



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **16248** (13) **U**  
(51) МПК (2006)  
H01H 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

#### (54) ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИЙ ПРИВІД

1

(21) u200605682

(22) 24.05.2006

(24) 17.07.2006

(46) 17.07.2006, Бюл. № 7, 2006 р.

(72) Корогодський Володимир Анатолійович, Кириллюк Ігор Олегович, Ломов Сергій Георгійович

(73) Кулигін Віктор Іванович, Корогодський Володимир Анатолійович, Кириллюк Ігор Олегович, Ломов Сергій Георгійович

(57) 1. Електродинамічний привід, у якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення штовхача приводу, що включає електричну котушку і електропровідний якор, виконаний з неферромагнітного матеріалу принаймні в тій частині якоря, в яку проникає магнітне поле котушки, взаємодіючий з котушкою при підключенні котушки до імпульсного джерела електричної енергії, що містить конденсатор з підключенням до нього комутаційним пристроєм із блоком керування, який **відрізняється** тим, що включає N електричних котушок, при цьому  $N \geq 1$ , і K електропровідних якорів, при цьому  $K \geq 1$ , а комутаційний пристрій виконаний з можливістю забезпечення часткової розрядки конденсатора в аперіодичному режимі розрядки.

2. Електродинамічний привід за п. 1, який **відрізняється** тим, що комутаційний пристрій виконаний з можливістю забезпечення керування потужністю приводу багаторазовим підключенням-відключенням конденсатора.

3. Електродинамічний привід за п. 1 або п. 2, який **відрізняється** тим, що комутаційний пристрій виконаний з можливістю забезпечення позиціонування приводу шляхом подачі серії імпульсів струму.

4. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що комутаційний пристрій являє собою транзистор з ізольованою базою.

5. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що конденсатор являє собою електролітичний конденсатор.

2

6. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що штовхачем є електрична котушка.

7. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що штовхачем є електропровідний якор.

8. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що електропровідний якор виконаний у вигляді гільзи.

9. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що електропровідний якор виконаний у вигляді диска.

10. Електродинамічний привід за п. 9, який **відрізняється** тим, що диск виконаний з кільцевою канавкою на торці диска, при цьому диск розташований на котушці з забезпеченням охоплення котушки практично до площини симетрії котушки.

11. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-10, який **відрізняється** тим, що котушка має обмотку, виконану зі стрічки прямокутного перерізу, при цьому широка сторона стрічки розміщена в площині, перпендикулярній осі котушки.

12. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-11, який **відрізняється** тим, що електрична котушка має висоту, меншу ніж 3 мм.

13. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-12, який **відрізняється** тим, що привід містить N електричних котушок ( $N = 1$ ) і K електропровідних якорів ( $K = 1$ ).

14. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-12, який **відрізняється** тим, що містить N електричних котушок і N+1 електропровідних якорів.

15. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-12, який **відрізняється** тим, що містить N+1 електричних котушок і K електропровідних якорів.

16. Електродинамічний привід за будь-яким з пп. 1-15, який **відрізняється** тим, що електропровідний якор приводу виконаний зі співвідношенням між його індуктивним і активним опорами при еквівалентній діючій частоті струму не менш ніж 5.

17. Електродинамічний привід за п. 16, який **відрізняється** тим, що матеріал якоря має питомий омичний опір менше, ніж  $2,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

(13) **U**  
(11) **16248**  
(19) **UA**

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

Існує ряд пристроїв, для функціонування яких необхідні електрокеровані приводи, що забезпечують задані переміщення протягом дуже коротких і точно позначених проміжків часу. Так, наприклад, в схемах керування перемінним струмом високої потужності очевидна перевага відкриття і закриття контактів за час, проміжок якого набагато менше половини тривалості циклу перемінного струму, що дозволяє розірвати або встановити контакт протягом одного з коротких проміжків часу, коли миттєва потужність в схемі відносно низька. 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 привода є визначальною для досягнення точності дозування. В якості електрокерованих приводів, що використовуються для забезпечення функціонування зазначених типів пристроїв, застосовуються п'єзоелектричні приводи, електромагнітні приводи, а також електродинамічні приводи різної конструкції. Дію п'єзоелектричного привода засновано на п'єзоелектричному ефекті - взаємному, оборотному зв'язку механічних деформацій або напруг і електричної поляризації в деяких діелектричних кристалах. Принциповим недоліком п'єзоелектричного привода, що обмежує його робочий хід, є мала відносна зміна розмірів навіть при великій величині напруженості електричного поля. Внаслідок цього, для переміщення привода, наприклад на 50-100мкм необхідна сумарна висота кристалів більша ніж 100мм, що приводить до росту маси рухливої частини привода. При цьому механічна міцність п'єзоелектричних кристалів при великій кількості циклів навантаження значно нижче міцності металів, а це приводить до неможливості одержання великого робочого ходу при достатньому ресурсі роботи такого привода. Принцип дії електромагнітного привода заснований на прагненні магнітного поля, створюваного струмом, який протікає через обмотку електромагніта, до мінімального об'єму. Внаслідок цього рухливий феромагнітний ярів 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 привода, що обмежують його швидкість, є ефект насичення магнітопроводу і великий вплив початкового повітряного зазору на величину тягової сили. Таким чином, 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. Отже, можна говорити про існування межі швидкості пристроїв з даним приводом, що обмежує область його застосування.

Предметом даної корисної моделі є електродинамічний привід, принцип дії якого заснований на використанні ефекту силової взаємодії елект-

ричного струму і магнітного поля. Основними елементами конструкції існуючих електродинамічних приводів є імпульсне джерело електричної енергії, що включає конденсатор, комутатор і блок керування, а також штовхач привода, яким може бути електрична котушка або електропровідний ярів, що може бути виконаний у виді диска або циліндра (гільзи). При пропусканні через електричну котушку імпульсу струму виникає магнітний потік, що взаємодіє з електропровідним матеріалом електропровідного ярю і наводить в ньому електрорушійну силу. Під дією електрорушійної сили в яріві виникає вихровий електричний струм. Струм ярю взаємодіє з магнітним полем котушки зі струмом, створюючи тим самим імпульс механічної сили відштовхування ярю від котушки. Звичайно застосовується спосіб регулювання привода зміною напруги зарядки конденсаторів, що розряджаються на обмотку котушки в коливальному режимі розряду.

Однак відомі електродинамічні приводи мають цілий набір істотних недоліків, до яких відноситься відносно низький ККД, неможливість тривалої роботи з високою частотою спрацьовування, складність їх конструктивного виконання, великі розміри зазначених пристроїв і їх дорожнеча. Крім того, зазначені приводи функціонують близько до своїх граничних можливостей по параметрах швидкодії і частоти спрацьовування.

В відомих електродинамічних приводах не враховується вплив застосовуваного режиму розряду конденсатора на його ресурс і енергоємність. В даний час в електродинамічних приводах в основному застосовується коливальний режим розряду конденсатора, що не забезпечує максимальної ефективності привода. При коливальному режимі розряду конденсатора і 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 енергетично не вигідний режим розряду, тому що до моменту відключення імпульсу струму конденсатор перезаряджається до напруги зі зворотним знаком. Вказана напруга менше вихідної за величиною, але внаслідок зміни знаку напруги, до початку наступного робочого циклу електродинамічного привода необхідно здійснити часткове перезарядження конденсатора. Таким чином, додаткові струми, що протікають в зарядному пристрої, знижують ККД електродинамічного привода в цілому. Крім того, збільшення розмаху напруги на конденсаторі до величини більшої, ніж необхідна напруга зарядки 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 тиристри. Сучасна комутаційна апаратура має обмеження по швидкості наростання струму. Перевищення цієї шви-

дкості наростання розрядного струму в обмотці котушки приводить до необхідності збільшення потужності комутаційного пристрою або до теплового пробою комутаційного пристрою. Крім того, керування зусиллям, що розвиває електродинамічний привід, в основному здійснюється шляхом регулювання напруги заряду конденсатора, що є технологічно складним.

Таким чином, можна зробити висновок, що коливальний режим розряду конденсатора доцільно застосовувати для найпростіших електродинамічних приводів невеликої потужності без регулювання механічного зусилля, що розвивається електродинамічним приводом. Застосування ж зазначеного режиму конденсатора для порівняно потужних електродинамічних приводів у пристроях, для функціонування яких потрібно забезпечення заданих переміщень протягом дуже коротких і точно позначених проміжків часу, є недоцільним, оскільки не дозволяє забезпечити необхідну швидкість і частоту спрацьовування електродинамічного привода.

У відомих конструкціях електродинамічних приводів в якості імпульсного джерела енергії використовуються конденсатори металоплівкового, металоплівкового та 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 короткочасному 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 100млн розрядів. Іншим недоліком таких конденсаторів є низька питома енергоємність. Так для сучасних серійних конденсаторів зазначених вище типів питома енергоємність не перевищує 50Дж/дм<sup>3</sup>.

Зазначені недоліки обумовлені також багатьма іншими факторами. Зокрема експериментально було встановлено, що відносно низький ККД і діюча сила відомих електродинамічних приводів обумовлені неоптимальним сполученням параметрів і недоліками конструкції складових частин привода.

Внаслідок цього при заданій величині імпульсу механічної сили в кілька разів збільшується величина необхідної електричної енергії, що накопичується в конденсаторі, що знижує ККД привода в цілому і збільшує його складність. У свою чергу низький ККД зазначених приводів обумовлює необхідність підведення значної потужності до електричної котушки порівняно невеликого розміру. Велика частина підведеної електричної енергії перетворюється в тепло і нагріває привід. Відвід значної кількості тепла від електродинамічного привода є складною технічною проблемою. Наприклад, у системах електродинамічного штампування котушки виконуються з провідника у виді трубки, по якій проходить охолодна рідина. Використання подібного рішення для охолодження електродинамічного привода в системах керування технічно здійснити неможливо в силу невеликих розмірів котушки з порівняно великою кількістю витків проводу і відповідно малого перерізу прово-

ду. Охолодження тільки зовнішньої поверхні котушки не дозволяє відвести достатню кількість тепла від внутрішніх витків внаслідок низької теплопровідності існуючих електроізоляційних матеріалів, що у реальних обмотках котушки складають біля половини об'єму. Потужність, а значить швидкість та частота спрацьовування існуючих електродинамічних приводів обмежені можливостями їх охолодження.

Також на ККД електродинамічного привода впливає співвідношення між індуктивним і активним опорами диска при діючій частоті струму. У відомих електродинамічних приводах не виявлений вплив на ефективність привода співвідношень між індуктивним і активним опорами диска при діючій частоті струму. Якщо активний опір диска буде близько до індуктивного опору, дорівнює або буде більше його, ефективність роботи привода буде різко падати. Це пояснюється зрушенням по фазі вектора імпульсу наведеного струму в диску щодо вектора імпульсу струму в котушці в процесі розряду конденсатора, внаслідок чого зміщуються максимальні значення індукції магнітного поля в котушці і наведеного струму в диску. Це приводить до зменшення механічної сили, яка визначається взаємодією струму в диску з магнітним полем котушки в розглянутий момент часу.

У відомих та найбільш розповсюджених конструкціях електродинамічного привода не визначений і не враховується вплив розмірів і конструкції обмотки електричної котушки на коефіцієнт магнітного зв'язку котушки і якоря, а, отже, і на ефективність електродинамічного привода. Магнітний зв'язок між електричною котушкою і електропровідним якорем визначається коефіцієнтом магнітного зв'язку, що є найважливішим параметром електричної котушки і якоря. Фізично коефіцієнт магнітного зв'язку показує, яка частина магнітного потоку, що створюється струмом, який протікає по обмотці електричної котушки, проникає в якорі і бере участь у створенні імпульсу механічної сили. Коефіцієнт магнітного зв'язку  $K$  визначається як

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (1),$$

де  $M$  - взаємна індуктивність обмотки електричної котушки і якоря;

$L_1, L_2$  - індуктивність обмотки електричної котушки і якоря відповідно.

Взаємна індуктивність визначається геометрією електричної котушки і якоря, їх взаємним розташуванням, кількістю витків в обмотці котушки. Ефективність електродинамічного привода має велику залежність від величини коефіцієнта магнітного зв'язку. Чим вище величина коефіцієнта магнітного зв'язку, тим вище ефективність електродинамічного привода за інших рівних умов. Тому при створенні електродинамічного привода необхідно намагатись створити таку конструкцію, при якій коефіцієнт магнітного зв'язку буде максимальним, а, отже, і ефективність електродинамічного привода буде збільшуватися. Однак існуючі конструкції електродинамічних приводів не повною мірою відповідають зазначеній вимозі.

Також на ККД електродинамічного привода впливає омичний опір електропровідного якоря. У

відомих електродинамічних приводах не виявлене існування граничного для ефективної роботи електродинамічного привода активного омичного опору якоря. Зі збільшенням активного омичного опору якоря вихровий струм, що наводиться в ньому, зменшується і, відповідно, зменшується імпульс механічної сили і ККД електродинамічного привода. Експериментально було встановлено, що при перевищенні деякого максимального питомого омичного опору матеріалу вихровий струм, що наводиться в якорі, різко зменшується, і, відповідно, зменшуються імпульс механічної сили, що розвивається, і ККД електродинамічного привода.

Крім того, на ККД значний вплив справляють геометричні розміри електричної котушки і електропровідного якоря, який виконують, наприклад, у виді диска. У відомих електродинамічних приводах величина імпульсу сили звичайно визначається як величина, пропорційна діаметру котушки і рівного їй по діаметрі електропровідного диска. Однак експериментально встановлено, що існує максимальна величина діаметрів конструктивних елементів електродинамічного привода, при перевищенні якої помітно знижується його ККД. Також на ККД електродинамічного привода впливає товщина електричної котушки, оскільки ККД процесу передачі електричної енергії від конденсатора в електропровідний диск електродинамічного привода падає при великій товщині котушки. Виникнення вихрового струму в диску створює магнітне поле диска, яке спрямовано назустріч магнітному полю котушки та в результаті зменшує магнітне поле котушки, витісняючи його в протилежну від диска частину котушки. В результаті магнітне поле в диску, з яким взаємодіють вихрові струми диска, зменшується і як наслідок зменшується механічна сила, що залежить від взаємодії вихрового струму з магнітним полем, створеним у котушці. Існуючі ж електродинамічні приводи найчастіше виконані з неоптимальними розмірами їх конструктивних елементів.

Ще одним фактором, що обумовлює зазначені недоліки існуючих електродинамічних приводів, є те, що у відомих електродинамічних приводах не враховується вплив феромагнітного матеріалу електропровідного якоря на ефективність електродинамічного привода. В основному матеріал диска в тій частині, у якій проникає магнітний потік, що створюється струмом котушки, є феромагнітним. В області феромагнітного матеріалу створюється імпульс механічної сили, зворотний за напрямком імпульсу сили, створюваному взаємодією струму якоря з магнітним полем котушки зі струмом, що викликає зменшення створюваного електродинамічним приводом імпульсу механічної сили і його ККД.

Відомий електродинамічний привід, описаний в [авторському свідоцтві СРСР №684629], у якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення штовхача привода, який включає електричну котушку і електропровідний якір з неферомагнітного матеріалу принаймні в тій частині якоря, у яку проникає магнітне поле котушки, взаємодіючий з котушкою при підключенні котушки до джерела електричної енергії. При цьому електродинамічний привід виконаний із двома нерухомими

електричними котушками, а штовхачами є дві рухливі котушки. Електропровідний якір виконаний у виді однієї з зазначених рухливих котушок, яка являє собою поршень, виконаний у виді стакана з неферомагнітного матеріалу. Зазначена котушка-поршень розміщена між нерухомими котушками, виконана з напрямком витків, протилежним напрямку витків першої рухливої котушки і магнітно з нею зв'язана, а з робочим органом, наприклад із клапаном, зв'язана механічним і гідравлічним зв'язком, причому кожна з рухливих котушок має електричний зв'язок з нерухомою котушкою, яка протилежна іншій рухливій котушці.

Недоліками описаної конструкції є обмежений імпульс сили, обумовлений величиною струмів, які підводяться до котушок, величина яких обмежена можливостями сучасної комутаційної апаратури, і низький ККД, що не дозволяють забезпечити необхідний імпульс механічної сили, великі габарити привода, обумовлені наявністю чотирьох котушок, велика енергоємність привода, обумовлена низьким ККД. Велика електрична потужність, яка підводиться до котушок порівняно невеликого розміру, приводить до того, що велика частина підведеної електричної енергії перетворюється в тепло і нагріває привід, що значно знижує період ефективної роботи пристрою і приводить до передчасного виходу його з ладу.

Відомий електродинамічний привід, описаний в [авторському свідоцтві СРСР №1335827], у якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення штовхача привода, який включає електричну котушку і електропровідний якір, взаємодіючий з котушкою при підключенні котушки до імпульсного джерела енергії, яке містить конденсатор з підключеним до нього комутаційним пристроєм із блоком керування. При цьому використовуваний комутаційний пристрій виконаний з можливістю забезпечення роботи конденсатора в коливальному режимі розряду, крім того, у якості комутаційного пристрою використовується тиристор.

Недоліками описаної конструкції є використання коливального режиму розряду конденсатора, при якому струм, що проходить через котушку, являє собою одну напівхвилю розрядного імпульсу струму конденсатора. Такий енергетично невігідний режим розряду конденсатора приводить до виникнення додаткових струмів, що протікають у зарядному пристрої, що приводить до зниження ККД електродинамічного привода в цілому. Крім того, використовувані в якості комутаційного пристрою тиристири мають обмеження за швидкістю наростання струму. Перевищення цієї швидкості наростання розрядного струму в обмотці котушки приводить до необхідності збільшення потужності комутаційного пристрою для запобігання його теплового пробою. Крім того, до недоліків описаної конструкції необхідно віднести виконання електропровідного якоря з феромагнітного матеріалу, що обумовлює можливість виникнення імпульсу механічної сили зворотного за напрямком імпульсу сили, який створюється взаємодією струму якоря з магнітним полем котушки зі струмом, що викликає зменшення створюваного електродинамічним приводом імпульсу механічної сили і його ККД.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі, що заявляється, є електродинамічний привід, описаний в [патенті РФ №2029129], в якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення штовхача привода, який включає електричну котушку і електропровідний ярк з неферомагнітного матеріалу принаймні в тій частині ярка, в яку проникає магнітне поле котушки, взаємодіючи з котушкою при підключенні котушки до імпульсного джерела електричної енергії, що містить конденсатор з підключеним до нього комутаційним пристроєм із блоком керування. Комутаційний пристрій, який використовується в даній конструкції, виконаний з можливістю забезпечення роботи конденсатора в коливальному режимі розряду і являє собою тиристор.

Недоліками описаної конструкції є коливальний режим розряду конденсатора, при якому струм, що проходить через котушку, являє собою одну напівхвилю розрядного імпульсу струму конденсатора. Даний режим розряду конденсатора є енергетично невигідним, тому що приводить до виникнення додаткових струмів, які протікають в зарядному пристрої, що у свою чергу приводить до зниження ККД електродинамічного привода в цілому. Крім того, використовувати в якості комутаційного пристрою тиристири мають обмеження по швидкості наростання струму. Перевищення швидкості наростання розрядного струму в обмотці котушки приводить до необхідності збільшення потужності комутаційного пристрою для запобігання його теплового пробію.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такого електродинамічного привода, який за рахунок простоти та ефективності конструкції, а також за рахунок підбору та узгодження параметрів джерела електричної енергії з параметрами конструктивних елементів привода, дозволить забезпечити високий ККД, що у свою чергу дозволить створити необхідний імпульс механічної сили, знизити енергоємність пристрою, а також дозволить забезпечити необхідну швидкість, частоту спрацьовування пристрою і необхідну точність роботи.

Поставлена задача вирішується тим, що електродинамічний привід, в якому електрична енергія перетворюється в лінійне переміщення штовхача привода, який включає електричну котушку і електропровідний ярк виконаний з неферомагнітного матеріалу принаймні в тій частині ярка, у яку проникає магнітне поле котушки, взаємодіючи з котушкою при підключенні котушки до імпульсного джерела електричної енергії, яке містить конденсатор з підключеним до нього комутаційним пристроєм із блоком керування, при цьому включає  $N$  електричних котушок, при цьому  $N \geq 1$ , і  $K$  електропровідних ярків, при цьому  $K \geq 1$  а комутаційний пристрій виконаний з можливістю забезпечення часткового розряду конденсатора в аперіодичному режимі розряду.

Забезпечення конструкцією електродинамічного привода перетворення електричної енергії в лінійне переміщення штовхача привода дозволяє забезпечити задані переміщення протягом дуже коротких і точно позначених проміжків часу.

В якості імпульсного джерела електричної

енергії застосовується конденсатор з підключеним до нього комутаційним пристроєм із блоком керування.

Найважливішим для забезпечення високого ККД електродинамічного привода є режим розряду ємнісного накопичувача енергії.

Переважним є використання аперіодичного режиму розряду конденсатора. При аперіодичному режимі розряду конденсатора струм у котушці електродинамічного привода наростає швидше, ніж при коливальному режимі, при рівності початкової напруги заряду конденсатора. При великих швидкостях зміни струму в котушці збільшується амплітуда струму в ярці і відповідно росте величина імпульсу механічної сили, що дозволяє забезпечити високий ККД, а також необхідну швидкість, частоту спрацьовування пристрою і необхідну точність роботи. Доцільно відключати котушку електродинамічного привода від конденсатора до або близько до моменту досягнення струмом котушки максимального значення в області максимальної швидкості наростання струму. До цього моменту напруга на конденсаторі змінюється незначно і досягається найбільша ефективність електродинамічного привода.

При аперіодичному розряді конденсатора на котушку електродинамічного привода навіть при малій величині індуктивності котушки можна одночасно одержати високу величину ККД і сили, що розвивається електродинамічним

приводом. Досягається це в такий спосіб. У зоні наростання струму через котушку електродинамічного привода при малій зміні напруги на конденсаторі, котушка електродинамічного привода послідовно кілька разів відключається і підключається до конденсатора на короткий час. Електродинамічний 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 протікання процесу широтно-імпульсної модуляції.

В незалежності від параметрів котушки і ярка електродинамічного привода при аперіодичному розряді електролітичного конденсатора може бути отриманий більш вигідний режим роботи електродинамічного 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 в блоках живлення.

Керування зусиллям, що розвивається електродинамічним приводом, здійснюється в слабкострумовому колі керування часом відкриття і закриття комутаційного пристрою, а не шляхом керування напругою заряду конденсатора, що забезпечує істотні переваги електродинамічного привода зазначеної конструкції за частотою спрацьовування пристрою і необхідною точністю роботи, значно зменшує складність і вартість комутаційного пристрою.

В якості комутаційного пристрою доцільне ви-

користання транзистора. Найбільша ефективність електродинамічного привода досягається при великих швидкостях зміни струму в котушці. Тому доцільно відключати котушку електродинамічного привода від конденсатора до або близько до моменту досягнення струмом котушки максимального значення. До цього моменту напруга на конденсаторі змінюється незначно. Така комутація котушки електродинамічного привода і ємнісного накопичувача дає наступні принципи переваги роботи електродинамічного привода: багаторазовим підключенням-відключенням конденсатора в точці максимального енергетичного ККД можна забезпечити необхідну величину механічного зусилля електродинамічного привода для досягнення максимально можливого ККД при оптимальному сполученні інших параметрів електродинамічного привода. Здійснення комутації такого типу, що забезпечує усі вищевказані переваги електродинамічного привода, забезпечується саме за рахунок використання транзисторів.

Переважним є використання транзисторів, виконаних за IGBT технологією (IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistors). IGBT транзистор являє собою біполярний транзистор з ізолюваним затвором - цілком керований напівпровідниковий прилад, в основі якого тришарова структура. Його включення і відключення здійснюються подачею і зняттям позитивної напруги між затвором і джерелом.

Крім того, застосування комутаційного пристрою зазначеного типу дозволяє здійснювати позиціонування електродинамічного привода шляхом подачі серії імпульсів струму на котушку зі струмом.

Штовхачем електродинамічного привода може виступати як електрична котушка, так і електропровідний якір. Якір може бути виконаний у формі циліндра (гілзи) або диска. Таке конструктивне виконання електродинамічного привода дозволяє застосовувати його в різних областях техніки та в пристроях різного призначення.

Доцільно для виготовлення електропровідного якоря застосовувати неферромагнітний матеріал принаймні в тій частині якоря, у яку проникає магнітний потік, який створюється струмом котушки. Таке виконання якоря виключає можливість виникнення імпульсу механічної сили, зворотного за напрямком імпульсу сили, створюваному взаємодією струму диска з магнітним полем котушки зі струмом, що у свою чергу дозволяє забезпечити високий ККД електропривода, а, отже, дозволить забезпечити необхідну швидкість, частоту спрацювання пристрою і необхідну точність роботи.

Переважним є виконання електропровідного якоря з діаметром, близьким до діаметра котушки. Це обумовлено тим, що виконання електропровідного якоря, наприклад, у формі прямокутної пластини з діагоналями більшими ніж діаметр котушки, приводить до виникнення в електропровідному якорі імпульсу сили, що має напрямок, зворотний імпульсу сили відштовхування, що у свою чергу приводить до зниження ККД пристрою, а отже до зниження швидкості, припустимої частоти спрацювання пристрою і точності роботи.

Якір може бути виконаний із плоским торцем або може мати кільцеву канавку на торці, зверне-

ному до котушки, при цьому якір розташований на котушці таким чином, що забезпечується охоплення котушки до площини симетрії котушки, яка перпендикулярна осі котушки.

Переважним є виконання електродинамічного привода з висотою електричної котушки меншою ніж 3мм. ККД процесу передачі електричної енергії від конденсатора в диск електродинамічного привода падає при великій висоті котушки. Виникнення вихрового струму в диску створює магнітне поле диска, що спрямовано назустріч магнітному полю котушки і приводить до зменшення магнітного поля котушки, витісняючи його в протилежну від диска частину котушки. В результаті магнітне поле в диску, з яким взаємодіють вихрові струми диска, зменшується і внаслідок цього зменшується механічна сила, що залежить від взаємодії вихрового струму з магнітним полем, створеним у котушці. Виконання електричної котушки з висотою меншою ніж 3мм дозволяє запобігти виникненню зазначеного несприятливого ефекту. Крім того, кращим є виконання електродинамічного привода з діаметром котушки менше ніж 20мм, і відповідно електропровідного диска з діаметром менше ніж 20мм. При рівності діаметрів котушки і диска, зі зменшенням цих діаметрів до найбільш переважних максимальна амплітуда імпульсу сили росте і при діаметрі меншому ніж 20мм має максимальну величину. При величині діаметрів більше 20мм відбувається значне зниження ефективності електродинамічного привода внаслідок зниження величини імпульсу механічної сили, що приводить до зниження ККД, що у свою чергу не дозволяє забезпечити необхідну швидкість, частоту спрацювання пристрою і необхідну точність роботи.

Переважним є виконання котушки з обмоткою, виконаною зі стрічки прямокутного перерізу, широка сторона стрічки якої при цьому розміщена в площині, перпендикулярній осі котушки. При цьому стає можливою конструкція електродинамічного привода, коли відсутній спеціальний шар ізоляції між обмоткою котушки і поверхнею диска, що дозволяє додатково збільшити величину коефіцієнта магнітного зв'язку.

У використовуваних конструкціях електродинамічних приводів відоме застосування котушки, обмотка якої виконана зі стрічки прямокутного перерізу. При цьому збільшується коефіцієнт заповнення об'єму котушки електропровідним матеріалом, відповідно, зменшується активний опір обмотки котушки, збільшується коефіцієнт магнітного зв'язку, тому що котушка може бути виконана меншої товщини в порівнянні з котушкою, обмотка якої виконана з проводу круглого перерізу. У відомих конструкціях обмотка котушки зі стрічки прямокутного перерізу виконується таким чином, що широка сторона стрічки знаходиться в площині, рівнобіжній осі котушки. Це є істотним недоліком даної конструкції обмотки котушки, при застосуванні в електродинамічному приводі через велику кількість причин. Діюча частота розрядного струму конденсатора, який протікає через обмотку котушки, викликає ефект витиснення струму в перерізі витка. У застосовуваній плоскій котушці цей ефект витиснення току буде пропорційний тому розміру стрічки витка, що знаходиться в площині, паралеле-

льній осі котушки. Таким чином, ефект витиснення струму в розглянутій котушці буде пропорційний ширині стрічки. При реальних діючих частотах струму розряду конденсатора, ефект витиснення струму приводить до зростання активного опору обмотки котушки в кілька разів. ККД електродинамічного привода з котушкою такої конструкції істотно зменшується.

Електродинамічний привід може містити одну електричну котушку та один електропровідний якір, що є штовхачем і виконаний у виді диска або циліндра (гільзи), тобто при цьому кількість котушок  $N$  і кількість електропровідних якорів  $K$  дорівнює 1.

Також привід може містити одну електричну котушку і два електропровідних якоря, при цьому штовхачем може бути або один із зазначених електропровідних якорів, або обидва якоря одночасно. Також привід може містити дві електричні котушки та один електропровідний якір, при цьому котушки підключаються до джерела імпульсу струму поперемінно для забезпечення роботи привода, як у прямому, так і в зворотному напрямку. Також привід може містити набір послідовно встановлених котушок і якорів, при цьому штовхачами можуть бути один чи обидва з крайніх якорів або котушок. Таким чином, при зазначених конструкціях електродинамічного привода кількість  $N$  котушок або  $K$  електропровідних якорів буде більше 1.

Доцільне виконання електропровідного якоря зі співвідношенням між його індуктивним і активним опорами при еквівалентній діючій частоті струму не менш ніж 5. Це зв'язано з тим, що при збільшенні діючої частоти струму в якорі, струм перестає бути рівномірно розподіленим по перерізу якоря. Густина струму стає більшою в шарах, які знаходяться ближче усього до поверхні якоря, прилягаючої до котушки. Фізично це відповідає збільшенню питомого активного опору матеріалу якоря. Якщо активний опір якоря буде за значенням близьким до індуктивного опору, дорівнюватиме або буде більше його, ефективність роботи привода буде різко падати. Це пояснюється зрушенням по фазі вектора імпульсу наведеного струму в якорі щодо вектора імпульсу струму в котушці в процесі розряду конденсатора, відповідно зміщуються максимальні значення індукції магнітного поля в котушці і наведеного струму в якорі. Це приводить до зменшення механічної сили, яка визначається взаємодією струму в якорі з магнітним полем котушки в розглянутий момент часу.

Переважає виконання якоря з матеріалу, що має питомий омичний опір менш ніж  $2,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. Зі збільшенням питомого омичного опору диска, вихровий струм, що наводиться в диску, зменшується і, відповідно, зменшується імпульс механічної сили і ККД електродинамічного привода. Експериментально встановлено, що при перевищенні максимального питомого омичного опору матеріалу диска, що має значення  $2,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, вихровий струм, що наводиться в якорі, різко зменшується, і, відповідно, зменшуються імпульс механічної сили, що розвивається, і ККД електродинамічного привода.

Перелік графічного матеріалу

Фіг.1 - поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода, де штовхачем є електропровідний якір, виконаний у виді диска.

Фіг.2 - поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода, де штовхачем є електропровідний якір, виконаний у виді диска з кільцевою канавкою на торці.

Фіг.3 - поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода, де штовхачем можуть бути як електрична котушка так і електропровідний якір, виконаний у виді диска.

Фіг.4 - поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода, де штовхачем можуть бути як електрична котушка так і електропровідний якір, виконаний у виді диска з кільцевою канавкою на торці.

Фіг.5 - поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода, виконаного у виді набору послідовно встановлених електричних котушок і електропровідних якорів, виконаних у виді диска.

Фіг.6 - схема електродинамічного привода для роботи в режимі аперіодичного розряду конденсатора.

На Фіг.1 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода. Електродинамічний привід включає електричну котушку 1 і штовхач привода 2, яким є електропровідний якір, виконаний у виді диска, причому диск є плоским.

На Фіг.2 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода. Електродинамічний привід включає електричну котушку 1 і штовхач привода 2, яким є електропровідний якір, виконаний у виді диска з кільцевою канавкою на торці.

На Фіг.3 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода. Електродинамічний привід включає електричну котушку 1 і два електропровідних диски 2 і 3, причому диски є плоскими. При реалізації зазначеної конструкції у якості штовхача привода може виступати електрична котушка 1, при цьому один з дисків 2 або 3 виконується нерухомим, а інший також є штовхачем. Крім того, зазначена конструкція може бути реалізована шляхом використання у якості штовхача двох дисків 2 і 3 одночасно.

На Фіг.4 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода. Електродинамічний привід включає електричну котушку 1 і два електропровідних диски 2 і 3, причому диски виконані з кільцевою канавкою на торці. При реалізації зазначеної конструкції у якості штовхача привода може виступати електрична котушка 1, при цьому один з дисків 2 або 3 виконується нерухомим, а інший також є штовхачем. Крім того, зазначена конструкція може бути реалізована шляхом використання у якості штовхачів двох дисків 2 і 3 одночасно.

На Фіг.5 представлений поперечний розріз одного з варіантів виконання електродинамічного привода. Зазначена конструкція виконана у виді набору послідовно встановлених електричних котушок 1 і електропровідних якорів 2, виконаних у

виді диска, причому диск виконаний плоским.

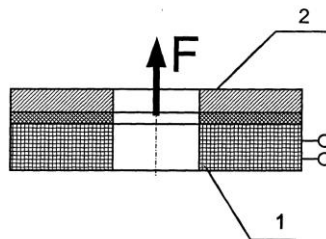
На Фіг.6 представлена схема електродинамічного привода для роботи в режимі аперіодичного розряду конденсатора. На схемі представлена електрична котушка  $L_1$ , підключена до конденсатора  $C$ , а також електропровідний якір  $L_2$ . У якості комутаційного пристрою використовується IGBT транзистор.

Робота електродинамічного привода в одному з варіантів його виконання здійснюється в такий спосіб.

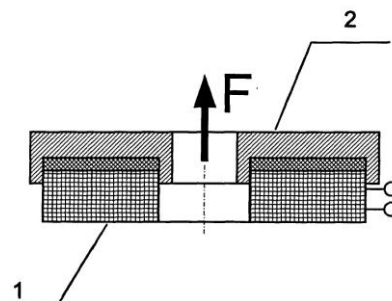
Перетворення електричної енергії в лінійне переміщення штовхача привода здійснюють шляхом подачі в нерухому електричну котушку 1 імпульсу струму від імпульсного джерела електричної енергії. Попередньо здійснюють накопичення енергії, яка перетворюється в імпульс механічної сили за допомогою конденсатора. При включенні комутаційного пристрою, у якості якого використовують транзистор, конденсатор частково розряджають на електричну котушку 1. Таким чином, здійснюють перехід частини запасеної в конденсаторі електричної енергії в електромагнітну енергію обмотки електричної котушки 1. Частина запасеної енергії витрачається на нагрівання провідників котушки 1, а також витрачається на теплові втрати від створюваних вихрових струмів у корпусних деталях і т.п. Частина електромагнітної енергії, яка залиши-

лася, створює електромагнітне поле навколо обмотки електродинамічного привода, і тим самим здійснюють часткову передачу індуктивним шляхом електромагнітної енергії в штовхач електродинамічного привода, яким у даному варіанті здійснення корисної моделі є електропровідний якір, який виконують у виді диска. Проникаючий у електропровідний диск, який виконують з неферомагнітного матеріалу в той його частині, у яку проникає магнітне поле котушки, перемінний електромагнітний потік наводить у зазначеному диску вихровий струм, що, взаємодіючи з магнітним потоком, який проникнув у диск, створює імпульс механічної сили. При цьому виконується відштовхування електропровідного диска від котушки, за рахунок чого здійснюють необхідний вплив на переміщуваний об'єкт.

Таким чином, корисна модель, що заявляються, представляє собою електродинамічний привід, що за рахунок простоти та ефективності конструкції, а також за рахунок підбирання та узгодження параметрів джерела електричної енергії з параметрами конструктивних елементів привода, забезпечить високий ККД, що у свою чергу дозволить створити необхідний імпульс механічної сили, знизити енергоємність пристрою, а також дозволить забезпечити необхідну швидкість, частоту спрацювання пристрою і необхідну точність роботи.



Фиг. 1



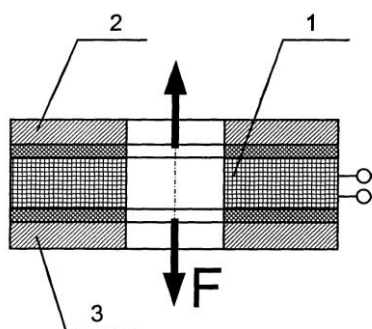
Фиг. 2



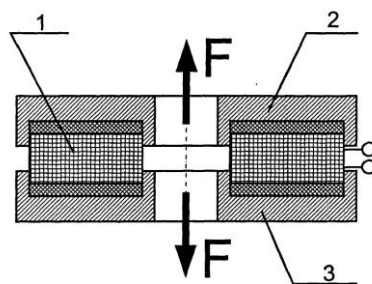
17

16248

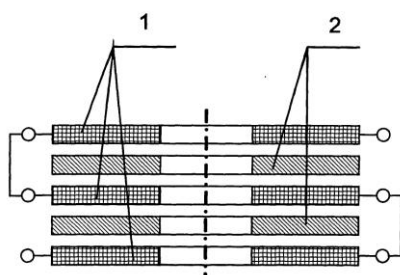
18



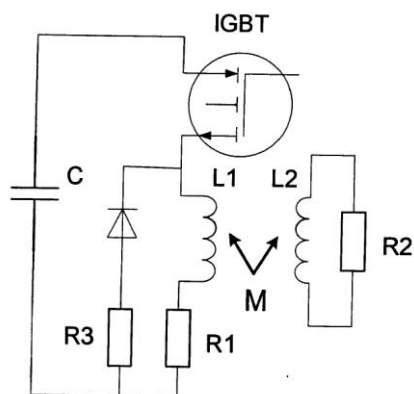
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6