

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится в целом к области основанных на электромагнитной индукции каротажных приборов для измерения электрического удельного сопротивления пласта, в которых индукционные антенны ориентированы перпендикулярно к продольной оси прибора. Более конкретно, изобретение относится к основанному на электромагнитной индукции устройству для каротажа поперечного удельного сопротивления, работающему в частотной и/или временной области с уменьшенными ошибками, вносимыми в получаемые каротажные данные.

Описание известного уровня техники

Основанные на электромагнитной индукции приборы для каротажа сопротивлений хорошо известны. Основанные на электромагнитной индукции приборы для каротажа сопротивлений используют для определения электрической проводимости и ее противоположности - удельного сопротивления - пластов земли, через которые проходит скважина. Проводимость пласта определяют на основе результатов измерения магнитного поля вихревых токов, которые прибор возбуждает в пласте, примыкающем к скважине. Электрическая проводимость используется, наряду с другими целями, для определения содержания жидкости в пластах земли. В типичном случае, более низкая проводимость (более высокое удельное сопротивление) связана с пластами земли, содержащими углеводороды. Физические принципы каротажа на основе электромагнитной индукции хорошо описаны, например, в публикации авторов J.H. Moran и K.S. Kunz, озаглавленной "Basic Theory of Induction Logging and Application to Study of Two-Coil Sonde", опубликованной в Geophysics, том 27, № 6, часть 1, стр. 829-858 Общества геофизиков-разведчиков за сентябрь 1962 года. Было разработано много усовершенствований и модификаций основанных на электромагнитной индукции приборов для измерения удельного сопротивления, описанных упомянутыми выше Moran и Kunz, некоторые из которых описаны, например, в патенте США № 4837517, выданном Barber, в патенте США № 5157605, выданном Chandler и др., и в патенте США № 5600246, выданном Fanini и др.

Обычным геофизическим инструментом для индукционного каротажа сопротивлений является зонд для опускания в скважину, и он содержит сенсорную секцию, содержащую передатчик и приемник и другое, преимущественно электрическое оборудование для получения данных измерений физических параметров, характеризующих пласт. Сенсорная секция или барабан совпадает с осью ствола скважины. Электрическое оборудование генерирует электрическое напряжение, затем прилагаемое к индукционной катушке передатчика, и сигналы о состоянии поступают от индукционной ка-

тушки приемника, при этом оно содержит индукционные передатчики и приемники, расположенные вдоль оси прибора в порядке, соответствующем спецификациям конкретного инструмента или прибора, и ориентированы параллельно катушкам, обрабатывает полученную информацию, хранит или с использованием телеметрии посылает данные на поверхность земли по кабелю талевого каната, используемого для опускания инструмента в ствол скважины.

Обычно при использовании известного индукционного каротажного прибора с передатчиками и приемниками (индукционными катушками), ориентированными только вдоль оси ствола скважины, нефтегазоносные зоны трудно обнаружить, когда они залегают в многопластовых или слоистых месторождениях. Эти месторождения обычно состоят из тонких чередующихся слоев глинистого сланца и песка, и часто эти слои бывают такими тонкими, что вследствие недостаточной разрешающей способности обычного каротажного прибора они не могут обнаруживаться отдельно. В этом случае оценивается средняя проводимость пласта.

Согласно обычной технике индукционного каротажа скважины используются катушки, намотанные на изолирующий сердечник. Одна или более катушек передатчика возбуждаются переменным током. Колеблущееся магнитное поле, создаваемое этим устройством, приводит к индуцированию токов в пластах, которые приблизительно пропорциональны проводимости пластов. Эти токи, в свою очередь, способствуют наведению напряжения в одной или более катушек приемника. Благодаря выбору только составляющей напряжения, которая в фазе с током передатчика, получают сигнал, который приблизительно пропорционален проводимости пласта. В обычном устройстве для индукционного каротажа катушка основного передатчика и катушка приемника имеют оси, которые совпадают с продольной осью каротажного устройства. (Для простоты изложения будет предполагаться, что ось ствола скважины совпадает с осью каротажного устройства и что они обе проходят в вертикальном направлении. Кроме того, отдельные катушки впоследствии будут упоминаться безотносительно, фокусирующие это катушки или нечто подобное.) Это устройство приводит к индуцированию вторичных токовых петель в пластах, которые проходят концентрически относительно вертикально ориентированных передающих и принимающих катушек. Результирующие измерения проводимости отражают горизонтальную проводимость (или удельное сопротивление) окружающих пластов. Однако существуют разные пласты, встречающиеся при каротаже скважины, которые имеют проводимость, являющуюся анизотропной. Анизотропия возникает от того, каким образом от природы расположены горизонты пласта. Например, "одноосная анизотропия"

отличается разностью между горизонтальной проводимостью в плоскости, параллельной плоскости залегания пласта, и вертикальной проводимостью в направлении, перпендикулярном плоскости залегания пласта. Когда нет наклона пласта, горизонтальное удельное сопротивление может рассматриваться как относящееся к плоскости, перпендикулярной стволу скважины. Обычные индукционные каротажные устройства, которые чувствительны только к горизонтальной проводимости пластов, не обеспечивают измерения вертикальной проводимости или анизотропии. Была разработана техника определения анизотропии пласта. Например, см. патент США № 4302722. Поперечная анизотропия часто возникает так, что происходят изменения удельного сопротивления в азимутальном направлении. Техническое решение, направленное на такую полную анизотропию, описано в документе WO 98/00733.

Таким образом, в вертикальной скважине обычный прибор для индукционного каротажа с передатчиками и приемниками (включая катушки), ориентированными только вдоль оси ствола скважины, реагирует на среднюю горизонтальную проводимость, комбинированную проводимостью как песка, так и глинистого сланца. Над этими усредненными данными обычно доминирует относительно более высокая проводимость слоев глинистого сланца, и они демонстрируют уменьшенную чувствительность к слоям песка с меньшей проводимостью, откуда добывают запасы углеводородов. Для решения этой проблемы каротажники обратились к использованию каротажных приборов с поперечной индукцией, имеющих магнитные передатчики и приемники (индукционные катушки), ориентированные в поперечном направлении относительно продольной оси прибора. Такие приборы для поперечного индукционного каротажа скважин описаны в патентной публикации PCT WO 98/00733 (Bear и др.) и патентах США №№ 5452761 (Beard и др.), 5999883 (Gupta и др.) и 5781436 (Forgang и др.).

В каротажных приборах с поперечной индукцией реакция поперечных построений катушек также определяется средней проводимостью, однако, относительно низкая проводимость нефтегазоносных песчаных слоев в этом приближении доминирует. В целом, объем глинистого сланца/песка в пласте может быть определен посредством гамма-каротажа или радиоактивного каротажа. Затем может использоваться комбинация обычного индукционного каротажного прибора с передатчиками и приемниками, ориентированными вдоль оси скважины, и каротажного прибора с поперечной индукцией для определения проводимости индивидуальных слоев глинистого сланца и песка.

Одна, если не главная из трудностей в интерпретации данных, полученных каротажным прибором с поперечной индукцией, связана с

чувствительностью его реакции к условиям в скважине. Среди этих условий можно назвать такие, как присутствие проводящей скважинной жидкости, а также влияние проникновения фильтрата бурового раствора. Известный способ уменьшения этих нежелательных влияний на реакцию каротажного прибора с поперечной индукцией был описан в публикации Л.А. Табаровского и М.И. Ипова, озаглавленной "Геометрическое и частотное фокусирование при разведке анизотропных пропластков", в журнале "Наука" АН СССР, Сибирское отделение, Новосибирск, стр. 67-129 (1972г.), и публикации Л.А. Табаровского и М.И. Ипова, озаглавленной "Радиальные характеристики индукционных фокусирующих зондов с поперечными детекторами в анизотропной среде", в журнале "Советская геология и геофизика" № 20 (1979г.), стр. 81-90.

Согласно известному способу используют каротажный прибор с поперечной индукцией, содержащий магнитный передатчик и приемник (индукционные катушки). Посредством излучения магнитного поля индукционный передатчик наводит токи в пласте, примыкающем к стволу скважины; в свою очередь, приемники измеряют ответное магнитное поле, возникающее вследствие этих токов. Для получения широкого диапазона разрешения по вертикали и эффективного подавления нежелательных эффектов от условий в скважине измерения магнитного поля, исходящего из пласта, могут выполняться с разными разнесениями передатчика и приемника, что облегчает геометрическую фокусировку, и с разными частотами для облегчения частотной фокусировки. Например, см. патент США № 5703772 (Beard). Однако даже с этими модификациями может быть трудно интерпретировать каротажные диаграммы, полученные при помощи обычного каротажного инструмента с поперечной индукцией, что усугубляется при каротаже последовательности слоев.

Полученное с индукционным каротажным инструментом качество данных зависит от распределения электромагнитного параметра пласта (проводимости), в котором работают индукционные приемники прибора. Таким образом, в идеальном случае, каротажный инструмент измеряет магнитные сигналы, наведенные вихревыми токами, протекающими в пласте. Изменения по величине и фазе вихревых токов, возникающие как реакция на изменения проводимости пласта, отражаются как соответствующие изменения выходного напряжения приемников. В обычных индукционных инструментах эти напряжения в индукционной катушке приемника формируют и затем обрабатывают с использованием аналоговых фазочувствительных детекторов или переводят в цифровую форму цифро-аналоговыми преобразователями и затем обрабатывают алгоритмами обработки сигналов. Обработка позволяет определять как амплитуду напряжения приемника, так и фазу от-

носителем тока в индукционном передатчике или исходящего от него магнитного поля. Было признано удобным для дальнейшей наземной геофизической интерпретации доставлять обработанный сигнал приемника как векторную комбинацию двух составляющих напряжений: одной в фазе с формой волны передатчика, и другой противофазной, квадратурной составляющей. Теоретически, амплитуда синфазной составляющей напряжения в катушке является более чувствительным и свободным от помех показателем проводимости пласта.

Существует несколько пределов рабочего режима аппаратного обеспечения и ограничений программно обеспеченного, которые влияют на характеристики известного каротажного прибора с поперечной индукцией и приводят к ошибкам, появляющимся в полученных данных.

Главная проблема аппаратного обеспечения обычно связана с неустраняемым электрическим полем, которое излучается индукционным передатчиком инструмента одновременно с желательным магнитным полем, и это происходит в соответствии с уравнениями Максвелла для изменяющегося во времени поля. Электрическое поле передатчика взаимодействует с остальными модулями индукционного каротажного прибора и с пластом; однако, это взаимодействие не дает какой-либо полезной информации. К тому же, вследствие всегда существующей возможности взаимодействия этого поля непосредственно с принимающей частью сенсорной секции паразитными токами смещения, оно вносит помехи. Когда происходит это взаимодействие, электрическое поле вырабатывает нежелательные электрические потенциалы на входе формирования сигнала приемника, в первую очередь, в приемнике с индукционной катушкой, и это напряжение становится дополнительной составляющей помех в представляющем интерес сигнале, вносящих систематическую ошибку в измерения.

Проблема может стать еще более серьезной, если индукционный каротажный прибор работает в скважинах, содержащих текучие среды на основе воды. Шлам на основе воды имеет значительно большую электропроводность по сравнению с текучей средой на основе воздуха или нефти. В то же время, полное сопротивление указанным выше токам смещения может всегда рассматриваться как емкостная связь между источником - индукционным передатчиком - и точкой соединения. Это обстоятельство, очевидно, будет приводить к тому факту, что емкостная связь и соответствующие систематические ошибки зависят от окружающей среды, поскольку емкостное полное сопротивление будет обратным удельной емкости бурового шлама.

Обычным способом уменьшения этой емкостной связи в индукционном каротажном приборе является использование специальных электрических экранов (клетка Фарадея), обер-

нутых вокруг индукционных катушек передатчика и приемника. Эти экраны имеют электрическое соединение с общей точкой аналогового заземления передатчика для установления их собственного электрического потенциала и обеспечения возврата токов смещения назад, к их источнику - передатчику, - вместо передачи в любое другое место в приборе. Однако эффективность геометрии и компоновки клеток Фарадея становится незначительной и несовместимой в высокочастотных вариантах применения, в которых могут работать обычные приборы с поперечной индукцией. Эти ограничения возникают вследствие ослабления магнитного поля, которое вносят эти экраны, известного как "скин-эффект" экрана. Ограничения, присущие конструкции с экраном, неустраняемы и, таким образом, возможность связи по токам смещения сохраняется.

Другим источником аппаратных ошибок, вносимых в полученные данные каротажа, является разность электрических потенциалов между разными проводящими частями прибора, и в частности между корпусами высокого давления передатчика и приемника, если эти модули отнесены друг от друга или гальванически изолированы. Эти корпуса закрывают соответствующие электронные модули и защищают их от воздействия жестких условий в скважине, включая высокое давление и буровые жидкости. В типичном варианте корпус высокого давления имеет жесткое электрическое соединение с общей точкой электронного модуля, который он закрывает, однако, также существуют варианты конструкции с "гальванически" плавающими корпусами. По некоторым причинам, главным образом, из-за несовершенства обычных индукционных приборов общие точки разных электронных модулей имеют разность электрических потенциалов между ними, и эта разность будет проявляться на корпусах высокого давления. Это может возникать даже в конструкции с "гальванически" плавающими корпусами, если инструмент работает с высокими частотами, и в частности через емкостную связь, которую эти металлические части могут иметь с электронными модулями, заключенными в проводящий металлический контейнер.

Наличие разных электрических потенциалов на разных корпусах высокого давления будет вызывать прохождение между ними электрического тока. Этот ток может иметь проводящую природу и высокое значение, если индукционный прибор погружен в проводящую скважинную жидкость, и ток смещения будет иметь значительно меньшее значение при работе прибора в менее проводящем шламе на основе нефти. В обоих случаях этот ток изменяется во времени и, таким образом, он производит соответствующее изменяющееся во времени магнитное поле, которое зависит от окружающей среды и измеряется индукционным прием-

ником. Специалистам в данной области техники будет понятно, что нежелательное влияние этих токов на данные каротажа может быть значительно выше для обычного прибора с поперечной индукцией по сравнению с инструментами, имеющими только индукционные катушки, соосные с продольной осью инструмента. В частности, это происходит в связи с общепринятой геометрией конструкции индукционных каротажных приборов, в которых секции передатчика и приемника отделены в осевом направлении барабаном. Можно отметить, что использование индукционного прибора в каротажной колонне, в которой он имеет механические и электрические соединения (включая телеметрию) с инструментами, расположенными как сверху, так и снизу, может также приводить к возникновению указанных выше токов.

Другим источником смещений потенциала корпуса является сам передатчик индукционного прибора. Остаточное электрическое поле, которое излучает этот передатчик одновременно с магнитным полем, может быть разным на поверхности отдельных корпусов высокого давления. Серьезность этой ошибки также зависит от указанных выше недостатков клеток Фарадея.

Существует дополнительная проблема, состоящая в том, что разность потенциалов создается в обычных компоновках приборов, имеющих передающий и принимающий электронные модули, отнесенные друг от друга и соединенные проводами, проходящими через сенсорную секцию (барабан). Эти провода должны иметь электрическое и магнитное экранирование от катушек индукционного приемника в сенсорной секции. Весь пучок проводов помещен внутрь экрана из высокопроводящего металла, который имеет электрическое соединение с общими точками отделенных электронных модулей передатчика и приемника. Толщину этого экрана подбирают так, чтобы обеспечивать достаточное подавление взаимных перекрестных помех между проводами и катушками сенсорной секции в пределах всей полосы рабочих частот и, в первую очередь, в ее нижнем конце. В некоторых случаях этот экран является полый медной трубкой с относительно толстыми стенками.

Однако кроме защиты катушек передатчика и приемника сенсорной секции и соединительных проводов от взаимных перекрестных помех этот экран одновременно создает гальваническую линию для токов, которые могут возбуждаться разностью потенциалов корпусов высокого давления и/или электроники. Изменяющиеся во времени токи также генерируют соответствующее магнитное поле, которое пересекает катушки индукционного приемника и наводит ошибочные напряжения. К сожалению, эти ошибочные напряжения также зависят от окружающей среды, и их изменения не могут быть достаточно откалиброваны при производстве прибора. Общий анализ влияния разности

потенциалов демонстрирует, что в проводящей скважинной жидкости гальванические токи, протекающие в жидкости вдоль наружной поверхности индукционного прибора, могут доминировать, и уменьшение проводимости жидкости изменяет направление этих токов так, что они проходят вдоль внутреннего соединения между корпусами. Суперпозиция и величина этих гальванических токов сильно зависят от температуры окружающей среды, что дополнительно ухудшает характеристики обычного индукционного прибора.

Другой источник систематических ошибок, вносимых в данные каротажа, непосредственно обусловлен неопределенностью механических размеров катушек многокомпонентных передатчика и приемника в сенсорной секции, относящихся как к общим размерам, так и к расположению относительно друг друга. Таким образом, для поддержания требуемых фазовых соотношений сигнала конструкции обычных приборов основаны на механической стойкости и электрических свойствах современных керамических и пластмассовых материалов, из которых выполнен барабан. Однако даже небольшие физические отклонения в положении проводов катушки и неоднородные температурные зависимости материала, из которого сформирована катушка, могут нарушить заводскую установку противодействия (компенсации первичного магнитного поля передатчика, вносимого в катушку приемника) в ходе каротажа скважины и создавать неисправимые ошибки вследствие механического смещения или дефектов.

Другим недостатком, обнаруженным в некоторых системах с индукционными инструментами, является недостаточное количество получаемых сигналов-проб для надлежащего суммирования данных. Такая недостаточность данных возникает вследствие необходимого "времени простоя", требуемого для последовательного изменения рабочей частоты передатчика прибора с переключаемой частотой. Можно продемонстрировать, что при простом переключении передатчика с одной частоты на другую требуется ограниченное количество времени затухания для затухания паразитных переходных сигналов электроники передатчика до достаточно низкого уровня для получения точных данных измерений. Если в течение этого "времени простоя" прибор продолжает делать выборку или измерения, эти измерения будут неточными и, по существу, бесполезными. Таким образом, известные конструкции приемников приспособлены для работы с окнами "времени простоя" в измерениях в течение переходного времени затухания, из-за чего потенциально суммируется относительно небольшое и возможно недостаточное количество данных выборки. Лучшая конструкция инструментов могла бы резко снизить требуемое время простоя. Каждая из указанных выше проблем сама по

себе или в комбинации с другой проблемой увеличивает ошибку в данных, таким образом снижая точность выборки и измерений индукционным скважинным прибором. Наконец, как описано в патенте США № 3124742 (Schneider), полезно использование гальванических электродов в сочетании с индукционными катушками, однако, это не устраняет указанных выше проблем.

Краткое описание изобретения

В основу настоящего изобретения положена задача улучшения характеристик скважинных индукционных каротажных приборов, работающих в частотной и/или временной области. Настоящее изобретение усовершенствует измерение ответного индукционного сигнала из пласта в присутствии первичного магнитного поля, генерированного передатчиком каротажного прибора. В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения получена конструкция, имеющая новую комбинацию электрических и механических признаков, которые обеспечивают получение форм катушек с высокой термической стойкостью для выполнения катушек магнитных антенн индукционного передатчика и приемника прибора, что, таким образом, улучшает температурную стойкость катушки антенны. Настоящее изобретение также обеспечивает получение контрольного передатчика с одной катушкой для проверки на месте вещественной и несфазированной квадратурной составляющих данных, собранных прибором в ходе работы. Другой задачей, решаемой настоящим изобретением, является получение конструкции сенсорного узла прибора, которая демонстрирует улучшенную симметрию электропроводки передатчика и приемника, экранирования и входных цепей для минимизации систематических ошибок вследствие емкостной связи электрического поля, возбужденного сигналом передатчика каротажного прибора в цепи приемника прибора.

Другой задачей, решаемой настоящим изобретением, является получение электрического заземления и изоляции для приемника и осуществление электрической изоляции электроники приемника от барабана или корпуса или, в альтернативном варианте, получение электрического заземления передатчика с возможностью для электроники приемника электрически плавать для уменьшения ошибок, вызываемых разностями потенциалов между гальванически изолированными корпусами приемника и передатчика в каротажном приборе. Настоящее изобретение уменьшает ошибки от влияния электрического поля благодаря применению плавающей электроники возбуждающих катушек передатчика и высокоскоростных дифференциальных усилителей в цепях формирования сигнала приемника. Использование этой комбинации позволяет значительно подавлять паразитный сигнал, вносимый как синфазное напряжение на входе приемника. Другой зада-

чей настоящего изобретения является получение генератора качающейся частоты для создания форм волны первичного магнитного поля передатчика для непрерывного формирования необходимого темпа выборки ответных сигналов, достаточного для надлежащего суммирования данных.

Согласно одному аспекту изобретения получен каротажный прибор для измерения характеристик геологического пласта, примыкающего к стволу скважины, содержащий передатчик, содержащий по меньшей мере одну катушку для возбуждения вихревых токов в пласте; приемник, содержащий по меньшей мере одну катушку; и соединение аналогового заземления с по меньшей мере одним передатчиком и с приемником для уменьшения гальванического тока между передатчиком и приемником. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий изолятор для изоляции приемника от электрического контакта с корпусом и, таким образом, со стволом скважины. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий изолирующий материал, примыкающий к приемнику. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий подводящую сквозную трубу, имеющую изолятор между подводящей сквозной трубой и приемником. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий соединение аналогового заземления, изолированное от корпуса, для по меньшей мере либо передатчика, либо приемника. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий генератор, имеющий частоту передаваемого сигнала, качающуюся в частотном диапазоне. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий передатчик с подразделенной катушкой, имеющий противодействующую катушку, расположенную между разделенными катушками передатчика. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий передатчик с подразделенной катушкой, содержащий симметричные катушки. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий симметричный экран передатчика с подразделенной катушкой. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий экран противодействующей катушки. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий контрольную обмотку для подачи проверочного сигнала в катушку приемника. Согласно другому аспекту изобретения получен каротажный прибор, дополнительно содержащий управляемый фазосдвигающий элемент в контрольной обмотке

для подачи регулируемого несфазированного или квадратурного контрольного сигнала в катушку приемника. Согласно другому аспекту изобретения гальванический электрод и источник тока расположены в одном барабане с индукционным приемником и передатчиком для дополнительного выполнения измерения удельного сопротивления и интерпретации.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 схематически изображает ствол скважины, проходящий в многослойный пласт земли, в который опущен каротажный прибор, используемый в соответствии с настоящим изобретением.

Фиг. 2А изображает обычное измерение удельного сопротивления в вертикальном направлении.

Фиг. 2В изображает предпочтительное измерение удельного сопротивления в горизонтальном направлении.

Фиг. 3 изображает схему, показывающую предпочтительный вариант выполнения передатчика с подразделенной катушкой и противодействующей катушкой, соответствующего настоящему изобретению.

Фиг. 4 изображает схему, показывающую предпочтительный вариант выполнения экранирования и электрического заземления, соответствующих настоящему изобретению.

Фиг. 5 изображает схему, показывающую предпочтительный вариант выполнения сложения и компенсации тока, соответствующий настоящему изобретению.

Фиг. 6А изображает схему, показывающую предпочтительный вариант выполнения экранирующей и заземляющей структуры, соответствующей настоящему изобретению.

Фиг. 6В изображает схему, показывающую альтернативный вариант выполнения экранирующей и заземляющей структуры, соответствующей настоящему изобретению.

Фиг. 6С изображает схему, показывающую альтернативный вариант выполнения экранирующей и заземляющей структуры, соответствующей настоящему изобретению.

Фиг. 7 изображает схему, показывающую форму волны ответного сигнала обычного генератора, соответствующего настоящему изобретению.

Фиг. 8 изображает схему, показывающую форму волны ответного сигнала генератора качающейся частоты, соответствующего настоящему изобретению.

Фиг. 9 схематически изображает предпочтительный вариант выполнения контура проверки устойчивости работы датчика.

Фиг. 10 изображает альтернативный вариант осуществления изобретения, содержащий индукционный прибор с гальванической электродной парой в одном барабане.

Фиг. 11 изображает альтернативный вариант осуществления изобретения, содержащий индукционный прибор с одним гальваническим электродом в одном барабане.

Подробное описание предпочтительного варианта осуществления изобретения

Данный индукционный каротажный прибор, пригодный для осуществления текущего контроля в ходе бурения, каротажа в ходе бурения и использования на талевом канате, содержит передатчик первичного магнитного поля, приемник магнитного поля, наведенного вихревыми токами в исследуемом пласте, систему сбора данных и управления для управления работой электроники индукционного каротажного прибора и для накопления и обработки данных. Передатчик включает генератор, усилитель мощности, управляемый генератором, и передающую антенну. Электроника приемника содержит индукционную антенну и входной усилитель, соединенные последовательно. В таких скважинных приборах используются индукционные катушки как для антенны приемника, так и для антенны передатчика.

Конструкция инструмента, полученного согласно настоящему изобретению, обеспечивает повышение стойкости и точности индукционного каротажного прибора и его рабочих характеристик, что, в свою очередь, приводит к лучшему качеству и полезности данных о скважине, получаемых в ходе каротажа. Признаки, соответствующие настоящему изобретению, могут применяться для усовершенствования конструкции большинства известных индукционных приборов, например таких, как разработанные и производимые компанией Baker Atlas of Houston, Texas. Эти индукционные приборы включают индукционные приборы Baker Atlas моделей 1507, 1515 и 1520.

Индукционные каротажные приборы демонстрируют присущую им паразитную емкость. Паразитная емкостная связь между источником изменяющегося во времени электрического поля и принимающим устройством создает значительные систематические ошибки, зависящие от прилегающей к прибору окружающей среды и температуры. Источник изменяющегося во времени электрического поля включает полный комплект катушек передатчика и кабелей, соединяющих эти катушки передатчика с соответствующей управляющей электроникой передатчика. Приемное устройство в типичном варианте состоит из комплекта катушек приемника и кабелей, соединяющих эти катушки с усилителями формирования сигнала.

Устройство, соответствующее настоящему изобретению, обеспечивает решение проблемы паразитной емкости. Предпочтительная конструкция содержит симметрично экранированный передатчик с подразделенной катушкой и противодействующей катушкой. В предпочтительном варианте осуществления изобретения устройство, соответствующее настоящему изобретению, демонстрирует структуру с построением трех катушек по трем осям, в которой главная катушка передатчика состоит из двух симмет-

ричных катушек, намотанных на единый каркас катушки, и противодействующей катушки, электрически подсоединенной между ними. Устройство, соответствующее настоящему изобретению, также обеспечивает получение структуры для симметричного экранирования компонентов передатчика, которая максимально устраняет возбуждение в экране токов смещения и позволяет минимизировать обратный ток. В предпочтительном варианте осуществления изобретения симметричный экран содержит подводящую сквозную трубу, показанную на фиг. 4.

В обычных устройствах использовались асимметричные построения индукционных катушек. Такие асимметричные построения индукционных катушек приводили к необходимости в асимметричных конфигурациях экрана, что создавало значительные обратные токи в возбуждающей катушке передатчика, проводах и цепях. В обычных конструкциях прибора эти обратные токи возникали в плетеных проводах передатчика в электронике прибора и в подводящих сквозных трубах, используемых для проведения соединительных проводов через прибор.

Настоящее изобретение решает проблемы, встречающиеся в обычных приборах. Типичные обычные индукционные приборы с прямым сообщением страдают от двух основных проблем, называемых проблемой "гальванически" возбуждаемых помех и проблемой "индукционно" возбуждаемых помех. Гальваническая проблема вызвана разностью потенциалов между верхним корпусом передатчика прибора и нижним корпусом приемника прибора. Разность потенциалов между корпусами передатчика и приемника возникает в результате множества причин, касающихся внутреннего устройства прибора. Такие причины включают, например, разность электрических потенциалов земли между корпусами; соединение верхнего и нижнего корпусов через силовые трансформаторы, соединенные с общим источником переменного тока; емкостную связь между переключаемым электроникой источником питания передатчика и возбуждающими катушки усилителями в корпусе высокого давления и неэкранированным электрическим полем, излучаемым катушками передатчика.

Когда обычный прибор работает в примыкающей проводящей среде (то есть скважинной жидкости), разность потенциалов между корпусами передатчика и приемника создает ток, протекающий между корпусами передатчика и приемника. Ток протекает в скважинной жидкости вблизи рукава барабанной сенсорной секции, содержащей катушки приемника и передатчика. Этот индуцированный ток демонстрирует как частоту, так и фазу напряжения в катушке передатчика, и, таким образом, индуцированный ток генерирует магнитное поле, наводящее напряжение ошибки в катушке приемника, которое

будет в фазе с первичным магнитным полем передатчика и измеряемым сигналом приемника. Этот тип ошибки, может быть, трудно определить и устранить, если он скомбинирован с принятым сигналом.

Можно уменьшить эту вносимую синфазную ошибку посредством использования тяжелой, имеющей низкое полное сопротивление подводящей сквозной трубы между металлическими корпусами с достаточным экранированием соединительных проводов подводящей системы. Даже если такое решение в некоторой степени эффективно, оно проблематично вследствие диаметров конструкции катушек относительно диаметра прибора и из-за проблемы "индукционных" помех, которая описана ниже. Индукционная проблема возникает с индукционными инструментами, в которых верхний и нижний корпуса передатчика и приемника соединены проводами или подводящей трубой с низким полным сопротивлением при работе прибора в проводящей скважине. В скважине, заполненной проводящей жидкостью, магнитное поле катушек передатчика наводит токи, протекающие проводящими паразитными петлями следующим порядком: верхний корпус - подводящая сквозная труба - нижний корпус - проводящая жидкость и обратно к верхнему корпусу. Эта петля паразитного тока, в свою очередь, наводит высокие напряжения ошибки в катушке приемника. Эта петля паразитного тока возникает вследствие сложной индуктивной связи между входной катушкой приемника, паразитной петлей и подводящей трубой.

"Индукционная" проблема наиболее серьезна для поперечных магнитных измерений и менее серьезна для соосных измерений. Эксперименты показали, что в некоторых проводящих скважинах ошибки могут достигать до 30% и более в конфигурациях, измеряющих поперечные или радиальные составляющие магнитного поля. Настоящее изобретение дает решение индукционной проблемы посредством получения устройства, имеющего электрический изолятор или размыкание для создания разрыва в проводящей паразитной петле. Изолятор или разрыв прерывает индуцированный ток, протекающий в проводящей паразитной петле. Проводящая паразитная петля разрывается или размыкается посредством введения разделителя с высоким полным сопротивлением из высокорезистивного или изолирующего материала между монтажной панелью электроники приемника и барабанным корпусом приемника, который входит в контакт с проводящей внешней скважинной жидкостью. Паразитная индуктивная петля может быть также разорвана посредством помещения изолятора между подводящей сквозной трубой и электроникой приемника. Изолятор отделяет подводящую сквозную трубу от электроники приемника, таким образом разрывая петлю паразитного индуктивного тока.

"Гальваническая" проблема может быть частично отнесена к разности потенциалов земли. Разность потенциалов земли существенно уменьшается конструкцией, соответствующей настоящему изобретению, посредством электрического заземления только одной половины электроники прибора и сохранения плавающего состояния другой половины, то есть заземления либо только электроники приемника, либо электроники передатчика в приборе. В предпочтительном варианте осуществления изобретения приемная половина прибора является плавающей, поскольку приемник является наиболее чувствительным к помехам элементом прибора. В альтернативном варианте осуществления изобретения обе половины являются плавающими. В предпочтительном варианте осуществления изобретения передатчик, приемник и гальванические электроды электрически изолированы друг от друга.

Системы известного уровня техники предусматривали зависимую от частоты электрическую изоляцию в передающей секции посредством использования конденсатора. Например, см. патент США № 5452761 (Beard и др.). Однако техническое решение с использованием конденсатора жертвует экранированием с более низкими частотами передатчика и допускает индукционные ошибки, описанные выше, с более высокими частотами. Кроме того, техническое решение с использованием конденсатора предполагает, что высокочастотная информация менее важна для общей эффективности прибора. Если ее исключить, это предположение недействительно для каротажных приборов с поперечной индукцией, поскольку радиальные конфигурации построения катушек используют более высокие частоты, имеющие большую чувствительность к этому эффекту, и технические требования для двухчастотных измерений, которые делают обычное решение с конденсатором неадекватным. Настоящее изобретение дает новое техническое решение для устранения проблемы без отказа от высокочастотной составляющей. Согласно настоящему изобретению симметричные катушки и экран уменьшают эффект влияния высокочастотных составляющих, что устраняет необходимость в конденсаторе для "закорачивания" на землю высокочастотных сигналов.

Разделитель приемника/подводящей сквозной трубы или изолятор соединен вблизи усилителей формирования сигнала приемника, то есть в самой чувствительной к шумам секции измерительного прибора. Гальваническая и электрическая изоляция подводящей сквозной трубы от электронной секции приемника позволяет прерывать индуцированные токи и обеспечивает успешное подавление этих ошибочных сигналов. В предпочтительном варианте осуществления изобретения полное сопротивление разделения между секцией приемника и внешней средой скважины предпочтительно состав-

ляет минимум 10 кОм в обычном рабочем диапазоне частот. Однако существует широкий диапазон полных сопротивлений, которые можно регулировать и подбирать для сведения к минимуму токов и ошибок в соответствии с конкретными рабочими частотами и условиями.

Теперь изобретение будет описано более подробно на примере со ссылками на прилагаемые чертежи. На фиг. 1 схематически показана скважина 1, проходящая в многослойный пласт земли, в которую опущен индукционный каротажный прибор, используемый в соответствии с настоящим изобретением. Скважина, показанная на фиг. 1, проходит в пласт земли, который включает нефтегазоносный слой 3 песка, расположенный между верхним слоем 5 и нижним слоем глинистого сланца, имеющими более высокую проводимость, чем нефтегазоносный слой 3 песка. Индукционный каротажный прибор 9, используемый согласно настоящему изобретению, опущен в скважину 1 на талевом канате 11, проходящем сквозь противовыбросовый превентор 13 (показан схематически), расположенный на поверхности 15 земли. Наземное оборудование 22 включает источник электропитания для подачи электроэнергии в комплект катушек 18 и процессор сигналов для приема и обработки электрических сигналов от катушек 19 приемника. В альтернативном варианте источник электропитания и/или процессоры сигналов расположены в каротажном приборе.

Взаимная ориентация скважины 1 и каротажного прибора 9 относительно слоев 3, 5, 7 определяется двумя углами, один из которых θ показан на фиг. 1. Для определения этих углов см., например, патент США № 5999883 (Gupta и др.). Каротажный прибор 9 снабжен комплектом катушек 18 передатчика и комплектом катушек 19 приемника, причем каждый комплект катушек 18, 19 соединен с наземным оборудованием 22 пригодными проводниками (не показаны), проходящими вдоль талевого каната 11.

Каждый комплект катушек 18 и 19 включает три катушки (не показаны), которые расположены так, что комплект имеет три магнитных дипольных момента во взаимно ортогональных направлениях, то есть в направлениях X, Y и Z. Комплект катушек передатчика из трех катушек передает T_X , T_Y и T_Z . Катушка приемника принимает R_X , R_Y и R_Z плюс перекрестные составляющие R_{XY} , R_{XZ} и R_{ZY} . Таким образом, комплект 18 катушек имеет магнитные дипольные моменты 26a, 26b, 26c, и комплект 19 катушек имеет магнитные дипольные моменты 28a, 28b, 28c. В предпочтительном варианте осуществления изобретения комплект 18 катушек передатчика электрически изолирован от комплекта 19 катушек приемника. В альтернативном варианте осуществления изобретения все катушки в комплекте 18 катушек передатчика электрически изолированы друг от друга и все катушки в комплекте 19 катушек приемника электрически

изолированы друг от друга. Катушки с магнитными дипольными моментами 26а и 28а являются поперечными катушками, то есть они ориентированы так, что магнитные дипольные моменты ориентированы перпендикулярно оси скважины, при этом направление магнитного дипольного момента 28а противоположно направлению магнитного дипольного момента 26а. Кроме того, комплекты 18 и 19 катушек расположены, по существу, вдоль продольной оси каротажного прибора 9.

Как показано на фиг. 2А, обычные индукционные каротажные приборы снабжены одной катушкой передатчика и одной катушкой приемника, которые измеряют электрическое удельное сопротивление в горизонтальном направлении. В обычном горизонтальном режиме измерения, показанном на фиг. 2А, электрические удельные сопротивления примыкающих друг к другу слоя песка с высоким электрическим удельным сопротивлением и слоя глинистого сланца с низким электрическим удельным сопротивлением проявляются параллельно и, таким образом, в измерении электрического удельного сопротивления преобладает низкое электрическое удельное сопротивление глинистого сланца. Как показано на фиг. 1 и 2В, согласно настоящему изобретению добавлена поперечная катушка для измерения электрического удельного сопротивления в вертикальном направлении. В вертикальном направлении электрические удельные сопротивления песка с высоким электрическим удельным сопротивлением и глинистого сланца с низким электрическим удельным сопротивлением проявляются последовательно, и, таким образом, в вертикальном измерении последовательного электрического удельного сопротивления преобладает удельное сопротивление песка с высоким электрическим удельным сопротивлением.

Для упрощения ссылок нормальная работа прибора 9, показанного на фиг. 1 и 2В, будет далее описана только относительно катушек, имеющих дипольные моменты в направлении Х, то есть дипольные моменты 26а и 28а. В ходе нормальной работы переменный ток с частотой f_1 подается источником электропитания наземного оборудования 22 в комплект 18 катушек передатчика так, что в пласте наводится магнитное поле с магнитным дипольным моментом 26а. В альтернативном варианте частота качается в диапазоне f_1 - f_2 . Это магнитное поле проникает в слой 3 песка и возбуждает ряд локальных вихревых токов в слое 3 песка. Величина локальных вихревых токов зависит от их расположения относительно комплекта 18 катушек передатчика, проводимости пласта земли в каждом местоположении и частоты, с которой работает комплект 18 катушек передатчика. В принципе, локальные вихревые токи действуют как источник, наводящий новые токи, которые вновь наводят дополнительные новые токи и

т.д. Токи, индуцированные в слое 3 песка, возбуждают ответное магнитное поле в пласте, которое не в фазе с передаваемым магнитным полем, но которое индуцирует ответный ток в комплекте 19 катушек приемника. Значение тока, индуцированного в слое 3 песка, зависит от проводимости слоя 3 песка, то есть соответствует значению ответного тока в комплекте 19 катушек приемника. Значение также зависит от проводимости и, таким образом, обеспечивает отображение проводимости слоя 3 песка. Однако магнитное поле, генерируемое комплектом 18 катушек передатчика, проникает не только в слой 3 песка, но также в скважинную жидкость и в слои 5 и 7 глинистого сланца так, что в скважинной жидкости и в слоях 5 и 7 глинистого сланца наводятся токи.

На фиг. 3 показана схема предпочтительной структуры построения трех катушек, содержащей передатчик с подразделенной катушкой и противодействующую катушку. Как показано на фиг. 3, в предпочтительном варианте осуществления изобретения применена симметричная схема передатчика и противодействующей катушки вместо традиционной схемы катушки. Катушка передатчика разделена на равные первую катушку 30 передатчика и вторую катушку 32 передатчика. Противодействующая катушка 33 электрически подсоединена между первой катушкой 30 передатчика и второй катушкой 32 передатчика проводочными выводами 34 и 35 между первой катушкой 30 передатчика и второй катушкой 32 передатчика. Такая же конфигурация может использоваться для построения, содержащего либо один, либо множество передатчиков и дифференциальные приемники (см., например, каротажные приборы Baker Atlas 1507 и 1515). В предпочтительном варианте осуществления изобретения используется симметричная схема с предпочтительной точкой симметрии, связанной либо со средней точкой схемы возбуждения катушки передатчика, либо с подвешенной землей входного предварительного усилителя приемника. В обоих случаях реактивные сопротивления экранирования и соединительных проводов в кабелях, соединяющих катушки, симметричны относительно обеих катушек и точки соединения, исходят от экранов по соединительным проводам и уже устраняются или значительно подавляются на входе с предварительным усилением. Кроме того, это устройство менее чувствительно к протяженным проводам, протянутым вдоль прибора, и к диаметру и проводимости подводящей сквозной трубы, содержащей соединительные провода.

Как показано на фиг. 4, симметричное экранирование построения из трех катушек позволяет сводить к минимуму обратный ток в передатчик или приемник, вносящий ошибки в собранные данные. Катушка 19 приемника показана внутри экрана 40. Экран 40 прикреплен к

подводящей сквозной трубе 41 в точке 42. Противодействующая катушка 33 показана внутри экрана 44. Экран 44 прикреплен к подводящей трубе 41 в точке 45. Катушка 18 передатчика показана внутри экрана 46. Экран 46 прикреплен к подводящей трубе в точке 37. Дифференциальные выводы 47 и 48 усилителя 43 мощно-сти возбуждают катушку 18 передатчика.

Как показано на фиг. 5, в предпочтительном варианте осуществления обратный ток I_{Σ} складывается приблизительно до нуля. Как показано на фиг. 4, паразитная емкость приемника, связанная с катушкой приемника, с расположенной вблизи приемника подводящей трубой и паразитная емкость проводов приемника представлена конденсаторами 60 и 61. Ток, протекающий в связи с паразитной емкостью приемника, представлен токами I_{R1} 62 и I_{R2} 64 соответственно. Противодействующая паразитная емкость, связанная с противодействующей катушкой, с расположенной вблизи противодействующей катушки подводящей трубой, проводами и другими источниками паразитной емкости, представлена конденсаторами 65 и 66. Ток, протекающий в связи с паразитной емкостью противодействующей катушки, представлен токами I_{B1} 67 и I_{B2} 68 соответственно.

Основная паразитная емкость передатчика, связанная с основной катушкой передатчика, основной, расположенной вблизи передатчика подводящей трубой, и паразитная емкость основной проводки передатчика представлены конденсаторами 71 и 72. Ток, протекающий в связи с паразитной емкостью передатчика, представлен токами I_{M1} 69 и I_{M2} 70 соответственно. Структура сенсорной конструкции, соответствующей настоящему изобретению, обеспечивает взаимную компенсацию суммированного тока I_{Σ} приблизительно до нуля, таким образом, уменьшая ошибку, относящуюся к проблеме индуцированного тока.

На фиг. 6А показана схема предпочтительного выполнения экранирования, заземления и изоляции, соответствующих настоящему изобретению. В предпочтительном варианте осуществления изобретения электроника приемника 19 электрически отделена и изолирована от проводимого корпуса 79 высокого давления. Наружная поверхность корпуса высокого давления входит в контакт с проводящей скважинной жидкостью. Электрическая изоляция приемника разрывает петлю индуцированного тока и существенно уменьшает ошибку, вносимую в сигнал приемника, вызванный индукционными токами, протекающими в обычных системах. В предпочтительном варианте осуществления изобретения аналоговое заземление для основной секции 86 передатчика соединено с проводящим корпусом 79 высокого давления, содержащим, например, трубу из сплава меди и бериллия. Аналоговое заземление для электрони-

ки поискового приемника предпочтительно изолировано от корпуса 79 высокого давления высоким электрическим полным сопротивлением в рабочем диапазоне частот, например, резистором 83 на 100 кОм или конденсатором. Однако это полное сопротивление, предпочтительно, регулируют для максимального уменьшения индуцированных токов и связанных с ними ошибок. В альтернативном варианте, показанном на фиг. 6В, электрическое заземление электроники приемника изолировано регулируемым высоким полным сопротивлением от проводящего корпуса высокого давления, и заземление электроники передатчика электрически соединено с корпусом высокого давления. В другом альтернативном варианте, показанном на фиг. 6С, электроника и приемника, и передатчика электрически изолирована высоким полным сопротивлением от проводящего корпуса высокого давления. В другом варианте осуществления изобретения, показанном на фиг. 10, применены гальванический электрод и источник тока в одном барабане, электрически изолированные от индукционных передатчика и приемника.

На фиг. 7 показано время установления сигнала, связанное с переходной характеристикой 91, требуемое при обычном переключении частоты. На фиг. 8 показана работа предпочтительного варианта осуществления изобретения, в котором применен генератор качающейся частоты, который уменьшает переходную характеристику 91 и, таким образом, требует существенно меньшего времени установления сигнала, что дает больше времени для сбора данных и суммирования большего количества данных выборки.

Устройство обычного прибора не будет требовать изменения конфигурации для размещения генератора качающейся частоты, поскольку большинство электрических соединений остается прежним, включая контур синхронизации и соответствующие схемы. Качание частоты передатчика не препятствует двухчастотным измерениям, применяемым с каротажными приборами с поперечной индукцией отчасти вследствие практического отсутствия в электронике процессов переключения с переходным временем. Отсутствие переходных состояний полезно в вариантах, в которых для генерирования и измерения каждого из двухчастотных сигналов доступно крайне малое время.

На фиг. 9 схематически показан предпочтительный контур контроля устойчивости работы датчика. Как показано на фиг. 9, усилитель 100 мощности пропускает тональный опорный сигнал 113 проверки в качестве входного сигнала в комплект 18 катушек передатчика (комплект 18 катушек, содержащий показанные катушки, ориентированные по осям X, Y и Z, имеющие магнитные дипольные моменты 26a, 26b и 26c, показанные на фиг. 1). Когда переключатель 104 находится в первом положении и соединен с узлом 107, тональный сигнал пода-

ется в катушки передатчика, принимается опорной петлей 103, которая воспринимает уровень переданного поля от комплекта катушек передатчика и посылает принятый сигнал в опорный канал 109 передатчика, который направляется в процессор 111 и затем посылается на поверхность земли телеметрическими средствами 112. При осуществлении каротажа опорный сигнал записывается для отслеживания изменений тока передатчика, что позволяет в дальнейшем устранять влияния изменений тока передатчика на принятый сигнал в ходе осуществления каротажа.

В третьем положении переключатель 104 соединяется с узлом 105, при этом сигнал проходит через элемент 114, имеющий переменное фазосдвигающее полное сопротивление, который передает сигнал от катушки 101 передатчика через петлю 103 в комплект 19 катушек приемника (комплект 19 катушек, содержащий показанные катушки, ориентированные по осям X, Y и Z, имеющие магнитные дипольные моменты 28a, 28b и 28c, показанные на фиг. 1). Элемент 114 может быть подобран так, чтобы он вызывал необходимый сдвиг фазового угла в сигнале для измерения как квадратурной, так и вещественной составляющей сигнала, при этом опорная фаза задается относительно магнитного поля передатчика. Во втором положении переключатель 104 соединяется без внесения потерь, и, таким образом, потерь нет и можно сравнить сигналы с потерями и сигналы без потерь. Эта конструкция позволяет собирать квадратурные данные проверки устойчивости работы датчика для сравнения с квадратурной составляющей каротажных данных. Квадратурные данные существенны, поскольку они меньше подвержены влиянию условий в скважине. Таким образом, квадратурный контрольный сигнал может использоваться для устранения ошибок и результатов влияний в квадратурном сигнале для получения большей точности данных в фазе и не в фазе, полученных в ходе каротажа.

K - это отношение количества витков обмотки M_B опорной катушки 103 и количества витков M_T катушек 101 передатчика, и оно имеет небольшое значение, например $1/34$. Напряжение V_B в одной петле 103 - это напряжение V_T/K в катушке 103 передатчика. Вносимое полное сопротивление $Z_{\text{нагруз.}_\text{вносим.}}$ вследствие наличия одной опорной петли 103 равно $(K^2) (Z_B)$, где Z_B - это полное сопротивление одной петли 103. Суммарное полное сопротивление передатчика равно $Z_T + Z_{\text{нагруз.}_\text{вносим.}}$. K в предпочтительном варианте составляет $1/34$, таким образом, K^2 невелико, в результате чего $Z_{\text{нагруз.}_\text{вносим.}}$ также невелико. Таким образом, индуктивность передатчика при переключении между первым, вторым и третьим положениями существенно не меняется.

На фиг. 10 показан альтернативный вариант осуществления изобретения, содержащий индукционный прибор с гальваническим электродом и источником тока в одном барабане с

индукционным передатчиком 18 и приемником 19. Как показано на фиг. 10, гальванические электроды 120 и 121 расположены в барабане 130 наряду с индукционным передатчиком 18 и индукционным приемником 19. В этой конфигурации гальванические электроды 120 и 121 выполняют боковые или дифференциальные измерения. Диапазон частот гальванического тока предпочтительно составляет $1 \text{ Гц} - 1 \text{ кГц}$, но не исключены другие допустимые диапазоны частот. Диапазон частот индуцированного тока составляет $1 \text{ кГц} - 5 \text{ МГц}$, но не исключены другие диапазоны частот. Предварительный усилитель 110 имеет заземление 131 и выдает выходной сигнал в аналого-цифровой преобразователь 123, который электрически изолирован от главного контроллера 111 емкостным и гальваническим изолятором 125. Предварительный усилитель 124 имеет заземление 132 и выдает выходной сигнал в аналого-цифровой преобразователь 128, который изолирован от главного контроллера 111 емкостным и гальваническим изолятором 126. В предпочтительном варианте осуществления изобретения заземление 131 и 132 изолированы от корпуса высокого давления. В альтернативном варианте осуществления изобретения заземление 131 электрически соединено с корпусом высокого давления и заземление 132 изолировано от основного корпуса. В альтернативном варианте осуществления изобретения заземление 132 электрически соединено с основным корпусом высокого давления и заземление 131 изолировано от основного корпуса.

На фиг. 11 показан альтернативный вариант осуществления изобретения, в котором гальванический электрод 120 расположен в барабане с индукционным прибором и гальванический электрод 121 расположен в бесконечности относительно гальванического электрода 120 для облегчения выполнения нормальных гальванических измерений.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Индукционный каротажный прибор для измерения характеристик геологического пласта, примакающего к стволу скважины, содержащий передатчик, имеющий электрическое заземление;

приемник, имеющий электрическое заземление; и

регулируемое полное сопротивление, изолирующее электрическое заземление передатчика от электрического заземления приемника для уменьшения тока между передатчиком и приемником.

2. Каротажный прибор по п.1, дополнительно содержащий гальванический электрод, имеющий электрическое заземление, причем гальванический электрод дополнительно содержит регулируемое полное сопротивление, изолирующее гальваническое электрическое зазем-

ление от электрического заземления передатчика для уменьшения тока между передатчиком и гальваническим электродом.

3. Каротажный прибор по п.1, дополнительно содержащий гальванический электрод, имеющий электрическое заземление, причем гальванический электрод дополнительно содержит регулируемое полное сопротивление, изолирующее гальваническое электрическое заземление от электрического заземления приемника.

4. Каротажный прибор по п.1, дополнительно содержащий гальванический электрод, имеющий электрическое заземление, причем гальванический электрод дополнительно содержит регулируемое полное сопротивление, изолирующее гальваническое электрическое заземление от электрического заземления приемника и электрического заземления передатчика.

5. Каротажный прибор по п.3, дополнительно содержащий источник гальванического тока, имеющий электрическое заземление, причем источник гальванического тока дополнительно содержит регулируемое полное сопротивление, изолирующее электрическое заземление источника гальванического тока от электрического заземления гальванического электрода.

6. Каротажный прибор по п.4, дополнительно содержащий источник гальванического тока, имеющий электрическое заземление, причем источник гальванического тока дополнительно содержит регулируемое полное сопротивление, изолирующее электрическое заземление источника гальванического тока от электрического заземления гальванического электрода.

7. Каротажный прибор по одному из пп.1-6, в котором регулируемое полное сопротивление содержит резистор на 10 кОм.

8. Каротажный прибор по п.1, дополнительно содержащий электрический изолятор для электрической изоляции приемника от ствола скважины.

9. Каротажный прибор по п.1, дополнительно содержащий подводящую сквозную трубу для размещения электрических проводов, дополнительно содержащую изолятор, электрически изолирующий подводящую сквозную трубу и приемник.

10. Индукционный каротажный прибор для измерения характеристик геологического пласта, примыкающего к стволу скважины, содержащий многокомпонентный передатчик, содержащий катушки передатчика, ориентированные по осям X, Y и Z;

многокомпонентный приемник, дополнительно содержащий катушки приемника, ориентированные по осям X, Y и Z; и

регулируемое полное сопротивление, электрически изолирующее катушки передатчика, ориентированные по осям X, Y и Z, от катушек приемника, ориентированных по осям X, Y и Z.

11. Каротажный прибор по п.10, дополнительно содержащий регулируемое полное сопротивление, электрически изолирующее друг от друга катушки приемника, ориентированные по осям X, Y и Z.

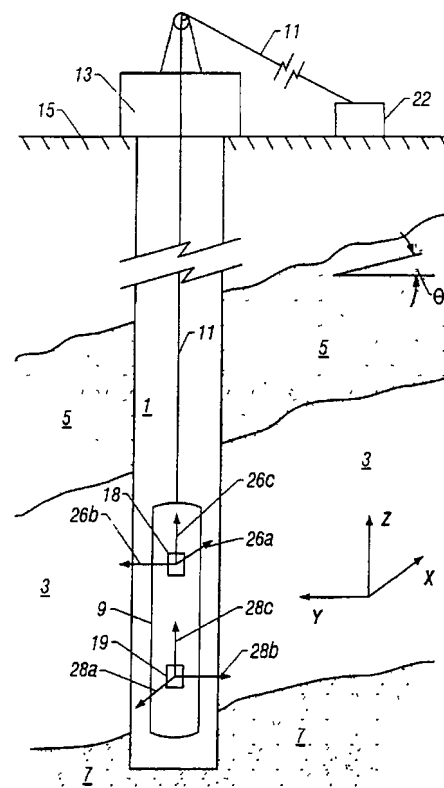
12. Каротажный прибор по п.10, дополнительно содержащий регулируемое полное сопротивление, электрически изолирующее друг от друга катушки передатчика, ориентированные по осям X, Y и Z.

13. Каротажный прибор по п.10, дополнительно содержащий гальванический электрод и источник тока.

14. Каротажный прибор по п.13, дополнительно содержащий регулируемое полное сопротивление, электрически изолирующее гальванический электрод от источника тока.

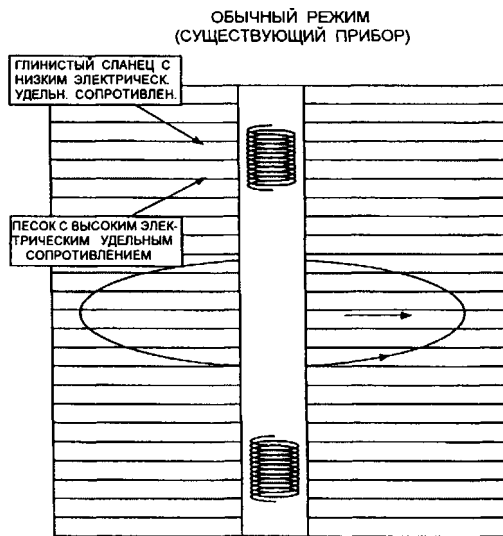
15. Каротажный прибор по п.14, в котором регулируемое полное сопротивление, изолирующее гальванический электрод от источника тока, также изолирует гальванический электрод и источник тока от катушек передатчика, ориентированных по осям X, Y и Z.

16. Каротажный прибор по п.14, в котором регулируемое полное сопротивление, изолирующее гальванический электрод от источника тока, также изолирует гальванический электрод и источник тока от катушек приемника, ориентированных по осям X, Y и Z.



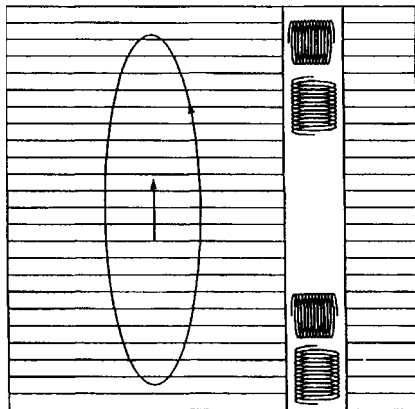
Фиг. 1

Принцип работы каротажного прибора с поперечной индукцией



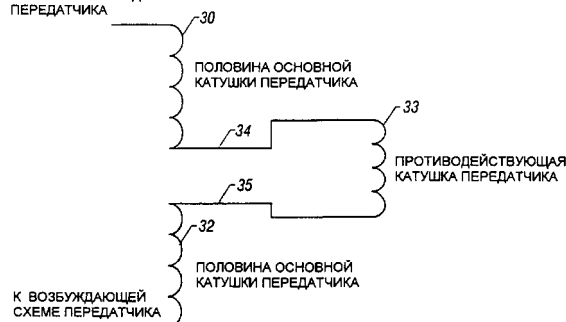
Фиг. 2А

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ (НОВЫЙ ПРИБОР)



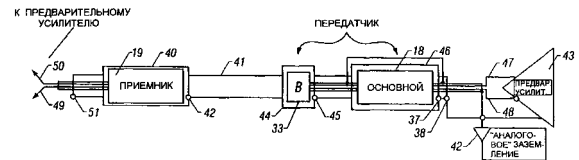
Фиг. 2В

К СХЕМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ПЕРЕДАТЧИКА

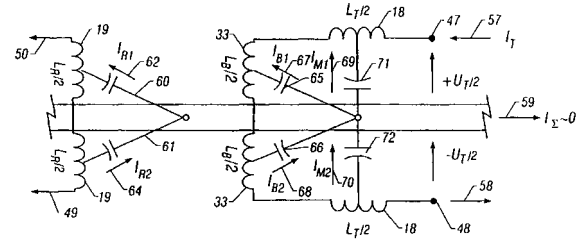


УСТРОЙСТВО С ДВОЙНОЙ КАТУШКОЙ
ПЕРЕДАТЧИКА КАРОТАЖНОГО ПРИБОРА
С ПОПЕРЕЧНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

Фиг. 3



Фиг. 4



СИММЕТРИЧНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ
КАРОТАЖНОГО ПРИБОРА С ПОПЕРЕЧНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

Фиг. 5

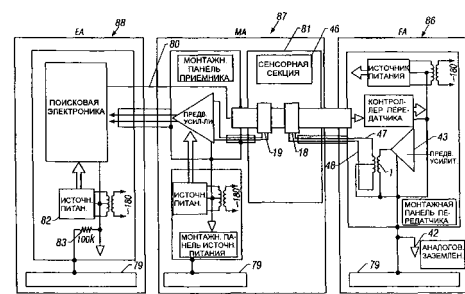


СХЕМА НЕ ДОПУСКАЮЩЕГО УТЕЧИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ
КАРОТАЖНОГО ПРИБОРА С ПОПЕРЕЧНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

Фиг. 6А

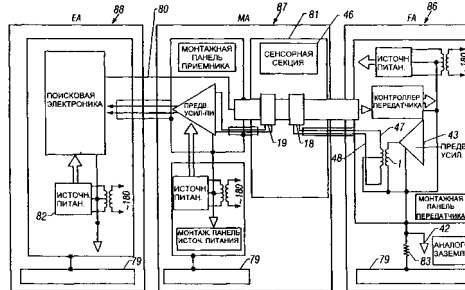


СХЕМА НЕ ДОПУСКАЮЩЕГО УТЕЧИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ
КАРОТАЖНОГО ПРИБОРА С ПОПЕРЕЧНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

Фиг. 6В

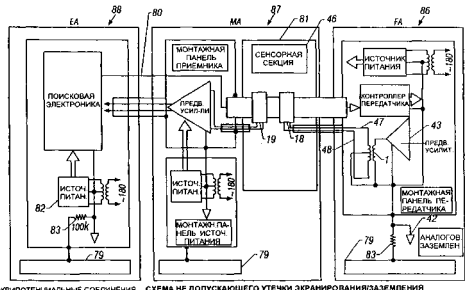


СХЕМА НЕ ДОПУСКАЮЩЕГО УТЕЧИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ
КАРОТАЖНОГО ПРИБОРА С ПОПЕРЕЧНОЙ ИНДУКЦИЕЙ

Фиг. 6С

