



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월16일
(11) 등록번호 10-2166360
(24) 등록일자 2020년10월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 7/06 (2006.01) G05B 17/02 (2006.01)
G05B 19/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G05D 7/0635 (2013.01)
G05B 17/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-7033528
(22) 출원일자(국제) 2014년08월28일
심사청구일자 2019년06월13일
(85) 번역문제출일자 2015년11월24일
(65) 공개번호 10-2016-0047430
(43) 공개일자 2016년05월02일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2014/072540
(87) 국제공개번호 WO 2015/030097
국제공개일자 2015년03월05일
(30) 우선권주장
JP-P-2013-177384 2013년08월28일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP07271447 A
JP62219001 A

(73) 특허권자
가부시킴가이사 호리바 에스텍
일본 교토후 교토시 미나미쿠 가미토바 호코다테
초 11번지 5
(72) 발명자
다키지리 고타로
일본 교토후 교토시 미나미쿠 가미토바 호코다테
초 11번지 5 가부시킴가이사 호리바 에스텍 내
시미즈 게이타
일본 교토후 교토시 미나미쿠 가미토바 호코다테
초 11번지 5 가부시킴가이사 호리바 에스텍 내
(74) 대리인
특허법인태평양

전체 청구항 수 : 총 9 항

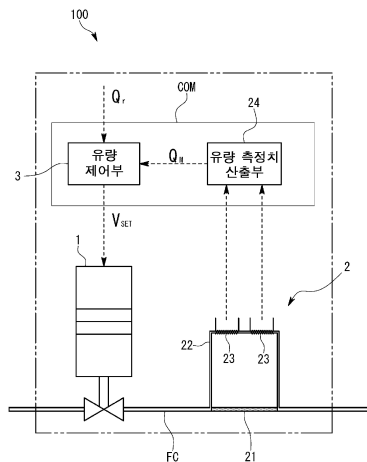
심사관 : 심유석

(54) 발명의 명칭 유량 제어 장치 및 유량 제어 프로그램

(57) 요약

유량 제어부가 센서 모델 기억부와, 유량 설정치를 입력했을 경우에 상기 센서 모델이 출력하는 유량치인 유량 모의값을 출력하는 유량 모의값 출력부와, 유량 측정치 및 유량 모의값의 편차에 기초하여, 유량 피드백값을 출력하는 피드백 제어부와, 유량 설정치로부터 산출되는 유량 피드 포워드값 및 유량 피드백값에 기초하여, 상기 밸브에 인가하는 밸브 인가 전압을 제어하는 밸브 제어부로 구성되어 있고, 상기 유량 모의값 출력부가 유량 설정치에 대해서 소정의 시간 지연을 가진 상태로 유량 모의값을 출력하도록 구성했다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
G05B 19/04 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

유로(流路)에 흐르는 유체(流體)의 유량을 측정하는 유량 센서와,

상기 유로에 마련된 밸브와,

상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치와, 유량 설정치에 기초하여 상기 밸브에 의해 유량을 제어하는 유량 제어부를 구비하고,

상기 유량 제어부가 상기 유량 센서의 응답 특성을 모의(模擬)하는 센서 모델을 기억하는 센서 모델 기억부와,

유량 설정치 및 상기 센서 모델에 기초하여 산출되는 유량치인 유량 모의값을 출력하는 유량 모의값 출력부와,

유량 측정치 및 유량 모의값의 편차에 기초하여, 유량 피드백값을 출력하는 피드백 제어부와,

유량 설정치로부터 산출되는 유량 피드 포워드값 및 유량 피드백값에 기초하여, 상기 밸브를 제어하는 밸브 제어부로 구성되어 있고,

상기 유량 모의값 출력부가 소정의 시간 지연을 포함하는 유량 모의값을 출력하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 유량 제어 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 유량 모의값 출력부가, 상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치가 소정의 임계치 이상이 되고 나서, 상기 센서 모델 및 유량 설정치에 기초하여 유량 모의값의 출력을 개시하도록 구성되어 있는 유량 제어 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 밸브 제어부가 밸브 인가 전압과, 상기 밸브 인가 전압이 상기 밸브에 인가되었을 경우에 상기 유로에 흐르는 유체의 유량과의 관계인 Q-V 특성을 기억하는 Q-V 특성 기억부와,

상기 Q-V 특성에 기초하여, 유량 피드 포워드값 및 유량 피드백값의 합인 유량 입력값에 대응하는 밸브 인가 전압을 산출하고, 산출된 밸브 인가 전압을 상기 밸브에 출력하는 전압 출력부로 구성되어 있고,

유량 피드백값에 기초하여, 상기 Q-V 특성 기억부에 기억되어 있는 Q-V 특성을 보정하는 Q-V 특성 보정부로 추가로 구비한 유량 제어 장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 Q-V 특성 보정부가, 유량 제어 개시시부터 소정 시간 이내에 있어서의 유량 피드백값의 적분치가 양(positive)인 경우에는 상기 Q-V 특성을 V축 양방향으로 오프셋시켜 보정하고, 상기 적분치가 음(negative)인 경우에는 상기 Q-V 특성을 V축 음방향으로 오프셋시켜 보정하도록 구성되어 있는 유량 제어 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 Q-V 특성 보정부가, 유량 제어 개시시부터 소정 시간 이내에 있어서의 유량 피드백값의 적분치의 절댓값에 기초하여, 상기 Q-V 특성의 V축 방향의 오프셋량을 결정하도록 구성되어 있는 유량 제어 장치.

청구항 6

청구항 2에 있어서,

유량 설정치로서 스텝 입력이 입력되고, 상기 유량 센서로부터 출력되는 유량 측정치가 상기 임계치를 넘은 이후의 오픈 루프(open loop) 응답 특성에 기초하여 상기 센서 모델을 식별(同定)하는 센서 모델 식별부를 추가로 구비한 유량 제어 장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 밸브가 피에조 밸브이고,

상기 피에조 밸브와 직렬로 접속되어 있고, 일단이 접지된 기준 콘덴서를 추가로 구비하고,

상기 밸브 제어부가 상기 피에조 밸브에 인가되고 있는 전압을 밸브 인가 전압으로 유지하도록 구성되어 있는 유량 제어 장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 유량 센서가 열식(熱式) 유량 센서인 유량 제어 장치.

청구항 9

유로에 흐르는 유체의 유량을 측정하는 유량 센서와, 상기 유로에 마련된 밸브를 구비한 유량 제어 장치에 이용되는 유량 제어 프로그램을 기억한 프로그램 기억 매체로서,

상기 유량 제어 프로그램이, 상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치와, 유량 설정치에 기초하여 상기 밸브에 의해 유량을 제어하는 유량 제어부로서의 기능을 컴퓨터에 발휘시키는 것이고,

상기 유량 제어부가, 상기 유량 센서의 응답 특성을 모의하는 센서 모델을 기억하는 센서 모델 기억부와,

유량 설정치 및 상기 센서 모델에 기초하여 산출되는 유량치인 유량 모의값을 출력하는 유량 모의값 출력부와,

유량 측정치 및 유량 모의값의 편차에 기초하여, 유량 피드백값을 출력하는 피드백 제어부와,

유량 설정치로부터 산출되는 유량 피드 포워드값 및 유량 피드백값에 기초하여, 상기 밸브를 제어하는 밸브 제어부로 구성되어 있고,

상기 유량 모의값 출력부가, 소정의 시간 지연을 포함하는 유량 모의값을 출력하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 유량 제어 프로그램을 기억한 프로그램 기억 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유체(流體)의 유량을 제어하기 위한 유량 제어 장치 및 유량 제어 프로그램에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 제조 프로세스에서 이용되는 유량 제어 장치는, 실제 유량치를, 유저에 의해서 설정되는 유량 설정치에 대해서 단시간에 추종되게 하는 것이 요구되고 있다.

[0003] 이러한 요구에 응답하기 위해서, 예를 들면 특허 문헌 1에 제시되는 유량 제어 장치는, 유량 센서와, 밸브와, 상기 밸브에 의해 유량을 제어하는 유량 제어부를 구비하고, 상기 유량 제어부가 상기 유량 센서로부터 출력되는 유량 측정치에 의한 피드백 제어와 설정되는 유량 설정치에 의한 피드 포워드(feed forward) 제어를 조합한 2 자유도 제어에 의해서 상기 밸브의 개도(開度)를 제어하도록 구성되어 있다.

[0004] 즉, 이 유량 제어 장치는 피드백 제어에 의해서 오버 슈트 등을 보상하면서, 피드 포워드 제어에 의해서 유량 설정치에 대해서 실제 유량치를 고속으로 추종시키는 것을 의도하고 있다.

[0005] 그렇지만, 특허 문헌 1에 기재된 2 자유도형 유량 제어 장치더라도, 과도 응답시에 있어서의 실제 유량치의 응

답 특성을 이상적인 것으로 정형(整形)하는 것은 어렵다.

- [0006] 구체적으로 유량 설정치로서 스텝 입력이 입력되어 있는 경우의 실제 유량치의 응답에 대해서 생각해 본다. 상기 유량 센서로부터 출력되는 유량 측정치는, 유로에 흐르고 있는 유체의 실제 유량치에 대해서 시간 지연을 가지고 있기 때문에, 단순히 유량 설정치와 유량 측정치의 편차를 피드백하면, 과도 응답 초기에 있어서는 큰 편차가 발생하게 된다. 따라서 과도 응답 초기에는 피드 포워드 제어에 의해 지정되는 본래 필요한 고정 개도보다도 큰 개도로 밸브가 제어되게 되어, 오버 샷이 발생하게 된다. 그 후, 이 오버 샷이 없어지도록 피드백 제어에 의해 밸브의 개도가 작아지도록 제어되게 된다.
- [0007] 이와 같이, 상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치에 시간 지연이 존재하면, 오버 샷이 발생하거나, 계인을 높게 했을 경우에 제어가 불안정하게 되거나 하는 등 실제 유량치를 유량 설정치에 추종시키는 것이 어려워진다. 이러한 시간 지연에 의해서 생기는 제어의 문제는, 유량 센서가 열식(熱式) 유량 센서의 경우에 특히 현저해진다.
- [0008] 즉, 2 자유도형의 유량 제어를 행하는 경우에 적절한 조건에 있어서만 피드백 제어가 행해지도록 하는 것은 현재 상태로서는 할 수 있지 않다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 특허 문헌 1: 미국 공개 특허 공보 US2011/0054702호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 상술한 것 같은 문제를 감안하여 이루어진 것으로, 유량 센서로부터 출력되는 유량 측정치의 시간 지연이 유량 제어에 주는 영향을 작게 하여, 유량 설정치에 대해서 실제 유량치를 고속으로 추종시킬 수 있는 유량 제어 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 즉, 본 발명의 유량 제어 장치는 유로에 흐르는 유체의 유량을 측정하는 유량 센서와, 상기 유로에 마련된 밸브와, 상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치와 유량 설정치에 기초하여 상기 밸브에 의해 유량을 제어하는 유량 제어부를 구비하고, 상기 유량 제어부가, 상기 유량 센서의 응답 특성을 모의(模擬)하는 센서 모델을 기억하는 센서 모델 기억부와, 유량 설정치 및 상기 센서 모델에 기초하여 산출되는 유량치인 유량 모의값을 출력하는 유량 모의값 출력부와, 유량 측정치 및 유량 모의값의 편차에 기초하여, 유량 피드백값을 출력하는 피드백 제어부와, 유량 설정치로부터 산출되는 유량 피드 포워드값 및 유량 피드백값에 기초하여, 상기 밸브를 제어하는 밸브 제어부로 구성되어 있고, 상기 유량 모의값 출력부가 소정의 시간 지연을 포함하는 유량 모의값을 출력하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 한다.
- [0012] 이러한 것이면, 상기 유량 피드백 제어부가, 시간 지연을 포함하는 유량 측정치와, 상기 유량 모의값 출력부에 의해서 시간 지연이 재현되는 유량 모의값의 편차에 기초하여, 유량 피드백값을 출력하도록 구성되어 있으므로, 출력되는 유량 피드백값을 유량 센서의 시간 지연을 반영한 것으로 할 수 있다.
- [0013] 따라서 과도 응답 초기에 있어서 유량 센서의 시간 지연에 기인하여 과잉인 유량 피드백값이 피드백되어 상기 밸브의 개도가 변경되는 것에 의한 오버 샷 등의 문제를 막을 수 있다. 보다 구체적으로는, 과도 응답 초기에 있어서는 상기 유량 피드백 제어부로부터는 유량 피드백값은 출력되지 않고, 상기 밸브 제어부는 유량 피드 포워드값으로 지정되는 유량 설정치에 적절한 전압을 상기 밸브에 인가하여, 그 개도를 고정시켜서 실제 유량치의 상승 속도를 고속으로 할 수 있다.
- [0014] 추가로, 상기 센서 모델에 대해 시간 지연을 포함하지 않고 간이(簡易)하고 정확한 모델로 하면서, 시간 지연에 대해서도 정확하게 재현할 수 있도록 하려면, 상기 유량 모의값 출력부는 상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치가 소정의 임계치 이상이 되고 나서, 상기 센서 모델 및 유량 설정치에 기초하여 유량 모의값의 출력을 개시하도록 구성되어 있으면 좋다. 이러한 것이면, 시간 지연에 대해서는 유량 모의값의 출력의 개시 타이밍에서 정

확하게 재현할 수 있으므로, 상기 유량 모의값 출력부로부터 출력되는 유량 모의값을 간이한 모델화만으로 실제로 상기 유량 센서로부터 출력되는 유량 측정치에 근접시킬 수 있어, 2 자유도형 유량 제어의 응답 특성을 개선시킬 수 있다.

[0015] 외부 온도의 변화 등의 영향에 의해 상기 밸브의 Q-V 특성이 변화했을 경우에도, 항상 유량 피드 포워드값에 기초한 유량 제어에 의해서 유량 제어 개시시부터 필요한 개도로 유지되도록 하고, 고속 응답이 실현되도록 하려면, 상기 밸브 제어부가 상기 밸브 인가 전압과, 상기 밸브 인가 전압이 상기 밸브에 인가되었을 경우에 상기 유로에 흐르는 유체의 유량과의 관계인 Q-V 특성을 기억하는 Q-V 특성 기억부와, 상기 Q-V 특성에 기초하여, 유량 피드 포워드값 및 유량 피드백값의 합인 유량 입력값에 대응하는 밸브 인가 전압을 산출하고, 산출된 밸브 인가 전압을 상기 밸브에 출력하는 전압 출력부로 구성되어 있고, 유량 피드백값에 기초하여, 상기 Q-V 특성 기억부에 기억되어 있는 Q-V 특성을 보정하는 Q-V 특성 보정부로 추가로 구비한 것이면 좋다.

[0016] 오버 슛량 등이 저감되어, 과도 응답 종료시에 실제 유량치가 대략 유량 설정치와 같은 값이 되도록 Q-V 특성이 보정되도록 하려면, 상기 Q-V 특성 보정부가, 유량 제어 개시시부터 소정 시간 이내에 있어서의 유량 피드백값의 적분치가 양인 경우에는 상기 Q-V 특성을 V축 양방향으로 오프셋시켜 보정하고, 상기 적분치가 음인 경우에는 상기 Q-V 특성을 V축 음방향으로 오프셋시켜 보정하도록 구성되어 있으면 좋다. 또, 상기 Q-V 특성 보정부가 유량 제어 개시시부터 소정 시간 이내에 있어서의 유량 피드백값의 적분치의 절댓값에 기초하여, 상기 Q-V 특성의 V축 방향의 오프셋량을 결정하도록 구성하면, 기억되어 있는 Q-V 특성과 현재의 Q-V 특성의 괴리도(乖離度)를 반영시켜 보정하는 것이 가능해진다.

[0017] 간이한 모델이면서도 유량 센서의 응답 특성을 정밀도 좋게 식별(同定)할 수 있어, 모델화 오차를 가능한 한 작게 하고, 유량 제어의 정밀도를 높일 수 있도록 하려면, 유량 설정치로서 스텝 입력이 입력되고, 상기 유량 센서로부터 출력되는 유량 측정치가 상기 임계치를 넘은 이후의 오픈 루프 응답 특성에 기초하여 상기 센서 모델을 식별하는 센서 모델 식별부를 추가로 구비한 것이면 좋다.

[0018] 통상의 전압 제어를 행했을 경우에 상기 밸브의 Q-V 특성에 히스테리시스(hysteresis)가 나타나는 것에 대해서, 히스테리시스가 나타나기 어렵게 하여, 유량 제어의 응답 특성을 개선할 수 있도록 하려면, 상기 밸브가 피에조 밸브이고, 상기 피에조 밸브와 직렬로 접속되어 있고, 일단이 접지된 기준 콘덴서를 추가로 구비하고, 상기 밸브 제어부가 상기 피에조 밸브에 인가되고 있는 전압을 상기 밸브 인가 전압으로 유지하도록 구성되어 있으면 좋다.

[0019] 상기 유량 센서로부터 출력되는 유량 측정치의 시간 지연이 크고, 특히 본 발명의 유량 제어 장치에 의한 유량 제어의 효과가 나타나기 쉬운 것으로서는, 상기 유량 센서가 열식 유량 센서인 것을 들 수 있다.

[0020] 기존의 유량 제어 장치에 대해서, 유량 제어 프로그램을 덮어쓰기 하는 등 하여, 본 발명의 유량 제어 장치와 동등한 유량 제어 성능을 실현할 수 있도록 하려면, 유로에 흐르는 유체의 유량을 측정하는 유량 센서와, 상기 유로에 마련된 밸브를 구비한 유량 제어 장치에 이용되는 유량 제어 프로그램을 기억한 유량 제어 프로그램 기억 매체로서, 상기 유량 제어 프로그램이, 상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치와, 유량 설정치에 기초하여 상기 밸브에 의해 유량을 제어하는 유량 제어부로서의 기능을 발휘시키는 것이고, 상기 유량 제어부가 상기 유량 센서의 응답 특성을 모의하는 센서 모델을 기억하는 센서 모델 기억부와, 유량 설정치 및 상기 센서 모델에 기초하여 산출되는 유량치인 유량 모의값을 출력하는 상기 유량 모의값 출력부와, 유량 측정치 및 유량 모의값의 편차에 기초하여, 유량 피드백값을 출력하는 피드백 제어부와, 유량 설정치로부터 산출되는 유량 피드 포워드값 및 유량 피드백값에 기초하여, 상기 밸브를 제어하는 밸브 제어부로 구성되어 있고, 상기 유량 모의값 출력부가 소정의 시간 지연을 포함하는 유량 모의값을 출력하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 유량 제어 프로그램을 기억한 유량 제어 프로그램 기억 매체를 이용하면 좋다. 또, 이러한 유량 제어 프로그램은 CD, DVD, HDD, 플래쉬 메모리 등의 기억 매체에 기록해 두고, 인스톨 등을 할 때에 이용해도 상관없다.

발명의 효과

[0021] 이와 같이 본 발명의 유량 제어 장치에 의하면, 상기 피드백 제어부가 상기 센서 모델에 기초하여 출력되고, 시간 지연이 반영된 유량 모의값과, 상기 유량 센서로 측정되는 유량 측정치의 편차에 기초하여 유량 피드백값을 출력하도록 구성되어 있으므로, 상기 유량 센서의 시간 지연을 반영시킨 유량 피드백이 가능해진다. 따라서 유량 제어 개시시에 있어서의 유량 피드백값은 거의 제로가 되어, 유량 피드 포워드값만으로 상기 밸브의 개도가 제어되므로, 오버 슛 등을 일으키는 일 없이 실제 유량치의 응답을 고속화할 수 있다. 추가로, 시간 지연에 대해서는 유량 측정치가 소정의 임계치 이상이 되고 나서, 상기 센서 모델 및 유량 설정치에 기초하여 유량 모의

값의 출력을 개시함으로써 재현하도록 하고 있으므로, 간편한 센서 모델로 시간 지연을 정밀도 좋게 재현할 수 있어, 응답 특성을 개선시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시 형태에 따른 유량 제어 장치를 나타내는 모식도이다.
- 도 2는 동 실시 형태에 있어서의 유량 제어부의 상세 및 제어 시스템을 나타내는 모식적 블록선도이다.
- 도 3은 동 실시 형태에 있어서의 센서 모델의 식별에 사용되는 측정 데이터에 대해 나타내는 모식적 그래프이다.
- 도 4는 동 실시 형태에 있어서의 전압 출력부 및 피에조 밸브의 구성에 대해 나타내는 회로도이다.
- 도 5는 동 실시 형태에 있어서의 FF 제어 및 FB 제어가 행해지는 경우의 1회제의 스텝 응답 및 그 각 제어량에 대해서 나타내는 모식적 그래프이다.
- 도 6은 동 실시 형태에 있어서의 1회제의 스텝 응답에 기초하여 Q-V 특성이 보정된 후의 2회제의 스텝 응답 및 그 제어량에 대해 나타내는 모식적 그래프이다.
- 도 7은 본 발명의 다른 실시 형태에 있어서의 유량 제어 장치를 나타내는 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] <본 실시 형태의 구성>
- [0024] 본 발명의 일 실시 형태에 따른 유량 제어 장치에 대해 각 도면을 참조하면서 설명한다.
- [0025] 본 실시 형태의 유량 제어 장치는, 예를 들면 반도체 제조 프로세스에 있어서 기판에 대해서 증착되는 물질을 포함한 가스를 미리 정해진 유량 설정치 Q_r 로 증착이 행해지는 챔버(chamber)를 도입하기 위해서 이용되는 매스 플로우 컨트롤러(100)이다.
- [0026] 이 매스 플로우 컨트롤러(100)는, 도 1에 도시되는 것처럼 반도체 제조 프로세스 중에 있어서 챔버와 이어지는 유로에 대해서 유입구(流入口) 및 유출구(流出口)가 장착되어, 그 유로를 흐르는 가스의 유량을 제어하는 것이다. 보다 구체적으로는 상기 매스 플로우 컨트롤러(100)는 내부 유로 FC와, 상기 내부 유로 FC상에 마련된 밸브(1)와, 상기 내부 유로 FC를 흐르는 유체의 유량을 측정하는 유량 센서(2)와, 상기 밸브(1)의 제어나 각종 연산을 행하는 연산 기구 COM을 구비하고, 이들 각부가 1개의 케이스 내에 수용되어 모듈화된 것이다.
- [0027] 각 부에 대해서 설명한다.
- [0028] 상기 밸브는 피에조 밸브(1)로서 후술하는 것처럼 전압 제어가 아니라, 전하(電荷) 제어에 의해서 그 개도가 제어되는 것이다.
- [0029] 상기 유량 센서(2)는 유체의 온도에 기초하여 그 유량을 측정하는 열식 유량 센서(2)로서, 내부 유로 FC상에 마련된 층류 소자(21)(유체 저항)와, 상기 층류 소자(21)의 전후를 바이패스하는 금속제의 세관(細管)(22)과, 상기 세관(22)의 외측에 감긴 2개의 발열 저항(23)을 가지고, 각 발열 저항(23)에 있어서 온도가 일정하게 되도록 유지되는 정온도(定溫度) 제어 회로와, 상기 연산 기구 COM에 의해 그 기능이 실현되는 것으로, 각 발열 저항(23)에 인가되는 전압에 기초하여 유량을 산출하는 유량 측정치 산출부(24)로 구성되어 있다. 이 열식 유량 센서(2)는 압력식 유량 센서와 비교하여, 출력되는 유량 측정치 Q_m 과, 실제로 내부 유로 FC 내를 흐르고 있는 유체의 실제 유량치 Q_{real} 의 사이에는 큰 시간 지연이 존재하고 있다.
- [0030] 상기 연산 기구 COM은 CPU, 메모리, A/D, D/A 컨버터, 각종 입출력 기기 등을 구비한 이른바 컴퓨터로서, 각 기기가 협업하여 상기 메모리에 격납되어 있는 유량 제어 프로그램을 실행함으로써, 적어도 전술한 유량 측정치 산출부(24) 및 상기 피에조 밸브(1)에 의해서 유체의 유량을 제어하는 유량 제어부(3)로서의 기능을 발휘하는 것이다.
- [0031] 상기 유량 제어부(3)는 상기 열식 유량 센서(2)로 측정되는 유량 측정치 Q_m 과, 유저에 의해 설정되는 유량 설정치 Q_r 에 기초하여 상기 피에조 밸브(1)의 개도를 제어하여, 유체의 유량을 제어하는 것이다. 본 실시 형태에서는, 피드백 제어(FB 제어), 피드 포워드 제어(FF 제어)를 조합한 2 자유도 제어에 의해서 상기 유량 제

어부(3)는 상기 피에조 밸브(1)의 개도를 제어하도록 구성하고 있다. 그리고 이 유량 제어부(3)는 상기 열식 유량 센서(2)로부터 출력되는 유량 측정치 Q_M 의 실제 유량치에 대한 시간 지연을 고려한 유량 제어를 실현하여, 이상적인 과도 응답 특성 및 정상 특성이 얻어지도록 하고 있다.

[0032] 보다 구체적으로는 도 2의 제어 블록도에 도시하는 것처럼 상기 유량 제어부(3)는, 유저에 의해 설정되는 유량 설정치 Q_r 과 상기 열식 유량 센서(2)로 측정되는 유량 측정치 Q_M 에 기초하여 유량 피드백값 Q_{FB} 를 생성하는 피드백 제어 시스템(FBS)과, 유량 설정치 Q_r 에 기초하여 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 를 생성하는 피드 포워드 제어 시스템(FFS)과, 유량 피드백값 Q_{FB} 와, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 에 기초하여 상기 피에조 밸브(1)에 인가하는 밸브 인가 전압 V_{SET} 을 제어하여, 당해 피에조 밸브(1)의 개도를 제어하는 밸브 제어부(VC)로 구성되어 있다.

[0033] 상기 피드백 제어 시스템(FBS)은 유량 설정치 Q_r 에 기초하여 상기 열식 유량 센서(2)로부터 현재 출력되고 있는 유량 측정치 Q_M 을 모의하는 유량 모의값 Q_{SIM} 을 출력하는 센서 모델부(SM)와, 상기 센서 모델부(SM)에서 출력되는 유량 모의값 Q_{SIM} 과, 상기 열식 유량 센서(2)로 실제로 측정되고 있는 유량 측정치 Q_M 에 기초하여 유량 피드백값 Q_{FB} 를 출력하는 피드백 제어부(33)로 구성되어 있다.

[0034] 상기 센서 모델부(SM)는 유량 설정치 Q_r 을 입력, 유량 측정치 Q_M 을 출력으로 했을 경우의 상기 열식 유량 센서(2)의 응답 특성을 모의하는 센서 모델을 기억하는 센서 모델 기억부(31)와, 유량 설정치 Q_r 을 입력했을 경우에 상기 센서 모델이 출력하는 유량치인 유량 모의값 Q_{SIM} 을 출력하는 유량 모의값 출력부(32)로 구성되어 있다.

[0035] 상기 센서 모델 기억부(31)에 기억되어 있는 센서 모델은, 상기 열식 유량 센서(2)의 적어도 스텝 응답 특성을 모의하는 것으로, 당해 센서 모델 기억부(31)는 그 응답 특성을 나타내는 전달 함수를 기억하고 있다. 여기서 주의해야 할 것은, 상기 센서 모델은 상기 열식 유량 센서(2)를 모델화한 것으로서, 상기 피에조 밸브(1) 및 상기 밸브 제어부(VC)는 모델화의 대상이 되어 있지 않은 점이다. 즉, 시간 경과나 사용 상태에 따라서 그 응답 특성이 변화해 버리는 피에조 밸브(1)를 모델 내에 포함하고 있지 않으므로 모델화하기 쉽고, 이에 더하여, 큰 모델화 오차를 만들어 내지 않게 할 수 있다.

[0036] 상기 센서 모델 기억부(31)에서 기억되어 있는 센서 모델은, 센서 모델 식별부(34)에 의해서 본 실시 형태의 매스 플로우 컨트롤러(100)를 오픈 루프 제어했을 경우에 측정되는 유량 측정치 Q_M 에 기초하여 식별되는 것이다. 보다 구체적으로는, 상기 센서 모델 식별부(34)는 상기 매스 플로우 컨트롤러(100)가 유량 제어 모드가 아니라 모델 식별 모드로 설정되었을 경우에만 동작하는 것이다. 그리고 모델 식별 모드에 있어서 상기 센서 모델 식별부(34)는, 도 3 (a)에 도시하는 것처럼 유량 설정치 Q_r 로서 스텝 입력이 입력되고, 상기 열식 유량 센서(2)로부터 출력되는 유량 측정치 Q_M 이 소정의 임계치 TH를 넘은 이후의 오픈 루프 응답 특성을 취득한다. 다음으로 상기 센서 모델 식별부(34)는, 도 3 (a)에 있어서 사선(斜線)에 의한 해칭이 실시되어 있는 영역이며, 굵은 선으로 도시하고 있는 무효 시간을 대략 생략한 스텝 응답 특성을, 도 3 (b)에 도시하는 것처럼 무효 시간을 포함하지 않는 형태의 스텝 응답으로 하여 제로점으로 평행 이동시키고, 이 평행 이동 후의 스텝 응답 특성으로부터 센서 모델의 식별을 행하도록 구성하고 있다.

[0037] 도 2에 도시되는 상기 유량 모의값 출력부(32)는, 상기 열식 유량 센서(2)에서 측정되는 유량 측정치 Q_M 이 소정의 임계치 TH 이상이 되고 나서, 상기 센서 모델 및 유량 설정치 Q_r 에 기초하여 유량 모의값 Q_{SIM} 의 출력을 개시하도록 구성하고 있다. 보다 구체적으로는, 상기 유량 모의값 출력부(32)는 유량 설정치 Q_r 의 입력이 시작되어, 유량 제어가 개시되더라도 상기 열식 유량 센서(2)에서 측정되는 유량 측정치 Q_M 이 임계치 TH가 될 때까지의 동안은 유량 모의값 Q_{SIM} 으로서 체로를 계속 출력한다. 상기 열식 유량 센서(2)에서 측정되는 유량 측정치 Q_M 이 임계치 TH를 넘었을 경우에는, 유량 모의값 출력부(32)는, 유량 측정치 Q_M 이 임계치 TH가 된 시각을 체로점으로 하여 상기 센서 모델 및 유량 설정치 Q_r 에 기초하여 유량 모의값 Q_{SIM} 을 산출하도록 하고 있다.

[0038] 도 2에 도시되는 상기 피드백 제어부(33)는, 유량 모의값 Q_{SIM} 과 유량 측정치 Q_M 의 편차에 대해서 PID 연산을 행하여, 유량 피드백값 Q_{FB} 를 산출하도록 구성하고 있다. 즉, 상기 밸브 제어부(VC) 및 상기 피에조 밸브(1)가 이상적으로 동작하고 있어, 유량 모의값 Q_{SIM} 과 유량 측정치 Q_M 의 사이에 편차가 없어 체로인 경우에는, 상기 밸브

제어부(VC)는 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로 상기 피에조 밸브(1)가 제어되게 된다. 한편, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로 상기 피에조 밸브(1)의 개도가 제어되고 있어, 외란 등의 영향에 의해 유량 측정치 Q_M 이 유량 모의값 Q_{SIM} 과는 다른 값이 되었을 경우에는 유량 피드백값 Q_{FB} 가 어떤 값을 가지게 된다. 따라서 상정한 것처럼 유량 측정치 Q_M 이 출력되고 있지 않은 경우에만 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 가 유량 피드백값 Q_{FB} 에 의해서 수정되어 상기 피에조 밸브(1)의 개도가 수정되는 조건부 피드백 구조로 되어 있다.

[0039] 상기 피드 포워드 제어 시스템(FFS)은 본 실시 형태에서는 접수된 유량 설정치 Q_r 을 그대로 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 로서 상기 밸브 제어부(VC)로 출력하도록 구성하고 있다. 도 2의 블록선도에서는 해당 지점에 블록을 기재하고 있지 않지만, 엄밀히 기재한다면, 입력된 유량 설정치 Q_r 에 대해서 1배하여, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 로서 출력하는 피드 포워드 제어부(도시하지 않는다)로서 나타낼 수 있다.

[0040] 상기 밸브 제어부(VC)는, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 와 유량 피드백값 Q_{FB} 의 합이 유량 입력값 Q_{IN} 로서 입력되고, 그 유량 입력값 Q_{IN} 을 실현하는 상기 피에조 밸브(1)의 개도에 대응하는 밸브 인가 전압 V_{SET} 을 상기 피에조 밸브(1)로 인가하도록 구성하고 있다. 보다 구체적으로는 상기 밸브 제어부(VC)는, 상기 밸브 인가 전압 V_{SET} 와, 상기 밸브 인가 전압 V_{SET} 이 인가되었을 경우에 유로에 흐르는 유체의 유량의 관계인 $Q-V$ 특성을 기억하는 $Q-V$ 특성 기억부(35)와, 상기 $Q-V$ 특성에 기초하여, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 및 유량 피드백값 Q_{FB} 의 합인 유량 입력값 Q_{IN} 에 대응하는 밸브 인가 전압 V_{SET} 을 산출하고, 산출된 밸브 인가 전압 V_{SET} 을 상기 피에조 밸브(1)에 출력하는 전압 출력부(36)로 구성하고 있다.

[0041] 그런데, 상기 피에조 밸브(1)는 전압 제어했을 경우, 그 $Q-V$ 특성에는 히스테리시스가 발생하는 것이 알려져 있다. 본 실시 형태에서는 이 히스테리시스가 나타나기 어렵게 하여, 유량 제어 정밀도를 보다 높이기 위해서 전하 제어에 의해 상기 피에조 밸브(1)의 개도를 제어하도록 하고 있다. 즉, 도 4에 도시하는 것처럼 정전 용량이 온도 변화 등의 외란 영향에 의해서 변화하기 어려운 기준 콘덴서(11)의 일단을 상기 피에조 밸브(1)에 대해서 직렬로 접속함과 아울러, 타단을 접지시켜 두고, 상기 밸브 제어부(VC)가, 상기 피에조 밸브(1)에 인가되고 있는 전압을 상기 밸브 인가 전압 V_{SET} 로 유지하도록 구성되어 있다. 즉, 상기 피에조 밸브(1)의 정전 용량이 양단에 있어서 인가 전압으로 유지되도록 OP 앰프(12)에 의해 피드백 회로가 구성되어 있다. 이와 같이 구성함으로써, 상기 피에조 밸브(1) 중의 정전 용량이 변화했다고 해도 같은 인가 전압이 인가되었을 경우에는 항상 같은 전하가 되기 때문에, $Q-V$ 특성의 히스테리시스를 거의 없앨 수 있다. 이하의 설명에 이용되는 $Q-V$ 특성을 나타낸 도면에 있어서 히스테리시스가 보여지고 있지 않은 것은 이러한 구성을 전체로 하고 있기 때문이다.

[0042] 추가로 도 2에 도시하는 것처럼, 본 실시 형태에서는 유량 피드백값 Q_{FB} 에 기초하여, 상기 $Q-V$ 특성 기억부(35)에 기억되어 있는 $Q-V$ 특성을 보정하는 $Q-V$ 특성 보정부(37)를 추가로 구비하고 있다. 이 $Q-V$ 특성 보정부(37)는, 유량 피드백값 Q_{FB} 가 거의 제로로 유지되고 있고, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 에 의한 유량 제어만으로 원하는 응답 특성을 실현할 수 있는 경우에는, 상기 $Q-V$ 특성을 보정하지 않는다. 한편, 유량 피드백값 Q_{FB} 가 제로 이외의 값이 출력되고 있는 경우에는, 이 유량 피드백값 Q_{FB} 의 적분치에 의해 상기 $Q-V$ 특성 기억부(35)에 기억되어 있는 $Q-V$ 특성에 대해 소정 방향으로 평행 이동시켜 보정하여, 다음 회의 스텝 응답시에는 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로 원하는 응답 특성이 얻어지도록 한다.

[0043] 보다 구체적으로는, 상기 $Q-V$ 특성 보정부(37)는 유량 제어 개시시부터 소정 시간 이내에 있어서의 유량 피드백값 Q_{FB} 의 적분치가 양(positive)인 경우에는 상기 $Q-V$ 특성을 V 축 양방향으로 오프셋시켜 보정하고, 상기 적분치가 음(negative)인 경우에는 상기 $Q-V$ 특성을 V 축 음방향으로 오프셋시켜 보정하도록 구성하고 있다.

[0044] <본 실시 형태의 동작>

[0045] 이하에 본 실시 형태의 매스 플로우 컨트롤러(100)의 제어 동작, 및 상기 $Q-V$ 특성 보정부(37)의 보정 동작에 대해 구체적인 유량 제어예를 이용하면서 설명한다.

[0046] 먼저, 1회의 스텝 응답에 있어서 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로는 이상적인 응답 특성이 얻어지지 않은 경우에 대해서 도 5를 참조하면서 설명한다.

- [0047] 도 5 (a)에는, 유량 설정치 Q_r 로서 스텝 입력이 입력되고 있는 경우의 실제 유량치 Q_{real} , 유량 모의값 Q_{SIM} , 유량 측정치 Q_M 의 응답이 도시되어 있다. 또한, 실제 유량치 Q_{real} 은 상기 열식 유량 센서(2)의 출력을 상기 센서 모델의 전달 함수의 역수에 통과시킴으로써 얻을 수 있다.
- [0048] 도 5에 있어서는, 어떤 원인으로 상기 피에조 밸브(1)의 Q-V 특성이 초기설정으로부터 변화해 있기 때문에, 실제 유량치 Q_{real} 은 먼저 FF 제어에 의해서 실현되는 유량 설정치 Q_r 보다도 작은 유량으로 한 번 안정되고, 그 후 FB 제어에 의해서 편차가 수정되어 유량 설정치 Q_r 대로 안정되어 있다.
- [0049] 이러한 유량 제어가 되는 이유는 개략 이하와 같다.
- [0050] 상기 열식 유량 센서(2)로부터 출력되는 유량 측정치 Q_M 은 실제 유량치 Q_{real} 에 대해서 시간 지연을 가지고 있으므로 도 5 (a)에 도시하는 것처럼 유량 측정치 Q_M 은 실제 유량치 Q_{real} 의 상승점으로부터 소정 시간 경과 후에 상승하게 된다. 이 실제 유량치 Q_{real} 의 상승점으로부터 유량 측정치 Q_M 의 상승점까지의 구간인 제1 구간에서는, 유량 측정치 Q_M 이 임계치 TH를 넘지 않은 상태이므로 상기 센서 모델부(SM)는 유량 모의값 Q_{SIM} 으로서 제로를 계속 출력하고 있다. 따라서 이 제1 구간에 있어서는 유량 모의값 Q_{SIM} 과 유량 측정치 Q_M 의 편차는 제로이기 때문에 도 5 (b)에 도시하는 것처럼 상기 피드백 제어부(33)도 유량 피드백값 Q_{FB} 로서 제로를 계속 출력하고 있다. 즉, 제1 구간에 있어서는 FF 제어만이 행해지고 있기 때문에 유량 설정치 Q_r 과 실제 유량치 Q_{real} 에 편차가 생겨 있더라도 그 편차는 수정되지 않는다. 또, 도 5 (c)에 도시하는 것처럼, 이 제1 구간에 있어서 상기 밸브 제어부(VC)는 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만에 의해서 현재의 Q-V 특성으로부터 참조하여, 인가해야 할 밸브 인가 전압 V_{SET} 로서 전압 V_{SET1} 을 취득하여, 그 전압 V_{SET1} 을 상기 피에조 밸브(1)에 대해서 계속 인가하고 있다.
- [0051] 다음으로 유량 측정치 Q_M 의 상승점 이후의 구간인 제2 구간에서는, 유량 측정치 Q_M 이 임계치 TH를 넘은 시점으로부터 상기 센서 모델부(SM)는 센서 모델에 기초한 유량 모의값 Q_{SIM} 의 출력을 개시한다. 그러면 제2 구간에 있어서는 도 5 (a)의 해칭 부분에 도시하는 것처럼 유량 모의값 Q_{SIM} 과 유량 측정치 Q_M 의 사이에 제로 이외의 편차가 생기므로, 도 5 (b)에 도시하는 것처럼 상기 피드백 제어부(33)는 제로 이외의 유량 피드백값 Q_{FB} 를 출력하여 FB 제어를 개시한다. 유량 피드백값 Q_{FB} 는 최종적으로 유량 모의값 Q_{SIM} 과 유량 측정치 Q_M 의 편차가 없어진 시점에서의 값으로 일정해지고, 실제 유량치 Q_{real} 도 유량 설정치 Q_r 대로 안정되게 된다. 또, 도 5 (c)에 도시하는 것처럼 이 제2 구간에 있어서 상기 밸브 제어부(VC)는, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 와 유량 피드백값 Q_{FB} 의 합에 의해서 현재의 Q-V 특성을 참조하여, 인가해야 할 밸브 인가 전압 V_{SET} 로서 전압 V_{SET2} 를 취득하여, 그 전압 V_{SET2} 를 인가한다.
- [0052] 이와 같이 FF 제어뿐만 아니라 FB 제어도 더해지게 되는 것은, 상기 Q-V 특성 기억부(35)에 기억되어 있는 현재의 Q-V 특성이 도 5 (c)에 도시하는 것처럼 굽은 선으로 도시하는 것과 같은 것인데 비하여, 실제의 Q-V 특성이 상상선(想像線)으로 도시되는 것과 같은 양태이고 실제로 인가되어야 할 밸브 인가 전압 V_{SET} 보다도 작은 값이 참조되고 있기 때문이다.
- [0053] 이에, 상기 Q-V 특성 보정부(37)는 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로 실제로 인가되어야 할 밸브 인가 전압 V_{SET} 이 Q-V 특성으로부터 취득되도록 Q-V 특성을 보정하여 상기 Q-V 특성 기억부(35)에 기억시키도록 동작한다.
- [0054] 구체적으로는, 도 5 (b)의 해칭 부분에 도시하는 것처럼 유량 피드백값 Q_{FB} 가 출력되고 있고, 소정 기간 내의 적분치가 양이었을 경우에는, 상기 Q-V 특성 보정부(37)는 현재의 Q-V 특성을 V축 양방향으로 평행 이동시킨 Q-V 특성으로 보정한다. 이때의 평행 이동량에 대해서는 제2 구간의 안정 상태에서 참조되고 있던 전압 V_{SET2} 가 현재의 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 로 참조되도록 설정한다.
- [0055] 반대로 유량 설정치 Q_r 보다도 큰 값으로 실제 유량치 Q_{real} 가 안정되어 버려서, 유량 피드백값 Q_{FB} 의 적분치가 음이 되는 경우에는, 상기 Q-V 특성 보정부(37)는 현재의 Q-V 특성을 V축 음방향으로 평행 이동시킨 Q-V 특성으로 보정한다.
- [0056] 이와 같이 상기 Q-V 특성 보정부(37)에 의해서 Q-V 특성이 보정된 후의 2회째의 스텝 응답에 대해서 도 6을

참조하면서 설명한다.

[0057] 도 6 (a)의 제1 구간에 있어서는 도 5와 마찬가지로 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만이 출력되지만, 1회계의 스텝 응답에 의해 상기 $Q-V$ 특성 보정부(37)가 $Q-V$ 특성을 보정하고 있으므로, 도 6 (c)에 도시하는 것처럼 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로 상기 밸브 제어부(VC)가 취득하는 밸브 인가 전압 V_{SET} 는 전압 V_{SET2} 로 변화한다. 이 때문에, 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로도 목표인 유량 설정치 Q_r 를 거의 달성할 수 있으므로, 도 6 (a), 도 6 (b)에 도시되는 것처럼 유량 모의값 Q_{SIM} 과 유량 측정치 Q_M 의 편차는 대략 발생하지 않고, FB 제어도 거의 행해지지 않는다. 즉, FF 제어만으로 실질적으로 유량 설정치 Q_r 대로 유량 제어가 실현된다.

[0058] <실시 형태의 효과>

[0059] 이상과 같이 본 실시 형태의 매스 플로우 컨트롤러(100)에 의하면, 상기 센서 모델부(SM)는 유량 측정치 Q_M 의 값을 트리거로 하여 시간 지연을 발생시킨 형태로 FF 제어가 정상적으로 실현되었을 경우의 이상적인 유량 모의값 Q_{SIM} 을 출력할 수 있도록 구성되어 있으므로, 상기 열식 유량 센서(2)로부터 출력되는 유량 측정치 Q_M 의 시간 지연에 맞춘 것으로 할 수 있다. 따라서 유량 제어 개시시에 유량 모의값 Q_{SIM} 과 유량 측정치 Q_M 의 시간 지연이 일치하고 있지 않기 때문에 큰 편차가 발생하여, FB 제어가 지나치게 행해짐으로써 오버 슈트 일어나거나, 제어가 불안정하게 되거나 하는 것을 막을 수 있다.

[0060] 또, 유량 측정치 Q_M 의 값을 트리거로 하여 시간 지연을 실장하고 있으므로, 상기 센서 모델 식별부(34)는 센서 모델을 시간 지연까지 포함한 형태의 전달 함수로서 식별할 필요가 없어, 모델화 정밀도를 높일 수 있다. 이것에 의해서 모델화 오차를 작게 하여 유량 제어의 안정성을 높일 수 있다.

[0061] 추가로, 상기 $Q-V$ 특성 보정부(37)가 유량 피드백값 Q_{FB} 에 기초하여 $Q-V$ 특성을 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 만으로 적정한 밸브 인가 전압 V_{SET} 이 인가되도록 적당히 보정해 가도록 구성되어 있으므로, 거의 항상 고속의 응답을 실현할 수 있다. 바꾸어 말하면, 이 매스 플로우 컨트롤러(100)는 $Q-V$ 특성이 정상적인 동안은 대략 유량 피드 포워드값 Q_{FF} 에 의한 FF 제어만으로 유량을 제어하여, 고속 응답을 실현하고 있지만, 만일, $Q-V$ 특성이 외란 영향 등에 의해 변화했을 경우에는 FB 제어가 작용하여, 다소의 지연은 발생하지만 유량 설정치 Q_r 는 확실히 실현된다. 추가로, 이러한 $Q-V$ 특성의 변화가 있고, FB 제어를 했을 경우에는, 아울러 상기 $Q-V$ 특성 보정부(37)가 $Q-V$ 특성을 실제의 상태를 표현하는 것이 되도록 보정하므로, 다음 회 이후의 스텝 응답에 대해서는 다시 FF 제어만으로 고속 응답을 실현할 수 있게 된다.

[0062] 그 외의 실시 형태에 대해 설명한다.

[0063] 상기 실시 형태에서는, 밸브로서 피에조 밸브, 유량 센서로서 열식 유량 센서를 이용하고 있었지만, 그 외의 것을 이용해도 상관없다. 보다 구체적으로는, 밸브로서 솔레노이드 밸브 등을 이용해도 좋고, 유량 센서로서 압력식 유량 센서를 이용해도 상관없다. 또, 밸브, 유량 센서가 내부 유로상에 있어서 늘어서 있는 순서는 도시된 것으로 한정되지 않고, 다양한 순서여도 좋다.

[0064] 예를 들면, 상기 센서 모델 식별부, 상기 $Q-V$ 특성 보정부를 생략한 형태로 매스 플로우 컨트롤러를 구성해도 좋다. 즉 상기 실시 형태에서 나타낸 2 자유도형 유량 제어 장치를 구성하고, 센서 모델, $Q-V$ 특성에 대해서는 공장 출하시의 상태를 유지하도록 해도 상관없다. 또, 상기 유량 모의값 출력부가, 소정의 시간 지연을 포함하는 유량 모의값을 출력하도록 구성되어 있으면 좋고, 상기 실시 형태에 나타낸 유량 측정치를 트리거로 하여 유량 모의값의 출력을 개시하는 것으로 한정되지 않는다.

[0065] 예를 들면, 상기 센서 모델 기억부에 기억되어 있는 유량 센서의 센서 모델이 시간 지연 요소를 포함해서 식별되고 있는 것이 아닌 경우, 상기 유량 모의값 출력부가 유량 설정치의 입력이 개시되어 유량 제어가 개시되고 나서, 소정 시간 경과 후에 유량 설정치 및 센서 모델에 기초하여 유량 모의값의 출력을 개시하도록 구성해도 좋다. 또는, 상기 센서 모델 기억부가 실제 유량치에 대한 유량 측정치의 시간 지연을 포함해서 모델화된 센서 모델을 기억하고 있는 경우에는, 상기 유량 모의값 출력부는 유량 설정치의 입력과 동시에 당해 유량 설정치와 센서 모델에 기초하여 유량 모의값의 산출 및 출력을 개시하도록 해도 좋다.

[0066] 상기 실시 형태에서는 유량 피드 포워드값은, 유량 설정치와 같게 하고 있었지만, 예를 들면 유량 설정치로부터 시간 변화율이 너무 큰 부분 등을 S자 보간(補間) 등을 한 필터 후의 값을 유량 피드 포워드값으로서 이용해도

좋다.

- [0067] 상기 Q-V 특성 보정부는, 유량 피드백값의 적분치에 기초하여 Q-V 특성의 보정하는 방향을 정하고 있었지만, 그 적분치에 기초하여 보정량까지 결정해도 상관없다. 또, 상기 실시 형태에서는 Q-V 특성을 V축 방향으로 평행 이동시킴으로써 Q-V 특성의 보정을 행하고 있었지만, 예를 들면 Q축 방향으로 평행 이동시키는, 유량 피드백값에 기초한 소정의 계수를 Q-V 특성에 곱하는, 등 다양한 방법으로 보정해도 상관없다.
- [0068] 또, 상기 실시 형태에서는 평행 이동에 의해서 Q-V 특성의 전체에 대해서 보정을 행하도록 상기 Q-V 특성 보정부는 구성되어 있었지만, 상기 Q-V 특성 보정부는 Q-V 특성의 일부분만을 보정하도록 구성된 것이어도 좋다. 예를 들면, 유량 설정치로서 설정되어 있는 유량에 대응하는 부분의 밸브 인가 전압만을 Q축 또는 V축 방향으로 보정해도 좋다.
- [0069] 상기 실시 형태의 밸브 제어부는, 전하 제어에 의해 밸브의 개도를 제어하도록 구성되어 있었지만, 그 외의 제어 양태에도 상관없다. 예를 들면, 도 7에 도시하는 것처럼 밸브의 개도를 직접 측정하는 개도 센서(38)를 이용하여, 유량 측정치의 피드백 루프와는 별도로 밸브 개도 제어용의 마이너 루프(minor loop)를 형성한 밸브 제어부(VC)를 구성해도 좋다.
- [0070] 보다 구체적으로는, 도 7에 도시하는 밸브 제어부(VC)는, 피드 포워드 제어 시스템(FFS)과 피드백 제어 시스템(FBS)에 의해 산출되는 유량 입력값 Q_{IN} 에 기초하여, 설정해야 할 개도를 산출하는 개도 산출부(40)를 구비하고 있다. 상기 개도 산출부(40)는 상기 피에조 밸브(1)의 유량-개도(컨덕턴스)와의 관계인 Q-C 특성을 기억하는 Q-C 특성 기억부(39)를 참조하여, 유량 입력값 Q_{IN} 에 대응하는 개도 설정치를 산출한다. 상기 마이너 루프를 구성하는 상기 전압 출력부(36)는, 상기 실시 형태와 그 구성이 다르며, 상기 개도 센서(38)에 의해 측정된 피에조 밸브(1)의 현재의 개도 측정치와, 상기 개도 설정치의 편차에 기초하여 피에조 밸브(1)에 인가하는 인가 전압 V_{SET} 을 결정하여, 상기 피에조 밸브(1)로 출력하도록 구성하고 있다. 이러한 것이면, 상기 피에조 밸브(1)의 개도를 직접 모니터링하여, 그 개도가 개도 설정치가 되도록 마이너 루프에 의한 피드백 제어가 행해지므로, 밸브의 전압-개도 사이에 있어서의 히스테리시스를 저감시켜, 정밀도가 좋은 유량 제어를 실현할 수 있다. 또한, 개도에 대해서는 밸브 본체의 위치를 직접 측정하여, 그 위치로부터 개도를 구해도 좋고, 그 외의 수단으로 간접적으로 개도를 산출해도 상관없다. 또, 밸브 본체의 위치 그 자체를 피드백하여, 유량 제어를 행하도록 구성해도 상관없다.
- [0071] 상술한 것 같은 상기 밸브 제어부는, 전하 제어 또는 개도 제어로 밸브의 개도를 제어하는 것뿐만이 아니라, 밸브에 인가하는 전압을 제어하는 전압 제어나, 전류를 제어하는 전류 제어에 의해서 원하는 개도 또는 유량을 얻을 수 있도록 구성해도 좋다.
- [0072] 또, 유량 입력값 Q_{IN} 과, 밸브의 Q-V 특성이나 Q-C 특성에 기초하여 상기 전압 출력부로부터 밸브로 출력되는 전압이 결정되어 있었지만, 추가로, 밸브의 상류측의 압력을 고려하여, 실현된 유량에 대응하는 개도가 밸브로 실현되도록 밸브 제어부를 구성해도 좋다. 보다 구체적으로는, 상기 실시 형태 등에서는 밸브의 특성으로서 2차원적인 Q-V 특성이나 Q-C 특성을 기억부에 기억시키고 있었지만, 추가로 압력측을 더한 3차원적인 맵이 되는 Q-V-P 특성이나 Q-C-P 특성을 기억해 두고, 입력된 유량 입력값 Q_{IN} 과 현재의 밸브 상류측의 압력에 대응하는 전압 V나 개도 C가 출력되도록 밸브 제어부를 구성해도 좋다. 또, 상기 실시 형태의 Q-V 특성 보정부는 유량 피드백값에 기초하여 Q-V-P 특성, Q-C-P 특성을 보정하는 Q-V-P 특성 보정부, Q-C-P 특성 보정부로서 구성해도 좋다. 이에 더하여, 변위 센서 등으로 측정된 밸브 본체의 위치 또는 개도 T를 피드백하여 유량 Q를 제어하도록 유량 제어 장치를 구성하고 있는 경우에는, 상기 실시 형태의 Q-V 특성 기억부를 Q-T 특성 기억부로 합과 아울러, Q-V 특성 보정부를 유량 피드백값에 기초하여 Q-T 특성을 보정하는 Q-T 특성 보정부로서 구성하면 좋다. 추가로, 전술한 것처럼 상기 밸브의 상류측의 압력까지 고려하여 제어하는 경우에는, 상기 Q-T 특성 기억부는 압력측을 포함한 3차원의 유량 특성을 기억하는 Q-T-P 특성 기억부로서 구성해도 좋다. 추가로, 상기 Q-T 특성 보정부는 유량제 피드백값에 기초하여 Q-T-P 특성을 보정하는 Q-T-P 특성 보정부로서 구성해도 좋다.
- [0073] 상기 실시 형태의 2 자유도형 제어 시스템은, 유량 제어를 위해서 이용하고 있었지만 예를 들면 압력 제어를 위해서 이용해도 상관없다. 이 경우, 상기 유량 센서가 압력 센서가 되어, 센서 모델부의 센서 모델은 상기 압력 센서의 출력 특성을 모의하는 것으로 하면 좋다.
- [0074] 또, 상기 실시 형태에 기재한 유량 제어부를 구성하기 위한 프로그램을 기존의 유량 제어 장치에 인스톨하면 마

찬가지의 유량 제어 효과를 얻을 수 있도록 해도 좋다.

[0075] 그 외, 본 발명의 취지에 반하지 않는 한에 있어서 다양한 변형이나 실시 형태의 조합을 행해도 상관없다.

[0076] [산업상의 이용 가능성]

[0077] 본 발명의 유량 제어 장치를 이용하면, 예를 들면 반도체 제조 프로세스에 있어서 챔버 내에 성분 가스를 소정의 유량으로 정밀도 좋게 도입하는 것이 가능해진다.

부호의 설명

[0078] 100: 매스 플로우 컨트롤러(유량 제어 장치)

1: 피에조 밸브(밸브)

11: 기준 콘덴서

12: OP 앰프

2: 열식 유량 센서(유량 센서)

21: 층류 소자(유체 저항)

22: 세관

23: 발열 저항

24: 유량 측정치 산출부

3: 유량 제어부

SM: 센서 모델부

31: 센서 모델 기억부

32: 유량 모의값 출력부

33: 피드백 제어부

34: 센서 모델 식별부

VC: 밸브 제어부

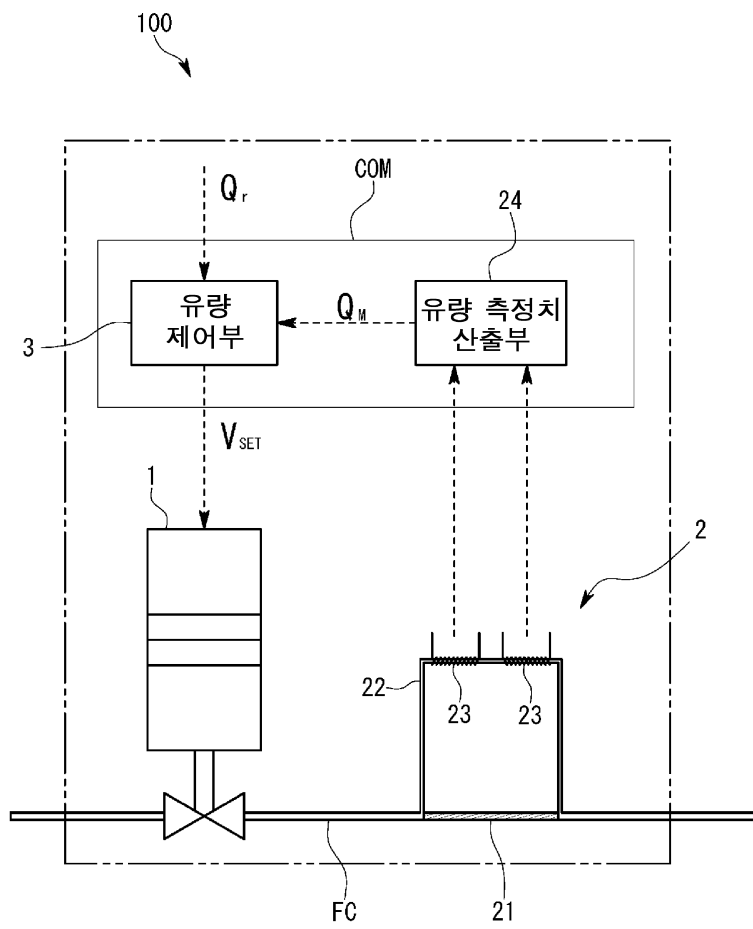
35: Q-V 특성 기억부

36: 전압 출력부

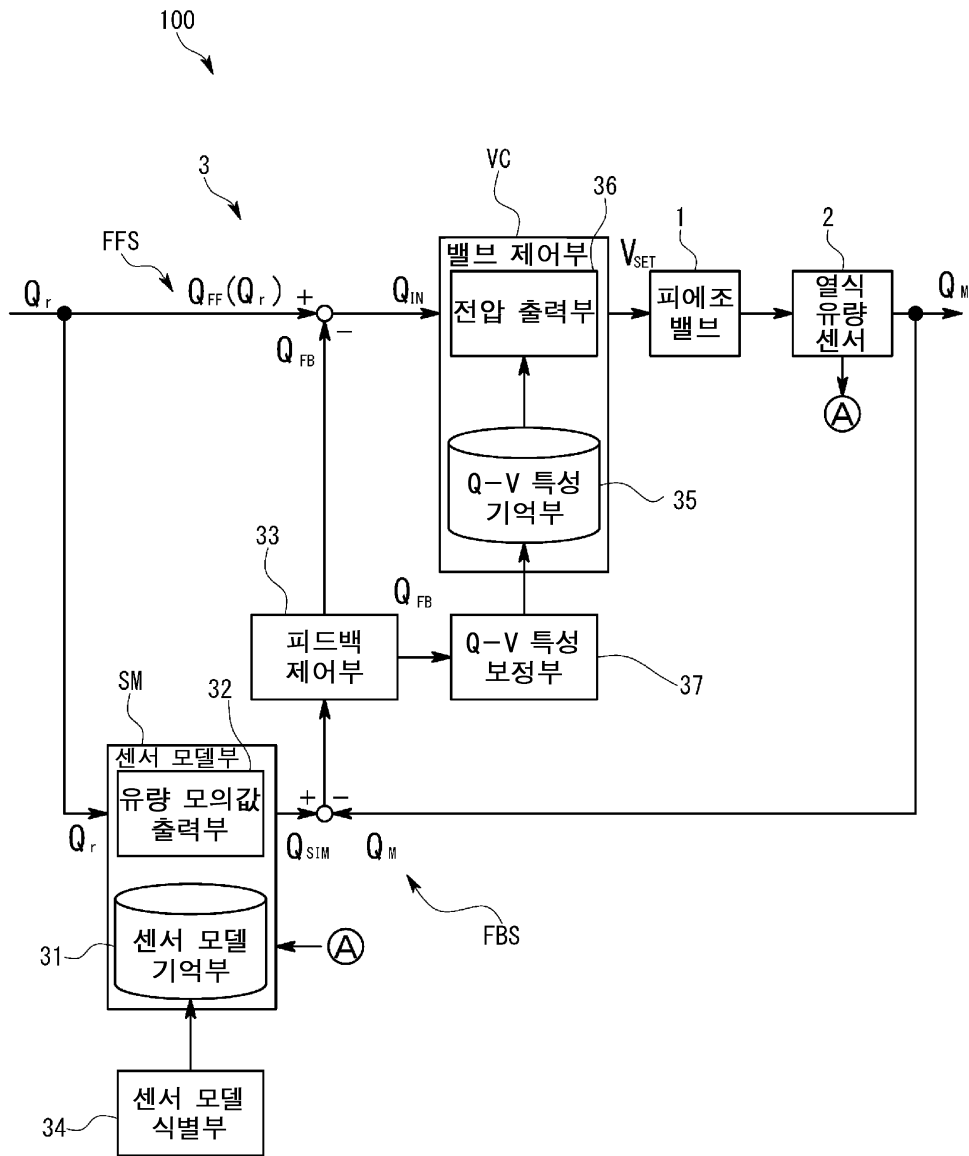
37: Q-V 특성 보정부

도면

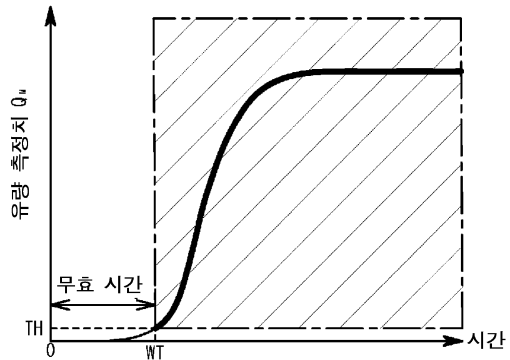
도면1



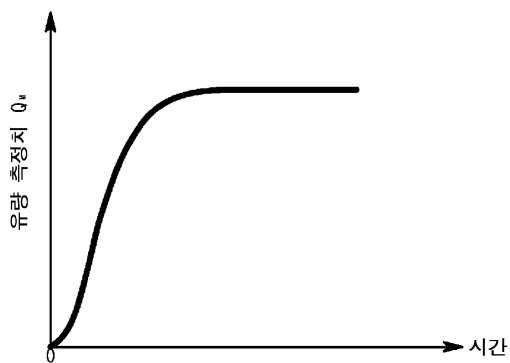
도면2



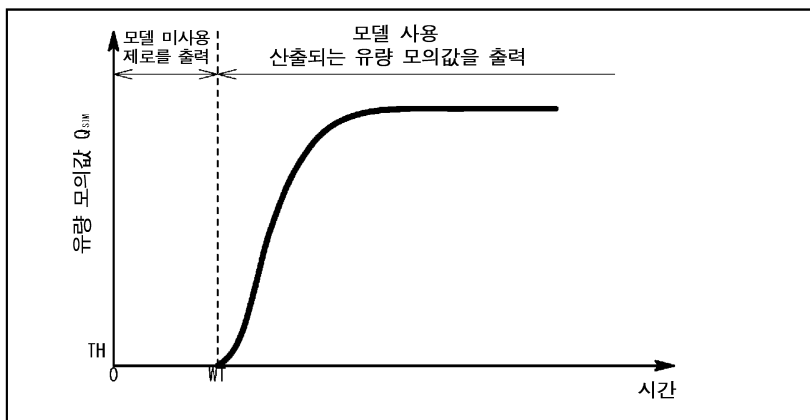
도면3



(a) 모델 식별 모드에서 소정 영역의 스텝 응답을 취득

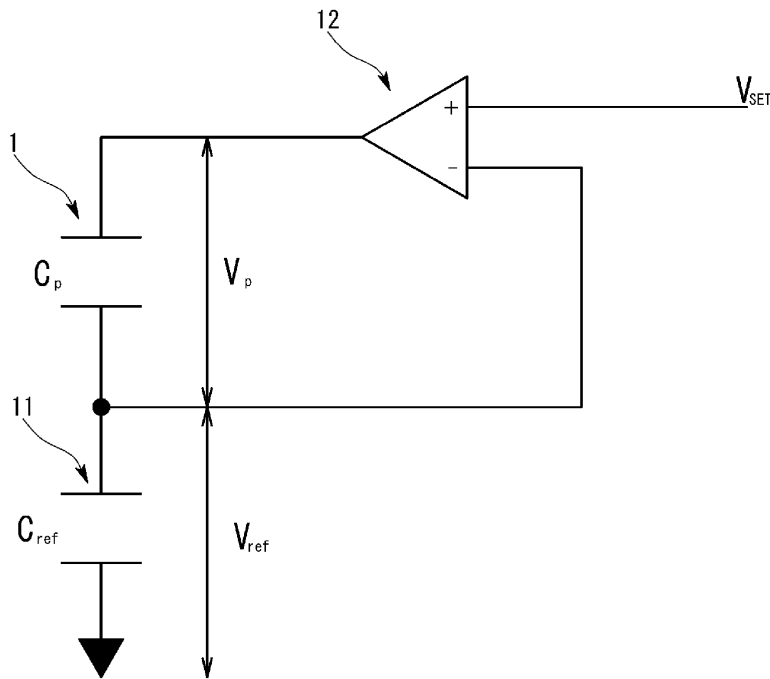


(b) 무효 시간을 포함하지 않는 형태의 응답 특성으로부터 센서 모델을 식별



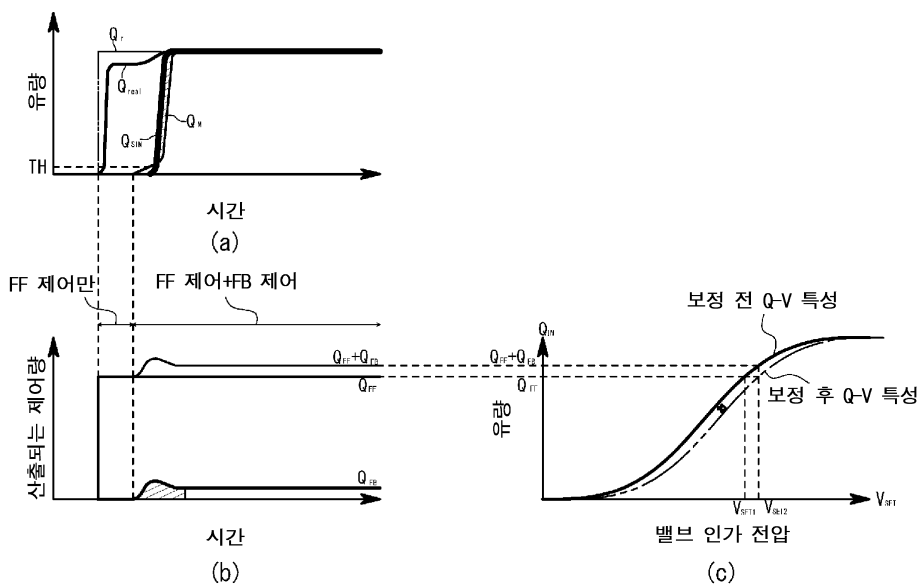
(c) 센서 모델부에 있어서의 유량 모의값의 산출 양태

도면4



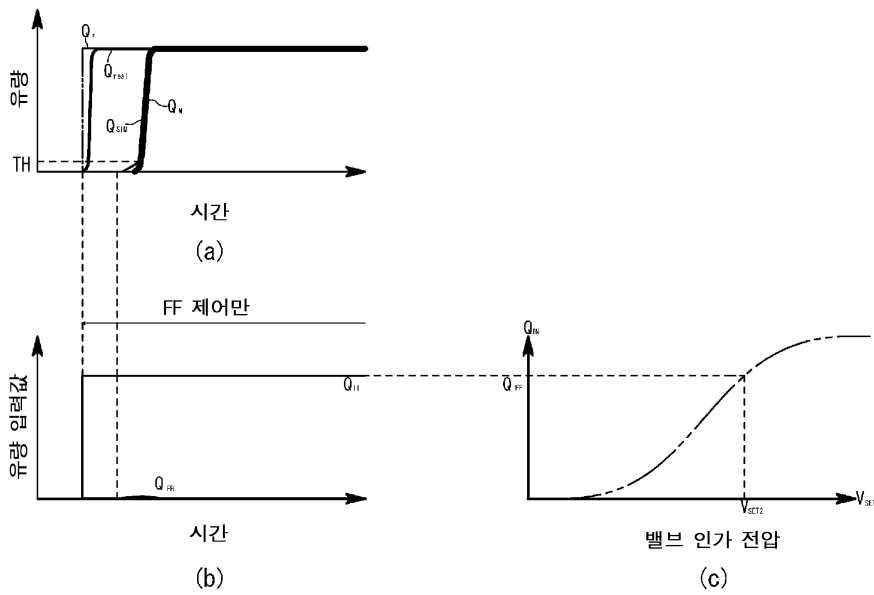
V_{SET} 밸브 인가 전압
 V_P 피에조 밸브의 양단에 걸리는 전압
 C_P 피에조 밸브의 정전 용량
 V_{ref} 기준 콘덴서의 양단에 걸리는 전압
 C_{ref} 기준 콘덴서의 정전 용량

도면5



1회째의 스텝 응답에서 FB 제어가 작용하는 경우

도면6



1회째의 스텝 응답에 기초하여 Q-V 특성이 보정된 경우의 2회째의 스텝 응답

도면7

