(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 037144 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.02.11

(21) Номер заявки
201991421

(22) Дата подачи заявки
2011.07.01

(51) Int. Cl. *G01R 22/06* (2006.01)

(54) СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СООРУЖЕНИИ И СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ИХ КАЛИБРОВКИ

(31) **61/361,296; 61/380,174**
(32) **2010.07.02; 2010.09.03**
(33) **US**
(43) **2019.11.29**
(62) **201790486; 2011.07.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
БЕЛКИН ИНТЕРНЭШНЛ, ИНК. (US)

(72) Изобретатель:
Патель Шветак Н., Гупта Сидхант, Рейнолдс Мэттью С., Йоджисуаран Картик (US)

(74) Представитель:
Лебедев В.В., Угрюмов В.М., Глухарёва А.О., Гизатуллина Е.М., Строкова О.В., Костюшенкова М.Ю., Гизатуллин Ш.Ф., Парамонова К.В. (RU)

(56) JP-A-10282161
US-A1-20040140908
KR-A-1020080114143
US-A-4891587

(57) Некоторые варианты осуществления могут относиться к способу использования устройства для измерения потребления энергии. Устройство для измерения потребления энергии может быть механически связано с поверхностью коробки автоматического выключателя, расположенной поверх по меньшей мере части одного или нескольких главных проводов электроснабжения для электрической инфраструктуры сооружения. Способ может включать рабочую операцию, на которой определяют одно или несколько первых показаний магнитного поля от одного или нескольких главных проводов электроснабжения при помощи одного или нескольких датчиков в устройстве для измерения потребления энергии; рабочую операцию, на которой после определения одного или нескольких первых показаний магнитного поля электрически связывают первую калибровочную нагрузку с силовой электрической инфраструктурой; рабочую операцию, на которой, пока первая калибровочная нагрузка остается электрически связанной с силовой электрической инфраструктурой, определяют одно или несколько вторых показаний магнитного поля от одного или нескольких главных проводов электроснабжения при помощи одного или нескольких датчиков в устройстве для измерения потребления энергии; рабочую операцию, на которой калибруют устройство для измерения потребления энергии, используя, по меньшей мере частично, одно или несколько первых показаний магнитного поля и одно или несколько вторых показаний магнитного поля; рабочую операцию, на которой после калибровки устройства для измерения потребления энергии определяют одно или несколько третьих показаний магнитного поля от одного или нескольких главных проводов электроснабжения при помощи одного или нескольких датчиков в устройстве для измерения потребления энергии; и рабочую операцию, на которой определяют электрическую энергию, потребляемую силовой электрической инфраструктурой сооружения, используя, по меньшей мере частично, одно или несколько третьих показаний магнитного поля и один или несколько калибровочных коэффициентов. Калибровка устройства для измерения потребления энергии может включать определение одного или нескольких первых калибровочных коэффициентов для устройства для измерения потребления энергии, используя, по меньшей мере частично, одно или несколько первых показаний магнитного поля и одно или несколько вторых показаний магнитного поля. Раскрыты и другие варианты осуществления.

037144 B1

037144 B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Настоящая заявка притязает на приоритет, зарезервированный предварительной заявкой США № 61/361296, поданной 2 июля 2010 г., и предварительной заявкой США № 61/380174, поданной 3 сентября 2010 г. Настоящая заявка также является частичным продолжением заявки США № 12/567561, поданной 25 сентября 2009 г. Описания изобретений из предварительных заявок США №№ 61/361296 и 61/380174 и заявки США № 12/567561 включаются в данный документ по ссылке.

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится, в общем, к приборам, устройствам, системам и способам контроля электрической энергии и, в частности, относится к таким приборам, устройствам, системам и способам, которые контролируют электрическую энергию в одном или нескольких главных силовых электрических проводов на щите автоматических электрических выключателей сооружения.

Предшествующий уровень техники

Сооружение (например, жилое или административное здание) может иметь один или несколько главных силовых электрических проводов, подающих электрическую энергию в электрические приборы (т.е. на нагрузку) в сооружении. Во многих сооружениях используется система распределения электрической энергии с расщепленной фазой с главными силовыми электрическими проводами в количестве до трех. Главные силовые электрические провода входят в сооружение через щит автоматических электрических выключателей. Щит автоматических электрических выключателей является главным распределительным пунктом электрической энергии в сооружении. Кроме того, щиты автоматических электрических выключателей обеспечивают защиту от сверхтоков, которые в противном случае могли бы вызвать пожар или повредить электрические приборы в сооружении. Щиты автоматических электрических выключателей могут подключаться к и располагаться поверх по меньшей мере части из трех главных силовых проводов.

Различные предприятия-изготовители щитов автоматических электрических выключателей, включая, например, компании Square-D, Eaton, Cutler-Hammer, General Electric, Siemens и Murray, выбрали для своих щитов автоматических электрических выключателей разные расстояния между проводами и конструктивные исполнения. Кроме того, каждое предприятие-изготовитель выпускает разные конструктивные исполнения щитов автоматических электрических выключателей для внутренней установки, для наружной установки и для разных суммарных номинальных токов, из которых электроснабжения величиной 100 А и 200 А являются наиболее распространенными.

Разные схемы расположения проводов во многих различных типах щитов автоматических электрических выключателей обусловили разные профили магнитных полей на металлических поверхностях щитов автоматических электрических выключателей. Кроме того, схема расположения внутренних проводов (например, главных силовых электрических проводов) не видна без открытия щита выключателей, и то, каким образом схема расположения внутренних проводов транслируется в профиль магнитного поля на поверхности щита автоматических электрических выключателей, требует для правильной интерпретации и моделирования глубокого знания электромагнитной теории. Поэтому трудно точно измерить магнитное поле одного или нескольких главных силовых электрических проводов на поверхности щита автоматических электрических выключателей. Если бы магнитное поле одного или нескольких главных силовых электрических проводов на поверхности щита автоматических электрических выключателей можно было точно определить, можно было бы определить электрический ток и энергию, потребляемые нагрузкой в сооружении.

Соответственно, целью настоящего изобретения является создание устройства, системы и(или) способа, позволяющих неспециалисту в области электричества точно определять магнитное поле и другие параметры, связанные с одним или несколькими главными силовыми электрическими проводами на поверхности щита автоматических электрических выключателей.

Сущность изобретения

Для облегчения последующего описания вариантов осуществления настоящего изобретения приводятся графические материалы, на которых

на фиг. 1 проиллюстрирован вид примерной системы контроля электрической энергии, подключенной к щиту электрических выключателей, в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 2 - блок-схема системы контроля электрической энергии, показанной на фиг. 1, в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 3 - разрез щита автоматических выключателей по фиг. 1 по линии 3-3 в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 4 - пример проводов магнитного поля, создаваемых одним проводом;

на фиг. 5 - пример проводов магнитного поля, создаваемых главными силовыми электрическими проводами в автоматическом выключателе по фиг. 1, в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 6 - пример сенсорного устройства по фиг. 2 в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 7 - примерное расположение сенсорного устройства по фиг. 2 над главным силовым элек-

трическим проводом автоматического выключателя по фиг. 1 в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 8 - примерный график изменения напряжения датчиков электрического тока во времени в соответствии с одним из вариантов осуществления;

на фиг. 9 - пример сенсорного устройства в соответствии со вторым вариантом осуществления;

на фиг. 10 - пример сенсорного устройства фиг. 9 над главными силовыми электрическими проводами автоматического выключателя фиг. 1 в соответствии со вторым вариантом осуществления;

на фиг. 11 - пример калибровочного устройства фиг. 1 в соответствии с первым вариантом осуществления;

на фиг. 12 - примерный график потенциального входящего сигнала низкого напряжения в контроллер фиг. 11 из транслятора уровня фиг. 11 в соответствии с одним из вариантов осуществления;

на фиг. 13 - примерные графики, иллюстрирующие соотношение прямоугольного низковольтного сигнала, используемого для разработки опорной фазы, и низковольтного сигнала на фиг. 12 в соответствии с одним из вариантов осуществления;

на фиг. 14 - пример коммутируемой нагрузки в соответствии с третьим вариантом осуществления;

на фиг. 15 - пример коммутируемой нагрузки в соответствии с четвертым вариантом осуществления;

на фиг. 16 - пример коммутируемой нагрузки в соответствии с пятым вариантом осуществления;

на фиг. 17 - пример коммутируемой нагрузки в соответствии с шестым вариантом осуществления;

на фиг. 18 - маршрутная карта способа калибровки системы контроля электрической энергии в соответствии с одним из вариантов осуществления;

на фиг. 19 - маршрутная карта способа определения калибровочных коэффициентов в соответствии с одним из вариантов осуществления;

на фиг. 20 - блок-схема способа определения прогнозного тока в главных силовых электрических проводах в соответствии с одним из вариантов осуществления;

Нна фиг. 21 - пример первого местоположения двух датчиков электрического тока относительно главных силовых электрических проводов в примерном сенсорном устройстве в соответствии с одним из вариантов осуществления;

на фиг. 22 - график, сравнивающий прогнозный ток по сравнению с измеренными токами для датчиков электрического тока по фиг. 21;

на фиг. 23 - пример второго местоположения двух датчиков электрического тока относительно главных силовых электрических проводов в примерном сенсорном устройстве в соответствии с одним из вариантов осуществления; и

на фиг. 24 - график, сравнивающий прогнозный ток по сравнению с измеренными токами для датчиков электрического тока по фиг. 23.

Для простоты и наглядности иллюстрации на фигурах графических материалов иллюстрируют общий принцип построения, а описания и детали хорошо известных признаков и методик могут быть упущены во избежание ненужного усложнения для понимания изобретения. Кроме того, элементы на фигурах графических материалов не обязательно начерчены в масштабе. Например, размеры некоторых из элементов на фигурах могут быть преувеличенными относительно других элементов, чтобы помочь пониманию вариантов осуществления настоящего изобретения. Одинаковые элементы на разных фигурах обозначены одинаковыми позициями.

Выражения "первый", "второй", "третий", "четвертый" и т.п. в соответствующих числе, роде и падеже в описании и формуле изобретения, если таковые встречаются, используются для проведения различия между подобными элементами и не обязательно для описания конкретного последовательного или хронологического порядка. Следует понимать, что выражения, используемые таким образом, в соответствующих обстоятельствах являются взаимозаменяемыми, так что варианты осуществления, описанные в данном документе, могут, например, быть в состоянии работать в последовательностях, отличных от проиллюстрированных или иным образом описанных в данном документе. Кроме того, выражения "содержать" и "иметь" в соответствующих числе, роде и падеже предназначены охватывать неисключающее включение; так, например, процесс, способ, система, изделие, устройство или аппарат, который (которая или которое) содержит некоторый перечень элементов, не обязательно ограничивается этими элементами, а может содержать другие элементы, определенным образом не перечисленные или присущие этому процессу, способу, системе, изделию, устройству или аппарату.

Выражения "левый", "правый", "передний", "задний", "верхний", "нижний", "над", "под" и т.п. в соответствующих числе, роде и падеже в описании и формуле изобретения, если таковые встречаются, используются в описательных целях и вовсе не обязательно для описания постоянных относительных положений. Следует понимать, что выражения, используемые таким образом, в соответствующих обстоятельствах, являются взаимозаменяемыми, так что варианты осуществления, описанные в данном документе, могут, например, быть в состоянии работать в иных ориентациях, нежели проиллюстрировано или иным образом описано в данном документе.

Выражения "связывать", "связанный", "связывает", "связь" и т.п. в соответствующих числе, роде и

падеже следует понимать широко, и они относятся к соединению двух или более элементов или сигналов электрически, механически и(или) иным образом. Два или более электрических элемента могут быть связанными электрически, но не механически или иным образом; два или более механических элемента могут быть связанными механически, но не электрически или иным образом; два или более электрических элемента могут быть связанными механически, но не электрически или иным образом. Связь может быть любой продолжительности по времени, например постоянной, или полупостоянной, или лишь на мгновение.

"Электрическую связь" и т.п. следует понимать широко, и она содержит связь, включающую любой электрический сигнал, будь-то сигнал мощности, сигнал данных и(или) другие типы или комбинации электрических сигналов. "Механическая связь" и т.п. следует понимать широко, и она содержит механическую связь всех типов.

Отсутствие слова "разъемно", "разъемный" и т.п. возле слова "связанный" и т.п. не означает, что данное соединение и т.п. является или не является разъемным.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Некоторые варианты осуществления могут относиться к способу использования устройства для измерения потребления энергии. Устройство для измерения потребления энергии может быть механически связано с поверхностью коробки автоматического выключателя, расположенной поверх по меньшей мере части одного или нескольких главных проводов электроснабжения для электрической инфраструктуры сооружения. Способ может содержать определение одного или нескольких первых показаний магнитного поля от одного или нескольких главных проводов электроснабжения при помощи одного или нескольких датчиков в устройстве для измерения потребления энергии; связывание электрическим путем первой калибровочной нагрузки с силовой электрической инфраструктурой после определения одного или нескольких первых показаний магнитного поля; определение одного или нескольких вторых показаний магнитного поля от одного или нескольких главных проводов электроснабжения при помощи одного или нескольких датчиков в устройстве для измерения потребления энергии, пока первая калибровочная нагрузка остается электрически связанной с силовой электрической инфраструктурой; калибровку устройства для измерения потребления энергии с использованием, по меньшей мере частично, одного или нескольких первых показаний магнитного поля и одного или нескольких вторых показаний магнитного поля; определение одного или нескольких третьих показаний магнитного поля от одного или нескольких главных проводов электроснабжения при помощи одного или нескольких датчиков в устройстве для измерения потребления энергии после калибровки устройства для измерения потребления энергии; и определение электрической энергии, потребляемой силовой электрической инфраструктурой сооружения, с использованием, по меньшей мере частично, одного или нескольких третьих показаний магнитного поля и одного или нескольких калибровочных коэффициентов. Калибровка устройства для измерения потребления энергии может содержать определение одного или нескольких первых калибровочных коэффициентов для устройства для измерения потребления энергии с использованием, по меньшей мере частично, одного или нескольких первых показаний магнитного поля и одного или нескольких вторых показаний магнитного поля.

Другие варианты осуществления могут относиться к способу калибровки сенсорного устройства магнитного поля. Сенсорное устройство магнитного поля связано с первой поверхностью коробки автоматического выключателя. Коробка автоматического выключателя расположена поверх силовой электрической инфраструктуры здания. Силовая электрическая инфраструктура имеет первую фазовую ветвь и вторую фазовую ветвь. Сенсорное устройство магнитного поля может содержать два или более датчиков магнитного поля. Способ может содержать определение первой амплитуды и первого угла сдвига фаз первого магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля сенсорного устройства магнитного поля; получение сообщений о том, что первая нагрузка связана с первой фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры; определение второй амплитуды и второго угла сдвига фаз второго магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля сенсорного устройства магнитного поля, пока первая нагрузка связана с первой фазовой ветвью; получение сообщений о том, что вторая нагрузка связана со второй фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры; определение третьей амплитуды и третьего угла сдвига фаз третьего магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля сенсорного устройства магнитного поля, пока вторая нагрузка связана со второй фазовой ветвью; и определение одного или нескольких калибровочных коэффициентов для сенсорного устройства магнитного поля, по меньшей мере частично, с использованием первой амплитуды и первого угла сдвига фаз первого магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля, второй амплитуды и второго угла сдвига фаз второго магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля, и третьей амплитуды и третьего угла сдвига фаз третьего магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля.

Дополнительные варианты могут относиться к системе контроля потребления электрической энергии в силовой электрической инфраструктуре здания. Здание содержит коробку автоматического выключателя и провода электроснабжения силовой электрической инфраструктуры здания. Система может содержать: (а) устройство для измерения потребления энергии, предназначенное для связи с первой поверхностью коробки автоматического выключателя, причем коробка автоматического выключателя рас-

положена поверх по меньшей мере части проводов электроснабжения силовой электрической инфраструктуры, причем устройство для измерения потребления энергии имеет один или несколько датчиков магнитного поля; (b) первое калибровочное устройство, предназначенное для электрической связи с силовой электрической инфраструктурой, причем первый калибровочный модуль содержит одну или несколько первых калибровочных нагрузок; и (c) калибровочный модуль, предназначенный для прогона в первом процессоре и предназначенный, по меньшей мере, для частичной калибровки устройства для измерения потребления энергии с использованием данных, полученных от одного или нескольких датчиков магнитного поля устройства для измерения потребления энергии. Устройство для измерения потребления энергии может конструктивно исполняться для получения по меньшей мере части данных, пока по меньшей мере одна или несколько первых калибровочных нагрузок электрически связаны с силовой электрической инфраструктурой, и пока устройство для измерения потребления энергии связано с первой поверхностью коробки автоматического выключателя.

В еще одних дополнительных вариантах осуществления сенсорное устройство магнитного поля может содержать: (a) по меньшей мере два датчика магнитного поля, предназначенных для обнаружения магнитного поля в токонесущем проводе; (b) фазовый детектор, электрически связанный с выходами по меньшей мере двух датчиков магнитного поля; и (c) фазоуказатель, электрически связанный с фазовым детектором. Фазоуказатель может содержать дисплей, указывающий на то, когда по меньшей мере два датчика магнитного поля находятся в заданном положении относительно токонесущего провода.

На фиг. 1 проиллюстрирован вид примерной системы контроля электрической энергии 100, подключенной к щиту автоматических выключателей 190, в соответствии с первым вариантом осуществления. На фиг. 2 проиллюстрирована блок-схема системы контроля электрической энергии 100 в соответствии с первым вариантом осуществления. На фиг. 3 проиллюстрирован разрез щита автоматических выключателей 190 по линии 3-3 в соответствии с первым вариантом осуществления.

Систему контроля электрической энергии 100 можно рассматривать и как систему для контроля потребления электрической энергии в сооружении (т.е. здании). Систему контроля электрической энергии 100 можно также рассматривать как устройство и систему для определения прогнозируемого тока, потребляемого одним или несколькими электрическими устройствами (т.е. нагрузкой) в сооружении. Система контроля электрической энергии 100 является лишь примерной и не ограничивается вариантами осуществления, описанными в данном документе. Система контроля электрической энергии 100 может использоваться во многих отличных вариантах осуществления или примерах, конкретно не показанных или не описанных в данном документе.

В некоторых примерах система контроля электрической энергии 100 может содержать: (a) по меньшей мере одно сенсорное устройство 110 (т.е. устройство для измерения потребления энергии), (b) по меньшей мере один вычислительный блок 120 и (c) по меньшей мере одно калибровочное устройство 180.

В некоторых примерах систему 100 можно применять на щитах выключателей от разных предприятий-изготовителей и на разных типах щитов выключателей от одного предприятия-изготовителя. Кроме того, в некоторых примерах систему 100 может легко установить неподготовленное лицо (т.е. не электрик) без открытия коробки щита выключателей и обнажения неизолированных силовых электрических проводов внутри него.

Также, как показано на фиг. 1, обычная коробка выключателей или щит автоматических выключателей 190 может содержать: (a) два или более индивидуальных автоматических выключателей 191, (b) два или более главных автоматических выключателей 192, (c) щит 196 с наружной поверхностью и (d) дверцу 197, обеспечивающую доступ к автоматическим выключателям 191 и 192. Внутри щита автоматических выключателей 190 может находиться, по меньшей мере, доля главных силовых электрических проводов 193, 194 и 195. "Щит автоматических выключателей" может относиться (и содержать их) к блокам плавких предохранителей, которые по-прежнему являются обычными в зданиях с более старыми электрическими системами. Силовая электрическая инфраструктура сооружения может содержать, по меньшей мере, щит автоматических выключателей 190 и главные силовые электрические провода 193, 194 и 195. В некоторых примерах щиты автоматических выключателей могут также относиться к любому типу электрических распределительных щитов, используемых для электроснабжения сооружения.

Главные силовые электрические провода 193, 194 и 195 электрически связаны с главными автоматическими выключателями 192 и подают электрическую энергию в электрические устройства (т.е, на нагрузку) в сооружении. Щит 196 находится поверх по меньшей мере части главных силовых электрических проводов 193, 194 и 195 и соответствующей разводки проводов для защиты людей от случайного касания этих находящихся под напряжением силовых электрических проводов. Обычно щит 196 состоит из стали или иного металла.

Дверца 197 закрывает автоматические выключатели 191 и 192 и. как правило, закрыта по эстетическим соображениям, но может открываться для обеспечения доступа к рычажкам автоматических выключателей 191 и 192 внутри щита автоматических выключателей 190. Как показано на фиг. 3, когда дверца 197 закрыта, зона 398 щита имеет глубину 399 зоны щита. Глубина 399 зоны щита, как правило, составляет 13-20 мм, что позволяет дверце 197 закрываться без ударения по рычажкам 189 автоматиче-

ских выключателей. Глубина 399 зоны щита ограничивает допустимую толщину сенсорного устройства 110, установленного в зоне 398 щита. То есть в различных примерах сенсорное устройство 110 может соответствовать глубине 399 зоны щита, и при этом дверцу щита выключателей можно держать закрытой, пока работает сенсорное устройство 110. Во многих примерах сенсорное устройство 110 имеет глубину менее 20 мм. В одних и тех же или разных примерах сенсорное устройство 110 может иметь глубину менее 13 мм.

Электроснабжение жилых и небольших административных зданий обычно представляет собой энергоснабжение по схеме с расщепленной фазой с напряжением 240 В. Речь идет об электросистеме общего пользования, в которой обеспечиваются два исходящих провода переменного тока в 120 В (например, силовые провода 193 и 194), сдвинутые по фазе на 180°, наряду с нейтральным проводом (например, силовым проводом 195), который можно применять для обратного тока из любого из силовых проводов 193 или 194. Силовые провода 193, 194 и 195 - это "фидерные" или "главные" электрические силовые провода, несущие входящую энергию из электросистемы общего пользования перед расщеплением на ответвления, подающие энергию на разные нагрузки. Считывая магнитные поля, создаваемые силовыми проводами 193, 194 и 195, система 100 может считывать общий ток, потребляемый всеми нагрузками из электросистемы общего пользования, поскольку все нагрузки в сооружении подключены параллельно к силовым проводам 193, 194 и(или) 195.

В США в сооружении с энергоснабжением по схеме с расщепленной фазой с напряжением в 240 В из электросистемы общего пользования находится много разных типов электрических нагрузок. Электрические нагрузки можно разбить на две категории нагрузок: (a) нагрузки в 120 В и (b) нагрузки в 240 В.

Нагрузки в 120 В могут, главным образом, содержать нагрузки более низкой мощности, т.е. нагрузки, подключаемые к стандартным 3-штырьковым розеткам на 120 В и 15 А или 120 В и 20 А, и небольшие электробытовые приборы с мощностью менее ~2 кВт. Эти нагрузки связываются проводами в отдельные схемы между парой силовых проводов 193 и 195 ("первая фазовая ветвь" или "плечо 193-195" схемы проводки) или парой силовых проводов 194 и 195 ("вторая фазовая ветвь" или "плечо 194-195" схемы проводки). При выполнении проводки электрики пытаются уравновесить ожидаемую мощность нагрузок и розеток в каждом плече, но этот процесс неточный, и поэтому токи в плече 193-195 и плече 194-195 наверняка неуравновешены, поскольку из каждой пары обычно потребляется разная мощность. При включении нагрузки в 120 В ее ток протекает из электросистемы общего пользования по силовому проводу 193 или 194 через главный и индивидуальный автоматические выключатели к нагрузке, а затем обратно в силовой провод 195 и обратно в электросистему общего пользования.

Нагрузки в 240 В - это, как правило, крупные электробытовые приборы (например, электросушилка, печь, компрессор кондиционера, электронагреватели пола), потребляющие более 2 кВт. В этом случае ток нагрузки протекает между силовыми проводами 193 и 194 и никакой ток нагрузки не протекает в силовой провод 195. Из-за сдвига по фазе на 180° между напряжениями силовых проводов 193 и 194 общее напряжение равно 240 В.

При ссылке снова на фиг. 1 и 2 вычислительный блок 120 может содержать: (a) модуль связи 221, (b) модуль обработки 222, (c) источник питания 223 с электрическим разъемом 128, (d) устройство связи с пользователем 134, (e) контроллер 225, (f) запоминающее устройство 226, (g) модуль калибровочной нагрузки 227, (h) модуль калибровочных расчетов 229, (i) механизм управления 132 и (j) датчик электрического напряжения 228.

Вычислительный блок 120 может конструктивно исполняться для приема выходного сигнала из калибровочного устройства 180 и(или) сенсорного устройства 110 через модуль связи 221 и обработки выходного сигнала для определения одного или нескольких параметров, связанных с потреблением электрической энергии в сооружении (например, электрическая энергия, потребляемая сооружением, и электрический ток в главных силовых электрических проводах 193, 194 и 195). В некоторых вариантах осуществления вычислительным блоком 120 может быть персональный компьютер (ПК).

Контроллером 225 может быть микроконтроллер, такой как микроконтроллер MSP430, производимый компанией Texas Instruments, Inc. В другом варианте осуществления контроллером 225 является процессор обработки цифровых сигналов (ПОЦС), такой как процессор обработки цифровых сигналов TMS320VC5505, производимый компанией Texas Instruments, Inc., или процессор обработки цифровых сигналов Blackfin, производимый компанией Analog Devices, Inc.

Модуль обработки 222 может конструктивно исполняться для использования результатов измерения тока из сенсорного устройства 110 для определения одного или нескольких параметров, связанных с потреблением электрической энергии в сооружении (например, электрический ток и электрическая мощность главных силовых электрических проводов 193, 194 и 195). Как будет объяснено ниже, модуль калибровочных расчетов 229 может конструктивно исполняться для использования результатов измерения тока из сенсорного устройства 110 для калибровки системы контроля электрической энергии 100 (например, для расчета калибровочных коэффициентов для сенсорного устройства 110).

В некоторых примерах модуль обработки 222 и модуль калибровочных расчетов 229 могут храниться в запоминающем устройстве 226 и конструктивно исполняться для прогона в контроллере 225.

Когда вычислительный блок 120 находится в действии, контроллер 225 выполняет команды программы (например, модуль обработки 222 и(или) модуль калибровочных расчетов 229), хранящиеся в запоминающем устройстве 226. Доля команд программы, хранящихся в запоминающем устройстве 226, может подходить для осуществления способов 1800 и 2000 (фиг. 18 и 20 соответственно), как описано ниже.

Модуль калибровочной нагрузки 227 может содержать одну или несколько калибровочных нагрузок. Как будет объяснено ниже, одна или несколько калибровочных нагрузок могут быть временно электрически связанными, например, с первой фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры сооружения, чтобы помочь откалибровать систему контроля электрической энергии 100.

В некоторых примерах устройство связи с пользователем 134 и механизм управления 132 могут быть отсоединяемыми от остальной части вычислительного блока 120 и могут без проводов сообщаться с остальной частью вычислительного блока 120.

Датчик электрического напряжения 228 можно применять для определения амплитуды и угла сдвига фаз напряжения по силовой электрической инфраструктуре. Охватывающий угол сдвига фаз тока равен углу сдвига фаз, измеренному датчиком электрического тока 211, из которого вычли угол сдвига фаз напряжения, измеренный с помощью датчика электрического напряжения 228. То есть угол сдвига фаз тока можно рассчитать относительно точки пересечения нуля напряжения.

В некоторых примерах сенсорное устройство 110 может сообщать результат измерения тока, выполненного датчиками электрического тока 211, в блок вычислений 120 так, что может быть рассчитан угол сдвига фаз тока. В других примерах вычислительное устройство 120 может сообщать результат измерения напряжения, выполненного датчиком электрического напряжения 228, в сенсорное устройство 110 так, что может быть рассчитан угол сдвига фаз тока. В других примерах датчик электрического напряжения 228 может находиться в калибровочном устройстве 180.

Источник питания 223 может подавать электрическую энергию на модуль связи 221, на модуль обработки 222, на устройство связи с пользователем 134, на контроллер 225, на запоминающее устройство 226, на модуль калибровочной нагрузки 227 и(или) на механизм управления 132. В некоторых примерах источник питания 223 может быть связан с электрическим разъемом 128, который может быть связан с электрической настенной розеткой силовой электрической инфраструктуры.

Устройство связи с пользователем 134 может конструктивно исполняться для отображения информации пользователю. В одном из примеров устройством связи с пользователем 134 могут быть монитор, сенсорный экран и(или) один или несколько светодиодов (светоизлучающих диодов).

Механизм управления 132 может содержать одну или несколько кнопок, конструктивно исполненных для, по меньшей мере, частичного управления вычислительным блоком 120 или, по меньшей мере, устройством связи с пользователем 134. В одном из примеров механизм управления 132 может содержать переключатель электропитания (т.е. переключатель "включено-выключено") и/или переключатель дисплея, предназначенный для управления, что отображается на устройстве связи с пользователем 134.

При ссылке по-прежнему на фиг. 1 и 2 сенсорное устройство 110 может содержать: (a) два или более датчиков магнитного поля или датчиков электрического тока 211, (b) контроллер 213, (c) модуль связи с пользователем 214, (d) модуль связи 215, (e) источник питания 216 и (f) связующий механизм 219. Контроллер 213 можно применять для управления датчиками электрического тока 211, модулем связи с пользователем 214, модулем связи 215 и источником питания 216.

Датчики электрического тока 211 могут содержать индуктивный датчик, датчик на эффекте Холла, магниторезистивный датчик или любой иной тип датчика, конструктивно исполненный для реагирования на изменяющееся во времени магнитное поле, создаваемое проводами внутри щита автоматических выключателей 190.

В разных примерах сенсорное устройство 110 может конструктивно исполняться для связи с поверхностью щита 190 с помощью связующего механизма 219. В некоторых примерах связующий механизм 219 может содержать клей, материал Velcro®, магнит или иной механизм прикрепления.

Модуль связи 215 может быть электрически связан с датчиками электрического тока 211 и контроллером 213. В некоторых примерах модуль связи 215 сообщает напряжения или другие параметры, измеренные с помощью датчиков электрического тока 211, в модуль связи 221 вычислительного блока 120. Во многих примерах модуль связи 215 и модуль связи 221 могут быть беспроводными приемопередатчиками. В некоторых примерах электрические сигналы могут передаваться с использованием технологии WI-FI (точная беспроводная передача данных), протокола беспроводной связи 802.11 IEEE (Института инженеров электротехнической и электронной промышленности) или протокола беспроводной связи Bluetooth 3.0+HS (High Speed - высокая скорость). В дополнительных примерах эти сигналы могут передаваться с использованием Zigbee (протокола беспроводной связи IEEE 802.15.4), Z-Wave или патентованного стандарта беспроводной связи. В других примерах модуль связи 215 и модуль связи 221 могут передавать электрические сигналы с использованием сотовой или проводной связи.

Модуль связи с пользователем 214 может конструктивно исполняться для отображения информации пользователю. В одном из примеров модулем связи с пользователем 214 может быть ЖКД (жидкокристаллический дисплей) и(или) один или несколько светодиодов (светоизлучающих диодов).

Контроллер 213 может конструктивно исполняться для управления датчиками электрического тока

211, модулем связи 215, модулем связи с пользователем 214 и(или) источником питания 216.

Калибровочное устройство 180 может содержать: (a) модуль связи 281, (b) электрический разъем 282, (c) модуль калибровочной нагрузки 283, (d) устройство связи с пользователем 184, (e) контроллер 285 и (f) источник питания 289. В некоторых примерах модуль связи 281 может быть подобным или таким же, как модуль связи 215 и/или 221. Электрический разъем 282 может представлять собой электрическую силовую вилку в некоторых примерах. Устройство связи с пользователем 184 может конструктивно исполняться для отображения информации пользователю. В одном из примеров устройством связи с пользователем 184 могут быть один или несколько светодиодов.

По закону Ампера, токонесущие провода создают магнитные поля, как показано на фиг. 4. То есть магнитное поле, создаваемое данным проводом, представляет собой трехмерное векторное поле, которое можно разложить на составляющие по каждой из осей X, Y и Z. В системе переменного тока эти магнитные поля изменяются во времени по величине, но поддерживают неизменным угол вектора относительно начала координат. Таким образом, при ссылке на ось X, например, поле может в любой момент времени быть направленным в направлении +X или в направлении -X, когда переменный ток меняет направление на обратное при линейной частоте, например, 60 Гц. Предполагается, что составляющая магнитного поля в направлении X может относиться либо к +X, либо к -X в зависимости от направления протекания тока в конкретный момент времени.

Силовые линии магнитного поля подчиняются "правилу правой руки" закона Ампера; если большой палец правой руки человека направить вдоль направления протекания тока в проводнике, силовые линии поля закручиваются вокруг проводника перпендикулярно этому проводнику и в направлении пальцев руки человека.

Некоторые варианты осуществления относятся, главным образом, к составляющей магнитного поля, ориентированной перпендикулярно плоскости щита автоматических выключателей (по оси Z), поскольку это составляющие поля, которые могут легко считываться датчиком магнитного поля (т.е. сенсорным устройством 110) снаружи металлического покрытия щита автоматических выключателей 190.

Как показано на фиг. 5, поскольку силовые провода 193 и 194 имеют угол сдвига фаз в 180°, направление силовых линий магнитного поля образует петлю в противоположных направлениях.

Таким образом, в соответствии с первым законом Кирхгофа суммарный ток через данный питающий провод (т.е. силовые провода 193, 194 и/или 195) представляет собой сумму всех токов нагрузки, отводимых из этого провода. Следовательно, величина магнитного поля, создаваемого каждым из проводов (т.е. силовым проводом 193, 194 или 195), прямо пропорциональна сумме токов, вытекающих по всем ветвям, подсоединенным к этому проводу. Направление силовых линий магнитного поля от данного провода не меняется, как токи в ветвях.

Система 100 может конструктивно исполняться для считывания магнитных полей, создаваемых, по меньшей мере, силовыми проводами 193 и 194, чтобы рассматривать три возможных случая нагрузки: (a) нагрузка в 120 В в плече 193-195, (b) нагрузка в 120 В в плече 194-195 и (c) нагрузка в 240 В в плече 193-194. В большинстве случаев считывать магнитное поле, создаваемое силовым проводом 195 (т.е. нейтральным проводом), не требуется, поскольку любой ток, вытекающий из силового провода 195, протекает вначале по силовому проводу 193 или 194.

На фиг. 6 проиллюстрирован пример датчика электрического тока 211 в соответствии с первым вариантом осуществления. В данных примерах датчик электрического тока может содержать: (a) один или несколько датчиков 641 и 642, (b) один или несколько усилителей 647 и 648, (c) один или несколько фильтров 649 и 650, (d) один или несколько фазовых детекторов 651, (e) по меньшей мере один дифференциальный усилитель 652 и (f) по меньшей мере один дигитайзер 653.

В некоторых примерах система 100 может конструктивно исполняться для помощи пользователю в правильном размещении сенсорного устройства 110 путем указания правильного размещения с помощью модуля связи с пользователем 214. В некоторых примерах система 100 может определять правильное размещение путем обнаружения приблизительно 180-градусного сдвига фаз между датчиками 641 и 642, расположенными с противоположных сторон провода (т.е. электрического силового провода 193 или 194). В таких же или отличных примерах модуль связи с пользователем 214 можно располагать вместе с сенсорным устройством 110, или же можно применять модуль связи с пользователем 214, который может быть дистанционным и связанным с сенсорным устройством 110 по беспроводной сети.

Датчик 641 может содержать: (a) ферромагнитный сердечник 643 и (b) считывающую катушку 644, намотанную на ферромагнитный сердечник 643. Датчик 642 может содержать: (a) ферромагнитный сердечник 645 и (b) считывающую катушку 646, намотанную на ферромагнитный сердечник 645. В разных примерах датчики 641 и 642 могут иметь диаметр от 2,5 до 12,7 мм. В других примерах датчик электрического тока 211 содержит только датчик 641 без содержания датчика 642, усилитель 647, фильтр 649, фазовый детектор 651 и/или дифференциальный усилитель 652. В этом альтернативном варианте осуществления фильтр 649 или 650 связан с дигитайзером 653. В дополнительных вариантах осуществления датчик электрического тока 211 содержит четыре, шесть, восемь или десять датчиков.

Назначение ферромагнитных сердечников 643 и 645 - сосредоточить магнитное поле со считывающих катушек 644 и 646, чтобы получить большее выходное напряжение датчика на выходных клеммах

считывающих катушек 644 и 646. Напряжение на выходе считывающих катушек 644 и 646 задается по закону Фарадея. То есть напряжение зависит от приложенного магнитного поля переменного тока, физических размеров катушки и провода, числа витков провода в катушке и магнитной проницаемости сердечника. В других примерах датчики 641 и 642 не имеют ферромагнитных сердечников 643 и 645 соответственно.

Как показано на фиг. 7, когда датчик электрического тока 211 связан со щитом автоматических выключателей 190, один из датчиков 641 и 642 может располагаться с каждой стороны провода (т.е. электрического силового провода 193 или 194). В данном варианте осуществления наведенное напряжение на датчике 641 сдвинуто по фазе на 180° по сравнению с датчиком 642, поскольку магнитное поле входит в датчик 642 снизу, в то время как в датчик 641 магнитное поле входит сверху.

На фиг. 8 показан график фазового соотношения между напряжением на датчиках 641 и 642. В случаях, когда ссылаются на фиг. 8, переменный ток, протекающий в проводе (т.е. электрическом силовом проводе 193 или 194), наводит напряжение V(датчик) в считывающих катушках 644 и 646. Это напряжение V(датчик) пропорционально току I(датчик), переносимому проводом (т.е. электрическим силовым проводом 193 или 194), т.е. V(датчик) = k·I(датчик). Постоянную пропорциональности k можно найти путем пропускания известного тока по проводу путем временного подключения калибровочной нагрузки (т.е. модуля калибровочной нагрузки 283 или 227 (фиг. 2) к цепи, питаемой проводом (т.е. электрическим силовым проводом 193 или 194), и измерения напряжения, наведенного в датчиках 641 и 642 (фиг. 6). В некоторых случаях для установления многоточечной калибровки постоянной пропорциональности можно отводить более одного известного тока.

При ссылке снова на фиг. 6 это конструктивное исполнение с двумя датчиками (т.е. датчиками 641 и 642) можно использовать для получения сенсорного устройства 110, которое автоматически сообщает пользователю, что оно правильно расположено относительно данного токонесущего провода с подавлением помех из других источников, в том числе от других соседних проводов. Эта способность пригодна в электрически помехонасыщенной среде, находящейся в щите автоматических выключателей, где возле конкретного интересуемого провода имеется много проводов.

В частности, в некотором варианте осуществления выходной сигнал каждого из датчиков 641 и 642 может усиливаться при помощи усилителей 648 и 647 соответственно и затем фильтроваться фильтрами 650 и 649 соответственно. Выходной сигнал фильтров 650 и 649 может подаваться в фазовый детектор 651, связанный с фазоуказателем 619 в модуле связи с пользователем 214 (например, один или несколько светодиодов). Модуль связи с пользователем 214 предназначен для указания пользователю, что датчики 641 и 642 правильно размещены относительно данного токонесущего провода. Пользователь может получить команду переместить датчик по зоне, где должны находиться главные силовые электрические провода, и остановить перемещение, как только фазоуказатель укажет, что сдвиг фаз между сигналами датчиков 641 и 642 составляет приблизительно 180°. Например, когда сигналы от датчиков 641 и 642 сдвинуты по фазе приблизительно на 180°, в верхней части сенсорного устройства 110 может загореться зеленый светодиод.

Усилители 648 и 647 и фильтры 650 и 649 являются необязательными в некоторых примерах. Назначение усилителей 648 и 647 и фильтров 650 и 649 состоит в том, чтобы повысить уровень сигнала с подавлением помех при нежелательных частотах и тем самым повысить отношение сигнал/шум сигналов датчиков 641 и 642 в помехонасыщенных средах. Усилители 648 и 647 могут быть операционными усилителями, такими как типа TL082, производимые компанией Texas Instruments, Inc. Фильтры 650 и 649 могут быть либо пассивными фильтрами на элементах с сосредоточенными параметрами, либо активными фильтрами, реализованными с операционными усилителями. Как правило, фильтры 650 и 649 являются полосовыми фильтрами, рассчитанными на пропуск линейной частоты переменного тока (например, 60 Гц в США и Канаде или 50 Гц в Европе и Японии) при подавлении помех вне полосы пропускания.

Фазовый детектор 651 может быть либо аналоговой схемой фазового детектора, либо цифровым фазовым детектором. Цифровой фазовый детектор может быть реализован по комбинаторной логике, по программируемой логике или в программном обеспечении в контроллере. В одном из вариантов осуществления можно использовать фазовый детектор на интегральной схеме, такой как фазовый детектор, содержащийся в интегральных контроллерах типа 4046 или 74HC4046 с системой фазовой автоматической подстройки, производимых компанией Texas Instruments, Inc. В другом варианте осуществления фазовый детектор 651 реализован путем оцифровывания сигналов датчика с помощью аналого-цифрового преобразователя, а затем подгонки функции арктангенса к вектору принятых образцов от датчиков 641 и 642. В дополнительном варианте осуществления функции фильтрования и фазового детектирования объединены путем использования основанной на периодограмме оценке максимального правдоподобия, такой как алгоритм комплексного быстрого преобразования Фурье (FFT), для нахождения величины сигнала и угла сдвига фаз только при линейной частоте переменного тока с подавлением шума на других частотах.

Фазоуказатель 619 может быть любым устройством, указывающим пользователю, что требуемое

фазовое соотношение между входными сигналами датчиков 641 и 642 достигнуто. В некоторых вариантах осуществления фазоуказателем может быть один или несколько светодиодов. В других вариантах осуществления фазоуказателем 619 может быть графический или цифровой дисплей, такой как жидкокристаллический дисплей (ЖКД), или звуковой сигнал, указывающий пользователю, что напряжения датчиков 641 и 642 сдвинуты по фазе примерно на 180°.

Дифференциальный усилитель 652 может использоваться для объединения сигналов от датчиков 641 и 642, чтобы получить сигнал тока или напряжения, пропорциональный току в главном силовом электрическом проводе, после установления правильного фазового соотношения. Этот сигнал можно применять в качестве входных данных для расчетов, выполняемых с помощью контроллера 213. В таком же или отличном примере модуль связи 215 можно применять для передачи в вычислительный блок данных, включая: (a) правильное расположение датчиков 641 и 642, как указано по фазовому соотношению датчиков, а также (b) дифференциально считанный сигнал от датчиков 641 и 642.

При обращении к другому варианту осуществления на фиг. 9 проиллюстрирован пример датчика 910 в соответствии со вторым вариантом осуществления. На фиг. 10 проиллюстрирован пример датчика 910 над силовыми электрическими проводами 193 и 194 в соответствии со вторым вариантом осуществления. В данном примере можно применять линейную группу датчиков 941_1, 941_2, ..., 941_N, где N - число от 2 до 10. В других примерах N может быть другим числом, таким как 4, 6, 8, 20, 50 или 100. Одно из назначений этой линейной группы датчиков состоит в том, чтобы позволить контроллеру 213 автоматически выбирать одну или несколько пар датчиков 941_1, 941_2, ..., 941_N, так что пользователь не вынужден вручную помещать датчик 910 в правильное положение. В некоторых вариантах осуществления датчик 910 можно применять вместо сенсорного устройства 110 в системе 100 по фиг. 1.

При ссылке на фиг. 9 и 10 в данном примере датчик 910 может содержать: (a) датчики 941_1, 941_2, ..., 941_N, (b) усилители 647 и 648, (c) фильтры 649 и 650, (d) фазовые детекторы 651, (e) дифференциальный усилитель 652, (f) дигитайзер 653 и (g) по меньшей мере один мультиплексор 955 и 956.

Как показано на фиг. 10, линейная группа датчиков 941_1, 941_2, ..., 941_N связана с мультиплексорами 955 и 956, которые выбирают из датчиков 941_1, 941_2, ..., 941_N по меньшей мере один датчик для применения в качестве датчика магнитного поля для получения сигнала, пропорционального току в главных силовых электрических проводах 193 и/или 194.

В другом варианте осуществления датчик 910 одновременно считывает более чем один провод из электрических силовых проводов 193 и 194. В данном варианте осуществления контроллер 213 управляет мультиплексорами 955 и 956 таким образом, что из датчиков 941_1, 941_2, ..., 941_N выбираются два различительных датчика, расположенных рядом с двумя разными токонесущими силовыми проводами 193 и 194. В данном варианте осуществления контроллер 213 управляет мультиплексорами так, чтобы выбирать датчики на основании амплитуды или угла фазы сигнала датчика. В некоторых вариантах осуществления под управлением контроллера 213 мультиплексируются несколько датчиков из датчиков 941_1, 941_2, ..., 941_N для выбора различительных датчиков, каждый из которых имеет предпочтительную связь по магнитному полю с различительным токонесущим проводом.

При ссылке снова на фиг. 1 в некоторых примерах для достижения точного измерения тока в электрических силовых проводах 193 и 194 в системе 100 может применяться калибровка. Возможная необходимость в калибровке может обуславливаться плохо управляемой геометрией монтажа, например, если сенсорное устройство 110 или 910 (фиг. 9) устанавливается неподготовленным пользователем.

На фиг. 11 проиллюстрирован пример калибровочного устройства 180 в соответствии с первым вариантом осуществления. Калибровочное устройство 180 показано на фиг. 11 как одноцепное калибровочное устройство, конструктивно исполненное для подключения одинарной калибровочной нагрузки к одинарному входящему проводу (т.е. электрическому силовому проводу 193 или 194) для замыкания цепи между входящим проводом, одинарной калибровочной нагрузкой и нейтральным или обратным проводом (т.е. электрическим силовым проводом 195). Для временного замыкания цепи с калибровочной нагрузкой, которую применяют в способе калибровки 1800 по фиг. 18, применяется переключающий сигнал.

В некоторых примерах модуль калибровочной нагрузки 283 может содержать: (a) коммутируемую нагрузку 1105, (b) трансформатор 1171, (c) фильтр 1172, (d) транслятор уровня 1173 и (e) устройство формирования прямоугольных импульсов 1174. Коммутируемая нагрузка 1105 может содержать: (a) переключатель 1187 и (b) калибровочную нагрузку 1188. Контроллер 285 может содержать: (a) аналого-цифровой преобразователь 1177; (b) цифровой вход 1176 и (c) датчик температуры 1186.

В варианте осуществления по фиг. 11 модуль калибровочной нагрузки 283 может предназначаться для калибровки измерения одинарного токонесущего провода (фидера в ответвленной цепи), измеряемого с помощью сенсорного устройства 110. В данном варианте осуществления одинарная калибровочная нагрузка 1188 переключается переключателем 1187 между линейным проводом (например, главными силовыми электрическими проводами 193 и 194) и нейтральным проводом (например, главным силовым электрическим проводом 195) под управлением переключающего сигнала от контроллера 285. В США коммутируемая нагрузка 1105 может использоваться с розеткой на 120 В. В других странах коммутируемая нагрузка 1105 может использоваться с розетками на 240 В и другое напряжение.

Следует понимать, что хотя калибровочная нагрузка 1188 и калибровочные нагрузки на фиг. 14-17 начерчены как резистор, калибровочная нагрузка 1188 и другие калибровочные нагрузки на фиг. 14-17 могут быть любой нагрузкой, включая реактивную нагрузку, такую как дроссель или конденсатор, с активной составляющей или без нее. Кроме того, калибровочная нагрузка может быть нагрузкой с переменным активным сопротивлением. Кроме того, следует понимать, что хотя переключатель 1187 и другие переключатели на фиг. 14-17 начерчены как механические релейные переключатели, переключатели могут относиться к другим видам переключающих устройств. Например, переключатели могут быть полупроводниковыми переключателями, такими как твердотельные реле, симметричные триодные тиристоры, транзисторы, такие как FET (полевые транзисторы), SCR (триодные тиристоры), BJT (биполярные плоскостные транзисторы), или IGBT (биполярные транзисторы с изолированным затвором), или другие управляемые переключающие устройства.

Как показано на фиг. 11, модуль связи 281 связан с контроллером 285 для обеспечения передачи калиброванных результатов измерения тока из калибровочного устройства 180 в вычислительный блок 120. В некоторых примерах модуль связи 281 может содержать приемник и передатчик. Модуль связи 281 может содержать любой вид устройства проводной и беспроводной связи, работающего на любой частоте и с любым протоколом канала передачи данных. В одном из вариантов осуществления модуль связи 281 содержит приемопередатчик на 2,4 ГГц с номером детали CC2500, выпускаемый компанией Texas Instruments, Inc. В другом варианте осуществления модуль связи 281 содержит приемопередатчик на 900 МГц с номером детали CC2010, выпускаемый компанией Texas Instruments, Inc. В некоторых вариантах осуществления модуль связи 281 может передавать сообщения, используя любой из следующих протоколов связи: WiFi (IEEE 802.11), Zigbee (IEEE 802.15.4), ZWave или SimpliciTI. В другом варианте осуществления используется патентованный протокол передачи данных. В другом варианте осуществления канал связи между модулем связи 215 и модулями связи 281 и/или 221 обеспечивается через контролируемый провод. В данном варианте осуществления канал связи представляет собой связь по силовой линии, созданную путем введения переданного сигнала по меньшей мере в один провод ответвленной цепи, с которой связано калибровочное устройство.

В примере, показанном на фиг. 11, источник питания 289 может содержать источник питания 289. Источник питания 289 может содержать развязывающий трансформатор и источник питания постоянного тока. Источник питания 289 преобразует напряжение входящей линии с напряжения силовой линии переменного тока, такого как 120 В в США и Канаде или 220 В в Европе, в низкое напряжение постоянного тока, такое как 3,3 В или 5 В, для питания контроллера 213 и других элементов калибровочного устройства 180.

Контроллер 285 может принимать образец напряжения входящей силовой линии переменного тока, преобразованного транслятором уровня 1173 в сигнал более низкого напряжения переменного тока, пропорциональный напряжению входящей силовой линии переменного тока. В некоторых вариантах осуществления напряжение входящей силовой линии переменного тока равно 120 В, при этом сигнал более низкого напряжения переменного тока находится в пределах 0-3,3 В. В некоторых вариантах осуществления транслятор уровня 1173 используется для переключения низковольтного сигнала с биполярного сигнала, периодически меняющегося между +V и -V, на униполярный сигнал между 0 В и VDD или на иной диапазон униполярного сигнала в пределах диапазона напряжения аналого-цифрового преобразователя 1177. Аналого-цифровой преобразователь 1177 может отбирать входящий низковольтный сигнал, как показано на фиг. 12. В одних и тех же или разных вариантах осуществления фильтр 1172 может ограничивать частотный диапазон низковольтного сигнала частотой линии переменного тока.

Во многих примерах аналого-цифровой преобразователь 1177 может быть объединенным с контроллером 285 или может быть отдельным от контроллера 213, но связанным с контроллером 285. Отобранное напряжение линии переменного тока позволяет контроллеру 213 измерять напряжение входящей линии переменного тока, чтобы точнее калибровать систему 100 путем расчета тока, взятого калибровочной нагрузкой 1188, учитывая отобранный низковольтный сигнал, пропорциональный напряжению входящей линии переменного тока. Дополнительно отобранный низковольтный сигнал может использоваться для разработки опорной фазы, синхронной с напряжением линии переменного тока.

В некоторых вариантах осуществления для разработки опорной фазы контроллер 285 использует низковольтный сигнал прямоугольной формы. В данных вариантах осуществления низковольтный сигнал прямоугольной формы создается с помощью устройства формирования прямоугольных импульсов 1174. Низковольтный сигнал прямоугольной формы может представлять собой прямоугольную волну, имеющую такие же период и время прохождения через нуль, что и низковольтный сигнал переменного тока. Это соотношение между сигналом прямоугольной формы и низковольтным сигналом показано на фиг. 13. В некотором варианте осуществления устройство формирования прямоугольных импульсов 1174 может содержать триггер Шмидта, компаратор или цифровой логический вентиль, такой как инвертер или транзисторная схема сдвига уровня. Амплитуда прямоугольной волны выбирается логическим уровнем, совместимым с контроллером 285. Сигнал прямоугольной формы не содержит информации об амплитуде напряжения входящей линии переменного тока, но содержит фазовую информацию, поскольку восходящий и нисходящий фронты сигнала прямоугольной формы синхронны с прохождениями нуля

напряжения входящей линии переменного тока.

В некоторых вариантах осуществления опорная фаза, полученная либо из низковольтного сигнала, либо из его аналога прямоугольной формы, применяется для измерения относительного угла сдвига фаз между калиброванным результатом измерения тока, переданным сенсорным устройством 110, и напряжением входящей силовой линии. Этот результат измерения относительного угла сдвига фаз между напряжением и током применяется для точного учета коэффициента мощности реактивных нагрузок, подключенных к силовому проводу, изменяемому сенсорным устройством 110. Коэффициент мощности - это косинус угла сдвига фаз между формами кривых напряжения и тока. Этот коэффициент мощности может рассчитываться непосредственно по отобранному низковольтному сигналу или в случае низковольтного сигнала прямоугольной формы может рассчитываться косвенно путем подгонки синусоиды нужной частоты к переходам фронтов в сигнале прямоугольной формы.

Коэффициент мощности является отношением активной мощности, протекающей в проводе, к полной мощности, протекающей в проводе. В некоторых вариантах осуществления пользователю системы 100 предпочтительно сообщать активную мощность, протекающую в электрических силовых проводах 193, 194 и 195, для лучшего понимания показания счетчика электрической энергии, устанавливаемого электриками. В данных вариантах осуществления фазовая информация, предоставляемая низковольтным сигналом, является критической для правильного расчета прогнозируемой энергии.

Поскольку калибровочная нагрузка 1188 при ее подключении с использованием переключателя 1187 рассеивает ток, калибровочная нагрузка 1188 подвержена нагреванию. Это нагревание может создать угрозу безопасной работе калибровочной нагрузки 1188, вызывая тепловое повреждение самой калибровочной нагрузке 1188 или другим компонентам в корпусе калибровочного устройства 180 или людям или предметам вблизи калибровочного устройства 180.

В некоторых вариантах осуществления контроллер 285 содержит датчик температуры 1186, такой как биметаллический термостат, термистор или полупроводниковый датчик температуры. В некоторых вариантах осуществления датчик температуры 1186 прерывает сигнал подключения для отключения калибровочной нагрузки 1188, когда калибровочная нагрузка 1188 или корпус калибровочного устройства 180 становится слишком горячим.

В дополнительных вариантах осуществления контроллер 285 перед подключением калибровочной нагрузки 1188 проверяет показание температуры на датчике температуры 1186 для обеспечения того, чтобы в начале калибровочного процесса калибровочная нагрузка 1188 или корпус калибровочного устройства 180 не были слишком горячими. В еще одних дополнительных вариантах осуществления контроллер 285 может выполнять экстраполяцию, чтобы определить, вероятно ли то, что калибровочная нагрузка 1188 станет слишком горячей после обычного времени работы калибровочной нагрузки 1188. В данном варианте осуществления контроллер 285 действует для отсрочки калибровочного процесса, пока данный процесс нельзя будет завершить без того, чтобы калибровочная нагрузка 1188 или корпус калибровочного устройства 180 не становились слишком горячими.

В некоторых вариантах осуществления есть два разных механизма управления, посредством которых контроллер управляет сигналом подключения к переключателю 1187. Эти два способа соответствуют двум разным местам процессора, в которых осуществляется прогон процесса калибровки для получения калиброванного результата измерения тока.

В первом способе контроллер 285 размещается вместе с модулем калибровочной нагрузки 283 и управляет им. Кроме того, контроллер 285 может получать показания датчиков от сенсорного устройства 110 (через модуль связи 281) и контроллера 213. В контроллере 285 выполняется процесс калибровки (описанный ниже со ссылками на фиг. 18) и получается калиброванный результат измерения тока. В данных примерах модуль калибровочных расчетов 229 может размещаться в калибровочном устройстве 180, а не в вычислительном блоке 120.

В первом способе, если прогон процесса калибровки осуществляется в с помощью контроллера 285, модуль связи 281 принимает результаты измерений входящего сигнала от сенсорного устройства 110 и/или вычислительного блока 120. Контроллер 285 может рассчитывать калиброванные результаты измерения тока, используя способ 2000 по фиг. 20. После расчета калиброванных результатов измерения тока калибровочное устройство 180 может сообщать калиброванные результаты измерения тока в вычислительный блок 120 для отображения и иных способов применения.

Во втором способе дистанционный процессор, такой как контроллер 225 (фиг. 2) или контроллер 213 (фиг. 2), выдает команду на подключение или отключение калибровочной нагрузки 1188, и данный контроллер (контроллер 225 или контроллер 213) осуществляет способ калибровки 1800 на фиг. 18 и получает калиброванный результат измерения тока, как описано в способе 2000 по фиг. 20.

Если при управлении калибровкой второй способ применяют с контроллером 225, контроллер 225 принимает сообщение по каналу связи от контроллера 285. В некоторых вариантах осуществления контроллер 225 посылает сообщение на подключение калибровочной нагрузки на оговоренный период времени. В некоторых вариантах осуществления данный период времени выбирается из одного или нескольких заданных периодов времени. В других вариантах осуществления калибровочная нагрузка 1188 подключается до тех пор, пока контроллер 285 не получит сообщение об отключении, или до истечения

максимального времени ожидания по таймеру или срабатывания датчика температуры 1186, указывающего, что калибровочная нагрузка 1188 или ее корпус слишком горячие.

В дополнительных вариантах осуществления контроллер 285 независимо принимает решение подключить калибровочную нагрузку на конкретный период времени. В некоторых примерах контроллер 285 подключает и отключает калибровочную нагрузку 1188 на конкретный период времени, одновременно, заранее или позже посылая уведомление контроллеру 225, указывая на подключение калибровочной нагрузки 1188. В данном варианте осуществления в контроллере 213 применяется известное смещение по времени между сообщениями, полученными от контроллера 285, для синхронизации протекания процедуры калибровки со временем подключения/отключения калибровочной нагрузки 118, указанным в сообщении, полученном от контроллера 285 по каналу связи. В других примерах контроллер 285 подключает и отключает калибровочную нагрузку 1188 в определенной последовательности, которая известна контроллеру 213 и/или 225 (фиг. 2).

На фиг. 11 проиллюстрирован один из примеров коммутируемой нагрузки 1105 в калибровочном устройстве 180. Другие возможные конструктивные исполнения коммутируемой нагрузки показаны на фиг. 14-17.

В частности, на фиг. 14 проиллюстрирован пример коммутируемой нагрузки 1405 в соответствии с третьим вариантом осуществления. Коммутируемая нагрузка 1405 может содержать: (a) переключатели 1187 и 1442 и (b) калибровочные нагрузки 1188 и 1441. В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1405 заменяет коммутируемую нагрузку 1105 в калибровочном устройстве 180 по фиг. 2 и 11.

В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1405 может конструктивно исполняться для калибровки результата измерения одиночного токонесущего провода (фидера в ответвленной цепи, обозначенной как "линия"), измеряемого с помощью сенсорного устройства 110. В данном варианте осуществления контроллер 285 может осуществлять переключения между калибровочными нагрузками 1188 и 1441 для обеспечения двух разных наборов измерения для применения в процессе калибровки. В других примерах коммутируемая нагрузка 1405 может содержать три или более переключателей трех или более калибровочных нагрузок.

На фиг. 15 проиллюстрирован пример коммутируемой нагрузки 1505 в соответствии с четвертым вариантом осуществления. Коммутируемая нагрузка 1505 может содержать: (a) переключатели 1587 и 1542 и (b) калибровочные нагрузки 1588 и 1541. В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1505 заменяет коммутируемую нагрузку 1105 в калибровочном устройстве 180 по фиг. 2 и 11.

В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1505 может предназначаться для калибровки результата измерения двух токонесущих проводов (фидеров в ответвленных цепях, обозначенных как "линия 1" и "линия 2"), измеряемых с помощью сенсорного устройства 110. В данном варианте осуществления две различительные калибровочные нагрузки 1588 и 1541 могут подключаться между отдельными линейными проводами и нейтральным проводом под управлением сигнала подключения от контроллера 285. Контроллер 285 может управлять сигналами подключения, чтобы электрическим путем связывать калибровочные нагрузки, как указано ниже

Замкнутый переключатель	**Подключенные калибровочные нагрузки**	**Результат**
Замкнут переключатель 1587	Калибровочная нагрузка 1541	Возможна калибровка результата измерения фидера в ответвленной цепи, обозначенной как линия 1
Замкнут переключатель 1542	Калибровочная нагрузка 1588	Возможна калибровка результата измерения фидера в ответвленной цепи, обозначенной как линия 2
Замкнуты переключатели 1587 и 1542	Калибровочные нагрузки 1541 и 1588	Возможна калибровка фидеров в ответвленных цепях, обозначенных как линия 1 и линия 2
Не замкнут ни переключатель 1587, ни переключатель 1542	Отсутствуют	Отсутствует

На фиг. 16 проиллюстрирован пример коммутируемой нагрузки 1605 в соответствии с пятым вариантом осуществления. Коммутируемая нагрузка 1605 может содержать: (a) переключатели 1687, 1642 и

1643 и (b) калибровочные нагрузки 1588 и 1541. В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1605 заменяет коммутируемую нагрузку 1105 в калибровочном устройстве 180 по фиг. 2 и 11.

В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1605 может также конструктивно исполняться для калибровки результата измерения более чем одного токонесущего провода (фидеров в ответвленных цепях, обозначенных как "линия 1" и "линия 2"), измеряемых с помощью сенсорного устройства 110. В данном варианте осуществления две разные калибровочные нагрузки 1588 и 1541 подключаются, чтобы позволить калибровочным нагрузкам 1588 и 1541 подсоединяться либо в отдельности к обратному нейтральному проводу, либо парой к паре линия 1-линия 2, что является обычным в системе электроснабжения с расщепленной фазой. Контроллер 285 может управлять сигналами подключения, чтобы электрическим путем связывать калибровочные нагрузки, как указано ниже

Замкнутый переключатель	**Подключенные калибровочные нагрузки**	**Результат**
Замкнуты переключатели 1643 и 1642	Калибровочная нагрузка 1541 с обратным нейтральным проводом	Возможна калибровка результата измерения фидера в ответвленной цепи, обозначенной как линия 1
Замкнуты переключатели 1643 и 1687	Калибровочная нагрузка 1588 обратным нейтральным проводом	Возможна калибровка результата измерения фидера в ответвленной цепи, обозначенной как линия 2
Замкнуты переключатели 1643, 1642 и 1687	Калибровочные нагрузки 1541 и 1588 с обратным нейтральным проводом	Возможна калибровка фидеров в ответвленных цепях, обозначенных как линия 1 и линия 2
Замкнуты переключатели 1642 и 1687, а выключатель 1643 не замкнут	Калибровочные нагрузки 1541 и 1588 включены последовательно между линией 1 и линией 2	Возможна калибровка электрической системы с расщепленной фазой из одинарного калибровочного устройства с расщепленной фазой
Ни один из переключателей 1643, 1642 и 1687 не замкнут	Отсутствуют	Отсутствует

На фиг. 17 проиллюстрирован пример коммутируемой нагрузки 1705 в соответствии с шестым вариантом осуществления. Коммутируемая нагрузка 1705 может содержать: (a) переключатели 1787, 1742 и 1743 и (b) калибровочную нагрузку 1788. В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1705 заменяет коммутируемую нагрузку 1105 в калибровочном устройстве 180 по фиг. 2 и 11.

В данном варианте осуществления коммутируемая нагрузка 1705 также конструктивно исполняется для калибровки результата измерения более чем одного токонесущего провода (фидеров в ответвленных цепях, обозначенных как "линия 1" и "линия 2"), измеряемых с помощью сенсорного устройства 110. В данном варианте осуществления одна калибровочная нагрузка 1788 подключается, чтобы обеспечить калибровку двух проводов и вдобавок нейтрального, что является обычным в системе электроснабжения с расщепленной фазой. Переключатели 1787 и 1743 могут быть однополюсными двухпозиционными (SPDT) переключателями. Переключатели 1787 и 1743 можно применять с калибровочной нагрузкой 1788 для связывания разных комбинаций проводов ответвленных цепей. Коммутируемая нагрузка 1705 может быть более дешевой в реализации по сравнению с коммутируемой нагрузкой 1605 (фиг. 16) из-за использования одной калибровочной нагрузки. Контроллер 285 может управлять сигналами подключения, чтобы электрическим путем связывать калибровочные нагрузки, как указано ниже

Замкнутый переключатель	Подключенные калибровочные нагрузки	Результат
Переключатель 1787 в положении 1, переключатель 1743 в положении 1 и выключатель 1742 в положении 1.	Калибровочная нагрузка 1788 с обратным нейтральным проводом	Возможна калибровка результата измерения фидера в ответвленной цепи, обозначенной как линия 2
Переключатель 1787 в положении 0, переключатель 1743 в положении 1, выключатель 1742 в положении 1.	Калибровочная нагрузка 1788 с обратным нейтральным проводом	Возможна калибровка результата измерения фидера в ответвленной цепи, обозначенной как линия 1
Переключатель 1787 в положении 0, переключатель 1743 в положении 0, выключатель 1742 в положении 1.	Калибровочная нагрузка 1788 включена последовательно между линией 1 и линией 2 без обратного нейтрального провода	Возможна калибровка электрической системы с расщепленной фазой из одинарного калибровочного устройства с расщепленной фазой
Переключатель 1787 в положении 0 или 1, переключатель 1743 в положении 0 или 1, и выключатель 1742 в положении 0 (т.е., в разомкнутом положении).	Отсутствуют	Отсутствует

Во многих примерах необходимо калибровать обе фазовые линии электрической инфраструктуры. Соответственно, одно из калибровочных устройств на фиг. 11 и 14-17 потребовалось бы вставлять в первую фазовую ветвь и вторую фазовую ветвь. В примере, показанном на фиг. 2, калибровочное устройство 180 представляет собой первое калибровочное устройство, а второе калибровочное устройство содержится в вычислительном блоке 120. В других примерах одинарное калибровочное устройство (например, калибровочное устройство с одной из коммутируемых нагрузок 1505, 1605 или 1705) может подключаться к розетке на 240 В, подключенной как к первой, так и ко второй фазовой ветви.

В варианте осуществления, в котором одно из калибровочных устройств на фиг. 11 и 14-17 вставляется в первую фазовую ветвь и вторую фазовую ветвь, калибровочные устройства должны быть способными связываться между собой, с сенсорным устройством и вычислительным блоком. Можно было бы реализовать ряд различных способов связи. Например, все калибровочные устройства могли бы принимать и передавать данные. В других примерах одно калибровочное устройство (например, калибровочное устройство 180 по фиг. 1) может передавать данные, а второе калибровочное устройство (например, вычислительный блок 120 на фиг. 2) может принимать данные.

В некоторых вариантах осуществления два калибровочных устройства могут сообщаться по радио. Например, модуль связи 281 и модуль связи 221 на фиг. 2 могут содержать радио. Калибровочные устройства конструктивно исполнены таким образом, чтобы определять, находятся ли они на разных электрических фазовых ветвях, путем сообщения угла сдвига фаз наблюдаемого цикла в 60 Гц другим калибраторам. В некоторых примерах одно калибровочное устройство может без проводов сообщать другому калибровочному устройству, когда происходит прохождение через нуль электрического тока или напряжения. Перекрытие принятых радиосообщений будет происходить в сообщениях, когда оба калибровочных устройства установлены в одной и той же электрической фазовой ветви. Если имеется смещение между наблюдаемым прохождением нуля и принятым сообщением, калибровочные устройства установлены в разных электрических фазовых ветвях.

В одном и том же или отличном примере устройство связи с пользователем 184 в калибровочном устройстве 180 (фиг. 1) может содержать одинарный красный/зеленый светодиод. Зеленый светодиод может указывать, что два калибровочных устройства установлены правильно в двух разных фазах. На-

пример, пользователь вначале устанавливает калибровочное устройство 180 по фиг. 1 (т.е. передающее калибровочное устройство) в произвольную электрическую розетку. Затем пользователь устанавливает вычислительный блок 120 по фиг. 1 (т.е. приемное калибровочное устройство) в другую электрическую розетку. Светодиод устройства связи с пользователем 184 может загораться красным цветом, указывая, что оба они в одной и той же фазе, или зеленым, если они в разных фазовых ветвях. Пользователь может переносить второй калибратор в другие розетки, пока не покажется зеленый индикатор устройства связи с пользователем 184.

В других вариантах осуществления беспроводная связь может также существовать между каждым из сенсорного устройства 110, калибровочного устройства 180 и вычислительного блока 120. В данном варианте осуществления сенсорное устройство 110 может обнаруживать две электрические фазы в щите выключателей. По мере того как калибровочное устройство 180 совершает цикл по своим электрическим нагрузкам, калибровочное устройство 180 может уведомлять сенсорное устройство 110, а сенсорное устройство 110 может определять, к какой фазе подключено калибровочное устройство 180. Вычислительный блок 120 может также сообщать сенсорному устройству 110, когда он начинает свой цикл по нагрузкам. Сенсорное устройство 110 наблюдает, при каких углах сдвига фаз происходят эти изменения, чтобы заключить, что калибраторы установлены в двух разных фазах.

В еще одном примере для связи между калибровочным устройством 180 и вычислительным блоком 120 можно применять небеспроводной способ связи. В данных примерах модули связи 221 и/или 281 могут содержать генератор сигналов и/или приемник сигналов. В данном примере калибровочное устройство 180 и вычислительный блок 120 могут посылать сигнал по силовой электрической инфраструктуре. Например, может применяться простая тональная посылка частотой 1 кГц. В таких же или отличных примерах сигнал представляет собой амплитудно-модулированное напряжение, подаваемое в один или несколько проводов силовой электрической инфраструктуры. В другом варианте осуществления сигнал представляет собой амплитудно-модулированный ток, взятый из силовой электрической инфраструктуры. В другом варианте осуществления сигнал представляет собой амплитудно-модулированное напряжение или ток. В одном из вариантов осуществления вычислительный блок 120 может предназначаться в качестве передатчика сигнала, тогда как калибровочное устройство 180 может предназначаться в качестве приемника. Если калибровочное устройство 180 вставлено в электрическую розетку, в устройстве связи с пользователем 184 может загореться зеленый светодиод, если оно не может обнаружить присутствие сигнала, передаваемого первым устройством. Если калибровочное устройство 180 и вычислительный блок 120 подключены к отдельным фазовым ветвям, калибровочное устройство 180 и вычислительный блок 120 не могут обнаружить сигналы, переданные по силовой электрической инфраструктуре другим.

Если калибровочное устройство 180 обнаруживает сигнал, то красный светодиод может указывать, что два калибровочных устройства находятся в одной фазе. При этом пользователь может получить команду перенести калибровочное устройство 180 или вычислительный блок 120 в другую электрическую розетку. В еще одном варианте осуществления вместо модулей связи 221 и 281, содержащих генератор и/или приемник сигналов, модули связи 221 и 281 могут содержать модули связи по линиям электросети (PLC), чтобы позволить калибровочному устройству 180 и вычислительному блоку 120 связываться по силовой электрической инфраструктуре.

При обращении к другому варианту осуществления на фиг. 18 проиллюстрирована маршрутная карта варианта осуществления способа 1800 калибровки системы контроля электрической энергии в соответствии с вариантом осуществления. Способ 1800 является лишь примерным и не ограничивается вариантами осуществления, представленными в данном документе. Способ 1800 можно использовать во многих различных вариантах осуществления или примерах, конкретно не показанных или не описанных в данном документе. В некоторых вариантах осуществления рабочие операции, процедуры и/или процессы способа 1800 можно выполнять в представленном порядке. В других вариантах осуществления рабочие операции, процедуры и/или процессы способа 1800 можно выполнять в любом ином подходящем порядке. В еще одних вариантах осуществления одну или несколько рабочих операций, процедур и/или процессов в способе 1800 можно объединять или пропускать.

Способ 1800 можно рассматривать как общий способ калибровки сенсорного устройства. Этот способ может включать определение одного или нескольких калибровочных коэффициентов, которые можно применять для расчета прогнозируемого тока в силовой электрической инфраструктуре сооружения в способе 2000 по фиг. 20. Способ, описанный ниже, можно применять для точного расчета калибровочных коэффициентов независимо от положения сенсорного устройства 110 (фиг. 1) на щите 196 (фиг. 1) за исключением следующих пунктов: (a) если датчики электрического тока 211 (фиг. 2) расположены настолько далеко от главных силовых проводов 193 и 194 (фиг. 1), что измеряется почти неразличимый сигнал от главных силовых проводов 193 и 194, и (b) если все датчики электрического тока 211 (фиг. 2) расположены слишком близко к нейтральному электрическому силовому проводу 195 (фиг. 1) и далеко от электрических силовых проводов 193 и 194.

Способ 1800 на фиг. 18 включает рабочую операцию 1860 получения и запоминания одного или нескольких первых базисных измерений. В некоторых примерах сенсорное устройство 110 (фиг. 2) можно

применять для получения первых базисных измерений с помощью датчиков электрического тока 211 (фиг. 2). Эти первые базисные измерения могут содержать номинальный ток, протекающий по меньшей мере по одному силовому проводу 193 или 194 (фиг. 1) из-за наличия электрических устройств, забирающих электрическую энергию. Кроме того, на каждом датчике (например, на датчиках 641 и 642 (фиг. 6) или датчиках 941_1, 941_2, ..., 941_N (фиг. 9)) можно выполнять измерение амплитуды и фазы. Каждое показание амплитуды L запоминают под названием $L_{стар\text{-}N}$, а каждое показание фазы ∅ запоминают под названием $∅_{стар\text{-}N}$, где N является номером датчика. В некоторых примерах первые базисные измерения выполняют как в первой фазовой ветви, так и во второй фазовой ветви.

В некоторых примерах рабочая операция 1860 включает также определение амплитуды и угла сдвига фаз напряжения. Угол сдвига фаз напряжения можно применять для того, чтобы помочь рассчитать угол сдвига фаз тока. В некоторых примерах для определения угла сдвига фаз напряжения можно применять датчик электрического напряжения 228 на фиг. 2.

Далее способ 1800 по фиг. 18 включает рабочую операцию 1861 временного подключения первой известной калибровочной нагрузки к первой фазовой ветви. В некоторых примерах калибровочное устройство 180 (фиг. 1 и 11) могут подключать к одной из калибровочных нагрузок в коммутируемых нагрузках 1105, 1405, 1505, 1605 или 1705 по фиг. 11, 14, 15, 16 и 17 соответственно.

Затем способ 1800 по фиг. 18 включает рабочую операцию 1862 получения и запоминания одного или нескольких первых калибровочных измерений в первой фазовой ветви. В некоторых примерах сенсорное устройство 110 (фиг. 2) можно применять для получения первых калибровочных измерений от датчиков электрического тока 211 (фиг. 2). В некоторых примерах первые калибровочные измерения выполняют, когда известная калибровочная нагрузка из коммутируемой нагрузки 1105, 1405, 1505, 1605 или 1705 по фиг. 11, 14, 15, 16 и 17 соответственно подключена к первой фазовой ветви (например, к линии 1 на фиг. 15-17). Эта первая известная калибровочная нагрузка будет отбирать известный ток $L_{кал\text{-}1}$. Эти первые калибровочные измерения могут содержать номинальный ток, протекающий по меньшей мере по одному из силовых проводов 193 или 194 (фиг. 1) из-за наличия электрических приборов, забирающих электрическую энергию, и первой известной калибровочной нагрузки.

Например, на каждом датчике (например, на датчиках 641 и 642 (фиг. 6) или датчиках 941_1, 941_2, ..., 941_N (фиг. 9)) выполняют измерение амплитуды и угла сдвига фаз. Каждое показание амплитуды L запоминают под названием $L_{нов\text{-}N\text{-}1}$, а каждое показание угла сдвига фаз ∅ запоминают под названием, таким как $∅_{нов\text{-}N\text{-}1}$, где N является номером датчика.

В некоторых примерах рабочая операция 1862 включает также определение амплитуды и угла сдвига фаз напряжения. Угол сдвига фаз напряжения можно применять для того, чтобы помочь рассчитать угол сдвига фаз тока. В некоторых примерах для определения угла сдвига фаз напряжения можно применять датчик электрического напряжения 228 по фиг. 2.

Способ 1800 по фиг. 18 продолжают рабочей операцией 1863, на которой первую известную калибровочную нагрузку отключают и ко второй фазовой ветви временно подключают вторую известную калибровочную нагрузку. В некоторых примерах калибровочное устройство 180 (фиг. 1 и 11 могут подключать к одной из калибровочных нагрузок в коммутируемых нагрузках 1405, 1505 или 1605 на фиг. 14, 15 и 16 соответственно. В некоторых примерах вторую известную калибровочную нагрузку подключают ко второй фазовой ветви (например, к линии 2 на фиг. 15-17).

Далее способ 1800 по фиг. 18 включает рабочую операцию 1864 получения и запоминания вторых калибровочных измерений во второй фазовой ветви. В некоторых примерах сенсорное устройство 110 (фиг. 2) можно применять для получения вторых калибровочных измерений от датчиков электрического тока 211 (фиг. 2). Эти вторые калибровочные измерения могут содержать номинальный ток, протекающий по меньшей мере по одному из силовых проводов 193 или 194 (фиг. 1) из-за наличия электрических приборов, забирающих электрическую энергию, и второй известной калибровочной нагрузки. В некоторых примерах вторые калибровочные измерения выполняют, когда известная калибровочная нагрузка подключена ко второй фазовой ветви (например, к линии 2 на фиг. 15-17). Эта вторая известная калибровочная нагрузка будет отбирать известный ток $L_{кал\text{-}2}$.

Например, на каждом датчике (например, на датчиках 641 и 642 (фиг. 6) или датчиках 941_1, 941_2, ..., 941_N (фиг. 9)) выполняют измерение амплитуды и угла сдвига фаз. Каждое показание амплитуды L запоминают под названием $L_{нов\text{-}N\text{-}2}$, а каждое показание угла сдвига фаз ∅ запоминают под названием, таким как $∅_{нов\text{-}N\text{-}2}$, где N является номером датчика.

В некоторых примерах рабочая операция 1864 включает определение амплитуды и угла сдвига фаз напряжения. Угол сдвига фаз напряжения можно применять для того, чтобы помочь рассчитать угол сдвига фаз тока. В некоторых примерах для определения угла сдвига фаз напряжения можно применять датчик электрического напряжения 228 по фиг. 2.

Затем способ 1800 по фиг. 18 включает рабочую операцию 1865 отключения любых известных калибровочных нагрузок (т.е. второй калибровочной нагрузки) от силовых проводов 193, 194 и/или 195 (фиг. 1).

Способ 1800 на фиг. 18 продолжают рабочей операцией 1866 получения и запоминания одного или

нескольких вторых базисных измерений. В некоторых примерах сенсорное устройство 110 (фиг. 2) можно применять для получения вторых базисных измерений от датчиков электрического тока 211 (фиг. 2). Эти вторые базисные измерения могут содержать номинальный ток, протекающий по меньшей мере по одному из силовых проводов 193 или 194 (фиг. 1) из-за наличия электрических приборов, забирающих электрическую энергию. Цель этого второго базисного показания заключается в обеспечении того, чтобы базисная нагрузка, которую наблюдали на рабочей операции 1861, в процессе калибровки не изменилась. Если результаты измерений в рабочей операции 1866 равны результату измерения в рабочей операции 1861 в пределах заданной величины, результаты измерений в рабочей операции 1866 можно отбросить. Если результаты измерений в рабочей операции 1866 находятся вне пределов заданной величины, результат измерения в рабочей операции 1861 можно отбросить. В других примерах рабочую операцию 1866 можно пропускать.

В некоторых примерах рабочая операция 1866 включает также рабочую операцию определения амплитуды и угла сдвига фаз напряжения. Угол сдвига фаз напряжения можно применять для того, чтобы помочь рассчитать угол сдвига фаз тока. В некоторых примерах для определения угла сдвига фаз напряжения можно применять датчик электрического напряжения 228 по фиг. 2.

Далее способ 1800 по фиг. 18 включает рабочую операцию 1867 определения калибровочных коэффициентов. В некоторых примерах рабочая операция 1867 включает применение калибровочного уравнения (уравнений) датчика к базисному измерению и каждому из калибровочных измерений, чтобы вычислить калибровочные множители сенсорного устройства 110 (фиг. 1) для получения калиброванного результата измерения тока по меньшей мере в одном проводе, который считывают сенсорным устройством 110. В некоторых примерах калибровочные коэффициенты можно определять с помощью модуля калибровочных расчетов 229 (фиг. 2), как описано ниже.

На фиг. 19 проиллюстрирована маршрутная карта примерного варианта осуществления рабочей операции 1867 определения калибровочных коэффициентов в соответствии с первым вариантом осуществления. В некоторых примерах рабочая операция 1867 может включать в широком смысле выполнение расчета калибровочных коэффициентов $\varnothing_M$, K_1, K_2, Y_1 и Y_2. В других примерах можно определять другие калибровочные коэффициенты.

При ссылке на фиг. 19 рабочая операция 1867 включает процедуру 1971 определения потенциальных калибровочных коэффициентов для первой фазовой ветви. В некоторых примерах для каждого датчика от 1 до N (где N является числом датчиков в датчике электрического тока) процедура 1971 может включать выполнение расчета X_{N-1} и $\varnothing_{M-N-1}$ с использованием $L_{стар-N}$, $\varnothing_{стар-N}$, $L_{кал-1}$, $L_{нов-N-1}$ и $\varnothing_{нов-N-1}$, где

$$X_{N-1}=[\sqrt{\{L_{стар-N}^2+L_{нов-N-1}^2-2*L_{стар-N} * L_{нов-N-1}*\mathrm{Cos}\,(Ø_{стар-N} - Ø_{нов-N-1})\}}]/L_{кал-1}$$

и

$$Ø_{M-N-1} = Ø_{нов-N-1} - \mathrm{Sin}^{-1}\,[\,(L_{стар-N} * \mathrm{Sin}\,(Ø_{стар-N} - Ø_{нов-N-1}\,)\,) / (X_{N-1} * L_{кал-1}\,)].$$

Кроме того, в некоторых примерах, если $\varnothing_{M-N-1} > 180°$, то

$$Ø_{M-N-1} = Ø_{M-N-1} - 180°$$

и

$$X_{N-1} = X_{N-1} * (-1).$$

Рабочую операцию 1867 на фиг. 19 продолжают процедурой 1972 определения потенциальных калибровочных коэффициентов для второй фазовой ветви. В некоторых примерах для каждого датчика от 1 до N процедура 1972 может включать выполнение расчета X_{N-2} и $\varnothing_{M-N-2}$ с использованием $L_{стар-N}$, $\varnothing_{стар-N}$, $L_{кал-2}$, $L_{нов-N-2}$ и $\varnothing_{нов-N-2}$, где

$$X_{N-2} = [\,\sqrt{\{\,L_{стар-N}^2 + L_{нов-N-2}^2 - 2 * L_{стар-N} * L_{нов-N-2}*\mathrm{Cos}\,(Ø_{стар-N} - Ø_{нов-N-2})\,\}}\,] / L_{кал-2}$$

и

$$Ø_{M-N-2} = Ø_{нов-N-2} - \mathrm{Sin}^{-1}\,[\,(L_{стар-N} * \mathrm{Sin}\,(Ø_{стар-N} - Ø_{нов-N-2}\,)\,) / (X_{N-2} * L_{кал-2}\,)\,].$$

Кроме того, в некоторых примерах, если $\varnothing_{M-N-2} > 180°$, то

$$Ø_{M-N-2} = Ø_{M-N-2} - 180°$$

и

$$X_{N-2} = X_{N-2} * (-1).$$

Затем рабочая операция 1867 на фиг. 19 включает процедуру 1973, на которой проверяют действительность измерений. При процедуре 1973, если $\varnothing_{M-N-1} = \varnothing_{M-N-2}$ в пределах заданного допуска (например, 0,1%, 1%, 5%, 10% или 20%) для каждого датчик от 1 до N, результаты измерений для этого датчика сохраняют. Если $\varnothing_{M-N-2} \neq \varnothing_{M-N-2}$ в пределах заданного допуска углы сдвига фаз для этого датчика отбрасывают.

Затем рабочая операция 1867 на фиг. 19 включает процедуру 1974, на которой определяют статистическую моду $\varnothing_{mode}$ для $\varnothing_{M-N-1}$ для датчиков, не отброшенных на процедуре 1973. В некоторых приме-

рах статистическая мода - это наиболее часто повторяющийся угол сдвига фаз в пределах заданного допуска для датчиков, не отброшенных на процедуре 1973.

Рабочую операцию 1867 на фиг. 19 продолжают процедурой 1975, на которой определяют первую часть калибровочных коэффициентов. В некоторых примерах из остающихся датчиков на процедуре 1975 выбирают датчик с наибольшим значением X_{N-1} и назначают $X_{N-1} = K_1$, $X_{N-2} = K_2$ и $\varnothing_{M-N-1} = \varnothing_{M-K}$. Далее этот выбранный датчик будет именоваться датчиком K. Для остальной части процедуры 1867 датчик K могут исключать из перечня датчиков-кандидатов.

Затем рабочая операция 1867 на фиг. 19 включает процедуру 1976, на которой определяют вторую часть калибровочных коэффициентов. В некоторых примерах из остающихся датчиков на процедуре 1976 выбирают датчик с наибольшим значением X_{N-2} и назначают $X_{N-2} = Y_1$, $X_{N-2} = Y_2$ и $\varnothing_{M-N-2} = \varnothing_{M-Y}$. Далее этот выбранный датчик будет именоваться датчиком Y.

Затем рабочая операция 1867 на фиг. 19 включает процедуру 1977, на которой определяют третью часть калибровочных коэффициентов. В некоторых примерах рассчитывают $\varnothing_м$, где

$$\varnothing_M = [\ \varnothing_{M-Y} + \varnothing_{M-K}\ ] / 2$$

Вышеприведенные формулы, используемые для определения калибровочных коэффициентов, являются всего лишь примерными. В других примерах для расчета таких же или иных калибровочных коэффициентов могут использоваться другие формулы (например, линейные, нелинейные, квадратичные и/или итеративные уравнения).

Например, сенсорное устройство могут калибровать (и определять прогнозируемый ток) с помощью единственного датчика. В этом примере датчик размещают в таком месте, в котором магнитное поле от главных силовых электрических проводов 193 и 194 (фиг. 1) симметрично относительно датчика. То есть магнитное поле от главных силовых электрических проводов 193 и 194 (фиг. 1) симметрично относительно датчика. Кроме того, в этом примере датчик Z находится в месте, в котором магнитное поле от главного силового электрического провода 195 (фиг. 1), представляющего нейтральный обратный провод, пренебрежимо мало.

Назовем датчик в этом месте, где магнитные поля симметричны, датчиком Z. В этом примере ток, измеренный в датчике Z, равен

$$L_Z = K_Z * L_{прогноз}$$

где L_z - ток, измеренный датчиком Z, K_z - постоянная, и $L_{прогноз}$ - прогнозируемый объединенный ток в первой фазовой ветви и второй фазовой ветви.

В этом примере базисное измерение тока, выполненное в датчике Z на рабочей операции 1860 или 1866, могут хранить как $L_{z\text{-базис}}$. Первые калибровочные измерения, выполненные в датчике Z, могут хранить как $L_{z\text{-кал}}$, а ток первой известной калибровочной нагрузки может быть ΔP. В этом примере можно рассчитать K_z, где

$$K_Z = (L_{Z\text{-кал}} - L_{Z\text{-базис}}) / \Delta P$$

В других примерах могут использовать другие калибровочные уравнения, требующие более двух калибровочных измерений. В этих примерах рабочие операции 1861-1866 (фиг. 18) могут повторять столько раз, сколько потребуется при разных калибровочных нагрузках, чтобы получить нужное число калибровочных точек.

После завершения процедуры 1977 завершается и рабочая операция 1867, калибровки которой рассчитывают калибровочные коэффициенты.

Снова возвращаясь к фиг. 18, способ 1800 на фиг. 18 продолжают рабочей операцией 1868, на которой калибровочные коэффициенты сохраняют. В некоторых примерах калибровочные коэффициенты могут сохранять в запоминающем устройстве 226 вычислительного блока 120 на фиг. 1 и 2. В тех же или иных примерах калибровочные коэффициенты могут сохранять в запоминающем устройстве сенсорного устройства 110 и/или калибровочного устройства 180 на фиг. 1. В еще одних вариантах осуществления калибровочные коэффициенты могут передавать в удаленный сервер для хранения и использования. После рабочей операции 1868 способ 1800 завершен.

Фиг. 20 иллюстрирует блок-схему для варианта осуществления способа 2000 определения прогнозируемого тока в электрических силовых проводах. Способ 2000 является чисто примерным и не ограничивается вариантами осуществления, представленными в настоящем документе. Способ 2000 можно использовать во многих различных вариантах осуществления или примерах, конкретно не показанных или не описанных в настоящем документе. В некоторых вариантах осуществления рабочие операции, процедуры и/или процессы способа 2000 могут выполнять в представленном порядке. В других вариантах осуществления рабочие операции, процедуры и/или процессы способа 2000 могут выполнять в любом ином подходящем порядке. В еще одних вариантах осуществления одна или несколько рабочих операций, процедур и/или процессов в способе 2000 могут объединять или пропускать.

Способ 2000 представляет собой общий способ определения прогнозируемой электрической энергии (и/или электрического тока), потребляемой в электрических силовых проводах. Этот способ включает использование нескольких предопределенных калибровочных коэффициентов (см. способ 18 на фиг. 18) для определения прогнозируемого тока в силовой электрической инфраструктуре сооружения. Спо-

соб, описываемый ниже, может использоваться для точного расчета калибровочных коэффициентов независимо от положения сенсорного устройства 110 (фиг. 1) на щите 196 (фиг. 1) за исключением следующего: (a) если датчики электрического тока 211 (фиг. 2) расположены настолько далеко от главных силовых проводов 193 и 194 (фиг. 1), что измеряется почти неразличимый сигнал от главных силовых проводов, и (b) если все датчики электрического тока 211 (фиг. 2) расположены слишком близко к нейтральному электрическому силовому проводу 195 (фиг. 1) и далеко от электрических силовых проводов 193 и 194. В некоторых примерах способ 2000 может, в общих чертах, включать рабочую операцию, на которой рассчитывают прогнозируемый ток $L_{1\text{-прогноз}}$ и $L_{2\text{-прогноз}}$ (как обычно сообщается электросистемой общего пользования, поставляющей электрическую энергию) в каждой ветви силовой электрической инфраструктуры (например, в первой и второй фазовых ветвях).

В некоторых примерах способ 1800 на фиг. 18 и способ 2000 могут объединять для создания способа использования устройства для измерения потребления энергии. Альтернативно, способ 1800 на фиг. 18, объединенный со способом 2000, можно рассматривать как способ определения прогнозируемого тока (и/или электрической энергии) в электрических силовых проводах. В этих вариантах осуществления способ 1800 может выполняться один раз для определения калибровочных коэффициентов, а способ 2000 может быть повторным для определения прогнозируемого тока (и/или электрической энергии), потребляемого нагрузкой сооружения в разные моменты времени.

Обратимся к фиг. 20. Способ 2000 включает рабочую операцию 2061, на которой выполняют первую серию измерений, используя первый датчик электрического тока. В разных вариантах осуществления для выполнения первой серии измерений могут использовать один из датчиков электрического тока 211 (фиг. 2). В некоторых примерах рабочая операция 2061 может включать процедуру, на которой измеряют амплитуду и угол сдвига фаз в датчике K. Показание амплитуды могут запоминать под названием L_K, а показание угла сдвига фаз - под названием $\varnothing_K$.

В некоторых примерах рабочая операция 2061 включает также процедуру, на которой определяют амплитуду и угол сдвига фаз напряжения. Угол сдвига фаз напряжения могут использовать, чтобы помочь рассчитать угол сдвига фаз тока. В некоторых примерах для того, чтобы определить угол сдвига фаз напряжения, могут использовать датчик электрического напряжения 228 на фиг. 2.

Затем способ 2000 на фиг. 20 включает рабочую операцию 2062, на которой выполняют первую серию измерений, используя первый датчик электрического тока. В разных вариантах осуществления для выполнения первой серии измерений могут использовать один из датчиков электрического тока 211 (фиг. 2). В некоторых примерах рабочая операция 2063 может включать процедуру, на которой измеряют амплитуду и угол сдвига фаз в датчике Y. Показание амплитуды могут запоминать под названием L_Y, а показание угла сдвига фаз - под названием $\varnothing_Y$.

В некоторых примерах рабочая операция 2062 включает также процедуру, на которой определяют амплитуду и угол сдвига фаз напряжения. Как уже отмечалось, угол сдвига фаз тока равен углу сдвига фаз, измеренному датчиком, минус угол сдвига фаз напряжения. В некоторых примерах для того, чтобы определить угол сдвига фаз напряжения, могут использовать датчик электрического напряжения 228 на фиг. 2.

Затем способ 2000 на фиг. 20 включает рабочую операцию 2063, на которой определяют прогнозируемую электрическую энергию, потребляемую в первой фазовой ветви. В некоторых примерах рабочая операция 2063 может включать процедуру, на которой определяют амплитуду L_1 первой фазовой ветви и угол сдвига фаз $\varnothing_1$, первой фазовой ветви, используя калибровочные коэффициенты $\varnothing_M$, K_1, K_2, Y_1 и Y_2, где

$$L_1 = [\sqrt{\{(L_K / K_2)^2 + (L_Y / Y_2)^2 - 2*(L_K / K_2)*(L_Y / Y_2)*\mathrm{Cos}(\varnothing_K - \varnothing_Y)\}}] / [(K_1/K_2)-(Y_1/Y_2)]$$

и

$$\varnothing_1 = \mathrm{Tg}^{-1}[\{(L_K/K_2)*\mathrm{Sin}(\varnothing_K - \varnothing_M) - (L_Y/Y_2)*\mathrm{Sin}(\varnothing_Y - \varnothing_M)\} / \{(L_K/K_2)*\mathrm{Cos}(\varnothing_K - \varnothing_M) - (L_Y/Y_2)*\mathrm{Cos}(\varnothing_Y - \varnothing_M)\}]$$

В некоторых примерах прогнозируемая энергия $P_{1\text{-прогноз}}$ в первой фазовой ветви может быть электрической энергией в первой фазовой ветви, какая обычно сообщается электросистемой общего пользования. В некоторых вариантах осуществления прогнозируемый ток $L_{1\text{-прогноз}}$ в первой фазовой ветви

$$P_{1\text{-прогноз}} = V*L_1*\mathrm{Cos}(\varnothing_1)$$

где V - напряжение, измеренное на рабочей операции 2062.

Способ 2000 на фиг. 20 продолжают рабочей операцией 2064, на которой определяют прогнозируемую электрическую энергию, потребляемую во второй фазовой ветви. В некоторых примерах рабочая операция 2064 может включать процедуру, на которой определяют амплитуду L_2 второй фазовой ветви и угол сдвига фаз $\varnothing_2$ второй фазовой ветви, используя калибровочные коэффициенты $\varnothing_M$, K_1, K_2, Y_1 и Y_2, где

$$L_2 = [\ \sqrt{\{ (L_K / K_1)^2 + (L_Y / Y_1)^2 - 2*(L_K / K_1)*(L_Y / Y_1)*\mathrm{Cos}\ (Ø_K - Ø_Y) \}}\ ] / [(K_2/K_1)-(Y_2/Y_1)]$$

и

$$Ø_2 = \mathrm{Tg}^{-1}\ [\{ (L_K/K_1)*\mathrm{Sin}(Ø_K - Ø_M) - (L_Y/Y_1)*\mathrm{Sin}(Ø_Y - Ø_M) \} / \{ (L_K/K_1)*\mathrm{Cos}(Ø_K - Ø_M) - (L_Y/Y_1)*\mathrm{Cos}(Ø_Y - Ø_M) \}]$$

В некоторых примерах прогнозируемая электрическая энергия $P_{2\text{-прогноз}}$, во второй фазовой ветви может быть электрической энергией второй фазовой ветви, какая обычно сообщается электросистемой общего пользования. В некоторых вариантах осуществления прогнозируемый ток $P_{2\text{-прогноз}}$, во второй фазовой ветви

$$P_{2\text{-прогноз}} = V*L_2*\mathrm{Cos}(Ø_2)$$

где V - напряжение, измеренное на рабочей операции 2062.

Во втором примере, в котором в сенсорном устройстве используют лишь один датчик Z, определение прогнозируемой энергии $P_{\text{прогноз}}$ является относительно простым. В этом примере датчик Z размещают в таком месте, в котором магнитное поле от главных силовых электрических проводов 193 и 194 (фиг. 1) симметрично относительно датчика Z, и датчик Z находится в месте, в котором магнитное поле от главного силового электрического провода 195 (фиг. 1) пренебрежимо мало. В этом примере электрическую энергию, измеренную в датчике Z, можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{прогноз}} = B * L_Z / K_Z$$

где V - напряжение, измеренное на рабочей операции 2062, L_z - ток, измеренный датчиком Z на рабочей операции 2061, K_z - постоянная (уже определенная на рабочей операции 1867 на фиг. 18).

Способ 2000 на фиг. 20 продолжают рабочей операцией 2065, на которой прогнозируемый ток в первой и второй фазовых ветвях используют и/или сообщают. Суммарная прогнозируемая электрическая энергия $P_{\text{прогноз}}$ - это сумма прогнозируемой электрической энергии в первой фазовой ветви и прогнозируемой электрической энергии во второй фазовой ветви

$$P_{\text{прогноз}} = P_{2\text{-прогноз}} + P_{1\text{-прогноз}}$$

В некоторых примерах электрическую энергию, потребляемую нагрузкой в сооружении (т.е. $P_{\text{прогноз}}$), могут отображать пользователю на устройстве связи с пользователем 134 вычислительного блока 120 (фиг. 1 и 2). В других примерах потребляемую электрическую энергию (и/или прогнозируемый ток) могут сообщать в электросистему общего пользования, поставляющую электрическую энергию, или могут сообщать другим субъектам.

В еще одних вариантах осуществления прогнозируемый ток могут использовать при дезагрегировании нагрузок, основанном на ступенчатом изменении и угле сдвига фаз между наблюдаемым током и напряжением. Вычислительный блок 120 может определять и устанавливать ступенчатое изменение (повышение или снижение тока) в одно или несколько электрических устройств в сооружении для указания на его использование. Дальнейшее дезагрегирование может осуществляться путем наблюдения присутствия электробытовых приборов 120 В и 240 В по данным о токе в каждой фазовой ветви. В дополнение к ступенчатым изменениям суммарного тока, ступенчатые изменения в каждой отдельной фазовой ветви идентифицируют также наличие иной нагрузки или электробытового прибора (т.е. подобных нагрузок, установленных в разных местах в здании). Изменение угла сдвига фаз, наблюдаемое из-за внутреннего реактивного сопротивления устройства, позволяет идентифицировать реактивные нагрузки (т.е. вентиляторы, электродвигатели, микроволновые печи, компрессоры). Прогнозируемое реактивное сопротивление не требуется - достаточны наблюдаемые необработанные углы сдвига фаз, пока они априори связаны с устройством. В некоторых примерах мгновенное изменение потребления тока в силовой электрической инфраструктуре может отражать пусковую характеристику устройства, которая может характеризовать бытовые электроприборы. Этот способ включает использование сравнения с шаблонами в известной библиотеке пусковых "подписей" для классификации неизвестных нагрузок. Это пространство признаков намного менее чувствительно к перекрывающимся категориям устройств и способно разделять многие устройства с аналогичными нагрузочными характеристиками. Например, два электродвигателя с подобным потреблением активной и реактивной мощности могут проявлять весьма разнящиеся пусковые признаки и за счет этого дезагрегироваться. Этот подход может быть приемлемым для электрических устройств, потребляющие большие токовые нагрузки или, по меньшей мере, потребляющие большие токи при пуске. Используя эти рабочие операции, нагрузки в силовой электрической инфраструктуре можно дезагрегировать.

После рабочей операции 2065 способ 2000 завершен.

Фиг. 21 иллюстрирует пример первого местоположения двух датчиков электрического тока относительно главных силовых электрических проводов 193, 194 и 195 (фиг. 1) в соответствии с одним вариантом осуществления. Местоположение двух датчиков электрического тока, показанное на фиг. 21, использовалось для проверки способа калибровки 1800 на фиг. 18 и способа определения тока 2000 на фиг. 20. Нагрузки, подключенные к главным силовым электрическим проводам 193, 194 и 195 (фиг. 1), произвольно включались и выключались. При этих произвольных включениях и выключениях нагрузок с по-

мощью устройства контроля тока контролировался фактический ток. После выполнения измерений с помощью двух датчиков электрического тока были рассчитаны и прогнозируемые токи с использованием способов 1800 и 2000 на фиг. 18 и 20 соответственно. Фиг. 22 иллюстрирует график, сравнивающий токи, прогнозируемые способами на фиг. 18 и 20, с измеренными токами. Как показано на фиг. 22, прогнозируемые токи близко отражают измеренные токи.

Фиг. 23 иллюстрирует пример второго местоположения двух датчиков электрического тока относительно главных силовых электрических проводов 193, 194 и 195 (фиг. 1) в соответствии с одним вариантом осуществления. Местоположение двух датчиков электрического тока, показанное на фиг. 23, также использовалось для проверки способа калибровки 1800 на фиг. 18 и способа определения тока 2000 на фиг. 20. Нагрузки, подключенные к главным силовым электрическим проводам 193, 194 и 195 (фиг. 1), произвольно включались и выключались. При этих произвольных включениях и выключениях нагрузок с помощью устройства контроля тока контролировался фактический ток. После выполнения измерений с помощью двух датчиков электрического тока были рассчитаны и прогнозируемые токи с использованием способов 1800 и 2000. Фиг. 24 иллюстрирует график, сравнивающий токи, прогнозируемые способами на фиг. 18 и 20, с измеренными токами. Как показано на фиг. 24, прогнозируемые токи близко отражают измеренные токи.

Хотя изобретение описано со ссылками на конкретные варианты осуществления, специалистам будет ясно, что возможны различные изменения в пределах сущности и объема изобретения. Соответственно, раскрытие вариантов осуществления изобретения предназначено служить иллюстрацией объема изобретения, и не предназначено ограничивать его. По намерениям авторов, объем изобретения должен ограничиваться лишь в мере, требуемой прилагаемой формулой изобретения. Например, специалисту будет легко понятно, что рабочие операции 1860, 1861, 1862, 1863, 1864, 1865, 1866, 1867 и 1868 на фиг. 18, процедуры 1971, 1972, 1973, 1974, 1975, 1976 и 1977 на фиг. 17 и рабочие операции 2061, 2062, 2063, 2064 и 2065 на фиг. 20 могут состоять из многих разных рабочих операций и процедур и могут выполняться многими различными модулями, во многих различных порядках, что любой элемент на фиг. 1 может быть изменен, и что вышеприведенное рассмотрение некоторых из этих вариантов осуществления не обязательно представляет полное описание всех возможных вариантов осуществления.

Все элементы, заявляемые в любом конкретном пункте формулы изобретения, являются существенными для варианта осуществления, заявляемого в этом конкретном пункте. Следовательно, замена одного или нескольких заявляемых элементов являет собой реконструкцию, а не ремонт. Кроме того, выгоды, иные преимущества и решения проблем описаны применительно к конкретным вариантам осуществления. Следует, однако, отметить, что эти выгоды, преимущества, решения проблем и любой элемент или элементы, которые могут вызвать или усилить любую выгоду, преимущество или решение, не должны толковаться как критические, требуемые или существенные признаки или элементы любого или всех пунктов, если эти выгоды, преимущества, решения или элементы не указаны в этом пункте.

Кроме того, варианты осуществления и ограничения, раскрытые в настоящем документе, не передаются в общественное пользование по доктрине передачи в общественное пользование, если эти варианты осуществления и/или ограничения: (1) не выражены положительным образом в формуле изобретения и (2) являются или потенциально являются эквивалентами положительно выраженных элементов и/или ограничений в формуле изобретения по теории (доктрине) эквивалентов.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ калибровки сенсорного устройства магнитного поля, соединенного с первой поверхностью коробки автоматического выключателя, расположенной поверх по меньшей мере части силовой электрической инфраструктуры здания, причем силовая электрическая инфраструктура содержит один или несколько главных проводов электроснабжения, первую фазовую ветвь и вторую фазовую ветвь, при этом сенсорное устройство магнитного поля содержит два или более датчиков магнитного поля, причем способ предусматривает

определение при помощи сенсорного устройства магнитного поля первой амплитуды и первого угла сдвига фаз первого магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля, входящих в состав сенсорного устройства магнитного поля, при этом сенсорное устройство магнитного поля соединено с первой поверхностью коробки автоматического выключателя;

после того как первую нагрузку соединили с первой фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры, определение при помощи сенсорного устройства магнитного поля второй амплитуды и второго угла сдвига фаз второго магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля, входящих в состав сенсорного устройства магнитного поля, при этом сенсорное устройство магнитного поля соединено с первой поверхностью коробки автоматического выключателя, и первая нагрузка соединена с первой фазовой ветвью;

после того как первую нагрузку отсоединили от первой фазовой ветви силовой электрической инфраструктуры и вторую нагрузку соединили со второй фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры, определение при помощи сенсорного устройства магнитного поля третьей амплитуды и тре-

тьего угла сдвига фаз третьего магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля, входящих в состав сенсорного устройства магнитного поля, при этом сенсорное устройство магнитного поля соединено с первой поверхностью коробки автоматического выключателя, и вторая нагрузка соединена со второй фазовой ветвью; и

определение при помощи компьютерного процессора одного или нескольких калибровочных коэффициентов для сенсорного устройства магнитного поля с использованием, по меньшей мере частично, первой амплитуды и первого угла сдвига фаз первого магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля, второй амплитуды и второго угла сдвига фаз второго магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля и третьей амплитуды и третьего угла сдвига фаз третьего магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля,

при этом сенсорное устройство магнитного поля электрически последовательно или физически непосредственно не соединено с одним или несколькими главными проводами электроснабжения в коробке автоматического выключателя, когда сенсорное устройство магнитного поля соединено с первой поверхностью коробки автоматического выключателя.

2. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий

после того как первую нагрузку отсоединили от первой фазовой ветви силовой электрической инфраструктуры и вторую нагрузку отсоединили от второй фазовой ветви силовой электрической инфраструктуры, определение при помощи сенсорного устройства магнитного поля четвертой амплитуды и четвертого угла сдвига фаз четвертого магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля, входящих в состав сенсорного устройства магнитного поля, при этом сенсорное устройство магнитного поля соединено с первой поверхностью коробки автоматического выключателя; и

определение того, находится ли четвертая амплитуда и четвертый угол сдвига фаз четвертого магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля в пределах предварительно определенной величины первой амплитуды и первого угла сдвига фаз первого магнитного поля в двух или более датчиках магнитного поля.

3. Способ по любому из п.1 или 2, дополнительно предусматривающий

электрическое соединение первой нагрузки с первой фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры;

электрическое отсоединение первой нагрузки от первой фазовой ветви силовой электрической инфраструктуры до того, как вторая нагрузка соединена со второй фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры; и

электрическое соединение второй нагрузки со второй фазовой ветвью силовой электрической инфраструктуры после того, как первая нагрузка отсоединена от первой фазовой ветви силовой электрической инфраструктуры.

4. Способ по любому из пп.1, 2 или 3, в котором определение при помощи компьютерного процессора одного или нескольких калибровочных коэффициентов для сенсорного устройства магнитного поля предусматривает

определение для каждого из двух или более датчиков магнитного поля калибровочных коэффициентов первой ветви для первой фазовой ветви;

определение для каждого из двух или более датчиков магнитного поля калибровочных коэффициентов второй ветви для второй фазовой ветви;

определение для каждого из двух или более датчиков магнитного поля результата сравнения по меньшей мере части калибровочных коэффициентов первой ветви и по меньшей мере части калибровочных коэффициентов второй ветви;

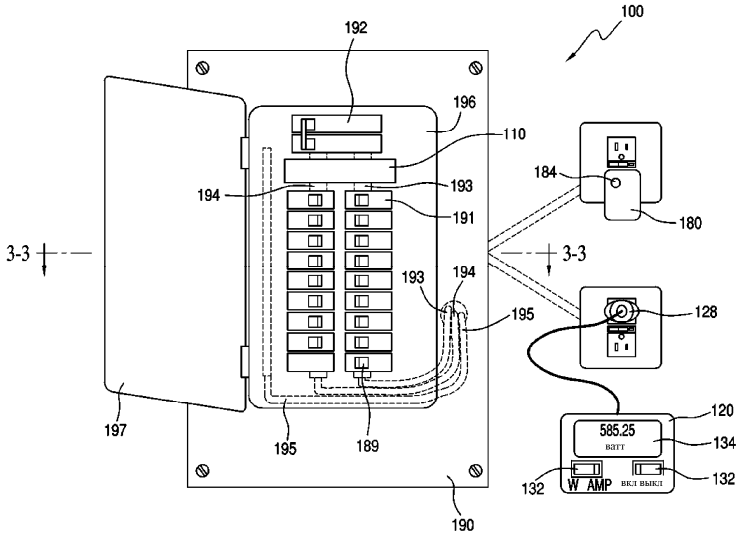
определение статистической моды для остающихся датчиков, каждый из которых выбран из двух или более датчиков магнитного поля, где для каждого из остающихся датчиков результат сравнения по меньшей мере части калибровочных коэффициентов первой ветви и по меньшей мере части калибровочных коэффициентов второй ветви находится в пределах заданного допуска; и

определение первой части одного или нескольких калибровочных коэффициентов, второй части одного или нескольких калибровочных коэффициентов и третьей части одного или нескольких калибровочных коэффициентов на основании, по меньшей мере частично, калибровочных коэффициентов первой ветви и калибровочных коэффициентов второй ветви остающихся датчиков.

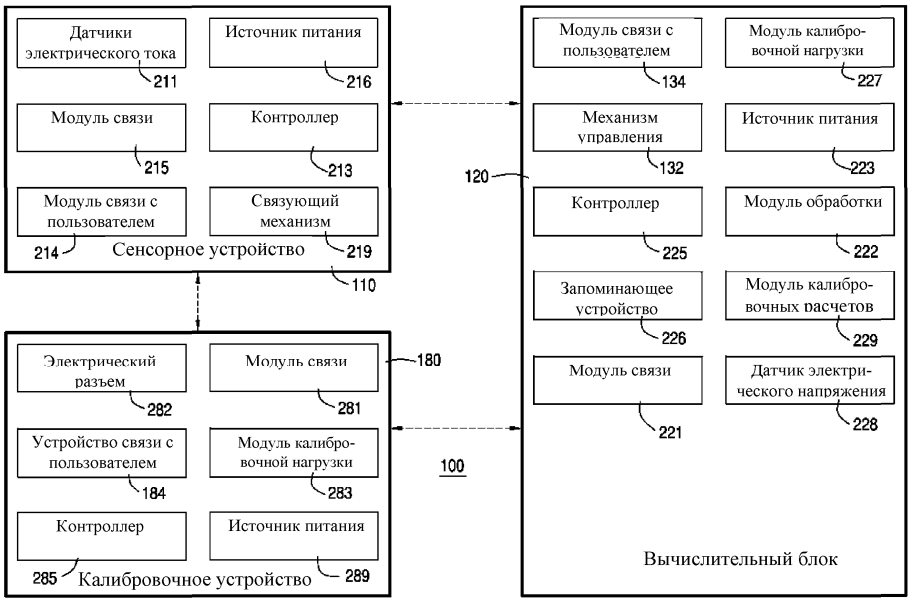
5. Способ по любому из пп.1, 2, 3 или 4, в котором

сенсорное устройство магнитного поля дополнительно содержит фазовый детектор, электрически соединенный с выходами двух или более датчиков магнитного поля; и

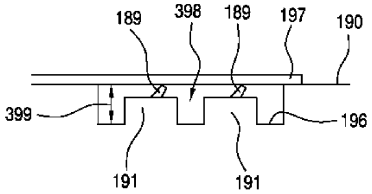
фазовый детектор выполнен с возможностью определения, когда угол сдвига фаз первого сигнала в первом датчике магнитного поля из двух или более датчиков магнитного поля сдвинут приблизительно на 180° относительно угла сдвига фаз второго сигнала во втором датчике магнитного поля из двух или более датчиков магнитного поля.



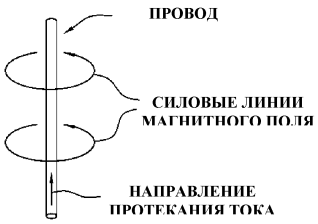
Фиг. 1



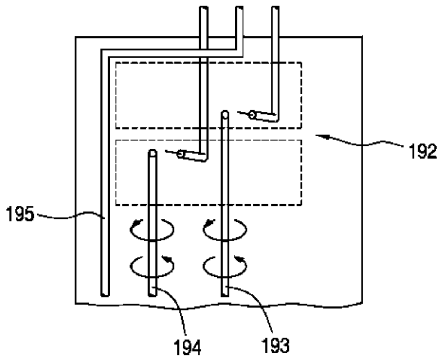
Фиг. 2



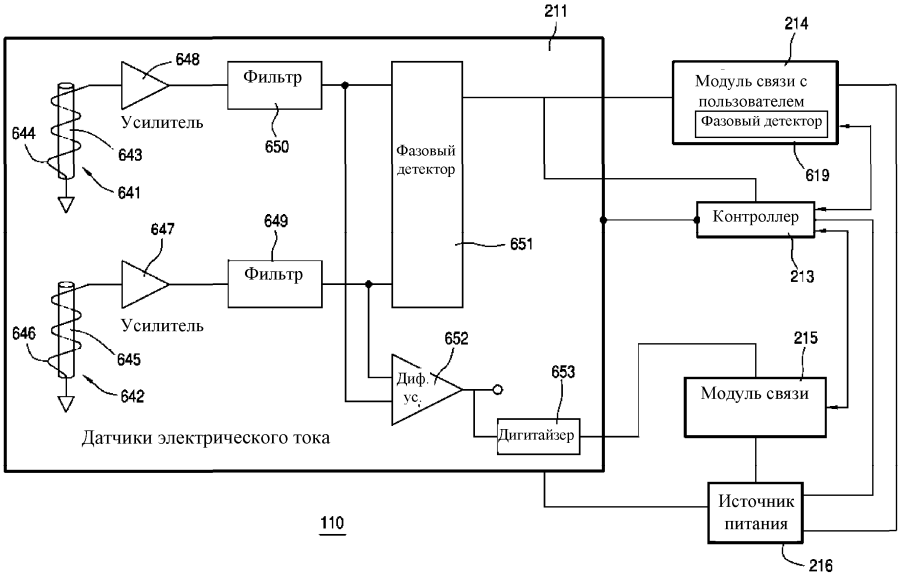
Фиг. 3



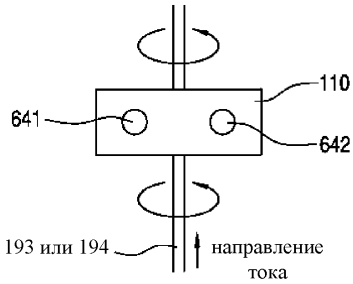
Фиг. 4



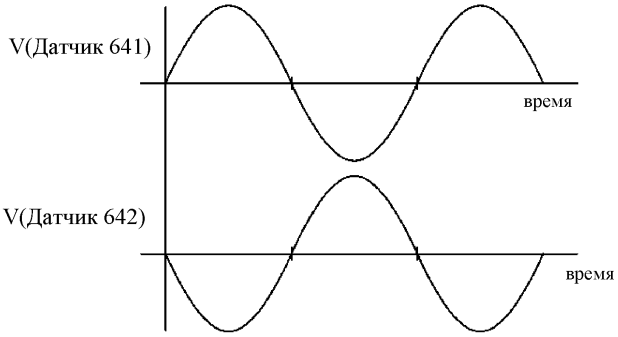
Фиг. 5



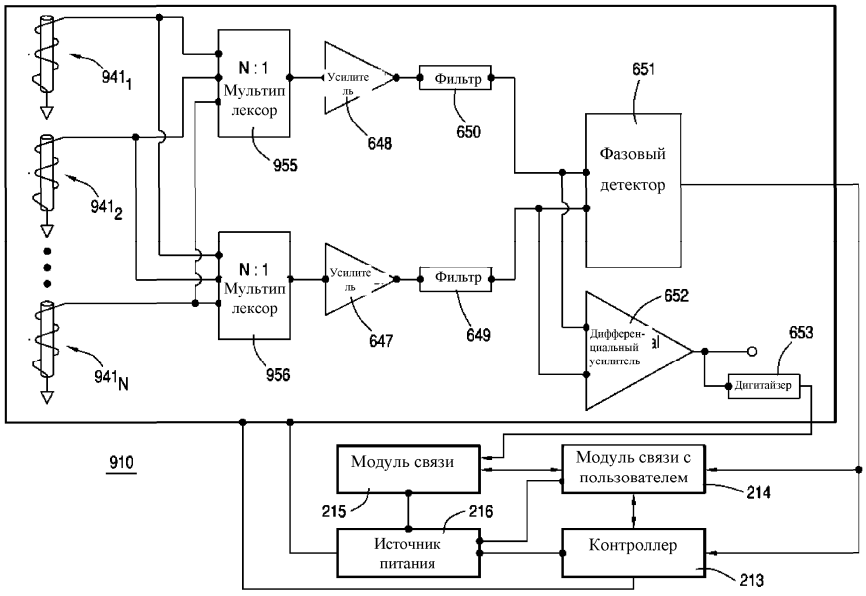
Фиг. 6



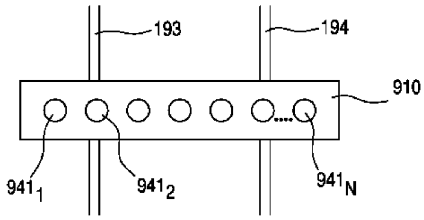
Фиг. 7



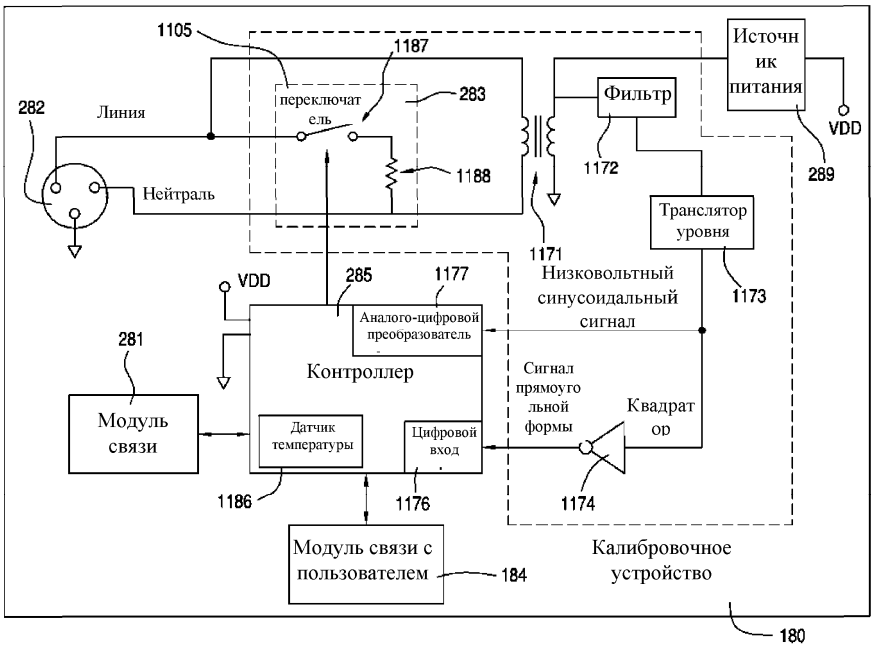
Фиг. 8



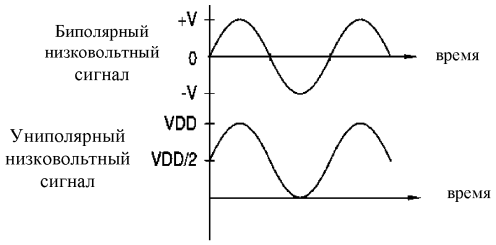
Фиг. 9



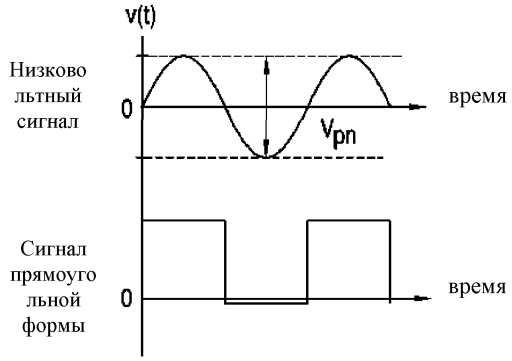
Фиг. 10



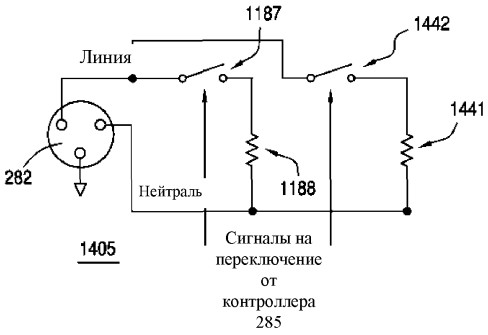
Фиг. 11



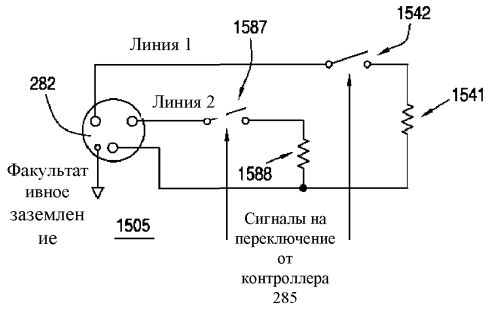
Фиг. 12



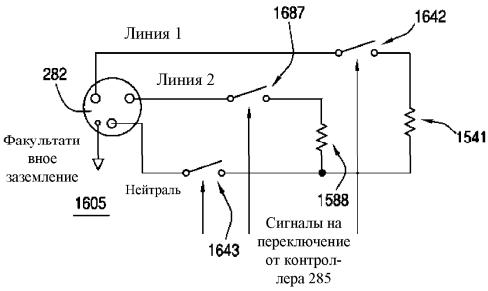
Фиг. 13



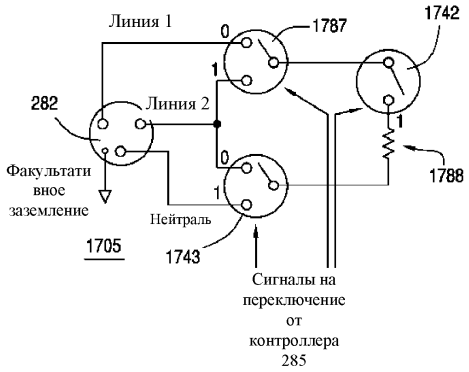
Фиг. 14



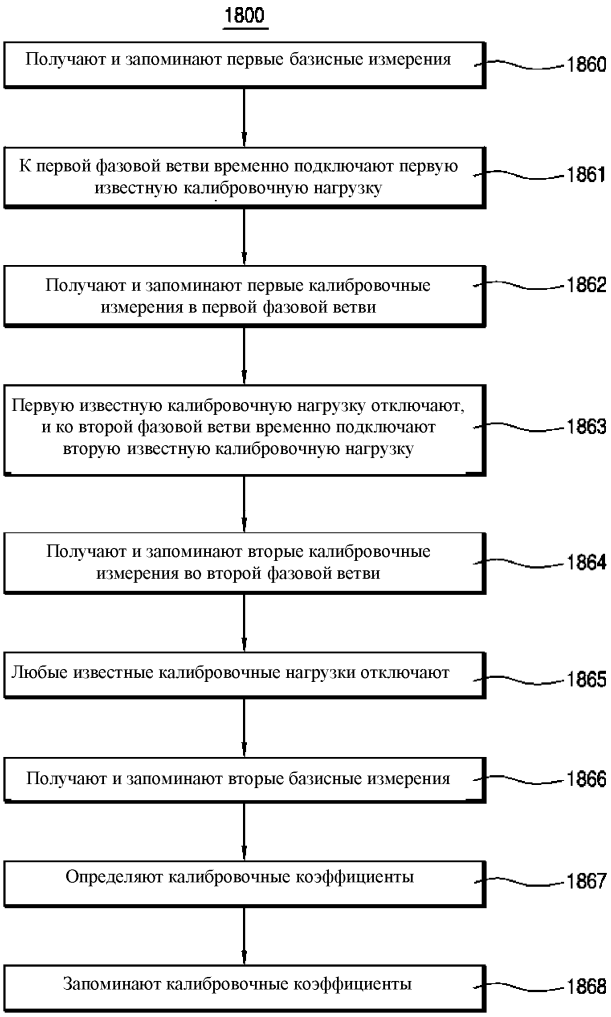
Фиг. 15



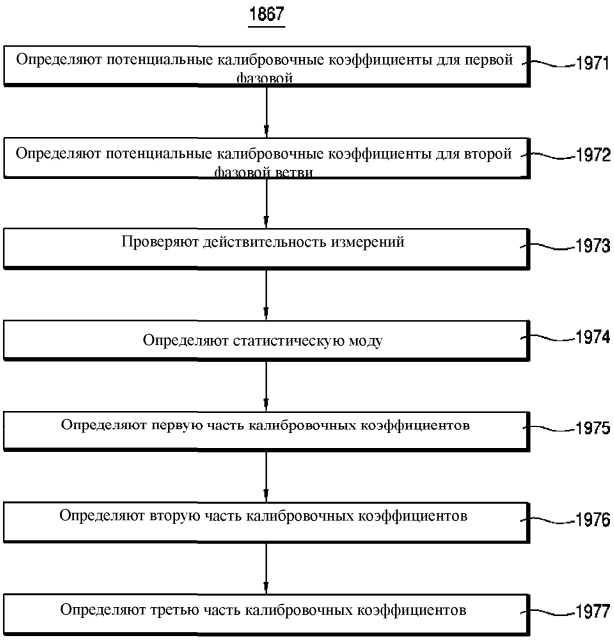
Фиг. 16


Линия 1
0
1787
1742
1
282
Линия 2
1
0
1788
Факультати
вное
заземление
1
Нейтраль
1705
1743
Сигналы на
переключение
от
контроллера
285

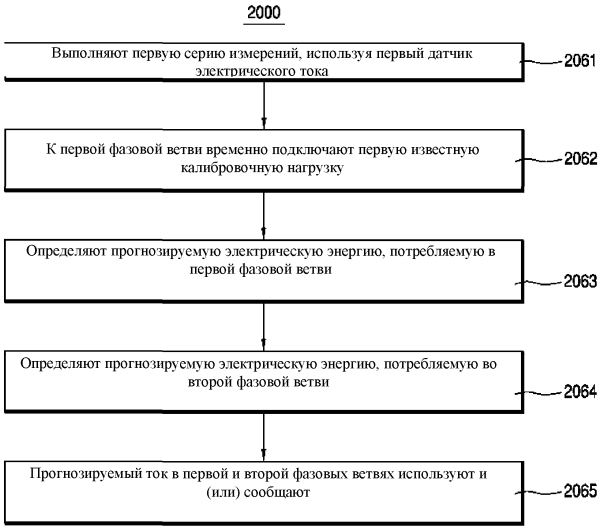
Фиг. 17


1800
Получают и запоминают первые базисные измерения
1860
К первой фазовой ветви временно подключают первую известную калибровочную нагрузку
1861
Получают и запоминают первые калибровочные измерения в первой фазовой ветви
1862
Первую известную калибровочную нагрузку отключают, и ко второй фазовой ветви временно подключают вторую известную калибровочную нагрузку
1863
Получают и запоминают вторые калибровочные измерения во второй фазовой ветви
1864
Любые известные калибровочные нагрузки отключают
1865
Получают и запоминают вторые базисные измерения
1866
Определяют калибровочные коэффициенты
1867
Запоминают калибровочные коэффициенты
1868

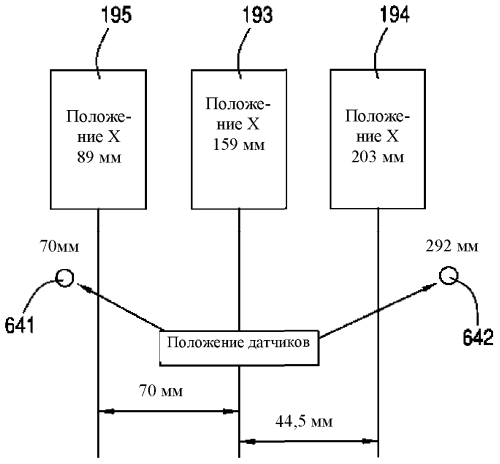
Фиг. 18



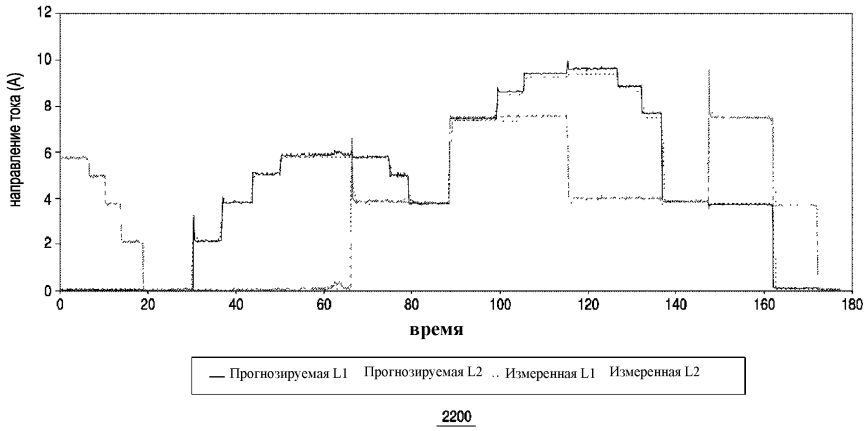
Фиг. 19



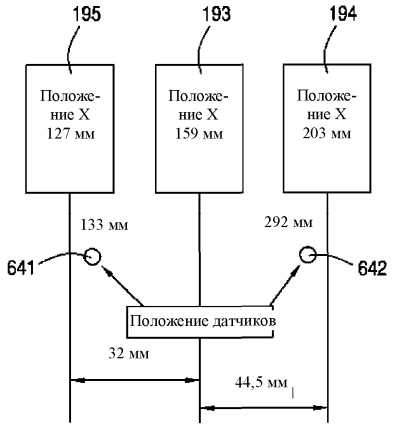
Фиг. 20



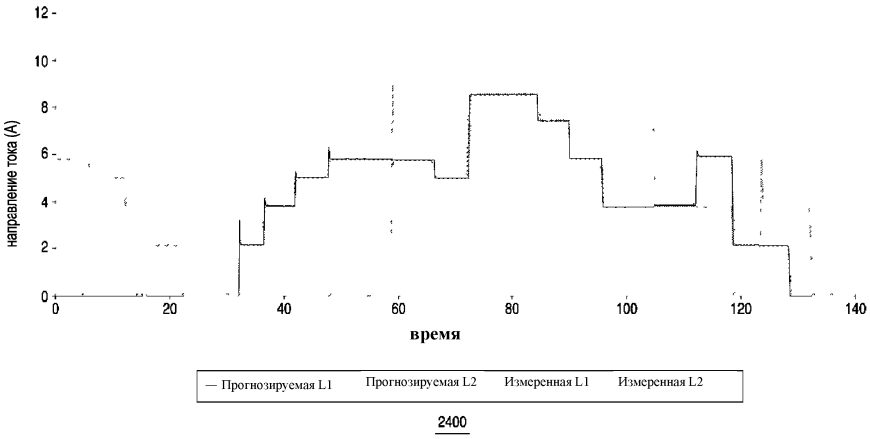
Фиг. 21



Фиг. 22



Фиг. 23



Фиг. 24