)/2$.

[0152] $(N-2)$ 개 활성 노드들을 구비한 모드들의 개수 = $(N-1)$.

[0153] $N > 5$ 에 대해 모드들의 감소된 집합을 이용하는 것은 정방 라우팅 행렬의 결과가 되며, 이 경우에 $\#Sensors = \#Modes$ 이며, 그리고 $[R]$ 의 행렬 조건 = $N-2$ 이다.

[0154] 다음의 의사코드는 $[M]$ 으로부터 $[R]$ 을 계산한다:

[0155] $R = \text{zeros}(nSensors, nSensors)$ 라우팅 행렬 초기화

```

[0156] for i=1:nSensors           모드들의 감소된 개수
[0157]     m=0
[0158]     for j=1:nNodes-1         1보다 작은 시스템 노드들의 넘버
[0159]         for k=j+1:nNodes
[0160]             m=m+1
[0161]             R(i,m)=abs(Mode(i,j)-Mode(i,k))   비제로 = 전류 흐름
[0162]         end
[0163]     end
[0164] end

```

[0165] 예를 들면: N=6이면, 31개의 이용 가능한 모드들이 존재하며 그리고 2개의 활성 모드들을 가진 모드 번호들은 3 5 6 9 10 12 17 18 20 24 이며, 그리고 N-2 개의 활성 노드들을 가진 모드 번호들은 15 23 27 29 30 이다.

[0166] N=6에 대한 결과인 라우팅 행렬 $[R]$ 은 다음과 같이 주어지며, 이 경우에 각 로우는 mode [3 5 6 9 10 12 15 17 18 20 23 24 27 29 30]이며, 그리고 각 컬럼은 센서이다.

$$[R] = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

[0167]

[0168] 상기 $[R]$ 행렬은 정방 행렬이며, 1들 그리고 0들만을 포함하며, 그리고 4의 행렬 조건을 가지며, 그래서 그것은 낮은 오류를 가지며 인버스될 수 있다. 이 감지 시스템의 지배적인 식들은 다음과 같이 행렬 형상으로 주어진다:

$$[i_s] = \text{inv } R \cdot [i_m]$$

[0169]

[0170] [주의: N=4 또는 5, nSensors $\neq$ nModes 이면, $[R]$ 의 의사-인버스 (pseudo-inverse)가 사용된다].

[0171] 이 경우 $[i_m]$ 는 각 전력 모드에서 상기 센서 어레이로의 전체 전류의 개별적인 측정들의 벡터이며; 그리고 $[i_s]$ 는 센서들이 어떤 크로스 커플링도 없이 개별적으로 구동되었다면 등가 센서 전류들의 벡터이다. 센서 저항값들이 상기 집합 내 모든 모드들을 통해서 순환하기 위해서 취하는 시간 내내 실질적으로 일정하게 유지되는 한 이 절차는 작동한다.

[0172] 첫 번째로, 센서 어레이를 베이스라인 온도 T_0 (예를 들면, 25° C)에서 유지한 동안에 베이스 센서 컨덕턴스의

벡터는 다음과 같이 계산될 수 있을 것이다:

$$[i_s]_{T_0} = [V \cdot g_0]_{T_0}$$

다음에, 몇몇의 알려지지 않은 온도를 측정하면, 새로운 벡터는 다음과 같다:

$$[i_s]_T = [V \cdot g_T]_T$$

센서 재료의 저항의 온도 계수 (Temperature Coefficient of Resistance (TCR))를 이용하여, 엘리먼트-

엘리먼트-방식 (element-wise)의 센서 컨덕턴스 비율 벡터가 계산되며 그리고 알려지지 않은 센서 온도들을 얻기 위해서 다음의 식에 적용된다:

$$T = \frac{[g_0/g_T] - 1}{TCR} + T_0$$

그처럼, g_0 그리고 g_T 는 알려진 V 를 위해서 추출될 수 있다; 또는 노드 단위를 기반으로 하여, 베이스라인 측정들에서의 V 는 알려지지 않은 온도 측정들에 대한 V 와 동일하다면, 상기 전류 벡터들의 엘리먼트-방식 비율은 위의 식으로 직접 대체될 수 있다. 주의: 제1 측정들에서 베이스라인 컨덕턴스 변이들 또는 제2 측정들에서의 센서들 사이의 온도 변이에 대해서는 어떤 제한도 존재하지 않는다.

어레이를 캘리브레이션하기 위한 방법 (900)이 도 9a에서 제공되며 그리고 타겟 셋 포인트들을 계산하기 위한 방법 (950)이 도 9b에서 제공된다. 참조번호 900의 방법 그리고 참조번호 950의 방법은 도 6a의 인덱스 부여된 제어 방법 (예를 들면, 블록 612) 그리고 도 7a의 일괄 제어 방법 (예를 들면, 블록 710)과 같이하면 특히 유용할 수 있을 것이다.

참조번호 900의 방법은 블록 910에서 시작한다. 블록 912에서, 상기 제어기는 어레이 온도를 베이스라인 온도, 예를 들면 25° C로 고정한다. 블록 914에서, 제어기는 상기 제어 프로세스가 개별 엘리먼트들을 제어하고 있는가의 여부 또는 상기 엘리먼트들이 다중-병렬 배치로 구성되며 그리고 일괄로 제어될 것인가의 여부를 판별한다. 상기 엘리먼트들이 일괄로 측정되고 있다면, 상기 방법은 라인 916을 따라서 블록 918로 간다. 블록 918에서, 예를 들면, 도 8에 관련하여 설명된 것과 같은, 일괄 측정 절차가 일괄 측정들을 모으고 그리고 그 일괄 측정들을 개별 엘리먼트 특성들로 변환하기 위해서 사용되며, 이 개별 엘리먼트 특성들은 그 후에 캘리브레이션 베이스라인 벡터 $[R_0]$ 에 저장된다. 그럼년 상기 방법은 라인 924를 따라서 블록 926으로 가며, 그곳에서 상기 방법은 종료한다.

블록 914를 다시 참조하면, 상기 개별 엘리먼트들 또는 특성이 예를 들어 인덱싱 모드에서 측정된다면, 상기 방법은 라인 920을 따라서 블록 922로 간다. 블록 922에서, 상기 개별 엘리먼트 특성들은 직접 측정되고 그리고 블록 922에 의해서 표시된 것처럼 캘리브레이션 베이스라인 벡터 $[R_0]$ 에 저장된다. 상기 방법은 그러면 블록 926으로 진행하고 그곳에서 상기 방법은 종료한다. 대안의 방법들에서, 상기 저항값들은 예를 들면 옴 계기 (ohm meter)를 이용하여 수동으로 측정될 수 있을 것이다.

참조번호 950의 방법은 블록 943에서 시작한다. 타겟 셋포인트들을 계산하기 위해서, 블록 944에서 오퍼레이터는 각 엘리먼트 또는 모드 용의 온도 셋 포인트들을 제공하며, 그러면 상기 방법은 블록 946으로 진행한다. 블록 946에서, 상기 제어기는 상기 베이스라인 온도 위의 엘리먼트 온도를 계산하며 그리고 각 엘리먼트에 대한 차이를 벡터로 저장한다. 블록 928에서, 상기 제어기는 저항의 온도 계수 (TCR)를 상기 저장된 벡터들에 적용하여 엘리먼트 타겟 저항 벡터를 생성한다. 상기 방법은 그러면 블록 930으로 따라간다. 상기 열 엘리먼트 어레이가 양방향 어레이라면, 상기 방법은 라인 940을 따라서 블록 938로 간다. 상기 열 엘리먼트 어레이가 다중-병렬 어레이라면, 상기 방법은 라인 932를 따라서 블록 934로 간다. 블록 934에서, 상기 엘리먼트 타겟 저항 벡터는 각 유일 전력 모드에 대한 어레이 타겟 저항 벡터로 변환된다. 상기 방법은 그러면 라인 936을 따라서 블록 938로 가며, 그 곳에서 상기 타겟 저항값들은 상기 시스템 전압들 및 전류들을 기반으로 하여 타겟 전압들 또는 타겟 전류들로 변환된다. 그러면 상기 방법은 블록 942로 진행하며, 그곳에서 각 전력 모드에 대응하는 타겟 전압들 또는 타겟 전류들의 벡터는 상기 타겟 셋포인트 계산 방법의 출력이다. 상기 방법은 블록 948에서 종결한다.

이 방법의 하나의 구현은 도 7b의 네 개 노드 토폴로지에 관하여 아래에서 설명된다. 상기 열 엘리먼트들은 높은 TCR 재료들로 만들어진 가열 엘리먼트들이며, 그래서 다이오드들 또는 SCR은 포함하지 않고 상기 히터 제어

알고리즘이 사용될 수 있을 것이다. 노드들은 하나의 소스 및 하나의 리턴으로 연속하여 전력을 공급받으며, 다른 노드들을 플로팅 (floating)인 채로 둔다. 상기 열 엘리먼트들의 저항값들이 실질적으로 유사하다면 이는 제어를 위한 하나의 지배적인 전류 경로를 제공한다. 그러나, 상기 지배적인 전류 경로는 직렬인 둘 또는 그 이상의 가열 엘리먼트들의 하나 또는 그 이상의 2차적인 경로들과 병렬이다. 이 시스템에서 상기 2차적인 경로들은 다중-인/다중-아웃 제어 시스템의 크로스 커플링 항목들에 링크될 수 있다. 양호한 제어를 위해서 상기 크로스 커플링 항목들 (cross coupling terms)은, 예를 들면, 서로 유사한 가열 엘리먼트 저항값들을 유지하여 상기 시스템을 좌우해서는 안 된다.

[0185] 다음의 변수들은 도 7b에 도시된 4-노드 시스템 용으로 정의된다.

[0186] $nNodes = N$ # $N \geq 2$ 인 노드들, 이는 $N=2$ 는 단일의 히터를 위한 것이기 때문이다.

[0187] $nHeaters = N \times (N-1)/2$ #노드들 사이에 연결될 수 있는 독립적인 히터들

[0188] $nPairModes = nHeaters$ #독립적인 노드 쌍들, 다른 노드들을 플롯, 어떤 리턴던시도 없음

[0189] 상기 시스템 내부로의 전류가 상기 시스템 밖으로의 전류와 동일해야만 하기 때문에, $nPairModes \times nNodes$ 크기의 전력 모드 행렬이 정의될 수 있을 것이며, 이 경우, 각 모드 (로우 (row))에 대해서 '1'은 한 노드 (컬럼 (column))로 흐르는 전류를 나타내며, '-1'은 다른 노드에서 밖으로 흐르는 전류를 나타내며, 그리고 '0'은 플로팅 노드를 나타낸다. PairModes의 개수는 가열 엘리먼트들의 개수와 같다는 것에 유의한다.

$$[M] = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

[0190]

[0191] 또한, 벡터 $[G]$ 그리고 정방 노드 행렬 $[GN]$ 은 가열 엘리먼트 저항값들로부터 다음과 같이 정의될 수 있을 것이다:

$$[G] = \begin{pmatrix} 1/R_{12} \\ 1/R_{13} \\ 1/R_{14} \\ 1/R_{23} \\ 1/R_{24} \\ 1/R_{34} \end{pmatrix}$$

[0192]

$$[GN] = \begin{pmatrix} G1+G2+G3 & -G1 & -G2 & -G3 \\ -G1 & G1+G4+G5 & -G4 & -G5 \\ -G2 & -G4 & G2+G4+G6 & -G6 \\ -G3 & -G5 & -G6 & G3+G5+G6 \end{pmatrix}$$

[0193]

[0194] 상기 프로세스를 시작하기 위해서, 상기 가열 엘리먼트들의 베이스라인 (예를 들면, 25° C) 저항값들이, 독립적인 측정이나 또는 도 8에 관련하여 위에서 개시된 방법 중 어느 하나에 의해 얻어질 수 있을 것이다.

[0195] 다음에, 상기 가열 엘리먼트들의 타겟 온도에서 상기 가열 엘리먼트들 각각의 타겟 저항값들은 제어 포인트들로서 서빙하기 위해서 확정될 수 있다. 가능한 경우에는, 온도에서 상기 타겟 저항값들은 크로스-커플링을 제한하기 위해서 중간 (mean)의 $\pm 30\%$ 내에 있을 것이 권장된다. 상기 타겟 저항값들을 계산하기 위해서 다음의 공식

이 사용될 수 있을 것이다:

$$R_T = R_0 \times [1 + \text{TCR} \times (T_T - T_0)]$$

이 경우에,

R_0 는 특별한 가열 엘리먼트의 베이스라인 저항값이다.

T_0 는 상기 저항값 R_0 에 대응하는 베이스라인 온도이다.

T_T 는 그 특별한 가열 엘리먼트에 대한 타겟 온도이다.

TCR은 $(T_T - T_0)$ 를 위해서 적용 가능한 저항값의 온도 계수이다.

이전에 정의된 상기 컨덕턴스 노드 행렬 $[GN]$ 이 다음에 계산될 수 있을 것이다.

그러면, $[GN]$ 의 (nNodes-1)개 서브-행렬들은 로우-컬럼 (row-column) 2에서 시작하여 하나의 로우-컬럼을 제거하여 생성될 수 있다. 이 행렬들은 상기 제거된 로우-컬럼 개수가 $[M]$ 의 그라운드된 노드인 경우인 시스템들을 나타낸다.

다음에, nNodes-1 개의 전류 벡터들이 이용 가능한 빈들 (bins)에는 '1'로 그리고 다른 것들에는 '0'으로 생성될 수 있다. 예를 들면, 4-노드 시스템에서는 다음과 같다:

$$[I_1] = [1 \ 0 \ 0]^T \quad [I_2] = [0 \ 1 \ 0]^T \quad [I_3] = [0 \ 0 \ 1]^T$$

그러면 nPairMode 개 전압 벡터들이 상기 $[GN]$ 서브행렬들 그리고 전류 벡터들 $[I_1]$, $[I_2]$, 및 $[I_3]$ 의 각 유일 조합으로부터 생성될 수 있을 것이며, 이는 다음과 같다:

$$[V]_{\text{PairMode}} = [GN]_n^{-1} \times [I_m]$$

각 전압 벡터로부터의 최대는 계속 유지되며 그리고 모드 행렬 $[M]$ 의 오더 (order)에서 새로운 벡터 $[V_n]$ 으로 조립될 수 있을 것이며, 이 경우 상기 전류 벡터는 '1'로 표현되며, 그리고 $[GN]_n$ 은 상기 제거된 로우 컬럼에 대해 '-1'로 표현된다.

상기 제어 루프는 전류 소스를 연속해서 인가하여 각 모드에 대해서 닫힐 수 있으며 그리고 $[M]$ 에 의해서 정의된 모드 쌍으로 줄어들 수 있을 것이며, 측정된 전압이 그 모드에 대해서 상기 타겟 전압으로 수렴할 때까지, 또는 이전에 정의된 '타임-아웃'이 그 다음 모드 쌍으로의 시퀀싱 (sequencing)을 필요로 할 때까지 인가된 전력은 그대로 두고 상기 정의된 모드 쌍 양단의 결과 전압을 측정한다. 타겟 전압들은 인가된 전류의 암페어 당 (per amp)으로 존재한다. 너무 많은 전류는 발산의 원인이며, 너무 작은 전류는 폐 루프 제어를 방해한다. 전력에 대한 수렴 지역은 최소의 온-타임 대 타임-아웃 (On-Time to Time-Out)의 비율에 의해서 제어된다.

한 특정 예에 대해서, 여섯 개의 가열 엘리먼트들을 구비한 네 개의 노드들이 제공되며, 25° C에서 저항값들은 다음과 같다:

$$R_0 = [22.1858 \quad 20.2272 \quad 20.8922 \quad 21.3420 \quad 23.1205 \quad 20.0585]^T$$

0.5%/° C의 선형 TCR을 가진 70/30 니켈-철 (Nickel-Iron) 가열 엘리먼트 그리고 각 엘리먼트에 대해 주변에 걸쳐 10도의 타겟 온도를 가정한다. 그러면 각 저항값을 5% (0.5% x 10) 증가시킴으로써 원하는 온도 상승을 위해서 타겟 저항값들이 계산된다:

$$R_T = [23.2951 \quad 21.2385 \quad 21.9368 \quad 22.4091 \quad 24.2766 \quad 21.0615]^T$$

[0214] 상기 컨덕턴스 행렬 (Conductance Matrix)은 $[R_T]$ 의 역수를 기반으로 한다:

$$[GN] = \begin{pmatrix} 0.1356 & -0.0429 & -0.0471 & -0.0456 \\ -0.0429 & 0.1287 & -0.0446 & -0.0412 \\ -0.0471 & -0.0446 & 0.1392 & -0.0475 \\ -0.0456 & -0.0412 & -0.0475 & 0.1343 \end{pmatrix}$$

[0215]

[0216] 여섯 개의 전압 벡터들은 그러면 다음과 같다:

$$\begin{aligned} [V1] &= \begin{bmatrix} 0.1356 & -0.0471 & -0.0456 \\ -0.0471 & 0.1392 & -0.0475 \\ -0.0456 & -0.0475 & 0.1343 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ [V2] &= \begin{bmatrix} 0.1356 & -0.0429 & -0.0456 \\ -0.0429 & 0.1287 & -0.0412 \\ -0.0456 & -0.0412 & 0.1343 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ [V3] &= \begin{bmatrix} 0.1356 & -0.0429 & -0.0471 \\ -0.0429 & 0.1287 & -0.0446 \\ -0.0471 & -0.0446 & 0.1392 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ [V4] &= \begin{bmatrix} 0.1356 & -0.0429 & -0.0456 \\ -0.0429 & 0.1287 & -0.0412 \\ -0.0456 & -0.0412 & 0.1343 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ [V5] &= \begin{bmatrix} 0.1356 & -0.0429 & -0.0471 \\ -0.0429 & 0.1287 & -0.0446 \\ -0.0471 & -0.0446 & 0.1392 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ [V6] &= \begin{bmatrix} 0.1356 & -0.0429 & -0.0471 \\ -0.0429 & 0.1287 & -0.0446 \\ -0.0471 & -0.0446 & 0.1392 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

[0217]

[0218] 6개의 모드들 $[M]$ 에 대한 제어 루프를 위한 앰페어 당 타겟 전압은 상기 각 벡터로부터의 최대이다:

$$[V_T] = [11.431 \quad 10.844 \quad 11.080 \quad 11.218 \quad 11.587 \quad 10.862]$$

[0219]

[0220] 설명된 상기 제어기들, 제어 시스템들, 또는 엔진들 중 어느 것은 하나 또는 그 이상의 컴퓨터 시스템들에서 구현될 수 있을 것이다. 하나의 예시적인 시스템이 도 10에서 제공된다. 상기 컴퓨터 시스템 (1100)은 위에서 설명된 방법들에서 설명된 명령어들과 같은 명령어들을 실행하기 위한 프로세서 (1110)를 포함한다. 상기 명령어들은 메모리 (11120 또는 저장 디바이스들 (1114), 예를 들면, 디스크 드라이브, CD, 또는 DVD와 같은 컴퓨터 독출가능 매체에 저장될 수 있을 것이다. 상기 컴퓨터는 명령어들에 응답하여 디스플레이 기기 (1118), 예를 들면, 컴퓨터 모니터 상에 텍스트 또는 그래픽 디스플레이를 생성하는 디스플레이 제어기 (1116)를 포함할 수 있다. 추가로, 상기 프로세서 (1110)는 다른 시스템들, 예를 들면, 다른 범용 컴퓨터 시스템들로 데이터 또는 명령어들을 전달하기 위해 네트워크 제어기 (1120)와 통신할 수 있을 것이다. 상기 네트워크 제어기 (1120)는 프로세싱을 분산하기 위해서 또는 로컬 영역 네트워크들, 광역 네트워크들, 인터넷, 또는 다른 공통으로 사용된 네트워크 토폴로지들을 포함하는 다양한 네트워크 토폴로지들을 통해서 정보에 대한 원격 액세스를 제공하기 위해서 이더넷 또는 다른 알려진 프로토콜들을 통해서 통신할 수 있다.

[0221] 다른 실시예들에서, 주문형 반도체 (application specific integrated circuit)들, 프로그래머블 로직 어레이

들 그리고 다른 하드웨어 디바이스들과 같은 전용의 하드웨어 구현들은 여기에서 설명된 방법들 중 하나 또는 그 이상을 구현하기 위해 구축될 수 있다. 다양한 실시예들에서 상기 장치들 그리고 시스템들을 포함할 수 있을 애플리케이션들은 다양한 전자 기기 그리고 컴퓨터 시스템들을 널리 포함할 수 있다. 여기에서 설명된 하나 또는 그 이상의 실시예들은 둘 또는 그 이상의 특정 상호연결된 하드웨어 모듈들 또는 상기 모듈들 사이에서 또는 그 모듈들을 통해서 전달될 수 있는 관련된 제어 및 데이터 신호들을 구비한 기기들을 이용하여, 또는 주문형 반도체의 일부분으로서 기능들을 구현할 수 있을 것이다. 따라서, 본 시스템은 소프트웨어 구현들, 펌웨어 구현들, 그리고 하드웨어 구현들을 포함한다.

[0222] 또한, 설명된 토폴로지들 중 어느 하나가 상기 프로세싱 방법들 중 어느 하나와 함께 사용될 수 있을 것이라는 것에 유의한다. 추가로, 하나의 토폴로지 또는 방법에 관련하여 설명된 특징들 중 어떤 것은 다른 토폴로지들 또는 방법들과 함께 사용될 수 있을 것이다.

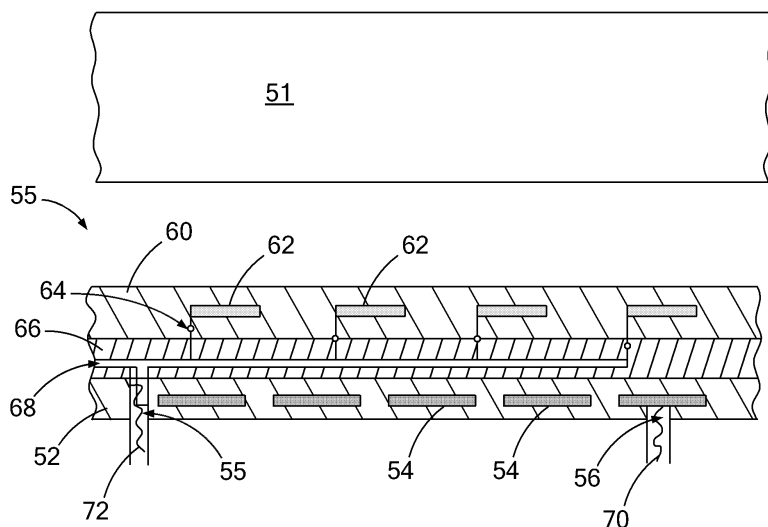
[0223] 본 발명 개시의 다양한 실시예들에 따라서, 여기에서 설명된 상기 방법들은 컴퓨터 시스템에 의해서 실행될 수 있는 소프트웨어 프로그램들에 의해서 구현될 수 있을 것이다. 또한, 예시적인, 비-한정적인 실시예에서, 구현들은 분산 프로세싱, 컴포넌트/오브젝트 분산 프로세싱, 그리고 병렬 프로세싱을 포함할 수 있다. 대안으로, 여기에서 설명된 것과 같은 기능성 또는 방법들 중 하나 또는 그 이상을 구현하기 위해서 가상 컴퓨터 프로세싱이 구축될 수 있다.

[0224] 또한, 여기에서 설명된 방법들은 컴퓨터-독출가능 매체에서 구체화될 수 있을 것이다. "컴퓨터-독출가능 매체"의 용어는 중앙 집중식 또는 분산된 데이터베이스, 그리고/또는 연관된 캐시들 그리고 하나 또는 그 이상의 명령어 집합들을 저장하는 서버들과 같은 단일 매체 또는 다중의 매체들을 포함한다. "컴퓨터-독출가능 매체"의 용어는 프로세서에 의한 실행을 위한 명령어들의 집합을 저장하고, 인코딩하고 또는 적재할 수 있는 또는 컴퓨터 시스템으로 하여금 여기에서 개시된 방법들 또는 동작들 중 어떤 하나 또는 그 이상을 수행하도록 하는 임의의 매체를 또한 포함할 것이다.

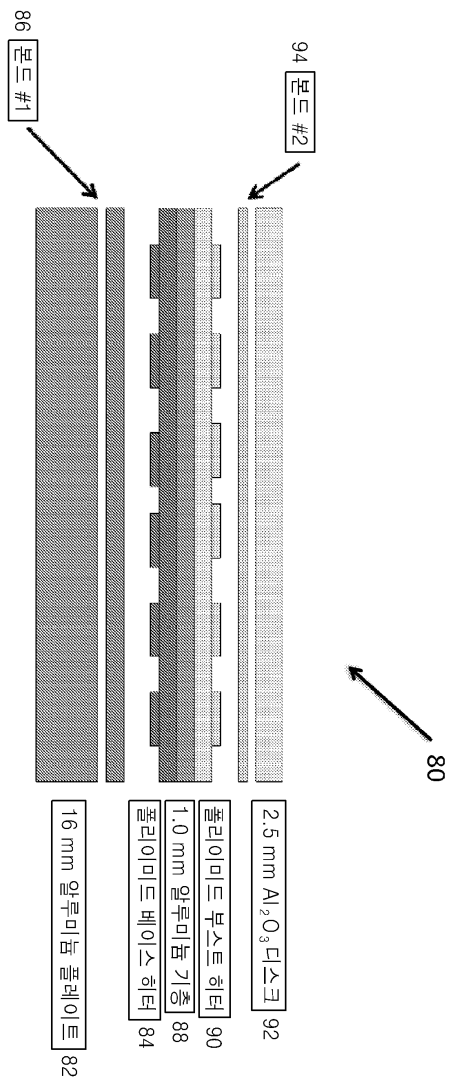
[0225] 본 발명이 속한 기술 분야에서의 통상의 지식을 가진 자가 쉽게 인식할 것처럼, 상기의 설명은 본 발명의 원칙들의 예시로서 의도된 것이다. 이어지는 청구범위에서 정의된 것과 같은 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않으면서 본 발명은 수정, 변이 및 변경하는 것이 가능하다는 점에서, 이 설명은 본 발명의 범위 또는 응용을 제한하려고 의도된 것이 아니다

도면

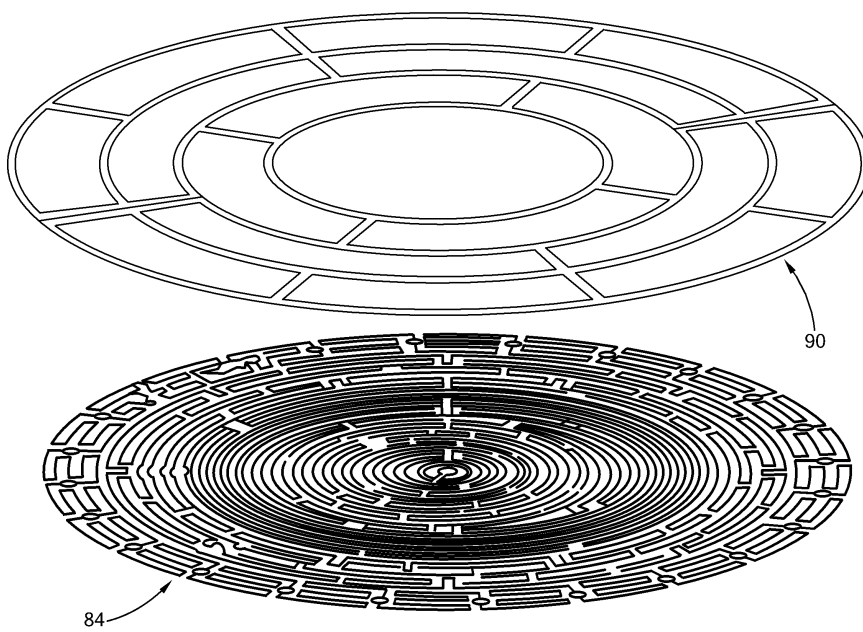
도면1a



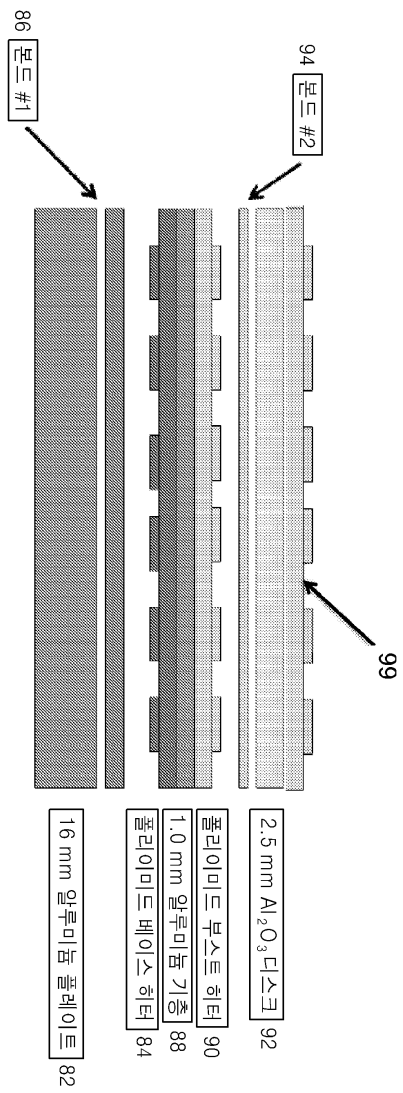
도면1b



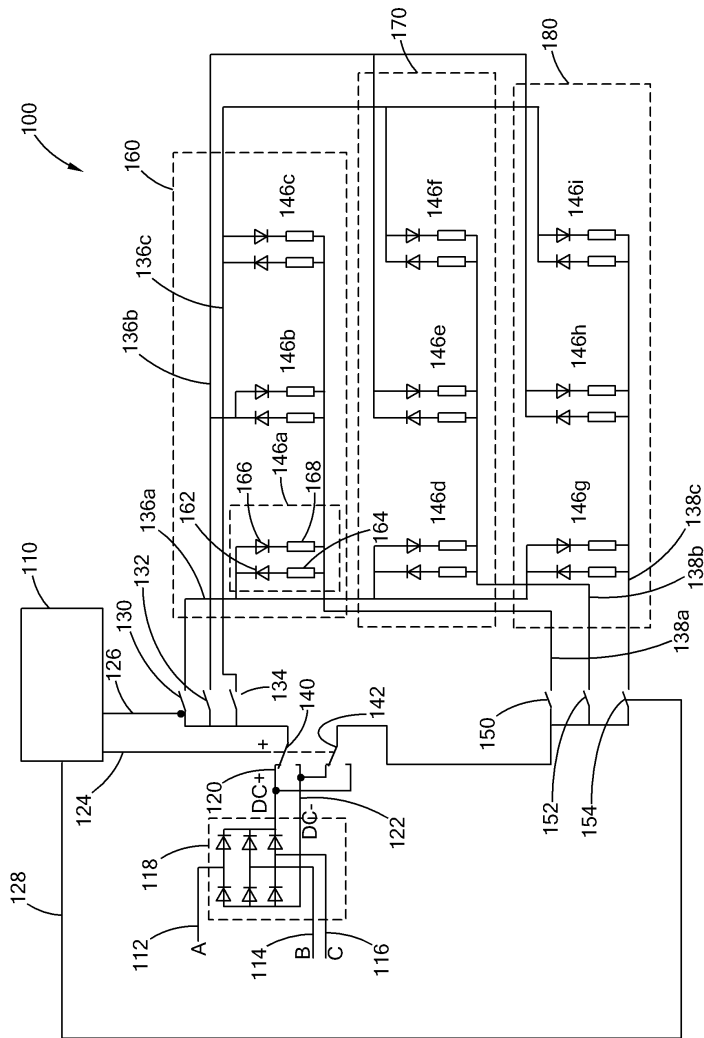
도면1c



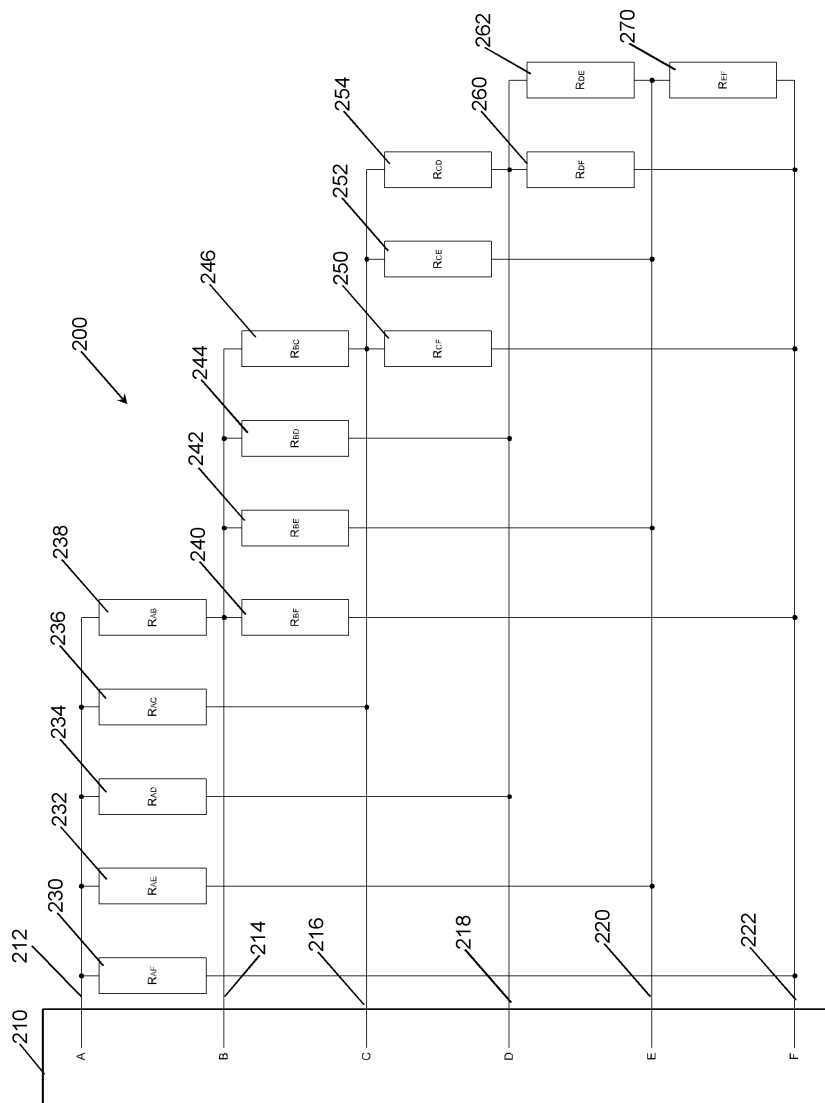
도면1d



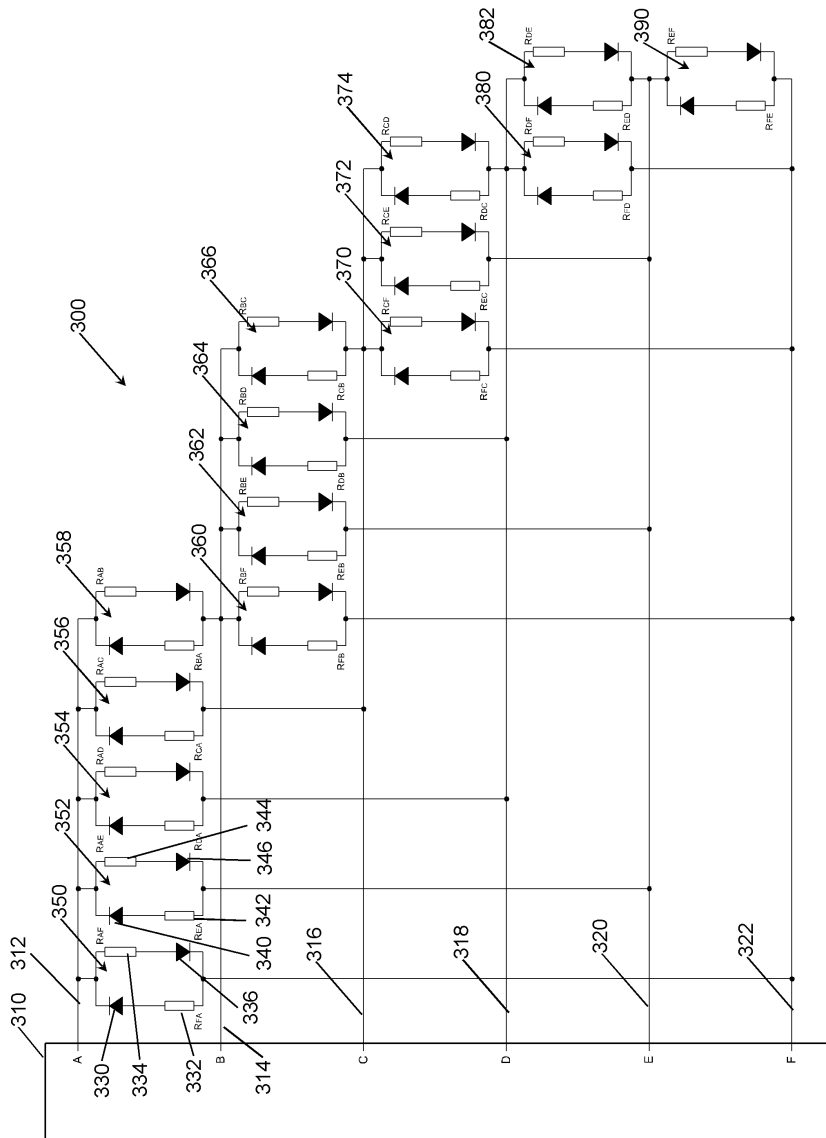
도면2



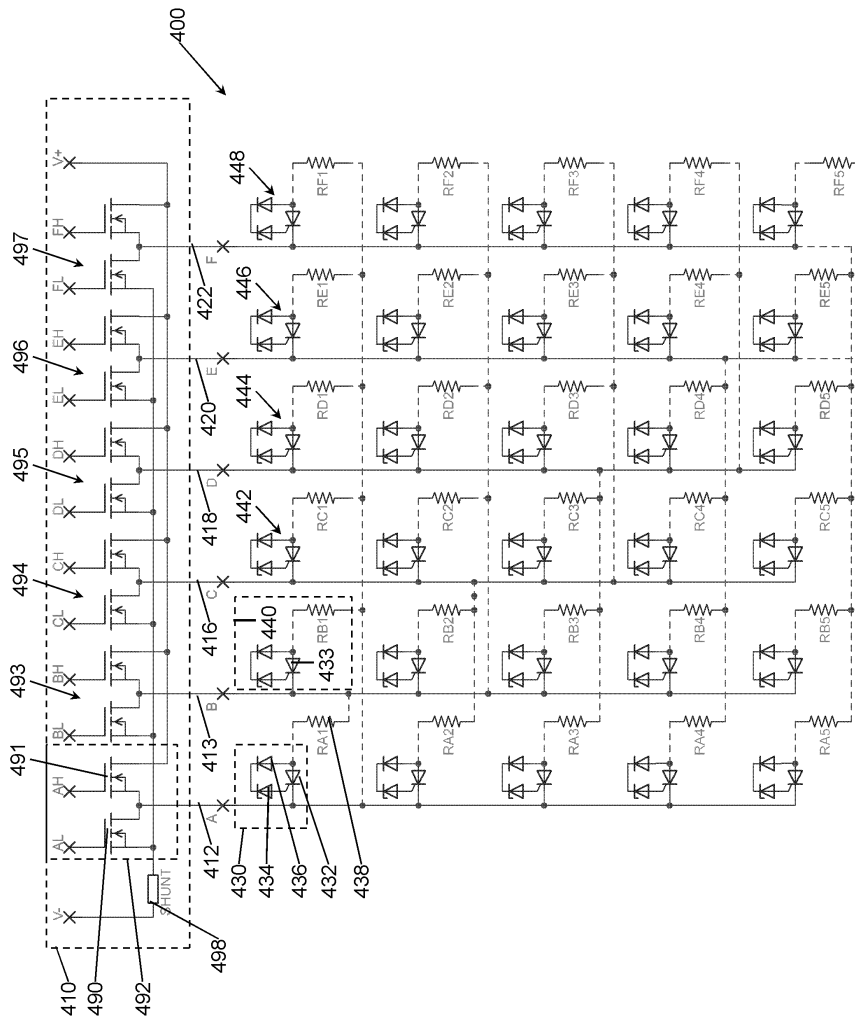
도면3a



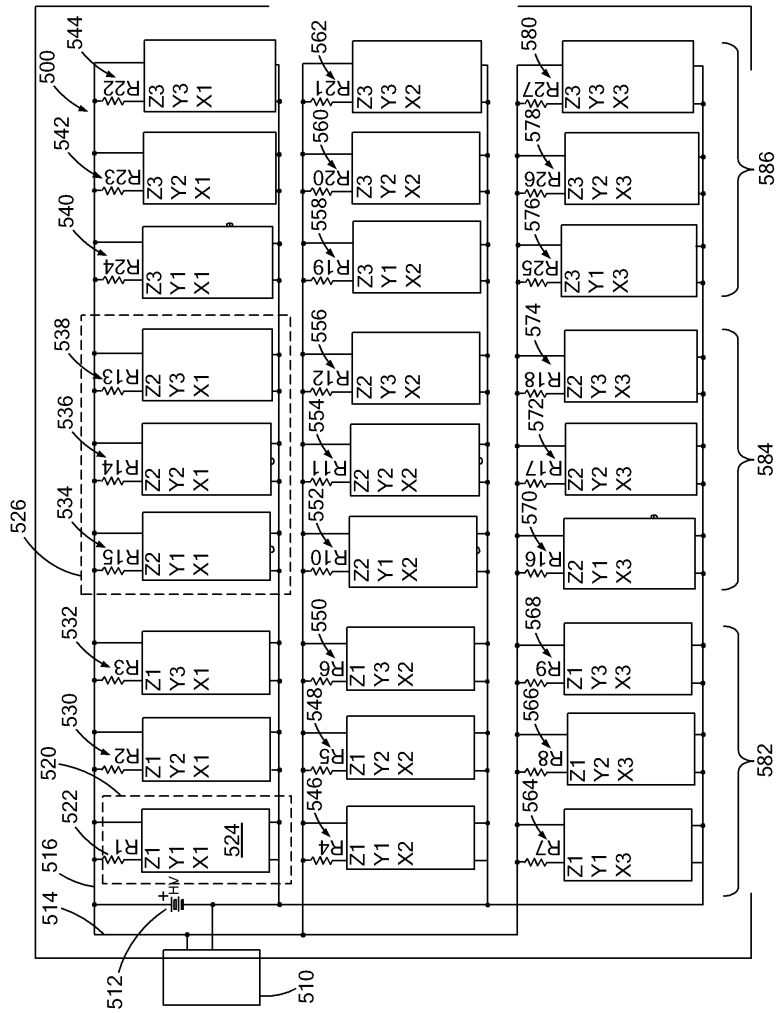
도면3b



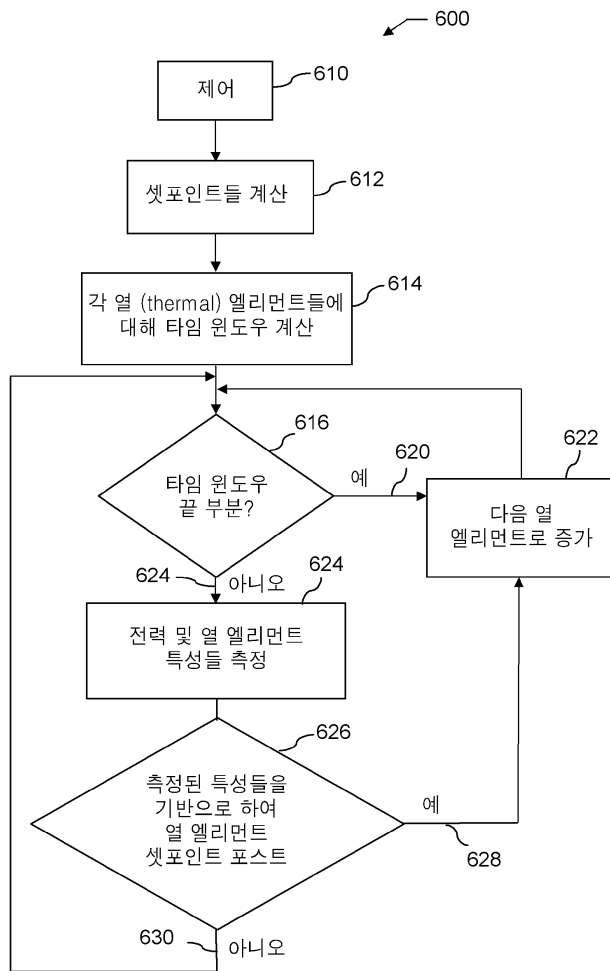
도면4



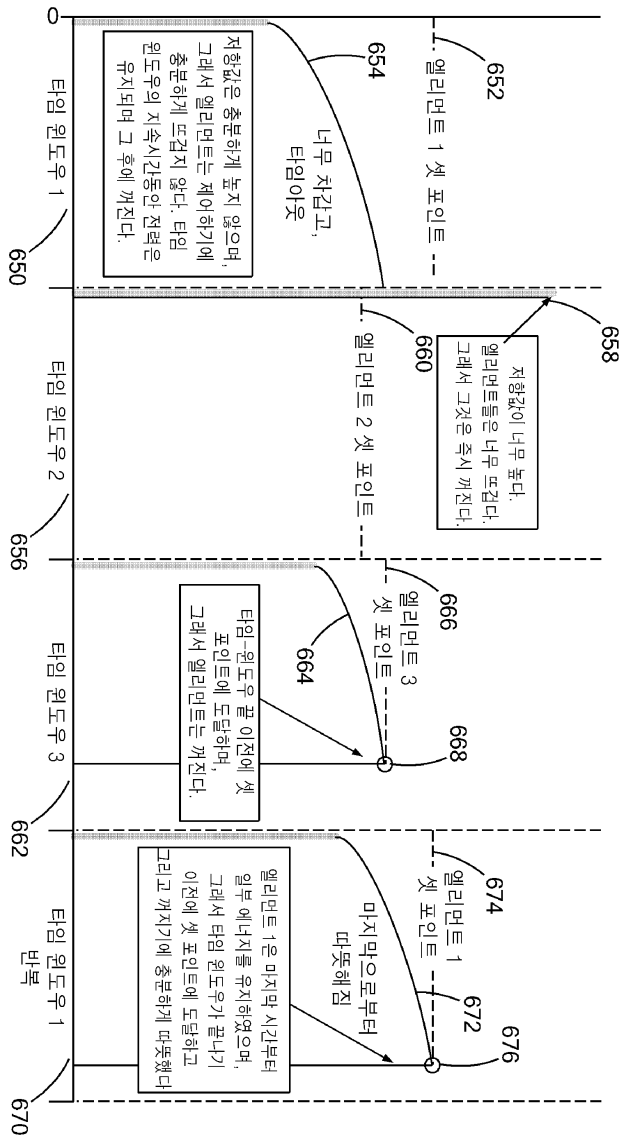
도면5



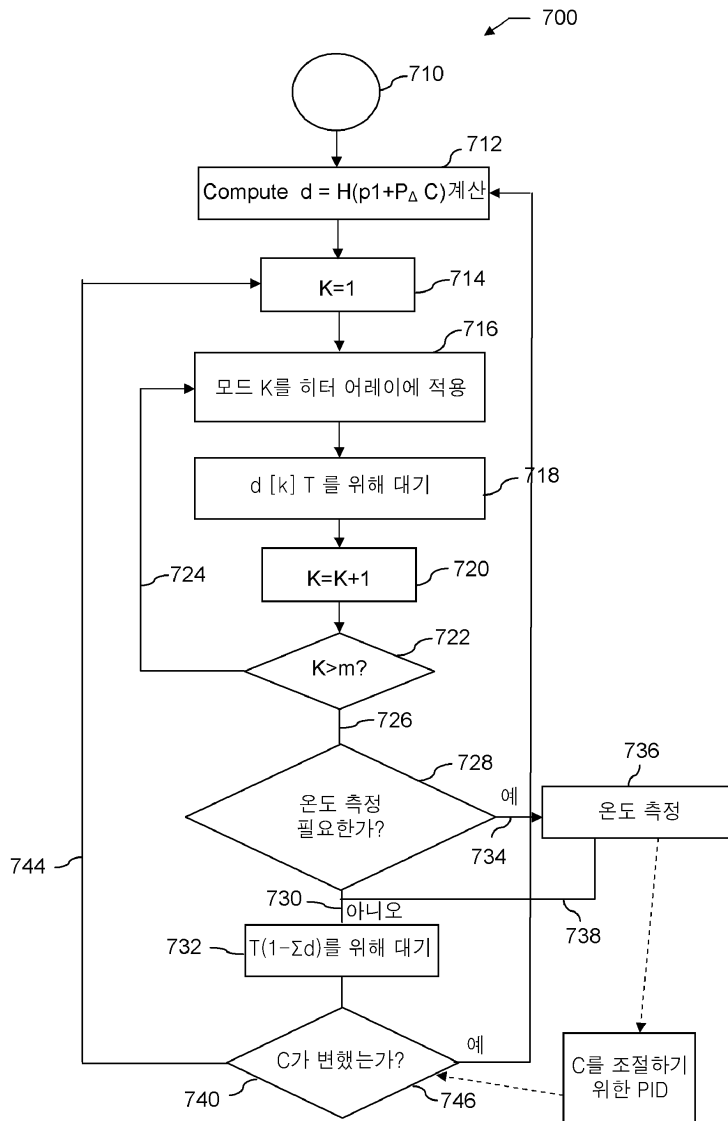
도면6a



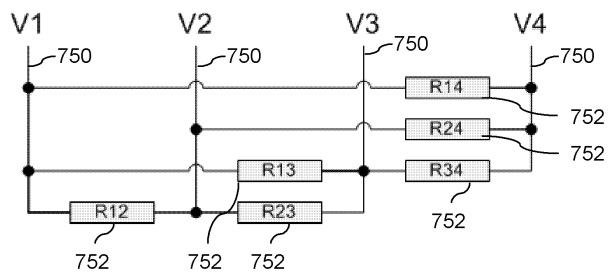
도면6b



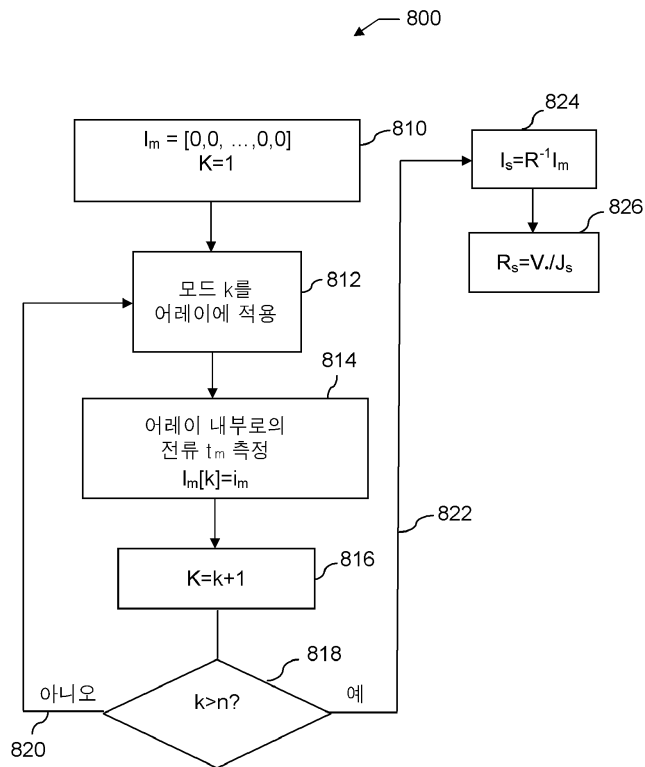
도면7a



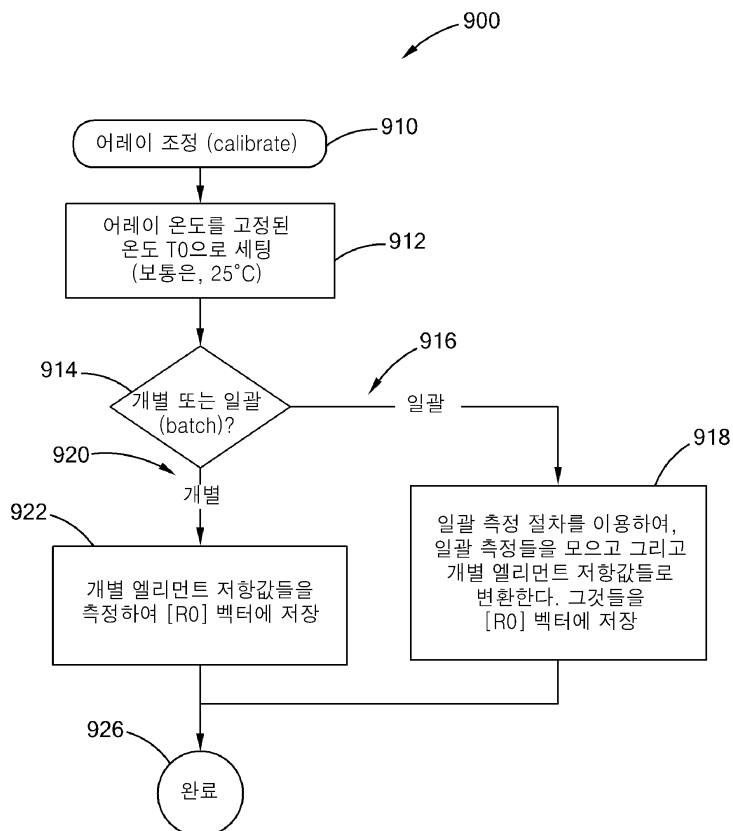
도면7b



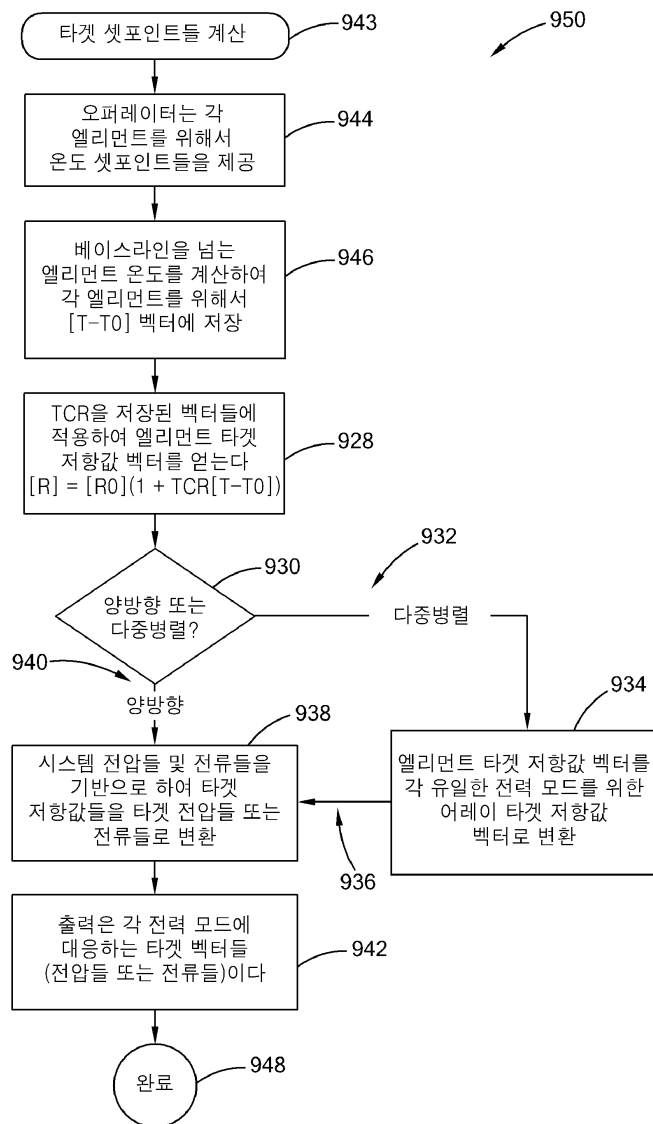
도면8



도면9a



도면9b



도면10

