



УКРАЇНА

(19) UA (11) 27945 (13) U
(51) МПК (2006)
F01L 9/04МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) КОМБІНОВАНИЙ ЕЛЕКТРОКЕРОВАНИЙ ПРИВІД

1

(21) u200705437

(22) 18.05.2007

(24) 26.11.2007

(72) КОРОГОДСЬКИЙ ВОЛОДИМИР
АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, КИРИЛЮК ІГОР
ОЛЕГОВИЧ, UA, ЛОМОВ СЕРГІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ,
UA(73) КУЛИГІН ВІКТОР ІВАНОВИЧ, UA,
КОРОГОДСЬКИЙ ВОЛОДИМИР АНАТОЛІЙОВИЧ,
UA, КИРИЛЮК ІГОР ОЛЕГОВИЧ, UA, ЛОМОВ
СЕРГІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ, UA

(56)

(57) 1. Комбінований електрокерований привід, у якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення рухливої частини приводу, що містить щонайменше дві електричні котушки і щонайменше один ярк, який має феромагнітну частину і електропровідну неферомагнітну частину, і взаємодіючий з електричними котушками при підключенні останніх до джерела електричної енергії, щонайменше один з яких є імпульсним джерелом електричної енергії, при цьому зовнішня робоча поверхня феромагнітної частини розміщена в області впливу однієї котушки, а зовнішня робоча поверхня неферомагнітної частини розміщена в області впливу іншої котушки, і щонайменше одна з електричних котушок підключена до імпульсного джерела електричної енергії, який відрізняється тим, що робочі поверхні феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частини ярка розміщені одна уздовж іншої.

2. Привід за п. 1, який відрізняється тим, що робочі поверхні феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частини ярка виконані таким чином, що різниця кутів між ними та віссю переміщення рухливої частини приводу складає не більше ніж 45°.

3. Привід за пп. 1, 2, який відрізняється тим, що робочі поверхні феромагнітної і електропровідної неферомагнітної частини ярка є плоскими і розташовані паралельно одна одній, при цьому зазначені поверхні ярка орієнтовані поперек осі переміщення рухливої частини приводу.

4. Привід за п. 3, який відрізняється тим, що феромагнітна і електропровідна неферомагнітна частини ярка виконані у вигляді диска.

2

5. Привід за пп. 1, 2, який відрізняється тим, що робочі поверхні феромагнітної і електропровідної неферомагнітної частини ярка є співвісними одна одній та виконані циліндричними, при цьому зазначені поверхні ярка орієнтовані уздовж осі переміщення рухливої частини приводу.

6. Привід за п. 5, який відрізняється тим, що феромагнітна і електропровідна неферомагнітна частини ярка виконані у вигляді гільзи.

7. Привід за пп. 1, 2, який відрізняється тим, що робочі поверхні феромагнітної і електропровідної неферомагнітної частини ярка є співвісними одна одній та виконані конусними, при цьому осі зазначених поверхонь ярка орієнтовані уздовж осі переміщення рухливої частини приводу.

8. Привід за п. 7, який відрізняється тим, що ярк виконаний із внутрішньою порожниною.

9. Привід за пп. 1-8, який відрізняється тим, що рухливою частиною приводу є ярк.

10. Привід за пп. 1-9, який відрізняється тим, що електричні котушки виконані з можливістю одночасного підключення до імпульсних джерел електричної енергії.

11. Привід за пп. 1-9, який відрізняється тим, що електричні котушки виконані з можливістю незалежного підключення до імпульсних джерел електричної енергії, при цьому електрична котушка, в області впливу якої розміщена електропровідна неферомагнітна частина ярка, виконана з можливістю підключення до імпульсного джерела електричної енергії через заданий інтервал часу після підключення електричної котушки, в області впливу якої розміщена феромагнітна частина ярка.

12. Привід за пп. 1-11, який відрізняється тим, що імпульсним джерелом електричної енергії для котушки, в області впливу якої розміщена феромагнітна електропровідна частина ярка, є джерело постійного струму, що підключається до обмотки котушки за допомогою транзистора.

13. Привід за пп. 1-11, який відрізняється тим, що імпульсним джерелом електричної енергії для електричних котушок є принаймні один конденсатор електролітичного типу, що підключається до обмоток котушок за допомогою транзистора.

14. Привід за п. 13, який відрізняється тим, що транзистор виконаний з можливістю забезпечення

(13) U

(11) 27945

(19) UA

Корисна модель відноситься до області електротехніки, зокрема до електрокерованих приводів.

Існує ряд пристроїв, для функціонування яких потрібні електрокеровані приводи, що забезпечують задані переміщення протягом дуже коротких і точно визначених проміжків часу. Так, наприклад, у пристроях відбору проб рідин або газів у випадку вивчення процесів, що швидко змінюються, потрібно зробити відбір зразка в точно визначений проміжок часу, у системах дозування рідин або газів швидкість і точність роботи приводу є визначальною для досягнення точності дозування. У цих пристроях звичайно застосовуються електромагнітні, електродинамічні і комбіновані приводи різної конструкції.

Принцип дії електромагнітного приводу заснований на прагненні магнітного поля, що створюється струмом, який протікає через обмотку електромагніта, до мінімального об'єму (закон про максимум енергії в об'ємі електромагніта). Внаслідок цього рухливий феромагнітний ярк електромагніта прагне зайняти таке положення, коли середня силова лінія магнітного поля в магнітопроводі електромагніта буде мати мінімально можливу для даної конструкції довжину.

Принциповими недоліками електромагнітного приводу, що обмежують його швидкодію, є висока індуктивність електромагніта, тривалий час зміни магнітного поля в магнітопроводі, ефект насичення магнітопроводу та велике зниження величини початкової тягової сили внаслідок впливу повітряного початкового зазору. Таким чином, тягова сила електромагніта повільно наростає при включенні та повільно знижується при вимиканні. Для збільшення тягової сили електромагніта, через ефект насичення магнітопроводу, необхідно пропорційно збільшувати масу рухливої частини магнітопроводу, тобто питома (віднесена до рухливої маси) величина сили тяги електромагніта обмежена. При цьому для компенсації зниження величини початкової тягової сили потрібно додатково збільшувати розміри електромагніта, у тому числі і його рухливої частини. Отже, існує межа швидкодії пристроїв з даним приводом, що обмежує область його застосування.

Принцип дії електродинамічного приводу заснований на використанні ефекту силової взаємодії провідника (контур) зі струмом і зовнішнього магнітного поля (описується законом Ампера). При пропущенні через електричну котушку імпульсу струму виникає магнітний потік, що взаємодіє з електропровідним матеріалом ярка і наводить в ньому електрорушійну силу. Під дією електрорушійної сили в ярці виникає вихровий електричний струм. Струм ярка взаємодіє з магнітним полем котушки, створюючи тим самим імпульс механічної сили відштовхування ярка від котушки. До недоліків електродинамічних приводів відносяться

короткочасність дії сили, великі струми керування, відносно низький ККД. Для забезпечення тривалої дії сили необхідно подавати серію імпульсів струму, при цьому для компенсації впливу повітряного кінцевого зазору потрібно використовувати великі струми. Великі струми керування і низький ККД викликають нагрівання приводу. Відвід значної кількості тепла від електродинамічного приводу є складною технічною проблемою. Потужність, а значить швидкодія, що досягається, і частота спрацьовування існуючих електродинамічних приводів обмежені їх припустимим нагріванням і можливостями охолодження.

Відомі конструкції, що поєднують кілька електромагнітних або електродинамічних приводів, а також конструкції, що являють собою приводи, які мають електромагнітну та електродинамічну частини. У цих конструкціях, за рахунок сполучення властивостей декількох різновидних приводів, прагнуть збільшити тягову силу, швидкість руху ярка або швидкодію, підвищити ККД використання електричної енергії і знизити небажане нагрівання приводу, забезпечити додаткові можливості (наприклад, швидке зниження тягової сили при вимиканні приводу, швидкий розгін ярка, характерний для електродинамічного приводу та утримання ярка з великою силою наприкінці його руху, властиве електромагнітному приводу), недосяжні при використанні тільки одного електромагнітного чи електродинамічного приводів.

З патенту Німеччини №2306007 відомий електромагнітний привід клапанної форсунки для впорскування палива в камеру згорання двигуна внутрішнього згорання, котушка якого має три обмотки, керування кожною з яких здійснюється за допомогою трьох розділних електричних ланцюгів. При цьому перший електричний ланцюг служить для швидкого підняття клапана форсунки, другий електричний ланцюг призначений для утримання клапана форсунки у відкритому стані, а третій електричний ланцюг служить для створення зустрічного магнітного поля, що сприяє зниженню залишкового магнітного поля, з метою прискорення процесу закриття клапана форсунки.

Недоліки відомого з вказаного патенту приводу клапана форсунки викликані описаними вище властивостями електромагніта і складаються в повільному відкритті клапана, низькій точності коротких тимчасових інтервалів, неможливості швидкого здійснення повторного руху клапана і винятково трудомісткому виготовленню системи з трьома електричними ланцюгами, що керують трьома обмотками котушки.

З патенту РФ № 2096610 відомий комбінований електрокерований привід ударного механізму, у якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення рухливої частини приводу, що включає електричну котушку та ярк-ударник, який має феромагнітну частину та

електропровідну неферромагнітну частину, і взаємодіючий із пружиною і з електричною котушкою при підключенні її до джерела електричної енергії, при цьому привід має електромагнітну та електродинамічну частини. Виконання якоря-ударника з двох частин - електропровідної неферромагнітної і ферромагнітної, дозволяє при проходженні імпульсного струму в початковий момент одержати найбільше значення імпульсу сили, що виникає при взаємодії вихрових струмів, наведених у електропровідній неферромагнітній частині якоря-ударника і магнітного поля котушки (електродинамічна сила). Одночасно діє й електромагнітна сила у ферромагнітній частині якоря-ударника, тому що останній втягується в котушку в результаті прагнення магнітного поля, що створюється струмом, який протікає крізь обмотку електромагніта, до мінімального об'єму. Величина електромагнітної сили значно менше максимальної величини імпульсу електродинамічної сили, але тому що електромагнітна сила діє весь час руху якоря-ударника і вектори електромагнітної та електродинамічної сил збігаються, така конструкція дозволяє в цілому збільшити ККД пристрою та збільшити швидкість переміщення якоря-ударника. Коли електропровідна неферромагнітна частина якоря-ударника виходить з об'єму котушки (після проходження якорем-ударником половини шляху вільного ходу) електродинамічна сила перестає діяти і якор-ударник рухається тільки під дією електромагнітної сили та сили інерції.

Недоліки описаного рішення обумовлені використанням як для електромагнітної, так і для електродинамічної частин привода однієї загальної котушки, оточеної ферромагнітним магнітопроводом. Для забезпечення великої величини сили електродинамічної частини привода в котушці комбінованого привода необхідна велика величина імпульсу струму. Такий струм викликає відповідні вихрові струми в магнітопроводі, що приводить до його підвищеного нагрівання. Велика індуктивність такого привода, що обумовлена наявністю ферромагнітного магнітопроводу, приводить до низьких швидкостей наростання керуючого струму і, відповідно, до зменшення імпульсу сили електродинамічного привода, не дозволяє здійснити швидке повторне спрацювання привода. При перевищенні деякої величини імпульсу струму настає ефект насичення магнітопроводу, при цьому сила електромагнітної частини привода практично не підвищується, а втрати енергії і нагрів магнітопроводу продовжують збільшуватися, що приводить до різкого зниження ККД привода. Таким чином, потужність, досяжна швидкодія і частота спрацювання комбінованого привода з загальною котушкою обмежені властивостями загального ферромагнітного магнітопроводу комбінованого привода.

Найбільш близьким аналогом технічного рішення, що заявляється, є комбінований електрокерований привід, описаний в [авторському свідоцтві СРСР №1808095], у якому

електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення рухливої частини привода, що включає щонайменше дві електричні котушки і щонайменше один якор, який має ферромагнітну частину і неферромагнітну електропровідну частину, і взаємодіючий з електричними котушками при підключенні останніх до джерела електричної енергії, щонайменше один із яких є імпульсним джерелом електричної енергії, при цьому зовнішня робоча поверхня ферромагнітної частини розміщена в області впливу однієї котушки, а зовнішня робоча поверхня неферромагнітної частини розміщена в області впливу іншої котушки і щонайменше одна з електричних котушок підключена до імпульсного джерела електричної енергії, при цьому електрична котушка, розміщена у ферромагнітному корпусі, і ферромагнітна частина якоря утворюють електромагнітну частину привода, а інша електрична котушка і електропровідна неферромагнітна частина якоря утворюють електродинамічну частину привода. У відомому приводі застосовуються електромагнітна частина привода дискового типу (котушка електромагніта взаємодіє з плоскою ферромагнітною частиною якоря, встановленою на його торцевій поверхні), і електродинамічна частина привода гільзового типу (котушка електродинамічного привода взаємодіє з бічною електропровідною поверхнею якоря).

Недолік описаного рішення обумовлений застосуванням одночасно електромагнітної частини привода дискового типу (із плоскою робочою поверхнею) і електродинамічної частини привода гільзового типу (з циліндричною робочою поверхнею). Таке виконання описаного пристрою не дозволяє забезпечити ефективну спільну роботу електромагнітної та електродинамічної частин привода на всіх ділянках переміщення рухливої частини привода, приводить до зниження припустимої потужності і швидкодії електродинамічної частини привода.

Недоліки описаного пристрою пояснюються наступним чином. Особливістю роботи електромагнітного та електродинамічного приводів дискового типу є велика величина механічної сили при малих робочих зазорах, і швидке зменшення сили при збільшенні робочого зазору. Так як робочий зазор електромагнітної частини привода при робочому русі якоря зменшується, а робочий зазор електродинамічної частини привода зростає, відповідно і сила електромагнітного приводу швидко збільшується, а сила електродинамічного приводу швидко зменшується при робочому русі якоря. Електромагнітні та електродинамічні приводи дискового типу забезпечують порівняно велику величину механічної сили і максимальну швидкодію привода при невеликих переміщеннях якоря. Електромагнітні та електродинамічні приводи гільзового типу забезпечують порівняно невелику, але практично постійну величину механічної сили при великих переміщеннях якоря. В результаті застосування одночасно електромагнітної частини привода дискового типу та електродинамічної частини привода гільзового типу, у відомому з [авторського свідоцтва СРСР

№1808095] пристрої при великих робочих переміщеннях якоря, на ділянці розгону працює тільки електродинамічна частина привода. Електромагнітна частина привода працює тільки на кінцевій ділянці руху якоря і при утриманні клапана у відкритому стані. Швидкодія такого привода обумовлена порівняно невеликою величиною механічної сили тільки електродинамічної частини привода гільзового типу. При невеликих робочих переміщеннях якоря, на ділянці розгону працюють і електродинамічна, і електромагнітна частини привода, однак швидкодія такого привода обмежена порівняно невеликою величиною механічної сили електродинамічної частини привода гільзового типу. При цьому діаметр електродинамічної частини відомого пристрою задається діаметром електромагнітної частини і не оптимальний за критерієм найбільшого ККД електродинамічної частини, що приводить до підвищеного нагрівання і відповідно до зниження припустимої потужності і швидкодії електродинамічної частини привода. У відомому пристрої застосовується коливальний режим розряду конденсатора, що не забезпечує максимальної ефективності електродинамічної частини привода. При коливальному режимі розряду конденсатора та при комутації за допомогою тиристора, струм, що проходить через котушку, являє собою одну напівхвилю розрядного імпульсу струму конденсатора, тому що тиристор відключається при проходженні струму в котушці через нуль. Це енергетичне невідповідний режим розряду, тому що до моменту відключення імпульсу струму конденсатор перезаряджається до напруги зі зворотним знаком. Дана напруга менше вихідної за величиною, але тому що відбувається зміна знака напруги, до початку наступного робочого циклу електродинамічного привода необхідно здійснити часткове перезарядження конденсатора. Таким чином, додаткові струми, що протікають у зарядному пристрої, знижують ККД електродинамічного привода в цілому. Крім того, збільшення розмаху напруги на конденсаторі до величини більшої, ніж необхідна напруга заряду конденсатора, знижує ресурс роботи конденсатора. Зазначені недоліки коливального режиму розряду конденсатора, коли використовується одна напівхвиля імпульсу струму, широко відомі. Однак у практично використовуваних електродинамічних приводах застосування коливального режиму розряду конденсатора обумовлено можливостями використовуваної комутаційної апаратури, у якості якої в даний час використовуються в основному тиристори. Сучасна комутаційна апаратура має обмеження по швидкості наростання струму. Перевищення цієї швидкості наростання розрядного струму в обмотці котушки приводить до необхідності збільшення потужності комутаційного пристрою або до теплового пробоя комутаційного пристрою. Крім того, керування зусиллям, що розвивається електродинамічним приводом, в основному здійснюється шляхом керування напругою заряду конденсатора, що є технологічно складним. Застосування ж зазначеного режиму розряду конденсатора для

електродинамічних приводів у пристроях, що повинні забезпечити задані переміщення протягом дуже коротких і точно позначених проміжків часу не дозволяє забезпечити необхідну швидкодію і частоту спрацювання електродинамічного привода.

Крім того, такий режим розряду вимагає застосування у якості імпульсного джерела енергії конденсаторів металопаперового, металоплівкового або інших типів, призначених для роботи в імпульсних режимах з повним розрядом запасеної в конденсаторі енергії. Такі конденсатори мають принципові недоліки. В імпульсному режимі розряду при короточасному за величиною імпульсі струму, що необхідний для ефективної роботи електродинамічного привода, ресурс роботи таких конденсаторів має невелику величину. Так для більшості типів конденсаторів, що працюють в імпульсному режимі розряду, ресурс не перевищує 10^8 розрядів. Іншим недоліком таких конденсаторів є низька питома енергоємність. Так для сучасних серійних конденсаторів перерахованих вище типів питома енергоємність не перевищує 50 Дж/дм^3 .

В основу корисної моделі поставлена задача створення комбінованого електрокерованого привода, який за рахунок ефективного сполучення властивостей електромагнітної і електродинамічної частин привода, яке досягається при використанні роздільних котушок для електромагнітної і електродинамічної частин привода та при розміщенні робочих поверхонь феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частин якоря одна практично уздовж іншої, що досягається, наприклад, при використанні однотипних частин комбінованого привода (дискових, гільзових, конусних чи інших), що дозволить забезпечити ефективну спільну роботу електромагнітної і електродинамічної частин привода на всіх ділянках руху якоря, а це у свою чергу дозволить забезпечити необхідну швидкодію і необхідний рівень ККД комбінованого електрокерованого привода.

Поставлена задача вирішується тим, що розроблено комбінований електрокерований привід, у якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення рухливої частини привода, що включає, щонайменше, дві електричні котушки і, щонайменше один якор, що має феромагнітну частину і неферомагнітну електропровідну частину, взаємодіючий з електричними котушками при підключенні останніх до джерела електричної енергії, щонайменше один із яких є імпульсним джерелом електричної енергії, при цьому зовнішня робоча поверхня феромагнітної частини розміщена в області впливу однієї котушки, а зовнішня робоча поверхня неферомагнітної електропровідної частини розміщена в області впливу іншої котушки і, щонайменше одна з електричних котушок підключена до імпульсного джерела електричної енергії, при цьому робочі поверхні феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частин якоря розміщені одна уздовж іншої.

Експериментально було встановлено, що для ефективної сумісної роботи електромагнітної та

електродинамічної частин комбінованого привода доцільним є таке конструктивне виконання комбінованого привода, при якому різниця кутів між робочими поверхнями феромагнітної і електропровідної неферомагнітної частин привода та віссю переміщення якоря привода складає не більше ніж 45° . Саме таке виконання комбінованого привода означає розміщення робочих поверхонь феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частин якоря одна практично уздовж іншої. Це дозволяє забезпечити спрямованість виникаючих у цих частинах імпульсів сили вздовж осі переміщення рухливої частини привода і їх підсумовування а також ефективну спільну роботу електромагнітної і електродинамічної частин привода на всіх ділянках руху якоря. Це у свою чергу дозволяє переміщати рухливу частину привода протягом дуже коротких і точно визначених проміжків часу, забезпечує необхідну швидкодію і необхідний рівень ККД комбінованого електрокерованого привода.

Використання в конструкції комбінованого електрокерованого привода щонайменше двох електричних котушок, одна з яких є конструктивним елементом тієї частини привода, що працює, використовуючи принцип роботи електромагнітного привода, а інша котушка є конструктивним елементом тієї частини привода, що працює, використовуючи принцип роботи електродинамічного привода, дозволяє забезпечити оптимальні електричні і магнітні характеристики цих частин, а отже підвищити потужність, досягнувши швидкодію і частоту спрацювання комбінованого привода, що обмежуються властивостями загального магнітопроводу комбінованого привода у випадку використання однієї загальної електричної котушки.

Розташування якоря з забезпеченням того, що зовнішня робоча поверхня феромагнітної частини розміщена в області впливу однієї котушки, а зовнішня робоча поверхня неферомагнітної електропровідної частини розміщена в області впливу іншої котушки, дозволяє забезпечити оптимальні електричні і магнітні характеристики цих частин, однакову направленість імпульсів механічних сил, стабільну та ефективну роботу комбінованого електрокерованого привода у всьому діапазоні його робочих переміщень.

Якір розробленого привода виконаний складеним і має феромагнітну частину і електропровідну неферомагнітну частину, кожна з яких взаємодіє з відповідною електричною котушкою. Таке конструктивне виконання якоря комбінованого електрокерованого привода дозволяє поєднати в ньому оптимальні електричні і магнітні характеристики частини, що працює за принципом електромагнітного привода і частини, що працює за принципом електродинамічного привода, а також забезпечити необхідну механічну міцність якоря при його мінімальній масі, що у свою чергу забезпечує необхідну швидкодію і необхідний рівень ККД комбінованого електрокерованого привода. Крім того, доцільним є застосування неферомагнітного

електропровідного матеріалу для виготовлення тієї частини якоря, що є конструктивним елементом частини привода, що працює за принципом електродинамічного привода. Таке виконання якоря виключає можливість виникнення імпульсу механічної сили, зворотного за напрямком імпульсу сили, створюваному взаємодією струму електропровідної частини якоря з магнітним полем котушки зі струмом, що у свою чергу дозволяє забезпечити високий рівень ККД комбінованого привода в цілому, а, отже, дозволить забезпечити необхідну швидкодію, частоту спрацювання пристрою і необхідну точність роботи комбінованого електрокерованого привода.

Доцільним є використання однотипних частин комбінованого привода, наприклад, із плоскими, циліндричними або конусними зовнішніми робочими поверхнями. При цьому перетворення електричної енергії в лінійне переміщення рухливої частини привода відбувається при спільній роботі електромагнітної та електродинамічної частин привода на всіх ділянках руху якоря. Це також дозволяє забезпечити необхідну механічну міцність якоря при його мінімальній масі, та спрощує виробництво привода, що у свою чергу дозволить значно підвищити ефективність використання комбінованого привода.

Для невеликих робочих переміщень якоря доцільним є таке виконання привода, при якому зовнішні робочі поверхні феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частин якоря є рівнобіжними одна одній і виконані плоскими, при цьому зазначені поверхні якоря орієнтовані поперек осі переміщення рухливої частини привода, тобто в даному випадку використовуються однотипні конструктивні елементи якоря. При такому конструктивному виконанні привід являє собою комбінований електрокерований привід дискового типу. Таке виконання дозволить забезпечити спільну роботу електромагнітного та електродинамічного приводів на всіх ділянках руху якоря. Крім того, такий привід забезпечує найбільшу механічну силу при мінімальних розмірах і є найпростішим у виробництві.

Для порівняно великих робочих переміщень якоря доцільним також є таке виконання привода, при якому зовнішні робочі поверхні феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частин якоря є співвісними одна одній і виконані циліндричними, при цьому зазначені поверхні якоря орієнтовані вздовж осі переміщення рухливої частини привода, тобто в даному випадку використовуються однотипні конструктивні елементи електропровідного якоря. При такому конструктивному виконанні привід являє собою комбінований електрокерований привід гільзового типу. Таке виконання дозволить забезпечити спільну роботу електромагнітного та електродинамічного приводів на всіх ділянках руху якоря. Крім того, такий привід може забезпечити перемінне робоче переміщення рухливої частини привода, відрізняється мінімальним діаметром і досить простий у виробництві.

Для малого та середнього діапазону робочих переміщень якоря доцільним також є таке виконання привода, при якому зовнішні робочі поверхні феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частини якоря є співвісними одна одній і виконані конусними, при цьому осі обертання зазначених поверхонь якоря орієнтовані уздовж осі переміщення рухливої частини привода, тобто в даному випадку використовуються однотипні конструктивні елементи електропровідного якоря. При такому конструктивному виконанні привід являє собою комбінований електрокерований привід конусного типу. Таке виконання дозволить забезпечити спільну роботу електромагнітного та електродинамічного приводів на всіх ділянках руху якоря. Крім того, якір такого привода відрізняється найбільшою міцністю і твердістю при мінімальній масі, меншим гідрравлічним опором у порівнянні з якорем дискового типу, має виражений ефект автоматичного центрування і може забезпечити максимальну швидкість привода.

Доцільним є у якості рухливої частини привода використання складеного якоря. Таке конструктивне виконання електродинамічного привода дозволяє застосовувати його в різних областях техніки та у пристроях різного призначення.

Електричні котушки можуть бути виконані як з можливістю одночасного підключення до імпульсних джерел електричної енергії, так і з можливістю незалежного підключення до імпульсних джерел електричної енергії, при цьому електрична котушка, в області впливу якої розміщена неферомагнітна електропровідна частина якоря, виконана з можливістю підключення до імпульсного джерела електричної енергії через заданий інтервал часу після підключення до джерела електричної енергії електричної котушки, в області впливу якої розміщена феромагнітна частина якоря. Таке виконання комбінованого привода дозволяє в разі потреби забезпечити компенсацію порівняно повільного наростання сили в тій частині привода, що працює за принципом електромагнітного привода, а також забезпечити гнучке керування комбінованим приводом у залежності від відстані, яка була подолана якорем при переміщенні.

У якості джерела електричної енергії для котушки, в області впливу якої розміщена феромагнітна частина якоря, може бути використане джерело постійного струму, що підключається до обмотки котушки за допомогою транзистора.

Також, у якості імпульсного джерела електричної енергії для електричних котушок може бути використаний конденсатор електролітичного типу, що підключається до обмотки котушки за допомогою транзистора.

Доцільним є виконання імпульсного джерела електричної енергії з можливістю забезпечення часткового розряду конденсатора в аперіодичному режимі розряду. Це дозволяє забезпечити максимальну швидкість наростання струму в котушках привода, а значить і максимальну швидкість наростання механічної сили привода,

що дозволяє збільшити його швидкодію. Крім того, при аперіодичному розряді конденсатора на котушку електродинамічної частини комбінованого привода навіть при малій величині індуктивності котушки можна одночасно одержати високу величину ККД і сили, що розвивається цією частиною привода. Досягається це в такий спосіб. У зоні наростання струму через котушку комбінованого привода при малій зміні напруги на конденсаторі, котушка комбінованого привода послідовно кілька разів відключається і підключається до конденсатора на короткий час. Комбінований привід при цьому виробляє кілька імпульсів сили з високим ККД кожного імпульсу, необхідний же загальний імпульс сили забезпечується додаванням декількох послідовних імпульсів сили. Таке керування потужністю привода фізично реалізується за рахунок процесу широтно-імпульсної модуляції, що протікає. Незалежно від параметрів електричних котушок і якоря комбінованого привода при аперіодичному розряді електролітичного конденсатора може бути отриманий більш вигідний режим роботи привода, ніж при коливальному режимі розряду конденсатора. Крім того, при використанні аперіодичного режиму розряду конденсатора стає можливим використання енергоємних електролітичних конденсаторів, для яких режим неглибокого розряду відповідає їх звичайному режиму роботи у якості фільтру у блоках живлення.

Перелік графічного матеріалу

Фіг.1 - поперечний розріз одного з варіантів виконання комбінованого привода дискового типу.

Фіг.2 - поперечний розріз одного з варіантів виконання комбінованого привода гільзового типу.

Фіг.3 - поперечний розріз одного з варіантів виконання реверсивного (двосторонньої дії) комбінованого привода дискового типу.

Фіг.4 - поперечний розріз іншого варіанта реверсивного комбінованого привода дискового типу, електродинамічна частина якого містить тільки одну електричну котушку.

Фіг.5 - поперечний розріз одного з варіантів виконання реверсивного комбінованого привода гільзового типу.

Фіг.6 - поперечний розріз одного з варіантів виконання комбінованого привода конусного типу.

Фіг.7 - схема сил, що виникають при спільній роботі електромагнітної та електродинамічної частин комбінованого привода дискового типу.

Фіг.8 - схема сил, що виникають при спільній роботі електромагнітної та електродинамічної частин комбінованого привода гільзового типу.

Фіг.9 - схема сил, що виникають при спільній роботі електромагнітної та електродинамічної частин комбінованого привода конусного типу.

На Фіг.1 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання комбінованого електрокерованого привода, що є приводом дискового типу і включає електричну котушку 1, поміщену у феромагнітний корпус 2, електричну котушку 3, рухливу частину привода, якою є електропровідний якір, що складається з феромагнітної частини 4, електропровідної неферомагнітної частини 5 і стрижня 6, у

порожнині феромагнітного корпусу 2 встановлена пружина 7. Пружина 7 попередньо стиснута та упирається одним торцем в упор пружини 8, а іншим торцем у рухливу частину привода. Феромагнітний корпус 2 з електричною котушкою 1, електрична котушка 3, упор 8 і обмежники ходу 9 і 10 закріплені нерухомо, а феромагнітна частина 4, електропровідна неферомагнітна частина 5 і стрижень 6 з'єднані між собою і мають можливість переміщатися на відстань $\Delta 1$ між обмежниками ходу 9 і 10. Електрична котушка 1, феромагнітний корпус 2 і феромагнітна частина 4 утворюють електромагнітну частину комбінованого привода. Електропровідна неферомагнітна частина 5 і електрична котушка 3 утворюють електродинамічну частину комбінованого привода. При відсутності струму в електричних котушках 1 і 3 комбінованого привода під дією сили попередньо стиснутої пружини 7 рухлива частина привода притиснута до обмежника ходу 10 і знаходиться в положенні, показаному на Фіг.1. При цьому між поверхнями електропровідної частини 5 і рухливою частиною залишаються повітряні зазори $\Delta 2$ і $\Delta 3$, необхідні для того, щоб не пошкодити електричну ізоляцію котушки 3 при спрацюванні привода.

На Фіг.2 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання комбінованого привода, де привід являє собою привід гільзового типу. Позиції на малюнку відповідають позиціям Фіг.1.

На Фіг.3 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання реверсивного комбінованого електрокерованого привода, що є приводом дискового типу. На додаток до елементів привода, показаного на Фіг.1, ця конструкція містить другу котушку 11 електродинамічної частини привода, відповідну їй електропровідну неферомагнітну частину 12 якоря, феромагнітну частину 13 якоря, електричну котушку 14, розміщену в корпусі 15 другої електромагнітної частини привода.

На Фіг.4 представлений поперечний розріз іншого варіанта реверсивного комбінованого електрокерованого привода, що є приводом дискового типу, електродинамічна частина якого містить тільки одну електричну котушку 3. Інші позиції на фігурі відповідають позиціям Фіг.1 і 3.

На Фіг.5 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання реверсивного комбінованого електрокерованого привода, що є приводом гільзового типу. Позиції на малюнку відповідають позиціям Фіг.1 і 3.

На Фіг.6 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання комбінованого привода, де привід являє собою привід конусного типу. Причому робоча поверхня феромагнітної частини якоря знаходиться під кутом 16 до осі 17 переміщення якоря а робоча поверхня електропровідної неферомагнітної частини якоря знаходиться під кутом 18 до осі переміщення якоря. Інші позиції на малюнку відповідають позиціям фігури 1.

На Фіг.7 представлена схема сил, що виникають при спільній роботі електромагнітної та електродинамічної частин комбінованого привода

дискового типу. Вектор F_3 показує напрямок дії механічної сили, що виникає в електромагнітній частині, вектор F_4 показує напрямок дії механічної сили, що виникає в електродинамічній частині, вектор F_1 показує напрямок дії сумарної механічної сили, що виникає в комбінованому електрокерованому приводі.

На Фіг.8 представлена схема сил, що виникають при спільній роботі електромагнітної та електродинамічної частин комбінованого привода гільзового типу. Вектор F_3 показує напрямок дії механічної сили, що виникає в електромагнітній частині привода, вектор F_4 - напрямок дії механічної сили, що виникає в електродинамічній частині привода, вектор F_1 показує напрямок дії сумарної механічної сили, що виникає в комбінованому електрокерованому приводі.

На Фіг.9 представлена схема сил, що виникають при спільній роботі електромагнітної та електродинамічної частин комбінованого привода конусного типу. Вектор F_3 показує напрямок дії механічної сили, що виникає в електромагнітній частині, вектор F_4 - напрямок дії механічної сили, що виникає в електродинамічній частині, вектор F_1 показує напрямок дії сумарної механічної сили, що виникає в комбінованому електрокерованому приводі.

Робота комбінованого привода в одному з варіантів його виконання, показаному на Фіг.1, здійснюється в такий спосіб.

Імпульси напруг від зовнішніх імпульсних джерел струму (на малюнку не показані) подають на обмотки котушок 1 і 3. Як правило, імпульс напруги на обмотку котушки 1 подають трохи раніш, ніж на обмотку котушки 3 для компенсації порівняно повільного наростання сили в електромагнітній частині привода і досягнення найбільшої сумарної сили комбінованого привода. Під дією виникаючих імпульсів механічної сили в частинах 4 і 5 рухлива частина комбінованого привода переборює силу стиску пружини і переміщається, при цьому скорочується величина робочого зазору $\Delta 1$. Наприкінці робочого ходу рухлива частина упирається в обмежник ходу 9, при цьому між поверхнею феромагнітного диска 4 і феромагнітного корпусу 2 залишається повітряний зазор $\Delta 4$ для запобігання ефекту «залипання». Після припинення подачі напруги на обмотку котушки 1 величина механічної сили, що створюється електромагнітною частиною привода, починає зменшуватися і у момент, коли величина цієї сили стане менше сили стиску пружини 7, рухлива частина привода переміщається у вихідне положення під дією сили стиску пружини 7. При досягненні рухливою частиною обмежника ходу 10 цикл роботи привода завершується.

Робота реверсивного комбінованого електрокерованого привода в одному з варіантів його виконання, показаному на Фіг.3 здійснюється в такий спосіб.

Імпульси напруг від зовнішніх імпульсних джерел струму (на малюнку не показані) подають на обмотки котушок 1 і 3. Як правило, імпульс напруги на обмотку котушки 1 подають трохи раніше, ніж на обмотку котушки 3 для компенсації порівняно повільного наростання сили в

електромагнітній частині привода і досягнення найбільшої сумарної сили комбінованого привода. Під дією виникаючих імпульсів механічної сили в дисках 4 і 5 рухлива частина комбінованого привода переборює силу інерції і переміщається, при цьому скорочується величина робочого зазору $\Delta 1$. Наприкінці прямого робочого ходу рухлива частина упирається в обмежник ходу 9, при цьому між поверхнею феромагнітного диска 4 і феромагнітного корпусу 2 залишається повітряний зазор $\Delta 4$ для запобігання ефекту «залипання», прямий робочий хід завершується. Рухлива частина залишається в цьому положенні, поки не буде припинена подача напруги на обмотку котушки 1. Потім припиняють подачу напруги на обмотку котушки 1, і подають імпульси напруг на обмотки котушок 11 і 14. Під дією виникаючих імпульсів механічної сили в дисках 12 і 13 рухлива частина комбінованого привода переборює силу інерції і переміщається в вихідне положення. При досягненні рухливою частиною обмежника ходу 10 цикл роботи привода завершується.

Робота реверсивного комбінованого привода в одному з варіантів його виконання, показаному на Фіг.4, здійснюється аналогічно попередньому варіанту привода, але імпульси напруг в електродинамічній частині привода подаються на обмотку котушки 3, яка працює як при прямому, так і при зворотному ході рухливої частини.

Більш докладно процеси, що протікають у ході роботи привода, описуються нижче.

У комбінованому електрокерованому приводі, при подачі імпульсу напруги на обмотку котушки 1, у цій обмотці виникає імпульс струму, що викликає імпульс магнітного потоку, що замикається через корпус 2 і феромагнітний диск 4, які утворюють магнітопровід електромагнітної частини комбінованого привода. При цьому рухлива частина магнітопроводу прагне зайняти таке положення, коли довжина середньої магнітної лінії магнітопроводу буде мати мінімальну величину. Таким чином, імпульс сили, створюваний електромагнітною частиною комбінованого привода має напрямом, показаний на Фіг.1 напрямком вектора F_1 .

При подачі імпульсу напруги на обмотку котушки 3, у цій обмотці виникає імпульс струму, що створює імпульс магнітного потоку, зчеплений з електропровідною неферомагнітною частиною 5 якоря, виконаної у виді диска, і що має ту ж тривалість, що й імпульс струму в обмотці котушки 3. Магнітний потік, що змінюється в часі, внаслідок ефекту електромагнітної індукції, наводить у електропровідному матеріалі частини 5 імпульс електрорушійної сили e тієї ж тривалості, що й імпульс струму і магнітного потоку. Математично закон електромагнітної індукції описується формулою:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Під дією імпульсу електрорушійної сили e в електропровідній неферомагнітній частині 5 виникає імпульс кругових вихрових струмів. Ці вихрові струми взаємодіють із проникаючим у електропровідну неферомагнітну частину 5

магнітним потоком, створеним струмом в обмотці електричної котушки 3 (закон Ампера), у результаті чого виникає імпульс механічної сили, що має ту ж тривалість, що й імпульс струму в обмотці котушки 3, імпульс магнітного потоку й імпульс вихрових струмів в об'ємі матеріалу частини 3. Напрямок цього імпульсу сили показано на Фіг.1 напрямком вектора F_1 . Таким чином, при подачі імпульсів напруги на обмотки електричних котушок 1 і 3, обидві частини комбінованого привода створюють механічні сили, що діють в одному напрямку, хоча внесок цих сил у рух рухливої частини комбінованого привода на різних фазах руху різний.

У початковий момент часу переміщення рухливої частини відбувається в основному під дією імпульсу механічної сили, створюваного частиною привода, що працює за принципом роботи електродинамічного привода. Короткий і швидко наростаючий імпульс механічної сили створює значне прискорення рухливої частини комбінованого привода. У цей же час у частині привода, що працює за принципом електромагнітного привода, внаслідок високої індуктивності котушки 1 і великої величини повітряного зазору $\Delta 1$, механічна сила незначна і наростає повільно.

В міру проходження частини повітряного робочого зазору сила, створювана електродинамічною частиною привода, зменшується і, після закінчення дії короткого імпульсу сили, припиняється. У цей же час в обмотці котушки 1 струми досягають свого максимального значення і в міру скорочення робочого зазору $\Delta 1$, імпульс механічної сили, створюваний електромагнітною частиною привода, починає відігравати основну роль у переміщенні рухливої частини привода. Крім того, після проходження рухливою частиною робочого зазору $\Delta 1$, імпульс механічної сили, створюваний електромагнітною частиною, використовується для утримання рухливої частини в піднятому положенні. Після припинення подачі напруги на обмотку котушки 1, величина механічної сили, створюваної електромагнітною частиною привода, починає зменшуватися і, у момент, коли величина цієї сили стане рівною силі стиску пружини 7, рухлива частина привода починає рух у вихідне положення під дією сили стиску пружини 7. При цьому час переходу рухливої частини у вихідне положення визначається масою рухливої частини і величиною сили попереднього стиску і твердістю пружини 7.

Таким чином, перетворення електричної енергії в лінійне переміщення рухливої частини привода здійснюють шляхом подачі в нерухомі електричні котушки 1 і 3 імпульсів струму від імпульсних джерел електричної енергії. Попередньо здійснюють накопичення енергії, перетвореної в імпульс механічної сили, за допомогою конденсаторів. При включенні комутуючого пристрою, у якості якого використані транзистори, конденсатори розряджають на електричні котушки 1 і 3. Таким чином, здійснюють перехід частини запасеної в конденсаторах електричної енергії в електромагнітну енергію

обмоток електричних котушок 1 і 3. Частина запасеної енергії витрачається на нагрівання провідників котушок 1 і 3, а також витрачається на теплові втрати від створюваних вихрових струмів у корпусних деталях і т.п. Частина електромагнітної енергії, що залишилася, створює імпульс магнітного потоку, що замикається в магнітопроводі електромагнітної частини комбінованого привода, при цьому виконується притягання феромагнітної частини якоря до корпусу котушки 1, за рахунок чого здійснюють необхідний вплив на переміщуваний об'єкт. Інша частина електромагнітної енергії створює електромагнітне поле навколо обмотки електричної котушки 3, і тим самим здійснюють часткову передачу індуктивним шляхом електромагнітної енергії в неферомагнітну частину 5 якоря привода. Проникаючий у неферомагнітну частину 5 якоря перемінний електромагнітний потік наводить в ній вихровий струм, що взаємодіючи з магнітним потоком, що проникнув у електропровідну частину 5 якоря, створює імпульс механічної сили. При цьому виконується відштовхування електропровідної неферомагнітної частини 5 від котушки 3, за рахунок чого здійснюють необхідний вплив на переміщуваний об'єкт. Частини 4, 5 і стрижень 6 з'єднані між собою, у наслідок чого створювані в них імпульси механічної сили складаються.

Таким чином, корисна модель, що заявляється, являє собою комбінований електрокерований привід, який за рахунок ефективного сполучення властивостей електромагнітної і електродинамічної частин привода, яке досягається при використанні роздільних котушок для електромагнітної і електродинамічної частин привода та при розміщенні робочих поверхонь феромагнітної і неферомагнітної електропровідної частин якоря одна уздовж іншої, що досягається, наприклад, при використанні однотипних частин комбінованого привода (дискових, гільзових, конусних чи інших), що дозволяє забезпечити ефективну спільну роботу електромагнітної і електродинамічної частин привода на всіх ділянках руху якоря, а це у свою чергу дозволяє забезпечити необхідну швидкість і необхідний рівень ККД комбінованого електрокерovanого привода.

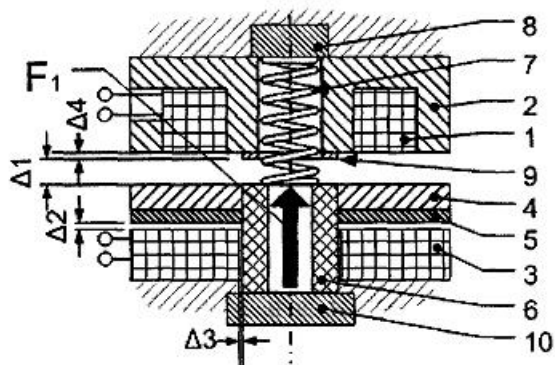


Fig. 1

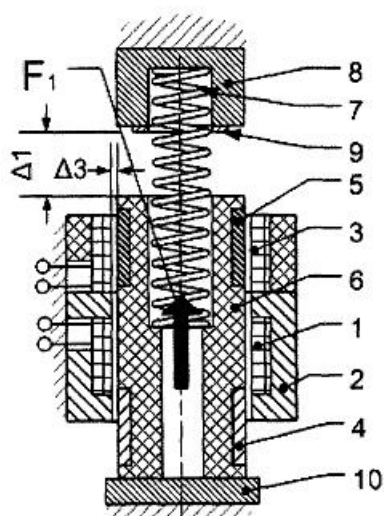


Fig. 2

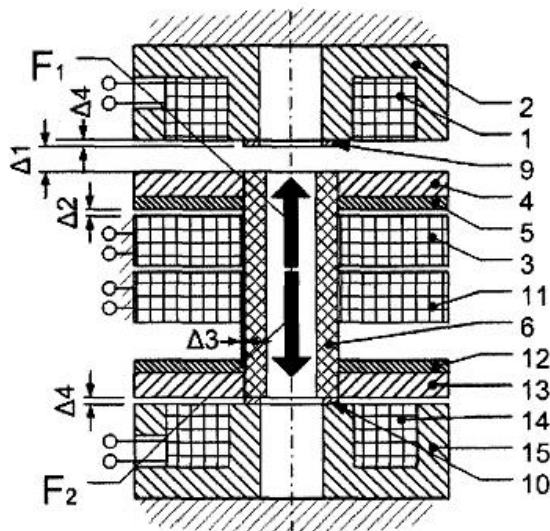


Fig. 3

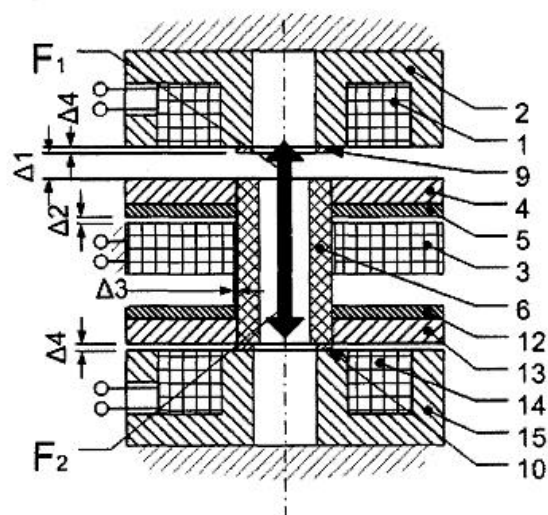


Fig. 4

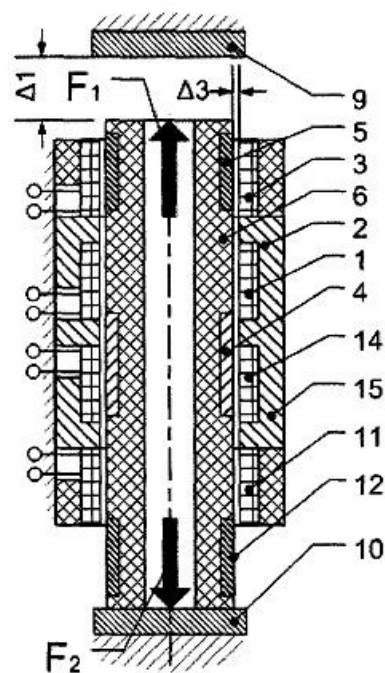


Fig. 5

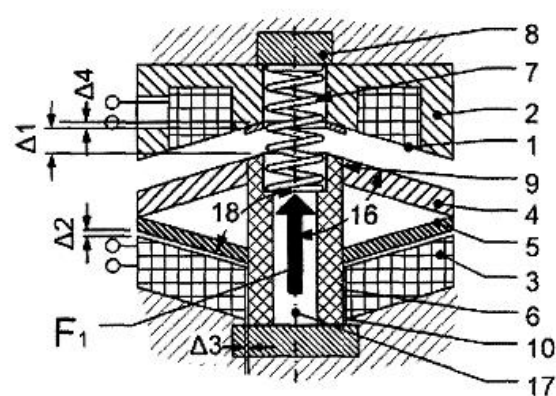


Fig. 6

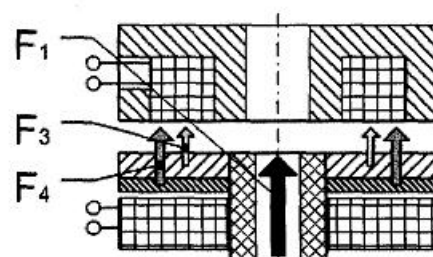


Fig. 7

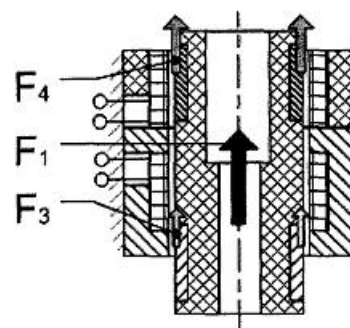


Fig. 8

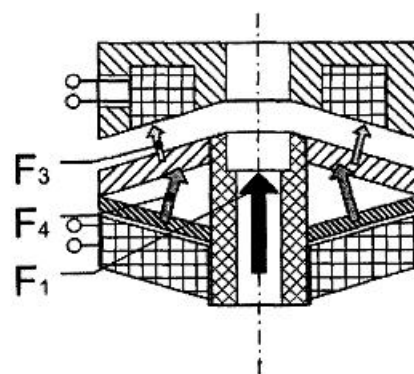


Fig. 9