

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2416855

### УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ FUZZY- ЛОГИКИ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2010114672

Приоритет изобретения 13 апреля 2010 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 апреля 2011 г.

Срок действия патента истекает 13 апреля 2030 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК

**H02J3/12** (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: **2010114672/07**,  
**13.04.2010**

(24) Дата начала отсчета срока  
действия патента:  
**13.04.2010**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **13.04.2010**

(45) Опубликовано: **20.04.2011**

(56) Список документов,  
цитированных в отчете о  
поиске: **RU 2280316 C2, 20.07.2006.**  
**RU 2055440 C1, 27.02.1996. DE**  
**4214431 A1, 11.11.1993.**

Адрес для переписки:  
**199106, Санкт-Петербург, В.О. 21**  
**линия, 2, СПГГИ (ТУ), отдел**  
**интеллектуальной собственности и**  
**трансфера технологий (отдел ИС и**  
**ТТ), рег.№ 314**

(72) Автор(ы):

**Абрамович Борис Николаевич (RU),**  
**Тарасов Дмитрий Михайлович (RU),**  
**Шевчук Антон Павлович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

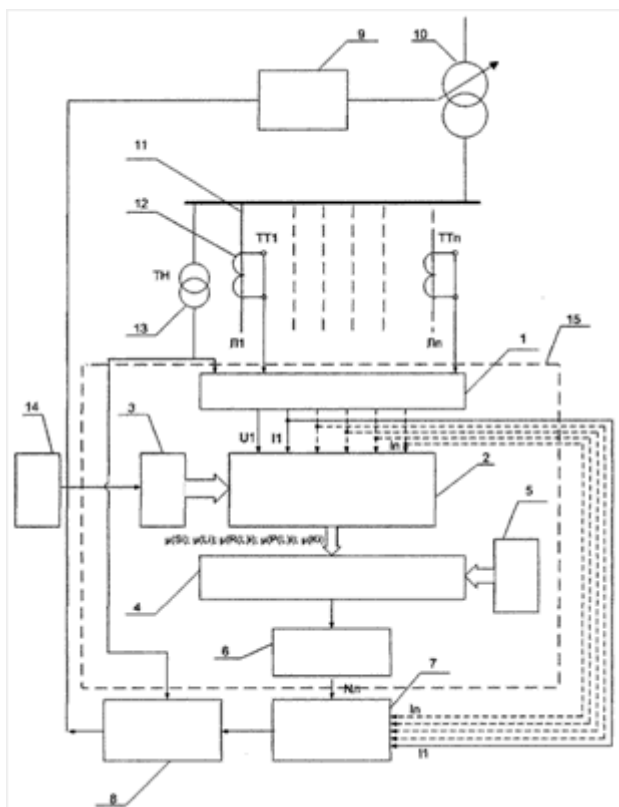
**Государственное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**"Санкт-Петербургский государственный**  
**горный институт имени Г.В. Плеханова**  
**(технический университет)" (RU)**

**(54) УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ FUZZY-ЛОГИКИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к устройству автоматического воздействия на электрические сети энергоснабжения при помощи силового трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения, а также оснащено системой автоматического управления коэффициентом трансформации силового трансформатора, включающему в себя быстродействующий автоматический регулятор (БАР) и систему управления, позволяющую производить операции с нечеткой логикой и управлять работой БАР. Устройство позволяет снизить суммарные потери электрической энергии в распределительных сетях, а также обеспечить оптимальный режим напряжения на всей совокупности электрооборудования, подключенного к силовому трансформатору. Разработанная структура, алгоритмическое обеспечение и аппаратная реализация микропроцессорного устройства БАР РПН с применением контроллера, способного реализовать математический аппарат нечеткой логики (fuzzy-логики), осуществляет автоматический выбор определяющей линии в реальном режиме времени, с учетом категоричности энергообъекта по ущербу от отклонения напряжения, разнородности и разновременности нагрузки, ее распределение вдоль питающей линии и позволяет реализовать технический результат -

рациональный закон управления режимом напряжения, также поддерживать данный рациональный режим напряжения, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 13109-97. 1 ил.



Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к устройствам автоматического воздействия на электрические сети. Устройство может быть использовано в системах электроснабжения промышленных предприятий, также предприятий сырьевого комплекса, электросети которых обладают большой протяженностью и разветвленностью, также характеризуются наличием нелинейной нагрузки на напряжениях 6 и 0,4 кВ и ее несимметрией по секциям шин узловых подстанций.

Известно устройство (патент Германии DE 4214431 A1, дата публикации 11.11.1993, H01N 9/00) воздействия на электросети путем регулирования напряжения, которое состоит из нескольких компонентов. Во-первых, это измерительный трансформатор напряжения, с помощью которого регистрируется в качестве фактического значения подлежащее регулированию напряжение. Также предусмотрен автоматический регулятор напряжения, установленный на щите управления или в другом аналогичном месте. Этот регулятор напряжения получает по электрическим сигнальным линиям от измерительного трансформатора его электрический выходной сигнал в качестве информации о фактическом значении измеренного напряжения. В регуляторе напряжения это фактическое значение напряжения затем сравнивается с предварительно установленным заданным значением напряжения, которое должно поддерживаться, по возможности, постоянным трансформатором со ступенчатым регулированием напряжения, и с учетом других заранее установленных регулировочных параметров, как, например, время задержки, в случае необходимости генерируется команда на переключение "Выше" или "Ниже". Эта команда на переключение передается, в свою очередь, по электрическим соединительным линиям на электропривод трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения. В зависимости от направления "Выше" или "Ниже" переданной команды на переключение электропривод вызывает вращение своего приводного вала, через тягу привода это вращательное движение передается на переключатель ступеней обмоток трансформатора, который затем в зависимости от направления вращения осуществляет переключение с включенного в данный момент ответвления обмотки на следующее более высокое или следующее более низкое ответвление. Сам переключатель ступеней обмоток трансформатора обычно погружен в бак трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения или закреплен на его наружной стороне, так же как и соответствующий электропривод. По другим электрическим соединительным линиям назад с привода на регулятор напряжения передается определенная информация, такая как, например, положение переключателя ступеней обмоток трансформатора в данный момент.

Недостатком этого устройства является то, что электропривод имеет несколько электрических выходов, которые должны соединяться все при помощи отдельных электрических линий с соответствующим

регулятором напряжения. Эти соединительные линии необходимы в связи с тем, что многочисленная информация, например о текущем положении переключателя ступеней обмоток трансформатора, о вращении и направлении вращения приводного вала и т.д., производится в электроприводе при помощи электрических и электромеханических средств, а обрабатывается только в находящемся на значительном удалении регуляторе напряжения. Также измерительный трансформатор и регулятор напряжения должны быть соединены друг с другом при помощи электрических линий.

Известно устройство автоматического воздействия на электросети и электропривод для такого устройства (патент РФ № 2055440, дата подачи заявки 05.10.1992, H02J 3/12), в котором, за счет введения в регулятор напряжения блока определения текущего положения переключателя РПН, блока расчета эффективности регулирования и блока сравнения с выходами "да" и "нет" эффективности регулирования с заданным значением в устройстве происходит направленный перебор различных сочетаний выдержек времени и зоны нечувствительности путем поиска оптимальных параметров регулирования.

Недостатком устройства является то, что поиск оптимальных параметров регулирования осуществляется направленным перебором различных сочетаний выдержек времени и зоны нечувствительности, сопровождающийся поиском оптимальных параметров регулирования, что в данном случае не позволяет охватить весь необходимый спектр факторов, влияющих на режим напряжения электроустановок, подключенных к силовому трансформатору, в том числе текущие мощности по присоединениям, состав работающей нагрузки, не оцениваются и не учитываются ущербы при работе электрооборудования в режиме, отличном от оптимального, и уровень потерь, возникающий в питающих нагрузку линиях электропередачи.

Известно устройство (патент РФ № 2280316, дата подачи заявки 26.03.2002, H02J 3/12), принятое за прототип, которое согласно изобретению состоит из устройства для создания фактического значения напряжения, установленного непосредственно на трансформаторе, из электронного электропривода, содержащего дополнительно также электрические и электронные средства регулирования напряжения для воздействия на электросети, расположенного также непосредственно на трансформаторе и соединенного, в свою очередь, механически непосредственно при помощи обычного приводного вала с переключателем ступеней обмоток трансформатора на или в трансформаторе. Все узлы данного устройства размещены непосредственно на трансформаторе. В устройстве предусмотрен преобразователь напряжения в виде измерительного трансформатора, установленного на трансформаторе со ступенчатым регулированием. Измерительный трансформатор регистрирует соответственно действительное значение регулируемого напряжения и через единственную электрическую измерительную линию передает его на электропривод, в котором предусмотрены средства для сравнения этого действительного значения с установленным заданным значением и для вырабатывания в зависимости от результата сравнения исполнительной команды.

Недостатком прототипа являются заложенные в регуляторы напряжения «жесткие» алгоритмы управления, которые не способны учитывать стохастический характер изменения нагрузки. Это накладывает ограничения на использование данных устройств, так как зона нечувствительности существенно расширена. Еще одним недостатком указанного устройства является то, что входные сигналы регулятора являются аналоговыми. При передаче таких сигналов возможно их искажение, тогда как цифровая информация может быть передана без потерь качества. В результате ошибки, возможные при передаче регулировочных воздействий с применением аналоговых сигналов, существенно повышают риски по нарушению рационального уровня напряжения в СЭС, что может привести к техническим и финансовым ущербам.

Технический результат изобретения заключается в приближении уровня напряжения на сборных шинах подстанции предприятий сырьевого комплекса к рациональному уровню путем группового автоматического регулирования коэффициента трансформации силового трансформатора на основе данных о параметрах и электропотреблении определяющего присоединения, при котором потери электроэнергии в распределительной сети и отдельных электроустановках приближаются к минимально возможным.

Технический результат изобретения достигается тем, что в устройстве автоматического воздействия на электрические сети при помощи трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения, содержащем устройство регулирования под нагрузкой (РПН), сборные шины, измерительный трансформатор напряжения, измерительные трансформаторы тока, быстродействующий автоматический регулятор (БАР), также, согласно изобретению, включенный в состав устройства аналого-цифровой преобразователь (АЦП), блок задания постоянных параметров нагрузки и присоединений, модуль памяти, блок фазсификации, блок нечеткого логического вывода, блок хранения базы правил, блок дефазсификации и переключатель, вычисляется определяющее

присоединение, по параметрам которого быстродействующий автоматический регулятор БАР в соответствии со встроенным алгоритмом принимает решение о необходимости формирования команд «ПОВЫШЕНИЕ» или «ПОНИЖЕНИЕ», воздействующих на РПН с учетом значений параметров выбранного режима работы, и состояние самого устройства РПН.

Предлагаемое устройство поясняется чертежом, где показана структура устройства. На чертеже: 1 - блок аналогово-цифровых преобразователей; 2 - блок фазификации; 3 - модуль памяти контроллера системы управления; 4 - блок нечеткого вывода; 5 - блок хранения базы правил; 6 - блок дефазификации; 7 - переключатель; 8 - быстродействующий автоматический регулятор; 9 - блок РПН; 10 - трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой; 11 - присоединенные линии Л1-Лп; 12 - измерительные трансформаторы тока ТТ1-ТТп; 13 - измерительный трансформатор напряжения ТН; 14 - блок задания постоянных параметров нагрузки и присоединений; 15 - контроллер системы управления (КСУ);  $U_1$  - измеренное напряжение присоединенных линий;  $I_1-I_n$  - измеренный ток присоединенных линий;  $\mu(S_i)$  - функция принадлежности мощности линии;  $\mu(L_i)$  - функция принадлежности длины линии;  $\mu(R(L)_i)$  - функция принадлежности распределения нагрузки вдоль линии;  $\mu(P(L)_i)$  - функция принадлежности регулирующего эффекта;  $\mu(K_i)$  - функция принадлежности категоричности объекта по ущербу; Лп - номер линии.

К блоку аналогово-цифровых преобразователей контроллера системы управления 1 подключены вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока и напряжения 12 и 13. Выходные сигналы с блока аналогово-цифровых преобразователей контроллера системы управления 1 поступают на вход блока фазификации 2 и переключатель 7. Сигнал с блока задания постоянных параметров нагрузки и присоединений 14 поступает в модуль памяти контроллера системы управления 3. Сигналы с модуля памяти контроллера системы управления 3 синхронизировано с выходными сигналами блока аналогово-цифровых преобразователей 1 поступают на вход блока фазификации 2. Выходные сигналы блока фазификации 2, также сигналы с блока хранения базы правил 5 синхронизировано поступают на входы блока нечеткого вывода 4. Выходной сигнал с блока нечеткого вывода 4 поступают на вход блока дефазификации 6. Выходной сигнал с блока дефазификации 6 поступает на вход переключателя 7. Выходной сигнал с переключателя 7 и сигнал с измерительного трансформатора напряжения 13 поступает на вход быстродействующего автоматического регулятора 8. Выходной сигнал с быстродействующего автоматического регулятора 8 поступает на вход блока РПН 9. К блоку РПН 9 подключен трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой 10.

Система автоматического управления устройством РПН силового трансформатора реализуется на базе специализированного программируемого контроллера и БАР и функционирует следующим образом.

Действующие значения межфазного напряжения и фазных токов во вторичных цепях измерительных трансформаторов ТТ и ТН 11 и 12i-й линии поступают на входы аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) 1 контроллера системы управления (КСУ), где преобразуются в цифровые сигналы.

Для эффективного группового регулирования на уровне электроподстанции необходимо выбрать определяющее напряжение в системе присоединение с учетом всех возможных влияющих на режим напряжения параметров. В заявляемом устройстве выбор данного присоединения осуществляется с применением специализированных методов анализа - методов теории нечеткой логики, в виду вероятностного характера параметров, описывающих состояние нагрузки и питающих линий.

Сигналы  $L_i$ ,  $K_i$ ,  $R(L)_i$ ,  $P(L)_i$  из модуля памяти 3 контроллера системы управления, а также циклически считываемые данные о параметрах режима  $U_i$  и  $I_i$  в контролируемых линиях с блока АЦП 1 поступают на вход блока фазификации 2, в котором определяются значения функций принадлежности соответствующих параметров, причем мощность  $S=U_i \cdot I_i$ .

Сигналы  $\mu(L)_i$ ;  $\mu(S)$ ;  $\mu(K(U)_i)$ ;  $\mu(U_i(P))$ ;  $\mu(R(L)_i)$  поступают на входы блока нечеткого вывода 4, который в соответствии с базой правил, заложенной в блоке хранения базы правил 5, и результатом работы нечеткого алгоритма, заложенного в данный блок, производит выбор линии Лп, определяющей режим напряжения.

Для нахождения функций принадлежности i-го присоединения  $\mu_v(S_i; L_i; K_i(U), P_i(U), R_i(L))$ , характеризующих v-ое правило нечеткого условного логического вывода, используется правило Мамдани:

$$\mu_v(S_i; L_i; K_i(U), P_i(U), R_i(L)) = \min\{\mu(L)_i; \mu(S); \mu(K(U)_i); \mu(U_i(P)); \mu(R(L)_i)\}.$$

Результирующая функция принадлежности присоединения  $\mu_{рез.i}(S_i; L_i; K_i(U), P_i(U), R_i(L))$ , которая характеризует всю совокупность v-ых правил для i-го присоединения, соединенных между собой

союзом ИЛИ, определяется как максимум среди всех функций принадлежности

$$\mu_{рез.i}(S_i;L_i;K_i(U),P_i(U),R_i(L))=\max\{\mu_{\nu}(S_i;L_i;K_i(U),P_i(U),R_i(L))\}.$$

Каждому  $i$ -му присоединению ( $\Pi_i$ ) в соответствии с определенным логическим правилом присваивается степень тяжести режима ( $T_i$ ). По максимальной из определенных результирующих степеней принадлежности  $\mu_{Попр}(S_i;L_i;K_i(U),P(U),R_i(L))$  выбирается присоединение, которое определяет режим напряжения в распределительной сети ( $Nл=\Pi_{опр}$ )

$$\mu_{Попр}(S_i;L_i;K_i(U),P_i(U),R_i(L))=\max\{\mu_{рез.i}(S_i;L_i;K_i(U),P_i(U),R_i(L))\}.$$

Значение  $Nл$  подается на вход переключателя 7, причем на его входы также подается выходные сигналы с АЦП 1. Переключатель формирует выходной сигнал, который поступает на один из входов БАР 8.

На входы быстродействующего автоматического регулятора 8 помимо сигнала с переключателя 7 также поступает значение напряжения со вторичной обмотки измерительного трансформатора напряжения 13, который в соответствии со встроенным алгоритмом принимает решение о необходимости формирования команд «ПОВЫШЕНИЕ» или «ПОНИЖЕНИЕ», воздействующих на РПН 9 с учетом значений уставок выбранного режима работы, состояния управляющих сигналов на дискретном входе и состояния самого устройства РПН.

Таким образом, разработанная структура, алгоритмическое обеспечение и аппаратная реализация микропроцессорного устройства БАР РПН с применением контроллера, способного реализовать математический аппарат нечеткой логики, осуществляет автоматический выбор определяющей линии в реальном режиме времени, с учетом категоричности энергообъекта по ущербу от отклонения напряжения, разнородности и разновременности нагрузки, ее распределение вдоль питающей линии, и позволяет реализовать рациональный закон управления режимом напряжения, также поддерживать данный рациональный режим напряжения, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 13109-97.

#### Формула изобретения

Устройство управления режимом напряжения в электрической сети с применением fuzzy-логики при помощи трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения, содержащее устройство регулирования под нагрузкой (РПН), сборные шины, измерительный трансформатор напряжения, регулятор, причем выход регулятора соединен с входом РПН, выход РПН соединен с первичной обмоткой силового трансформатора, вторичная обмотка силового трансформатора соединена со сборной шиной, к которой подключен измерительный трансформатор напряжения, причем вторичная обмотка измерительного трансформатора напряжения соединена с входом регулятора, отличающееся тем, что в состав устройства включен аналого-цифровой преобразователь АЦП, блок задания постоянных параметров нагрузки и присоединений, модуль памяти, блок фаззификации, блок нечеткого логического вывода, блок хранения базы правил, блок дефаззификации и переключатель, измерительные трансформаторы тока, причем измерительные трансформаторы тока подключены к присоединенным к сборным шинам, входы АЦП соединены со вторичными обмотками измерительных трансформаторов тока и напряжения, входы блока фаззификации связаны с выходами АЦП и выходом модуля памяти, вход модуля памяти соединен с блоком задания постоянных параметров нагрузки и присоединений, входы блока нечеткого вывода соединены с выходами блока фаззификации и выходами блока хранения базы правил, выход блока нечеткого вывода соединен с входом блока дефаззификации, входы переключателя соединены с выходом блока дефаззификации и выходами АЦП, выход переключателя соединен с входом БАР.