



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40889 (13) A

(51) 7 H02K41/025, H02K33/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) ЛІНІЙНИЙ ІНДУКЦІЙНО-ДИНАМІЧНИЙ КРІОГЕННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН

(21) 2000105708

(22) 09.10.2000

(24) 15.08.2001

(46) 15.08.2001, Бюл. № 7, 2001 р.

(72) Болюх Володимир Федорович, Болюх Євген  
Володимирович, Под'ячий Дмитро Юрійович

(73) БОЛЮХ ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ

(57) 1. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун, що містить статорну обмотку збудження, яка підключається до джерела імпульсного струму, і рухомий якір, який виконаний з електропровідного матеріалу і коаксіально встановлений всередині обмотки із зміщенням вбік руху, при цьому обмотка і якір виконані у вигляді циліндрів, витягнутих в осьовому напрямі, який відрізняється тим, що зовні циліндричної статорної обмотки збудження поблизу кінця, котрий направлений у бік руху якоря з виконавчим елементом, коаксіально розташований нерухомий кільцевий електропровідний елемент таким чином, що його центральна площа зміщена щодо центральної площини якоря в сторону руху останнього, причому кільцевий електропровідний елемент, обмотка збудження і якір розташовані всередині герметичного корпусу, який виконано із слабопровідного матеріалу і заповнений кріогенною рідиною.

2. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун по п.1, який відрізняється тим, що

нерухомий кільцевий електропровідний елемент виконано у вигляді короткозамкнутої котушки.

3. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун по п.1, який відрізняється тим, що як кріогенну рідину використовують рідкий азот.

4. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун по п.1, який відрізняється тим, що герметичний корпус виконано у вигляді кріостата.

5. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун по пп.1, 2, який відрізняється тим, що обмотка збудження, якір і нерухома короткозамкнена котушка виконані у вигляді монолітних конструкцій, просочених терморективним компаундом.

6. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун по пп.1, 2, який відрізняється тим, що виконавчий елемент з'єднаний із корпусом за допомогою гнучкого сільфонного елемента.

7. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун по п.1, який відрізняється тим, що коаксіально між заднім виступом виконавчого елемента і переднім виступом внутрішнього напрямного елемента розташована пружина.

8. Лінійний індукційно-динамічний кріогенний електродвигун по п.7, який відрізняється тим, що виконавчий і напрямний елементи виконані із слабопровідного матеріалу, а їх поверхні взаємного контакту виконані з низьким коефіцієнтом тертя.

Винахід відноситься до електротехніки і може бути використаний в ударних приводах механізмів і машин та в приладах для прискорення рухомих мас.

Відомий лінійний електродвигун ударної дії, що містить циліндричні коаксіально розташовані первинну секційну обмотку, яка взаємопов'язана з упором, розміщена у феромагнітному осерді і підключається до джерела електроенергії, та електропровідних кільцевих елементів, які зафіксовані всередині феромагнітного корпусу, і між якими розміщені феромагнітні кільця таким чином, що відносно центральної площини кожної секції обмотки центральна площа суміжного електропровідного кільця зсунута вбік руху бойка, а централь-

на площа суміжного феромагнітного кільця зсунута вбік упора [1].

При підключенні до джерела електроенергії в секціях первинної обмотки виникає струм, який викликає відштовхування суміжних електропровідних кілець і притягнення феромагнітних кілець відносно секції обмотки в бік руху бойка. Складення електродинамічних сил відштовхування і електромагнітних сил притягнення обумовлює досить великі ударні навантаження.

Проте величина даних навантажень обмежена із-за недоцільності збільшення струму обмотки, оскільки настає насичення феромагнітних елементів. Крім того, наявність феромагнітних осердя, корпусу і кілець значно збільшує індуктив-

ність, що збільшує постійну часу, яка, в свою чергу, знижує швидкісні характеристики електродвигуна.

Відомий також лінійний індукційний електродвигун ударної дії, що складається з ряду обмоток, які встановлені уздовж осі з можливістю переміщення, і ряду короткозамкнених контурів, які індуктивно зв'язані із обмотками, причому кожна обмотка охоплена суміжними до неї двома контурами, крайній із яких з одного боку двигуна притиснутий до упору, а крайній контур із супротивної сторони притиснутий до рухомого бойка [2].

При підключенні двигуна до джерела електроенергії в обмотках протікає первинний струм, а в контурах індукуються вторинний струм. Між суміжними обмотками і короткозамкненими контурами виникає електродинамічна сила відштовхування, внаслідок чого відбувається їх взаємне переміщення і бойок відносно упора одержує сумарну швидкість.

Проте наявність рухомих обмоток вимагає спеціальних гнучких чи контактних струмопровідних елементів, що в цілому знижує надійність відомого електродвигуна.

Найбільш близьким до технічного рішення, що пропонується, є імпульсний електромеханічний перетворювач, що містить обмотку, яка підключається до джерела імпульсного струму, та рухомий якір, який виконаний у вигляді порожнистого контейнеру із електропровідного матеріалу і всередині якого розміщені диски, що коаксіально встановлені та відокремлені пружними проставками друг від друга і від торців якоря [3].

В даному перетворювачі при підключенні обмотки до джерела імпульсного струму електромагнітна сила, яка діє на якір, прискорює його незалежно від заповнюючих елементів в силу того, що диски можуть ковзати всередині якоря. По мірі розгону контейнера якоря стискається пружна проставка, яка відокремлює задній торець якоря від ближнього до нього диску в його порожнині. Диск втягується в рух і загальна маса рухомої частини зростає. По мірі того, як диски по черзі стають приєднаною масою по відношенню до контейнеру, діється багатократний процес зниження і наступного набору швидкості при черговому втягненні інших дисків в рух. В підсумку процес розгону якоря характеризується досить високим середнім рівнем швидкості у порівнянні з рухом монолітного якоря. За рахунок того, що маса рухомої частини зростає східчасто, може бути досягнута задана технологічними вимогами тривалість силової дії якоря на механічне навантаження.

Проте прилад-прототип має такі недоліки;

- конструкція порожнистого якоря з внутрішніми рухомими дисками не має універсальності і може бути застосована лише до деяких видів навантажень; до такого якоря складно приєднувати різні виконавчі ударні прилади;

- якір має не досить велику надійність із-за постійних динамічних внутрішніх навантажень ударного типу, що викликаються масивними дисками;

- із-за тертя і ударів дисків якір створює чималий шум при роботі;

- якір даного перетворювача із-за наявності дисків має чималу масу; при цьому необхідні додаткові напрямні елементи для забезпечення переміщення дисків всередині якоря без перекосів;

- маса виконавчого елемента, що розганяється, повинна бути значно меншою за масу дисків всередині якоря, інакше ефект від приєднання маси втрачає свою ефективність;

- в перетворювачі частина енергії недоцільно витрачається на тертя дисків з контейнером, стискання та подовження пружних проставок;

- для даної конструкції якоря складно забезпечити механічні напрямні елементи, що забезпечують його аксіальне переміщення всередині циліндричної обмотки з малим зазором.

Задачею винаходу є збільшення коефіцієнту корисної дії електродвигуна за рахунок збільшення швидкості розгону якоря із виконавчим елементом.

Поставлене завдання досягається за рахунок того, що в лінійному індукційно-динамічному кріогенному електродвигуні, що містить статорну обмотку збудження, яка підключається до джерела імпульсного струму, і рухомий якір, виконаний з електропровідного матеріалу, що коаксіально встановлений всередині обмотки із зміщенням вбік руху, при цьому обмотка та якір виконані у вигляді циліндрів, витягнутих в осьовому напрямі, - зовні циліндричної статорної обмотки збудження поблизу кінця, який направлений вбік руху якоря з виконавчим елементом, коаксіально розташований нерухомий кільцевий електропровідний елемент таким чином, що його центральна площа зсунута щодо центральної площини якоря в сторону руху останнього, причому кільцевий електропровідний елемент, обмотка збудження і якір розташовані всередині герметичного корпусу, виконаного з слабопровідного матеріалу і заповненого кріогенною рідиною.

Крім того, нерухомий кільцевий електропровідний елемент виконаний у вигляді короткозамкненої котушки. У якості кріогенної рідини використовується рідкий азот. Герметичний корпус виконаний у вигляді кріостата. Обмотка збудження, кільцевий якір і нерухома короткозамкнена котушка виконані у вигляді монолітних конструкцій, які просочені терморективним компаундом. Виконавчий елемент з'єднаний з корпусом за допомогою гнучкого сільфонного елемента.

Наявність нерухомого кільцевого електропровідного елемента (дису, короткозамкненої котушки, кільця), який коаксіально розміщений зовні циліндричної статорної обмотки збудження поблизу її кінця, що направлений вбік руху якоря з виконавчим елементом, причому центральна площа кільцевого елемента зміщена щодо центральної площини якоря в сторону руху, забезпечує збільшення швидкості розгону якоря. Це пояснюється наступним чином. При підключенні обмотки до джерела імпульсного струму в ній протікає струм, який індукуює в якорі і кільцевому елементі струми, що по правилу Ленця спрямовані в протилежний бік відносно струму обмотки. Оскільки між струмами супротивного напрямку діють електродинамічні сили відштовхування, а між струмами одного напрямку - сили притягнення, то відповідно на якір зі сторони обмотки діє сила відштовхування, а з боку кільцевого елемента - сила притягнення.

Оскільки центральна площа обмотки розташована позаду, а центральна площа кільце-

вого елементу попереду якоря, то обидві ці сили спрямовані в сторону руху якоря з виконавчим елементом.

Якщо припустити, що центральна площина кільцевого елементу зсунута щодо якоря вбік, супротив руху якоря, то з боку кільцевого елементу на якір також буде діяти електродинамічна сила притягнення. Але вона буде спрямована в протилежну сторону руху, тобто буде гальмувати якір. Якщо припустити, що центральна площина кільцевого елементу буде, навпаки, зсунута вперед в напрямі руху таким чином, що вона буде віддалена від кінця обмотки збудження, то тоді струм в цьому кільцевому елементі буде мати такий же напрям, як і струм в обмотці. Це пояснюється тим, що кільцевий елемент в такому положенні має більш сильний магнітний зв'язок уже не з обмоткою, а з якорем. І уже якір в основному індукуює струм в кільцевому елементі, протилежний по відношенню до свого струму, а не обмотка. Оскільки при такому розміщенні кільцевого елементу струми в ньому і в якорі, що прискорюється, спрямовані в протилежні сторони, то між ними також діє гальмівна сила, що знижує швидкість розгону якоря з виконавчим елементом.

Таким чином, розташування кільцевого елементу щодо обмотки збудження і якоря повинно бути строго визначеним, щоб вирішувати завдання підвищення ефективності електродвигуна. Це підтверджено математичними розрахунками і експериментальними дослідженнями.

Розміщення обмотки, якоря і кільцевого елементу всередині кріостата, заповненого криогенною рідиною, дозволяє значно зменшити їх опір, а значить і збільшити струми. Внаслідок збільшення амплітуди струмів зростають і електродинамічні сили, які діють на якір з боку обмотки і кільцевого елементу, що також сприяє рішенню поставленого завдання.

Корпус, всередині якого розташовані обмотка, якір і кільцевий елемент, виконується герметичним для збереження криогенної рідини. Корпус виготовлений із слабопровідного матеріалу, тобто він погано проводить і тепло (забезпечує тепловий захист) і електричний струм, не виявляючи тим самим впливу на електромагнітні процеси двигуна.

Виконання нерухомого кільцевого елемента у вигляді короткозамкненої котушки дозволяє істотно зменшити негативний вплив поверхневого ефекту, тобто проникання струму лише в поверхневій частині суцільного кільця.

Використання рідкого азоту в якості криогенного холодоагенту зумовлено його досить низькою температурою кипіння (77 К), доступністю (не дорогий і широко поширений) і безпечністю (не токсичний, не пожаро- та вибухобезпечний). Крім того, рідкий азот є хорошим електричним ізолятором, що дозволяє зменшити товщину твердої ізоляції, а значить і відстань між струмовими елементами. За рахунок останньої обставини підсилюється магнітний зв'язок, а значить зростають струми і електродинамічні сили, що також сприяє вирішенню основного завдання винаходу.

Наявність криогенної рідини зумовлює і конструкцію корпусу у вигляді кріостата, яка має теплозахисну сміність, що не зазнає значних механічних навантажень і забезпечена патрубками

для входу рідини і виходу газу, що випаровується, а також струмовводами для обмотки збудження.

Виконання статорної обмотки збудження, якоря, що прискорюється, і нерухомої короткозамкненої котушки у вигляді монолітних конструкцій, які просичені терморезистивним компаундом, підвищує їх механічну і електричну надійність. Крім того, монолітні елементи легко закріплюються і мають значну міцність. Це дозволяє підвищити електромагнітні навантаження електродвигуна без деформації обмотки та котушок, забезпечити легкість передачі електродинамічних зусиль від них на інші елементи двигуна і збільшити їх термін служби. Монолітна короткозамкнена котушка при цьому може бути використана як опорний елемент для фіксації корпусу і обмотки між собою.

Сполучення виконавчого елементу з корпусом за допомогою гнучкого герметичного сільфонного елементу (спеціальна гофрована тонкостінна трубка, яка розрахована на осьове стискання та подовження) дозволяє зберегти герметичність конструкції електродвигуна при переміщенні якоря з виконавчим елементом щодо нерухомих елементів.

Виконання виконавчого елементу із спеціальним заднім виступом, а внутрішнього напрямного елементу із переднім виступом дозволяє утворити порожнину, в якій можна розташувати пружину. Задній виступ може прикручуватись за допомогою, наприклад, різьбового з'єднання із самим виконавчим елементом. За рахунок цього пружина надійно фіксується у порожнині навіть без механічного з'єднання із жодним із елементів. При роботі електродвигуна за рахунок переміщення виконавчого елементу пружина буде стискатись заднім виступом, притискуючись до переднього виступу внутрішнього напрямного елементу, і за рахунок пружних сил буде забезпечувати повернення виконавчого елементу у початковий стан.

Виконання виконавчого і напрямного елементів із слабопровідного матеріалу, наприклад ізоляційного, забезпечує усуненню в них небажаних електричних струмів, які можуть виникати при роботі електродвигуна і погіршувати його роботу.

Виконання поверхонь взаємного контакту напрямного та виконавчого елементів із низьким коефіцієнтом тертя, що можна здійснити, наприклад шляхом виконання гладкої полірованої поверхні, забезпечує малі втрати енергії та малі протидіючі руху сили тертя при взаємному переміщенні напрямного та виконавчого елементів.

При дослідженні відповідності винаходу, що пропонується, критерію істотної відміни була виявлена конструкція швидкодіючого індукційно-динамічного приводу, що містить обмотку збудження і рухомий якір, який виконаний із електропровідного матеріалу і коаксіально розміщений всередині обмотки із зсувом вбік руху [4]. В даному приладі обмотка і якір також, як і в винаході, що пропонується, розташовані всередині корпусу, виконаного із слабопровідного матеріалу, а саме пластмаси. Проте у відомому приладі корпус не є герметичним, і не призначений для теплоізоляції та збереження криогенної рідини.

Відомий також електромеханічний перетворювач, що містить осердя з обмоткою керування (збудження) і рухому короткозамкнену обмотку

(якір). При цьому осердя виконано з двома виступами на супротивних його торцях, і постачено другою короткозамкненою обмоткою [5]. Наявність другої короткозамкненої обмотки є загальною ознакою з винаходом, що заявляється. Проте у відомому приладі обидві короткозамкнені обмотки з'єднані між собою гнучкою тягою і є рухомими, що істотно відрізняється від технічного рішення, що пропонується.

На фіг. 1 представлена конструктивна схема лінійного індукційно-динамічного криогенного електродвигуна;

на фіг 2 - схема електромагнітної системи електродвигуна із зазначенням електродинамічних сил, що діють на рухомий якір з боку статорної обмотки збудження  $f_{12}$  та з боку нерухомого кільцевого електропровідного елементу  $F_{23}$ .

Лінійний індукційно-динамічний криогенний електродвигун складається із статорної обмотки збудження 1, яка підключається до джерела імпульсного струму, наприклад ємнісного накопичувача (на фіг. не показаний), рухомого якоря 2, виконаного з електропровідного матеріалу і коаксіально встановленого всередині обмотки зі зсувом у бік руху по осі  $z$ , і нерухомого кільцевого електропровідного елементу 3, виконаного у вигляді короткозамкненої котушки. Обмотка 1 і якір 2 виконані у вигляді циліндрів, витягнутих в осьовому напрямі. Кільцевий елемент - короткозамкнена котушка 3, коаксіально розташований зовні циліндричної статорної обмотки збудження поблизу її кінця 4, направлено вбік руху якоря 2 з виконавчим елементом 5. Центральна площина 6 якоря зміщена щодо центральної площини 7 обмотки, а центральна площина 8 короткозамкненої котушки зміщена щодо центральної площини 6 якоря вбік руху якоря по осі  $z$ .

До масивного упору 9 двигуна приєднано герметичний корпус 10, який виконано із слабопровідного матеріалу. Корпус виконаний як криостат, що заповнений криогенною рідиною 11 - азотом. Внутрішня і зовнішня частини корпусу виготовлені, наприклад із тонкостінних циліндрів із нержавіючої немагнітної сталі, між якими розташований теплоізолятор, наприклад пінопласт. До виконавчого елементу 5 приєднано ударний елемент 12. Виконавчий елемент 5 виконаний з тривкого армованого пластика, наприклад склотекстоліту, і забезпечує надійну герметизацію якоря з корпусом 10 за допомогою гнучкого сільфонного елементу 13.

Обмотка збудження 1, якір 2 і нерухома короткозамкнена котушка 3 намотані з досить тонкого добре провідного проводу, наприклад із міді, і виконані у вигляді монолітних конструкцій, які просочені терморективним компаундом, наприклад на основі епоксидної смоли.

У внутрішній порожнині виконавчого елементу 5 розміщено напрямний елемент 14. Між заднім виступом 15 виконавчого елементу 5 і переднім виступом 16 внутрішнього напрямного елементу 14 коаксіально розташована пружина 17, що забезпечує повернення елементу 5 у початковий стан та обмежує його переміщення. Виконавчий 5 і напрямний 14 елементи виконані з слабопровідного матеріалу, наприклад з тривкого склотекстоліту, додатково армованого нитками з нержавіючої сталі, а їх поверхні взаємного контакту викона-

ні з низьким коефіцієнтом тертя, наприклад шляхом їхнього полірування.

Обмотка збудження 1 та корпус 10 механічно з'єднані між собою за допомогою рівномірно розташованих між ними ізоляційних опорних елементів 18, які таким чином утворюють канали для криогенної рідини. При цьому монолітна короткозамкнена котушка 3 виконує роль крайнього опорного елементу.

Лінійний індукційно-динамічний криогенний електродвигун працює наступним чином.

При підключенні статорної обмотки збудження 1 до джерела імпульсного струму, в ній протікає струм, напрям якого по перетину показано на фіг. 2 крапкою. Цей струм по закону електромагнітної індукції наводить в якорі 2 і котушці 3 струми, що по правилу Ленця мають супротивний напрям (на фіг. 2 напрями струмів показано хрестами). Між струмами зазначених елементів виникають електродинамічні сили взаємодії. Так, на якір 2 з боку обмотки збудження 1 діє електродинамічна сила відштовхування  $f_{12}$ , аксіальна складова якої співпадає з віссю  $z$ . З боку короткозамкненої статорної котушки 3 на якір діє електродинамічна сила притягнення  $f_{23}$ , аксіальна складова якої також співпадає з віссю  $z$ . Під дією електродинамічних сил  $f_{12}$  і  $f_{23}$  якір 2 з виконавчим елементом 5 здійснюють швидке переміщення по напрямному елементу 14 з малим тертям в напрямі осі  $z$ , прискорюючи ударний елемент 12.

За рахунок переміщення виконавчого елементу 5 щодо корпусу 10 сільфонний елемент 13 стискається і обсяг камери з рідким азотом 11 збільшується. При цьому відбувається переміщення заднього виступу 15 виконавчого елементу 5 щодо переднього виступу 16 нерухомого внутрішнього напрямного елементу 14, пружина 17 стискається, забезпечуючи повернення елементу 5 у початковий стан і обмежує його переміщення при повному стисканні.

При швидкому переміщенні якоря 2 з виконавчим елементом 5 уздовж осі  $z$  обсяг камери з рідким азотом різко зростає, а значить тиск зменшується. Наслідком цього, з одного боку, є зниження температури кипіння рідкого азоту за рахунок ефекту адіабатичного поширення, тобто виникає детандерний холодильний цикл. Зниження температури викликає і зменшення опору струмопровідних елементів, підвищення амплітуди струмів і електродинамічних сил, які діють між ними, що сприяє рішення завдання винаходу. З іншого боку, зниження тиску за рахунок швидкого поширення об'єму спроможне компенсувати деяке зростання тиску з-за випарювання рідини при протіканні імпульсного струму в обмотці 1, якорі 2 і короткозамкненої котушці 3.

Джерела інформації:

1. Пат. України № 23537, МПК H02K 41/025. Лінійний електродвигун ударної дії. - Заявка № 97062960 від 23.06.97 р. Надрук. 31.08.98 р., Бюл. №4.

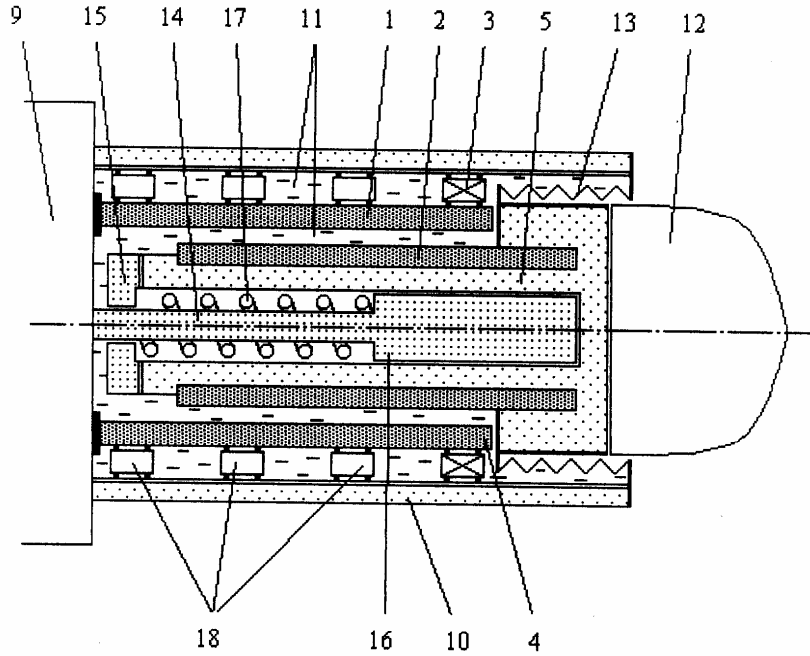
2. Пат. РФ № 2091971, МКИ H02K 41/025. Линейный индукционный электродвигатель ударного действия. - Заявка № 95116191 от 19.09.94 г. Опубл. 27.09.97 г., Бюл. № 27.

3. А.с. СССР № 1677808, МКИ H02K 33/00, H01H3/28. Импульсный электромеханический пре-

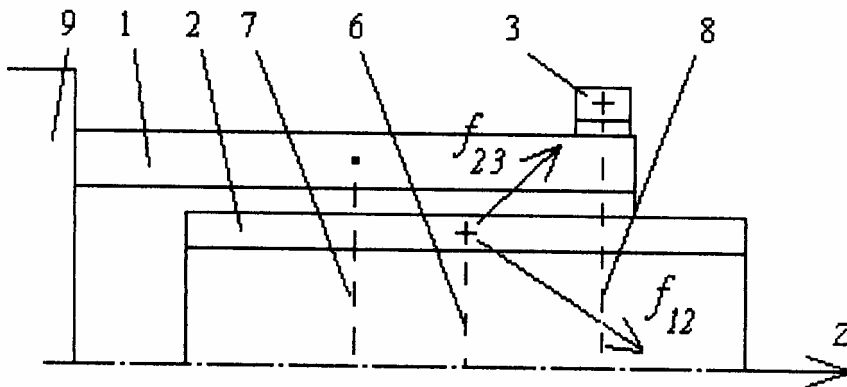
образователь. - Заявка № 4730542 от 14.08.89 г.  
Опублик. 15.09.91 г., Бюл. № 34 (прототип).

4. А.с. СССР № 1297129, МКИ H01H 77/10.  
Быстродействующий индукционно-динамический  
привод. - Заявка № 3931669 от 17.07.85 г. Опубли.  
15.03.87 г., Бюл. № 10.

5. Пат. РФ № 2042254, МКИ H02K 33/00.  
Электромеханический преобразователь Спирыко-  
ва. - Заявка № 4946878 от 20.06.91 г. Опубли.  
20.08.95 г., Бюл. № 23.



Фиг. 1



Фиг. 2

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
(03122) 3-72-89 (03122) 2-57-03

40889