(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 021950 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2015.10.30

(21) Номер заявки
201270388

(22) Дата подачи заявки
2010.09.01

(51) Int. Cl. ***F04B 49/00*** (2006.01)

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ СБЕРЕЖЕНИЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УСТРОЙСТВ С ВРАЩАЮЩИМИСЯ ИЛИ ВЫПОЛНЯЮЩИМИ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ МАССАМИ

(31) **61/240,399**
(32) **2009.09.08**
(33) **US**
(43) **2012.08.30**
(86) **PCT/US2010/047477**
(87) **WO 2011/031603 2011.03.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ДЗЕ ПАУЭРВАЙЗ ГРУП, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
Ламзден Джон Л., Келли Пол Х., Венкатараман Васан (US)

(74) Представитель:
Соболев М.М. (RU)

(56) US-A-5362206
US-A-4333046
US-B1-6599095
US-B2-7045913
US-A-2276358
US-A1-20070290645

(57) Предусмотрены система и способ для уменьшения энергии, потребляемой электродвигателем насоса-качалки, в результате уменьшения подачи напряжения в электродвигатель, когда электродвигатель мог бы генерировать энергию в режиме с разомкнутым контуром, путем, по существу, устранения режима генерирования энергии, при этом действие торможения электросети при ограничении ускорения электродвигателя и системы, которое, в противном случае, произошло бы, по существу, устраняется, электродвигатель и система ускоряются, что позволяет за счет естественной кинетической энергии циклического движения выполнять часть действия перекачивания. Контроллер с замкнутым контуром, электрически соединенный с электродвигателем, рассчитывает необходимую информацию по наблюдаемому углу фазы между напряжением и током, подаваемыми в электродвигатель. В результате уменьшения подачи напряжения в электродвигатель наблюдаемый угол фазы может быть уменьшен до целевого значения угла фазы.

021950 B1

021950 B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

В данной заявке заявлен приоритет предварительной заявки США № 61/240399, поданной 8 сентября 2009 г., причем эта заявка включена сюда полностью путем ссылки во всех целях. Данная заявка также представляет собой частичное продолжение одновременно находящейся на экспертизе заявки США № 12/207913, поданной 10 сентября 2008 г., в которой заявлено преимущество предварительной заявки США № 61/135402, поданной 21 июля 2008 г., и предварительной заявки США № 60/993706, поданной 14 сентября 2007 г.; все эти заявки включены сюда полностью путем ссылки во всех целях.

Уровень техники

1. Область изобретения

Данная заявка относится к электродвигателям, используемым для работы насосы-качалки и других устройств с вращающимися или выполняющими возвратно-поступательное движение массами.

2. Предшествующий уровень техники

Насос-качалка представляет собой устройство привода, расположенное выше уровня земли, для привода в возвратно-поступательное движение насоса-качалки, установленного внутри нефтяной скважины. Насос-качалка механически поднимает жидкость из скважины, когда отсутствует достаточное давление на дне скважины для самостоятельного потока жидкости на поверхность. Насос-качалку часто приводят в движение с помощью электродвигателя, который получает электрическое питание от электрической сети. Насос-качалка преобразует вращающееся движение механизма электродвигателя в вертикальное возвратно-поступательное движение для привода насоса, находящегося внутри скважины. Существует множество разных конструкций насосов-качалок, включая в себя, но без ограничений, обычные, Lufkin Mark II, со сбалансированными балками, балансируемые воздухом, для наклонно-направленной скважины и обычные портативные. Насосы-качалки поставляются множеством разных поставщиков, включая в себя Lufkin Industries, Inc. of Lufkin, Texas and Cook Pump Company of Coffeyville, Kansas.

Электродвигатель насоса-качалки обычно вращает набор шкивов, ведущих к системе зубчатых передач или трансмиссий, которые, в свою очередь, приводят в движение пару кривошипов или плечей кривошипов. В типичной обычной конструкции насоса-качалки кривошипы поднимают и опускают конец рычага или балки, известного как ″балка балансира″, который шарнирно установлен на стойке насоса-качалки или на А-раме. Изогнутая металлическая коробка, известная как ″балансир″, находится на другом конце балки балансира, от места, где кривошипы соединены с балкой. Противовес или выполняющая возвратно-поступательное движение масса обычно закреплена на одном конце кривошипов. Шатун обычно продолжается между противовесом и концом балансирной балки, противоположно балансиру. Трос соединяет балансир с вертикальным устьевым сальниковым штоком, который соединен с вертикальной колонной труб или насосных штанг, продолжающихся до глубинного насоса.

Противовес помогает электродвигателю при подъеме колонны насосных штанг или колонны насосных труб. Когда электродвигатель поднимает противовес вверх, балансир движется вниз, толкая насосные штанги или колонну насосных труб вниз. После того как противовес достигнет верхнего положения при его вращении, он выполняет качающееся движение и помогает электродвигателю повернуть балансирную балку в противоположном направлении, используя момент и массу (кинетическую энергию) противовеса. Когда противовес свободно падает вниз из его самого верхнего положения, балансир движется вверх, поднимая колонну насосных штанг вверх. В патенте США № 4051736 предложен улучшенный насос-качалка для выполнения возвратно-поступательных движений насоса в нефтяной скважине.

Хотя существуют различные конструкции внутрискважинного насоса, внутрискважинные насосы традиционно содержат плунжер или поршень, выполняющий возвратно-поступательные движения внутри цилиндра насоса, расположенного на конце или рядом с концом эксплуатационной насосно-компрессорной колонны. Два независимых клапана обычно выполняют действие накачки. Всасывающий обратный клапан может быть закреплен на цилиндре насоса под поршнем, и поршень может включать в себя подвижный обратный клапан. Движение вверх поршня открывает всасывающий клапан, в результате чего текучая среда всасывается в цилиндр насоса, в то время как подвижный клапан остается закрытым. Движение вниз поршня открывает подвижный клапан и выталкивает вверх текучую среду из цилиндра насоса, в то время как всасывающий клапан на цилиндре остается закрытым. В патентах США № 3578886, 4173451 и 6904973 предложены внутрискважинные насосы.

Хорошо известно, что электродвигатели могут входить в режим генерирования энергии во время работы. Для электродвигателя, используемого с насосом-качалкой, режим генерирования энергии может возникать в любое время во время вращения противовеса, в зависимости от состояния баланса между противовесом и трубчатой колонной или колонной насосных штанг. В состоянии баланса могут наблюдаться флуктуации между разными рабочими ходами при откачке, в зависимости от количества и состава текучей среды, поднимаемой колонной насосных штанг в каждый рабочий ход. Устьевой сальниковый шток и прикрепленная к нему насосная штанга или колонна насосных труб могут двигаться вверх или вниз в режиме генерирования энергии.

Владелец шахты должен оплачивать свои счета за электричество на основе количества энергии, по-

требляемой электродвигателем насоса-качалки. Потребляемое количество энергии измеряют с помощью счетчика электрической энергии. В прошлом количество потребляемой энергии измеряли с помощью аналогового измерителя электричества. В настоящее время используются множество цифровых измерителей электричества. Счетчик энергии, имеющий аналоговую или цифровую конструкцию, может быть выполнен по усмотрению коммунального предприятия таким образом, чтобы позволить или предотвратить кредитование потребителя за сгенерированную энергию, которую подают обратно в сеть электропитания. Система насоса-качалки представляет собой такой неэффективный генератор, что количество потребляемой энергии, требуемой для получения какой-либо генерируемой энергии, существенно превышает сгенерированную энергию. Поэтому независимо от того, кредитует ли коммунальное предприятие генерируемую энергию, для потребителя всегда выгодно избежать генерирования энергии.

Во время периодов генерирования электродвигатель пытается достичь напряжения, которое превышает напряжение в сети, заставляя, таким образом, ток протекать в противоположном направлении. Нагрузка, представляемая коммунальной сетью, используется как тормоз, ограничивающий ускорение электродвигателя, которое, в противном случае, возникло бы. Такое действие торможения электродвигателя предотвращает вырабатывание дополнительной кинетической энергии падающим весом насоса-качалки, которая могла бы способствовать действию перекачивания. Преобразуемую кинетическую энергию можно было бы использовать как альтернативу для электрической энергии из коммунальной сети.

В прошлом инженеры безуспешно пытались получить существенное количество энергии путем отключения электродвигателя насоса-качалки на участке работы цикла насоса-качалки, который мог бы включать в себя период генерирования. Делались попытки использования различных механических переключателей и реле. Однако параметры внутрискважинных насосов и скважин изменялись с течением времени таким образом, что эти механические решения не работали.

Поток текучей среды в скважине может изменяться по мере того, как скважина наполняется, и затем ее ″откачивают″. В некоторых случаях объем откачиваемой текучей среды может изменяться в каждый рабочий ход. Изменяющиеся объемы, плотность, вязкость, вес и другие свойства перекачиваемых материалов и/или текучих сред, таких как газ, нефть, вода и шлам, могут существенно изменять объединенный вес насосных штанг и колонны текучей среды, влияя, таким образом, на баланс системы и потребности в использовании электродвигателя. В некоторых скважинах колонны труб могут составлять тысячи футов в длину. Приток различных текучих сред внутрь скважины с течением времени существенно влияет на работу электродвигателя.

При вводе микропроцессора становится возможным выключать электродвигатель при наблюдении за током и напряжением. Однако проблема оставалась, когда требовалось включить электродвигатель снова. В прошлом неудачно пытались вводить различные задержки времени с открытым контуром. Решения на основе микропроцессора также оказались неудачными, поскольку параметры внутрискважинных насосов и скважин меняются с течением времени.

В патенте № 6489742 предложен контроллер двигателя, который включает в себя подачу энергии к асинхронному электродвигателю, с цифровым процессором сигналов, который рассчитывает и оптимизирует подачу тока для существующей нагрузки двигателя от источника питания и напряжения сети через элемент управления.

В публикации US № 2009/0046490 предложены устройство экономии энергии на основе IGBT/FET (БТИЗ/ПТ, биполярный транзистор с изолированным затвором/полевой транзистор), система и способ, в которой сохраняют заданную величину напряжения ниже номинального напряжения в сети и/или ниже номинального напряжения устройства. В публикации US № 2009/0051344 предложено устройство сохранения энергии на основе TRIAC/SCR (симистор/КУД, кремниевый управляемый диод), система и способ, в которых сохраняют заданную величину напряжения ниже номинального напряжения в сети и/или ниже номинального напряжения устройства. В публикации US № 2009/0200981 предложены система и способ для предоставления постоянной нагрузки в силовых приложениях переменного тока, в которых определяют по меньшей мере одну точку включения по меньшей мере в одной половине цикла модулирующей синусоидальной волны, определяют по меньшей мере одну точку выключения по меньшей мере в одной половине цикла модулирующей синусоидальной волны и удаляют по меньшей мере один срез, расположенный между по меньшей мере одной точкой включения и по меньшей мере одной точкой выключения. В публикации US № 2010/0033155 предложен источник питания для приводов IGBT/FET, которые обеспечивают отдельное, изолированное питание для каждого привода IGBT/FET.

Пропорциональное интегрально-дифференциальное (PID, ПИД) регулирование представляет собой широко используемую технологию, применяемую в алгоритмах управления и механизмах обратной связи. Контроллер PID, как он обычно обозначается, рассчитывает значение на основе ″ошибки″. Как правило, ″ошибку″ рассчитывают как разность между измеряемой переменной процесса и требуемой точкой установки или целевым значением. Контроллер PID пытается минимизировать ошибку путем регулирования переменных управления процессом. В основном, контроллер PID представляет собой цифровой фильтр, который имеет пропорциональные, интегральные параметры и параметры производной. Про-

порциональное значение определяет реакцию текущей ошибки, интегральное значение определяет реакцию на основе суммы последних ошибок, и значение производных определяет реакцию на основе скорости, с которой изменялась ошибка.

Описанные выше патенты США № 3578886, 4051736, 4173451, 6489742 и 6904973 и публикации US № 2009/0046490, 2009/0051344, 2009/0200981 и 2010/0033155 включены здесь полностью по ссылке во всех целях.

Существует потребность в эффективном управлении использованием энергии электродвигателем насоса-качалки, в частности, во время режима генерирования энергии.

Сущность изобретения

Система контроллера электродвигателя с замкнутым контуром уменьшает подачу напряжения к электродвигателю насоса-качалки, когда электродвигатель мог бы генерировать энергию в режиме с открытым контуром, когда угол фазы между напряжением и током мог быть больше чем 90°. В результате уменьшения подаваемого напряжения в электродвигатель наблюдаемый угол фазы между напряжением и током может быть уменьшен до значения ниже 90°. В таких условиях электродвигатель все еще не потребляет энергию. Используя технологию широтно-импульсной модуляции, реальный компонент энергии может виртуально быть уменьшен до нуля, оставляя реактивный компонент больше нуля. Обеспечивая протекание некоторого тока, в основном реактивного свойства, наблюдаемый параметр обратной связи можно использовать в системе управления с замкнутым контуром как показатель состояния нагрузки двигателя, на которую контроллер может реагировать, обеспечивая подачу питания, когда это необходимо.

Аналогично система контроллера электродвигателя с замкнутым контуром может обеспечить дополнительную экономию энергии путем уменьшения подаваемого напряжения к электродвигателю, когда электродвигатель мало нагружен и потребляет энергию. В результате минимизации или устранения энергии, которая в противном случае потреблялась бы системой, можно обеспечить экономию энергии как в результате уменьшения подаваемого напряжения к электродвигателю, так и в результате минимизации или устранения действия торможения из коммунальной сети на электродвигатель. Электродвигатель и система ускоряются, обеспечивая выполнение части действия перекачивания с помощью естественной кинетической энергии циклического движения.

Целевой угол фазы может быть подан либо как константа для всех нагрузок двигателей или как переменная функция нагрузки двигателя в любой момент времени. Целевой угол фазы может быть равен или меньше чем 90°, хотя целевой угол фазы больше чем 90° также может быть рассмотрен. Когда электродвигатель генерирует или потребляет энергию и наблюдаемый угол фазы в режиме с разомкнутым контуром может быть больше, чем целевой угол фазы, система может уменьшать подачу напряжения до тех пор, пока наблюдаемый угол фазы не станет, по существу, целевым углом фазы. Дополнительное уменьшение наблюдаемого угла фазы ниже целевого угла фазы может быть интерпретировано как увеличение нагрузки двигателя, такое как во время режима потребления энергии, на который система может реагировать путем увеличения подачи напряжения, до тех пор, пока целевой угол фазы не будет снова достигнут. Необходимая информация может быть рассчитана по наблюдаемому углу фазы между напряжением и током, потребляемыми электродвигателем.

Краткое описание чертежей

Лучшее и дополнительное понимание настоящего изобретения может быть получено из следующего подробного описания различных раскрытых вариантов осуществления на чертежах, на которых одинаковые части обозначены одинаковыми номерами ссылочных позиций и на которых

на фиг. 1 показана блок-схема цифрового сигнального процессора (DSP, ЦСП) с аппаратными входами и выходами;

на фиг. 2 показана блок-схема основанного на DSP контроллера электродвигателя;

на фиг. 3 показана схема, представляющая способ детектирования вращения фаз;

на фиг. 4 показана блок-схема последовательности операций, представляющая способ детектирования вращения фаз;

на фиг. 5 показан график, представляющий выходные сигналы устройства управления мощностью для положительного вращения фаз;

на фиг. 6 показан график, представляющий выходные сигналы устройства управления мощностью для отрицательного вращения фаз;

на фиг. 7 показана блок-схема компаратора окна;

на фиг. 8 представлена схема компаратора окна;

на фиг. 9 показан график формы колебаний тока и сигналов пересечения нуля;

на фиг. 10 схематично показана виртуальная нейтральная цепь;

на фиг. 11 показан график, представляющий выходные сигналы устройства управления мощностью для однофазного применения;

на фиг. 12 показан трехмерный график, представляющий трехмерную линию управления;

на фиг. 13 показан трехмерный график, представляющий линию управления, проецированную на

одну плоскость;

на фиг. 14 показан график, представляющий двумерно отложенную линию управления;

на фиг. 15 показан график, представляющий качание угла отпирания/рабочего цикла при полуавтоматической калибровке;

на фиг. 16 показан график, представляющий направленное качание угла отпирания/рабочего цикла;

на фиг. 17 показан график, представляющий отображенные на графике данные полуавтоматической калибровки;

на фиг. 18 показан график, представляющий отображенные на графике данные полуавтоматической калибровки;

на фиг. 19 показан график, представляющий отображенные на графике данные полуавтоматической калибровки;

на фиг. 20 показана блок-схема последовательности операций полуавтоматической калибровки высокого уровня;

на фиг. 21 показана блок-схема последовательности операций полуавтоматической калибровки высокого уровня;

на фиг. 22 показана блок-схема последовательности операций ручной калибровки;

на фиг. 23 показана блок-схема последовательности операций при фиксации напряжения;

на фиг. 24 показан график, представляющий фиксацию напряжения электродвигателя RMS;

на фиг. 25 показан график, представляющий фиксацию напряжения электродвигателя RMS;

на фиг. 26 показана блок-схема последовательности операций технологии уменьшения остановки двигателя;

на фиг. 27 показан график, представляющий технологию уменьшения остановки двигателя;

на фиг. 28 показан вид сбоку одного варианта осуществления насоса-качалки, помещенного в скважину с колонной труб;

на фиг. 29 показан график наблюдаемого угла фазы в зависимости от времени для электродвигателя насоса-качалки в режиме разомкнутого цикла;

на фиг. 30 показана блок-схема системы, соединенной с электродвигателем;

на фиг. 31 показан график наблюдаемого угла фазы в зависимости от времени для электродвигателя насоса-качалки в режиме управления с замкнутым контуром, с понижением напряжения электродвигателя, чтобы достигнуть целевого угла фазы в пределах одного полного рабочего цикла насоса;

на фиг. 32 показан график формы колебаний одной фазы напряжения входящей линии;

на фиг. 32A показан график формы колебаний одной фазы сильно модулированного напряжения, подаваемого в электродвигатель после применения технологии широтно-импульсной модуляции (PWM, ШИМ);

на фиг. 32B показан график формы колебаний одной фазы слабо модулированного напряжения, подаваемого в электродвигатель после применения технологий PWM;

на фиг. 32C показан график формы колебаний одной фазы переменно модулированного напряжения, подаваемого в электродвигатель после применения технологий PWM;

на фиг. 32D показан график по фиг. 31, иллюстрирующий периоды, когда могут возникать сильная модуляция, слабая модуляция и периоды без модуляции.

Подробное описание изобретения

На фиг. 1 показана блок-схема цифрового сигнального процессора (DSP) 1 и входов и выходов аппаратных средств. DSP 1 может наблюдать рабочие характеристики электродвигателя и может выполнять коррекцию среднеквадратичного (RMS) напряжения электродвигателя, который работает под управлением с замкнутым контуром. Аппаратные входы 2 захватывают входные сигналы 36 пересечения фазой нуля, напряжение 37 фазной линии, напряжение 38 фазы двигателя и тока 9, и их пропускают через DSP 1 для обработки и затем подают в устройство управления мощностью как выходные сигналы 14 устройства управления мощностью.

На фиг. 2 показана блок-схема системы и способа контроллера 4 двигателя на основе DSP. Вначале контроллер 4 считывает напряжение 37 каждой фазы A, B и C и тока 9 для захвата входных данных 36 пересечения нуля. В этот момент напряжение 13 и ток 9 могут быть преобразованы из аналоговой в цифровую форму, используя преобразователи 62. Затем выполняет расчеты 63 угла фазы двигателя для каждой фазы для получения наблюдаемого угла 5 фазы. Затем целевой угол 10 фазы, который был выведен из заранее запрограммированной линии 6 управления, сравнивают с наблюдаемым углом 5 фазы. Разница между целевым углом 10 фазы и наблюдаемым углом 5 фазы позволяет получить результирующий сигнал (11, 28) ошибки фазы, который обрабатывают с помощью контроллера 12 PID, который имеет пропорциональные, интегральные и дифференциальные компоненты. На выходе из контроллера 12 PID получают новое напряжение (13, 29) управления для двигателя 3, которое может быть получено в результате использования устройств 33 управления мощностью, таких как TRIAC, SCR, IGBT или MOSFET, для получения выходных сигналов 14 устройства управления мощностью для напряжения 13 электродвигателя RMS, подаваемого с напряжениями 50 линий для каждой фазы, для максимальной экономии энергии.

В такой системе с замкнутым контуром напряжение 13 каждой фазы двигателя 3 и ток постоянно отслеживают. Контроллер 4 двигателя выполняет привод наблюдаемого угла 5 фазы до точки на калиброванной линии 6 управления, соответствующей нагрузке, которая приложена к электродвигателю. В этой точке реализуется максимальная экономия энергии, поскольку линия 6 управления основана на известных данных калибровки от двигателя 3. Контроллер 4 двигателя позволяет управлять двигателем 3, так как если бы оператор устанавливал напряжение 13 вручную. Различие состоит в том, что DSP 1 может динамически реагировать на изменения нагрузки в режиме реального времени и делать эти регулировки на основе от цикла к циклу.

На фиг. 3 представлена трехфазная система, контроллер 4 двигателя используется для автоматического определения вращения фаз. Детекторы пересечения нуля линейными напряжениями обеспечивают точное измерение угла между фазой пересечения 15 нуля напряжением в линии A и фазой пересечения 16 нуля напряжением в линии B. Для положительного вращения 18 фазы угол номинально составляет 120° и для отрицательного вращения 19 фазы угол номинально составляет 60°.

На фиг. 4 показана блок-схема последовательности операций для детектирования вращения фазы. После выполнения сброса 20 после включения питания (POR, СПП) контроллер 4 двигателя может легко определять положительное вращение 18 фазы и отрицательное вращение 19 фазы. Вначале измеряют время от фазы пересечений нуля напряжения в линии A до фазы пересечения 39 нуля напряжения в линии B. Затем определяют, является ли это время большим или меньшим чем 90° 40. Если оно больше 90°, оно представляет собой вращение 42 ACB. Если время меньше чем 90°, тогда оно представляет собой вращение 41 ABC. Контроллер 4 двигателя может управлять трехфазным или однофазным двигателями переменного тока, используя одно и то же базовое программное средство и аппаратную архитектуру. Для трехфазного случая, в зависимости от вращения фазы, контроллер 4 двигателя может осуществлять управление выходными сигналами 14 устройства для управления мощностью.

На фиг. 5 показаны выходные сигналы устройства управления мощностью для принудительного привода во вращение, контроллер двигателя совместно управляет выходными сигналами 14 устройства управления мощностью фазы A и выходными сигналами 14 устройства управления мощностью фазы B во время включения фаз при пересечениях 15 нуля напряжения в линии A, как обозначено овалом 22a. Аналогично контроллер двигателя управляет устройствами управления мощностью, которые осуществляют управление выходными сигналами 14 управления мощностью для фазы B 16 и фазы C, совместно в течение времени включения фазы B, как обозначено овалом 22b. В конечном итоге, контроллер 4 двигателя совместно управляет фазой C 17 и выходными сигналами 14 устройства управления мощностью фазы A в течение времени включения выходных сигналов 14 устройства управления мощностью для фазы C, как обозначено овалом 22c. Следует отметить, что пример, показанный на фиг. 5 и 6, представляет угол отпирания/рабочий цикл 23, равный 90°.

На фиг. 6 показаны выходные сигналы управления симистора TRIAC для отрицательного вращения фазы, при этом контроллер 4 двигателя управляет выходными сигналами 14 устройства управления мощностью для фазы A и выходными сигналами 14 для фазы C совместно в течение времени включения фазы пересечений 15 нуля для напряжения в линии A, как обозначено овалом 22c. Аналогично контроллер 4 двигателя совместно осуществляет управление для фазы B 16 и выходными сигналами 14 устройства управления мощностью фазы A во время включения пересечений 16 нуля фазой B напряжения в линии, как обозначено овалом 22a. В конечном итоге, контроллер двигателя осуществляет привод выходными сигналами 14 устройства управления мощностью для фазы C и выходными сигналами 14 устройства управления мощностью для фазы B совместно во время включения пересечений 17 нуля фазой C напряжения в линии, как обозначено овалом 22b.

Теперь на фиг. 7 показана блок-схема компаратора окна. Контроллер двигателя на основе DSP использует компаратор 88 окна для детектирования пересечения нуля положительными и отрицательными половинами формы колебаний тока. Когда напряжение электродвигателя RMS уменьшают с помощью контроллера двигателя, становится трудным детектировать пересечение нуля для формы колебаний тока, поскольку ток равен нулю в течение существенного участка обеих половин циклов. Вначале подают 89 ток двигателя, подают 90 положительное напряжение как опорное значение для положительной половины цикла и подают 91 отрицательное напряжение как опорное значение. Затем ток, положительное напряжение и отрицательное напряжение представляют в два компаратора 92, и после чего их пропускают через операцию логического элемента 93 (ИЛИ) для формирования цифрового композитного сигнала 94 пересечения нуля.

Кроме того, на фиг. 8 показана схема компаратора 88 окна. Предоставляют 89 ток двигателя, положительное напряжение 90 как опорное для положительной половины цикла, и предоставляют 91 отрицательное напряжение как опорное. Затем ток, представленный как положительное напряжение и отрицательное напряжение, обрабатывают с помощью двух компараторов 92 и затем пропускают через логический элемент 93 (ИЛИ) для формирования композитного цифрового сигнала 94 пересечения нуля.

Кроме того, на фиг. 9 показан график формы 95 колебаний тока, положительной половины цикла 96 напряжения, отрицательной половины цикла 97 напряжения и функции 98 ИЛИ.

Теперь со ссылкой на фиг. 10 будет показана виртуальная нейтральная цепь. Виртуальная нейтральная цепь может использоваться как опорная в ситуациях, когда три фазы мощности доступны только в режиме ″треугольник″, и нейтраль отсутствует, и ее нельзя использовать как опорную. Виртуальная нейтральная цепь содержит три дифференциальных несимметричных усилителя 77. Поскольку напряжение между фазами является высоким, используют входные резисторы 78 для формирования соответствующего аттенюатора 79 вместе с резисторами 80 обратной связи и резисторами 81, соединенными с общим выводом. Поскольку существует опасность потери фазы, используют защитные диоды 82 для защиты дифференциальных несимметричных усилителей 77. Дифференциальные несимметричные усилители 77 соединены с суммирующим усилителем 83 через конденсаторы 84 блокирования постоянного тока и суммирующие резисторы 85 вместе с резистором 80 обратной связи. Выход суммирующего усилителя 83 усиливают с помощью усилителя 27, предоставляя, таким образом, выход с низким сопротивлением, который представляет собой нейтральный потенциал. Дополнительные резисторы делят шину питания, обеспечивая, таким образом, возможность для суммирующего усилителя 83 обрабатывать переменные положительные и отрицательные сигналы. Альтернативное соединение доступно в случае, когда нейтраль 86 доступна вместе с блоком перемычек для альтернативного соединения 87 нейтрали.

На фиг. 11 показаны выходные сигналы 14 устройства управления мощностью для применения в одной фазе, выходной сигнал 14 фазы А включают через каждую половину цикла на основе выходного сигнала 14 устройства управления мощностью, выводимого из входного сигнала 15 пересечения нуля напряжением. Выходные сигналы 14 устройства управления мощностью для фазы пересечения нуля напряжения линии В и для фазы пересечения нуля напряжения в линии С отключены в DSP 1, и аппаратные средства могут не присутствовать. Выходные сигналы 14 устройства управления мощностью не составляют попарно, как в случае трех фаз.

На фиг. 12 иллюстрируется трехмерная линия управления для рабочего пространства электродвигателя для электродвигателя, соединенного с наблюдаемым углом 5 фазы на оси у. Управляемый угол отпирания/рабочий цикл 23, представляющий уменьшение напряжения, показан на оси х, и процент нагрузки 24 на электродвигателе показан на оси z.

Каждый электродвигатель работает вдоль параметрической линии 25 управления в пределах своего рабочего пространства. Например, когда данный электродвигатель имеет 50% нагрузки и угол отпирания/рабочий цикл 23 установлен в пределах 100°, наблюдают угол 5 фазы приблизительно 55°.

Параметрическая линия 25 управления, показанная на фиг. 12, определена по пяти параметрическим рабочим точкам 26 в диапазоне от случая 44 под нагрузкой в верхнем левом углу до случая 45 без нагрузки в нижнем правом углу. Кроме того, параметрическая линия 25 управления имеет специальное значение, поскольку она представляет собой линию, в которой электродвигатель использует наименьшую возможную энергию. Если угол отпирания/рабочий цикл 23 увеличивать и напряжение 13 двигателя понизить, тогда электродвигатель замедляется и в конечном итоге останавливается. Аналогичные результаты можно видеть при повышении нагрузки на двигатель 3.

Как показано на фиг. 13, параметрическая линия 25 управления может быть параметризована и спроецирована на одну плоскость, описанную углом 5 фазы в вертикальном направлении и углом отпирания/рабочим циклом 23 в горизонтальном направлении.

Кроме того, как показано на фиг. 14, параметрическая линия 25 управления может быть отображена на двумерной графе. На оси х увеличение угла отпирания/рабочего цикла 23 можно приравнять к уменьшению напряжения на двигателе. Это связано с тем, что малые углы отпирания двигателя/рабочие циклы приводят к высокому напряжению, и большой угол отпирания/рабочий цикл приводит к низкому напряжению. Контроллер двигателя управляет наблюдаемым углом 5 фазы до точки на линии 25 управления, которая соответствует нагрузке, присутствующей в данный момент времени на электродвигателе. Для осуществления этого DSP рассчитывает угол 5 фазы между напряжением и током.

На блок-схеме по фиг. 2 DSP 1 затем рассчитывает следующий целевой угол 5 фазы на основе текущего значения напряжения 13 PMS или эквивалентно на основе текущего значения угла отпирания/рабочего цикла. Разница между наблюдаемым углом фазы и целевым углом 10 фазы приводит к возникновению ошибки фазы угла, которую обрабатывают через контроллер 12 PID или аналогичное устройство для генерирования новой цели управления. Такая цель управления изменяет напряжение таким образом, чтобы минимизировать ошибку угла фазы. Целевой угол 10 фазы является динамическим, и он изменяется как функция угла отпирания/рабочего цикла.

Как указано выше, контроллер 4 двигателя управляет наблюдаемым углом 5 фазы до точки на линии 25 управления, которая соответствует текущей нагрузке на двигатель 3. Эта точка 26 управления обеспечивает максимально возможную экономию энергии, поскольку линия 25 управления калибрована непосредственно по двигателю 3, которым управляют.

Данный способ калибровки называется полуавтоматической калибровкой. Полуавтоматическая калибровка основана на качаниях DSP 1 в пространстве управления электродвигателем. Как показано на фиг. 15, качание в пространстве управления означает, что DSP увеличивает угол отпирания/рабочий цикл 23 и постоянно записывает ток 9 и угол отпирания/рабочий цикл 23 каждой фазы в дискретных точках. Таким образом, при этом можно видеть начало точки 21 остановки электродвигателя. Хорошо опреде-

ленный линейный участок кривой наблюдаемых данных калибровки, полученной в результате качаний в пространстве 7 управления, который используют для определения точек на линии 6 управления, имеет постоянный отрицательный наклон при меньших значениях угла отпирания/рабочих циклов 23. Затем, по мере того как угол отпирания/рабочий цикл 23 продолжает увеличиваться, ток 9 начинает выравниваться и фактически начинает увеличиваться, по мере того, как двигатель 3 начинает скользить и может остановиться, называется ″изломом характеристики″ 31.

Как показано на фиг. 16, последующие качания могут быть направлены на меньшие диапазоны напряжений двигателя для представления ″излома характеристики″. Контроллер 4 двигателя требует множества качаний для получения данных, которые имеют статистическую точность. Существует компромисс между количеством качаний и временем, требуемым для калибровки линии 25 управления. Мера по обеспечению качества калибровки может поддерживаться DSP 1, используя хорошо известные статистические процессы, и дополнительные качания могут быть выполнены, если необходимо. Это справедливо, поскольку DSP 1 изучил приблизительное местоположение излома 31 характеристики после первого качания.

Во время выполнения полуавтоматического качания существует небольшая опасность остановки двигателя из-за управляемой среды установки. Техник или оператор помогают обеспечить то, что неожиданные нагрузки не будут приложены к испытуемому двигателю 3, в то время как выполняют полуавтоматическую калибровку.

Процесс качаний пространства управления может быть выполнен с любой фиксированной нагрузкой. Например, он может быть выполнен однократно для полностью нагруженного двигателя 3 и однократно для двигателя 3 без нагрузки. Эти две точки становятся двумя точками, которые определяют линию 25 управления. При этом нет необходимости выполнять точную калибровку в этих двух точках. DSP 1 продолжит линию 25 управления за пределы обеих этих точек, если потребуется.

Существует множество цифровых способов, которые могут быть применены для поиска точки 21 остановки двигателя на графике тока и напряжения 23 двигателя. Как показано на фиг. 17, способ состоит в использовании способа ″наименьших квадратов″ для расчета прямой линии, которая лучше всего соответствует накопленным данным, сгруппированным в таблицу на основе первых пяти напряжений 23 двигателя.

Продолжение этого способа показано на фиг. 18. Используя предыдущие точки данных, можно прогнозировать значение тока 9. На графике DSP 1 проверяют для одной или больше точек, которые отклоняются в положительном направлении от прямой линии прогнозирования.

Как показано на фиг. 19, DSP 1 выполняет поиск начала излома характеристической кривой. Первая точка, которая отклоняется от прогнозируемой линии управления, может представлять собой или может не представлять собой начало излома 31. Первая точка с положительной ошибкой может просто представлять собой зашумленную точку данных. Единственный способ проверить, что наблюдаемая кривая данных калибровки, полученная в результате качаний пространства 7 управления, поворачивается, состоит в анализе данных, полученных при дополнительных качаниях.

Полуавтоматическая калибровка может быть выполнена в полевых условиях. На фиг. 20 показана блок-схема последовательности операций, представляющая, как выполняют полуавтоматическую калибровку. Вначале двигатель 3 помещают в конфигурации 44 с большой нагрузкой. В идеале, в такой конфигурации нагрузка больше, чем на 50% полной номинальной нагрузки. Затем нажимают кнопку 32 калибровки на контроллере 4 двигателя для того, чтобы передать сигнал в DSP 1 выполнить измерение с полной нагрузкой. DSP 1 выполняет калибровку 46, для которой требуется несколько секунд, чтобы исследовать операционное пространство двигателя 3, для определения точки полной нагрузки. Контроллер 4 двигателя обозначает, что он закончил этот этап, зажигая светодиод.

Далее двигатель 3 помещают в конфигурацию 45 нагрузки. В идеале, эта конфигурация составляет менее чем 25% от номинальной нагрузки. Затем нажимают 47 кнопку 32 калибровки на контроллере 4 двигателя, чтобы передать в DSP 1 команду выполнять измерение без нагрузки. DSP 1 выполняет калибровку 46 для определения точки без нагрузки. Контроллер 4 двигателя обозначает, что он закончил калибровку обоих концов 47 линии 25 управления, зажигая светодиод. DSP 1 затем определяет линию 48 управления, используя эти два измерения, и применяет эту линию управления, когда он управляет двигателем 3. Значения линии 25 управления сохраняют в энергонезависимом запоминающем устройстве 49.

На фиг. 21 показана более подробная блок-схема последовательности операций полуавтоматической калибровки. Вначале выполняют 46 первое качание калибровки, когда напряжение двигателя устанавливают на определенном уровне 51, в зависимости от того, выполняется ли первое качание или были ли выполнены 106 предыдущие качания, на которых контроллер двигателя измеряет двигатель 52 до тех пор, пока контроллер двигателя не детектирует излом 53 характеристики. Если детектируют излом 53 характеристики, угол отпирания/рабочий цикл уменьшают на 2° 54, и угол фазы и напряжение двигателя записывают в запоминающее устройство 55. Этот процесс повторяют для получения по меньшей мере четырех качаний 56 для получения рассчитанного среднего значения 57 угла фазы и угла отпирания/рабочего цикла. Если в течение какого-либо этапа во время качания калибровки излом характери-

стики не будет детектирован, тогда угол отпирания/рабочий цикл увеличивают по меньшей мере на 1° 58, и затем на следующем этапе выполняют 59 измерения.

Альтернативный способ калибровки называется калибровкой вручную. На фиг. 22 показана блок-схема последовательности операций калибровки вручную. Вначале электродвигатель помещают в динамометр 70. Далее электродвигатель соединяют с компьютером для управления 71 вручную, что позволяет запустить электродвигатель в режиме с открытым контуром и с установкой вручную угла отпирания/рабочего цикла асинхронного двигателя переменного тока в любую рабочую точку. Затем электродвигатель помещают в конфигурации 45 с полной нагрузкой. После этого угол отпирания/рабочий цикл увеличивают и напряжение электродвигателя RMS уменьшают 72 до тех пор, пока электродвигатель практически не остановится. Угол отпирания/рабочий цикл и угол фазы записывают, и это становится калиброванной точкой, которую записывают 73. Затем электродвигатель запускают с элементами привода, полностью включенными 74. Затем электродвигатель переводят в конфигурацию 44 с полной нагрузкой. После этого угол отпирания/рабочий цикл увеличивают или уменьшают до тех пор, пока напряжение электродвигателя RMS не будет модулировано контроллером 75 электродвигателя до тех пор, пока электродвигатель практически не остановится. Угол отпирания/рабочий цикл записывают, и это становится другой калиброванной точкой, которую записывают 73. В конечном итоге, используют две калиброванные точки для получения линии 76 управления.

Когда линейное напряжение RMS больше, чем запрограммированное фиксированное напряжение, контроллер DSP фиксирует напряжение электродвигателя RMS на этом фиксированном напряжении таким образом, что экономия энергии возможна даже при полной нагрузке. Например, если напряжение в сети превышает паспортное значение напряжения 115 В в случае однофазного электродвигателя, тогда напряжение электродвигателя фиксируют на 115 В. Эта операция ограничения напряжения электродвигателя позволяет контроллеру электродвигателя экономить энергию, даже когда электродвигатель полностью нагружен, в однофазных или трехфазных вариантах применения.

На фиг. 23 показана блок-схема последовательности операций с постоянной фиксацией напряжения. Вначале рассчитывают 64 ошибку фазы. После этого рассчитывают 65 ошибку напряжения. Затем напряжение электродвигателя RMS асинхронного двигателя переменного тока определяют и сравнивают с фиксированным порогом 66 напряжения. Если напряжение электродвигателя RMS больше, чем фиксированное напряжение порога, тогда определяют, является ли цель управления положительной 67 или нет. Если цель управления является положительной, тогда включают 68 контур управления напряжением. Если напряжение электродвигателя RMS асинхронного двигателя переменного тока меньше, чем фиксированное напряжение порога, тогда включают 69 замкнутый контур линии управления, и весь процесс повторяют. Если цель управления определяют как не являющуюся положительной, тогда включают 69 контур линии управления, и весь процесс повторяют снова.

В некоторых случаях может отсутствовать возможность полной нагрузки двигателя 3 во время процесса калибровки. Возможно, 50% составляют наибольшую нагрузку, которая может быть достигнута, в то время как электродвигатель установлен в полевых условиях. И, наоборот, может не быть возможности полной разгрузки электродвигателя, и может возникнуть случай, когда только 40% представляют собой наименьшую нагрузку, которая может быть достигнута.

На фиг. 24 показан пример обеих точек применения нагрузки, находящихся ближе к середине рабочего диапазона. На конце 45 без нагрузки, с правой стороны от линии 25 управления, DSP 1 устанавливает постоянное фиксированное 60 напряжение для напряжения при минимальном напряжении 35. Когда нагрузку на двигатель увеличивают, DSP 1 следует линии управления, движущейся слева и вверх в сегменте 61 управления. Такой вариант осуществления представляет собой консервативный подход и защищает двигатель 3 от работы в некалиброванном пространстве.

Как, кроме того, показано на фиг. 25, на полностью нагруженном конце 44 с левой стороны DSP 1 синтезирует сегмент 61 управления с большим отрицательным наклоном. Такой вариант осуществления представляет собой консервативный подход и переключает напряжение на полное включенное напряжение.

На фиг. 26 контроллер двигателя на основе DSP использует специальную технологию для предохранения электродвигателя от остановки. Вначале DSP активно отслеживает существенное увеличение тока 99, которое обозначает, что нагрузка на электродвигатель увеличилась. Затем, если наблюдают 100 существенное увеличение, DSP переключает напряжение двигателя на полное включенное 101 напряжение. Затем DSP пытается уменьшить напряжение двигателя для возврата к управлению 102, и DSP возвращается к активному отслеживанию для существенного увеличения тока 99. Эта технология является консервативной и безопасной альтернативой попыткам DSP отслеживать потребности в электроэнергии, которые являются неизвестными в это время.

Как дополнительно показано на фиг. 27, на графике технологии уменьшения остановки двигателя нагрузка электродвигателя представлена на оси x, и время представлено на оси y. Нижняя линия представляет нагрузку на двигатель 103, и верхняя линия представляет мощность, прикладываемую к электродвигателю с помощью DSP 104. Перед точкой a 105 DSP динамически управляет электродвигателем с постоянной нагрузкой. Между точкой a 105 и точкой b 30 нагрузка на электродвигатель внезапно увели-

чивается, и DSP переключает напряжение двигателя на полное включенное напряжение. В точке c 34 DSP уменьшает напряжение двигателя до точки d 43.

На фиг. 28 насос-качалка 30' расположен на земле рядом со скважиной W. Основной движитель или двигатель 6' приводит в движение систему зубчатых колес или передачу 8' с помощью приводного ремня 18'. Двигатель 6' может быть соединен с электрической сетью для подачи энергии. Один конец рычага противовеса или рычага 10' кривошипа расположен в системе 8' зубчатой передачи, и другой конец рычага 10' противовеса расположен на противовесе или вращающейся массе 12'. Предпочтительно используются два рычага 10' противовеса с противовесом 12', расположенным между ними. Рычаг или балансирная балка 2' шарнирно поворачиваются на стойке насоса-качалки или на A-раме 14'. Один конец шатуна или балансира 16' установлен с возможностью вращения одного конца балки 2' и другого конца балансира 16', соединенных с возможностью поворота с вращающейся массой 12' и концом рычага 10' противовеса. Выступ балки или головки 4' расположен на конце балки 2' рядом со скважиной W. Как можно видеть, насос-качалка 30' имеет обычную конструкцию.

Один конец троса 20' закреплен на головке 4' балки, и другой конец троса 20' соединен с устьевым сальниковым штоком или штангой 22'. Шток 22' расположен, по существу, на вертикальной колонне насосных труб или насосных штанг 26', продолжающихся внутрь скважины W через колонну эксплуатационных труб до внутрискважинного насоса 28'. Колонна насосных труб может содержать насосные штанги, трубу, трубы или другие компоненты, используемые с насосом-качалкой или другим аналогичным устройством, которые помогают при накачке или подъеме текучих сред из скважины. Двигатель 6' может осуществлять привод насоса-качалки 30', вращая конец рычага 10' противовеса вокруг горизонтальной оси. Когда противовес 12' движется вверх, балка 2' отклоняется от горизонтальной оси на A-раме 14' и двигает головку 4' балки вниз. Противовес 12' перемещается вдоль его самого верхнего положения. Он свободно падает вниз под действием силы тяжести и своего момента, и балка 2' поворачивает вокруг A-рамы 14' и перемещает головку 4' балки вверх. Проталкивание и вытаскивание колонны насосных труб 26' с помощью головки 4' балки приводит в движение поршень во внутрискважинном насосе 28'. Колонна 26' труб движется и выполняет возвратно-поступательные движения, по существу, вертикально в скважине W.

Двигатель 6' обычно работает в режиме потребления энергии. Однако двигатель 6' может работать в режиме генерирования энергии, когда падающие массы (либо противовеса 12' или штока, или колонны 26' труб) находятся в режиме свободного падения, ускоряя, таким образом, двигатель 6' за пределы его синхронной скорости, когда скорость ограничена генерируемым током. Хотя примерный обычный насос-качалка 30' показан на фиг. 28, предусматривается, что все конструкции насосов-качалок включают в себя, но без ограничений, разные обычные устройства, при этом конструкцию Lufkin Mark II, конструкцию со сбалансированной балкой и обычную портативную конструкцию можно использовать в вариантах осуществления изобретения. Хотя варианты осуществления показаны с насосами-качалками, также предусматривается, что все варианты осуществления можно использовать с любым устройством, имеющим вращающуюся массу или массу, выполняющую возвратно-поступательное движение.

Возвращаясь к фиг. 29, здесь представлена зависимость 36' наблюдаемого угла фазы, представленного по вертикальной оси 32', и времени по горизонтальной оси 34' для электродвигателя, установленного на насосе-качалке, таких как двигатель 6' и насос-качалка 30' на фиг. 28, в режиме с разомкнутым контуром. Варианты осуществления настоящего изобретения, описанные ниже со ссылкой на фиг. 30-32D, не были связаны с электродвигателем; поэтому электродвигатель работает в режиме с открытым контуром. Вторая горизонтальная линия 40' вычерчена при значении наблюдаемого угла фазы 90° по вертикальной оси 32'. Когда график 36' превышает наблюдаемый угол фазы 90°, что происходит в сегменте 42' графика над второй горизонтальной линией 40', тогда электродвигатель находится в режиме полного генерирования энергии. В эти моменты времени, когда электродвигатель генерирует, вместо потребления энергии, ток запаздывает относительно напряжения на угол фазы, который превышает 90°. Чем больше угол фазы во время генерирования, тем большая энергия генерируется. Электродвигатель находится в режиме значительного потребления энергии во втором сегменте 44' графика, ниже первой горизонтальной линии 38'. Первая горизонтальная линия 38' вычерчена на значении целевого угла фазы, которое меньше чем 90° по вертикальной оси 32'. Целевой угол фазы подробно описан ниже со ссылкой на фиг. 30 и 31.

На фиг. 30 схематично показан контроллер 50' двигателя с замкнутым контуром, подключенный к электродвигателю 62', такому как электродвигатель 6' на фиг. 28, который может быть соединен с насосом-качалкой, таким как насос-качалка 30' на фиг. 28. Также рассматриваются другие конструкции насоса-качалки для использования с конструкцией, показанной на фиг. 30. Контроллер 50' двигателя может представлять собой PID контроллер. Однако другие контроллеры электродвигателя с замкнутым контуром также рассматриваются. Предусмотрен контроллер двигателя на основе цифрового сигнального процессора (DSP), такой как контроллер двигателя на основе DSP, показанный на фиг. 1 и 2, хотя другие типы контроллеров двигателя на основе DSP также могут быть предусмотрены. Контроллер 50' электродвигателя с замкнутым контуром может быть соединен с электродвигателем (6', 62') таким же образом,

как показано на фиг. 1 и 2. Контроллер на основе микропроцессора также предусмотрен. В одном варианте осуществления система контроллера с замкнутым контуром может иметь контроллер PID как компонент. В системе управления замкнутым контуром или в сервосистеме 48' контроллер 50' может рассчитывать 52' наблюдаемые углы фазы между напряжением и током, подаваемыми в двигатель 62'.

Предпочтительно датчики не требуется размещать в электродвигателе (6', 62'), насосе-качалке 30' или внутрискважинном насосе 28'. Кроме того, система 48' с замкнутым контуром может быть адаптивной для каждого отдельного внутрискважинного насоса 28' и к изменяющимся параметрам и требованиям насоса 28' и скважины W с течением времени, включая в себя, но без ограничений, изменяющиеся объемы, плотность, вязкость, веса и другие свойства материалов и/или перекачиваемых текучих сред, таких как газ, нефть, вода и шлам. Напряжение и ток, отслеживаемые системой 48', используются как индикатор условий в скважине, обеспечивая возможность адаптации системы к изменяющимся параметрам скважины. Отслеживание напряжения и тока, по существу, на постоянной основе позволяет обеспечить, по существу, непрерывное считывание условий скважины. Система 48' с замкнутым контуром также адаптируется, когда существующие компоненты системы насоса-качалки заменяют другими компонентами, имеющими другие характеристики, такие как, например, замена колонны труб другой колонной труб, имеющей другой вес, или замена противовеса противовесом с другими размерами, при условии, что механическая система будет повторно сбалансирована после замены компонентов. После повторной балансировки механической системы варианты осуществления изобретения обеспечивают возможность возобновить экономию энергии.

Целевой угол 58' фазы, вводимый в контроллер 50', можно сравнивать с рассчитанным наблюдаемым углом 52' фазы, и ошибка 60' или разность между этими двумя значениями определяется контроллером 50'. Предусматривается, что целевой угол 58' фазы может, по существу, составлять 90°, или целевой угол 58' фазы может быть больше или меньше чем 90°. Во время установки целевой 58' угол фазы может быть выбран так, чтобы получить оптимальные результаты при использовании электродвигателя. Целевой угол 58' фазы может быть постоянным для всех нагрузок двигателя, например составлять 65°, хотя другие постоянные целевые углы 58' фазы также могут быть предусмотрены. Целевой угол 58' фазы также может представлять собой переменную функцию нагрузки двигателя в любой момент времени. Установка для целевого угла 58' фазы может быть минимальным целевым углом фазы, который всегда поддерживает, по существу, наблюдаемый электрический ток, подавая все еще достаточное питание для удовлетворения техническим условиям электродвигателя при всех нагрузках.

Контроллер 50' двигателя может управлять подачей напряжения 54' в двигатель 62' после сигнала 60' ошибки. Когда ошибка 60' является существенной, поскольку наблюдаемый угол фазы является слишком большим, например в течение периода режима генерирования энергии с разомкнутым контуром, контроллер 50' может уменьшать подачу напряжения в двигатель х 62' до более низкого значения, например, чтобы уменьшить наблюдаемый угол 52' фазы до целевого угла 58' фазы. Когда ошибка 60' является существенной, поскольку наблюдаемый угол 52' фазы слишком мал, например во время режима значительного потребления энергии, контроллер 50' может увеличить подачу напряжения 54' в двигатель 62' до более высокого значения, для перемещения наблюдаемого угла 52' фазы к целевому углу 58' фазы. В такой выбранной системе 48' с замкнутым контуром напряжение и ток могут постоянно отслеживаться, и ими можно управлять с помощью контроллера 50' двигателя. Также предусматривается, что подаваемым напряжением 54' питания можно управлять путем использования устройств управления мощностью, таких как TRIAC, SCR, IGBT или MOSFET, как показано на фиг. 2. Кроме того, в контроллере 50' используются таймеры и технология широтно-импульсной модуляции (PWM) для управления напряжением питания, что подробно описано ниже со ссылкой на фиг. 32-32D. Предусматривают также другие технологии.

Возвращаясь к фиг. 30, контроллер 50' считывает напряжения в каждой фазе и ток в двигателе 62' для захвата точек пересечения нуля. На фиг. 5 и 6 в публикации US № 2009/0046490 представлена осциллограмма и принципиальная схема соответственно средства определения точки пересечения ноль вольт, которая здесь рассматривается. Другие типы средств определения точки пересечения ноль вольт также могут быть предусмотрены. Напряжение и ток могут быть преобразованы из аналоговой в цифровую форму, используя один или больше аналого-цифровых преобразователей для целей отслеживания и/или управления, как показано на фиг. 2. Контроллер 50' может выполнять расчеты 52' угла фазы двигателя для получения наблюдаемого угла фазы. Контроллер 50' может сравнивать наблюдаемый угол 52' фазы с целевым углом 58' фазы и управлять напряжением 54' питания двигателя в ответ на это. Угол фазы можно отслеживать в одной или больше фазах. Контроллер 50' может использоваться для автоматического определения вращения фазы. Принципиальная схема средства для поддержки фазы и средства определения вращения фазы, которые рассматриваются, предложена на фиг. 7 в публикации US № 2009/0046490, где используется множество операций с фазами.

Кроме того, предусматривается, что напряжения могут отслеживаться от фазы к фазе или от фазы относительно нейтральной цепи. Описание схемы рассматриваемой виртуальной нейтральной цепи показано на фиг. 10. Другие виртуальные нейтральные цепи также могут быть предусмотрены. Виртуальная

нейтральная схема может использоваться как опорная в ситуациях, когда мощность трех фаз доступна только в режиме ″треугольник″ и нейтраль отсутствует и не может использоваться как опорная. Также предусматривается, что компаратор окна может использоваться для детектирования прохождения через ноль как положительных, так и отрицательных половин колебаний тока. Компаратор окна показан на фиг. 7 и 8. Другие компараторы окна также предусматриваются. На фиг. 8, 9 и 10 в публикации US № 2009/0046490 представлены принципиальная схема и осциллограмма соответственно рассматриваемого средства идентификации половины цикла.

Возвращаясь к фиг. 31, здесь представлен график 64', на котором показаны наблюдаемый угол фазы на вертикальной оси 32' и время на горизонтальной оси 34' для электродвигателя, соединенного с насосом-качалкой, такого как двигатель 6' и насос-качалка 30' по фиг. 28, в режиме с замкнутым контуром. На фиг. 29 целевой угол фазы меньше чем 90° показан на первой горизонтальной линии 38'. В отличие от фиг. 29, выход электродвигателя, представленного на фиг. 31, получен из системы 48' с замкнутым контуром, который устанавливает электродвигатель, как показано на фиг. 30. Первый сегмент 70' графически представлен на фиг. 31, где наблюдаемый угол фазы мог бы превысить целевой угол фазы в режиме с разомкнутым контуром. Однако в режиме с замкнутым контуром в первом сегменте 70' на графике сигнал 60' ошибки формирует попытку управления со стороны контроллера 50' для уменьшения подаваемого напряжения 54' к электродвигателю для поддержания целевого угла 38' фазы. Когда наблюдаемый угол фазы мог бы превысить 90° в режиме с разомкнутым контуром, наибольшие значения наблюдаемого угла фазы формируют большее значение сигнала 60' ошибки на фиг. 30.

Во время первого сегмента 70' на графике электродвигатель эффективно выключают, используя технологии PWM, но без фактического отключения подачи питания к электродвигателю. При этом ток все еще протекает в электродвигателе в это время, который позволяет контроллеру 50' определять, когда требуется повысить подачу напряжения к электродвигателю в режиме потребления энергии. Реальный компонент тока может быть виртуально уменьшен до нуля, оставляя реактивный компонент больше нуля. В результате того, что некоторый электрический ток протекает при уменьшенном напряжении, предусматривают большую часть наблюдаемого параметра обратной связи реактивной природы, которую используют в системе 48' управления с замкнутым контуром, как показатель условий нагрузки, на который контроллер 50' может реагировать, подавая питание, когда необходимо, на фазе потребления энергии.

Поскольку ток обладает реактивной природой, единственная остающаяся мощность имеет очевидную природу. Электрический ток позволяет контроллеру постоянно наблюдать угол фазы между током и напряжением. Максимальное понижение напряжения тока происходит приблизительно в первом местоположении 66' на графике на фиг. 31 наблюдаемого угла фазы в режиме с открытым контуром, как показано на фиг. 29, в противном случае, он имел бы его максимальное значение, большее чем 90°.

Когда наблюдаемый угол фазы превышает целевой угол фазы в режиме с замкнутым контуром, напряжение питания может быть понижено, используя технологию PWM, до тех пор, пока наблюдаемый угол фазы не достигнет целевого угла фазы. В начале первого сегмента 70' на графике на фиг. 31 контроллер 50' двигателя уменьшает наблюдаемый угол фазы от режима с разомкнутым контуром до целевого угла фазы. Контроллер 50' после этого поддерживает наблюдаемый угол фазы, по существу, на значении целевого угла фазы. Любое дополнительное уменьшение наблюдаемого угла фазы ниже целевого угла фазы может быть интерпретировано как увеличение нагрузки, на которую контроллер 50' может реагировать, путем повышения напряжения 54' питания, до тех пор, пока целевой угол фазы снова не будет достигнут. Максимальное увеличение напряжения питания на электродвигателе происходит во втором местоположении 68' на графике, когда наблюдаемый угол фазы падает ниже целевого угла фазы. Когда противовес или выполняющая возвратно-поступательное движение масса приводится в движение от электродвигателя, значения наблюдаемого угла фазы обычно будут меньшими, чем целевой угол фазы, с помощью которого формируют сигнал ошибки, что создает попытку управления со стороны контроллера 50', для увеличения подаваемого напряжения на электродвигатель. Электродвигатель находится в режиме большого потребления энергии во втором сегменте 44' графика, ниже первой горизонтальной линии 38'.

Возвращаясь к фиг. 32, здесь показан график 200 формы колебаний поступающего линейного напряжения с одной фазой, хотя предусматривается также случай трехфазного напряжения. На фиг. 32A использовали технологии PWM для модуляции или удаления сегментов 204 графика формы колебаний напряжения, в то время как сегменты 202 графика формы колебаний напряжения были оставлены. На фиг. 32A иллюстрируется сильная модуляция напряжения питания, при которой модулируют крупные сегменты 204 формы колебаний напряжения. На фиг. 32B иллюстрируется легкая модуляция формы колебаний напряжения, используя технологию PWM, при которой сегменты 206 графика формы колебаний напряжения, которые были модулированы, меньше, чем модулированные сегменты 204, показанные на фиг. 32A. На фиг. 32B оставленные сегменты 208 графика больше, чем сегменты 202 графика формы колебаний, которые были оставлены на фиг. 32A.

Сильная модуляция на фиг. 32A возникает во время периода, в котором мог бы возникнуть режим

генерирования энергии с разомкнутым контуром, такого как на фиг. 31, в первом местоположении 66' графика. На фиг. 32D период сильной модуляции 210A иллюстрируется в сегменте 210 графика. Уменьшение напряжения питания, показанное на фиг. 32A, уменьшает реальный компонент тока практически до нуля, оставляя реактивный компонент, больший чем ноль. Это представляет собой период, когда электродвигатель эффективно выключен, но в него все еще поступает достаточный ток, для того чтобы наблюдать угол фазы.

Когда электродвигатель находится в режиме значительного потребления энергии, например, как происходит на фиг. 31, во втором сегменте 44' графика, тогда, по существу, не удаляют ни один из сегментов формы колебаний напряжения, и подача напряжения питания в двигатель остается, по существу, такой, как показано на фиг. 32. На фиг. 32D период, по существу, отсутствия модуляции 212A происходит в сегменте 212 графика.

На фиг. 32D контроллер DSP находится в режиме управления в местоположениях 226 и 228 графика. В течение этих периодов электродвигатель не находится в режиме значительного потребления энергии и не находится в периоде, в котором мог бы возникнуть режим генерирования энергии с разомкнутым контуром. В режиме управления может возникнуть слабая модуляция 226A, как показано на фиг. 32B, или переменная модуляция, как показано на фиг. 32C, может возникнуть для управления напряжением двигателя. Это может произойти, когда электродвигатель слабо нагружен, сохраняя энергию, в то время как электродвигатель все еще потребляет энергию. В переменной модуляции на фиг. 32C используют PWM для модуляции сегментов (214, 216, 218, 220, 222, 224) графика формы колебаний с разными размерами для управления напряжением двигателя. Размер сегментов (214, 216, 218, 220, 222, 224) графика формы колебаний напряжения, модулированных на фиг. 32C, может быть разным, при этом оставляют сегменты модуляции графика формы колебаний напряжения, которые также имеют разные размеры.

Следует понимать, что контроллер двигателя может использовать любую комбинацию или перестановки легкой модуляции, сильной модуляции, переменной модуляции или отсутствия модуляции для управления наблюдаемым углом фазы напряжения питания двигателя до целевого угла фазы. Цифровой сигнальный процессор (DSP) или контроллер двигателя пытается поддерживать, по существу, постоянно наблюдаемый угол фазы и будет выполнять модуляцию в степени, требуемой для этого. DSP управляет напряжением двигателя на основе наблюдаемого угла фазы. Величина модуляции напряжения питания может изменяться.

Когда электродвигатель, управляющий разомкнутым циклом, находится в режиме генерирования энергии, нагрузка, представленная коммунальной электрической сетью, эффективно действует как тормоз на электродвигатель, таким образом ограничивая его скорость. Это происходит из-за попытки превышения сгенерированного напряжения, предоставленного коммунальной электрической сетью, что приводит к тому, что ток должен протекать в противоположном направлении. Когда применяют систему и способ контроллера с замкнутым контуром, как показано на фиг. 30-32D, такое действие торможения может быть эффективно минимизировано или устранено, и электродвигатель и система обычно ускоряются в это время. Такая дополнительная кинетическая энергия, запасаемая в системе, используется для выполнения части действия накачки без потребления энергии электродвигателя.

Уменьшение или, по существу, предотвращение генерирования энергии устраняют необходимость потребления энергии в других частых циклах накачки, экономя таким образом энергию.

Как будет понятно, электроэнергия, подаваемая в электродвигатель, ″эффективно″ отключается во время режима генерирования энергии, который мог бы произойти при разомкнутом контуре, поддерживая сигналы обратной связи напряжения и тока, для определения, когда следует включить электродвигатель снова, когда наблюдаемый угол фазы уменьшается. Такая система и способ постоянно адаптируются к изменяющимся параметрам в скважине, что нельзя было выполнить в прошлом. В качестве одного примера, электродвигатель и система являются адаптивными для накачки двух или больше текучих сред в разное время, которые имеют разные плотность или вес. Напряжение и ток, отслеживаемые в системе, используются как индикатор условий в скважине, что позволяет системе стать адаптивной к изменениям параметров скважины. В результате того, что не происходит входа в режим генерирования энергии, действие торможения, которое создается в режиме генерирования энергии с разомкнутым контуром, может быть сведено к минимуму или устранено так, что в системе будет получено преимущество, состоящее в ускорении. В результате минимизации или устранения энергии, которая, в противном случае, была бы потреблена системой, экономия энергии может привести как к уменьшению подачи энергии к электродвигателю, так и благодаря минимизации или устранению действия торможения на электродвигатель в режиме генерирования энергии.

Все типы и конструкции электродвигателей предусматриваются для использования с разными вариантами осуществления описанного выше изобретения, включая в себя, но без ограничений, асинхронные двигатели переменного тока и синхронные электродвигатели переменного тока. Все типы и конструкции насосов-качалок предусматриваются для использования с разными вариантами осуществления описанного выше изобретения, включая в себя, но без ограничений, все обычные конструкции, конструкцию Lufkin Mark II, конструкцию со сбалансированными балками и обычную портативную конструк-

цию. Хотя здесь были представлены варианты осуществления с насосами-качалками, также предусматривается, что все описанные выше варианты осуществления можно использовать с любым устройством, имеющим вращающуюся или выполняющую возвратно-поступательное движение массу. Хотя некоторые из вариантов осуществления были представлены с однофазными напряжениями и токами, все варианты осуществления изобретения предусматриваются с однофазными или множеством фаз напряжений и тока.

Представленное выше раскрытие и описание изобретения представляют собой иллюстрации, и их пояснения и различные изменения в деталях представленного устройства и системы и конструкция и способ работы могут быть выполнены без выхода за пределы сущности изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ сбережения энергии для насоса-качалки с противовесом, расположенным внутри скважины, содержащий следующие этапы, на которых

подают напряжение и ток из сети энергосистемы общего пользования в электродвигатель, соединенный с насосом-качалкой;

вращают противовес насоса-качалки упомянутым электродвигателем;

контролируют угол фазы между напряжением и током, подаваемыми в упомянутый электродвигатель;

сравнивают контролируемый угол фазы с заданным углом фазы и

уменьшают напряжение питания упомянутого электродвигателя, когда контролируемый угол фазы электродвигателя больше, чем заданный угол фазы.

2. Способ по п.1, в котором ток содержит реальный компонент и реактивный компонент и в котором этап уменьшения напряжения питания упомянутого электродвигателя приводит к тому, что реальный компонент тока, по существу, становится равным нулю и реактивный компонент тока остается больше нуля.

3. Способ по п.2, в котором этап уменьшения все еще оставляет достаточно тока, что позволяет контролировать угол фазы.

4. Способ по п.1, в котором этап уменьшения обеспечивает более быстрое вращение противовеса насоса-качалки, чем при вращении противовеса без указанного этапа уменьшения.

5. Способ по п.1, дополнительно содержащий этап перемещения колонны труб, соединенной с насосом-качалкой, по существу, в вертикальном направлении в скважине, в котором этап уменьшения приводит к более быстрому движению упомянутой колонны труб, чем при движении упомянутой колонны труб без указанного этапа уменьшения.

6. Способ по п.1, в котором этап уменьшения приводит к более быстрому вращению упомянутого электродвигателя, чем при вращении упомянутого электродвигателя без указанного этапа уменьшения.

7. Способ по п.1, дополнительно содержащий этапы, на которых

перекачивают первую текучую среду с первой плотностью текучей среды;

уменьшают напряжение питания упомянутого электродвигателя, когда контролируемый угол фазы электродвигателя больше, чем заданный угол фазы во время этапа перекачивания первой текучей среды;

перекачивают вторую текучую среду со второй плотностью текучей среды и

уменьшают напряжение питания упомянутого электродвигателя, когда контролируемый угол фазы электродвигателя больше, чем заданный угол фазы во время этапа перекачивания второй текучей среды.

8. Способ по п.1, дополнительно содержащий этап, на котором поддерживают контролируемый угол фазы, по существу, равным заданному углу фазы.

9. Способ по п.8, дополнительно содержащий этап, на котором повышают напряжение питания упомянутого электродвигателя, когда контролируемый угол фазы меньше, чем заданный угол фазы.

10. Способ по п.1, в котором заданный угол фазы является постоянным для всех нагрузок, прикладываемых к упомянутому электродвигателю.

11. Способ по п.1, в котором заданный угол фазы представляет собой переменную функцию нагрузки, в любой момент прикладываемой к упомянутому электродвигателю.

12. Способ по п.1, в котором этап сравнения выполняют контроллером электродвигателя с замкнутым контуром, электрически соединенным с упомянутым электродвигателем.

13. Система сбережения энергии, содержащая

электродвигатель, соединенный с насосом-качалкой с противовесом; и

контроллер с замкнутым контуром, электрически соединенный с упомянутым электродвигателем для наблюдения угла фазы между напряжением и током, подаваемыми в упомянутый электродвигатель, сравнивающий контролируемый угол фазы с заданным углом фазы и уменьшающий напряжение, подаваемое в упомянутый электродвигатель, когда контролируемый угол фазы больше, чем заданный угол фазы.

14. Способ сбережения энергии для насоса-качалки, соединенного с колонной труб в скважине, содержащий следующие этапы, на которых

подают напряжение и ток к электродвигателю, расположенному рядом с насосом-качалкой, в котором ток имеет реальный компонент и реактивный компонент;

выполняют возвратно-поступательные движения колонны труб в скважине с помощью упомянутого электродвигателя;

контролируют угол фазы между напряжением и током, подаваемыми в упомянутый электродвигатель;

сравнивают контролируемый угол фазы с заданным углом фазы и

уменьшают напряжение питания упомянутого электродвигателя, когда контролируемый угол фазы электродвигателя больше, чем заданная фаза, и обеспечивают то, что реальный компонент тока, по существу, становится равным нулю и реактивный компонент тока остается больше нуля.

15. Способ по п.14, в котором этап уменьшения все еще оставляет достаточно тока, что позволяет контролировать угол фазы.

16. Способ по п.14, в котором этап уменьшения обеспечивает более быстрое выполнение возвратно-поступательных движений колонны труб, чем при выполнении возвратно-поступательных движений колонной труб без указанного этапа уменьшения.

17. Способ сбережения энергии для насоса-качалки, имеющего противовес, содержащий следующие этапы, на которых

подают напряжение и ток от сети энергосистемы общего пользования в электродвигатель, соединенный с насосом-качалкой;

вращают противовес насоса-качалки упомянутым электродвигателем;

контролируют угол фазы между напряжением и током, подаваемыми в упомянутый электродвигатель;

сравнивают контролируемый угол фазы с заданным углом фазы и

уменьшают напряжение питания упомянутого электродвигателя, когда контролируемый угол фазы электродвигателя больше, чем заданный угол фазы;

в котором этап уменьшения приводит к более быстрому вращению противовеса насоса-качалки, чем вращение противовеса без указанного этапа уменьшения.

18. Способ по п.17, в котором ток содержит реальный компонент и реактивный компонент и в котором этап уменьшения напряжения питания упомянутого электродвигателя приводит к тому, что реальный компонент тока, по существу, становится равным нулю и реактивный компонент тока остается больше нуля.

19. Способ сбережения энергии для насоса-качалки с противовесом, расположенным внутри скважины, содержащий следующие этапы, на которых

подают напряжение и ток в электродвигатель, соединенный с насосом-качалкой;

управляют упомянутым электродвигателем с помощью контроллера с замкнутым контуром;

вращают противовес насоса-качалки упомянутым электродвигателем и

уменьшают напряжение питания упомянутого электродвигателя с помощью упомянутого контроллера с замкнутым контуром, когда упомянутый электродвигатель генерирует энергию и упомянутый электродвигатель не управляется упомянутым контроллером с замкнутым контуром.

20. Способ по п.19, в котором упомянутый электродвигатель генерирует энергию, если угол фазы между напряжением и током, подаваемыми в электродвигатель, управляемый с разомкнутым контуром, больше 90°.

21. Способ по п.19, в котором ток содержит реальный компонент и реактивный компонент и в котором этап уменьшения напряжения питания упомянутого электродвигателя приводит к тому, что реальный компонент тока, по существу, становится равным нулю и реактивный компонент тока остается больше нуля.

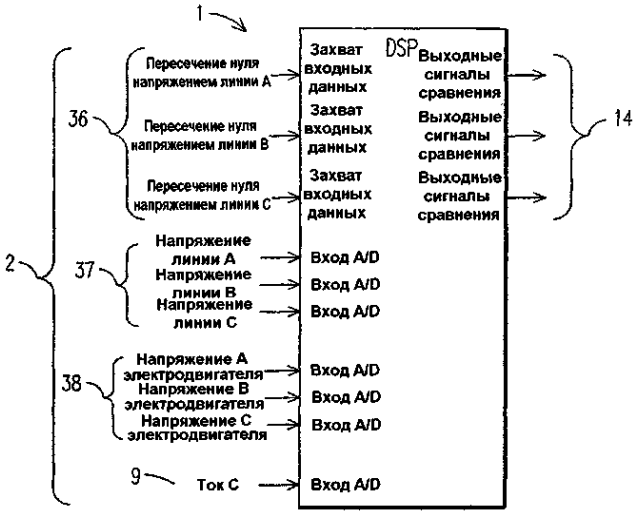
22. Способ по п.19, дополнительно содержащий этапы, на которых

контролируют угол фазы между напряжением и током, подаваемыми в упомянутый электродвигатель, и

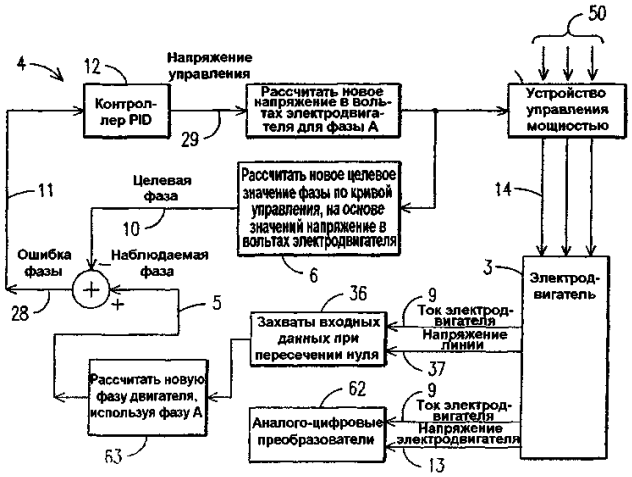
поддерживают заданный угол фазы между напряжением и током, подаваемыми в упомянутый электродвигатель.

23. Способ по п.22, дополнительно содержащий этап, на котором

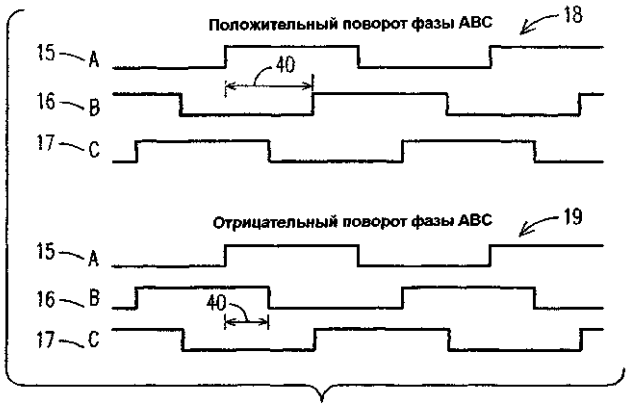
повышают напряжение питания упомянутого электродвигателя, когда контролируемый угол фазы меньше, чем заданный угол фазы.



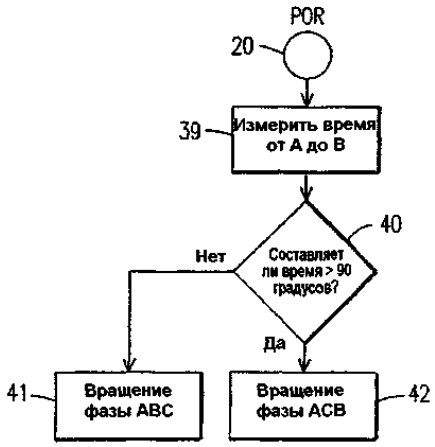
Фиг. 1



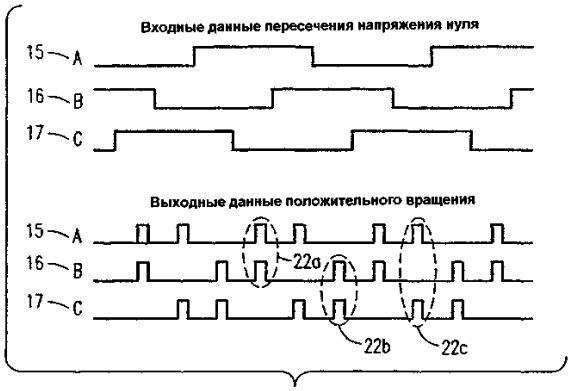
Фиг. 2



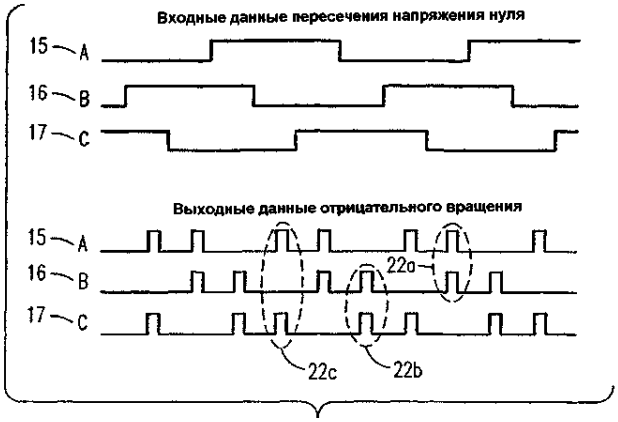
Фиг. 3



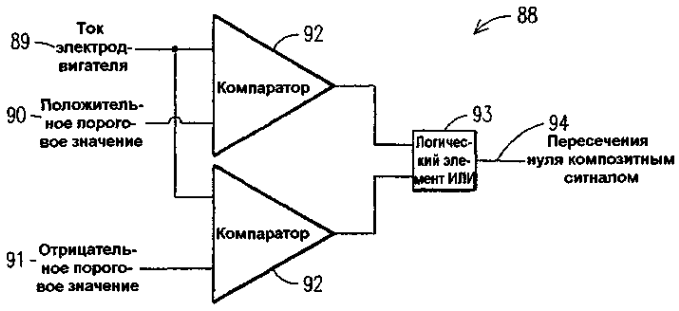
Фиг. 4



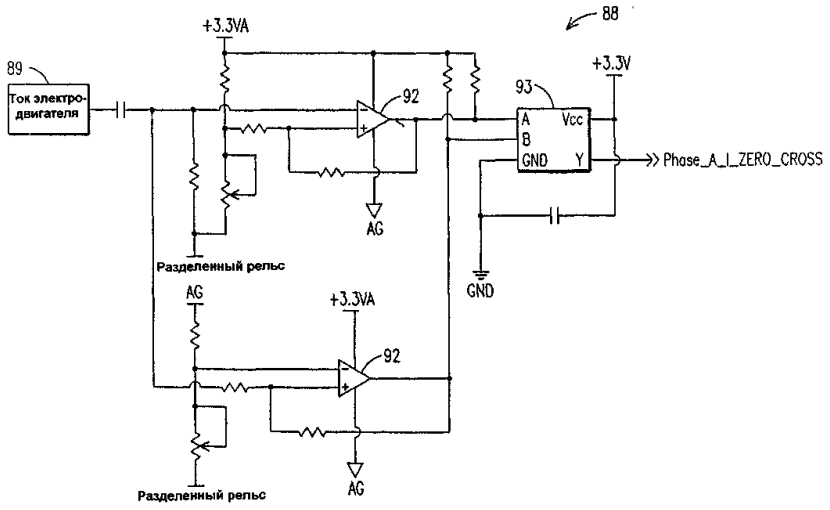
Фиг. 5



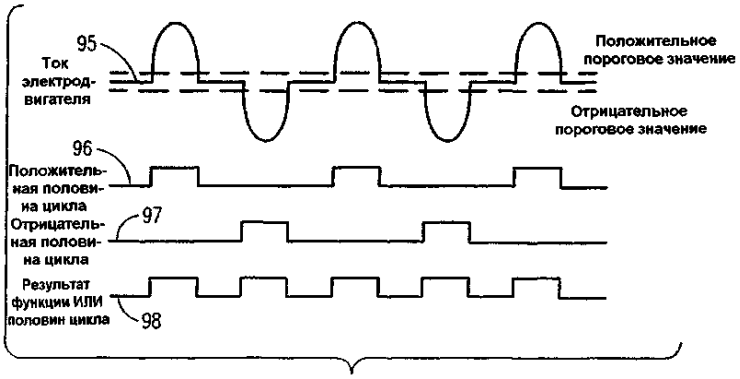
Фиг. 6



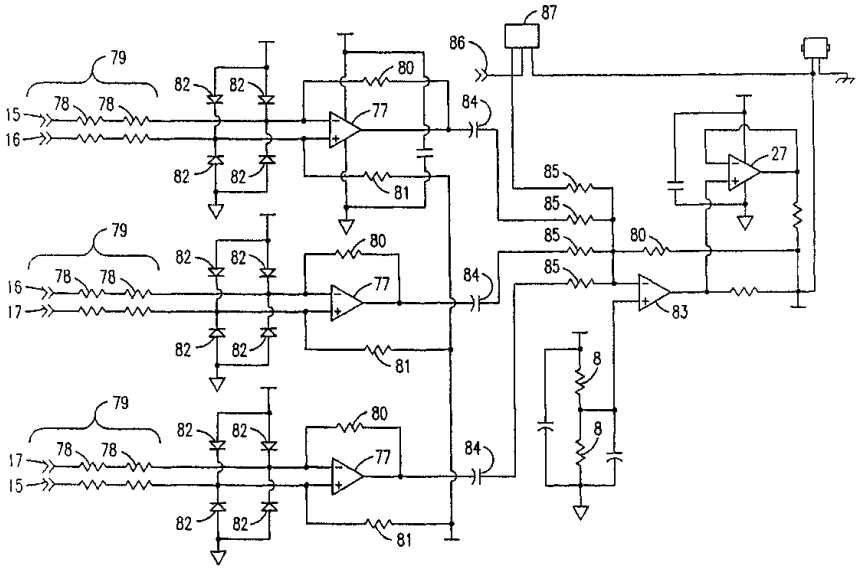
Фиг. 7



Фиг. 8



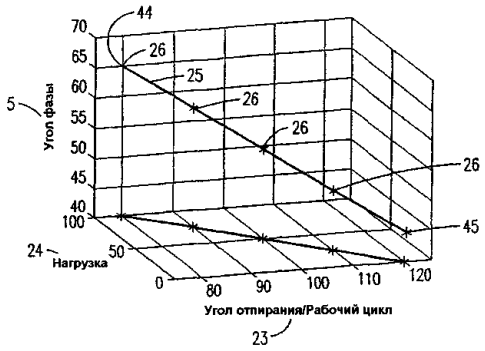
Фиг. 9



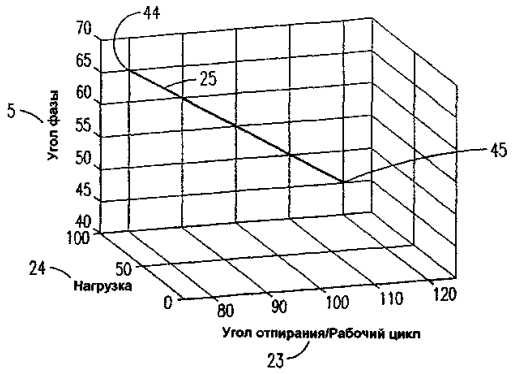
Фиг. 10



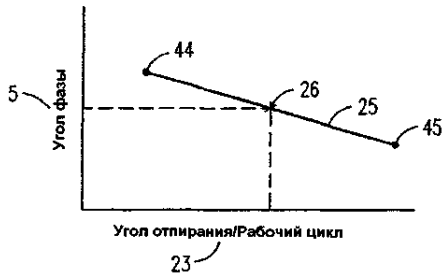
Фиг. 11



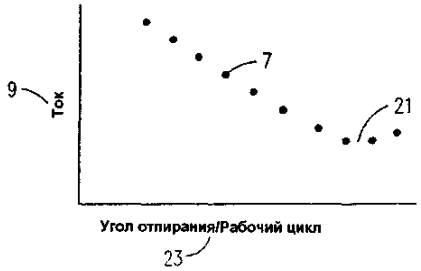
Фиг. 12



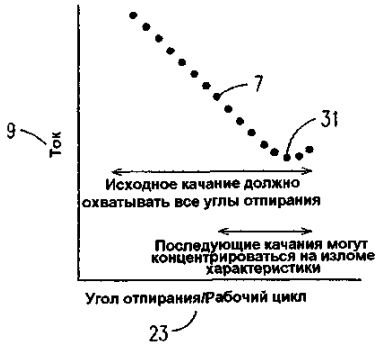
Фиг. 13



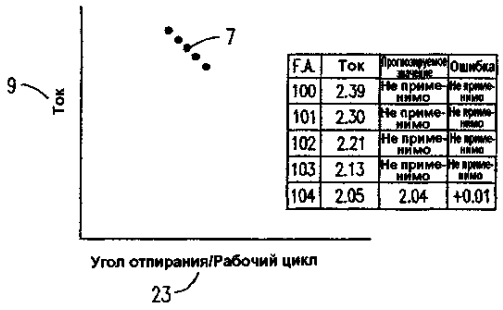
Фиг. 14



Фиг. 15

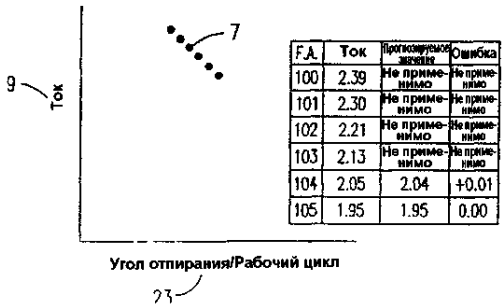


Фиг. 16



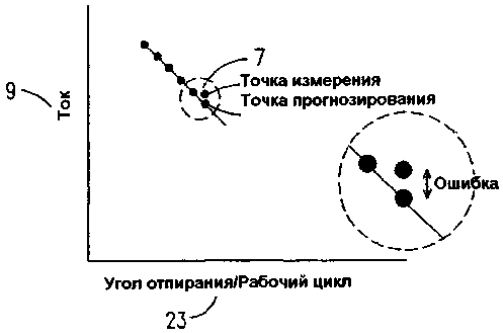
F.A.	Ток	Прогнозируемое значение	Ошибка
100	2.39	Не применимо	Не применимо
101	2.30	Не применимо	Не применимо
102	2.21	Не применимо	Не применимо
103	2.13	Не применимо	Не применимо
104	2.05	2.04	+0.01

Фиг. 17

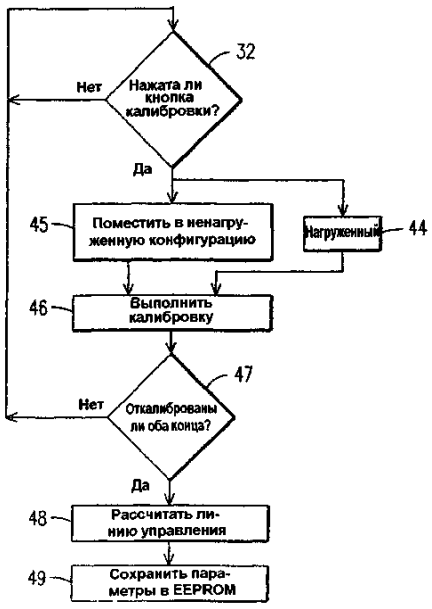


F.A.	Ток	Прогнозируемое значение	Ошибка
100	2.39	Не применимо	Не применимо
101	2.30	Не применимо	Не применимо
102	2.21	Не применимо	Не применимо
103	2.13	Не применимо	Не применимо
104	2.05	2.04	+0.01
105	1.95	1.95	0.00

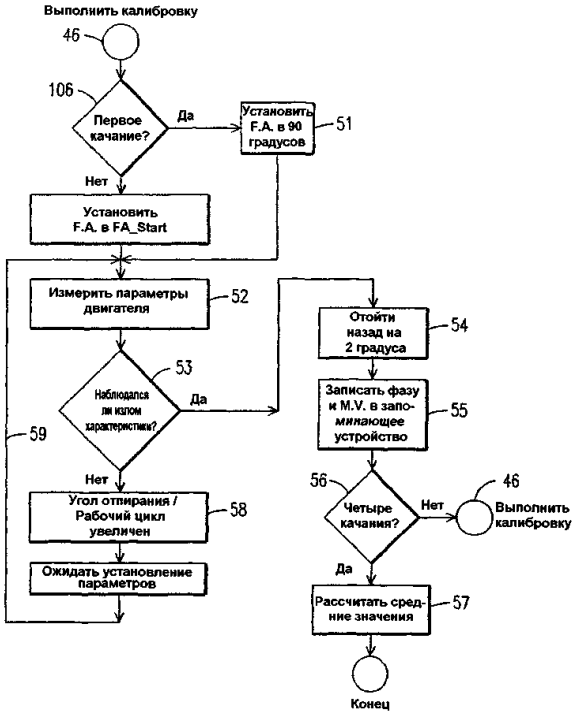
Фиг. 18



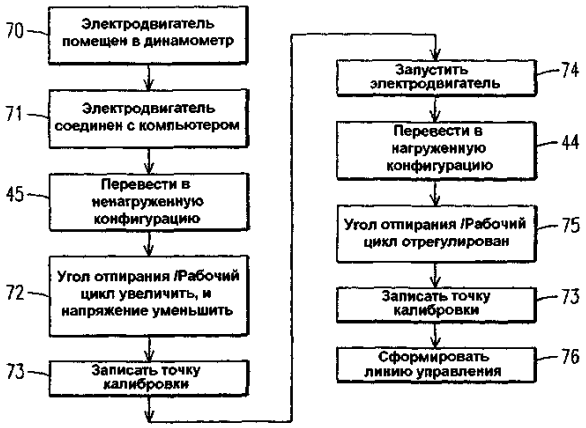
Фиг. 19



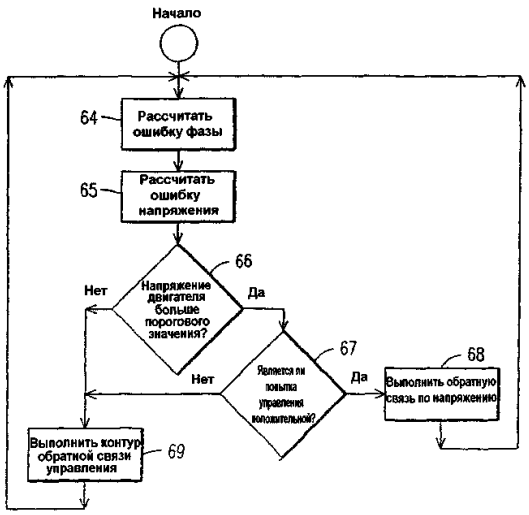
Фиг. 20



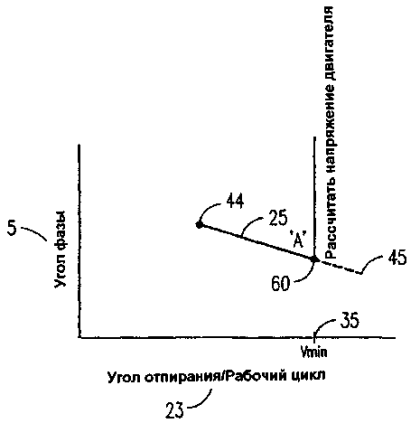
Фиг. 21



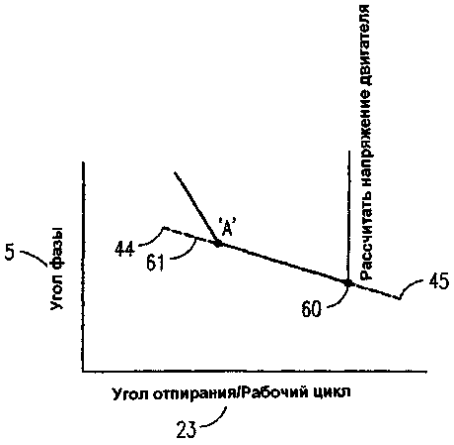
Фиг. 22



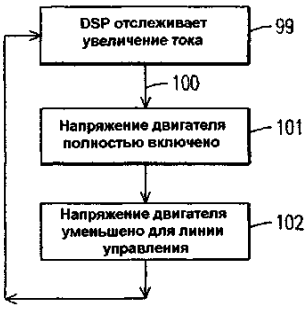
Фиг. 23



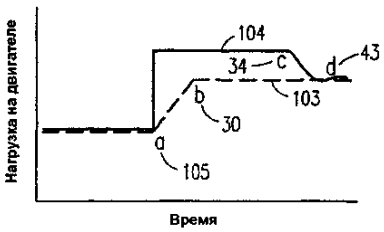
Фиг. 24



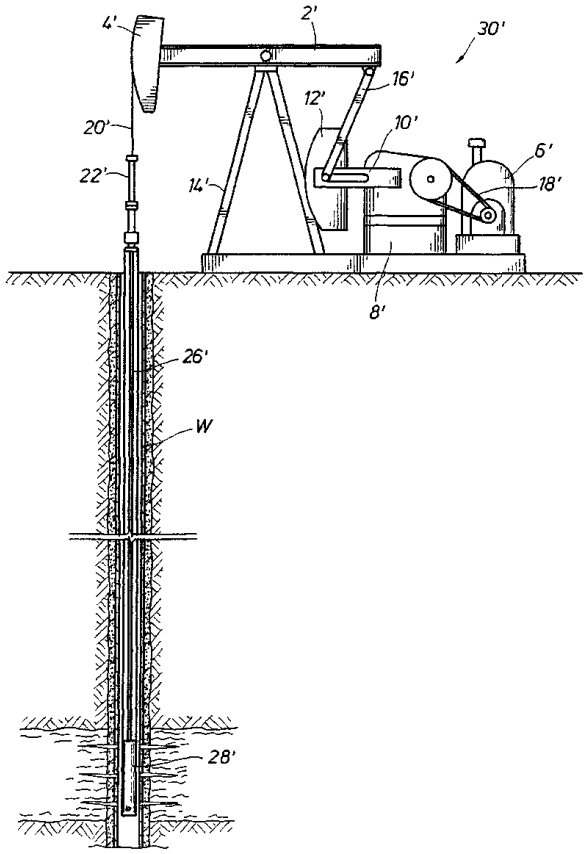
Фиг. 25



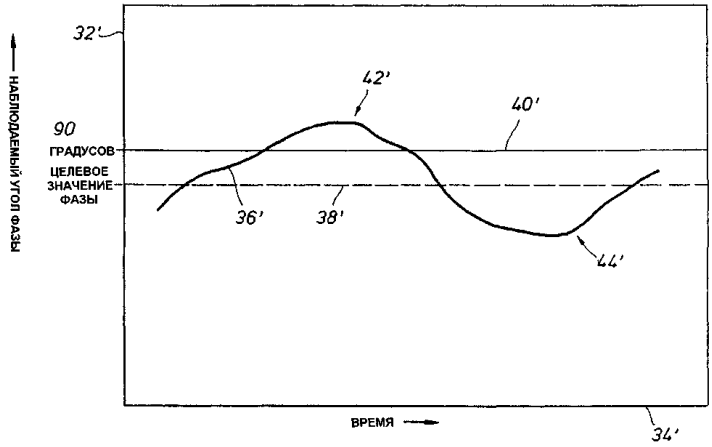
Фиг. 26



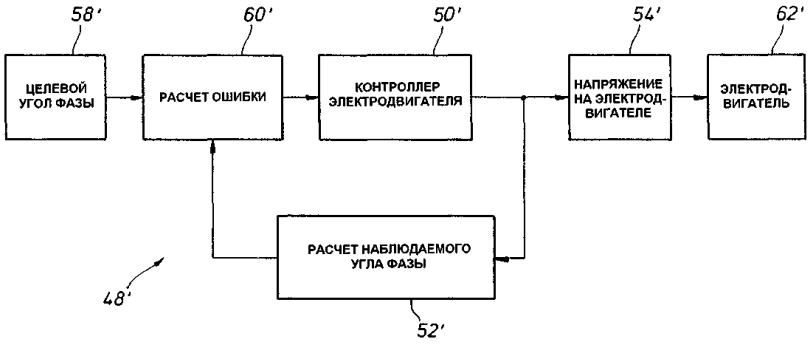
Фиг. 27



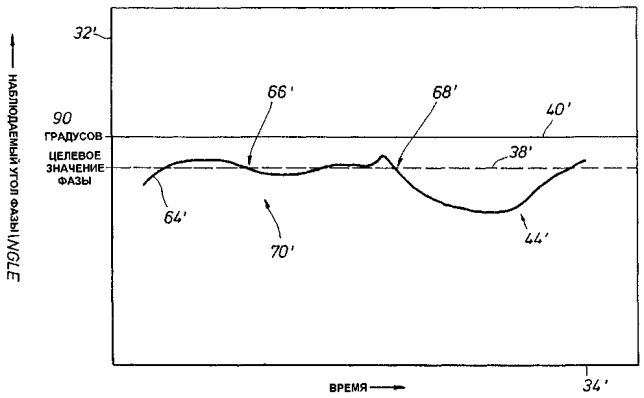
Фиг. 28



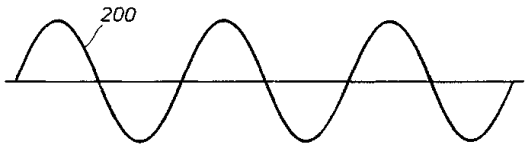
Фиг. 29



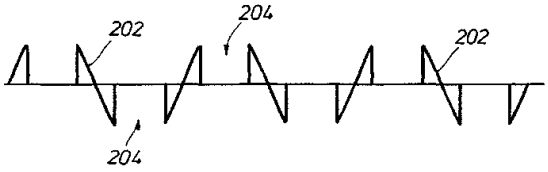
Фиг. 30



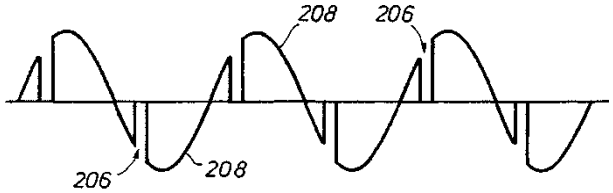
Фиг. 31



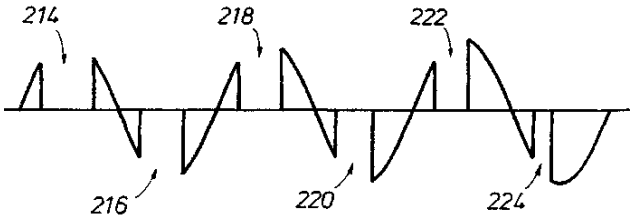
Фиг. 32



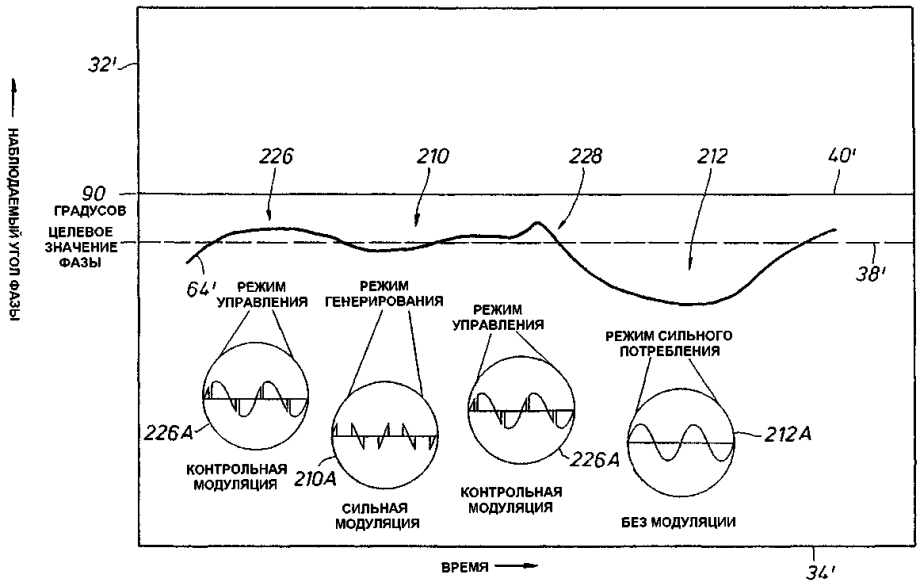
Фиг. 32A



Фиг. 32B



Фиг. 32C


32'
НАБЛЮДАЕМЫЙ УГОЛ ФАЗЫ
226
210
228
212
40'
90
ГРАДУСОВ
ЦЕЛЕВОЕ
ЗНАЧЕНИЕ
ФАЗЫ
64'
38'
РЕЖИМ
УПРАВЛЕНИЯ
РЕЖИМ
ГЕНЕРИРОВАНИЯ
РЕЖИМ
УПРАВЛЕНИЯ
РЕЖИМ СИЛЬНОГО
ПОТРЕБЛЕНИЯ
226A
212A
226A
КОНТРОЛЬНАЯ
МОДУЛЯЦИЯ
210A
СИЛЬНАЯ
МОДУЛЯЦИЯ
КОНТРОЛЬНАЯ
МОДУЛЯЦИЯ
БЕЗ МОДУЛЯЦИИ
ВРЕМЯ
34'

Фиг. 32D