



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년06월13일
(11) 등록번호 10-2408594
(24) 등록일자 2022년06월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 8/04992 (2016.01) H01M 8/04089 (2016.01)
H01M 8/04701 (2016.01) H01M 8/04746 (2016.01)
H01M 8/04828 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H01M 8/04992 (2013.01)
H01M 8/04089 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7004915
(22) 출원일자(국제) 2017년07월17일
심사청구일자 2020년04월22일
(85) 번역문제출일자 2019년02월19일
(65) 공개번호 10-2019-0030736
(43) 공개일자 2019년03월22일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2017/067999
(87) 국제공개번호 WO 2018/015336
국제공개일자 2018년01월25일
(30) 우선권주장
A50663/2016 2016년07월20일 오스트리아(AT)
(56) 선행기술조사문헌
JP2002372262 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
아베엘 리스트 게엠베하
오스트리아 아-8020 그라츠 한스-리스트-플라츠 1
(72) 발명자
퀴겔 크리스토프
오스트리아, 그라츠 8020, 베르그스트라세 1
자쿠베크 스테판
오스트리아, 빈 1230, 칼베르게르가세 69/27
캉사르 야노스
오스트리아, 빈 1200, 스트롭스트라세 36-38/3/19
(74) 대리인
강명구, 박윤원

전체 청구항 수 : 총 7 항

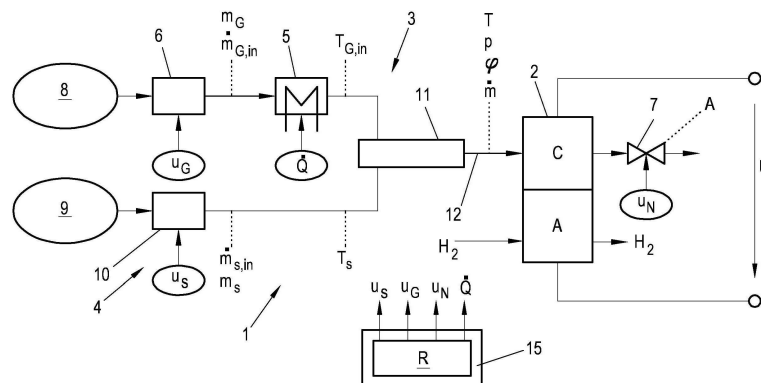
심사관 : 정영훈

(54) 발명의 명칭 연료 전지의 반응 가스에 대해 제어되는 가스 컨디셔닝

(57) 요약

연료 전지의 동작의 영향 변수를 정확하고 빠르게 제어할 수 있기 위해, 연결된, 비선형 다변수 시스템의 형태로 된 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 모델을 기반으로 설계된 제어기(R)가 제어를 위해 사용되며, 연결된, 비선형 다변수 시스템이 리 미분에 의해 분리 및 선형화되고 제어기(R)는 분리된, 선형 다변수 시스템을 위해 설계되며, 제어기 (뒷면에 계속)

대표도



(R)는 제어의 매 샘플링 시간 동안, 지정 설정값 변수($y_{j,dmd}$)를 토대로, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 영향 변수의 적어도 3개의 제공된 액추에이터에 대해 조작 변수(u_G, u_S, u_N, \dot{Q})를 계산하며, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 적어도 3개의 액추에이터는 제어의 매 샘플링 시간에서 계산된 조작 변수(u_G, u_S, u_N, \dot{Q})를 설정한다.

(52) CPC특허분류

H01M 8/04708 (2013.01)

H01M 8/04753 (2013.01)

H01M 8/04835 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

연료 전지(2)의 반응 가스에 대한 제어되는 가스 컨디셔닝으로서,

연료 전지(2)의 반응 가스에 대한 가스 공급원(8), 반응 가스의 상대 습도(Φ)를 설정하도록 반응 가스를 가습하기 위한 가습기 유닛(4), 반응 가스의 온도(T)를 설정하도록 반응 가스의 온도를 제어하기 위한 온도 제어 유닛(5), 반응 가스의 질량 유량(\dot{m})을 제어하기 위한 질량 유량 제어 유닛(6), 및 반응 가스의 압력(p)을 제어하기 위한 압력 제어 유닛(7)이 제공되며,

가습기 유닛(4), 온도 제어 유닛(5), 질량 유량 제어 유닛(6), 및 압력 제어 유닛(7)의 그룹 중 적어도 3개의 액추에이터에 대해 조작 변수 (u_G , u_S , u_N , \dot{Q})를 계산하여, 반응 가스 라인(12) 내 반응 가스의 상대 습도(Φ), 온도(T), 질량 유량(\dot{m}), 및 압력(p)의 그룹 중 연료 전지(2)의 동작에 대한 적어도 3개의 연관된 영향 변수의 지정 시간 곡선을 설정하는 제어기(R)를 갖는 제어 유닛(15)이 제공되며, 제어기(R)는 연결된 비선형 다

$$\dot{x} = f(x) + \sum_{i=1}^m g_i(x) u_i$$

변수 시스템의 형태 $y = h(x)$ 로 된 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 모델을 기초로 설계되고, 제어기(R)는 리 미분(Lie derivative)에 의해 분리되고 선형화된 다변수 시스템을 위해 설계되는, 가스 컨디셔닝.

청구항 2

연료 전지(2)를 동작시키기 위한 연료 전지(2)를 위한 가스 컨디셔닝 유닛(3)을 제어하기 위한 방법으로서,

$$\dot{x} = f(x) + \sum_{i=1}^m g_i(x) u_i$$

연결된, 비선형 다변수 시스템의 형태 $y = h(x)$ 로 된 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 모델을 기초로 설계된 제어기(R)가 제어를 위해 사용되고, 상기 연결된, 비선형 다변수 시스템은 리 미분에 의해 분리 및 선형화되고 제어기(R)는 분리된 선형 다변수 시스템을 위해 설계되었으며, 제어기(R)는, 반응 가스의 상대 습도(Φ)를 설정하기 위해 반응 가스를 가습하기 위한 가습기 유닛(4), 반응 가스의 온도(T)를 설정하기 위해 반응 가스의 온도를 제어하기 위한 온도 제어 유닛(5), 반응 가스의 질량 유량(\dot{m})을 제어하기 위한 질량 유량 제어 유닛(6), 및 반응 가스의 압력(p)을 제어하기 위한 압력 제어 유닛(7)의 그룹 중 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 적어도 3개의 제공된 액추에이터에 대해, 제어의 매 샘플링 시간 동안, 지정 설정값 변수($y_{j,dmd}$)로부터, 조작 변수(u_G , u_S , u_N , \dot{Q})를 계산하고, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 상기 적어도 3개의 액추에이터가 제어의 매 샘플링 시간에서 계산된 조작 변수(u_G , u_S , u_N , \dot{Q})를 설정하는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 연결된, 비선형 다변수 시스템의 각각의 출력 변수(y_j)가 $y_j^{(\delta_j)} = L_f^{\delta_j} h_j + \sum_{i=1}^m (L_{g_i} L_f^{\delta_j-1} h_j) u_i$ 의

형태로 상대 차수(δ_j)에 따라 시간에 대해 미분되며, $L_f^{\delta_j}$ 는 δ_j 차 리 미분을 나타내며, 출력 변수(y_j)의 시간에 대한 δ_j 차 도함수가 새로운 입력 변수 v_i 와 동일하며, 상기 입력 변수로부터, 정의된 행렬 A_c 및 B_c 및 새로운

상태 벡터 $\mathbf{z}^T = (h_1(x) \quad L_f h_1(x) \quad \cdots \quad L_f^{\delta_1-1} h_1(x) \quad h_2(x) \quad L_f h_2(x) \quad \cdots \quad L_f^{\delta_2-1} h_2(x) \quad \cdots \quad L_f^{\delta_m-1} h_m(x))^T$ 를 갖는 형태 $\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}_c \mathbf{z} + \mathbf{B}_c \mathbf{v}$ 의 선형, 분리된 상태 공간 모델이 도출될 수 있는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 제어기(R)는 형태 $\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}_c \mathbf{z} + \mathbf{B}_c \mathbf{v}$ 의 선형, 분리된 상태 공간 모델에 대해 설계되는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 피드포워드 제어기(FW)와 피드백 제어기(FB)를 갖는 2 자유도를 갖는 제어기(R)가 설계되며, 피드포워드 제어기(FW) 및 피드백 제어기(FB)의 출력이 새 입력 변수(v)에 추가되고 피드포워드 부분은 설정값 변수($y_{j,dmd}$)의 시간에 대한 δ_j 차 도함수로부터 도출되며, 피드백 부분은 출력 변수(y_j)의 현재 실제 값과 설정값 변수($y_{j,dmd}$)의 값 간 오차(e)를 교정하는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 오차 성분(e_{j,δ_j})은 $e_{j,0} = \int_0^t e_j(\tau) d\tau$, $e_{j,1} = e_j$, $e_{j,2} = \dot{e}_j$, ..., $e_{j,\delta_j} = e_j^{(\delta_j-1)}$ 에 따라 정의되고, 이로부터 정의된 행렬 A_c 및 B_c 및 피드백 제어기(FB)의 파라미터를 갖는 행렬 K 를 가지며, 피드백 제어기(FB)의 원하는 제어 거동을 획득하도록 정의된 $\dot{\mathbf{e}}(t) = (\mathbf{A}_c - \mathbf{B}_c K) \mathbf{e}(t)$ 가 도출되는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.

청구항 7

제2항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 비선형, 연결된 다변수 시스템의 미분 평탄성(differential flatness)의 속성을 이용해, 상태 변수(x)의 시간 곡선이 $\mathbf{y} = \mathbf{F}(\mathbf{x})$
 $\mathbf{x} = \Phi(\mathbf{y}, \dot{\mathbf{y}}, \dots, \mathbf{y}^{(n-1)})$
 $\mathbf{u} = \Psi(\mathbf{y}, \dot{\mathbf{y}}, \dots, \mathbf{y}^{(n)})$ 에 따라, 설정값 변수($y_{j,dmd}$)의 시간 곡선으로부터 미리 계산되는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연료 전지의 반응 가스를 위한 제어되는 가스 컨디셔닝 및 연료 전지의 동작을 위해 연료 전지를 위한 가스 컨디셔닝을 제어하기 위한 방법과 관련된다.

배경 기술

[0002] 연료 전지는 미래의 에너지원, 특히, 임의의 유형의 차량에서 모바일 애플리케이션의 에너지원으로 간주된다. 이를 위하여, 양성자 교환막 연료 전지(PEMFC: proton exchange membrane fuel cell)가 저온에서 동작될 수 있고 높은 응답 시간을 제공하며 높은 전력 밀도를 갖고 배기 없이(반응은 수소와 산소만 동반함) 동작될 수 있기 때문에, 가장 유망한 기술 중 하나로 부상하고 있다. 그러나 덧붙여, 그 밖의 다른 많은 연료 전지 기법이 존재하며, 예를 들면, 알칼리 연료 전지(AFC), 직접 메탄올 연료 전지(DMFC), 직접 에탄올 연료 전지(DEFEC), 용융 탄산염 연료 전지(MCFC), 고체 산화물 연료 전지(SOFC) 등이 있다. 연료 전지는 애노드 및 캐소드에 대해 전기 화학적으로 반응하여 전류를 발생시키는 하나의 반응 가스, 가령, 산소 O_2 (또는 공기) 및 수소 H_2 를 이용한다. 다양한 연료 전지의 설계 및 기능이 충분히 알려져 있기 때문에, 이들인 본 명세서에서 상세히 언급되지 않을 것이다. 반응 가스의 컨디셔닝이 연료 전지의 동작에 절대적으로 필요한 것은 아니다. 그러나 내구성 및 성능과

또한 전력 밀도가 가령, 차량에서의 연료 전지의 비용 효율적이고 효율적인 사용에 필수적이고, 올바른 가스 컨디셔닝에 의해서만 얻어질 수 있다. 연료 전지의 유형에 따라 반응 가스 중 단 하나 또는 두 반응 가스 모두를 컨디셔닝하는 것이 필요할 수 있다. 연료 전지의 올바른 프로세스 제어가 특히 가스 컨디셔닝을 포함하며, 외부 및 내부 교란의 경우에서 특히, 연료 전지의 성능, 내구성, 및 안전한 동작에 결정적이다. 일반적으로, 잘못된 절차 프로세스 제어가 연료 전지의 가역적 또는 비가역적 전력 손실(열화)을 초래한다. 연료 전지의 현재 성능을 위한 지시자가 건강 상태(SoH)로 표현된다. 연료 전지가 SoH의 정의된 값(일반적으로 자동차의 새 상태에서 연속 출력의 80%)에 도달하는 경우, 이는 서비스의 종료로 일컬어지며, 이는 당연히 바람직하지 않고 피해야 한다.

[0003] 가스 컨디셔닝을 위해, 압력, 온도 및 상대 습도(p, T, rH)의 상태 변수 및 반응 가스의 질량 유량이 결정적이다.

[0004] 예를 들어, 과도하게 낮은 질량 유량이 반응물 결핍을 초래하고, 이는 출력에 즉각적으로 부정적인 영향을 미치며 지속시간과 강도에 따라 연료 전지에 비가역적 손상을 초래한다. 추가 중요한 영향을 미치는 변수가 반응 가스의 압력이다. 애노드와 캐소드 간 특정 압력 구배가 동작에 긍정적인 영향을 미치지만, 과도하게 큰 차이 압력의 경우 막(membrane)과 따라서 연료 전지는 손상을 입는다. 반응 가스의 상대 습도는 추가 예시를 나타낸다. 양성자 교환막 연료 전지에서, 예를 들어 수화된 막만이 양이온을 전도하고 따라서 효율이 있기 때문에 막을 건조되지 않게 보호하는 것이 중요하다. 그러나 과량의 액상 물에 의한 가스 채널 및 확산 페이지의 막힘이 반응물 공급부족을 초래하고, 또한 피해야 한다. 덧붙여, 막의 주기적 가습 및 제습이 기계적 스트레스를 초래하고 따라서 막 내 균열 및 흠(핀홀)을 초래하고, 이는 수소 및 산소의 직접 통과를 촉진시킨다. 따라서 두 효과 모두 연료 전지의 성능과 건강 상태에 부정적인 영향을 미친다. 특히, 온도가 또한 역할을 한다. 높은 온도에서 막의 가속된 화학적 분해에 추가로, 상대 습도와 온도가 또한 물리적으로 연결되며, 이로써, 온도가 또한 앞서 언급된 효과를 유도할 수 있다. 언급된 예시가 결핍 가스 컨디셔닝의 경우 가능한 효과의 일부만 발췌한 것이며 문제를 더 잘 이해시키는 기능을 할 뿐이다.

[0005] 가스 컨디셔닝에 대한 중요한 문제가 4개의 언급된 영향 변수가 물리적(예를 들어, 열역학적) 관계 때문에 서로 종속적이고 덧붙여 비선형 거동을 가진다는 것이다. 가스 컨디셔닝의 구성요소 및 가스 컨디셔닝을 위한 제어 개념이 서로에 적응된다는 점에서 이 문제는 종종 우회된다. 따라서 단순한 제어기(가령, PID 제어기)와 함께, 특성 맵(characteristic map), 특성 값, 특성 포인트 등을 기초로 하는 꽤 단순한 제어가 대부분 충분하다. 제어의 파라미터(특성 맵, 특성 값, 특성 포인트)에 SoH에 종속적인 교정 인자(correction factor)가 제공되는 것이 또한 가능하다.

[0006] 연료 전지의 가능성을 완전히 다루기를 원하는 경우, 가스 컨디셔닝의 이러한 단순한 제어가 종종 충분하지 않다. 구체적으로, 이로 인해 (시험대에서 또는 실제 적용에서) 연료 전지의 (고도의) 동적 동작이 구현될 수 없다. 이 경우 (고도의) 동적 동작이 제어의 빠른 응답 거동으로서 이해된다, 즉, 제어가 가능한 최소 제어 편차만으로 제어의 설정값 변수의 빠른 변화를 따를 수 있다. 특히, 시험대에서의 연료 전지의 개발의 경우, (영향 변수의 변경 속도뿐 아니라 연료 전지의 부하 측면에서) 연료 전지의 거동을 체크 또는 개선하기 위해 연료 전지를 동적 시험 시행을 받게 하기를 원하는 경우, 이는 문제이다.

[0007] 따라서 제어된 변수를 빠르고 정확하게 그리고 특히 일시적으로(transiently) 설정할 수 있는 제어기가 또한 가스 컨디셔닝의 동적 제어를 위해 필요하다.

[0008] 이 목적으로, 연료 전지의 가스 컨디셔닝의 제어를 위한 다양한 접근법이 문헌에서 발견되었다. 이들 접근법 중 다수가 열역학적 관계의 상이한 범위까지 단순화를 기초로 한다. 일반적으로, 언급된 영향 변수 중 단 2개만 제어되고 그 밖의 다른 영향 변수에 대해 추측이 이뤄진다. 그 후 적합한 제어기가 이 목적을 위해 설계된다. 대부분의 경우, 이 경우에서 압력 또는 습도가 제어된다. 이에 대한 하나의 예시가 Damour C. et al. "A novel non-linear model-based control strategy to improve PEMFC water management - The flatness-based approach," Int. Journal of Hydrogen Energy 40 (2015), p.2371-2376이다. 여기서, 막 수분의 모델을 기초로 하는 차이 편평도(differential flatness)의 공지된 이론을 이용하는 상대 습도를 위한 제어기가 공식화된다. 편평도-기반 제어기가 설정값 추적, 높은 수준의 간섭 억제, 및 높은 안정성의 눈에 띄는 거동을 디스플레이한다. 그럼에도, 모든 영향 변수가 제어될 수 있는 것은 아니며, 이로 인해 이 제어기가 가스 컨디셔닝의 의도된 제어에 부적합하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 따라서 연료 전지의 반응 가스를 위한 제어된 가스 컨디셔닝 및 이러한 목적을 위한 연료 전지의 동작의 영향 변수의 정확하고 빠른 제어를 가능하게 하는 제어 방법을 특징하는 것이 본 발명의 목적이다.

과제의 해결 수단

[0010] 이 목적은 본 발명에 따르는 독립 청구항의 특징에 의해 이뤄진다. 이 발명은 가스 컨디셔닝 유닛의 수학적 모델링으로부터 도출된 고도로 비선형이고 결합된 다변수 시스템이 리 미분(Lie derivative)을 적용함으로써 분리되고 선형화될 수 있다는 개념을 기초로 한다. 이로부터 도출된 선형의 분리된 다변수 시스템에 대해, 제어기가 종래의 선형 제어 이론을 이용해 설계될 수 있다. 이러한 방식으로, 가스 컨디셔닝 유닛이 영향 변수의 정확하고 신속한 제어에 대한 조건을 나타내는 영향 변수에 대해 정확히 모델링될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 본 발명은 예를 들어, 개략적으로, 그리고 비제한적으로 본 발명의 바람직한 실시예를 도시하는 도 1 내지 4를 참조하여 이하에서 더 상세히 설명될 것이다.

도 1은 본 발명에 따르는 가스 컨디셔닝을 갖는 연료 전지에 대한 시험대를 도시한다.

도 2는 연결된 다변수 시스템의 입력 변수를 변경하는 경우 시간에 따른 출력 변수의 곡선을 도시한다.

도 3은 가스 컨디셔닝을 위한 2 자유도를 갖는 본 발명에 따르는 제어기를 도시한다.

도 4는 본 발명에 따르는 분리된 다변수 시스템에서 입력 변수를 변경하는 경우에서 시간에 따른 출력 변수의 곡선을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 본 발명은 이하에서 도 1을 참조하여 양성자 교환막 연료 전지(PEMFC)(2)에 대한 시험대(1)의 예시를 기초로 일 반화의 제한 없이 상세히 설명될 것이다. 물론, 연료 전지(2)가 또한 기계 또는 시설의 전기 공급기로서 사용될 수 있다. 그 후 이 기계 또는 시설에서 이러한 목적으로 가스 컨디셔닝 및 제어가 구현될 것이다. 이하에서 연 료 전지(2)의 동작이 언급될 때, 이는 항상 시험대(1) 상에서의 연료 전지(2)의 동작 및 기계 또는 시설 내 연 료 전지(2)의 실제 동작으로서 이해된다.

[0013] 도 1에 따르는 예시에서 연료 전지(2)는 시험대(1) 상에 배열되고 시험대(1) 상에서 동작된다. 충분히 알려진 바와 같이, 연료 전지(2)는 제1 반응 가스, 가령, 산소가 공기의 형태로 공급되는 캐소드(C), 및 제2 반응 가스, 가령, 수소 H₂가 공급되는 애노드(A)를 포함한다. 연료 전지(2)의 내부에서 2개의 반응 가스는 폴리머 막 에 의해 서로 분리된다. 캐소드(C)와 애노드(A) 사이에서 전기 전압 U이 탭될 수 있다. 연료 전지(2)의 이 기본적인 구조 및 기능이 잘 알려져 있으며, 때문에 이들은 본 명세서에서 더 상세히 기재되지 않을 것이다.

[0014] 적어도 하나의 반응 가스, 일반적으로 산소 공급 반응 가스, 특히, 공기가 가스 컨디셔닝 유닛(3)에서 컨디셔닝 된다. 가스 컨디셔닝 유닛(3)에서, 컨디셔닝된 반응 가스의 압력 p , 상대 습도 Φ , 온도 T , 및 질량 유량 \dot{m} 이 설정되며, 도 1에서, 이들 4개의 영향 변수가 캐소드(C)의 입력으로 지시된다. 발명에 따라, 이 경우에서 이들 4개의 영향 변수 중 적어도 3개, 바람직하게는 4개 모두가 컨디셔닝된다. 이 경우에서 "컨디셔닝"은 영향 변수의 값이 지정 값, 즉, 설정값 변수로 제어되는 것을 의미한다. 가스 컨디셔닝 유닛(3)을 이용해 컨디셔닝되지 않는 영향 변수의 경우, 이 영향 변수에 대해 추측이 이뤄질 수 있는데, 가령, 이 영향 변수는 일정하게 유지될 수 있다.

[0015] 대응하는 액추에이터가 이들 영향 변수를 제어하기 위해 가스 컨디셔닝 유닛(3)에 제공된다. 구체적으로, 반응 가스를 가습하여 반응 가스의 상대 습도 Φ 를 설정하기 위한 가습기 유닛(4), 반응 가스의 온도 T 를 설정하기 위한 반응 가스의 온도 제어를 위한 온도 제어 유닛(5), 반응 가스의 질량 유량 \dot{m} 을 제어하기 위한 질량 유량 제어 유닛(6) 및 반응 가스의 압력 p 를 제어하기 위한 압력 제어 유닛(7)이 제공된다. 컨디셔닝될 영향 변수와 유사하게, 이들 4개의 유닛 중 적어도 3개, 바람직하게는 4개 모두 가스 컨디셔닝 유닛(3)에 제공된다. 물론, 가스 컨디셔닝 유닛(3)에 연결되고 가스 컨디셔닝 유닛(3) 내에 역시 배열되는 반응 가스에 대한 가스 공급원

(8)도 더 제공된다.

[0016] 가스 공급원(8)은 예를 들어 압축된 건식 반응 가스, 가령, 공기를 갖는 압력 저장소(pressure reservoir)이다. 대안으로, 공기가 사용되는 경우, 대기 공기가 또한 가스 공급원(8)으로서 처리, 가령, 필터링, 압축, 건조 등이 될 수 있다.

[0017] 온도 제어 유닛(5)은 예를 들어, 전기 가열 및 냉각 유닛 또는 열교환기이다. AT 516 385 A1에 기재된 유닛이 또한 온도 제어 유닛으로서 사용될 수 있다.

[0018] 이 예시적 실시예에서 가습기 유닛(4)은 수증기 발생기(9), 수증기에 대한 질량 유량 제어기(10), 및 혼합 챔버(11)를 포함한다. 종래의, 적절한, 상업적으로 이용 가능한, 제어 가능한 질량 유량 제어기가 수증기에 대한 질량 유량 제어기(10)로서 사용될 수 있고 또한 반응 가스에 대한 질량 유량 제어 유닛(6)으로서 사용될 수 있다. 수증기는 혼합 챔버(11)에서 가스 공급원(8)으로부터 기원하는 가스와 혼합되어 연료 전지(2)에 대한 컨디셔닝 된 가스를 형성할 수 있다.

[0019] 물론, 가습기 유닛(4)의 그 밖의 다른 실시예가 또한 생각되어질 수 있다. 예를 들어, 물이 가스 공급원(8)으로부터의 가스로 공급, 가령, 주입될 수 있다.

[0020] 이 예시에서, 제어 가능한 오프닝 단면을 통해 반응 가스의 압력 p 를 설정하는 카운터 압력 밸브가 압력 제어 유닛(7)으로서 사용된다. 카운터 압력 밸브(7)는 연료 전지(2)의 하류에 가스 컨디셔닝 유닛(3) 내에 배열된다. 이로써 압력이 연료 전지(2)의 상류에서 제어될 수 있고, 이로써, 압력 제어가 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 다른 구성요소에서 가능한 압력 손실에 의해 영향 받지 않는 채 남아진다.

[0021] 혼합 챔버(11) 후에, 반응 가스가 연료 전지(2)에 연결되거나, 더 정밀하게, 연료 전지(2)의 캐소드(C) 또는 애노드(A)에 연결된 반응 가스 라인(12)에서 비 온도 T , 비 상대 습도 Φ , 비 압력 p , 및 비 질량 유량 \dot{m} 를 제공 받는다.

[0022] 그러나 도 1을 토대로 기재된 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 이 구조는 예시에 불과하며 물론 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 또 다른 구조 및 가습기 유닛(4), 질량 유량 제어 유닛(6), 온도 제어 유닛(5) 및 온도 제어 유닛(7)의 그 밖의 다른 특정 실시예가 또한 생각되어질 수 있다.

[0023] 영향 변수를 제어할 수 있기 위해, 가습기 유닛(4), 질량 유량 제어 유닛(6), 온도 제어 유닛(5), 및 압력 제어 유닛(7)이 각자의 조작 변수를 통해 제어 가능하다. 조작 변수는 제어 유닛(15)에 의해 계산되며, 여기서 제어기(R)가 구현된다. 도 1에 도시된 실시예에서, 가습기 유닛(4)이 조작 변수 u_s 를 이용해 수증기에 대한 질량 유량 제어기(10)를 통해 제어되고, 질량 유량 제어 유닛(6)이 조작 변수 u_G 를 이용해 제어되고, 온도 제어 유닛(5)이 조작 변수 \dot{Q} 를 이용해 제어되며, 압력 제어 유닛(7)이 조작 변수 n_N 를 이용해 제어된다. 영향 변수의 변경을 유도하기 위해 조작 변수를 이용해 각자의 액추에이터가 작동된다.

[0024] 먼저, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 모델이 가스 컨디셔닝 유닛(3)을 제어하기 위한 제어기(R)의 제어기 설계에 대해 요구된다. 이러한 목적을 위해 크게 변하는 모델이 또한 고려될 수 있다. 한 가지 바람직한 모델이 이하에서 기재될 것이며, 여기서 모든 4개의 영향 변수가 고려된다. 이를 위해, 우선 도 1에 따르는 구조물에 대한 시스템 수식이 전개된다.

[0025] 혼합 챔버(11) 내 물질 균형(mass balance)에서,

$$\frac{d}{dt} m_G = \dot{m}_{G,in} - \dot{m}_{G,out}$$

$$\frac{d}{dt} m_S = \dot{m}_{S,in} - \dot{m}_{S,out}$$

[0026]

[0027] 을 따르고, 이때, 가스의 질량이 m_G , 혼합 챔버(11)로 들어가는 가스의 질량 유량이 $\dot{m}_{G,in}$, 혼합 챔버(11) 밖으로 나오는 가스의 질량 유량이 $\dot{m}_{G,out}$, 혼합 챔버(11)로 들어가는 수증기의 질량 유량이 $\dot{m}_{S,in}$, 및 혼합 챔버(11) 밖으로 나가는 수증기의 질량 유량이 $\dot{m}_{S,out}$ 이다.

[0028] 혼합 챔버(11) 밖으로 나가는 가스 및 수증기의 질량 유량은

$$\dot{m}_{G,out} = \frac{m_G}{m} \dot{m}, \quad \dot{m}_{S,out} = \frac{m_S}{m}$$

[0030] 와 같이 주어지며, 이때, 가스 컨디셔닝 유닛(3) 내 총 질량이 m 이고, 가스의 질량 m_G 이고 수증기의 질량이 m_S 이며 반응 가스의 질량 유량이 \dot{m} 이다. 당연히 $m = m_G + m_S$ 이다.

[0031] 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 에너지 균형에서,

$$\frac{dU}{dt} = \dot{m}_{G,in} \cdot h_{G,in} + \dot{m}_{S,in} \cdot h_{S,in} - \dot{m} \cdot h$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt} (m_G u_{iG} + m_S u_{iS})$$

[0032]

[0033] 를 따른다.

[0034] 이 경우, U 는 내부 에너지를 나타내고 h 는 혼합 챔버(11) 후의 가스(본 명세서에서 인덱스 G로 마킹됨), 수증기(본 명세서에서 인덱스 S로 나타냄), 및 반응 가스(본 명세서에서 인덱스 없이 나타냄)의 비엔탈피(specific enthalpy)를 나타내며, u_i 는 가스 및 수증기의 비 내부 에너지를 나타낸다. 가스의 비엔탈피 h 는 등압력에서의 비열용량 c_p 와 가스의 온도 T 의 곱으로 알려져 있다. 수증기의 경우, 잠열 r_0 이 덧셈에 의해 추가된다. 가스의 내부 에너지 u_i 가 등체적에서의 비열용량 c_v 와 가스의 온도 T 의 곱이다. 수증기의 경우, 잠열 r_0 이 또한 덧셈에 의해 포함된다. 이들 모두 에너지 균형에 삽입되고 질량 균형을 고려한다면, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 온도 동역학을 기술하는 다음의 시스템 수식이 획득된다:

$$\frac{d}{dt} T = \frac{1}{m_G c_{vG} + m_S c_{vS}} \cdot (\dot{m}_{G,in} c_{pG} T_{G,in} + \dot{m}_{S,in} (c_{pS} T_{S,in} + r_0)) - \frac{1}{m} \dot{m} (m_G c_{pG} T + m_S (c_{pS} T + r_0)) - \left(\frac{d}{dt} m_G c_{vG} T - \frac{d}{dt} m_S (c_{vS} T + r_0) \right)$$

[0035]

[0036] 또한, 이상적인 가스에 대한 열역학 상태 수식으로부터

$$pV = (m_G R_G + m_S R_S) T$$

[0037]

[0038] 를 따르고, 이때 연료 전지(2)의 인렛(inlet)에서의 압력이 p 이고 온도가 T 이다. R 은 가스에 대한 기체 상수(인덱스 G), 수증기에 대한 기체 상수(인덱스 R), 또는 반응 가스에 대한 기체 상수(인덱스 없음)를 나타낸다. 체적 V 는 이 경우에서 혼합 챔버(11)의 체적뿐 아니라, 가스 컨디셔닝 유닛(3) 내 파이프의 체적까지 나타내는 것이 바람직하다. 반응 가스의 압력 p 및 질량 유량 \dot{m} 은 또한 카운터 압력 밸브(7)에 의해 명확하게 영향 받으며, 이는

$$\dot{m} = A \cdot p \sqrt{\frac{2}{RT}} \cdot \Psi$$

$$\Psi = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}, \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

[0039]

[0040] 와 같이 모델링될 수 있다.

[0041] 여기서, A는 카운터 압력 밸브(7)의 오프닝 단면을 나타내며 p_0 는 대기압을 나타낸다.

[0042] 상대 습도 Φ 는

$$\Phi = \frac{X}{\frac{R_G}{R_S} + X} \cdot \frac{p}{p_w(T)}, \quad X = \frac{m_s}{m_G}$$

[0043] 에 의해 모델링되며, 여기서 $p_w(T)$ 는, 예를 들어 $p_w(T) = p_m \cdot e^{\frac{C_1 T}{C_2 + T}}$ 로 주어지는 포화 부분압을 나타낸다. 파라미터 p_m , C_1 , C_2 는 예를 들어, Plant R.S. et al., "Parameterization of Atmospheric Convection," Vol.1, Imperial College Press, 2015.에서 취해질 수 있다.

[0044] 또한, 액추에이터의 동역학은 또한 시간 상수 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ 를 갖는 1차 지연 요소의 형태로 조작 변수 u_s, u_G, \dot{Q} , 및 u_N 의 함수로서 모델링된다:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \dot{m}_{G,in} &= \frac{1}{\tau_1} (u_G - \dot{m}_{G,in}) \\ \frac{d}{dt} T_{G,in} &= \frac{1}{\tau_2} \frac{1}{c_{pG} \dot{m}_{G,in}} \left(\frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{G,in}} - c_{pG} (T_{G,in} - T_{G,0}) \right) \\ \frac{d}{dt} \dot{m}_{S,in} &= \frac{1}{\tau_3} (u_s - \dot{m}_{S,in}) \\ \frac{d}{dt} \dot{A} &= \frac{1}{\tau_4} (u_N - (\dot{A} - \dot{A}_0)) \end{aligned}$$

[0045] 상기 수식에서 $T_{G,0}$ 및 \dot{A}_0 는 지정 오프셋 변수이다.

[0046] 상기 시스템 수식으로부터,

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^m \mathbf{g}_i(\mathbf{x}) u_i \\ \mathbf{y} &= \mathbf{h}(\mathbf{x}) \end{aligned}$$

[0047] 형태의 비선형 다변수 시스템(MIMO, 복수 입력 복수 출력)가 제공되며, 상태 벡터 \mathbf{x} , 입력 벡터 \mathbf{u} , 및 출력 벡터 \mathbf{y} 가 다음과 같다:

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} m_G \\ m_s \\ T \\ \dot{m}_{G,in} \\ T_{G,in} \\ \dot{m}_{S,in} \\ A \end{pmatrix}, \quad \mathbf{u} = \begin{pmatrix} u_G \\ \dot{Q} \\ u_s \\ u_N \end{pmatrix}, \quad \mathbf{y} = \begin{pmatrix} T \\ p \\ \Phi \\ \dot{m} \end{pmatrix}$$

[0048] 도 1에서, 더 나은 이해를 위해, 이들 변수 각각이 발생하는 곳이 지시된다.

[0049] 비선형성이 상태 수식으로부터 시스템 함수 $\mathbf{f}(\mathbf{x})$, $\mathbf{g}(\mathbf{x})$ 로부터 도출되고, 출력 수식으로부터 시스템 함수 $\mathbf{h}(\mathbf{x})$ 로부터 도출되며, 이들 각각이 상태 벡터 \mathbf{x} 에 종속적이다.

[0050] 그러나, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 모델은 비선형일뿐 아니라 개별 상태 수식들이 또한 복수 번 연결됨으로써,

입력 벡터 u 의 조작 변수 u_s, u_g, \dot{Q}, u_N 가 출력 벡터 y 의 출력 변수 T, p, Φ, \dot{m} 와 연관될 수 없다. 따라서 조작 변수 u_s, u_g, \dot{Q}, u_N 중 하나가 변경될 때 복수의 출력 변수가 영향 받는다. 이는 도 2에 나타나 있다.

[0055] 도 2에서, 우측에서 조작 변수 u_s, u_g, \dot{Q}, u_N 가 시간 t 에 걸쳐 플로팅되고 좌측에서 출력 벡터 y 의 출력 변수가 플로팅된다. 시간(50s, 100s, 150s, 및 200s)에서, 조작 변수 u_s, u_g, \dot{Q}, u_N 중 하나가 각각의 경우에서 변경된다. 이 경우, 모든 출력 변수 T, p, Φ, \dot{m} 가 각각의 경우에서 변경된다.

[0056] 이제, 연결된 비선형 MIMO 시스템에 대해, 가스 컨디셔닝 유닛(3)이 제어될 수 있도록 하는 제어가 설계되어야 한다. 이러한 목적으로 많은 옵션이 있고, 여기서 한 가지 바람직한 제어기 설계가 이하에서 기재될 것이다.

[0057] 제1 단계로서, 비선형, 연결 다변수 시스템

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^m \mathbf{g}_i(\mathbf{x}) u_i$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{x})$$

[0058]

[0059] 이 분리되고 선형화된다. 이러한 목적으로, 출력, 즉, 출력 변수 y_i 가 형태 $\frac{d}{dx} \frac{dx}{dt}$ 로 시간에 관해 미분됨으로써,

$$\begin{aligned} \dot{y}_j &= \frac{\partial h_j}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^m \frac{\partial h_j}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{g}_i(\mathbf{x}) u_i = \\ &= L_f h_j(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^m L_{g_i} h_j(\mathbf{x}) u_i \end{aligned}$$

[0060]

[0061] 가 도출된다. 따라서 $L_f h$ 및 $L_{g_i} h$ 가 연결된 비선형 다변수 시스템의 상태 수식의 시스템 함수 $f(x)$ 및 $g(x)$ 에 관한 출력 수식의 시스템 함수 $h(x)$ 의 알려진 리 미분을 나타낸다. 따라서 리 미분 L_f 및 L_{g_i} 가

$$L_f h_j(\mathbf{x}) = \frac{\partial h_j}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{f}(\mathbf{x}) \quad \text{및} \quad L_{g_i} h_j(\mathbf{x}) = \frac{\partial h_j}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{g}_i(\mathbf{x})$$

와 같이 정의된다.

[0062]

상기로부터, $L_{g_i} h_j(\mathbf{x}) = 0$ 인 경우 조작 변수 u_i 가 출력 변수 y_i 의 시간에 관한 각자의 미분에 어떠한 영향도 미치지 않음을 알 수 있다. 따라서 조작 변수 u_i 가 출력 변수 y_i 에 어떠한 영향도 미치지 않는 한, 즉, 최대 δ_j 차 도함수까지 출력 벡터 y 의 각각의 출력 변수 y_j 가 시간에 관해 미분된다. 그 후 j 번째 출력 변수 y_j 의 상대 차수가 δ_j 로 지시되고, 이로부터 다음의 표기 결과가 리 미분에 의해 도출된다:

$$y_j^{(\delta_j)} = L_f^{\delta_j} h_j + \sum_{i=1}^m (L_{g_i} L_f^{\delta_j-1} h_j) u_i$$

[0063]

[0064] 여기서, $L_f^{\delta_j}$ 는 δ_j 차 리 미분이고 (δ_j)는 시간에 대한 δ_j 차 도함수를 나타낸다. 이것이 $j=1, \dots, m$ 출력 변수 모두에게 적용될 때, 일반적으로 행렬 표현

$$\begin{pmatrix} y_1^{(\delta_1)} \\ y_2^{(\delta_2)} \\ \vdots \\ y_m^{(\delta_m)} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} L_f^{\delta_1} h_1(\mathbf{x}) \\ L_f^{\delta_2} h_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ L_f^{\delta_m} h_m(\mathbf{x}) \end{pmatrix}}_{\mathbf{l}(\mathbf{x})} + \underbrace{\begin{bmatrix} L_{g_1} L_f^{\delta_1-1} h_1(\mathbf{x}) & \cdots & L_{g_m} L_f^{\delta_1-1} h_1(\mathbf{x}) \\ L_{g_1} L_f^{\delta_2-1} h_2(\mathbf{x}) & \cdots & L_{g_m} L_f^{\delta_2-1} h_2(\mathbf{x}) \\ \vdots & & \vdots \\ L_{g_1} L_f^{\delta_m-1} h_m(\mathbf{x}) & \cdots & L_{g_m} L_f^{\delta_m-1} h_m(\mathbf{x}) \end{bmatrix}}_{\mathbf{J}(\mathbf{x})} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_m \end{bmatrix}$$

[0065]

[0066] 가 얻어지고, 여기서 분리 행렬이 $J(x)$ 이다. 출력 변수 y 의 시간에 대한 δ_j 차 도함수를 포함하는 벡터가 새로운 합성 입력 벡터, 즉

$$[0067] \quad \mathbf{v} = (v_1 \quad v_2 \quad \cdots \quad v_m)^T = (y_1^{(\delta_1)} \quad y_2^{(\delta_2)} \quad \cdots \quad y_m^{(\delta_m)})^T$$

[0068] 가 된다.

[0069] 따라서 $\dot{\mathbf{v}} = \mathbf{I}(\mathbf{x}) + \mathbf{J}(\mathbf{x})\mathbf{u}$ 가 도출된다. 이로부터, 새 합성 입력 v 와 다변수 시스템의 출력 벡터 y 의 출력 변수 간 관계가 분리되고 적분기의 체인(chain of integrators)으로 이해될 수 있다. 새 합성 입력 변수 v_j 가 시간에 따라 δ_j 번 적분되는 경우, 다변수 시스템의 출력 변수 y_j 가 획득된다.

[0070] 이제 새 상태 벡터 z 가 역시, 형태

$$[0071] \quad \mathbf{z} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_{\delta_1} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1(x) \\ L_f h_1(x) \\ \vdots \\ L_f^{\delta_1-1} h_1(x) \\ h_2(x) \\ L_f h_2(x) \\ \vdots \\ L_f^{\delta_2-1} h_2(x) \\ \vdots \\ L_f^{\delta_m-1} h_m(x) \end{pmatrix}$$

[0072] 로 정의된다면, 새 다변수 시스템이

$$[0073] \quad \dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}_c \mathbf{z} + \mathbf{B}_c \mathbf{v}$$

[0074] 에 따라 선형, 비연결 상태 공간 모델로서 획득되며,

$$[0075] \quad \mathbf{A}_c = \begin{pmatrix} A_{c,1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_{c,2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & A_{c,m} \end{pmatrix} \quad \mathbf{B}_c = \begin{pmatrix} B_{c,1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & B_{c,2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & B_{c,m} \end{pmatrix}$$

이때, 및 이며,

$$[0076] \quad \mathbf{A}_{c,j} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{B}_{c,j} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

또한 $(\delta_j \times \delta_j)$ 행렬이 이고 $(\delta_j \times 1)$ 벡터가 이다.

[0077] 그 후 임의의 선형 제어 이론이 형태 $\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{A}_c \mathbf{z} + \mathbf{B}_c \mathbf{v}$ 의 선형, 비연결 다변수 시스템에 적용될 수 있고 임의의 선형 제어기가 이러한 목적으로 설계될 수 있다.

[0078] 제어를 위해, 설정된 출력 변수 y_j 가 지정된 설정값 변수를 가능한 따르는 것(궤적 추적)이 바람직한 목표이다. 제어는 간섭에 가능한 내성이 있을 것이다. 이를 위해, 예를 들면, 피드포워드 제어기 FW와 피드백 제어기 FB로 구성된 2 자유도를 갖는 알려진 제어기 R(2DoF(Two-Degree-of-Freedom) 제어기)가 제안되고 도 3에 예시로서 나타난다. 피드포워드 제어기 FW는 궤적 추적을 보장하기 위한 것이고 피드백 제어기 FB는 가능한 간섭의 교정을

보장하기 위한 것이다.

[0079] 분리된, 선형 다변수 시스템(20)의 새로운 입력 변수 v_j 가 출력 변수 y_j 의 δ_j 차 도함수에 대응한다. 따라서 제어기 R의 피드포워드 부분이 설정값 변수 $y_{j,dmd}$ 의 δ_j 차 도함수로서 도출된다. 설정값 변수 벡터 y_{dmd} 의 각각의 설정값 변수 $y_{j,dmd}$ 가 자신의 상대 차수에 따라 얻어지고 피드백 제어기 FB의 출력에 추가로 연결된다.

[0080] 피드백 제어기 FB가 제어 에러 벡터 e 를 알려진 방식으로, 설정값 변수 벡터 y_{dmd} 의 설정값 변수 $y_{j,dmd}$ 와 출력 변수 y 의 현재 실제 값 간 도함수, 즉, $e_j(t) = y_j(t) - y_{j,dmd}(t)$ 로서 수신한다. 원칙적으로, 에러를 교정하는 데 어떠한 임의의 피드백 제어기도 사용될 수 있고 충분한 방법이 이러한 제어를 결정하는 데 알려져있다. 단순한 피드백 제어기 FB가 이하에서 기재될 것이다.

[0081] 피드백 제어기 FB는 상대 차수 δ_j 를 기초로 하고 다음의 에러 부분 e_{j,δ_j} 이 정의된다.

[0082]
$$e_{j,0} = \int_0^t e_j(\tau) d\tau, \quad e_{j,1} = e_j, \quad e_{j,2} = \dot{e}_j, \quad \dots, \quad e_{j,\delta_j} = e_j^{(\delta_j-1)}$$

[0083] 따라서 도 3에 따르는 분리된, 선형 다변수 시스템(20)의 새로운 입력 변수가

[0084]
$$v_j = y_{j,dmd}^{(\delta_j)} - K_{j,0}e_{j,0} - K_{j,1}e_{j,1} - \dots - K_{j,\delta_j}e_{j,\delta_j}$$

[0085] 와 같이 써질 수 있다.

[0086] 2의 상대 차수 δ_j 에 대해, PID 제어기와 유사성이 확립될 수 있고, 이때 $K_{j,0}$ 가 적분 성분을 형성하고, $K_{j,1}$ 가 비례 성분을 형성하며, $K_{j,2}$ 가 미분 성분을 형성한다. 1의 상대 차수 δ_j 에 대해, PI 제어기가 도출될 것이다.

[0087] 이는 다음과 같은 벡터 표현을 도출한다:

[0088]
$$\dot{e}(t) = (A_e - B_e K) e(t)$$

[0089] 이때, 앞서 정의된 행렬 A_e , B_e , 및
$$K = \begin{bmatrix} K_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_2 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_m \end{bmatrix} \quad \text{및} \quad K_j = [K_{j,0} \quad K_{j,1} \quad \dots \quad K_{j,\delta_j}]$$
 이다.

[0090] 그 후 피드백 제어기 FB의 제어기 파라미터 K_j 가 원하는 제어 거동을 획득하도록 정의될 수 있다. 또한 이러한 목적으로, 다양한 알려진 접근법이 존재하는데, 가령, $(A_e - B_e K)$ 에 대한 극 배치 방법이 있다. 이 경우, 모든 바람직한 극이 허수 축의 왼쪽에 위치하여 안정성을 보장하는 것이 바람직하다. 제어기 파라미터 K_j 가 이러한 방식으로 결정될 수 있다.

[0091] 도 3에서 Σ^{-1} 로 특징지어지는 비선형, 연결된 다변수 시스템의 앞서 기재된 선형화 및 분리를 위해, 수학식으로부터 자명하듯이 그리고 도 3에서 지시되듯이, 상태 변수 x 가 또한 필요하다.

[0092] 이를 위해, 상태 변수 x 가 가스 컨디셔닝 유닛(3)에서, 바람직하게는, 제어기의 매 샘플링 시마다, 측정될 수 있다. 대안으로, 입력 변수 u 및/또는 출력 변수 y 로부터 관측자(observer)에 의해, 바람직하게는 제어의 매 샘플링 시마다, 상태 변수 x 가 또한 추정될 수 있다. 그러나 상태 변수 x 가 또한 또 다른 단순한 방식으로 계산될 수 있다.

[0093] 미분 독립적 출력 변수의 벡터 $y=(y_1, \dots, y_m)$ 가 존재하는 경우 일반 형태 $\dot{x} = f(x, u)$ 의 비선형 다변수 시스템이 미분 평탄성(differential flatness)을 가짐으로써, 상태 변수 x 및 입력 변수 u 가, 이 경우, 평탄성, 및 이의 도함수로서 지정된, 이 출력 y 의 함수이다:

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{F}(\mathbf{x}) \\ \mathbf{x} &= \Phi(\mathbf{y}, \dot{\mathbf{y}}, \dots, \mathbf{y}^{(n-1)}) \\ \mathbf{u} &= \Psi(\mathbf{y}, \dot{\mathbf{y}}, \dots, \mathbf{y}^{(n)}) \end{aligned}$$

[0094]

[0095]

따라서, 출력 변수 $y(t)$ 의 임의의 시간 곡선에 대해, 다변수 시스템의 미분 수식을 적분하지 않고, 입력 변수 $u(t)$ 의 연관된 시간 곡선 및 상태 변수 $x(t)$ 의 시간 곡선이 오로지 출력 변수 $y(t)$ 의 시간 곡선으로부터 계산될 수 있다.

[0096]

상기에서 기재된 비선형 다변수 시스템은 미분적으로 평탄함을 알 수 있다. 따라서 상태 변수 x 가 간단히 설정값 변수 y_{dmd} 의 시간 곡선으로부터 계산될 수 있으며 추정되거나 추정될 필요가 없다. 이는 도 3에서 상태 변수 x 의 인덱스 F 로 지시된다. 시험대(1)에서, 예를 들어, 실행될 시험에 의해 설정값 변수 y_{dmd} 의 시간 곡선이 정의되고 따라서 알려진다. 따라서 상태 변수 x_F 는 미리 오프라인으로 설정값 변수 y_{dmd} 의 시간 곡선으로부터 계산될 수 있고 그 후 테스트가 실행될 때 제어를 위해 이용 가능할 수 있다.

[0097]

본 명세서에 기재된 절차가 연료 전지(2)의 동작을 위한 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 제어를 위해 사용될 수 있다.

[0098]

우선, 필요에 따라, 우수한 궤적 추적을 가지며 안정적인고 강건한, 즉, 간섭에 실질적으로 비민감성인 제어기 R 가 앞서 기재된 바와 같이 설계된다. 이는 예를 들어, 피드백 제어기 FB 의 극의 선택에 의해 달성된다. 그러나 이미 파라미터화된 제어기 R 가 또한 사용될 수 있다. 연료 전지(2)의 동작을 위해, 설정값 변수로서 사용되는 출력 변수 T , p , Φ , \dot{m} 에 대해 설정값 변수 $y_{\text{dmd}}(t)$ 가 시간에 따라 지정된다. 시간의 흐름에 따른 이 설정값 변수 곡선 $y_{\text{dmd}}(t)$ 은 연료 전지(2)의 실제 동작으로부터 도출되거나, 시험대에서 연료 전지(2)를 시험하기 위한 시험에 의해 사전 정의되거나, 정의될 수 있다. 기계 또는 시설에서의 연료 전지(2)의 실제 동작에서, 예를 들어, 하나의 동작점에서 새로운 동작점으로의 전환 동안 연료 전지(2) 또는 가스 컨디셔닝이 따를 궤적이 계산될 수 있다. 이는, 예를 들어, 연료 전지 제어 유닛에서 발생할 수 있다. 이 경우 연료 전지 제어 유닛은 또한 실제 동작으로부터 동작점을 특정한다. 궤적에 대한 기준은, 예를 들어, 과도 곡선이 연료 전지(2)에 손상을 주지 않을 더 빠른 전환이다. 따라서 상태 변수 $x_F(t)$ 가 미리 오프라인으로 설정값 변수 $y_{\text{dmd}}(t)$ 의 시간 곡선으로부터 계산될 수 있다. 대안으로, 상태 변수 $x_F(t)$ 가 또한 제어의 임의의 샘플링 시간에서(즉, 조작 변수가 계산되는 임의의 때) 온라인으로 계산 또는 추정될 수 있다. 제어를 위한 샘플링 시점은 일반적으로 밀리초 범위인데, 예를 들어, 제어는 시험대(1) 상에서 100Hz(10ms 샘플링 시간)으로 동작된다. 시간에 따른, 가령, 시험 실행에 따른 설정값 변수 곡선 $y_{\text{dmd}}(t)$ 이 가스 컨디셔닝 유닛(3)에 적용된다. 바람직한 측정이 또한 이러한 목적으로 시험대(1) 상에서 연료 전지(2) 상에서 수행되어, 예를 들어 지정 시험 실행 동안 연료 전지(2)의 거동을 확인할 수 있다.

[0099]

시간의 흐름에 따른 지정 설정값 변수 곡선 $y_{\text{dmd}}(t)$ 의 형태로 된 이러한 시험 실행이 시뮬레이션되었고 결과도 4에 도시되어 있다. 다음의 파라미터가 시뮬레이션을 위해 가정되었다: 가습기 유닛의 조정 범위 $4u_s=[0-30 \text{ kgh}^{-1}]$, 온도 제어 유닛의 조정 범위 $5 \dot{Q}=[0-9 \text{ kW}]$, 질량 유량 제어 유닛의 조정 범위 $6u_c=[4-40 \text{ kgh}^{-1}]$, 압력 제어 유닛의 조정 범위 $7U_N=[0-2 \text{ cm}^2]$, 온도의 제어 범위 $T=[20 - 100^\circ\text{C}]$, 압력의 제어 범위 $p=[1.1 - 3 \text{ bar}]$, 상대 습도의 제어 범위 $\Phi=[0 - 100\%]$, 및 질량 유량의 제어 범위 $\dot{m}=[0 - 70 \text{ kgh}^{-1}]$. 덧붙여, 다음의 파라미터가 또한 정의되었다: 부피 $V=14,137 \text{ cm}^3$, 수증기의 온도 $T_s=141^\circ\text{C}$, 대기압 $p_0=1 \text{ bar}$, 가스의 비열용량 $c_{p,6}=1.04 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, 수증기의 비열용량 $c_{p,s}=1.89 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. 피드백 제어기 FB 의 극이 $s_1=-1$, $s_{2,3}=-8 \pm 1j$ 에서의 상대 차수 $\delta_j=2$ 를 갖는 출력 변수 y_j 및 $s_{1,2}=-5$ 에서의 상대 차수 $\delta_j=1$ 를 갖는 출력 변수 y_j 에 대해 정의되었다.

[0100]

시간의 흐름에 따른 지정 설정값 변수 곡선 $y_{\text{dmd}}(t)$ 이 도 4 내 좌측에 도시되어 있다. 제어기 R 에 의해 설정되는 입력 변수 u 가 우측에 도시되어 있다. 시뮬레이션에서 계산된 출력 변수 y 가 또한 좌측 다이어그램에 도시되어 있다. 한편, 제어기의 눈에 띄는 궤적 추적이 나타날 수 있는데, 즉, 출력 변수 y 가 인식 가능한 편차 없이 설정값 변수 y_{dmd} 를 따른다. 그러나 다른 한편으로 여기서 개별 출력 변수 y_j 가 서로 분리되어 설정될 수 있음이 또

한 자명하다. 한 출력 변수 y_j 의 변경이 다른 출력 변수를 본래 그대로 남겨둔다. 이를 위해, 제어기 R는 모든 샘플링 시간마다 새로운 입력 변수 v 의 조합을 계산하며, 이는 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 액추에이터를 이용하여 설정될 필요가 있는 입력 변수 u 를 도출한다.

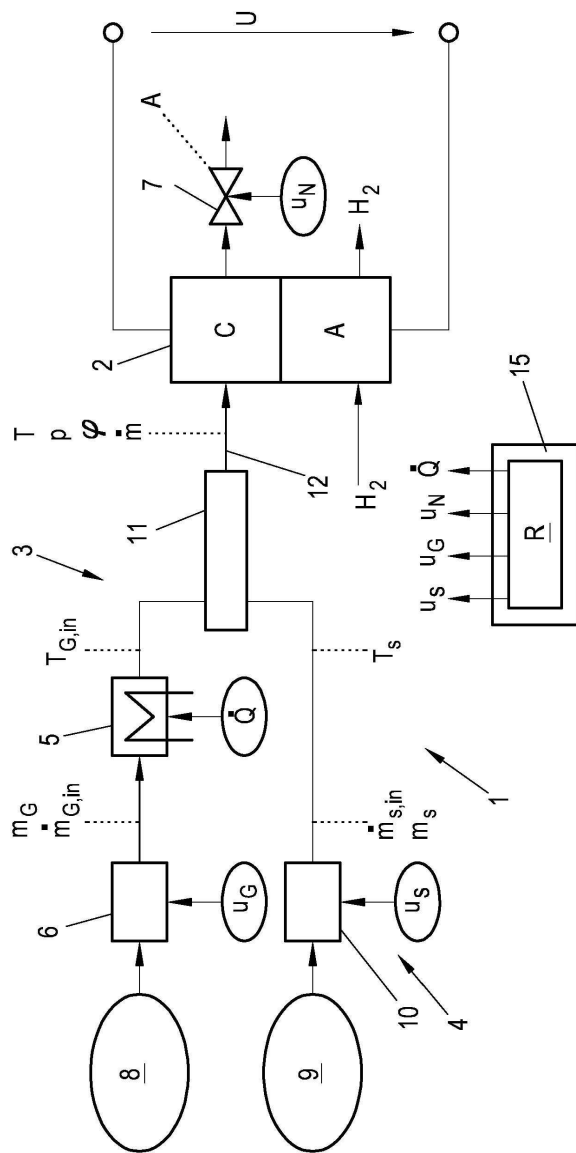
[0101] 본 발명은 모든 4개의 영향 변수 또는 출력 변수 y_j , 즉, 온도 T , 압력 p , 상대 습도 Φ , 및 질량 유량 \dot{m} 의 제어를 토대로 설명되었다. 그러나 이들 4개의 영향 변수 중 단 3개만 제어될 수도 있다. 제어되지 않는 네 번째 영향 변수의 경우, 대응하는 가정이 이뤄질 수 있는데, 가령, 이 네 번째 영향 변수는 일정하게 유지될 수 있다. 단 3개의 제어되는 영향 변수의 경우, 상기 시스템 수식의 차원이 하나 감소될 것이다. 그러나 연결된 비선형 다변수 시스템의 분리 및 선형화를 위한 근본적 접근법과, 제어기 설계의 기재된 방식은, 이에 영향 받지 않을 것이다. 그러나 제어되지 않는 네 번째 영향 변수에 대응하는 설정값 변수가 또한 가정에 따라 간단히 지정될 수 있다. 따라서 이 설정값 변수는, 예를 들어 지정 설정값 변수 곡선 $y_{\text{dmd}}(t)$ 에서, 일정하게 유지될 수 있다.

[0102] 연료 전지(2)의 반응 가스의 가스 컨디셔닝을 위한 제어된 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 응용예가 다기관이다. 가스 컨디셔닝은 특히 시험대(스택 또는 셀 시험대)에서 사용될 수 있고 또한 차량(배, 열차, 비행기, 승용차, 트럭, 자전거, 모터사이클 등), 발전소(조합된 열과 전력 시스템), 응급 전력 시스템, 핸드헬드 디바이스, 연료 전지 시스템이 설치될 수 있는 임의의 디바이스 내 연료 전지 시스템에서 사용될 수 있다. 따라서 가스 컨디셔닝은 연료 전지 시스템 내 연료 전지의 실제 동작에서만 아니라 연료 전지를 시험하거나 개발하기 위한 시험대에서도 사용될 수 있다.

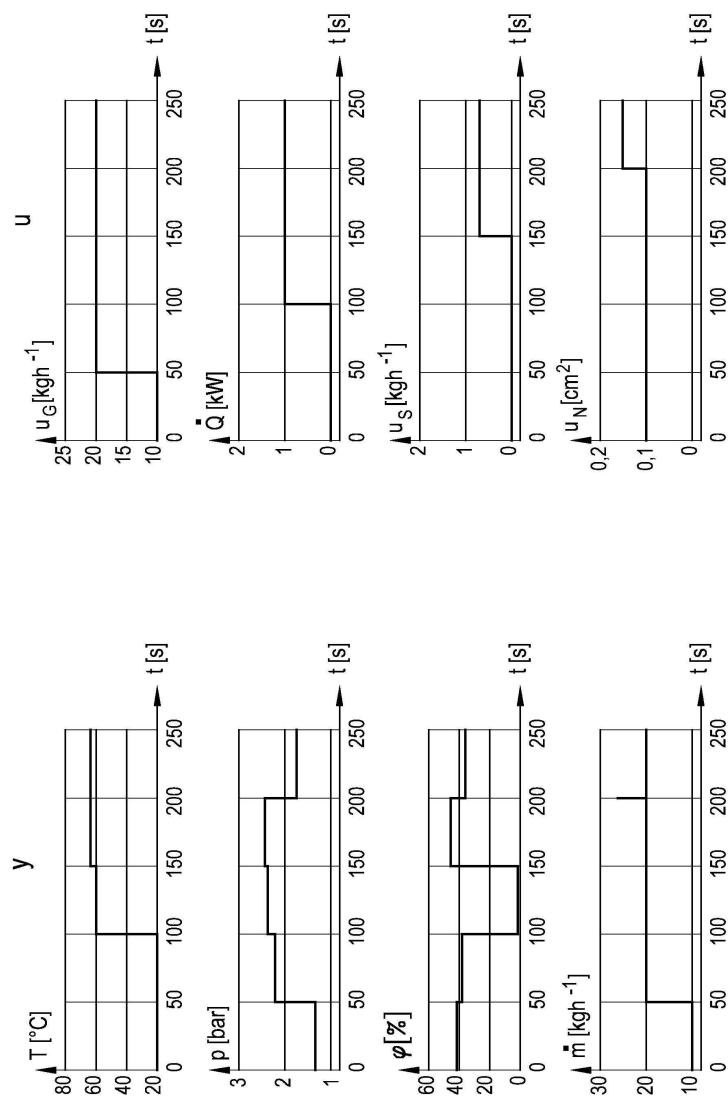
[0103] 가스 컨디셔닝은 기본적으로 그 밖의 다른 경우에 예를 들어, 내연 기관의 흡기 공기(intake air)의 컨디셔닝을 위해 실제 동작에서나 시험대에서 적용 가능하다. 그러나 또한 공정 기술 또는 의료 기술에서의 가스가 이에 따라 컨디셔닝될 수 있다. 정확한 측정치를 위해 측정 가스를 정확히 컨디셔닝하기 위해 가스 컨디션이 또한 측정 기술에서 사용될 수 있다.

도면

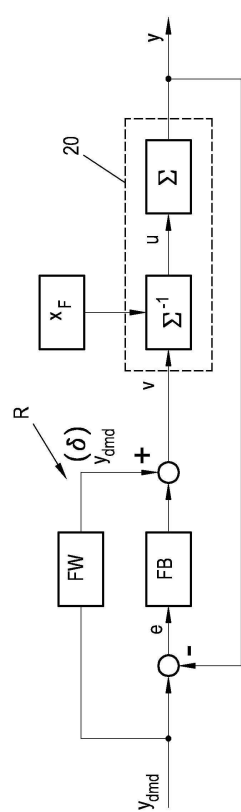
도면1



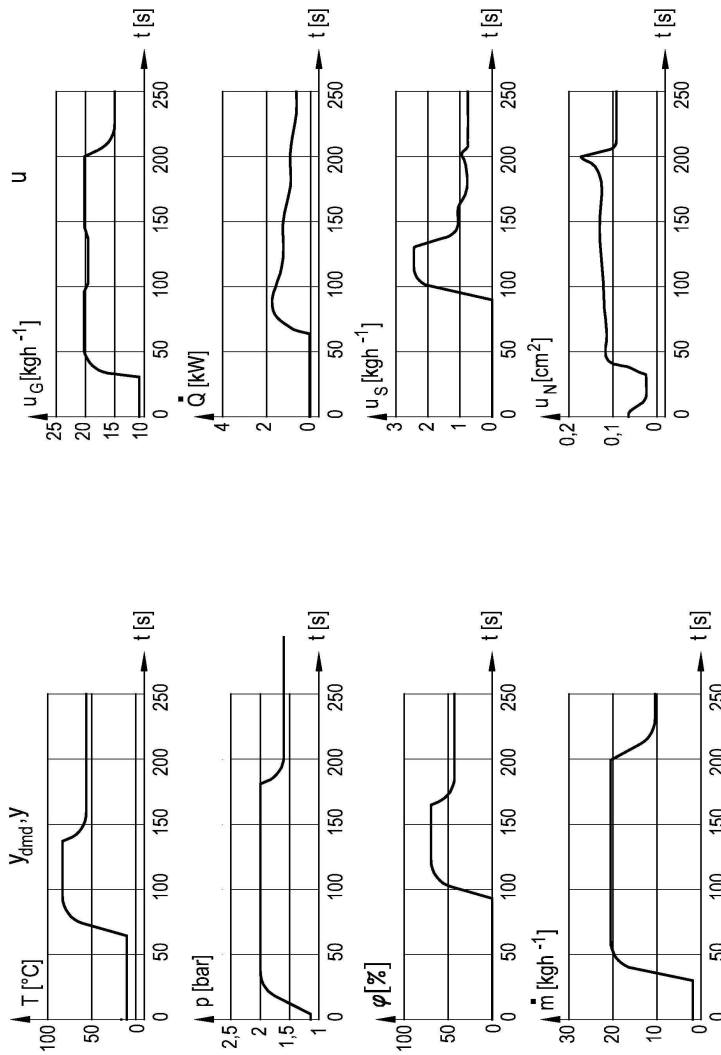
도면2



도면3



도면4



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 2

【변경전】

연료 전지(2)를 동작시키기 위한 연료 전지(2)를 위한 가스 컨디셔닝 유닛(3)을 제어하기 위한 방법으로서,

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^m \mathbf{g}_i(\mathbf{x}) u_i$$

연결된, 비선형 다변수 시스템의 형태 $\mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{x})$

로 된 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 모델을 기초로 설계된 제어기(R)가 제어를 위해 사용되고, 상기 연결된, 비선형 다변수 시스템은 리 미분에 의해 분리 및 선형화되고 제어기(R)는 분리된 선형 다변수 시스템을 위해 설계되었으며, 제어기(R)는, 반응 가스의 상대 습도(ϕ

)를 설정하기 위해 반응 가스를 가습하기 위한 가습기 유닛(4), 반응 가스의 온도(T)를 설정하기 위해 반

응 가스의 온도를 제어하기 위한 온도 제어 유닛(5), 반응 가스의 질량 유량(\dot{m}

)을 제어하기 위한 질량 유량 제어 유닛(6), 및 반응 가스의 압력(p)을 제어하기 위한 압력 제어 유닛(7)의 그룹 중 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 적어도 3개의 제공된 액추에이터에 대해, 제어의 매 샘플링 시간 동

안, 지정 설정값 변수($y_{j,dmd}$)로부터, 조작 변수(u_G, u_S, u_N, \dot{Q}

)를 계산하고, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 상기 적어도 3개의 액추에이터가 제어의 매 샘플링 시간에서 계산된 조작 변수(u_G, u_S, u_N, \dot{Q})

)를 설정하는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.

【변경후】

연료 전지(2)를 동작시키기 위한 연료 전지(2)를 위한 가스 컨디셔닝 유닛(3)을 제어하기 위한 방법으로서,

$$\dot{x} = f(x) + \sum_{i=1}^m g_i(x) u_i$$

연결된, 비선형 다변수 시스템의 형태 $y = h(x)$

로 된 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 모델을 기초로 설계된 제어기(R)가 제어를 위해 사용되고, 상기 연결된, 비선형 다변수 시스템은 리 미분에 의해 분리 및 선형화되고 제어기(R)는 분리된 선형 다변수 시스템을 위해 설계되었으며, 제어기(R)는, 반응 가스의 상대 습도(ϕ)

)를 설정하기 위해 반응 가스를 가습하기 위한 가습기 유닛(4), 반응 가스의 온도(T)를 설정하기 위해 반응 가스의 온도를 제어하기 위한 온도 제어 유닛(5), 반응 가스의 질량 유량(\dot{m})

)을 제어하기 위한 질량 유량 제어 유닛(6), 및 반응 가스의 압력(p)을 제어하기 위한 압력 제어 유닛(7)의 그룹 중 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 적어도 3개의 제공된 액추에이터에 대해, 제어의 매 샘플링 시간 동안, 지정 설정값 변수($y_{j,dmd}$)로부터, 조작 변수(u_G, u_S, u_N, \dot{Q})

)를 계산하고, 가스 컨디셔닝 유닛(3)의 상기 적어도 3개의 액추에이터가 제어의 매 샘플링 시간에서 계산된 조작 변수(u_G, u_S, u_N, \dot{Q})

)를 설정하는, 가스 컨디셔닝 유닛을 제어하기 위한 방법.