



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2011108790/07, 09.03.2011**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.03.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **09.03.2011**

(45) Опубликовано: **10.06.2011**

Адрес для переписки:

**300013, г.Тула, ул. Седова, 41, кв.6, К.А.
Андрееву**

(72) Автор(ы):

Андреев Константин Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

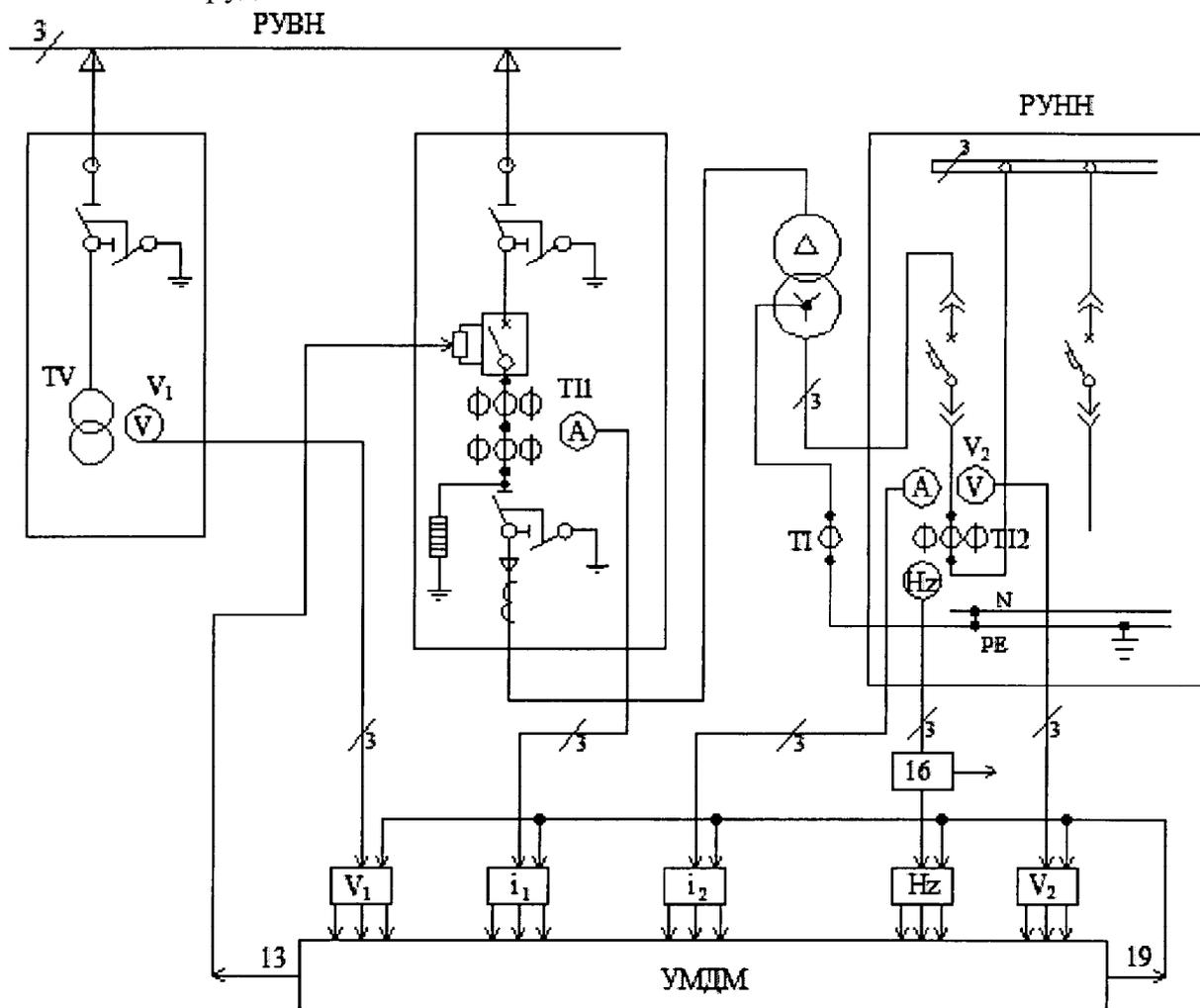
Андреев Константин Анатольевич (RU)

**(54) МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ И ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ИХ ОТ НАГРУЗКИ**

Формула полезной модели

Устройство мониторинга, диагностики, защиты трансформаторов от деформаций обмоток и повреждения (ухудшения свойств) изоляции обмоток без отключения их (трансформаторов) от питающей сети и нагрузки, характеризующееся тем, что содержит выходы измерительных элементов (тока, напряжения, частоты), включенных в цепь каждой фазы первичной и вторичной обмотки, которые соединены с выходом элемента, задающего время для получения данных и расчета, с входами блоков вычисления активного сопротивления, приведения первичного напряжения к вторичному, вычисления разности напряжений, вычисления падения напряжения на активных сопротивлениях, приведения значения индуктивности к номинальной частоте, выходы которых соединены с соответствующими входами блоков вычисления производных тока для первичного и вторичного напряжений, вычисления среднего значения напряжений, вычисления индуктивности, вычисления средних значений индуктивности для всех напряжений, всех фаз за установленный промежуток времени, вычисления отклонений активного сопротивления и индуктивности для всех напряжений, всех фаз за установленный промежуток времени, относительно фаз и номинальных значений, которые определяются заводом-изготовителем оборудования при соответствующих испытаниях, после чего данные передаются на блок контроля индуктивности и активного сопротивления для первичного и вторичного напряжений и всех фаз, откуда информация передается на блок, объединяющий информацию со всех устройств контроля, мониторинга и диагностики, принимает решение по полученным величинам (отклонениям) (отклонение для активного и индуктивного сопротивлений в пределах 2,5% является нормальным; отклонения в пределах 5% показывает зарождение разрушающих

процессов, но не требуется отключение его от сети и ремонта; отклонения 6-15% сигнализируют об опасности, подается сигнал оператору, необходимо выполнить мероприятия по выводу трансформатора в ремонт без отключения ответственных потребителей от сети; отклонения 25% - аварийное отключение трансформатора от сети; отклонения между фазами измеряемых значений активного сопротивления и индуктивности для нормального состояния не должно превышать 2%) на продолжение работы или отключение трансформатора от сети путем подачи сигнала на расцепитель и/или реле вводного автоматического выключателя или другого защитного устройства трансформатора, так же вся информация подается на монитор (дисплей), с помощью которого осуществляется информирование людей о состоянии оборудования.



RU 105536 U1

RU 105536 U1

Настоящая полезная модель относится к электроизмерительной технике и может быть использована для оперативного мониторинга, диагностики обмоток и защиты силовых трансформаторов в процессе эксплуатации без отключения их от сети и нагрузки.

5 Из существующего уровня техники известно изобретение (патент №2388004) для диагностики индуктивных обмоток, которое заключается в сравнении при номинальном токе реактивного сопротивления испытуемой индуктивной обмотки с реактивным сопротивлением исправной однотипной индуктивной обмотки.

10 Сравнение реактивного сопротивления испытуемой индуктивной обмотки выполняется путем включения ее с помощью вспомогательных электрических цепей к выводам вторичной обмотки трехфазного трансформатора с регулируемым напряжением. Недостатками данного технического решения являются высокая сложность (необходимость трансформатора для проверки), отсутствие возможности
15 мгновенного контроля (необходимость отключения от нагрузки испытуемого устройства), низкая точность и достоверность, вызванная тем, что результаты на отключенном от сети силовом трансформаторе сильно отличаются от результатов, полученных в рабочем режиме (из-за температурного режима, напряженности электрического поля).

20 Известно устройство (патент CN 101707127) осуществляет постоянный контроль состояния изоляции маслонаполненного трансформатора. Принцип заключается в том, что когда изоляция находится в состоянии близкому к пробоею, происходит изменение величины емкости. Вычисляется изменение емкости и по ней определяется
25 степень старения и повреждения изоляции обмотки. Недостатки данного устройства следующие: высокая погрешность из-за воздействия электромагнитных полей (устройство подключается к обмоткам и в процессе получения и передачи данных происходит внешнее негативное воздействие на данные), невозможность применения для мощных трансформаторов, необходимость отключения трансформатора от сети
30 и установку данного устройства, что ведет к увеличению риска выхода из строя трансформатора и представляет большую сложность.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению, является устройство (авт. свид. СССР N 1821759) - прототип. Оно служит для контроля и защиты обмоток силового
35 трансформатора в процессе испытаний. Это устройство измеряет напряжение на стороне высокого и низкого напряжений, а так же ток на низкой стороне. Контроль осуществляется по величине индуктивности трансформатора, которая вычисляется как отношение среднего значения напряжения к производной тока, среднее значение индуктивности и отклонение полученного значения индуктивности от номинальной
40 у ставки. Недостатком данного устройства является низкая точность, в виду отсутствия контроля других параметров, не учитывается воздействие нелинейных нагрузок (гармоник), узкая применимость в виду привязки к ряду конструктивных особенностей мощных трансформаторов.

45 Цель полезной модели - разработка более надежного и эффективного способа мониторинга, диагностики обмоток, в том числе изоляции, трансформатора в процессе его работы, вне зависимости от его конструктивных особенностей и обеспечение непрерывной защиты трансформатора в процессе эксплуатации, и в
50 случае начала возникновения деформаций обмоток трансформатора или их повреждения аварийного отключения трансформатора от сети.

Данная задача решается за счет того, что заявленное устройство мониторинга, диагностики, защиты трансформаторов от деформаций обмоток и повреждения

(ухудшения свойств) изоляции обмоток без отключения их (трансформаторов) от питающей сети и нагрузки, характеризующееся тем, что содержит выходы измерительных элементов (тока, напряжения, частоты), включенных в цепь каждой фазы первичной и вторичной обмотки, которые соединены с выходом элемента, задающего время для получения данных и расчета, с входами блоков вычисления активного сопротивления, приведения первичного напряжения к вторичному, вычисления разности напряжений, вычисления падения напряжения на активных сопротивлениях, приведения значения индуктивности к номинальной частоте, выходы которых соединены с соответствующими входами блоков вычисления производных тока для первичного и вторичного напряжений, вычисления среднего значения напряжений, вычисления индуктивности, вычисления средних значений индуктивности для всех напряжений, всех фаз за установленный промежуток времени, вычисления отклонений активного сопротивления и индуктивности для всех напряжений, всех фаз за установленный промежуток времени, относительно фаз и номинальных значений, которые определяются заводом-изготовителем оборудования при соответствующих испытаниях, после чего данные передаются на блок контроля индуктивности и активного сопротивления для первичного и вторичного напряжений и всех фаз, откуда информация передается на блок, объединяющий информацию со всех устройств контроля, мониторинга и диагностики, принимает решение по полученным величинам (отклонениям) (отклонение для активного и индуктивного сопротивлений в пределах 2,5% является нормальным; отклонения в пределах 5% показывает зарождение разрушающих процессов, но не требуется отключение его от сети и ремонта; отклонения 6-15% сигнализируют об опасности, подается сигнал оператору, необходимо выполнить мероприятия по выводу трансформатора в ремонт без отключения ответственных потребителей от сети; отклонения 25% - аварийное отключение трансформатора от сети; отклонения между фазами измеряемых значений активного сопротивления и индуктивности для нормального состояния не должно превышать 2%) на продолжение работы или отключение трансформатора от сети, путем подачи сигнала на расцепитель и/или реле вводного автоматического выключателя или другого защитного устройства трансформатора, так же вся информация подается на монитор (дисплей), с помощью которого осуществляется информирование людей о состоянии оборудования.

Техническим результатом, обеспечиваемым приведенной совокупностью признаков, является мгновенное определение ресурса и состояния (диагностирование) обмоток силового трансформатора, защита трансформатора, предотвращение аварийных выходов из строя трансформаторного оборудования, а так же придание мобильности искомому устройству, увеличение надежности эксплуатации трансформатора.

Сущность полезной модели поясняется чертежами, на которых изображено:

- на фиг.1 - схема подключения мобильного устройства мониторинга и диагностики (УМДМ) к измерительным приборам силового трансформатора;
- на фиг.2 - схема УМДМ.

В таблице 1 представлено описание блоков (элементов) устройства УМДМ.

Раскрытие и осуществление полезной модели.

Первым существенным признаком для достижения указанного выше технического результата, является расчет отклонения активного сопротивления для каждой фазы на стороне высокого и низкого напряжений в блоках 22, 23, 24 с любым интервалом

времени и учетом нелинейных составляющих (гармоник).

Вторым существенным признаком является то, что выполняется расчет отклонения индуктивности для каждой фазы на стороне высокого и низкого напряжений в блоках 7, 8, 9, 10 с любым интервалом времени и учетом нелинейных составляющих (гармоник).

Третьим существенным признаком является то, что выполняется сравнение отклонений значений активного сопротивления и индуктивности с номинальными значениями, установленными заводом-изготовителем оборудования, и между фазами, что позволяет, имея данные о величине отклонения (система диагностирования приведена ниже), осуществлять диагностику, контроль и защиту силового трансформатора.

Данное устройство УМДМ относится к мобильному типу, т.е. позволяет свободно переносить устройство и применять к трансформаторам любого конструктивного исполнения.

Фигура 1 отображает общую схему подключения устройства УМДМ. Наиболее оптимально, в части исходного обеспечения вспомогательного оборудования, применять это устройство для комплектных трансформаторных подстанций, но оно так же может быть применено для трансформаторных подстанций с отдельно стоящем распределительным устройством высокого напряжения.

Трансформаторная подстанция, как правило, состоит из силового трансформатора, запитывающегося от трехфазного источника электропитания, распределительного устройства высокого напряжения (РУВН), распределительного устройства низкого напряжения (РУНН), питающего нагрузку.

Ячейка РУВН, питающая трансформатор, содержит высоковольтный автоматический выключатель и, как правило, устройство релейной защиты, которое так же измеряет напряжение на стороне высокого напряжения. В дополнение, в случае стационарного исполнения устройства диагностики и мониторинга, может быть установлен независимый расцепитель, позволяющей отключить трансформатор от питающей сети. В некоторых выключателях эта функция уже встроена. Если отсутствует возможность измерения напряжения, то к питающей сети подключается трансформатор напряжения. Он может быть установлен как в отдельной ячейке, так и в свободном месте в существующей ячейке.

РУНН состоит из вводного шкафа и распределительного шкафа, который питает нагрузку. Схема РУНН в данном случае не принципиальна. Вводной шкаф включает в себя автоматический выключатель, трансформаторы тока, амперметр и вольтметр. Как правило, они уже содержатся в большинстве вводных шкафов, т.к. служат для контроля. Так же необходим частотомер. На практике его необходимо будет дополнительно установить. Но перерыва в электроснабжении не будет, если РУНН состоит из нескольких, например двух, секций, т.к. во время монтажных работ электропитание будет осуществляться по другой секции.

Параметры сети (напряжение, частота) не имеют принципиального значения, т.к. устройство мониторинга и диагностики может быть настроено под любые параметры.

Фигура 2 отображает принципиальную схему УМДМ. Устройство содержит ряд блоков (таблица 1), которые собирают определенную информацию и производят необходимые вычисления. Сигналы приходят от всех трех фаз, что позволяет определить место дефекта.

Сначала перечислим их, затем опишем принцип действия устройства.

Таблица 1. Назначение блоков УМДМ	
Номер блока	Назначение
5	1 приводит первичное напряжение к вторичному напряжению
	2 вычисляет разность напряжений
	3 вычисляет средние значения напряжений
	4 вычисляет производные тока для обмоток низкого напряжения (НН)
	5 вычисляет падения напряжений на активных сопротивлениях
10	6 уставки активного сопротивления обмотки НН
	7 вычисляет индуктивности
	8 приводит значения индуктивности к номинальной частоте
	9 вычисляет средние значения индуктивности за период времени
	10 вычисляет отклонения индуктивности
15	11 уставки индуктивности обмотки НН
	12 контроль отклонения индуктивности, активного сопротивления

Номер блока	Назначение
20	13 защита контролируемого силового трансформатора
	14 сбор информации от систем диагностики, принятие решений
	15 дисплей (монитор)
	16 анализ гармонических составляющих в сети
	17 вычисляет производные тока для обмоток высокого напряжения (ВН)
	18 вычисляет падения напряжений на активных сопротивлениях
25	19 установка времени
	20 уставки активного сопротивления обмотки ВН
	21 уставки индуктивности обмотки ВН
	22 вычисляет активное сопротивление обмотки ВН
	23 вычисляет активное сопротивление обмотки НН
30	24 вычисляет отклонение активного сопротивления
	TV трансформатор напряжения на стороне ВН
	TI трансформатор тока (1 - ВН, 2 - НН)
	V вольтметр (1 - ВН, 2 - НН)
	A амперметр (1 - ВН, 2 - НН)
35	Hz частотомер

Принцип работы мобильного устройства мониторинга и диагностики силового трансформатора УМДМ следующий.

Постоянный или периодический мониторинг состояния обмоток силового трансформатора обеспечивается путем определения значения отклонения индуктивности и активного сопротивления в блоках 10 и 24 от базовых значений, которые определяются на заводе-изготовителе оборудования, за определенный период времени, который можно установить в соответствующих блоках, а так же отклонение значения этих значений между фазами.

В процессе работы силового трансформатора, питающего нагрузку, производятся измерения значения первичного напряжения U_1 и вторичного напряжения U_2 , например, с помощью V_1 и V_2 . Сигнал с V_1 поступает на вход блока 1. В блоке 1 вычисляется приведенное к вторичному значению первичного напряжения

$$U_1^* = U_1 / K_T \quad (1)$$

где K_T - коэффициент трансформации силового трансформатора.

На вход блока 2 поступают сигналы с V_2 и сигналы с выхода блока 1. В блоке 2 вычисления разности напряжений, приведенных к вторичной стороне. ΔU^*

определяется по формуле

$$\Delta U^* = U_1^* - U_2 \quad (2)$$

где U_2 - значение вторичного напряжения, измеренное V_2 .

В блоке 3 вычисление производится на заданном интервале времени, который может быть изменен в широких пределах в блоке 19

$$\Delta U_a^* = \frac{\Delta U^* j(t_2) + \Delta U^* j(t_1)}{2} \quad (3)$$

где,

- $\Delta U^* j$ - значения разности приведенных напряжений на силовом трансформаторе;
- t_1 и t_2 - временные границы интервала разбиения.

В блоке 17 и 4 вычисляется приращение по току на заданном интервале времени для обмоток ВН и НН соответственно

$$\frac{di_j}{dt} = \frac{i_j(t_2) - i_j(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

где i_j - значение тока в первичной или вторичной обмотке силового трансформатора, измеренное A_1 и A_2 .

В блоке 18 и 5 вычисляется падение напряжения на активном сопротивлении трансформатора для обмоток ВН и НН соответственно как произведение

$$\Delta U_{\text{пад}} = i_j \cdot R_m \quad (5)$$

где R_m - значение активного сопротивления трансформатора, которое вычисляется по формуле для обмоток ВН и НН (расчет происходит в блоках 22 и 23 соответственно).

$$R_m = \frac{dU}{di_j} \quad (6)$$

В блоке 7 определяется мгновенное значение индуктивности на заданном интервале времени для обмоток ВН и НН

$$L_j^* = \frac{\Delta U_a^* - i_j \cdot R}{\frac{di_j}{dt}} \quad (7)$$

В блоке 8 вычисляется мгновенное значение индуктивности, приведенное к номинальной частоте для обмоток ВН и НН

$$L_j^{\dot{}} = L_j^* \frac{f_a}{f_r} \quad (8)$$

где,

- f_a - измеренное частотомером значение частоты;
- f_r - номинальное значение частоты ($f_{\text{НОМ}}=50$ Гц).

В блоке 16 происходит анализ напряжения и тока на наличие гармоник. Данные о гармониках направляются в, например, фильтр для уточненной настройки его под реальные показатели сети.

В блоке 9 вычисляется среднее значение индуктивности за каждый период для обмоток ВН и НН

$$L_a = \sum_{j=1}^N \frac{L_j^{\dot{}}}{N} \quad (9)$$

где N - число интервалов разбиения.

В блоке 10 производится сравнение значения L_a за период со значением уставки L_{0j} из блока 21 и 11 для обмоток ВН и НН соответственно и вычисляется их отличие

$$\Delta L = \frac{L_a - L_r}{L_{0j}} \cdot 100\% \quad (10)$$

где,

- L_a - среднее значение индуктивности за период;

- L_r - значение уставки индуктивности силового трансформатора для обмоток ВН и НН, определяемое экспериментально на заводе-изготовителе оборудования.

В блоке 24 производится сравнение значения R_a за период со значением уставки R_r из блока 6 и 20 для обмоток ВН и НН соответственно и вычисляется их отличие

$$\Delta R = \frac{R_a - R_r}{R_r} \cdot 100\% \quad (11)$$

где,

- R_a - среднее значение активного сопротивления за период измерения (из блока 22 и 23);

где R_r - значение уставки активного сопротивления трансформатора.

Определяются по результатам эксперимента на заводе-изготовителе оборудования.

Отклонение для активного и индуктивного сопротивлений в пределах 2,5% является нормальным. Отклонения в пределах 5% показывает зарождение разрушающих процессов, но не требуется отключение его от сети и ремонта.

Отклонения 6-15% сигнализируют об опасности, подается сигнал оператору.

Необходимо выполнить мероприятия по выводу трансформатора в ремонт без отключения ответственных потребителей от сети. Отклонения 25% - аварийное отключение трансформатора от сети.

В случае возникновения начальных деформаций, а также в случае внутреннего виткового замыкания в обмотках трансформатора происходит развивающееся увеличение либо уменьшение значения ΔL , ΔR от периода к периоду, что сопровождается необратимое разрушение обмоток силового трансформатора. При этом с блока 12 поступает сигнал на блок 14, который анализирует полученные данные и принимает решения, такие как о необходимости экстренного отключения от питающей сети, продолжении измерений, сигнализации, что начались разрушения и др. При этом на дисплей 15 выводится световая или текстовая информация, которая указывает о режиме работы и состоянии обмоток трансформатора. Так же блок 14 позволяет принимать данные с других диагностических систем, анализировать (при соответствующей настройке) и принимать более точные решения по диагностированию. В случае аварийной ситуации, с блока 14 подается сигнал на блок 13 защиты, где формируется сигнал на отключение выключателя, и отправляется на реле или независимый расцепитель. Дисплей (монитор) (блок 15) позволяет контролировать весь процесс мониторинга и диагностирования. При подключении к нему дополнительных модулей возможна передача данных на расстояние в центральный диспетчерский пункт или местным операторам. Блок 16, который анализирует качество сети, а именно наличие гармоник, позволяет выявить их и передать эту информацию на фильтр гармоник, что позволит повысить качество электроэнергии и срок службы оборудования.

Учет величины активного сопротивления силового трансформатора в блоке 5 и 18, а затем при вычислении индуктивности в блоке 7 позволяет увеличить точность измерения величины индуктивности трансформатора и повысить надежность работы устройства в целом.

Во время работы синхросигналы с блока 12 осуществляют синхронизацию измерения значений di/dt и u_a с соответствующим шагом дискретизации.

В блоках 10 и 24 так же происходит сравнение индуктивности и активного сопротивления между фазами, что позволяет при отсутствии информации по ряду параметров от заводов-изготовителей оборудования произвести оценку состояния оборудования. Отличия между значениями указанных параметров не должны составлять более 2% для нормального состояния. Превышение показывает о наличие дефекта.

Блок 19 позволяет задавать любые временные интервалы, уменьшая и увеличивая которые можно производить контроль через каждую минуту, через сутки и т.д.

Достоинства вышеописанного устройства.

Приведенное выше устройство позволит контролировать состояние обмоток силовых трансформаторов без отключения их (трансформаторов) от сети, а также осуществлять их защиту в случае возникновения деформаций обмоток или их повреждения, позволит отправлять информацию диспетчерам, т.е. осуществлять дистанционный контроль. Это повышает бесперебойность электроснабжения потребителей электрической энергии.

Список источников для рассмотрения в ходе экспертизы 1. Богданов В.И., Богданов В.В., Степаненко Е.Б. Способ диагностики индуктивных обмоток. Патент на изобретение RU №2388004, кл. G01R 31/06, 2009.

2. Шлегель О.А., Хренников А.Ю., Жнякин О.В. Устройство для испытания трансформатора токами короткого замыкания. Авт. свид. СССР N 1821759, кл. G01R 31/02, 1993 г.

3. Yaya Liu; Ning Wang; Jianzhou Zhao. Oil-immersed inverted current transformer with function of insulation online monitoring. Патент CN №101707127 (A), кл. G01R 15/18; H01F 27/28; H01F 27/30; H01F 38/28, 2010.

(57) Реферат

Использование: для оперативного и непрерывного мониторинга, диагностики, контроля, защиты (путем подачи сигнала на отключение защитного устройства трансформатора) состояния обмоток силовых трансформаторов в процессе эксплуатации без отключения их от питающей сети и нагрузки. Сущность: мобильное устройство мониторинга, диагностики и защиты обмоток трансформаторов любого конструктивного исполнения от деформаций, снижения изоляции обмоток по значению отклонения индуктивности и активного сопротивления всех фаз и всех напряжение (первичного и вторичного). Отличается тем, что на него не влияют паразитные внешние воздействия, влияющие на результат, а так же оно просто в изготовлении и применении и не требует установки дополнительного оборудования, помимо стандартных, присутствующих в любой подстанции, позволяющее определить состояние изоляции обмотки и предотвратить аварии. 1 табл., 2 ил.

Реферат.

Использование: для оперативного и непрерывного мониторинга, диагностики, контроля, защиты (путем подачи сигнала на отключение защитного устройства трансформатора) состояния обмоток силовых трансформаторов в процессе эксплуатации без отключения их от питающей сети и нагрузки. Сущность: мобильное устройство мониторинга, диагностики и защиты обмоток трансформаторов любого конструктивного исполнения от деформаций, снижения изоляции обмоток по значению отклонения индуктивности и активного сопротивления всех фаз и всех напряжений (первичного и вторичного).

Отличается тем, что на него не влияют паразитные внешние воздействия, влияющие на результат, а так же оно просто в изготовлении и применении и не требует установки дополнительного оборудования, помимо стандартных, присутствующих в любой подстанции, позволяющее определить состояние изоляции обмотки и предотвратить аварии.

1 табл., 2 ил.

2011108790

МПК: H02H7/04, G01R31/02

**МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ
И ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ИХ ОТ НАГРУЗКИ**

Настоящая полезная модель относится к электроизмерительной технике и может быть использована для оперативного мониторинга, диагностики обмоток и защиты силовых трансформаторов в процессе эксплуатации без отключения их от сети и нагрузки.

Из существующего уровня техники известно изобретение (патент № 2388004) для диагностики индуктивных обмоток, которое заключается в сравнении при номинальном токе реактивного сопротивления испытуемой индуктивной обмотки с реактивным сопротивлением исправной одноступенчатой индуктивной обмотки. Сравнение реактивного сопротивления испытуемой индуктивной обмотки выполняется путем включения ее с помощью вспомогательных электрических цепей к выводам вторичной обмотки трехфазного трансформатора с регулируемым напряжением. Недостатками данного технического решения являются высокая сложность (необходимость трансформатора для проверки), отсутствие возможности мгновенного контроля (необходимость отключения от нагрузки испытуемого устройства), низкая точность и достоверность, вызванная тем, что результаты на отключенном от сети силовом трансформаторе сильно отличаются от результатов, полученных в рабочем режиме (из-за температурного режима, напряженности электрического поля).

Известно устройство (патент CN 101707127) осуществляет постоянный контроль состояния изоляции маслонаполненного трансформатора. Принцип заключается в том, что когда изоляция находится в состоянии близкому к пробое, происходит изменение величины емкости. Вычисляется изменение емкости и по ней определяется степень старения и повреждения изоляции обмотки. Недостатки данного устройства следующие: высокая погрешность

из-за воздействия электромагнитных полей (устройство подключается к обмоткам и в процессе получения и передачи данных происходит внешнее негативное воздействие на данные), невозможность применения для мощных трансформаторов, необходимость отключения трансформатора от сети и установку данного устройства, что ведет к увеличению риска выхода из строя трансформатора и представляет большую сложность.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению, является устройство (авт. свид. СССР N 1821759) - прототип. Оно служит для контроля и защиты обмоток силового трансформатора в процессе испытаний. Это устройство измеряет напряжение на стороне высокого и низкого напряжений, а так же ток на низкой стороне. Контроль осуществляется по величине индуктивности трансформатора, которая вычисляется как отношение среднего значения напряжения к производной тока, среднее значение индуктивности и отклонение полученного значения индуктивности от номинальной уставки. Недостатком данного устройства является низкая точность, в виду отсутствия контроля других параметров, не учитывается воздействие нелинейных нагрузок (гармоник), узкая применимость в виду привязки к ряду конструктивных особенностей мощных трансформаторов.

Цель полезной модели - разработка более надежного и эффективного способа мониторинга, диагностики обмоток, в том числе изоляции, трансформатора в процессе его работы, вне зависимости от его конструктивных особенностей и обеспечение непрерывной защиты трансформатора в процессе эксплуатации, и в случае начала возникновения деформаций обмоток трансформатора или их повреждения аварийного отключения трансформатора от сети.

Данная задача решается за счет того, что заявленное устройство мониторинга, диагностики, защиты трансформаторов от деформаций обмоток и повреждения (ухудшения свойств) изоляции обмоток без отключения их (трансформаторов) от питающей сети и нагрузки, характеризуется тем, что содержит выходы измерительных элементов

(тока, напряжения, частоты), включенных в цепь каждой фазы первичной и вторичной обмотки, которые соединены с выходом элемента, задающего время для получения данных и расчета, с входами блоков вычисления активного сопротивления, приведения первичного напряжения к вторичному, вычисления разности напряжений, вычисления падения напряжения на активных сопротивлениях, приведения значения индуктивности к номинальной частоте, выходы которых соединены с соответствующими входами блоков вычисления производных тока для первичного и вторичного напряжений, вычисления среднего значения напряжений, вычисления индуктивности, вычисления средних значений индуктивности для всех напряжений, всех фаз за установленный промежуток времени, вычисления отклонений активного сопротивления и индуктивности для всех напряжений, всех фаз за установленный промежуток времени, относительно фаз и номинальных значений, которые определяются заводом-изготовителем оборудования при соответствующих испытаниях, после чего данные передаются на блок контроля индуктивности и активного сопротивления для первичного и вторичного напряжений и всех фаз, откуда информация передается на блок, объединяющий информацию со всех устройств контроля, мониторинга и диагностики, принимает решение по полученным величинам (отклонениям) (отклонение для активного и индуктивного сопротивлений в пределах 2,5 % является нормальным; отклонения в пределах 5 % показывает зарождение разрушающих процессов, но не требуется отключение его от сети и ремонта; отклонения 6-15 % сигнализируют об опасности, подается сигнал оператору, необходимо выполнить мероприятия по выводу трансформатора в ремонт без отключения ответственных потребителей от сети; отклонения 25% - аварийное отключение трансформатора от сети; отклонения между фазами измеряемых значений активного сопротивления и индуктивности для нормального состояния не должно превышать 2%) на продолжение работы или отключение трансформатора от сети, путем подачи сигнала на расцепитель и/или реле вводного автоматического выключателя

или другого защитного устройства трансформатора, так же вся информация подается на монитор (дисплей), с помощью которого осуществляется информирование людей о состоянии оборудования.

Техническим результатом, обеспечиваемым приведенной совокупностью признаков, является мгновенное определение ресурса и состояния (диагностирование) обмоток силового трансформатора, защита трансформатора, предотвращение аварийных выходов из строя трансформаторного оборудования, а так же придание мобильности искомому устройству, увеличение надежности эксплуатации трансформатора.

Сущность полезной модели поясняется чертежами, на которых изображено:

- на фиг. 1 – схема подключения мобильного устройства мониторинга и диагностики (УМДМ) к измерительным приборам силового трансформатора;
- на фиг. 2 - схема УМДМ.

В таблице 1 представлено описание блоков (элементов) устройства УМДМ.

Раскрытие и осуществление полезной модели.

Первым существенным признаком для достижения указанного выше технического результата, является расчет отклонения активного сопротивления для каждой фазы на стороне высокого и низкого напряжений в блоках 22, 23, 24 с любым интервалом времени и учетом нелинейных составляющих (гармоник).

Вторым существенным признаком является то, что выполняется расчет отклонения индуктивности для каждой фазы на стороне высокого и низкого напряжений в блоках 7, 8, 9, 10 с любым интервалом времени и учетом нелинейных составляющих (гармоник).

Третьим существенным признаком является то, что выполняется сравнение отклонений значений активного сопротивления и индуктивности с номинальными значениями, установленными заводом-изготовителем оборудования, и между фазами, что позволяет, имея данные о величине

отклонения (система диагностирования приведена ниже), осуществлять диагностику, контроль и защиту силового трансформатора.

Данное устройство УМДМ относится к мобильному типу, т.е. позволяет свободно переносить устройство и применять к трансформаторам любого конструктивного исполнения.

Фигура 1 отображает общую схему подключения устройства УМДМ. Наиболее оптимально, в части исходного обеспечения вспомогательного оборудования, применять это устройство для комплектных трансформаторных подстанций, но оно так же может быть применено для трансформаторных подстанций с отдельно стоящем распределительным устройством высокого напряжения. Трансформаторная подстанция, как правило, состоит из силового трансформатора, запитывающегося от трехфазного источника электропитания, распределительного устройства высокого напряжения (РУВН), распределительного устройства низкого напряжения (РУНН), питающего нагрузку.

Ячейка РУВН, питающая трансформатор, содержит высоковольтный автоматический выключатель и, как правило, устройство релейной защиты, которое так же измеряет напряжение на стороне высокого напряжения. В дополнение, в случае стационарного исполнения устройства диагностики и мониторинга, может быть установлен независимый расцепитель, позволяющей отключить трансформатор от питающей сети. В некоторых выключателях эта функция уже встроена. Если отсутствует возможность измерения напряжения, то к питающей сети подключается трансформатор напряжения. Он может быть установлен как в отдельной ячейке, так и в свободном месте в существующей ячейке.

РУНН состоит из вводного шкафа и распределительного шкафа, который питает нагрузку. Схема РУНН в данном случае не принципиальна. Вводной шкаф включает в себя автоматический выключатель, трансформаторы тока, амперметр и вольтметр. Как правило, они уже содержатся в большинстве вводных шкафов, т.к. служат для контроля. Так

же необходим частотомер. На практике его необходимо будет дополнительно установить. Но перерыва в электроснабжении не будет, если РУНН состоит из нескольких, например двух, секций, т.к. во время монтажных работ электропитание будет осуществляться по другой секции.

Параметры сети (напряжение, частота) не имеют принципиального значения, т.к. устройство мониторинга и диагностики может быть настроено под любые параметры.

Фигура 2 отображает принципиальную схему УМДМ. Устройство содержит ряд блоков (таблица 1), которые собирают определенную информацию и производят необходимые вычисления. Сигналы приходят от всех трех фаз, что позволяет определить место дефекта.

Сначала перечислим их, затем опишем принцип действия устройства.

Таблица 1. Назначение блоков УМДМ

Номер блока	Назначение
1	приводит первичное напряжение к вторичному напряжению
2	вычисляет разность напряжений
3	вычисляет средние значения напряжений
4	вычисляет производные тока для обмоток низкого напряжения (НН)
5	вычисляет падения напряжений на активных сопротивлениях
6	уставки активного сопротивления обмотки НН
7	вычисляет индуктивности
8	приводит значения индуктивности к номинальной частоте
9	вычисляет средние значения индуктивности за период времени
10	вычисляет отклонения индуктивности
11	уставки индуктивности обмотки НН
12	контроль отклонения индуктивности, активного сопротивления

Номер блока	Назначение
13	защита контролируемого силового трансформатора
14	сбор информации от систем диагностики, принятие решений
15	дисплей (монитор)
16	анализ гармонических составляющих в сети
17	вычисляет производные тока для обмоток высокого напряжения (ВН)
18	вычисляет падения напряжений на активных сопротивлениях
19	установка времени
20	уставки активного сопротивления обмотки ВН
21	уставки индуктивности обмотки ВН
22	вычисляет активное сопротивление обмотки ВН
23	вычисляет активное сопротивление обмотки НН
24	вычисляет отклонение активного сопротивления
TV	трансформатор напряжения на стороне ВН
TI	трансформатор тока (1 - ВН, 2 – НН)
V	вольтметр (1 - ВН, 2 – НН)
A	амперметр (1 - ВН, 2 – НН)
H _z	частотметр

Принцип работы мобильного устройства мониторинга и диагностики силового трансформатора УМДМ следующий.

Постоянный или периодический мониторинг состояния обмоток силового трансформатора обеспечивается путем определения значения отклонения индуктивности и активного сопротивления в блоках 10 и 24 от базовых значений, которые определяются на заводе-изготовителе оборудования, за определенный период времени, который можно установить в соответствующих блоках, а так же отклонение значения этих значений между фазами.

В процессе работы силового трансформатора, питающего нагрузку, производятся измерения значения первичного напряжения U_1 и вторичного напряжения U_2 , например, с помощью V_1 и V_2 . Сигнал с V_1 поступает на вход блока 1. В блоке 1 вычисляется приведенное к вторичному значению первичного напряжения

$$U_1^* = U_1/K_T \quad (1)$$

где K_T - коэффициент трансформации силового трансформатора.

На вход блока 2 поступают сигналы с V_2 и сигналы с выхода блока 1. В блоке 2 вычисления разности напряжений, приведенных к вторичной стороне. ΔU^* определяется по формуле

$$\Delta U^* = U_1^* - U_2 \quad (2)$$

где U_2 - значение вторичного напряжения, измеренное V_2 .

В блоке 3 вычисление производится на заданном интервале времени, который может быть изменен в широких пределах в блоке 19

$$\Delta U_a^* = \frac{\Delta U^* j(t_2) + \Delta U^* j(t_1)}{2} \quad (3)$$

где,

- $\Delta U^* j$ - значения разности приведенных напряжений на силовом трансформаторе;

- t_1 и t_2 - временные границы интервала разбиения.

В блоке 17 и 4 вычисляется приращение по току на заданном интервале времени для обмоток ВН и НН соответственно

$$\frac{dij}{dt} = \frac{ij(t_2) - ij(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

где ij - значение тока в первичной или вторичной обмотке силового трансформатора, измеренное A_1 и A_2 .

В блоке 18 и 5 вычисляется падение напряжения на активном сопротивлении трансформатора для обмоток ВН и НН соответственно как произведение

$$\Delta U_{\text{пад}} = ij \cdot R_m \quad (5)$$

где R_m - значение активного сопротивления трансформатора, которое вычисляется по формуле для обмоток ВН и НН (расчет происходит в блоках 22 и 23 соответственно).

$$R_m = \frac{dU}{dij} \quad (6)$$

В блоке 7 определяется мгновенное значение индуктивности на заданном интервале времени для обмоток ВН и НН

$$L_{jm} = \frac{\Delta U_a^* - ij \cdot R}{\frac{dij}{dt}} \quad (7)$$

В блоке 8 вычисляется мгновенное значение индуктивности, приведенное к номинальной частоте для обмоток ВН и НН

$$L_j = L_{ja} \frac{f_a}{f_r} \quad (8)$$

где,

- f_a - измеренное частотомером значение частоты;

- f_r - номинальное значение частоты ($f_{ном} = 50$ Гц).

В блоке 16 происходит анализ напряжения и тока на наличие гармоник. Данные о гармониках направляются в, например, фильтр для уточненной настройки его под реальные показатели сети.

В блоке 9 вычисляется среднее значение индуктивности за каждый период для обмоток ВН и НН

$$L_a = \sum_{j=1}^N \frac{L_j}{N} \quad (9)$$

где N - число интервалов разбиения.

В блоке 10 производится сравнение значения L_a за период со значением уставки L_{0j} из блока 21 и 11 для обмоток ВН и НН соответственно и вычисляется их отличие

$$\Delta L = \frac{L_a - L_r}{L_{0j}} \cdot 100\% \quad (10)$$

где,

- L_a - среднее значение индуктивности за период;
- L_r - значение уставки индуктивности силового трансформатора для обмоток ВН и НН, определяемое экспериментально на заводе-изготовителе оборудования.

В блоке 24 производится сравнение значения R_a за период со значением уставки R_r из блока 6 и 20 для обмоток ВН и НН соответственно и вычисляется их отличие

$$\Delta R = \frac{R_a - R_r}{R_r} \cdot 100\% \quad (11)$$

где,

- R_a - среднее значение активного сопротивления за период измерения (из блока 22 и 23);

где R_r - значение уставки активного сопротивления трансформатора. Определяются по результатам эксперимента на заводе-изготовителе оборудования.

Отклонение для активного и индуктивного сопротивлений в пределах 2,5 % является нормальным. Отклонения в пределах 5 % показывает зарождение разрушающих процессов, но не требуется отключение его от сети и ремонта. Отклонения 6-15 % сигнализируют об опасности, подается сигнал оператору. Необходимо выполнить мероприятия по выводу трансформатора в ремонт без отключения ответственных потребителей от сети. Отклонения 25% - аварийное отключение трансформатора от сети.

В случае возникновения начальных деформаций, а также в случае внутреннего виткового замыкания в обмотках трансформатора происходит развивающееся увеличение либо уменьшение значения ΔL , ΔR от периода к периоду, что сопровождается необратимое разрушение обмоток силового трансформатора. При этом с блока 12 поступает сигнал на блок 14, который анализирует полученные данные и принимает решения, такие как о необходимости экстренного отключения от питающей сети, продолжении измерений, сигнализации, что начались разрушения и др. При этом на

дисплей 15 выводится световая или текстовая информация, которая указывает о режиме работы и состоянии обмоток трансформатора. Так же блок 14 позволяет принимать данные с других диагностических систем, анализировать (при соответствующей настройке) и принимать более точные решения по диагностированию. В случае аварийной ситуации, с блока 14 подается сигнал на блок 13 защиты, где формируется сигнал на отключение выключателя, и отправляется на реле или независимый расцепитель. Дисплей (монитор) (блок 15) позволяет контролировать весь процесс мониторинга и диагностирования. При подключении к нему дополнительных модулей возможна передача данных на расстояние в центральный диспетчерский пункт или местным операторам. Блок 16, который анализирует качество сети, а именно наличие гармоник, позволяет выявить их и передать эту информацию на фильтр гармоник, что позволит повысить качество электроэнергии и срок службы оборудования.

Учет величины активного сопротивления силового трансформатора в блоке 5 и 18, а затем при вычислении индуктивности в блоке 7 позволяет увеличить точность измерения величины индуктивности трансформатора и повысить надежность работы устройства в целом.

Во время работы синхросигналы с блока 12 осуществляют синхронизацию измерения значений di/dt и u_a с соответствующим шагом дискретизации.

В блоках 10 и 24 так же происходит сравнение индуктивности и активного сопротивления между фазами, что позволяет при отсутствии информации по ряду параметров от заводов-изготовителей оборудования произвести оценку состояния оборудования. Отличия между значениями указанных параметров не должны составлять более 2% для нормального состояния. Превышение показывает о наличие дефекта.

Блок 19 позволяет задавать любые временные интервалы, уменьшая и увеличивая которые можно производить контроль через каждую минуту, через сутки и т.д.

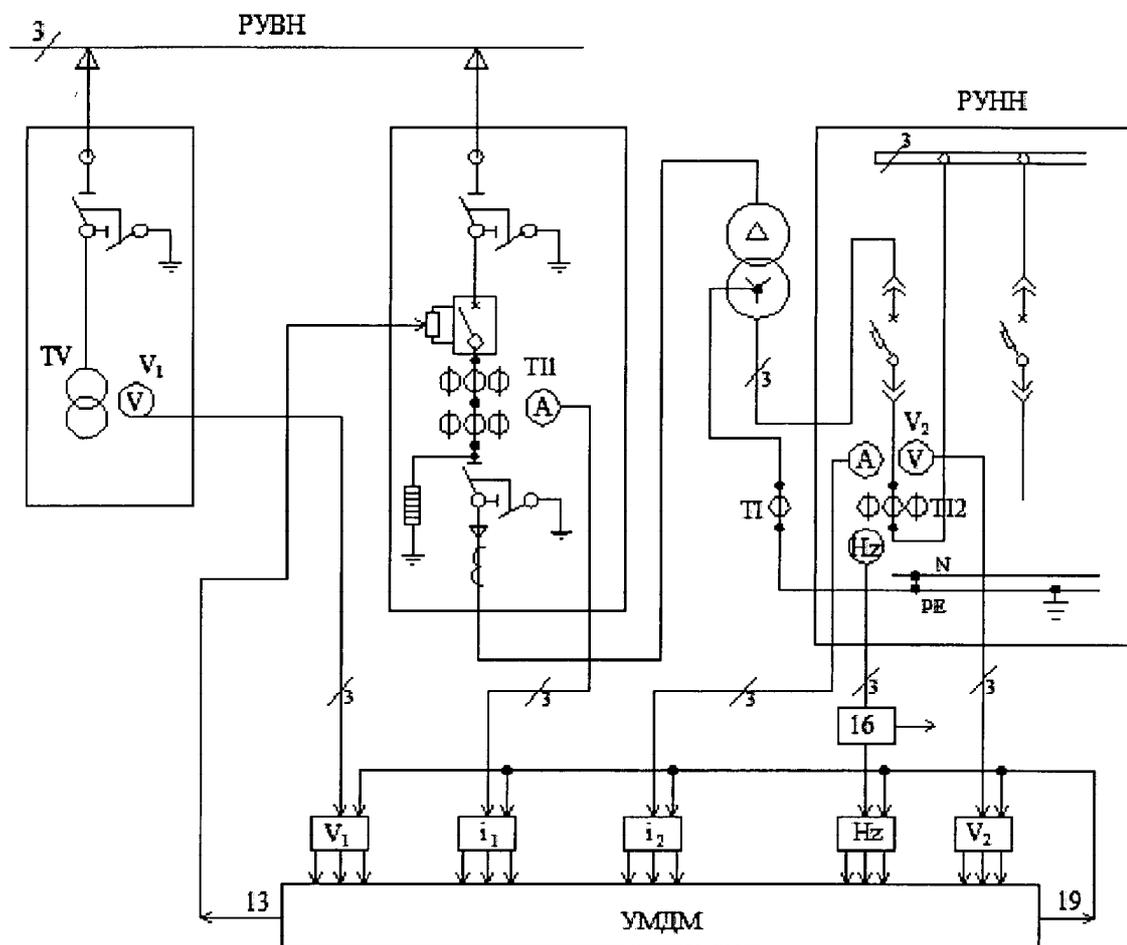
Достоинства вышеописанного устройства.

Приведенное выше устройство позволит контролировать состояние обмоток силовых трансформаторов без отключения их (трансформаторов) от сети, а также осуществлять их защиту в случае возникновения деформаций обмоток или их повреждения, позволит отправлять информацию диспетчерам, т.е. осуществлять дистанционный контроль. Это повышает бесперебойность электроснабжения потребителей электрической энергии.

Список источников для рассмотрения в ходе экспертизы

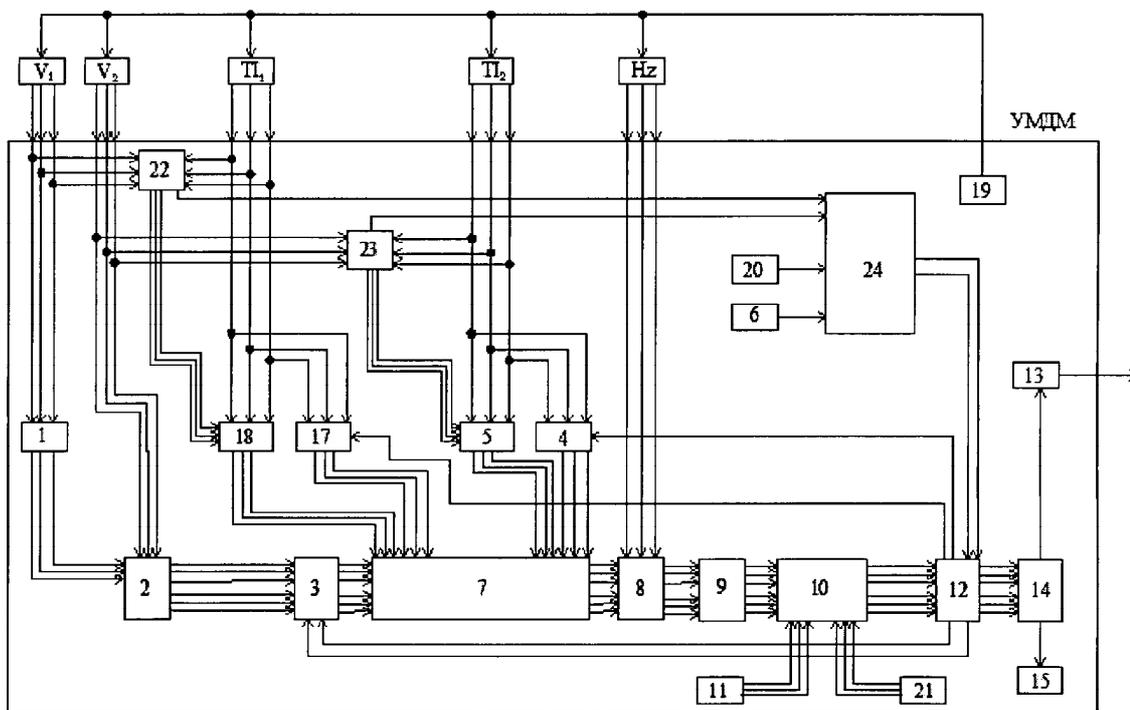
1. Богданов В.И., Богданов В.В., Степаненко Е.Б. Способ диагностики индуктивных обмоток. Патент на изобретение RU № 2388004, кл. G01R31/06, 2009.
2. Шлегель О. А., Хренников А.Ю., Жнякин О.В. Устройство для испытания трансформатора токами короткого замыкания. Авт. свид. СССР N 1821759, кл. G 01 R 31/02, 1993 г.
3. Yaya Liu; Ning Wang; Jianzhou Zhao. Oil-immersed inverted current transformer with function of insulation online monitoring. Патент CN № 101707127 (A), кл. G01R15/18; H01F27/28; H01F27/30; H01F38/28, 2010.

**МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ
И ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ИХ ОТ НАГРУЗКИ**



Фиг. 1

**МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА, ДИАГНОСТИКИ
И ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ИХ ОТ НАГРУЗКИ**



Фиг. 2