



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2011147654/28**, 23.11.2011(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**23.11.2011**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **23.11.2011**(45) Опубликовано: **10.04.2013** Бюл. № 10(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения, 1992. RU 2310873 C1, 20.11.2007. US 0004054832 A1, 18.10.1977. SU 1546920 A, 28.02.1990. JP 0005180885 A, 23.07.1993.**

Адрес для переписки:

**614990, Пермский край, г. Пермь-ГСП,  
Комсомольский пр-кт, 29, Пермский  
национальный исследовательский  
политехнический университет, отдел  
правовой охраны РИД**

(72) Автор(ы):

**Сапунков Михаил Леонидович (RU),  
Батракова Галина Михайловна (RU),  
Сапунков Леонид Михайлович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования "Пермский  
национальный исследовательский  
политехнический университет" (RU)**

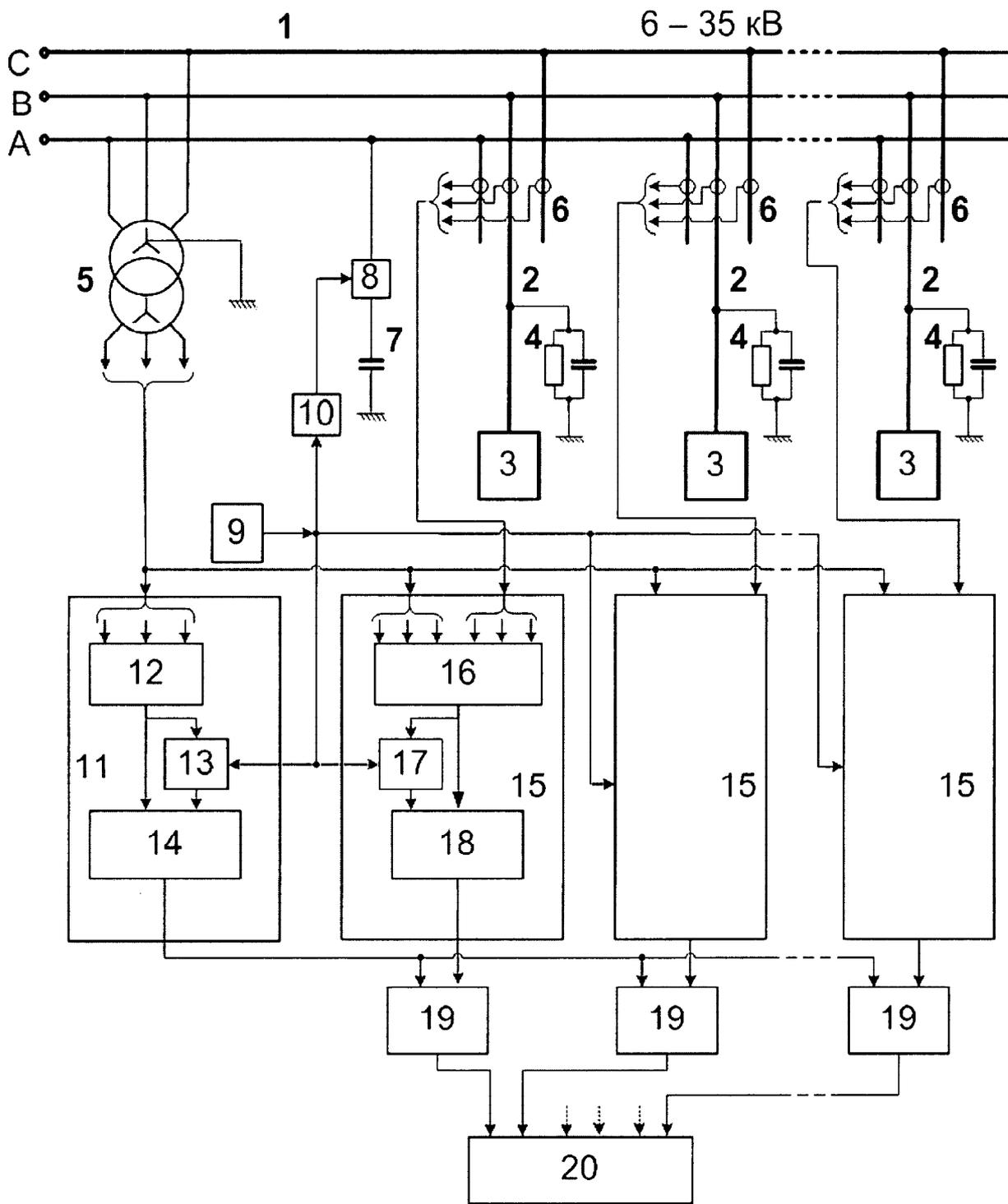
**(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к электроэнергетике и предназначено для эксплуатационного контроля состояния изоляции относительно земли объектов под рабочим напряжением в трехфазных сетях с изолированной нейтралью, а также в сетях, где нейтраль заземлена через резистор или реактор. Технический результат заключается в обеспечении возможности эксплуатационного контроля состояния изоляции, диагностики и прогнозирования состояния группы объектов электрической сети. Технический результат достигается благодаря тому, что способ основан на одновременном измерении напряжений трех фаз сети относительно земли на секции шин распределительного устройства и токов трех фаз в начале каждой отходящей от секции шин линии.

Измерения производят в нормальном режиме работы сети и сразу же после создания искусственной несимметрии напряжений фаз относительно земли, которую создают путем кратковременного подключения к одной из фаз на секции шин дополнительной проводимости на землю. По результатам измерений вычисляют показатель степени изменения напряжений из-за созданной несимметрии, а также вычисляют для каждой контролируемой линии возникающее при этом приращение среднего значения мощности. Далее вычисляют величину сопротивлений изоляции фаз контролируемых линий с присоединенной нагрузкой, а результаты передают в концентратор данных, по которым проводят диагностику и прогнозирующее состояние изоляции электрической сети. 1 ил.

RU 2 4 7 8 9 7 5 C 1



RU 2 4 7 8 9 7 5 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
**G01R 27/18** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2011147654/28, 23.11.2011**

(24) Effective date for property rights:  
**23.11.2011**

Priority:

(22) Date of filing: **23.11.2011**

(45) Date of publication: **10.04.2013 Bull. 10**

Mail address:

**614990, Permskij kraj, g. Perm'-GSP,  
Komsomol'skij pr-kt, 29, Permskij natsional'nyj  
issledovatel'skij politekhnicheskij universitet,  
otdel pravovoj okhrany RID**

(72) Inventor(s):

**Sapunkov Mikhail Leonidovich (RU),  
Batrakova Galina Mikhajlovna (RU),  
Sapunkov Leonid Mikhajlovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovaniya "Permskij  
natsional'nyj issledovatel'skij  
politekhnicheskij universitet" (RU)**

(54) **METHOD OF CONTROLLING THREE-PHASE ELECTRIC MAINS INSULATION CONDITION**

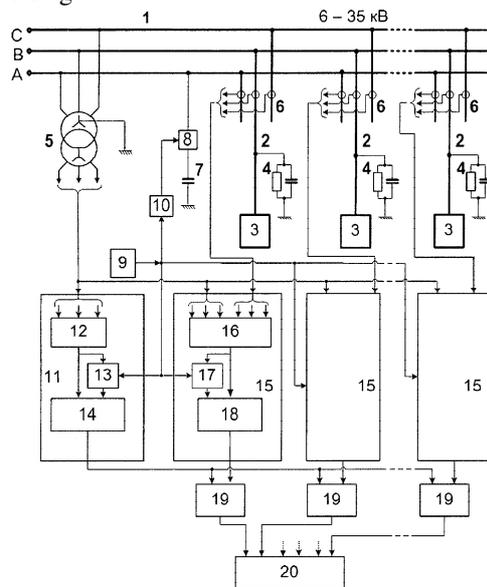
(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: method is based on simultaneous measurement of voltages of the mains three part relative to the earth within the distribution gear bus section and of the three phases currents at the beginning of each line branching off the bus section. The measurements are performed in the regular mode of the mains operation and immediately after creation of artificial asymmetry of phase voltages relative to the earth by way of transient connection of an additional conductance to the earth to one of the phases in the bus section. Relying on the measurements results, one calculates the degree of voltage fluctuation due to the asymmetry creation and increment of average power value thereby occurring (for each line being controlled). Then one calculates resistance of insulation of the phases being controlled with the load connected with the results transmitted to the data concentrator for the electric mains insulation diagnostics and condition forecast to be carried out relying thereon.

EFFECT: ensuring the possibility of operational control over insulation condition, diagnostics and forecast of condition of a group of objects within the electric mains.

1 dwg



RU 2 4 7 8 9 7 5 C 1

RU 2 4 7 8 9 7 5 C 1

Изобретение относится к электроэнергетике и предназначено для эксплуатационного контроля состояния изоляции относительно земли объектов под рабочим напряжением в трехфазных сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью, а также может быть использовано в сетях, где нейтраль заземлена через резистор или реактор и в аналогичных сетях.

Известны различные способы измерений и контроля параметров изоляции оборудования, которые осуществляют в отключенном состоянии элементов электрической сети, а также и под рабочим напряжением.

Известен способ измерений сопротивления изоляции с помощью мегаомметров [см. Кораблев В.П. Электробезопасность на химических предприятиях. - М.: Химия, 1977. - стр.136-140]. Этот способ применяют только при отключенном состоянии электроустановок. Измерения сопротивления изоляции проводят периодически или при возникающей необходимости. Для постоянного эксплуатационного контроля состояния изоляции под рабочим напряжением этот способ непригоден.

Известен способ контроля параметров изоляции под рабочим напряжением электроустановки методом амперметра и вольтметра [см. Гладилин Л.В. и др. Изоляция подземных электроустановок шахт и электробезопасность. - М.: Недра, 1966]. Этот способ позволяет по результатам поочередного измерения тока однофазного замыкания на землю и напряжения фазы относительно земли аналитически определить значение полной проводимости (сопротивления) изоляции фазы на землю. Для разделения полной проводимости изоляции на активную и реактивную составляющие еще дополнительно проводят измерение напряжения фазы относительно земли при подключенной к этой фазе дополнительной активной или емкостной проводимости. Далее по расчетным формулам определяют значения составляющих проводимости изоляции электроустановки на землю.

Причинами, препятствующими получению технического результата, который обеспечивается предлагаемым техническим решением, являются: зависимость точности результатов контроля от возможной нестабильности и несимметрии напряжений в сети, а также возможной асимметрии проводимостей фаз относительно земли. Известный способ позволяет контролировать состояние изоляции электрической сети в целом для заданной конфигурации, так как измеряемый и далее используемый в расчетах ток однофазного замыкания на землю зависит от общей проводимости сети на землю. При отключении любой из отходящих линий и, следовательно, изменении конфигурации сети измерения необходимо повторять. На проведение контроля состояния изоляции известным способом требуется много времени.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому способу относится «ваттметровый метод» контроля характеристик изоляции под рабочим напряжением [см. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1992]. Метод основан на измерении активной мощности диэлектрических потерь в изоляции и мощности рассеяния в сопротивлениях утечки. По результатам измерений мощности, а также тока через изоляцию и напряжения фазы относительно земли путем вычислений определяют емкость фазы относительно земли, значение тангенса активных потерь в изоляции, значение активной проводимости (активного сопротивления) изоляции относительно земли. Измерения и вычисления проводят для каждой фазы электроустановки отдельно. Для этого требуется производить отключения и пересоединения в распредустройстве. На измерения затрачивается много времени. Данный способ принят за прототип.

Признаки прототипа, совпадающие с существенными признаками заявляемого изобретения, - измеряют электрические величины, вычисляют параметр изоляции объектов сети, находящихся под рабочим напряжением.

5 Причинами, препятствующими получению технического результата, который обеспечивается предлагаемым техническим решением, является то, что в известном способе на точность измерений мощности влияют угловые погрешности измерительных трансформаторов тока и напряжения, а также существенно влияет  
10 качество измерительного прибора ваттметра. Суть проблемы в том, что в известной измерительной схеме сдвиг по фазе между током и напряжением большой (близок к  $90^\circ$ ), значения  $\cos \varphi$  малы, поэтому для измерений требуется применять специальный малокосинусный прибор. Другим существенным недостатком известного способа является то, что измерения электрических величин, на использовании которых основан  
15 этот способ, возможно осуществить лишь при наличии специальных измерительных выводов на объекте контроля, а также если обеспечивается надежное изолирование нижних фланцев объекта от земли, что в ряде случаев обеспечить технически невозможно.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, - обеспечение  
20 возможности эксплуатационного контроля состояния изоляции относительно земли объектов электрической сети под рабочим напряжением.

Технический результат, который может быть получен при осуществлении предлагаемого способа, состоит в том, что эксплуатационный контроль состояния  
25 изоляции, осуществляемый регулярно, обеспечит получение, сбор и накопление данных о величинах сопротивления изоляции по линиям электропередач и подсоединенным к ним нагрузкам в сложном техническом объекте, каким является разветвленная распределительная электрическая сеть. Использование полученных данных позволит осуществлять диагностику состояния изоляции отдельных объектов.  
30 На основе анализа характера и динамики изменений сопротивлений изоляции можно будет проводить прогнозирование состояния электрической сети, своевременно осуществлять мероприятия по предотвращению аварийных повреждений изоляции и отключению электроустановок. Это будет способствовать повышению надежности и безопасности электроснабжения, повышению эффективности производства.

35 Поставленная задача была решена за счет того, что в известном способе контроля состояния изоляции в трехфазной электрической сети, основанном на измерениях электрических величин и вычислении параметра изоляции объектов сети, находящихся под рабочим напряжением, одновременно измеряют напряжения трех фаз  
40 относительно земли на секции шин распределительного устройства и токи трех фаз в начале каждой отходящей от секции шин линии, при этом измерения проводят сначала в нормальном режиме работы сети, а затем такие же измерения продолжают сразу же после создания в сети искусственной несимметрии напряжений фаз относительно земли, которую создают путем кратковременного подключения через управляемый  
45 коммутационный аппарат к одной из фаз на секции шин распределительного устройства дополнительной проводимости на землю, используя результаты измерений упомянутых напряжений и токов, вычисляют сумму квадратов напряжений трех фаз и среднее значение мощности каждой контролируемой линии в нормальном режиме  
50 работы сети, запоминают вычисленные значения величин в управляемых блоках памяти по сигналу, поступающему от задающего программного блока, затем вычисляют упомянутые величины при созданной несимметрии напряжений, далее путем вычитания из текущих значений вычисляемых величин ранее запомненные

значения аналогичных величин вычисляют общий для всей сети показатель степени изменения напряжений из-за созданной искусственной несимметрии  $\Delta U_{\Phi}^2$  и для каждой линии возникающее при этом приращение среднего значения мощности  $\Delta P_{ср.зi}$ , затем

$$R_{ис\Phi i} = \frac{\Delta U_{\Phi}^2}{\Delta P_{ср.зi}} = \frac{\left[ \left( U_a^{(1)^2} + U_b^{(1)^2} + U_c^{(1)^2} \right) - \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right) \right]}{\Delta P_{ср.зi}},$$

где  $\Delta U_{\Phi}^2$  - степень изменения напряжений из-за созданной искусственной несимметрии;

$\Delta P_{ср.зi}$  - приращение среднего значения мощности;

$U_a^{(1)}$ ,  $U_b^{(1)}$ ,  $U_c^{(1)}$  - напряжения фаз относительно земли при созданной искусственной несимметрии напряжений;

$U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  - напряжения фаз относительно земли в нормальном режиме работы электрической сети,

после чего полученные результаты по всем линиям передают в концентратор данных, по которым проводят диагностику, анализ и прогнозирование состояния изоляции объектов электрической сети.

Признаками заявляемого способа, отличительными от прототипа, являются: одновременно измеряют напряжения трех фаз относительно земли на секции шин распределительного устройства и токи трех фаз в начале каждой отходящей от секции шин линии; проводят измерения сначала в нормальном режиме работы сети, а затем такие же измерения продолжают сразу же после создания в сети искусственной несимметрии напряжений фаз относительно земли; создают искусственную несимметрию путем кратковременного подключения через управляемый коммутационный аппарат к одной из фаз на секции шин распределительного устройства дополнительной проводимости на землю; используя результаты измерений упомянутых напряжений и токов, вычисляют сумму квадратов напряжений трех фаз и среднее значение мощности каждой контролируемой линии в нормальном режиме работы сети; запоминают вычисленные значения величин в управляемых блоках памяти по сигналу, поступающему от задающего программного блока; вычисляют сумму квадратов напряжений трех фаз и среднее значение мощности каждой контролируемой линии при созданной несимметрии напряжений; путем вычитания из текущих значений вычисляемых величин ранее запомненные значения аналогичных величин вычисляют общий для всей сети показатель степени изменения напряжений из-за созданной искусственной несимметрии  $\Delta U_{\Phi}^2$  и для каждой линии возникающее при этом приращение среднего значения мощности  $\Delta P_{ср.зi}$ ; определяют величину сопротивления изоляции фазы относительно земли для каждой линии по выше приведенной формуле; передают полученные результаты по всем линиям в концентратор данных, по которым проводят диагностику, анализ и прогнозирование состояния изоляции объектов электрической сети.

При анализе других известных технических решений заявителем не выявлено использование для целей контроля состояния изоляции электрических сетей показателя степени изменения напряжений фаз при создаваемой их несимметрии, а также такой электрической величины, как приращение активной мощности трехфазной линии, обусловленное создаваемой несимметрией напряжений. Также не выявлена совокупность признаков, приводящая к возможности выполнить эксплуатационный

контроль состояния изоляции группы объектов электрической сети под рабочим напряжением. То есть можно сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критериям «новизна» и «изобретательский уровень».

5 На чертеже представлена принципиальная схема электрической сети и функциональная блок-схема контроля сопротивления изоляции по предлагаемому способу.

Электрическая сеть содержит секцию шин распреустройства 1 с группой отходящих от секции шин линий 2 с подсоединенной к ним нагрузкой 3. Контролю 10 подлежат сопротивления изоляции трех фаз каждой линии 2 с подсоединенной нагрузкой, которые на чертеже представлены в виде сосредоточенных параметров изоляции 4 для одной фазы. Для измерений напряжений фаз сети относительно земли используют трансформатор напряжения 5, первичная обмотка которого соединена на схеме «звезда» с заземленной нулевой точкой. Для измерений токов в трех фазах 15 контролируемых линий 2 используют датчики тока 6, установленные в начале линий 2. В качестве дополнительной проводимости на землю используют, например, конденсатор 7 емкостью  $\Delta C$ , который подключают к одной из фаз секции шин распреустройства с помощью управляемого коммутационного аппарата 8. Сигнал 20 на срабатывание аппарата 8 подают с задающего программного блока 9 через элемент выдержки времени 10.

Программным блоком 9 задают частоту создания искусственной несимметрии напряжений в сети. Устанавливают периодичность, регулярность и другие условия проведения эксплуатационного контроля состояния изоляции (например, один раз в 25 смену, каждый час, ежеминутно и т.п.).

Блок-схема осуществления способа контроля изоляции содержит:

11 - первый измерительно-вычислительный модуль, состоящий из функциональных элементов:

30 12 - вычислительный блок, где определяют сумму квадратов величин напряжений трех фаз;

13 - управляемый блок памяти, где запоминают результат вычислений, поступающий с блока 12 до момента создания искусственной несимметрии напряжений фаз;

35 14 - сумматор, где выполняют операцию «вычет», в результате которой вычисляют значение показателя степени изменения напряжений трех фаз при создании искусственной несимметрии напряжений.

Модуль 11 является общим для секции шин и группы контролируемых линий 2.

40 15 - второй измерительно-вычислительный модуль, состоящий из функциональных элементов;

16 - вычислительный блок, где определяют среднее значение мощности контролируемой линии 2 с подсоединенной к ней нагрузкой;

45 17 - управляемый блок памяти, где запоминают сигнал о среднем значении мощности, поступающий с блока 16 до момента создания искусственной несимметрии напряжений фаз;

50 18 - сумматор, где выполняют операцию «вычет», в результате которой вычисляют приращение среднего значения мощности линии при создании искусственной несимметрии напряжений.

Количество модулей 15 в блок-схеме контроля соответствует числу контролируемых линий 2 данной секции шин.

19 - вычислительный блок, где выполняют операцию «деление», в результате

которой определяют величину активного сопротивления изоляции фазы относительно земли контролируемой линии 2.

Количество блоков 19 соответствует числу контролируемых линий 2.

20 - концентратор-анализатор результатов определения величин сопротивления изоляции всех контролируемых линий.

Способ осуществляется следующим образом.

С помощью модуля 11 вычисляют значение показателя степени изменения напряжений трех фаз сети относительно земли по формуле

$$\Delta U_{\Phi}^2 = \left( U_a^{(1)^2} + U_b^{(1)^2} + U_c^{(1)^2} \right) - \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right) \quad (1)$$

где  $U_a, U_b, U_c$  - напряжения фаз относительно земли в нормальном режиме работы электрической сети;

$U_a^{(1)}, U_b^{(1)}, U_c^{(1)}$  - напряжения фаз относительно земли при созданной искусственной

несимметрии напряжений путем подключения к одной из фаз на секции шин дополнительной проводимости на землю.

Вычисления по (1) выполняют в следующей последовательности. Вначале в блоке 12 вычисляют сумму квадратов трех напряжений  $\left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right)$ , запоминают

этот результат в блоке 13 по сигналу, поступающему с программного задающего блока 9. Продолжают вычисления и в блоке 12 теперь определяют сумму квадратов трех напряжений  $\left( U_a^{(1)^2} + U_b^{(1)^2} + U_c^{(1)^2} \right)$  при созданной искусственной несимметрии

напряжений. Затем в блоке 14 вычисляют значение показателя  $\Delta U_{\Phi}^2$ .

Одновременно с помощью модуля 15 вычисляют мгновенную мощность трех фаз линии 2 с подсоединенной к ней нагрузкой и среднее значение этой мощности, а затем приращение среднего значения мощности по формулам:

$$p(t) = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c \quad (2)$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (3)$$

$$\Delta P_{\text{ср.з}} = P_{\text{ср}}^{(1)} - P_{\text{ср}} \quad (4)$$

где  $u_a, u_b, u_c, i_a, i_b, i_c$  - мгновенные значения соответственно напряжений трех фаз сети относительно земли и токов трех фаз линии;

$P_{\text{ср}}, P_{\text{ср}}^{(1)}$  - средние значения мощности в нормальном режиме работы электрической сети и при созданной искусственной несимметрии напряжений;

$\Delta P_{\text{ср.з}}$  - приращение среднего значения мощности линии с подсоединенной к ней нагрузкой, обусловленное созданной несимметрией напряжений.

Вычисления по формулам (2)-(4) выполняют в следующей последовательности.

Вначале в блоке 16 по (2) и (3) вычисляют значения мощностей в нормальном режиме работы сети. Запоминают значение  $P_{\text{ср}}$  в блоке 17 по сигналу, поступающему с

программного задающего блока 9. Продолжают вычисления значений мощности и в блоке 16 определяют текущее значение  $P_{\text{ср}}^{(1)}$  при созданной искусственной несимметрии напряжений. Затем в блоке 18 вычисляют приращение среднего значения мощности  $\Delta P_{\text{ср.з}}$  путем вычитания из текущего значения средней мощности  $P_{\text{ср}}^{(1)}$  ранее

запомненного значения мощности  $P_{\text{ср}}$ .

Такие вычисления с помощью модулей 15 производят одновременно для каждой из контролируемых линий 2 сети и в результате получают ряд значений  $\Delta P_{\text{ср.з.}i}$  по числу линий.

Далее используют полученное значение показателя степени изменения напряжений трех фаз  $\Delta U_{\Phi}^2$  и значения  $\Delta P_{\text{ср.з.и}}$  и с помощью блоков деления 19 вычисляют значения активного сопротивления изоляции фазы относительно земли для каждой

$$R_{\text{из.и}} = \frac{\Delta U_{\Phi}^2}{\Delta P_{\text{ср.з.и}}} = \frac{\left( U_a^{(1)^2} + U_b^{(1)^2} + U_c^{(1)^2} \right) - \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right)}{\Delta P_{\text{ср.з.и}}} \quad (5)$$

Результаты вычислений значений  $R_{\text{из.и}}$  с выходов блоков 19 передают в концентратор-анализатор данных 20, где по заданному алгоритму обрабатывают полученные данные и тем самым осуществляют диагностику, анализ и прогнозирование состояния изоляции контролируемых объектов электрической сети.

Для практического осуществления предлагаемого способа эксплуатационного контроля состояния изоляции в электрических сетях могут быть использованы известные устройства и функциональные элементы. Измерение напряжений фаз относительно земли можно производить одним на секцию шин обычно применяемым трансформатором напряжения 5. Для измерений токов линий 2 можно использовать по три обычных измерительных трансформатора тока на каждой линии. Коммутационным аппаратом 8 для подключения к одной из фаз дополнительной проводимости на землю может служить имеющийся в распределительном устройстве управляемый выключатель. В качестве дополнительной проводимости 7 можно использовать силовой (косинусный) конденсатор или блок конденсаторов.

Все функциональные модули и элементы блок-схемы контроля целесообразнее всего реализовать на микропроцессорной базе. С помощью микропроцессорных устройств сравнительно просто можно будет осуществлять все вычислительные операции, функции запоминания сигналов и в конечном итоге реализовать весь алгоритм контроля изоляции по предлагаемому способу.

Теоретической основой нового способа контроля состояния изоляции является известное из основ электротехники [см. Теоретические основы электротехники. Т.1. Основы теории линейных цепей/Под ред. Ионкина П.А. - М.: Высшая школа, 1976] обстоятельство, что в электрической сети с изолированной нейтралью мощность рассеяния в активных проводимостях изоляции фаз на землю трехфазной линии можно

$$P_{\text{ср.з}} = g_{\text{из.а}} U_a^2 + g_{\text{из.б}} U_b^2 + g_{\text{из.с}} U_c^2 \quad (6)$$

где  $g_{\text{из.а}}$ ,  $g_{\text{из.б}}$ ,  $g_{\text{из.с}}$  - активные проводимости фаз на землю;

$U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  - действующие значения напряжений фаз относительно земли в нормальном режиме работы электрической сети.

Если считать, что проводимости фаз по величине одинаковы, т.е.  $g_{\text{из.а}} = g_{\text{из.б}} = g_{\text{из.с}} = g_{\text{из.ф}} = 1/R_{\text{из.ф}}$ , то выражение (6) можно записать в виде

$$P_{\text{ср.з}} = \frac{1}{R_{\text{из.ф}}} \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right) \quad (7)$$

где  $R_{\text{из.ф}}$  - активное сопротивление изоляции фазы относительно земли.

При созданной искусственной несимметрии напряжений фаз относительно земли, как это предусмотрено в предлагаемом способе, мощность рассеяния в изоляции фаз можно представить в виде

$$P_{\text{ср.з}}^{(1)} = \frac{1}{R_{\text{из.ф}}} \left( U_a^{(1)^2} + U_b^{(1)^2} + U_c^{(1)^2} \right) \quad (8)$$

где  $U_a^{(1)}$ ,  $U_b^{(1)}$ ,  $U_c^{(1)}$  - напряжения фаз относительно земли при созданной несимметрии.

Величина этой мощности станет больше, чем в нормальном режиме работы сети. Отличие мощностей характеризуется приращением мощности

$$\Delta P_{\text{ср.з}} = P_{\text{ср.з}}^{(1)} - P_{\text{ср.з}} = \frac{1}{R_{\text{нз.ф}}} \left[ \left( U_a^{(1)^2} + U_b^{(1)^2} + U_c^{(1)^2} \right) - \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right) \right] \quad (9)$$

Из анализа выражений (6)-(8) можно установить, что величина приращения мощности будет зависеть от степени несимметрии напряжений. Например, если при создании искусственной несимметрии путем подключения к фазе А дополнительной проводимости на землю бесконечно большой величины (это будет соответствовать металлическому «глухому» замыканию фазы А на землю) напряжение этой фазы станет равным  $U_a=0$ , а напряжения фазы В и фазы С увеличатся до линейного значения, т.е.  $U_b = U_c = U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$ .

В таком случае будет создана наибольшая несимметрия и приращение мощности согласно (9) будет равно

$$\Delta P_{\text{ср.з}} = \frac{1}{R_{\text{нз.ф}}} \left[ \left( 0 + 3U_{\text{ф}}^2 + 3U_{\text{ф}}^2 \right) - \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right) \right] \quad (10)$$

Эта величина будет наибольшей для обеспечения точности контроля. Однако такой частный вариант создания искусственной несимметрии напряжений будет не безопасным для изоляции оборудования. Поэтому при осуществлении предлагаемого способа контроля изоляции важно будет правильно выбирать величину дополнительной проводимости, используемой для создания искусственной несимметрии.

Например, если для этого использовать блок конденсаторов, то величина емкости  $\Delta C$  этих конденсаторов должна быть примерно равна суммарной емкости сети относительно земли, т.е.  $\Delta C \approx C_{\Sigma}$ . Этого будет достаточно для необходимой точности эксплуатационного контроля состояния изоляции.

Необходимые для выполнения вычислений приращения мощности в предлагаемом способе предусмотрено определять по средним значениям мощности каждой контролируемой линии в виде

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{ср.нагр.}} + P_{\text{ср.з}} \quad (11)$$

где  $P_{\text{ср.нагр.}}$  - средняя (активная) мощность линии, которая равна сумме мощности нагрузки, подсоединенной к линии, мощности потерь в продольных сопротивлениях линии и мощности рассеяния в активных сопротивлениях междуфазной изоляции линии и нагрузки;

$P_{\text{ср.з.}}$  - мощность рассеяния в активных сопротивлениях изоляции фаз относительно земли линии и нагрузки.

При созданной искусственной несимметрии напряжений фаз относительно земли значение мощности становится равным

$$P_{\text{ср}}^{(1)} = P_{\text{ср.нагр.}}^{(1)} + P_{\text{ср.з}}^{(1)} \quad (12)$$

В выражениях (11) и (12) первые слагаемые равны между собой, т.е.  $P_{\text{ср.нагр.}} = P_{\text{ср.нагр.}}^{(1)}$ , так как при созданной искусственной несимметрии напряжений фаз относительно земли междуфазные (линейные) напряжения остаются неизменными, режим работы нагрузки не изменяется.

Поэтому после выполнения операции «вычет» на выходе сумматора 18 для каждой линии вычисляется приращение мощности этой линии.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{ср.з}} &= P_{\text{ср}}^{(1)} - P_{\text{ср}} = \left( P_{\text{ср.нагр.}}^{(1)} - P_{\text{ср.нагр.}} \right) + \left( P_{\text{ср.з.}}^{(1)} - P_{\text{ср.з.}} \right) = \\ &= 0 + \left( P_{\text{ср.з.}}^{(1)} - P_{\text{ср.з.}} \right) = P_{\text{ср.з.}}^{(1)} - P_{\text{ср.з.}} \end{aligned} \quad (13)$$

Это приращение мощности происходит из-за созданной искусственной несимметрии

напряжений фаз относительно земли. Именно эта величина  $\Delta P_{ср.з}$  используется в алгоритме осуществления контроля при вычислении значения сопротивления изоляции.

Подстановка значения  $\Delta P_{ср.з}$ , полученного по результату (13), в выражение (9) обосновывает расчетную формулу, которая используется в заявляемом способе контроля состояния изоляции для вычисления величины контролируемого сопротивления изоляции

$$R_{из.ф} = \frac{\left[ \left( U_a^{(1)^2} + U_b^{(1)^2} + U_c^{(1)^2} \right) - \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right) \right]}{\Delta P_{ср.з}} \quad (14)$$

Предлагаемый способ контроля состояния изоляции может осуществляться для группы линий, отходящих от секции шин, или отдельно для каждой линии. Причем с подсоединенной нагрузкой или без нее, что позволяет судить о состоянии изоляции отдельных элементов схемы.

Если обеспечить сбор информации о сопротивлении изоляции по нескольким секциям шин, то тем самым можно проводить централизованный эксплуатационный контроль состояния изоляции по сложным электроэнергетическим объектам, осуществлять постоянный мониторинг их состояния.

Предлагаемый способ может обеспечить автоматизированный контроль состояния изоляции, например, в составе АСУТП подстанций на базе ЭВМ и микропроцессорного управления. Постоянный или систематический контроль под рабочим напряжением позволит создать эффективную систему раннего выявления ухудшения состояния изоляции без вывода объектов из работы, повысить безопасность и надежность электроснабжения.

#### Формула изобретения

Способ контроля состояния изоляции в трехфазной электрической сети, основанный на измерениях электрических величин и вычислении параметра изоляции объектов сети, находящихся под рабочим напряжением, отличающийся тем, что одновременно измеряют напряжения трех фаз относительно земли на секции шин распреустройства и токи трех фаз в начале каждой отходящей от секции шин линии, при этом измерения проводят сначала в нормальном режиме работы сети, а затем такие же измерения продолжают сразу же после создания в сети искусственной несимметрии напряжений фаз относительно земли, которую создают путем кратковременного подключения через управляемый коммутационный аппарат к одной из фаз на секции шин распреустройства дополнительной проводимости на землю, используя результаты измерений упомянутых напряжений и токов, вычисляют сумму квадратов напряжений трех фаз и среднее значение мощности каждой контролируемой линии в нормальном режиме работы сети, запоминают вычисленные значения величин в управляемых блоках памяти по сигналу, поступающему от задающего программного блока, затем вычисляют упомянутые величины при созданной несимметрии напряжений, далее путем вычитания из текущих значений вычисляемых величин ранее запомненные значения аналогичных величин вычисляют общий для всей сети показатель степени изменения напряжений из-за созданной искусственной несимметрии  $\Delta U_{ф}^2$  и для каждой линии возникающее при этом приращение среднего значения мощности

$\Delta P_{ср.з.i}$ , затем определяют величину сопротивления изоляции фазы относительно земли для каждой линии по формуле

$$R_{\text{из.ф1}} = \frac{\Delta U_{\phi}^2}{\Delta P_{\text{ср.з.и}}} = \left[ \left( U_a^{(1)2} + U_b^{(1)2} + U_c^{(1)2} \right) - \left( U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 \right) \right] / \Delta P_{\text{ср.з.и}},$$

- 5 где  $\Delta U_{\phi}^2$  - степень изменения напряжений из-за созданной искусственной несимметрии;
- $\Delta P_{\text{ср.з.и}}$  - приращение среднего значения мощности;
- 10  $U_a^{(1)}$ ,  $U_b^{(1)}$ ,  $U_c^{(1)}$  - напряжения фаз относительно земли при созданной искусственной несимметрии напряжений;
- $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  - напряжения фаз относительно земли в нормальном режиме работы электрической сети,
- 15 после чего полученные результаты по всем линиям передают в концентратор данных, по которым проводят диагностику, анализ и прогнозирование состояния изоляции объектов электрической сети.

20

25

30

35

40

45

50