



УКРАЇНА

(19) UA (11) 62433 (13) A

(51) 7 H02K33/02, H02K41/025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ІНДУКЦІЙНО-ДИНАМІЧНИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН

1

2

(21) 2003032491

(22) 24 03 2003

(24) 15 12 2003

(46) 15 12 2003, Бюл. № 12, 2003 р.

(72) Любимова Лариса Олександрівна

(73) Любимова Лариса Олександрівна

(57) 1 Індукційно-динамічний електродвигун, що містить джерело імпульсного живлення, багатовиткову обмотку збудження з паралельними торцевими сторонами, яка з однієї торцевої сторони закріплена до масивного упора, а з другої торцевої сторони обмотки збудження коаксіально розташований рухомий суцільний електропровідний яр, який з'єднаний з неелектричним виконавчим елементом, причому форма зверненої у бік руху торцевої поверхні обмотки збудження і форма прилягаючої поверхні масивного упора виконані ідентичними, який відрізняється тим, що обмотка збудження складена з послідовно з'єднаних і радіально розташованих секцій, причому секції, направлені від внутрішньої і зовнішньої секції до області середнього діаметра, послідовно зсунуті одна відносно іншої в напрямку руху упора та закріплені до масивного упора за допомогою нерухомих коаксіальних концентричних неелектропровідних порожнистих циліндрів, у кожному з яких від однієї до другої торцевої сторони виконані два протилежно розташовані радіальні прорізи, а осі

прорізів суміжних циліндрів перпендикулярні

2 Індукційно-динамічний електродвигун за п. 1, який відрізняється тим, що між секціями обмотки збудження упорядковано встановлені коаксіальні концентричні мідні циліндри, у яких одна торцева поверхня досягає поверхні обмотки збудження, зверненої до упора, а друга розташована за її межами, не контактуючи з масивним упором

3 Індукційно-динамічний електродвигун за п. 1, який відрізняється тим, що торцева сторона обмотки збудження, яка звернена до масивного упора, розташована у герметичному корпусі та охоплена рідким діелектриком

4 Індукційно-динамічний електродвигун за п. 1, який відрізняється тим, що у порожнині між обмоткою збудження та масивним упором розташовані два патрубки, один з яких розміщений у зоні між внутрішньою поверхнею обмотки збудження і опорним циліндром найменшого діаметра, а другий - між опорним циліндром найбільшого діаметра та зовнішньою поверхнею обмотки збудження

5 Індукційно-динамічний електродвигун за п. 1, який відрізняється тим, що один кінець неелектропровідного рухомого направляючого елемента, виконаного у вигляді штиря, що розташований уздовж осі, з'єднаний з виконавчим елементом, а другий кінець приєднаний до зворотного вузла

Винахід відноситься до електротехніки і може бути використаний в пристроях для прискорення рухомих об'єктів та в механізмах ударної дії

Відомий індукційно-динамічний привід, який включає джерело імпульсного живлення, нерухомо закріплену обмотку збудження та рухомий електропровідний яр, який встановлений навпроти обмотки на одній осі з нею, причому електропровідний яр виконаний у вигляді концентрично розташованих та електрично ізольованих одне від одного кілець [1]

У відомому індукційно-динамічному приводі підвищуються ударні навантаження та прискорення за рахунок зменшення початкового зазору між обмоткою та якорем у порівнянні із пристроєм, що

має суцільний електропровідний дисковий яр

Однак комбінований яр такого приводу при тривалій роботі менш надійний ніж суцільний масивний яр. Складена форма упора обумовлює складність його виготовлення

Відомий індукційний двигун зворотно-поступального руху, який складається із нерухомого магнітопроводу індуктора та рухливого магнітопроводу упора, які в сукупності утворюють замкнутий паз змінної ширини, у якому розміщені нерухома обмотка індуктора і рухлива обмотка упора [2]

За рахунок того, що магнітопроводи індуктора і упора виконані з кільцевими пазами визначених розмірів, забезпечується одержання оптимальних

(13) A

(11) 62433

(19) UA

залежностей коефіцієнтів взаєміндуктивності обмоток при переміщенні якоря

Однак наявність феромагнітного магнітопроводу сприяє збільшенню індуктивності обмотки збудження та якоря, що перешкоджає досягненню високих швидкісних характеристик, а значна маса такого двигуна приводить до зниження питомих електромагнітних показників і ударних навантажень навіть при великих імпульсних струмах збудження

Найбільш близьким до технічного рішення, що пропонується, є електродинамічний двигун ударної дії з якорем спеціальної форми, який складається з дискових та циліндричних конструктивних елементів [3]

Статорна обмотка збудження індукційно взаємодіє з якорем, що має форму диска з внутрішніми та зовнішніми обичайками, які частково охоплюють відповідні бічні сторони обмотки у вихідному стані. Обмотка збудження зафіксована відносно масивного упору, а ярк з'єднаний з ударним виконавчим елементом, лінійне зміщення якого вздовж осі забезпечує напрямний нерухомий елемент, що коаксіально встановлений всередині обмотки та з'єднаний з масивним упором, а повернення у вихідне положення - пружина. Підвищення ефективності пристрою відбувається в наслідок поліпшення магнітного зв'язку між обмоткою збудження та якорем у порівнянні зі звичайним перетворювачем циліндричної або дискової форми. Максимальна ефективність перетворювача досягається тоді, коли внутрішні і зовнішні обичайки якоря охоплюють половину бічних сторін обмотки збудження

Однак у відомому пристрої ефективність залишається доволі низькою через незначне підвищення коефіцієнту взаємної індуктивності між активними елементами системи. Це є результатом застосування традиційної циліндричної форми обмотки збудження у сполученні з якорем, у якого форма більш складна, але складові конструктивні елементи залишилися традиційної форми - дискової та циліндричної

Сила електродинамічної взаємодії між первинною обмоткою та вторинним електропровідним якорем, що переміщується вздовж осі Z, залежить від величин їх струмів та коефіцієнта взаємної індуктивності

$$f(t, z) = i_1(t) \cdot i_2(t) \frac{dM}{dz}(z),$$

де $i_1(t)$ - струм статорної обмотки, $i_2(t)$ - струм якоря, $M(z)$ - коефіцієнт взаємної індуктивності між обмоткою та якорем, що залежить від відстані між ними

Якщо обмотка і ярк мають форму тонких колушок, то взаємна індуктивність $M(z)$ між обмоткою і якорем, а значить і величина індукованого струму в якорі невеликі. Виконання якоря й обмотки у виді коаксіально розташованих тонкостінних циліндрів забезпечує гарний магнітний зв'язок між ними, але градієнт взаємної індуктивності $dM/dz(z)$, що визначає величину електродинамічної сили, досить великий лише при визначеному зсуві якоря щодо обмотки. У дисковій конфігурації забезпечується високе значення обох параметрів $M(z)$ та $dM/dz(z)$, але тільки при близькому розташуванні якоря й обмотки, що реалізується лише у вихідному поло-

женні. При переміщенні ж якоря ці параметри швидко зменшуються, знижуючи ефективність електромагнітного індукційного перетворювача

В основу винаходу поставлено задачу підвищення ефективності індукційно-динамічного електродвигуна шляхом збільшення величини взаємної індуктивності у вихідному положенні та збереження хорошого магнітного зв'язку між обмоткою збудження та якорем на протязі усього робочого циклу

Поставлене завдання досягається за рахунок того, що в індукційно-динамічному електродвигуні, який містить джерело імпульсного живлення, багатовиткову обмотку збудження з паралельними торцевими сторонами, яка з однієї торцевої сторони закріплена до масивного упору, а з другої торцевої сторони обмотки збудження коаксіально розташований рухомий суцільний електропровідний ярк, який з'єднаний з неелектричним виконавчим елементом, причому форма зверненої у бік руху торцевої поверхні обмотки збудження і форма прилягаючої поверхні масивного якоря виконані ідентичними, згідно винаходу обмотка збудження складена з послідовно з'єднаних і радіально розташованих секцій, причому секції, направлені від внутрішньої і зовнішньої секції до області середнього діаметра, послідовно зсунуті одна відносно іншої в напрямку руху якоря та закріплені до масивного упору за допомогою нерухомих коаксіальних концентричних неелектропровідних порожнистих циліндрів, у кожному з яких від однієї до другої торцевої сторони виконані два протилежно розташовані радіальні прорізи, а осі прорізів суміжних циліндрів перпендикулярні

Крім того, між секціями обмотки збудження упорядковано встановлені коаксіальні концентричні мідні циліндри, у яких одна торцева поверхня досягає поверхні обмотки збудження, зверненої до якоря, а друга розташована за її межами, не контактуючи з масивним упором

Крім того, торцева сторона обмотки збудження, яка звернена до масивного упору, розташована у герметичному корпусі та охоплена рідким діелектриком

Крім того, у порожнині між обмоткою збудження та масивним упором розташовані два патрубкі, один з яких розміщений у зоні між внутрішньою поверхнею обмотки збудження і опорним циліндром найменшого діаметра, а другий - між опорним циліндром найбільшого діаметра та зовнішньою поверхнею обмотки збудження

Крім того, один кінець неелектропровідного рухомого направляючого елемента, виконаного у вигляді штиря, що розташований уздовж осі, з'єднаний з виконавчим елементом, а другий кінець приєднаний до зворотного вузла

За рахунок того, що частина кожного з коаксіальних мідних циліндрів розташована у порожнині між обмоткою збудження та якорем, яка охоплена герметичним неелектропровідним корпусом та заповнена рідким діелектриком, у якості якого можна використати, наприклад, трансформаторну олію, відбувається циркуляційно-заглибне охолодження рідким діелектриком

За рахунок того, що у кожного з нерухомих коаксіальних концентричних неелектропровідних

порожнистих циліндрів, за допомогою яких обмотка збудження кріпиться до масивного упору, від однієї до другої торцевої сторони виконані два протилежно розташовані радіальні прорізи, а осі прорізів суміжних циліндрів перпендикулярні, забезпечується найліпша циркуляція охолоджувальної рідини у порожнині між обмоткою збудження та масивним упором. Таким чином, рідкий діелектрик охолоджує як частини кожного з мідних циліндрів, що введені до обмотки збудження, які розташовані у порожнині між обмоткою та упором, так і торцеву поверхню обмотки збудження, яка звернена до масивного упору. Таким способом забезпечується добре охолодження усієї обмотки збудження.

Оскільки у порожнину між обмоткою збудження та масивним упором уведено два патрубкі, один з яких розташований у зоні між внутрішньою поверхнею обмотки збудження і опорним циліндром найменшого діаметра, а другий - між опорним циліндром найбільшого діаметра та зовнішньою поверхнею обмотки збудження, то за допомогою цих патрубків відбувається подача і вивід рідкого діелектрика з порожнини корпусу. Таке розташування патрубків забезпечує оптимальну циркуляцію охолоджувальної рідини по сполучених камерах, на які розділена опорними циліндрами порожнина між обмоткою та масивним упором.

За рахунок того, що в масивному упорі виконаний внутрішній наскрізний отвір, в якому коаксіально, відносно рухомого направляючого елемента, встановлений стаціонарний направляючий елемент циліндричної форми, забезпечується осьовий напрямок переміщення рухомого направляючого елемента.

Оскільки на торцевій поверхні обмотки збудження, яка направлена у бік якоря, розташований ізоляційно-опорний шар, то цей шар дозволяє забезпечити малий початковий зазор між обмоткою та якорем за рахунок їх наближення на відстань, яка дорівнює малій товщині зазначеного шару. Цей ізоляційно-опорний шар надійно електрично ізолює обмотку від якоря.

У результаті прояву скин-ефекту, індукований струм у якорі розподілений по перетині нерівномірно, і найбільш по величині струми індукуються в порівняно тонкому шарі масивного якоря, що прилягає до торцевої поверхні, зверненої до обмотки збудження. При визначеній товщині якоря індуковані струми в зоні, що прилягає до торцевої поверхні, з'єднаної з виконавчим елементом, малі. При подальшому, навіть незначному, збільшенні товщини якоря індуковані струми в цій частині можна вважати рівними нулю. Значить, для надійного і зручного з'єднання якоря і виконавчого елемента, їх суміжні поверхні мають плоску форму. Такі зміни практично не вплинуть на розподіл струмів по перетині якоря. Незначно зміниться тільки маса якоря.

Оправлення для виготовлення обмотки збудження зазначеної форми складається із каркаса та кільця різної товщини і діаметра. Каркас складається зі штиря і двох дисків, середній діаметр яких більше середнього діаметра обмотки збудження. На одному кінці штиря закріплюється дискова частина каркаса, поруч з якою розташовуються кільця, що служать обмежниками для

намотування однієї торцевої поверхні чергової секції обмотки збудження. При цьому середній діаметр кільця дорівнює середньому діаметру намотуваної секції, а товщина кільця визначає необхідний для даної секції зсув з протилежної сторони штиря розташовуються кільця відповідного діаметра, що забезпечують необхідну форму для іншої торцевої поверхні обмотки збудження. Закріплюється вся конструкція другою дисковою частиною каркаса, що насаджується на штир із протилежної щодо першої дискової частини сторони. Для намотування кожної секції обмотки збудження необхідно використовувати по два кільця, що обмежують намотування дроту з торцевих сторін. Для забезпечення міцності конструкції кожний шар обмотки заливається епоксидним компаундом. Для того, щоб обмотка збудження легко відокремлювалася від оправлення, між ними прокладається фторопластова плівка.

Зазначенні удосконалення дозволяють покращити взаємну індуктивність обмотки збудження та якоря, що приводить до підвищення ефективності перетворення енергії у індукційно-динамічному двигуні.

На фіг 1 зображені залежність коефіцієнта взаємної індуктивності $M(z)$ між обмоткою та якорем і градієнта взаємної індуктивності $dM/dz(z)$ від відстані між активними елементами системи — для двигуна-прототипу, — для індукційно-динамічного електродвигуна, що пропонується,

на фіг 2 - залежність швидкості V , переміщення ΔZ і коефіцієнта ефективності перетворення енергії η — для двигуна-прототипу, — для індукційно-динамічного електродвигуна, що пропонується,

на фіг 3 - схематична будова індукційно-динамічного електродвигуна спеціальної форми у початковий момент часу,

на фіг 4 - поперечний перетин А-А на фіг 3 системи опорних циліндрів,

на фіг 5 - технологія намотування обмотки збудження спеціальної форми з введеннями до неї мідними циліндрами.

Індукційно-динамічний електродвигун складається із нерухомої обмотки збудження 1, яка підключається за допомогою ключа (на фіг не показаний) до джерела імпульсного живлення, та коаксіально розташованого рухомого електропровідного якоря 2. Ключ уявляє собою, наприклад, електронний симисторний комутатор, а в якості джерела імпульсного струму використовується ємнісний накопичувач енергії. Частина обмотки збудження 1 та якоря 2, яка розташована в області середнього діаметра, зміщена в напрямку руху якоря 2. Обмотка збудження 1 закріплена відносно масивного упору 3 за допомогою нерухомих коаксіальних концентричних неелектропровідних порожнистих циліндрів 4. У кожному циліндрі 4 від однієї до другої торцевої сторони виконані два протилежно розташовані радіальні прорізи 5, а осі прорізів суміжних циліндрів перпендикулярні. Масивний якор 2 з'єднаний контргайкою 6 з виконавчим елементом 7 за допомогою неелектропровідного рухомого направляючого елемента 8, виконаного у виді штиря, розташованого уздовж

осі, один кінець якого з'єднаний з виконавчим елементом 7, а другий кінець приєднаний до зворотного вузла 9. В масивному упорі 3 виконаний внутрішній наскрізний отвір, в якому встановлений стаціонарний направляючий елемент 10 циліндричної форми, який забезпечує осьові переміщення рухомого направляючого елемента 8. У обмотці збудження 1 упорядковано встановлені коаксіальні концентричні мідні циліндри 11, у яких одна торцева поверхня досягає поверхні обмотки збудження 1, зверненої до якоря 2, а друга виходить за її межі, але не контактує з масивним упором 3. На торцевій поверхні обмотки збудження 1, яка направлена у бік якоря 2, розташований ізоляційно-опорний шар 12, виконаний, наприклад із міцного склотекстоліту, до якого за допомогою зворотного вузла 9 притискується якорь.

Обмотки збудження 1 розташована у герметичному корпусі 13, заповненому рідким діелектриком 14, що охоплює торцеву сторону обмотки 1, яка звернена до масивного упору 3. У порожнину між обмоткою збудження 1 та масивним упором 3 уведено два патрубкі 15, один з яких розташований у зоні між внутрішньою поверхнею обмотки збудження 1 і опорним циліндром найменшого діаметра 4, а другий - між опорним циліндром найбільшого діаметра та зовнішньою поверхнею обмотки збудження.

Оправлення для виготовлення обмотки збудження зазначеної форми складається із каркаса та кільця 16 різної товщини і діаметра. Каркас складається зі штиря 17 і двох дисків 18 та 19, середній діаметр яких більше середнього діаметра обмотки збудження 1. На одному кінці штиря закріплюється дискова частина каркаса, наприклад 18, поруч з якою розташовуються кільця 16, що служать обмежниками для намотування однієї торцевої поверхні чергової секції обмотки збудження 1. З протилежної сторони штиря 17 розташовуються кільця 16 відповідного діаметра, що забезпечують необхідну форму для іншої торцевої поверхні обмотки збудження 1. Закріплюється вся конструкція другою дисковою частиною 19 каркаса.

Індукційно-динамічний електродвигун працює таким чином.

У початковому стані електропровідний якорь 2 разом із виконавчим елементом 7 притиснутий за допомогою зворотного вузла 9 до ізоляційно-опорного шару 12 обмотки збудження 1 (фіг 3).

При підключенні обмотки збудження 1 до зарядженої батареї конденсаторів у обмотці протікає струм i_1 , який по закону електромагнітної індукції наводить у електропровідному якорі 2 електрорушійну силу e_2 . Під дією зазначеної електрорушійної сили у якорі 2 протікає струм i_2 . Взаємодія струму обмотки збудження i_1 та струму якоря i_2 призводить до появи аксіально направленої електродинамічної сили f . Оскільки спочатку струми знаходяться у протифазі, тобто їх напрямки протилежні, то сила f має характер відштовхування, що й викликає переміщення ΔZ якоря 2 із виконавчим елементом 7 зі швидкістю V .

Після передачі кінетичної енергії виконавчим елементом 7 об'єкту діяння (на фіг не показаний), якорь 2 разом із виконавчим елементом 7 під дією зворотного вузла 9 притискується до ізоляційно-опорного шару 12 обмотки збудження 1. Таким чином електродвигун знову знаходиться у початковому стані і готовий до наступного робочого циклу.

Збільшення величини коефіцієнта взаємної індуктивності у вихідному положенні та збереження доброго магнітного зв'язку між активними елементами, що досягається особливою формою обмотки збудження та якоря, зменшення розігріву обмотки спеціальною системою охолодження, що дозволяє попередити шкідливий нагрів ізоляції обмотки, а також отримати більші токи збудження, що в свою чергу приводить до збільшення величини індукованих токів, таким чином, підвищується електродинамічна сила відштовхування, швидкість та переміщення виконавчого елемента, що забезпечує підвищення ефективності індукційно-динамічного електродвигуна.

Джерела інформації

1 А с СССР №1220067, МКИ H02K33/02, G01M7/00 Индукционно-динамический привод — Заявка №3822407/24-07 от 30.11.84 г. Оpubл 23.03.86 г., Бюл. №11.

2 А с СССР №1515276, МКИ H02K33/02 Индукционный двигатель возвратно-поступательного движения — Заявка №4383578/24-07 от 25.01.88 г. Оpubл 15.10.89 г., Бюл. №38.

3 Болюх В.Ф., Марков А.М., Лучук В.Ф., Щукін І.С. Математическое моделирование электродинамического двигателя ударного действия // Техн. електродинаміка. Спец. випуск №2 — 1998. Т.2 — С.147-152, рис.1 (прототип).

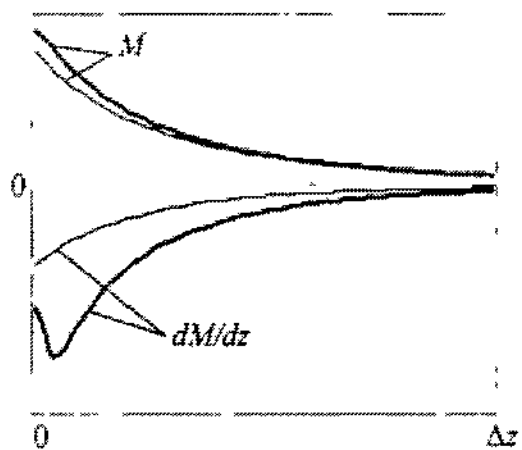


Fig. 1

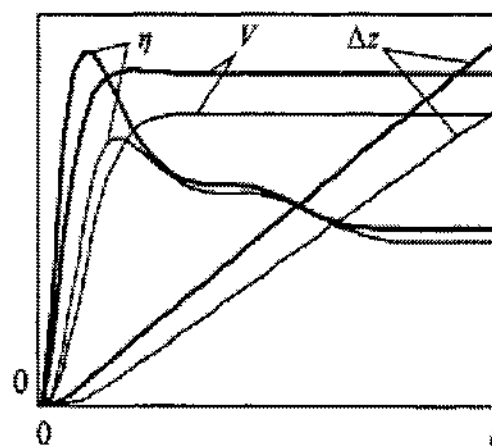


Fig. 2

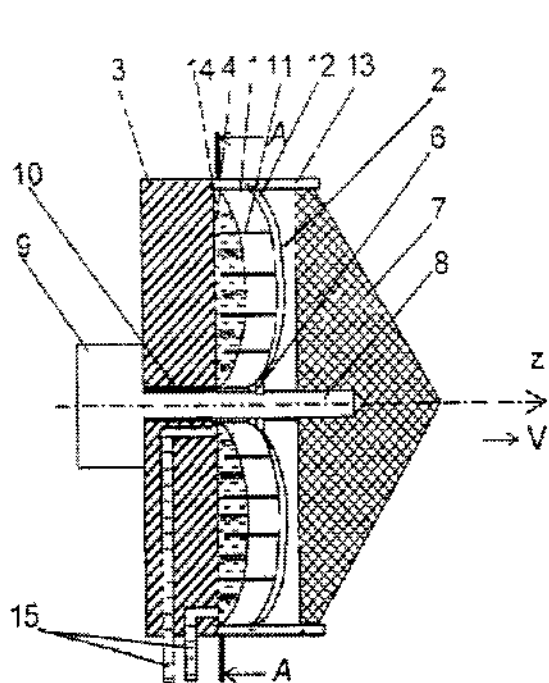


Fig. 3

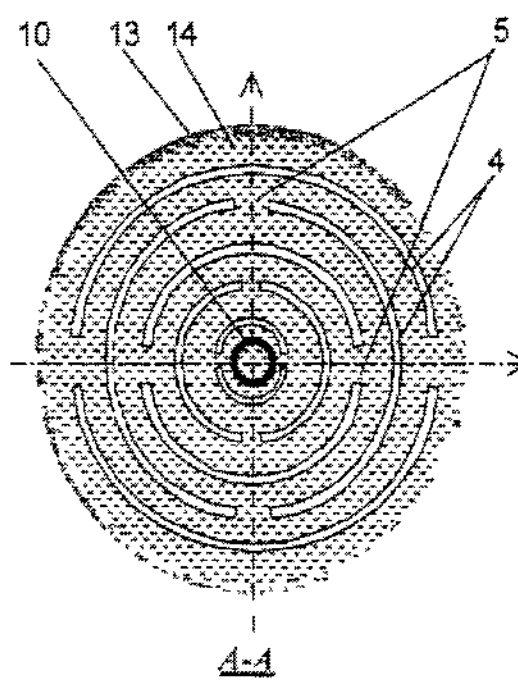


Fig. 4

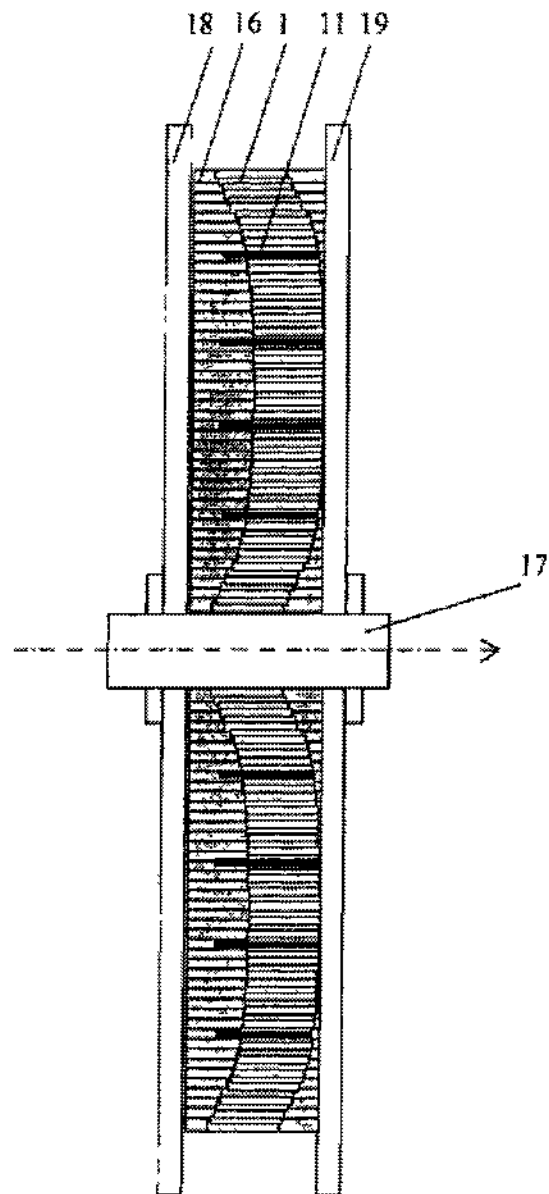


Fig.5