



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G06G 7/00 (2018.08); G06G 7/63 (2018.08)

(21) (22) Заявка: 2017146285, 27.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2017Дата регистрации:
29.04.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.12.2017

(45) Опубликовано: 29.04.2019 Бюл. № 13

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Центр интеллектуальной собственности,
Герасимовой С.А.

(72) Автор(ы):

Чусовитин Павел Валерьевич (RU),
Дехтяр Сергей Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)

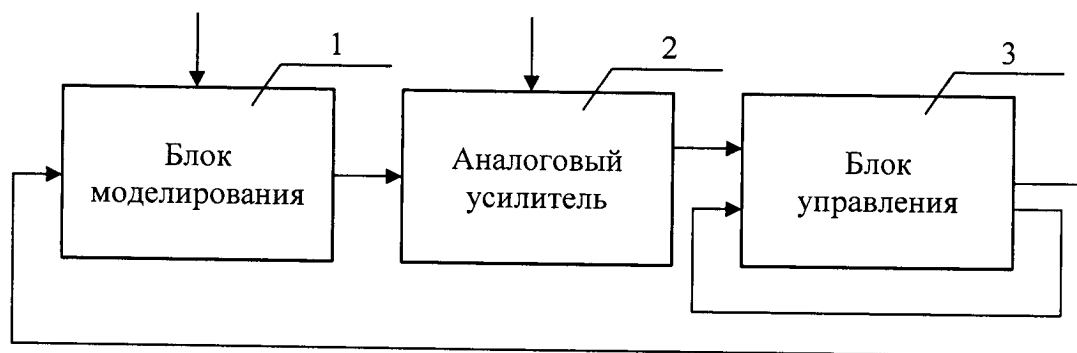
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2008146081 А, 27.05.2010. US
2014/0015555 А1, 16.01.2014. US 2008/0071482
А1, 20.03.2008. WO 2012/015508 А1, 02.02.2012.
US 2004/0199298 А1, 07.10.2004.

(54) Комплекс для испытания алгоритмов управления электроэнергетической системой

(57) Реферат:

Изобретение относится к области вычислительной техники. Технический результат заключается в повышении надежности электроэнергетической системы. Комплекс для испытания алгоритмов управления ЭЭС содержит: блок моделирования, аналоговый усилитель и блок управления, при этом блок моделирования выполнен с возможностью проведения симуляции компьютерной модели ЭЭС и вычисления значений показателей такой модели; аналоговый усилитель выполнен с

возможностью варьирования значения коэффициента усиления и предназначен для усиления значений показателей модели ЭЭС; блок управления выполнен с возможностью хранения алгоритмов управления ЭЭС, обработки усиленных значений показателей модели ЭЭС и применения алгоритмов управления ЭЭС для адаптации компьютерной модели ЭЭС, а также выполнен с возможностью внесения изменений в алгоритмы управления ЭЭС. 2 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

RU 2686641 C1

RU 2686641 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(19) **RU** (11)

2 686 641 ⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.

G06G 7/63 (2006.01)

(52) CPC

G06G 7/00 (2018.08); G06G 7/63 (2018.08)

(21) (22) Application: 2017146285, 27.12.2017

(24) Effective date for property rights:
27.12.2017

Registration date:
29.04.2019

Priority:

(22) Date of filing: 27.12.2017

(45) Date of publication: 29.04.2019 Bull. № 13

Mail address:

620002, g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, Uralskij
federalnyj universitet imeni pervogo Prezidenta
Rossii B.N. Eltsina, Tsentr intellektualnoj
sobstvennosti, Gerasimovoj S.A.

(72) Inventor(s):

**Chusovitin Pavel Valerevich (RU),
Dekhtyar Sergej Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Uralskij federalnyj universitet
imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina"
(RU)**

(54) **COMPLEX FOR TESTING ELECTRIC POWER SYSTEM CONTROL ALGORITHMS**

(57) Abstract:

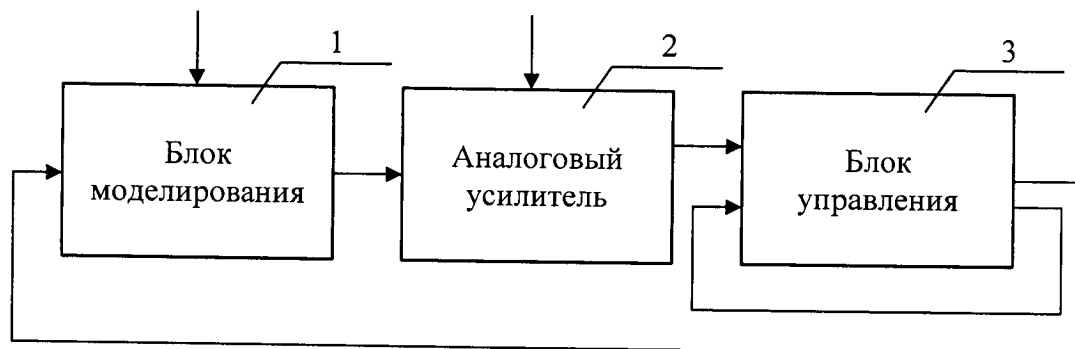
FIELD: calculating; counting.

SUBSTANCE: invention relates to computer engineering. System for testing electrical power system (EPS) control algorithms comprises: simulation unit, analog amplifier and control unit, wherein the simulation unit is configured to simulate a computer model of EPS and calculate values of indicators of such a model; analog amplifier is configured to vary gain value and is intended to amplify values of EPS model

values; control unit is configured to store EPS control algorithms, to process the amplified EPS model values and to apply EPS control algorithms for EPS adaptation of computer model, and is also configured to make changes in EPS control algorithms.

EFFECT: technical result consists in improvement of reliability of electric power system.

3 cl, 5 dwg



Фиг. 1

Область техники

Настоящее изобретение относится к электроэнергетическим системам (ЭЭС), а именно к средствам испытания алгоритмов управления такими системами, и может быть использовано для испытания алгоритмов управления в зависимости от

качественного и количественного состава компонентов ЭЭС и связей между ними в

предэксплуатационной стадии.

Уровень техники

Энергетика является основополагающей отраслью промышленности, без которой невозможно функционирование и развитие других отраслей. В связи с этим, к надежности функционирования электроэнергетической системы предъявляются высокие требования. В том числе, высокие требования предъявляются к функционированию одного из основных элементов электрической сети - подстанции.

Электрическая подстанция имеет в своем составе силовое оборудование (выключатели, силовые трансформаторы, измерительные трансформаторы, подходящие линии электропередачи и т.п.) и систему управления. Последняя имеет определяющее влияние на надежность функционирования подстанции. Большая часть технологических нарушений, происходящих в электроэнергетической системе, связана с отказами в системе управления и/или ошибками ее эксплуатации.

Наиболее эффективный способ испытания алгоритмов управления состоянием ЭЭС является симуляция компьютерных моделей в режиме реального времени, во время которой становится возможным осуществить отладку таких алгоритмов, обнаружить узкие места в системе управления, получить необходимые данные для принятия обоснованных решений касательно выбора типов и параметров оборудования, прогнозирования изменения состояний ЭЭС, в том числе, при возникновении аварийных ситуаций.

Также из уровня техники известно техническое решение по патенту РФ 2431913 (опубл. 20.10.2011), в котором раскрыт перехватчик сообщения, предназначенный для инспектирования конфигурации интеллектуального электронного устройства. Согласно известному решению, перехватчик сообщения содержит средства для перехвата сообщения через сеть передачи данных автоматики подстанции, и выделения стандартизированных специфичных для подстанции данных из этого сообщения, средство анализа выделенных данных с помощью информации о конфигурации системы автоматики подстанции или интеллектуального электронного устройства (ИЭУ).

Однако известное техническое решение не предполагает возможности испытания оборудования подстанции, в том числе, ИЭУ, в предэксплуатационной стадии, что может в дальнейшем усложнить процессы управления состоянием подстанции. К тому же в данном техническом решении не раскрыты процедуры обеспечения испытаний аналогового оборудования наравне с цифровым.

Из уровня техники известно техническое решение по заявке US 2014/0015555, в котором раскрыты система и способ имитационного моделирования электрической сети. Представленное техническое решение предназначено для решения ряда задач, а именно: проведение испытаний электрогенераторов и их функционирования в составе электроэнергетических систем в различных странах, проведение испытаний на совместимость с другим оборудованием и принятыми в области техники стандартами, обеспечение оператора средством контроля ЭЭС, которое позволяет моделировать значения параметров ЭЭС, как ожидаемые, так и неожиданные. Система по указанной заявке включает направленный ответвитель, выполненный с возможностью выполнять перепады напряжения и связанный с частотным преобразователем, усилитель мощности.

Однако известное техническое решение предназначено, по существу, лишь для обеспечения контроля за значениями параметров процессов, протекающих в реальной ЭЭС, и не позволяет осуществлять отладку алгоритмов управления в соответствии с изменениями в названных значениях.

5 Раскрытие сущности изобретения

В основу настоящего изобретения положена задача повышения надежности реальной ЭЭС.

Технический результат заключается в повышении точности алгоритмов управления реальной ЭЭС, испытание которых осуществляется в предэксплуатационной стадии.

10 Технический результат достигается за счет того, что комплекс для испытания алгоритмов управления электроэнергетической системой (ЭЭС) включает блок моделирования, первый цифровой вход которого предназначен для загрузки компьютерной модели реальной ЭЭС, при этом блок моделирования выполнен с возможностью проведения симуляции компьютерной модели ЭЭС и вычисления значений показателей такой модели; аналоговый усилитель, входы которого соединены с аналоговыми выходами блока моделирования, при этом аналоговый усилитель выполнен с возможностью варьирования значения коэффициента усиления и предназначен для усиления значений показателей модели ЭЭС; блок управления, аналоговые входы которого соединены с выходами аналогового усилителя, а цифровой выход соединен со вторым цифровым входом блока моделирования, при этом блок управления выполнен с возможностью хранения алгоритмов управления ЭЭС, обработки усиленных значений показателей модели ЭЭС и применения, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС для адаптации компьютерной модели ЭЭС в случае если, по меньшей мере, одно из усиленных значений показателей такой модели соответствует условию применения, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС, а также выполнен с возможностью внесения изменений в алгоритмы управления ЭЭС в случаях, если применение, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС является ложным или если применения, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС не происходит при соответствии, по меньшей мере, одного из усиленных значений показателей компьютерной модели ЭЭС, по меньшей мере, одному из условий применения алгоритма управления ЭЭС.

При этом блок управления и блок моделирования выполнены с возможностью обмена данными согласно протоколам из стека TCP/IP или протоколам МЭК-61850.

35 При этом аналоговый усилитель представлен аналоговым усилителем значений тока и напряжения.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 представлено схематичное изображение устройства испытаний алгоритмов управления состоянием ЭЭС.

40 На фиг. 2 представлена модель электроэнергетической системы для первого примера использования настоящего изобретения.

На фиг. 3 представлен алгоритм управления электроэнергетической системой для первого примера использования настоящего изобретения.

На фиг. 4 представлена модель электроэнергетической системы для второго примера использования настоящего изобретения.

45 На фиг. 5 представлен алгоритм управления электроэнергетической системой для второго примера использования настоящего изобретения.

Осуществление изобретения

Как уже было отмечено выше, настоящее изобретение относится к

автоматизированным электроэнергетическим системам (ЭЭС).

В частности, ЭЭС может являться, к примеру, подстанцией. В таком случае первичная (основная) система (primary system) подстанции представлена совокупностью всего оборудования подстанции и распределительных устройств. Взаимодействующая группа
5 всех компонентов и систем подстанции, выполняющая функции управления, защиты, текущего мониторинга и т.д. образует вторичную систему (secondary system), которая в случае применения цифровой технологии по смыслу своего понятия является автоматизированной системой управления технологическими процессами.

Многочисленные устройства, входящие в совокупность оборудования подстанции,
10 имеют специальное назначение или выполняют определенную функцию. Такими устройствами (механизмами, единицами оборудования) могут являться, например, выключатели, реле или вычислительные устройства, а также интеллектуальные электронные устройства (IED - intelligent electronic device), работающие согласно протоколу МЭК-61850. Обмен данными происходит посредством системы связи,
15 представляющей собой взаимосвязанный набор всех каналов связи, поддерживающих обмен данными, в том числе, согласно протоколам из стека ТСР/ІР и протоколу МЭК-61850.

Функциональные блоки, обеспечивающие работу настоящего изобретения, могут быть реализованы посредством различных сочетаний аппаратных и программных
20 средств. Каждый блок может быть реализован одним или более процессорами, выполненными с возможностью исполнения программных инструкций. При создании программных инструкций могут быть использованы различные библиотеки, оболочки, приложения, программные пакеты и т.д.

Под состоянием ЭЭС следует понимать режим работы подстанции в заданный момент
25 времени или временной интервал на основании компьютерной модели и набора измерений (измеренных величин). Компьютерная модель включает в себя схему компонентов ЭЭС и имитационную модель. В основу имитационной модели положены процессы, протекающие в ЭЭС и формализованные в виде систем дифференциальных, алгебраических уравнений и ограничений, позволяющих оценить состояние ЭЭС в
30 динамике. Каждый процесс характеризуется значениями его показателей. Измеренные значения показателей образуют набор измерений.

Комплекс для испытания алгоритмов управления электроэнергетической системой включает в себя блок моделирования 1, аналоговый усилитель 2 и блок управления 3. Блок моделирования 1 предназначен непосредственно для выполнения симуляций
35 компьютерной модели реальной ЭЭС. Для этого блок 1 выполнен с возможностью проведения симуляции компьютерной модели ЭЭС и вычисления значений показателей такой модели. Первый цифровой вход блока 1 предназначен для получения компьютерной модели реальной ЭЭС со стороны внешнего узла вычислительной техники. Таким узлом может являться, к примеру, автоматизированное рабочее место
40 оператора. Для создания модели может быть использовано специализированное программное обеспечение, например, MathWorks Simulink с подключением необходимых библиотек. В этом же программном обеспечении могут быть заданы начальным условия для всех значений показателей ЭЭС перед проведением необходимого числа симуляций. В случае необходимости блок 1 может быть дополнительно снабжен средствами
45 компиляции модели, созданной в MathWorks Simulink для ее последующей симуляции, а также ассоциации функциональных (цифровых, логических) выходов компонентов компьютерной модели с аналоговыми (физическими) выходами блока моделирования 1.

Аналоговый усилитель 2 предназначен для усиления значений показателей, вычисленных по итогам симуляции, с целью, во-первых, сохранения аналогового сигнала, во-вторых, обеспечения непосредственного присоединения аналогового оборудования подстанции к блоку управления 3 по окончании всех необходимых процедур испытания алгоритмов управления. Аналоговый усилитель может быть представлен, в частности, усилителем значений тока и напряжения. Возможность варьирования значений коэффициента усиления может быть обеспечена посредством дополнительного цифрового входа, например, интерфейса USB. Соединение блока моделирования 1 с аналоговым усилителем может быть осуществлено посредством стандартных интерфейсов, например, DB-37 или DA-15.

Блок управления 3 может быть представлен микропроцессорным устройством управления и предназначен для испытания алгоритмов управления ЭЭС. Для этого блок 3 выполнен с возможностью хранения алгоритмов управления ЭЭС, обработки усиленных значений показателей модели ЭЭС и применения, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС для адаптации компьютерной модели ЭЭС в случае если, по меньшей мере, одно из усиленных значения показателей такой модели соответствует условию применения, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС. Также блок 3 выполнен с возможностью внесения изменений в алгоритмы управления ЭЭС в случаях, если применение, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС является ложным или если применения, по меньшей мере, одного из алгоритмов управления ЭЭС не происходит при соответствии, по меньшей мере, одного из усиленных значений показателей компьютерной модели ЭЭС, по меньшей мере, одному из условий применения алгоритма управления ЭЭС.

Рассмотрим первый пример использования настоящего изобретения, заключающийся в выполнении синхронизации генератора с электрической сетью. Для выполнения синхронизации необходимо выровнять частоту вращения и напряжение генератора, соответственно, с частотой сети и напряжением в ней, также подключить генератор при определенной разности углов между векторами напряжения генератора и сети.

Модель ЭЭС с синхронизируемым с ней генератором представлена на фиг. 2. В соответствии с фиг. 2, блок Generator - это электрический генератор, блок Regulators - модели регуляторов и первичного двигателя, необходимые для корректной работы генератора. На выходе этого блока механическая мощность первичного двигателя P_t и напряжение возбуждения V_f . Входными параметрами являются текущие параметры генератора, поступающие с его порта m (отклонение скорости вращения ротора от номинальной $d\omega$, статорное напряжение по осям d и q , соответственно, v_d и v_q , а также скорость вращения ротора ω_m). Выходные порты dW и F_{gen} предназначены для передачи соответствующих параметров на выходы блока моделирования 1, а f_{corr} - для получения параметров с входов блока моделирования 1.

Через трансформатор Transformer и выключатель Breaker генератор подключается к ЭЭС System. Блоки Generator Measurement и System Measurement предназначены для выполнения измерений со стороны генератора и со стороны ЭЭС соответственно. Выходные значения блоков (напряжения U_{sys} и U_{gen}) выводятся на выходы блока моделирования 1.

С входного порта модели Q принимается сигнал на включение выключателя. С входного порта f_{corr} принимается сигнал коррекции частоты вращения генератора.

Входные порты алгоритма F_{gen} , F_{sys} , U_{sys} , U_{gen} , dW получают данные с входов блока управления 1. Блок Add вычисляет разницу между частотой в ЭЭС и частотой генератора. Блок GetDelta вычисляет разницу между напряжением в ЭЭС и напряжением

генератора (по модулю dU и по углу $d\Delta$). Блок Frequency Corrector осуществляет коррекцию частоты вращения генератора (чтобы она стала равной частоте вращения сети) и выдает корректирующий сигнал на выходной порт f_{corr} . Блок Logical Unit на основании значений dU , $d\omega$, $d\Delta$ принимает решение о возможности выполнения синхронизации и выдает управляющие воздействия на выходной порт Q.

Рассмотрим второй пример использования настоящего изобретения, заключающийся в испытании алгоритма защиты линии для модели ЭЭС, представленной на фиг. 4.

Дистанционная защита линии предназначена для отключения линии в случае возникновения на ней короткого замыкания. Принцип действия заключается в определении электрического расстояния (полного сопротивления) до точки замыкания по измерениям токов и напряжений. В данном примере, если место замыкания оказывается в пределах защищаемой линии, защита должна срабатывать и отключать выключатель.

В соответствии с фиг. 1, блок Generator - это электрический генератор. Блок Regulators - модели регуляторов и первичного двигателя, необходимые для корректной работы генератора. На выходе этого блока механическая мощность первичного двигателя P_t и напряжение возбуждения V_f . Входными параметрами являются текущие параметры генератора, поступающие с его порта m (отклонение скорости вращения ротора от номинальной $d\omega$, статорное напряжение по осям d и q , соответственно, v_d и v_q , а также скорость вращения ротора ω_m).

Через трансформатор Transformer и выключатель Breaker генератор подключается к ЛЭП, которая моделируется блоками Power Line 1 и Power Line 2. В середине линии моделируется короткое замыкание при помощи блока Three-Phase Fault. ЛЭП подключена к внешней ЭЭС System. Блок System Measurement предназначен для выполнения измерений фазных токов и напряжений в начале линии. Значения измерений (напряжения U_{abc} и токи I_{abc}) выводятся на выходы блока моделирования 1.

С входного порта модели Q принимается сигнал на отключение выключателя.

В соответствии с фиг. 5, входные порты алгоритма U_{abc} и I_{abc} получают данные с входов блока управления 3. Блок «Re and Im Calculation» осуществляет расчет действительной и мнимой составляющих фазных токов и напряжений, а также токов нулевой последовательности. По этим величинам блок «R and X Calculation» осуществляет расчет активного и реактивного сопротивления до места замыкания по каждой фазе. Далее логический блок «Logics» по вычисленным сопротивлениям определяет, обнаружено ли по какой-либо фазе замыкание на защищаемой линии. При обнаружении замыкания появляется логический импульс на выходе блока соответствующей фазы (Y_a , Y_b или Y_c). Блок логического ИЛИ «OR» обеспечивает появление логического импульса на выходе алгоритма Q при срабатывании защиты на любой из фаз.

Одним из преимуществ настоящего изобретения по отношению к уровню техники является обеспечение возможности осуществить отладку алгоритмов управления ЭЭС, а именно управления состоянием ЭЭС, в зависимости от качественного и количественного состава компонентов реальной ЭЭС и связей между ними, обеспечить запрограммированную реакцию на изменение состояния ЭЭС в случае необходимости, предоставить оператору автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) ЭЭС средство обеспечения наблюдения и контроля за процессами, протекающими в реальной ЭЭС.

Еще одним преимуществом настоящего изобретения является повышение надежности ЭЭС за счет того, что за счет симуляции компьютерных моделей реальной ЭЭС и испытания алгоритмов управления ЭЭС становится возможным провести симуляцию

различных ситуаций, изменяющих состояние ЭЭС и приближенных к реальности, и тем самым убедиться в надежности срабатывания алгоритмов управления, произвести их отладку.

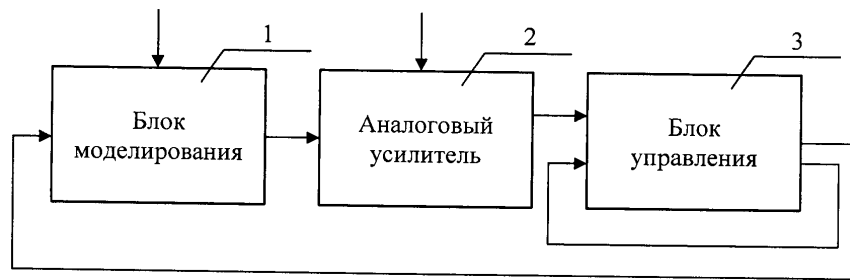
Еще одним преимуществом настоящего изобретения является возможность осуществления всех выше названных действий в предэксплуатационной стадии, т.е. до внедрения алгоритмов управления состоянием ЭЭС на реальном объекте.

(57) Формула изобретения

1. Комплекс для испытания алгоритмов управления электроэнергетической системой (ЭЭС), включающий блок моделирования, первый цифровой вход которого предназначен для загрузки компьютерной модели реальной ЭЭС, при этом блок моделирования выполнен с возможностью проведения симуляции компьютерной модели ЭЭС и вычисления значений показателей такой модели; аналоговый усилитель, входы которого соединены с аналоговыми выходами блока моделирования, при этом аналоговый усилитель выполнен с возможностью варьирования значения коэффициента усиления и предназначен для усиления значений показателей модели ЭЭС; блок управления, аналоговые входы которого соединены с выходами аналогового усилителя, а цифровой выход соединен со вторым цифровым входом блока моделирования, при этом блок управления выполнен с возможностью хранения алгоритмов управления ЭЭС, обработки усиленных значений показателей модели ЭЭС и применения по меньшей мере одного из алгоритмов управления ЭЭС для адаптации компьютерной модели ЭЭС в случае, если по меньшей мере одно из усиленных значений показателей такой модели соответствует условию применения по меньшей мере одного из алгоритмов управления ЭЭС, а также выполнен с возможностью внесения изменений в алгоритмы управления ЭЭС в случаях, если применение по меньшей мере одного из алгоритмов управления ЭЭС является ложным или если применения по меньшей мере одного из алгоритмов управления ЭЭС не происходит при соответствии по меньшей мере одного из усиленных значений показателей компьютерной модели ЭЭС по меньшей мере одному из условий применения алгоритма управления ЭЭС.
2. Комплекс по п. 1, отличающийся тем, что блок моделирования и блок управления выполнены с возможностью обмена данными согласно протоколам из стека ТСР/ІР или протоколам МЭК-61850.
3. Комплекс по п. 1, отличающийся тем, что аналоговый усилитель представлен аналоговым усилителем значений тока и напряжения.

1

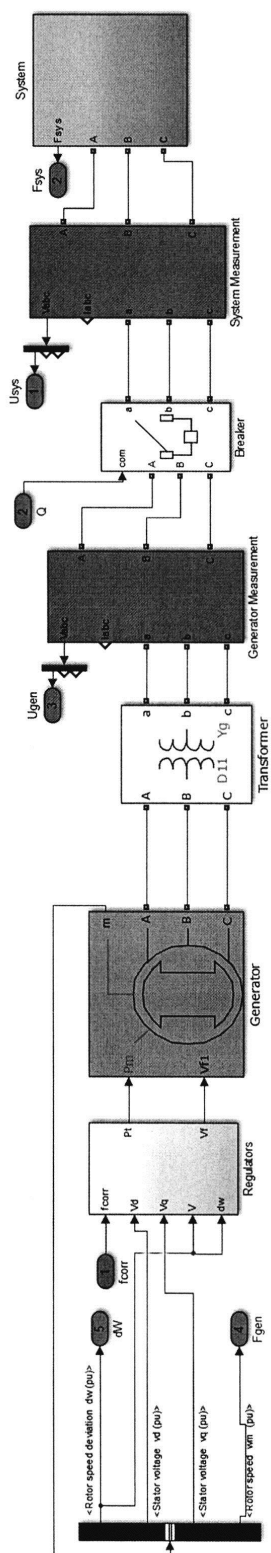
Комплекс для испытания алгоритмов
управления электроэнергетической системой



Фиг. 1

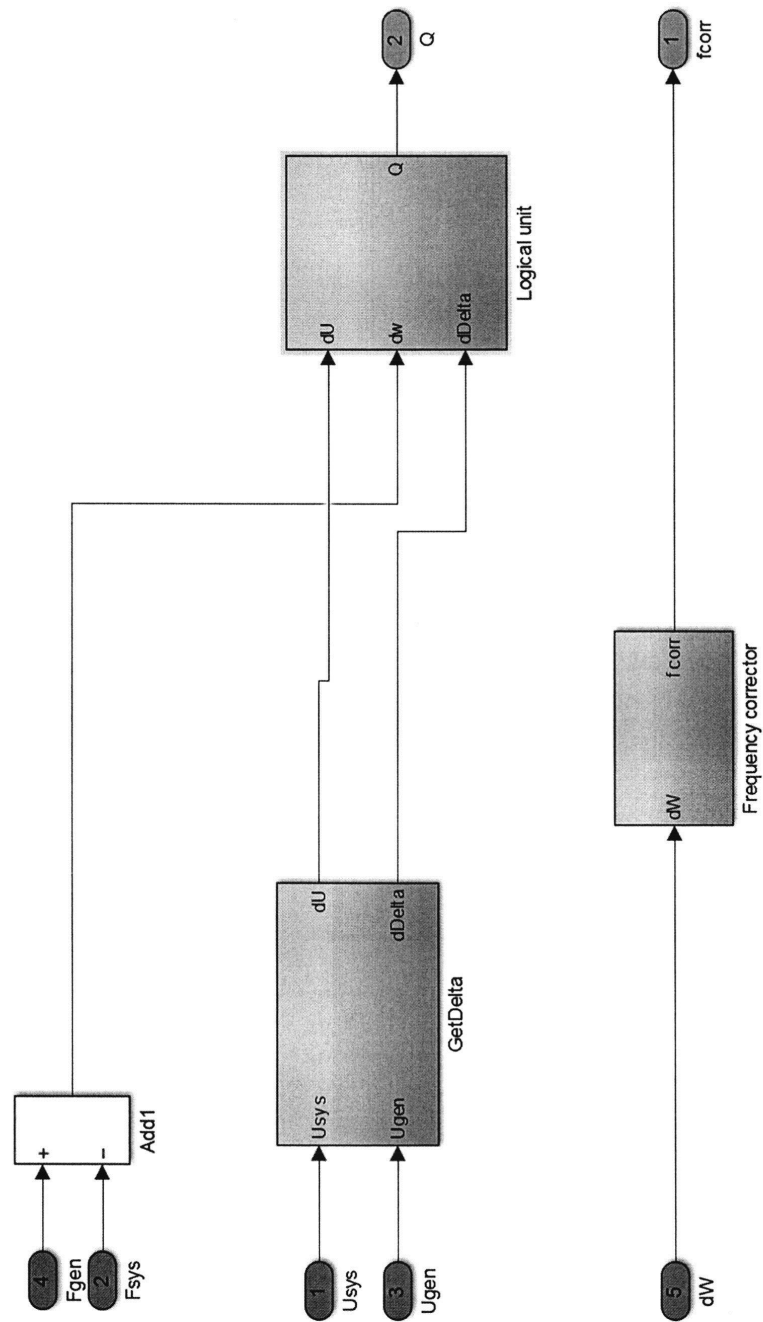
2

Комплекс для испытания алгоритмов управления электроэнергетической системой



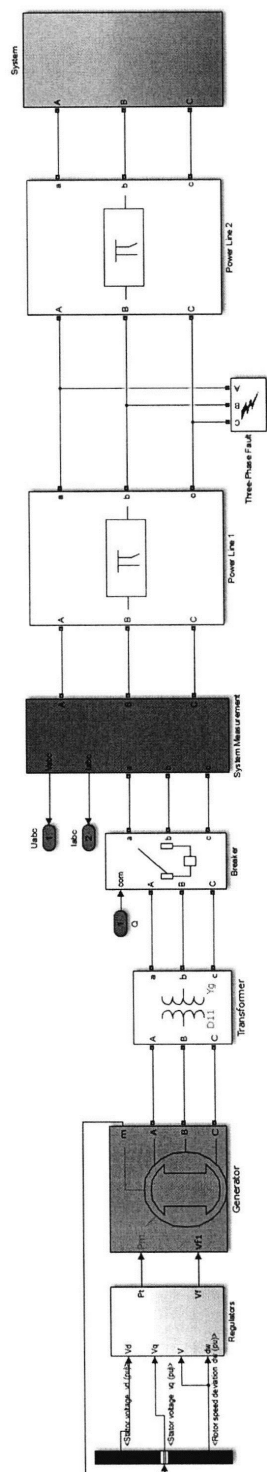
Фиг. 2

Комплекс для испытания алгоритмов
управления электроэнергетической системой



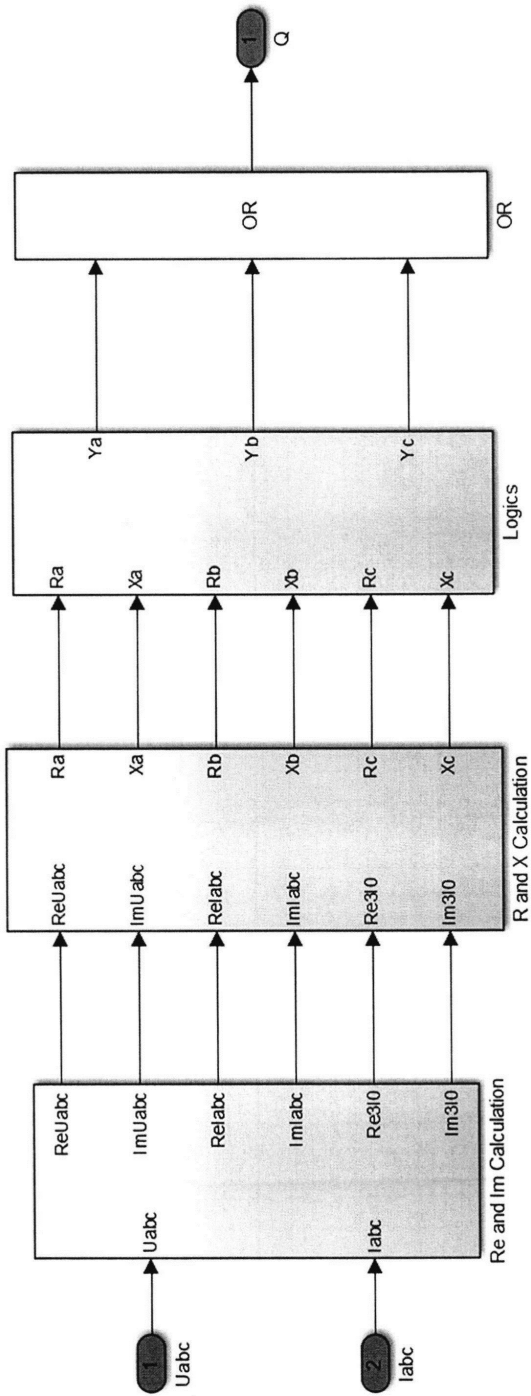
Фиг. 3
13

Комплекс для испытания алгоритмов управления электроэнергетической системой



Фиг. 4

Комплекс для испытания алгоритмов
управления электроэнергетической системой



Фиг. 5