



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21)(22) Заявка: **2012120701/28, 19.10.2010**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.10.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
19.10.2009 US 12/581,237(45) Опубликовано: **20.12.2013** Бюл. № 35(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **SU 449332 A1, 05.11.1974. SU 1003002 A1, 07.03.1983. SU 1075212 A1, 23.02.1984. US 7250768 B2, 31.07.2007. US 7098664 B2, 29.08.2006. US 7256582 B2, 14.08.2007.**(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: **21.05.2012**(86) Заявка РСТ:
US 2010/053115 (19.10.2010)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2011/049899 (28.04.2011)

Адрес для переписки:

**129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры"**

(72) Автор(ы):

ВАН Цили (US)

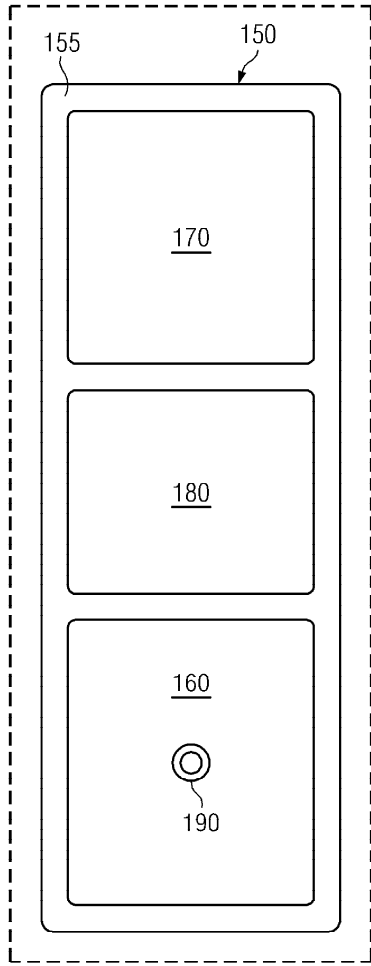
(73) Патентообладатель(и):

СМИТ ИНТЕРНЭШНЛ, ИНК. (US)**(54) ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ УДЕЛЬНОГО МИКРОСОПРОТИВЛЕНИЯ НА МНОГОЧИСЛЕННЫХ ГЛУБИНАХ ИССЛЕДОВАНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к каротажным измерениям удельного микросопротивления. Сущность: прибор (100) каротажа удельного микросопротивления включает в себя двухфункциональный электрод (180), размещенный между охранным электродом (160) и обратным электродом (170). Схема (210) возбуждения позволяет осуществлять независимое регулирование электрического потенциала

двухфункционального электрода (180) с тем, чтобы регулировать глубину исследования при измерении удельного микросопротивления. Глубина исследования имеет тенденцию к возрастанию при повышении электрического потенциала двухфункционального электрода (180). Технический результат: возможность выполнения измерений на многих глубинах без использования большого количества электродов. 2 н. и 15 з.п. ф-лы, 8 ил.



ФИГ.3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2012120701/28, 19.10.2010**

(24) Effective date for property rights:
19.10.2010

Priority:

(30) Convention priority:
19.10.2009 US 12/581,237

(45) Date of publication: **20.12.2013 Bull. 35**

(85) Commencement of national phase: **21.05.2012**

(86) PCT application:
US 2010/053115 (19.10.2010)

(87) PCT publication:
WO 2011/049899 (28.04.2011)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

VAN Tsili (US)

(73) Proprietor(s):

SMIT INTERNEhShNL, INK. (US)

(54) BUILDING OF IMAGES OF SPECIFIC MICRORESISTANCE AT MULTIPLE DEPTHS OF RESEARCH

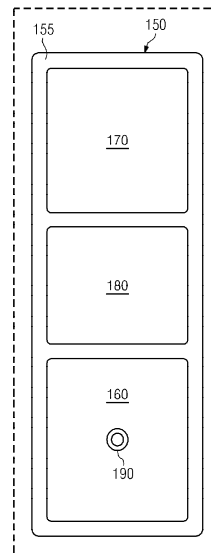
(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: device (100) for logging of specific microresistance includes a two-functional electrode (180), placed between a guarded electrode (160) and a reverse electrode (170). An excitation circuit (210) makes it possible to implement independent electric potential of the two-functional electrode (180) in order to regulate depth of research under measurement of specific microresistance. The depth of research has a trend to rising under higher electric potential of the two-functional electrode (180).

EFFECT: possibility to perform measurements at multiple depths without usage of high quantity of electrodes.

17 cl, 8 dwg



ФИГ. 3

RU 2 502 093 C1

RU 2 502 093 C1

РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

По этой заявке испрашивается приоритет по дате подачи заявки №12/581237 на патент США, поданной 19 октября 2009 года.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

В общем, настоящее изобретение относится к каротажным измерениям удельного микросопротивления. Более конкретно, осуществления изобретения относятся к прибору каротажа во время бурения, выполненному с возможностью осуществления измерений удельного микросопротивления на многочисленных глубинах исследования.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Из предшествующего уровня техники хорошо известно использование электрических измерений в скважинных применениях, таких как каротаж во время бурения и каротаж прибором, спускаемым на кабеле. Такие технологии можно применять, например, для определения удельного сопротивления подземного пласта, которое наряду с результатами измерений пористости пласта можно использовать для выявления присутствия углеводородов в пласте. В данной области техники известно, что пористые пласты, имеющие высокое электрическое удельное сопротивление, часто содержат углеводороды, такие как сырая нефть, тогда как пористые пласты, имеющие низкое электрическое удельное сопротивление, часто насыщены водой. Следует понимать, что в данной области техники термины «удельное сопротивление» и «удельная проводимость» часто используют как взаимозаменяемые. Специалисты в данной области техники должны легко признавать, что эти величины являются взаимно обратными и что одну можно преобразовывать в другую путем простых математических вычислений. Упоминание в этой заявке одной или другой делается ради удобства пользования описанием и не несет ограничивающего смысла.

Измерения удельного микросопротивления подземного пласта обычно выполняют, фокусируя электрический ток в пласт. Датчики удельного микросопротивления обычно включают в себя, по меньшей мере, три электрода: охранный электрод, обратный электрод и измерительный электрод, который может быть размещен в охранным электроде и электрически изолирован от него. При использовании напряжение переменного тока обычно прикладывают между охранным электродом и обратным электродом, что приводит к протеканию переменного тока сквозь пласт между охранным и обратным электродами. При этом на измерительном электроде обычно поддерживают такой же потенциал, как на охранным электроде. Переменный ток через измерительный электрод контролируют, и он обладает свойством показывать удельное сопротивление пласта напротив электрода. Как известно специалистам в данной области техники, удельное сопротивление R_a пласта можно выразить математически, например, в следующем виде:

$$R_a = k \frac{\Delta V}{I}, \quad (\text{уравнение 1}),$$

где k является геометрическим коэффициентом, ΔV представляет разность потенциалов между измерительным электродом и опорной точкой и I представляет ток через измерительный электрод. В данной области техники удельное сопротивление R_a пласта иногда называют кажущимся удельным сопротивлением, отражающим то, что вычисляемая величина, по меньшей мере, частично связана с истинным удельным сопротивлением пласта.

При бурении с забойным двигателем часто желательно выполнять измерения удельного микросопротивления на многочисленных глубинах (на, по меньшей мере, двух глубинах) исследования в пласте. Имеется ряд преимуществ выполнения

измерений на многочисленных глубинах исследования. Например, при измерениях на многочисленных глубинах можно выявлять факторы окружающей среды, такие как наличие зоны проникновения, подлежащей идентификации. При измерениях на многочисленных глубинах исследования также можно повышать точность (или снижать неопределенности) вычислений угла падения пласта. Кроме того, при измерениях на многочисленных глубинах обеспечивается избыточность данных и поэтому может повышаться точность данных и улучшаться контроль качества данных.

В предшествующем уровне техники раскрыты различные конфигурации приборов для выполнения измерений удельного микросопротивления. Например, в патенте США №4594552 (Grimaldi et al.) раскрыт спускаемый на кабеле прибор, в котором три разнесенных в продольном направлении измерительных электрода размещены в охранным электроде. Показано, что глубина исследования на каждом измерительном электроде является функцией продольного расстояния между этим электродом и обратным электродом.

В патентах США №№5235285 и 5339037 (Bonner et al.) раскрыт прибор каротажа во время бурения, включающий в себя антенну с обмоткой на тороидальном сердечнике, размещенную вокруг корпуса прибора, и множество разнесенных в продольном направлении токовых измерительных электродов, размещенных в корпусе прибора. Показано, что как и в приборе Grimaldi, глубина исследования на каждом измерительном электроде является функцией продольного расстояния между электродом и источником.

В патенте США №7046010 (Hu et al.) предложена конфигурация электродов, установленных на прижимном башмаке, в которой использованы пять концентрических электродов и центральный, чувствительный к току, электрод. Концентрические электроды могут использоваться для фокусировки тока или возврата тока, при этом внешняя граница самого удаленного от центра электрода задает область фокусировки тока. Показано, что при увеличении области фокусировки тока возрастает глубина исследования.

Одна общая особенность упомянутых выше приборов заключается в том, что для них требуется большое количество электродов, чтобы выполнять измерения удельных микросопротивлений на многочисленных глубинах исследования. В предшествующем уровне техники количество достигаемых глубин исследования в общем случае приблизительно пропорционально количеству используемых электродов. Один недостаток использования дополнительных электродов (для получения дополнительных глубин исследования) заключается в том, что они приводят к повышению сложности датчика, которое, в свою очередь, приводит к повышению стоимости и снижению надежности приборов каротажа удельного микросопротивления с использованием таких датчиков. Поэтому имеется потребность в датчиках удельного микросопротивления, которые позволяют выполнять измерения на многочисленных глубинах исследования без необходимости использования большого количества электродов.

Поэтому желательно создать усовершенствованный датчик удельного микросопротивления и способ каротажа удельного микросопротивления, которые направлены на разрешение описанных выше проблем и/или которые в более общем смысле являются усовершенствованиями или альтернативой существующим устройствам.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Аспекты настоящего изобретения рассчитаны на удовлетворение описанной выше потребности в усовершенствованных датчиках каротажа удельного микросопротивления. В одном примере осуществления изобретение включает в себя каротажный прибор, имеющий двухфункциональный электрод, расположенный между охранным электродом и обратным электродом. Схема возбуждения позволяет независимо регулировать электрический потенциал двухфункционального электрода с тем, чтобы регулировать глубину исследования датчика. При низких потенциалах двухфункциональный электрод проявляет тенденцию к функционированию в качестве обратного электрода, в результате чего датчик имеет относительно небольшую глубину исследования. При высоких потенциалах двухфункциональный электрод проявляет тенденцию к функционированию в качестве охранного электрода, в результате чего датчик имеет более значительную глубину исследования. При промежуточных потенциалах двухфункциональный электрод проявляет тенденцию к функционированию в качестве охранного и обратного электродов, в результате чего датчик имеет промежуточную глубину исследования.

Примеры осуществлений настоящего изобретения могут выгодно обеспечивать несколько технических преимуществ. Например, изобретение дает возможность выбирать (или корректировать) во время бурения глубину исследования при каротаже удельного микросопротивления из заранее выбранного диапазона глубин. В результате факторы окружающей среды (например, проникновение) могут быть учтены по существу в реальном времени в продолжение бурения благодаря изменению выбираемой глубины или глубин исследования.

Изобретение также позволяет выполнять измерения одновременно на многочисленных глубинах исследования при использовании единственного измерительного электрода. В результате изобретением может упрощаться конфигурация электродов (и соответствующая конфигурация электроники) датчиков удельного микросопротивления. При таком упрощении может повышаться надежность скважинного прибора.

Использование двухфункционального электрода также позволяет иметь многочисленные глубины исследования без необходимости использования дополнительных измерительных электродов. Примеры осуществлений настоящего изобретения позволяют выгодно получать многочисленные глубины исследования при использовании единственного измерительного электрода. Поэтому в изобретении могут по существу исключаться погрешности измерений, обусловленные вариациями от электрода к электроду (например, вариациями поверхностного импеданса от электрода к электроду).

В одном аспекте настоящее изобретение включает в себя прибор каротажа удельного микросопротивления во время бурения. Прибор включает в себя охранный, измерительный, обратный и двухфункциональный электроды, размещенные на корпусе прибора каротажа во время бурения. Охранный электрод выполнен с возможностью инъекции электрического тока в пласт. Измерительный электрод размещен в охранном электроде и электрически изолирован от него. Обратный электрод отнесен на расстояние от охранного электрода и обеспечивает путь возврата для электрического тока. Двухфункциональный электрод расположен между охранным электродом и обратным электродом. Контроллер выполнен с возможностью независимого регулирования электрического потенциала двухфункционального электрода.

В другом аспекте настоящее изобретение включает в себя прибор каротажа

удельного микросопротивления во время бурения. Прибор включает в себя датчик удельного микросопротивления, размещенный в корпусе прибора каротажа во время бурения. Датчик включает в себя охранный электрод, выполненный с возможностью инъекции электрического тока в пласт, и измерительный электрод, размещенный в охранным электроде и электрически изолированный от него. Датчик также включает в себя обратный электрод, отнесенный на расстояние от охранным электрода, и двухфункциональный электрод, расположенный между охранным электродом и обратным электродом. Контроллер выполнен с возможностью (i) инъекции электрического тока в пласт на охранным электроде одновременно на первой и второй частотах, (ii) установки электрического потенциала двухфункционального электрода в соответствии с первым низким потенциалом на первой частоте и в соответствии со вторым высоким потенциалом на второй частоте и (iii) измерения электрических токов через измерительный электрод на первой и второй частотах.

Выше были довольно широко изложены признаки и технические преимущества настоящего изобретения, чтобы можно было лучше понять подробное описание изобретения, которое следует ниже. В дальнейшем будут описаны дополнительные признаки и преимущества изобретения, которые образуют предмет формулы изобретения. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что концепцию и раскрываемые конкретные осуществления можно легко использовать как основу для модификации или проектирования других структур для решения тех же задач настоящего изобретения. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что такие эквивалентные конструкции не отклоняются от сущности и объема изобретения, изложенных в прилагаемой формуле изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Для более полного понимания настоящего изобретения и преимуществ его теперь будет сделано обращение к нижеследующему описанию в сочетании с сопровождающими чертежами, на которых:

Фиг. 1 - вид обычной буровой установки, на которой могут быть использованы примеры осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 2 - вид примера осуществления прибора каротажа удельного микросопротивления согласно настоящему изобретению;

Фиг. 3 - вид примера датчика удельного микросопротивления согласно настоящему изобретению;

Фиг. 4 - продольное поперечное сечение датчика, изображенного на фиг. 3;

Фиг. 5 - график зависимости глубины исследования от потенциала электрода для примера осуществления датчика, изображенного на фиг. 4;

Фиг. 6А, 6В и 6С (совместно фиг. 6) - схематичные диаграммы прохождения электрических токов для примера осуществления датчика, изображенного на фиг. 4;

Фиг. 7 - блок-схема последовательности действий одного примера осуществления способа согласно настоящему изобретению; и

Фиг. 8 - продольное поперечное сечение варианта осуществления датчика согласно настоящему изобретению.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

Теперь обратимся к фиг. с 1 по 8, на которых изображены примеры осуществлений настоящего изобретения. Что касается фиг. с 1 по 8, то должно быть понятно, что поясняемые признаки или аспекты осуществлений могут быть показаны на различных видах. Когда такие общие признаки или аспекты встречаются на конкретных видах, они обозначаются одинаковыми позициями. Поэтому признак или аспект,

обозначенный конкретной позицией на одном из видов на фиг. с 1 по 8, может описываться в этой заявке со ссылкой на позицию, показанную на другом виде.

На фиг. 1 изображен один пример осуществления прибора 100 каротажа удельного микросопротивления во время бурения при использовании в морской нефтегазовой буровой компоновке, в целом обозначенной позицией 10. На фиг. 1 полупогружная буровая платформа 12 расположена над нефтяным или газовым пластом (не показанным), расположенным ниже морского дна 16. Подводный трубопровод 18 продолжается от палубы 20 платформы 12 до оборудования 22 устья скважины. Платформа может включать в себя буровую вышку и подъемный механизм для подъема и спуска бурильной колонны 30, которая, как показано, продолжается в буровую скважину 40 и включает в себя буровое долото 32 и прибор 100 каротажа во время бурения. Осуществления прибора 100 каротажа во время бурения включают в себя, по меньшей мере, один датчик 150 удельного микросопротивления. Бурильная колонна 30 может также включать в себя, например, забойный буровой двигатель, телеметрическую систему с гидроимпульсным каналом связи, отклоняющий инструмент и/или один или несколько различных датчиков в приборах измерения во время бурения и каротажа во время бурения, предназначенных для измерения скважинных характеристик буровой скважины и окружающего пласта.

Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что размещение, представленное на фиг. 1, является только примером, предназначенным для описания изобретения, излагаемого в этой заявке. Также должно быть понятно, что использование каротажных приборов согласно настоящему изобретению не ограничено полупогружной платформой 12, показанной на фиг. 1. Измерительный прибор 12 равным образом хорошо подходит для использования при подземных буровых работах любого вида в море или на суше. Хотя на фиг. 1 измерительный прибор 100 показан связанным с бурильной колонной 30, также должно быть понятно, что изобретение не ограничено осуществлениями приборов каротажа во время бурения, а может также использоваться в спускаемых на кабеле приборах каротажа удельного микросопротивления.

На фиг. 2 изображена часть примера осуществления прибора 100 каротажа во время бурения. Как описывалось выше применительно к фиг. 1, прибор 100 каротажа во время бурения включает в себя датчик 150 удельного микросопротивления, размещенный на корпусе 110 прибора каротажа во время бурения. Хотя это и не показано на фиг. 2, но должно быть понятно, что датчик 150 можно размещать, например, в лопасти стабилизатора, роторной управляемой лопасти или втулке увеличенного диаметра с тем, чтобы уменьшать величину отклонения датчика 150 от стенки ствола скважины. В показанном примере осуществления длинная ось датчика удельного микросопротивления по существу параллельна продольной оси 105 прибора 100. Хотя эта конфигурация обычно является предпочтительной для достижения оптимального азимутального охвата, изобретение не ограничено определенно в этом отношении.

По желанию прибор 100 каротажа во время бурения может также включать в себя датчик 140 азимута, выполненный с возможностью измерения при бурении азимутального угла (угла передней поверхности прибора) датчика 150 удельного микросопротивления в по существу реальном времени. Подходящие датчики азимута обычно включают в себя один или несколько акселерометров, магнитометров и/или гироскопов, и они хорошо известны в данной области техники. Должно быть понятно, что изобретение не ограничено какой-либо конкретной конфигурацией датчика

азимута или даже использованием датчика азимута.

На фиг. 3 изображен один пример осуществления гальванического датчика 150 удельного микросопротивления согласно настоящему изобретению. Датчик 150 включает в себя измерительный электрод 190, размещенный в охранном электроде 160 и электрически изолированный от него. Отнесенный на расстояние обратный электрод 170 обеспечивает путь возврата для электрического тока, инжектируемого измерительным и охранным электродами. Датчик 150 также включает в себя двухфункциональный электрод 180, расположенный между охранным 160 и обратным 170 электродами. Двухфункциональный электрод 180 (описанный более подробно ниже) называется так потому, что он может функционировать как охранный электрод и/или обратный электрод. Электроды 160, 170 и 180 электрически изолированы друг от друга электроизоляционным материалом 155.

Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что изобретение не ограничено конкретной конфигурацией датчика, изображенной на фиг. 3. В вариантах осуществления электроды могут быть размещены концентрически относительно друг друга, при этом, например, измерительный электрод может быть размещен наиболее близко к центру, охранный электрод размещен вокруг измерительного электрода, двухфункциональный электрод размещен вокруг охранного электрода и обратный электрод размещен вокруг двухфункционального электрода. В других вариантах осуществления охранный электрод может продолжаться по окружности вокруг всего корпуса прибора. В дальнейших вариантах осуществления электроды могут быть разнесены по окружности или наискосок на корпусе прибора в противоположность разнесенным в продольном направлении, изображенным на фиг. 3. Изобретение не ограничено в том, что касается разнесения, формы и/или размера электродов.

На фиг. 4 изображено продольное поперечное сечение осуществления датчика 150, изображенного на фиг. 3. Как изображено, датчик 150 также включает в себя локальный контроллер 200, включающий в себя схему 210 возбуждения, которая выполнена с возможностью регулирования электрического потенциала двухфункционального электрода 180 относительно охранного 160 и обратного 170 электродов. В изображенном примере осуществления контроллер 200 включает в себя регулируемый источник 220 переменного тока, выполненный с возможностью регулирования тока I_2 через двухфункциональный электрод 180 с тем, чтобы осуществлять выбор напряжения V_2 на нем. В одном предпочтительном осуществлении схема 210 возбуждения может быть выполнена с возможностью установки электрического потенциала (напряжения) двухфункционального электрода 180 в соответствии с по существу любым потенциалом между электрическими потенциалами (напряжениями) охранного 160 и обратного 170 электродов, таким, чтобы соблюдалось $V_1 \leq V_2 \leq V_3$. Хотя электрические потенциалы в диапазоне от V_1 до V_3 обычно являются предпочтительными, схема возбуждения также может быть выполнена с возможностью установки потенциала для двухфункционального электрода в соответствии со значениями вне этого диапазона. Схема 210 возбуждения может быть выполнена с возможностью установки V_2 в соответствии с дискретными, заранее выбранными значениями или с возможностью динамического регулирования потенциала двухфункционального электрода 180. Изобретение не ограничено в этом отношении.

Должно быть понятно, что контроллер 200 также обычно выполнен с возможностью регулирования тока и/или напряжения охранного 160 и измерительного 190 электродов. Чтобы получать оптимальную фокусировку,

напряжения на охранном и измерительном электродах обычно поддерживают равными друг другу (то есть, $V_0=V_1$). Способы достижения такой регулировки напряжения в продолжение операций каротажа удельного микросопротивления во время бурения известны в данной области техники и поэтому в дальнейшем не будут рассматриваться в этой заявке. Кроме того, контроллер 200 обычно выполнен с возможностью измерения электрического тока I_0 через измерительный электрод. Контроллер 200 также может быть выполнен с возможностью вычисления кажущегося удельного микросопротивления, например, с помощью уравнения 1 и осуществления корреляции вычисляемого удельного микросопротивления (или измеряемого тока) с соответствующим азимутальным углом для упрощения процесса построения изображения удельного микросопротивления. Такие методики хорошо известны в данной области техники.

При продолжении обращения к фиг. 4 и к тому же теперь при обращении к фиг. 5 станет понятно, что датчики согласно настоящему изобретению позволяют выполнять измерения удельного микросопротивления в диапазоне глубин исследования. Это можно делать выбором значения напряжения V_2 (например, относительно напряжения V_1 и V_2). На фиг. 5 изображен график глубины исследования в зависимости от напряжения V_2 двухфункционального электрода 180. Как показано, глубина исследования является минимальной, когда напряжение V_2 двухфункционального электрода равно напряжению V_3 обратного электрода 170. Глубина исследования имеет тенденцию монотонно возрастать с повышением напряжения, достигая максимума, когда напряжение V_2 двухфункционального электрода 180 становится примерно равным напряжению V_1 охранного электрода 160.

Теперь обратимся к фиг. 6А, 6В и 6С, с помощью которых функциональные возможности датчика 150 удельного микросопротивления будут описаны более подробно. Зависимость между глубиной исследования и напряжением V_2 двухфункционального электрода 180 описывается с помощью гипотетических трубок 310, 320 и 330 тока между измерительным электродом 190 и электродами 170 и/или 180. Это рассмотрение предназначено только для пояснения упомянутой выше зависимости между глубиной исследования и напряжением, прикладываемым к двухфункциональному электроду 180, и не означает ограничения изобретения каким-либо способом. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что ток I_0 через измерительный электрод 190 связан с электрическим импедансом трубки тока, которая продолжается от измерительного электрода 190 сквозь пласт к электродам 170 и/или 180. Каждая часть пласта (и бурового раствора) на всем протяжении длины трубки вносит вклад в импеданс трубки, при этом участок трубки, имеющий меньшую площадь поперечного сечения, вносит значительно больший вклад в импеданс, чем участок, имеющий большую площадь поперечного сечения.

На фиг. 6А изображена конфигурация, в которой напряжение двухфункционального электрода 180 приблизительно равно напряжению обратного электрода 170 ($V_2=V_3$). Когда потенциалы электродов 170 и 180 поддерживаются одинаковыми, датчик 150 можно рассматривать как по существу сокращенный до обычного трехэлектродного устройства, в котором оба электрода 170 и 180 (находящиеся под одинаковым потенциалом) функционируют как обратные. Этим повышается площадь «обратного электрода» (относительно охранного), следствием чего, в свою очередь, является намного большая площадь поперечного сечения трубки 310 тока вблизи обратного электрода по сравнению с местом вблизи измерительного электрода 190. Поэтому для импеданса трубки тока 310 характерно

преобладание вблизи измерительного электрода. Кроме того, измерительный электрод 190 расположен близко к обратному (дуальному электроду 180), вследствие чего имеется тенденция снижения глубины проникновения трубки 310 тока в пласт.

5 На фиг. 6В изображена конфигурация, в которой напряжение двухфункционального электрода 180 приблизительно равно напряжению охранного электрода 160 ($V_2 = V_1$). Когда потенциалы электродов 160 и 170 поддерживаются одинаковыми, датчик 150 также можно рассматривать как по существу сокращенный до обычного трехэлектродного устройства, однако в котором оба электрода 160 и 170
10 (находящиеся под одинаковым потенциалом) функционируют как охранные. Этим повышается площадь «охранного электрода» (относительно обратного), следствием чего, в свою очередь, является более равномерная площадь поперечного сечения трубки 320 тока на всем протяжении ее длины. Кроме того, теперь измерительный электрод 190 расположен дальше от возвратного (возвратного электрода 170), при
15 этом возрастает глубина проникновения трубки 320 тока в пласт.

На фиг. 6С изображена конфигурация, в которой напряжение двухфункционального электрода 180 поддерживается на уровне промежуточного напряжения между напряжениями охранного 160 и обратного 170 электродов
20 (например, на уровне $V_2 = (V_1 + V_3)/2$). Когда потенциал двухфункционального электрода 180 находится между потенциалами охранного и обратного электродов, двухфункциональный электрод одновременно выполняет функции инжектора тока (охранного электрода) и обратного токового электрода. Следствием этого является промежуточная глубина исследования, которая имеет тенденцию к монотонному
25 изменению в зависимости от потенциала двухфункционального электрода 180, например, как изображено на фиг. 5.

Измерения на многочисленных глубинах исследования можно выполнять одновременно при использовании примера осуществления изобретения,
30 изображенного на фиг. 4. Например, что касается фиг. 4 и 7, то на этапе 402 переменный ток можно инжектировать в подземный пласт охранным электродом одновременно на первой $F1$ и второй $F2$ частотах. Предпочтительно, чтобы при буровых работах с использованием проводящего бурового раствора частоты $F1$ и $F2$ были в диапазоне, например, от около 0,1 до около 10 кГц. Между тем, на этапах 404
35 и 406 напряжение V_2 двухфункционального электрода 180 можно устанавливать равным первому низкому потенциалу на первой частоте (например, таким, что $V_2 = V_3$) и равным второму высокому потенциалу на второй частоте (например, таким, что $V_2 = V_1$). Затем на этапе 408 можно измерять инжекционный ток I_0 на каждой из первой и
40 второй частот (предпочтительно одновременно). Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что обычно имеется небольшое или отсутствует взаимодействие между этими инжекционными токами, поскольку они имеют разные частоты. Эти инжекционные токи можно использовать для вычисления первого и второго значений удельного сопротивления, соответствующих первой и второй
45 глубинам исследования (например, с использованием уравнения 1). Должно быть понятно (в свете фиг. 5 и 6), что в этом примере для измерения, выполняемого на первой частоте, имеется меньшая глубина исследования, чем для соответствующего измерения, выполняемого на второй частоте. Также должно быть понятно, что
50 изобретение не ограничено выполнением измерений на только одной или двух разных частотах. По существу можно использовать любое количество подходящих частот (например, 3, 4 или большее количество), при этом становится возможным выполнение одновременных измерений удельного сопротивления на множестве

глубин исследования.

Как описывалось выше, примерами осуществления согласно настоящему изобретению выгодно обеспечиваются выполнение измерений удельного микросопротивления на многочисленных глубинах исследования с использованием всего лишь единственного измерительного электрода (например, электрода 190 на фиг. 4-6). Однако должно быть понятно, что изобретение не ограничено осуществлениями датчика, имеющими единственный измерительный электрод. Осуществления датчика согласно настоящему изобретению могут включать в себя по существу любое подходящее количество измерительных электродов, размещаемых в охранном 160 и/или обратном 170 электродах. Изобретение не ограничено никаким конкретным местом размещения измерительного электрода или отнесением на расстояние охранного и/или обратного электродов.

На фиг. 8 изображено продольное поперечное сечение варианта конфигурации датчика 150', включающего в себя, по меньшей мере, первый и второй измерительные электроды 190 и 195. Измерительный электрод 190 размещен в охранном электроде 160 и электрически изолирован от него, как описывалось выше применительно к фиг. 3 и 4. Измерительный электрод 195 размещен в обратном электроде 170' и электрически изолирован от него, предпочтительно вблизи края электрода, обращенного к двухфункциональному электроду 180. В изображенном примере осуществления измерительный электрод 190 расположен так, что делается возможным считывание измерений удельного микросопротивления с большей глубины по сравнению с измерительным электродом 195. Датчик 150' обычно также включает в себя контроллер 200', включающий в себя схему 210 возбуждения, которая выполнена с возможностью регулирования электрического потенциала двухфункционального электрода 180, как описывалось выше применительно к фиг. 4. Контроллер обычно также выполнен с возможностью установки напряжения V_0' измерительного электрода 195 равным напряжению обратного электрода 170 (то есть, $V_0' = V_3$) и измерения тока I_0' через измерительный электрод 195.

Снова обратимся к фиг. со 2 по 4, где измерительный прибор 100 обычно включает в себя дополнительный контроллер или контроллер 200 с дополнительными функциональными возможностями. Подходящий контроллер обычно включает в себя программируемый процессор (непоказанный), такой как микропроцессор или микроконтроллер, и может также включать в себя считываемый процессором или считываемый компьютером программный код, реализующий логику, включающий в себя команды на управление работой прибора. Подходящий контроллер можно использовать, например, для выполнения измерений удельного микросопротивления во время бурения. Как таковой контроллер также можно выполнять с возможностью (i) инъекции переменного электрического тока в пласт на охранном электроде, (ii) измерения электрического тока через измерительный электрод и (iii) вычисления количественного параметра, по меньшей мере, частично связанного с удельным сопротивлением пласта, с использованием измеряемого электрического тока. Подходящий контроллер также можно использовать для выполнения способа 400 (фигура 7) и поэтому дополнительно выполнять с возможностью (i) инъекции электрического тока в пласт на многочисленных разных частотах, (ii) установки потенциала охранного электрода в соответствии с отдельными значениями на разных частотах, соответственно, и (iii) измерения электрических токов через измерительные электроды на разных частотах.

Подходящий контроллер 200 также можно выполнять с возможностью построения

изображений удельного микросопротивления подземного пласта во время бурения. При таких применениях для построения изображений измерения удельного микросопротивления можно регистрировать и осуществлять корреляцию их с соответствующими измерениями азимута (получаемыми, например, от направленных датчиков 140, размещенных в приборе 100) в то время, когда прибор вращается в буровой скважине. Поэтому контроллер сам по себе может включать в себя команды на осуществление корреляции во времени измерений датчика каротажа во время бурения с измерениями азимута датчика (передней поверхности прибора). Кроме того, может осуществляться корреляция измерений датчика каротажа во время бурения с измерениями глубины. Построение скважинных изображений можно осуществлять с использованием по существу всех известных методик, в том числе, например, алгоритмов обычного бинирования, обработки методом окна или распределения вероятностей. В патенте США №5473158 раскрыт алгоритм обычного бинирования, предназначенный для построения скважинного изображения. В обычном образом переуступленном патенте США №7027926 (Haugland) раскрыт способ построения скважинного изображения, в котором данные датчика свертывают с одномерной вырезающей функцией. В обычном образом переуступленном патенте США №7558675 (Sugiura) раскрыт способ построения изображения, в котором данные датчика вероятностно распределяют по одному или двум измерениям.

По желанию подходящий контроллер может также включать в себя другие управляемые компоненты, такие как другие датчики, устройства хранения данных, источники питания, таймеры и т.п. Как описывалось выше, контроллер расположен в электронной связи с различными датчиками, размещенными в буровой системе. По желанию контроллер также может быть расположен в связи с другими инструментами в бурильной колонне, такими как телеметрические системы, которые также находятся в связи с поверхностью или отклоняющим инструментом. Такая связь может значительно улучшать управление по направлению во время бурения. По желанию контроллер также может включать в себя энергозависимое или энергонезависимое запоминающее устройство или устройство хранения данных для сохранения в скважине значений измеряемых токов, удельного микросопротивления и/или изображений, получаемых при каротаже во время бурения. Изобретение не ограничено в этом отношении.

Хотя настоящее изобретение и его преимущества были описаны подробно, следует понимать, что различные изменения, замены и варианты могут быть сделаны без отступления от сущности и объема изобретения, определяемых прилагаемой формулой изобретения.

Формула изобретения

1. Прибор (100) каротажа удельного микросопротивления во время бурения, содержащий:

- корпус (110) прибора каротажа во время бурения;
- охранный электрод (160), выполненный с возможностью инъекции электрического тока в пласт;
- измерительный электрод (190), размещенный в охранном электроде (160) и электрически изолированный от него;
- обратный электрод (170), отнесенный на расстояние от охранного электрода (160), при этом обратный электрод (170) обеспечивает путь возврата для электрического тока;

двухфункциональный электрод (180), расположенный между охранным электродом (160) и обратным электродом (170); и

контроллер (200), выполненный с возможностью независимого регулирования электрического потенциала двухфункционального электрода (180).

2. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.1, в котором охранный электрод (160), обратный электрод (170), измерительный электрод (190) и двухфункциональный электрод (180) представляют собой датчик (150) удельного микросопротивления, который размещен на корпусе (110) прибора.

3. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.2, в котором длинная ось датчика (150) является по существу параллельной продольной оси (105) корпуса (110) прибора, так что охранный электрод (160) и обратный электрод (170) отнесены на расстояние друг от друга в продольном направлении и двухфункциональный электрод (180) размещен в продольном направлении между охранным электродом (160) и обратным электродом (170).

4. Прибор (100) каротажа во время бурения по пункту 2, в котором охранный электрод (160) и обратный электрод (170) отнесены на расстояние друг от друга в продольном направлении и двухфункциональный электрод (180) размещен в продольном направлении между охранным электродом (160) и обратным электродом (170).

5. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.1, в котором контроллер (200) дополнительно выполнен с возможностью измерения электрического тока через измерительный электрод (190) и установления связи указанного электрического тока через измерительный электрод (190) с удельным сопротивлением пласта.

6. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.1, в котором контроллер (200) содержит регулируемый источник (220) переменного тока, выполненный с возможностью регулирования электрического тока через двухфункциональный электрод (180), при этом указанное регулирование электрического тока через двухфункциональный электрод (180) является действенным для регулирования электрического потенциала двухфункционального электрода (180).

7. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.1, в котором контроллер (200) дополнительно выполнен с возможностью установки электрического потенциала двухпотенциального электрода (180) в соответствии с по существу любым потенциалом, более низким, чем электрический потенциал охранный электрода (160), или равным ему и более высоким, чем электрический потенциал обратного электрода (170), или равным ему.

8. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.1, в котором контроллер дополнительно выполнен с возможностью установки электрического потенциала двухфункционального электрода (180) в соответствии с одним из по меньшей мере трех дискретных заранее выбранных электрических потенциалов, более низким, чем электрический потенциал охранный электрода (160), или равным ему и более высоким, чем электрический потенциал обратного электрода (170), или равным ему.

9. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.1, в котором контроллер (200) дополнительно выполнен с возможностью:

(i) инъекции электрического тока в пласт на охранный электрод (160) одновременно на первой и второй частотах;

(ii) установки электрического потенциала двухфункционального электрода (180) в соответствии с первым низким потенциалом на первой частоте и в соответствии со вторым высоким потенциалом на второй частоте; и

(iii) измерения электрических токов через измерительный электрод (190) на первой и второй частотах.

10. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.9, в котором каждый из первого и второго потенциалов ниже, чем электрический потенциал охранного электрода (160), или равен ему и выше, чем электрический потенциал обратного электрода (170), или равен ему.

11. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.9, в котором первый потенциал является по существу равным электрическому потенциалу обратного электрода (170) и второй потенциал является по существу равным электрическому потенциалу охранного электрода (160).

12. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.9, дополнительно содержащий второй измерительный электрод (195), размещенный в обратном электроде (170) и электрически изолированный от него.

13. Прибор (100) каротажа во время бурения по п.9, дополнительно содержащий датчик (140) азимута, выполненный с возможностью измерения азимутального угла измерительного электрода (190).

14. Способ каротажа удельного микросопротивления на многочисленных глубинах исследования, при этом способ содержит этапы, на которых:

(a) размещают прибор (100) каротажа удельного микросопротивления в буровой скважине (40), при этом прибор (100) каротажа включает в себя (i) охранный электрод (160), (ii) измерительный электрод (190), размещенный в охранном электроде (160) и электрически изолированный от него, (iii) обратный электрод (170), отнесенный на расстояние от охранного электрода (160), и (iv) двухфункциональный электрод (180), расположенный между охранным электродом (160) и обратным электродом (170);

(b) создают инжекцию электрического тока в подземный пласт на охранном электроде (160) одновременно на первой и второй частотах;

(c) устанавливают электрический потенциал двухфункционального электрода (180) в соответствии с первым низким потенциалом на первой частоте и в соответствии со вторым высоким потенциалом на второй частоте;

(d) создают электрические токи, подлежащие измерению, через измерительный электрод (190) на каждой из первой и второй частотах; и

(e) вычисляют первую и вторую величины, по меньшей мере, частично связанные с удельным сопротивлением пласта, на основании электрических токов, измеряемых на этапе (d) на первой и второй частотах.

15. Способ по п.14, в котором каждый из первого и второго потенциалов ниже, чем электрический потенциал охранного электрода (160), или равен ему и выше, чем электрический потенциал обратного электрода (170), или равен ему.

16. Способ по п.14, в котором первый потенциал на этапе (c) является по существу равным электрическому потенциалу обратного электрода (170) и второй потенциал на этапе (c) является по существу равным электрическому потенциалу охранного электрода (160).

17. Способ по п.14, в котором прибор (100) каротажа удельного микросопротивления дополнительно содержит датчик (140) азимута и этап (d) дополнительно содержит побуждение датчика (140) азимута к измерению азимутального угла, при этом способ дополнительно содержит:

(f) осуществление корреляции первого и второго значений удельного сопротивления пласта, вычисляемых на этапе (e), с азимутальным углом,

вычисляемым на этапе (d).

5

10

15

20

25

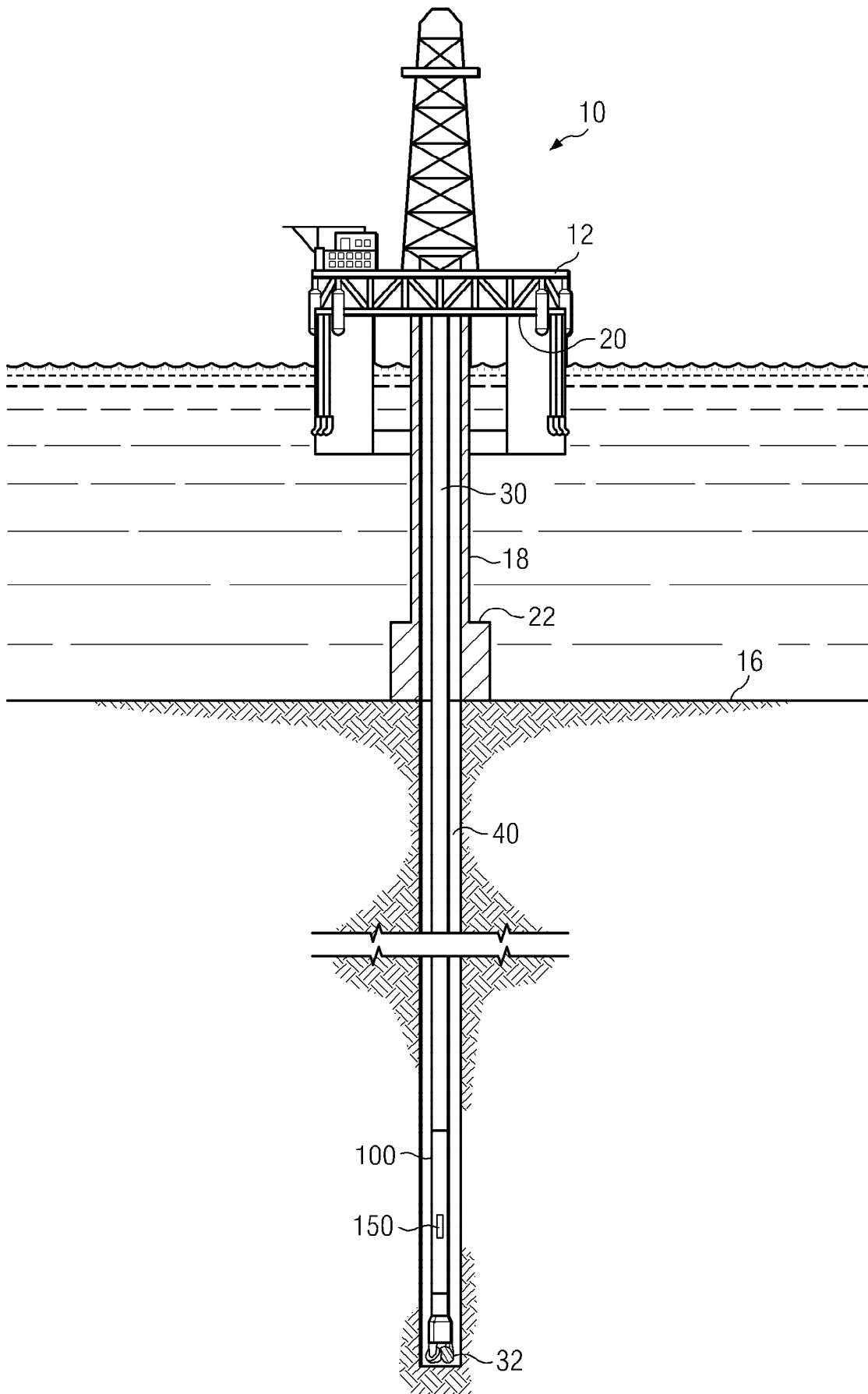
30

35

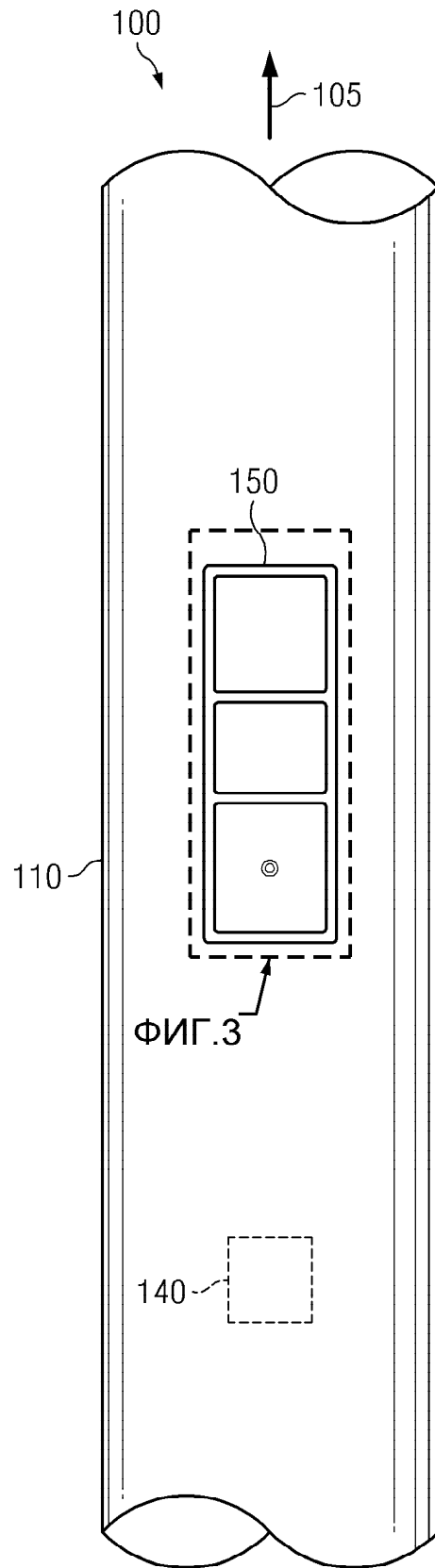
40

45

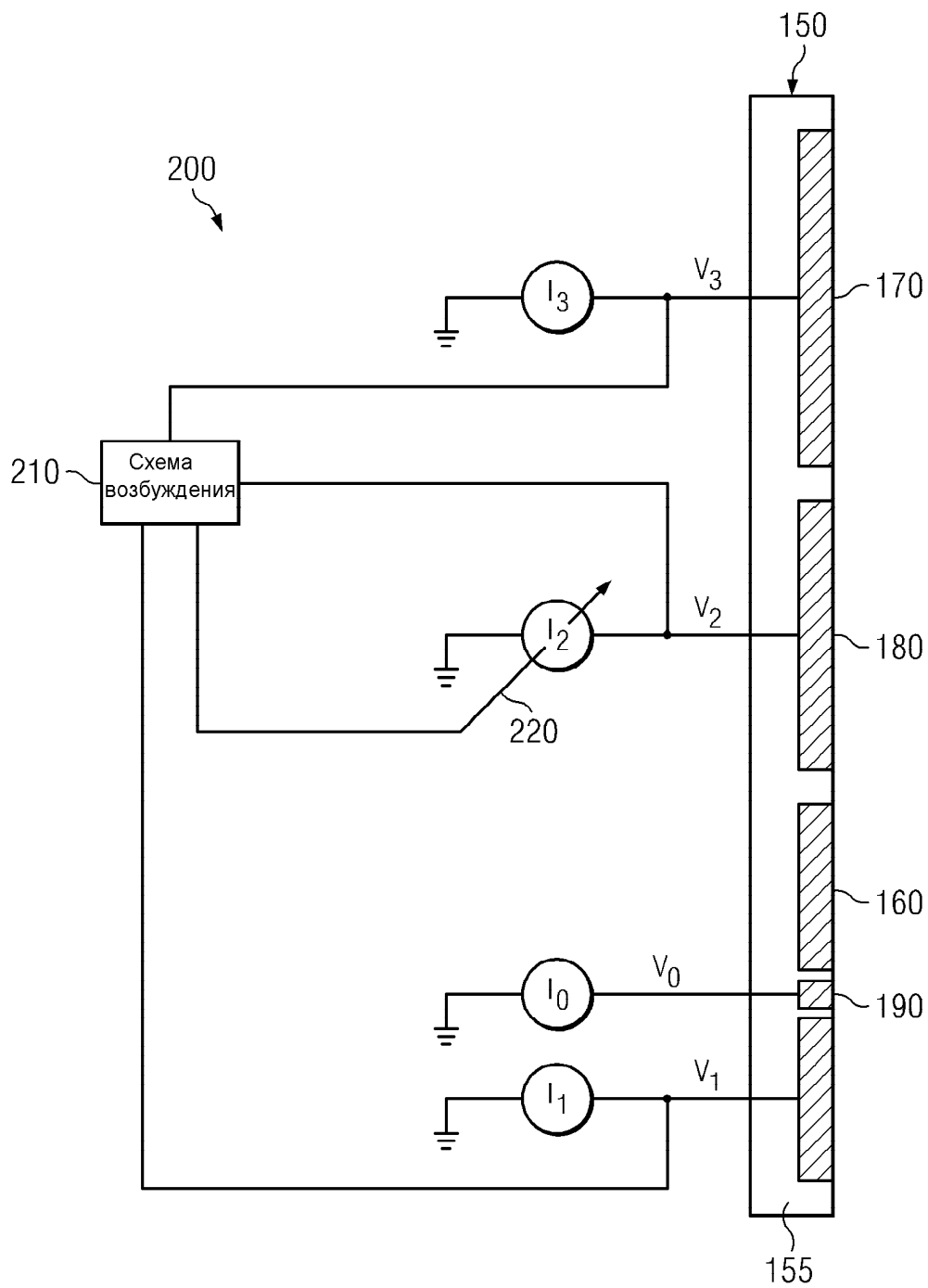
50



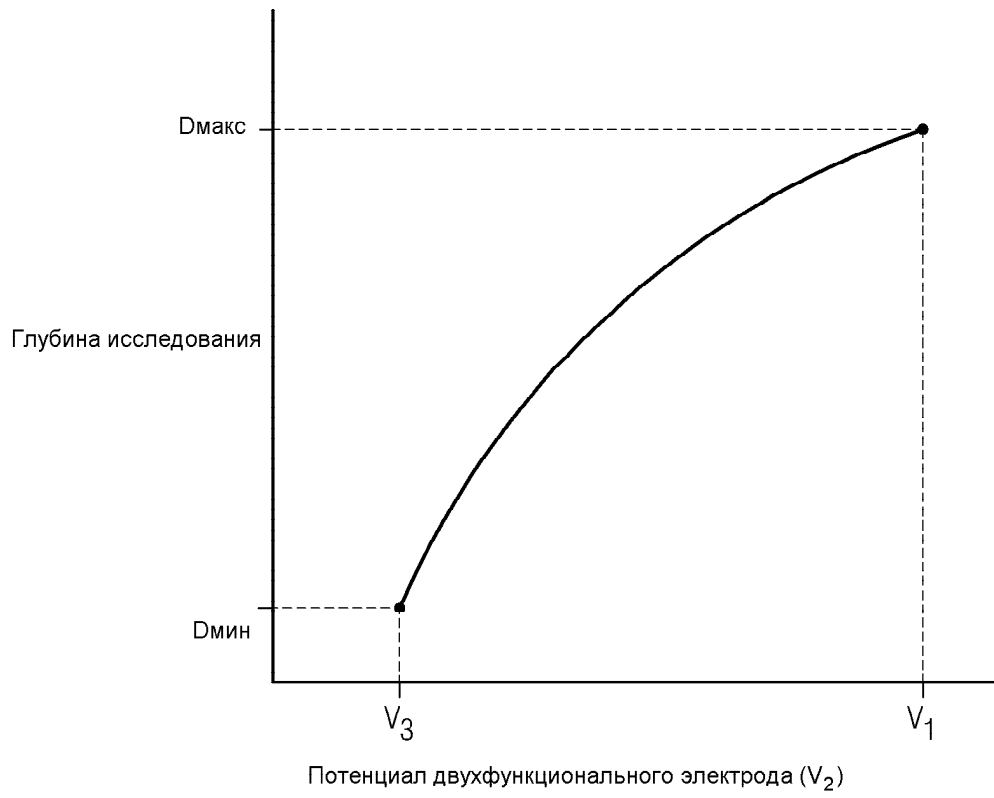
ФИГ. 1



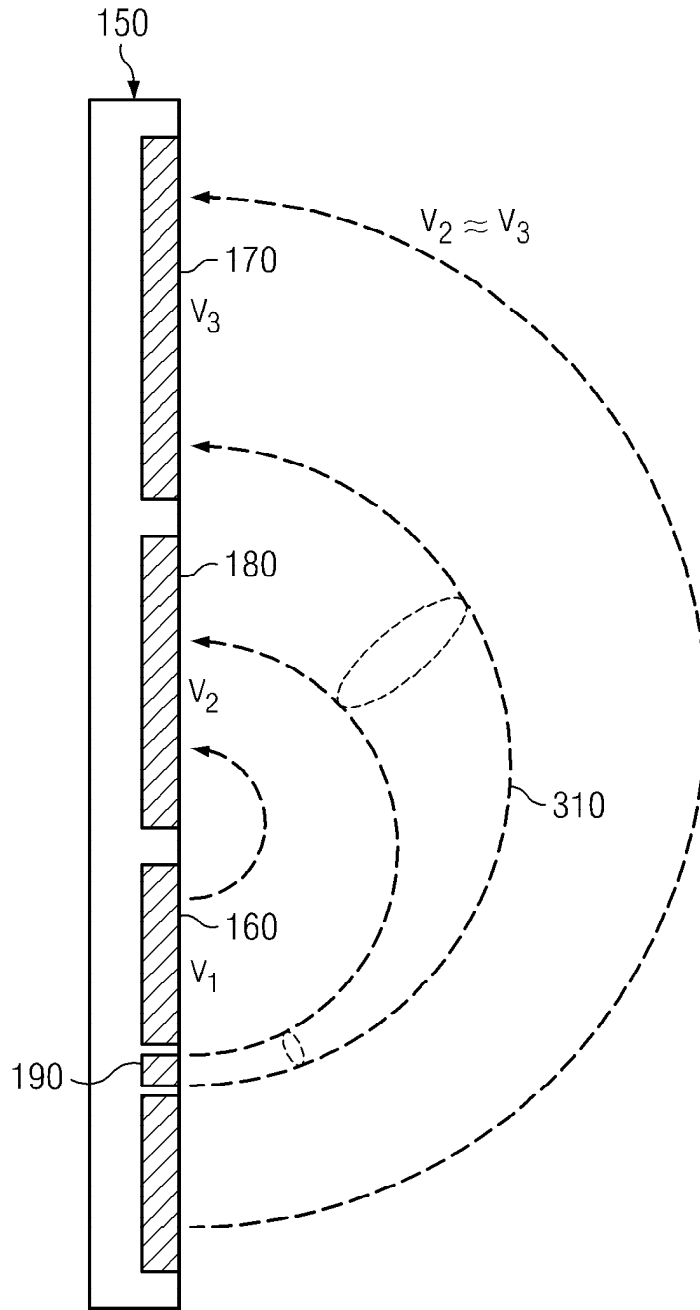
ФИГ.2



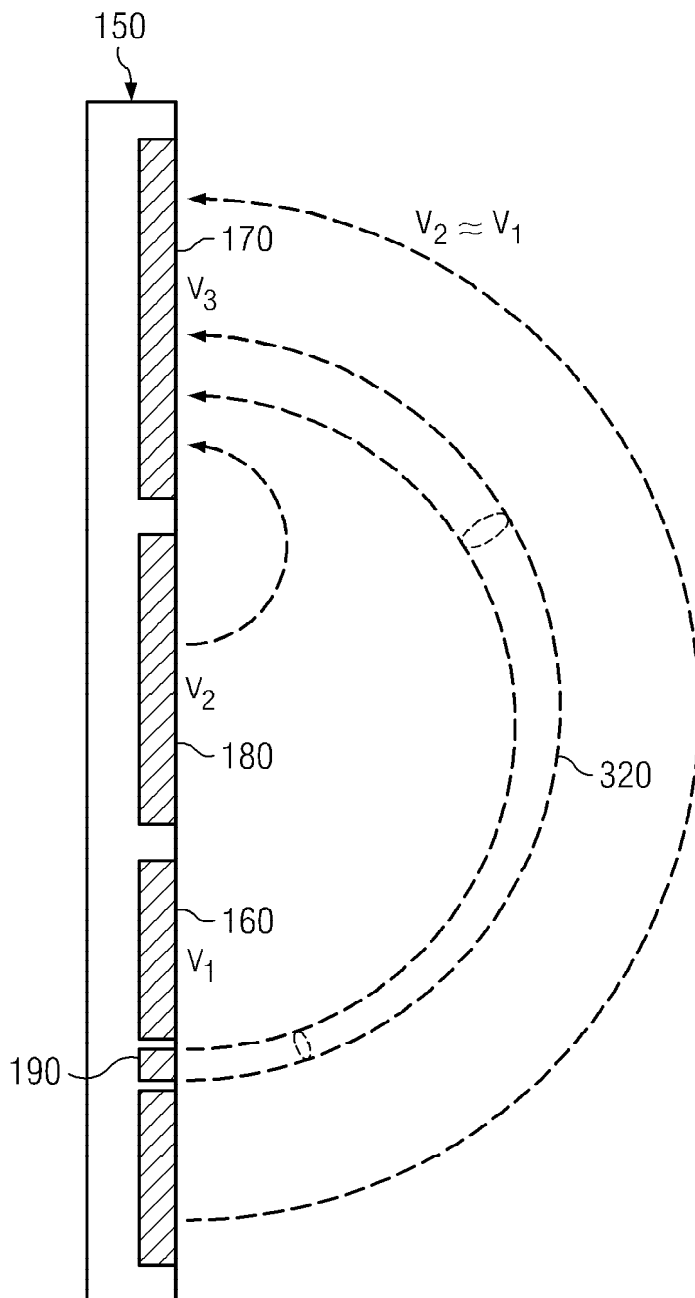
ФИГ.4



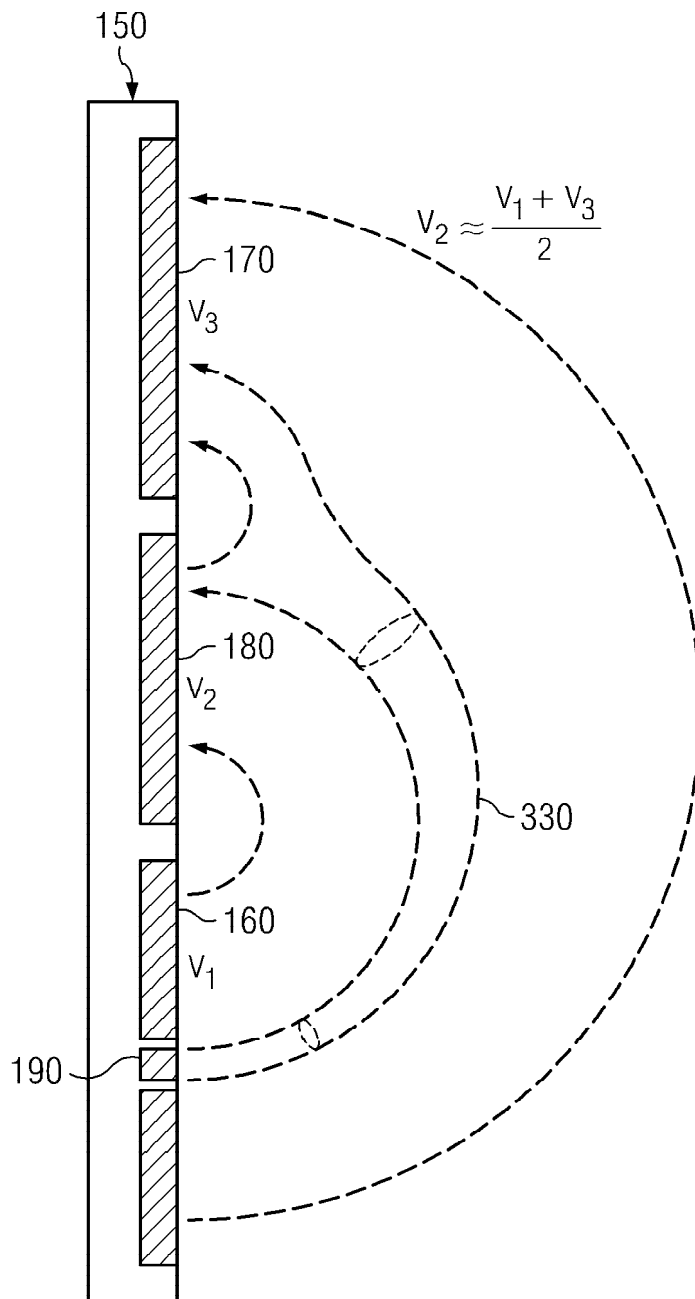
ФИГ.5



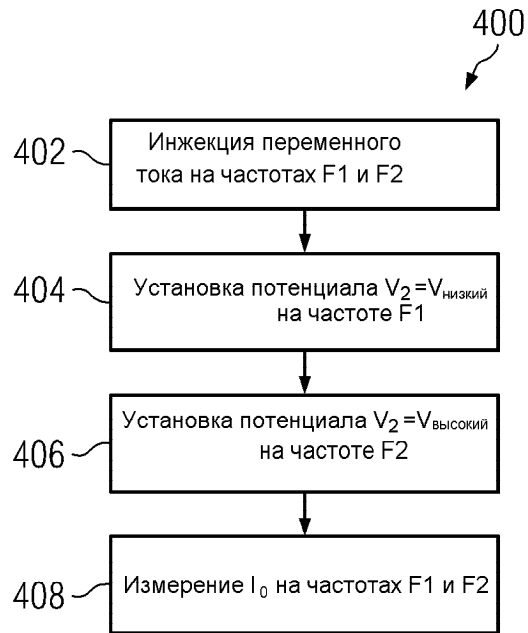
ФИГ.6А



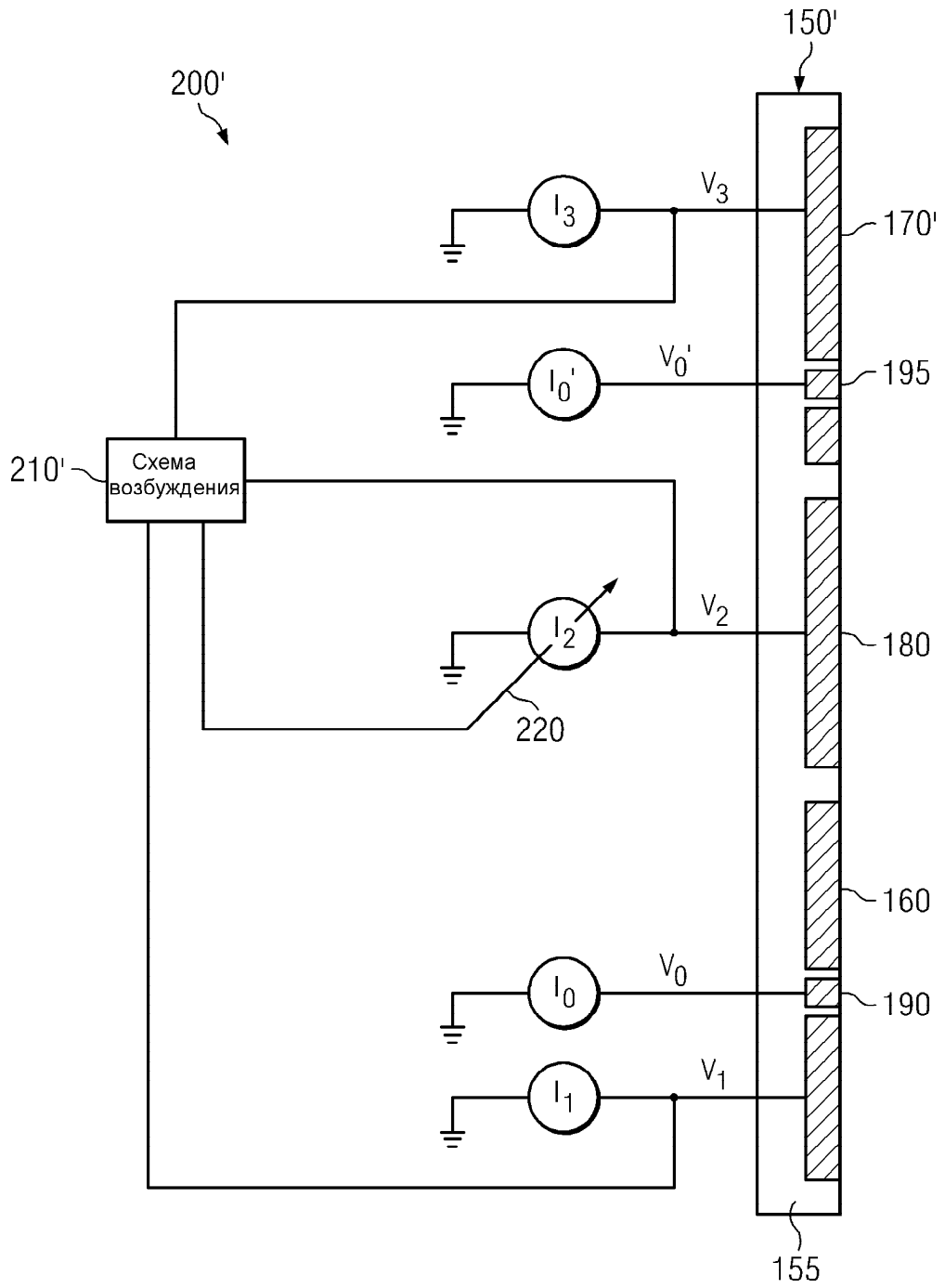
ФИГ.6В



ФИГ.6С



ФИГ.7



ФИГ.8