



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0087833
(43) 공개일자 2012년08월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03B 17/02 (2006.01) G03B 11/00 (2006.01)
H04N 5/225 (2006.01) G03B 7/26 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0007123
(22) 출원일자 2012년01월25일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
JP-P-2011-016348 2011년01월28일 일본(JP)

(71) 출원인
캐논 가부시끼가이샤
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방 2고
(72) 발명자
스미오카 준
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루쵸 3쵸메 30방
2고 캐논 가부시끼가이샤 나이
(74) 대리인
권대복

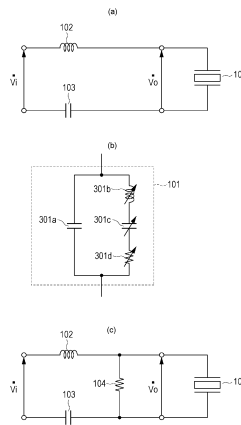
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 진동체의 구동 회로

(57) 요약

진동체의 구동 회로는, 탄성체에 고정된 전기-기계 에너지 변환 소자에 교류 전압을 인가함으로써 상기 전기-기계 에너지 변환 소자와 탄성체를 적어도 포함하는 진동체에 진동을 발생시킨다. 상기 진동체의 구동 회로는 상기 전기-기계 에너지 변환 소자에 직렬로 접속된 인덕터와 캐패시터를 포함한다. 상기 인덕터와 상기 캐패시터에 의한 직렬 공진 주파수를 f_s 로 하고, 상기 진동체의 공진 주파수를 f_m 로 했을 경우에, $0.73 \cdot f_m < f_s < 1.2 \cdot f_m$ 를 충족한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

탄성체에 고정된 전기-기계 에너지 변환 소자에 교류 전압을 인가함으로써, 상기 전기-기계 에너지 변환 소자와 상기 탄성체를 적어도 포함하는 진동체에 진동을 발생시키는 진동체의 구동 회로로서,

상기 전기-기계 에너지 변환 소자에 직렬로 접속된 인덕터와 캐패시터를 구비하고,

상기 인덕터와 상기 캐패시터에 의한 직렬 공진 주파수를 f_s 로 하고, 상기 진동체의 공진 주파수를 f_m 로 했을 경우에,

$$0.73 \cdot f_m < f_s < 1.2 \cdot f_m$$

상기의 관계를 충족하는, 진동체의 구동 회로.

청구항 2

탄성체에 고정된 전기-기계 에너지 변환 소자에 교류 전압을 인가함으로써, 상기 전기-기계 에너지 변환 소자와 상기 탄성체를 적어도 포함하는 진동체에 진동을 발생시키는 진동체의 구동 회로로서,

교류 전압이 인가되는 1차측 코일과 상기 전기-기계 에너지 변환 소자에 병렬로 접속된 2차측 코일을 갖는 트랜스포머와,

상기 트랜스포머의 1차측 및 2차측 중의 적어도 하나에, 상기 전기-기계 에너지 변환 소자에 직렬로 접속된 인덕터와 캐패시터를 구비하고,

상기 인덕터와 상기 캐패시터에 의한 직렬 공진 주파수를 f_s 로 하고, 상기 진동체의 공진 주파수를 f_m 로 했을 경우에,

$$0.73 \cdot f_m < f_s < 1.2 \cdot f_m$$

상기의 관계를 충족하는, 진동체의 구동 회로.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 인덕터는, 상기 트랜스포머의 누설 인덕턴스인, 진동체의 구동 회로.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 전기-기계 에너지 변환 소자에 인가되는 교류 전압의 피크 주파수를 f_e 로 하고, 상기 진동체의 구동 주파수를 f_d 로 했을 경우에, $f_e < 2 \cdot f_d$ 를 충족하는, 진동체의 구동 회로.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 진동체는, 탄성체와, 상기 탄성체에 고정된 제1의 전기-기계 에너지 변환 소자 및 제2의 전기-기계 에너지 변환 소자를 갖고,

상기 진동체에 차수가 다른 제1의 진동 모드의 진동과 제2의 진동 모드의 진동을 겹친 진동을 발생시키는 주파

수와 서로 다른 위상을 갖는 파형의 교류 전압을, 상기 제1 및 제2의 전기-기계 에너지 변환 소자에 인가하는, 진동체의 구동 회로.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 진동체에 차수가 다른 제1의 진동 모드와 제2의 진동 모드에서 발생하는 진동을, 시간 간격을 두고 시프트시키는, 진동체의 구동장치.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 진동체에 진동을 발생시키는 것으로, 상기 진동체 상의 분체를 이동시키는, 진동체의 구동 회로.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 분체는 진애이며, 상기 진동체 상의 진애를 이동시켜 제거하는, 진동체의 구동 회로.

청구항 9

청구항 8에 따른 구동 회로와, 상기 구동 회로에 의해 구동되는 진동체와, 상기 진동체의 탄성체를 투과한 빛이 입사하는 위치에 설치된 수광 소자를 구비하는 광학 기기.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명의 실시예는, 진동체의 구동 회로에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 근년, 광학 기기로서의 촬상 장치에서는, 촬상 소자의 분해능이 향상함에 따라, 사용중에 광학계에 부착하는 진애가 촬영 화상에 영향을 미치게 되었다. 특히, 비디오 카메라와 스틸 카메라에 이용되는 촬상 소자의 분해능은 눈부시게 향상하고 있다. 이 때문에, 촬상 소자의 근처에 배치되어 있는 적외선 컷 필터(cut filter) 및 광학 로패스 필터 등의 광학 부재에, 외부로부터의 진애 및/또는 내부의 기계적인 마찰면에서 생기는 마모가루 등의 진애(분체)가 부착하면, 촬상 소자면 상에서 화상의 블러드(blurred)이 적기 때문에, 촬영 화상에 분체가 나타나는 경우가 있었다.

[0003] 또, 광학 기기로서의 복사기, 팩시밀리 장치 등의 촬상부는, 라인 센서를 주사(스캔)하거나, 혹은 라인 센서에 근접시킨 원고를 주사(스캔)하는 것으로, 평면 원고를 읽어내고 있다. 이 경우, 광선 입사부에 진애가 부착하면, 스캔 화상에 진애가 나타나게 된다. 원고를 주사해 읽어내는 방식의 팩시밀리 장치의 판독부나, 자동 원고 이송 장치로부터의 원고를 반송중에 읽어내는, 이른바 대강 읽기 방식의 복사기의 판독부에서는, 1개의 진애가 원고 배출 방향으로 연속하는 라인 화상으로서 나타나, 화상의 품질을 열화시킨다.

[0004] 일본국 공개특허공보 특개 2008-207170호에는, 이러한 진애를, 광학 부재를 포함한 진동체로 진행파를 여기하는 것에 의해, 소망한 방향으로 이동시킬 수가 있는 진애 제거 장치가 제안되어 있다. 도 3은, 일본국 공개특허공보 특개 2008-207170호에 개시된 진애 제거 장치의 구성을 나타내는 모식도이다. 촬상 소자(503)의 광 입사측에 광학 부재(502)를 갖는 진동체(501)가 설치되어 있다. 전기-기계 에너지 변환 소자인 압전 소자 101a 및 101b는, 진동체(501)에 있어서의 면외(out-of-plane) 벤딩 진동의 절선(節線)이 정렬된 방향으로 위치가 다르게

배치되어 있다. 압전 소자101a 및 101b에는, 각각 주파수가 같고, 위상차가 90° 가 되는 교류 전압을 인가한다.

[0005] 인가되는 교류 전압의 주파수는, 진동체(501)의 긴 방향을 따라 면외로 변형하는 m차(m는 자연수)의 진동 모드의 공진 주파수와 (m+1)차의 진동 모드의 공진 주파수와 사이의 주파수이다. 진동체(501)에는, 공진 현상의 응답을 가진 m차의 진동 모드의 진동과, 90° 의 시간적 위상차(m차의 면외 밴딩 진동에 대해서 90° 진행된 위상)를 가진 (m+1)차의 진동 모드의 진동이, 같은 진폭과 같은 진동 주기로 여기된다. 그리고, 진동체(501)에는, 이 2개의 진동 모드의 진동이 합성된 합성 진동(진행파)이 생성된다. 이 합성 진동에 의해, 진동체(501)의 표면상의 진애가 소망한 방향으로 이동해 간다.

[0006] 그러나, 종래의 진애 제거 장치에서는, 사용하는 주파수 대역에 있어서, 압전 소자(101)에 인가하는 교류 전압의 진폭 변화, 즉, 교류 전압의 주파수 특성의 경사가 진동체(501)의 공진 주파수 근방에서 커진다. 이 때문에, 진동체(501)의 공진 주파수가 개체 차로 인해 변화하거나 장치의 구동중의 열이 공진 주파수를 변화시키는 경우에, 교류 전압이 크게 변동해 버린다. 교류 전압이 필요 이상으로 커지는 경우, 전류의 증가로 인해 소비 전력이 증가하거나, 진동체(501)에 여기되는 진동 진폭의 증대로 인해 광학 부재(501)가 파손한다. 또, 교류 전압이 필요로 하는 전압을 밀도는 경우, 진동체(501)에 여기되는 면외 밴딩 진동의 진동 진폭을 충분히 취득하지 못해, 진애의 제거 효율이 저하해 버린다.

발명의 내용

[0007] 개시된 실시예의 일 국면은, 사용하는 주파수 대역에 있어서, 진동체의 공진 주파수가 변화하거나 장치의 구동중에 변화하는 경우에도, 전기-기계 에너지 변환 소자에 인가하는 교류 전압의 변동이 작은, 안정된 전압 진폭을 출력하는 구동 회로를 제공한다.

[0008] 탄성체에 고정된 전기-기계 에너지 변환 소자에 교류 전압을 인가함으로써, 상기 전기-기계 에너지 변환 소자와 상기 탄성체로 적어도 구성되는 진동체에 진동을 발생시키는 일 실시예의 진동체의 구동 회로는, 상기 전기-기계 에너지 변환 소자에 직렬로 접속된 인덕터와 캐패시터를 구비하고, 상기 인덕터와 상기 캐패시터에 의한 직렬 공진 주파수를 fs로 하고, 상기 진동체의 공진 주파수를 fm로 했을 경우에, $0.73 \cdot fm < fs < 1.2 \cdot fm$ 을 충족한다.

[0009] 본 개시된 실시예의 일 국면에 의하면, 사용하는 주파수 대역에 있어서, 진동체의 공진 주파수가 변화하거나 장치의 구동중에 변화하는 경우에도, 전기-기계 에너지 변환 소자에 인가하는 교류 전압의 변동이 작은, 안정된 전압 진폭을 출력하는 구동 회로를 제공하는 것이 가능해진다.

[0010] 본 실시예의 또 다른 특징은 첨부도면을 참조하면서 이하의 예시적인 실시예의 설명으로부터 밝혀질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0011] 도 1a 내지 1c는 제1의 실시예에 있어서의 진동체의 구동 회로를 나타내는 도면이다.
- 도 2a 및 2b는 일 실시예를 적용할 수 있는 촬상 장치의 사시도이다.
- 도 3은 진애 제거 장치가 구비된 카메라 본체의 촬상부의 구조를 나타내는 사시도이다.
- 도 4는 일 실시예를 적용할 수 있는 진애 제거 장치의 제어장치를 나타낸다.
- 도 5는 종래의 구동 회로의 구성을 나타낸다.
- 도 6a 및 6b는 제1의 실시예에 있어서의, 압전 소자에 인가되는 교류 전압의 주파수와, 압전 소자에 생기는 각 진동의 진폭과, 그 전압 파형을 나타내는 그래프이다.
- 도 7은 진동체에 여기되어 긴 방향을 따라 면외로 변형하는 10차의 면외 밴딩 진동의 변위와 11차의 면외 밴딩 진동의 변위를 나타내고, 압전 소자의 배치를 나타내는 도면이다.
- 도 8은 종래의 구동 회로를 이용했을 경우에 있어서의, 교류 전압 Vo의 전압 진폭의 주파수 특성을 나타낸다.
- 도 9a 및 9b는 인덕터와 캐패시터에 의한 직렬 공진 주파수 fs를, 진동체의 공진 주파수 fm와 거의 일치시켰을 경우에 있어서의, 전류 진폭과 교류 전압 Vo의 주파수 특성을 나타내는 시뮬레이션 결과를 나타낸다.
- 도 10a 및 10b는 어드미턴스의 변화에 따라 교류 전압 Vo이 어떻게 변동하는지를 계산에 의해 시뮬레이션한 결과이다.

도 11a 및 11b는 인덕터와 캐패시터와 압전 소자의 고유 정전 용량의 변동(variation)에 따라 교류 전압 Vo이 어떻게 변하는지를 나타내는 시뮬레이션 결과이다.

도 12는 구동 시간에 대한 전원 전류의 변화를 측정한 결과이다.

도 13은 $f_e < 2 \cdot f_d$ 를 충족하는 경우의 교류 전압 Vo의 주파수 특성을 나타내는 도면이다.

도 14a 및 14b는 fs/fm의 변화에 따른, 종래에 대한 위상과 교류 전압 Vo의 변동을 나타내는 시뮬레이션 결과이다.

도 15는 fs/fm의 변화에 따른, 종래에 대한 위상 변화량의 비율을 나타내는 시뮬레이션 결과이다.

도 16은 피크 주파수 fe에 따른 인덕터의 인덕턴스 L와 캐패시터의 정전 용량 C와의 관계를 나타내는 도면이다.

도 17a 내지 17e는 제2의 실시예에 있어서의, 트랜스포머를 갖는 진애 제거 장치의 구동 회로를 나타내는 도면이다.

도 18a 및 18b는 제3의 실시예에 있어서의, 정재파 구동시의 압전 소자에 인가되는 교류 전압의 주파수와, 압전 소자에 생기는 진동의 진폭과, 그 전압 파형을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 본 발명을 적용할 수 있는 진동체의 구동 회로의 실시예에 대해, 도면을 참조하면서 설명한다. 일 실시예의 진동체의 구동장치는, 진동체를 진동시키는 것으로, 분체 등의 대상물을 구동할 수가 있다. 이하의 각 실시예에 따라, 분체인 진애를 제거하기 위한 진애 제거 장치와 그 구동 회로에 대해서 설명하지만, 일 실시예는, 진동체를 진동시키는 것으로 진동체상의 분체 등의 대상물을 구동하는 것이면 어떠한 것에도 적용 가능하다. 본 발명에 있어서, 분체란, 1 μm 이상 100 μm 이하의 범위의 물체를 나타낸다.

[0013] 본 실시예의 진동체 및/또는 그 구동 회로를 갖는 장치는, 카메라(촬영 장치), 팩시밀리 장치, 스캐너, 프로젝터, 복사기, 프린터 등의 광학 기기를 포함한다. 예를 들면, 이 실시예의 진동체 및/또는 그 구동회로를 이하의 실시예에서의 촬영 장치에 탑재한다. 또, 개시한 본 실시예의 일 국면에 의하면, 광진 변환 소자인, CCD 및 CMOS 센서 등의 촬영 소자나, 복사기나 팩시밀리 장치 등에 이용되는 라인 센서를, 수광 소자라고 칭한다.

[0014] (제1의 실시예)

[0015] 본 제1의 실시예에 의하면, 진동체에 진행파를 여기해 분체인 진애를 이동시키는 진애 제거 장치를 카메라에 탑재한다.

[0016] (카메라 본체의 구성)

[0017] 도 2a는, 제1의 실시예에 있어서의, 촬영 장치인 디지털 일안 레플렉스 카메라를 피사체측으로부터 본 정면측 사시도이며, 촬영 렌즈를 제외한 상태를 나타낸 것이다. 도 2b는, 카메라를 촬영자측에서 본 배면측 사시도이다. 카메라 본체(201) 내에는, 미도시의 촬영 렌즈를 통과한 촬영 광속을 안내하는 미러 박스(202)가 설치되어 있다. 미러 박스(202) 내에는 메인 미러(퀵 리턴 미러)(203)가 배치되어 있다. 진애 제거 장치를 갖는 촬영부는, 미도시의 촬영 렌즈를 통과한 촬영 광속 상에 설치되어 있다. 메인 미러(203)는, 촬영자가 파인더 접안창(204)을 통해서 피사체상을 관찰하기 위해서 촬영 광속에 대해서 45°의 각도로 홀드되거나 촬영소자쪽으로 안내하기 위해서 촬영 광속으로부터 퇴피한 위치에 홀드되어도 된다. 클리닝 지시 스위치(205)는 카메라 배면에 설치되고, 진애 제거 장치인 진동체를 구동하기 위해 사용되어도 된다. 촬영자가 클리닝 지시 스위치(205)를 누르면, 진애 제거 장치를 구동하도록 지령부(604)(도 4 참조)에 지시한다.

[0018] (방진 제거 장치의 구성)

[0019] 도 3은, 진동체인 진애 제거 장치가 구비된 카메라 본체(201)의 촬영부의 구조를 나타내는 사시도이다. 카메라 본체(201)의 촬영부에는, 촬영 소자(503)가 설치되어 있다. 촬영 소자(503)는 수광한 피사체상을 전기 신호로 변환하는 CCD나 CMOS 센서 등의 수광 소자이다. 또, 촬영 소자(503)의 앞 표면의 공간이 밀봉되도록, 진동체(501)가 장착된다. 진동체(501)는, 탄성체인 구형의 판 형상을 갖는 광학 부재(502)와, 이 광학 부재(502)의 양 단부에 접촉된 전기-기계 에너지 변환 소자인 한 쌍의 압전 소자 101a(제1의 전기-기계 에너지 변환 소자) 및 압전 소자 101b(제2의 전기-기계 에너지 변환 소자)로 적어도 구성된다. 광학 부재(502)는 커버 글래스, 적외선 컷 필터, 혹은, 광학 로패스 필터 등의 투과율이 높은 광학 부재이다. 촬영 소자(503)에는, 광학 부재(502)를

투과한 빛이 입사한다.

- [0020] 광학 부재(502)의 양단부에 배치된 압전 소자 101a, 101b의 두께 방향(도면에서, 상하 방향)의 치수는, 진동에 대한 벤딩 변형의 발생력이 커지도록, 광학 부재(502)의 두께 방향(도면에서 상하 방향)의 치수와 같다. 압전 소자 101a, 101b를 특히 구별할 필요가 없을 때는, 단지 압전 소자(101)라고 칭한다.
- [0021] (제어 장치의 구성)
- [0022] 도 4는, 진에 제거 장치의 제어장치를 나타낸 것이다. 제어장치는, 지령부(604)와, 펄스 발생 회로 603a 및 603b와, 스위칭 회로 602a 및 602b와, 전원 회로(605)와, 구동 회로 601a 및 601b로 구성된다. 지령부(604)로부터, 교류 전압 신호의 파라미터인 주파수 정보, 위상 정보, 및 펄스폭 정보가, 펄스 발생 회로 603a 및 603b에 전달된다. 펄스 발생 회로에는, 예를 들면 일반적인 디지털 발진기 등이 이용된다. 주파수는, 진동체(501)에 발생시키는 2개의 진동 모드(면외 벤딩 진동)의 공진 주파수의 중간값 근방에 설정되고, 같은 주파수가 펄스 발생 회로 603a 및 603b에 각각 설정된다. 진동 모드에 대해서는, 도 7을 참조해 후술한다. 서로 다른 값의 위상을 펄스 발생 회로 603a 및 603b에 입력해, 출력되는 각 교류 전압 신호의 위상차가 다르게 (예를 들면 위상차가 90°) 설정된다. 펄스 폭(펄스?듀티)은 소망한 전압 진폭을 얻도록 적당히 조정되어 펄스 발생 회로 603a 및 603b에 개별적으로 설정된다.
- [0023] 펄스 발생 회로(603)로부터 출력된 디지털의 교류 전압 신호는 스위칭 회로 602a 및 602b에 입력되고, 전원 회로(605)로부터 공급되는 전압에 근거해 아날로그의 교류 전압 V_i 로서 출력된다. 전원 회로에는, 일반적인 직류 전원 회로, DC-DC 컨버터 회로 등이 이용된다. 또, 스위칭 회로에는, 일반적인 H 브릿지 회로가 이용된다.
- [0024] 교류 전압 V_i 는, 구동 회로 601a 및 601b에 각각 입력되고, 전압 진폭이 증압해 SIN 파형으로 변환되고 나서 교류 전압 V_o 로서 출력된다. 출력된 교류 전압 V_o 는, 압전 소자 101a 및 101b에 각각 인가되고, 진동체(501)에 2개의 면외 벤딩 진동이 동시에 발생한다. 이 합성 진동이 진행파가 되어, 광학 부재(502)의 표면의 진애를 소망한 방향으로 이동시킬 수가 있다. 본 실시예의 특징인, 구동 회로 601a 및 601b의 구성에 대해서는, 도 1을 참조해 후술한다.
- [0025] 펄스 발생 회로(603)로부터 출력된 디지털의 교류 전압 신호는, 스위칭 회로 602a 및 602b에 입력되고 전원 회로(605)로부터 공급되는 전압에 근거해 아날로그의 교류 전압 V_i 로서 출력된다. 전원 회로에는, 일반적인 직류 전원 회로, DC-DC컨버터 회로 등이 이용된다. 또, 스위칭 회로에는, 일반적인 H 브릿지 회로가 이용된다.
- [0026] 교류 전압 V_i 는, 구동 회로 601a 및 601b에 각각 입력되고, 전압 진폭이 증압해 SIN 파형으로 변환되고 나서 교류 전압 V_o 로서 출력된다. 교류 전압 V_o 는 압전 소자 101a 및 101b에 각각 인가되고 진동체(501)에 2개의 면외 벤딩 진동이 동시에 발생한다. 이 합성 진동이 진행파가 되어, 광학 부재(502)의 표면의 진애를 소망한 방향으로 이동시킬 수가 있다.
- [0027] (구동 주파수의 설정)
- [0028] 다음에, 구동 주파수의 설정에 대해 설명한다. 도 6a는 압전 소자(101)에 인가되는 교류 전압의 주파수와 압전 소자(101)에 생기는 각 진동의 진폭을 나타내는 그래프이다. 도 6a에 있어서, $f(m)$ 는 m 차의 면외 벤딩 진동의 공진 주파수이며, $f(m+1)$ 는 $(m+1)$ 차의 면외 벤딩 진동의 공진 주파수이다. 압전 소자(101)에 인가되는 교류 전압의 주파수 f_d 를, $f(m) < f_d < f(m+1)$ 로 설정하면, m 차의 면외 벤딩 진동과 $(m+1)$ 차의 면외 벤딩 진동 각각의 공진 현상에 의해 진폭이 확대된, 주파수 f_d 의 진동을 취득한다. 각 진동의 시간 주기는 같다. 한편, 압전 소자(101)에 인가되는 교류 전압의 주파수 f_d 를 $f(m)$ 보다 낮게 설정할수록, $(m+1)$ 차의 면외 벤딩 진동의 진폭이 작아진다. 주파수 f_d 를 $f(m+1)$ 보다 높게 설정할수록, m 차의 면외 벤딩 진동의 진폭이 작아진다.
- [0029] (진동 모드의 설명)
- [0030] 도 7은, 진동체(501)에 여기되어 긴 방향을 따라 면외로 변형되는 10차의 면외 벤딩 진동의 변위와 11차의 면외 벤딩 진동의 변위를 나타내고, 압전 소자 101a, 101b의 배치를 나타내는 모식도이다. 횡축은, 진동체(501)의 긴 방향의 위치이다. 종축은, 면외의 진동 변위이다. 도 7에서, 10차의 면외 벤딩 진동을 제1의 진동 모드로서 파형 A(실선)로 나타내고, 11차의 면외 벤딩 진동을 제2의 진동 모드로서 파형 B(파선)로 나타낸다. 제1의 진동 모드 A 및 제2의 진동 모드 B는, 진동체(501)를 광학 부재(502)의 두께 방향으로 벤딩 변형시키는 면외 벤딩 진동 모드이다.
- [0031] 구동 회로 601a 및 601b가, 상술한 교류 전압 V_o 를 압전 소자101a 및 101b에 각각 인가하는 경우, 제1의 진동 모드 A 및 제2의 진동 모드 B의 진동이, 진동체(501)에 동시에 발생해, 겹쳐진다. 본 실시예에 의하면, 진애를

제거하기 위한 최저한 필요한 진동 모드로서는 제1의 진동 모드로서 10차의 벤딩 진동 모드, 제2의 진동 모드로서 11차의 벤딩 진동 모드를 이용하고 있다. 그렇지만, 이 진동 모드는 이것에 한정되는 것은 아니다. 여기서, 촬상 소자(503)에 대응하는 광학 유효부는 도 7에 나타내는 범위이다. 제1의 진동 모드 A의 변형 형상은, 좌단과 우단에서 역상(위상차 180°)을 갖는다. 한편, 제2의 진동 모드 B의 변형 형상은, 좌단과 우단에서 동상(위상차 0°)으로 되어 있다. 즉, 압전 소자 101a와 압전 소자 101b에 인가하는 교류 전압의 위상차를 180°로 설정하면, 제1의 진동 모드 A만이 발생한다. 반대로 위상차를 0°로 설정하면, 제2의 진동 모드 B만이 발생한다. 따라서, 위상차를 90°로 설정하면, 제1의 진동 모드 A와 제2의 진동 모드 B를 동시에 발생시킬 수가 있고, 합성 진동으로부터의 진행파가 도 7의 우측방향으로 발생한다.

[0032] 도 6b는, 차수가 다른 진동 모드를 동시에 여기할 때에 각 압전 소자에 인가하는 교류 전압의 예를 나타내는 도면이다. 교류 전압 Vo 1는, 압전 소자 101a에 인가하는 전압 파형이며, 교류 전압 Vo 2는 압전 소자 101b에 인가하는 전압 파형이다. 종축은 전압 진폭이며, 횡축은 시간이다. 교류 전압 Vo 1 및 Vo 2의 주파수는 전술의 fd로 일정하고, 각 교류 전압의 위상차는 90°이다. 단, 교류 전압 Vo 1와 Vo 2는 위상이 서로 다르면 좋고, 위상차는 90°에 한정되지 않는다.

[0033] 진에 제거 장치에서는, 광학 부재(502)의 표면에 부착한 진에는, 광학 부재(502)가 진애를 면외로 밀어올릴 때, 마치 광학 부재(502)의 표면의 법선 방향의 힘을 받아 바운드(bounce)하는 것처럼 이동해 간다. 즉, 구동 주파수 주기의 위상에서, 진동체(501)의 합성 진동 변위의 속도가 정(positive)일 때, 진애는 면외로 밀어올려지고, 이 위상에 있어서의 합성 진동 변위의 법선 방향의 힘을 받아 진애가 이동해 간다. 도 7을 참조하면, 광학 부재(502)의 유효부의 표면에 부착해 있는 진애에 반복해 진동을 주는 것으로, 진애를 도 7의 우측 방향으로 이동시켜, 제거하는 것이 가능하다.

[0034] (구동 회로의 설명 : LC 승압)

[0035] 도 1a 내지 1c을 참조해서, 제1의 실시예의 구동 회로를 설명한다. 도 1a는 제1의 실시예에 있어서의 진애 제거 장치의 구동 회로를 나타내는 도면이다. 구동 회로는 압전 소자(101)에 직렬로 접속되어 있는 인덕터(102)와 캐패시터(103)를 포함한다. 캐패시터(103)는, 압전 소자(101)의 도 1의 아래쪽에 접속되어 있지만, 위쪽(인덕터(102)와 압전 소자(101)와의 사이)에 접속되어도 된다. 또, 도 1c에 나타낸 바와 같이, 압전 소자(101)에 대해서 병렬로 저항(104)을 접속해도 된다. 저항(104)은 전류가 거의 흐르지 않는 1MΩ로 설정되어, 저항부에서 소비 전력이 발생하지 않게 한다. 저항(104)을 설치하는 것으로, 캐패시터(103)와 압전 소자(101)의 접속점의 전위가 정해져, 압전 소자의 양단에 안정된 교류 전압을 인가할 수가 있다.

[0036] 인덕터(102)로서는, 코일 등의 인덕턴스 소자를 이용할 수가 있다. 또, 캐패시터(103)로서는 필름 캐패시터 등의 정전 용량 소자를 이용할 수가 있다. 개시된 실시예의 일 국면은, 인덕터(102)와 캐패시터(103)의 직렬 공진 주파수를, 진동체(501)의 공진 주파수와 거의 일치시키는(후술의 허용 범위 내로 설정한다) 것을 특징으로 한다.

[0037] 압전 소자(101)의 등가 회로에 대해, 도 1b를 참조해 설명한다. 도 1b는, 압전 소자(101)의 등가 회로를 나타낸 것이다. 압전 소자(101)의 등가 회로는, 진동체(501)의 기계적 진동 부분의 RLC 직렬 회로(자기 인덕턴스 Lm의 등가 코일 301b, 정전 용량 Cm의 등가 캐패시터 301c, 저항값 Rm의 등가 저항 301d)와 RLC 직렬 회로에 병렬에 접속된 압전 소자(101)의 고유 정전 용량 Cd로서 기능하는 캐패시터 301a로 구성된다.

[0038] 본 실시예에 의하면, 인덕터(102)와 캐패시터(103)에 의한 직렬 공진 주파수를 fs로서 정의하고, 진동체(501)의 공진 주파수를 fm로서 정의한다. 인덕터(102)의 자기 인덕턴스를 L, 캐패시터(103)의 정전 용량을 C로 하면, 아래와 같은 식이 성립된다.

[0039] (1-1)
$$f_s = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$$

[0040] (1-2)
$$f_m = 1 / (2\pi\sqrt{LmCm})$$

[0041] 상기 fs와 fm를 거의 일치시키는 것으로, fm 근방에서의 교류 전압 Vo의 주파수 특성을 완만하게 하는 것이 가능해진다.

[0042] 도 5를 참조해, 압전 소자(101)에 직렬로 인덕터(102)만을 접속한 종래의 구동 회로의 구성에 대해 설명한다. 도 5에 나타낸 바와 같이, 압전 소자(101)에 직렬로 인덕터(102)를 접속하는 것에 의해, 압전 소자(101)의 고유 정전 용량과 인덕터(102)에 의한 LC 직렬 공진 회로가 형성된다. 교류 전압 Vi의 전압 진폭은, LC 직렬 공진 회

로에 의해 소망한 전압까지 승압되고, 교류 전압 V_o 가 출력된다.

[0043] 도 8은, 종래의 구동 회로를 이용했을 경우에 있어서의, 교류 전압 V_o 의 전압 진폭의 주파수 특성을 나타낸다. 횡축은 주파수, 종축은 전압 진폭을 나타낸다. 각 플롯(plot)은, 인덕터(102)의 값을 $40\mu\text{H}$ 에서 $90\mu\text{H}$ 로 바꾸었을 경우의 특성을 나타내고 있다. 도 8에서, $f(m)$ 는 m 차의 면의 벤딩 진동의 공진 주파수이며, $f(m+1)$ 는 $(m+1)$ 차의 면의 벤딩 진동의 공진 주파수이다. 압전 소자(101)에 인가되는 교류 전압 V_o 의 주파수 f_d 는, $f(m) < f_d < f(m+1)$ 로 설정된다. 도 8은, f_m 및 $f(m+1)$ 근방에서, 교류 전압 V_o 의 진폭 변화가 발생하는 것을 나타낸다. 또, 인덕터(102)의 값을 크게 할수록, f_m , $f(m+1)$ 및 f_d 근방의 전압 진폭의 변동이 커진다. 인덕터(102)의 값을 작게 할수록 전압 진폭의 변동은 작아진다. 그렇지만, 승압율이 저하하기 때문에 소망한 전압 진폭을 취득할 수 없게 된다. 게다가, 인덕터(102)의 값을 작게 하면, LC 직렬 회로의 전기 공진 주파수 f_e 가 고주파수로 시프트한다. 이 때문에, 구동 주파수 f_d 의 고조파 성분이 기본 고조파에 중첩되어 파형이 일그러진다. 파형의 일그러짐이 큰 경우, 진동체(501)에 불필요한 진동이 여기되어 버린다.

[0044] 종래 예와 같이, f_m 나 $f(m+1)$ 근방에서 교류 전압 V_o 의 진폭 변화가 생기는 원인은, 진동체(501)의 기계적 진동 부분의 자기 인덕턴스 L_m 와 정전 용량 C_m 에 의해 임피던스의 변화가 생기기 때문이다. 한편, 본 실시예에서는, f_s 와 f_m 를 거의 일치시키는 것으로, 진동체(501)의 기계적 진동 부분의 임피던스에 대해서 매칭을 취할 수가 있다. 따라서, 결과적으로 교류 전압 V_o 의 진폭 변화를 저감할 수가 있다. 게다가, f_m 근방에서의 교류 전압 V_o 의 주파수 특성을 완만하게 하는 것으로, 어드미턴스(admittance)(등가 저항 301d)의 변화 및/또는 인덕터(102) 및 캐패시터(103)의 변동(variation)에 의한 교류 전압 V_o 의 변화를 저감할 수가 있다. 이것은, 진동체(501)의 기계적 진동 부분의 임피던스에 대해서 매칭을 취하고 있기 때문에, f_m 근방에서는 소자의 변동에 의해 주파수 특성이 영향을 받기 어려워진다.

[0045] (시뮬레이션 결과 : 본 실시예와 종래예와의 전압 진폭 및 전류의 비)

[0046] 도 9a 및 9b는, 인덕터(102)와 캐패시터(103)에 의한 직렬 공진 주파수 f_s 를, 진동체(501)의 공진 주파수 f_m 와 거의 일치시켰을 경우에 있어서의, 교류 전압 V_o 의 주파수 특성을 나타내는 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 본 실시예에서는, 구동 회로는 도 1a의 구성을 갖는다. 본 실시예의 진동체(501)는 2개의 면의 벤딩 진동을 이용하고 있고, 공진 주파수 f_m 는 2개의 $f(m)$ 와 $f(m+1)$ 를 포함한다. 본 실시예에서는, 직렬 공진 주파수 f_s 는 공진 주파수 $f(m)$ 에 따라, $f_s = 0.83*f(m)$ 로 설정되어 있다. 이상적으로는, f_s 와 f_m 를 완전하게 일치시키는 것이 바람직하다. 그렇지만, 전압 진폭의 승압율을 증가시키는 것이 어렵기 때문에, f_s 를 f_m 보다 작은 값으로 설정했다. 계산에 의하면, f_s 가 f_m 보다 작으면, 승압율이 커지는 경향이 있다. f_s 가 f_m 보다 크면, 승압율이 작아지는 경향이 있다. 직렬 공진 주파수 f_s 를 $f(m)$ 에 맞추었지만, $f(m+1)$ 근방의 주파수에 있어서도 소망한 효과를 얻을 수가 있다.

[0047] 이 시뮬레이션에서는, 등가 코일 301b의 자기 인덕턴스 L_m 를 0.04H 로 설정했고, 등가 캐패시터 301c의 정전 용량 C_m 를 44pF 로 설정했다. 또, $f(m)$ 를 120kHz 로 설정했고, $f(m+1)$ 를 128kHz 로 설정했으며, 구동 주파수 f_d 를 123kHz 로 설정했다. 인덕터(102)의 자기 인덕턴스 L 를 $82\mu\text{H}$ 로 설정했고, 캐패시터(103)의 정전 용량 C 를 31nF 로 설정했다($f_s = 0.83*f_m$). 또, 플롯이 겹치고 있지만, 인덕터(102)를 $68\mu\text{H}$ 로 설정하고, 캐패시터(103)를 42nF 로 설정한 플롯도 나타냈다($f_s = 0.79*f_m$). 게다가, 종래예로서 도 5의 구동 회로의 구성을 이용했을 경우의 인덕터(102)를 $68\mu\text{H}$ 로 설정한 것을 비교예로서 나타냈다.

[0048] (전압의 안정화)

[0049] 도 9a는, 구동 회로에 흐르는 전류 진폭의 주파수 특성을 나타내는 도면이다. 도 9b는, 교류 전압 V_o 의 전압 진폭의 주파수 특성을 나타내는 도면이다. 도 9a 및 9b에 나타낸 바와 같이, f_s 와 f_m 를 거의 일치시키는 것으로, $f(m)$ 및 $f(m+1)$ 근방에서의 교류 전압 V_o 의 주파수 특성을 완만하게 하는 것이 가능해진다. 즉, 진동체(501)의 공진 주파수의 변화에 대해서 안정된 전압이 인가되어, 구동 전류의 변화도 줄일 수가 있다. 예를 들면, 구동중에 공진 주파수 $f(m+1)$ 가 시간의 경과에 따라 감소해 가는 경우, 종래예에서는 교류 전압의 진폭이 증대해, 구동 전류가 상승해 버린다. 본 실시예에서는, 그 변화를 저감하는 것이 가능해진다.

[0050] 인덕터(102)와, 캐패시터(103) 및 압전 소자(101)의 고유 정전 용량인 캐패시터 301a에 의한 전기 공진을 이용해, 교류 전압 V_o 의 진폭은, 특정 주파수에서 피크를 갖도록 설정된다. 이 교류 전압 V_o 의 피크 주파수를 f_e 로서 정의하고, f_e 를 f_m 보다 높은 주파수로 설정하는 것으로, f_m 로부터 f_e 까지의 주파수 대역에 있어서, 진동체(501)의 구동 주파수 f_d 를 변경해도 전압 변화가 적은 주파수 특성을 제공할 수 있다. 본 실시예에서는, 피크 주파수 f_e 는, 모두 $180\text{--}200\text{kHz}$ 로 설정되었다.

- [0051] (어드미턴스 변화의 영향 저감)
- [0052] 도 10a 및 10b는 교류 전압 V_o 의 변화의 저감의 효과를 나타낸다. 도 10a 및 10b는, 어드미턴스의 변화에 따라 교류 전압 V_o 이 어떻게 변하는지를 계산에 의해 시뮬레이션한 결과이다. 어드미턴스의 변화를, 등가 저항 301d의 값을 기준값에 대해서 10%~100%까지 변화시켜 계산했다. 등가 저항이 작을수록, 어드미턴스는 커진다. 도 10a은 종래예이며, 도 10b은 본 실시예이다. 도 10a 및 10b는 본 실시예가, 어드미턴스의 변화의 영향을 종래예에 대해서 20%정도로 저감한 것을 나타낸다.
- [0053] (L와 C 및 Cd에 의한 변동의 영향 저감)
- [0054] 도 11a 및 11b는, 인덕터(102), 캐패시터(103) 및 압전 소자(101)의 고유 정전 용량의 변동에 따라 교류 전압 V_o 이 어떻게 변하는지의 시뮬레이션 결과이다. 인덕터(102)의 자기 인덕턴스 L의 변동이 $\pm 20\%$ 이고, 캐패시터(103)의 정전 용량 C의 변동이 $\pm 10\%$ 이며, 압전 소자(101)의 고유 정전 용량 Cd인 캐패시터 301a의 변동이 $\pm 10\%$ 인 경우 몬테카를로(Monte Carlo)법에 의한 균일한 분포에 대해 난수 계산을 행했다. 도 11a은 종래예이며, 도 11b은 본 실시예이다. 본 실시예에 의하면, 압전 소자(101)를 포함한 구동 회로 전체의 소자의 변동의 영향을, 종래예에 대해서 70%정도로 저감하고 있다.
- [0055] (전류 상승의 저감)
- [0056] 실제로 본 실시예의 구동 회로에 의해 진동체(501)를 구동해, 전원 전류의 비교를 행했다. 도 12는, 구동 시간에 대한 전원 전류의 변화를 측정된 결과이다. 전원은 12V 직류 전원을 사용했다. 종래 예의 구동 회로에서는, 20초 후에, 전원 전류가 초기값에 대해서 약 2배 증가했다. 본 실시예의 구동 회로에서는 40%정도 증가하였다. 따라서, 소비 전력을 저감하는 것이 가능해진다.
- [0057] (f_s 와 f_m 와의 관계의 허용 범위)
- [0058] 다음에, 압전 소자(101)에 직렬로 접속되어 있는 인덕터(102)와 캐패시터(103)에 의한 직렬 공진 주파수 f_s 와 진동체(501)의 공진 주파수 f_m 와의 관계의 허용 범위(f_s 와 f_m 의 거의 일치 범위)에 대해 설명한다. 본 실시예에서는, f_m 와 f_s 를 완전하게 일치시키고 있다. 그렇지만, 본 실시예는, f_s 와 f_m 를 완전하게 일치시키는 경우에 한정되지 않는다. 즉, f_s 와 f_m 를, 어느 범위 내의 가까운 값으로 설정하는 것으로, f_m 근방에서의 교류 전압 V_o 의 주파수 특성을 완만하게 할 수가 있다. 단, f_s 와 f_m 간의 차가 감소할수록, 그 효과는 커진다.
- [0059] 본 실시예에서는, f_s 의 효과 범위를 취득하기 위해, 압전 소자(101)의 공진 주파수 f_m 근방에 있어서의 교류 전압 V_o 의 위상 변화에 주목했다. 도 14a는, 교류 전압 V_o 의 위상을 나타내는 시뮬레이션 결과를 도시한 것이다. 횡축은 주파수이다. 도 14a는, 공진 주파수 f_m 를 44.142 kHz로 한 40kHz에서 48kHz까지의 V_o 의 위상의 변화를 나타낸 것이다. 이 시뮬레이션에서는, 도 1a의 구동 회로를 이용했다. 인덕터(102)와 캐패시터(103)에 의한 직렬 공진 주파수 f_s 와 f_m 의 비(f_s/f_m)를 0.73에서 1.2까지의 범위에서 변화시켰고, 그 변화된 비를 플롯(plot)했다.
- [0060] 여기에서, 피크 주파수 f_e 는 항상 $61.798 \text{ kHz}(=1.4 \cdot f_m)$ 가 되도록 L와 C의 값을 각각 조정해, f_s/f_m 를 변화시켰다. 피크 주파수 f_e 를 일정하게 하는 이유는, f_e 의 값에 따라 진동체(501)의 공진 주파수 f_m 근방에서의 V_o 의 진폭이 크게 변화하기 때문이다. 또, 비교를 하는데 있어서의 기준이 되는 종래의 구성으로서는, 도 5의 회로를 이용해 계산하고, 이 계산 결과를 플롯했다. 이 경우의 인덕터(102)의 자기 인덕턴스 L는 1.97 mH로 하고, 교류 전압 V_o 의 피크 주파수 f_e 를 $61.798 \text{ kHz}(=1.4 \cdot f_m)$ 가 되도록 설정했다.
- [0061] 도 14a는, 종래 예의 구성의 V_o 가 60° 까지 지연된 위상을 갖는다 것을 나타낸다. 한편, $f_s/f_m=1$ 이 되는 경우, V_o 의 위상 변화는 거의 생기지 않는다. 덧붙여, $f_s/f_m=1$ 인 경우, 인덕터(102)의 자기 인덕턴스 L는 4.17 mH이고, 캐패시터(103)의 정전 용량 C는 3.12 nF이다. $f_s/f_m < 1$ 의 충족도가 커지는 경향이 있어, 부(negative)측에 대한 위상의 변화가 커진다. $f_s/f_m > 1$ 의 충족도가 커짐에 따라, 정(positive)측에 대한 위상의 변화가 커진다.
- [0062] 도 14b는, 도 14a의 교류 전압 V_o 의 위상 변화와 교류 전압 V_o 의 진폭 변화의 관계를 조사하기 위해서, 주파수에 따른 교류 전압 V_o 의 변화를 나타내는 시뮬레이션의 결과이다. 시뮬레이션 조건은 도 14a와 같고, f_s/f_m 를 0.73에서 1.2까지의 범위에서 변화시킨 시뮬레이션 결과와 종래 예의 구성을 비교해 플롯했다. 도 14b에 나타난 위상의 변화량과 도 14a에 나타난 전압의 변화량의 경향은 대응하고 있다. 즉, V_o 의 위상의 변화가 클수록, V_o 의 진폭 변화는 커진다.
- [0063] 도 15는, f_s/f_m 의 변화에 따른, 종래 예의 구성에 대한 위상 변화량의 비율을 나타내는 시뮬레이션 결과이다.

횡축은 fs/fm이며, 진동체(501)의 공진 주파수 fm에 대한 fs의 비이다. 종축은 종래 예의 구성에 대한 위상 변화량의 비율이며, 다음과 같이 계산했다. 우선, 종래 예의 구성을 이용했을 경우의 Vo의 위상 변화량의 절대값을, 40 kHz에서 48 kHz까지의 범위에서 계산해, 최대값을 검출했다. 이것을 "종래의 구성의 위상 최대 변화량"이라고 한다. 다음에, 도 1a의 구성에 근거해, fs/fm를 파라미터로서 이용해 Vo의 위상 변화량의 절대값을 40 kHz에서 48 kHz까지의 범위에서 계산해, 최대값을 검출했다. 이것을 "fs/fm에 따른 위상 최대 변화량"이라고 한다. 종래 예의 구성에 대한 위상 변화량의 비율은, 양자의 비를 계산해서 얻은 종축으로, 아래와 같이 표현되어도 된다.

[0064] "fs/fm에 따른 위상 최대 변화량"/"종래의 구성의 위상 최대 변화량"

[0065] 본 실시예에서는, 도 15에 나타난 바와 같이, 종래 예의 구성에 대한 위상 변화량의 비율이 반이 되는 조건을 스톱밴드값으로서 정의하고, fm 근방에서의 교류 전압 Vo의 주파수 특성을 완만하게 할 수가 있는 범위를 취득했다. 이 결과, fs/fm의 효과를 얻을 수 있는 범위는, 아래와 같다.

[0066] $0.73 \cdot fm < fs < 1.2 \cdot fm$

[0067] 상기 범위는, 피크 주파수 fe를 61.798 kHz(=1.4*fm), 압전 소자(101)의 캐패시터 301a의 고유 정전 용량 Cd를 3.5 nF로 해서 계산했다. 그렇지만, 피크 주파수 fe 및/또는 고유 정전 용량 Cd의 값을 바꾸어도, 거의 동등의 계산 결과가 취득된다. 덧붙여, 상기 범위는 압전 소자(101)에 있어서의 등가 코일 301b의 자기 인덕턴스 Lm는 0.1 H, 등가 캐패시터 301c의 정전 용량 Cm는 130 pF, 등가 저항 301d의 저항값 Rm는 1 kΩ로 해서 계산했다.

[0068] 따라서, 상기 범위에 따라, 교류 전압 Vo의 위상차의 변화량을 절반 이하로 줄이는 것으로, 종래와 비교해 Vo의 변동량도 대체로 절반 이하로 줄이는 것이 가능해진다. 즉, fs와 fm를 완전하게 일치시키지 않아도, 상기 fs와 fm의 관계를 충족하는 것으로, fm 근방에서의 교류 전압 Vo의 주파수 특성을 종래에 비해 완만하게 할 수가 있다.

[0069] (인덕터(102)와 캐패시터(103)의 값의 결정 방법)

[0070] 다음에, 인덕터(102)와 캐패시터(103)의 값의 결정 방법에 대해 설명한다. 직렬 공진 주파수 fs는, 인덕터(102)의 인덕턴스 L와 캐패시터(103)의 정전 용량 C와의 적에 의해 정해지므로, 같은 fs에서도, 조합은 다수 존재한다. 이것에 대해서는, 교류 전압 Vo의 피크 주파수 fe를 최초로 결정하는 것으로, 1개의 조합을 취득할 수가 있다.

[0071] Vo의 피크 주파수 fe는, 인덕터(102)의 인덕턴스 L, 캐패시터(103)의 정전 용량 C, 및 압전 소자(101)의 고유 정전 용량 Cd로부터 산출할 수가 있다. 피크 주파수 fe는 식 1-3으로 표현되어도 된다.

[0072]
$$fe = 1 / \left(2\pi \sqrt{L \cdot \frac{C \cdot Cd'}{C + Cd'}} \right)$$

(1-3)

[0073] 여기서, 실제의 피크 주파수 fe를 계산하기 위해서, 압전 소자(101)를 등가적으로 캐패시터라고 간주하고, 기계적 진동 부분의 RLC 직렬 회로의 영향을 고려한 Cd'를 이용한다. 예를 들면, 기계적 진동 부분의 RLC 직렬 회로의 영향이 44 pF의 용량 변화에 대응하는 경우에는, 아래의 식을 이용해서 계산할 수가 있다.

[0074] $Cd' = Cd - 44 \text{ pF}$

[0075] 피크 주파수 fe의 식으로부터, fe의 값을 결정하는 것에 의해, 각각의 L와 C의 함수를 취득할 수가 있다. 도 16은, 피크 주파수 fe에 따른 인덕터(102)의 인덕턴스 L과 캐패시터(103)의 정전 용량 C와의 관계를 나타내는 도면이다. 횡축이 C의 값이고, 종축이 L의 값이다. fe가 1.4*fm, 1.5*fm, 2*fm인 경우에 있어서의, (식 1-3)로부터 취득되는 L와 C의 값을 각각 플롯했다. 게다가, L와 C의 적 LC가 LmCm가 되는 경우, 즉, 직렬 공진 주파수 fs가 fm와 일치하는 경우의 플롯도 나타냈다. 상술한 것처럼, Lm는 등가 코일 301b의 자기 인덕턴스를 나타내고, Cm는 등가 캐패시터 301c의 정전 용량을 나타낸다.

[0076] 도 16을 참조하면, fe를 고정했을 경우의 인덕터와 캐패시터의 함수는, LC=LmCm의 함수와 1개의 점에서 교차한다. 이 점이, fs가 fm와 일치하는 최적의 인덕턴스 L과 정전 용량 C의 값이다. 예를 들면, fe가 1.4*fm인 경우, L는 4.17 mH, C는 3.12 nF이다.

[0077] 다음에, fe의 값에 대해 설명한다. 본 발명에 의하면, 피크 주파수 fe의 조건은, 진동체(501)의 구동 주파수를 fd로 하면,

- [0078] $f_e < 2 * f_d$
- [0079] 상기의 관계를 충족하도록 설정하는 것이 바람직하다. 이 이유에 대해서는 다음에 설명한다.
- [0080] 도 13은, $f_e < 2 * f_d$ 의 관계를 충족하는 경우의 교류 전압 V_o 의 주파수 특성을 나타내는 도면이다. $2 * f_d$ 는, 구동 주파수 f_d 의 2차 고조파 주파수이다. 교류 전압 V_o 의 파형은, 2차 고조파 성분 및/또는 3차 고조파 성분을 가능한 적게 갖는 SIN 파형인 것이 바람직하다. 실제의 기기에 있어서의 교류 전압 V_o 의 구동 파형은 10%~50%의 펄스 듀티를 갖도록 조정되므로, 특히 3차 고조파 성분을 줄일 필요가 있다. 따라서, 피크 주파수 f_e 를 $2 * f_d$ 보다 낮은 값으로 설정하는 것으로, 3차 고조파 성분의 주파수 $2 * f_d$ 의 교류 전압 V_o 의 진폭을 구동 주파수 f_d 보다 작게 줄일 수가 있다. 예를 들면, 구동 주파수 f_d 를 46 kHz로 했을 경우, $2 * f_d$ 는 92 kHz이다. 이 경우, 인덕터(102)의 인덕턴스 L 를 4 mH, 캐패시터(103)의 정전 용량 C 를 3.25 nF로 설정하면, 피크 주파수 f_e 는 61.3 kHz가 되어, 상기 조건을 충족할 수가 있다.
- [0081] (제2의 실시예)
- [0082] 다음에, 제2의 실시예에 대해 설명한다. 본 실시예는, 트랜스포머(transformer)를 이용해 승압하는 점이 제1의 실시예와 다르다. 진동체인 진에 제거 장치의 구성과 진동 모드는 제1의 실시예와 동일하고, 이하에서는 구동 회로만을 설명한다.
- [0083] (구동 회로의 설명/트랜스포머 승압)
- [0084] 도 17a는 제2의 실시예에 있어서의, 진에 제거 장치의 구동 회로를 나타내는 도면이다. 구동 회로의 구성에서는, 압전 소자(101)에 트랜스포머(401)의 2차측 코일 401b가 병렬로 접속되어 있다. 또, 트랜스포머 1차측 코일 401a에 직렬로 캐패시터(103)가 접속되어 있다. 캐패시터(103)는 필름 캐패시터 등의 정전 용량 소자일 수도 있다. 또, 트랜스포머(401)의 결합을 약하게 하는 것으로, 트랜스포머 1차측 코일 401a의 누설 인덕턴스와 트랜스포머 2차측 코일 401b의 누설 인덕턴스를 인덕터로서 이용할 수가 있다.
- [0085] 도 17a는 이 누설 인덕턴스를 인덕터 102a(트랜스포머 1차측 코일 401a의 누설 인덕턴스), 102b(트랜스포머 2차측 코일 401b의 누설 인덕턴스)로서 등가적으로 나타낸 것이다. 이 2개의 누설 인덕턴스와 캐패시터(103)에 의해, 직렬 공진을 형성한다. 도 17a에서는 캐패시터(103)가, 트랜스포머 1차측 코일 401a의 아래쪽에 접속되어 있지만, 위쪽(인덕터 102a와 트랜스포머 1차측 코일 401a와의 사이)에 접속되어도 된다. 1차측의 누설 인덕턴스 102a와, 2차측의 누설 인덕턴스 102b와, 캐패시터(103)에 의한 직렬 공진 주파수를 f_s 로서 정의하고, 진동체(501)의 공진 주파수를 f_m 로서 정의하면, 아래의 식 2-1 및 2-2이 표현된다.
- [0086]
$$f_s = 1 / \left(2\pi \sqrt{\left\{ L_1 + \left(L_2 / N^2 \right) \right\} C} \right)$$
 (2-1)
- [0087]
$$f_m = 1 / \left(2\pi \sqrt{L_m C_m} \right)$$
 (2-2)
- [0088] 단, 트랜스포머 1차측 코일 401a의 누설 인덕턴스 102a를 L_1 , 트랜스포머 2차측 코일 401b의 누설 인덕턴스 102b를 L_2 , 2차측 코일 401b의 1차측 코일 401a에 대한 권선비(turns ratio)를 N , 캐패시터(103)를 C 로 한다.
- [0089] 상기한 것처럼, L_m 및 C_m 는 압전 소자(101)의 기계적인 진동의 등가 회로 정수이다. L_m 는 등가 코일 301b의 자기 인덕턴스이고, C_m 는 등가 캐패시터 301c의 정전 용량이다.
- [0090] 제1의 실시예와 같이, 직렬 공진 주파수 f_s 와 진동체(501)의 공진 주파수 f_m 를 완전하게 일치시키지 않아도, 이하의 범위에서 f_m 에 가까운 값으로 f_s 를 설정하는 것으로, f_m 근방에서의 교류 전압 V_o 의 주파수 특성을 완만하게 하는 것이 가능해진다.
- [0091] $0.73 * f_m < f_s < 1.2 * f_m$
- [0092] 트랜스포머를 이용하는 구성에서는, 인덕터(102)와 캐패시터(103)를 트랜스포머의 1차측과 2차측의 어느 쪽에 접속할지에 의해, f_s 의 산출식에 있어서의 LC와 관련되는 계수가 다르다. 구성으로서는, 이하의 4개의 타입으로 대별된다.
- [0093] (1) 트랜스포머의 1차 측에 LC가 접속되는 구성.
- [0094] (2) 트랜스포머의 2차 측에 LC가 접속되는 구성.

- [0095] (3) 트랜스포머의 1차 측에 L, 트랜스포머의 2차 측에 C가 접속되는 구성.
- [0096] (4) 트랜스포머의 1차 측에 C, 트랜스포머의 2차 측에 L가 접속되는 구성.
- [0097] 상기 (1)과 (2)에 있어서는, LC와 관련된 계수는 1이다. 이것에 대해서, (3)에서는, 계수가 $N^2 \cdot LC$ 이다. 이것은, 1차측의 L이 2차 측으로 환산하면, 트랜스포머의 권선비 N의 2승에 대응하기 때문이다. 또, (4)에서는, 계수가 $(1/N^2) \cdot LC$ 이다. 이것은, 1차측의 C가 2차 측으로 환산하면, 트랜스포머의 권선비 N의 2승분의 1에 대응하기 때문이다. 인덕터(102)와 캐패시터(103)의 값의 결정 방법에 대해서는, 제1의 실시예와 같다. 즉, 교류 전압 V_0 의 피크 주파수 f_e 를 최초로 결정하는 것으로, 1개의 조합을 취득할 수가 있다.
- [0098] 또, 피크 주파수 f_e 는, 아래의 관계를 충족하도록 설정된다.
- [0099] $f_e < 2 \cdot f_d$
- [0100] 단, 제1의 실시예와 같이, 진동체(501)의 구동 주파수를 f_d 로 한다.
- [0101] (제2의 실시예의 제1 변형예)
- [0102] 도 17b는, 제2의 실시예에 있어서의 진에 제거 장치의 구동 회로의 제1 변형예를 나타내는 도면이다. 구동 회로의 구성에서는, 압전 소자(101)에 트랜스포머(401)의 2차측 코일 401b가 병렬로 접속되고, 트랜스포머 1차측 코일 401a에 직렬로 인덕터(102)와 캐패시터(103)가 접속되어 있다. 인덕터(102)와 캐패시터(103)가, 트랜스포머 1차측 코일 401a에 직렬로 접속되어 있으면, 도 17b에 나타낸 구성 이외의 다른 구성이 구현되어도 된다. 인덕터(102)가 트랜스포머(401)의 1차 측에 접속되는 것으로, 2차 측에 접속하는 경우에 비해서, 인덕턴스 값이 $1/N^2$ 만큼 작은 소자를 이용할 수가 있다. 이 경우에, N는 권선비이다. 또, 캐패시터(103)가, 트랜스포머(401)의 1차 측에 접속되는 것으로, 2차 측에 접속하는 경우에 비해, $1/N$ 의 내압을 갖는 소자를 이용할 수가 있다. 인덕터(102)를 L, 캐패시터(103)의 정전 용량을 C로 하면, 직렬 공진 주파수를 f_s 는 식 1-1과 같은 아래의 식(2-3)으로 표현될 수도 있다.
- [0103] (2-3) $f_s = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$
- [0104] 이 f_s 는 진동체(501)의 공진 주파수 f_m 와 대략 일치시켜도 된다.
- [0105] (제2의 실시예의 제2 변형예)
- [0106] 도 17c는, 제2의 실시예에 있어서의 진에 제거 장치의 구동 회로의 제2 변형예를 나타내는 도면이다. 구동 회로의 구성에서는, 압전 소자(101)에 트랜스포머(401)의 2차측 코일 401b가 병렬로 접속되고, 트랜스포머 1차측 코일 401a에는 직렬로 캐패시터(103)가 접속되며, 트랜스포머 2차측 코일 401b에는 직렬로 인덕터(102)가 접속되어 있다. 인덕터(102)가 트랜스포머(401)의 2차 측에 접속되는 것으로, 1차 측에 접속하는 경우에 비해서, 전류 허용치가 $1/N$ 만큼 작은 소자를 이용할 수가 있다. 이 경우, N는 권선비이다. 인덕터(102)의 인덕턴스를 L, 캐패시터(103)의 정전 용량을 C로 하면, 직렬 공진 주파수를 f_s 는, 아래의 식 2-4으로 표현될 수 있다.
- [0107] (2-4) $f_s = 1 / (2\pi\sqrt{LC/N^2})$
- [0108] 이 f_s 는 진동체(501)의 공진 주파수 f_m 와 대략 일치시키면 된다.
- [0109] (제2의 실시예의 제3 변형예)
- [0110] 도 17d는, 제2의 실시예에 있어서의 진에 제거 장치의 구동 회로의 제3 변형예를 나타내는 도면이다. 구동 회로의 구성에서는, 압전 소자(101)에 트랜스포머(401)의 2차측 코일 401b가 병렬로 접속되고, 트랜스포머 1차측 코일 401a에는 직렬로 인덕터(102)가 접속되며, 트랜스포머 2차측 코일 401b에는 직렬로 캐패시터(103)가 접속되어 있다. 인덕터(102)가 트랜스포머(401)의 1차 측에 접속되는 것으로, 2차 측에 접속하는 경우에 비해서, 인덕턴스가 $1/N^2$ 만큼 작은 소자를 이용할 수가 있다. 또, 캐패시터(103)도, 트랜스포머(401)의 2차 측에 접속되는 것으로, 1차 측에 접속하는 경우에 비해서, 캐패시턴스가 $1/N^2$ 만큼 작은 소자를 이용할 수가 있다. 이 경우의 직렬 공진 주파수를 f_s 는, 아래의 식 2-5로 표현될 수 있다.

$$f_s = 1 / \left(2\pi \sqrt{LC \cdot N^2} \right)$$

[0111]

(2-5) 이 f_s 는 진동체(501)의 공진 주파수 f_m 와 대략 일치시켜도 된다.

[0112]

(제2의 실시예의 제4 변형예)

[0114]

도 17e는, 본 제2의 실시예에 있어서의 진애 제거 장치의 구동 회로의 제4 변형예를 나타내는 도면이다. 구동 회로의 구성에서는, 압전 소자(101)에 트랜스포머(401)의 2차측 코일 401b가 병렬로 접속되며, 트랜스포머 2차측 코일 401b에는 직렬로 인덕터(102)와 캐패시터(103)가 접속되어 있다. 인덕터(102)가 트랜스포머(401)의 2차측에 접속되는 것으로, 1차 측에 접속하는 경우에 비해서, 전류 허용치가 $1/N$ 만큼 작은 소자를 이용할 수가 있다. 또, 캐패시터(103)도, 트랜스포머(401)의 2차 측에 접속되는 것으로, 1차 측에 접속되는 경우에 비해서, $1/N^2$ 의 정전 용량을 갖는 소자를 이용할 수가 있다. 이 경우의 직렬 공진 주파수를 f_s 는, 아래의 식(2-6)으로 표현될 수 있다.

[0115]

$$(2-6) \quad f_s = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

[0116]

이 f_s 는 압전 소자(101)의 공진 주파수 f_m 와 일치시켜도 된다.

[0117]

(제3의 실시예)

[0118]

다음에, 제3의 실시예에 대해 설명한다. 본 실시예는, 진동체(501)에 2개의 진동 모드가 교대로 여기되는 점이 제1의 실시예와 다르다. 진동체(501)와 구동 회로의 구성은 제1 및 제2의 실시예와 동일하다. 제어장치에 있어서의 지령부의 주파수 정보와 위상 정보의 설정이 제1 및 제2의 실시예와 다르므로, 여기되는 진동이 정재파 진동이 된다.

[0119]

(정재파 진동과 구동 방법)

[0120]

도 18a는, 압전 소자에 인가되는 교류 전압의 주파수와 압전 소자에 생기는 각 진동의 진폭을 나타내는 그래프이다. 이 경우, $f(m)$ 는 m 차의 면외 벤딩 진동의 공진 주파수이며, $f(m+1)$ 는 $(m+1)$ 차의 면외 벤딩 진동의 공진 주파수이다. 도 18a 및 18b에서, $f(m)$ 를 역상 구동에 의해 여기되는 10차의 면외 벤딩 진동 모드(제1의 진동 모드), $f(m+1)$ 를 동상 구동에 의해 여기되는 11차의 면외 벤딩 진동 모드(제2의 진동 모드)로 한다. 본 실시예에서는, 이 2개의 진동 모드의 정재파를 교대로 여기해, 탄성체인 광학 부재의 표면에 부착한 진애를 제거한다.

[0121]

제1의 실시예에 대해 도 7을 참조해 설명했지만, 본 실시예에 있어서도 마찬가지로 10차의 면외 벤딩 진동을 제1의 진동 모드(파형 A(실선))로 하고, 11차의 면외 벤딩 진동을 제2의 진동 모드(파형 B(파선))로 한다. 제1의 진동 모드 A 및 제2의 진동 모드 B는, 진동체(501)를 광학 부재(502)의 두께 방향으로 벤딩 변형시키는 면외 벤딩 진동 모드이다. 제1의 진동 모드 A의 변형 형상은, 좌단과 우단에서 역상(위상차 180°)을 갖는다. 한편, 제2의 진동 모드 B의 변형 형상은, 좌단과 우단에서 동상(위상차 0°)으로 되어 있다. 즉, 압전 소자 101a와 압전 소자 101b에 인가하는 교류 전압의 위상차를 180° 로 설정하면, 제1의 진동 모드 A만이 공진 상태에서 여기된다. 반대로 위상차를 0° 로 설정하면, 제2의 진동 모드 B가 여기된다.

[0122]

도 18b는, 차수가 다른 2개의 정재파 진동을 교대로 여기할 때에, 각 압전 소자에 인가하는 교류 전압의 예를 나타내는 도면이다. 제어장치는, 도 4에 나타난 것을 이용한다. 교류 전압 V_0 1은 압전 소자 101a에 인가하는 전압 파형이며, 교류 전압 V_0 2는 압전 소자 101b에 인가하는 전압 파형을 나타낸다. 종축은 전압 진폭이며, 횡축은 시간을 나타낸다.

[0123]

상기 2개의 진동 모드의 진동을 교대로 생성하기 위해서, 우선, 진동체(501)의 10차의 벤딩 진동 모드의 고유 진동수 근방의 주파수를 갖고, 위상차가 180° 이 되는 교류 전압을 압전 소자 101a, 101b에 인가한다(역상 구동). 이러한 교류 전압을 인가함으로써, 진동체(501)에 10차의 벤딩 진동 모드가 여기된다. 소정의 시간, 10차의 벤딩 진동 모드를 여기한 후, 다음에, 진동체(501)의 11차의 벤딩 진동 모드의 고유 진동수 근방의 주파수를 갖고, 위상차가 0° 이 되는 교류 전압을 압전 소자 101a, 101b에 인가한다(동상 구동). 이러한 교류 전압을 인가함으로써, 진동체(501)에 11차의 벤딩 진동 모드가 여기된다.

[0124]

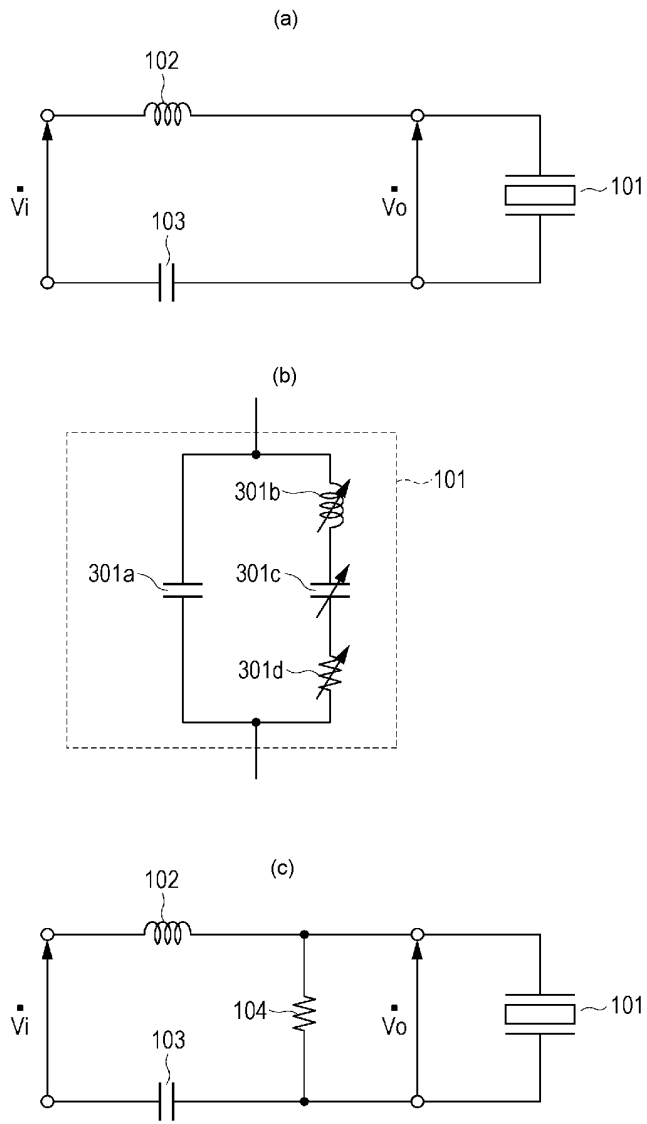
제1의 진동 모드를 여기하는 경우, 구동 회로의 소자 변동(variation) 등의 영향에 의해, 각 교류 전압의 위상차가 오차의 범위 내에서 180° 으로부터 시프트한 경우에도, 진동체(501)에 발생하는 진동에서 제1의 진동 모드의 진동이 지배적인 경우에는, 위상차가 180° 이라고 간주한다. 마찬가지로, 제2의 진동 모드를 여기하는 경우,

구동 회로의 소자 변동 등의 영향에 의해, 각 교류 전압의 위상차가 오차의 범위 내에서 0° 로부터 시프트한 경우에도, 진동체(501)에 발생하는 진동에서 제2의 진동 모드의 진동이 지배적인 경우에는, 위상차가 0° 라고 간주한다.

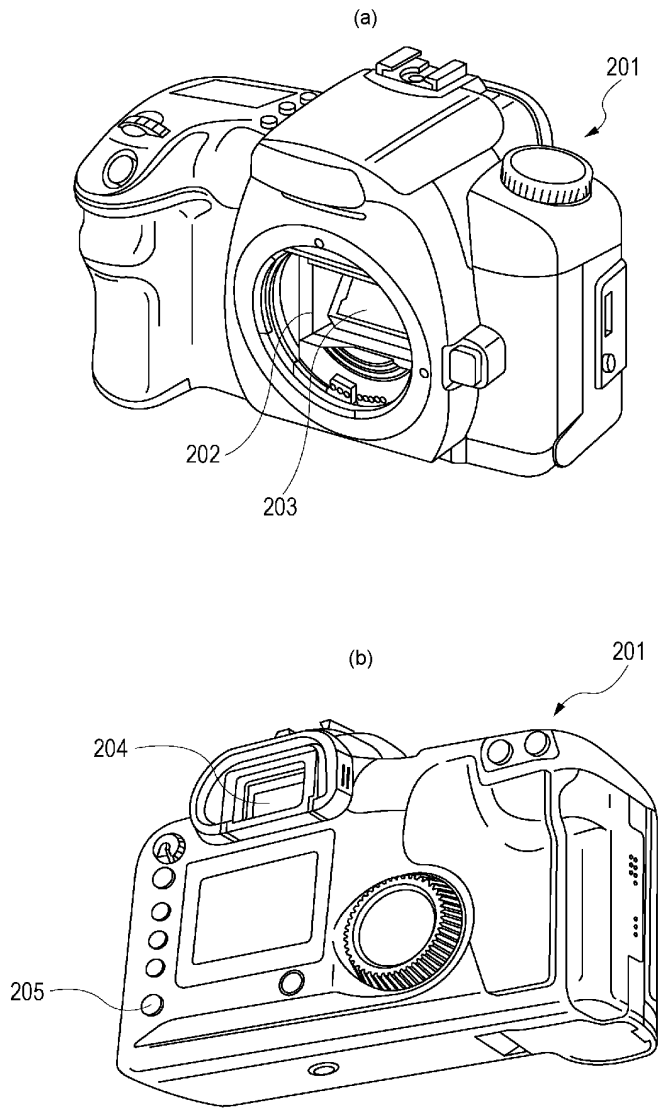
- [0125] 이상의 구동(역상 구동과 동상 구동)을 반복하는 것으로, 10차와 11차의 면의 벤딩 진동 모드의 진동이 교대로 여기된다. 상기 구동시의 교류 전압 Vo 1 및 Vo 2는, 도 18b에 나타낸 바와 같이, 각 고유 주파수 근방에서, 고주파측으로부터 서서히 저주파측으로 스위프(sweep)해 나가면 된다. 진동체(501)의 고유 주파수 근방의 교류 전압의 주파수는, 작은 인가 전압으로도 큰 진폭을 제공할 수 있어, 효율을 향상시킬 수가 있다.
- [0126] 이와 같이, 진동체(501)에 제1의 진동 모드의 진동을 일으키게 하는 것으로, 제1의 진동 모드의 진동의 배(腹:anti-nodal) 위치에서의 광학 부재(502)에 부착한 진애를 박리한다. 좀더 구체적으로는, 제1의 진동 모드의 진동에 의해, 광학 부재(502)에 부착한 진애의 부착력 이상의 가속도가, 진애에 가해졌을 때, 진애는 광학 부재(502)로부터 박리된다. 또한, 진동체(501)에 제2의 진동 모드의 진동을 일으키게 하는 것으로, 제1의 진동 모드의 진동의 노드(node) 근방의 광학 부재(502)에 부착한 진애를 박리한다. 차수가 다른 정재파를 여기하는 것으로, 서로 다른 위치에 2개의 정재파의 노드를 발생시켜, 광학 부재(502)에 진폭이 생기지 않는 위치를 설치하지 않는다.
- [0127] 상기 교류 전압을 압전 소자 101a, 101b의 한편에만 인가하는 것으로, 진애 제거 장치의 진동체(501)에 1개의 면의 벤딩 진동의 정재파를 여기시켜도 된다. 또, 본 실시예와 같이, 다른 차수의 진동 모드에서 발생하는 진동을 시간 간격으로 시프트시키는 경우, 탄성체에 설치되는 압전 소자의 개수는 상술한 것 같은 2개에 한정하지 않고, 1개여도 된다. 이 경우, 위상차의 설정은 없고, 단지 압전 소자에 인가하는 교류 전압의 주파수를 스위프(sweep)해 구동한다.
- [0128] 본 발명은 예시적인 실시 예를 참조하면서 설명되었지만, 본 발명은 이 개시된 예시적인 실시 예에 한정되는 것이 아니라는 것이 이해될 것이다. 이하의 특허청구범위의 범주는 모든 변형 및 균등구조 및 기능을 포함하도록 가장 넓게 해석되어야 할 것이다.

도면

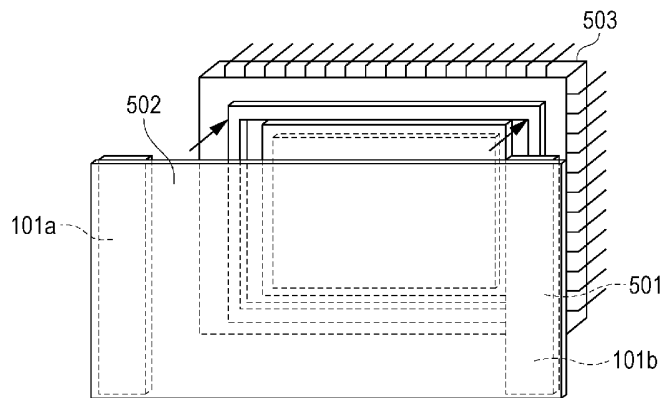
도면1



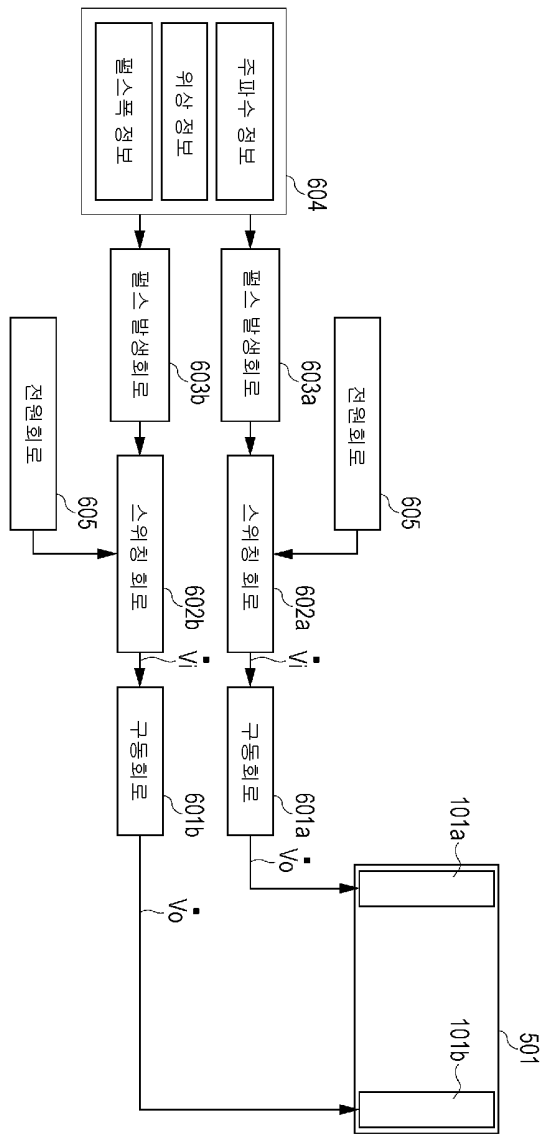
도면2



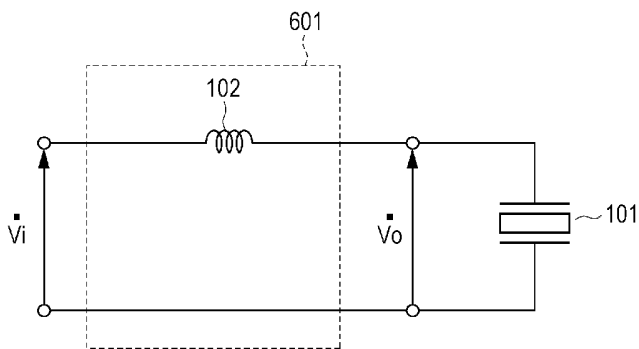
도면3



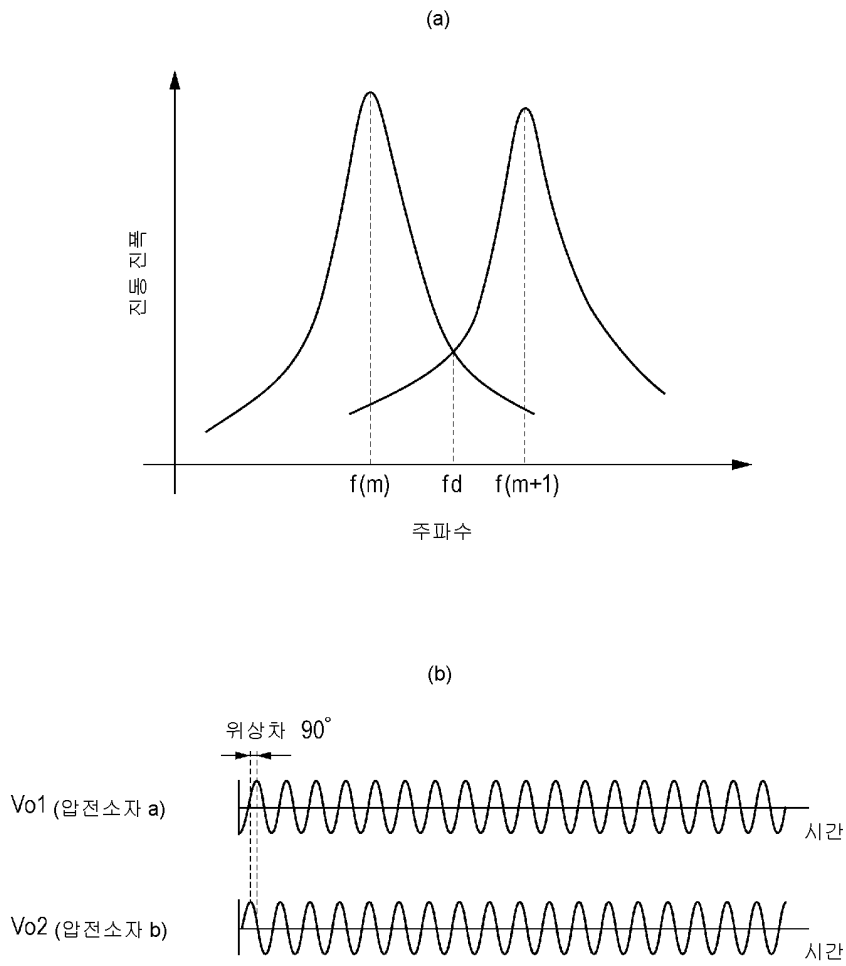
도면4



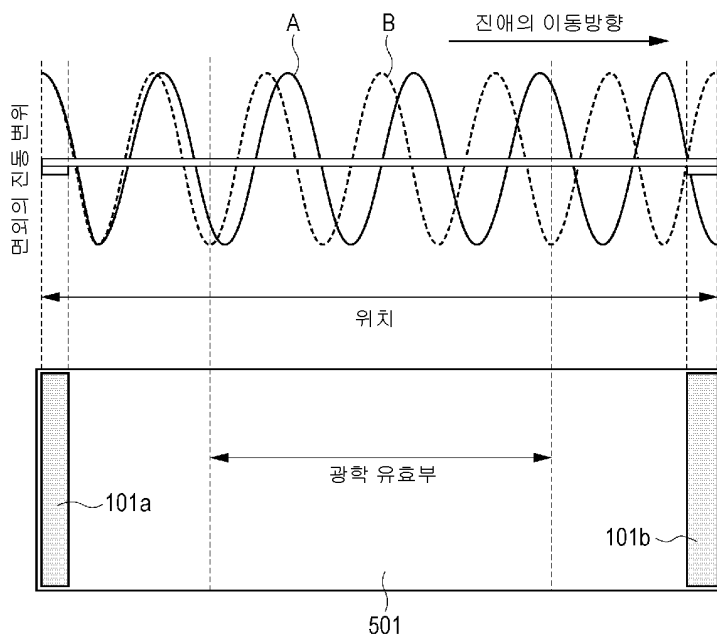
도면5



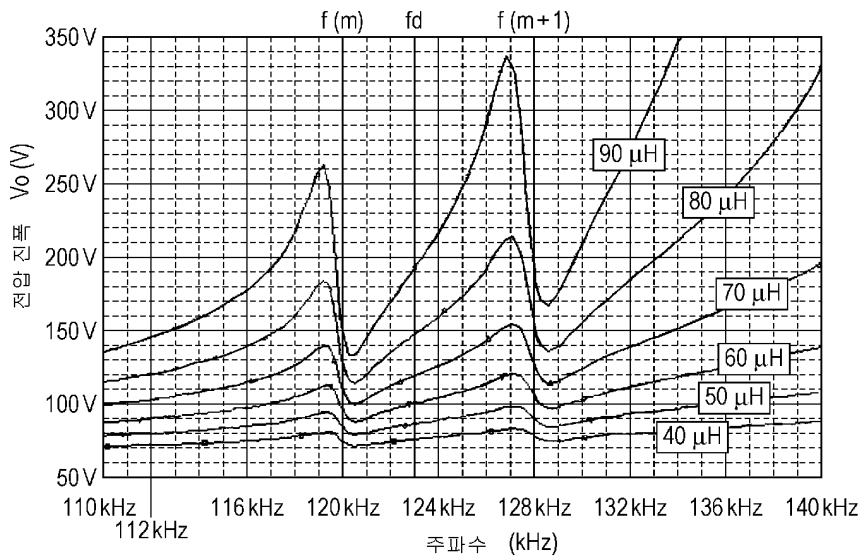
도면6



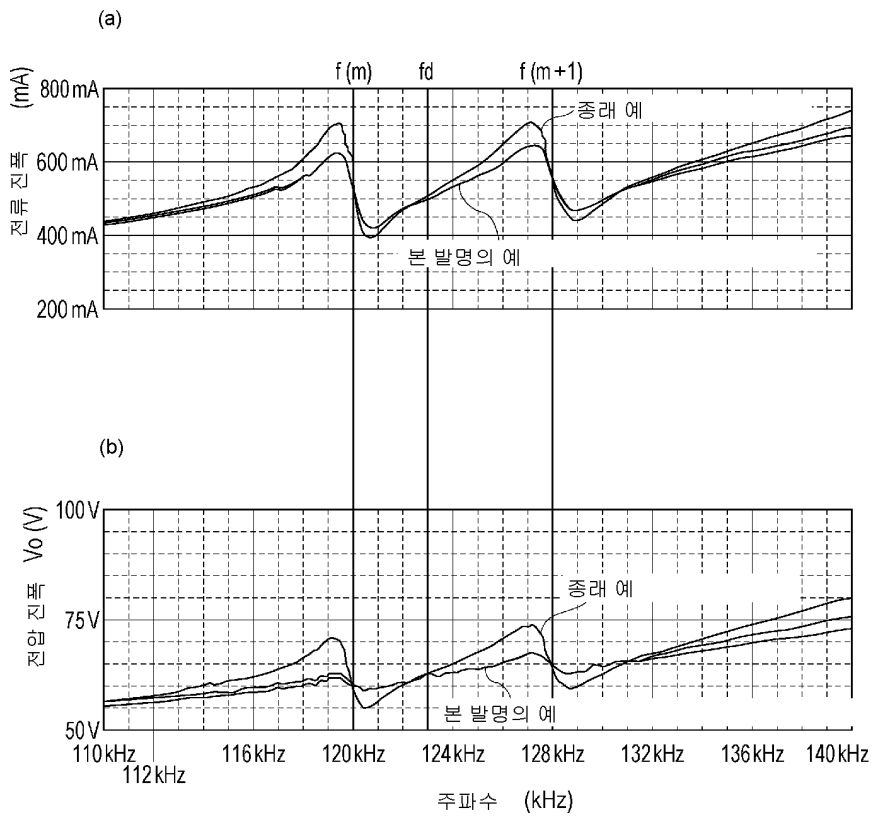
도면7



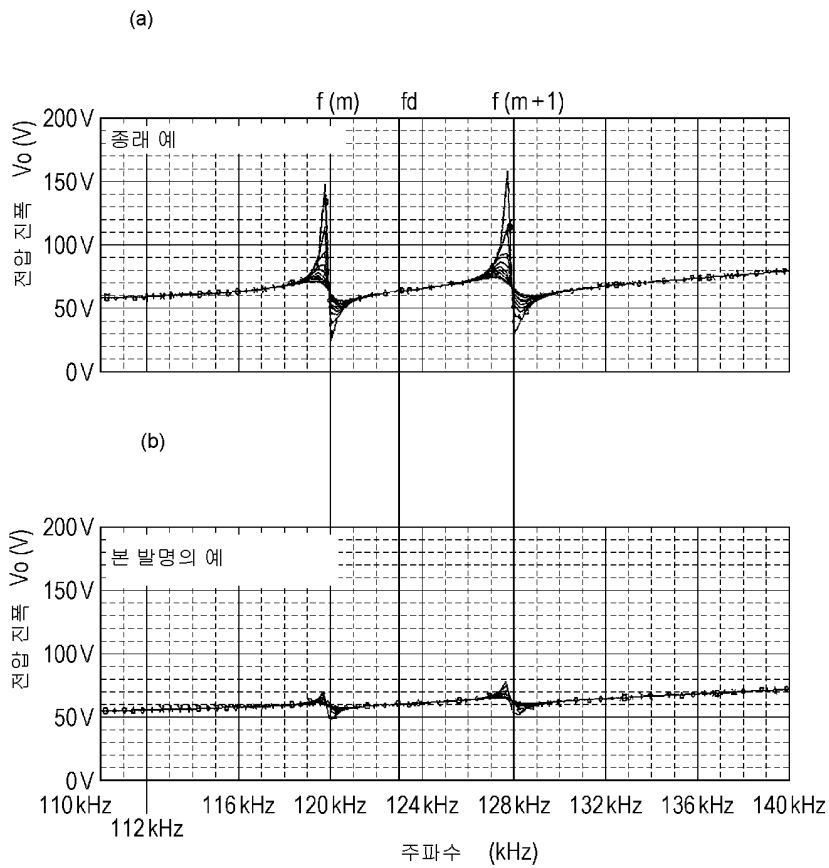
도면8



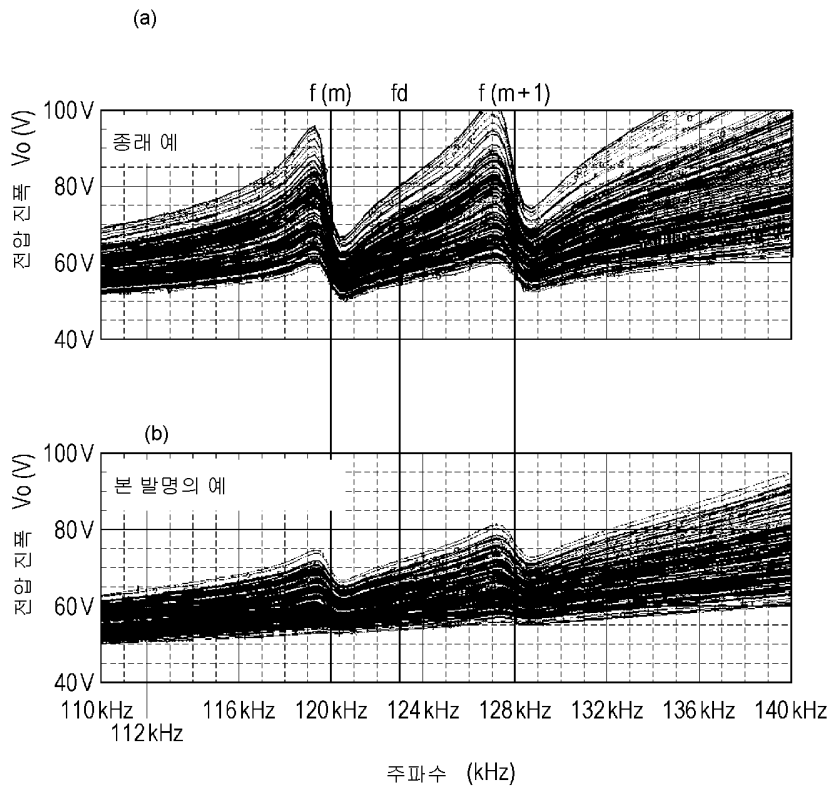
도면9



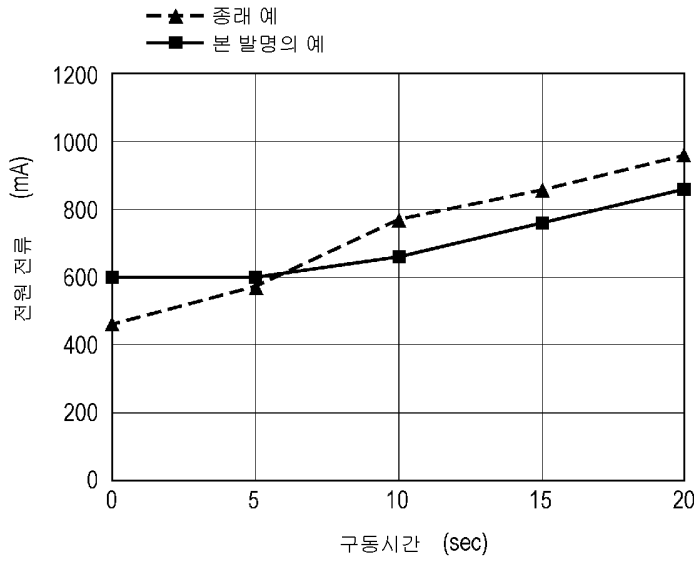
도면10



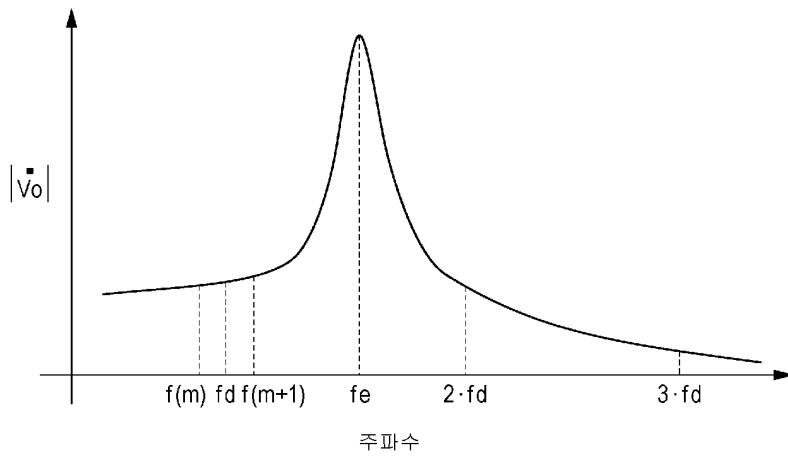
도면11



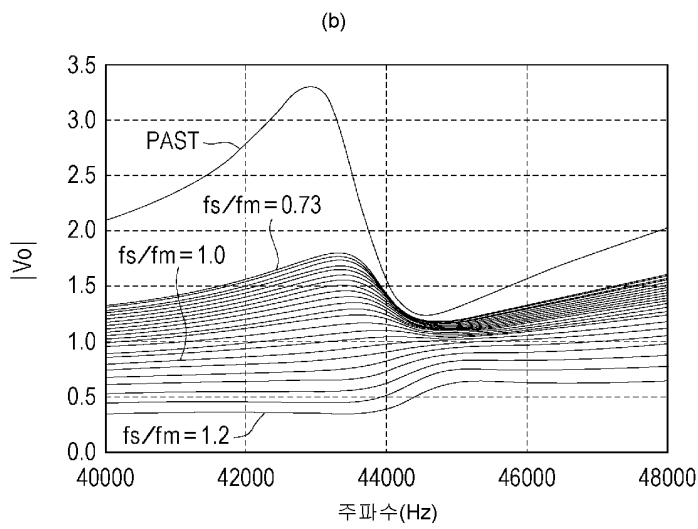
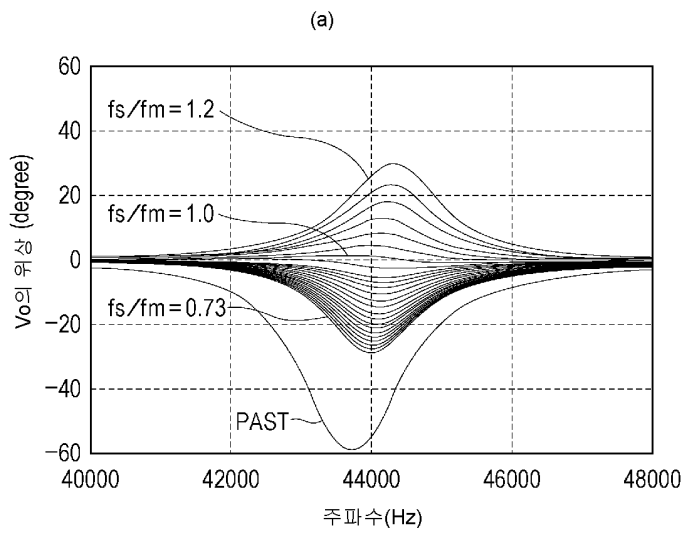
도면12



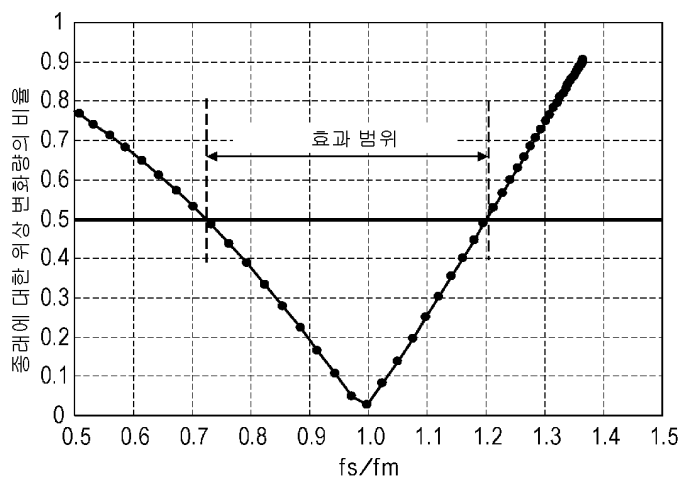
도면13



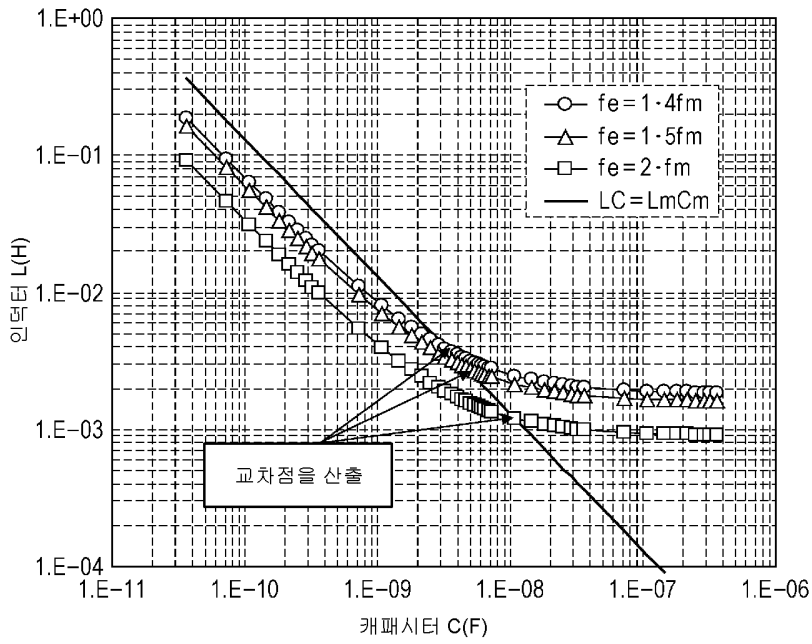
도면14



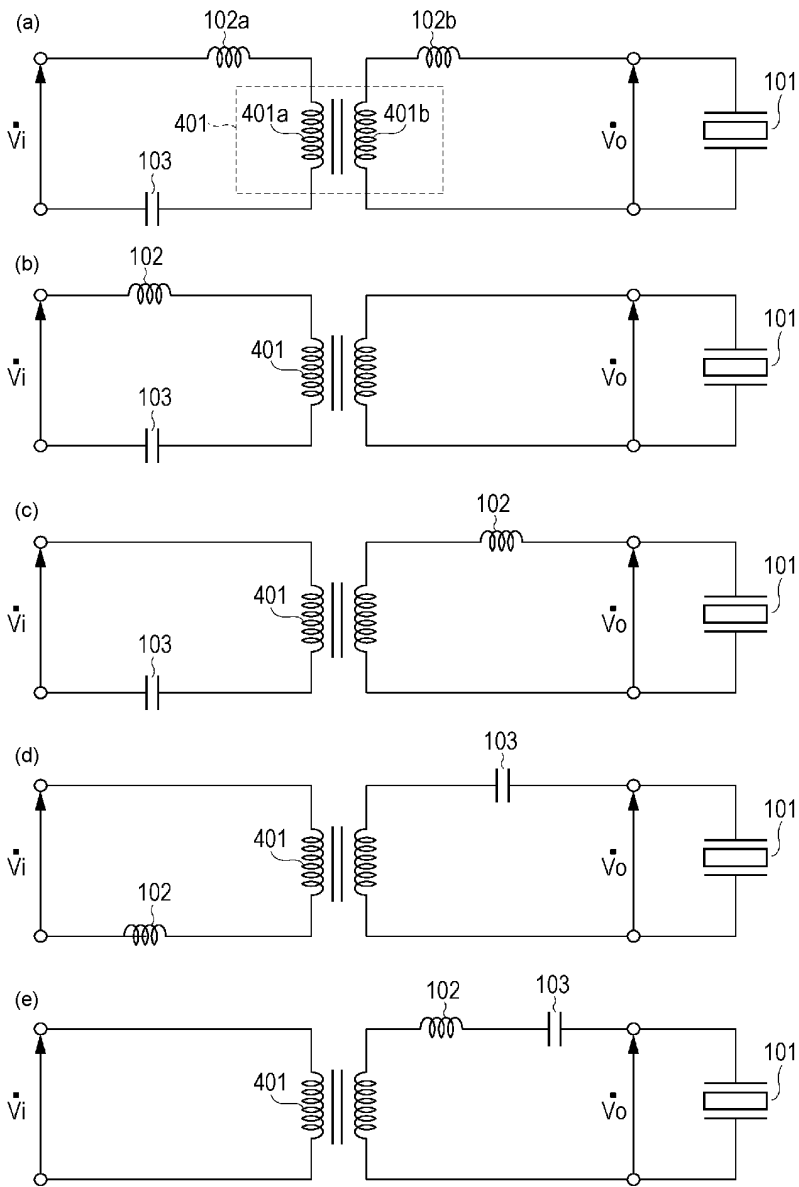
도면15



도면16



도면17



도면18

