

**ОПИСАНИЕ
ПОЛЕЗНОЙ
МОДЕЛИ К
ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **6428**
(13) **U**
(46) **2010.08.30**
(51) МПК (2009)
H 02H 6/00

(54)

**УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО
ТРАНСФОРМАТОРА ОТ ПЕРЕГРЕВА**

(21) Номер заявки: u 20100005

(22) 2010.01.04

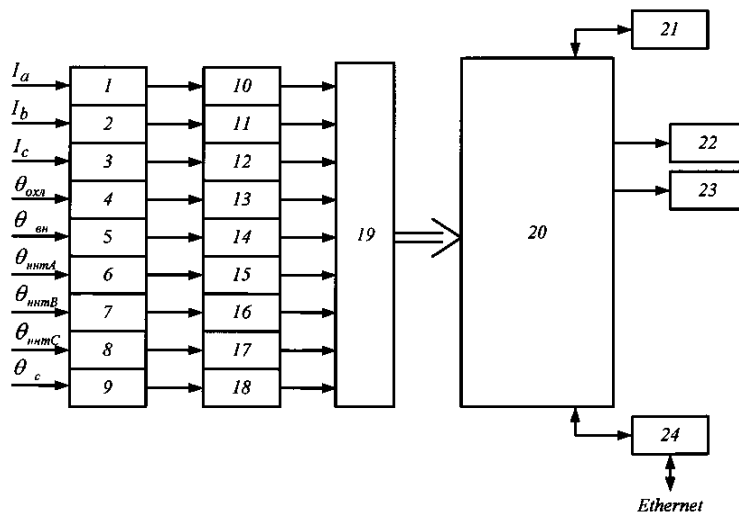
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Гомельский государственный тех-
нический университет имени П.О.Су-
хого" (ВУ)

(72) Авторы: Лось Дмитрий Михайлович;
Широков Олег Геннадьевич; Зализный
Дмитрий Иванович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Гомельский государственный
технический университет имени П.О.Су-
хого" (ВУ)

(57)

Устройство защиты силового трансформатора от перегрева, содержащее датчик температуры наружного воздуха, соединенный с входом измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, три датчика токов, включенные на стороне низкого напряжения трансформатора, соединенные с входами соответствующих измерительных преобразователей ток-напряжение, при этом выходы всех измерительных преобразователей подключены к входам аналого-цифрового преобразователя, соединенного с микроконтроллером, к выходу которого подключено энергонезависимое запоминающее устройство, дисплей, реле управления и преобразователь уровней сигналов, **отличающееся** тем, что содержит датчик температуры внутренней охлаждающей среды, три датчика температуры обмоток низкого напряжения трансформатора и датчик температуры магнитопровода, каждый из которых соединен с входом соответствующего измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, а преобразователь уровней сигналов выполнен для интерфейса связи Ethernet.



ВУ 6428 U 2010.08.30

(56)

1. Pat. 6424266 U.S., Int. CI G 08B 17/00. Apparatus for preventing thermal damage to an electrical power transformer / Mark Antony Weekes et al; Filed 17.07.2000; Granted 23.07.2002; www.patft.uspto.gov.

2. Патент РБ на полезную модель 3784. // БИ № 4. - 2007. - С. 242.

Полезная модель относится к области электротехники, преимущественно к устройствам защиты с применением тепловых моделей защищаемых объектов, и может быть использована на закрытых трансформаторных подстанциях, оснащенных силовыми сухими трансформаторами.

Известно устройство защиты электрического силового трансформатора [1], содержащее датчик температуры наружного воздуха, который соединен с входом измерительного преобразователя температура-напряжение, и датчик тока обмотки, соединенный с измерительным преобразователем ток-напряжение. Выходы измерительных преобразователей соединены с входами аналого-цифрового преобразователя, подключенного к микроконтроллеру. Результаты измерений выводятся на дисплей или передаются посредством интерфейса связи на персональный компьютер. На основе программного обеспечения, заложенного в микроконтроллер, производится расчет температуры элементов трансформатора на основе математической модели тепловых процессов. При приближении температуры наиболее нагретой точки обмотки к критическому значению срабатывает реле защиты. Данное устройство не защищает силовой сухой трансформатор и не позволяет выявить аномальный нагрев, обусловленный развитием внутренних повреждений.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству является устройство защиты силового трансформатора от аномального нагрева [2], содержащее датчик температуры наружного воздуха, соединенный с входом измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, датчики тока по количеству обмоток низкого напряжения силового трансформатора, соединенные с входами измерительных преобразователей ток-напряжение. Измерительные преобразователи своими выходами подключены к входам аналого-цифрового преобразователя, соединенного с микроконтроллером, к выходу которого подключен дисплей, энергонезависимое запоминающее устройство, реле управления и преобразователь уровней сигналов. Результаты измерений выводятся на дисплей или передаются посредством интерфейса связи на персональный компьютер. Данное устройство не защищает силовой сухой трансформатор от перегрузки и ускоренного износа витковой изоляции.

Задачей заявляемой полезной модели является разработка устройства, обеспечивающего защиту силового сухого трансформатора от перегрузки с возможностью определения степени износа витковой изоляции и раннего выявления аномального нагрева силового сухого трансформатора, обусловленного развитием внутренних повреждений трансформатора.

Поставленная задача достигается тем, что в известном устройстве, содержащем датчик температуры наружного воздуха, соединенный с входом измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, три датчика токов соответствующих фаз обмоток, включенные на стороне низкого напряжения трансформатора, каждый из которых соединен с входом соответствующего измерительного преобразователя ток-напряжение, аналого-цифровой преобразователь, на который поступают сигналы со всех перечисленных измерительных преобразователей, микроконтроллер, энергонезависимое запоминающее устройство, дисплей, реле управления и преобразователь уровней сигналов согласно заявляемой полезной модели введен датчик температуры внутренней охлаждающей среды, три датчика температуры обмоток низкого напряжения трансформатора и датчик температуры магнитопровода, каждый из которых соединен с входом соответствующего изме-

рительного преобразователя сопротивление-напряжение, а преобразователь уровней выполнен для интерфейса связи Ethernet.

На фигуре показана функциональная схема заявляемого устройства.

Согласно приведенной функциональной схеме, заявляемая полезная модель содержит датчики тока каждой из фаз токов обмоток на стороне низкого напряжения силового трансформатора 1, 2, 3, датчик температуры внешней охлаждающей среды 4, датчик температуры внутренней охлаждающей среды 5, датчики температуры обмоток низкого напряжения силового сухого трансформатора 6, 7, 8 и магнитопровода 9. Датчики 1, 2, 3 соединены с входами измерительных преобразователей ток-напряжение 10-12. Датчики 4-9 соединены с входами измерительных преобразователей сопротивление-напряжение 13-18. Выходы измерительных преобразователей 10-18 соединены с входами аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 19, соединенного цифровыми выходами с соответствующими входами микроконтроллера 20. С соответствующими выходами микроконтроллера соединены дисплей 22 и цифровое реле управления 23. С интерфейсными выходами микроконтроллера соединено энергонезависимое запоминающее устройство для хранения данных 21, а также преобразователь уровней сигналов для интерфейса связи Ethernet 24.

Полезная модель работает следующим образом. Микроконтроллер 20 выполняет сбор информации и осуществляет вычисления. С помощью датчиков токов 1, 2, 3 осуществляется измерение токов нагрузки в каждой из фаз на стороне низкого напряжения силового трансформатора (I_a, I_b, I_c). С помощью датчиков температуры 4-9 осуществляется измерение температуры внешней охлаждающей среды $\theta_{охл}$, температуры внутренней охлаждающей среды $\theta_{вн}$, температур трех обмоток низкого напряжения трансформатора $\theta_{ннтА}, \theta_{ннтВ}, \theta_{ннтС}$ и температуры магнитопровода θ_c . Измеренные величины посредством измерительных преобразователей 13-18 поступают на входы АЦП 19 и далее обрабатываются микроконтроллером 20. Значения необходимых контролируемых величин отображаются на дисплее 22 и передаются в персональный компьютер посредством интерфейса связи 24, который позволяет объединить приборы на подстанции в локальную сеть. В случае нарушения связи с персональным компьютером измеренные величины накапливаются в энергонезависимом запоминающем устройстве 21.

На основании математической модели тепловых процессов силового трансформатора производится расчет температуры магнитопровода и обмотки, которые должны иметь место в исправном трансформаторе. В микроконтроллере 20 хранится соответствующее программное обеспечение, которое позволяет эквивалентно решить систему дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\theta_{охл}(t) - \theta_{вн}(t)}{R_4} = \Delta P_{охл}(t); \\ C_4 \frac{d\theta_{вн}(t)}{dt} + \frac{\theta_{вн}(t) - \theta_{охл}(t)}{R_4} + \frac{\theta_{вн}(t) - \theta_{из}(t)}{R_3} + \frac{\theta_{вн}(t) - \theta_c(t)}{R_1} = 0; \\ C_3 \frac{d\theta_{из}(t)}{dt} + \frac{\theta_{из}(t) - \theta_{вн}(t)}{R_3} + \frac{\theta_{из}(t) - \theta_{ннт}(t)}{R_2} = 0; \\ C_2 \frac{d\theta_{ннт}(t)}{dt} + \frac{\theta_{ннт}(t) - \theta_{из}(t)}{R_2} = \Delta P_{кн}(K_H(t))^2; \\ C_1 \frac{d\theta_c(t)}{dt} + \frac{\theta_c(t) - \theta_{вн}(t)}{R_1} = \Delta P_{xx}(t), \end{array} \right.$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 - теплоемкости соответственно магнитопровода, обмотки, изоляции и внутренней охлаждающей среды трансформатора;

ВУ 6428 U 2010.08.30

R_1, R_2, R_3, R_4 - тепловые сопротивления, соответственно магнитопровод - внутренняя охлаждающая среда, обмотка - изоляция, изоляция - внутренняя охлаждающая среда, внутренняя охлаждающая среда - внешняя охлаждающая среда;

$\theta_c, \theta_{\text{ннт}}, \theta_{\text{из}}, \theta_{\text{вн}}$ - температуры соответственно магнитопровода, обмотки, изоляции и внутренней охлаждающей среды трансформатора;

ΔP_{xx} - потери холостого хода трансформатора;

$\Delta P_{\text{н}}$ - нагрузочные потери.

Нагрузочные потери:

$$\Delta P_{\text{н}} = \Delta P_{\text{к.ном}} \cdot \left(\frac{I_a + I_b + I_c}{I_{\text{ном}}} \right)^2,$$

где $\Delta P_{\text{к.ном}}$ - номинальные потери короткого замыкания трансформатора;

$I_{\text{ном}}$ - номинальный ток обмотки трансформатора.

Значения $\Delta P_{\text{xx}}, \Delta P_{\text{к.ном}}$ и $I_{\text{ном}}$ являются паспортными данными трансформатора.

В качестве температуры обмотки $\theta_{\text{ннт}}$ примем среднее значение:

$$\theta_{\text{ннт}} = \frac{\theta_{\text{ннтА}} + \theta_{\text{ннтВ}} + \theta_{\text{ннтС}}}{3},$$

где $\theta_{\text{ннтА}}, \theta_{\text{ннтВ}}, \theta_{\text{ннтС}}$ - измеренные значения температур обмоток трансформатора.

Тепловые сопротивления рассчитываются по выражениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \frac{\theta_c - \theta_{\text{вн}}}{\Delta P_{\text{xx}}}; \\ R_2 = \frac{\theta_{\text{ннт}} - \theta_{\text{из}}}{\Delta P_{\text{н}}}; \\ R_3 = \frac{\theta_{\text{из}} - \theta_{\text{вн}}}{\Delta P_{\text{н}}}; \\ R_4 = \frac{\theta_{\text{вн}} - \theta_{\text{охл}}}{\Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{н}}}, \end{array} \right.$$

где $\theta_c, \theta_{\text{ннт}}, \theta_{\text{из}}, \theta_{\text{вн}}$ - величины температур, определяемые опытным путем в установившемся тепловом режиме при некоторой нагрузке.

Теплоемкости рассчитываются по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = c_{\text{уд.ст}} \cdot G_{\text{ст}}; \\ C_2 = c_{\text{уд.Аl(Cu)}} \cdot G_{\text{Аl(Cu)}}; \\ C_3 = c_{\text{уд.из}} \cdot G_{\text{из}}; \\ C_4 = c_{\text{уд.в}} \cdot \rho_v \cdot (a \cdot b \cdot c), \end{array} \right.$$

где $c_{\text{уд.ст}}, c_{\text{уд.Аl(Cu)}, c_{\text{уд.из}}, c_{\text{уд.в}}$ - удельные теплоемкости соответственно стали, алюминия (или меди), изоляционного материала обмотки и воздуха (воздушной прослойки);

$G_{\text{ст}}, G_{\text{Аl(Cu)}, G_{\text{из}}$ - массы соответственно стали, алюминия (или меди) и изоляционного материала;

ρ_v - плотность воздуха;

a, b, c - габаритные размеры кожуха трансформатора.

Значения $G_{\text{ст}}, G_{\text{Аl(Cu)}, G_{\text{из}}, \rho_v, a, b, c, c_{\text{уд.ст}}, c_{\text{уд.Аl(Cu)}, c_{\text{уд.из}}, c_{\text{уд.в}}$ являются справочными данными.

Далее, на основании известной температуры $\theta_{\text{ннт}}$ осуществляется расчет суточного износа витковой изоляции по выражению:

ВУ 6428 U 2010.08.30

$$L = \frac{\Delta t}{T} \sum_{i=1}^N 2^{\frac{\theta_{\text{ннт}i} - \theta_{\text{ннт.ном}}}{10}},$$

где Δt - минимальный интервал измерения температуры;

T - длительность периода измерения (обычно сутки);

N - количество интервалов Δt , приходящихся на период T ;

$\theta_{\text{ннт.ном}}$ - номинальное значение температуры наиболее нагретой точки обмотки для данного класса изоляции.

Таким образом, осуществляется расчет температур основных элементов трансформатора. На основе сравнения непосредственно измеренных (с помощью датчиков температуры) $\theta_{\text{с.и.}}$, $\theta_{\text{ннт.и.}}$ и полученных расчетным путем по математической модели $\theta_{\text{с}}$, $\theta_{\text{ннт}}$ температур программное обеспечение микроконтроллера позволяет выявлять аномальный нагрев силового трансформатора на ранней стадии, когда температуры магнитопровода и обмоток не достигли критических значений.

Кроме того, зная температуру наиболее нагретой точки обмотки $\theta_{\text{ннт}}$ и величину износа витковой изоляции L можно прогнозировать срок службы трансформатора.

Аномальный нагрев имеет место в случае отличия между измеренными и расчетными значениями температур в 5°C [2]. В этом случае устройство выдает сигнал предупреждения посредством срабатывания реле 23. Реле 23 срабатывает также при достижении температур $\theta_{\text{с}}$ и $\theta_{\text{ннт}}$ критических значений.

Таким образом, заявляемая полезная модель позволяет на ранней стадии выявить аномальный нагрев силового сухого трансформатора, а также предотвратить перегрузку и спрогнозировать срок службы силового сухого трансформатора, что в итоге позволит повысить надежность его эксплуатации.