

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

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **3784**
(13) **U**
(46) **2007.08.30**
(51) МПК (2006)
H 02H 6/00

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРЕХФАЗНОГО СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА АНОРМАЛЬНЫЙ НАГРЕВ**

(21) Номер заявки: u 20070079
(22) 2007.02.02

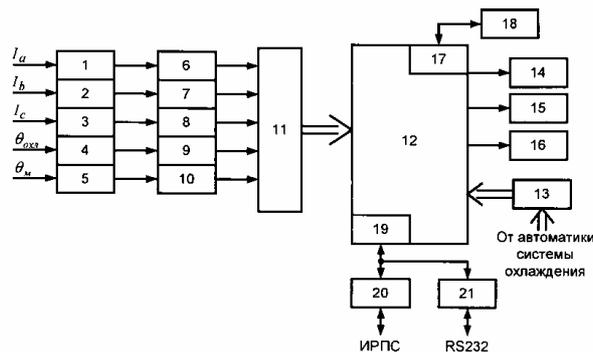
(71) Заявитель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого" (ВУ)

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

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого" (ВУ)

(57)

1. Устройство для диагностирования трехфазного силового масляного трансформатора на аномальный нагрев, содержащее датчик температуры наружного воздуха, соединенный с входом измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, и датчик одной фазы тока обмотки трансформатора, соединенный со входом измерительного преобразователя ток-напряжение, при этом выходы измерительных преобразователей соединены со входами аналого-цифрового преобразователя, выходы которого соединены с соответствующими входами микроконтроллера, соединенного соответствующими выходами с дисплеем, сигнальным светодиодом и цифровым реле управления, отличающееся тем, что дополнительно содержит два датчика соответствующих фаз токов обмоток трансформатора, каждый из которых соединен со входом соответствующего измерительного преобразователя ток-напряжение, при этом все датчики токов обмоток силового трансформатора включены на стороне низкого напряжения силового трансформатора, содержит датчик температуры масла трансформатора, соединенный со входом соответствующего измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, при этом выходы всех измерительных преобразователей соединены со входами аналого-цифрового преобразователя, содержит датчики



ВУ 3784 U 2007.08.30

включения-отключения устройств охлаждения силового трансформатора, соединенные с соответствующими входами микроконтроллера, а также содержит преобразователь уровней сигналов для интерфейса RS232 и преобразователь уровней сигналов для интерфейса ИРПС, каждый из которых соединен входами с соответствующими выходами микроконтроллера, энергонезависимое постоянное запоминающее устройство для хранения данных, соединенное с соответствующими выходами микроконтроллера.

2. Устройство по п. 1, **отличающееся** тем, что количество датчиков включения-отключения устройств охлаждения силового трансформатора равно количеству этих устройств.

(56)

1. А.С. СССР 1785583, МПК³ Н 02Н 7/04. Устройство для защиты силового трансформатора от перегрузки / Я.К.Розенкрон, Я.К. Чукурс - Опубл. 30.12.92 // БИ. -1992. - № 48.

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

3. Учет температуры внешней охлаждающей среды при моделировании тепловых процессов в силовых масляных трансформаторах / Ю.А. Рунов, О.Г. Широков, Д.И. Зализный, Д.М. Лось // Изв. высш. учебн. заведений и энерг. об-ний СНГ. Энергетика. - 2004. - № 5. - С. 42-48.

Полезная модель относится к области общей электротехники, а более конкретно к схемам защиты, реагирующим на нежелательные отклонения от нормальных неэлектрических рабочих параметров, с использованием тепловых моделей защищаемых устройств. Полезная модель может быть использована на трансформаторных подстанциях открытого или закрытого типа, оснащенных силовыми масляными трансформаторами мощностью от 100 кВА до 100000 кВА, как в энергосистеме, так и в системе электроснабжения промышленных предприятий и гражданских зданий.

Известно устройство для защиты силового трансформатора от перегрузки [1], содержащее датчик температуры масла, который соединен с входом преобразователя температуры в напряжение, датчик тока обмотки, к выходу которого подключены последовательно соединенные преобразователь тока в напряжение, электрическая модель теплового процесса обмотки трансформатора и первый вход сумматора напряжений. Сигнал с преобразователя температуры в напряжение поступает на второй вход сумматора, напряжение на выходе которого пропорционально температуре наиболее нагретой точки обмотки трансформатора. В данном изобретении электрическая модель теплового процесса обмотки трансформатора выполнена на основе аналоговых устройств и сложна в настройке. Кроме того, данное устройство способно реагировать только на критические значения температур масла и обмотки трансформатора.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству является устройство для тепловой защиты электрического силового трансформатора [2], содержащее датчик температуры наружного воздуха, соединенный с измерительным преобразователем сопротивление-напряжение, и датчик тока обмотки трансформатора, соединенный с измерительным преобразователем ток-напряжение. Оба измерительных преобразователя выходами соединены со входами аналого-цифрового преобразователя (АЦП), цифровые выходы которого соединены с цифровыми входами микроконтроллера. Результаты измерения отображаются на дисплее. Устройство снабжено цифровым реле для управления системами защиты и автоматики силового трансформатора. Микроконтроллер на основе математической модели тепловых процессов рассчитывает температуру масла силового

ВУ 3784 U 2007.08.30

трансформатора и температуру наиболее нагретой точки обмотки силового трансформатора. При достижении критического значения температуры масла или температуры наиболее нагретой точки обмотки силового трансформатора микроконтроллер выдает сигнал опасности на сигнальный светодиод и включает цифровое реле управления. Следовательно, устройство реагирует только на критические значения этой температуры. В случае аномального нагрева силового трансформатора, обусловленного неисправностями в его системе охлаждения или его внутренними повреждениями, когда температуры масла и обмотки трансформатора не достигли критических значений, данное устройство не среагирует. Кроме того, устройство не учитывает количество охлаждающих устройств, работающих на трансформаторе, что ведет к дополнительной погрешности при расчете температур масла и обмотки силового трансформатора. Таким образом, данное устройство не способно обеспечить достаточно высокую надежность эксплуатации силового трансформатора.

Задачей заявляемой полезной модели является раннее выявление аномального нагрева силового трансформатора, обусловленного развитием внутренних повреждений в силовом трансформаторе или неисправностями в системе охлаждения силового трансформатора, когда температура масла трансформатора еще не достигла критического значения, что в совокупности позволяет повысить надежность эксплуатации силового трансформатора.

Поставленная задача достигается тем, что в известном устройстве, содержащем датчик температуры наружного воздуха, соединенный со входом измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, и датчик одной фазы тока обмотки трансформатора, соединенный со входом измерительного преобразователя ток-напряжение, при этом измерительные преобразователи выходами соединены со входами аналого-цифрового преобразователя, цифровые выходы которого соединены с соответствующими входами микроконтроллера, соединенного соответствующими выходами с дисплеем, сигнальным светодиодом и цифровым реле управления, согласно заявляемой полезной модели дополнительно введены два датчика соответствующих фаз токов обмоток трансформатора, каждый из которых соединен со входом соответствующего измерительного преобразователя ток-напряжение, при этом все датчики токов обмоток силового трансформатора включены на стороне низкого напряжения силового трансформатора, введен датчик температуры масла трансформатора, соединенный со входом соответствующего измерительного преобразователя сопротивление-напряжение, при этом выходы всех измерительных преобразователей соединены со входами аналого-цифрового преобразователя, введены датчики включения-отключения устройств охлаждения (вентиляторов и маслонасосов) силового трансформатора, соединенные с соответствующими входами микроконтроллера, преобразователь уровней сигналов для интерфейса RS232 и преобразователь уровней сигналов для интерфейса ИРПС, каждый из которых соединен входами с соответствующими выходами микроконтроллера, энергонезависимое постоянное запоминающее устройство для хранения данных, соединенное с соответствующими выходами микроконтроллера.

Количество датчиков включения-отключения устройств охлаждения (вентиляторов и маслонасосов) силового трансформатора равно количеству этих устройств, установленных на силовом трансформаторе.

На чертеже показана функциональная схема заявляемого устройства.

Согласно приведенной функциональной схеме, заявляемая полезная модель содержит датчики каждой из фаз токов обмоток на стороне низкого напряжения силового трансформатора 1, 2, 3, датчик температуры наружного воздуха 4, датчик температуры масла силового трансформатора 5. Датчики 1, 2, 3 соединены со входами вторичных измерительных преобразователей ток-напряжение 6-8. Датчики 4,5 соединены со входами вторичных измерительных преобразователей сопротивление-напряжение 9, 10. Выходы измерительных преобразователей 6-10 соединены со входами аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 11, соединенного цифровыми выходами с соответствующими входами

микроконтроллера 12. С соответствующими входами микроконтроллера соединены датчики включения-отключения 13 устройств охлаждения (вентиляторов и маслонасосов) силового трансформатора. С соответствующими выходами микроконтроллера соединены дисплей 14, сигнальный светодиод 15 и цифровое реле управления 16. С интерфейсными выходами 17 микроконтроллера (интерфейс SPI) соединено энергонезависимое постоянное запоминающее устройство для хранения данных 18. С интерфейсными выходами 19 микроконтроллера (интерфейс UART) соединены преобразователи уровней для интерфейсов ИРПС 20 и RS232 21.

Полезная модель работает следующим образом. Микроконтроллер 12 выполняет роль системы сбора информации и вычислительного модуля. С помощью датчиков токов нагрузки 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 термометров сопротивления 4,5 осуществляется измерение наружной температуры воздуха $\theta_{охл}$ и температуры масла трансформатора $\theta_{м.и}$. Измеренные величины через измерительные преобразователи 6-10 поступают на входы АЦП 11, преобразующего значения измеряемых величин в пропорциональный двоичный код и передающего этот код в микроконтроллер 12. Кроме этого, в микроконтроллер 12 поступает информация в виде двоичного кода N, соответствующего количеству работающих вентиляторов охлаждения (для трансформаторов систем охлаждения "Д" и "ДЦ") и маслонасосов (для трансформаторов системы охлаждения "ДЦ"). Этот код формируется цифровыми датчиками включения-отключения 13 устройств охлаждения силового трансформатора. Количество этих датчиков равно суммарному количеству маслонасосов и вентиляторов, установленных на силовом трансформаторе. Значения измеренных величин микроконтроллер отображает на дисплее 14 и передает в компьютер через интерфейсные средства 20 или 21.

Программное обеспечение микроконтроллера на основе математической модели тепловых процессов силового трансформатора [3] с необходимой точностью ($\pm 2^\circ\text{C}$) рассчитывает температуру верхних слоев масла, которая должна иметь место в полностью исправном трансформаторе с полностью исправной системой охлаждения. В процессе расчета микроконтроллер эквивалентно решает систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} C_1 \frac{d\theta_c}{dt} + \frac{\theta_c - \theta_m}{R_1} = \Delta P_{xx}; \\ C_2 \frac{d\theta_{ннт}}{dt} + \frac{\theta_{ннт} - \theta_m}{R_2} = \Delta P_n; \\ C_3 \frac{d\theta_m}{dt} - \frac{\theta_{охл} - \theta_m}{R_3} - \frac{\theta_c - \theta_m}{R_1} - \frac{\theta_{ннт} - \theta_m}{R_2} = 0, \end{cases}$$

где C_1, C_2, C_3 - теплоемкости, соответственно, магнитопровода, обмотки и масла трансформатора;

R_1, R_2, R_3 , - тепловые сопротивления, соответственно, магнитопровод-масло, обмотка-масло, масло-воздух;

$\theta_c, \theta_{ннт}, \theta_m$ - температуры, соответственно, магнитопровода, обмотки и масла трансформатора;

ΔP_{xx} - потери холостого хода трансформатора;

ΔP_n - нагрузочные потери.

Нагрузочные потери рассчитываются по формуле:

$$\Delta P_n = \Delta P_{к.ном} \cdot \left(\frac{I_a + I_b + I_c}{3 \cdot I_{ном}} \right)^2,$$

BY 3784 U 2007.08.30

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

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

При этом магнитопровод, обмотка и масло силового трансформатора считаются однородными телами. Значения ΔP_{xx} , $\Delta P_{к.ном}$ и $I_{ном}$ являются паспортными данными трансформатора.

Тепловые сопротивления рассчитываются по формулам:

$$\begin{cases} R_1 = \frac{25}{\Delta P_{xx}}; \\ R_2 = \frac{23}{\Delta P_{к.ном}}; \\ R_3 = \frac{60 - 5 \cdot N}{\Delta P_{xx} + \Delta P_{к.ном}}, \end{cases}$$

где N - десятичное число, равное количеству работающих устройств охлаждения силового трансформатора, то есть численно равно двоичному коду, формируемому датчиками включения-отключения устройств охлаждения (вентиляторов и маслонасосов) силового трансформатора. Теплоемкости рассчитываются по формулам:

$$\begin{cases} C_1 = c_{уд.ст} \cdot G_{ст}; \\ C_2 = c_{уд. Al(Cu)} \cdot G_{Al(Cu)}; \\ C_3 = c_{уд.м} \cdot G_{м}, \end{cases}$$

где $c_{уд.ст}$, $c_{уд. Al(Cu)}$, $c_{уд.м}$ - удельные теплоемкости, соответственно, стали, алюминия (или меди) и масла в трансформаторе;

$G_{ст}$, $G_{Al(Cu)}$, $G_{м}$ - массы, соответственно, стали, алюминия (или меди), и масла в трансформаторе.

Значения $G_{ст}$, $G_{Al(Cu)}$, $G_{м}$ являются справочными (или паспортными) данными для каждого трансформатора. Удельные теплоемкости - также справочные данные.

Таким образом осуществляется расчет температуры масла трансформатора. На основе сравнения непосредственно измеренной (с помощью датчика температуры масла) $\theta_{м.и}$ и полученной расчетным путем по математической модели $\theta_{м}$ температур масла трансформатора программное обеспечение микроконтроллера позволяет на ранней стадии, когда температура масла не достигла критических значений, выявлять аномальный нагрев силового трансформатора. В случае обнаружения аномального нагрева трансформатора, когда

$$\theta_{м.и} - \theta_{м} > 5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

микроконтроллер включает сигнальный светодиод 15 и сигнализацию на трансформаторной подстанции с помощью цифрового реле 16. В случае прерывания или отсутствия связи микроконтроллера с компьютером, микроконтроллер записывает измеренные данные в энергонезависимое постоянное запоминающее устройство 18.

Таким образом, в отличие от устройства-аналога, заявляемая полезная модель позволяет на ранней стадии выявить аномальный нагрев силового трансформатора, что повышает надежность эксплуатации силового трансформатора.