



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007122925/28, 18.06.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.06.2007

(45) Опубликовано: 10.09.2008 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2136099 C1, 27.08.1999. SU 1377779
A1, 29.02.1988. RU 2240571 C1, 20.11.2004. SU
1781643 A1, 15.12.1992. US 7034547 A,
25.04.2006. JP 9-43302 A, 14.02.1997.

Адрес для переписки:

634050, г.Томск, пр. Ленина, 30, Томский
политехнический университет, отдел
интеллектуальной промышленной собственности

(72) Автор(ы):

Гольдштейн Ефрем Иосифович (RU),
Панкратов Алексей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Томский политехнический университет (RU)(54) СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТКИ ОДНОФАЗНОГО
ТРАНСФОРМАТОРА С НЕНАГРУЖЕННОЙ ОБМОТКОЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электроизмерительной технике и может быть использовано для контроля состояния обмоток однофазного трансформатора с ненагруженной обмоткой в рабочем режиме. Технический результат - повышение надежности и эффективности контроля. Сущность: регистрируют массивы мгновенных значений входного напряжения, выходного тока i_2 , выходного напряжения. Рассчитывают индуктивность, усредняют ее значение на периоде. Регистрируют массивы мгновенных значений входного тока i_1 и напряжения на ненагруженной обмотке. Затем токи и напряжения приводят к первичной цепи. Производят дифференцирование входного и выходного токов и получают массивы $\frac{di_1(t)}{dt}$ и

$\frac{di_2(t)}{dt}$. Находят массив u_1 как разность

мгновенных значений входного напряжения и приведенного напряжения на ненагруженной обмотке и массив u_2 как разность мгновенных значений приведенного напряжения на ненагруженной обмотке и приведенного выходного напряжения. Фиксируют моменты времени t_1 ,

когда $i_1(t_1)=0$, моменты времени t_2 , когда $i_2(t_2)=0$, моменты времени t_3 , когда

$\frac{di_1}{dt}(t_3)=0$ и моменты времени t_4 , когда

$\frac{di_2}{dt}(t_4)=0$. Затем находят значения активных

сопротивлений и индуктивностей рассеяния первичной и вторичной обмоток трансформатора

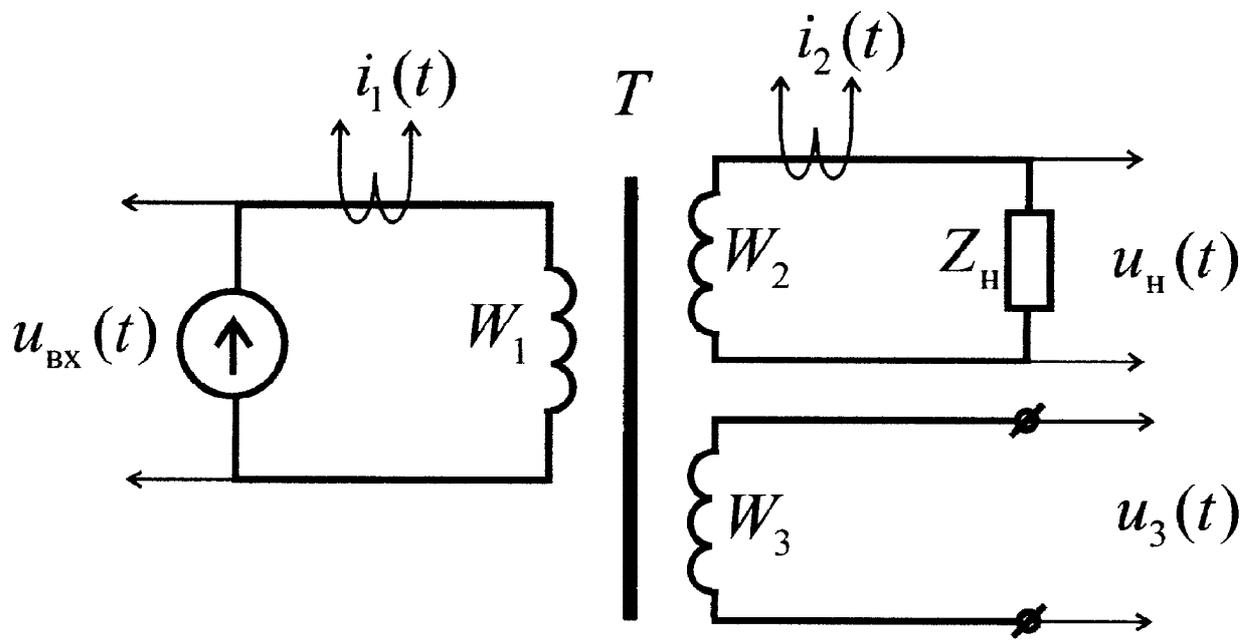
$$L_1 = \frac{u_1(t_1)}{\frac{di_1}{dt}(t_1)}; \quad L_2 = \frac{u_2(t_2)}{\frac{di_2}{dt}(t_2)};$$

$$R_1 = \frac{u_1(t_3)}{i_1(t_3)}; \quad R_2 = \frac{u_2(t_4)}{i_2(t_4)}.$$

Усредняют эти значения на периоде и рассчитывают относительные отклонения полученных средних значений от образцовых величин, определенных на заведомо исправном трансформаторе. Далее сравнивают полученные отклонения с заранее заданной уставкой, и если хотя бы одно из этих отклонений больше заданной уставки, то делают вывод о неисправном состоянии соответствующей обмотки контролируемого трансформатора. 2 табл., 5 ил.

RU 2 333 503 C1

RU 2 333 503 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2007122925/28, 18.06.2007**

(24) Effective date for property rights: **18.06.2007**

(45) Date of publication: **10.09.2008 Bull. 25**

Mail address:

**634050, g.Tomsk, pr. Lenina, 30, Tomskij
politehnicheskij universitet, otdel
intellektual'noj promyshlennoj sobstvennosti**

(72) Inventor(s):

**Gol'dshtejn Efrem Iosifovich (RU),
Pankratov Aleksej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
Tomskij politehnicheskij universitet (RU)**

(54) **SINGLE-PHASE UNLOADED-WINDING TRANSFORMER STATE ON-LINE CONTROL METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: electrical measurement hardware.

SUBSTANCE: invention can be used for on-line control of single-phase unloaded-winding transformer state under operating conditions. The proposed method consists in recording arrays of instant magnitudes of input voltage, output current i_2 and output voltage. Inductance is calculated, the value obtained is averaged over a period. Arrays of instant input current i_1 and voltage at unloaded winding is recorded. Now the currents and voltages are reduced to the primary circuit. The input and output currents are differentiated to produce arrays $\frac{di_1(t)}{dt}$ and $\frac{di_2(t)}{dt}$. Array u_1

represents a difference between instant input voltage and reduced voltage across unloaded winding and array u_2 represents a difference between instant reduced voltage across unloaded winding and reduced output voltage. Times t_1 when $i_1(t_1)=0$, times t_2 when $i_2(t_2)=0$, times t_3 when $\frac{di_1(t_3)}{dt}=0$ and times t_4 when $\frac{di_2(t_4)}{dt}=0$

are recorded. Now, the transformer primary and secondary dissipation active resistance and

inductance

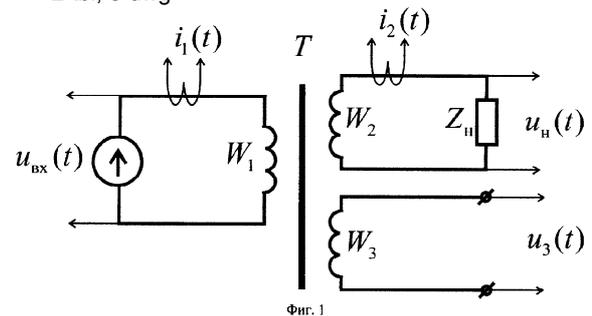
$$L_1 = \frac{u_1(t_1)}{\frac{di_1(t_1)}{dt}}; \quad L_2 = \frac{u_2'(t_2)}{\frac{di_2(t_2)}{dt}}$$

$R_1 = \frac{u_1(t_3)}{i_1(t_3)}; \quad R_2 = \frac{u_2'(t_4)}{i_2'(t_4)}$ are calculated. The

magnitudes obtained are averaged over the period and obtained mean magnitude relative departures from reference magnitudes red off a good transformer are calculated. Now, the obtained results are compared to the preset setting and, if even one departure exceeds the said setting, the controlled transformer winding is taken to be faulty.

EFFECT: higher reliability and efficiency control.

2 tbl, 5 dwg



RU 2 3 3 3 5 0 3 C 1

RU 2 3 3 3 5 0 3 C 1

Изобретение относится к электроизмерительной технике и может быть использовано для контроля состояния обмоток однофазного трансформатора с ненагруженной обмоткой в рабочем режиме.

Известен способ контроля и защиты обмоток трансформаторов от деформаций при коротких замыканиях [пат. 2136099 РФ МПК G01R 31/02. Устройство контроля и защиты обмоток трансформаторов от деформаций при коротких замыканиях. / А.Ю.Хренников. - Заявлено 06.10.94; опубл. 27.08.99.], выбранный в качестве прототипа, заключающийся в том, что во время работы контролируемого силового трансформатора регистрируют массивы мгновенных значений входного напряжения u_1 , выходного тока i_2 , выходного напряжения u_2 . Далее вычисляют разность напряжений, приведенных к вторичной стороне $\Delta u = u_1' - u_2$, где $u_1' = \frac{u_1}{K_T}$, где K_T - коэффициент трансформации трансформатора.

Производят расчет среднего значения разности напряжений на заданном интервале времени $u_{cp} = \frac{\Delta u(t_2) + \Delta u(t_1)}{2}$, где t_1 и t_2 - временные границы интервала разбиения.

Вычисляют производную тока как отношение $\frac{di}{dt} = \frac{i_2(t_2) - i_2(t_1)}{t_2 - t_1}$. Рассчитывают мгновенные значения индуктивности на заданном интервале времени $L_{jизм} = \frac{u_{cp}}{di/dt}$ и приводят к

номинальной частоте $L_j = L_{jизм} \frac{f_{изм}}{f_{ном}}$, где $f_{изм}$ - измеренная частота; $f_{ном}$ - номинальная частота. Далее рассчитывают среднее значение индуктивности за период $L_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N L_j$,

где N - число интервалов разбиения, и определяют отклонение L_{cp} от заданного значения L_{0j} : $\Delta L = \frac{L_{cp} - L_{0j}}{L_{0j}} \cdot 100\%$. По величине отклонения рассчитанной индуктивности от

заданной судят о наличии повреждения в обмотках, и если оно превышает критическое значение, отключают трансформатор.

Недостатком известного способа является то, что при расчетах ток намагничивания трансформатора не учитывают и находят некую «суммарную» индуктивность рассеяния обеих обмоток вместо того, чтобы определить индуктивность рассеяния первичной обмотки и индуктивность рассеяния вторичной обмотки отдельно. Кроме того, активные сопротивления обмоток полагают известными и постоянными, что приводит к неточности в расчетах и не позволяет использовать эти активные сопротивления в качестве диагностических показателей. Эти недостатки приводят к снижению надежности и эффективности описанного способа и не позволяют осуществлять контроль первичной и вторичной обмоток трансформатора независимо друг от друга.

Задачей изобретения является разработка более надежного и эффективного способа оперативного контроля состояния обмоток однофазного трансформатора, имеющего ненагруженную третью обмотку, позволяющего контролировать состояние первичной обмотки и вторичной обмотки трансформатора по отдельности, используя для этого их активные сопротивления и индуктивности рассеяния.

Это достигается за счет того, что также как и в прототипе регистрируют массивы мгновенных значений входного напряжения, выходного тока i_2 , выходного напряжения, рассчитывают индуктивность, усредняют ее значение на периоде, но при этом регистрируют массивы мгновенных значений входного тока i_1 и напряжения на ненагруженной обмотке, затем перечисленные токи и напряжения приводят к первичной цепи. Далее производят дифференцирование входного и выходного токов и получают

массивы $\frac{di_1(t)}{dt}$ и $\frac{di_2(t)}{dt}$. Затем одновременно находят массив и как разность мгновенных

значений входного напряжения и приведенного напряжения на ненагруженной обмотке и массив u_2' как разность мгновенных значений приведенного напряжения на ненагруженной обмотке и приведенного выходного напряжения. После этого фиксируют моменты времени t_1 , когда $i_1(t_1)=0$, моменты времени t_2 , когда $i_2'(t_2)=0$, моменты времени t_3 , когда $\frac{di_1}{dt}(t_3)=0$

и моменты времени t_4 , когда $\frac{di_2'}{dt}(t_4)=0$. Затем находят значения активных сопротивлений

и индуктивностей рассеяния первичной и вторичной обмоток трансформатора

$$L_1 = \frac{u_1(t_1)}{\frac{di_1}{dt}(t_1)}; \quad (1)$$

$$L_2' = \frac{u_2'(t_2)}{\frac{di_2'}{dt}(t_2)}; \quad (2)$$

$$R_1 = \frac{u_1(t_3)}{i_1(t_3)}; \quad (3)$$

$$R_2' = \frac{u_2'(t_4)}{i_2'(t_4)}; \quad (4)$$

Потом усредняют эти значения на периоде и рассчитывают относительные отклонения полученных средних значений от образцовых величин, определенных на заведомо исправном трансформаторе. Далее сравнивают полученные отклонения с заранее заданной уставкой, и если хотя бы одно из этих отклонений больше заданной уставки, то делают вывод о неисправном состоянии соответствующей обмотки контролируемого трансформатора.

В рабочем режиме однофазного трансформатора Т, как показано на фиг.1, на первичную обмотку с числом витков W_1 подают входное напряжение $u_{вх}(t)$, вторичная обмотка с числом витков W_2 подключается к нагрузке Z_H , а третья обмотка с числом витков W_3 остается разомкнутой. При этом токи в первичной и вторичной обмотках $i_1(t)$ и $i_2(t)$ измеряют с помощью трансформаторов и датчиков тока, а напряжения на первичной, вторичной и третьей обмотках $u_{вх}(t)$, $u_H(t)$ и $u_3(t)$ измеряются с помощью трансформаторов и датчиков напряжения. Далее все перечисленные токи и напряжения через коммутатор подают на аналого-цифровой преобразователь.

Массив мгновенных значений тока вторичной обмотки приводят к первичной цепи по формуле

$$|i_2'(t_j)| = \frac{W_2}{W_1} |i_2(t_j)|.$$

Массивы мгновенных значений напряжений на вторичной и третьей обмотках также приводят к первичной цепи

$$|u_H'(t_j)| = \frac{W_1}{W_2} |u_H(t_j)|; \quad |u_3'(t_j)| = \frac{W_1}{W_3} |u_3(t_j)|.$$

Все дальнейшие расчеты производят уже с массивами мгновенных значений указанных токов и напряжений, приведенных к первичной цепи.

В соответствии с Т-образной схемой замещения трансформатора в рабочем режиме (фиг.2) по второму закону Кирхгофа для массивов мгновенных значений рассчитываются падение напряжения на первом продольном сопротивлении схемы замещения $u_1(t_j)$ и падение напряжения на втором продольном сопротивлении схемы замещения,

приведенное к первичной цепи $u_2'(t_j)$

$$|u_1(t_j)| = |u_{вх}(t_j)| - |u_3'(t_j)|; \quad |u_2'(t_j)| = |u_3'(t_j)| - |u_n'(t_j)|.$$

5 Далее производят дифференцирование массивов мгновенных значений токов первичной и приведенной вторичной ветвей $|i_1(t_j)|$ и $|i_2'(t_j)|$ и получают массивы производных указанных

токов по времени

$$10 \left| \frac{di_1}{dt}(t_j) \right| = \frac{i_1(t_j) - i_1(t_{j-1})}{\Delta t}; \quad \left| \frac{di_2'}{dt}(t_j) \right| = \frac{i_2'(t_j) - i_2'(t_{j-1})}{\Delta t}.$$

Теперь для сопротивления первой продольной ветви, имеющего активную составляющую R_1 и реактивную составляющую ωL_1 , где ω - циклическая частота напряжения, приложенного к первичной обмотке, а L_1 - индуктивность рассеяния первичной обмотки трансформатора, мы имеем массивы мгновенных значений тока $|i_1(t_j)|$, производной тока $\left| \frac{di_1}{dt}(t_j) \right|$ и падения напряжения $|u_1(t_j)|$, которые показаны на

$$15 \left| \frac{di_1}{dt}(t_j) \right|$$

фиг.3. Так как сопротивления продольных ветвей схемы замещения трансформатора линейны, указанные величины связаны известным соотношением падения напряжения в цепи RL

$$20 u_1(t_j) = R_1 \cdot i_1(t_j) + L_1 \frac{di_1}{dt}(t_j). \quad (5)$$

В этом уравнении два неизвестных R_1 и L_1 . Уравнение записано для момента времени t_j , поэтому мы имеем N таких уравнений на периоде. Так как для определения параметров R_1 и L_1 достаточно решить систему всего лишь из двух таких уравнений, выбираем моменты времени, в которых это сделать проще всего. А именно для определения индуктивности L_1 , решим уравнение (5) для момента времени t_1 , когда $i_1(t_1)=0$ (см. фиг.3), при этом уравнение (5) переходит в уравнение (1). А для определения сопротивления R_1 решим уравнение (5) для момента времени t_3 , когда $\frac{di_1}{dt}(t_3)=0$, при

30 этом уравнение (5) переходит в уравнение (3).

Так как мы имеем дело с гармоническими сигналами, таких точек на периоде может быть не меньше, чем по две (на фиг.3 это моменты времени t_1^1, t_1^2 и моменты времени t_3^1, t_3^2), поэтому в качестве конечных значений логично принять среднеарифметическое из всех значений, найденных на периоде.

Аналогично для приведенного сопротивления второй продольной ветви, имеющего активную составляющую R_2' и реактивную составляющую $\omega L_2'$, где L_2' - приведенная индуктивность рассеяния вторичной обмотки трансформатора, мы имеем массивы мгновенных значений тока $|i_2'(t_j)|$, производной тока $\left| \frac{di_2'}{dt}(t_j) \right|$ и падения напряжения $|u_2'(t_j)|$,

$$40 \left| \frac{di_2'}{dt}(t_j) \right|$$

которые показаны на фиг.4. Указанные величины связаны известным соотношением падения напряжения в цепи RL

$$45 u_2'(t_j) = R_2' \cdot i_2'(t_j) + L_2' \frac{di_2'}{dt}(t_j). \quad (6)$$

В этом уравнении также два неизвестных: R_2' и L_2' . Аналогичным образом для определения индуктивности L_2' решим уравнение (6) для момента времени t_2 , когда $i_2'(t_2) = 0$ (см. фиг.4), при этом уравнение (6) переходит в уравнение (2). А для определения сопротивления R_2' решим уравнение (6) для момента времени t_4 , когда

50 $\frac{di_2'}{dt}(t_4) = 0$, при этом уравнение (6) переходит в уравнение (4). Благодаря тому, что

напряжение реальных силовых трансформаторов остается практически неизменным в различных режимах их работы, изменения индуктивностей рассеяния и активных сопротивлений обмоток указывают на наличие внутренних повреждений, таких как межвитковые замыкания, деформация, снижение усилия прессовки и другие. Поэтому, определив некоторые образцовые значения $L_{1обр}$, $R_{1обр}$, $L_{2обр}$ и $R_{2обр}$ для заведомо исправного трансформатора описанным выше способом, задав некоторую уставку ε , определенную эмпирическим путем, и, сравнивая относительное отклонение текущих значений L_1 , R_1 , L_2 и R_2 от образцовых с этой уставкой, можно непрерывно контролировать состояние обмоток трансформатора.

Предлагаемый способ оперативного контроля позволяет определять значения индуктивностей рассеяния и активных сопротивлений обмоток трансформатора в рабочем режиме на каждом периоде тока и по отклонению этих параметров от образцовых значений, полученных на заведомо исправном трансформаторе, контролировать состояние обмоток трансформатора. За счет введения дополнительных контролируемых параметров - активных сопротивлений обмоток и независимого определения индуктивностей рассеяния первичной и вторичной обмоток, предлагаемый способ является более эффективным и надежным, чем прототип.

На фиг.1 представлена схема измерений однофазного трансформатора с ненагруженной третьей обмоткой в рабочем режиме.

На фиг.2 представлена T-образная схема замещения однофазного трансформатора с ненагруженной третьей обмоткой в рабочем режиме.

На фиг.3 представлены графические зависимости $|u_1(t_j)|$, $|i_1(t_j)|$ и $\left| \frac{di_1}{dt}(t_j) \right|$ от времени для

расчета параметров первой продольной ветви схемы замещения трансформатора.

На фиг.4 приведены графические зависимости $|u'_2(t_j)|$, $|i'_2(t_j)|$ и $\left| \frac{di'_2}{dt}(t_j) \right|$ от времени для

расчета параметров второй продольной ветви схемы замещения трансформатора, приведенной к первичной цепи.

На фиг.5 представлена аппаратная схема устройства, реализующая рассматриваемый способ.

В табл.1 приведены исходные экспериментальные данные измерения токов и напряжений трансформатора ПОБС 5М в рабочем режиме и результаты промежуточных вычислений.

В табл.2 приведены полученные значения индуктивностей рассеяния и активных сопротивлений обмоток трансформатора, образцовые значения этих параметров и их относительные отклонения от образцовых значений.

Способ может быть осуществлен с помощью схемы (фиг.5), содержащей программатор вычисления коэффициентов трансформации 1 (П1), масштабирующие блоки 2 (М1), 3 (М2), 4 (М3), инверторы 5 (ИНВ1) и 6 (ИНВ2), сумматоры 7 (Сумматор 1) и 9 (Сумматор 2), программаторы вычисления производных по времени 8 (П2) и 10 (П3), программатор вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4), программатор контроля 12 (П5).

Соответствующие входы сумматора 7 (Сумматор 1), масштабирующего блока 2 (М1), программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4), программатора вычисления производных по времени 9 (П2), масштабирующих блоков 3 (М2) и 4 (М3) соединены с аналого-цифровыми преобразователями (не показаны на фиг.5). Входы программатора вычисления коэффициентов трансформации 1 (П1) и программатора контроля 12 (П5) соединены с кнопочной клавиатурой (не показана на фиг.5). Выходы программатора вычисления коэффициентов трансформации 1 (П1) соединены с соответствующими входами масштабирующих блоков 2 (М1), 3 (М2) и 4 (М3). Выход масштабирующего блока 2 (М1) соединен с входом инвертора 5 (ИНВ1) и с соответствующим входом сумматора 9 (Сумматор 2). Выход инвертора 5 (ИНВ1) соединен

с соответствующим входом сумматора 7 (Сумматор 1). Выход сумматора 7 (Сумматор 1) соединен с соответствующим входом программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). Выход программатора вычисления производных по времени 8 (П2) соединен с соответствующим входом программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). Выход масштабирующего блока 3 (М2) соединен с входом инвертора 6 (ИНВ2). Выход инвертора 6 (ИНВ2) соединен с соответствующим входом сумматора 9 (Сумматор 2). Выход сумматора 9 (Сумматор 2) соединен с соответствующим входом программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). Выход масштабирующего блока 4 (М3) соединен с входом программатора вычисления производных по времени 10 (П3) и соответствующим входом программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). Выход программатора вычисления производных по времени 10 (П3) соединен с соответствующим входом программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). Выходы программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4) соединены с соответствующими входами программатора контроля 12 (П5).

Масштабирующие блоки 2 (М1), 3 (М2), 4 (М3), инверторы 5 (ИНВ1) и 6 (ИНВ2), сумматоры 7 (Сумматор 1) и 9 (Сумматор 2), программаторы вычисления производных по времени 8 (П2) и 10 (П3), программатор вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4) и программатор контроля 12 (П5) могут быть выполнены на микроконтроллере серии 51 производителя atmel AT89S53.

В качестве примера приведен способ оперативного контроля состояния обмоток однофазного трансформатора ПОбС-5М с ненагруженной обмоткой в рабочем режиме при частоте $f=50$ Гц, количеством витков первичной обмотки $W_1=380$, количеством витков вторичной обмотки $W_2=62$ и количеством витков в третьей обмотке $W_3=12$. Дискретность массивов мгновенных значений входного тока $|i_1(t_j)|$, входного напряжения $|u_{вх}(t_j)|$, выходного тока $|i_2(t_j)|$, выходного напряжения $|u_n(t_j)|$, напряжения на третьей обмотке $|u_3(t_j)|$, $\Delta t=0,000625$ с.

При работе трансформатора в режиме, близком к номинальному, в соответствии со схемой измерений фиг.1 через измерительные преобразователи и аналого-цифровые преобразователи (не показаны) на входы соответствующих блоков, как показано на фиг.5, подают массивы мгновенных значений токов и напряжений во всех обмотках $u_{вх}(t_j)$, $u_3(t_j)$, $i_1(t_j)$, $u_n(t_j)$, $i_2(t_j)$, приведенные в табл.1. В программатор вычисления коэффициентов трансформации 1 (П1) вводят значения чисел витков в обмотках трансформатора W_1 , W_2 , W_3 . В программатор контроля 12 (П5) вводят образцовые значения активных сопротивлений $R_{1обр}$ и $R_{2обр}$ и индуктивности рассеяния обмоток $L_{1обр}$ и $L_{2обр}$, определенные на заведомо исправном трансформаторе, показанные в табл.2.

С выхода масштабирующего блока 2 (М1) массив мгновенных значений напряжения на третьей обмотке $|u'_3(t_j)|$ (столбец 6 табл.1), приведенного к первичной цепи и

определенный как $|u'_3(t_j)| = \frac{W_1}{W_3} |u_3(t_j)|$, через инвертор 5 (ИНВ1) поступает на вход

сумматора 7 (Сумматор 1). Одновременно с массивом мгновенных значений напряжения на третьей обмотке на вход сумматора 7 (Сумматор 1) поступает массив мгновенных значений входного напряжения $|u_{вх}(t_j)|$ (столбец 2 табл.1), а на вход программатора вычисления производных по времени 8 (П2) и на вход программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4) поступает массив мгновенных значений входного тока $|i_1(t_j)|$ (столбец 3 табл.1). В сумматоре 7 (Сумматор 1) происходит формирование массива мгновенных значений напряжения на первом продольном сопротивлении схемы замещения $|u_1(t_j)|$ (столбец 7 табл.1) в соответствии со вторым законом Кирхгофа как $|u_1(t_j)| = |u_{вх}(t_j)| - |u'_3(t_j)|$. С выхода сумматора 7 (Сумматор 1) массив мгновенных значений напряжения на первом продольном сопротивлении схемы замещения

$|u_1(t_j)|$ поступает на вход программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). В программаторе вычисления производных по времени 8 (П2) формируется массив $\left| \frac{di_1}{dt}(t_j) \right|$ (столбец 9 табл.1) как $\left| \frac{di_1}{dt}(t_j) \right| = \frac{i_1(t_j) - i_1(t_{j-1})}{\Delta t}$ и подается на

5 вход программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). В программаторе вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4) фиксируются моменты времени, когда $i_1(t_j)=0$ (момент времени t_1) или $\frac{di_1}{dt}(t_j) = 0$ (момент времени t_3),

10 рассчитывают значения активного сопротивления R_1 (столбец 1 табл.2) и индуктивности рассеяния L_1 (столбец 2 табл.2) первичной обмотки трансформатора по формулам $L_1 = \frac{u_1(t_1)}{\frac{di_1}{dt}(t_1)}$, $R_1 = \frac{u_1(t_3)}{i_1(t_3)}$, рассчитывают средние за период значения указанных параметров

15 как $L_{1CP} = \frac{1}{N_{L1}} \sum_{i=1}^{N_{L1}} L_{1i}$, $R_{1CP} = \frac{1}{N_{R1}} \sum_{i=1}^{N_{R1}} R_{1i}$, где N_{L1} , N_{R1} - соответственно количества значений L_1 , R_1 , найденных на периоде.

С выхода масштабирующего блока 3 (М2) массив мгновенных значений выходного напряжения $|u'_H(t_j)|$ (столбец 4 табл.1), приведенного к первичной цепи и определенный как $|u'_H(t_j)| = \frac{W_1}{W_2} |u_H(t_j)|$, через инвертор 6 (ИНВ2) поступает на вход сумматора 9 (Сумматор

2). Одновременно с массивом мгновенных значений выходного напряжения на вход сумматора 9 (Сумматор 2) с выхода масштабирующего блока 2 (М1) поступает массив мгновенных значений напряжения на третьей обмотке $|u'_3(t_j)|$ (столбец 6 табл.1),

25 приведенного к первичной цепи, а с входа масштабирующего блока 4 (М3) массив мгновенных значений выходного тока $|i'_2(t_j)|$ (столбец 5 табл.1), приведенного к

30 первичной цепи и определенный как $|i'_2(t_j)| = \frac{W_2}{W_1} |i_2(t_j)|$, поступает на вход программатора

вычисления производных по времени 10 (П3) и на вход программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). В сумматоре 9 (Сумматор 2) происходит формирование массива мгновенных значений напряжения на втором продольном сопротивлении схемы замещения $|u'_2(t_j)|$ (столбец 8 табл.1), приведенного к первичной цепи, в соответствии со вторым законом Кирхгофа как $|u'_2(t_j)| = |u'_3(t_j)| - |u'_H(t_j)|$.

С выхода сумматора 9 (Сумматор 2) массив мгновенных значений напряжения на втором продольном сопротивлении схемы замещения $|u'_2(t_j)|$ поступает на вход программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). В программаторе вычисления производных по времени 10 (П3) формируется массив $\left| \frac{di'_2}{dt}(t_j) \right|$ (столбец 10

45 табл.1) как $\left| \frac{di'_2}{dt}(t_j) \right| = \frac{i'_2(t_j) - i'_2(t_{j-1})}{\Delta t}$ и подается на вход программатора вычисления

индуктивности и активного сопротивления 11 (П4). В программаторе вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4) фиксируются моменты времени, когда $i'_2(t_j) = 0$ (момент времени t_3) или $\frac{di'_2}{dt}(t_j) = 0$ (момент времени t_4), рассчитываются

значения активного сопротивления R'_2 (столбец 3 табл.2) и индуктивности рассеяния L'_2

(столбец 4 табл.2) вторичной обмотки трансформатора, приведенные к первичной цепи, по формулам $L'_2 = \frac{u'_2(t_2)}{di'_2(t_2)/dt}$, $R'_2 = \frac{u'_2(t_4)}{i'_2(t_4)}$ рассчитываются средние за период значения

указанных параметров как $L'_{2CP} = \frac{1}{N_{L2}} \sum_{i=1}^{N_{L2}} L'_{2i}$, $R'_{2CP} = \frac{1}{N_{R2}} \sum_{i=1}^{N_{R2}} R'_{2i}$ где N_{L2} , N_{R2} -

соответственно количества значений L'_2 , R'_2 , найденных на периоде.

Затем значения L_{1CP} , R_{1CP} , L'_{2CP} и R'_{2CP} с выхода программатора вычисления индуктивности и активного сопротивления 11 (П4) одновременно поступают на вход программатора контроля 12 (П5). В программаторе контроля 12 (П5) вычисляют относительные отклонения указанных параметров от образцовых значений по формулам

$$\Delta L_1 = \frac{|L_{1OБP} - L_{1CP}|}{L_{1OБP}} \cdot 100\%; \quad \Delta L'_2 = \frac{|L'_{2OБP} - L'_{2CP}|}{L'_{2OБP}} \cdot 100\%;$$

$$\Delta R_1 = \frac{|R_{1OБP} - R_{1CP}|}{R_{1OБP}} \cdot 100\%; \quad \Delta R'_2 = \frac{|R'_{2OБP} - R'_{2CP}|}{R'_{2OБP}} \cdot 100\%.$$

Результаты вычисления относительных отклонений приведены в табл.2. Далее в программаторе 12 (П5) относительные отклонения ΔL_1 , ΔR_1 , $\Delta L'_2$ и $\Delta R'_2$ сравнивают с уставкой ε , которую определяют эмпирически для каждого конкретного случая. В нашем случае $\varepsilon=5\%$. Так как значения $\Delta L_1=0,44$, $\Delta R_1=2,55$, $\Delta L'_2 = 2,35$ и $\Delta R'_2 = 0,03$ меньше ε , то

делаем вывод о том, что обмотки трансформатора ПОБС 5М находятся в исправном состоянии, что подтверждается результатами остальных испытаний. Таким образом, на выходе программатора контроля 12 (П5) будет сигнал об исправном состоянии обеих обмоток трансформатора. В случае, если значение одного из относительных отклонений активных сопротивлений или индуктивностей рассеяния от образцовых значений превысит значение уставки, на выходе программатора контроля будет сигнал о том, что соответствующая обмотка трансформатора находится в неисправном состоянии.

Табл.1
СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НЕНАГРУЖЕННОЙ ОБМОТКОЙ

Время t, с	Входное напряжение $u_{вх}(t_j)$, В	Входной ток $i_1(t_j)$, А	Выходное напряжение $u'_H(t_j)$, В	Выходной ток $i'_2(t_j)$, А	Напряжение на третьей обмотке $u'_3(t_j)$, В	Напряжение на первом продольном сопротивлении $u_1(t_j)$, В	Напряжение на втором продольном сопротивлении $u'_2(t_j)$, В	Производная входного тока по времени $\frac{di_1}{dt}(t_j)$, А/с	Производная выходного тока по времени $\frac{di'_2}{dt}(t_j)$, А/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	64,280	0,357	59,302	0,402	61,198	3,083	1,896149152	438,785	409,028
0,000625	94,217	0,632	87,017	0,657	90,797	3,420	3,779421728	438,79	411,178
0,00125	124,329	0,906	115,042	0,914	119,996	4,334	4,953477433	394,907	371,081
0,001875	150,160	1,153	139,119	1,146	145,195	4,965	6,076229391	333,478	315,24
0,0025	171,608	1,361	159,093	1,343	167,194	4,414	8,101486847	195,993	184,232
0,003125	181,120	1,484	168,460	1,458	176,794	4,325	8,333930139	51,1903	44,8647
0,00375	181,486	1,516	168,770	1,486	177,194	4,292	8,424144329	39,4907	33,6471
0,004375	182,509	1,540	169,622	1,507	178,394	4,115	8,772522304	13,1654	5,72969
0,005	180,842	1,549	168,228	1,511	176,794	4,048	8,566063595	-55,582	-62,285
0,005625	173,061	1,514	161,106	1,472	169,594	3,467	8,488731522	-245,72	-256,78
0,00625	148,581	1,360	138,655	1,311	146,795	1,786	8,140510654	-444,64	-453,18

Табл.1 (продолжение)
СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НЕНАГРУЖЕННОЙ ОБМОТКОЙ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,006875	110,890	1,082	103,817	1,028	109,596	1,294	5,779425634	-495,83	-505,67
0,0075	71,998	0,772	67,508	0,712	71,997	0,001	4,489171157	-444,64	-449,36

	0,008125	38,651	0,495	36,231	0,431	38,798	-0,147	2,567033883	-421,24	-425,49
	0,00875	5,053	0,231	4,877	0,165	6,399	-1,347	1,52170549	-469,5	-461,53
	0,009375	-31,490	-0,062	-29,031	-0,123	-29,200	-2,290	-0,16827646	-472,43	-446,02
	0,01	-64,306	-0,357	-59,456	-0,402	-61,999	-2,307	-2,54261904	-440,25	-409,5
	0,010625	-94,191	-0,633	-87,249	-0,658	-91,198	-2,994	-3,94841088	-435,86	-406,4
5	0,01125	-123,938	-0,905	-114,655	-0,912	-119,997	-3,941	-5,34216099	-396,37	-371,56
	0,011875	-150,097	-1,153	-139,041	-1,144	-145,996	-4,101	-6,95483274	-340,79	-321,21
	0,0125	-172,076	-1,366	-159,480	-1,345	-167,596	-4,480	-8,11572037	-197,45	-186,14
	0,013125	-181,650	-1,489	-168,770	-1,461	-177,595	-4,055	-8,82564439	-49,73	-42
	0,01375	-181,852	-1,520	-168,925	-1,487	-177,995	-3,857	-9,07061422	-36,564	-32,454
10	0,014375	-182,800	-1,543	-169,776	-1,508	-179,195	-3,604	-9,4189922	-11,705	-5,9662
	0,015	-181,082	-1,550	-168,383	-1,511	-177,195	-3,886	-8,81243057	54,122	62,2848
	0,015625	-173,162	-1,517	-161,183	-1,472	-169,996	-3,166	-8,81287364	245,718	255,82
	0,01625	-148,582	-1,363	-138,732	-1,313	-146,796	-1,785	-8,06415253	444,637	454,129
	0,016875	-110,726	-1,085	-103,662	-1,029	-109,997	-0,728	-6,33568134	500,22	506,39

Табл.1 (продолжение)

СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НЕНАГРУЖЕННОЙ ОБМОТКОЙ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,0175	-71,784	-0,772	-67,353	-0,712	-71,998	0,215	-4,64532394	446,103	449,361
	0,018125	-38,424	-0,494	-36,154	-0,431	-39,199	0,775	-3,04553431	425,619	428,356
	0,01875	-4,408	-0,228	-4,645	-0,164	-5,600	1,192	-0,95542758	472,428	462,718
	0,019375	31,982	0,068	29,264	0,126	29,598	2,384	0,39445145	466,581	442,438
	0,02	64,306	0,359	59,379	0,402	61,597	2,708	2,218099477	434,398	407,12

Табл.2

		Активное сопротивление первичной обмотки R ₁ , Ом	Индуктивность рассеяния первичной обмотки L ₁ , Гн	Активное сопротивление вторичной обмотки R ₂ , Ом	Индуктивность рассеяния вторичной обмотки L ₂ , Гн
		1	2	3	4
	В первой точке	2,639	0,00449	5,758	-0,00123
	Во второй точке	2,427	0,00454	6,078	-0,00050
	Среднее значение	2,533	0,00452	5,918	-0,00087
	Образцовое значение	2,47	0,0045	5,92	-0,00085
	Относительное отклонение, %	2,55	0,44	0,03	2,35

Формула изобретения

Способ оперативного контроля состояния обмоток однофазного трансформатора с ненагруженной обмоткой в рабочем режиме при известных коэффициентах трансформации трансформатора, заключающийся в том, что регистрируют массивы мгновенных значений входного напряжения, выходного тока i₂, выходного напряжения, рассчитывают индуктивность, усредняют ее значения на периоде, отличающийся тем, что при этом регистрируют массивы мгновенных значений входного тока i₁ и напряжения на ненагруженной обмотке, затем перечисленные токи и напряжения приводят к первичной цепи, производят дифференцирование входного и выходного токов и получают массивы $\frac{di_1(t)}{dt}$ и $\frac{di_2(t)}{dt}$ затем одновременно находят массив u₁ как разность мгновенных значений

входного напряжения и приведенного напряжения на ненагруженной обмотке и массив u'₂ как разность мгновенных значений приведенного напряжения на ненагруженной обмотке и приведенного выходного напряжения, после этого фиксируют моменты времени t₁, когда i₁(t₁)=0, моменты времени t₂, когда i'₂(t₂) = 0, моменты времени t₃, когда $\frac{di_1}{dt}(t_3) = 0$ и

моменты времени t₄, когда $\frac{di_2}{dt}(t_4) = 0$, затем находят значения активных сопротивлений и

индуктивностей рассеяния первичной и вторичной обмоток трансформатора

$$L_1 = \frac{u_1(t_1)}{\frac{di_1}{dt}(t_1)}; \quad L_2 = \frac{u'_2(t_2)}{\frac{di_2}{dt}(t_2)}; \quad R_1 = \frac{u_1(t_3)}{i_1(t_3)}; \quad R_2 = \frac{u'_2(t_4)}{i_2(t_4)}$$

усредняют эти значения на периоде и рассчитывают относительные отклонения

полученных средних значений от образцовых величин, определенных на заведомо исправном трансформаторе, далее сравнивают полученные отклонения с заранее заданной уставкой, и если хотя бы одно из этих отклонений больше заданной уставки, то делают вывод о неисправном состоянии соответствующей обмотки контролируемого трансформатора.

10

15

20

25

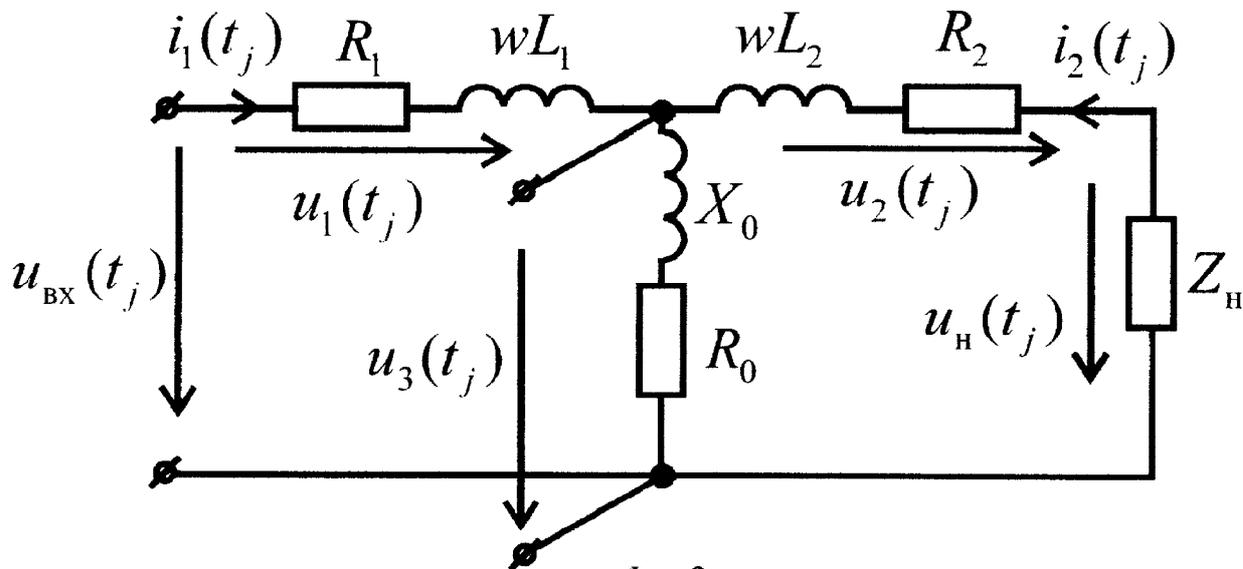
30

35

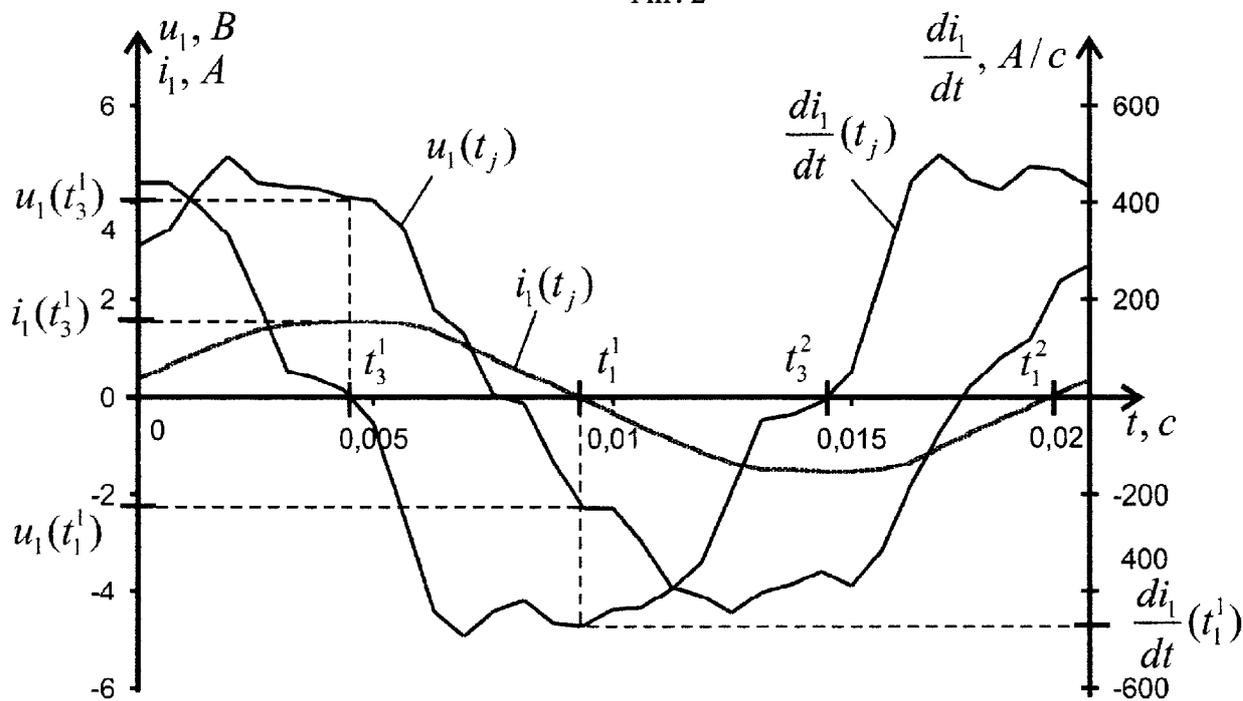
40

45

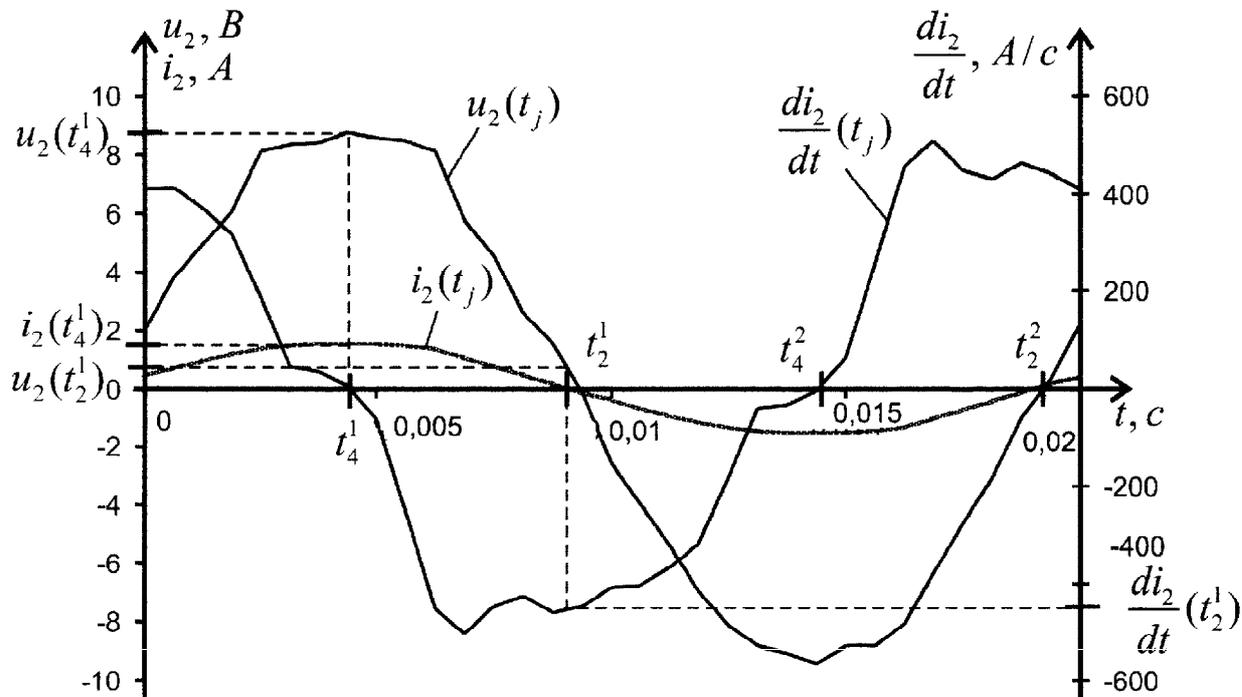
50



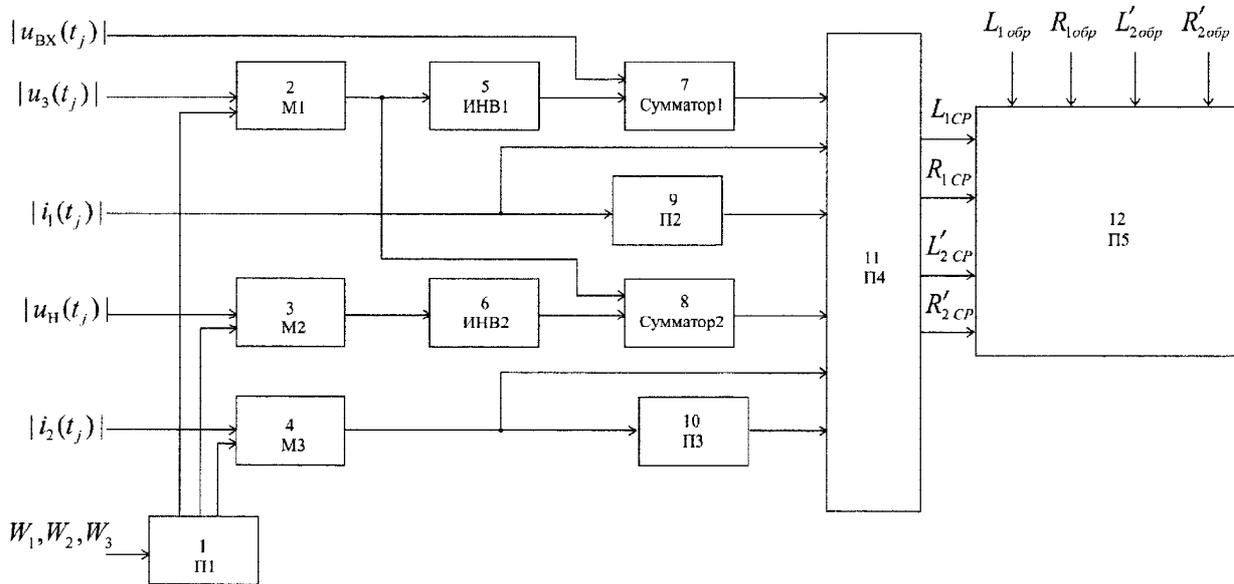
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5