



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38165 (13) U

(51) МПК (2006)

H02K 29/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З КОМБІНОВАНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

1

2

(21) u200809465

(22) 21.07.2008

(24) 25.12.2008

(46) 25.12.2008, Бюл.№ 24, 2008 р.

(72) БУЛГАР ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ІВЛЄВ АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ, UA, ІВЛЄВ ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, ЯКОВЛЕВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, ФАМ СУАН ВИОНГ, UA (73) БУЛГАР ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ІВЛЄВ АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ, UA, ІВЛЄВ ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, ЯКОВЛЕВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, ФАМ СУАН ВИОНГ, UA

(57) Електричний двигун постійного струму з комбінованим збудженням, що містить корпус, у якому установлені два статори з обмоткою якоря і тороїдальною обмоткою збудження, а також циліндрич-

ний ротор з феромагнітними полюсами і постійними магнітами, який відрізняється тим, що корпус виконаний з окремих, спільних для обох статорів, магнітно не зв'язаних феромагнітних стрижнів-зубців П-подібної форми, розташованих симетрично відносно циліндричного ротора, що містить рівну кількість феромагнітних полюсів, що чергуються, і постійних магнітів, жорстко з'єднаних з валом за допомогою двох торцевих немагнітних щитів, а секції спільної обмотки якоря, покладені у проміжках-пазах між феромагнітними стрижнями-зубцями П-подібної форми кожного зі статорів, 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 і може бути використана в електроприводах загальнопромислових механізмів, зокрема в електроприводах транспортних установок, механізмах ліфтів, прокатних станів і інших промислових пристроїв, що мають потребу у високій швидкодії в динамічних режимах.

Відомі різноманітні конструктивні схеми електричних машин, у 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 загальному магнітному ланцюзі електричної машини як паралельно, так і послідовно. Так, наприклад, відома модифікація безконтактної електричної машини з кіттеподібними полюсами і зовнішньозамкненим магнітним потоком, у 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 - обмотками збудження (див. Бут Д.А. Бес-

контактные электрические машины. М.: «Высшая школа». 1990. с.175].

Недоліком подібних електричних машин (ЕМ) є збільшена маса, наявність додаткових технологічних повітряних зазорів, а також підвищене розсіювання через наявність зовнішнього магнітоприводу.

Найбільш близьким по суті до конструкції, що заявляється, є індукторний генератор з комбінованим збудженням, що містить корпус, в якому установлені два статори з обмоткою якоря і тороїдальною обмоткою збудження, а також циліндричний ротор з феромагнітними полюсами і постійними магнітами. В проміжках між феромагнітними полюсними виступами ротора розміщені призматичні постійні магніти, прикріплені до ротора за допомогою заливання немагнітним сплавом, а статор містить шихтований пакет якоря з якісною обмоткою і кільцевою обмоткою збудження. Магнітний потік Φ_v , створений обмоткою збудження, замикається в подовжньому напрямку, як і у відомій індукторній машині, проходячи послідовно всі елементи магнітного ланцюга ЕМ, включаючи феромагнітні полюсні виступи, робочий повітряний зазор δ_0 і додатковий технологічний повітряний зазор δ_t . Магнітний потік постійних магнітів Φ_m має два контури замикання: частина магнітного потоку зами-

(13) U

(11) 38165

(19) UA

кається в поперечній площині якоря, складаючись з потоком Φ_B ; друга частина магнітного потоку Φ_M замикається в подовжньому напрямку ЕМ. Причому, при погодженому напрямку поперечних потоків Φ_B і Φ_M у робочому зазорі δ_0 їх напрямки в подовжньому напрямку (δ_T) протилежні [див. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. М.: «Высшая школа». 1990. с.178, с.137].

Конструкція даної електричної машини обрана прототипом.

Прототип і конструкція, що заявляється, мають наступні спільні ознаки:

- корпус;
- два статора з обмоткою якоря і тороїдальною обмоткою збудження;
- циліндричний ротор з феромагнітними полюсами і постійними магнітами.

Прототип має наступні недоліки:

- наявність масивного сердечника ротора, що необхідний для замикання загального магнітного потоку електричної машини;
- наявність додаткового технологічного повітряного зазору;
- асиметрія магнітних ланцюгів у наслідок наявності двох контурів замикання магнітного потоку постійних магнітів.

В основу корисної моделі поставлена задача створити електричний двигун постійного струму, у якому комбіноване збудження забезпечується наявністю однієї загальної тороїдальної обмотки збудження і ряду постійних магнітів у визначеній послідовності встановлених на роторі таким чином, що на одному його полюсному поділі 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 приводить до підвищення його перевантажувальної здатності і, відповідно, до підвищення його швидкодії і зменшенню споживаної електроенергії в перехідних режимах. При цьому значно зменшується маса частин, що обертаються, 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 циліндричного ротора (немагнітні торцеві диски з феромагнітними полюсами і постійними магнітами). Це значною мірою підвищує питомих значення потужності і моменту.

Поставлена задача вирішена в електричному двигуні постійного струму з комбінованим збудженням, що містить корпус, у якому встановлені два статори з обмоткою якоря і тороїдальною обмоткою збудження, а також циліндричний ротор з феромагнітними полюсами і постійними магнітами і відрізняється тим, що корпус виконаний з окремих, спільних для обох статорів, магнітно не зв'язаних феромагнітних стрижнів - зубців П-подібної форми, розташованих симетрично відносно циліндричного ротора, що містить рівну кількість феромагнітних полюсів, що чергуються, і постійних маг-

нітів, жорстко з'єднаних з валом за допомогою двох торцевих немагнітних щитів, а секції спільної обмотки якоря, покладені у проміжках-пазах між феромагнітними стрижнями - зубцями П-подібної форми кожного зі статорів, комутуються комутатором - колектором, установленим нерухомо в торцевій частині двигуна, при цьому щітковий вузол комутатора-колектора жорстко з'єднаний з валом ротора.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю заявлених ознак і досягненням технічного результату можна пояснити наступним.

У заявленому двигуні постійного струму з комбінованим збудженням магнітні потоки обмотки збудження ($\Phi_{0\delta}$) і постійних магнітів ($\Phi_{M\delta}$) замикаються, на відміну від прототипу, в двох паралельних площинах. При цьому, на ділянках (полюсних поділах) ротора з феромагнітними полюсами забезпечується магнітний потік, що замикається через робочий зазор δ_0 , що відповідає величині потоку $\Phi_{0\delta} = \Phi_B$, тобто потоку магніторушійної сили (МРС) обмотки збудження. На полюсних поділах ротора з постійними магнітами магнітний потік у робочому повітряному зазорі визначається різницею значень зустрічно спрямованих магнітних потоків Φ_M і Φ_B , тобто $\Phi_{M\delta} = \Phi_M - \Phi_B$. Однак, зважаючи на те, що магнітна проникність постійних магнітів, дорівнює $(2 \div 10) \cdot \mu_0$, де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнітна постійна, для зовнішнього магнітного потоку (Φ_B) ділянка з постійними магнітами представляє великий магнітний опір, чим пояснюється незначне збільшення МРС постійних магнітів F_M у порівнянні з МРС обмотки збудження F_B . У пропонованій конструкції для створення однакових за значенням магнітних потоків $\Phi_{0\delta} = \Phi_{M\delta}$, повинно виконуватись співвідношення: $F_M = (1,1 \div 1,15) \cdot F_B$, що значно менше ніж у прототипу через наявність шунтуючого магнітного потоку останнього. У заявленому двигуні постійного струму з комбінованим збудженням відсутні загальні ділянки магнітного ланцюга двигуна, по яких одночасно б проходили магнітні потоки Φ_M і Φ_B , чим пояснюється на відміну від прототипу, відсутність асиметрії магнітних ланцюгів.

У заявленому двигуні постійного струму з комбінованим збудженням немає масивного феромагнітного сердечника ротора, що зменшує масу частин двигуна, що обертаються, відповідно, підвищує його швидкодію.

Відсутність загального ярма якоря і ярма обмотки збудження забезпечує шлях замикання магнітного потоку МРС обмотки якоря тільки через бічні поверхні зубців статора і повітряні проміжки між ними (пази), що мають малу магнітну проникність, чим обумовлене обмеження реакції якоря, можливість одержання великих перевантажень по струму, обумовлених, в основному, умовою відсутності перекидання магнітного поля в робочому повітряному зазорі. Підвищення перевантажувальної здатності ДПСКЗ поліпшують динамічні характеристики (прискорення, час пуску і гальмування), що підвищує продуктивність відповідної промислової установки, зменшує втрати електроенергії в перехідних режимах.

На відміну від класичної конструкції двигуна постійного струму, у пропонованому ДПСКЗ, у не-

залежності від числа полюсних розподілів $2\tau=2P$, тільки одна спільна обмотка збудження і немає обмоток додаткових полюсів (тому що обмеження реакції якоря забезпечується конструктивними способами). Цим обумовлене значне зменшення втрат енергії ДПСКЗ.

У пропонуваному двигуні, на відміну від прототипу, досить просто реалізується модульний принцип побудови сучасних спеціальних електродвигунів, при якому в аксіальному напрямку чергуються два конструктивних елементи (елементарний ДПСКЗ), тобто модуль якоря, що складається з двох статорів з обмотками якоря і збудження, та модуль циліндричного ротора з феромагнітними полюсами і постійними магнітами. Подібна конструктивна схема ДПСКЗ забезпечує підвищення питомих значень потужності і моменту двигуна, що особливо важливо при низьких номінальних (безредукторних) частотах обертання, при значному зменшенні трудомісткості його виготовлення, відповідно, зменшенням собівартості двигуна.

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

Фіг.1 - конструктивна схема двигуна;

Фіг.2 - вид двигуна, переріз А-А;

Фіг.3 - модуль циліндричного ротора, аксонометрія;

Фіг.4 - схема обмотки якоря двигуна;

Фіг.5 - двомодульний варіант двигуна, аксонометрія.

Двигун постійного струму з комбінованим збудженням містить нерухому частину 1, циліндричний ротор 2, що обертається, і комутатор-колектор 3. Нерухома частина 1 містить корпус 4, на внутрішній поверхні якого розташовані два статори 5, 6. У пазах статорів 5, 6 покладені секції загальної обмотки якоря 7, а в проміжку між статорами 5, 6 - обмотка збудження 8. Нерухома частина 1 по торцях закрита немагнітними підшипниковими щитами 9, 10, що установлені на підшипниках 11, 12, у яких обертається вал 13 ротора 2. З валом 13 жорстко з'єднані немагнітні диски 14, 15, які є конструкціями, що кріплять, по черзі розташованих феромагнітних полюсів 16, 17 і постійних магнітів 18, 19, установлених симетрично (без зрушення) щодо статорів 5, 6. Ширина кожного з полюсів 16, 17, об'єднаних феромагнітною основою 20 як і ширина постійних магнітів 18, 19, об'єднаних феромагнітною основою 21, дорівнює $\alpha\delta\tau$ уздовж утворюючої ротора 2, де $\alpha\delta$ - коефіцієнт полюсного перекриття, τ - величина полюсного поділу (Фіг.2.) Циліндричний ротор 2 відділений від статорів 5, 6 робочим повітряним зазором δ_0 . Кількість пар феромагнітних полюсів 16, 17 і пар постійних магнітів 18, 19 дорівнює і складає загальне число полюсних поділів τ , тобто $2P=2\tau$, де P - число пар полюсів, що обертаються, одного статора (на Фіг.2. - $2P=2\tau=4$). Корпус 4 виконаний з ряду окремих магнітно не зв'язаних феромагнітних стрижнів - зубців 22П - подібної форми, кожний з яких містить зубець 23 статора 5 і зубець 24 статора 6, об'єднаних подовжньою стрижневою основою 25.

Торцеві частини подовжніх стрижнів 25 закріплені на немагнітних торцевих щитах 9, 10, утворюють тверду конструкцію нерухомої частини 1

двигуна. У проміжках - пазах між зубцями 23 і 24 статорів (магнітопроводів якоря) 5, 6 покладені секції загальної обмотки якоря 7.

Для прийнятої конструкції ДПСКЗ обов'язковою умовою є наявність зрушення провідників секції обмотки якоря одного статора, наприклад 5, стосовно іншого статора 6 на величину полюсного поділу τ (Фіг.4), чим забезпечується як односпрямованість результуючого магнітного потоку, що пронизує секцію $\Phi_P=\Phi_B+\Phi_M$, так і компенсація магніторушійної сили струмів лобових частин обмотки якоря $I_{\text{лоб.}}$ забезпеченням комутацією їх зустрічного напрямку. Цим забезпечується значне послаблення пульсуючого магнітного потоку $\Phi_{\text{лоб.}}$ струмів лобових частин обмотки якоря на шляху основного магнітного потоку Φ_δ .

У заявленому двигуні обмеження величини магнітної індукції поперечного поля струмів обмотки якоря $B_{\text{я.п.}}$ здійснюється конструктивною схемою корпусу 4 виконаного з окремих магнітно не зв'язаних феромагнітних стрижнів - зубців 22, проміжки - пази між якими різко обмежують (як додатковий магнітний опір повітряного зазору) величину поперечного магнітного потоку двигуна $\Phi_{\text{я}}$ на кожному полюсному поділі τ . Так, наприклад, попередній розрахунок запропонованого двигуна потужністю $P_H=11\text{кВт}$, при полюсному поділі $\tau=0,1036\text{м}$, числі пазів на полюсний поділ $Z_\tau=6$ ширині повітряного проміжку між стрижнями зубцями $w_n=0,008\text{м}$ і значенні однобічного робочого повітряного зазору $\delta_0=0,0015\text{м}$ дає розрахункове номінальне значення магнітної індукції поперечного поля струмів обмотки якоря $B_{\text{я.п.н.}}=0,086\text{ Тл}$, що забезпечує переважувальну здатність двигуна, виходячи з умов відсутності перекидання магнітного поля на ділянку якоря, що відповідає полюсному розподілу $\lambda=U_{\delta,н.}/B_{\text{я.п.н.}}=0,8/0,086=9$, де $B_{\delta,н.}=0,8\text{ Тл}$ - номінальне значення магнітної індукції в робочому повітряному зазорі.

Живлення замкнутої обмотки якоря, утвореної секціями 7 (спільними для статорів магнітопроводів якоря 5, 6) забезпечується комутатором-колектором 3, що за допомогою конструкції, що кріпить, 26 і підшипників 27, 28 установлений нерухомо і являє собою колектор звичайної машини постійного струму, по обидва боки якого через ізоляційні прокладки 29, 30 додатково установлені контактні кільця 31, 2. До колекторних пластин 33, у відповідності зі схемою обмотки, підключені виводи секцій модулів якоря (статорів) 5, 6, об'єднані джгутом 34.

Щіткотримачі 35 із щітками 36 (щітковий вузол) конструктивно з'єднані з траверсою 37, жорстко з'єднаної з валом 13. Напряга мережі підводиться до нерухомих ізольованих від корпусу кілець 31, 32. Щітки 36 електромеханічного комутатора-колектора 3, одночасно контактуючи з контактними кільцями 31, 32 і відповідними колекторними пластинами 33, виконують функції як струмопроводу, так і струморозподільника загальних секцій 7 модулів якоря 5, 6.

Працює запропонований ДПСКЗ у такий спосіб. При подачі напруги U_c на обмотку якоря 7 і катушку обмотки збудження 8, у ДПСКЗ виникає магнітний потік Φ_B , що замкається через ділянки ротора 2 з феромагнітними полюсами 16, 17, що

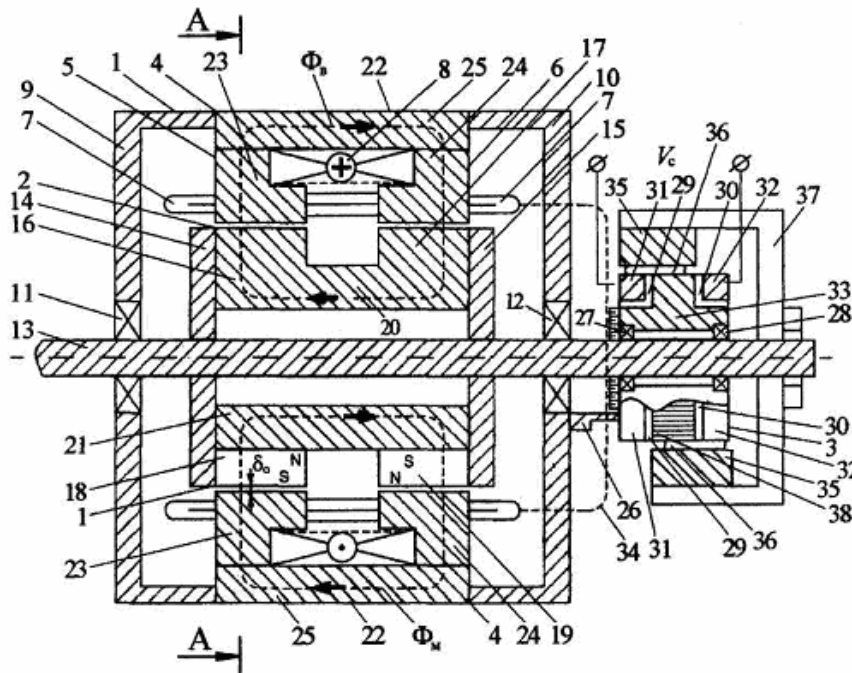
разом з магнітним потоком Φ_m (Фіг.1, 3, 4) створеним МРС постійних магнітів 18,19 утворить магнітний потік $\Phi_0 = \Phi_v = \Phi_m$. Взаємодією основного магнітного потоку і струмів провідників обмотки якоря 7 модулів якоря 5, 6 створюється електромагнітний момент, під дією якого ротор 2 приходить в обертання. Комутатор-колектор 3 переключав струми в секціях обмотки якоря таким чином, щоб при обертанні в одну сторону струми провідників, що знаходяться в даний момент проти феромагнітних полюсів 16, 17 і постійних магнітів 18, 19 залишалися незмінними. Регулювання частоти обертання і реверс ДПСКЗ відбувається відомими для класичних машин способами. Однак, у запропонованому двигуні з комбінованим збудженням реалізується і варіант регулювання частоти обертання ослабленням величини основного магнітного потоку повним відключенням обмотки збудження, чим забезпечується режим енергозбереження для ряду промислових механізмів, що працюють у режимі частих реверсів, які вимагають підвищеної швидкості переміщення при малих навантаженнях (зворотний хід, поздовжньо-стругального верстата, механізмів прокатних станів, підйомно-транспортного устаткування та ін.).

Енергозбереження забезпечує і спеціальна конструкція нерухомої частини ДПСКЗ, що на від-

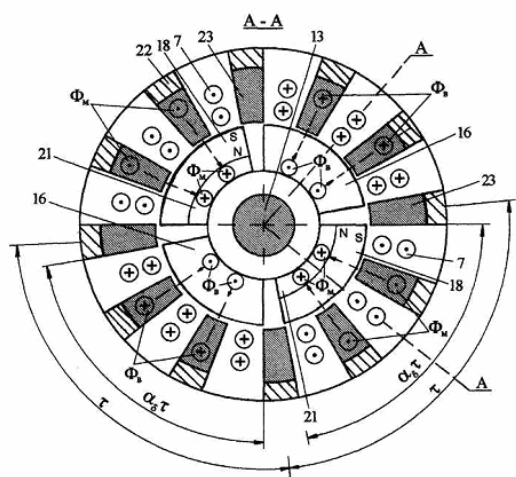
міну від класичних машин прототипу, не має спільного ярма обмотки збудження і спеціальна конструкція ротора, що також не має загального ярма, чим обумовлене різке ослаблення впливу реакції якоря і, відповідно, відсутність додаткових полюсів і втрат електричної потужності в їх обмотках.

Порівняльний аналіз основних показників двигуна постійного струму (ДПС) класичної конструкції типу П-61: $P_H = 11 \text{ кВт}$; $n_H = 1500 \text{ об/хв}$; $V_H = 220 \text{ В}$ і двигуна постійного струму, що заявляється, з комбінованим збудженням (ДПСКЗ) з аналогічними вихідними параметрами дає наступні показники: маса ДПС-162 кг; маса ДПСКЗ-98 кг; питомий момент ДПС: $m_{уд} = M_H / m_{дв} = 0,44 \text{ Н·м/кг}$; питомий момент ДПСКЗ: $m_{уд}' = 0,724 \text{ Н·м/кг}$. Момент інерції ДПС: $y = 0,122 \text{ кг·м}^2$; момент інерції ДПСКЗ: $y' = 0,122 \text{ кг·м}^2$; механічна постійна ДПС: $T_M = 0,3 \text{ с}$; механічна постійна ДПСКЗ: $T_M' = 0,07 \text{ с}$; втрати енергії при пуску в ДПС: $A_{мех} = 1784 \text{ Дж}$; втрати енергії при пуску в ДПСКЗ: $A_{мех}' = 439 \text{ Дж}$.

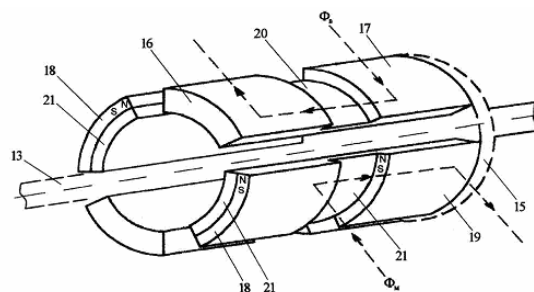
Наведені дані підтверджують перспективність заявленого ДПСКЗ, тому що при простоті і, відповідно, меншій собівартості виготовлення, використання його у відповідних промислових механізмах дозволить підвищити продуктивність, зменшити втрати енергії як у робочому, так і в перехідному режимах.



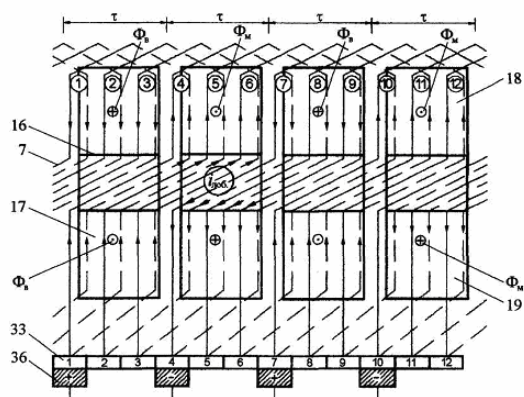
Фіг. 1



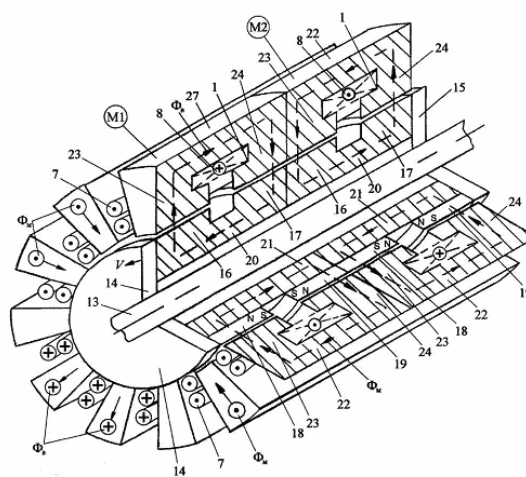
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5