



УКРАЇНА

(19) UA (11) 17970 (13) U  
(51) МПК (2006)  
H02K 29/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ВИСОКОМОМЕНТНИЙ ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З КОМБІНОВАНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

1

2

(21) u200604814

(22) 03.05.2006

(24) 16.10.2006

(46) 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.

(72) Булгар Віктор Васильович, Івлєв Анатолій Дмитрович, Яковлев Олександр Володимирович, Великий Михайло Григорович, Койфман Ілля Олександрович, Серванчук Олександр Павлович

(73) Булгар Віктор Васильович, Івлєв Анатолій Дмитрович, Яковлев Олександр Володимирович, Великий Михайло Григорович, Койфман Ілля Олександрович, Серванчук Олександр Павлович

(57) Високомоментний двигун постійного струму з комбінованим збудженням, що містить статор з пазами для укладання обмотки якоря, ротор з феромагнітними полюсами і постійними магнітами, шихтований пакет якоря з якісною обмоткою й тороїдальну обмотку збудження, який відрізня-

ється тим, що статор виконаний з ряду окремих, магнітно не зв'язаних феромагнітних стрижнів П-подібної форми, розташованих симетрично відносно ротора, що містить рівну кількість феромагнітних полюсів і постійних магнітів, розташованих по черзі відносно кільцевої структури нерухомих модулів якоря, при цьому основа ротора виготовлена з немагнітного матеріалу, жорстко з'єднаного з валом, а кінцеві частини радіально орієнтованих феромагнітних стрижнів П-подібної форми закріплені в немагнітних торцевих щитах статора, причому секції обмотки якоря укладені в проміжках-пазах між феромагнітними стрижнями-зубцями кожного з модулів якоря, а секції загальної обмотки якоря комутуються комутатором-колектором, установленим нерухомо в торцевій частині двигуна, при цьому щітковий вузол комутатора-колектора жорстко з'єднаний з валом ротора.

Корисна модель відноситься до галузі електромашинобудування й може бути використаним в електроприводах загальнопромислових механізмів, зокрема в електроприводах транспортних установок, механізмах ліфтів, прокатних станів й інших промислових пристроїв, які мають потребу у високій швидкодії в динамічних режимах.

Відомі різноманітні конструктивні схеми електричних машин, в яких реалізується спосіб комбінованого збудження. При цьому робочий магнітний потік створюється за рахунок одночасної дії обмоток збудження (ОЗ) і постійних магнітів (ПМ), магніторушійні сили (МРС) яких можуть бути включені в загальний магнітний ланцюг електричної машини як паралельно, так і послідовно. Так, наприклад, відома модифікація безконтактної електричної машини з кітєподібними полюсами й зовнішньо замкненим магнітним потоком, в якій між шайбами ротора поміщений кільцевий магніт з осьовим намагнічуванням. При знеструмлених обмотках збудження основний магнітний потік створюється тільки постійними магнітами. При включенні обмотки збудження електрична машина переходить у режим змішаного збудження, коли частина робочого потоку створюється магнітом, а частина - об-

мотками збудження [див. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. М, "Высшая школа". 1990. с.175].

Недоліком подібних електричних машин є підвищена маса, наявність додаткових технологічних повітряних зазорів, а також підвищене розсіювання через наявність зовнішнього магнітопроводу.

Найбільш близьким до конструкції, що заявляється, є індукторний генератор з комбінованим збудженням, в якому в проміжках між феромагнітними полюсними виступами ротора розміщені призматичні постійні магніти, прикріплені до ротора за допомогою заливки немагнітним сплавом, а статор містить шихтований пакет якоря з якісною обмоткою й кільцеву обмотку збудження. Магнітний потік  $\Phi_b$ , створений обмотками збудження, замикається в поздовжньому напрямку, як і у відомій індукторній машині, проходячи послідовно всі елементи магнітного ланцюга електричної машини, включаючи феромагнітні полюсні виступи, робочий повітряний зазор  $\delta_o$  і додатковий технологічний повітряний зазор  $\delta_t$ . Магнітний потік постійних магнітів  $\Phi_m$  має два контури замикання: частина магнітного потоку замикається в поперечній площині якоря, складаючись з потоком  $\Phi_b$ ; друга частина магніт-

(13) U  
(11) 17970  
(19) UA

ного потоку  $\Phi_m$  замикається в поздовжньому напрямку електричної машини. Причому, при узгодженому напрямку поперечних потоків  $\Phi_b$  і  $\Phi_m$  у робочому зазорі  $\delta_o$  їхні напрямки в поздовжньому напрямку ( $\delta_r$ ) протилежні [див. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. М. "Высшая школа". 1990. с.137, 178].

Конструкція даної електричної машини обрана найближчим аналогом. Найближчий аналог і конструкція, що заявляється, мають наступні спільні ознаки:

- статор з пазами для укладки обмотки якоря;
- ротор з феромагнітними полюсами і постійними магнітами;
- шихтований пакет якоря з якірною обмоткою;
- тороїдальна обмотка збудження.

Найближчий аналог має наступні недоліки:

- наявність масивного осердя ротора, який необхідний для замикання загального магнітного потоку електричної машини;

- наявність додаткового технологічного повітряного зазору;

- асиметрія магнітних ланцюгів, внаслідок наявності двох контурів замикання магнітного потоку постійних магнітів.

В основу корисної моделі поставлена задача створити високомоментний двигун постійного струму з комбінованим збудженням, в якому за рахунок іншого виконання статора й схеми з'єднання нових і відомих вузлів та деталей, забезпечити зменшення маси обертових частин двигуна, спрощення виготовлення й зниження собівартості двигуна, а також підвищення питомих значень потужності й моменту.

Поставлена задача вирішена в конструкції високомоментного двигуна постійного струму з комбінованим збудженням, що містить статор з пазами для укладки обмотки якоря, ротор з феромагнітними полюсами й постійними магнітами, шихтований пакет якоря з якірною обмоткою і тороїдальну обмотку збудження згідно корисної моделі статор виконаний з ряду окремих, магнітно не зв'язаних феромагнітних стрижнів П-подібної форми, розташованих симетрично щодо ротора, який містить рівну кількість феромагнітних полюсів і постійних магнітів, розташованих по черзі відносно кільцевої структури нерухомих модулів якоря, при цьому основа ротора виготовлена з немагнітного матеріалу, жорстко з'єднаного з валом, а кінцеві частини радіально орієнтованих феромагнітних стрижнів П-подібної форми закріплені в немагнітних торцевих щитах статора, причому секції обмотки якоря укладені в проміжках-пазах між феромагнітними стрижнями-зубцями кожного з модулів якоря, а секції загальної обмотки якоря комутуються комутатором-колектором, установленим нерухомо в торцевій частині двигуна, при цьому щітковий вузол комутатора - колектора жорстко з'єднаний з валом ротора.

У заявленому двигуні комбіноване збудження забезпечується наявністю однієї загальної тороїдальної обмотки збудження й ряду постійних магнітів, у певній послідовності установлених на дисковому роторі таким чином, що на одному його полюсному поділу розташований феромагнітний

полюс, а на наступному - постійний магніт, причому число феромагнітних полюсів завжди дорівнює числу постійних магнітів, забезпечуючи загальне число полюсних поділів, рівне 2Р. За рахунок особливого способу виготовлення магнітної системи статора забезпечується можливість різкого ослаблення реакції якоря двигуна, що призводить до підвищення його перевантажувальної здатності, і, відповідно, до підвищення його швидкодії й зменшенню споживаної електроенергії в перехідних режимах. При цьому значно зменшується маса обертових частин, спрощується технологія виготовлення двигуна, зменшується його собівартість, а конструктивна схема двигуна забезпечує можливість модульного принципу його побудови, тобто послідовного чергування модуля якоря (зубцева зона і секції обмотки якоря) і модуля дискового ротора (немагнітний диск із феромагнітними полюсами й постійними магнітами). Це значною мірою підвищує питомі значення потужності й моменту.

На відміну від найближчого аналога в заявленому двигуні магнітні потоки обмотки збудження ( $\Phi_{об}$ ) і постійних магнітів ( $\Phi_{мб}$ ) замикаються у двох паралельних площинах. При цьому на ділянках (полюсних діленнях) дискового ротора з феромагнітними полюсами забезпечується магнітний потік, що замикається через робочий зазор  $\delta_o$ , що відповідає величині потоку  $\Phi_{об}=\Phi_3$ , тобто потоку магніторушійної сили обмотки збудження. На полюсних діленнях дискового ротора з постійними магнітами магнітний потік у робочому магнітному зазорі визначається різницею значень спрямованих на зустріч потоків  $\Phi_m$  і  $\Phi_3$ , тобто  $\Phi_{мб}=\Phi_m-\Phi_3$ . Однак, зважаючи на те, що магнітна проникність постійних магнітів, рівна  $(2\div 10)\cdot\mu_o$ , (Л1, с.49), де  $\mu_o=4\pi\cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнітна постійна, для зовнішнього магнітного потоку ( $\Phi_3$ ) ділянка з постійними магнітами представляє великий магнітний опір, чим пояснюється незначне збільшення магніторушійної сили постійних магнітів  $F_m$  у порівнянні із магніторушійною силою обмотки збудження  $F_3$ . У запропонованій конструкції для створення однакових за значенням магнітних потоків  $\Phi_b=\Phi_{об}=\Phi_{мб}$ , повинно виконуватися співвідношення:  $F_m=(1,1\div 1,15)\cdot F_3$ , що значно менше, ніж у найближчому аналозі через наявність шунтуючого магнітного потоку останнього. У заявленому двигуні відсутні загальні ділянки магнітного ланцюга двигуна, по яким одночасно проходили б магнітні потоки  $\Phi_m$  і  $\Phi_3$ , чим пояснюється, на відміну від найближчого аналога, відсутність асиметрії магнітних ланцюгів.

У заявленому високомоментному двигуні постійного струму з комбінованим збудженням немає масивного феромагнітного осердя ротора, що зменшує масу обертової частини двигуна, відповідно, підвищує його швидкість. Відсутність загального ярма якоря і ярма обмотки збудження забезпечує шлях замикання магнітного потоку магніторушійної сили обмотки якоря тільки через бічні поверхні зубців модуля якоря й повітряні проміжки між ними (пази), що мають малу магнітну проникність, чим обумовлене обмеження реакції якоря, можливість одержання більших перевантажень по струму, обумовлених, в основному, умо-

вою відсутності перекидання магнітного поля в робочому повітряному зазорі. Підвищення переважувальної здатності двигуна поліпшує динамічні характеристики (прискорення, час пуску й гальмування), що підвищує продуктивність відповідної промислової установки, зменшує втрати електроенергії в перехідних режимах.

В свою чергу, обмеження реакції якоря наявністю ряду повітряних проміжків (пазів) на шляху замикання магнітного потоку магніторушійної сили обмотки якоря забезпечує можливість вибору величини робочого повітряного зазору між модулем якоря й модулем дискового ротора на шляху замикання основного магнітного потоку двигуна тільки виходячи з технологічних можливостей забезпечення його мінімального значення, чим обумовлене зменшення як розмірів котушок обмотки збудження, так і електричних втрат в них.

У пропонуваному двигуні досить просто реалізується модульний принцип побудови сучасних спеціальних електродвигунів, при якому в аксіальному напрямку чергуються два конструктивних елементи, наприклад, модуль якоря, виготовлений на основі немагнітного диска з радіально розташованими феромагнітними стрижнями, що формують зубцеву зону, в пазах якої укладені секції обмотки якоря й модуль дискового ротора, що складається з немагнітного диска з феромагнітними виступами - полюсами, що чергуються, і постійними магнітами. Подібна конструктивна схема двигуна забезпечує підвищення питомого значень потужності й моменту двигуна, що особливо важливо при низьких номінальних (безредукторних) частотах обертання при значному зменшенні працездатності його виготовлення (тобто зменшенні собівартості).

Високомоментний електричний двигун постійного струму з комбінованим збудженням представлений на кресленнях, де:

Фіг.1 - конструктивна схема двигуна;

Фіг.2 - двигун, переріз А-А;

Фіг.3 - двигун, аксонометрія;

Фіг.4 - модуль дискового ротора, аксонометрія;

Фіг.5 - схема-розгорнення двигуна уздовж зовнішнього діаметра модуля якоря.

Високомоментний двигун постійного струму з комбінованим збудженням містить статор 1, що складається з модулів якоря 2, 3, 4, 5, ротор 6, що включає в себе два модулі дискового ротора 7, 8 і комутатор - колектор 9. На внутрішній поверхні статора 1 розташовані торіодальні котушки обмотки збудження 10, 11.

Торцеві щити 12, 13 статора 1 являють собою немагнітні диски 14, 15, установлені нерухомо щодо вала 16 за допомогою підшипників 17, 18. З валом 16 жорстко з'єднані два модулі дискового ротора 7, 8, кожен з яких складається з немагнітних дисків 19, 20, на яких по черзі закріплені феромагнітні полюси 21 і постійні магніти 22. Два модулі дискового ротора 7, 8 відокремлені від модулів якоря 2, 3, 4, 5 робочим повітряним зазором  $\delta_0$ . При цьому, кількість феромагнітних полюсів 21 і кількість постійних магнітів 22 дорівнює й становить загальне число полюсних ділень, тобто  $2p=2\tau$ , де  $p$  - число пар обертових полюсів ротора,  $\tau$  - величина полюсного ділення модуля. На відмі-

ну від класичної конструкції двигуна постійного струму (з якорем циліндричного типу) у запропонованому двигуні, поза залежністю від числа полюсних ділень  $2\tau=2p$ , тільки одна загальна обмотка збудження (що складається з однієї або двох котушок 10, 11 залежно від числа модулів ротора) і немає обмоток додаткових полюсів (тому що обмеження реакції якоря забезпечується конструктивними способами). Цим обумовлене значне зменшення втрат енергії заявленого високомоментного двигуна.

Модулі якоря 2, 3, 4, 5 конструктивно однотипні і містять феромагнітні стрижні - зубці 23, 24, 25, 26, що утворюють зубцеві зони, у проміжках яких укладені провідники секцій обмотки якоря 27, 28, 29, 30 (Фіг.5).

У заявленому двигуні статор 1 складається з ряду окремих, магнітно не зв'язаних, феромагнітних стрижнів 31 П-подібної форми, кінцеві частини яких закріплені в немагнітних торцевих щитах 12, 13, утворюючи замкнений магнітний ланцюг двигуна спільно зі стрижнями - зубцями 23, 24, 25, 26 модулів якоря 2, 3, 4, 5, феромагнітними полюсами 21 і постійними магнітами 22 двох модулів дискового ротора 7, 8. Проміжні модулі якоря 3, 4 зафіксовані на загальному нерухомому немагнітному диску 32 за допомогою додаткового підшипника 33. При необхідності, кількість проміжних модулів якоря може бути або збільшено, або зменшено, відповідно до заданих параметрів електричного двигуна. При цьому, виходячи з того, що робочий повітряний зазор  $\delta_0$  вибирається тільки за умов технологічних можливостей, величина сумарного повітряного зазору  $\delta_\Sigma$  на шляху основного магнітного потоку двигуна  $\Phi_0$  не чинить істотного впливу на масогабаритні показники обмотки збудження. Так, наприклад, попередній розрахунок запропонованого двигуна потужністю  $P_n=80\text{кВт}$ , при полюсному діленні за середнім діаметром модуля якоря  $\tau_{\text{сер}}=0,227\text{м}$ , величина розрахункового повітряного зазору  $\delta_0=0,004\text{м}$ , що відповідає чотирьом технологічним зазорам  $\delta=0,001\text{м}$ , що й прийнято для обраної для аналізу конструкції, яка містить чотири модулі якоря ( $n_m=4$ ), кожний з яких забезпечує номінальну потужність  $20\text{кВт}$ . При цьому, сумарна величина повітряних проміжків на шляху замикання магнітного потоку, створеного магніторушійною силою провідників обмотки якоря одного полюсного ділення (Фіг.5) становить  $\delta_\Sigma=0,2\text{м}$ :

$\delta_\Sigma=12\text{пп}+8\delta_0=12\cdot0,016+8\cdot0,001=0,2\text{м}$  (пп - ширина повітряного проміжку між зубцями модуля якоря,  $Z_\tau=6$  - число зубців на полюсному діленні).

Розрахункове номінальне значення магнітної індукції поперечного поля реакції якоря  $B_{\text{я.р.н}}=0,11\text{Тл}$ , що забезпечує переважувальну здатність двигуна, виходячи з умов відсутності перекидання магнітного поля на ділянці якоря, що відповідає полюсному діленні:

$$\lambda=B_{\delta,\text{н}}/B_{\text{я.р.н}}=0,75/0,11=7,$$

де  $B_{\delta,\text{н}}=0,75\text{Тл}$  - номінальне значення магнітної індукції в робочому повітряному зазорі.

Слід зазначити, що при незмінній потужності  $P_n=80\text{кВт}$  і числі модулів якоря  $n_m=2$ ,  $\lambda=13$ , а при  $n_m=6$ ,  $\lambda=4$ .

У заявленому двигуні можливі два способи укладання секцій обмотки якоря: використання двошарової обмотки для кожного з модулів якоря 2, 3, 4, 5; використання одношарової обмотки. У цьому випадку провідники секцій обмотки якоря, наприклад, 28 модуля 3 укладаються зі зрушенням у полюсне ділення т щодо провідників секцій обмотки 27 модуля 2. Відповідно, зрушення забезпечується й у модулі 5 щодо модуля 4 (Фіг.5). Цим забезпечується повна компенсація магніторушійної сили струмів лобових частин всієї обмотки якоря двигуна, тобто відсутність пульсуючого магнітного потоку струмів лобових частин на шляху основного магнітного потоку  $\Phi_0$ .

Живлення замкнутої обмотки якоря, утвореної секціями 27, 28, 29, 30 модулів якоря 2, 3, 4, 5 забезпечується комутатором - колектором 9, який за допомогою конструкції, що кріпиться, 34 і підшипників 35, 36 встановлюється нерухомо і являє собою колектор звичайної машини постійного струму, по обидва боки якого через ізоляційні прокладки 37 додатково встановлені контактні кільця 38, 39. До колекторних пластин 40, відповідно до схеми обмотки, підключені виводи секцій модулів якоря 2, 3, 4, 5, об'єднані джгутом 41.

Щіткотримачі 42 із щітками 43 (щітковий вузол) конструктивно з'єднані із траверсою 44, яка жорстко з'єднана з валом 16. Напруга мережі підводиться до нерухомих, ізольованих від корпусу кліщів 38, 39. Щітки 43 електромеханічного комутатора - колектора, одночасно контактуючи з контактними кільцями 38, 39 і відповідними колекторними пластинами 40, виконують функції як струмопровода, так і струморозподілу секцій 27, 28, 29, 30 модулів якоря 2, 3, 4, 5.

Працює заявлений двигун у такий спосіб.

При подачі напруги  $U_c$  на обмотку якоря 27, 28, 29, 30 і котушки обмотки збудження 10, 11 у двигуні виникає магнітний потік  $\Phi_{0\delta}$ , що замикається через ділянки ротора 6 з феромагнітними полюсами 21, який разом з магнітним потоком  $\Phi_{m\delta}$  (Фіг.1, 2, 3, 4, 5), створеною магніторушійною силою постійних магнітів 22, утворює основний магнітний потік  $\Phi_0 = \Phi_{0\delta} = \Phi_{m\delta}$ . Взаємодією основного магнітного потоку  $\Phi_0$  й струмів провідників обмотки якоря модулів 2, 3, 4, 5 створюється електромагнітний момент, під дією якого ротор 6 приходить в обертання. Комутатор - колектор 9 перемикає струми в секціях обмотки якоря таким чином, щоб при обертанні в одну сторону струми провідників, що перебувають у цей момент напроти феромагнітних

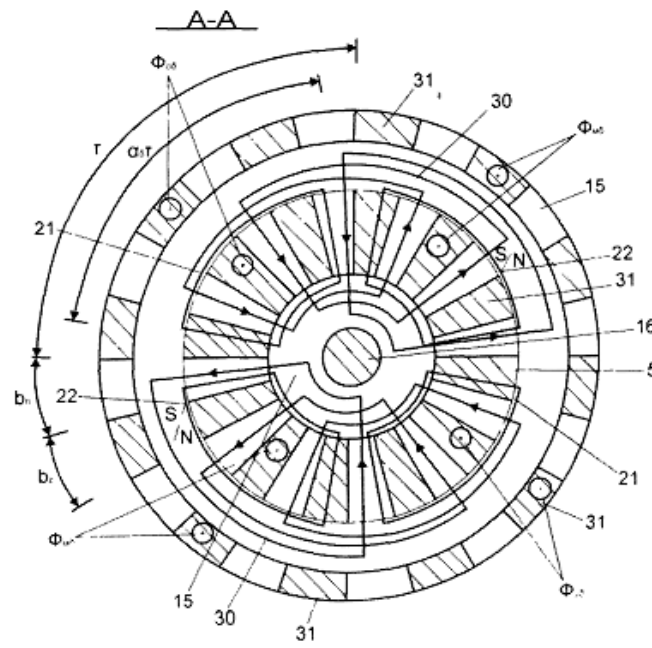
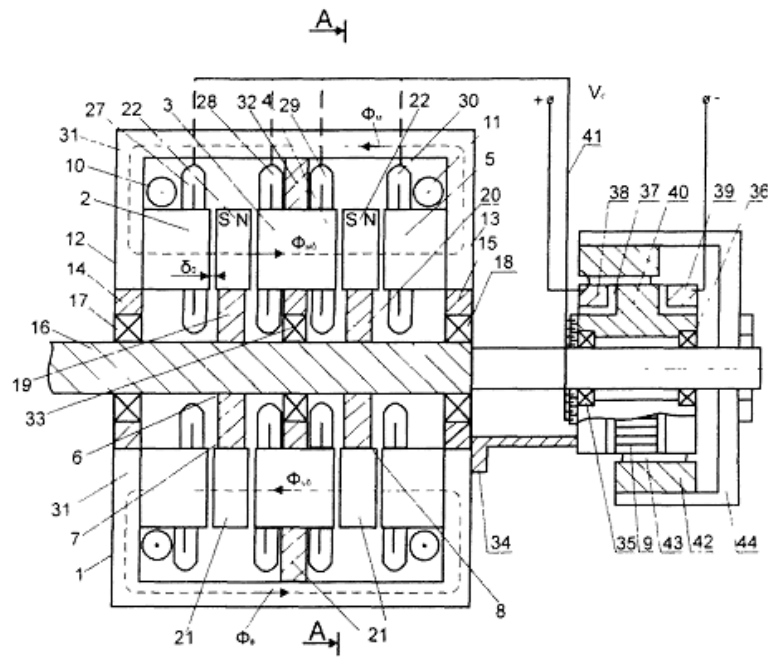
полюсів 21 і постійних магнітів 22 залишалися незмінними. Регулювання частоти обертання й реверс двигуна відбувається відомими для класичних машин способами. Однак, у запропонованому двигуні з комбінованим збудженням реалізується й варіант регулювання частоти обертання ослабленням величини основного магнітного потоку шляхом повного відключення обмотки збудження, чим забезпечується режим енергозбереження для ряду промислових механізмів, що працюють у режимі частих реверсів, що вимагають підвищеної швидкості переміщення при малих навантаженнях (зворотний хід поздовжньо-стругального верстата, механізмів прокатних станів, підйомно-транспортного устаткування й ін.).

Енергозбереження забезпечує також спеціальна конструкція статора, яка, на відміну від класичних машин, не має загального ярма обмотки збудження і спеціальна конструкція ротора, яка не має загального ярма, що обумовлює різке ослаблення впливу реакції якоря й, відповідно, відсутність додаткових полюсів і втрат електричної потужності в їхніх обмотках.

Порівняльний аналіз основних показників двигуна постійного струму (ДПС) класичної конструкції типу П-92:  $P_n = 75 \text{ кВт}$ ;  $n_n = 1500 \text{ об/хв}$ ;  $U_n = 220 \text{ В}$  і заявленого двигуна постійного струму з дисковим ротором (ДПСДР) з аналогічними вихідними параметрами дає наступні показники:

маса ДПС - 705 кг;	
маса ДПСДР - 320 кг;	
питомий момент	ДПС:
$m_{\text{пит.}} = M_n / m_{\text{дв.}} = 0,64 \text{ Н} \cdot \text{м/кг}$ ;	
питомий момент ДПСДР: $m'_{\text{пит.}} = 1,5 \text{ Н} \cdot \text{м/кг}$ ;	
маса міді ДПС: $m_m = 90 \text{ кг}$ ;	
маса міді ДПСДР: $m'_m = 37 \text{ кг}$ ;	
момент інерції ДПС: $y = 1,75 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;	
момент інерції ДПСДР: $y' = 0,46 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;	
механічна постійна ДПС: $T_m = 0,65 \text{ с}$ ;	
механічна постійна ДПСДР: $T'_m = 0,17 \text{ с}$ ;	
втрата енергії при пуску в ДПС: $A_{\text{мех.}} = 27300 \text{ Дж}$ ;	
втрата енергії при пуску в ДПСДР:	
$A'_{\text{мех.}} = 7150 \text{ Дж}$ .	

Наведені дані підтверджують перспективність заявленого двигуна, тому що при простоті й, відповідно, меншій собівартості виготовлення, використання його у відповідних промислових механізмах дозволить підвищити їх продуктивність, зменшити втрати енергії як у робочому, так і в перехідних режимах.



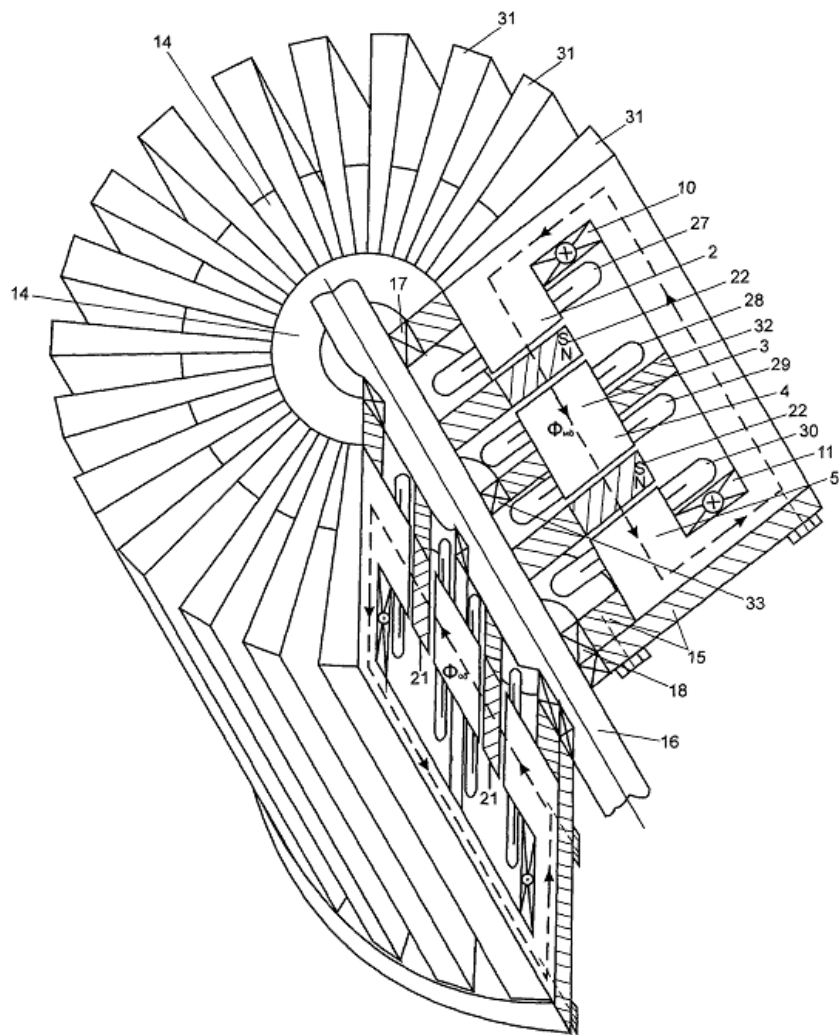


Fig. 3

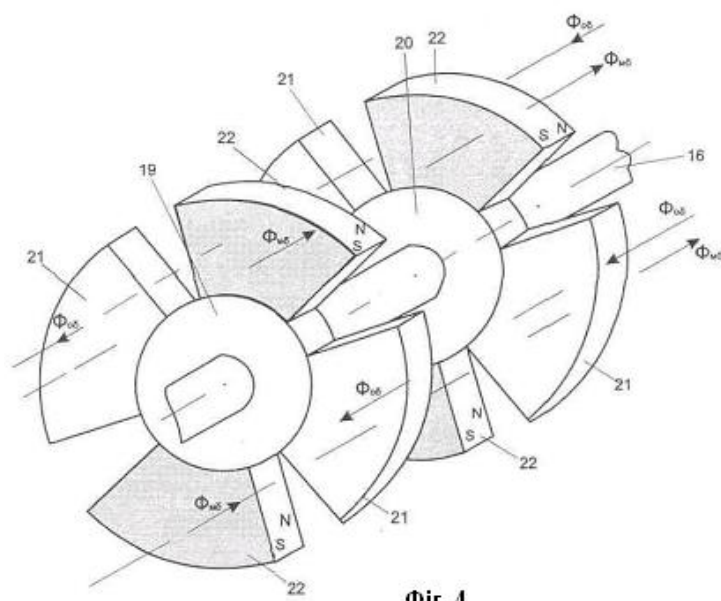


Fig. 4

