

Винахід стосується вибійних бурових машин з електричним двигуном, які застосовують для буріння глибоких свердловин при видобуванні нафти і газу, зокрема винахід стосується тих вибійних бурових машин з електричним двигуном, що опускаються в свердловину на трубах.

Відомий електробур для буріння нафтових і газових свердловин, описаний у книзі "Ю.А. Сафаров, А.Б. Фрадкін. Электробурение. Азнефтеиздат, Баку, 1957", що містить долото, шпindel (упорний підшипник), електричний двигун, заповнений ізолюючою рідиною (трансформаторним маслом) і струмопідвід, причому струмопідвід своїм верхнім кінцем з'єднаний із джерелом електричної енергії на поверхні Землі, а нижнім кінцем - з електричним двигуном, що знаходиться у вибої.

У відомому електробурі в якості електричного двигуна встановлений асинхронний трифазний двигун із короткозамкненим ротором. Струмопідвід такого електробура є трижильним, або двожильним (у випадку двожильного струмопідводу роль третьої жили виконують металеві труби, на яких електробур опускають у свердловину). Кожному стику між окремими трубами відповідає триконтактний або двоконтактний штепсельний роз'єднувач струмопідводу. Між контактами роз'єднувача діє лінійна напруга струмопідводу. Ця напруга звичайно перевищує 1000Вольт. Слабкість міжконтактною ізоляції роз'єднувачів визначається тим, що струмопідвід розміщений у глинистому розчині, що заповнює труби, а сама конструкція роз'єднувача має обмеження, зумовлені необхідністю автоматичного з'єднання роз'єднувачів при згвинчуванні окремих бурильних труб. Низька надійність струмопідводу (часті електричні пробіи у штепсельних роз'єднувачах) є основним недоліком відомого електробура. Крім цього, складним є регулювання частоти обертання долота у відомому електробурі.

Відомі також спроби ряду наукових установ розробити електробур з високонадійним одножильним струмопідводом і з простою схемою регулювання частоти обертання долота за рахунок встановлення у ньому традиційного двигуна постійного струму з ковзаючим електричним контактом на колекторі, про що свідчить, наприклад, публікація "А.С. Лопата, Т.І. Завгородня. Дослідження гідродинамічних зусиль при роботі ковзаючого контакту в рідкому ізолюючому середовищі. Вісник Львівського політехнічного інституту №15 "Питання теорії та регулювання електричних машин", вид-во Львівського університету, 1967". Однак, ці спроби зазнали невдачі із-за поганої якості комутації у сильно видовженому колекторному двигуні постійного струму, а також із-за негативного впливу іскрення на колекторі на рідинне середовище (усі електробури заповнюються ізолюючою рідиною, як правило, трансформаторним маслом).

Метою даного винаходу є створення працездатного електробура з високою надійністю струмопідводу і з можливістю простого регулювання частоти обертання долота, а також без ковзаючих контактів в електричному двигуні.

Вказана мета досягається тим, що в електробурі, який містить долото, шпindel (упорний підшипник), електричний двигун, заповнений ізолюючою рідиною, наприклад трансформаторним маслом, і струмопідвід, причому струмопідвід своїм верхнім кінцем з'єднаний із джерелом електричної енергії на поверхні Землі, а нижнім кінцем - із електричним двигуном, що знаходиться у вибої, в якості електричного двигуна встановлений безколекторний двигун постійного струму з тиристорним комутатором, причому, керуючі електроди тиристорів комутатора зв'язані із вихідними колами датчика положення ротора.

В електробурі за першим варіантом винаходу вхідне коло датчика положення ротора живиться від джерела напруги підвищеної частоти, причому, джерело напруги підвищеної частоти під'єднане до верхнього кінця струмопідводу, а нижній кінець струмопідводу з'єднаний із вхідним колом датчика положення ротора через електричний фільтр, який містить принаймні один конденсатор.

В електробурі за другим варіантом винаходу вхідне коло датчика положення ротора під'єднане до нижнього кінця струмопідводу через схему підтримання постійності напруги.

В якості безколекторного двигуна постійного струму з тиристорним комутатором доцільно використати двигун із якірною обмоткою замкненого типу, розміщеною на статорі, у якому комутація (закривання) тиристорів відбувається за рахунок е.р.с. обертання. При цьому для здійснення комутації за рахунок е.р.с. обертання кутове положення датчика положення ротора двигуна встановлюється таким, щоб активні сторони комутуваних котушок якірної обмотки були розміщені під збігаючими краями магнітних полюсів, розміщених на роторі двигуна. В якості датчика положення двигуна доцільно використати датчик положення трансформаторного типу за диференціальною схемою. Розміщені на роторі двигуна з тиристорним комутатором магнітні полюси доцільно виконати на основі постійних магнітів.

В електробурі за другим варіантом винаходу схему підтримання постійності напруги доцільно побудувати на принципі двопозиційного регулювання.

На Фіг.1 зображена схема конструкції електробура з окремими елементами електричної схеми згідно першому варіанту винаходу, на Фіг.2 - електрична схема двигуна постійного струму з тиристорним комутатором і його під'єднання до струмопідводу за першим варіантом винаходу, на Фіг.3, 4 - перерізи А-А і В-В з фігури 1, що представляють конструкцію датчика положення ротора, на Фіг.5 - під'єднання двигуна постійного струму з тиристорним комутатором до струмопідводу за другим варіантом винаходу, на Фіг.6, 7 - діаграми відкривання тиристорів комутатора, на Фіг.8 - схема для пояснення принципу живлення вхідного кола датчика положення ротора двигуна за першим варіантом винаходу.

Електробур за першим варіантом винаходу містить долото 1 (Фіг.1), шпindel 2 (упорний підшипник для передачі осьового навантаження на долото), електричний безколекторний двигун постійного струму з тиристорним комутатором 3 і струмопідвід 4. Долото 1 закріплене на валу 5 шпинделя 2. Вал 5 шпинделя і вал 6 двигуна виконані пустотними для забезпечення можливості проходження від труб 7, на яких електробур опускають у свердловину, до долота 1 глинистого розчину, яким промивають свердловину під час буріння. Внутрішній простір електричного двигуна 3 заповнений трансформаторним маслом і у верхній частині двигуна відокремлений від простору труб, заповненого глинистим розчином, торцевим ущільненням 8. В одному блоці з ущільненням змонтований компенсатор витрати трансформаторного масла. Подібне ущільнення також розміщене на нижньому кінці вала двигуна (якщо шпindel заповнений глинистим розчином) або на нижньому кінці вала шпинделя, якщо шпindel заповнений трансформаторним маслом.

Електричний безколекторний двигун постійного струму з тиристорним комутатором 3 містить статор 9 з якірною обмоткою (див. Фіг.1, 2), ротор 10 з магнітними полюсами, тиристорний комутатор 11, трансформаторний датчик положення ротора 12. Статор 9 розміщений в сталевому корпусі 13 двигуна.

Продовженням корпусу 13 двигуна є окремий корпус 14 тиристорного комутатора і датчика положення ротора, окремий корпус 15 ущільнення і компенсатора витрати трансформаторного масла і перехідник 16 для з'єднання електробура з трубами 7.

На Фіг.2 показана електрична схема двигуна на одній парі полюсів. Двигун має якірну обмотку замкнутого типу (як у якорях колекторних машин постійного струму). Для більшої наочності на Фіг.2 зображена обмотка кільцевого якоря (методичний прийом, який звичайно застосовують при викладі принципу роботи колекторних машин постійного струму). Звичайно двигун має не одну, а кілька пар полюсів. У цьому випадку однаково розміщені під різними парами полюсів секції якірної обмотки з'єднують паралельно (варіант петльової обмотки) або послідовно (варіант хвильової обмотки). Магнітні полюси ротора 10 виконані з використанням постійних магнітів, без обмотки збудження. Тиристорний комутатор 11 складається із двох груп тиристорів: анодної групи (або групи "+"), у якої спільною шиною "+" з'єднані всі аноди (див. Фіг.2), і катодної групи (або групи "-"), у якої спільною шиною "-" з'єднані всі катоди. Шина "+" тиристорного комутатора з'єднана з нижнім кінцем струмопідводу 4. Шина "-" тиристорного комутатора з'єднана із корпусом 14 тиристорного комутатора. Замкнена якірна обмотка статора 9 точками приєднання тиристорного комутатора розділена на секції з однаковими кількостями витків. До кожної точки розділу між секціями (ці точки на Фіг.2 пронумеровані римськими числами) приєднана пара тиристорів (один тиристор від групи "+" і один від групи "-"). Кожен тиристор на схемі Фіг.2 може бути пронумерований числом, що вказує на точку приєднання до обмотки якоря, з індексом "+" або "-" в залежності від приналежності тиристора до анодної, чи катодної групи (наприклад 1⁺, 1⁻ і т.д.).

Між керуючим електродом і катодом кожного тиристора ввімкнене через діод 17 вихідне коло 18 датчика положення ротора, котре представляє собою керуючу обмотку трансформаторного датчика положення ротора. На схемі Фіг.2 показано ввімкнення керуючої обмотки для тиристора 1⁺. Вхідне коло 19 трансформаторного датчика положення ротора, котре представляє собою обмотку збудження, ввімкнене через електричний фільтр, що представляє собою електричний конденсатор 20, між нижнім кінцем струмопідводу 4 і корпусом 14 тиристорного комутатора.

На Фіг.3, 4 показані у збільшеному вигляді перерізи електробура по А-А і по В-В (див. Фіг.1), що представляють конструкцію датчика положення ротора двигуна електробура. В двигуні постійного струму з тиристорним комутатором застосовано датчик положення ротора трансформаторного типу за диференціальною схемою. Датчик положення ротора містить два статори із шихтованої електротехнічної сталі (статор 21 і статор 22). Всередині статора 21 розміщений ротор 23 датчика, нерухомо зв'язаний із валом 6 двигуна постійного струму з тиристорним комутатором. Ротор датчика також виконаний із шихтованої електротехнічної сталі. Кожна керуюча обмотка 18 датчика положення ротора утворюється (як це показано на Фіг.2) шляхом послідовно-зустрічного з'єднання котушок, що охоплюють однаково розміщені на обох статорах зубці. Таким чином, датчик положення ротора побудовано за диференціальною схемою. Числа з індексом "+" або "-" на Фіг.3, 4 позначають зубці, на яких розміщені керуючі обмотки, що подають відкриваючі сигнали на тиристори з відповідними номерами. Обмотка збудження 19 датчика положення ротора утворюється шляхом послідовно-погодженого з'єднання котушок (див. Фіг.2) із діаметральним кроком, розміщених у донній частині глибоких пазів. Конструкція датчика положення ротора на Фіг.3, 4 відповідає чотириполюсному двигуну постійного струму з тиристорним комутатором. Кутове положення статорів і ротора датчика положення ротора відносно статора і ротора електричного двигуна обирається таким, щоб відкриваючі сигнали від датчика поступали на тиристори, зв'язані із секціями якірної обмотки двигуна, активні сторони яких розміщені під збігаючими краями магнітних полюсів. На Фіг.2 відкриті тиристори показані затемненими. Основою для застосованої у винаході конструкції датчика положення ротора є винаходи: 1. АС СССР №298996 Н02К29/02, О.В. Кекот "Трансформаторный датчик положения ротора". 2. АС СССР №550733, Н02К29/02, О.В. Кекот, А.П. Пролыгин, Б.П. Гушо-Малков, Р.Н. Попович "Трансформаторный датчик положения ротора".

Струмопідвід 4 (див. Фіг.1) складається із секцій одножильного кабеля 24, закріплених у трубах 7 (частково всередині самого електробура), штепсельних роз'єднувачів 25, розміщених у зоні з'єднувальних замків труб, і двокільцевого струмоприймача 26 на верхньому кінці колони бурильних труб, що дає змогу прокручування бурильних труб у свердловині (згідно з існуючою технологією буріння) без переривання електричного кола. Одне з кілець струмоприймача з'єднане із кабелем 24, а друге - із колоною бурильних труб 7.

До кільцевого струмоприймача приєднане розміщене на поверхні Землі джерело електричної енергії 27 для живлення електробура. Джерело електричної енергії 27 живиться від трифазної мережі 6 кіловольт і забезпечує на виході регульовану напругу постійного струму (від нуля до величини приблизно 1000 вольт). Таке джерело енергії складається із відомих вузлів: силового трансформатора і регульованого випрямляча на тиристорах. Разом з тим до кільцевого струмоприймача через розділюючий електричний конденсатор 28 приєднане розміщене на поверхні Землі джерело напруги підвищеної частоти 29 для живлення обмотки збудження трансформаторного датчика положення ротора, приєднаної до нижнього кінця струмопідводу. Частота змінної напруги цього джерела дорівнює 10кГц. Джерело змінної напруги підвищеної частоти 29 живиться від мережі 220В і побудоване на основі одного з відомих електронних генераторів змінної напруги, наприклад, на основі мультівібратора на силових транзисторах. Джерело електричної енергії постійного струму 27 і джерело напруги підвищеної частоти 29 розділені між собою, крім конденсатора 28, електричним дроселем 30.

В електробурі за другим варіантом винаходу джерело напруги підвищеної частоти 29 для живлення обмотки збудження 19 трансформаторного датчика положення ротора 12 розміщене не на поверхні Землі, а знаходиться разом із двигуном у вибої (див. Фіг.5). Воно ввімкнене через схему підтримання постійності напруги 31 між нижнім кінцем струмопідводу 4 і корпусом 14 тиристорного комутатора. Застосована двопозиційна схема підтримання постійності напруги. На Фіг.4 приведений її найпростіший варіант. Схема складається із нагромаджувального електричного конденсатора 32, зарядного опору 33 і реле 34.

Електробур працює наступним чином. Нехай ротор двигуна електробура з магнітними полюсами обертається в напрямі, показаному на Фіг.2, 3 стрілкою. Активні сторони секцій якірної обмотки, з'єднаних з відкритими тиристорами, розміщені, як це видно із Фіг.2, під збігаючими краями полюсів. Як тільки

виявляться відкритими два сусідні тиристори одної групи (на Фіг.2 тиристори 1^+ і 2^+), утвориться короткозамкнений контур, електрорушійна сила обертання в якому має такий напрям, який сприяє зростанню електричного струму у нововідкритому тиристорі 2^+ і спаданню струму в раніше відкритому тиристорі 1^+ . При спаданні струму у раніше відкритому тиристорі 1^+ до нуля він самостійно закриється (відкриваючий сигнал від датчика положення ротора на цей момент зникає). Такий же процес одночасно відбувається із тиристорами 11^- і 12^- групи "-". Послідовність відкривання тиристорів додатково пояснюють діаграми відкривання тиристорів (Фіг.6, 7). Стрілки на діаграмах, які показують номер тиристора, що відкривається, необхідно уявляти собі зв'язаними із валом 6 двигуна електробура (в двополюсному його виконанні). Описаний процес фізично повторює все те, що відбувається у звичайному колекторному двигуні постійного струму при переміщенні щіток по колектору. Виняток складає лише певний інтервал частоти обертання навколо нульової частоти обертання, де комутація за рахунок е.р.с. обертання в усталеному режимі принципово неможлива. Однак, при прискореному русі ротора комутація здійснима і навколо нульової частоти обертання, в результаті чого пуск такого двигуна може успішно здійснюватись. Викладені положення обґрунтовані математично (див. Статтю "О. Кекот. Явнополюсна машина з тиристорним комутатором і замкнутою обмоткою якоря: перспективи застосування в потужному регульованому електроприводі. Електромеханіка. Теорія і практика, Праці науково-технічної конференції, присвяченої 100-річчю від дня народження Тихона Губенка. Львів, 1996), а також перевірені експериментально.

Обертовий момент від двигуна постійного струму з тиристорним комутатором передається через вал шпинделя долота, яке руйнує породу у вибої. Для створення умов руйнування породу частина ваги труб 7 передається через шпindel 2 на долото 1. Вибурена порода виноситься глинистим розчином по затрубному простору на поверхню Землі.

Безколекторний двигун постійного струму з тиристорним комутатором 3 живиться регульованою напругою постійного струму від джерела енергії постійного струму 27 через струмопідвід 4. В якості одного з провідників струмопідводу використовуються труби 7, на яких електробур опускають у свердловину. Таким чином, в струмопідводі використовується одножильний кабель 24 і одноконтактні штепсельні роз'єднувачі 25, а не триконтактні або двоконтактні, як у відомих електробурах. Всередині штепсельного роз'єднувача відсутні струмопровідні елементи, між якими може діяти електрична напруга, в результаті чого різко зростає надійність струмопідводу в порівнянні з відовими електробурами.

Змінюючи величину напруги постійного струму на виході джерела енергії 27, можна регулювати частоту обертання двигуна постійного струму з тиристорним комутатором (частота обертання пропорційна напрузі якоря, подібно до випадку звичайного колекторного двигуна з незалежним збудженням) і, таким чином, добиватись оптимальних умов роботи долота у вибої, забезпечуючи або максимальну механічну швидкість проходки (у випадку малих глибин буріння), або максимальну проходку на долото (у випадку великих глибин буріння). Зауважимо, що регулювання частоти обертання долота у вибої здійснюється найпростішим із можливих способів - застосуванням у джерелі енергії 27 широко відомого і широко розповсюдженого регульованого випрямляча на тиристорах.

Сигнал для відкривання тиристорів комутатора індукується у тих вихідних обмотках трансформаторного датчика положення ротора, які мають котушки, розміщені напроти башмаків ротора 23 датчика (див. Фіг.3, 4). Виконання трансформаторного датчика положення ротора за диференціальною схемою (утворення вихідних керуючих обмоток шляхом послідовно-зустрічного з'єднання котушок, однаково розміщених на різних статорах) дозволяє добитись високого відношення корисного сигналу до перешкоди і обійтись без будь-яких засобів додаткового формування сигналу і, таким чином, гранично спростити електричну схему.

Спеціального пояснення вимагають прийоми, застосовані у двох варіантах винаходу для живлення обмотки збудження датчика положення ротора. В першому варіанті винаходу обмотка збудження датчика положення ротора живиться змінним струмом підвищеної частоти (коло 10kHz) від джерела, розміщеного на поверхні Землі. Цей прийом ґрунтується на тому, що обмотка якоря двигуна постійного струму з тиристорним комутатором володіє певною індуктивністю, котра може бути використана для відділення якоря двигуна від змінної напруги підвищеної частоти, що живить обмотку збудження датчика положення ротора. Принцип живлення обмотки збудження датчика з поверхні Землі пояснює електрична схема на Фіг.8. Гілка схеми E-R-L-D представляє якорь двигуна постійного струму з тиристорним комутатором. Тут E - електрорушійна сила якоря, R, L - відповідно, активний опір і індуктивність якоря. Дюд D символізує односторонню провідність тиристорного комутатора. Паралельно до якоря двигуна ввімкнена через розділюючий електричний фільтр, що представлений конденсатором 20, обмотка збудження 19 датчика положення ротора. Z_c - опір струмопідводу. В струмі I_2 присутня лише змінна складова частотою 10kHz (шлях для постійної складової від джерела 27 закритий розділюючим конденсатором 20), в той час як у струмі I_1 присутня як постійна складова (струм живлення двигуна), так і змінна складова частотою 10kHz. Однак змінна складова в струмі I_1 обмежується індуктивністю якоря L, котра на частоті 10kHz створює значний індуктивний опір. Таким чином, має місце лише обмежене шунтування якорем двигуна кола обмотки збудження датчика положення ротора. Цей фактор забезпечує реальну працездатність датчика положення ротора. На поверхні Землі розділюючий конденсатор 28 відокремлює джерело напруги 10kHz від постійної напруги джерела енергії 27, а дросель 30 обмежує відгалуження змінного струму частотою 10kHz в джерело енергії 27.

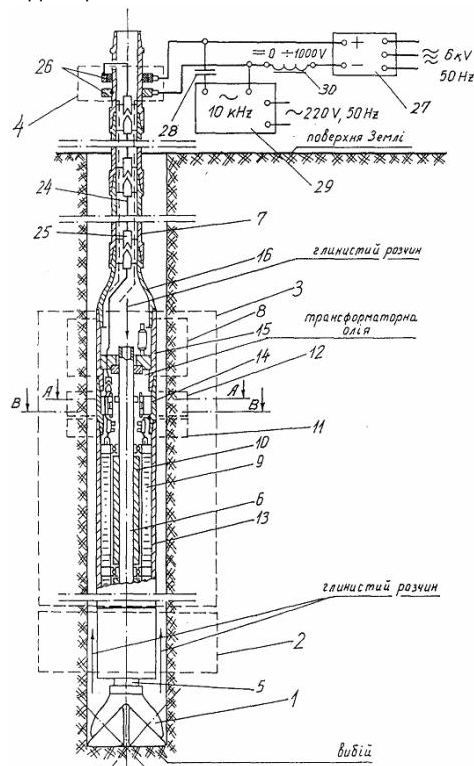
Електричний фільтр в колі обмотки збудження датчика положення ротора може містити, крім конденсатора 20, ще й інші реактивні елементи, що може бути обумовлено, наприклад, необхідністю обмежити вплив на роботу датчика положення ротора вищих гармонік в напрузі джерела живлення 27.

У другому варіанті винаходу джерело напруги підвищеної частоти 29 (див. Фіг.5) живиться за рахунок електричної енергії постійного струму, що передається на вибій для живлення двигуна. Величина напруги постійного струму може змінюватись в широких межах в залежності від режиму роботи двигуна (від кількох десятків Вольт до тисячі Вольт). Двопозиційна схема підтримання постійності напруги 31 живить джерело напруги підвищеної частоти 29 незмінною за величиною напругою постійного струму, що знімається з нагромаджуючого електролітичного конденсатора 32, що заряджається через опір 33 від напруги постійного струму, що діє в струмопідводі. Підтримання постійності напруги на конденсаторі здійснюється за рахунок

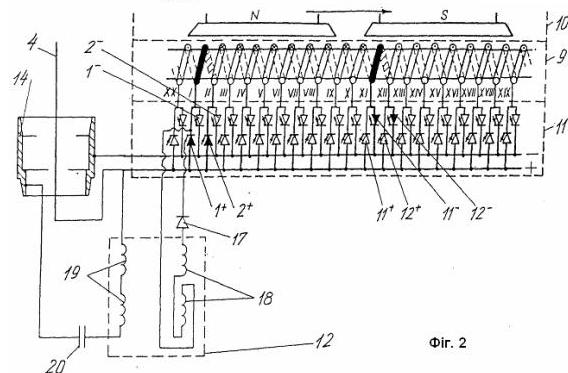
реле 34, обмотка якого ввімкнена паралельно конденсатору 32, а нормально закритий контакт ввімкнений у коло заряджання конденсатора. Ця двопозиційна схема підтримання постійності напруги може бути реалізована також на безконтактних схемних елементах.

Мета винаходу (створення працездатного електробура з високою надійністю струмопідводу і можливістю простого регулювання частоти обертання долота) досягається за рахунок сформульованих в заявці конструктивних і схемних ознак у їх тісному взаємозв'язку. Запропоновані у двох варіантах винаходу схеми живлення вхідного кола датчика положення ротора дають можливість забезпечити роботу у вибої безколекторного двигуна постійного струму із регульованою напругою живлення двигуна без створення окремої лінії для живлення датчика положення ротора. Причому, у першому варіанті винаходу джерело живлення вхідного кола датчика положення ротора винесено на поверхню Землі, що дає можливість гранично спростити електричну схему, яка знаходиться у вибої. З другого боку, тиристорний комутатор, тиристори якого відкриваються за сигналами від датчика положення ротора, а закриваються за рахунок е.р.с. обертання, не містить схемних засобів для закривання тиристорів, які присутні, наприклад, в автономних інверторах для управління асинхронними двигунами. (Зрозуміло, що розміщення будь-яких схемних засобів для закривання напівпровідникових приладів в умовах нафтової свердловини є проблематичним). Застосування багатосекційної якірної обмотки замкненого типу дозволяє максимально знизити теплове навантаження на окремі тиристори, що в умовах високих температур у надрах Землі є дуже важливим. Встановлення в електробурі трансформаторного датчика положення ротора за диференціальною схемою, всі вихідні кола якого змонтовані на спільному магнітопроводі, дає можливість обійтись в умовах використання комутації за рахунок е.р.с. обертання без додаткових схемних засобів формування вихідних сигналів і, таким чином, максимально спростити конструкцію двигуна постійного струму з тиристорним комутатором.

Незважаючи на те, що встановлений в електробурі датчик положення ротора трансформаторного типу є безумовно найбільш доцільним варіантом датчика, незалежні пункти формули (1-й і 2-й) сформульовані більш узагальнено і передбачають встановлення в електробурі будь-якого датчика положення ротора, наприклад, датчика на основі елементів Холла, магнітодіодів і т.п. Перший пункт формули встановлює лише одне обмеження: щоб вхідне коло датчика було придатне для живлення його змінною напругою підвищеної частоти.



Фиг. 1



Фиг. 2

