



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93935 (13) C2  
(51) МПК  
C21B 7/20 (2006.01)  
F27B 1/20 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПОВОРОТНИЙ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ШАХТНОЇ ПЕЧІ

1

(21) а200907280  
(22) 27.11.2007  
(24) 25.03.2011  
(86) РСТ/ЕР2007/062852, 27.11.2007  
(31) 06126393.5  
(32) 18.12.2006  
(33) ЕР  
(46) 25.03.2011, Бюл.№ 6, 2011 р.  
(72) БРЕДЕН ЕМІЛЬ, LU, ХАУЗЕМЕР ЛІОНЕЛЬ, LU, ЛОНАРДІ ЕМІЛЬ, LU, ТІЛЛЕН ГІ, LU  
(73) ПОЛЬ ВУРТ С.А., LU  
(56) CS 236410B1, 01.06.1986  
CS 236408 B1, 01.06.1986  
CS 236536 B1, 15.11.1986  
EP 0863215 A, 09.09.1998  
WO 03/050314 A, 19.06.2003  
DE 3342572 A1, 28.06.1984  
UA 68399 C2, 15.04.2004  
UA 56996 C2, 16.03.2003  
(57) 1. Поворотний завантажувальний пристрій (10) шахтної печі, що містить: поворотний розподільний засіб (12), призначений для розсіювання матеріалу, що завантажується, по поверхні засипу в зазначеній шахтній печі, поворотну конструкцію (16), що несе поворотний розподільний засіб, стаціонарну опору (18), на яку опирається зазначена поворотна конструкція, і електричне навантаження (М), розміщене на зазначеній поворотній конструкції, який **відрізняється** тим, що він включає індуктивний з'єднувальний пристрій (30, 130, 230,... 1030) трансформаторного типу, що включає в себе стаціонарну котушку індуктивності (34, 134, 234, ... 1034), закріплену на зазначеній стаціонарній опорі, і поворотну котушку індуктивності (36, 136, 236, ... 1036), закріплену на зазначеній поворотній конструкції й з'єднану із зазначеним електричним навантаженням, причому зазначені котушки розділені радіальним зазором (32) і пристосовані для безконтактної передачі електричної енергії за рахунок з'єднувального через зазначений радіальний зазор магнітного поля для забезпечення подачі живлення на зазначене електричне навантаження.  
2. Пристрій за п. 1, у якому стаціонарна котушка індуктивності містить стаціонарний вузол (38, 138, 238, 338) магнітного осердя, а поворотна котушка

2

індуктивності містить поворотний вузол (40, 140, 240, 340) магнітного осердя.

3. Пристрій за п. 2, у якому зазначений радіальний зазор (32) розділяє щонайменше одну поверхню (48, 48') магнітного полюса стаціонарного вузла магнітного осердя від щонайменше однієї поверхні (50, 50') магнітного полюса поворотного вузла магнітного осердя так, що зазначені поверхні стаціонарного магнітного полюса й поворотного магнітного полюса розташовані один проти одного в радіальному напрямку.

4. Пристрій за пп. 1, 2 або 3, у якому зазначений радіальний зазор (32) проходить в основному вертикально.

5. Пристрій за будь-яким з пп. 1-4, у якому стаціонарна котушка (234, 534, 634, 734, 834, 934, 1034) індуктивності й/або поворотна котушка (236, 336, 436, 536, 636, 736, 836, 936, 1036) індуктивності має розриви в напрямку обертання.

6. Пристрій за п. 5, у якому стаціонарна котушка (234, 334, 434, 534, 634, 734, 834, 934, 1034) індуктивності й поворотна котушка (236, 336, 436, 536, 636, 736, 836, 936, 1036) індуктивності виконані так, що загальна площа взаємодії для магнітного зв'язку між стаціонарною котушкою індуктивності й поворотною котушкою індуктивності залишається постійною при обертанні зазначеної поворотної конструкції (16).

7. Пристрій за п. 6, у якому щонайменше одна котушка індуктивності із зазначених стаціонарної котушки (234, 334, 434, 534, 734, 834, 934) індуктивності й поворотної котушки (236, 336, 436, 636, 736, 836, 936, 1036) індуктивності має геометрію з аксіальною симетрією стосовно осі обертання зазначеної поворотної конструкції.

8. Пристрій за п. 7, у якому стаціонарна котушка (234, 334, 434, 534, 634, 734, 834, 934, 1034) індуктивності має щонайменше один розділяючий її проміжок по своєму колу, який має кутову величину  $\beta$ , причому в завантажувальному пристрої поворотна котушка індуктивності має щонайменше одну пару розділених секторів (236.1-236.2, 236.3-236.4, 336.1-336.2, 436.1-436.2, 436.3-436.4, 536.1-536.2, 636.1-636.2, 736.1-736.2, 736.3-736.4, 836.1-836.2, 836.3-836.4, 936.1-936.2, 1036.1-1036.2, 1036.3-1036.4), розташованих так, що радіанна

(13) C2

(11) 93935

(19) UA

величина  $\delta$  кута між бісектрисами пар така, що  $\delta$  є дільником для  $\beta$ , або така, що  $\beta$  є дільником для  $\delta$ .

9. Пристрій за будь-яким з пп. 1-8, у якому стаціонарна котушка (34, 134, 234, ... 1034) індуктивності й поворотна котушка (36, 136, 236, ... 1036) індуктивності відповідно мають щонайменше одну обмотку котушки індуктивності, причому кожна обмотка має число витків  $n$  у діапазоні  $50 \leq n \leq 500$ .

10. Пристрій за будь-яким з пп. 1-9, що додатково містить розподільний лоток (12), що становить частину зазначеного поворотного розподільного засобу, і електродвигун (М), функціонально пов'язаний з розподільним лотком для зміни його кута нахилу й підключений як навантаження поворотної котушки (36, 136, 236, ... 1036) індуктивності, в яку через зазначений з'єднувальний пристрій подається живлення.

11. Пристрій за будь-яким з пп. 1-9, що додатково містить розподільний лоток, що становить частину зазначеного поворотного розподільного засобу, і електродвигун, функціонально пов'язаний з розподільним лотком з можливістю його повороту навколо його повздовжньої осі й підключений як навантаження поворотної котушки (36, 136, 236, ... 1036) індуктивності, у яку через зазначений з'єднувальний пристрій подається живлення.

12. Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, що додатково містить контур (28) охолодження, що включає насос, установлений на зазначеній поворотній конструкції й включений як навантаження поворотної котушки (36, 136, 236, ... 1036), в яку через зазначений з'єднувальний пристрій подається живлення.

13. Пристрій за будь-яким з попередніх пунктів, у якому електричне навантаження має номінальне споживання енергії не менше 500 Вт.

14. Пристрій за будь-яким з пп. 10-13, що додатково містить радіопередавач, приймач або приймач-

передавач, розташований на зазначеній поворотній конструкції для приймання й/або передачі керуючих й/або вимірювальних сигналів до зазначеного навантаження або від нього.

15. Доменна піч, що містить завантажувальний пристрій за будь-яким з попередніх пунктів.

16. Спосіб модернізації поворотного завантажувального пристрою шахтної печі, що містить поворотний розподільний засіб, призначений для розсіювання матеріалу, що завантажується, по поверхні засипу в зазначеній шахтній печі, поворотну конструкцію, що несе зазначений поворотний засіб, стаціонарну опору, на яку опирається зазначена поворотна конструкція, і електричне навантаження, розміщене на зазначеній поворотній конструкції, який **відрізняється** тим, що при його виконанні:

забезпечують зазначений завантажувальний пристрій поворотним індуктивним з'єднувальним пристроєм трансформаторного типу, що містить стаціонарну котушку індуктивності й поворотну котушку індуктивності,

закріплюють стаціонарну котушку індуктивності на зазначеній стаціонарній опорі й закріплюють поворотну котушку індуктивності на зазначеній поворотній конструкції й з'єднують поворотну котушку індуктивності із зазначеним електричним навантаженням,

причому стаціонарна котушка індуктивності й поворотна котушка індуктивності розділені радіальним зазором і пристосовані для безконтактної передачі електричної енергії від зазначеної стаціонарної опори на зазначену поворотну конструкцію за рахунок з'єднувального через зазначений радіальний зазор магнітного поля для забезпечення подачі живлення на зазначене електричне навантаження.

Дійсний винахід у загальному належить до поворотного завантажувального пристрою для шахтної печі, такої як доменна піч. Зокрема, винахід належить до забезпечення передачі електричної енергії зі стаціонарної частини на поворотну частину завантажувального пристрою.

У цей час металургійні доменні печі оснащують поворотними завантажувальними пристроями, призначеними для подачі матеріалу, що завантажується, у піч. Найбільш широко розповсюджені завантажувальні пристрої безконусного типу. Такий завантажувальний пристрій звичайно містить лоток зі змінним кутом нахилу, закріплений на поворотній опорі. У більшості пристроїв, що використовуються у цей час такого типу зміна кута нахилу лотка проводиться за допомогою складної зубчастієї передачі, пристосованої для передачі механічної роботи від стаціонарної до поворотної частини при зміні нахилу лотка.

В ЕР 0863215 запропоновано пускати в хід лоток за допомогою електродвигуна, розташованого на поворотній частині, що служить опорою лотка. Таке рішення знімає необхідність у введенні вузла складної зубчастієї передачі для зміни кута нахилу

лотка. Однак при цьому потрібний засіб передачі електричної енергії зі стаціонарної частини на поворотну частину, щоб забезпечити живлення електродвигуна, встановленого на поворотній опорі. Можна вважати, що рішення по ЕР 0863215 не знайшло широкого застосування через його складність, пов'язану з тим, що стосується такої передачі електричної енергії як у плані забезпечення надійності в тяжких умовах роботи в доменній печі, так і в плані забезпечення доступу при необхідності проведення дрібних ремонтних робіт.

Пристрої з контактними кільцями, що звичайно зустрічаються в генераторах і електродвигунах, широко відомі й розповсюджені для передачі електричної енергії на поворотну частину й знімання з неї. Насправді контактні кільця дають можливість передачі на обертову частину електричної енергії будь-якої потужності. Їх основним недоліком є те, що кільця, що ковзають вимагають частого втручання для проведення обслуговування, наприклад для зачищення, і часто вимагають часткової заміни через стирання. Зрозуміло, що зношування кілець, що ковзають відбувається набагато інтен-

сивніше в умовах запиленості й високої температури в такій шахтній печі, як доменна піч.

Технічна проблема

Метою дійсного винаходу є створення просто-го в обслуговуванні й надійного засобу передачі електричної енергії зі стаціонарної частини на обертову частину поворотного завантажувального пристрою шахтної печі.

Для досягнення поставленої мети в дійсному винаході запропоновано поворотний завантажувальний пристрій шахтної печі за п. 1 і спосіб модернізації завантажувального пристрою за п. 16 форми винаходу.

Поворотний завантажувальний пристрій шахтної печі звичайно містить поворотний розподільний засіб, призначений для розсіювання матеріалу, що завантажується, по поверхні засипу (завантаження) у шахтній печі. На поворотній конструкції кріпиться поворотний розподільний засіб. Поворотна конструкція у свою чергу підтримується стаціонарною опорою таким чином, щоб забезпечити можливість обертання конструкції.

Відповідно до дійсного винаходу поворотний завантажувальний пристрій містить індуктивний з'єднувальний пристрій між його частинами. Цей індуктивний з'єднувальний пристрій включає стаціонарну котушку індуктивності, нерухомо закріплену на стаціонарній опорі, і поворотну котушку індуктивності, закріплену на поворотній конструкції. Стаціонарна й поворотна котушки індуктивності розділені радіальним зазором. Вони пристосовані для безконтактної передачі електричної енергії зі стаціонарної опори на поворотну конструкцію за рахунок розділеного магнітного поля, зв'язаного в радіальному напрямку через повітряний зазор. Таким чином, котушки індуктивності являють собою обертовий трансформатор. Тим самим з'єднувальний пристрій утворює простий в обслуговуванні й надійний засіб подачі живлення в електричне навантаження, розташоване на зазначеній поворотній конструкції й підключене до поворотної котушки індуктивності.

Завдяки своєму безконтактному виконанню поворотний індуктивний з'єднувальний пристрій трансформаторного типу не підлягає зношуванню за рахунок стирання й тому фактично простий в обслуговуванні. Повинно бути зрозуміло, що відомий вузол з кільцями, що ковзають пристосований для використання в завантажувальному пристрої шахтної печі, буде мати досить великий діаметр, тому що повинна бути забезпечена наявність центрального каналу для подачі матеріалу (шихти), за рахунок чого зношування такого вузла буде навіть більш інтенсивним. Ця проблема фактично знімається при використанні пристрою передачі енергії за дійсним винаходом. Хоча наявність повітряного зазору може привести до невеликого зниження ефективності передачі енергії, особливо якщо порівнювати з вузлами, що містять кільця, що ковзають цей основний недолік з лишком компенсується значними перевагами в надійності й простоті обслуговування.

На противагу котушкам індуктивності, протилежним одна одній в осьовому напрямку, які використовуються у відомих обертових трансформато-

рах, призначених для застосування в низькоточних пристроях, наприклад у відеокасетних магнітофонах, у винаході запропоновано створювати радіальний повітряний зазор, тобто поміщати поверхні полюсів котушок індуктивності один проти одного в радіальному напрямку стосовно осі обертання. У конкретному випадку завантажувального пристрою, розміщеного на шахтній печі, було встановлено, що діапазон відхилень при русі поворотної конструкції звичайно більше у вертикальному напрямку, ніж в радіальному. Отже, розташування одна проти одної по радіусу котушок індуктивності дозволяє мінімізувати величину повітряного зазору.

Для збільшення індуктивності переважно, щоб стаціонарна котушка індуктивності містила стаціонарний вузол магнітного осердя, і щоб поворотна котушка індуктивності містила поворотний вузол магнітного осердя. Термін вузол використовується для прояснення того, що відповідні осердя не є обов'язково цільними, що стане ясним надалі.

В одному з варіантів виконання винаходу радіальний зазор розділяє щонайменше одну, а в загальному дві або три поверхні магнітних полюсів стаціонарного вузла осердя від щонайменше однієї, а в загальному двох або трьох поверхонь магнітних полюсів поворотного вузла магнітного осердя, так, що поверхні стаціонарних магнітних полюсів і поверхні поворотних магнітних полюсів протилежні один одному в радіальному напрямку. Хоча теоретично наявність одного плюса на одній котушці індуктивності, протилежного одному полюсу на іншій котушці індуктивності, може бути достатнім для виконання їх функцій, переважно сформулювати також замкнений контур магнітного потоку. В основних варіантах виконання винаходу радіальний зазор проходить у загальному вертикально, що робить фактично неможливим осадження пилу печі на протилежних поверхнях. Будь-який пил або інші осадження можуть провалюватися через зазор без впливу на функціонування пристрою передачі енергії.

Якщо потрібен доступ, наприклад для проведення ремонтних робіт, до окремих частин, які в іншому випадку перекриті індуктивним пристроєм передачі, запропоновано пристрій, в якому стаціонарна котушка індуктивності й (або) поворотна котушка індуктивності мають проміжки в напрямку обертання. У випадку наявності таких розривів (тобто при не повністю замкненій окружності) стаціонарну котушку індуктивності й поворотну котушку індуктивності переважно виконують так, щоб загальна поверхня зв'язку магнітного потоку між стаціонарною котушкою індуктивності й поворотною котушкою індуктивності залишалася постійною при обертанні поворотної конструкції. Необхідною, але не достатньою умовою для такого постійного зв'язку при розривних котушках індуктивності є те, щоб щонайменше одна

з котушок індуктивності зі стаціонарної котушки індуктивності й поворотної котушки індуктивності мала геометрію, що має аксіальну симетрію стосовно осі обертання поворотної конструкції. Однією з можливостей забезпечення постійного зв'язку при одночасному збереженні проміжків для

доступу є використання варіанта виконання, в якому стаціонарна котушка індуктивності має щонайменше один проміжок по своїй окружності, і поворотна котушка індуктивності містить щонайменше одну пару розділених секторів. Тобто обидві котушки мають розриви. У такому варіанті проміжок має кутовий розмір  $\beta$ , і кожна пара розділених секторів розташована таким чином, що кутовий розмір  $\delta$  між бісектрисами цієї пари такий, що  $\delta$  є дільником для  $\beta$ , або такий, що  $\beta$  є дільником для  $\delta$ .

Переважно кожна обмотка стаціонарної котушки індуктивності й поворотної котушки індуктивності відповідно має число витків  $n$ , що лежить у діапазоні  $50 < n < 500$ , і переважно в діапазоні  $100 < n < 200$ .

Як буде зрозуміло фахівцям в даній області, індуктивний з'єднуючий пристрій дає можливість надійної й простої в обслуговуванні подачі живлення в електричне навантаження, наприклад в електродвигун, функціонально пов'язаний з розподільним лотком для зміни нахилу цього лотка або для обертання розподільного лотка навколо його поздовжньої осі, з насосом контуру охолодження або з будь-яким іншим електричним навантаженням зі значним споживанням енергії (наприклад, не менш 500 Вт), розміщеним на поворотній конструкції. Для передачі сигналів керування й (або) вимірювальних сигналів немає необхідності у використанні такого індуктивного пристрою зв'язку. Замість нього на поворотній конструкції для приймання й (або) передачі цих сигналів на навантаження, що живиться від з'єднувального пристрою, можуть бути використані радіопередавач, приймач або приймач-передавач.

Дійсний винахід не обмежений застосуванням у завантажувальних пристроях безконусного типу. Його вигідно використовувати також із завантажувальними пристроями іншого типу. Далі стане зрозумілим, що завантажувальний пристрій, модернізований використанням описаного індуктивного з'єднувального пристрою, особливо підходить для оснащення доменної печі. Для фахівця в даній галузі техніки буде також зрозуміло, що описаний з'єднувальний пристрій може бути легко модифікований для цілей модернізації існуючих завантажувальних пристроїв без їхніх істотних конструктивних змін.

Нижче винахід більш докладно розглянутий з посиланням на додані креслення, на яких показано:

на фіг. 1 - вертикальний поперечний переріз по першому варіанту виконання індуктивного з'єднувального пристрою, що входить у поворотний завантажувальний пристрій шахтної печі;

на фіг. 2 - вертикальний поперечний переріз по основному варіанту виконання котушки індуктивності й вузла осердя, що входять в індуктивний з'єднувальний пристрій за дійсним винаходом;

на фіг. 3 - вертикальний поперечний переріз по трифазному варіанту виконання котушки індуктивності й вузла осердя, що входять в індуктивний з'єднувальний пристрій за дійсним винаходом;

на фігурах 4, 6, 8 - вертикальні поперечні перерізи по лініях IV-IV, VI-VI і VIII-VIII зі схематичних

видів у плані з фігур 5, 7, 9 відповідно, що ілюструють інший варіант виконання індуктивного з'єднувального пристрою, причому фігури 4-5, 6-7, 8-9 стосуються до різних кутових положень;

на фіг. 10 - вертикальний поперечний переріз по лінії X-X зі схематичного виду в плані з фіг. 11, що ілюструє ще один варіант виконання індуктивного з'єднувального пристрою, що входить у поворотний завантажувальний пристрій;

на фіг. 12 - вид у плані ще одного варіанта виконання індуктивного з'єднувального пристрою, що входить у поворотний завантажувальний пристрій;

на фігурах 13-19 - схематичний вид у плані, що представляє можливі геометричні конфігурації й інші варіанти виконання індуктивного з'єднувального пристрою;

на фіг. 20 - еквівалентна схема індуктивного з'єднувального пристрою за дійсним винаходом.

На цих кресленнях скрізь ідентичні номери посилок або номери посилок з доданими десятковими знаками використовуються для позначення тих самих або подібних елементів.

На фіг. 1 номером посилення 10 у загальному позначенні поворотний завантажувальний пристрій. Поворотний завантажувальний пристрій 10 звичайно встановлюють у горловині шахтної печі (не показана) і, зокрема, доменній печі для виплавки передільного чавуну. Завантажувальний пристрій 10 містить поворотний розподільний засіб, призначений для розсіювання матеріалу, що завантажується, по поверхні засипу в робочому обсязі печі. На фіг. 1 показаний поворотний розподільний лоток 12, що становить частину поворотного розподільного засобу й зв'язаний кріпильним елементом 14 у формі головки, що хитається, з поворотною конструкцією 16. Поворотна конструкція 16 має нижню опорну плиту 17 (дивися фіг. 1), на якій кріпиться утворюючий вісь В вал, на якому підвішений розподільний лоток 12.

Як видно на фіг. 1, поворотний завантажувальний пристрій 10 має також стаціонарну опору, виконану у вигляді корпусу 18. Поворотна конструкція 16 пристосована для обертання в корпусі 18 за рахунок роликового підшипника 20 великого діаметра. Зовнішнє кільце роликового підшипника 20 скріплено з верхнім фланцем 22 поворотної конструкції 16, а внутрішнє кільце роликового підшипника скріплене з верхньою плитою 24 стаціонарного корпусу 18. Роликовий підшипник 20 виконаний так, щоб поворотна конструкція 16 і разом з нею розподільний лоток 12 могли обертатися навколо в загальному вертикальній осі А, що звичайно збігається із центральною віссю печі. Центральний подавальний жолоб 26, орієнтований по осі А і утворює канал, що проходить через верхній фланець 22 і через порожній елемент 23, що зв'язує верхній фланець 22 з опорною плитою 17 поворотної конструкції 16. Матеріал, що завантажується, такий як руда або кокс, може бути доставлений через подавальну ринву 26 на розподільний лоток 12. Контур 28 охолодження з охолоджуючим змійовиком, відображеним на фіг. 1, розміщено на поворотній конструкції 16 і призначений для захисту тих вузлів, які особливо піддані впливу температури печі.

Відповідно до принципу створення безконусної колошникової частини, розробленого Paul Wurth S.A., Люксембург, завантажувальний пристрій 10 забезпечує розподіл матеріалу, що завантажується, за рахунок повороту розподільного лотка 12 навколо осі A і за рахунок зміни кута нахилу при повороті розподільного лотка 12 навколо осі B. Вісь B в основному перпендикулярна осі A. Відомі деталі конструкції механізму обертання й повороту розподільного лотка 12 на кресленнях не показані й надалі не розглядаються. Більш докладно такі деталі описані, наприклад, в US 3880302. Для полегшення розуміння потрібно в загальному відзначити, що поворотний завантажувальний пристрій 10 містить поворотну конструкцію 16, пристосовану для обертання щодо стаціонарної опори, яка на фіг. 1 відповідає корпусу 18.

Фахівцям у даній галузі техніки зрозуміло, що забезпечення можливості передачі електричної енергії на поворотну конструкцію, особливо надійним і зручним в обслуговуванні способом, дуже суттєве в різних відомих застосуваннях, а також у прогресивних нових застосуваннях. Приклади таких застосувань наступні:

- завантажувальні пристрої по EP 0863215 або 6481946, у яких використаний привід для зміни кута повороту розподільного лотка, встановленого на поворотній конструкції, і, отже, потрібне забезпечення можливості передачі енергії на поворотну конструкцію;

- один або більше охолоджувальних насосів, наприклад, що використовуються для примусової циркуляції в контурі 28 охолодження, як показано на фіг. 1, або в контурі охолодження осі підвіски лотка, відомому з патенту DE 3342572, і (або) для контуру охолодження самого лотка 12, як наведено в US 5252063;

- завантажувальний пристрій з розподільним лотком, пристосованим для повороту навколо повздовжньої осі самого лотка, як наведено в EP 1453983;

- автоматизовані мастильні пристрої;

- будь-який інший привід (приводи) і (або) датчик (датчики), переважно встановлені на обертовій частині завантажувального пристрою.

Природно, вимірювальні або керуючі сигнали приводів або датчиків малопотужні (декілька мВт або Вт) і тому можуть бути просто передані по бездротовому зв'язку, наприклад з використанням відповідного стандартного радіоустаткування. І навпаки, у багатьох додатках потрібно подавати енергію значної потужності, звичайно порядку 1 кВт і вище для електродвигунів, і тому потрібні відповідні засоби для забезпечення передачі електроенергії з нерухливої на обертову частину завантажувального пристрою 10.

На фіг. 1 під посилальним номером 30 представлений перший варіант виконання індуктивного з'єднувального пристрою, схематично зображеного в поперечному перерізі й призначеного для такої передачі електричної енергії. Індуктивний з'єднувальний пристрій 30 здатний безконтактним способом передавати електричну енергію зі стаціонарної опори 18 на поворотну конструкцію 16 за

рахунок магнітного зв'язку через радіальний зазор 32.

Індуктивний з'єднувальний пристрій 30 містить стаціонарну котушку 34 індуктивності, скріплену зі стаціонарною опорою, тобто з корпусом 18 на фіг. 1, і поворотну котушку 36 індуктивності, скріплену з поворотною конструкцією 16. У процесі роботи завантажувального пристрою 10 стаціонарна котушка 34 індуктивності залишається нерухомою разом з корпусом 18, у той час як поворотна котушка 36 індуктивності обертається разом з поворотною конструкцією 16. Хоча це не показано на фіг. 1, однак зрозуміло, що стаціонарна котушка 34 індуктивності з'єднана кабелем зі стаціонарним контуром, у який входить джерело електроживлення, у той час як поворотна котушка 36 індуктивності з'єднана кабелем з контуром, розміщеним на поворотній конструкції 16 і призначеним для подачі живлення в електричне навантаження, таке як двигун повороту лотка 12 і (або) насос контуру 28 охолодження, і (або) будь-яке інше необхідне електроустаткування, розміщене на поворотній конструкції 16. Як показано на фіг. 1 у поперечному перерізі, стаціонарна котушка 34 індуктивності містить стаціонарний вузол 38 магнітного осердя й дровову обмотку, намотану навколо частини вузла 38 осердя. Аналогічно поворотна котушка 36 індуктивності містить поворотний вузол 40 магнітного осердя й дровову обмотку, намотану навколо частини вузла 40 осердя.

У варіанті, представленому на фіг. 1 пристрій 30, що зв'язує, розташований між подавальною ринвою 26, і порожнім елементом 23. Завдяки такому розташуванню обидва вузла 38, 40 осердя можуть бути розміщені навколо осі A в нерозривному виді, інакше кажучи у вигляді повністю замкнених кілець порівняно невеликого діаметра (замкнена конфігурація). Відповідні поверхні полюсів стаціонарного й поворотного вузлів 38, 40 магнітного осердя розділені радіальним зазором 32, що утворюють у загальному вертикальний повітряний зазор у феромагнітному матеріалі між поверхнями магнітних полюсів кожного з вузлів 38, 40 осердя. Зазор може бути також злегка похилим у вертикальному перерізі й не обов'язково проходити по прямій для кожної з поверхонь полюсів. Однак невеликий радіальний зазор 32 необхідний для того, щоб забезпечити можливість вільного обертання поворотної індукційної котушки 36 щодо стаціонарної індукційної котушки 34.

Завдяки наявності радіального зазору 32 протилежні по радіусу поверхні полюсів вузлів 38, 40 магнітного осердя мають, зокрема, наступні переваги:

- надійність роботи у випадку невеликого вертикального зсуву, що звичайно має місце, поворотної конструкції 16 щодо корпусу 18 (наприклад через зношування підшипника 20 або через коливання тиску в печі);

- усунення або щонайменше зменшення можливості осадження пилу на поверхнях полюсів вузлів 38, 40 осердя й наступного забивання й зношування;

- (для котушок 34, 36 індуктивності великого розміру з обмотками істотної довжини в осьовому

напрямку:) збереження відстані по радіусу щодо осі А.

На фіг. 2 представлений у подробицях варіант виконання індуктивного з'єднувального пристрою 30. Індуктивний з'єднувальний пристрій 30 призначений для роботи на однофазному змінному струмі (АС). Стационарний вузол 38 магнітного осердя й поворотний вузол 40 магнітного осердя кожний містить осердя у загальному U-подібної або С-подібної форми. Вузли 38, 40 магнітного осердя виконані з феромагнітного матеріалу (наприклад ферита) або сплаву (наприклад Fe-Si) з високою відносною магнітною проникністю  $\mu$ , що становить, наприклад, близько 7000 (при щільності магнітного потоку  $< 0,1$  мТл). Можуть бути також використані пермалоеві сплави, відносна магнітна проникність яких досягає значення 40000 і навіть 100000. Сплави з високою магнітною проникністю концентрують магнітне поле й тим самим підвищують індуктивність кожної котушки 34, 36 індуктивності. Стационарна й поворотна котушки 34, 36 індуктивності містять відповідні циліндричні обмотки 44, 46, кожна намотана навколо вертикальної частини відповідного вузла 38, 40 магнітного осердя й за рахунок цього зберігає відстань по радіусу щодо осі А.

У напрямку обертання, тобто в площині, перпендикулярній площині фіг. 2, обмотки 44, 46 можуть охоплювати в загальному повну окружність щодо осі А, використовуючи один отвір для введення кабелю при повністю замкненій кільцевій конфігурації котушки, що може бути використане у варіанті виконання з фіг. 1. Для досягнення високого відношення числа витків до одиниці довжини котушки ( $N/1$ , де  $N$  - число витків і 1 - довжина обмотки) і тим самим підвищення індуктивності в загальному, переважно однак, щоб обмотка котушки покривала тільки частину довжини дуги відповідного вузла 38, 40 магнітного осердя (або його складової). Це може бути забезпечене, наприклад, при радіальних отворах введення кабелю, розташованих у певних місцях вузлів 38, 40 магнітного осердя для обмеження довжини дуги обмотки. В останньому випадку кожний з вузлів 38, 40 має по кілька таких секторів обмотки. Усі сектори обмотки переважно мають однакове число витків ( $N$ ). Вони приєднані переважно послідовно з іншими секторами обмотки до джерела змінного струму або навантаження відповідно.

У кожній котушці 34, 36 індуктивності напрямок магнітного потоку, показаний стрілками на фіг. 2, не залежить від положення по окружності поворотної котушки 36 індуктивності. Іншими словами поверхня 48 верхнього полюса стационарного осердя 38 залишається протилежною поверхні 50 верхнього полюса поворотного осердя 40, за рахунок чого те ж положення зберігається для поверхонь 48', 50' нижніх полюсів. Більше того, індуктивний з'єднувальний пристрій 30 виконаний таким чином, щоб загальна щільність магнітного потоку через кожну котушку 34, 36 індуктивності залишалася в основному постійною при обертанні поворотної котушки 36 індуктивності. Інакше кажучи, передача електричної енергії в основному не залежить від відносного положення стационарної й

поворотної котушок 34, 36 індуктивності. Це, звичайно, не стосується незначних змін, зв'язаних, наприклад, з наявністю отворів введення кабелю у вузлах 38, 40 осердь. У радіальному зорі 32 магнітний потік також в основному спрямований по радіусу, як показано стрілками на фіг. 2.

При необхідності порожні магнітопровідні елементи (вільні від обмоток) можуть бути вставлені в певних місцях у кільцеві вузли 38, 40 осердя, щоб зберегти однорідність щільності магнітного потоку в напрямку обертання за рахунок мінімізації впливу ефекту розсіювання потоку. Тому що внутрішній по радіусу вузол осердя (наприклад, стационарний вузол 38 осердя на фіг. 1 або поворотний вузол осердя на фігурах 4-9) мають трохи менший діаметр, індуктивний з'єднувальний пристрій 30 виконаний таким чином, щоб магнітне осердя з меншим перетином потоку не насичувалося.

Індуктивний з'єднувальний пристрій діє як трансформатор (стрижневого типу) зі стационарною обмоткою 44 і поворотною обмоткою 46, що служать первинною і вторинною обмотками відповідно. Отже, напруга, що знімається з виходів поворотної обмотки 46, залежить від співвідношення числа витків і щільності магнітного потоку. В індуктивному з'єднувальному пристрої 30 воно однак у загальному не залежить від положення по колу поворотної конструкції 16. Так як перетворення напруги не є основним завданням індуктивного з'єднувального пристрою 30, співвідношення витків (стационарної обмотки й поворотної обмотки) може бути рівне 1, як у розподільному трансформаторі. Через наявність радіального повітряного зазору 32 між поверхнями 48, 50; 48' 50' верхнього й нижнього полюсів ефективність перетворення індуктивного з'єднувального пристрою 30 нижче, ніж ефективність звичайного трансформатора з безперервним осердям. Ширина по радіусу повітряного зазору 32 мала й становить звичайно біля декількох десятків міліметра або кілька міліметрів (наприклад 0,5-5 мм). Мінімальний повітряний зазор визначається мінімальним значенням, що надійно гарантує вільне обертання поворотної котушки 36 індуктивності з урахуванням впливових факторів, таких як теплове розширення й відхилення підшипника 20.

На фіг. 2 схематично показаний також варіант навантаження (двигун М), розміщеного на поворотній конструкції 16. За допомогою індуктивного з'єднувального пристрою 30 електроживлення може бути подане до будь-якого типу навантаження. Повинно бути також зрозуміло, що з'єднувальний пристрій 30 забезпечує постійну передачу електричної енергії як при обертанні поворотної конструкції 16 з різними швидкостями, тобто як в процесі роботи, так і в статичному положенні завантажувального пристрою 10.

На фіг. 3 представлений альтернативний варіант індуктивного з'єднувального пристрою 130, виконаного як симетрична трифазна система, що звичайно використовується в додатках, де потрібна більша потужність. У представленому на фіг. 3 варіанті виконання з'єднувальний пристрій 130 містить стационарний і поворотний вузли 138, 140

осердя, які у вертикальному перерізі мають в основному Е-подібну форму, кожний з яких має три поверхні магнітних полюсів. Стационарна й поворотна котушки 134, 136 індуктивності забезпечені відповідно набором із трьох обмоток 144.1, 144.2, 144.3; 146.1, 146.2, 146.3, кожна з яких працює зі зсувом по фазі в  $120^\circ$  при передачі енергії симетричного трифазного змінного струму. Стационарні обмотки 144.1, 144.2, 144.3 намотані відповідно навколо кожної із трьох горизонтальних частин стационарного вузла 130 осердя, у той час як поворотні обмотки 144.1, 144.2, 144.3 намотані навколо протилежних горизонтальних частин поворотного вузла 140 осердя. Інші аспекти індуктивного з'єднувального пристрою 130 аналогічні описаним вище й далі.

На фігурах 4-9 показаний інший варіант виконання індуктивного з'єднувального пристрою 230, що входить до складу завантажувального пристрою 10. Далі деталі завантажувального пристрою 10 на фіг. 4-9, які відповідають тим же деталям на фіг. 1, не повторюються.

Індуктивний з'єднувальний пристрій 230 на фігурах 4-9 розташований в нижній частині стационарного корпусу 18, що найкраще видно на фіг. 8. Аналогічно з'єднувальному пристрою, описаному вище, індуктивний з'єднувальний пристрій 230 містить стационарну котушку 234 індуктивності з вузлом 238 магнітного осердя й поворотну котушку індуктивності 236 з вузлом 240 магнітного осердя. Розміри вузлів 238, 240 і їх обмоток підібрані таким чином, щоб передавати більшу потужність у порівнянні з варіантом виконання з фіг. 1. Так як з'єднувальний пристрій 230 перебуває в нижній частині корпусу 18, поворотна котушка 236 індуктивності закріплена безпосередньо на плиті 17, у той час як стационарна котушка 234 індуктивності встановлена на стінці корпусу 18. Як видно на фігурах 5, 7 і 9 стационарний вузол 238 осердя перебуває стосовно осі А зовні, у той час як поворотний вузол 240 осердя перебуває всередині по відношенню до цієї осі. Хоча це не показано в деталях, обидва вузла 238, 240 забезпечені відповідними обмотками.

Як видно на фігурах 5, 7 і 9, як стационарна, так і поворотна котушки 234, 236 індуктивності і їх відповідні стационарний і поворотний вузли 238, 240 магнітного осердя мають розриви в напрямку обертання поворотної конструкції 16 (конфігурація з розривом замкненої окружності). Стационарна котушка 234 індуктивності складається із двох секторів 234.1, 234.2, у той час як поворотна котушка 236 індуктивності складається із чотирьох секторів 236.1, 236.2, 236.3 і 236.4. Сектори 234.1, 234.2; 236.1, 236.2, 236.3 і 236.4 розташовані симетрично щодо повороту навколо осі А. Механічній обробці з високою точністю потрібно піддавати тільки протилежні поверхні стационарного й поворотного вузлів 238, 240 магнітного осердя, щоб одержати кільцевий перетин у горизонтальній площині. Слід також зазначити, що в площині розгляду радіальний зазор 32 центрований щодо осі А.

Як також видно на фігурах 5, 7 і 9, відповідні проміжки по контуру вузлів 238, 240 магнітного осердя дають доступ до внутрішніх частин поворо-

тної конструкції 16, необхідний, наприклад, для втручання при проведенні ремонтних робіт без зняття індуктивного з'єднувального пристрою 230. Наприклад, забезпечений доступ до обох половин кріпильного й приводного механізмів розподільного лотка 12, схематично показаних під посилювальними номерами 52, 54, а також, наприклад, до контуру 28 охолодження або до його охолоджувального насоса (не показаний). Наприклад, у положенні по колу, зображеному на фіг. 5, до обох половин кріпильного й приводного механізму 52, 54, розташованого на опорній платформі 17, можна дістатися через вхідні люки 56, 58 у корпусі 18. Наприклад, у положенні по колу, зображеному на фіг. 7, поворотна конструкція повернулася на  $90^\circ$  за годинниковою стрілкою в порівнянні з фіг. 5, так що інші частини, наприклад частини контуру 28 охолодження, можуть бути доступні з лівої сторони, як показано на фіг. 6. На фіг. 9 показане проміжне положення по окружності поворотної конструкції 16. З'єднувальний пристрій 230 з розривом по контуру може бути також використаний з урахуванням конструктивних обмежень.

Висота вертикальної частини вузлів 238, 240 магнітного осердя, що мають в основному U-подібну форму, дозволяє розмістити велику кількість витків (не показані), що забезпечують значну індуктивність, тому що індуктивність зростає пропорційно квадрату числа витків. Пристрій, представлений на фігурах 4-9, призначений для випадків великої потужності, наприклад для навантажень, що вимагають подачі електроживлення  $>10$  кВт.

Як видно на вертикальних перерізах, даних на фігурах 4, 6 і 8, конкретна частина поверхні полюса стационарного вузла 238 магнітного осердя не завжди лежить проти відповідної частини поверхні полюса поворотного вузла 240 магнітного осердя в даному циклі повороту. Як можна зрозуміти з порівняння фігур 5, 7 і 9, загальна поверхня магнітної взаємодії через зазор 32 залишається постійною при обертанні поворотної котушки індуктивності, тобто не залежить від положення по колу поворотної котушки 236 індуктивності щодо стационарної котушки 234 індуктивності. У цьому випадку термін поверхня взаємодії визначається як поверхня, на якій поверхні полюсів (дивися позиції 48, 50; 48', 50' на фіг. 2) стационарного вузла 238 осердя протилежні по радіусу поверхням полюсів поворотного вузла 240 осердя, і навпаки, тобто ділянка поверхні, через яку може бути забезпечена ефективна магнітна взаємодія. Таким чином, у варіанті виконання з фігур 4-9 загальна поверхня взаємодії являє собою суму окремих поверхонь, виражену в кутових мірах, протилежних частин (заштрихованих на фігурах 5, 7 і 9) секторів 234.1, 234.2; 236.1, 236.2, 236.3 і 236.4 відповідно, помножену на просумовану висоту відповідних поверхонь полюсів (дивися 48, 50; 48', 50' на фіг. 2).

Як наслідок того, що загальна поверхня взаємодії залишається постійною незалежно від положення по колу, магнітний потік взаємодії й, отже, передана на поворотну конструкцію 16 електрична енергія також не залежать від положення по колу поворотної конструкції, незважаючи на конфігура-

цію з розривами стаціонарної й поворотної котушок 234, 236 індуктивності відповідно до фігур 4-9. При відповідному доборі діаметра індуктивного з'єднувального пристрою 230 ступінь магнітної взаємодії, така ж, як у випадку безперервної конфігурації при меншому діаметрі (наприклад відповідно до фіг. 1), може бути забезпечена при розривній конфігурації з'єднувального пристрою 230, відображеної на фігурах 4-9.

На фігурах 10-11 показаний ще один варіант виконання індуктивного з'єднувального пристрою 330, що входить до складу завантажувального пристрою 10. З'єднувальний пристрій 330 має розривну конфігурацію. Далі будуть розглянуті тільки відмінності від раніше описаних варіантів.

Як видно на фіг. 10, індуктивний з'єднувальний пристрій 330 розташований в корпусі 18 у середній по висоті частині. Таке розташування дозволяє зменшити діаметр пристрою й, отже, вартість матеріалів за рахунок наближення до роликового підшипника 20 так, що необхідний допуск на ширину зазору 32 зменшується, і знижується вплив запиленості й температури в печі. На противагу з'єднувальному пристрою 230 тільки поворотна котушка 336 індуктивності індуктивного з'єднувального пристрою 330 має розриви в напрямку обертання, у той час як стаціонарна котушка 334 індуктивності має конфігурацію, замкнену навколо осі А кільця. Діаметр з'єднувального пристрою 330 трохи зменшений у порівнянні з діаметром на фігурах 4-9. Як видно на фіг. 11, поворотна котушка 336 індуктивності складається із двох окремих дугоподібних секторів 336.1, 336.2. Сектори 336.1, 336.2 розділені проміжком тільки в місці розташування двох протилежних половин кріпильного й приводного механізму 52, 54. Розривна поворотна котушка 336 індуктивності відповідає конструктивним просторовим обмеженням завантажувального пристрою 10 і полегшує доступ до кріпильного й приводного механізму 52, 54. За рахунок значного розміру загальної поверхні взаємодії, зображеної на фіг. 11 (протилежні частини заштриховані), індуктивний з'єднувальний пристрій 330 дає можливість безконтактної передачі електричної енергії навіть більшої потужності, ніж в попередніх варіантах виконання. Повинно бути зрозуміло, що конкретний спосіб електричного з'єднання коротко представлених пристроїв 230, 330 може відповідати схемі з фіг. 2, схемі з фіг. 3 або іншій підходящій електричній схемі, яку легко може собі представити фахівець у даній галузі техніки.

На фіг. 12 представлений наступний варіант виконання з'єднувального пристрою 430, який може розглядатися як модифікація варіанта виконання з фігур 4-9. На противагу останньому варіанту пристрій 430 має стаціонарну котушку 434 індуктивності, виконану так, що вона являє собою замкнене кільце із центром на осі А. Для забезпечення доступу при проведенні ремонтних робіт стаціонарна котушка 434 індуктивності має сектори, що віддаляються, 434.1, 434.3. Ці сектори можуть бути закріплені, наприклад, на петлях з можливістю повороту відносно нерухомо встановлених секторів 434.2, 434.4, як показано на фіг. 12. При необхідності доступу, наприклад, до частин 52, 54

кріпильного й приводного механізму встановлені на петлях частини 434.1 і 434.2 сектору переміщують у тимчасове положення, показане на фіг. 12. У процесі роботи частини, що видаляються, 434.1 і 434.3 встановлюють так, щоб вони створювали замкнене кільце разом з нерухливими секторами 434.2, 434.4 (що показане пунктирними лініями на фіг. 12). Так як напрямок магнітного потоку у вузлах 438, 440 магнітного осердя перпендикулярний напрямку обертання, розрив вузла магнітного осердя в місці сполучення між секторами, що видаляються, 434.1, 434.3 і нерухомими секторами 434.2, 434.4 не критичний.

Так як швидкість обертання поворотного завантажувального пристрою шахтної печі порівняно не велика (наприклад кілька обертів у хвилину), повинні бути вжиті спеціальні заходи, щоб забезпечити сталість передачі електричної енергії при котушках індуктивності, що мають розриви. Тому далі з посиланням на фігури 13-19 описані докладні деталі, що стосуються можливих розривних конфігурацій індуктивних пристроїв передачі. Насамперед слід зазначити, що кожна з фігур 13-19 ілюструє варіант виконання розривних індуктивних з'єднувальних пристроїв, що забезпечують постійну передачу електричної енергії незалежно від обертання поворотної конструкції 16. Ці варіанти не є вичерпними й не призначені для обмеження обсягу винаходу.

Фіг. 13 схематично ілюструє геометричну конфігурацію не суцільного по колу, тобто розривного кільцевого з'єднувального пристрою 230, представленого на фігурах 4-9. Як видно на фіг. 13, обидва сектори 234.1, 234.2 стаціонарної котушки 234 індуктивності, також як чотири сектори 236.1, 236.2, 236.3 і 236.4 поворотної котушки 236 індуктивності встановлені в положенні аксіальної симетрії щодо осі А. Стаціонарна котушка 234 індуктивності має аксіальну симетрію кратності  $m$  (її також називають дискретною аксіальною симетрією порядку  $m$ ) при  $m=2$  (тобто симетрію при повороті на  $2\pi/m$  або на  $180^\circ$ ), у той час як поворотна котушка 236 індуктивності має аксіальну симетрію кратності  $n$  при  $n=4$  (тобто симетрію при повороті на  $2\pi/n$  або  $90^\circ$ ). Відповідні кутові величини  $\alpha$  стаціонарних секторів 234.1, 234.2 однакові й приблизно рівні  $\pi/2$  або  $90^\circ$ . Два проміжки  $\beta$  між стаціонарними секторами 234.1, 234.2, виражені в радіанах, також однакові й приблизно рівні  $\pi/2$  або  $90^\circ$ . Кутова величина  $\gamma$  секторів 236.1, 236.2, 236.3 і 236.4 є компромісною між величиною бажаної електромагнітної взаємодії й простором доступу, необхідним, наприклад, для проведення ремонтних робіт. Саме по собі значення  $\gamma$  не є критичним для забезпечення постійного електромагнітного зв'язку. Для даного радіуса й порядків симетрії відповідні кутові значення  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  визначають кутові розміри проміжків і стаціонарних 234.1, 234.2 і поворотних 236.1, 236.2, 236.3 і 236.4 секторів, за допомогою яких серед інших параметрів може бути визначена загальна поверхня взаємодії.

Для спрощення наступного викладення вираз "сполучені сектори" буде використовуватися стосовно даної пари поворотних секторів, що задовольняють умові входження в найближчу по колу



пару, в якій одночасно один сектор створює збільшення взаємодії, у той час як сполучений з ним сектор робить зниження взаємодії й навпаки. На фіг. 13 у з'єднувальному пристрої 230 пари (236.1, 236.2) і (236.3, 236.4) є парами сполучених секторів. Кутова величина  $\delta$  між центрами двох сполучених секторів, наприклад 236.1 і 236.2, вибирається у функції від кутової величини  $C$  проміжку (проміжків). У з'єднувальному пристрої 230  $\delta$  є дільник для  $\beta$ , тобто  $\beta = k \cdot \delta$ , де  $k$  - невід'ємна ціла величина. Як видно на фіг. 13,  $k=1$  або  $\delta$  приблизно рівна  $\pi/2$  або  $90^\circ$ . Більш того обидва сполучених сектори, тобто (236.1, 236.2) і (236.3, 236.4), будуть мати однакову кутову величину  $\gamma$  і розташовуватися симетрично щодо площини, обумовленої їхньою бісектрисою, використовуюваною для визначення  $\delta$ . Тим самим забезпечується гарантія того, що загальна поверхня взаємодії не залежить від положення по колу поворотної котушки 236 індуктивності. Фактично наведені вище умови дають гарантію того, що коли поверхня взаємодії для даного сектору, припустимо 236.2, зменшується або збільшується при обертанні, поверхня взаємодії його сполученого сектору, припустимо 236.1, одночасно із цим збільшується або зменшується на таку ж величину.

На фіг. 14 представлений пристрій 530 передачі, виконаний по модифікованому варіанту з фігур 4-9 і 13, у якому поворотна котушка індуктивності містить тільки одну пару сполучених поворотних секторів 536.1 і 536.2. Як видно на фіг. 14, поворотна індукційна котушка 536 не обов'язково повинна мати аксіальну симетрію щодо осі А (вважаючи кратність симетрії, рівну одиниці, відсутність симетрії). У певних конфігураціях достатньо, щоб або стаціонарна, або поворотна котушка 534, 536 індуктивності мала аксіальну симетрію, що також показано на фіг. 15.

На фіг. 15 представлений ще один варіант виконання з'єднувального пристрою 630, що має одну пару поворотних секторів 636.1 і 636.2 і тільки один стаціонарний сектор 634.1. У з'єднувальному пристрої 630 з фіг. 15 поворотна котушка 636 індуктивності має аксіальну симетрію кратності 2 (тобто при зсуві на кут  $\pi$  або на  $180^\circ$ ), у той час як стаціонарна котушка 634 індуктивності не має аксіальної симетрії ( $m=1$ ). У з'єднувальному пристрої 630 з фіг. 15  $\delta$  є дільником для  $\beta$  (і навпаки), тобто  $\beta = k \cdot \delta$  при  $k=1$ .

На фіг. 16 представлений з'єднувальний пристрій 730, у якому стаціонарна котушка 734 індуктивності має аксіальну симетрію кратності 4 ( $m=4$ ), у той час як поворотна котушка 736 індуктивності не має аксіальної симетрії ( $n=1$ ). Стаціонарна й поворотна котушки 734, 736 індуктивності відповідно мають по чотири сектори 734.1, 734.2, 734.3 і 734.4 і 736.1, 736.2, 736.3 і 736.4. У пристрої 730  $\alpha = \beta - \delta = \pi/4$  і, отже,  $\beta = k \cdot \delta$  при  $k=1$ . І знову ж виражена в радіанах величина  $\gamma$  поворотних секторів 736.1, 736.2, 736.3 і 736.4 може бути збільшена або зменшена, не впливаючи на те, що електромагнітна взаємодія не залежить від обертання. Однак у кожній парі сполучених секторів (736.1, 736.2) і (736.3, 736.4) кутова величина  $\gamma$ , тобто

довжина дуги, обох секторів буде однаковою й задовольняти співвідношенню  $\gamma \leq \beta$ .

На фіг. 17 представлений ще один альтернативний варіант виконання з'єднувального пристрою 830, в якому стаціонарна котушка 834 індуктивності має аксіальну симетрію кратності 3 ( $m=3$ , тобто симетрія при повороті на  $120^\circ$ ), у той час як поворотна котушка 836 індуктивності має аксіальну симетрію кратності 4 ( $n=4$ ). Стаціонарна котушка 834 індуктивності містить три окремі сектори 834.1, 834.2 і 834.3, у той час як поворотна котушка 836 індуктивності містить чотири рознесені поворотні сектори 836.1, 836.2, 836.3 і 836.4. Сектори розташовані аксіально симетрично щодо осі А. У з'єднувальному пристрої 830  $\alpha = \beta = 2\pi/3$ , у той час як  $\delta = \pi$ . Слід зазначити, що в з'єднувальному пристрої 830 сполученими поворотними секторами є ті, які протилежні по радіусу, тобто сектори (836.1, 836.3) і (836.2, 836.4) є сполученими. Отже, у варіанті виконання з фіг. 17  $\beta$  служить дільником для  $\delta$  (але не навпаки), тобто  $\delta = k \cdot \beta$  при  $k=3$ . Фактично в цьому окремому варіанті виконання  $\delta > \beta$ , у той час як у попередніх варіантах виконувалося співвідношення  $\delta \leq \beta$ .

На фіг. 18 зображений з'єднувальний пристрій 930, що представляє собою модифікацію варіанта з фіг. 17, у якому є тільки одна пара сполучених секторів 936.1, 936.2 поворотної котушки 936 індуктивності. З порівняння фігур 17 і 18 можна бачити, що дійсне число використовуваних сполучених пар не є вирішальним, поки продовжують задовольнятися умови незалежності взаємодії від обертання. Наприклад, у з'єднувальному пристрої 830 з фіг. 17 може бути додана ще одна сполучена пара (не показана) шляхом введення двох протилежних по радіусу секторів під кутом  $45^\circ$  між парами секторів (836.1, 836.2) і (836.3, 836.4) без впливу на незалежність при обертанні.

На фіг. 19 представлений ще один варіант виконання з'єднувального пристрою 1030 зв'язку. У цьому з'єднувальному пристрої поворотна котушка 1036 індуктивності має таку ж конфігурацію, як поворотна котушка індуктивності з фіг. 13, тобто включає чотири окремі сектори 1036.1, 1036.2, 1036.3 і 1036.4 з  $\delta = \pi/4$  і розташованих з аксіальною симетрією кратності 4 ( $n=4$ ) щодо осі А обертання. З іншої сторони стаціонарна котушка 1034 індуктивності виконана цілком з кутовим розміром  $\alpha = 3\pi/4$  і, отже, такою, що не має аксіальної симетрії ( $m=1$ ). Стаціонарна котушка 1034 індуктивності виконана з розривом за рахунок проміжку, що має кутовий розмір  $\beta = \pi/4$ . Як і попередніх варіантах виконання, передача електричної енергії від стаціонарної котушки 1034 індуктивності в поворотну котушку 1036 індуктивності за рахунок магнітної взаємодії через зазор 32 також в основному постійна при обертанні поворотної котушки 1036 індуктивності.

Як впливає з наведеного вище опису можливої геометричної побудови з'єднувальних пристроїв, можливі численні різні конфігурації котушок індуктивності з розривними вузлами осердя, причому всі мають таку властивість, що загальна поверхня взаємодії залишається постійною при обертанні поворотної котушки індуктивності. Таким

чином, передача електричної енергії за рахунок магнітної взаємодії через радіальний зазор 32 не залежить від положення по колу поворотної конструкції 16, на якій закріплена поворотна котушки індуктивності (за винятком невеликих коливань на межах секторів).

У зв'язку з розглядом еквівалентної схеми індуктивного з'єднувального пристрою, зображеної на фіг. 20, будуть наведені деякі конструктивні міркування з електричної точки зору. На фіг. 20 зображені (з урахуванням фазового вектора):

U1: напруга, прикладена до стаціонарної котушки індуктивності;

R1: опір обмоток стаціонарної котушки індуктивності;

X1: опір витoku стаціонарної котушки індуктивності;

U'2 = n<sub>tr</sub> U2: напруга на поворотній котушці індуктивності, віднесена до стаціонарної котушки індуктивності;

R'2 = n<sub>tr</sub><sup>2</sup> R2: опір поворотної котушки індуктивності, віднесена до стаціонарної котушки індуктивності;

X'2 = n<sub>tr</sub><sup>2</sup> X2: опір витoku поворотної котушки індуктивності, віднесений до стаціонарної котушки індуктивності;

X<sub>mu</sub> = взаємодія;

Z'<sub>mot</sub> = R'<sub>mot</sub> + jX'<sub>mot</sub>: імпеданс навантаження (наприклад двигуна), віднесений до стаціонарної котушки індуктивності;

R'<sub>mot</sub> = n<sub>tr</sub><sup>2</sup> R<sub>mot</sub>: опір навантаження, віднесений до стаціонарної котушки індуктивності;

X'<sub>mot</sub> = n<sub>tr</sub><sup>2</sup> X<sub>mot</sub>: реактивний опір навантаження, віднесений до стаціонарної котушки індуктивності;

при n<sub>tr</sub>, що представляє собою відношення числа витків стаціонарної котушки індуктивності до числа витків поворотної котушки індуктивності.

Як буде ясно далі, індуктивний з'єднувальний пристрій, в основному, аналогічний поворотному трансформатору. Тому X<sub>mu</sub> є важливим параметром для конструкції індуктивного з'єднувального пристрою. Фактично:

$$X_{mu} = 2\pi \cdot f \cdot \frac{n_1^2}{\mathfrak{R}_{core} + \mathfrak{R}_{gap}}, \quad (1)$$

де f - частота змінного струму, n<sub>1</sub> - число витків обмотки стаціонарної котушки індуктивності, i  $\mathfrak{R}_{core}$ ,  $\mathfrak{R}_{gap}$  - магнітний опір осердя й магнітний опір зазору 32 відповідно. Так як магнітна проникність матеріалу осердя в кілька тисяч разів більше, ніж у радіального зазору 32, у виразі (1) величиною  $\mathfrak{R}_{core}$  можна зневажити в порівнянні з  $\mathfrak{R}_{gap}$ .

Так як магнітний опір радіального зазору 32 безпосередньо пропорційний ширині (тобто довжині по радіусу) зазору 32, ця ширина повинна бути мінімізована, щоб гарантувати високе значення взаємодії X<sub>mu</sub>. Крім встановлення X<sub>mu</sub> як можна більшої величини, встановлення значень R1, R2 і X1, X2 як можна меншими також є засобом для оптимізації коефіцієнта корисної дії індуктивної взаємодії.

З використанням еквівалентної схеми з фіг. 20 дійсний коефіцієнт корисної дії індуктивного з'єднувального пристрою на основі ефективного від-

ношення потужностей може бути підрахований у такий спосіб

$$\eta = \frac{R'_{mot}}{R'_{mot} + R'2 + R1 \cdot \left( \frac{R'2 + jX'2 + jX_{mu} + R'_{mot} + jX'_{mot}}{jX_{mu}} \right)^2} \quad (2)$$

Гаданий коефіцієнт корисної дії, заснований на відношенні ефективної потужності, споживаним навантаженням, до гаданої потужності (ефективної + реактивної), що споживається в первинній обмотці, також впливає на величину параметрів. Він визначається по виразу:

$$\eta_s = \frac{R'_{mot} \cdot \bar{I}_2^2}{U_i \cdot I_i} \quad (3)$$

де U<sub>i</sub> та I<sub>i</sub> - являють собою гадані (ефективна + реактивна) напруга й струм на стаціонарній / поворотній стороні відповідно.

Було встановлено, що для радіального зазору, величиною 1 мм, осердя з Fe-Si, обмотки з мідного проводу перетином 1 мм<sup>2</sup>, при навантаженні 1 кВт кращим для кожної обмотки відповідно є число витків у діапазоні 110 < n<sub>1,2</sub> < 160. Слід зазначити, що η і η<sub>s</sub> у загальному не можуть бути одночасно оптимальними для даної конструкції, у якій η<sub>s</sub> має максимум при більшій кількості витків, ніж η. Тому вибір найбільшого числа витків, при якому можна отримати максимальне значення η, мінімізує резистивні втрати тепла. Так як реактивні опори є функцією частоти змінного струму, зрозуміло, що вираз (2) залежить від частоти змінного струму, що подається в стаціонарну котушку індуктивності. Було встановлено, що для наведених вище варіантів η і η<sub>s</sub> швидко зростають аж до частоти 150 Гц. Після цього значення η ще продовжує зростати, але швидкість зростання стає набагато меншою, у той час як η<sub>s</sub> може значно знизитися при більших частотах. Щоб мінімізувати реактивні втрати (X<sub>mu</sub>, втрати в осерді) частота повинна знаходитися в компромісному діапазоні 100 Гц < f < 200 Гц. Для числа витків обмоток як стаціонарної, так і поворотної котушок індуктивності n<sub>1,2</sub> = 125 і частоти f = 150 Гц чисельно були визначені наступні значення для різної ширини повітряного радіального зазору 32:

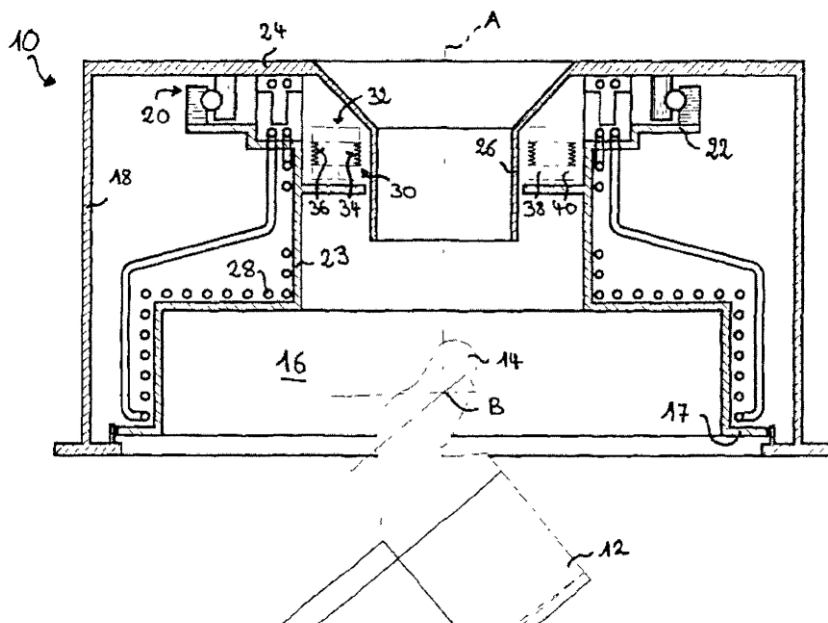
e [мм]	0,5	1	2	5
η	69,7	61,3	44,8	17,6
η <sub>s</sub>	46,7	35,6	22,6	9,2

Як буде зрозуміло далі, ширина є повітряного зазору 32 буде в загальному становити близько 0 мм < e < 2 мм. Ефективне значення коефіцієнта корисної дії вище 70 % може бути досягнуто за рахунок використання більшого перетину проводу обмотки, використання матеріалів осердя з більшою магнітною проникністю (наприклад пермалою), забезпечення меншої ширини повітряного зазору й (або) різних інших засобів, добре відомих фахівцям в даній області. Зрозуміло також, що при необхідності в комбінації з індуктивним з'єднувальним пристроєм можуть бути використані додаткові компоненти. З'єднувальний пристрій може бути доповнений акумулятором енергії й випрямлячем або контролером електричної потужності. Повинне бути зрозуміло, що ніякі електричні засо-

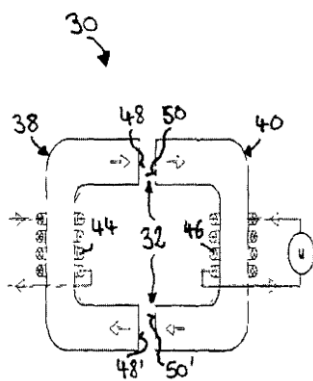
би, за винятком тут описаних, не потрібні, щоб забезпечити в основному постійну подачу енергії в навантаження, розташоване на поворотній конструкції 16.

Хоча індуктивний з'єднувальний пристрій теоретично може бути використаний для комбінованої передачі сигналів і потужності, можна вважати, що переважно використовувати для передачі сигналів радіоустаткування. Отже, радіопередавачі, приймачі або приймачі-передавачі можуть бути встановлені на поворотній конструкції 16 для приймання й (або) передачі керуючих і (або) вимірювальних сигналів від або до навантаження, пов'язаного з поворотною котушкою індуктивності. Як навантаження, так і радіоустаткування можуть отримувати живлення від з'єднувального пристрою.

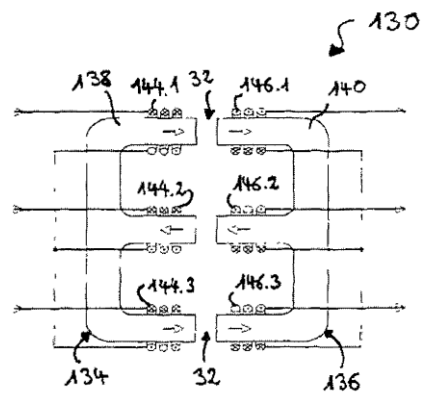
Нарешті, повинно бути зрозуміло, що завантажувальний пристрій шахтної печі, модернізований застосуванням індуктивного з'єднувального пристрою, описаним вище, може включати навантаження будь-якого типу, встановлене на поворотній конструкції. Завдяки високій навантажувальній здатності пристрою передачі одне або більше навантаження, що мають номінальне споживання потужності понад 500 Вт, можуть просто й надійно діяти на поворотній частині завантажувального пристрою незалежно від умов роботи. Внаслідок безконтактної конструкції індуктивний з'єднувальний пристрій не підданий зношуванню, і тому обслуговування його фактично не викликає складнощів незважаючи на тяжкі умови роботи в шахтній печі.



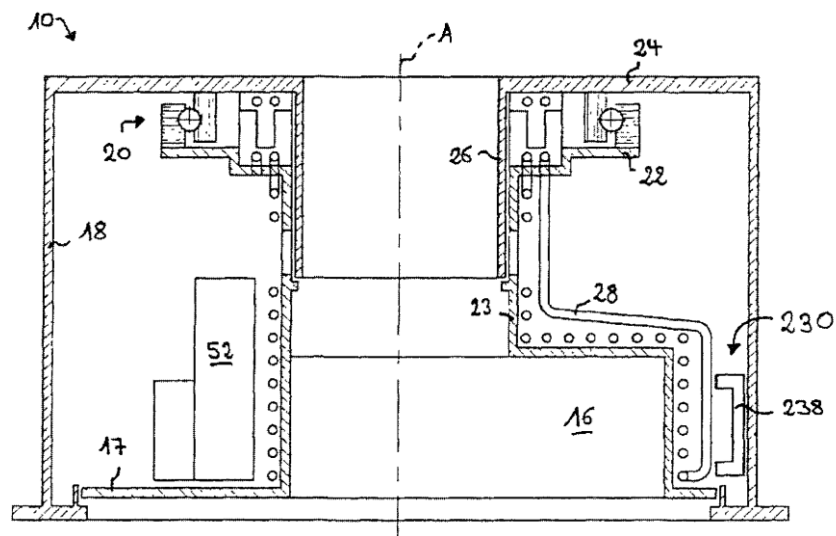
ФІГ. 1



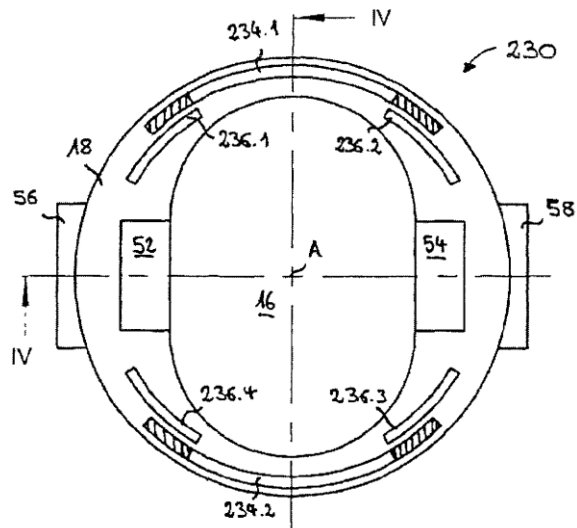
ФІГ. 2



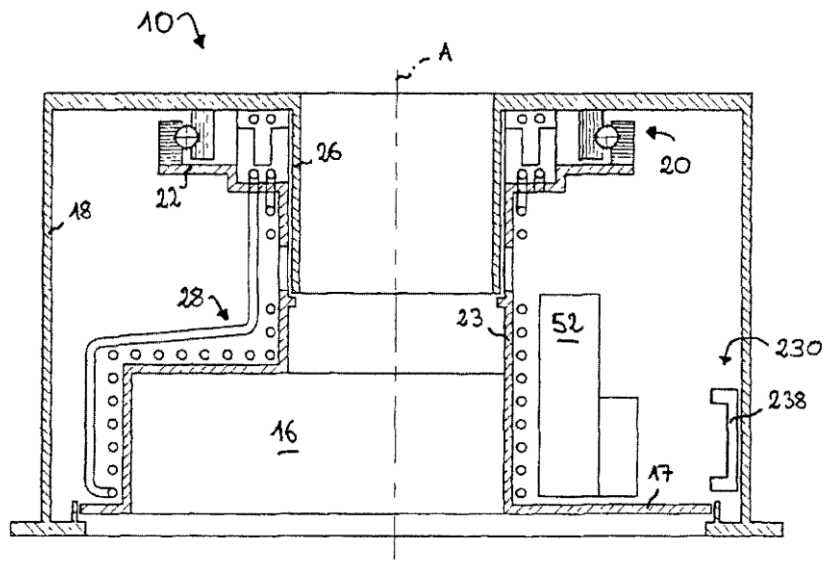
ФИГ. 3



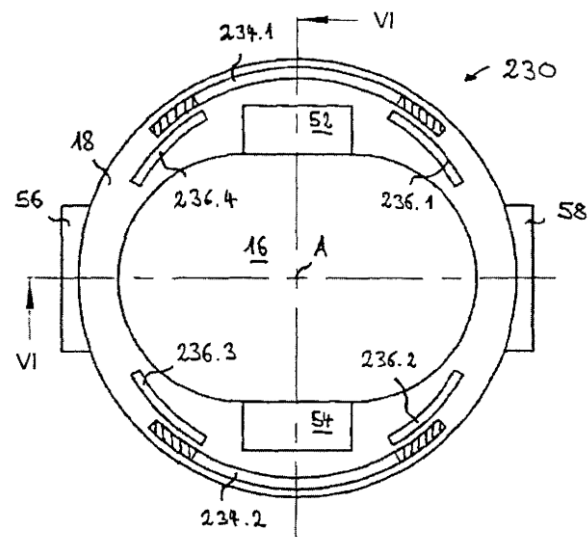
ФИГ. 4



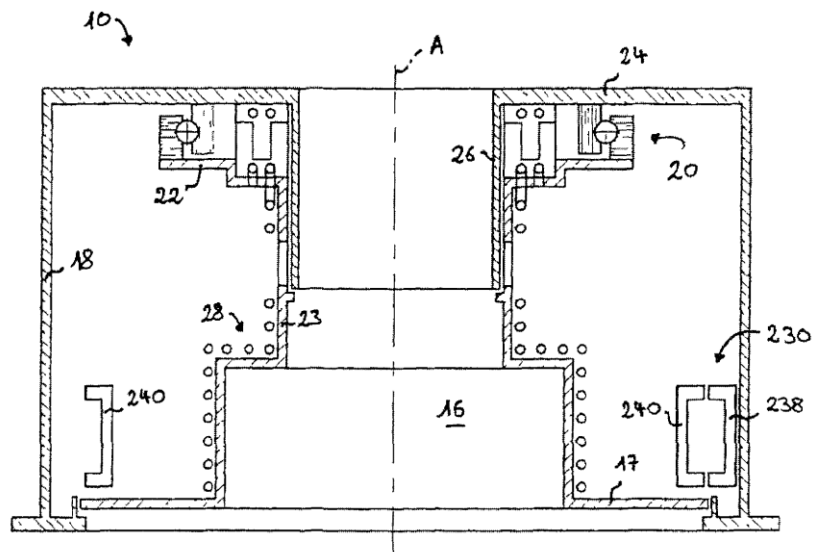
ФИГ. 5



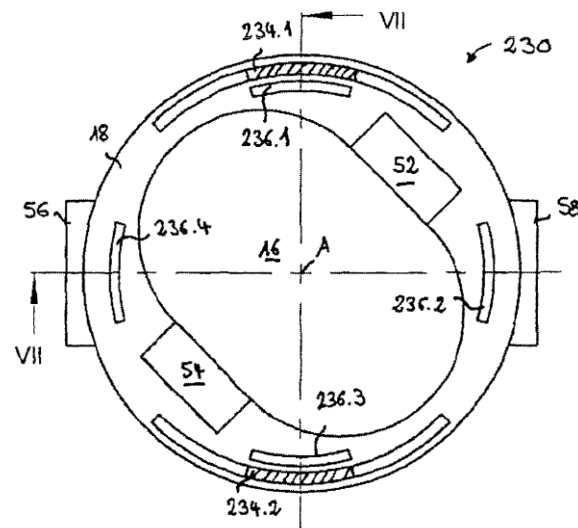
ФИГ. 6



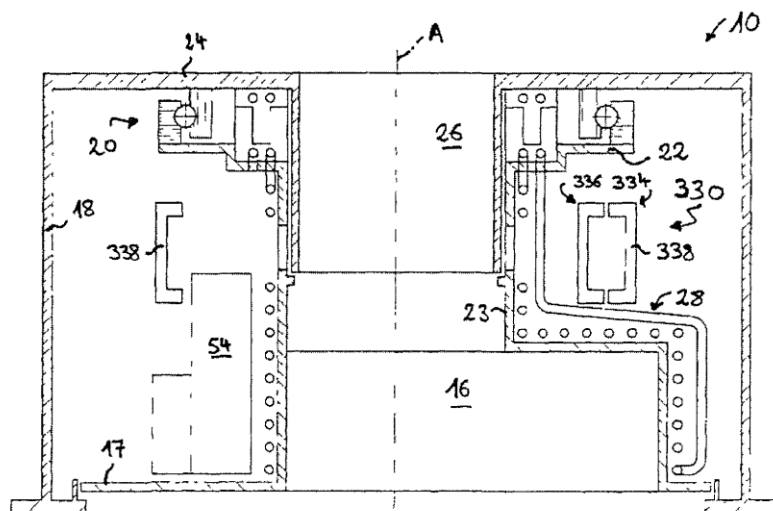
ФИГ. 7



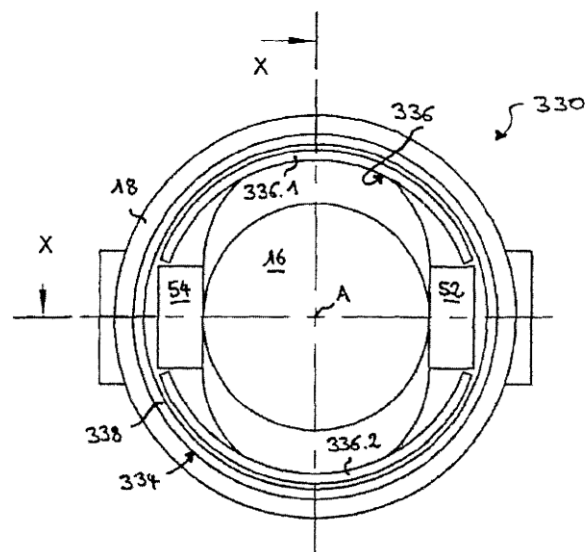
Фиг. 8



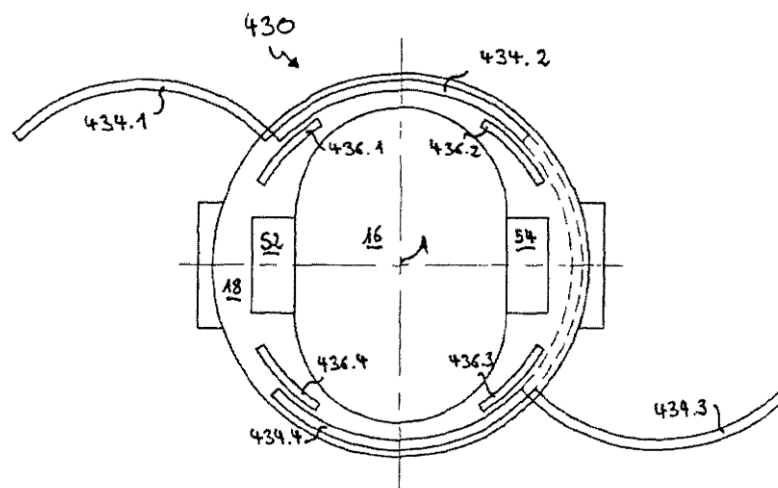
Фиг. 9



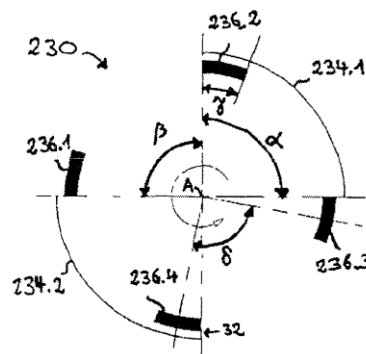
Фиг. 10



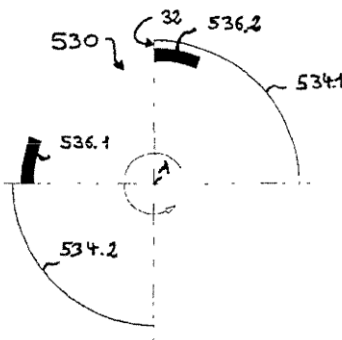
Фиг. 11



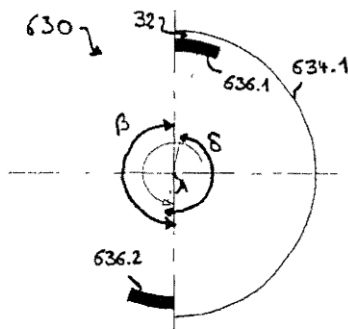
Фиг. 12



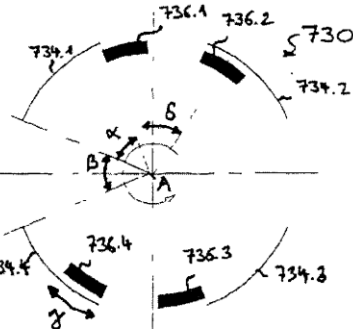
ФИГ. 13



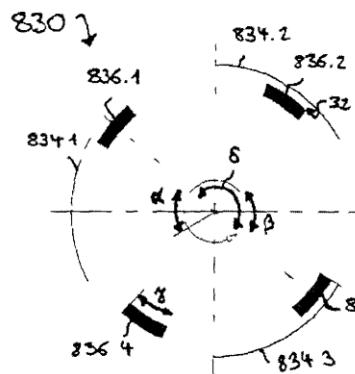
ФИГ. 14



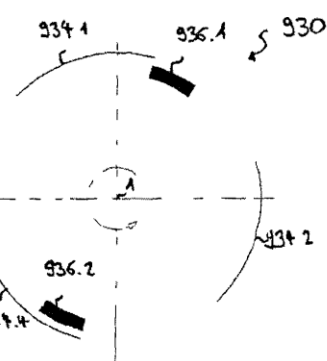
ФИГ. 15



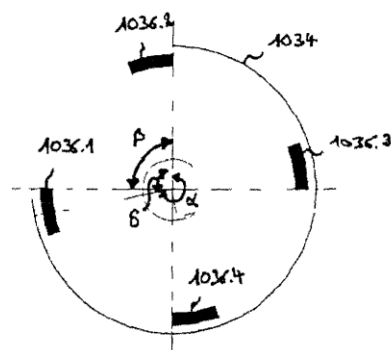
ФИГ. 16



ФИГ. 17

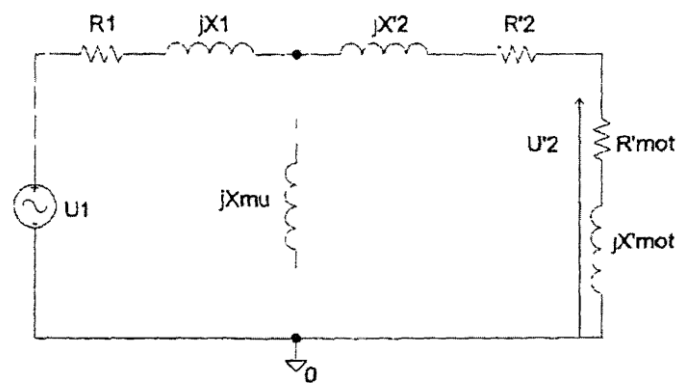


ФИГ. 18



ФИГ. 19





ФІГ. 20 0