

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038707**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.10.07**

(21) Номер заявки  
**201691303**

(22) Дата подачи заявки  
**2014.12.22**

(51) Int. Cl. **G01V 11/00** (2006.01)  
**E21B 41/00** (2006.01)  
**E21B 47/12** (2012.01)

---

(54) **УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ**

---

(31) **61/919,585; 62/056,166; 62/066,337**

(32) **2013.12.20; 2014.09.26; 2014.10.20**

(33) **US**

(43) **2016.12.30**

(86) **PCT/US2014/071790**

(87) **WO 2015/095858 2015.06.25**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФАСТКЭП СИСТЕМЗ  
КОРПОРЕЙШН (US)**

(72) Изобретатель:  
**Кули Джон Дж., Синьорелли  
Риккардо, Моррис Грин, Лейн  
Джозеф К., Стиурка Дэн (US)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

(56) **WO-A2-2012162500  
WO-A1-0165054  
WO-A1-2013016145**

---

(57) В одном аспекте раскрыто устройство электромагнитной (ЭМ) телеметрии, включающее в себя схему ЭМ телеметрии, способную передавать импульсный сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности, причем сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности имеет пиковую или среднюю импульсную мощность от около 20 до около 2000 Вт.

**038707**

**B1**

**038707**

**B1**

По настоящей заявке испрашивается приоритет предварительной патентной заявки США № 61/919585, поданной 20 декабря 2013 г.; предварительной патентной заявки США № 62/066337, поданной 20 октября 2014 г.; предварительной патентной заявки США № 62/056166, поданной 26 сентября 2014 г., содержание каждой из которых включено в данное описание в порядке ссылки. Настоящая заявка также связана с заявками, перечисленными в нижеприведенной табл.2, содержание каждой из которых полностью включено в данное описание в порядке ссылки.

#### **Область техники, к которой относится изобретение**

Настоящее изобретение относится к разведке на нефть и газ, геотермальные и другие геологические ресурсы, и в частности к устройствам, системам скважинной электромагнитной телеметрии и способам их использования.

#### **Уровень техники**

При осуществлении разведки на нефть и газ необходимо пробуривать ствол скважины в землю. Хотя бурение ствола скважины позволяет индивидуальным предпринимателям и компаниям оценивать подземные материалы и извлекать желаемые углеводороды, могут возникать различные проблемы.

Например, общеизвестно, что "легкоизвлекаемая нефть" в целом закончилась. В настоящее время разведка требует вести поиск на больших глубинах, чем когда-либо прежде. Это требует бурить все глубже и глубже, и, таким образом, в суровых условиях, например, с температурами в пределах от 200 до 300°C или выше. В общем случае современная аппаратура не приспособлена для работы в таких условиях и откажет задолго до того, как внешняя температура достигнет этого диапазона.

По мере усложнения скважинной аппаратуры эта проблема усугубляется. Таким образом, по мере усовершенствования технологии разведка требует использования большего количества аппаратуры, чем когда-либо прежде. Ее использование приводит к увеличению потребляемой мощности в скважине. Кроме того, чем больше доступно скважинной аппаратуры, тем больше мгновенная (или импульсная или пиковая) требуемая мощность. Например, определенная скважинная аппаратура имеет возможность использовать существующий скважинный источник питания при эксплуатации в первом режиме, например в дежурном режиме, но требует высокой импульсной мощности, которую существующие источники питания неспособны развивать, во втором режиме работы, например режиме сбора данных или передачи.

К сожалению, многие известные скважинные источники питания имеют существенные недостатки. Например, различные типы батарей претерпевают полный отказ при повышенной температуре, что, таким образом, может повреждать аппаратуру. Соответствие высокой мгновенной (или пиковой или импульсной) потребной мощности определенной скважинной аппаратуры требует батарей высокого показателя, которые обычно имеют более низкую емкость, чем батареи низкого или среднего показателя, и в большей степени подвержены полному отказу при повышенных температурах. Дополнительно батареи, используемые в настоящее время в скважинных применениях, обычно не допускают подзарядки и могут быть весьма дороги. Когда батарея требует замены, например, вследствие отказа или разряда, буровые работы нужно останавливать, тогда как бурильная колонна, обычно тысячи линейных футов, извлекается из скважины для получения доступа к батареям и любой аппаратуре, которая также может требовать замены. Эта операция является времязатратной, дорогостоящей и потенциально опасной.

Другим доступным в настоящее время скважинным источником питания является скважинный генератор, например турбинный генератор. Скважинные генераторы могут не страдать теми же температурными ограничениями, что и доступные технологии скважинной батареи, но скважинные электрические генераторы являются весьма сложными и дорогостоящими устройствами. Например, обычный скважинный генератор с турбиной, работающей при высокой температуре и высоком давлении, должен выдерживать температуры от 200 до 300°C, давления в тысячи фунтов на квадратный дюйм (psi), ударные и вибрационные силы до нескольких сотен g и воздействие корродирующих химикатов, присутствующих в буровом растворе. Таким образом, скважинные генераторы обычно построены из дорогостоящих, высокотехнологичных материалов, аналогичных присутствующим в дорогостоящих реактивных двигателях или других газовых турбинах. В отношении электрических характеристик скважинным генераторам присущи те же ограничения, что и батареям, поскольку они не способны выдавать импульсы столь высокой мощности, чтобы удовлетворять требованиям многочисленной скважинной аппаратуры.

Инструменты электромагнитной ("ЭМ") телеметрии являются примером класса скважинной аппаратуры с высокой требуемой мощностью, в частности требованиям к импульсной мощности. ЭМ телеметрия предусматривает передачу информации о подземных условиях на поверхность с использованием ЭМ сигнала, в отличие от гидроимпульсной ("ГИ") телеметрии, в которой информация передается путем механического изменения давления бурового раствора в стволе скважины. ЭМ телеметрия обычно имеет более высокую скорость передачи данных (или битовую скорость), около 10 битов в секунду (бит/с), чем ГИ телеметрия (около 1-4 бит/с). Кроме того, ГИ телеметрия не пригодна для многих сложных буровых работ, например направленного бурения или бурения при пониженном гидростатическом давлении, где телеметрия ЭМ требуется. Поэтому ЭМ телеметрия необходима или желательна во многих буровых работах. Интенсивность сигнала ЭМ телеметрии непосредственно связана с мощностью, более интенсивный, более мощный сигнал ЭМ телеметрии может распространяться на большее расстояние и/или иметь

более высокую битовую скорость. Например, многие традиционные инструменты ЭМ телеметрии не могут работать на глубинах свыше нескольких тысяч футов, поскольку затухание сигнала препятствует регистрации сигнала на наземном приемнике. Кроме того, многие традиционные инструменты ЭМ телеметрии имеют ограничения по эффективности, которые препятствуют им в доставке ЭМ сигнала высокой мощности.

Таким образом, необходимо устройство ЭМ телеметрии высокой мощности, которое способно эффективно обеспечивать сигналы ЭМ телеметрии высокой мощности в скважинной среде, где температурный диапазон от температур внешней окружающей среды до около 200°C или выше, вплоть до около 300°C.

#### **Сущность изобретения**

В одном аспекте раскрыто устройство электромагнитной (ЭМ) телеметрии, включающее в себя схему ЭМ телеметрии, способную передавать импульсный сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности, причем сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности имеет пиковую или среднюю импульсную мощность от около 20 Вт до около 2000 Вт.

В другом аспекте раскрыт наземный приемник для приема телеметрического сигнала от скважинного устройства электромагнитной телеметрии, причем телеметрический сигнал передается через землю на приемник. В некоторых вариантах осуществления приемник включает в себя: приемную антенну, включающую в себя первый электрод и второй электрод, причем приемная антенна выполнена с возможностью формирования тока антенного сигнала и напряжения антенного сигнала в ответ на телеметрический сигнал; детектор, выполненный с возможностью регистрации по меньшей мере одного из тока антенного сигнала и напряжения антенного сигнала; и декодер, выполненный с возможностью декодирования данных, закодированных на телеметрическом сигнале с битовой скоростью по меньшей мере 1 бит/с на основании зарегистрированного тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала.

В другом аспекте раскрыт способ приема телеметрического сигнала от скважинного устройства электромагнитной телеметрии, причем способ включает в себя выбор наземного приемника описанного здесь типа; прием от скважинного устройства электромагнитной телеметрии телеметрического сигнала, передаваемого через землю на приемник; формирование тока антенного сигнала и напряжения антенного сигнала в ответ на телеметрический сигнал; регистрацию по меньшей мере одного из тока антенного сигнала и напряжения антенного сигнала; декодирование данных, закодированных на телеметрическом сигнале, на основании зарегистрированного тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала с битовой скоростью по меньшей мере 1 бит/с.

В другом аспекте раскрыто устройство электромагнитной (ЭМ) телеметрии, включающее в себя схему ЭМ телеметрии, способную передавать импульсный сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности, причем сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности имеет пиковую или среднюю импульсную мощность от около 20 Вт до около 2000 Вт, и схема ЭМ телеметрии имеет максимальную рабочую температуру по меньшей мере 150°C.

В другом аспекте раскрыт способ, включающий в себя передачу сигнала ЭМ телеметрии из местоположения в скважине с использованием системы ЭМ телеметрии описанного здесь типа.

В другом аспекте раскрыта система, включающая в себя: приемник описанного здесь типа; и передатчик описанного здесь типа, выполненный с возможностью передачи телеметрического сигнала на приемник.

В другом аспекте раскрыт способ, включающий в себя установление телеметрической линии связи с использованием системы ЭМ телеметрии описанного здесь типа.

#### **Подробное описание некоторых вариантов осуществления**

Предмет, рассматриваемый как изобретение, конкретно указан и отдельно заявлен в формуле изобретения после описания изобретения. Вышеупомянутые и другие признаки и преимущества изобретения являются из нижеследующего подробного описания, приведенного совместно с прилагаемыми чертежами.

На фиг. 1 показана схема буровых работ с использованием устройства ЭМ телеметрии описанного здесь типа.

На фиг. 2 показана схема системы, демонстрирующей устройство ЭМ телеметрии.

На фиг. 3А показана схема системы, демонстрирующей устройство ЭМ телеметрии.

На фиг. 3В показана схема системы, демонстрирующей устройство ЭМ телеметрии.

На фиг. 4 показана схема участка скважинного бурового снаряда, демонстрирующего устройство ЭМ телеметрии

На фиг. 5, 6 и 7 изображены иллюстративные кривые мощности для раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии.

Фиг. 8 демонстрирует схему фазоимпульсной модуляции для использования с раскрытыми здесь устройствами и системами ЭМ телеметрии.

Фиг. 9 - схема приемного устройства для использования с раскрытыми здесь устройствами и системами ЭМ телеметрии.

Фиг. 10 - схема детектора для использования с раскрытыми здесь устройствами и системами ЭМ телеметрии.

На фиг. 11A-D показаны иллюстративные схемы усилителя для использования в детекторе для использования в раскрытых здесь устройствах и системах ЭМ телеметрии.

На фиг. 12A-D показаны иллюстративные схемы усилителя тока для использования в детекторе для использования в раскрытых здесь устройствах и системах ЭМ телеметрии.

Фиг. 13 - схема декодера для использования в приемнике для раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии.

Фиг. 14A и B демонстрируют использование раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии в иллюстративных буровых работах. На каждой фигуре, участки бурового снаряда 10, расположенные выше по стволу скважины, чем устройство 100 ЭМ телеметрии, для наглядности опущены.

Фиг. 15 демонстрирует метод шумоподавления для использования с раскрытыми здесь устройствами и системами ЭМ телеметрии.

На фиг. 16 показан участок бурового снаряда, демонстрирующий раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии.

#### **Подробное описание некоторых вариантов осуществления**

Здесь раскрыты устройства, системы и способы, преодолевающие ограничения, присущие другим существующим инструментам ЭМ телеметрии. Раскрытые здесь устройства, системы и способы ЭМ телеметрии обеспечивают согласованные и эффективные ЭМ сигналы высокой мощности. Раскрытые здесь устройства ЭМ телеметрии способны принимать мощность от различных доступных скважинных источников питания, включающих в себя без ограничения батареи, генераторы, подзаряжаемые энергозапасующие устройства и наземные источники питания, и доставлять ЭМ импульс (или последовательность импульсов) высокой мощности (например, более 20 Вт или более 50 Вт и до 100, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 Вт или более) на ЭМ антенну. Доставка сигналов ЭМ телеметрии высокой мощности позволяет повышать скорость передачи данных и проводить буровые работы на большей глубине.

Раскрытые здесь устройства, системы и способы ЭМ телеметрии также обеспечивают многочисленные эксплуатационные преимущества, включающие в себя без ограничения улучшенное управление скважинными источниками питания (например, первичными батареями), увеличенное время работы, увеличенную электрическую эффективность, пониженное энергопотребление, улучшенное тепловое управление, режимы многоканальной (например, многочастотной) передачи и двустороннюю связь в реальном времени между поверхностью и буровым снарядом.

Скважинные системы ЭМ телеметрии описанного здесь типа могут включать в себя усилитель, который возбуждает по меньшей мере два электрода (образующие передающую антенну) для формирования ЭМ сигнала. ЭМ сигнал может передаваться посредством низкочастотных электростатических изменяющихся со временем напряжений и токов (например, осциллирующих сигналов, например, синусоидальных). ЭМ сигнал принимается на поверхности посредством по меньшей мере двух приемных электродов (образующих приемную антенну), выполненный с возможностью регистрации ЭМ величины, например тока или разности потенциалов, создаваемой ЭМ сигналом. Один приемный электрод может быть прикреплен к чему-то, электрически подключенному к бурильной колонне, и другой - к стержню, воткнутому в землю вблизи (например, в нескольких сотнях метров вдоль поверхности) от бурильной колонны.

ЭМ сигнал регистрируется и декодируется наземным приемником, который обычно подключен к ПК, имеющему интерфейс и программное обеспечение визуализации (уровень приложений). В ряде случаев два электрода не связаны с заземлением системы, и выход усилителя представляет собой дифференциальный выход, имеющий два вывода для возбуждения нагрузки. Также в ряде случаев потенциал электрод является биполярным для минимизации средней разности потенциалов между двумя электродами для уменьшения коррозии от поверхностей электродов. Обычные формы ЭМ сигнала во временной области включают в себя синусоидальную, квази-синусоидальную, импульсную или квадратную.

Согласно фиг. 1, в некоторых вариантах осуществления инструмент 100 ЭМ телеметрии входит в состав бурового снаряда 10, используемого, например, в буровых работах. Инструмент ЭМ телеметрии обычно располагается в герметичном стволе для определения давлений выше или ниже по стволу скважины относительно других системных компонентов (например, источника питания). Инструмент 100 включает в себя антенну, которая обычно представляет собой компоновку, имеющую примерно такой же наружный диаметр, как остальной буровой снаряд, но с изолирующей секцией (внутренним зазором) 101 для создания по меньшей мере двух отдельных электродов. Внутренний зазор создает по меньшей мере два электрода, образованные буровым снарядом - один выше по стволу скважины от внутреннего зазора и один ниже по стволу скважины от внутреннего зазора.

На бурильной колонне 10 также обычно присутствует "внешний" зазор 11, который обычно является изолирующей секцией, аналогичной присутствующей в антенной компоновке с внутренним зазором. Этот внешний зазор составляет часть так называемой переходной муфты с зазором - подсекции бурильной трубы, имеющей изолирующий зазор. Переходная муфта с зазором создает по меньшей мере два электрода, образованные бурильной колонной - один выше по стволу скважины от внешнего зазора и один ниже по стволу скважины от внешнего зазора.

В ряде случаев может использоваться несколько зазоров и более двух электродов. Использование не-

скольких зазоров может быть полезно для увеличения длины "эффективного" зазора между двумя электродами. Несколько электродов может использоваться для передачи нескольких сигналов.

Антенные электроды могут быть электрически подключены к герметичному стволу для определения давлений по обе стороны внутреннего зазора. Затем скважинный электрод может быть электрически подключен к оставшейся части компоновки низа бурильной колонны ("КНБК") посредством механических соединений между буровым снарядами и бурильной колонной. Затем наземный электрод может быть электрически подключен к оставшейся части устьевого стороны бурильной колонны посредством механического соединения между буровым снарядами и бурильной колонной. В ряде случаев забойное механическое соединение содержит известную опорную конструкцию для поддержки бурового снаряда. В ряде случаев устьевое механическое соединение содержит особую компоновку, выполненную с возможностью выходить за пределы внешнего зазора и механически сопрягаться с внутренней поверхностью бурильной трубы выше по стволу скважины от внешнего зазора.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии содержат преобразователи мощности, в частности высокоэффективные преобразователи мощности, например источники питания в коммутационном режиме. В некоторых вариантах осуществления преобразователь мощности является преобразователем мощности в коммутационном режиме, который может регулироваться посредством управления с обратной связью. Примеры преобразователей мощности включают в себя дроссельные преобразователи, например понижающие, повышающие, понижающе-повышающие, повышающе-понижающие, по схеме Чука, прямоходовые, обратногоходовые, или разновидности и т.п., а также бездроссельные преобразователи, например переключаемые конденсаторные преобразователи. Требования ЭМ телеметрии высокой мощности, которым должны удовлетворять раскрытые здесь преобразователи мощности, включают в себя высокую среднюю мощность, высокую импульсную (или пиковую) мощность, устойчивость к высоким температурам (т.е. до около 200, 210, 250 или даже 300°C) и устойчивость к другим условиям в скважине (например, удару, вибрации, давлению и вращательным силам). Раскрытые здесь преобразователи мощности отвечают этим требованиям, поддерживая при этом высокие уровни общей эксплуатационной эффективности, в частности эффективности по меньшей мере 50%, по меньшей мере 70%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 90% или по меньшей мере 95%.

Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут содержать высокотемпературные подзаряжаемые энергозапасующие устройства (HTRESД), например суперконденсаторы, которые работают в диапазоне условий окружающей среды, обнаруженных в скважинной среде. Раскрытые здесь HTRESД действуют при температурах до около 200, 210, 225, 250°C, и в определенных условиях достигают еще более высокие температуры. Дополнительно раскрытые здесь HTRESД действуют при температурах на другом конце температурного диапазона, присутствующего в буровом окружении, например при температурах не ниже около -40°C, и всех температурах между этими нижней и верхней температурными границами, или любом его поддиапазоне.

Раскрытые здесь HTRESД способны доставлять мгновенную мощность на скважинную аппаратуру в этих экстремальных условиях окружающей среды. HTRESД, пригодные для использования с описанными здесь системами ЭМ телеметрии раскрыты в заявках: PCT WO 2013/009720, опубликованной 17 января 2013 г., и WO 2013/126915, опубликованной 29 августа 2013 г., которые включены в данное описание в порядке ссылки в полном объеме. Кроме того, пригодные HTRESД, а также соответствующие силовые системы и процессы производства, раскрыты в патентных заявках США US 2013/0026978, US 2013/0029215, US 2013/0045157, US 2013/0044405, US 2013/0271066, US 2013/0143108 и US 2013/0141840 (даты подачи приведены в нижеследующей табл.2); заявке PCT WO/2014/145259, опубликованной 18 сентября 2014 г.; международной патентной заявке PCT/US 14/59971, поданной 9 октября 2014 г.; и предварительной патентной заявке США 62/081,694, поданной 19 ноября 2014 г., содержание каждой из которых полностью включено в данное описание в порядке ссылки.

Суперконденсаторные HTRESД, наподобие описанных в вышеупомянутых ссылках, могут, например, действовать при температурах от -40 до 250°C (и в любом поддиапазоне между ними), или более на протяжении 10000 циклов заряда/разряда, и/или в течение 100 ч или более при напряжении 0,5 В или более. В некоторых вариантах осуществления суперконденсаторы обеспечивают эту производительность, демонстрируя увеличение эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) менее чем на 100%, например менее около 85%, и уменьшение емкости менее чем на около 10%. В некоторых вариантах осуществления такие суперконденсаторы могут иметь объемную емкость от около 5 фарад на литр (Ф/л), 6, 7, 8, 9, 10 Ф/л или более, например в диапазоне от около 1 до около 10 Ф/л или любом его поддиапазоне.

В некоторых вариантах осуществления суперконденсаторы описанных здесь типов может демонстрировать любой из: высокой объемной плотности энергии (например, превышающей 0,25, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 20 Вт-ч/л, или более), высокой гравиметрической плотности энергии (например, превышающей 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18 Вт-ч/кг, или более), высокой объемной плотности мощности (например, превышающей 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120 кВт/л, или более), высокой гравиметрической плотности мощности (например, превышающей 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110,

120 кВт/кг или более) и их комбинации. В некоторых вариантах осуществления суперконденсаторы описанных здесь типов демонстрируют высокую производительность, выражаемую в виде произведения плотности энергии и плотности мощности, например, превышающий 300, 500, 700 Вт-ч-кВт/л<sup>2</sup> или более.

Например, раскрытые здесь суперконденсаторы способны поддерживать свою производительность в течение длительного периода времени, например сотен тысяч, или даже миллионов циклов заряда/разряда. В нижеприведенной табл.1 показана производительность иллюстративных элементов питания описанного здесь типа. В целях табл.1 срок эксплуатации элемента питания определяется как число циклов, необходимое для того, чтобы элемент питания продемонстрировал снижение энергии разряда на 5% или более или увеличение эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) элемента питания на 25% или более.

Таблица 1. Данные производительности иллюстративного суперконденсатора

ID элемента питания	Объем элемента питания (см <sup>3</sup> )	Плотность мощности (кВт/л)	Плотность энергии (Вт-ч/л)	Срок эксплуатации (циклы)	Рабочее напряжение (В)
HP	2	100	7,0	>500 тыс.	3,5
HE	2	35	11	>500 тыс.	3,5
HE 350	350	35	18	>500 тыс.	3,5
HP 350	350	110	7	>500 тыс.	3,5

В качестве компромиссов между различными требованиями к суперконденсатору (например, напряжением и температурой) можно управлять показателями производительности суперконденсатора (например, скоростью увеличения ESR, емкостью) для удовлетворения конкретных потребностей. Заметим, что согласно упомянутому выше, "показатели производительности" определены, в общем случае, традиционным образом, в отношении значений параметров, описывающих условия эксплуатации.

Заявители обнаружили, что устройства HTRES, демонстрирующие суперконденсаторы типа, описанного во включенных сюда ссылках, также могут быть пригодны для условий экстремальных вибраций и механических ударов, присутствующих в скважине.

В некоторых вариантах осуществления устройство HTRES выполнено с возможностью работы при наличии вибраций вплоть до максимального показателя вибрации в течение периода эксплуатации. В некоторых вариантах осуществления период эксплуатации составляет по меньшей мере 100 ч и максимальный показатель вибрации составляет по меньшей мере 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 Grms или более, например в диапазоне от 1 до 100 Grms или любом его поддиапазоне. В некоторых вариантах осуществления период эксплуатации составляет по меньшей мере 500 ч и максимальный показатель вибрации составляет по меньшей мере 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 Grms или более, например в диапазоне от 1 до 100 Grms или любом его поддиапазоне. В некоторых вариантах осуществления период эксплуатации составляет по меньшей мере 1000 ч и максимальный показатель вибрации составляет по меньшей мере 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 Grms или более, например в диапазоне от 1 до 100 Grms или любом его поддиапазоне. В некоторых вариантах осуществления период эксплуатации составляет по меньшей мере 5000 ч и максимальный показатель вибрации составляет по меньшей мере, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 Grms или более, например в диапазоне от 1 до 100 Grms или любом его поддиапазоне. Grms означает среднеквадратическое ускорение повторяющейся вибрации как кратное G, где G - ускорение свободного падения на поверхности земли.

В некоторых вариантах осуществления устройство HTRES выполнено с возможностью работы при наличии ударов вплоть до максимального показателя удара. В некоторых вариантах осуществления показатель удара может составлять по меньшей мере 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300, 400, 500 G или более, например в диапазоне от 10 до 1000 G или любом его поддиапазоне.

В различных вариантах осуществления системы ЭМ телеметрии описанного здесь типа могут быть выполнены с возможностью иметь аналогичные диапазоны рабочей температуры, вибрации и удара.

Дополнительные варианты осуществления HTRES включают в себя без ограничения химические батареи, алюминиевые электролитические конденсаторы, танталовые конденсаторы, керамические и металлопленочные конденсаторы, магнитный накопитель энергии на гибридных конденсаторах, например дросселях с воздушным сердечником или сердечником из высокотемпературного материала. Другие типы HTRES, которые также могут быть способны включать в себя, например, механические энергозапасные устройства, например, маховики, пружинные системы, пружинно-массовые системы, массовые системы, теплоемкостные системы (например, на основе жидкостей или твердых тел с высокой теплоемкостью или фазопереходных материалов), гидравлические или пневматические системы.

Одним примером является высокотемпературный гибридный конденсатор производства Evans Capacitor Company, Провиденс, Род-Айленд, США, номер детали HC2D060122 DSCC10004-16, запатентованный

рованный для 125°C. Другим примером является высокотемпературный танталовый конденсатор производства Evans Capacitor Company, Провиденс, Род-Айленд, США, номер детали HC2D050152HT, запроектированный на 200°C. Еще одним примером является алюминиевый электролитический конденсатор производства EPCOS, Мюнхен, Германия, номер детали B41691A8107Q7, запроектированный на 150°C. Еще одним примером является дроссель производства Panasonic, Токио, Япония, номер детали ETQ-P5M470YFM, запроектированный для 150°C. Дополнительные варианты осуществления доступны от Saft, Баньоле, Франция (номер детали Li-ion VL 32600-125), работают при температуре до 125°C с 30 зарядо-разрядными циклами, а также литий-ионная батарея (экспериментальная), работающая при температуре до около 250°C, и на стадии эксперимента фазе с Solid Energy, Уотертаун, Массачусетс. В некоторых вариантах осуществления раскрытых здесь устройств и систем HTRESO является высокотемпературным суперконденсатором. Однако это не ограничивает технологии, которые могут быть включены в накопитель энергии раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии.

Альтернативно или дополнительно раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут включать в себя одну или более батарей, в частности батареи, приспособленные к условиям скважины, например литий-тионилхлоридные батареи. В других вариантах осуществления, например, когда батареи используются совместно с суперконденсаторами, способными обеспечивать высокую импульсную пиковую выходную мощность, батареи могут быть батареями относительно низкого уровня (например, с относительно низкими показателями мощности, напряжения и/или тока). В некоторых подобных вариантах осуществления батареи могут, по существу, не содержать лития. Батареи могут быть соединены последовательно или параллельно в раскрытых здесь устройствах и системах ЭМ телеметрии. Батареи могут быть соединены параллельно для увеличения тока, доступного устройствам и системам ЭМ телеметрии, но они также могут быть соединены последовательно для увеличения напряжения, доступного устройствам и системам ЭМ телеметрии.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут включать в себя любой пригодное силовое электронное оборудование, включающее в себя, например, преобразователи мощности, играющие различные роли управление мощностью, например, как описано в заявке РСТ WO/2014/145259, опубликованной 18 сентября 2014 г. Например, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут содержать схему зарядки суперконденсатора (UCC), схему переключения (ХО), схему состояния заряда (SoC), схему управления суперконденсатором (UMS), схему управления электронным оборудованием и любые другие пригодные компоненты.

#### Схема зарядки суперконденсатора (UCC)

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии содержат преобразователь мощности. В дополнительных вариантах осуществления преобразователь мощности является схемой UCC для зарядки энергозапасяющего устройства, которое включает в себя один или более суперконденсаторов. Схема UCC демонстрирует работу при высокой температуре, например более 75°C, например более 125°C, например 150°C или более, регулируемое управление зарядным током, резервную защиту от повышенного напряжения для батареи конденсатора и широкий диапазон входного/выходного напряжения. В некоторых вариантах осуществления ИС контроллера использует регулировку в режиме тока для ослабления влияния известного в технике нуля правой полуплоскости (RHP) на выходное напряжение в течение переходных процессов нагрузки. В этом отношении схема UCC настоящего изобретения обеспечивает оптимальный диапазон эксплуатации, благодаря чему преобразователь заряжается с калиброванным коэффициентом заполнения для минимизации общих потерь, например с оптимизацией напряжения на шине.

В некоторых вариантах осуществления схема UCC использует преобразование питания в коммутационном режиме, причем при низком заряде суперконденсатора ИС использует более эффективное, т.е. с меньшими потерями, управление в режиме тока и последовательно переключается в режим управления напряжением на более высоких уровнях хранения заряда суперконденсатора, где такое переключение приведет к более эффективной зарядке суперконденсатора.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии обеспечивают формирование входного тока, например, в применениях, где желателен непрерывный и устойчивый отбор тока из источника энергии, или конкретный импульсный профиль является наилучшим. В конкретных вариантах осуществления такое формирование тока препятствует нежелательным электрохимическим эффектам в батареях, например эффектов обледенения катода или эффектов пассивации.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии обеспечивают сглаживание входного тока, например в применениях, где желателен непрерывный и устойчивый отбор тока из источника энергии. В конкретных вариантах осуществления такое сглаживание тока снижает потери на электропроводность в последовательно соединенных сопротивлениях.

В некоторых вариантах осуществления, когда схема UCC работает в режиме постоянного напряжения, UCC способен подавать постоянное напряжение в случае разъединения конденсаторной цепочки. Например, UCC может продолжать выдавать мощность на нагрузку на более низком уровне.

В одном варианте осуществления контроллер UCC реализован цифровыми средствами. Преимуще-

ства такой системы включают в себя сокращение количества компонентов и программируемость. В некоторых вариантах осуществления управление цепью переключателей осуществляется микроконтроллером/микропроцессором.

В одном варианте осуществления регулируемый ток может устанавливаться цифровыми средствами с помощью модулированного по ширине импульса (ШИМ) сигнала управления, созданного диспетчером и фильтром низких частот, для выработки аналогового напряжения, которое ИС контроллера интерпретирует как отсутствие возможности для ИС контроллера осуществлять связь цифровыми средствами. ИС контроллера выполнена с возможностью регулировки выходного тока, например зарядного тока суперконденсатора. Посредством управления зарядным током схема УСС способна регулировать напряжение на суперконденсаторах, например посредством гистерезисного управления, в котором напряжение поддерживается в полосе напряжения посредством двухпозиционного управления ИС.

Схема УСС в некоторых вариантах осуществления допускает управление цифровыми средствами. В дополнительных вариантах осуществления схема УСС управляется цифровыми средствами системой управления электронным оборудованием (EMS), например, как подробно описано ниже. В дополнительных вариантах осуществления схема УСС может входить в спящий режим для экономии энергии, и этот аспект может обеспечиваться за счет цифрового управления.

Контроллер УСС можно также реализовать аналоговыми средствами. В такой конфигурации управление с обратной связью в общем случае осуществляется с использованием таких компонентов как операционные усилители, резисторы и конденсаторы.

В некоторых вариантах осуществления интегральная схема (ИС) контроллера в центре зарядного устройства суперконденсатора (УСС) электрически соединена модульными шинными накопителями и запрограммирована осуществлять связь с соединительной схемой, схемой EMS, схемой переключения и/или одним или более источниками энергии (например, батареей, генератором или проводной линией). Схема УСС также может содержать резисторную цепь для дискретизации напряжения, понижающую силовую секцию (например, понижающий преобразователь), повышающую силовую секцию (например, повышающий преобразователь), резистор контроля тока дросселя, необходимый для управления в режиме тока, и/или резистор контроля зарядного тока, необходимый для регулировки зарядного тока.

В некоторых вариантах осуществления преобразователь мощности для зарядки суперконденсатора управляется по принципу гистерезиса. Например, зарядный ток регулируется преобразователем и схемой управления с обратной связью. Напряжение суперконденсатора измеряется преобразователем мощности или диспетчером и т.п. Преобразователь мощности может отключаться, например, когда напряжение на суперконденсаторе достигает определенного порога. Альтернативно зарядный ток может снижаться, когда напряжение достигает определенного порога. Таким образом, можно реализовать различные преимущества. Во-первых, контрольную точку напряжения и полосу гистерезиса можно устанавливать в программно-аппаратном обеспечении или программном обеспечении, т.е. цифровыми средствами, без модернизации схемы управления с обратной связью, например модернизации, которая в других случаях может потребоваться для устойчивости и динамики. Таким образом, выходное напряжение легко регулируется пользователем или контроллером, например в ходе эксплуатации. Во-вторых, хотя эффективность зарядки суперконденсатора в общем случае повышается за счет ограничения или регулировки зарядного тока и многие нагрузки ожидают напряжения в диапазоне, чтобы правильно работать, контроллер, имеющий управление с обратной связью для регулировки зарядного тока, может использоваться для обеспечения выбора напряжения из диапазона для правильной работы нагрузки.

В некоторых вариантах осуществления схема УСС регулирует мощность, подаваемую на суперконденсатор в ходе зарядки. В некоторых вариантах осуществления регулировка мощности может быть предпочтительна для регулировки тока, например в случаях, когда желательно увеличить или максимизировать скорость зарядки. Регулировка мощности может достигаться благодаря архитектуре преобразователя мощности с регулировкой тока посредством внешнего контура обратной связи (тогда как ток преобразователя регулируется внутренним контуром обратной связи). Внешний контур обратной связи может регулировать мощность. Например, система может измерять свое собственное выходное напряжение и умножать измеренное значение на предписанный ток. Это позволяет последовательно регулировать мощность и фактически доставляемую мощность в сторону увеличения или уменьшения путем регулировки предписанного тока в сторону увеличения или уменьшения. Процесс может повторяться сколь угодно долго, чтобы фактическая мощность, доставляемая в пласт, соответствовала контрольной точке предписанной мощности.

Аналогичная ситуация существует в случае преобразователя мощности с регулировкой напряжения. Ток, выводимый из системы, можно измерять и умножать на предписанное напряжение. Затем мощность можно регулировать путем регулировки команды напряжения. Контур управления мощностью может быть "медленным" в том смысле, что он медленнее, чем внутренние циклы управления током или напряжением.

#### Схема переключения (ХО)

В некоторых вариантах осуществления схема переключения представляет собой периферийную монтажную плату, которую можно бесшовно добавлять в модульную архитектуру посредством накопи-

телей, электрически соединенных и управляемых соединительной монтажной платой для обеспечения использования нескольких источников питания. Совместно со схемой UCC схема переключения обладает возможностью автономной работы.

В одном варианте осуществления схема переключения может быть заранее запрограммирована для переключения от одного источника питания к другому после разрядки первоначального источника.

В другом варианте осуществления схема переключения обладает способностью параллельно соединять два источника друг с другом и либо увеличивать мощность, доставляемую на нагрузку, либо извлекать самую последнюю оставшуюся энергию отдельных источников питания, где лишь отдельные, почти разряженные источники не могут доставлять достаточную мощность для возбуждения нагрузки.

Схема переключения в некоторых вариантах осуществления допускает управление цифровыми средствами системой управления электронным оборудованием (EMS) и может входить в спящий режим для экономии энергии. <br>

Схема переключения может содержать диспетчер и в некоторых вариантах осуществления электрически соединена модульными шинными накопителями и запрограммирована осуществлять связь с соединительной схемой, схемой EMS, схемой состояния заряда и/или одним или более источниками энергии (например, батареей, генератором или цепочкой суперконденсаторов) через диспетчер схемы. <br>

Схема переключения также может содержать резистор контроля тока; резисторную цепь для дискретизации напряжения; резистор контроля тока для измерений состояния заряда; однонаправленное первичное разъединение, которое позволяет возвращать напряжение на шине на первичный источник, где мощность первоначально обрабатывается посредством диода низкого прямого напряжения, параллельно соединенного с р-канальным MOSFET (МОП-транзистором), для снижения рассеяния при использовании компенсационной обратной связи и после установления напряжения на шине, первичное разъединение может включаться (р-канальный MOSFET отпирается) резисторно-диодной цепью и п-канальным MOSFET; двунаправленное вторичное разъединение, которое обрабатывает мощность от вторичного источника на шину, где вторичное разъединение, в отличие от первичного разъединения, может полностью отсоединять вторичный источник от шины; резисторно-диодную цепь для подачи смещения на затвор р-канального MOSFET, размер которого позволяет осуществлять низковольтную операцию разъединения (резисторный делитель) и высоковольтную операцию разъединения (диод ограничивает затворное напряжение безопасным рабочим напряжением); и/или разряжающий резистор, позволяющий гарантировать отключение п-канального MOSFET в отсутствие сигнала управления.

#### Схема состояния заряда (SoC)

В некоторых вариантах осуществления схема S<sup>o</sup>C служит для обеспечения оценки оставшейся и/или использованной емкости данного источника энергии. Эта схема может объединять измеренные ток, температуру, форму профиля тока во временной области и может создавать модель для определения оставшегося времени работы для данного источника энергии.

Измерение тока является важным фактором при определении срока службы источника энергии, в частности батареи. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления ток можно измерять с использованием готовой ИС, которая служит усилителем тока, управляемым напряжением. В некоторых вариантах осуществления ток можно измерять с использованием датчиков Холла/магнитометров, индукционных датчиков, магнитных датчиков или резисторов контроля тока высокой стороны или низкой стороны.

Температуру можно измерять с использованием резистивного детектора температуры (RTD), резистора с большим температурным коэффициентом, (сопротивлением, зависящим от температуры). Сопротивление считывается путем использования резисторного делителя, прикрепленного к выходной ножке микроконтроллера. Резисторный делитель подтягивается к 5 В при осуществлении измерения. Включение и отключение резисторного делителя экономит мощность и снижает саморазогрев резистора. Другие способы измерения температуры включают в себя использование биметаллических соединений, т.е. терморпар, или других устройств, имеющих транзисторные схемы с известным температурным коэффициентом, или инфракрасных регистрирующих устройств.

Эти измерения можно использовать в качестве входных сигналов в данную модель, описывающую поведение данного источника энергии в течение времени. Например, было показано, что большие изменения тока батареи приводят к снижению номинальной емкости батареи Li-SOCL2. Для этой химии батареи знать профиль тока полезно для определения оставшейся емкости батареи.

Схема состояния заряда может содержать диспетчер и в некоторых вариантах осуществления электрически соединена модульными шинными накопителями и запрограммирована осуществлять связь с соединительной схемой, схемой EMS, схемой переключения и/или одним или более источниками энергии (например, батареей или цепочкой суперконденсаторов) через диспетчер схемы. Схема состояния заряда также может содержать внешнюю шину связи, реализованную посредством подтягивающих резисторов; регулятор напряжения, используемый для установления нужного напряжения для диспетчера и другого цифрового электронного оборудования; схему контроля тока; однонаправленное разъединение нагрузки, причем р-канальный MOSFET отпирается посредством сигнала управления на понижающий п-канальный MOSFET и отношение резисторного делителя выбирается для надлежащего смещения р-канального MOSFET на низких уровнях напряжения, тогда как стабилитрон служит для ограничения мак-

симального напряжения между истоком и затвором MOSFET; и/или цепи резисторного делителя и буферный конденсатор АЦП, необходимый для считывания аналогового напряжения.

#### Схема системы управления суперконденсатором (UMS)

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии содержат схему системы управления суперконденсатором (UMS). Схема системы управления суперконденсатором имеет главной своей целью поддержание работоспособности отдельного элемента питания в ходе эксплуатации. Схема UMS может измерять напряжения отдельных элементов питания или напряжения поднабора элементов питания в цепочке и их скорости заряда/разряда. Диспетчер схемы UMS использует эти параметры для определения работоспособности элемента питания, которые могут передаваться на схему системы управления электронным оборудованием (EMS) для включения в алгоритмы оптимизации и журналы данных.

Дополнительно в некоторых вариантах осуществления схема UMS отвечает за балансировку и шунтирование элементов питания. Балансировка элементов питания препятствует перезарядке и повреждению суперконденсаторов в ходе эксплуатации. Шунтирование элемента питания обводит зарядный и разрядный ток вокруг отдельного элемента питания. Поэтому шунтирование элемента питания используется для сохранения эффективной работы в случае, когда элемент питания сильно поврежден или демонстрирует необычно высокого эквивалентного последовательного сопротивления (ESR).

Схема UMS способна определять работоспособность отдельного элемента питания, часто измеряя напряжение элемента питания и подавая зарядный ток на EMS. Информация работоспособности элемента питания может передаваться на схему EMS по модульной шине связи, например, через модульные шинные накопители. Затем информация работоспособности элемента питания может использоваться схемой EMS для изменения поведения системы. Например, предположим, что схема EMS поддерживает высокую мощность, выводимую на нагрузку, путем регулировки до высокого выходного напряжения конденсатора. Если же схема UMS сообщает о повреждении одного или нескольких суперконденсаторов, EMS может выбирать снижение выходного напряжения конденсатора. Более низкое выходное напряжение снижает возможности выходной мощности, но помогает сохранить работоспособность суперконденсатора. Таким образом, в одном варианте осуществления схема UMS предлагает удобный способ независимого управления уровнями напряжения элемента питания, отслеживая работоспособность отдельного элемента питания и цепочки суперконденсаторов.

В некоторых вариантах осуществления диспетчер схемы UMS может осуществлять связь с ядром UMS через внутреннюю шину связи схемы. В этом примере сигналы данных и команд переносятся по внутренней шине связи. Диспетчер управляет ядром UMS для измерения напряжения каждого элемента питания. В зависимости от состояния заряда диспетчер предписывает ядру UMS балансировать каждый элемент питания. В конкретных вариантах осуществления временем и частотой балансировки управляет диспетчер для оптимизации работоспособности элемента питания и для минимизации разогрева, который может возникать при балансировке. Работоспособность элемента питания может отслеживаться диспетчером и передаваться диспетчером на схему EMS через модульную шину. Дополнительно в некоторых вариантах осуществления, путем использования внешних устройств, например MOSFET, диспетчер может принимать решение на шунтирование данного элемента питания.

Ядро UMS имеет схему, которая позволяет измерять напряжение отдельных элементов питания. Дополнительно ядро UMS способно удалять заряд из отдельных элементов питания для снижения напряжения элемента питания. В одном варианте осуществления, ядро UMS балансирует отдельные элементы питания путем рассеивания избыточной энергии через пассивный компонент, например сопротивление. В другом варианте осуществления заряд можно удалять из одного элемента питания с высоким напряжением и переносить на другой элемент питания с низким напряжением.

Перенос заряда можно осуществлять с использованием внешних конденсаторов или дросселей для хранения и высвобождения избыточного заряда.

В некоторых вариантах осуществления, поскольку балансировка и отслеживание элементов питания не обязано происходить непрерывно, т.е. всегда, схема UMS может входить в состояние сна низкой мощности. Например, схема EMS может управлять схемой UMS через модульную шину связи таким образом, что (1) когда не используется, схема UMS может переходить в режим работы с низким энергопотреблением, и (2) при приеме вызова схема EMS может инициировать отслеживание и балансировку элемент питания через диспетчер UMS.

В некоторых вариантах осуществления модульная шина допускает двунаправленную связь между диспетчером схемы UMS, схемой EMS и другими диспетчерскими узлами на шине связи. Мощность также может поступать на диспетчер схемы UMS через модульную шину.

В определенных применениях схема балансировки может автоматически балансировать элемент питания, когда напряжение элемента питания превышает установленное напряжение. Это поведение позволяет в реальном времени осуществлять регулировки напряжения на цепочке суперконденсаторов. Схема UMS может быть выполнена с возможностью осуществления связи на модульной шине, что позволяет в реальном времени обновлять поведение балансировки элементов питания. Кроме того, связь на модульной шине позволяет сохранять данные вне схемы UMS. Эта модульность позволяет схеме UMS

иметь широкий диапазон применений.

В некоторых вариантах осуществления диспетчер и модульная шина позволяют вносить изменения в требования к суперконденсаторам и системе, например разрешающую способность журналирования и срок эксплуатации, без необходимости в обширной перестройке схемы UMS.

В некоторых вариантах осуществления информация работоспособности элемента питания может храниться локально на схеме UMS или сохраняться посредством EMS после передачи по модульной шине. Информация об элементе питания может быть полезна при определении, нужно ли заменить батарею суперконденсаторов после использования или нужно ли обслуживать отдельные элементы питания.

В некоторых вариантах осуществления, когда элемент питания находится при высоком напряжении, схема UMS способна разряжать этот элемент питания до более низкого напряжения. Благодаря разрядке элемент питания до более низкого напряжения, срок эксплуатации элемента питания удлинится. Поддержание сбалансированного напряжения элемента питания по всей цепочке позволяет оптимизировать срок эксплуатации конденсаторной цепочки.

В определенных случаях разрядка элемент питания приводит к выделению избыточного тепла, которое может повредить окружающее электронное оборудование. Кроме того, часто бывает предпочтительно управлять разрядным током из элемента питания для предотвращения повреждения элемента питания или избыточных тепловых потерь. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления схема UMS способна управлять профилем разрядного тока путем распределения разрядных токов по большой площади схема, что позволяет улучшить тепловое управление и повысить работоспособность элемента питания. Например, тепло, обусловленное событием разряда, часто локализуется в секции схемы UMS. Если необходимо сбалансировать несколько элементов питания, для уменьшения всплесков температуры предпочтительно не балансировать элементы питания, которые вызывают всплески температуры в соседнем местоположении на схеме UMS. Поэтому схема UMS управляет всплесками температуры, выбирая, какие элементы питания балансировать, на основании их пространственного местоположения на схеме UMS. Этими элементами может управлять диспетчер и дополнительно может управлять EMS и/или их комбинация.

В некоторых вариантах осуществления схема UMS также управляет всплесками температуры при выполнении операций балансировки путем управления временем разряда. Например, вместо того, чтобы постоянно разряжать суперконденсатор до достижения желаемого напряжения элемента питания, диспетчер выбирает режим периодического начала и остановки зарядки. Увеличивая коэффициент заполнения между событиями разряда, можно ослаблять всплески температуры, обусловленные разрядным током элемента питания.

В некоторых вариантах осуществления поврежденный элемент питания может демонстрировать сниженную емкость по сравнению с окружающими элементами питания. В этом случае элемент питания демонстрирует более высокие скорости заряда и разряда. В этом случае нормальные операции балансировки будут ослаблять любое повреждение элемента питания. Аналогично в некоторых вариантах осуществления элемент питания может демонстрировать увеличенный ток утечки, приводящий к постоянному снижению напряжения элемента питания. Пониженное напряжение на элементе питания требует, чтобы другие элементы питания поддерживали более высокое среднее напряжение. Опять же, нормальные операции балансировки в этом случае будут ослаблять повреждение элементов питания.

В некоторых вариантах осуществления элемент питания может повреждаться настолько, что будет демонстрировать очень высокое ESR, снижая коммутируемую мощность всей конденсаторной цепочки. В этих случаях обычные операции балансировки не решают проблему. В настоящий момент схема UMS может выбирать шунтирование любого данного элемента питания. Шунтирование элемента питания может достигаться с помощью нелинейных устройств, например внешних диодов, которые шунтируют зарядный и разрядный ток, в связи с чем каждый второй элемент питания должен хранить более высокое среднее напряжение. Однако возможность коммутируемой мощности цепочки остается. В некоторых вариантах осуществления, где существует несколько батарей и/или последовательно соединенных суперконденсаторов или параллельно-последовательных соединений, важно отслеживать и балансировать состояние заряда отдельных элементов питания. Схема UMS содержит необходимую схему для отслеживания и балансирования цепочки суперконденсаторов, при этом включающую в себя дополнительные функциональные возможности для повышения эффективности, работоспособности системы и улучшения теплового управления.

Схема UMS в некоторых вариантах осуществления содержит диспетчер, электрически соединена модульными шинными накопителями и запрограммирована осуществлять связь с соединительной схемой, схемой EMS, схемой состояния заряда, схемой переключения или другими схемами в раскрытых здесь устройствах и системах ЭМ телеметрии, и/или одним или более источниками энергии (например, батареей, проводной линией или генератором). Схема UMS также может содержать интегральную схему (ИС) или контроллер для осуществления функций UMS, переключающие устройства, например транзисторы или диоды, и различные вспомогательные компоненты. ИС можно выбирать из готовых монолитных управляющих ИС.

### Схема системы управления электронным оборудованием (EMS)

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии содержат схему EMS. Схема EMS является многофункциональным устройством, способным к одному или более из следующего: сбор и регистрация данных производительности системы и условий окружающей среды; управление другими схемами; осуществление связи с внешними системами для программирования и передачи данных.

В некоторых вариантах осуществления оборудование схемы EMS плотно объединено с окружающим оборудованием, что позволяет управлять и отслеживать поведение всей системы. Оборудование может дополняться интеллектуальным программно-аппаратным обеспечением, которое управляет работой нескольких других микроконтроллеров, с использованием внешних датчиков и связью между микропроцессорами для интеллектуальной оптимизации производительности системы. Это позволяет получить чрезвычайно универсальную и работоспособную систему, которую можно адаптировать в реальном времени к изменениям окружающей среды и требованиям.

В некоторых вариантах осуществления схема EMS собирает и регистрирует данные производительности системы и условия окружающей среды. Схема EMS, например, посредством диспетчера схемы EMS отвечает за запись данных датчика непосредственно от внешних датчиков и посредством связи по модульной шине от других схем. Эти данные могут использоваться для оценивания производительности системы для оптимизации. В общем случае значимые события также могут регистрироваться для дальнейшего оценивания.

В некоторых вариантах осуществления схема EMS управляет окружающими схемами для оптимизации производительности системы. Например, схема EMS может управлять зарядным током схемы UCC. Зарядный ток можно выбирать на основании данных, собранных по системе посредством датчиков и связи со схемами. Схема EMS также может по возможности переводить различные компоненты схемы в состояние сна низкой мощности для экономии мощности.

В некоторых вариантах осуществления схема EMS осуществляет связь с внешними системами для программирования и/или передачи данных. Внешняя шина связи на схеме EMS позволяет осуществлять связь с окружением оборудования и программного обеспечения. Это соединение позволяет перепрограммировать схему EMS при нахождении в системе. Затем EMS может перепрограммировать другие диспетчеры или управлять работой других диспетчеров, эффективно перепрограммируя всю систему. Внешняя шина связи также используется для передачи журналов данных из внутренней памяти во внешнее программное обеспечение. Таким образом, данные можно собирать в ходе эксплуатации и анализировать после операции внешней аппаратурой, например внешним ПК.

В одном варианте осуществления схема системы управления электронным оборудованием (EMS) служит для сбора информации от доступных диспетчеров и датчиков и зависимого управления поведением системы. EMS также обеспечивает интерфейс с внешним электронным оборудованием, например программным обеспечением ПК или разработчиками программно-аппаратного обеспечения. Через внешнюю шину связи можно программировать ядро схемы EMS, например диспетчер схемы EMS, и, следовательно, все остальные диспетчеры, подключенные к схеме EMS.

Ядро схемы EMS может состоять из одной или более цифровых схем, например микроконтроллеров, микропроцессора или блоков вентиляционной матрицы, программируемой пользователем (FPGA). В некоторых вариантах осуществления ядро схемы EMS подключено к схеме соединения/разъединения нагрузки, которая позволяет соединять цепочку суперконденсаторов с внешней нагрузкой или разъединять их. Конденсаторная цепочка может отсоединяться от нагрузки, если, например, напряжение на конденсаторной цепочке слишком низко или слишком высоко для конкретной нагрузки. В ходе нормальной эксплуатации нагрузка подключена к суперконденсаторам через схему возбуждения нагрузки.

В некоторых вариантах осуществления схема EMS подключена к дополнительным датчикам, которые не сопряжены с другими диспетчерами. Эти датчики могут включать в себя один или более из группы, состоящей из датчика температуры, датчика тока нагрузки, датчика входного тока батареи, датчика входного напряжения и датчика напряжения на конденсаторной цепочке.

Схема EMS может быть подключена к другим схемам через модульную шину. Шина связи может содержать линию данных, линию тактового сигнала и линию разрешения. В некоторых вариантах осуществления диспетчеры сопрягаются с линиями данных, тактового сигнала и разрешения. Кроме того, каждому диспетчеру может быть предписан идентификационный адрес.

В одном варианте осуществления для осуществления связи по внутренней шине связи схема EMS активирует линию разрешения и отправляет по линиям данных и тактового сигнала идентификационный адрес целевого диспетчера, сопровождаемый инструкциями команды желаемых данных. Когда диспетчеры видят, что линия разрешения активирована, каждый диспетчер будет отслеживать предписанный ему идентификационный адрес. Если диспетчер считывает свой идентификационный адрес, он будет продолжать отслеживать сообщение схемы EMS и соответственно отвечать.

Таким образом, достигается связь между диспетчером схемы EMS и всеми остальными диспетчерами. В некоторых вариантах осуществления схема EMS сопрягается со схемой UCC и управляет зарядным током схемы UCC. Зарядный ток управляется для регулировки выходного напряжения суперкон-

денсатора.

Управление с обратной связью и/или эвристические методы используются, чтобы гарантировать безопасную и эффективную работу электронного оборудования, суперконденсаторов и входной стопки батарей. В некоторых вариантах осуществления схема EMS сопрягается со схемой переключения для записи и, возможно, управления состоянием соединения батареи. Состояние схемы переключения и события переключения можно регистрировать посредством EMS и внутренней/внешней памяти. В некоторых вариантах осуществления схема EMS сопрягается со схемой UMS для отслеживания и регистрации работоспособности элемента питания и/или событий разряда.

В некоторых вариантах осуществления схема EMS способна переводить диспетчеры в состояние низкой мощности для снижения энергопотребления и оптимизации поведения при эксплуатации. Как описано здесь, схема EMS имеет уникальную аппаратную структуру, которая позволяет обмениваться данными с самыми разнообразными датчиками, дает ей различные преимущества, которые в общем случае служат для оптимизации одного или более эксплуатационных параметров, например эффективности, выходной мощности, срока эксплуатации батареи или срока эксплуатации конденсатора.

Схема EMS в некоторых вариантах осуществления содержит диспетчер, электрически соединенный модульными шинными накопителями и запрограммированный осуществлять связь с соединительной схемой, схемой UMS, схемой состояния заряда, схемой переключения и/или одним или более источниками энергии (например, батареями или цепочкой суперконденсаторов) через диспетчер схемы.

Схема EMS также может содержать по меньшей мере один цифровой контроллер, например микроконтроллер, микропроцессор или FPGA, и различные вспомогательные компоненты.

#### Схема возбуждения нагрузки

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут содержать схему возбуждения нагрузки, например схему ЭМ телеметрии.

Схема возбуждения нагрузки в некоторых вариантах осуществления действует как преобразователь мощности, который может обеспечивать аспект регулировки, например регулировку напряжения на выходе устройства или системы ЭМ телеметрии, несмотря на другой аспект сильно изменяющегося напряжения. Например, когда источник питания является прерывистым, например обеспечивает мощность на несколько минут и затем перестает обеспечивать мощность на несколько минут, раскрытому здесь устройству или системе ЭМ телеметрии может потребоваться выдавать мощность на нагрузку, например антенну, когда источник питания не обеспечивает мощность. В этом примере HTRESO может выдавать запасенную энергию для подачи питания в течение периода, когда источник питания не обеспечивает мощность. Если HTRESO является конденсатором, например суперконденсатором, ограниченная энергоемкость упомянутого HTRESO может приводить к значительному изменению напряжения упомянутого HTRESO в течение периода, когда устройства или системы ЭМ телеметрии передают данные, т.е. подает мощность на антенну, но источник питания не обеспечивает мощность. Схема возбуждения нагрузки, например схема ЭМ телеметрии, может применяться в этом примере для обеспечения регулируемого напряжения на нагрузке, несмотря на значительное изменение напряжения HTRESO. Схема возбуждения нагрузки может функционировать как преобразователь мощности, что позволяет ей обрабатывать мощность, отбираемую от упомянутого HTRESO и доставляемую на упомянутую нагрузку, и также включать в себя упомянутые аспекты регулировки, т.е. регулируемый преобразователь мощности, в этом примере, выходной преобразователь мощности с регулировкой напряжения. В общем случае аспект регулировки обеспечивается методами регулировки с обратной связью, например, описанного здесь типа.

В некоторых вариантах осуществления интегральная схема (ИС) контроллера в центре схемы возбуждения нагрузки, например схемы ЭМ телеметрии, электрически соединена модульными шинными накопителями и запрограммирована осуществлять связь с остальными раскрытыми здесь устройствами и системами ЭМ телеметрии. Например, в некоторых вариантах осуществления остальные раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут содержать различные схемы.

Неограничительные примеры включают в себя соединительную схему, по меньшей мере одну схему датчика, схему зарядки суперконденсатора, схему системы управления суперконденсатором, коммутиционную схему, схему состояния заряда и схему электронной системы управления.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии дополнительно содержат модульные монтажные платы. В дополнительных вариантах осуществления модульные монтажные платы являются круглыми. В дополнительных вариантах осуществления модульные монтажные платы уложены в стопку. В дополнительных вариантах осуществления модульные монтажные платы являются круглыми и уложены в стопку.

В некоторых вариантах осуществления источник питания содержит по меньшей мере одно из проводного источника питания, батареи и генератора.

В некоторых вариантах осуществления источник питания содержит по меньшей мере одну батарею. В этом варианте осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут дополнительно содержать схему переключения, в частности когда источник питания содержит более одной батареи. В конкретных вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии дополнительно содержат плату схемы состояния заряда.

В некоторых вариантах осуществления источник питания содержит проводную линию и по меньшей мере одну батарею, например батарею аварийного питания. В этих вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут дополнительно содержать схему переключения. В конкретных вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии дополнительно содержат схему состояния заряда.

В некоторых вариантах осуществления источник питания содержит генератор.

В некоторых вариантах осуществления источник питания содержит генератор и по меньшей мере одну батарею, например батарею аварийного питания. В этом варианте осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут дополнительно содержать схему переключения. В конкретных вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии дополнительно содержат схему состояния заряда.

В некоторых вариантах осуществления монтажные платы могут быть объединены для обеспечения многофункциональных монтажных плат.

Схема возбуждения нагрузки может работать при высоких температурах, например более 75°C например более 125°C, например 150°C или более, и может содержать любое из регулируемого управления зарядным током, резервной защиты от повышенного напряжения для батареи конденсатора и широкого диапазона входного/выходного напряжения, и регулировки в режиме напряжения.

В некоторых вариантах осуществления возбудитель нагрузки заряжает конденсатор, например суперконденсатор. В этих вариантах осуществления регулируемый ток может устанавливаться цифровыми средствами с помощью модулированного по ширине импульса (ШИМ) сигнала управления, созданного диспетчером и фильтром низких частот, для выработки аналогового напряжения, которое ИС контроллера интерпретирует как отсутствие возможности для ИС контроллера осуществлять связь цифровыми средствами. ИС контроллера выполнена с возможностью регулировки выходного тока, например зарядного тока суперконденсатора. Посредством управления зарядным током схема UCC способна регулировать напряжение на суперконденсаторах, например посредством гистерезисного управления, в котором напряжение поддерживается в полосе напряжения посредством двухпозиционного управления ИС.

Схема возбуждения нагрузки в некоторых вариантах осуществления допускает управление цифровыми средствами. В дополнительных вариантах осуществления схема возбуждения нагрузки управляется цифровыми средствами системой управления электронным оборудованием (EMS). В дополнительных вариантах осуществления схема возбуждения нагрузки может входить в спящий режим для экономии энергии, и этот аспект может обеспечиваться за счет цифрового управления.

Контроллер возбудителя нагрузки можно также реализовать аналоговыми средствами. В такой конфигурации управление с обратной связью в общем случае осуществляется с использованием таких компонентов как операционные усилители, резисторы и конденсаторы. Несмотря на эффективность, небольшим недостатком этой конфигурации является характерное отсутствие гибкости в управлении зарядным током и выходным напряжением.

В некоторых вариантах осуществления интегральная схема (ИС) контроллера в центре схемы возбуждения нагрузки электрически соединена модульными шинными накопителями и запрограммирована осуществлять связь с соединительной схемой, схемой EMS, схемой переключения и/или одним или более источниками энергии (например, батареей, генератором или проводной линией). Схема возбуждения нагрузки также может содержать резисторную цепь для дискретизации напряжения, понижающую силовую секцию (например, понижающий преобразователь), повышающую силовую секцию (например, повышающий преобразователь), резистор контроля тока дросселя, необходимый для управления в режиме тока, и/или резистор контроля зарядного тока, необходимый для регулировки зарядного тока.

В одном варианте осуществления контроллер схемы возбуждения нагрузки реализован цифровыми средствами. Преимущества такой системы включают в себя сокращение количества компонентов и программируемость. В некоторых вариантах осуществления управление цепью переключателей осуществляется микроконтроллером/микропроцессором.

#### Схема усилителя

Обработка высоких уровней мощности часто требует очень эффективного силового электронного оборудования. Недостаточная эффективность силового электронного оборудования приводит к всплескам температуры, которые могут повредить электронное оборудование и суперконденсаторы. Поэтому для обработки значительной мощности часто требуется высокоэффективное силовое электронное оборудование. Топология класса D широко применяется в технике, поскольку предназначена для работы с высокой эффективностью. Высокая эффективность достигается за счет того, что выходные транзисторы работают либо в полностью отпертом, либо в запертом состоянии. Будучи полностью отперты, MOSFET в идеале можно рассматривать как короткозамыкатели, не имеющие внутреннего сопротивления. В этом состоянии через выходные транзисторы течет большой ток, но без падения напряжения, благодаря чему не происходит потери мощности. В своем запертом состоянии MOSFET в идеале полностью блокируют ток при высоком напряжении, благодаря чему не происходит потери мощности. В настоящем варианте осуществления MOSFET не считаются идеальными переключателями, но зато потери мощности снижа-

ются благодаря правильно выбранным частотам переключения и компонентам с низкими потерями. Выше по существу описаны основные принципы, связанные с традиционной работой в коммутационном режиме. Когда работа в коммутационном режиме применяется к усилителям, эти усилители часто называются усилителями класса D. Источники питания в коммутационном режиме настоящих устройств и систем ЭМ телеметрии обладают высокой производительностью, например, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 70% или по меньшей мере 90%.

В некоторых вариантах осуществления усилитель класса D позволяет добиться значительно более высокой мощности по сравнению с существующими решениями. В конкретном варианте осуществления усилитель содержит шесть главных компонентов, соединенных в усилителе класса D с конфигурацией переключения типа полный мост, т.е. также совместно именуемых усилителем класса D: (1) высоковольтную шину конденсатора; (2) модулятор; (3) возбудители устройств; (4) коммутационную секцию; (5) фильтры низких частот для сигнала; (6) импеданс нагрузки.

#### Высоковольтная шина конденсатора

Высоковольтная шина конденсатора подает положительное шинное напряжение на выходные транзисторы. Для доставки значительной мощности на нагрузку важно, чтобы высоковольтная шина конденсатора поддерживала низкий импеданс, минимизируя потери мощности при больших нагрузках.

#### Модулятор

Модулятор имеет функцию модулирования сигнала, подаваемого на нагрузку, например, для кодирования телеметрических данных в сигнале. Модулятор может функционировать различными способами. Модулятор может модулировать несколько величин, например мощность, напряжение, ток, частоту, фазу, ширину импульса, позицию импульса, амплитуду импульса и их комбинации.

Пример способа открытого цикла модулирования амплитуды напряжения, подаваемого на нагрузку, включает в себя обеспечение изменяющегося со временем аналогового сигнала как изменяющегося со временем опорного сигнала, поступающего на схему широтно-импульсного модулятора, например компаратор, имеющий два входа, один из которых является упомянутым опорным сигналом, а другой является сигналом треугольной волны, осциллирующим с желаемой частотой переключения коммутационного каскада, причем схема широтно-импульсного модулятора обеспечивает модулированный по ширине импульса сигнал управления возбудителем затвора. Благодаря подаче изменяющегося со временем опорного напряжения на схему широтно-импульсного модулятора, коэффициент заполнения сигнала управления возбудителем затвора также изменяется, причем коэффициент заполнения упомянутого сигнала управления, в свою очередь, может управлять мгновенным напряжением, подаваемым на нагрузку.

Пример способа закрытого цикла модулирования амплитуды напряжения, подаваемого на нагрузку, включает в себя обеспечение изменяющегося со временем аналогового сигнала как изменяющегося со временем опорного сигнала, поступающего на схему управления с обратной связью, причем схема управления с обратной связью выполнена с возможностью регулировки напряжения, подаваемого на нагрузку, различными способами, известными в технике. В общем случае схема обратной связи содержит аспекты измерения сигналов обратной связи, усилитель ошибки, динамический компенсатор, широтно-импульсный модулятор, возбудитель затвора, который может содержать схему запаздывания. Динамический компенсатор в общем случае предназначен для достижения комбинации устойчивости закрытого цикла и динамики закрытого цикла.

В различных вариантах осуществления модулятор может быть выполнен с возможностью осуществления любых пригодных схем кодирования или передачи данных, известных в технике. Заявители установили, что схемы кодирования на статистической основе особенно пригодны для использования в условиях шума, присутствующих в обычных буровых работах. Например, в различных вариантах осуществления различные фрагменты данных, предназначенных для передачи, связаны со случайными или псевдослучайными последовательностями чисел. Для передачи данного фрагмента данных сигнал, модулированный соответствующим случайным сигналом, передаваемым от скважинного передатчика. Наземный приемник принимает передачу, объединенную с возможным шумом. Приемник использует статистические методы (например, метод наименьших квадратов) для определения, какая из случайных или псевдослучайных последовательностей с наибольшей вероятностью соответствует принятому сигналу. Затем эта "наиболее вероятная" последовательность используется для определения передаваемых данных. Такие методы особенно пригодны для регистрации передаваемого сигнала при наличии неслучайного шума, например шума сети электроснабжения, шума двигателя буровой установки, генератора или других электрических компонентов, обычно используемых в буровых работах.

Можно использовать такие различные методы на статистической основе, известные из области связи, например методы линейного предсказания, например линейное предсказание с кодовым возбуждением, линейное предсказание с возбуждением векторной суммой, линейное предсказание с возбуждением алгебраическим кодом, множественный доступ с временным разделением (например, наподобие используемого в стандартах сотовой связи, например GSM), множественный доступ с кодовым разделением, множественный доступ с частотным разделением, множественный доступ с ортогональным частотным разделением, расширенный спектр, спектр скачкообразной перестройки частоты и пр.

### Возбудители устройств

Возбудители устройств в общем случае обеспечивают усиление тока или напряжения, сдвиг уровня напряжения, защиту устройства и в ряде случаев формирование запаздывания сигнала для надлежащего возбуждения входов транзистора. В общем случае возбудители устройств преобразуют сигнал управления низкого уровня в сигнал, пригодный для управления устройством. Иллюстративные устройства включают в себя биполярные транзисторы, MOSFET, JFET (полевые транзисторы с p-n переходом), суперплоскостные транзисторы или MOSFET, кремниевые выпрямители, биполярные транзисторы с изолированным затвором и пр. Возбудители затвора могут обеспечиваться как дискретные реализации или как готовые или монолитные интегральные схемы.

### Коммутационная секция

Коммутационная секция, содержащая в общем случае, содержит выходные транзисторные переключатели, обрабатывает входное питание для выдачи преобразованной мощности на нагрузку. Иллюстративная коммутационная секция выполнена в конфигурации полного моста, в которой два из транзисторов отперты в любое данное время. В одном состоянии два транзистора отпираются, обеспечивая протекание тока через нагрузку в одном направлении. В другом состоянии другие два транзистора отпираются, обеспечивая протекание тока через нагрузку в противоположном направлении.

### Фильтрация

Каждый из транзисторов переключается с частотой значительно превышающей полосу опорного сигнала. Для точного воссоздания усиленной версии опорного сигнала на нагрузке, фильтры низких частот используются для отфильтровывания высокочастотного коммутационного сигнала, в идеале оставляя только низкочастотный опорный сигнал, передаваемый через нагрузку. Фильтры низких частот представляют собой реактивные компоненты для предотвращения потерь на резистивных компонентах. Фильтрация между коммутационной секцией и нагрузкой призвана пропускать желаемое частотное содержимое в модулированном сигнале на нагрузку. При этом фильтрация может иметь достаточно ограниченную полосу для вырезания нежелательного частотного содержимого.

### Нагрузка

В настоящем изобретении импеданс нагрузки представляет среду, в которой передается телеметрический сигнал. Импедансы нагрузки обычно содержат поведение высокого порядка, которое определяет распространение сигнала в пространстве. Однако простые модели представлены мощным резистором.

Хотя коммутационные усилители могут вносить в выходной сигнал коммутационные артефакты, в некоторых вариантах осуществления эти артефакты минимизируются путем использования правильно выбранных частот переключения и/или правильно заданной фильтрации. В конкретном варианте осуществления выходной фильтр сохраняет целостность сигнала путем существенного ослабления коммутационных артефактов одновременно с сохранением информации, содержащейся в опорном сигнале. Выходной фильтр также может создавать минимальные потери мощности благодаря наличию компонентов с очень низким сопротивлением.

### Иллюстративные устройства и системы ЭМ телеметрии

На фиг. 2 изображены некоторые иллюстративные варианты осуществления раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии. В частности, в некоторых вариантах осуществления система 100 ЭМ телеметрии включает в себя скважинный источник питания (например, комплект батарей), электрически подключенный к генератору ЭМ сигнала относительно более низкой мощности и раскрытому здесь устройству ЭМ телеметрии. В некоторых вариантах осуществления устройство ЭМ телеметрии (например, включающее в себя HTRESO описанного здесь типа со способностью выводить высокую импульсную мощность) может выводить ЭМ сигнал более высокой мощности, чем генератор ЭМ сигнала более низкой мощности. В некоторых вариантах осуществления устройство ЭМ телеметрии может представлять собой "доработанное" устройство, подлежащее добавлению в существующую систему ЭМ телеметрии для обеспечения повышенной производительности, например повышенной мощности выходного сигнала.

Генератор ЭМ сигнала отбирает мощность от батареи и принимает сигналы данных от различной скважинной аппаратуры (например, датчика направления, инструмента ядерного магнитного резонанса, колонкового бурового инструмента, акустического инструмента, инструмента плотности нейтронов, инструмента гамма-детектора, инструмента сейсмических измерений, телеметрического инструмента, инструмента удельного сопротивления и/или опробователя пласта). Генератор ЭМ сигнала выдает, например, синусоидальный сигнал, который поступает на устройство ЭМ телеметрии. Устройство ЭМ телеметрии усиливает ЭМ сигнал низкой мощности и передает ЭМ сигнал высокой мощности (например, >50, >100, >150, >200, >500, >1000, >1250, >1500, >1750, >2000 Вт или более, например в диапазоне от 20 до 2000 Вт или любом ее поддиапазоне) на антенну. Таким образом, ЭМ сигнал высокой мощности передается на поверхность, преодолевая ограничения традиционных инструментов ЭМ телеметрии относительно низкой мощности.

Заметим, что в некоторых вариантах осуществления генератор ЭМ сигнала низкой мощности может быть исключен, и устройство ЭМ телеметрии может сопрягаться непосредственно с сигналами данных от различной скважинной аппаратуры для формирования выходного телеметрического сигнала.

Компоненты описанных здесь устройств и систем ЭМ телеметрии могут быть электрически соединены различными известными средствами. Например, некоторые или все из компонентов могут быть соединены через шину питания, включенную в скважинный буровой снаряд ("шину питания бурового снаряда" или "ТРВ"). ТРВ может обеспечивать мощность и/или данные на единичном канале или по нескольким каналам. Альтернативно или дополнительно некоторые или все из компонентов описанных здесь устройств и систем ЭМ телеметрии могут быть соединены внутренней шинной системой, которая отделена от ТРВ, которая проходит по всему буровому снаряду. Внутренняя шинная система может использоваться для передачи сигналов данных и/или мощности в описанных здесь устройствах и системах ЭМ телеметрии. Кроме того, некоторые соединения (например, между устройством ЭМ телеметрии и антенной в вышеприведенном примере, показанном на фиг. 1) могут быть реализованы как простое проводное соединение между положительным и отрицательным выходными выводами. Иллюстративный вариант осуществления показан со ссылкой на фиг. 3А и В.

Как показано на фиг. 3А и В, некоторые варианты осуществления раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии может содержать схему управления мощностью (например, включающую в себя схему EMS, UCC и/или другие вышеописанные компоненты управления мощностью), которым может быть, например, источник питания в коммутационном режиме с высокой эксплуатационной эффективностью для эффективного отбора мощности от скважинного источника питания, который может представлять собой комплект батарей, генератор или наземный источник питания (например, генератор, подключенный к буровому снаряду проводной линией). Схема управления мощностью эффективно управляет энергопотреблением от источника питания и зарядкой HTRESД, выполненного с возможностью отвечать потребностям в мощности устройства ЭМ телеметрии высокой мощности (например, батареи суперконденсаторов, например, цепочки суперконденсаторов, содержащей 1-100 суперконденсаторов и соответствующее электронное оборудование).

В различных вариантах осуществления HTRESД может характеризоваться объемной плотностью хранения мощности более 30, 40, 50, 75, 100, 110, 120 кВт/л или более, например в диапазоне от 30 до 120 кВт/л или любом его поддиапазоне. Соответственно HTRESД может облегчать передачу высокой мощности, поддерживая при этом формфактор, пригодный для размещения в условиях нехватки свободного места, часто встречающихся в скважинных применениях. Например, в некоторых вариантах осуществления HTRESД может быть в общем случае цилиндрическим и удлиненным, с наружным диаметром (OD) менее 36, 12, 6, 3, 2, 1, 0,5 дюйма или менее, например в диапазоне от 0,5 до 36 дюймов или любом его поддиапазоне, например от 0,5 до 3 дюймов.

Схема ЭМ телеметрии, которая также может содержать источник питания в коммутационном режиме с высокой эксплуатационной эффективностью, принимает телеметрический сигнал низкой мощности от генератора сигнала ЭМ телеметрии, который сам по себе может быть традиционным инструментом ЭМ телеметрии и усиливает сигнал для выработки сигнала ЭМ телеметрии высокой мощности. Схема ЭМ телеметрии может принимать сигнал ЭМ телеметрии низкой мощности от соединения с генератором ЭМ сигнала, отдельного от ТРВ через внутреннюю шину телеметрической системы. Схема ЭМ телеметрии выводит сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности на антенну, подключенную к положительному и отрицательному выходным выводам схемы ЭМ телеметрии. HTRESД выдает необходимый импульс мощности на схему ЭМ телеметрии для усиления сигнала ЭМ телеметрии.

В другом варианте осуществления схема ЭМ телеметрии может включать в себя любой пригодный приемник для регистрации и обработки телеметрического сигнала низкой мощности. Например, генератор ЭМ сигнала низкой мощности может кодировать пакеты данных с использованием ЛЧМ-импульс кодирование, где ЛЧМ указывает качание частоты. Схема ЭМ телеметрии может непрерывно регистрировать частоту телеметрического сигнала низкой мощности для регистрации ЛЧМ-импульсов и декодировать данные, например, на основании измеренных частотных сдвигов в телеметрическом сигнале низкой мощности.

Согласно варианту осуществления, показанному на фиг. 3А, схема ЭМ телеметрии может принимать мощность и данные через внутреннюю шину телеметрической системы. В этих вариантах осуществления схема ЭМ телеметрии может отбирать мощность от HTRESД как для импульсов высокой мощности, так и для общей работы схемы. Альтернативно или дополнительно, как показано на фиг. 3В, схема ЭМ телеметрии может принимать мощность как от внутренней шины телеметрической системы, так и от источника питания, которая может поступать через ТРВ. В этих вариантах осуществления схема ЭМ телеметрии может отбирать слабый ток от скважинного источника питания для общей работы схемы и импульсы высокой мощности от HTRESД на протяжении окон ЭМ передачи высокой мощности. Схема ЭМ телеметрии совместно со схемой управления мощностью управляет общим энергопотреблением для максимизации эксплуатационной эффективности раскрытых здесь устройств, систем и способов ЭМ телеметрии.

Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны доставлять высокую мощность на скважинную антенну для ЭМ передачи высокой мощности, например от около 20 до около 2000 Вт или в любом его поддиапазоне, например около 50-250 Вт, около 75-250 Вт, около 100-250 Вт. Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны работать в скважинной среде при напряжении от

около 8 до около 300 В или более и силе тока от около 0,5 до около 35А или более. Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии также способны вырабатывать импульсы высокой мощности до около 400 Вт или более, например 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 Вт или более.

В некоторых вариантах осуществления напряжение на каждом антенном электроде может изменяться в пределах, например,  $\pm 10$  В,  $\pm 50$  В,  $\pm 100$  В,  $\pm 200$  В,  $\pm 300$  В,  $\pm 400$  В,  $\pm 500$  В,  $\pm 600$  В,  $\pm 700$  В,  $\pm 800$  В,  $\pm 900$ ,  $\pm 1000$  В,  $\pm 1500$  В,  $\pm 2000$  В или более, например, в диапазоне от  $\pm 1$  В до  $\pm 2000$  В или любом его поддиапазоне.

В настоящем изобретении HTRES D позволяет работать в режиме, в котором HTRES D заряжается от источника низкой мощности (например, от источника относительно низкого напряжения и/или слабого тока, например батареи или скважинного генератора) и затем разряжается при относительно более высокой мощности. Система обеспечивает пакеты телеметрии высокой мощности. Пакеты телеметрии высокой мощности обеспечиваются на более высоком уровне мощности, чем доступен от источника низкой мощности. Для работы в этом режиме передача должна содержать периоды отсутствия передачи или, по меньшей мере, периоды, когда передача обеспечивается на более низких уровнях мощности, чем уровни мощности на протяжении пакетов телеметрии высокой мощности. Для поддержания энергетического баланса относительное время включения передачи по сравнению с временем отключения принципиально определяет отношение между уровнем мощности пакетов высокой мощности и максимальной мощностью, доступной от источника. Например, если время включения передачи составляет одну девятую времени отключения передачи, система может обеспечивать пакеты телеметрии, мощность которых до десяти раз больше мощности, доступной от источника низкой мощности.

В некоторых других вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут быть дополнительно подключены к другим устройствам в скважинном буровом снаряде, например, другой скважинной аппаратуре или другим источникам питания, например, одной или более первичным батареям, скважинным генераторам или наземным источникам питания - через ТРВ или через другие электрические соединения. ТРВ может использоваться как для передачи электрической мощности на раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии и от них, так и для того, чтобы устройства или системы могли осуществлять связь с другими устройствами в буровом снаряде. Например, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут осуществлять связь с инструментом ГИ телеметрии, подключенным к ТРВ для приема информации от инструмента ГИ телеметрии и передачи этой информации с использованием инструмента ЭМ телеметрии. Такие системы "двойной телеметрии" описаны в патентах США №№ 6909667, 7573397, 8120509 и 8502696, которые включены в данное описание в порядке ссылки в полном объеме.

В некоторых вариантах осуществления, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны осуществлять связь с другими скважинными инструментами и/или устройствами на поверхности. Устройства и системы могут использовать различные режимы и протоколы связи для облегчения этой связи. Например, связь в буровом снаряде между скважинными инструментами может осуществляться с помощью ТРВ, которая обеспечивает проводное электрическое соединение между устройствами, подключенными к буровому снаряду. ТРВ может быть дополнительно электрически соединена с поверхностью, например когда в буровых работах применяется проводная бурильная труба. Примером проводной бурильной трубы является проводная бурильная труба IntelliServ™ производства National Oilwell Varco.

Дополнительно или альтернативно раскрытые устройства и системы ЭМ телеметрии имеют возможность осуществлять связь в буровом снаряде любыми другими доступными способами связи, в том числе, без ограничения, оптической связи (например, оптоволоконной связи), электромагнитной связи (например, радиосвязи) и/или механической связи (например, вращательной или гидроимпульсной связи). Благодаря обеспечению возможности связи между раскрытыми здесь устройствами и системами ЭМ телеметрии и другими инструментами в буровом снаряде, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут работать более эффективно.

В некоторых вариантах осуществления устройства и системы ЭМ телеметрии принимают данные непосредственно от другой скважинной аппаратуры (например, датчика направления, инструмента ядерного магнитного резонанса, колонкового бурового инструмента, акустического инструмента, инструмента плотности нейтронов, инструмента гамма-детектора, инструмента сейсмических измерений, телеметрического инструмента, инструмента удельного сопротивления и/или опробователя пласта), формируют сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности на основании этих данных и передают сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности на скважинную антенну. В некоторых вариантах осуществления один или более скважинных инструментов передают данные через ТРВ, и устройства и системы ЭМ телеметрии принимают данные от нее. В некоторых вариантах осуществления один или более скважинных инструментов передают данные через прямое соединение на раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии. Иллюстративный вариант осуществления показан со ссылкой на фиг. 4.

Как показано на фиг. 4, некоторые варианты осуществления раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии способны осуществлять связь с другой скважинной аппаратурой (например, датчиком направления (иногда именуемым направленным модулем), датчиком удельного сопротивления, гамма-

датчиком или любой другой скважинной аппаратурой) через ТРВ. Блок обработки данных, иногда именуемый главным блоком обработки или MPU, облегчает обработку данных, принятых от различных скважинных инструментов. Блок обработки данных в общем случае не требует высокой мощности и может получать питание от скважинного источника питания и/или накопителя энергии (например, HTRESO), входящего в устройство ЭМ телеметрии. Блок обработки данных формирует ЭМ сигнал на основании данных, принятых от различных скважинных инструментов. Например, в определенном варианте осуществления раскрытых здесь устройств, систем и способов ЭМ телеметрии блок обработки данных может создавать модулированный по сдвигу фазы синусоидальный сигнал на основании цифровых данных, принятых от различной скважинной аппаратуры. В этих вариантах осуществления раскрытые здесь устройства, системы и способы ЭМ телеметрии передают синусоидальный сигнал, содержащий цифровые данные, представленные как последовательность сдвигов фазы, переходящих между "1" и "0," начиная с первоначально принятой/го "1" или "0", когда сигнал синхронизируется с приемником.

В примере, показанном на фиг. 4, устройство ЭМ телеметрии дополнительно содержит схему управления мощностью, аналогичное схеме управления мощностью, показанной на фиг. 3А и В. Схема управления мощностью может содержать схему EMS, UCC, схему UMS и/или любое другое электронное оборудование для эффективного управления энергопотреблением от скважинного источника питания и зарядкой HTRESO, которое может содержать один или более суперконденсаторов. Схема ЭМ телеметрии принимает сигнал ЭМ телеметрии от блока обработки данных и передает сигнал ЭМ телеметрии высокой мощности на антенну с использованием доступной энергии.

В некоторых вариантах осуществления схема ЭМ телеметрии может изменять или регулировать телеметрический сигнал низкой мощности, чтобы сделать его более пригодным для передачи высокой мощности. Например, в некоторых вариантах осуществления, телеметрический сигнал низкой мощности может включать в себя периодическую несинусоидальную волну. Схема ЭМ телеметрии может преобразовывать этот сигнал периодической несинусоидальной волны в синусоидальный выходной сигнал, имеющий ту же основную частоту, что и периодическая несинусоидальная волна. Синусоидальный сигнал будет включать в себя меньше гармоник более высокого порядка и поэтому может быть меньше подвержен затуханию и потере сигнала при передаче через геологический пласт. Наземный приемник может быть выполнен с возможностью регистрации этой синусоидальной волны (например, как подробно описано ниже), определения ее основной частоты и при желании воссоздания сигнала периодической несинусоидальной волны на основании этой информации.

Как подробно описано здесь, в некоторых вариантах осуществления схема ЭМ телеметрии может работать в пакетном режиме, передавая только в определенные периоды времени, например, чтобы пользоваться импульсами высокой мощности, доступными от HTRESO, и позволять подзаряжать HTRESO между импульсами. Однако в некоторых вариантах осуществления телеметрическая система низкой мощности может включать в себя непрерывный поток сигнала. В некоторых подобных вариантах осуществления схема ЭМ телеметрии может изменять телеметрический сигнал низкой мощности для формирования измененного выходного сигнала, пригодного для пакетной передачи. Например, схема ЭМ телеметрии может включать в себя один или более буферов, где хранятся данные из сигнала низкой мощности в течение периодов, когда схема ЭМ телеметрии высокой мощности не передает.

В некоторых вариантах осуществления в поток данных, используемый для формирования телеметрического сигнала низкой мощности, можно вставлять пробелы, чтобы включать в сигнал фактические данные только тогда, когда схема ЭМ телеметрии высокой мощности передает. В некоторых вариантах осуществления длительность или частота пробельных периодов в потоке данных может использоваться для установления уровня выходной мощности передачи высокой мощности. Например, увеличение длительности или частоты пробельных периодов (позволяющее увеличить длительность или частоту периодов подзарядки) может указывать на использование более высокого уровня мощности передачи.

В некоторых вариантах осуществления устройства ЭМ телеметрии могут передавать выходной сигнал высокой мощности с использованием дифференциального выхода, например биполярного сигнала. В некоторых вариантах осуществления биполярный сигнал может быть симметричным и может иметь, по существу, нулевое смещение напряжения постоянного тока (например, для уменьшения эффектов коррозии, как упомянуто выше). Однако в некоторых вариантах осуществления телеметрический сигнал низкой мощности может быть несимметричным в некоторых подобных вариантах осуществления, схема ЭМ телеметрии может включать в себя схему сдвига уровня или другую схему подходящей конфигурации для преобразования несимметричного телеметрического сигнала низкой мощности в дифференциальный сигнал, который можно усиливать и выводить как сигнал передачи высокой мощности. В различных вариантах осуществления может обеспечиваться схема преобразования сигнала любого типа, например несимметричного в дифференциальный, дифференциального в несимметричный, биполярного в униполярный, униполярного в биполярный и их комбинации.

Схема ЭМ телеметрии может автоматически управлять коэффициентом усиления, используемым для формирования сигнала передачи высокой мощности, что, например, позволяет подавать сигнал от генератора телеметрического сигнала более низкой мощности в широком диапазоне амплитуд.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии мо-

гут регулировать заряд HTRESД или профиль выходной мощности, тока или напряжения на основании доступного входного питания и/или доступной информации об операциях инструмента ЭМ телеметрии. Дополнительно или альтернативно раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут осуществлять связь с инструментом ЭМ телеметрии для предсказания и планирования событий, связанных с работой инструмента ЭМ телеметрии, например импульсов мощности, необходимых в течение периода ЭМ передачи.

Когда раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии включают в себя HTRESД, устройства и системы также являются подзаряжаемыми, т.е. они способны подавать мощность на инструмент ЭМ телеметрии через по меньшей мере 2 зарядо-разрядных цикла. Системы и устройства, включающие в себя HTRESД, могут подзаряжаться между циклами разряда (например, импульсами мощности, вырабатываемыми на протяжении окна ЭМ передачи высокой мощности) различными источниками питания, включающими в себя первичные батареи (например, обычные литий-тионилхлоридные батареи), турбины, маховики, инерциальные генераторы энергии и другие скважинные источники питания. Альтернативно или дополнительно раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут получать питание от наземного источника питания (например, проводной линии или проводной бурильной трубы), подключенного к скважинному буровому снаряду известными средствами.

Когда раскрытые здесь устройства, системы и способы ЭМ телеметрии используют HTRESД (например, один или более суперконденсаторов), определенный вариант осуществления может содержать устройства для регулировки зарядки и разрядки систем HTRESД. Когда устройства и системы ЭМ телеметрии содержат несколько HTRESД, устройства и системы ЭМ телеметрии могут дополнительно содержать устройства для регулировки зарядки и разрядки отдельных HTRESД или групп HTRESД, например балансировки заряда между HTRESД или отслеживания состояния заряда или других эксплуатационных параметров HTRESД или группы HTRESД.

Исходя из описанных аспектов новых устройств, систем и способов ЭМ телеметрии, следует понимать, что можно реализовать различные варианты осуществления. Например, раскрытые здесь устройства, системы и способы могут включать в себя схемы, которые обеспечивают монитор состояния заряда для отслеживания заряда по меньшей мере в одном из HTRESД, включающих в себя суперконденсаторы, или другом источнике питания (например, батарее), подключенных к устройствам и системам ЭМ телеметрии, например скважинном источнике питания, подключенном к ТРВ. В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут включать в себя схему управления для отбора мощности от одного или более из нескольких комплектов батарей, расположенных, например, в избыточной конфигурации. В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства, системы и способы могут дополнительно содержать электропривод, например бесщеточный электропривод. В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства, системы и способы могут включать в себя различные датчики, например давления, температуры и вибрации (которые могут обеспечивать выходной сигнал на схему управления для управления при необходимости устройством или системой ЭМ телеметрии), вращения и пр.

Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут использовать различные подходы на основе оптимизации и эффективности к доставке мощности на инструмент ЭМ телеметрии. Например, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны осуществлять связь с инструментом ЭМ телеметрии для оптимизации скорости передачи данных на основании доступной мощности, которая может мгновенно изменяться. Например, устройства и системы ЭМ телеметрии, использующие по меньшей мере одно HTRESД, имеют возможность обеспечения импульсов высокой мощности в первом режиме высокоскоростной передачи данных, когда HTRESД находится в высоком состоянии заряда. Когда HTRESД находится в относительно более низком состоянии заряда или находится в режиме подзарядки между циклами разряда, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны передавать ЭМ телеметрию, которая может регулировать до второго, сниженного режима передачи данных. Мощность и скорость передачи данных можно регулировать в полном спектре доступной мощности (например, от 20 до 200 Вт или даже 2000 Вт) и скорости передачи (например, от 5 до 100 бит/с или даже 1000 бит/с, например в диапазоне от 1 до 10000 бит/с или любом его поддиапазоне).

Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны регулировать состояние соответствующего устройства хранения заряда, например HTRESД, в частности суперконденсатора, на основании режима работы инструмента ЭМ телеметрии и, в общем случае, буровых работ. Например, в режиме бурения по меньшей мере одно HTRESД может оставаться в первом состоянии заряда, в котором HTRESД подает на инструмент ЭМ телеметрии питание, достаточное для основной работы, например сбора данных, тогда как по меньшей мере одно HTRESД может оставаться во втором состоянии заряда (например, более высоком состоянии заряда) в режиме передачи, в котором HTRESД выдает импульсы высокой мощности на передающий инструмент ЭМ телеметрии.

Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии также допускают многоканальную ЭМ телеметрию. Некоторые варианты осуществления могут допускать до 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 100 или более каналов.

Например, за счет увеличения полной мощности, доступной инструменту ЭМ передачи, в раскры-

тых здесь устройствах и системах ЭМ телеметрии каждый канал может иметь минимальную мощность, необходимую для передачи. Тогда как обычный инструмент ЭМ телеметрии может требовать 10 Вт мощности для обычной низкочастотной (например, 1-6 Гц) передачи, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны обеспечивать по меньшей мере 20 Вт, то есть два канала передачи данных по 10 Вт, предполагая отсутствие увеличения мощности, доступной каждому каналу. Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут дополнительно обеспечивать по меньшей мере 50, 100, 150, 200, 250, 500, 1000, 1500, 2000 Вт или более, что позволяет использовать еще больше каналов передачи, причем каждый канал может отбирать более 10 Вт в режиме передачи для повышения интенсивности сигнала.

Помимо мощности, доступной от традиционных источников, ограничением многоканальной передачи является затухание сигнала, которое происходит на более высоких частотах. В ходе многоканальной передачи отношение сигнал/шум инструмента ЭМ телеметрии может ограничивать спектр передачи, требуя, чтобы дополнительные каналы работали на более высоких, затухающих частотах. Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны преодолевать характеристику затухания сигнала каналов передачи более высокой частоты (например, 10-20 Гц) путем подачи большей мощности на инструмент ЭМ телеметрии для компенсации затухания высокочастотных сигналов. Например, устройства и системы ЭМ телеметрии настоящего изобретения способны обеспечивать 5-канальную ЭМ телеметрию следующим образом: (1) 20 Вт на канал передачи 2 Гц; (2) 20 Вт на канал передачи 4 Гц; (3) 20 Вт на канал передачи 6 Гц; (4) около 23 Вт на канал передачи 8 Гц для преодоления приблизительно 14% потери сигнала; и (5) около 26 Вт на канал передачи 10 Гц для преодоления приблизительно 23% потери сигнала. Полная мощность, подаваемая на инструмент ЭМ телеметрии в этом примере составляет около 109 Вт. Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут обеспечивать дополнительные преимущества высокочастотной передачи, в частности многоканальной ЭМ передачи, например повышенное отношение сигнал-шум, где первичными источниками шума являются низкочастотные компоненты.

Например, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут обеспечивать передачу сигнала ЭМ телеметрии на высокой частоте при наличии нескольких источников шума, например, 30 Гц или более. Эксплуатация на более высоких частотах может требовать дополнительной мощности для преодоления более высокого затухания сигнала, которое раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии легко могут обеспечивать; и, таким образом, возможен компромисс между увеличением мощности низкочастотного сигнала для повышения отношения сигнал-шум и увеличением мощности для обеспечения режима передачи на более высокой частоте.

Альтернативно или дополнительно, иллюстративные устройства и системы ЭМ телеметрии настоящего изобретения дополнительно способны регулировать мощность каждого канала для оптимизации энергопотребления. Например, когда конкретный канал имеет низкую скорость передачи данных и/или пониженный фоновый шум, мощность, подаваемая на этот канал, может быть ниже мощности, подаваемой на другие каналы.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии позволяют назначать приоритет передачи данных на основании различных условий в скважине, включающих в себя доступную мощность и тип передаваемых данных. Например, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии позволяют передавать данные относительно низкой полосы (например, данные направленного бурения, например, азимут и наклон) в первом режиме передачи низкой мощности. Затем раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут передавать данные высокой полосы во втором режиме передачи более высокой мощности, например, после получения данных гамма-излучения, данных плотности нейтронов, сейсмических данных или данных ядерного магнитного резонанса.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии дополнительно позволяют эффективно оптимизировать энергопотребление инструментов ЭМ телеметрии на основании условий окружающей среды, например полного сопротивления среды (т.е. сопротивление геологического пласта плюс буровой раствор). Фиг. 5, 6 и 7 изображены иллюстративные кривые мощности для раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии. Раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут отбирать дополнительную мощность на основании полного сопротивления среды в случае необходимости гарантировать адекватную интенсивность сигнала на поверхности. Фиг. 5, 6 и 7 демонстрируют три разных примера диапазона полного сопротивления среды передачи - 10 н, 0,6 н и 100 н. Кривые мощности демонстрируют ток, который нужно подавать на антенну ЭМ телеметрии при конкретной настройке напряжения и наоборот. Таким образом, кривые демонстрируют эффективность различных раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут регулировать выходную мощность, например, для согласования целостности сигнала со временем работы батареи. Например, в некоторых вариантах осуществления мощность передачи может снижаться, когда регистрируется низкое состояние заряда батареи (например, как описано здесь более подробно). Регулировка мощности также может использоваться для ограничения рассеяния мощности, например, в сценариях высокой мощности.

В некоторых вариантах осуществления устройство ЭМ телеметрии может включать в себя тактовый

генератор и память, где хранится расписание мощности передачи для устройства. Например, расписание может использоваться для управления устройством, чтобы оно передавало мощность 7 Вт от момента времени  $t=0$  ч до момента времени  $t=20$  ч, 10 Вт от момента времени  $t=20$  ч до момента времени  $t=50$  ч, 20 Вт от момента времени  $t=50$  ч до момента времени  $t=100$  ч, и т.д. Расписание мощности может формироваться на основании плана бурения для скважинного инструмента, например, на основании предполагаемой глубины и геологического окружения бурового инструмента в различные моменты времени в плане бурения. В некоторых вариантах осуществления сохраненное расписание мощности может обновляться, например, с использованием описанных здесь методов нисходящей линии связи. Однако в других вариантах осуществления сохраненное расписание может использоваться для всех буровых работ, снижая или устраняя необходимость в передаче по нисходящей линии связи.

Раскрытые здесь устройства, системы и способы ЭМ телеметрии могут содержать преобразователи мощности и усилители, обеспечивающие ЭМ телеметрию высокой мощности (например, от около 20 до около 250 Вт, 500, 1000, 1500, 2000 Вт или более). Преобразователи мощности раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии обычно являются источниками питания в коммутационном режиме и могут использовать различные архитектуры управления и/или обратной связи, например регулировки тока или регулировки напряжения. Регулировка тока может иметь преимущество в применениях раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии, где устройство или система возбуждает нагрузку или пласт с относительно низким сопротивлением. Благодаря непосредственной регулировке тока можно избежать условий избыточного тока, которые часто встречаются в системе с регулировкой напряжения, возбуждающей нагрузку с низким и изменяющимся в широких пределах сопротивлением. Кроме того, запараллеленные преобразователи для выработки выходного тока могут быть выполнены с возможностью распределять между собой нагрузку, когда они регулируются током, а не напряжением.

В общем случае, регулировка мощности, а не тока системы является полезным признаком, поскольку она непосредственно управляет величиной мощности, отбираемой от скважинного источника питания и интенсивностью сигнала, принятого на поверхности. Например, регулировка мощности обеспечивает прямое согласование между интенсивностью сигнала, принятого на поверхности и временем работы скважинной батареи. Регулировка мощности может достигаться с помощью архитектуры преобразователя мощности с регулировкой тока посредством внешнего контура обратной связи (тогда как ток преобразователя регулируется внутренним контуром обратной связи). Внешний контур обратной связи может регулировать мощность. Например, система может измерять свое собственное выходное напряжение и умножать измеренное значение на предписанный ток. Это позволяет последовательно регулировать мощность и фактически доставляемую мощность в сторону увеличения или уменьшения путем регулировки предписанного тока в сторону увеличения или уменьшения. Процесс может повторяться сколько угодно долго, чтобы фактическая мощность, доставляемая в пласт, соответствовала контрольной точке предписанной мощности.

Аналогичная ситуация существует в случае преобразователя мощности с регулировкой напряжения. Ток, выводимый из системы, можно измерять и умножать на предписанное напряжение. Затем мощность можно регулировать путем регулировки команды напряжения. Контур управления мощностью может быть "медленным" в том смысле, что он медленнее, чем внутренние циклы управления током или напряжением. Внутренние циклы управления в общем случае должны быть быстрее, чем частотное содержимое управляемого сигнала, например частота синусоидального выходного сигнала передатчика, тогда как контур управления мощностью должен быть столь же быстрым, как обычные изменения нагрузки. Нагрузка обычно изменяется на шкале времени прохода бурильной колонны - более длинной шкале времени, чем период сигналов, используемых для передачи. Следовательно, контур управления мощностью может быть относительно медленным. В общем случае контрольные точки напряжения, тока или мощности в контексте раскрытых здесь скважинных устройств, систем и способов ЭМ телеметрии могут представлять контрольные точки амплитуды, размаха, пиковой или среднеквадратической (RMS) мощности или фактические контрольные точки, которые непрерывно изменяются во времени согласно сигналу, подаваемому на антенные электроды.

В некоторых вариантах осуществления раскрытых здесь устройств и систем ЭМ телеметрии используются параллельные преобразователи мощности. Параллельные преобразователи мощности обеспечивают многочисленные преимущественные признаки описанных здесь устройств и систем ЭМ телеметрии. Устройства и системы ЭМ телеметрии, использующие параллельные преобразователи мощности, более эффективно доставляют большой ток на антенну ЭМ телеметрии. Кроме того, параллельные преобразователи мощности обеспечивают избыточность, которая повышает работоспособность устройств и систем ЭМ телеметрии после отказа одного из параллельных преобразователей мощности. Таким образом, раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии, использующие параллельные преобразователи мощности, способны работать на протяжении более долгих непрерывных периодов в скважинной среде и вряд ли потребуют дорогостоящего и времязатратного разрушения бурового снаряда для извлечения и замены отказавшего устройства или системы ЭМ телеметрии.

В некоторых вариантах осуществления схема зарядки суперконденсатора способна заряжать по меньшей мере один суперконденсатор или батарею суперконденсаторов, тогда как отдельная схема спо-

собна выравнивать заряд по батарее суперконденсаторов.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии содержат усилитель для усиления сигнала, выводимого из инструмента ЭМ телеметрии.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит дифференциальный выход, его выход содержит два вывода, ни один из которых также не подключен к внутреннему базовому заземлению системы.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит несимметричный выход - его выход содержит два вывода, один из которых также подключен к внутреннему базовому заземлению системы.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит усилитель в коммутационном режиме (например, усилитель класса D).

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит линейный усилитель.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит полумостовую или двухтактную схему для формирования несимметричного выходного сигнала.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит две двухтактные схемы или мостовую схему для формирования дифференциального выходного сигнала.

В некоторых вариантах осуществления усилитель управляется таким образом, что дифференциальный выходной сигнал является биполярным - разность между двумя выходными выводами принимает как положительные, так и отрицательные значения. В этих случаях выход усилителя можно доводить до по существу нулевого среднего значения с целью ослабления коррозионных эффектов на поверхностях антенных электродов.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит выходную схему, которая управляется для непрерывной модуляции выходного сигнала тока или напряжения от инструмента ЭМ телеметрии. В некоторых вариантах осуществления непрерывная модуляция достигается посредством широтно-импульсной модуляции с использованием транзисторов, содержащих выходную схему, в качестве переключателей. В этих случаях говорят, что выходная схема переключается с частотой, значительно более высокой, чем основная частота выходного сигнала. В некоторых вариантах осуществления непрерывная модуляция достигается посредством линейной операции с использованием транзисторов, содержащих выходную схему. В этих случаях говорят, что выходная схема действует как линейный усилитель.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит цепь переключателей, например мост, который управляется для переключения между различными уровнями постоянного тока для построения кусочно-линейной аппроксимации желаемого выходного сигнала. В этих случаях говорят, что цепь переключателей переключается на основной частоте выходного сигнала.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит цепь переключателей, например мост, который управляет полярностью непрерывно изменяющегося входного напряжения или тока. Например, если желателен синусоидальный выходной сигнал, цепь переключателей может переключать полярность выпрямленного синусоидального выходного сигнала в каждом из желаемых пересечений нуля для построения невыпрямленной синусоиды. В этих случаях говорят, что цепь переключателей переключается на основной частоте выходного сигнала.

В некоторых вариантах осуществления усилитель содержит цепь переключателей, например мост, и дополнительно содержит преобразователь мощности с регулировкой тока. Преобразователем мощности с регулировкой тока можно управлять для формирования выпрямленной версии желаемого сигнала, и цепью переключателей, например мостом, можно управлять для инвертирования полярности выходного сигнала преобразователя мощности с регулировкой тока для создания невыпрямленного выходного сигнала тока. В других вариантах осуществления усилитель содержит преобразователь мощности с регулировкой напряжения вместо преобразователя мощности с регулировкой тока.

В некоторых вариантах осуществления усилитель дополнен вторым, относительно медленным контуром управления для регулировки выходной мощности усилителя.

Дополнительно или альтернативно раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут содержать медленный контур обратной связи по мощности для управления мощностью, подаваемой на инструмент ЭМ телеметрии. Будучи объединен с преобразователем мощности с регулировкой тока, медленный контур обратной связи, измеряющий выходное напряжение устройств и систем ЭМ телеметрии, обеспечивает измерение выходной мощности, которое обеспечивает механизм обратной связи для регулировки тока до желаемой контрольной точки, т.е. потребного тока инструмента ЭМ телеметрии. Контур управления мощностью может обеспечивать косвенное измерение полного сопротивления, через которое передает инструмент ЭМ телеметрии (т.е. сопротивление пласта плюс бурового раствора).

В общем случае раскрытые здесь устройства, системы и способы ЭМ телеметрии адаптированы для работы в суровых условиях скважины. Например, устройства и система ЭМ телеметрии и HTRES D, при наличии, адаптированы в некоторых вариантах осуществления для работы в температурном диапазоне от внешних температур до около 250°C, или даже более высоких температур в некоторых вариантах осуществления.

Некоторые иллюстративные готовые компоненты и методы, которые могут использоваться в раскрытых здесь устройствах и системах ЭМ телеметрии, включают в себя (1) активные устройства типа бескорпусного кремния и кремния на диэлектрике, (2) активные мощные устройства на карбиде кремния,

(3) керамические пассивные элементы для работы при высоких температурах, обладающие низким температурным коэффициентом (COG или NPO диэлектрики), (4) высокотемпературные магнитные пассивные элементы. В качестве материала подложки схемы для высокой термостойкости и теплопроводности может использоваться керамика на основе AN (нитрида алюминия). Схемные межсоединения могут быть сформированы в виде устойчивых к окислению Au (золотых) дорожек. Стратегии соединения могут использовать соединение методом перевернутого кристалла или проводное соединение Au или Al (алюминий) для бескорпусных активных компонентов с использованием, например, высокотемпературного припоя AuGe. В некоторых вариантах осуществления проводное соединение считается предпочтительным перед соединением методом перевернутого кристалла благодаря добавочной механической податливости, в особенности при наличии теплового расширения и удара и вибрации. Кроме того, многие традиционные устройства, например устройства, содержащие традиционные кремниевые пластины, запатентованы для относительно высоких температур и/или могут независимо квалифицироваться как пригодные для работы при относительно высоких температурах. Например, кремниевые интегральные схемы, формально указанные изготовителем как пригодные для работы при температурах только до около 85°C, можно независимо испытывать и проверять на предмет надежной работы при температурах, например, до 150, 175, 200 или даже до 300°C или более. Этот процесс квалификации за пределами технических условий изготовителя в общем случае требует значительного времени и может быть дорогостоящим, но может давать полезные строительные блоки для высокотемпературной схемы.

Методы высокотемпературной схемы можно применять, например, чтобы гарантировать устойчивость схем регулировки с обратной связью, несмотря на очень широкие температурные диапазоны, поскольку пассивные компоненты схемы, используемые для частотной компенсации, могут изменять свои параметры. Конструкции схемы с низким или по существу нулевым температурным коэффициентом можно получить путем соединения резисторов, имеющих отрицательный температурный коэффициент, с традиционными резисторами путем точного согласования активных устройств и с опорой на логотрические (относительные), а не абсолютные контроль и управление. В порядке примера для подавления эффекта очень больших изменений температуры в контрольных точках схем регулировки с обратной связью можно применять опорные напряжения, полученные на основании запрещенной зоны. Выбор компонентов с точки зрения температурного коэффициента также сглаживает эти проблемы, например диэлектрические керамические конденсаторы CGO или NPO имеют относительно плоскую температурную характеристику в этом диапазоне. Изменения производительности активных устройств можно значительно уменьшить за счет использования технологии кремния на диэлектрике (КНД) и карбида кремния (SiC), широко применяемой как в герметичных, так и в бескорпусных ИС.

Другие высокотемпературные материалы, компоненты и архитектуры, известные в технике, можно применять для обеспечения работоспособности при указанной (высокой) температуре. Компоненты типа кремний на диэлектрике (КНД), карбид кремния (SiC), бескорпусные, керамические PCB, пассивные элементы с низким температурным коэффициентом и высокотемпературные, высоконадежные припои используются для построения электронных систем. Такие компоненты описаны в патентных заявках США US2012/068074 и US2013/0026978, которые включены в данное описание в порядке ссылки в полном объеме.

В некоторых вариантах осуществления раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии способны осуществлять связь с устройствами на поверхности в различных режимах "нисходящей линии связи", включающих в себя, без ограничения, проводное электрическое соединение (например, проводную буровую трубу, например, IntelliServ), оптическое соединение (например, оптоволоконное соединение), электромагнитное соединение (например, радиочастотное или соединение на основе квазистатического изменяющегося со временем тока или напряжения), механическое соединение (например, вращательное или гидроимпульсное соединение) и/или ультразвуковое соединение.

Механическая нисходящая линия связи может быть вращательной нисходящей линией связи, в которой информация передается путем изменения частоты вращения буровой колонны. Скважинный датчик частоты вращения регистрирует изменения частоты вращения, которые могут интерпретироваться устройством или системой ЭМ телеметрии. Скважинный датчик частоты вращения может быть встроен в раскрытые здесь устройства и системы ЭМ телеметрии или может входить в состав матрицы внешних датчиков, способной передавать такую информацию частоты вращения на устройства и системы ЭМ телеметрии, например, путем отправки информации частоты вращения через шину питания бурового снаряда. Таким образом, информация может передаваться с поверхности на скважинные устройства и системы ЭМ телеметрии.

В различных вариантах осуществления один или более компонентов скважинного устройства или системы ЭМ телеметрии могут работать в режиме передачи для передачи данных по восходящей линии связи из скважины на поверхность (как подробно описано выше) и режиме приема для передачи данных по нисходящей линии связи с поверхности в скважину.

Например, согласно вариантам осуществления, где скважинное устройство ЭМ телеметрии представляет собой вольтодобавочное устройство высокой мощности, обеспеченное для работы с вышеле-

жащей телеметрической системой низкой мощности, антенна устройства высокой мощности может переключаться между режимами передачи и приема. В режиме приема передачи, принятые с поверхности, могут ретранслироваться на вышележащую телеметрическую систему низкой мощности, например посредством схемы обратной передачи.

В некоторых вариантах осуществления нисходящая линия связи может обеспечиваться от поверхности к вышележащему телеметрическому устройству низкой мощности. В некоторых подобных вариантах осуществления устройством ЭМ телеметрии высокой мощности можно управлять в соответствии с одним или более свойствам вышележащего устройства. Например, нисходящая линия связи может устанавливать выходную мощность вышележащего устройства на выбранный уровень. Устройство ЭМ телеметрии высокой мощности может считывать выбранный уровень выходной мощности вышележащего устройства и устанавливать свойство устройства ЭМ телеметрии высокой мощности на основании этой информации.

Например, устройство ЭМ телеметрии высокой мощности может включать в себя память, где хранится отображение настроек уровня мощности вышележащего устройства в настройку своего собственного уровня мощности. Например, устройство ЭМ телеметрии высокой мощности может определять, что, когда выход вышележащего устройства установлен на 1 Вт, устройство ЭМ телеметрии высокой мощности должно выводить на уровне 15 Вт. Когда выход вышележащего устройства установлен на 2 Вт, устройство ЭМ телеметрии высокой мощности должно выводить на уровне 25 Вт и т.д. В различных вариантах осуществления отображение может обеспечиваться в виде поисковой таблицы, математического соотношения (например, линейного или нелинейного отображения) или любой другой пригодной форме.

Описанные здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут располагаться в различных конфигурациях в буровом снаряде. В некоторых вариантах осуществления описанные здесь устройства и системы ЭМ телеметрии могут располагаться в соответствии с разными формфакторами для буровых снарядов, в том числе зондовых и устьевых буровых снарядов.

Например, на фиг. 16 показан подетальный вид участка компоновки бурового снаряда, включающей в себя устройство ЭМ телеметрии описанного здесь типа. Компоновка включает в себя, в

порядке сверху вниз по стволу скважины, антенный блок 201, устройство 202 ЭМ телеметрии высокой мощности (например, включающее в себя схему ЭМ телеметрии высокой мощности, подключенную к HTRES, и любой из различных других вышеописанных компонентов), вышележащее устройство 203 ЭМ телеметрии низкой мощности, датчик 204 направления и наклона и источник 205 мощности (например, батарейный источник питания). В различных вариантах осуществления упорядочение этих элементов может изменяться.

В некоторых вариантах осуществления устройство 202 ЭМ телеметрии высокой мощности может быть выполнено в виде послепродажного добавления в компоновку. Например, устройство 202 ЭМ телеметрии высокой мощности может включать в себя сквозную проводку, например, между вышележащим устройством 203 ЭМ телеметрии низкой мощности и другими элементами, например антенным блоком 201, например, для обеспечения программирования или управления вышележащим устройством.

В некоторых вариантах осуществления устройство 202 ЭМ телеметрии высокой мощности может быть в общем случае цилиндрическим и удлиненным, с наружным диаметром (OD) менее 36, 12, 6, 3, 2, 1, 0,5 дюйма или менее, например в диапазоне от 0,5 до 36 дюймов или любом его поддиапазоне, например от 0,5 до 3 дюймов.

В некоторых вариантах осуществления устройство 202 ЭМ телеметрии высокой мощности может включать в себя механически прочный корпус (например, алюминиевый корпус), выполненный с возможностью защиты внутренних электронных компонентов. В некоторых вариантах осуществления корпус может быть выполнен с возможностью содержать по меньшей мере две двусторонние прямоугольные монтажные платы, например, проходящие вдоль цилиндрической оси корпуса и уложенные в стопку в направлении, поперечном оси.

В некоторых вариантах осуществления корпус может действовать как теплоотвод для заключенного в нем электронного оборудования. Например, наиболее рассеивающие элементы схемы (например, резисторы и дроссели) могут быть установлены максимально близко к корпусу.

В некоторых вариантах осуществления монтажные платы могут быть установлены в плавающей конфигурации, без жестких соединений с корпусом. Каждая из монтажных плат может быть установлена на электрически изолирующей подкладке и может герметизироваться на месте. В некоторых вариантах осуществления герметизирующий материал может быть выполнен с возможностью выдерживать тепловое расширение и сжатие, например, путем включения пустот в материал. Между монтажными платами могут располагаться прокладки. Прокладки могут быть, по меньшей мере частично, плавающими для обеспечения возможности теплового расширения и сжатия.

В некоторых вариантах осуществления корпус может включать в себя один или более элементов канавок для проводов. Элементы канавок для проводов могут включать в себя гладкие, фасонные поверхности, выполненные с возможностью снижения или устранения износа проводов.

В некоторых вариантах осуществления корпус может быть присоединен к соседнему элементу (например, вышележащему устройству 203 ЭМ телеметрии низкой мощности) с использованием болтов или

других крепежных деталей. Болты могут располагаться по внешней периферии цилиндрического корпуса. Корпус может включать в себя одно или более электрических соединений с соседним элементом. Элемент взаимоблокировки может обеспечиваться для переноса деформации от соединительных болтов и электрических соединений. Например, элемент взаимоблокировки может располагаться на конце корпуса вблизи его центральной оси.

#### Схема телеметрии с помощью импульсов малой длительности

Описанные здесь устройства и системы ЭМ телеметрии пригодны для схем телеметрии с импульсной передачей. В некоторых вариантах осуществления устройства и системы ЭМ телеметрии могут передавать информацию с использованием последовательности импульсов сигнала малой длительности и высокой мощности. В некоторых вариантах осуществления импульсы могут быть разделены во времени периодами, более длительными, чем длительность самих импульсов. Поэтому схема передачи может передавать импульсный сигнал с очень высокой пиковой мощностью, поддерживая при этом сравнительно умеренное полное энергопотребление, что позволяет удовлетворять требованиям к энергии схемы передачи с использованием описанных здесь устройств и методов. Например, в различных вариантах осуществления импульсы высокой мощности могут формироваться с использованием энергии, запасенной в энергозапасующем устройстве (например, суперконденсаторе), которое заряжается источником относительно низкой мощности (например, батареей или скважинным генератором) в течение времени между импульсами).

На фиг. 8 показана иллюстративная реализация схемы передачи импульсных сигналов малой длительности и высокой мощности. В этой схеме система ЭМ телеметрии выводит последовательность импульсов передачи высокой мощности и малой длительности (указанных жирными стрелками). Информация кодируется на последовательности импульсов путем модулирования позиции во времени каждого из импульсов относительно номинального периода. Например, как показано, последовательность импульсов имеет номинальный период  $T$ . Первый импульс имеет опережение по времени  $\Delta t_1$  относительно номинального первого периода в момент времени  $T$ . Второй импульс имеет опережение по времени  $\Delta t_2$  относительно номинального второго периода в момент времени  $2T$ . Третий импульс имеет задержку по времени  $\Delta t_3$  относительно номинального третьего периода в момент времени  $3T$ . Наземный приемный блок на поверхности может регистрировать сигнал, измерять изменение времен импульса относительно номинального периода и декодировать изменения для восстановления кодированной информации.

В различных вариантах осуществления выходные импульсы могут формироваться с малыми длительностями, например менее 1,0, менее 0,1, менее 0,01, менее 0,001 с; менее 0,1, менее 0,01, менее 0,001 мс или менее. Например, в некоторых вариантах осуществления длительность импульса находится в диапазоне от 0,001 мс до 1,0 с или любой его поддиапазон, например 1-100 мс.

В некоторых вариантах осуществления выходные импульсы могут формироваться с низкими коэффициентами заполнения (т.е. отношение длительностей импульсов к полному времени отключения между импульсами). В некоторых вариантах осуществления коэффициент заполнения может составлять менее 5, менее 1, менее 0,1, менее 0,05, менее 0,01, менее 0,005, менее 0,001% или менее. Например, в некоторых вариантах осуществления, коэффициент заполнения находится в диапазоне от 0,001 до 5% или любым его поддиапазоне, например, от 0,1 до 1%.

В некоторых вариантах осуществления выходные импульсы могут формироваться с высокой пиковой или средней выходной мощностью. В некоторых вариантах осуществления пиковая или средняя выходная мощность каждого из импульсов может составлять более 20, более 100, более 200, более 300, более 400, более 500, более 750, более 1000, более 1250, более 1500, более 1750, более 2000 Вт или более. Различные варианты осуществления могут включать в себя пригодные устройства регулировки напряжения и/или тока (например, как описано выше) для обеспечения желаемого уровня импульсной мощности.

В некоторых вариантах осуществления система ЭМ телеметрии принимает телеметрический сигнал от источника низкой мощности (например, генератор телеметрического сигнала низкой мощности вышеописанных типов). В некоторых вариантах осуществления этот сигнал низкой мощности может использовать схему передачи другого типа (например, с использованием частотной, фазовой или амплитудной модуляции синусоидального сигнала). В некоторых таких случаях система ЭМ телеметрии может включать в себя один или более демодуляторов, декодеров или аналогичных устройств, которые могут декодировать информацию, закодированную на сигнале низкой мощности. Затем эта информация может повторно кодироваться на сигнале в виде коротких импульсов высокой мощности.

В других вариантах осуществления система ЭМ телеметрии может быть выполнена с возможностью непосредственной дискретизации сигнала низкой мощности и кодирования информации, касающейся сигнала, в импульсную передачу малой длительности и высокой мощности. Например, если сигнал низкой мощности является синусоидальной волной, волну можно дискретизировать и кодировать на передаче высокой мощности с использованием методов фазоимпульсной модуляции, известных в технике. См., например, Bandyopadhyay M. N. Communication Engineering, глава 2,20, PHI Learning Private Limited (2010).

Хотя на фиг. 8 показана одна конкретная схема кодирования, следует понимать, что в различных

вариантах осуществления могут использоваться другие схемы кодирования. В общем случае импульсы высокой мощности и малой длительности пригодны для использования с различными известными схемами фазоимпульсной модуляции (например, любой схемой, где информация кодируется путем модулирования позиции во времени импульсов в последовательности импульсов).

В других вариантах осуществления можно использовать другие подходящие схемы модуляции, включая, например, широтно-импульсную модуляцию, амплитудно-импульсную модуляцию, плотностно-импульсную модуляцию, импульсно-кодую модуляцию и т.д. В различных вариантах осуществления эти схемы модуляции можно адаптировать для работы с низким коэффициентом заполнения, таким образом, сохраняя описанные здесь преимущества наличия требований к энергии и мощности, которые можно удовлетворять с использованием описанных здесь устройств и методов (например, импульсных силовых систем на основе суперконденсатора).

В различных вариантах осуществления, как упомянуто выше, модулятор может быть выполнен с возможностью осуществления любых пригодных схем кодирования или передачи данных, известных в технике. Заявители установили, что схемы кодирования на статистической основе особенно пригодны для использования в условиях шума, присутствующих в обычных буровых работах. Например, в различных вариантах осуществления различные фрагменты данных, подлежащие отправке, связаны со случайными или псевдослучайными последовательностями чисел. Для передачи данного фрагмента данных - сигнал, модулированный соответствующим случайным сигналом, передаваемым от скважинного передатчика. Наземный приемник принимает передачу, объединенную с возможным шумом. Приемник использует статистические методы (например, метод наименьших квадратов) для определения, какая из случайных или псевдослучайных последовательностей с наибольшей вероятностью соответствует принятому сигналу. Затем эта "наиболее вероятная" последовательность используется для определения передаваемых данных.

В различных вариантах осуществления можно использовать любой из таких различных методов на статистической основе, известных из области связи, например методы линейного предсказания, например линейное предсказание с кодовым возбуждением, линейное предсказание с возбуждением векторной суммой, линейное предсказание с возбуждением алгебраическим кодом, множественный доступ с временным разделением (например, наподобие используемого в стандартах сотовой связи, например GSM), множественный доступ с кодовым разделением, множественный доступ с частотным разделением, множественный доступ с ортогональным частотным разделением, расширенный спектр, спектр скачкообразной перестройки частоты и пр.

В некоторых вариантах осуществления система ЭМ телеметрии может включать в себя наземный приемный блок, адаптированный для использования со схемой передачи импульсов высокой мощности и малой длительности, например типа, описанного со ссылкой на фиг. 8. Например, наземный приемный блок может включать в себя тактовый генератор, синхронизированный со скважинными компонентами системы для обеспечения для синхронной регистрации переданного сигнала. Например, для схемы, показанной выше на фиг. 8, наземный приемный блок может включать в себя тактовый генератор, синхронизированный с номинальным периодом выходной последовательности импульсов. Соответственно наземному приемнику будет известно, когда номинально ожидать импульсы, что позволяет легко определить опережение или задержку импульсов относительно номинального периода. Однако следует понимать, что в других вариантах осуществления может использоваться несинхронная регистрация (например, с учетом относительного разнесения по времени между соседними импульсами в последовательности импульсов).

В общем случае наземный приемный блок может включать в себя любые пригодные детекторы, фильтры, усилители, демодуляторы, декодеры и т.д. для приема и декодирования сигнала, передаваемого из скважинной среды. Некоторые варианты осуществления могут включать в себя, например, обнаружения на основе синхронного усилителя. В различных вариантах осуществления наземный приемный блок может быть выполнен с возможностью отфильтровывания или компенсации многолучевой помехи, например с использованием методов, надлежащим образом адаптированных из областей RADAR, сейсмо-разведочного построения или оптической связи.

#### Наземный приемник

В различных вариантах осуществления телеметрические системы описанного здесь типа могут включать в себя наземный приемник, имеющий один или более датчиков, выполненных с возможностью регистрации сигнала, передаваемого от скважинного устройства ЭМ телеметрии, и декодирования телеметрической информации, закодированной на сигнале. Как более подробно описано ниже, наземный приемник может регистрировать сигнал с использованием схем регистрации напряжения, схем регистрации тока и их комбинаций.

Используемый здесь термин "наземный" означает местоположение на или вблизи (например, в нескольких метрах от) поверхности земли. В некоторых вариантах осуществления наземный приемник может быть полностью или частично погружен (например, располагаться на дне океана, или на дне реки или озера).

Согласно фиг. 9 в иллюстративном варианте осуществления наземный приемник 500 выполнен с

возможностью приема телеметрического сигнала от скважинного устройства ЭМ телеметрии (например, устройства 100, показанного выше на фиг. 1). Телеметрический сигнал передается, например, через геологический пласт, на приемник 500.

Приемник 500 включает в себя приемную антенну 501. Как показано, приемная антенна 501 включает в себя первый электрод 503a и второй электрод 503b. Однако следует понимать, что в различных вариантах осуществления может использоваться любое пригодное число электродов. Например, в некоторых вариантах осуществления несколько электродов может располагаться в различных положениях для захвата дополнительного сигнала (например, электрического тока), передаваемого от устройства скважинной телеметрии. В некоторых вариантах осуществления использование нескольких пространственно разнесенных электродов позволяет регистрировать пространственное или временное свойство переданного сигнала, например поляризацию, положение источника, время прохождения и т.д. Некоторые варианты осуществления предусматривают использование более одной антенны.

Приемная антенна 501 выполнена с возможностью формирования сигнала в ответ на телеметрический сигнал от скважинного устройства ЭМ телеметрии. В некоторых вариантах осуществления телеметрический сигнал будет создавать один или оба из изменяющегося со временем тока, поступающего на один или оба из электродов 503a и 503b, и изменяющейся со временем разности потенциалов между электродами 503a и 503b. Эти изменяющиеся со временем напряжение и ток именуется здесь напряжением антенного сигнала и током антенного сигнала соответственно.

Наземный приемник 501 также включает в себя детектор 505, в ходе работы подключенный к антенне 501. Детектор 505 выполнен с возможностью регистрации по меньшей мере одного из тока антенного сигнала и напряжения антенного сигнала, что будет более подробно описано ниже. В некоторых вариантах осуществления детектор 505 может представлять собой многорежимный детектор, который регистрирует ток антенного сигнала в первом режиме и напряжение антенного сигнала во втором режиме. В различных вариантах осуществления детектор 505 может переключаться из одного режима в другой, например, вручную пользователем или автоматически (например, в ответ на изменение зарегистрированного сигнала, условий окружающей среды и т.д.).

В некоторых вариантах осуществления детектор 505 может работать одновременно в нескольких режимах измерения (например, одновременного измерения тока и измерения напряжения, которые могут обеспечивать информацию, указывающую мощность переданного сигнала).

Наземный приемник 500 также включает в себя декодер 507, в ходе работы подключенный к детектору 505. Декодер 507 выполнен с возможностью декодирования данных, закодированных на телеметрическом сигнале, например, на основании зарегистрированного тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала. Декодер 507 может использовать любой пригодный метод для декодирования зарегистрированного сигнала. Например, некоторые варианты осуществления могут реализовать любую из рассмотренных здесь схем декодирования, например вышеописанную схему малой длительности и высокой мощности. В различных вариантах осуществления декодер 507 может реализовать широтно-импульсную демодуляцию, фазоимпульсную демодуляцию, амплитудно-импульсную демодуляцию, частотно-импульсную демодуляцию, плотностно-импульсную демодуляцию, импульсно-кодovou демодуляцию, частотную демодуляцию, амплитудную демодуляцию и их комбинации.

В различных вариантах осуществления модулятор может быть выполнен с возможностью осуществления любых пригодных схем кодирования или передачи данных, известных в технике. Заявители установили, что схемы кодирования на статистической основе особенно пригодны для использования в условиях шума, присутствующих в обычных буровых работах. Например, в различных вариантах осуществления различные фрагменты данных, подлежащие отправке, связаны со случайными или псевдослучайными последовательностями чисел. Для передачи данного фрагмента данных сигнал, модулированный соответствующим случайным сигналом, передаваемым от скважинного передатчика. Наземный приемник принимает передачу, объединенную с возможным шумом. Приемник использует статистические методы (например, метод наименьших квадратов) для определения, какая из случайных или псевдослучайных последовательностей с наибольшей вероятностью соответствует принятому сигналу. Затем эта "наиболее вероятная" последовательность используется для определения передаваемых данных.

Можно использовать такие различные методы на статистической основе, известные из области связи, например методы линейного предсказания, например линейное предсказание с кодовым возбуждением, линейное предсказание с возбуждением векторной суммой, линейное предсказание с возбуждением алгебраическим кодом, множественный доступ с временным разделением (например, наподобие используемого в стандартах сотовой связи, например GSM), множественный доступ с кодовым разделением, множественный доступ с частотным разделением, множественный доступ с ортогональным частотным разделением, расширенный спектр, спектр скачкообразной перестройки частоты и пр.

В различных вариантах осуществления наземный приемник 500 взаимодействует с устройством 100 скважинной телеметрии для регистрации и декодирования данных, закодированных на телеметрическом сигнале, с битовой скоростью по меньшей мере 1 бит в секунду (бит/с), 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 бит/с или более. Например, согласно вариантам осуществления, где устройство 100 скважинной телеметрии передает с высокой выходной мощностью (например, 1 кВт,

2 кВт или более) и/или широкой полосой передачи, наземный приемник 500 (например, демонстрирующий высокопроизводительные схемы регистрации описанного здесь типа) может обеспечивать битовую скорость передачи более 100 бит/с, например несколько сотен бит/с или 1 кбит/с или более, например в диапазоне от 1 бит/с до 10 кбит/с или любом его поддиапазоне.

В некоторых вариантах осуществления приемник 500 выполнен с возможностью приема данных от устройства 100 скважинной телеметрии по нескольким каналам передачи, например, по меньшей мере двум, трем, четырем, пяти, десяти, двадцати, тридцати, сорока, пятидесяти или более каналам передачи (например, в диапазоне от 1 до 1000 каналов или любом его поддиапазоне, например от 2 до 5 каналов, от 2 до 10 каналов, от 3 до 5 каналов, от 3 до 10 каналов, от 3 до 20 каналов, от 5 до 10 каналов или от 5 до 20 каналов). Например, каждый канал может соответствовать вышеописанной полосе частот. В различных вариантах осуществления может использоваться любая пригодная многоканальная или мультиплексная схема передачи, включая, например, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением, мультиплексирование с частотным разделением, мультиплексирование с временным разделением, мультиплексирование с кодовым разделением и их комбинации.

В некоторых вариантах осуществления наземный приемник 500 и устройство 100 скважинной телеметрии взаимодействуют для обеспечения канала передачи данных, например, с описанными здесь характеристиками производительности, когда скважинное устройство ЭМ телеметрии передает с глубин до 100, 500 м; 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 км или более, например в диапазоне от около 0 до 50 км или любом его поддиапазоне, например, от 0 до 1 км, от 0 до 5 км, от 0 до 10 км и от 0 до 15 км.

В некоторых вариантах осуществления наземный приемник 500 может регистрировать и декодировать слабый сигнал, даже при наличии значительного шума (например, типов электромагнитной помехи, формируемой в ходе бурения скважины). Отношение мощности сигнала к мощности шума  $SNT_P$  можно вычислять как

$$SNT_P = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)$$

где  $P_{signal}$  - мощность сигнала на детекторе и  $P_{noise}$  - мощность шума на детекторе. Аналогично отношение амплитуды сигнала к амплитуде шума  $SNT_A$  можно вычислять как

$$SNT_A = 10 \log_{10} \left( \frac{A_{signal}^2}{A_{noise}^2} \right)$$

где  $A_{signal}$  - амплитуда величины, связанной с сигналом (например, тока или напряжения антенного сигнала), и  $A_{noise}$  - амплитуда соответствующей величины для шума (например, шума тока или шума напряжения). В различных вариантах осуществления наземный приемник может надежно регистрировать сигнал, даже когда  $SNT_P$  и/или  $SNT_A$  меньше около 0, -10, -20, -30, -40, -50, -60, -70, -80, -90, -100, -120, -130, -140, -150, -160, -180, -190, -200 дБ или менее, например, в диапазоне от 0 до -200 дБ или любом ее поддиапазоне, например от 0 до -100 дБ или от 0 до -120 дБ.

В различных вариантах осуществления детектор 505 может демонстрировать высокий уровень чувствительности. Например, в некоторых вариантах осуществления детектор 505 может быть достаточно чувствителен для регистрации тока антенного сигнала с амплитудой 10 А или менее, 1 А или менее, 0,1 А или менее, 0,01 А или менее, 1 мА или менее, 0,1 мА или менее, 0,01 мА или менее, 1 мкА или менее, 0,1 мкА или менее, 0,01 мкА или менее, 1 нА или менее, 0,1 нА или менее, 0,01 нА или менее или 1 пА или менее, например, в диапазоне от 1 пА до 10 А или любом его поддиапазоне, например, от 1 пА до 1 нА, от 1 нА до 1 мкА, от 1 мкА до 1 мА, от 1 мА до 1 А. Ток антенного сигнала может осциллировать или иначе изменяться со временем (например, в виде острых импульсов). В подобных случаях вышеупомянутые уровни чувствительности можно реализовать для любого пригодного параметра, указывающего амплитуду тока, например пиковую амплитуду, среднюю по времени амплитуду, синусоидальную амплитуду или другую подходящую величину.

В некоторых вариантах осуществления детектор 505 может быть достаточно чувствителен для регистрации напряжения антенного сигнала с амплитудой 10 В или менее, 1 В или менее, 0,1 В или менее, 0,01 В или менее, 1 мВ или менее, 0,1 мВ или менее, 0,01 мВ или менее, 1 мкВ или менее, 0,1 мкВ или менее, 0,01 мкВ или менее, 1 нВ или менее, 0,1 нВ или менее, 0,01 нВ или менее, или 1 пкВ или менее, например, в диапазоне от 1 пВ до 10 В или любом его поддиапазоне, например, от 1 пВ до 1 нВ, от 1 нВ до 1 мкВ, от 1 мкВ до 1 мВ, от 1 мВ до 1 В. Напряжение антенного сигнала может осциллировать или иначе изменяться со временем (например, в виде острых импульсов). В подобных случаях вышеупомянутые уровни чувствительности можно реализовать для любого пригодного параметра, указывающего амплитуду напряжения, например пиковую амплитуду, среднюю по времени амплитуду, синусоидальную амплитуду или другую подходящую величину).

В некоторых вариантах осуществления детектор 505 может быть достаточно чувствителен для регистрации мощности антенного сигнала с амплитудой 10 Вт или менее, 1 Вт или менее, 0,1 Вт или менее, 0,01 Вт или менее, 1 мВт или менее, 0,1 мВт или менее, 0,01 мВт или менее, 1 мкВт или менее, 0,1 мкВт

или менее, 0,01 мкВт или менее, 1 нВт или менее, 0,1 нВт или менее, 0,01 нВт или менее или 1 пВт или менее, например, в диапазоне от 1 пВт до 10 Вт или любом его поддиапазоне, например, от 1 пВт до 1 нВт, от 1 нВт до 1 мкВт, от 1 мкВт до 1 мВт, от 1 мВт до 1 Вт. Мощность антенного сигнала может осциллировать или иначе изменяться со временем (например, в виде острых импульсов). В подобных случаях вышеупомянутые уровни чувствительности можно реализовать для любого пригодного параметра, указывающего амплитуду мощности, например пиковую амплитуду, среднюю по времени амплитуду, синусоидальную амплитуду или другую подходящую величину).

В различных вариантах осуществления детектор 505 выполнен с возможностью регистрации сигналов с вышеупомянутыми уровнями чувствительности даже при наличии значительного шума, например, характеризующихся вышеуказанными отношениями сигнал-шум  $SNT_p$  и/или  $SNT_A$ .

В различных вариантах осуществления детектор 505 может регистрировать сигнал, например ток антенного сигнала или напряжение антенного сигнала, в широком диапазоне частот. В некоторых вариантах осуществления детектор выполнен с возможностью регистрации тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала на частотах в диапазоне от около 0,5 до около 100 Гц или любой его поддиапазон, например от около 0,5 до около 50 Гц, от около 0,5 до около 30 Гц, от около 1 до около 100 Гц, от около 1 до около 50 Гц, от около 1 до около 30 Гц, от около 5 до около 100 Гц, от около 5 до около 50 Гц, от около 5 до около 30 Гц. В некоторых вариантах осуществления (например, при относительно низком высокочастотном затухании сигнала через землю или при наличии очень высокой выходной мощности на устройстве скважинной телеметрии) детектор 505 может быть выполнен с возможностью регистрации сигналов даже на более высоких частотах, например более 100, 200, 300, 400, 500 Гц, 1 кГц или более.

В различных вариантах осуществления детектор 505 может иметь большую полосу регистрации. В некоторых вариантах осуществления детектор выполнен с возможностью регистрации сигнала, например тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала, с полосой регистрации около 5 Гц или более, около 10 Гц или более, около 30 Гц или более, около 50 Гц или более, около 100 Гц или более, например в диапазоне от 1 до 1000 Гц или любом его поддиапазоне.

В ряде случаев окружение наземного приемника может включать в себя большое количество источников электромагнитной помехи. Например, применительно к бурению скважины, можно ожидать присутствия различных электрических генераторов, электродвигателей (например, приводного двигателя бурового инструмента), многочисленных кабелей и других проводящих объектов, которые могут нести паразитные токи, и т.д. Одним обычным типом помехи является фон сети переменного тока на основной частоте сети электроснабжения (например, 50 или 60 Гц) и его гармоники. Другим обычным типом помехи является электромагнитная наводка от приводного двигателя бурового инструмента, частота которой может совпадать с частотой вращения при бурении (например, 1 Гц при частоте вращения при бурении 60 об/мин) или ее гармониками. Дополнительно окружение может затруднять обеспечения надежного заземления наземного приемника, усиливая помеху вышеупомянутых типов посредством наводки с контура заземления и обуславливая синфазный шум в схеме регистрации.

В этой связи наземный приемник 500, и в частности детектор 505, может реализовать различные описанные здесь методы снижения или устранения нежелательных шума и помехи.

Например, в некоторых вариантах осуществления, наземный приемник 500 может иметь изолированное заземление. Изолированное заземление может обеспечивать замыкание через землю, позволяющее снизить или, по существу, устранить шум. Изолированное заземление может быть отдельным от аппаратуры замыканию через землю приемника 500, где аппаратура заземления включает в себя, например, металлические оболочки и пр., которые содержат проволоку и должны заземляться для обеспечения безопасного возвратного пути в случае токов повреждения.

В некоторых вариантах осуществления изолированное заземление обеспечивает изолированный, отдельный путь заземления от базового заземления в приемнике 500 и может помогать устранять потенциал с контура заземления. Изолированное заземление может быть изолированным и отдельным на всем протяжении от приемника 500 к источнику питания. В некоторых вариантах осуществления источник питания может быть специальным источником питания, который подает питание только на наземный приемник 500, и не подключенным к другой аппаратуре, например приводному двигателю бурового инструмента. Например, в некоторых вариантах осуществления специальный источник питания может включать в себя батарею, специальный генератор или специальную линию сети электроснабжения переменного тока.

В некоторых вариантах осуществления специальный источник питания может включать в себя малошумящий, линейный, изолированный источник питания с преобразователем переменного тока в постоянный ток. В некоторых вариантах осуществления источник питания может обеспечивать широкий диапазон выходных напряжений, например  $\pm 24$  В. В некоторых вариантах осуществления выходной сигнал источника питания может регулироваться в сторону снижения напряжения (например,  $\pm 16,5$  В) для дополнительного снижения шума.

В некоторых вариантах осуществления малошумящий источник питания, например непрерывный

источник питания с полным преобразованием AC-DC-AC, с изоляцией, может использоваться для обеспечения питания всей аппаратуры (например, компьютеров, дисплеев, осциллографов, анализаторов и т.д.), подключенных к детектору 505.

Как более подробно описано ниже, наземный приемник 500 может включать в себя один или более фильтров, выполненных с возможностью ослабления или устранения шума, например от электромагнитной помехи. В некоторых вариантах осуществления фильтр может включать в себя суперконденсатор. Суперконденсатор может представлять собой, например, высокочастотный суперконденсатор, имеющий частоту среза более около 10, 20, 30, 40, 50 Гц или более, например в диапазоне от 10 до 100 Гц или любом его поддиапазоне. В некоторых вариантах осуществления высокочастотный суперконденсатор может относиться к типу, описанному, например, в предварительной патентной заявке США 61/919692, поданной 20 декабря 2013 г., содержание каждой из которых полностью включено в данное описание в порядке ссылки. Как более подробно описано ниже, фильтр может быть хорошо сбалансированным дифференциальным фильтром с высокой степенью подавления синфазного шума.

В общем случае детектор 505 наземного приемника 500 может использовать схему дифференциальной регистрации, например, для снижения или устранения синфазного шума.

Например, детектор 505 может принимать симметричный входной сигнал от антенны 501, и регистрировать дифференциальную величину (например, разность между входными токами от каждого из электродов 503a и 503b или разность между входными напряжениями от каждого из электродов 503a и 503b).

В некоторых вариантах осуществления входной сигнал может быть биполярным сигналом. В некоторых вариантах осуществления детектор 505 может включать в себя один или более дифференциальных усилителей.

В некоторых вариантах осуществления дифференциальный усилитель может использовать несколько операционных усилителей каждый из которых имеет дифференциальный вход и несимметричный выход (например, спаренные инвертирующий усилитель и неинвертирующий усилитель). В некоторых вариантах осуществления несколько операционных усилителей можно реализовать в едином монолитном корпусе, например для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху.

В некоторых вариантах осуществления дифференциальный усилитель может использовать одно или более полностью дифференциальных усилительных устройств, имеющих дифференциальный вход и дифференциальный выход. В некоторых вариантах осуществления некоторые или все из полностью дифференциальных усилительных устройств можно реализовать в едином монолитном корпусе, например для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху.

В некоторых вариантах осуществления дифференциальный усилитель может предпочтительно усиливать дифференциальный сигнал, в то же время ослабляя шум в синфазном шуме. Например, дифференциальный усилитель может иметь коэффициент подавления синфазного шума (CMRR), заданный как

$$CMRR = 10 \log_{10} \left( \frac{A_{diff}^2}{A_{common}^2} \right)$$

где  $A_{diff}$  - коэффициент усиления дифференциального сигнала усилителя, и  $A_{common}$  - коэффициент усиления синфазного шума усилителя. В некоторых вариантах осуществления дифференциальный усилитель может иметь CMRR более 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 190, 200 дБ или более, например в диапазоне от 10 до 200 дБ или любом его поддиапазоне. В некоторых вариантах осуществления усилитель может демонстрировать вышеупомянутый CMRR в широком диапазоне частот, например от 0 (постоянного тока) до 100, 500 Гц, 1 кГц или более.

На фиг. 10 показан иллюстративный вариант осуществления детектора 505. Детектор 505 включает в себя предусилитель 601, вход которого подключен к приемной антенне 501. В некоторых вариантах осуществления первичный фильтр 602 подключен к выходу предусилителя 601 и выполнен с возможностью фильтрации предварительно усиленного сигнала от предусилителя 601, как подробно описано ниже. В некоторых вариантах осуществления необязательный предварительный фильтр 604 может располагаться до предусилителя 601, например для помощи в предотвращении насыщения предусилителя.

В некоторых вариантах осуществления первичный усилитель 603 подключен к первичному фильтру 602. Первичный усилитель 603 выполнен с возможностью дополнительного усиления фильтрованного сигнала предусилителя. Каждый из компонентов детектора 505 будет более подробно рассмотрен ниже.

Следует понимать, что в различных вариантах осуществления может использоваться больше или меньше каскадов усилителя или фильтра, при необходимости для применения вручную. Например, в некоторых вариантах осуществления при использовании контроля напряжения предусилитель 601 может быть исключен. Кроме того, хотя показан один детектор 505, в некоторых вариантах осуществления может использоваться несколько детекторов 505 (например, первый детектор для регистрации на основе тока и второй детектор для регистрации на основе напряжения).

В некоторых вариантах осуществления по меньшей мере один из предусилителя 601 и первичного

усилителя 603 является дифференциальным усилителем. В некоторых вариантах осуществления предусилитель и первичный усилитель являются дифференциальными усилителями. В некоторых вариантах осуществления, когда детектор 505 включает в себя дополнительные усилители, некоторые или все из дополнительных усилителей могут быть дифференциальными усилителями.

На фиг. 10B-D показаны иллюстративные варианты осуществления дифференциальных усилителей напряжения, управляемых током (например, пригодных для использования в качестве предусилителя 601 при регистрации тока антенного сигнала, как описано ниже). На фиг. 11B-D показаны иллюстративные варианты осуществления дифференциальных усилителей напряжения (например, пригодных для использования в качестве предусилителя 601 при регистрации напряжения антенного сигнала, как описано ниже, или для использования в качестве первичного усилителя в схемах контроля тока или напряжения).

Как упомянуто выше, в различных вариантах осуществления детектор 505 может быть выполнен с возможностью регистрации тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала. Выбор схемы контроля может зависеть от нескольких факторов, например резистивных свойств нагрузки детектора. В обычных вариантах осуществления резистивные свойства нагрузки будут определяться в основном характером сред отделяющих устройство скважинной телеметрии от наземного приемника. Другой фактор включает в себя, например, входной импеданс детектора 505.

В некоторых вариантах осуществления при относительно высоком сопротивлении нагрузки может использоваться контроль тока и при относительно низком сопротивлении нагрузки - контроль напряжения.

В обычных вариантах осуществления, когда используется контроль тока, приемник выполнен с возможностью иметь низкий входной импеданс (например, менее 50, 10, 5, 1 Ом, 100, 10, 1 мОм или менее), по возможности низкий шум, высокое подавление синфазного шума и высокую защиту с ограничением тока (например, до  $\pm 250$  В). Приемник может включать в себя входное экранирование, например, цилиндрический проводящий экран, окружающий один или более входных проводников от электродов 503), например, прикрепленных к локальному заземлению. В некоторых вариантах осуществления синфазный шум можно выделять и возвращать на возбудитель экрана (например, и возбудителя на основе операционного усилителя), который регулирует напряжение экрана для дополнительного шумоподавления. Приемник может демонстрировать буферизованный выходной сигнал с полосовой фильтрацией (например, для удаления низко- и/или высокочастотного шума) до дополнительной обработки сигнала.

Согласно вариантам осуществления, где используется контроль тока, предусилитель 601 может представлять собой усилитель напряжения, управляемый током (ТИА), который преобразует входной ток в выходное напряжение. В различных вариантах осуществления ТИА может включать в себя операционный усилитель, имеющий резистор обратной связи между выходом операционного усилителя и инвертирующим входом операционного усилителя, например, как показано на фиг. 11A. В некоторых вариантах осуществления, ТИА также может включать в себя конденсатор обратной связи, соединенный параллельно с резистором обратной связи для управления устойчивостью и полосой усилителя (например, как показано на фиг. 11B-D).

В некоторых вариантах осуществления, например, ТИА может представлять собой дифференциальный усилитель, который преобразует дифференциал входного тока в выходное напряжение (например, как показано на фиг. 11B) или дифференциал выходного напряжения (как показано на фиг. 11C и D).

Например, на фиг. 11B показан дифференциальный ТИА, который использует два операционных усилителя (каждый из которых обозначен VFB), каждый из которых имеет дифференциальный вход и одинарный выход. Каждый операционный усилитель принимает соответствующий входной ток  $I_{in+}$  и  $I_{in-}$  (например, с электродов 503a и 503b соответственно) на своем инвертирующем входе. Неинвертирующий вход обоих операционных усилителей поддерживается при общем напряжении. Каждый операционный усилитель имеет резистор обратной связи, подключенный между его выходом и его инвертирующим входом. Разность потенциалов  $V_o$  между выходами операционных усилителей будет пропорциональна разности между входными токами, благодаря чему

$$V_o = A_{diff} (I_{in+} - I_{in-})$$

где  $A_{diff}$  - коэффициент усиления дифференциального сигнала ТИА. Контур обратной связи для каждого операционного усилителя включает в себя конденсатор обратной связи, соединенный параллельно с резистором обратной связи для управления устойчивостью и полосой усилителя.

В некоторых вариантах осуществления оба операционных усилителя и необязательно некоторые или все из соответствующих резисторов или других элементов схемы можно реализовать в едином монолитном корпусе, например, для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху, сглаживания или устранения проблем рассогласования резисторов и т.д.

На фиг. 11C показан дифференциальный ТИА, который использует единый полностью дифференциальный усилитель (FDA), имеющий дифференциальные входы и дифференциальные выходы. FDA принимает входной ток  $I_{in+}$  и  $I_{in-}$  на своем неинвертирующем входе и инвертирующем входе соответственно. Первый резистор обратной связи подключен между первым выходом FDA и его неинвертирующим входом. Второй резистор обратной связи подключен между вторым выходом FDA и его инвертирующим входом. Разность потенциалов  $V_o$  между первым и вторым выходами FDA будет пропорциональна разности

сти между входными токами, благодаря чему

$$V_o = A_{diff} (I_{in+} - I_{in-})$$

где  $A_{diff}$  - коэффициент усиления дифференциального сигнала ТИА. Как показано, каждый контур обратной связи FDA включает в себя конденсатор обратной связи, соединенный параллельно с резистором обратной связи для управления устойчивостью и полосой усилителя.

В некоторых вариантах осуществления FDA и необязательно некоторые или все из соответствующих резисторов или других элементов схемы можно реализовать в едином монолитном корпусе, например, для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху, сглаживания или устранения проблем рассогласования резисторов и т.д.

Следует понимать, что схемы усилителя, показанные на фиг. 11А-С, являющиеся лишь иллюстративными, включают в себя дополнительные компоненты или модификации. Например, на фиг. 11D показан ТИА, аналогичный показанному на фиг. 11С, но с добавлением входного буфера, расположенного до каждого входа FDA. Как показано на вкладке, каждый из входных буферов может включать в себя операционный усилитель, выполненный в виде входного буфера с единичным коэффициентом усиления путем закорачивания выхода операционного усилителя с его инвертирующим входом. В некоторых вариантах осуществления операционные усилители, используемые для входных буферов, можно выбирать с желаемыми входными характеристиками, например, низким показателем шума входного тока и/или высоким входным импедансом. В некоторых подобных вариантах осуществления использование буферов может ослаблять требования к FDA (например, показателю шума входного тока или входному импедансу FDA) без ущерба для общей производительности усилителя.

В некоторых вариантах осуществления оба входные буферные операционные усилители можно реализовать в едином монолитном корпусе, например для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху.

В различных вариантах осуществления предусилитель 601 может включать в себя любой другой тип усилителя тока-напряжения. Например, различные варианты осуществления позволяют адаптировать усилители тока-напряжения типов, используемых для измерения слабых токов, например, выходных токов фотодиодов, работающих в фотогальваническом режиме, выходных токов фотоумножительных трубок и пр. Иллюстративные усилители включают в себя предусилители тока моделей 181, 5182, 5184 и 5186 производства Signal Recovery, Окридж, Теннесси.

В обычных вариантах осуществления при использовании контроля напряжения приемник выполнен с возможностью иметь высокий входной импеданс (например, более около 100 кОм, 1, 5, 10, 100 МОм, 1 ГОм или более, например в диапазоне от 100 кОм до 1 ГОм или любом его поддиапазоне), по возможности низкий шум, высокое подавление синфазного шума и высокую защиту с ограничением тока (например, до  $\pm 250$  В). Приемник может включать в себя входное экранирование, например цилиндрический проводящий экран, окружающий один или более входных проводников от электродов 503), например прикрепленных к локальному заземлению. В некоторых вариантах осуществления синфазный шум можно выделять и возвращать на возбудитель экрана (например, и возбудителя на основе операционного усилителя), который регулирует напряжение экрана для дополнительного шумоподавления. Приемник может демонстрировать буферизованный выходной сигнал с полосовой фильтрацией (например, для удаления низко- и/или высокочастотного шума) до дополнительной обработки сигнала.

В некоторых вариантах осуществления вся аппаратура, подключенная к детектору 505 (например, постусилители, выходные блоки и т.д.), может быть выполнена с возможностью избегать шунтирующих сопротивлений, которые снижают общий входной импеданс детектора 505.

В некоторых вариантах осуществления, где желателен контроль напряжения, предусилитель 601 может включать в себя один или более усилителей с обратной связью по напряжению. В некоторых вариантах осуществления усилитель с обратной связью по напряжению может использовать один или более операционных усилителей, каждый из которых имеет дифференциальный вход и одинарный выход. Например, на фиг. 12А показаны иллюстративные реализации инвертирующего усилителя с обратной связью по напряжению (вверху) и неинвертирующего усилителя с обратной связью по напряжению (внизу), пригодных для использования с несимметричным входным сигналом напряжения. В каждом случае входное напряжение  $V_{in}$  может приниматься от одного из электродов 503а или 503b, тогда как другой электрод подключен к замыканию через землю.

В некоторых вариантах осуществления (например, где проблема состоит в заземлении или синфазном шуме) усилитель с обратной связью по напряжению может представлять собой дифференциальный усилитель. Например, на фиг. 12В показана реализация дифференциального усилителя напряжения с использованием единого операционного усилителя, имеющего дифференциальные входы и одинарный выход. Каждый вход операционного усилителя принимает соответствующее входное напряжение  $V_1$ ,  $V_2$  (например, с электродов 503а и 503b соответственно). Резистор обратной связи подключен между выходом и инвертирующим входом операционного усилителя. Резистор настройки коэффициента усиления подключен между неинвертирующим входом операционного усилителя и замыканием через землю. Выходной сигнал усилителя будет пропорционален дифференциалу напряжения  $V_1 - V_2$ .

На фиг. 12С показан вариант осуществления дифференциального усилителя напряжения, демонстрирующий три операционных усилителя, каждый из которых имеет дифференциальный вход и одинарный выход. Два операционных усилителя (самые левые), каждый из которых имеет резистор обратной связи  $R_1$ , действуют как входные буферы, и третий операционный усилитель (самый правый) вырабатывает желаемый выходной сигнал. Каждый из буферных усилителей принимает соответствующее входное напряжение  $V_1$ ,  $V_2$  (например, с электродов 503а и 503b соответственно). В ответ самый правый усилитель вырабатывает выходное напряжение, пропорциональное разности между входными напряжениями, таким образом, что

$$\frac{V_{out}}{V_2 - V_1} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{gain}}\right) \frac{R_3}{R_2}.$$

Самый правый усилитель, совместно с резисторами, обозначенными  $R_2$  и  $R_3$ , располагается аналогично дифференциальному усилителю напряжения, показанному на фиг. 11В. Два усилителя слева являются буферами с единичным коэффициентом усиления. Использование одиночного резистора  $R_{gain}$  между двумя инвертирующими входами самых левых усилителей увеличивает коэффициент усиления дифференциального сигнала буферной пары, оставляя синфазный коэффициент усиления сигнала равным 1. Это увеличивает коэффициент подавления синфазного сигнала (CMRR) схемы и также позволяет буферам обрабатывать значительно более интенсивные синфазные сигналы без отсечки, чем было бы в случае, если бы они были отдельными и имели одинаковый коэффициент усиления. Еще одно преимущество этой конфигурации состоит в том, что она увеличивает коэффициент усиления с использованием одиночного резистора, а не пары, что позволяет избежать проблемы согласования резисторов и позволяет с большим удобством изменять коэффициент усиления схемы путем изменения значения одиночного резистора. В качестве  $R_{gain}$  можно использовать набор переключаемых резисторов или даже потенциометр, что позволяет легко изменять коэффициент усиления схемы, без усложнений, необходимых для переключения согласованных пар резисторов.

В некоторых вариантах осуществления оба входные буферные операционные усилителя и выходной операционный усилитель, совместно с некоторыми или всеми из резистивных элементов, можно реализовать в едином монолитном корпусе, например, для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху, для снижения проблемы рассогласования резисторов и т.д.

Иллюстративные дифференциальные усилители напряжения, демонстрирующие преимущественное подавление синфазного сигнала, включают в себя модели AD8221, AD8129 и AD8130 производства Analog Devices, Inc., Норвуд, Массачусетс.

В некоторых вариантах осуществления в качестве дифференциального усилителя напряжения можно использовать полностью дифференциальные усилители, имеющие дифференциальный вход и дифференциальный выход. В некоторых вариантах осуществления один или более полностью дифференциальных усилителей можно реализовать в едином монолитном корпусе, например, для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху.

На фиг. 12D показан вариант осуществления дифференциального усилителя напряжения, демонстрирующий полностью дифференциальный усилитель (FDA), имеющий дифференциальный вход и дифференциальный выход. FDA принимает входные напряжения  $V_{IN+}$  и  $V_{IN-}$  (например, с электродов 503а и 503b) через резисторы  $R_1$  и  $R_3$  на своем неинвертирующем входе и инвертирующем входе соответственно. Первый резистор обратной связи  $R_2$  подключен между первым выходом FDA и его неинвертирующим входом. Второй резистор обратной связи  $R_4$  подключен между вторым выходом FDA и его инвертирующим входом. Разность потенциалов  $V_o$  между первым и вторым выходами FDA будет пропорциональна разности между входными токами, благодаря чему

$$V_o = A_{diff} (V_{IN+} - V_{IN-}).$$

где  $A_{diff}$  - коэффициент усиления дифференциального сигнала усилителя.

В некоторых вариантах осуществления FDA, возможно, совместно с некоторыми или всеми из резистивных элементов, можно реализовать в едином монолитном корпусе, например, для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху, для снижения проблемы рассогласования резисторов и т.д.

В различных вариантах осуществления предусилитель 601 может включать в себя любой другой пригодный тип усилителя напряжения. Например, другой вариант осуществления позволяют адаптировать усилители напряжения типов, используемых для измерения малых напряжений, например, в области научной аппаратуры. Иллюстративные усилители напряжения включает в себя предусилитель напряжения модели 5113 производства Signal Recovery, Окридж, Теннесси.

В различных вариантах осуществления операционные усилители и/или полностью дифференциальные усилительные устройства, используемые в описанных здесь схемах, можно выбирать для получения желаемых характеристик, например, низкой интенсивности шума входного тока, низкой интенсивности шума входного напряжения, высокого CMRR (как описано выше), высокого коэффициента усиления, высокой полосы и их комбинаций. Например, в некоторых вариантах осуществления устройства спроек-

тированы с интенсивностью шума входного тока менее 100, 10, 1 нА/√Гц, 100, 10, 1 пА/√Гц, 100, 10, 1 фА/√Гц или менее, например в диапазоне от 100 нА/√Гц до 1 фА/√Гц или любом его поддиапазоне. В некоторых вариантах осуществления устройства спроектированы с интенсивностью шума входного напряжения 10, 1 мВ/√Гц, 100, 10, 1 нВ/√Гц, 100, 10, 1 пВ/√Гц, 100, 10, 1 фВ/√Гц, например, в диапазоне от 10 мВ/√Гц до 1 фВ/√Гц или любом его поддиапазоне.

Иллюстративные малошумящие операционные усилители включают в себя модели AD8610 и AD8620 производства Analog Devices, Inc. Норвуд, Массачусетс или модели LT6236, LT6237 и LT6238A производства Linear Technology, Милпитас, Калифорния. Иллюстративные малошумящие полностью дифференциальные усилители включают в себя модель AD8132 производства Analog Devices, Inc. Норвуд, Массачусетс и модель THS4140 производства Texas Instruments, Даллас, Техас.

В некоторых вариантах осуществления предварительный фильтр 604 может использоваться для фильтрации сигнала от антенны 501 до поступления на детектор 505, например, на предусилителе 601. В некоторых вариантах осуществления предварительный фильтр 604 может быть полосовым фильтром, имеющим одну или более полос пропускания, соответствующим частотам, представляющим интерес (например, частотам передачи устройства скважинной телеметрии). В некоторых вариантах осуществления предварительный фильтр 604 может снижать или устранять насыщение предусилителя 601 (например, вследствие высокой амплитуды шума на частотах за пределами частот, представляющих интерес).

В некоторых вариантах осуществления предварительный фильтр 604 может включать в себя только пассивные элементы (например, резисторы, конденсаторы, дроссели, трансформаторы и диоды). В некоторых вариантах осуществления предварительный фильтр 604 может включать в себя активные элементы (операционные усилители, дифференциальные усилители и т.д.), например, помимо пассивных элементов.

В некоторых вариантах осуществления желательно, чтобы фильтр демонстрировал высокий динамический диапазон, во избежание потери сигнала. В некоторых вариантах осуществления, динамический диапазон предварительного фильтра составляет по меньшей мере 60, 90, 120, 150, 180, 200 дБ или более, например в диапазоне от 60 до 200 дБ или любом его поддиапазоне.

В некоторых вариантах осуществления первичный фильтр 602 фильтрует выходной сигнал предусилителя 601 до поступления на первичный усилитель 603. Первичный фильтр 602 может быть выполнен с возможностью пропускания сигналов в одной или более полосах пропускания, соответствующих частотам телеметрического сигнала и ослабления или блокирования сигналов по меньшей мере в одной полосе заграждения, соответствующей частотам источника шума.

Например, когда источником шума является приводной двигатель для скважинного бурового инструмента, связанного с устройством скважинной телеметрии, узкая полоса заграждения может обеспечиваться на одной или более из соответствующих частот. Например, если приводной двигатель работает на частоте 60 об/с, узкая полоса заграждения может обеспечиваться вокруг 1 Гц (например, от 0,5 Гц до 1,5 Гц) и необязательно на ее гармониках.

В некоторых вариантах осуществления полоса заграждения вокруг частоты шума может быть узкой, во избежание ненужной потери сигнала. Например, в некоторых вариантах осуществления полоса заграждения имеет ширину менее 10, 5, 3, 2, 1, 0,5, 0, -0,5, -1, -2, -3, -5, -10 дБ или менее, где полоса вычисляется как

$$Width_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{center}} \right)$$

где  $f_{max}$  - максимальная частота,  $f_{min}$  - минимальная частота и  $f_{center}$  - центральная частота полосы заграждения. Максимальная и минимальная частоты берутся в точках затухания -3 дБ. Например, в некоторых вариантах осуществления полоса заграждения имеет абсолютную ширины менее 10, менее 5, менее 3, менее 2, менее 1, менее 0,5 Гц или менее, например, в диапазоне от 0,1 до 10 Гц или любом его поддиапазоне.

В некоторых вариантах осуществления одна или более полос пропускания первичного фильтра 602 могут быть обрамлены полосами заграждения на более низких и более высоких частотах, например, для снижения или устранения шума/помехи вблизи полосы.

В некоторых вариантах осуществления первичный фильтр 602 может включать в себя фильтр низких частот для ослабления или устранения высокочастотного шума на частотах выше передаваемых устройством скважинной телеметрии. В некоторых вариантах осуществления первичный фильтр 602 может включать в себя фильтр высоких частот для ослабления или устранения низкочастотного шума (например, шума 1/f) на частотах ниже передаваемых устройством скважинной телеметрии.

В различных вариантах осуществления первичный фильтр 602 может включать в себя один или более аналоговых фильтров. Первичный фильтр 602 может включать в себя любой из фильтра Баттерворта, Чебышева, эллиптического и Бесселева фильтра. В некоторых вариантах осуществления первичный фильтр 602 может включать в себя один или более фильтров высокого порядка, например 2-го, 3-го, 4-го, 5-го, 6-го, 7-го, 8-го, 9-го, 10-го и фильтров более высокого порядка. В различных вариантах осуществления может использоваться фильтр любой пригодной топологии, например топологии Саллена - Ки.

В различных вариантах осуществления некоторые или все фильтрующие компоненты первичного

фильтра 602 могут быть полностью дифференциальными и могут демонстрировать высокое подавление синфазного шума. В некоторых вариантах осуществления, первичный фильтр 602 может иметь CMRR более 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 130, 140, 150, 160, 180, 190, 200 дБ или более, например в диапазоне от 10 до 200 дБ или любом его поддиапазоне. В некоторых вариантах осуществления усилитель может демонстрировать вышеупомянутый CMRR в широком диапазоне частот, например от 0 (постоянного тока) до 100, 500 Гц, 1 кГц или более.

В различных вариантах осуществления первичный фильтр 602 можно реализовать с использованием операционных усилителей, полностью дифференциальных усилителей и их комбинаций, (включающих в себя маломощные устройства, описанные выше со ссылкой на предусилитель 601) совместно с дросселями и/или конденсаторами. Примеры фильтров, построенных с использованием полностью дифференциальных усилителей, можно найти, например, в статье В. Carter, A differential Op-Amp Circuit Collection, Texas Instruments 2001 (доступной по адресу <http://www.ti.com/lit/an/sloa064/sloa064.pdf>, посещенной 19 октября 2014 г.), содержание которой целиком включено посредством ссылки.

В некоторых вариантах осуществления некоторые или все из операционного усилителя, полностью дифференциального усилителя, резистора, конденсатора, дросселя и других элементов первичного фильтра можно реализовать в одном или более монолитных корпусах, например, для уменьшения количества внешних соединений, которые могут наводить электромагнитную помеху, для снижения проблемы расогласования резисторов и пр.

В различных вариантах осуществления первичный усилитель 603 дополнительно усиливает сигнал от предусилителя 601. В различных вариантах осуществления первичный усилитель может быть маломощным усилителем напряжения, например, наподобие описанного выше в отношении предусилителей с контролем напряжения.

В различных вариантах осуществления первичный усилитель 603 может включать в себя усилитель любого пригодного типа. Например, в некоторых вариантах осуществления первичный усилитель 603 можно адаптировать из усилителя наподобие используемого в точном усилении аудиосигнала. Например, в некоторых вариантах осуществления первичный усилитель 603 может быть усилителем класса D (например, наподобие описанного выше для использования в устройстве 100 скважинной телеметрии).

Хотя было описано несколько примеров детектора 505, следует понимать, что в различных вариантах осуществления могут использоваться другие подходящие типы детекторов. Например, в некоторых вариантах осуществления детектор 505 может реализовать метод синхронной регистрации, например, где устройство скважинной телеметрии включает в себя тактовый генератор, синхронизированный с наземным тактовым генератором, и модулирует телеметрическую систему на основании согласования с тактовым генератором. В таких вариантах осуществления детектор 505 может включать в себя синхронный усилитель. Примеры синхронных усилителей, пригодных для синхронной регистрации слабого сигнала, включают в себя синхронные усилители производства Signal Recovery, Окридж, Теннесси, например модели 5210, 7124 и 7280. В некоторых вариантах осуществления синхронные усилители могут быть выполнены с возможностью выборочно работать в режимах ввода тока и ввода напряжения.

Как показано на фиг. 12, в некоторых вариантах осуществления декодер 507 может включать в себя аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 701, процессор 702 и необязательно анализатор 703 сигнала. АЦП 701 преобразует аналоговый сигнал от детектора 505 в цифровой сигнал и передает цифровой сигнал на процессор 702 и анализатор 703 сигнала. В некоторых вариантах осуществления АЦП имеет высокие чувствительность и динамический диапазон.

Следует понимать, что в других вариантах осуществления АЦП может быть исключен, например, когда процессор 702 является аналоговым процессором.

Процессор 702 может принимать цифровой сигнал от АЦП 701 и обрабатывать сигнал, например, для декодирования данных, закодированных на телеметрическом сигнале, как описано выше. В некоторых вариантах осуществления процессор 702 может включать в себя один или более микропроцессоров общего назначения. В некоторых вариантах осуществления процессор может включать в себя один или более процессоров специального назначения, например цифровой сигнальный процессор. В некоторых вариантах осуществления процессор может выводить данные (например, декодированные данные из телеметрического сигнала), например, на дисплей или память. В некоторых вариантах осуществления процессор 702 может выполнять дополнительные функции, например пользовательский интерфейс, управление мощностью и отслеживание, синхронизацию и/или управление одного или более компонентов наземного приемника 500.

В некоторых вариантах осуществления анализатор 703 сигнала также принимает цифровой сигнал от АЦП 701. В некоторых вариантах осуществления анализатор сигнала может включать в себя анализатор спектра, который преобразует сигнал из временной области в частотную область для формирования информации частотного спектра, например, с использованием подходящего алгоритма цифрового преобразования, например быстрого преобразования Фурье (FFT). Частотный спектр может использоваться, например, для идентификации источников шума на различных частотах. Затем эта информация может использоваться для изменения работы антенны 501 (например, путем изменения размещения электрода) или детектора 505 (например, путем регулировки полосы заграждения, полосы пропускания, частоты

среза или другого свойства одного или более фильтров) для снижения или устранения идентифицированного шума.

В некоторых вариантах осуществления, регулировка может осуществляться вручную. Например, пользователь может заменять или модифицировать различные компоненты детектора 505, например, дроссели или конденсаторы фильтра, или может вручную перемещать электроды 503a и 503b для снижения шума.

В некоторых вариантах осуществления регулировка может осуществляться автоматически. Например, анализатор 703 сигнала может взаимодействовать с процессором 702 для автоматической регулировки работы детектора 505. Например, детектор 505 может включать в себя фильтр, имеющий батарею переключаемых элементов (например, дросселей или конденсаторов), который можно использовать для регулировки свойств фильтров. Процессор 702 может управлять переключателем батареи элементов для регулировки фильтра в соответствии с данными шума, формируемыми анализатором 703 сигнала. Альтернативно процессор 702 может управлять переключателями, которые подключают и отключают один или более разных фильтров к/от схеме/ы обработки сигнала желаемым образом.

В различных вариантах осуществления могут обеспечиваться другие типы анализаторов сигнала, включая анализаторы, которые работают во временной области или применяют к сигналу разные типы преобразований области (например, вейвлет-преобразование).

Следует понимать, что в различных вариантах осуществления функции АЦП 701, процессора 702 и анализатора 703 сигнала могут быть реализованы любым пригодным образом, например в виде комбинации программного обеспечения и оборудования, и распределены по одному или более процессорам.

В некоторых вариантах осуществления одно или более из вышеописанных аналоговых фильтрующих устройств можно заменить цифровым фильтром, например, реализованным в цифровом сигнальном процессоре (DSP), подключенном к АЦП 701. Например, в некоторых вариантах осуществления DSP может реализовать полосовой фильтр высокого порядка, например, с линейной фазой.

В некоторых вариантах осуществления цифровыми фильтрами может управлять, например, процессор 702 для компенсации изменений шумовых характеристик входного сигнала, например, регистрируемого анализатором 703 сигнала. В некоторых вариантах осуществления анализатор 703 сигнала также может быть реализованный, по меньшей мере частично, с использованием DSP.

В некоторых подобных вариантах осуществления желательно использовать высокопроизводительный АЦП, например АЦП от 24 до 31 бита с низкими шумовыми характеристиками. В некоторых вариантах осуществления, например, где наземный детектор 500 является "доработанным" блоком, выполненным с возможностью сопряжения с вышележащей аналоговой системой, цифро-аналоговый преобразователь (DAC), например 16-битовый DAC, может использоваться для преобразования цифрового сигнала от детектора 500 обратно в аналоговый сигнал, пригодный для использования с вышележащей системой.

На фиг. 14А показано иллюстративное размещение телеметрической системы, включающей в себя скважинный инструмент 100 ЭМ телеметрии и наземный приемник 500 описанного здесь типа. Телеметрический инструмент 100 входит в состав сборки 801 буровой колонны (DSA), которая включает в себя буровой инструмент, приводимый в движение наземным буровым станком 802. Детекторная и декодерная части наземного приемника 500 (совместно, например, с такими периферийными компонентами как специальный источник питания, память, пользовательские устройства ввода/вывода и пр.) находятся в аппаратной будке 803 на поверхности. Электроды 503a и 503b располагаются вне будки 803, и каждый из них подключен к детектору 505 соответствующим проводом.

В некоторых вариантах осуществления один или более из проводов может быть центральным проводником коаксиального кабеля, причем наружный проводник кабеля используется для обеспечения экранирования. Например, наружный проводник может быть заземлен. В некоторых вариантах осуществления, например, когда детектор 505 работает в режиме контроля напряжения, наружный проводник может оставаться при том же потенциале смещения постоянного тока, что и внутренний проводник (например, для снижения шума, связанного с заземлением).

В некоторых вариантах осуществления может быть желательно, чтобы один из электродов 503 находился в электрическом контакте с DSA 801. Как показано, первый электрод 503a находится в электрическом контакте с буровым станком 802, связанным со сборкой буровой колонны. В некоторых вариантах осуществления буровой станок 802 может находиться в хорошем электрическом контакте с DSA 801, таким образом, обеспечивая желаемый электрический контакт между электродом 503a и DSA 801.

Однако в некоторых вариантах осуществления буровой станок 802 может не обеспечивать надежный электрический контакт с DSA 801. В подобных случаях кабель 804 (или другой подходящий электрически проводящий элемент) может использоваться для установления электрического контакта между DSA 801 и объектом, расположенным выше по стволу скважины, который обеспечивает хороший электрический контакт с первым электродом 503a. Например, как показано, кабель 804 обеспечивает непрерывный, надежный электрический контакт между DSA 801 и устьевым противовыбросовым преентором 805, который, в свою очередь, находится в хорошем электрическом контакте с буровым станком 801 и первым электродом 503a. В других вариантах осуществления кабель 804 может быть присоединенный

непосредственно к буровому станку 801 или непосредственно к первому электроду 503а.

В некоторых вариантах осуществления контакт между кабелем 804 и DSA 801 может допускать движение (например, вращение) DSA 801. Например, контакт может представлять собой скользящий контакт, например щеточный контакт.

Второй электрод 503b располагается на или вблизи (например, в 1-10 м) поверхности для приема электромагнитного сигнала, передаваемого от скважинного устройства 100 ЭМ телеметрии. Как подробно описано выше, сигнал может кодироваться данными, связанными с работой (например, направления, наклона, частоты вращения и т.д.) DSA 801. Например, как описано выше, скважинное устройство 100 ЭМ телеметрии может запускать изменяющийся со временем ток через подземный пласт между телеметрическим устройством 100 и вторым электродом 503b. Затем сигнал регистрируется детектором 505 (например, как сигнал тока или напряжения) и декодируется декодером 507.

В некоторых вариантах осуществления второй электрод 503b может представлять собой стержень, выполненный с возможностью частичного внедрения в землю. В некоторых вариантах осуществления, например, как показано на фиг. 14А, второй электрод 503b может включать в себя пластину токоснимателя для увеличения регистрируемого сигнала. Например, пластина токоснимателя может располагаться поперек воображаемой оси, указывающей от центра земли к наземному электроду 503b.

В некоторых вариантах осуществления несколько электродов 503 (не показаны) могут распределяться в различных положениях по поверхности для сбора тока, передаваемого от телеметрического устройства 100, и, таким образом, увеличения сигнала, выдаваемого на детектор 505 (и необязательно обеспечения пространственной или временной информации о передаваемом сигнале, например, полярности, местоположения источника, времени прохождения и т.п.).

В некоторых вариантах осуществления первый электрод может быть отсоединен от бурового станка 802 (и, в свою очередь, DSA 801). В некоторых подобных вариантах осуществления первый электрод 503а также может представлять собой стержень, аналогичный второму электроду 503b, но отстоящий от него. В некоторых подобных вариантах осуществления ни один из электродов 503 не находится в электрическом контакте с DSA 801.

Согласно фиг. 14В, в некоторых вариантах осуществления второй электрод 503b может находиться в электрическом контакте по меньшей мере с одним подземным объектом 901. Подземный объект 901 может представлять собой любой электрически проводящий объект, соседствующий с буровой площадкой, содержащей DSA 801, например соседним компонентом скважины (например, обсадной трубой или противовыбросовым компонентом), металлическую залежь или любой другой пригодный объект. Подземный объект 901 может действовать как токосниматель для электрода 503b с увеличенной близостью к DSA 801, таким образом, снижая потерю сигнала при передаче через подземный пласт между телеметрическим устройством 100 и вторым электродом 503b.

В некоторых вариантах осуществления наземный детектор 500 может использовать методы снижения или устранения шума. Например, фиг. 15 схематически демонстрирует иллюстративную схему 1001 регистрации для наземного приемника 500. Скважинный инструмент ЭМ телеметрии возбуждает ток сигнала  $I_{\text{signal}}$  через сопротивление подземного пласта  $R_{\text{form}}$  к электроду 503b приемной антенны 501.

Физическая конфигурация схемы 1001 регистрации может включать в себя проводящий контур с магнитным потоком, проходящим через контур (указанным крестиками). Зависимые от времени изменения магнитного потока будут создавать электродвижущую силу (ЭДС) в схеме, в результате чего ток  $I_{\text{detector}}$ , поступающий на детектор 505 через электрод 503b, будет равен сумме  $I_{\text{signal}}$  и дополнительного тока  $I_{\text{magnetic}}$ , обусловленного магнитной ЭДС. В некоторых вариантах осуществления, например, когда непрактично управлять магнитным потоком через схему 1001 регистрации, ток  $I_{\text{magnetic}}$  будет представлять шум детектору 505.

В некоторых вариантах осуществления может обеспечиваться фиктивная схема 1002 регистрации. Как указано пунктирными линиями на фиг. 15, фиктивная схема 1002 имеет, по существу, такую же физическую конфигурацию и местоположение, как схема 1001 регистрации. Ток сигнала  $I_{\text{signal}}$  не поступает на фиктивную схему 1002. Фиктивная схема может включать в себя резистор  $R_{\text{dummy}}$ , сопротивление которого равно сопротивлению подземного пласта  $R_{\text{form}}$ . Поскольку фиктивная схема 1002 совмещена со схемой 1001 регистрации, через нее протекает примерно такой же изменяющийся со временем магнитный поток, и поэтому в ней формируется примерно такая же ЭДС. Когда  $R_{\text{dummy}}$  равно сопротивлению подземного пласта  $R_{\text{form}}$ , полный ток, поступающий на детектор 505 из фиктивной схемы 1002, будет равен току магнитного шума  $I_{\text{magnetic}}$  схемы 1001 регистрации. Зарегистрированный сигнал от фиктивной схемы 1002 можно вычитать из зарегистрированного сигнала от схемы регистрации (например, с использованием дифференциального усилителя), чтобы существенно подавлять составляющую магнитного шума, оставляя только  $I_{\text{signal}}$ .

Например, как показано на фиг. 14А, фиктивную схему 1002 можно реализовать путем обеспечения фиктивного электродного стержня 1003 рядом с детекторным электродным стержнем 503b, но электрически изолированного от подземного пласта, и, таким образом, изолированного от телеметрического сигнала. Фиктивный электрод 1003 может быть подключен к детектору 505 проводкой, имеющей такую же конфигурацию и расположенную рядом с соответствующей проводкой детекторного электродного

стержня 503b. Детектор 505 может реализовать вышеописанную схему дифференциальной регистрации для снижения или, по существу, устранения магнитной помехи.

Согласно вариантам осуществления, где используются дополнительные электроды, вышеупомянутый метод подавления магнитного шума можно расширить путем обеспечения фиктивного стержня рядом с каждым детекторным электродным стержнем.

Хотя вышеупомянутый метод подавления магнитного шума обеспечивается в контексте регистрации тока, следует понимать, что, по существу, аналогичный подход может использоваться в контексте регистрации напряжения.

В различных вариантах осуществления путь сигнала между каждым из электродов 503 и детектором 505 можно выбирать для снижения или устранения шума. Например, в некоторых вариантах осуществления, где присутствуют внешние источники шума, провод между электродом 503 и детектором 505 не прокладывается по кратчайшему доступному пути, но, напротив, отклоняется от кратчайшего доступного пути, чтобы избегать источников шума. Например, в некоторых вариантах осуществления, когда детектор 505 располагается на площадке под буровую установку (т.е. на участке расчищенной территории, поддерживающем различное буровое оборудование, окруженном участком нерасчищенной территории), может быть желательным прокладывать соединительный провод вдоль или вне периметра площадки под буровую установку во избежание наводки от источников шума на площадке.

В некоторых вариантах осуществления, где используется несколько электродов 503, может быть желательным прокладывать два или более соединительных проводов по общему пути (например, в виде витой пары проводов, окруженных проводящим экраном, например, заземленным или прикрепленным к возбудителю экрана для вышеописанного шумоподавления) на протяжении по меньшей мере части пути, ведущего от детектора 505. Затем провода могут ответвляться от общего участка пути к каждому из соответствующих электродов.

В некоторых вариантах осуществления, например, когда детектор 505 располагается в будке, окруженный различной другой аппаратурой, может быть желательным экранировать провода от электродов 503, входящих в будку и подключенных к детектору 505. В некоторых вариантах осуществления все провода от электродов 503 могут направляться в распределительную коробку, расположенную вне будки приемника. В некоторых вариантах осуществления распределительная коробка обеспечивает только два выходных провода, в виде экранированной витой пары, в будку. Это предотвращает избыточный шум от одной линии негативно влиять на другие и облегчает подачу сигнала на детектор 505. Переключение между различными (например, 3 или более) входными линиями распределительной коробки и двумя выходными линиями распределительной коробки может осуществляться любым пригодным образом, например цифровыми средствами из будки (например, с использованием одного или более транзисторных переключателей) или вручную от внешней распределительной коробки.

#### Системы передатчика/приемника

В различных вариантах осуществления описанные здесь устройства и системы ЭМ телеметрии и наземные устройства и системы приемника могут использоваться по отдельности. Однако в некоторых вариантах осуществления совместное использование этих устройств и систем может обеспечивать преимущественную синергию. Скважинные устройства и системы ЭМ телеметрии обеспечивают передачу высокой мощности в широком диапазоне частот, даже в экстремальных условиях в скважине. Наземный приемник может принимать и декодировать эту передачу с высокой чувствительностью и высоким шумоподавлением. Вместе с тем система может обеспечивать надежную, с высокой битовой скоростью линию связи между скважинным инструментом и наземным контроллером, даже на больших глубинах и в экстремальных условиях.

Наличие такой надежной линии передачи может обеспечивать многочисленные преимущества и может создавать условия для буровых работ, невозможных без такой линии связи. Например, такая надежная линия связи позволяет оператору принимать, по существу, непрерывную телеметрию (например, положение, направление, наклон, частоту вращения и другую информацию), осуществлять сложные операции направленного бурения. Телеметрия может обеспечиваться, по существу, непрерывно (например, с частотой обновления достаточной для отслеживания положения и состояния бурового инструмента, необходимых для работы) в течение десятков или даже сотен часов эксплуатации. Соответственно оператор имеет возможность получать более плавные, более преимущественные траектории бурения, чем было возможно ранее.

Хотя в вышеприведенных примерах основное внимание было уделено обеспечению телеметрии для скважинного инструмента, например бура, следует понимать, что предусмотренные здесь устройства и методы могут использоваться для любого пригодного применения, включающего в себя другие типы подземной связи или телеметрии.

#### Включение посредством ссылки

Все содержание всех патентов, опубликованных патентных заявок и других упомянутых здесь ссылок, включающих в себя, но без ограничения, перечисленные в нижеприведенной табл. 2, в явном виде включено сюда в полном объеме посредством ссылки.

Таблица 2

Патент. заяв. №	Дело №	Заглавие заявки	Дата подачи	Дата публикации	Публикация №
12/928,896	UTL-002-N	Electrochemical Double-Layer Capacitor for High Temperature	12/21/2010	6/21/2012	US20120154979
12/928,897	UTL-003-N	Battery-Capacitor Hybrid Energy Storage System for High	12/21/2010	6/21/2012	US20120156528
13/480,085	UTL-004-N	Power System for High Temperature Applications with	5/24/2012	10/25/2012	US20120268074
PCT/US12/39342	UTL-004-PCT	Power System for High Temperature Applications with	5/24/2012	11/29/2012	WO2012162500
13/491,593	UTL-006-N	Energy Storage Media for Ultracapacitors	6/7/2012	12/13/2012	US20120313591
PCT/US12/41438	UTL-006-PCT	Energy Storage Media for Ultracapacitors	6/7/2012	12/13/2012	WO2012170749
PCT/US12/45994	UTL-010-PCT	High Temperature Energy Storage Device	7/9/2012	1/17/2013	WO2013009720
13/553,716	UTL-011-N	Power Supply for Downhole Instruments	7/19/2012	1/31/2013	US20130026978
PCT/US12/47474	UTL-011-PCT	Power Supply for Downhole Instruments	7/19/2012	1/31/2013	WO2013016145
13/560,628	UTL-012-N	Aluminum Housing with a Hermetic Seal	7/27/2012	1/31/2013	US20130029215
13/588,452	UTL-013-N	In-line Manufacture of Carbon Nanotubes	8/17/2012	2/21/2013	US20130045157
13/587,037	UTL-014-N	High Power and High Energy Electrode using	8/16/2012	2/21/2013	US20130044405
13/669,396	UTL-016-N	Production Logging	11/5/2012	10/17/2013	US20130271
PCT/US12/63621	UTL-016-PCT	Production Logging Instrument	11/5/2012	5/10/2013	WO2013067540
13/681,081	UTL-018-N	Mechanical Hermetic	11/19/2012	6/6/2013	US20130143
13/706,055	UTL-019-N	On-Board Power Supply	12/5/2012	6/6/2013	US20130141
PCT/US13/27697	UTL-024-PCT	Advanced Electrolyte Systems and Their Use in Energy Storage	2/25/2013	8/29/2013	WO2013126915
13/776,603	UTL-024-N	Advanced Electrolyte Systems and Their Use in Energy Storage	2/25/2013	2/13/2014	US20140042988
13/886,177	UTL-028-N	Enhanced Carbon Based Electrode for Use in	5/2/2013	2/27/2014	US20140057164

PCT/US14/ 29992	UTL-033- PCT	Modular Signal Interface Devices and Related Downhole Power	3/15/2014	9/18/2014	WO20141452 59
PCT/US14/ 30310	UTL-034- PCT	Inertial Energy Generator for Supplying Power to a	3/17/2014	9/18/2014	WO20141455 20

Специалисты в данной области техники способны понять или установить с использованием не более чем обычных экспериментов многочисленные эквиваленты конкретных описанных здесь процедур. Такие эквиваленты считаются входящими в объем этого изобретения и охватываются нижеследующей формулой изобретения. Кроме того, любые предусмотренные здесь численные или алфавитные диапазоны призваны включать в себя верхние и нижние значения этих диапазонов. Кроме того, любое перечисление или группирование призвано по меньшей мере в одном варианте осуществления представлять условное обозначение или удобный способ перечисления независимых вариантов осуществления; таким образом, каждый элемент списка следует считать отдельным вариантом осуществления.

Следует понимать, что изложенные здесь принципы являются лишь иллюстративными и не ограничивают изобретение. Хотя изобретение описано со ссылкой на иллюстративные варианты осуществления, следует понимать, что, не выходя за рамки объема изобретения, можно вносить различные изменения и заменять элементы их эквивалентами. Кроме того, можно предложить многочисленные модификации для адаптации конкретного инструмента, ситуации или материала к принципам изобретения, не выходя за рамки его существенного объема. Поэтому предполагается, что изобретение не ограничивается конкретным раскрытым вариантом осуществления, но определяется нижеследующей формулой изобретения.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система электромагнитной (ЭМ) телеметрии, содержащая устройство ЭМ телеметрии и приемник, устройство ЭМ телеметрии способно передавать импульсный сигнал ЭМ телеметрии, который имеет пиковую импульсную мощность между 20 и 2000 Вт и/или среднюю импульсную мощность между 20 и 2000 Вт;

приемник содержит антенну, детектор и декодер;

причем антенна выполнена с возможностью формировать ток и напряжение в ответ на сигнал ЭМ телеметрии;

детектор выполнен с возможностью регистрировать по меньшей мере одно из тока и напряжения от антенны и формировать соответствующий сигнал детектора;

декодер выполнен с возможностью декодировать сигнал детектора при битовой скорости по меньшей мере 1 бит/с (bps);

энергозапасяющее устройство, содержащее по меньшей мере одну батарею, индуктор, высокотемпературное подзаряжаемое энергозапасяющее устройство (HTRES) или любую их комбинацию, причем энергозапасяющее устройство находится на связи с устройством ЭМ телеметрии.

2. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой антенна содержит первый электрод и второй электрод.

3. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой энергозапасяющее устройство содержит HTRES, содержащий по меньшей мере один электролитический конденсатор, гибридный конденсатор, суперконденсатор или любую их комбинацию.

4. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой упомянутое устройство выполнено с возможностью подключения к шине питания бурового снаряда (ТРВ).

5. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой упомянутое устройство выполнено с возможностью приема входного питания от скважинного источника питания.

6. Система ЭМ телеметрии по п.1, дополнительно содержащая схему управления мощностью, которая содержит источник питания в коммутационном режиме.

7. Система ЭМ телеметрии по п.6, в которой источник питания в коммутационном режиме выбран из группы, состоящей из понижающих, повышающих, понижающе-повышающих, повышающе-понижающих, по схеме Чука, прямоходовых, обратныхходовых, бездроссельных преобразователей или любых их разновидностей.

8. Система ЭМ телеметрии по п.6, в которой схема управления мощностью имеет эксплуатационную эффективность более 50%.

9. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой детектор выполнен с возможностью регистрации тока антенного сигнала от 1 пА до 0,1 мА.

10. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой детектор выполнен с возможностью регистрации тока антенного сигнала от 1 нА до 1 мкА.

11. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой детектор выполнен с возможностью регистрации сигнала напряжения антенны от 1 пВ до 1 мВ.

12. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой детектор выполнен с возможностью регистрации тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала на частотах в диапазоне от 0,5 до 50 Гц.

13. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой детектор выполнен с возможностью регистрации тока антенного сигнала или напряжения антенного сигнала при наличии шума с отношением амплитуды сигнала к амплитуде шума ( $SNR_A$ ) от -200 до -30 дБ.

14. Система ЭМ телеметрии по п. 1, дополнительно содержащая фиктивную антенну, выполненную с возможностью быть, по существу, изолированной от сигнала ЭМ телеметрии,

причем детектор выполнен с возможностью регистрации фиктивного сигнала от фиктивной антенны и снижения шума в зарегистрированном сигнале от приемной антенны на основании фиктивного сигнала.

15. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой приемная антенна выполнена с возможностью формирования разведенного выходного сигнала, и при этом детектор сконфигурирован как полностью дифференциальный детектор.

16. Система ЭМ телеметрии по п.2, в которой в ходе работы приемника, по меньшей мере, первый электрод постоянно находится в электрическом контакте со скважинным инструментом, связанным с устройством ЭМ телеметрии.

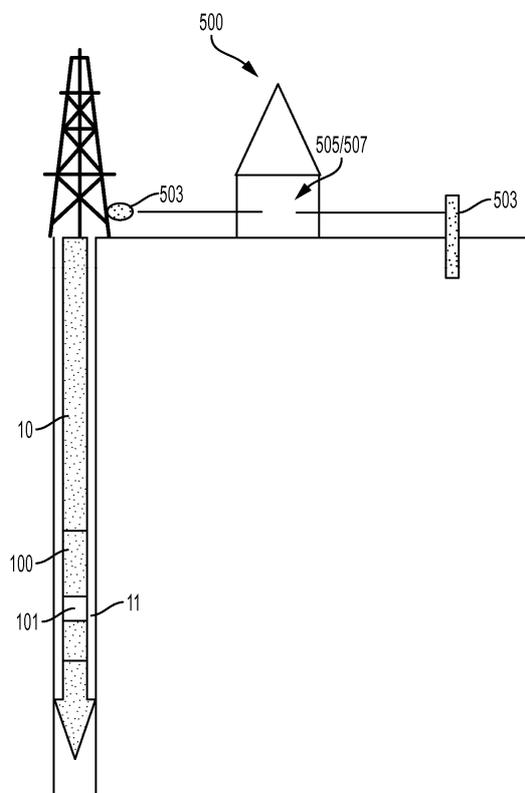
17. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой детектор включает в себя синхронный усилитель для выполнения метода синхронной регистрации.

18. Система ЭМ телеметрии по п.1, в которой декодер содержит анализатор сигнала для идентификации шума в сигнале ЭМ телеметрии и обеспечения возможности изменения работы антенны для учета шума.

19. Способ для приема данных из скважины, содержащий этапы, на которых располагают в скважине систему электромагнитной (ЭМ) телеметрии, содержащую устройство ЭМ телеметрии по п.1 и приемник;

передают данные приемнику с использованием устройства ЭМ телеметрии;

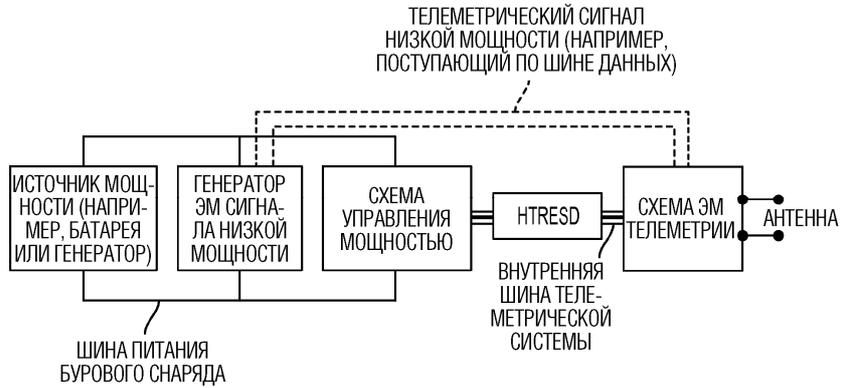
при этом приемник содержит антенну, детектор и декодер; и антенна выполнена с возможностью формировать ток и напряжение в ответ на сигнал ЭМ телеметрии; и детектор выполнен с возможностью регистрировать по меньшей мере одно из тока и напряжения от антенны и формировать соответствующий сигнал детектора; и декодер выполнен с возможностью декодировать сигнал детектора при битовой скорости по меньшей мере 1 бит/с (bps).



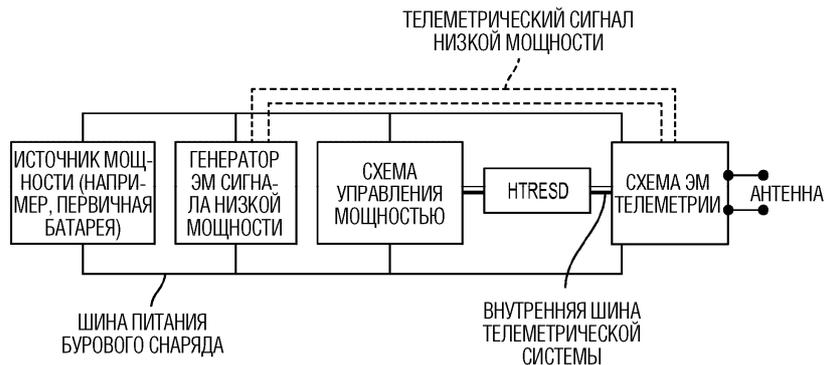
Фиг. 1



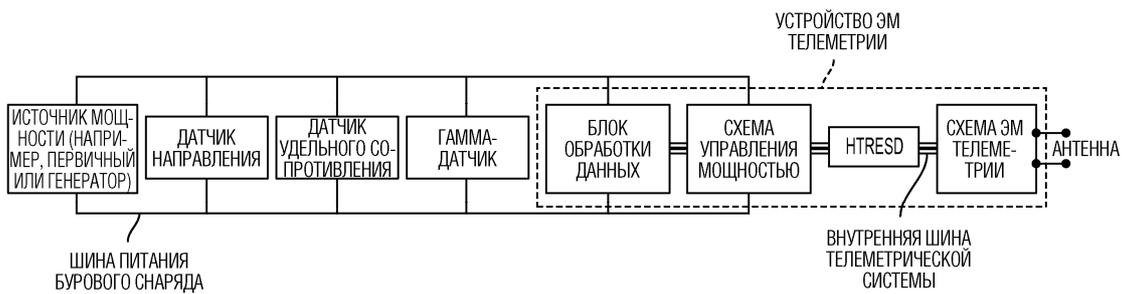
Фиг. 2



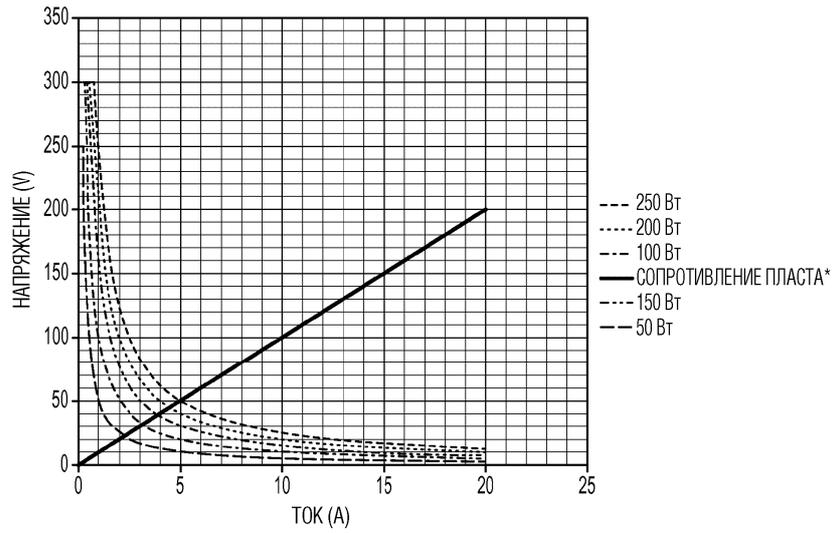
Фиг. 3А



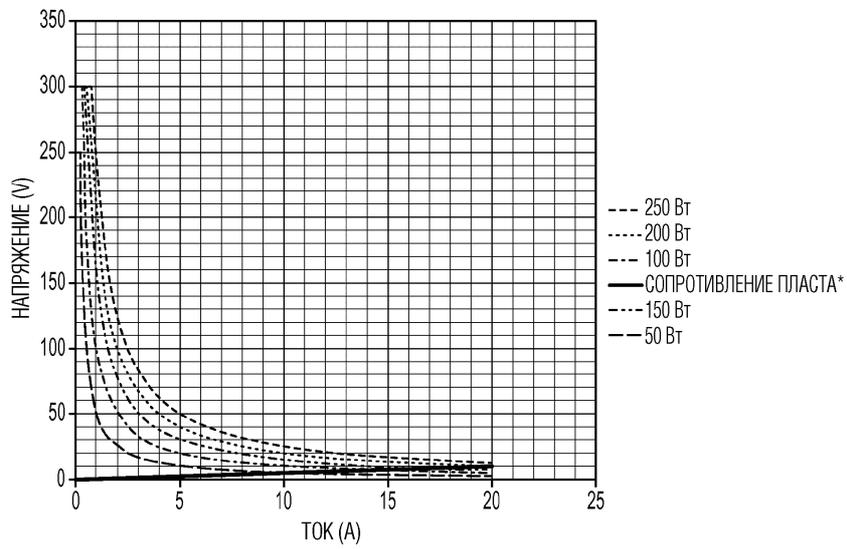
Фиг. 3В



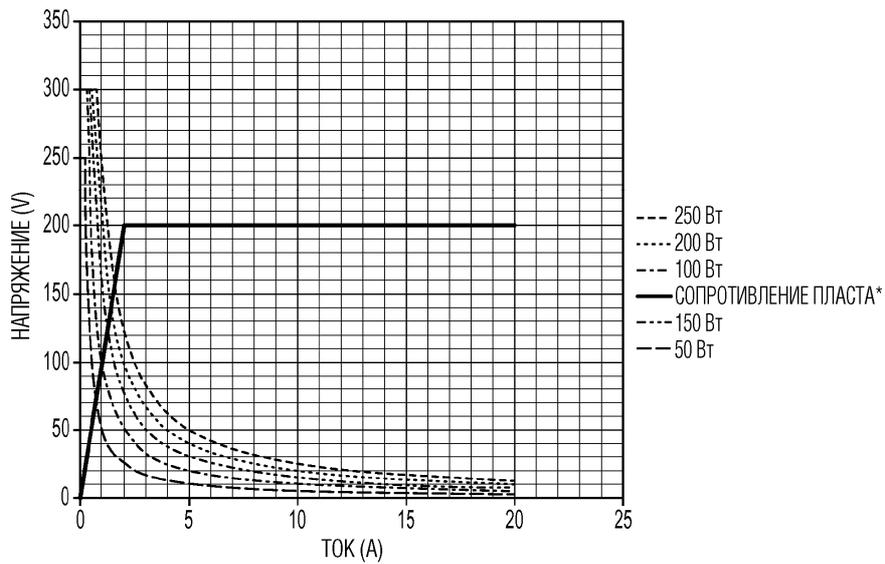
Фиг. 4



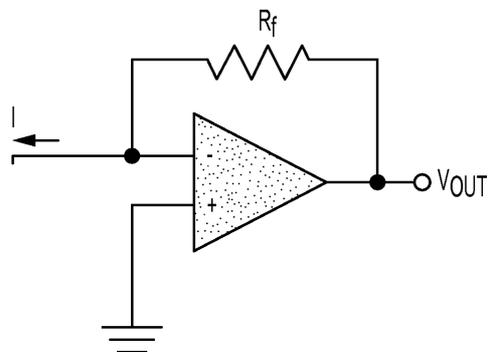
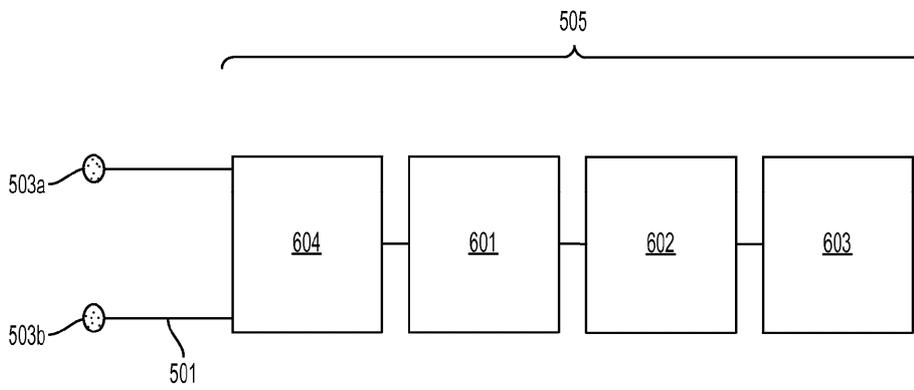
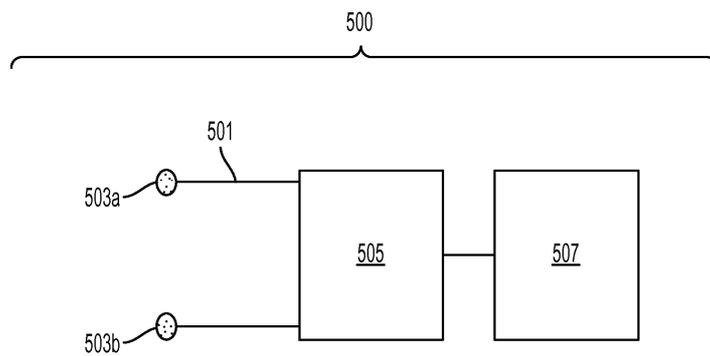
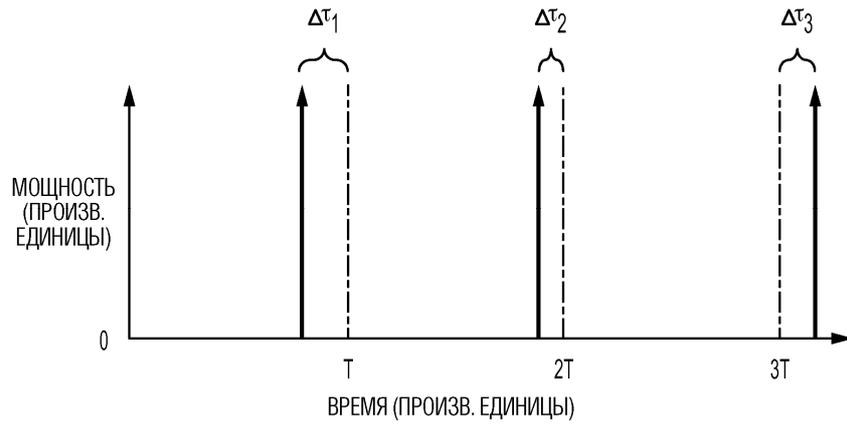
Фиг. 5

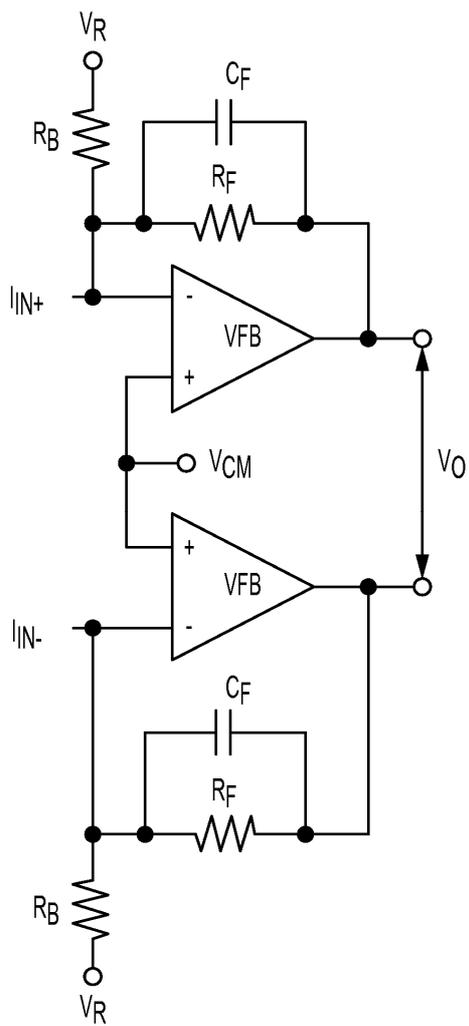


Фиг. 6

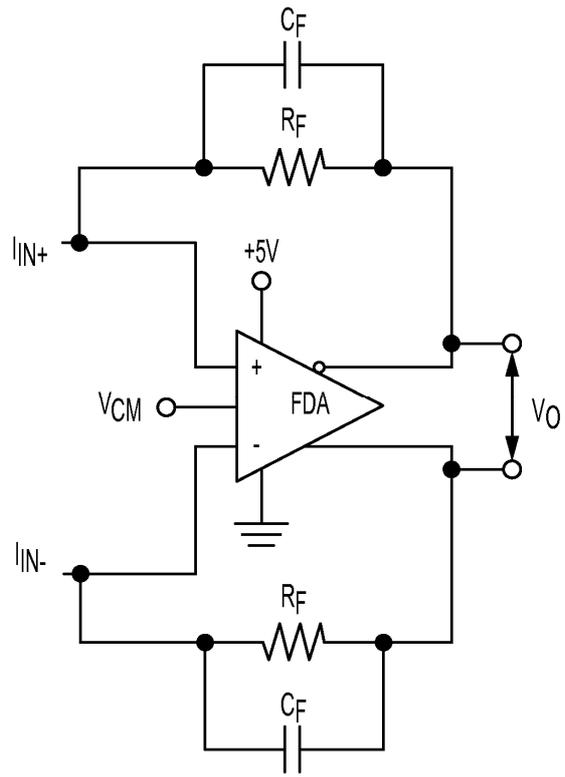


Фиг. 7

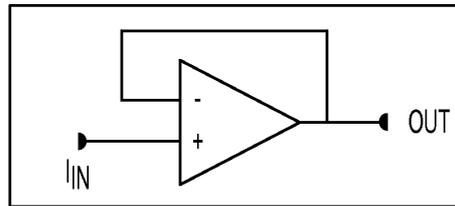
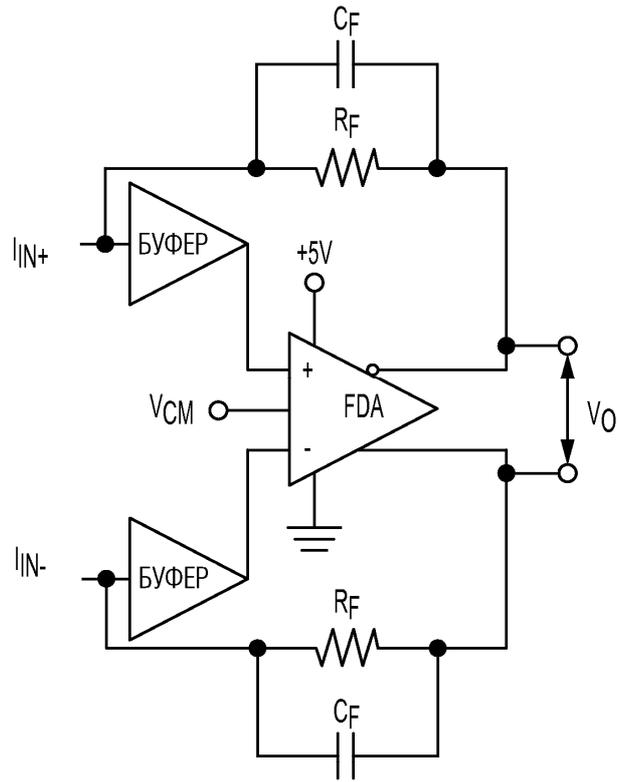




Фиг. 11В



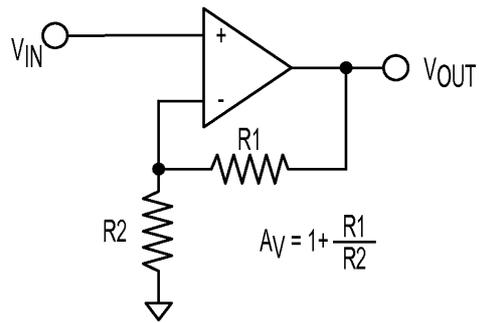
Фиг. 11С



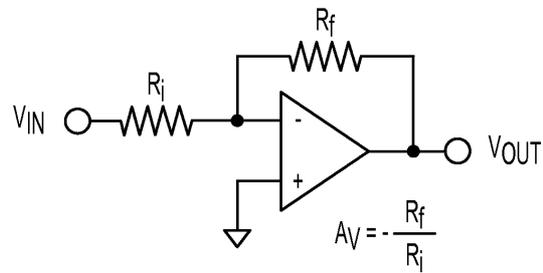
БУФЕР

Фиг. 11D

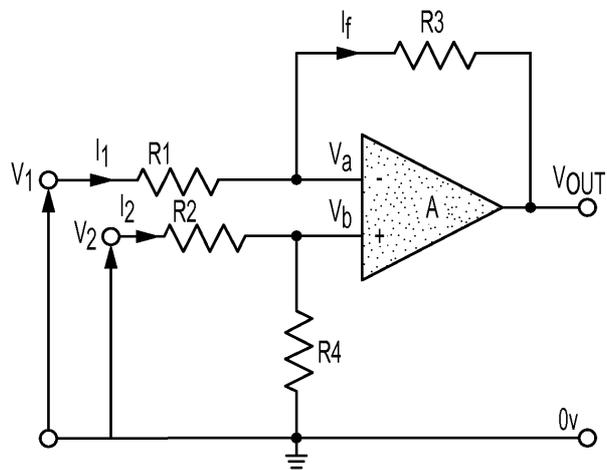
## НЕИНВЕРТИРУЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ



## ИНВЕРТИРУЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ

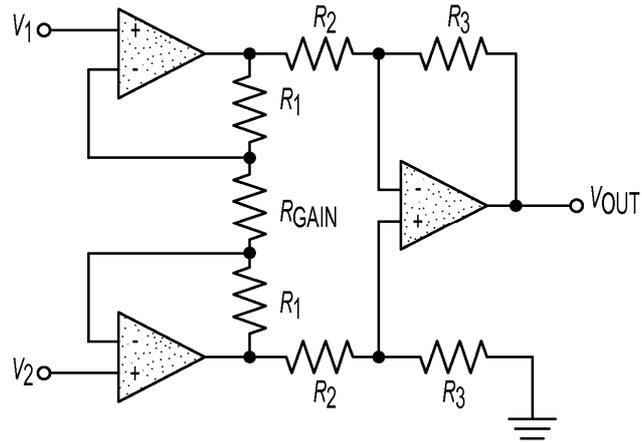


Фиг. 12А

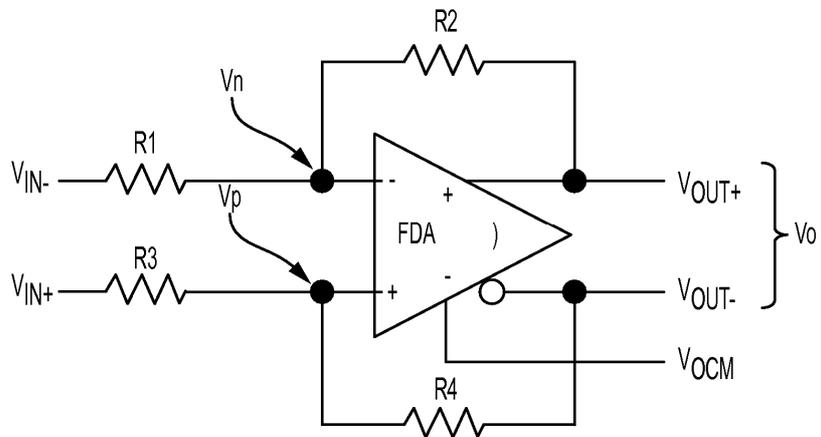


$$V_{OUT} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Фиг. 12В

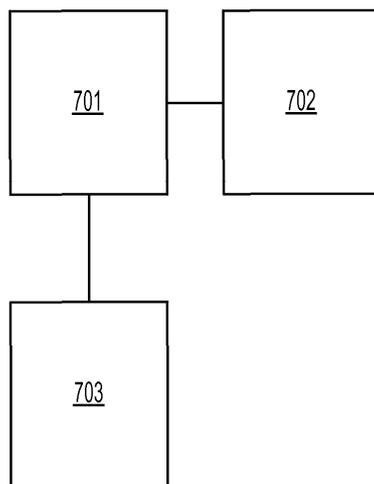


Фиг. 12С

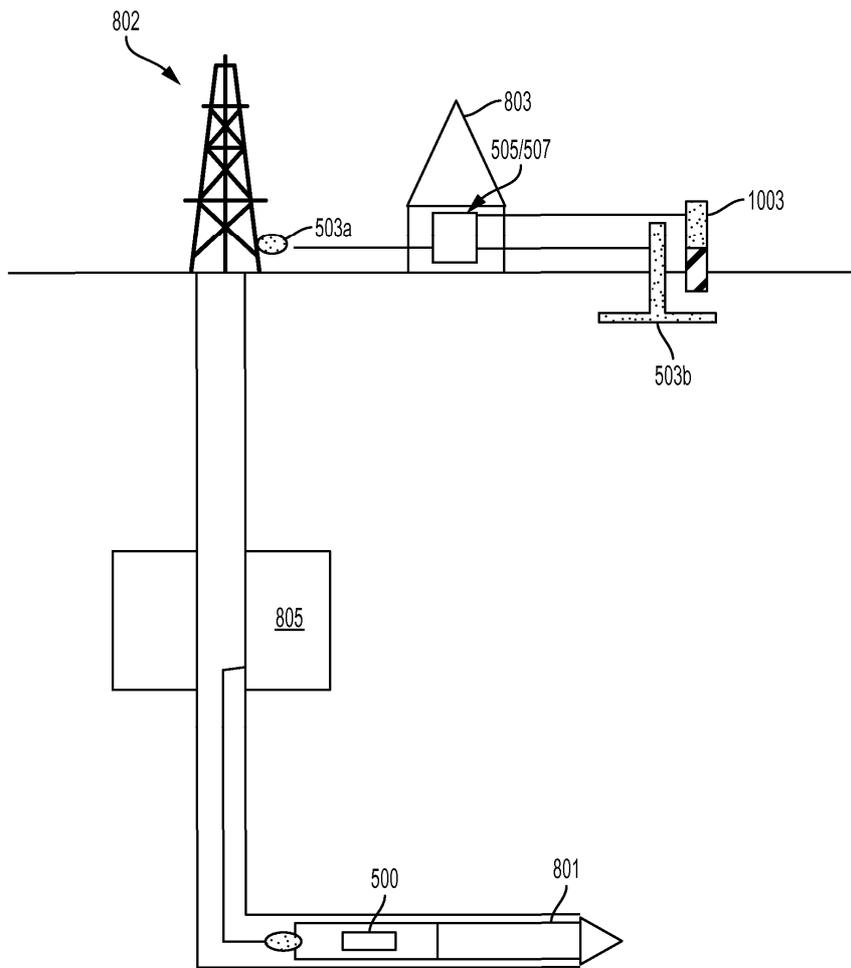


Фиг. 12D

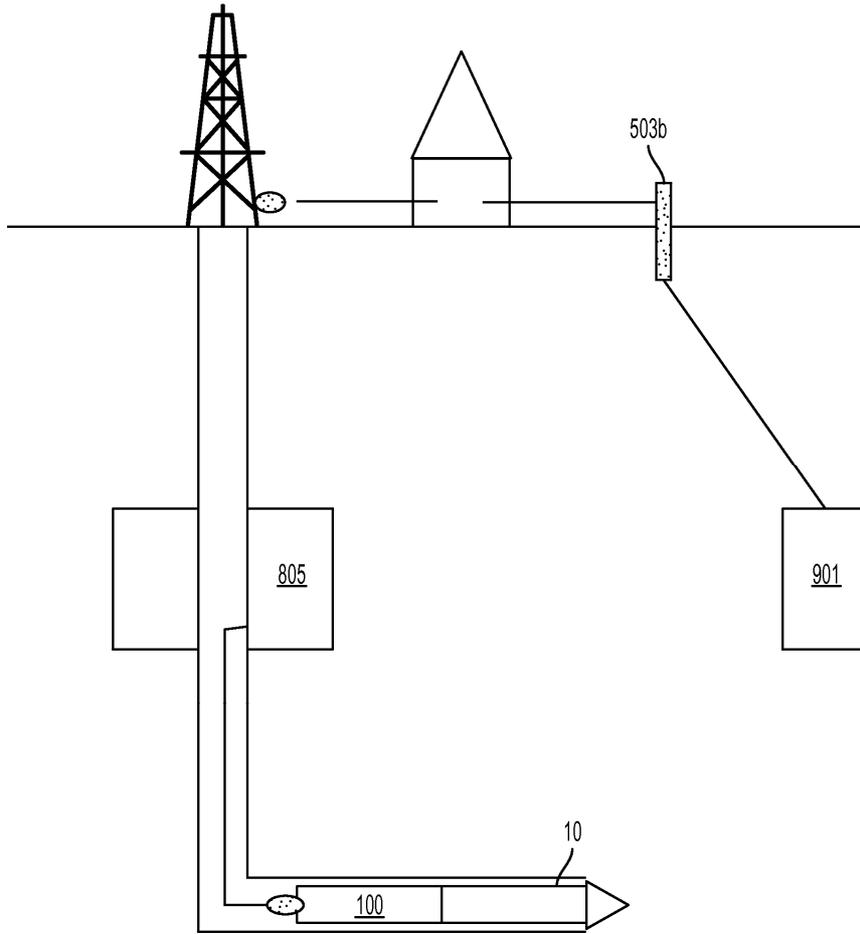
507



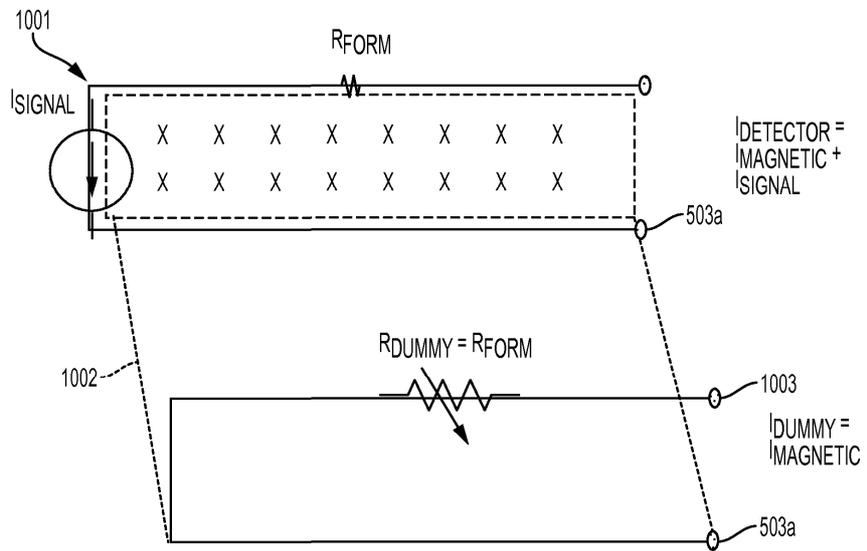
Фиг. 13



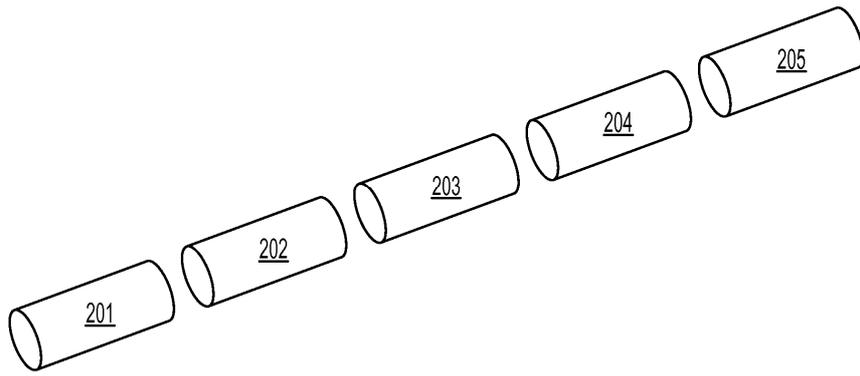
Фиг. 14А



Фиг. 14В



Фиг. 15



Фиг. 16

