(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0169700
(43) 공개일자 2024년12월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F16H 55/08 (2006.01) *F16H 1/06* (2006.01)
F16H 1/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F16H 55/0806 (2013.01)
F16H 1/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7036839
(22) 출원일자(국제) 2023년04월07일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년11월05일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2023/000207
(87) 국제공개번호 WO 2023/194804
국제공개일자 2023년10월12일
(30) 우선권주장
2205215.3 2022년04월08일 영국(GB)

(71) 출원인
샹--로카텔리 이피. 살타페스, 에스테반 조프리 조셉
프랑스 73170 라 발므 루뜨 데 깡띠니에르 410
(72) 발명자
샹--로카텔리 이피. 살타페스, 에스테반 조프리 조셉
프랑스 73170 라 발므 루뜨 데 깡띠니에르 410
(74) 대리인
양영준, 노대웅

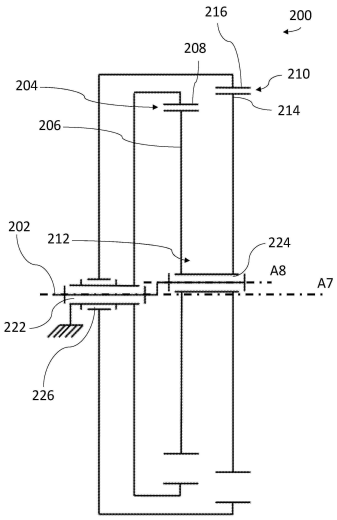
전체 청구항 수 : 총 23 항

(54) 발명의 명칭 **기어 배열**

(57) 요 약

기어박스는 작은 치형 차이를 갖는 내부-외부 기어 쌍을 포함하고, 내부-외부 기어 쌍은: 내부 기어 축을 중심으로 배열되고 제1 개수의 내부 기어 치형을 갖는 내부 기어; 및 내부 기어 축을 공전하도록 배열된 외부 기어 축을 갖고 제2 개수의 외부 기어 치형을 갖는 외부 기어를 포함하고, 외부 기어는 내부 기어 치형과 맞물리도록 배열되며; 제1 개수의 외부 기어 치형과 제2 개수의 내부 기어 치형 사이의 작은 치형 차이는 내부 기어 치형 개수의 5분의 1보다 작고; 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은, 프로파일 시프트가 없는, 또는 내부-외부 기어 쌍의 작동 압력 각도가 프로파일 시프트가 적용되지 않은 경우의 내부-외부 기어 쌍의 공칭 압력 각도를 20% 초과 만큼 초과하는 값 미만의 프로파일 시프트를 갖는 인벌류트 형상을 하고; 내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 갖는다. 이러한 기어박스는 개선된 효율성을 제공할 수 있다.

대 표 도 - 도8a



(52) CPC특허분류
F16H 1/32 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

작은 치형 개수 차이를 갖는 내부-외부 기어 쌍을 포함하는 기어박스이며, 내부-외부 기어 쌍은:

내부 기어 축을 중심으로 배열되고 제1 개수의 내부 기어 치형을 갖는 내부 기어; 및

내부 기어 축을 공전하도록 배열된 외부 기어 축을 갖고 제2 개수의 외부 기어 치형을 갖는 외부 기어를 포함하고, 외부 기어는 내부 기어 치형과 맞물리도록 배열되며;

제1 개수의 외부 기어 치형과 제2 개수의 내부 기어 치형 사이의 작은 치형 개수 차이는 내부 기어 치형 개수의 5분의 1보다 작고;

내부 기어 치형과 외부 기어 치형은, 프로파일 시프트가 없는, 또는 외부 기어 치형과 내부 기어 치형의 각각의 작동 압력 각도가 외부 기어 치형의 작동 압력 각도의 20% 초과만큼 차이가 나는 값 미만의 프로파일 시프트를 갖는 인벌류트 형상을 갖고;

내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 갖는, 기어박스.

청구항 2

제1항에 있어서, 동일한 기하형상을 갖고 재료의 변형이 없는 기어박스에 대해 계산된 내부-외부 기어 쌍의 이론적 접촉 비율은 1보다 작은, 기어박스.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.7 미만, 임의로 0.6 미만의 어덴덤 계수를 갖는, 기어박스.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.3 초과, 임의로 0.5 초과의 어덴덤 계수를 갖는, 기어박스.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 내부 기어의 프로파일 시프트 계수는 0.1 미만이고, 임의로 0.05 미만이며, 임의로 0.04 미만이며, 더 임의로 0.03 미만이고, 더욱 더 임의로 0.02 미만이며, 더욱 더 임의로 0.01 미만이고, 더욱 더 임의로 0.00인, 기어박스.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 동일한 기하형상을 갖고 재료의 변형이 없는 기어박스에 대해 계산된 외부-내부 기어 쌍의 이론적 접촉 비율은 0.8 미만이고, 임의로 0.6 미만이며, 더욱 더 임의로 0.4 미만인, 기어박스.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 외부 기어의 피치 직경은 내부 기어의 피치 직경의 적어도 절반인, 기어박스.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 사용 시 생성된 기어박스의 하중 접촉 비율은 동일한 형상을 갖고 재료 변형이 없는 기어박스에 대해 계산된 이론적 접촉 비율보다 100% 초과하여 더 크고; 임의로 사용 시 생성된 기어박스의 하중 접촉 비율은 이론적 접촉 비율보다 200% 초과하여 더 크며; 더 임의로 400% 초과하여 더 크

고, 더욱 더 임의로 500% 초과하여 더 크며, 더욱 더 임의로 1000% 초과하여 더 큰, 기어박스.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 내부 기어 치형과 외부 기어 치형의 어덴덤 계수의 합은 1.6 미만인, 기어박스.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 외부-내부 기어 쌍은 내부 기어 축과 외부 기어 축을 통과하는 반경이 외부 및 내부 기어의 피치 원을 교차하는 지점으로 정의되는 순간 회전 중심(ICR)을 갖고, 외부 기어와 내부 기어 사이에 하중을 전달하는 모든 치형 쌍은 ICR을 중심으로 센터링된 20도 원호 내에 포함되는, 기어박스.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 내부 기어와 외부 기어는 각각 40개 이상의 치형을 갖는, 기어박스.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 내부 기어와 외부 기어는 0° 의 나선 각도를 갖는, 기어박스.

청구항 13

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 외부 기어는 제1 외부 기어이고, 내부 기어는 제1 내부 기어이며, 기어박스는 제1 외부 기어에 결합된 제2 외부 기어 및 제1 내부 기어에 대해 이동 가능한 제2 내부 기어를 더 포함하며, 제2 외부 기어는 제2 내부 기어 내부에 있고 제2 내부 기어와 맞물리도록 배열되는, 기어박스.

청구항 14

제13항에 있어서, 제2 외부 기어와 제2 내부 기어는 제2 내부 기어의 기어 치형 개수의 5분의 1보다 작은 치형 개수 차이를 갖는 제2 작은 치형 차이의 내부-외부 기어 쌍을 형성하고;

제2 내부 기어 치형과 제2 외부 기어 치형은, 프로파일 시프트가 없는, 또는 제2 외부 기어 치형과 제2 내부 기어 치형의 각각의 작동 압력 각도가 제2 외부 기어 치형의 작동 압력 각도의 20% 초과만큼 차이가 나는 값 미만의 프로파일 시프트를 갖는 인벌류트 형상을 가지며;

제2 내부 기어 치형과 제2 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 갖는, 기어박스.

청구항 15

제13항 또는 제14항에 있어서, 제1 외부 기어는 제2 외부 기어에 고정되고 제2 내부 기어는 내부 기어 축을 중심으로 제1 내부 기어에 대해 회전하도록 배열되는, 기어박스.

청구항 16

제13항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 제1 외부 기어를 구동하여 제1 내부 기어 축을 공전하도록 입력을 제공하면 내부 기어 축을 중심으로 한 제1 및 제2 내부 기어 사이의 상대 회전으로서 출력이 유발되는, 기어박스.

청구항 17

제13항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 제1 내부 기어와 제1 외부 기어 사이의 맞물림과 제2 내부 기어와 제2 외부 기어 사이의 맞물림은 회전축에 직교하는 공통 평면과 중첩되는, 기어박스.

청구항 18

제13항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 제3 내부 기어와 제3 외부 기어를 더 포함하며, 제3 외부 기어는 제3 내부 기어 내부에 있고 제3 내부 기어와 맞물리도록 배열되며,

제3 외부 기어는 제1 및 제2 외부 기어에 결합되어 제2 외부 기어가 제1 및 제3 외부 기어 사이에 있게 되고,

제3 내부 기어는 제1 내부 기어에 대해 고정되는, 기어박스.

청구항 19

제13항 내지 제17항 중 어느 한 항에 따른 제1 기어박스와 제13항 내지 제17항 중 어느 한 항에 따른 제2 기어박스를 포함하는 대칭 기어박스이며,

제1 내부 기어들은 함께 고정되고 제2 내부 기어들은 함께 고정되며,

제1 기어박스와 제2 기어박스는 대칭적으로 그리고 동축으로 배열되는, 대칭 기어박스.

청구항 20

제19항에 있어서, 제1 및 제2 기어박스의 각각의 외부 기어는 서로 180° 위상이 다르게 내부 기어 축을 중심으로 공전하도록 배열되는, 대칭 기어박스.

청구항 21

내부-외부 기어 쌍이며,

내부 기어 축을 중심으로 배열되고 제1 개수의 내부 기어 치형을 갖는 내부 기어; 및

내부 기어 축을 공전하도록 배열된 외부 기어 축을 갖고 제2 개수의 외부 기어 치형을 갖는 외부 기어를 포함하고, 외부 기어는 내부 기어 치형과 맞물리도록 배열되며;

내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 기어 치형의 작동 부분의 중간점에서 측정된 각각의 압력 각도를 갖고, 압력 각도는 외부 기어 치형의 압력 각도의 20% 미만 만큼 차이가 나며;

내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 갖는, 기어 쌍.

청구항 22

제21항에 있어서, 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 기어 치형의 각각의 작동 부분의 각각의 중간점에서 측정된 동일한 각각의 압력 각도를 갖는, 기어 쌍.

청구항 23

내부-외부 기어 쌍이며,

내부 기어 축을 중심으로 배열되고 제1 개수의 내부 기어 치형을 갖는 내부 기어; 및

내부 기어 축을 공전하도록 배열된 외부 기어 축을 갖고 제2 개수의 외부 기어 치형을 갖는 외부 기어를 포함하고, 외부 기어는 내부 기어 치형과 맞물리도록 배열되며;

내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 표준 모듈을 갖고 프로파일 시프트가 없으며;

내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 갖는, 기어 쌍.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 작은 기어 치형-차이의 내부-외부 기어 쌍 및 토크 변환 기어박스에서의 그 용도에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 내부-외부 기어 쌍은 내향 기어 치형이 있는 환형 기어와 환형 기어 내부에 위치된 외향 기어 치형이 있는 비교적 큰 피니언을 가질 수 있다. 이렇게 큰 피니언의 경우, 표준 기어 프로파일과 모듈러스는 2개의 기어의 기어 팁 사이에 간섭(치형 간섭이라고 알려짐)를 초래할 수 있다. 간섭을 해결하는 알려진 방법은 기어 치형 프로파일에 프로파일 시프트를 적용하는 것을 포함하지만, 프로파일 시프트된 기어는 기어의 효율성이 감소될 수 있다.

[0003] 작은 치형-차이의 내부-외부 기어 쌍의 개선된 배열이 요구된다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0004] 본 발명의 제1 양태에 따르면, 작은 치형 개수 차이를 갖는 내부-외부 기어 쌍을 포함하는 기어박스가 제공되며, 내부-외부 기어 쌍은 다음 특징 중 임의의 것 또는 전부를 포함하고, 기어 쌍은: 내부 기어 축을 중심으로 배열되고 제1 개수의 내부 기어 치형을 갖는 내부 기어; 및 내부 기어 축을 공전하도록 배열된 외부 기어 축을 갖고 제2 개수의 외부 기어 치형을 갖는 외부 기어를 포함하고, 외부 기어는 내부 기어 치형과 맞물리도록 배열되며; 제1 개수의 외부 기어 치형과 제2 개수의 내부 기어 치형 사이의 작은 치형 차이는 내부 기어 치형 개수의 5분의 1보다 작고; 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은, 프로파일 시프트가 없는, 또는 외부 기어 치형과 내부 기어 치형의 압력 각도가 외부 기어 치형의 작동 압력 각도의 20% 초과만큼 차이가 나는 값 미만의 프로파일 시프트를 갖는 인벌류트 형상을 갖는다. 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 0.8 미만의 어덴덤 계수(addendum coefficient)를 가질 수 있다. 이러한 기어박스는 개선된 효율성을 제공할 수 있다.

[0005] 개시된 내부-외부 기어 쌍 중 임의의 것에 있어서, 내부 기어와 외부 기어에 의해 형성된 기어 쌍의 작동 압력 각도는 프로파일 시프트가 적용되지 않은 경우의 동일한 기어 쌍의 공칭 압력 각도를 20% 미만, 임의로 15%, 10% 또는 5% 미만 만큼 초과할 수 있다.

[0006] 개시된 내부-외부 기어 쌍에 있어서, 기어 치형 플랭크의 작동 부분의 중간점에서 측정된 내부 및 외부 기어 치형의 압력 각도는 동일할 수 있다. 임의로, 압력 각도는 외부 기어 치형의 압력 각도의 20% 미만 만큼 차이가 날 수 있다.

[0007] 개시된 내부-외부 기어 쌍 중 임의의 것에 있어서, 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은, 프로파일 시프트가 없는, 또는 내부-외부 기어 쌍의 작동 압력 각도가 프로파일 시프트가 적용되지 않은 경우의 내부-외부 기어 쌍의 공칭 압력 각도를 20% 초과 만큼 초과하는 값 미만의 프로파일 시프트를 갖는 인벌류트 형상을 가질 수 있다. 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 0.8 미만의 어덴덤 계수(addendum coefficient)를 가질 수 있다. 이러한 기어박스는 개선된 효율성을 제공할 수 있다.

[0008] 본 명세서에 개시된 기어 쌍의 임의의 것의 내부 기어 치형과 외부 기어 치형의 어덴덤 계수의 합은 1.6 미만일 수 있다.

[0009] 동일한 기하형상을 갖고 재료 변형이 없는 기어박스에 대해 계산된 외부 내부 기어 쌍의 이론적 접촉 비율은 1보다 작을 수 있다. 낮은 접촉 비율은 프로파일 시프트가 없고 어덴덤 계수가 0.8 미만인 결과로서 달성될 수 있으며, 재료 변형 후 1 이상의 접촉 비율은 실제로 기어박스가 토크를 더 일관되게 전달하게 할 수 있다.

[0010] 어덴덤 계수는 0.7 미만, 임의로 0.6 미만일 수 있다. 이는 베어링에 유격이 있을 수 있는 경우 트로코이드 간섭(trochoidal interference)을 피하기 위한 추가 간극을 제공할 수 있으며 외부 기어와 내부 기어 사이의 치형 차이가 매우 작은 경우에도 필요할 수 있다.

[0011] 어덴덤 계수는 0.3보다 클 수 있으며, 더 바람직하게는 0.5보다 클 수 있다. 이를 통해 치형 플랭크 상의 표면 응력이 감소되어, 기어의 수명을 개선시킬 수 있다.

[0012] 동일한 기하형상을 갖고 재료 변형이 없는 기어박스에 대해 계산된 내부-외부 기어 쌍의 이론적 접촉 비율은 0.8 미만일 수 있고, 임의로 0.6 미만 및 0.4 미만일 수 있다.

[0013] 내부 기어의 프로파일 시프트 계수는 0.05 미만일 수 있고, 임의로 0.04 미만일 수 있으며, 더 임의로 0.03 미만일 수 있고, 더욱 더 임의로 0.02 미만일 수 있으며, 더욱 더 임의로 0.01 미만일 수 있다. 프로파일 시프트가 없을 수도 있다.

[0014] 외부 기어의 피치 직경은 내부 기어의 피치 직경의 적어도 절반일 수 있다. 내부 기어는 외부 기어의 치형과 접촉하는 동안 외부 기어의 축을 덮거나 중첩될 수 있다.

[0015] 사용 시 생성된 기어박스의 하중 접촉 비율은 동일한 형상을 갖고 재료 변형이 없는 기어박스에 대해 계산된 이론적 접촉 비율보다 100% 초과하여 더 클 수 있고; 임의로 사용 시 생성된 기어박스의 하중 접촉 비율은 이론적 접촉 비율보다 200% 초과하여 더 클 수 있으며; 더 임의로 400% 초과하여 더 클 수 있고; 더욱 더 임의로 500% 초과하여 더 클 수 있으며, 더욱 더 임의로 1000% 초과하여 더 클 수 있다. 이를 통해, 최적의 압력 각도를 유지하면서, 기어가 바람직하지 않게 접촉하지 않기 때문에 간섭을 겪지 않는 기어박스가 초래될 수 있고, 기어박

스는 상이한 치형 사이에 효과적으로 하중을 분산시키는 높은 유효 접촉 비율로 인해 사용 시 마모가 감소될 수 있다. 기어박스는 또한 증가된 효율성을 보일 수 있다. 프로파일 시프트는 0.1 미만일 수 있다.

[0016] 내부-외부 기어 쌍은 내부 기어 축과 외부 기어 축을 통과하는 반경이 내부 및 외부 기어의 피치 원을 교차하는 지점으로 정의되는 순간 회전 중심(ICR)을 가질 수 있고, 외부 기어와 내부 기어 사이에 하중을 전달하는 모든 치형 쌍은 ICR을 중심으로 센터링된 20도 원호 내에 포함될 수 있다.

[0017] 내부 기어와 외부 기어는 각각 40개 이상의 치형을 가질 수 있다.

[0018] 외부 기어는 제1 외부 기어일 수 있고, 내부 기어는 제1 내부 기어일 수 있으며, 기어박스는 제1 외부 기어에 결합된 제2 외부 기어 및 제1 내부 기어에 대해 이동 가능한 제2 내부 기어를 더 포함할 수 있으며, 제2 외부 기어는 제2 내부 기어 내부에 있고 제2 내부 기어와 맞물리도록 배열된다. 이러한 방식으로, 더 높은 기어비를 제공하는 차동 행성 기어박스가 형성될 수 있다.

[0019] 제2 외부 기어와 제2 내부 기어는 제2 내부 기어의 기어 치형 개수의 5분의 1보다 작은 치형 차이를 갖는 제2 작은 치형 개수 차이의 내부-외부 기어 쌍을 형성할 수 있고; 제2 내부 기어 치형과 제2 외부 기어 치형은, 프로파일 시프트가 없는, 또는 제2 외부 기어 치형과 제2 내부 기어 치형의 각각의 작동 압력 각도가 제2 외부 기어 치형의 작동 압력 각도의 20% 초과만큼 차이가 나는 값 미만의 프로파일 시프트를 갖는 인벌류트 형상을 가질 수 있으며; 제2 내부 기어 치형과 제2 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 가질 수 있다.

[0020] 일반적으로, 제1 및 제2 내부-외부 기어 쌍은, 제1 및 제2 외부 기어 사이 및/또는 제1 및 제2 내부 기어 사이의 치형 차이를 제외하고는 실질적으로 유사하게 설계될 수 있다.

[0021] 제1 외부 기어는 제2 외부 기어에 고정될 수 있고 제2 내부 기어는 내부 기어 축을 중심으로 제1 내부 기어에 대해 회전하도록 배열될 수 있다.

[0022] 제1 외부 기어를 구동하여 제1 내부 기어 축을 공전하도록 입력을 제공하면 내부 기어 축을 중심으로 한 제1 및 제2 내부 기어 사이의 상대 회전으로서 출력이 유발될 수 있다.

[0023] 제1 내부 기어와 제1 외부 기어 사이의 맞물림은 제2 내부 기어와 제2 외부 기어 사이의 맞물림과 축방향으로 정렬될 수 있다. 다시 말해서, 2개의 기어 쌍은 기어의 회전축에 수직인 평면에 정렬된 맞물림을 가질 수 있다. 이는 맞물림력으로 인한 기어의 비틀림을 감소시킬 수 있고, 또한 더 콤팩트한 기어박스를 제공할 수 있다.

[0024] 제1 및 제2 외부 기어 중 하나 또는 양자 모두는 단차형 부분을 포함할 수 있으며, 그에 따라 기어의 치형은 기어의 중심부와 상이한 평면에 있을 수 있다. 이를 통해 기어를 콤팩트하게 패키징할 수 있다.

[0025] 제1 내부 기어와 제1 외부 기어 사이의 맞물림과 제2 내부 기어와 제2 외부 기어 사이의 맞물림은 바람직하게는 회전축 중 하나 또는 양자 모두에 직교하는 공통 평면(P1)과 중첩될 수 있고, 추가로 동일 평면상에 있을 수 있다.

[0026] 기어박스는 제3 내부 기어와 제3 외부 기어를 더 포함할 수 있으며, 제3 외부 기어는 제3 내부 기어 내부에 있고 제3 내부 기어와 맞물리도록 배열되며, 제3 외부 기어는 제1 및 제2 외부 기어에 결합될 수 있어 제2 외부 기어가 제1 및 제3 외부 기어 사이에 있게 될 수 있고, 제3 내부 기어는 제1 내부 기어에 대해 고정될 수 있다. 이는 외부 기어의 축방향 균형 잡힘으로 인해 토크 용량이 더 큰 대칭 기어박스를 제공할 수 있어, 외부 기어의 비틀림을 감소시킬 수 있다.

[0027] 모든 기어는 스퍼 기어, 즉, 비-헬리컬 기어일 수 있다. 기어의 치형은 기어의 회전축과 실질적으로 평행할 수 있다. 나선 각도와 접촉 비율은 기어 설계 시 함께 고려되는 상호 관련된 특징이며, 본 명세서에 설명된 접촉 비율은 헬리컬 기어에서는 복제되지 않을 수 있다는 점에 유의해야 한다.

[0028] 본 발명의 제2 양태에 따르면, 제1 양태에 따른 제1 기어박스와 제1 양태에 따른 제2 기어박스를 포함하는 대칭 기어박스가 제공되며, 제1 양태의 기어박스는 각각 복수의 외부 기어와 복수의 내부 기어를 갖고, 제1 내부 기어들은 함께 고정되고 제2 내부 기어들은 함께 고정되며, 제1 기어박스와 제2 기어박스는 대칭적으로 그리고 동축으로 배열된다.

[0029] 제1 및 제2 기어박스의 각각의 외부 기어는 서로 180° 위상이 다르게 내부 기어 축을 중심으로 공전하도록 배열될 수 있다. 다시 말해서, 각각의 외부 기어는 내부 기어 축을 중심으로 정반대일 수 있다. 이는 더 균형 잡

힌 외부 기어 세트 및 더 균형 잡힌 기어박스를 전반적으로 제공할 수 있다.

[0030] 본 발명의 제3 양태에 따르면, 다음의 특징 중 임의의 것 또는 전부를 포함하는 내부-외부 기어 쌍이 제공되고, 기어 쌍은: 내부 기어 축을 중심으로 배열되고 제1 개수의 내부 기어 치형을 갖는 내부 기어; 및 내부 기어 축을 공전하도록 배열된 외부 기어 축을 갖고 제2 개수의 외부 기어 치형을 갖는 외부 기어를 포함하고, 외부 기어는 내부 기어 치형과 맞물리도록 배열되며; 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 기어 치형의 작동 부분의 중간점에서 측정된 각각의 압력 각도를 갖고, 압력 각도는 외부 기어 치형의 압력 각도의 20% 미만 만큼 차이가 나며; 내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 각각 갖는다. 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 동일한 압력 각도를 가질 수 있다.

[0031] 본 발명의 제4 양태에 따르면, 다음의 특징 중 임의의 것 또는 전부를 포함하는 내부-외부 기어 쌍이 제공되고, 기어 쌍은: 내부 기어 축을 중심으로 배열되고 제1 개수의 내부 기어 치형을 갖는 내부 기어; 및 내부 기어 축을 공전하도록 배열된 외부 기어 축을 갖고 제2 개수의 외부 기어 치형을 갖는 외부 기어를 포함하고, 외부 기어는 내부 기어 치형과 맞물리도록 배열되며; 내부 기어 치형과 외부 기어 치형은 표준 모듈을 갖고 프로파일 시프트가 없으며; 내부 기어 치형과 외부 기어 치형 중 적어도 하나는 0.8 미만의 어덴덤 계수를 각각 갖는다.

[0032] 본 발명의 제5 양태에 따르면, 다음의 특징 중 임의의 것 또는 전부를 포함하는 기어박스가 제공되고, 기어 박스는: 제1 내부-외부 기어 쌍 및 제2 내부-외부 기어 쌍을 포함하고, 제1 내부-외부 기어 쌍은 제1 내부 기어와 제1 외부 기어를 포함하며, 제1 외부 기어는 제1 내부 기어 내부에 배열되고 제1 내부 기어와 맞물리며, 제2 내부-외부 기어 쌍은 제2 내부 기어와 제2 외부 기어를 포함하고, 제2 외부 기어는 제2 내부 기어 내부에 배열되며 제2 내부 기어와 맞물리고, 제1 및 제2 내부 기어는 서로에 대해 회전 가능하며, 제1 및 제2 외부 기어는 함께 고정되고, 제1 외부 기어는 단차형 부분을 갖고, 그에 따라 제1 내부 기어와 제1 외부 기어의 맞물림과 제2 내부 기어와 제2 외부 기어의 맞물림이 공통 평면에서 적어도 부분적으로 중첩된다.

[0033] 이는 더 콤팩트한 기어박스를 제공할 수 있고 외부 기어 사이의 오프셋이 감소될 수 있으므로 외부 기어의 비틀림이 감소될 수 있다.

[0034] 제1 및 제2 내부 기어는 제1 축을 중심으로 회전 가능할 수 있고, 제1 및 제2 외부 기어는 제1 축을 공전할 수 있으며, 및/또는 공통 평면은 제1 축에 수직일 수 있다.

[0035] 제1 및 제2 외부 기어는 복합 피니언 기어를 형성할 수 있으며, 복합 피니언 기어는 제2 내부 기어를 적어도 부분적으로 수용하기 위한 리세스를 가질 수 있다. 제2 내부 기어는 리세스에 완전히 수용될 수 있다.

[0036] 제1 내부 기어와 제1 외부 기어의 맞물림 및 제2 내부 기어와 제2 외부 기어의 맞물림은 동일 평면상에 있을 수 있다. 전체적으로, 제1 내부 기어, 제2 내부 기어, 제1 외부 기어 및 제2 외부 기어의 치형은 동일 평면상에 있을 수 있다.

[0037] 기어박스는 제1 및 제2 외부 기어를 이동시키도록 배열된 크랭크 형상의 입력 샤프트를 더 포함할 수 있다. 입력 샤프트는 기어박스에 토크를 가하는 데 사용될 수 있다. 내부 기어 중 하나는 고정될 수 있고 내부 기어 중 하나는 이동 가능할 수 있어, 토크는 이동 가능한 내부 기어로부터 출력될 수 있다.

[0038] 본 발명의 제5 양태에 따른 기어박스의 기어는 본 발명의 임의의 다른 양태를 참조하여 설명된 치형의 임의의 특징 또는 모든 특징을 포함하는 치형을 가질 수 있다.

[0039] 본 발명의 제3 및/또는 제4 양태의 임의의 특징 또는 특징들은 본 발명의 제1 및 제2양태의 전술한 속성 및 특징 중 임의의 것과 조합될 수 있다. 본 발명의 제5 양태의 임의의 특징 또는 모든 특징은 본 발명의 제1 양태 내지 제4 양태의 전술한 속성 및 특징 중 임의의 것과 조합될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0040] 도 1은 트로코이드 간섭을 보이는 작은 치형 차이의 내부-외부 기어 쌍을 도시하고;

도 2는 프로파일 시프트를 보이고 트로코이드 간섭이 없는 작은 치형 차이의 내부-외부 기어 쌍을 도시하며;

도 3은 프로파일 시프트가 없고 어덴덤 계수가 낮으며 트로코이드 간섭이 없는 작은 치형 차이 내부-외부 기어 쌍을 도시하고;

도 4는 어덴덤 계수의 변화에 따른 기어 치형 프로파일의 변동을 예시하며;

도 5a 내지 도 5c는 특정 기하학적 속성이 라벨 표시된 프로파일 시프트된 기어를 도시하고;

도 6a 내지 도 6c는 특정 기하학적 속성이 라벨 표시된 프로파일 시프트가 없는 기어를 도시하며;

도 7은 내부-외부 기어 쌍의 순간 회전 중심을 예시하는데, 동시에 접촉하고 있는 치형을 도시하고;

도 8a는 본 발명의 실시예에 따른 제1 기어박스를 도시하는 개략도이며;

도 8b는 본 발명의 실시예에 따른 제1 기어박스를 도시하는 단면도이고;

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 제2 기어박스를 도시하는 개략도이며;

도 10a는 본 발명의 실시예에 따른 제3 기어박스를 도시하는 개략도이고;

도 10b는 본 발명의 실시예에 따른 제3 기어박스를 도시하는 단면도이며;

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 제4 기어박스를 도시하는 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 작은 치형 차이의 내부-외부 기어 쌍은 고비율 기어 박스나 토크 컨버터를 생성할 때 유용할 수 있다. 이러한 기어 쌍은 2 스테이지 쌍으로 사용되어, 비교적 고속의 저토크 입력을 저속, 고토크 출력으로 전환할 수 있는 고비율 기어박스를 생성할 수 있다. 이러한 기어박스의 효율성은 치형 프로파일이 어떻게 배열되어 있는지에 따라 달라질 수 있다. 추가로, 고비율 기어박스를 역방향으로 구동하는 능력, 즉, 저속 고토크 입력을 출력에 적용하여 입력에서 비교적 고속 저토크 출력을 생성하는 능력은 특정 용례에서 중요할 수 있다. 이는 기어박스의 역구동성(back-driveability)이라고 지칭될 수 있다. 기어박스의 손실을 최소화하는 것은 어느 하나의 구동 방향에서 기어박스의 역구동성과 전체 효율성을 가능하게 하는 데 중요하다. 발명자는 작은 치형 차이의 내부 외부 기어 쌍의 기어를 설계하는 데 오랫동안 적용되어 온 표준 접근법이 기어 쌍의 전체 성능에 유해한 결과를 제공할 수 있다는 것을 확인하였다.

[0042] 각각의 기어의 치형 개수 간에 비교적 작은 차이가 있는 내부 기어와 외부 기어를 갖는 이러한 기어박스를 제공하는 경우, 도 1에 도시된 바와 같이 2개의 기어의 치형이 간섭할 수 있다는 문제가 발생할 수 있다.

[0043] 도 1은 내부 기어(12)와 외부 기어(16)를 갖는 기어 배열(10)을 도시하며, 내부 기어(12)는 47개의 치형(14)과 피치 원(C1)을 갖고, 내부 기어 치형(14)은 외부 기어(16)의 외부 기어 치형(18)과 맞물리도록 배열되며, 외부 링 기어(16)는 50개의 외부 치형(18)과 피치 원(C2)을 갖는다.

[0044] 기어에 대해 다양한 다른 용어가 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 내부 기어(12)는 기어 치형이 외부를 향하고 있으므로 피니언, 스퍼 기어 또는 외부 기어라고도 지칭될 수 있다. 유사하게, 외부 기어(14)는 기어 치형이 내부를 향하고 있으므로 환형 기어, 링 기어 또는 내부 기어라고도 지칭될 수 있다. 내부 기어(12)와 외부 기어(14)는 모두 직선 기어, 즉, 비-헬리컬 기어일 수 있다.

[0045] 내부 기어(16)는 내부 기어 축(A2)을 중심으로 센터링되고, 외부 기어(12)는 외부 기어 축(A1)을 중심으로 센터링된다. 적절한 배열에서, 외부 기어(12)는 외부 기어(12)가 회전됨에 따라 내부 기어 축(A2)을 공전할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 일부 배열에서, 외부 기어 축(A1) 및 내부 기어 축(A2)은 고정된 상태로 유지될 수 있고 외부 기어(12) 및 내부 기어(16)는 각각의 축(A1, A2)을 중심으로 각각 회전할 수 있다. 내부-외부 기어 쌍을 사용하는 기어박스의 운동학적 구성은 이후 도면과 관련하여 더 상세히 설명된다.

[0046] 맞물림 영역(24)에서, 외부 기어(12)의 치형(14)은 내부 기어 치형(18)과 맞물린다. 이 영역에서, 각각의 치형(14, 18)의 플랭크가 서로 접촉하여, 2개의 기어(12, 16) 사이에 토크를 전달한다.

[0047] 도 1의 치형은 표준 모듈과 인벌류트를 갖게 설계된다(표준 기어 모듈은 널리 알려진 일본 산업 표준 JIS B 1701(1973)에 따르며, 해당 기어 세부 사항은 아래에 참조로 포함됨). 표준 기어 치형은 또한 20° 의 공칭 압력 각도를 갖는다. JIS B 1701은 일반적으로 사용되는 인벌류트 스퍼 기어와 헬리컬 기어의 치형 프로파일과 치수를 특정한다. 치형의 크기는 모듈 m으로 표현된다. 모듈 m의 표준 값은 아래 표 1에 mm 단위를 사용하여 제공된다. 표준 모듈은 시리즈 No.1, No.2, 및 No.3 중 임의의 모듈인 것이 바람직하다.

표 1

시리즈 No.1	시리즈 No. 2	시리즈 No. 3	시리즈 No. 1	시리즈 No. 2	시리즈 No. 3
0.1				3.5	
	0.15				3.75
0.2			4		
	0.25			4.5	
0.3			5		
	0.35			5.5	
0.4			6		
	0.45				6.5
0.5				7	
	0.55		8		
0.6				9	
		0.65	10		
	0.7			11	
	0.75		12		
0.8				14	
	0.9		16		
1				18	
1.25			20		
1.5				22	
	1.75		25		
2				28	
	2.25		32		
2.5				36	
	2.75		40		
3				45	
		3.25	50		

표 1. 모듈의 표준 값

[0048]

[0049] 치형 프로파일 곡선은 표준 압력 각도(α_0)가 20° 인 인벌류트 곡선이어야 하며, 치수는 표 2에 특정된 바와 같이 되어야 한다. 그러나, 이 표준에서 프로파일 수정은 특정되어 있지 않다. 다른 표준 치형 프로파일은 25° 뿐만 아니라 14.5° , 20° , 22.5° , 25° 및 30° 를 포함한 압력 각도를 가질 수 있다.

표 2

항목	스퍼 기어		헬리컬 기어			
			일반 시스템		횡단 시스템	
	표준 기어	프로파일 시프트된 기어	표준 기어	프로파일 시프트된 기어	표준 기어	프로파일 시프트된 기어
모듈	m		m_x		m_s	
표준 압력 각도	$\alpha_0=20°$		$\alpha_x=20°$		$\alpha_s=20°$	
표준 피치 원 직경	zm		$zm_x/cos\ \beta_0$		zm_s	
전체 깊이	$h\geq2.25\ m$		$h\geq2.25m_x$		$h\geq2.25m_s$	
어덴덤 수정량	0	xm	0	x_nm_x	0	X_sm_s
어덴덤	m	(1+x)m	m_x	$(1+x_n)m_x$	m_s	$(1+x_s)m_s$
횡원형 두께	$\frac{\pi m_n}{2}$	$\left(\frac{\pi}{2}\pm2\,x\tan\alpha_0\right)m$	$\frac{\pi m_n}{2cos\beta_0}$	$\left(\frac{\pi}{2}\pm2\,x_x\tan\alpha_x\right)\frac{m_x}{cos\beta_0}$	$\frac{\pi m_s}{2}$	$\left(\frac{\pi}{2}\pm2\,x_s\tan\alpha_s\right)m_s$

표 2. 인벌류트 스퍼 기어 및 헬리컬 기어의 치수

[0050]

[0051] 프로파일 시프트 계수는 작동 압력 각도, α_w, 공칭 압력 각도, α(허용 표준에 따른 공칭 압력 각도는 일반적으로 20° 이며, 또한 위에 제공된 다른 예도 마찬가지임), 관련 각도에 대한 인벌류트 함수, inv, 및 내부 기어의 치형 개수 z_1 및 외부 기어의 치형 개수 z_2에 기초하여 계산될 수 있다. 헬리컬 기어의 경우, 나선 각도(β)도 사용될 수 있다. 아래 수학식은 제1 기어의 프로파일 시프트 계수(x_1)를 결정하는 데 사용될 수 있으며, 재배열을 사용하여 제2 기어의 프로파일 시프트 계수(x_2)를 결정할 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0052] $$x_1 = x_2 - (\frac{inv\alpha_w - inv\alpha}{2tan\alpha})(z_2 - z_1)$$

[0053] 내부-외부 기어 쌍의 중심 거리(a)는 아래 수학식을 사용하여 결정될 수 있고, 여기서 m은 기어 모듈이고 y는 중심 거리 증분 인자이다.

[0054] $$a = (\frac{z_1 - z_2}{2} + y)m$$

[0055] 중심 거리 증분 인자는 아래 수학식에 의해 결정될 수 있다.

[0056] $$y = \frac{z_1 - z_2}{2}(\frac{cos\alpha}{cos\alpha_w} - 1)$$

[0057] 설명된 표준 기어를 사용하면 트로코이드 간섭이 초래될 수 있는 데, 외부 기어 치형(14)의 팁이 접촉이 의도된 영역(24) 외부에서 내부 기어 치형(18)의 팁과 접촉할 수 있기 때문이다. 이는 도 1에 라벨 표시된 영역(22)에서 확인될 수 있다. 트로코이드 간섭은 기어박스에 치명적일 수 있으며, 도 1에 예시된 경우에, 기어박스가 구성되는 것을 근본적으로 방지할 수 있다.

[0058] 트로코이드 간섭을 피하기 위해, 일반적인 해결책은 기어가 프로파일 시프트되는 것이다. 트로코이드 간섭을 피하기 위해 사용된, 프로파일 시프트된 기어 치형 프로파일의 일 예가 도 2에 도시되어 있다. 기어 배열(30)은 외부 기어 축(A3)을 중심으로 배열된 47개의 외향 기어 치형(34)을 갖는 외부 기어(32)를 도시한다.

[0059] 외부 기어(32)(피니언이라고도 지칭될 수 있음) 외부에는, 내부 기어(36)가 있다. 내부 기어(36)는 내향 기어 치형(38)을 갖고, 이 기어 치형은 접촉 영역(44)에서 외향 기어 치형(34)과 접촉하도록 배열된다.

[0060] 종래의 기어 설계는 2개의 기어 사이의 중심 거리(즉, 이들 기어 축 사이의 거리)와 원하는 기어비에 의해 결정되는 각각의 기어의 치형 개수를 선택하는 것을 수반할 수 있다. 2개의 스퍼 기어의 경우, 각각의 기어의 피치 직경은 통상적으로 피치 직경의 합이 중심 거리의 2배가 되고 2개의 피치 직경의 비율이 치형 개수의 비율(즉, 기어비)과 동일하도록 선택된다. 내부-외부 기어 쌍의 경우, 피치 직경의 차이는 기어 중심 거리의 2배일 수 있다. 이러한 방식으로 결정된 피치 직경은 공칭 피치 직경이라고 설명될 수 있다.

[0061] 기어의 프로파일 시프트는 절삭 중에 절삭 공구를 기어에 더 가깝게 또는 기어로부터 더 멀리 이동시켜, 기어의 작동 피치 직경을 조절하는 것을 수반한다. 따라서, 프로파일 시프트된 기어는 공칭 피치 직경과 상이한 작동 피치 직경을 가질 수 있다.

[0062] 동일한 절삭 공구가 사용될 수 있기 때문에, 치형 플랭크를 설명하는 인벌류트의 기본 원은 프로파일 시프트 동안 동일하게 유지된다. 그러나, 프로파일 시프트는 치형 플랭크를 설명하는 인벌류트의 부분을 효과적으로 변경하여, 인벌류트의 부분을 기본 원에 더 가깝게 또는 기본 원으로부터 더 멀리 이동시킨다.

[0063] 외부 및 내부 기어 치형(34, 38) 사이에 트로코이드 간섭이 없다는 것이 확인될 수 있다. 이는 기어 치형에 적용된 프로파일 시프트로 인한 것이다. 프로파일 시프트는, 기어 치형의 인벌류트 형상이 동일하게 유지되고 인벌류트의 기본 원이 동일한 위치에 유지되도록 표준 기어 커터를 변경하는 것을 수반한다. 따라서, 프로파일 시프트는 기어의 피치 원을 표준 프로파일의 공칭 피치 원으로부터, 시프트된 프로파일로 변경한다. 그러나, 기어의 프로파일 시프트는 기어의 작동 압력 각도를 증가시키고, 그 효과 중 하나는 기어의 효율성 감소이다.

[0064] 따라서, 도 2의 프로파일 시프트된 기어는 20° 의 표준 인벌류트 프로파일에 대한 공칭 압력 각도와 상이한 작동 압력 각도를 갖는다(도 2의 경우, 작동 압력 각도는 37.42° 임). 도 2의 프로파일 시프트된 치형은 또한 1의 표준 어덴덤 계수를 갖는다. 작동 압력 각도가 높을수록, 맞물림 영역(44)에서 하중을 지지하는 동안 치형(34)과 치형(38) 사이에서 더 높은 활주 속도로 인해 베어링 수명이 단축되고 기어박스의 효율성이 저하될 수 있다.

[0065] 도 3은 높은 효율성을 유지하면서도 트로코이드 간섭 문제를 피하도록 의도된 기어 배열(100)을 도시한다. 기어 배열(100)은 내부 또는 환형 기어(106)를 갖는다. 도시된 예는 50개의 내향 기어 치형(108)을 갖지만, 다른 치형 개수도 예상될 수 있다. 이 예는 또한 47개의 외향 기어 치형(104)을 갖는 외부 또는 피니언 기어(102)를 갖지만, 내부 기어(106)와 치형 개수에 작은 차이가 있는 다른 외부 기어도 예상될 수 있다. 일반적으로, 도 1을 참조하여 위에서 언급된 간섭 문제는, 내부 기어와 외부 기어 사이의 치형 개수에 작은 차이, 예를 들어 5개 미만의 치형 차이 또는 예를 들어 내부 기어의 치형 개수의 약 5분의 1의 차이를 갖는 내부-외부 기어 쌍이 구성되는 경우에 발생한다.

[0066] 내부 기어(106)는 내부 기어 축(A6)을 중심으로 배열되고 외부 기어(102)는 외부 기어 축(A5)을 중심으로 배열된다. 내부 기어(106)가 고정된 상태로 유지될 수 있는 경우, 외부 기어(102)는 회전될 수 있고 외부 기어 축(A6)을 공전할 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0067] 도 3에 도시된 기어는 특정 개수의 치형을 갖고, 내부 기어(106)는 50개의 치형(108)을 가지며 외부 기어(102)는 47개의 치형(104)을 갖지만, 치형 개수 간에 비교적 작은 차이가 있는 경우 외부 기어와 내부 기어는 임의의 개수의 치형도 가질 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 치형 개수 간의 차이는 5보다 작을 수 있으며, 그에 따라 내부 기어(106)는 외부 기어(102)보다 치형이 5개 미만 더 많게 된다. 대안적으로, 그 차이는 백분율로 고려될 수 있으며, 치형 개수의 차이는 내부 기어의 치형 개수의 20% 미만, 즉, 5분의 1 미만일 수 있고, 임의로 내부 기어의 치형 개수의10% 미만, 즉, 10분의 1 미만일 수 있다.

[0068] 기어 배열(100)에서, 어덴덤 계수의 수정에 의해 트로코이드 간섭이 회피된다. 기어는 프로파일 시프트를 보이지 않는데, 이는 치형 플랭크의 법선과 기어 중앙에 센터링되고 동일한 지점(M)을 통과하는 원의 접선 사이의 각도로서 측정된, 능동 프로파일의 중간에 위치된 지점(M)에서의 압력 각도가 두 기어 모두 동일하다는 사실에 의해 결정될 수 있다. 지점(M)에서 2개의 기어의 압력 각도는 프로파일 시프트를 제공하지 않는 작동 원리에 큰 영향을 미치지 않고 최대 20%까지 달라질 수 있다. 프로파일 시프트가 없는 것은 또한 특정 경우에 표준 모듈을 사용하고 기어 치형의 압력 각도가 표준 압력 각도이기 때문에 결정될 수 있다. 표준 모듈은 도 1 및 일본 산업 표준 JIS B 1701(1973)을 참조하여 위에서 정의된 바와 같을 수 있다. 구체적으로, 외부 기어 치형(104)과 내부 기어 치형(108) 양자 모두의 어덴덤 계수는 0.8보다 작다. 그러나, 어덴덤 계수는 외부 기어 치형(104)과 내부 기어 치형(108)에서 상이할 수 있다. 이는 비대칭성 어덴덤 계수라고 지칭될 수 있다. 일반적으로, 트로코이드 간섭을 피하기 위해 어덴덤 계수의 합은 1.6보다 작을 수 있다. 또한, 어덴덤 계수의 합은

0.6보다 클 수 있는데, 어덴덤 계수가 작을수록 하중 하에서 표면 압력이 과도해져, 바람직하지 않을 수 있기 때문이다. 따라서, 외부 및 내부 기어 치형의 어덴덤 계수의 합은 0.6 내지 1.6일 수 있다. 더 바람직하게는, 어덴덤 계수의 합은 1 내지 1.6이다.

[0069] 이전의 기어 설계 기술과 관련 문헌에서는, 기어 쌍의 어덴덤 계수를 0.8 미만으로 감소시키면 접촉 비율이 바람직하지 않게 감소된다는 것이 오랫동안 일반적인 믿음이었다. 접촉 비율은 어느 한 순간에 다른 기어의 치형과 접촉하고 있는 어느 한 기어의 치형의 평균 개수이다. 따라서, 접촉 비율이 1보다 작은 경우, 기어 배열은 어떤 기어도 접촉하지 않는 시간 기간을 갖는데, 이는 기어가 사실상 적절하게, 즉, 매끄럽고 효과적인 방식으로 맞물릴 수 없음을 의미한다. 이로 인해, 기어 사이의 토크 전달이 일관되지 않게 되고, 요동치며, 기어 치형이 손상될 수 있다. 이러한 이유로, 1 미만의 접촉 비율은 일반적으로 바람직하지 않은 것으로 고려되며, 일반적인 관행과 기어 설계 문헌은 1 미만의 접촉 비율을 피하도록 교시한다.

[0070] 도 3의 배열에서, 이론적인 접촉 비율, 즉, 휴지 상태에서 비변형된 치형을 기준으로 계산되는 접촉 비율은 1보다 작을 것이다. 그러나, 하중 하에 치형의 변형으로 인해, 즉, 토크가 기어에 의해 전달되는 동안, 접촉 비율은 1로 증가할 수 있거나 1을 초과하여 증가할 수 있다. 이러한 접촉 비율은 하중 접촉 비율이라고 지칭될 수 있다. 따라서, 기어박스는 처음에는 작동 가능하지 않는 것으로 보일 수 있지만, 실제 상황에서는 작동할 수 있다. 하중 하에서의 변형은 적어도 한계 사례에서는 숙련된 사람이라면 쉽게 이해할 수 있을 것인데, 한계 사례란 변형률이 최대 인장 변형률보다 더 낮은 경우이다. 접촉 비율이 1 미만인 대부분의 기어박스의 경우, 재료가 소성 변형이나 고장을 유발하지 않고 가능한 최대 범위로 변형되더라도 접촉 비율은 1로 증가하지 않게 된다. 그러나, 본 경우에, 기어 치형의 탄성 변형으로 인해 접촉 비율은 1 미만으로부터 1 초과로 변경될 수 있다.

[0071] 도 4a 및 도 4b는 내부 기어 치형(108)과 또한 외부 기어 치형(104)에 대한 어덴덤 계수(a_c)의 변화에 따른 기어 치형 형상의 변동을 예시한다. 도 4a와 도 4b로부터, 인벌류트의 기본 원과 피치 원은 일정하게 유지되고, 기어 치형의 모듈도 마찬가지라는 것이 확인될 수 있다. 이러한 방식으로, 압력 각도는 또한 일정한 공칭 압력 각도로 유지된다. 사실상, 어덴덤 계수의 감소는 치형의 상단 부분을 제거하여 치형을 절삭할 수 있다. 따라서, 도 4b에 의해 도시된 바와 같이, 치형 형상에 의해 제공되는 바람직한 압력 각도를 변경하지 않고 치형 팁과의 접촉을 피할 수 있다.

[0072] 기어 치형의 어덴덤은 기어 치형이 피치 원을 넘어 돌출되는 거리이며, $a_c = 0$에서 확인될 수 있다. 어덴덤 계수(a_c)는 어덴덤을 치형의 모듈로 나누어 획득된 무차원 수이다. 종래의 어덴덤 계수는 1이지만, 어덴덤 계수의 감소는 기어 치형의 팁 사이의 간섭 가능성을 감소시킬 수 있다는 것이 확인될 수 있다. 따라서, 어덴덤 계수가 0.8 미만, 또는 임의로 더욱 더 낮은 기어를 설계하는 것이 유리할 수 있다.

[0073] 도 5a 내지 도 6c는 프로파일 시프트가 어떻게 결정될 수 있는 지를 보다 명확하게 입증하기 위해 제공된다.

[0074] 도 5a는 맞물림 영역(44)에서 도 2의 프로파일 시프트된 기어를 도시한다. 내부 기어 치형(38)의 작동 부분은 지점(V_I 및 U_I)에 의해 획정된다. V_I는 외부 기어(32)의 외부 반경에 있는 내부 기어 치형(38) 상의 지점이고, 따라서 외부 기어 치형(34)의 팁과 접촉한다. U_I는 내부 기어 치형(38)의 팁이다. 유사하게, 지점(U_E 및 V_E)이 외부 기어 치형(34)에 대해 정의된다. U_E는 외부 기어 치형(34)의 팁이며 V_E는 내부 기어 치형(38)의 팁과 접촉하는 외부 기어 치형(34) 상의 위치이다. V_E는 또한 기어 치형(34 과 38)이 맞물림 영역에 있을 때 지점(U_I)의 접선 투영이다. 따라서, 서로 접촉하는 치형 플랭크의 유일한 부분은 지점(U_I, V_I, U_E, 및 U_E)에 의해 정의되는 치형의 작동 부분이라는 것이 이해될 것이다.

[0075] 도 5b를 참조하면, 내부 기어(36)에 추가 지점(M_I)이 정의되어 있다. M_I는 U_I와 V_I 사이의 중간점이다. 압력 각도(α_I)는 기어 축에 센터링된 원(C_M)에 대한 접선(T_M)과 M_I에서 치형 플랭크(N_M)에 대한 법선 사이의 각도로서 중간점에서 정의된다. 완전성을 위해, 원(C_M)의 반경(R_M)도 도시되어 있다. 각도(α_I)는 치형의 작동 부분의 중간에서 측정되므로 작동 압력 각도로 설명될 수 있다.

[0076] 도 5c는 외부 기어(32) 상의 동등한 지점을 도시한다. 추가 지점(M_E)이 정의된다. M_E는 U_E와 V_E 사이의 중간점이다. 압력 각도(α_E)는 기어 축에 센터링된 원(C_M)에 대한 접선(T_M)과 M_E에서 치형 플랭크(N_M)에 대한 법선 사이의 각도로서 중간점에서 정의된다. 완전성을 위해, 원(C_M)의 반경(R_M)도 도시되어 있다. 각도(α_E)는 치형의

작동 부분의 중간에서 측정되므로 작동 압력 각도로 설명될 수 있다.

[0077] 전술한 바와 같이, 각각의 내부 및 외부 기어의 각각의 작동 부분의 각각의 중간점(M_I과 M_E)에서 측정된 2개의 기어의 압력 각도를 비교함으로써, 압력 각도가 외부 기어의 압력 각도의 20% 초과 만큼 차이가 난다는 것이 확인될 수 있다. 따라서, 기어는 프로파일 시프트를 보인다.

[0078] 도 6a는 맞물림 영역(110)에서 도 3의 기어를 도시하며, 여기서 기어는 프로파일 시프트가 없다. 내부 기어 치형(108)의 작동 부분은 지점(V_I 및 U_I)에 의해 획정된다. V_I는 외부 기어(102)의 외부 반경에 있는 내부 기어 치형(108) 상의 지점이고, 따라서 외부 기어 치형(104)의 팁과 접촉한다. U_I는 내부 기어 치형(108)의 팁이다. 유사하게, 지점(U_E 및 V_E)이 외부 기어 치형(104)에 대해 정의된다. U_E는 외부 기어 치형(104)의 팁이며 V_E는 내부 기어 치형(108)의 팁과 접촉하는 외부 기어 치형(104) 상의 위치이다. 따라서, 서로 접촉하는 치형 플랭크의 유일한 부분은 지점(U_I, V_I, U_E, 및 U_E) 사이의 영역에 의해 정의되는 치형의 작동 부분이라는 것이 이해될 것이다.

[0079] 도 6b를 참조하면, 내부 기어(106)에 추가 지점(M_I)이 정의되어 있다. M_I는 U_I와 V_I 사이의 중간점이다. 압력 각도(α_I)는 기어 축에 센터링된 원(C_M)에 대한 접선(T_M)과 M_I에서 치형 플랭크(N_M)에 대한 법선 사이의 각도로서 중간점에서 정의된다. 완전성을 위해, 원(C_M)의 반경(R_M)도 도시되어 있다. 각도(α_I)는 치형의 작동 부분의 중간에서 측정되므로 작동 압력 각도로 설명될 수 있다.

[0080] 도 6c는 외부 기어(102) 상의 동등한 지점을 도시한다. 추가 지점(M_E)이 정의된다. M_E는 U_E와 VE 사이의 중간점이다. 압력 각도(α_E)는 기어 축에 센터링된 원(C_M)에 대한 접선(T_M)과 M_E에서 치형 플랭크(N_M)에 대한 법선 사이의 각도로서 중간점에서 정의된다. 완전성을 위해, 원(C_M)의 반경(R_M)도 도시되어 있다. 각도(α_E)는 치형의 작동 부분의 중간에서 측정되므로 작동 압력 각도로 설명될 수 있다.

[0081] 도 6b와 도 6c로부터 확인될 수 있는 바와 같이, 내부 및 외부 기어 치형의 작동 부분의 중간점에서 압력 각도는 동일하다.

[0082] 위의 설명으로부터 확인될 수 있는 바와 같이, 다음과 같은 점이 분명해진다. 프로파일 시프트의 존재는 내부 및 외부 기어 치형의 압력 각도 사이의 차이를 검출함으로써 검출될 수 있다. 내부 기어 치형의 작동 부분의 중간점에서 내부 기어 치형의 압력 각도가 결정될 수 있다. 외부 기어 치형의 작동 부분의 중간점에서 외부 기어 치형의 압력 각도가 결정될 수 있다. 결정된 압력 각도 사이의 차이가 결정될 수 있다. 내부 및 외부 기어의 작동 압력 각도 사이의 차이가 결정될 수 있다. 압력 각도의 차이는 각각의 내부 및 외부 기어 치형의 작동 부분의 각각의 중간점에서 결정될 수 있다.

[0083] 본 개시내용의 경우, 내부 기어 치형과 외부 기어 치형 사이의 측정된 압력 각도의 차이는 유리하게는 내부 기어 치형 또는 외부 기어 치형의 압력 각도의 20% 미만이다. 이는 기어 쌍의 효율성에 최소한의 영향을 미치는 프로파일 시프트 정도를 나타낸다. 압력 각도의 차이를 15%, 10%, 또는 5%, 또는 그 이하와 같이 더 낮은 수치로 제한하는 것이 더욱 유리할 수 있다. 이러한 낮은 수치는 프로파일 시프트 및/또는 압력 각도 차이로 인한 기어 쌍의 효율성에 미치는 영향을 더욱 제한한다.

[0084] 도 7은 작용선(l_α)이 라벨 표시된 기어박스(100)를 도시한다. l_α는 언제든지 접촉하고 하중을 전달하는 기어 치형을 설명한다. 작용선(l_α)은, 내부 기어(108)가 고정되어 있다고 가정할 때, 외부 기어(104)가 회전한다고 말할 수 있는 피치 원 상의 지점인 기어박스의 순간 회전 중심(ICR)에 센터링된다. ICR은 2개의 기어 축과 하나 또는 다른 피치 원에 의해 설명되는 선이 교차하는 지점이다. 또한, 피치 원이 접촉하는 위치이기도 한다. 작용 각도($\widehat{\varepsilon_\alpha}$)는 작용선($l_\alpha$)과 외부 기어 축에 의해 정의되는 각도를 설명한다. 작용 각도는 최대 작용 각도($\varepsilon_{\alpha_{wi}}$)에 의해 나타낸 바와 같이 바람직하게는 20° 미만이다. 마찰로 인한 효율성 손실을 피하기 위해서는 기어박스의 하중이 이 범위 내에 있는 것이 바람직하다.

[0085] 도 8a 내지 도 11은 다양한 형태의 기어 치형이 구현될 수 있는 기어박스를 예시한다. 특히, 본 개시내용에 설명된 내부-외부 기어 쌍의 하나 이상의 특징은 예시된 기어박스에 유리하게 구현될 수 있다.

[0086] 도 8a 및 도 8b는 본 설명에 설명된 내부-외부 기어 쌍이 유리하게 구현될 수 있는 제1 기어박스(200)의 개략도

및 단면도를 각각 도시한다. 예시된 예는 2개의 내부-외부 기어 쌍, 즉, 제1 기어 쌍(204)과 제2 기어 쌍(210)을 포함한다. 이들 기어 쌍은 도 3을 참조하여 전술한 유형의 기어 쌍일 수 있으며 특히 기어 쌍의 기어의 치형은 프로파일 시프트가 없거나, 기어 치형의 작동 압력 각도가 프로파일 시프트가 적용되지 않은 경우의 기어 치형의 공칭 압력 각도를 20% 초과 만큼 초과하지 않도록 작은 프로파일 시프트를 가질 수 있으며, 0.8 미만의 어덴덤 계수를 가질 수 있다.

[0087] 기어박스는 외부 피니언 기어(206)와 내부 환형 기어(208)를 갖는 제1 내부-외부 기어 쌍(204)을 갖는다. 기어박스(200)는 또한 다시 외부 피니언 기어(214)와 내부 환형 기어(216)를 포함하는 제2 내부-외부 기어 쌍(210)을 갖는다. 제2 내부-외부 기어 쌍(210)의 외부 피니언 기어(214)는 제1 내부-외부 기어 쌍(204)의 외부 피니언 기어(206)에 견고하게 고정된다. 따라서, 2개의 외부 피니언 기어(214, 206)는 내부 기어 축(A7)을 동일한 속도로 공전하고, 자체 축(A8)에 대한 각속도도 동일하게 된다. 2개의 피니언(206, 214)이 조합되어 조합된 피니언(212)을 형성한다.

[0088] 기어박스(200)는 모터와 같은 구동원으로부터 토크를 받도록 배열된 입력 샤프트(202)를 갖는다. 입력 샤프트(202)는 크랭크로서 형상화되고, 그에 따라 기어박스 축(A7)(즉, 내부 기어(208, 216)의 축)을 중심으로 토크를 받고 기어박스의 축으로부터 오프셋된 외부 피니언 기어에 힘을 제공하는데, 이 힘은 외부 기어 축(A8)을 통한 선형 힘이다. 입력 샤프트(202)는 제1 베어링 배열(222)에 의해 기어박스 축을 중심으로 회전하도록 지지되고 베어링(224)을 통해 외부 피니언 기어에 결합되며, 그에 따라 외부 피니언 기어는 외부 기어를 통과하는 입력 샤프트 부분을 중심으로 회전할 수 있다. 외부 기어는 또한 내부 환형 기어와 맞물리고, 그에 따라 외부 피니언 기어(206, 214)(즉, 조합된 피니언(212))와 입력 샤프트(202)의 오프셋 부분이 내부 기어 축(A7)을 함께 공전할 수 있다. 입력 샤프트는 또한 오프셋 부분의 축외 하중을 균형 잡기 위한 평형추(203)를 갖는다.

[0089] 제1 내부-외부 기어 쌍(204)과 제2 내부-외부 기어 쌍(210)은 각각의 기어비에 작은 차이를 가질 수 있다. 이러한 작은 차이는, 예를 들어 내부 기어와 외부 기어 사이에 동일한 치형 차이를 갖지만 각각의 기어 쌍의 내부 및/또는 외부 기어의 총 치형 개수를 상이하게 하는 등 다수의 방식으로 달성될 수 있다. 다른 예에서, 각각의 기어 쌍의 치형 차이의 양은 다양한 기어비를 달성하도록 달라질 수 있다. 일 예에서, 제1 내부-외부 기어 쌍(204)의 내부 기어(208)와 외부 기어(206)는 각각 60개의 치형과 57개의 치형을 가질 수 있고, 제2 내부-외부 기어 쌍(210)의 내부 기어(216)와 외부 기어(214)는 각각 90개의 치형과 87개의 치형을 가질 수 있다.

[0090] 기어박스(200)의 전체 출력은 2개의 내부 기어(208와 216) 사이의 공통 축을 중심으로 한 회전의 상대적인 차이로서 실현될 수 있다. 내부 기어(208, 216) 중 하나는 고정될 수 있고, 즉, 고정된 상태로 유지될 수 있으며, 내부 기어(208, 216) 중 다른 하나는 회전할 수 있고 출력 기어로서 사용될 수 있다. 2개의 기어는 베어링(226)을 통해 결합될 수 있다. 내부 기어(208)의 고정은 도 5에서 제1 내부-외부 기어 쌍(204)의 내부 기어(208)가 접지되어 있는 것에 의해 예시되어 있으며, 이는 이것이 기준 기어임을 나타낸다. 내부 기어 중 하나가 고정 상태로 유지되어 있고, 2개의 내부-외부 기어 쌍이 유사한 기어비를 갖고 있기 때문에, 기어박스에 걸쳐 높은 기어비가 달성될 수 있다. 제2 내부-외부 기어 쌍(210)의 내부 기어(216)가 입력 샤프트에 근접한 베어링에 결합된 것으로 도시되어 있지만, 출력은 기어박스의 반대쪽 축방향 단부에서 취할 수 있으며 임의의 적절한 베어링 배열이 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0091] 일반적으로, "고정", "입력" 및 "출력"으로 설명되는 기어박스의 부분은 기어박스의 종래 용도를 반영하기 위해서만 설명되며, 입력, 출력 및 고정 부분에 대한 고려 사항은 기준 프레임의 문제일 수 있으며, 예를 들어 "고정"으로 라벨 표시된 임의의 부분은 대안적으로 "입력" 또는 "출력"으로서 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 예시된 예와 관련하여, 입력 샤프트(202)와 내부 기어(208) 사이의 회전 차이로서 제공되는 구동 입력은 내부 기어(216)와 내부 기어(208) 사이의 상대 회전 차이인 출력을 초래한다.

[0092] 도 9는 추가 기어박스(300)를 도시하며, 기어박스는 대칭 배열을 갖는다. 대칭 기어박스(300)는 제1 내부-외부 기어 쌍(304)과 제2 내부-외부 기어 쌍(310)을 갖고, 각각의 기어 쌍은 도 5를 참조하여 전술한 것과 실질적으로 유사할 수 있는 각각의 내부 기어(308, 316)와 외부 기어(306, 314)를 갖는다. 외부 기어는 내부 기어가 배열된 내부 기어 축(A9)을 공전할 수 있으며, 자체 외부 기어 축(A10)을 중심으로 회전할 수 있다. 기어박스(300)는 외부 기어(324)와 내부 기어(326)를 포함하는 제3 내부-외부 기어 쌍(320)을 더 포함한다. 내부-외부 기어 쌍(320)은 동일한 기어비를 갖는 제1 내부-외부 기어 쌍(304)과 실질적으로 유사할 수 있다. 제3 내부-외부 기어 쌍(320)의 외부 기어(324)는 다른 외부 기어(306, 314)에 견고하게 고정되어, 3개의 기어가 함께 공전하고 회전하여 조합된 피니언(312)을 형성할 수 있다.

[0093] 대칭 배열은, 축방향으로 대향된 내부 기어가 기어박스 축에 직교하는 축을 중심으로 외부 기어에 균형 잡힌 힘

을 제공하기 때문에 중앙 외부 기어의 비틀림을 방지하거나 감소시킬 수 있으므로 바람직할 수 있다.

[0094] 또한, 입력 샤프트(302)는 양 축방향 단부에 베어링을 가질 수 있어, 행성 기어(306, 314, 324)로부터의 반력으로 인한 캔틸레버 배열을 피할 수 있다. 이는 입력 샤프트(302)를 강화할 수 있다.

[0095] 도 10a 및 도 10b는 도 5의 기어박스(200)의 2개의 정반대이고 축방향으로 미러링된 복사본과 실질적으로 유사한 제3 기어박스 배열(400)을 도시한다.

[0096] 기어박스(400)는 2개의 별개의 행성 기어(412, 422)를 갖고, 각각의 행성 기어는 함께 견고하게 고정된 2개의 외부 기어를 갖는다. 제1 행성(412)은 각각의 내부 기어(408, 416)와 맞물리도록 배열된 제1 외부 기어 축(A12)을 중심으로 배열된 외부 기어(406, 414)를 갖고, 그에 따라 외부 기어(406, 414)는 내부 기어 축(A11)을 공전한다. 기어(406, 408, 414, 416)는 제1 및 제2 내부-외부 기어 쌍(404, 410)을 형성한다. 제2 행성(422)은 제2 외부 기어 축(A13)을 중심으로 배열된 제3 및 제4 외부 기어(424, 434)를 갖는다. 제3 및 제4 외부 기어(424, 434)는 각각의 내부 기어(426, 436)와 맞물리고 내부 기어 축(A12)을 공전하도록 배열된다. 기어(424, 426, 434, 436)는 제3 및 제4 내부-외부 기어 쌍(420, 430)을 형성한다.

[0097] 제1 및 제4 외부 기어(406, 434)는 동일할 수 있고 제2 및 제3 외부 기어(414, 424)도 동일할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 일부 경우에, 제1, 제2, 제3 및 제4 외부 기어(406, 414, 424, 434)가 모두 동일할 수 있다. 제1 및 제4 외부 기어(408, 436)도 동일할 수 있으며 제2 및 제3 내부 기어(416, 426)도 동일할 수 있다. 일부 경우에, 제2 및 제3 내부 기어(416, 426)는 공통 기어 치형을 갖고 일체형으로 형성될 수 있으며, 제1 및 제4 내부 기어(408, 436)에 대해 회전하도록 베어링(452) 상에 장착될 수 있다. 일반적으로, 제1 및 제4 내부-외부 기어 쌍(404, 430)은 각각 제2 및 제3 내부-외부 기어 쌍(410, 420)과 기어비에 작은 차이를 가질 수 있고, 그에 따라 전체적으로 차동 행성 기어박스(400)가 제공될 수 있다.

[0098] 기어박스(400)는 크랭크 형상의 입력 샤프트(402)를 갖고, 그에 따라 내부 기어 축(A11)으로부터 동일한 거리만큼 각각 오프셋된 2개의 정반대 부분을 가져 각각의 오프셋 부분은 각각의 외부 기어(A12, A13)의 축을 따라 놓인다. 오프셋 부분은 각각 베어링을 통해 제1 및 제2 행성(412, 422) 중 각각의 행성에 결합되고, 그에 따라 입력 샤프트(402)는 내부 기어 축(A11)으로부터 오프셋된 행성에 선형 힘을 가한다.

[0099] 이러한 방식으로, 중앙 출력과 개선된 균형 잡힘을 갖는 대칭 기어박스(400)가 제공될 수 있다.

[0100] 도 11은 도 8a 및 도 8b의 기어박스(200)와 실질적으로 유사한 특징을 갖는 기어박스(201)를 도시한다. 간결성을 위해, 유사한 특징은 유사하게 번호를 매기고 여기서는 다시 설명하지 않는다.

[0101] 기어박스(201)에서, 제2 내부-외부 기어 쌍(210)의 외부 피니언 기어(214)는 단차형 부분(214a)을 갖는데, 이를 통해 외부 피니언 기어(214)가 조합된 기어 쌍(212)의 축 또는 회전축에 수직인 2개의 별개의 축방향 평면에 위치될 수 있다. 특히, 제2 내부-외부 기어 쌍(210)의 맞물림과 제1 내부-외부 기어 쌍(204)의 맞물림은 공통 평면(P1)과 적어도 중첩되거나 동일 평면상에 있으며, 공통 평면(P1)은 기어(A7, A8)의 회전축에 수직이다. 내부 기어(208)는 조합된 피니언 기어(212)의 리세스 또는 공동에 적어도 부분적으로 안착된다. 이는 기어 쌍(204)이 외부 기어(214) 내에 적어도 부분적으로 배치되게 할 수 있다. 이는 추가로 기어 쌍(204)이 기어 쌍(210) 내에 부분적으로 또는 완전히 위치되게 할 수 있다.

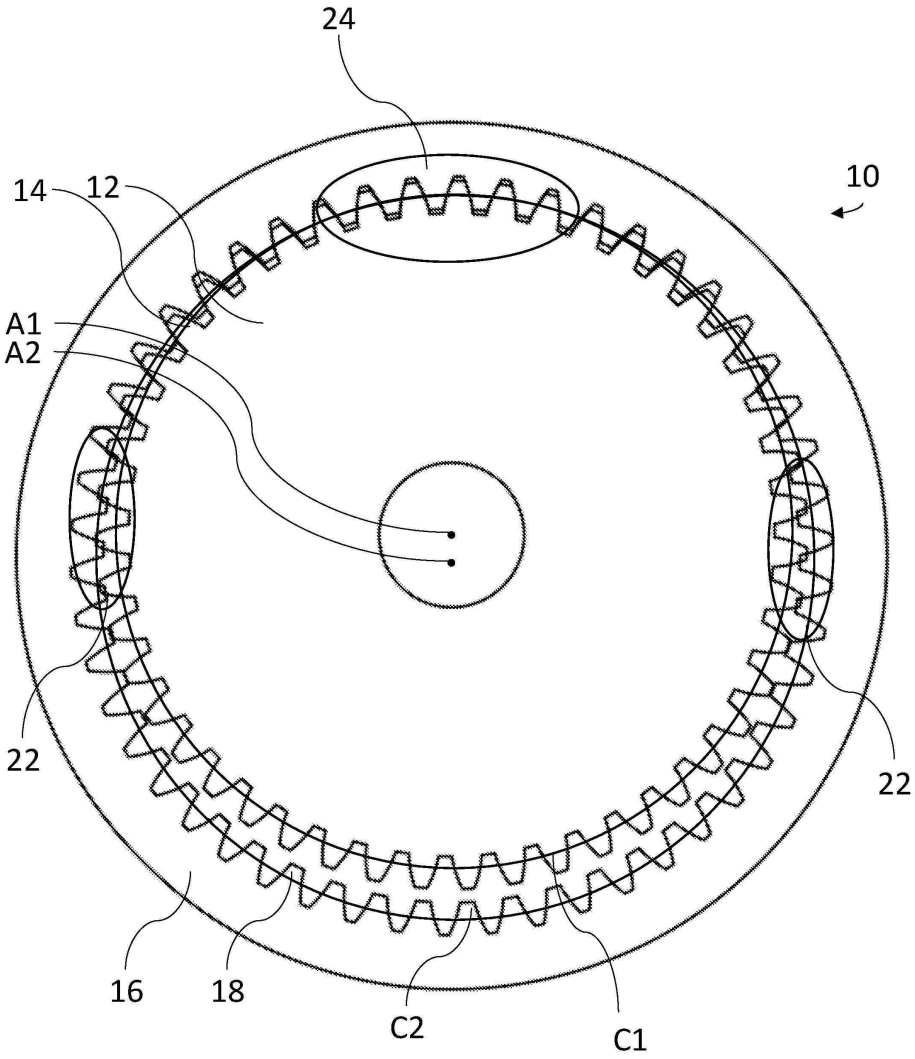
[0102] 제1 및 제2 내부, 외부 기어 쌍(204, 210)을 공통 평면에 맞물리게 함으로써, 조합된 피니언 기어(212)의 비틀림이 감소될 수 있다. 또한, 기어박스(201)의 축방향 길이가 감소될 수 있으므로, 더 콤팩트한 기어박스(201)가 제공될 수 있다.

[0103] 도 11에 도시된 기어박스(201)는 임의의 유형의 기어 치형을 가질 수 있다. 특정 예에서, 도 11의 기어박스(201)는 도 1 내지 도 7 및 특히 도 3을 참조하여 설명된 바와 같은 기어 치형의 하나 이상의 특징을 가질 수 있다. 기어 치형은 도 3을 참조하여 설명된 기어 치형의 임의의 특징, 예컨대 정의된 범위 내의 어덴덤 계수 및/또는 정의된 범위 내의 프로파일 시프트를 가질 수 있다.

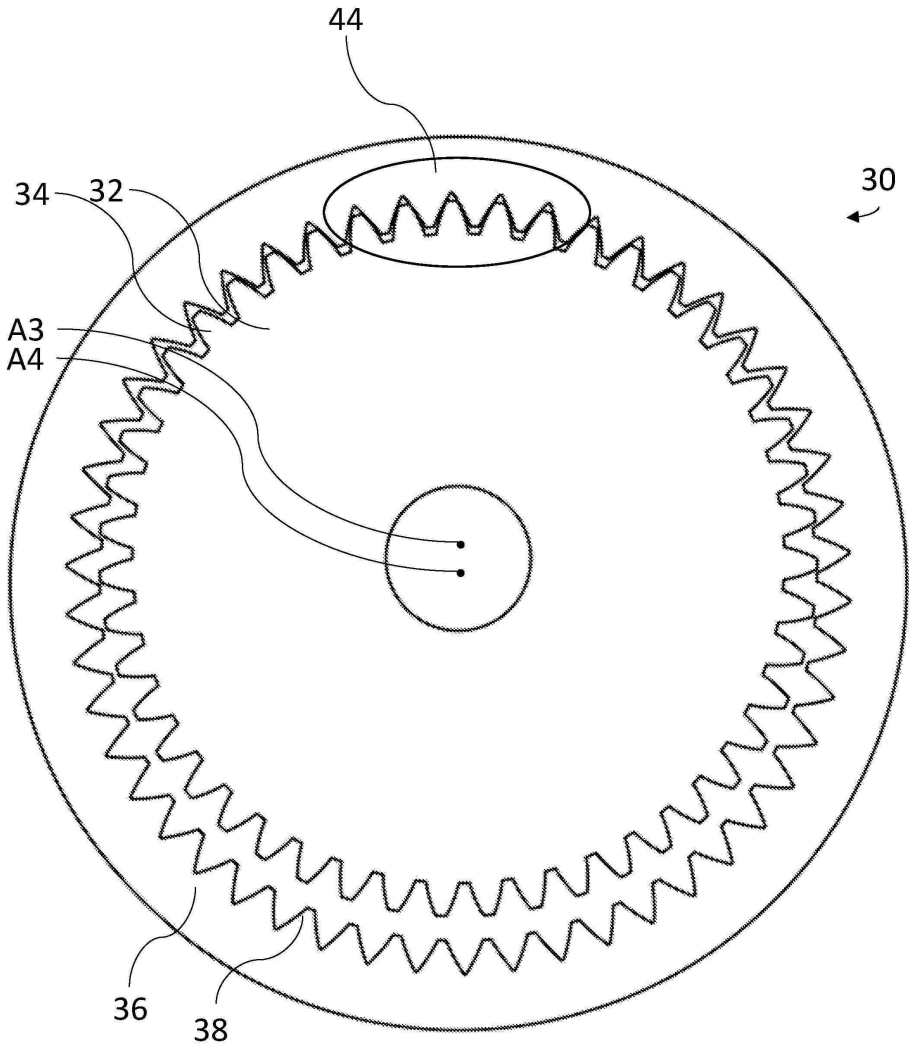
[0104] 전술한 기어박스 배열 중 임의의 것 또는 전부에서, 기어는 도 1 내지 도 7 중 임의의 것, 특히 도 3을 참조하여 전술한 특징 또는 품질을 가질 수 있다. 특히, 기어는 전술한 바와 같이 작은 프로파일 시프트 및 낮은 어덴덤 계수를 보일 수 있다.

도면

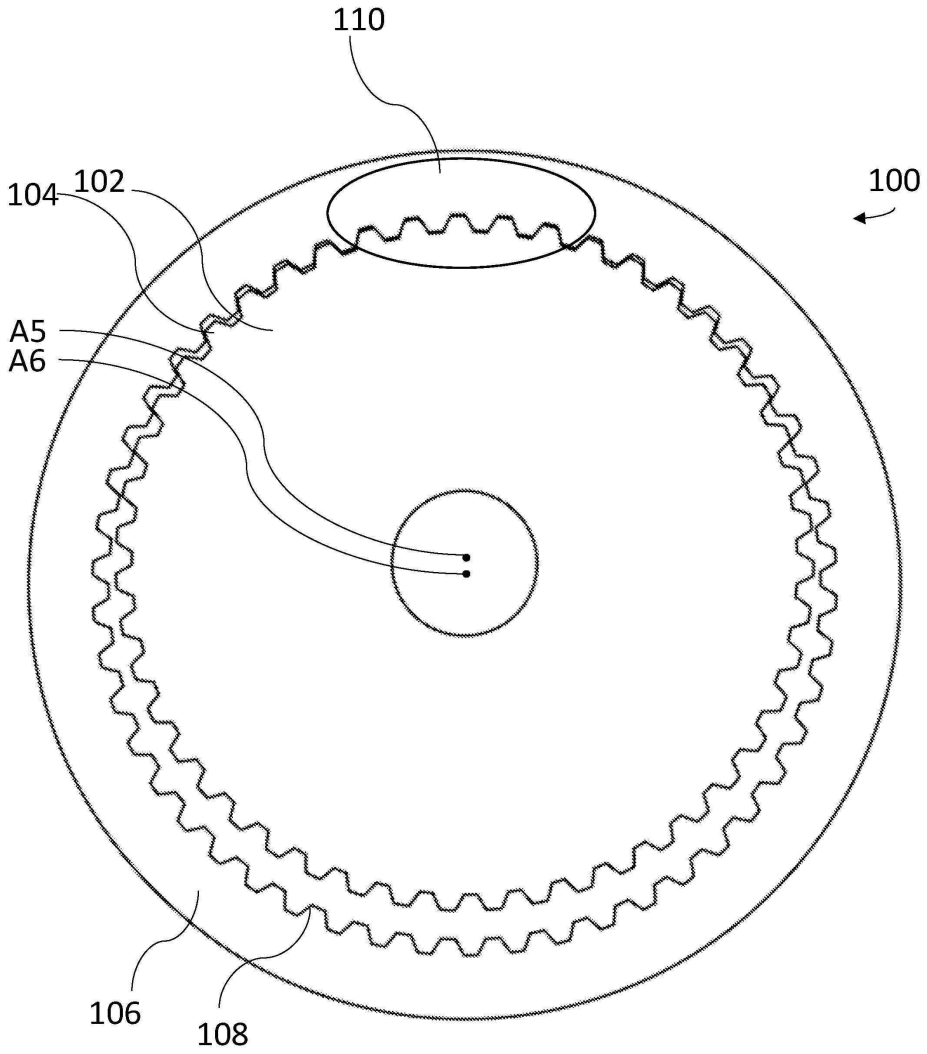
도면1



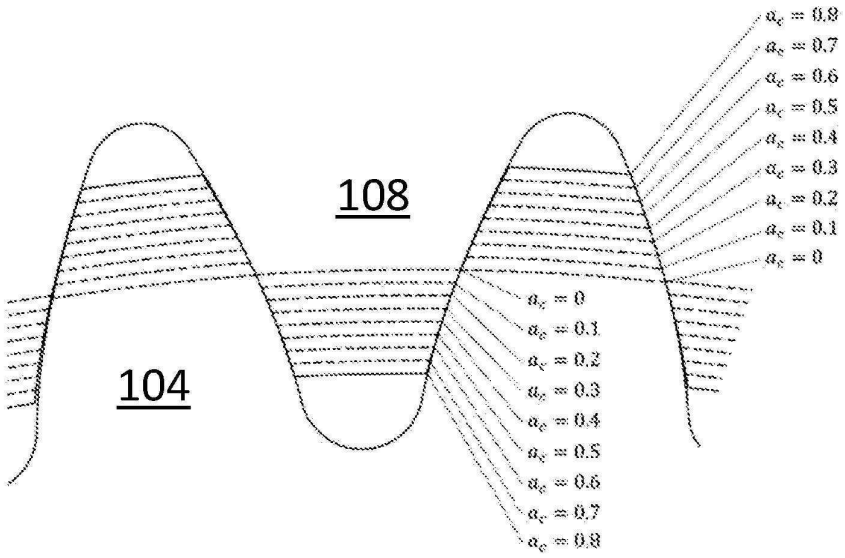
도면2



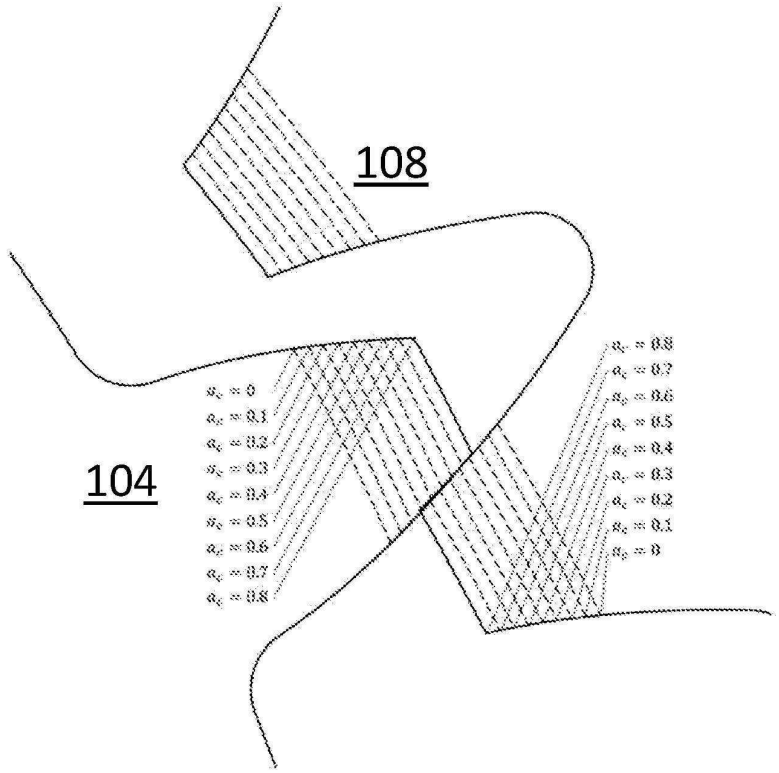
도면3


110
104
102
100
A5
A6
106
108

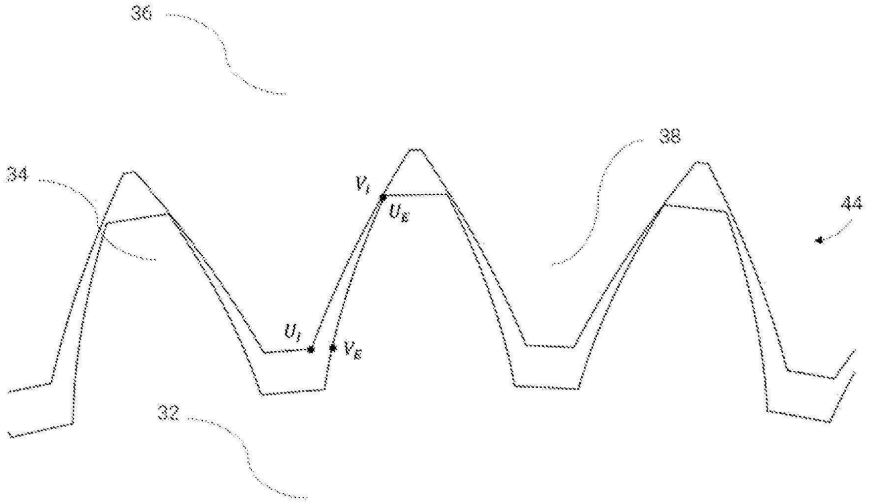
도면4a


108
104
$\alpha_c = 0.8$
$\alpha_c = 0.7$
$\alpha_c = 0.6$
$\alpha_c = 0.5$
$\alpha_c = 0.4$
$\alpha_c = 0.3$
$\alpha_c = 0.2$
$\alpha_c = 0.1$
$\alpha_c = 0$
$\alpha_c = 0$
$\alpha_c = 0.1$
$\alpha_c = 0.2$
$\alpha_c = 0.3$
$\alpha_c = 0.4$
$\alpha_c = 0.5$
$\alpha_c = 0.6$
$\alpha_c = 0.7$
$\alpha_c = 0.8$

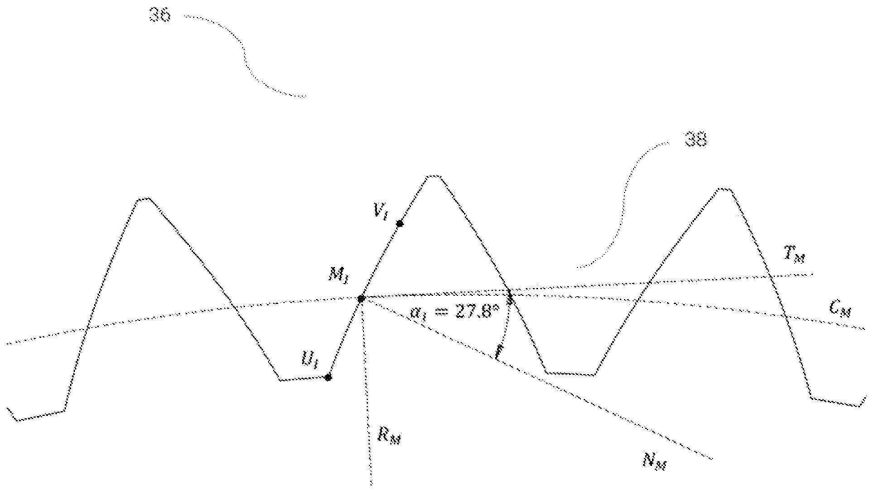
도면4b


108
104
$a_c = 0$
$a_c = 0.1$
$a_c = 0.2$
$a_c = 0.3$
$a_c = 0.4$
$a_c = 0.5$
$a_c = 0.6$
$a_c = 0.7$
$a_c = 0.8$
$a_c = 0.8$
$a_c = 0.7$
$a_c = 0.6$
$a_c = 0.5$
$a_c = 0.4$
$a_c = 0.3$
$a_c = 0.2$
$a_c = 0.1$
$a_c = 0$

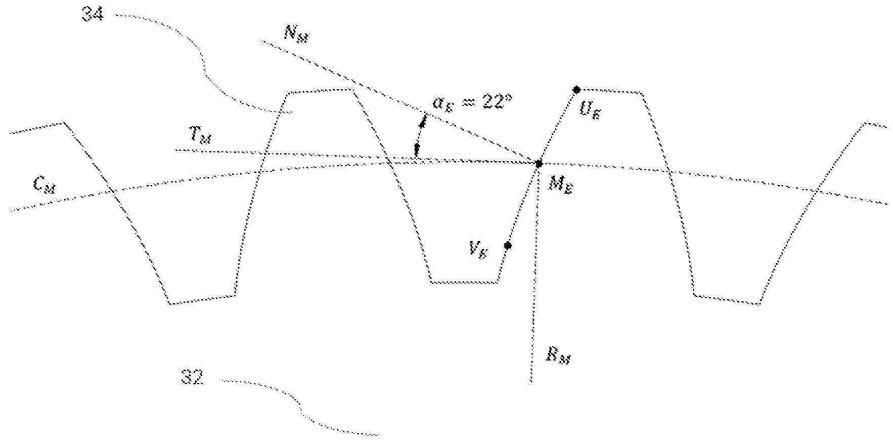
도면5a


36
34
38
44
32
V_I
U_E
U_I
V_E

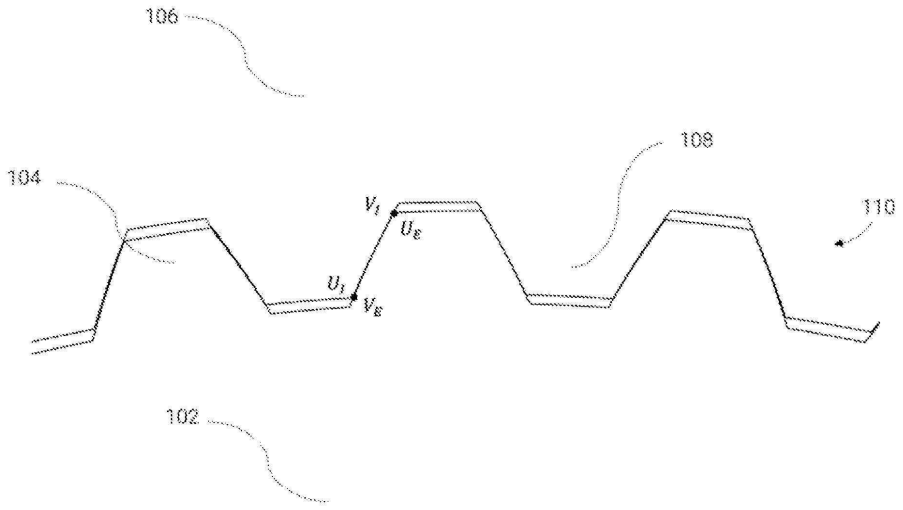
도면5b



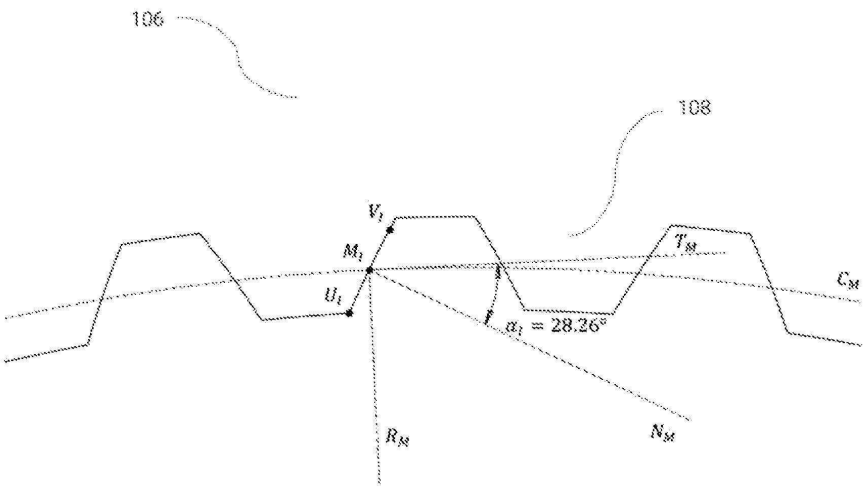
도면5c



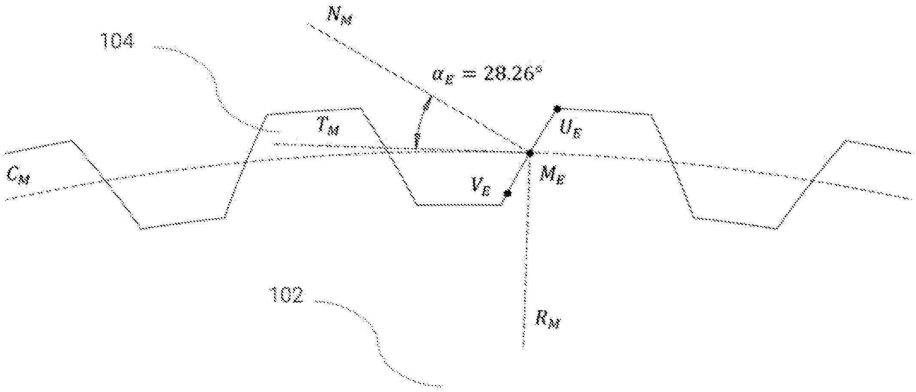
도면6a



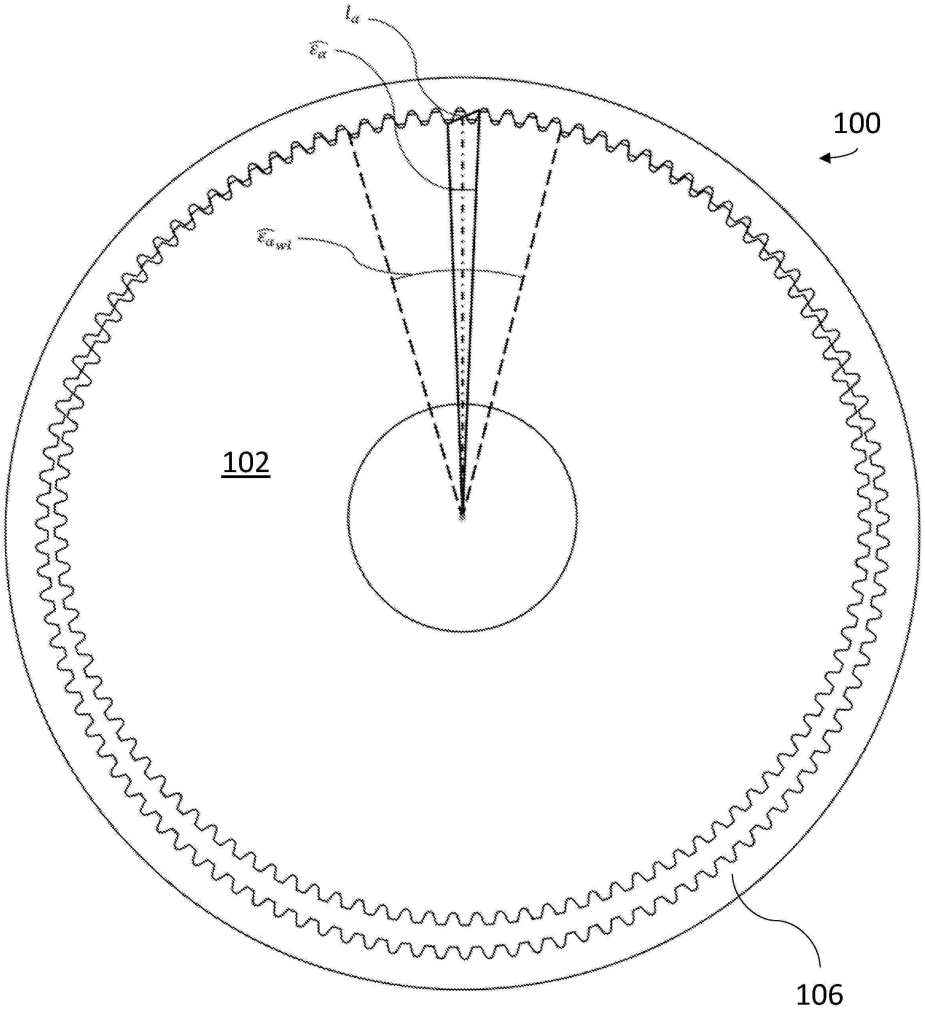
도면6b


106
108
V_1
M_1
U_1
T_M
C_M
$\alpha_1 = 28.26°$
R_M
N_M

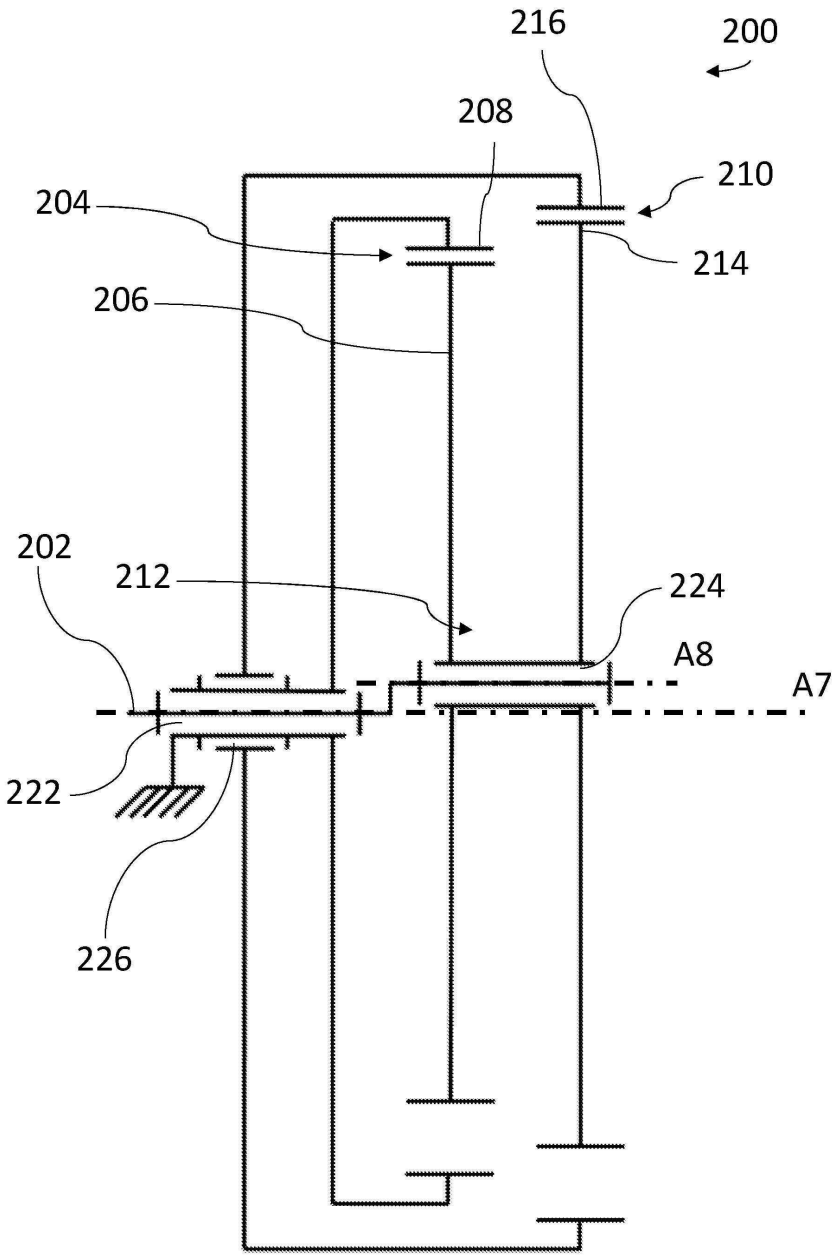
도면6c


N_M
104
$\alpha_E = 28.26°$
T_M
U_E
C_M
V_E
M_E
102
R_M

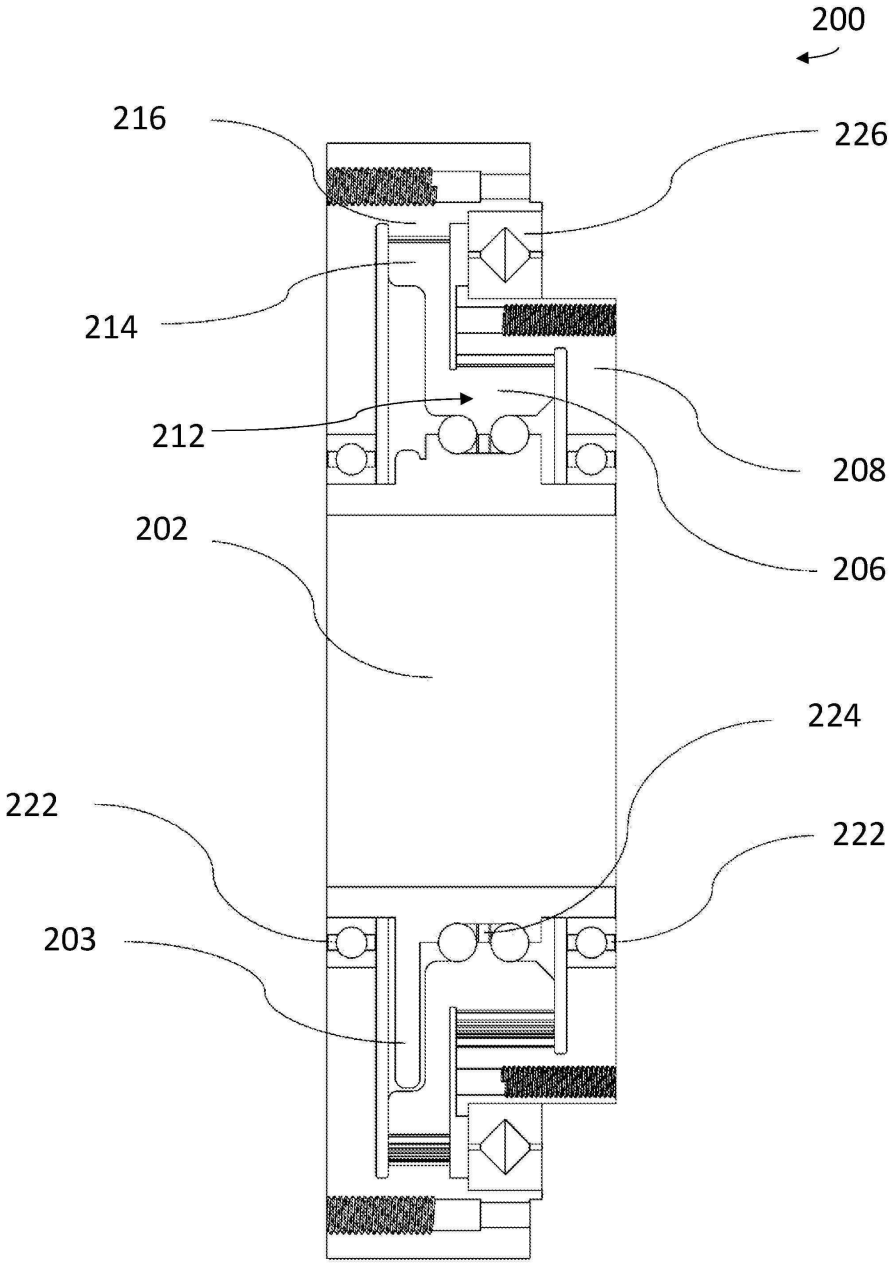
도면7



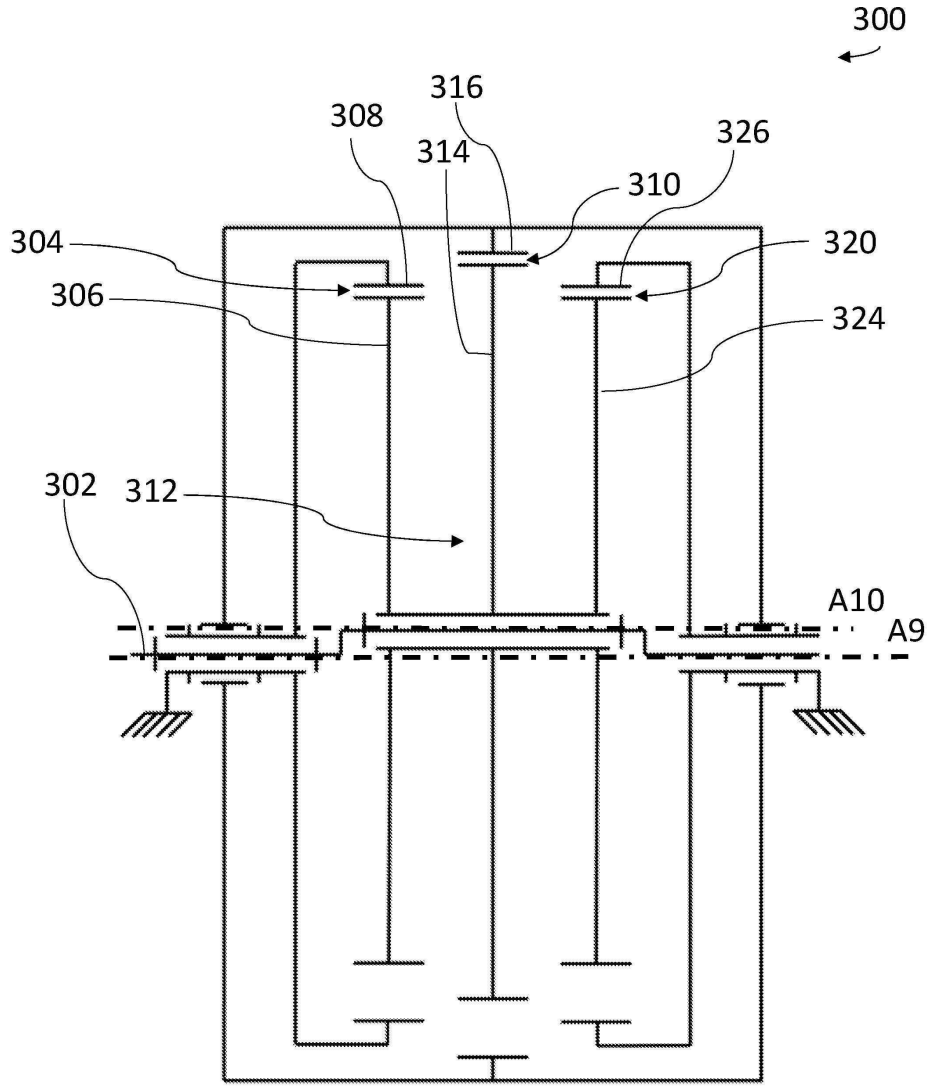
도면8a



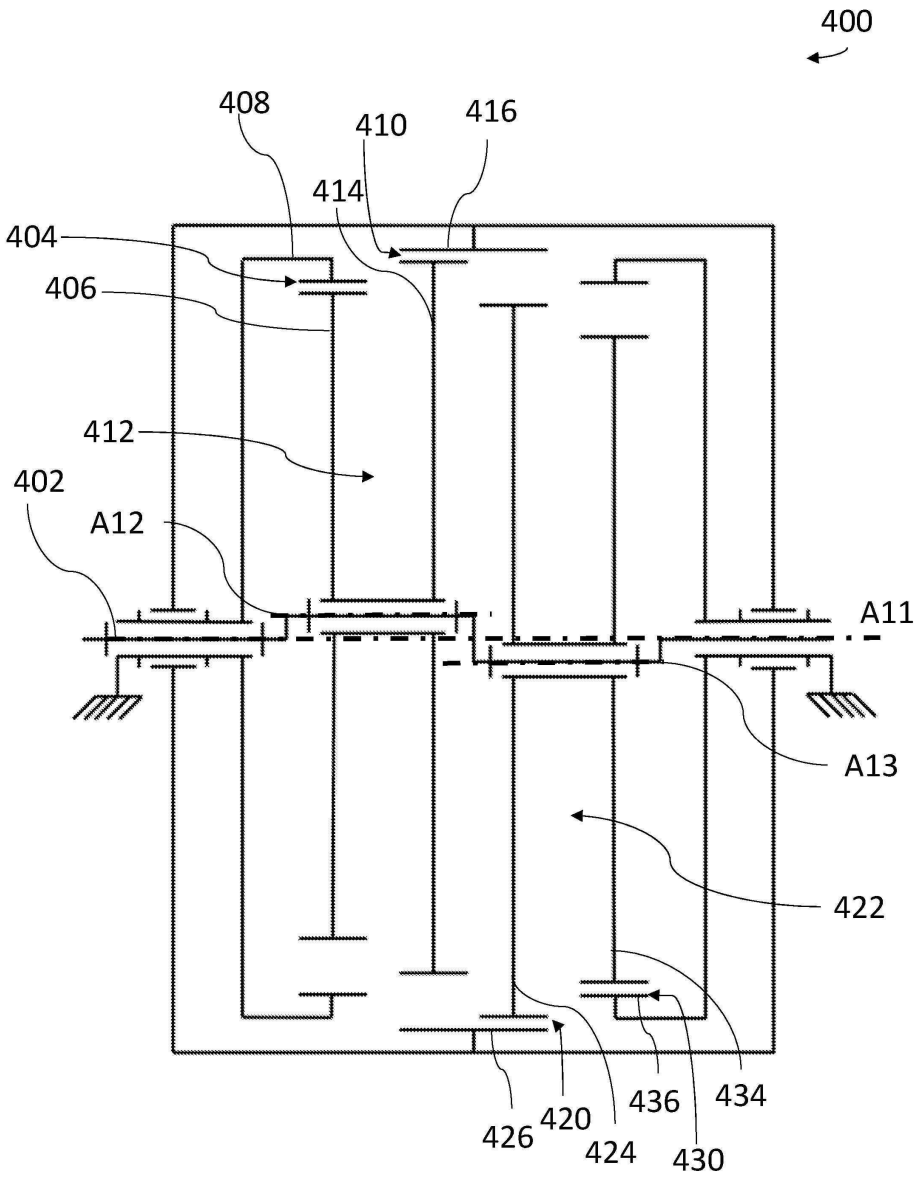
도면8b



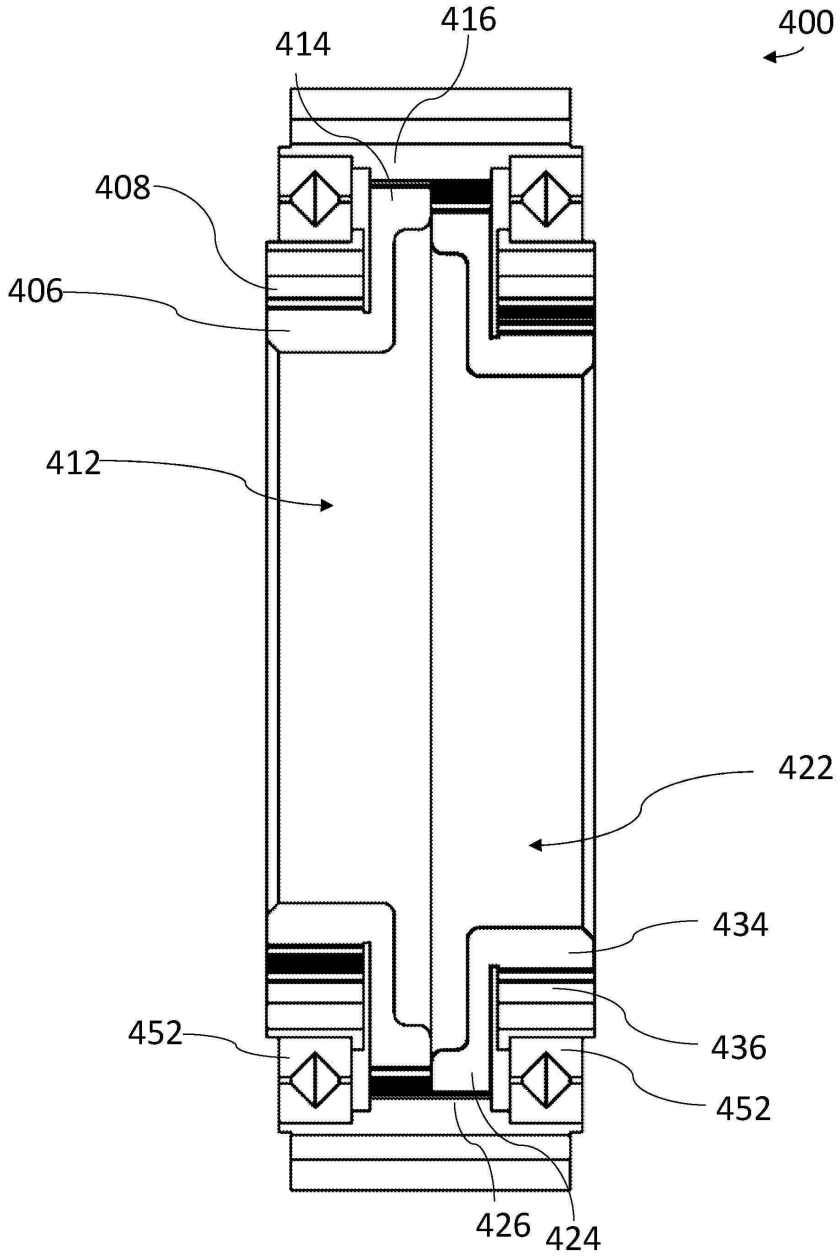
도면9



도면10a


400
408
410
416
414
404
406
412
402
A12
A11
A13
422
426
420
424
436
434
430

도면10b



도면11

