



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **88881** (13) **U**  
(51) МПК  
*H02J 3/24* (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2013 09933</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Рубаненко Олександр Євгенійович (UA), Рубаненко Олена Олександрівна (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>09.08.2013</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)</b>
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.04.2014</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.04.2014, Бюл.№ 7</b>	

**(54) СПОСІБ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ НОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

**(57)** Реферат:

Спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичних систем включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи; формування сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольований перерізах від допустимої величини потужності; вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі; визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень; формування сигналу, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини; додавання цього сигналу до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах; порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнту якості функціонування трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням, та визначення коефіцієнту втрат, коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму. формування регулюючого сигналу на пристрою регулювання під навантаженням трансформаторів, пропорційного до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень, узгодження сформованого сигналу із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом лінії електропередач, за зоною нечутливості регулятора під напругою, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лініях електропередач, за результатами узгодження, при необхідності, корегування раніше сформованого регулюючого сигналу, який передають на привід пристрою регулювання під навантаженням трансформатора.

UA 88881 U



Корисна модель належить до області електротехніки і може знайти застосування в автоматичних засобах оперативного керування режимами енергосистем в режимі реального часу.

Відомий спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) [Котов І.А. Оперативная интеллектуальная поддержка решений диспетчера энергообъединения. - Дисс. канд. техн. наук. - Киев, 1994. – 248 с], який здійснює регулювання перетоками потужностей по вітках схеми основної електричної мережі електроенергетичної системи (ЕЕС) у відповідності з певними продукційними правилами обробки вхідних сигналів потужностей в вітках схеми та порівнянні останніх з уставками припустимих та необхідних перетоків потужності по вітках схеми. В цьому способі: вимірюють величини напруг у контрольних вузлах навантаження та величини струмів на контрольних ділянках, перетворюють ці сигнали в величини потужностей, які перетікають по мережі, порівнюють ці сигнали з уставками припустимих та необхідних перетоків та визначають склад регулювальних впливів на параметри елементів схеми основної мережі контролюваної ЕЕС.

Недоліком такого способу є низька ефективність, значна похибка отриманих результатів через неврахування динамічних параметрів енергетичної системи під час її функціонування в режимі реального часу та неврахування потрібних оптимальних (за параметром мінімальних сумарних втрат електричної енергії в ЕЕС) параметрів режиму, пошкоджуваність обладнання (вимикачів, трансформаторів і т.п.) під час реалізації рекомендованого складу регулювальних впливів з причини не врахування поточного технічного стану цього обладнання.

Відомий спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи (патент України №51198U, МПК Н 02 J3/24. Бюл. № 13, 2010 р.). Цей спосіб регулювання режиму роботи ЕЕС передбачає: вимірювання величини напруги в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірювання струмів в перерізах та вимірювання частоти в системі, визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей, формування сигналу, пропорційного до економічного збитку від роботи системи після зміни вузлових навантажень, додавання його з сигналом, пропорційним до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перерізах від оптимальних, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнту якості функціонування регулятора під напругою, визначення коефіцієнту втрат за виразом:

$$k_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}} - \Delta P_{\text{опт}}}{\Delta P_{\text{опт}}}, \quad (1)$$

де  $\Delta P_{\text{неопт}}$  - втрати потужності в ЕЕС внаслідок відмов в роботі трансформатора,  $\Delta P_{\text{опт}}$  - втрати потужності в ЕЕС в оптимальному режимі, врахування коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру кількості перемикачів регулятора під навантаженням (РПН)  $k_{\text{респерРПН}}$ , який визначається за виразом:

$$k_{\text{рес}} = k_1 \cdot \left( 1 - \frac{n_2 - n_1}{n_2} \right), \quad (2)$$

де  $n_1$  - це кількість потрібних перемикачів регулятора під напругою трансформатора,  $n_2$  - це залишкова кількість гарантованих заводом перемикачів регулятора під напругою трансформатора,  $k_1$  - це коефіцієнт ресурсу без врахування кількості потрібних перемикачів регулятора під напругою трансформатора та залишкової кількості гарантованих заводом перемикачів регулятора під напругою трансформатора який визначається за формулою:

$$k_1 = \frac{n_2}{n_{\text{гар}}}, \quad (3)$$

де  $n_{\text{гар}}$  - гарантована заводом кількість перемикачів, формування сигнал на зміну структури електроенергетичної системи в залежності від цього порівняння, визначення коефіцієнта відносної вартості перемикачів, який знаходять за виразом:

$$k_{\text{від.варт.перем}} = \left( \frac{V_{\text{капрем.}}}{n_{\text{рем.}}} / \frac{V_{\text{тр}}}{n_{\text{гар}}} \right) n_1, \quad (4)$$

де  $V_{\text{тр}}$  - вартість нового трансформатора,  $n_{\text{гар}}$  - гарантована заводом кількість перемикачів,  $V_{\text{капремону}}$  - вартість капітального ремонту,  $n_{\text{рем.}}$  - можлива кількість перемикачів після ремонту, а коефіцієнт якості функціонування за виразом:

$$k_{\text{як.ф.}} = k_{\text{втрат}} \cdot k_{\text{рес}} \cdot k_{\text{від.варт.перем}}, \quad (5)$$

при одночасному контролюванні адекватності вхідної інформації: значення потужності в вузлах, для розрахунків параметрів режиму електроенергетичної системи.

Недоліками такого способу є низька ефективність регулювання внаслідок: не врахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, у відповідності до їх якості функціонування) впливу трансформаторів на загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, не врахування: вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі в наслідок відмови регулятора під напругою силового трансформатора, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемиканнях, вартості понад нормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, а також від вартість електроенергії та від часу між перемиканнями, пошкодження РПН під час спроб реалізації регулювальних впливів: та параметрів, які характеризують технічний стан РПН.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичної системи (патент України №61058, МПК Н 02 J3/24. Бюл. №13, 2011 р.) у відповідності до якого: вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи, формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від припустимої величини потужності, вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі, визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей, формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини, додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах, порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, враховують коефіцієнт якості функціонування регулятора під навантаженням, та визначають коефіцієнт втрат, коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму за формулою:

$$k_{\text{ресI}} = \frac{I_{\text{зал}} - n \cdot I_{\text{КОМ}}}{I_{\text{пасп}}}, \quad (6)$$

залишкового струму комутації за формулою:

$$I_{\text{зал}} = I_{\text{пасп}} - I_{\text{нак}}, \quad (7)$$

та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикань за формулою:

$$k_{\text{рес}_n} = \frac{n_{\text{зал}} - n}{n_{\text{пасп}}}, \quad (8)$$

вагових коефіцієнтів за виразами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{СУМ}}}, \quad (9)$$

$$a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{СУМ}}}, \quad (10)$$

$$a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{СУМ}}}, \quad (11)$$

вартість понаднормованих технічних втрат потужності за виразом:

$$B_3 = (\Delta P_{\text{ПОТ}} - \Delta P_{\text{НОРМ}}) \tau C, \quad (12)$$

сумарну вартість за виразом:

$$B_{\text{СУМ}} = B_1 + B_2 + B_3, \quad (13)$$

де  $B_1, B_2$  - вартості: - втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, - ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемиканнях;  $n$  - кількість потрібних перемикань для досягнення оптимального режиму;  $\Delta P_{\text{ОПТ}}$  - оптимальне значення втрат активної потужності;  $\Delta P_{\text{НЕОПТ}}$  - значення втрат активної потужності при відмові від перемикань даним трансформатором;  $I_{\text{зал}}$  - залишковий струм комутації;  $I_{\text{КОМ}}$  - струм, який комутує трансформатор при одному перемиканні;  $I_{\text{пасп}}$  - струм, який повинен комутувати трансформатор по паспорту;  $I_{\text{нак}}$  - накопичений комутований струм;  $\Delta P_{\text{НОРМ}}$  - нормативне значення технічних втрат активної потужності;  $\Delta P_{\text{ПОТ}}$  - поточне значення втрат активної потужності;  $C$  - вартість електроенергії;  $\tau$  - тривалість періоду між перемиканнями.

Недоліками такого способу є: недостатня якість регулювання режиму роботи електроенергетичної системи за рахунок неврахування того, що складовими частинами умов, в яких іноді доводиться приймати оптимальні рішення, є недостатня відповідність реального технічного стану об'єкта очікуваному, що призводить неефективного керування, що викликає

5

пошкодження обладнання, неточність вхідної інформації про параметри, які характеризують технічний стан трансформаторів, низька ефективність регулювання внаслідок не врахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, у відповідності до їх якості функціонування) впливу технічного стану високовольтних вводів.

В основу корисної моделі поставлено задачу - створення способу оптимального керування нормальними режимами електроенергетичних систем, в якому шляхом врахування відхилення потужності, яку передають по лініях електропередач, та частоти в системі від максимальних допустимих значень відхилень при формуванні сигналів на зміну параметрів електричної мережі в аварійних режимах, здійснення регульовального впливу РПН і-того трансформатора електроенергетичної системи, у якого більше значення коефіцієнту якості функціонування в нормальних режимах електроенергетичної системи, врахування, в цьому коефіцієнті, коефіцієнтів залишкового ресурсу РПН по параметрах: "накопичений комутований струм", "кількість перемикачів"; коефіцієнта впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, вартостей втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачях, понад-нормованих технічних втрат потужності, врахування обмеження по напрузі, по частоті, за максимальним допустимим струмом ліній електропередач, з врахуванням нечутливості регулятора під навантаженням, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лініях електропередач, при визначенні коефіцієнту впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, врахування технічного стану охолоджувачів трансформаторів, дає можливість зменшити загальносистемні втрати електроенергії і підвищити якість регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, більш точно врахувати поточний технічний стан РПН трансформаторів, навантажувальну здатність трансформаторів і зону нечутливості втрат потужності до регулювання трансформаторами з РПН, зменшити пошкоджуваність силових трансформаторів, підвищити ефективність регулювання.

10

15

20

25

30

Поставлена задача вирішується тим, що в способі оптимального керування нормальними режимами роботи електроенергетичних систем вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи; формують сигнал (керувальний вплив), пропорційний величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольований переріз від допустимої величини потужності; вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі; визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень; формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини; додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах; порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, враховують коефіцієнт якості функціонування трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням, та визначають коефіцієнт втрат, коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму визначають за формулою (6), залишковий струм комутації визначають за формулою (7), та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів визначають за формулою (8), вагові коефіцієнти визначають за виразами (9-11), вартості понаднормованих технічних втрат потужності визначають за виразом (12), сумарної вартості за виразом (13), причому коефіцієнт якості функціонування трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням розраховують за виразом:

50

$$k_{\text{эф.функ}} = (a_1 + a_2) \cdot k_{\text{рес}_n} \cdot k_{\text{рес}_{\text{ввод}}} \cdot k_{\text{рес1}} \cdot a_3 \cdot k_{\text{втрат}}, \quad (14)$$

коефіцієнт залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.БВі}}$ ) для одного високовольтного вводу

55

$$k_{\text{рес.БВі},j} = k_R^{\text{PR}} \cdot k_{C_X}^{\text{PCX}} \cdot k_{\text{тг}(\delta)}^{\text{Ptg}(\delta)} \cdot k_{\text{PI}}^{\text{PPI}} \cdot ((1 - k_{\text{P2}}) \cdot P_{\text{нар.ч.P2}}), \quad (15)$$

використовують загальний коефіцієнт залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора, який розраховують за виразом:

$$k_{\text{рес.ввод}} = \sum_{i=1}^n \lambda \cdot k_{\text{рес.ВВ}_{\text{рес.}i,j}}, \quad (16)$$

де  $\lambda = 1/\Omega$  - коефіцієнт, який враховує вплив кожного високовольтного вводу окремо;  $\Omega$  - кількість високовольтних вводів (погіршення стану одного високовольтного вводу, а інший на впливає);

- 5 де  $k_R^{\text{PR}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру активного опору паперово-масляної ізоляції,  $p_R$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - активного опору паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,

$$p_R = \frac{y_R}{m}, \quad (17)$$

- 10 де  $y_R$  - кількість відхилень контрольованого параметру - активного опору паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

- 15 коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру активного опору паперово-масляної ізоляції визначають за виразом:

$$k_R = \left| \frac{R_{\text{гран}} - R_{\text{пот}}}{R_{\text{гран}} - R_{\text{поч}}} \right|, \quad (18)$$

- де:  $R_{\text{гран}}$  - граничне нормативне значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу - і-го діагностичного параметра,  $R_{\text{пот}}$  - значення вмісту активного опору паперово-масляної ізоляції - і-го діагностичного параметра на момент контролю,  $R_{\text{поч}}$  - початкове значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу - діагностичного параметра (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

- 20 де  $k_{\text{Сх}}^{\text{PCx}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру ємності паперово-масляної ізоляції,  $p_{\text{Сх}}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - ємності паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення ємності паперово-масляної ізоляції,

$$p_{\text{Сх}} = \frac{y_{\text{Сх}}}{m}, \quad (19)$$

- де  $y_{\text{Сх}}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - ємності паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення ємності паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень.

- 30 Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру ємності паперово-масляної ізоляції визначається за виразом:

$$k_{\text{Сх}} = \left| \frac{C_{\text{х,гран}} - C_{\text{х,пот}}}{C_{\text{х,гран}} - C_{\text{х,поч}}} \right|, \quad (20)$$

- 35 де:  $C_{\text{х,гран}}$  - граничне нормативне значення ємності паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,  $C_{\text{х,пот}}$  - значення ємності паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу на момент контролю,  $C_{\text{х,поч}}$  - початкове значення ємності паперово-масляної ізоляції ВВ (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту).

- де  $k_{\text{tg}(\delta)}^{\text{Ptg}(\delta)}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції,  $p_{\text{tg}(\delta)}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції від гранично допустимого нормованого значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції,

$$p_{\text{tg}(\delta)} = \frac{y_{\text{tg}(\delta)}}{m}, \quad (21)$$

- 45 де  $y_{\text{tg}(\delta)}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - зростання температури в області вимірювального виводу від гранично допустимого нормованого значення температури в області вимірювального виводу,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції визначається за виразом:

$$k_{\text{tg}(\delta)} = \frac{|\text{tg}(\delta)_{\text{гран}} - \text{tg}(\delta)_{\text{пот}}|}{|\text{tg}(\delta)_{\text{гран}} - \text{tg}(\delta)_{\text{поч}}|}, \quad (22)$$

де:  $\text{tg}(\delta)_{\text{гран}}$  - граничне нормативне значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції високовольтного вводу,  $\text{tg}(\delta)_{\text{пот}}$  - значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції високовольтного вводу на момент контролю,  $\text{tg}(\delta)_{\text{поч}}$  - початкове значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції високовольтного вводу (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту).

де  $k_{T_3}^{P_{T_3}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла,  $p_{T_2}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла від гранично допустимого нормованого значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла,

$$p_{P_1} = \frac{y_{P_1}}{m},$$

де  $y_{P_1}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла від гранично допустимого нормованого значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла визначається за виразом:

$$k_{P_1} = \frac{|P_{1,\text{гран}} - P_{1,\text{пот}}|}{|P_{1,\text{гран}} - P_{1,\text{поч}}|}, \quad (23)$$

де:  $P_{1,\text{гран}}$  - граничне нормативне значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла,  $P_{1,\text{пот}}$  - значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла на момент контролю,  $P_{1,\text{поч}}$  - початкове значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла(на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту).

де  $k_{P_2}^{P_2}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів ВВМВ,  $p_{P_2}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів ВВМВ від гранично допустимого нормованого значення коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів у високовольтного вводу,

$$p_{P_2} = \frac{y_{P_2}}{m}, \quad (24)$$

де  $y_{P_2}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів ВВМВ від гранично допустимого нормованого значення коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів ВВМВ,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів ВВМВ визначають за виразом:

$$k_{p_2} = \frac{p_{2,гран} - p_{2,пот}}{p_{2,гран} - p_{2,поч}}, \quad (25)$$

- 5 де:  $p_{2,гран}$  - граничне нормативне значення коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів ВВМВ,  $p_{2,пот}$  - значення коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів ВВМВ,  $p_{2,поч}$  - початкове значення коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів ВВМВ,

10 формують регулюючий сигнал на пристрою регулювання під навантаженням трансформаторів, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень, узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом ліній електропередач, за зоною нечутливості регулятора під напругою, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лініях електропередач, за результатами узгодження, при необхідності, корегують раніше сформований регулюючий сигнал, який передають на привід пристрою регулювання під навантаженням трансформатора.

20 Під сигналом об'єкта розуміємо регульовані параметри. З точки зору автоматичного регулювання під об'єктом регулювання розуміємо фізичні установки з приєднаними регульовальними пристроями, у яких протікає регульований процес.

25 Промислові установки являють собою, як правило, складні об'єкти з декількома регульованими параметрами. Складний об'єкт регулювання можна розбити на кілька простих об'єктів з одною регульованою величиною й одним регульовальним органом.

Для впливу на вихідні сигнали (регульовані параметри) об'єкта необхідно мати можливість цілеспрямовано змінювати його вхідні сигнали. Такі вхідні сигнали об'єкта називають регульовальними параметрами, а їхня цілеспрямована зміна - регульовальним впливом.

30 На кресленні показана функціональна схема автоматизованої системи регулювання режиму електроенергетичної системи, за допомогою якої здійснюється спосіб. Пристрій містить: блок визначення швидкості відхилення напруги 1, блок визначення швидкості відхилення струму 2, блок визначення швидкості відхилення частоти 3, блок визначення чутливості режиму електричної мережі до зовнішніх збурень 4, блок формування сигналів керування режимом роботи електроенергетичної системи 5, вимірювальний орган напруги 6, диференціальний орган напруги 7, вимірювальний орган струму 8, диференціальний орган струму 9, вимірювальний орган частоти 10, диференціальний орган частоти 11, перший обчислювальний блок 12, другий обчислювальний блок 13, суматор 14, орган порівняння 15, орган керування 16, електроенергетична система 17, сенсор накопиченого струму 18, третій обчислювальний блок 19, сенсор кількості перемикачів РПН (пристрою регулювання під навантаженням трансформатора) 21, четвертий обчислювальний блок 21, вимірювальний орган активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу 22, п'ятий обчислювальний блок 23, вимірювальний орган ємності паперово-масляної ізоляції 24, шостий обчислювальний блок 25, вимірювальний орган тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції 26, сьомий обчислювальний блок 27, сенсор постійного зменшення тиску у високовольтному вводі, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла 28, восьмий обчислювальний блок 29, сенсор коливання величини тиску у високовольтному вводі при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтного вводу 30, дев'ятий обчислювальний блок 31, десятий обчислювальний блок 32, переносна персональна електронна обчислювальна машина 33, одинадцятий обчислювальний блок 34, дванадцятий обчислювальний блок 35, сенсор положення приводу РПН 36, оперативно-інформаційного комплекс 37 електроенергетичної системи 17, блок вибору трансформатора 38, блок формувача сигналу на РПН трансформатора 39.

55 Для кожного високовольтного маслонаповненого вводу одного трансформатора з РПН вимірювальний орган активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу 22, п'ятий обчислювальний блок 23, вимірювальний орган ємності паперово-масляної ізоляції 24, шостий обчислювальний блок 25, вимірювальний орган тангенса кута діелектричних втрат в



паперово-масляній ізоляції 26, сьомий обчислювальний блок 27, сенсор постійного зменшення тиску у високовольтному вводі, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла 28, восьмий обчислювальний блок 29, сенсор коливання величини тиску у високовольтному вводі при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) 5 навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтного вводу 30, дев'ятий обчислювальний блок 31 встановлюються окремо.

Спосіб здійснюється наступним чином.

При визначенні швидкості відхилення напруги в блоці визначення швидкості відхилення напруги 1, сигнал з вимірювального органу напруги 6 надходить до диференціального органу напруги 7, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни напруги в контрольованих вузлах системи. 10

При визначенні швидкості відхилення струму в блоці визначення швидкості відхилення струму 2, сигнал з вимірювального органу струму 8 надходить до диференціального органу струму 9, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни струму в контрольованих перерізах системи. 15

При визначенні швидкості відхилення частоти в блоці визначення швидкості відхилення частоти 3, сигнал з вимірювального органу частоти 10 надходить до диференціального органу частоти 11, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни частоти в системі. Вихідні сигнали з диференціального органу напруги 7 та диференціального органу струму 9 надходять 20 відповідно на перший та другий входи блока 4 визначення чутливості режиму електричної мережі до зовнішніх збурень, де на першому виході першого обчислювального блока 12 формується вихідний сигнал, пропорційний до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перетинам від їх оптимальних значень. В першому обчислювальному блоці 12 обчислюються: швидкість зміни потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач, підключених до вузла, визначають перетоки потужності в кожній з ліній, потужність вузлового навантаження, часткова похідна  $\left[ \frac{dU}{dS} \right]$ , що відповідає залежності зміни напруги від зміни 25

вузлової потужності, які використовуються при формування вихідного сигналу, пропорційного до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перетинам від їх оптимальних значень.

На другому виході першого обчислювального блока 12 формують сигнал про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням. На третьому виході першого обчислювального блока 12 формують сигнал пропорційний швидкості зміни вузлового навантаження. 30

Сигнали з виходу диференційного органу частоти 11 блока 3 визначення швидкості відхилення частоти та сигнал з третього виходу першого обчислювального блока 12 надходять 35 відповідно на другий і перший входи другого обчислювального блока 13, в якому: визначається швидкість зміни частоти в системі  $\frac{df}{dS}$ , і порівнюється відхилення поточного значення частоти від номінального значення частоти.

На першому виході другого обчислювального блока 13 формується сигнал, пропорційний економічному збиткові від відхилення величини частоти, а на другому виході формується сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення. 40

В суматорі 14 блока 5 формування сигналів керування режимом роботи електроенергетичної системи, додають сигнал з першого виходу першого обчислювального блока 12, пропорційний збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перерізам, до сигналу з першого виходу другого обчислювального блока 13, пропорційний економічному збиткові від відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення, які надходять, відповідно, на перший та другий входи суматора 14. 45

Сигнал (G) з виходу суматора 14 передається на перший вхід органу порівняння 15, в якому він порівнюється з сигналом (G<sub>0</sub>), пропорційним до величини економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання. Сигнал G<sub>0</sub>, надходить на другий вхід органу порівняння 15 з ПЕОМ під час періодичного програмування органу порівняння 15 та зберігається в пам'яті блока порівняння 15. При виконанні умови G ≥ G<sub>0</sub> сигнал з виходу блока порівняння 15 подається на перший вхід органу керування 16. На третій вхід органу керування 16 подається сигнал про наявність перевищення потужності з другого виходу першого обчислювального блока 12, а на другий вхід органу керування 16 подається сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення з другого виходу другого обчислювального блока 13. З урахуванням сигналів на входах органу керування 16 формується сигнал на його виході. 55

З виходу органу керування 16, сигнал у вигляді регулювальних впливів подається на перший вхід електроенергетичної системи 17, а саме на виконавчі органи електроенергетичної системи 17 (наприклад, на приводи високовольтних вимикачів), які відповідають за зміну режиму роботи та структури ЕЕС, наприклад, шляхом включення резервної лінії електропередач.

5 Також за допомогою сенсора накопиченого струму 18 електричного двигуна вимірюють струм електричного двигуна привода РПН (вимірюється відразу по закінченню протікання пускового струму, за умови, що струм усталеного режиму не перевищує похибки засобів його контролю).

10 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" привода РПН, а тим самим контролюють чи не перевищує струм двигуна встановлене значення. Для цього на вхід третього обчислювального блока 19, в якому обчислюється значення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" привода РПН, надходить сигнал з виходу сенсора струму 18 електричного двигуна, який встановлений в шафі керування РПН.

15 З виходу третього обчислювального блока 19 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" подається на перший вхід сьомого блока обчислень 34, в якому обчислюється значення коефіцієнту ефективності функціонування РПН.

20 Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" обчислюють за формулою (6).

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів" визначають в четвертому обчислювальному блоці 21. Вимірюють кількість перемикачів РПН для кожного трансформатора за допомогою сенсора кількості перемикачів РПН 20, який встановлений в шафі керування РПН. Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів" для кожного трансформатора. Для цього на вхід четвертого обчислювального блока 21, передають сигнал з виходу сенсора кількості перемикачів РПН 20. З виходу четвертого обчислювального блока 21 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів" подають на другий вхід сьомого блока обчислень 34.

30 Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів" обчислюють за формулою (8).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "активний опір паперово-масляної ізоляції" в п'ятому обчислювальному блоці 23. Для цього на перший вхід п'ятого обчислювального блока 23, передають сигнал з виходу вимірювального органу активного опору паперово-масляної ізоляції 22. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "активний опір паперово-масляної ізоляції" обчислюють за формулою (18).

35 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "ємність паперово-масляної ізоляції" в шостому обчислювальному блоці 25. Для цього на перший вхід шостого обчислювального блока 25, передають сигнал з виходу вимірювального органу ємності паперово-масляної ізоляції 24. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "ємність паперово-масляної ізоляції" обчислюють за формулою (20).

40 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "тангенс кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції" в сьомому обчислювальному блоці 27. Для цього на перший вхід сьомого обчислювального блока 27, передають сигнал з виходу вимірювального органу тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції 26. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "тангенс кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції" обчислюють за формулою (22).

45 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру «постійне зменшення тиску у високовольтному вводі, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла» в восьмому обчислювальному блоці 29. Для цього на перший вхід восьмого обчислювального блока 29, передають сигнал з виходу сенсора постійного зменшення тиску у високовольтному вводі 28. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "постійне зменшення тиску у високовольтному вводі, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла" обчислюють за формулою (24).

50 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "коливання величини тиску у високовольтному маслonaповненому вводі (ВВМВ) при зміні температури (добові коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів ВВМВ" в дев'ятому обчислювальному блоці 31. Для цього на перший вхід дев'ятого обчислювального блока 31, передають сигнал з виходу сенсора коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури, які зумовлені пошкодженням сильфонів ВВМВ 30. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "коливання величини тиску у ВВМВ при зміні температури (добові

60

коливання тиску у ВВ, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів ВВМВ" обчислюють за формулою (26).

В десятому блоці обчислення 32 визначають коефіцієнт ресурсу коефіцієнт залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.ВВ}i}$ ) для одного високовольтного вводу за виразом (15) та загальний коефіцієнт залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора, який розраховують за виразом (16). Для цього на перший вхід обчислювального блока 32 передають сигнал з обчислювального блока 23, на другий вхід обчислювального блока 32 передають сигнал з обчислювального блока 25, на третій вхід обчислювального блока 32 передають сигнал з обчислювального блока 27, на четвертий вхід обчислювального блока 32 передають сигнал з обчислювального блока 29, на п'ятий вхід обчислювального блока 32 передають сигнал з обчислювального блока 31.

В одинадцятому блоці обчислення 34 впливу перемикачів РПН обчислюють загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, оптимальну кількість перемикачів, коефіцієнт впливу перемикачів РПН контрольованим  $i$ -тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності з урахуванням обмежень: за напругами у вузлах, за струмами в вітках та за крайніми положеннями вибирача РПН та за зоною нечутливості РПН. Обмеження задають та корегують в одинадцятому блоці обчислення 34 за допомогою сигналу, який подають з першого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 33 на шостий вхід одинадцятого блока обчислення 34.

Сигнал з вимірювального органу напруги 6 та сигнал з вимірювального органу струму 8, також подають відповідно на третій та четвертий входи першого обчислювального блока 12, з четвертого виходу якого сигнал пропорційний потужності навантаження підстанції, а з п'ятого його виходу сигнал пропорційний потужності, яка передається по лініях електропередач підстанції відповідно передають на третій та четвертий входи одинадцятого блока обчислення 34 впливу перемикачів РПН, з другого виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту впливу перемикачів РПН контрольованого трансформатора, подають на дев'ятий вхід дванадцятого блока обчислень 35 коефіцієнта ефективності функціонування.

На перший вхід одинадцятого блока обчислення 34 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу сенсора положення приводу РПН 36, який відповідає номеру ступені регулювання.

На другий вхід одинадцятого блока обчислення 34 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу вимірювального органу напруги 6.

На п'ятий вхід одинадцятого блока обчислення 34 впливу перемикачів РПН подають сигнал з другого виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 37. Цей сигнал несе інформацію про потужності у вітках та вузлах схеми електроенергетичної системи.

З першого виходу одинадцятого блока обчислення 34 подають сигнал на другий вхід оперативно-інформаційного комплексу 37 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності навантаження і віток контрольованої підстанції.

З виходу третього обчислювального блока 19, сигнал подають на перший вхід дванадцятого обчислювального блока 35, в якому визначають значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

З виходу четвертого обчислювального блока 21, сигнал подають на другий вхід дванадцятого обчислювального блока 34, в якому визначають значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

З виходу п'ятого обчислювального блока 23, сигнал подають на перший вхід десятого обчислювального блока 32, в якому визначають значення коефіцієнту залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.ВВ}i}$ ) для одного високовольтного вводу (ВВ) і значення загального коефіцієнту залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора.

З виходу шостого обчислювального блока 25, сигнал подають на другий вхід десятого обчислювального блока 32, в якому визначають значення коефіцієнту залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.ВВ}i}$ ) для одного високовольтного вводу (ВВ) і значення загального коефіцієнту залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора.

З виходу сьомого обчислювального блока 27, сигнал подають на третій вхід десятого обчислювального блока 32, в якому визначають значення коефіцієнту залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.ВВ}i}$ ) для одного високовольтного вводу (ВВ) і значення загального коефіцієнту залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора.

З виходу восьмого обчислювального блока 29, сигнал подають на четвертий вхід десятого обчислювального блока 32, в якому визначають значення коефіцієнту залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.ВВ}i}$ ) для одного високовольтного вводу (ВВ) і значення загального коефіцієнту залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора.

З виходу дев'ятого обчислювального блока 31, сигнал подають на п'ятий вхід десятого обчислювального блока 32, в якому визначають значення коефіцієнту залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.ВВі}}$ ) для одного високовольтного вводу (ВВ) і значення загального коефіцієнту залишкового ресурсу всіх високовольтних входів трансформатора.

5 Визначають коефіцієнт ефективності функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "накопичений комутований струм", коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "кількість перемикачів", загального коефіцієнта залишкового ресурсу всіх високовольтних входів трансформатора, коефіцієнта втрат, який визначається за виразом:

$$10 \quad k_{\text{втр.і}} = \frac{\Delta P_{\text{не вик.і}} - \Delta P_{\text{опт.і}}}{\Delta P_{\text{не вик.і}}},$$

де  $\Delta P_{\text{не вик.і}}$  - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок не використання перемикачів РПН і-того трансформатора,  $\Delta P_{\text{опт.і}}$  - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок використання РПН і-того трансформатора з метою встановлення оптимального положення РПН з урахуванням обмежень за напругою у вузлах, за струмами у вітках, та за крайніми положеннями РПН, вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачах, вартості понад нормованих технічних втрат потужності в обчислювальному блоці 35.

20 Для цього на перший вхід подають сигнал з обчислювального органу 19, на другий вхід подають сигнал з обчислювального органу 21, на третій вхід подають сигнал з обчислювального органу 32, на четвертий вхід з другого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 33.

25 Інформацію про вартість втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартість ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачах, вартість понад нормованих технічних втрат потужності подають з другого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 33 на четвертий вхід дванадцятого обчислювального блока 35.

З першого виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 37 подають сигнал про зміну активної потужності у вузлах на блок вибору трансформатора 38.

30 Далі з блока вибору трансформатора 38 подається сигнал на перший вхід блока 39.

Далі визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальний вплив, за більшим значенням коефіцієнту ефективності функціонування.

35 Для цього сигнал з четвертого виходу одинадцятого блока обчислень 34 подають на четвертий вхід блока вибору трансформатора 39 автоматизованої системи керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи.

40 На третій вхід блока вибору трансформатора 39 надходить сигнал з першого виходу оперативно-інформаційного комплексу 37 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про коефіцієнти ефективності функціонування інших трансформаторів електроенергетичної системи. В блоці вибору трансформатора 39 здійснюється ранжування трансформаторів у відповідності до значень коефіцієнта ефективності функціонування.

За результатами ранжування вибирається трансформатор з більшим значенням коефіцієнта ефективності функціонування.

45 Далі формують регулюючий сигнал на РПН вибраного трансформатора, пропорційно до відхилення поточних сумарних втрат потужності в ЕЕС від їх оптимальних значень з урахуванням: значення коефіцієнту ефективності функціонування трансформатора для поточного режиму, сигналу, про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням потужності цих ліній. Для цього, сигнал з виходу блока вибору трансформатора 38 подається на перший вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 39, з виходу якого, сигнал подається на третій вхід електроенергетичної системи 17, а саме на привід РПН вибраного трансформатора електроенергетичної системи 17.

55 На четвертий вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 39 подається сигнал про кількість перемикачів РПН вибраного трансформатора з четвертого виходу одинадцятого обчислювального блока 34, а на другий і третій входи формувача сигналу на РПН трансформатора 39 подаються сигнали з других виходів, відповідно, першого обчислювального блока 12 та другого обчислювального блока 13. Ці сигнали блокують формування сигналу на виході формувача сигналу на РПН трансформатора 39 в аварійному режимі роботи

електроенергетичної системи. Коефіцієнт ефективності функціонування РПН трансформатора визначається за формулою (14).

Таким чином, при використанні запропонованого способу зростають якість регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, ефективність керуючих впливів на РПН трансформаторів, зменшується пошкоджуваність РПН трансформаторів, зростає термін безаварійної роботи трансформаторів з РПН і втрати електроенергії та забезпечується ощадливе використання технічного ресурсу трансформаторів з РПН.

## 10 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичних систем, який включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи; формування сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованій перерізах від допустимої величини потужності; вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі; визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень; формування сигналу, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини; додавання цього сигналу до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах; порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнт якості функціонування трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням, та визначають коефіцієнт втрат, коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму визначають за формулою:

$$k_{\text{ресI}} = \frac{I_{\text{зал}} - n \cdot I_{\text{ком}}}{I_{\text{пасп}}},$$

залишковий струм комутації визначають за формулою:

$$I_{\text{зал}} = I_{\text{пасп}} - I_{\text{нак}},$$

та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів визначають за формулою:

$$k_{\text{ресn}} = \frac{n_{\text{зал}} - n}{n_{\text{пасп}}},$$

вагові коефіцієнти визначають за виразами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}},$$

$$a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}},$$

$$a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}},$$

вартості понаднормованих технічних втрат потужності визначають за виразом:

$$35 \quad B_3 = (\Delta P_{\text{пот}} - \Delta P_{\text{норм}}) \tau C,$$

сумарної вартості за виразом:

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3,$$

де  $B_1, B_2$  - вартості: - втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, - ремонту пристрою регулювання під навантаженням трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачях;  $n$  - кількість потрібних перемикачів для досягнення оптимального режиму;  $\Delta P_{\text{опт}}$  - оптимальне значення втрат активної потужності;  $\Delta P_{\text{неопт}}$  - значення втрат активної потужності при відмові від перемикачів даним трансформатором;  $I_{\text{зал}}$  - залишковий струм комутації;  $I_{\text{ком}}$  - струм, який комутує трансформатор при одному перемикачній;  $I_{\text{пасп}}$  - струм, який повинен комутувати трансформатор по паспорту;  $I_{\text{нак}}$  - накопичений комутований струм;  $\Delta P_{\text{норм}}$  - нормативне значення технічних втрат активної потужності;  $\Delta P_{\text{пот}}$  - поточне значення втрат активної потужності;  $C$  - вартість електроенергії;  $\tau$  - тривалість періоду між перемикачними, який **відрізняється** тим, що коефіцієнт якості

функціонування трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням розраховують за виразом:

$$k_{\text{еф.функ}} = (a_1 + a_2) \cdot k_{\text{рес}_n} \cdot k_{\text{рес}_{\text{ввод}}} \cdot k_{\text{рес}_1} \cdot a_3 \cdot k_{\text{втрат}},$$

коефіцієнт залишкового ресурсу ( $k_{\text{рес.ВВі}}$ ) для одного високовольтного вводу

$$5 \quad k_{\text{рес.ВВі},j} = k_R^{\text{PR}} \cdot k_{\text{Сх}}^{\text{PCx}} \cdot k_{\text{іг}(\delta)}^{\text{Pіг}(\delta)} \cdot k_{\text{P1}}^{\text{PP1}} \cdot ((1 - k_{\text{P2}}) \cdot p_{\text{на.ч.П2}}),$$

використовують загальний коефіцієнт залишкового ресурсу всіх високовольтних ввідів трансформатора, який розраховують за виразом:

$$k_{\text{рес}_{\text{ввод}}} = \sum_{i=1}^n \lambda \cdot k_{\text{рес.ВВ}_{\text{ресі},j}},$$

10 де  $\lambda = 1/\Omega$  - коефіцієнт, який враховує вплив кожного високовольтного вводу окремо;  $\Omega$  - кількість високовольтних ввідів (погіршення стану одного високовольтного вводу, а інший на впливає);

де  $k_R^{\text{PR}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру активного опору паперово-масляної ізоляції,  $p_R$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - активного опору паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,

$$15 \quad p_R = \frac{y_R}{m},$$

де  $y_R$  - кількість відхилень контрольованого параметру - активного опору паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру активного опору паперово-масляної ізоляції визначають за виразом:

$$k_R = \frac{|R_{\text{гран}} - R_{\text{пот}}|}{|R_{\text{гран}} - R_{\text{поч}}|},$$

25 де:  $R_{\text{гран}}$  - граничне нормативне значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу - і-го діагностичного параметра,  $R_{\text{пот}}$  - значення вмісту активного опору паперово-масляної ізоляції - і-го діагностичного параметра на момент контролю,  $R_{\text{поч}}$  - початкове значення активного опору паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу - діагностичного параметра (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

30 де  $k_{\text{Сх}}^{\text{PCx}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру ємності паперово-масляної ізоляції,  $p_{\text{Сх}}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - ємності паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення ємності паперово-масляної ізоляції,

$$p_{\text{Сх}} = \frac{y_{\text{Сх}}}{m},$$

35 де  $y_{\text{Сх}}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - ємності паперово-масляної ізоляції від гранично допустимого нормованого значення ємності паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень,

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру ємності паперово-масляної ізоляції визначається за виразом:

$$40 \quad k_{\text{Сх}} = \frac{|C_{\text{х,гран}} - C_{\text{х,пот}}|}{|C_{\text{х,гран}} - C_{\text{х,поч}}|},$$

де:  $C_{\text{х,гран}}$  - граничне нормативне значення ємності паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу,  $C_{\text{х,пот}}$  - значення ємності паперово-масляної ізоляції високовольтного вводу на момент контролю,  $C_{\text{х,поч}}$  - початкове значення ємності паперово-масляної ізоляції ВВ (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

де  $k_{tg(\delta)}^{P_{tg(\delta)}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції,  $p_{tg(\delta)}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції від гранично допустимого нормованого значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції,

$$5 \quad p_{tg(\delta)} = \frac{y_{tg(\delta)}}{m},$$

де  $y_{tg(\delta)}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - зростання температури в області вимірювального виводу від гранично допустимого нормованого значення температури в області вимірювального виводу,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

10 коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції визначається за виразом:

$$k_{tg(\delta)} = \frac{|tg(\delta)_{гран} - tg(\delta)_{пот}|}{|tg(\delta)_{гран} - tg(\delta)_{поч}|},$$

15 де:  $tg(\delta)_{гран}$  - граничне нормативне значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції високовольтного вводу,  $tg(\delta)_{пот}$  - значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції високовольтного вводу на момент контролю,  $tg(\delta)_{поч}$  - початкове значення тангенса кута діелектричних втрат в паперово-масляній ізоляції високовольтного вводу (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

20 де  $k_{T_3}^{P_{T_3}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла,  $p_{T_2}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла від гранично допустимого нормованого значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла,

$$p_{P_1} = \frac{y_{P_1}}{m},$$

25 де  $y_{P_1}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла від гранично допустимого нормованого значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

30 коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла визначається за виразом:

$$k_{P_1} = \frac{|P_{1,гран} - P_{1,пот}|}{|P_{1,гран} - P_{1,поч}|},$$

35 де:  $P_{1,гран}$  - граничне нормативне значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла,  $P_{1,пот}$  - значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протікання трансформаторного масла на момент контролю,  $P_{1,поч}$  - початкове значення зменшення тиску у високовольтного вводу, яке зумовлене наявністю місць протіканням трансформаторного масла (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

40 де  $k_{P_2}^{P_2}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру коливання величини тиску у високовольтному маслонаповненому ввіді при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному ввіді, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів високовольтного маслонаповненого вводу,  $p_{P_2}$  - ймовірність відхилень контрольованого параметру - коливання величини тиску у високовольтному маслонаповненому ввіді при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному ввіді, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сильфонів високовольтному маслонаповненому ввіді від гранично допустимого нормованого значення коливання величини тиску у високовольтному маслонаповненому ввіді при зміні температури (добові коливання

тиску у високовольтному вводі, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів у високовольтного вводу,

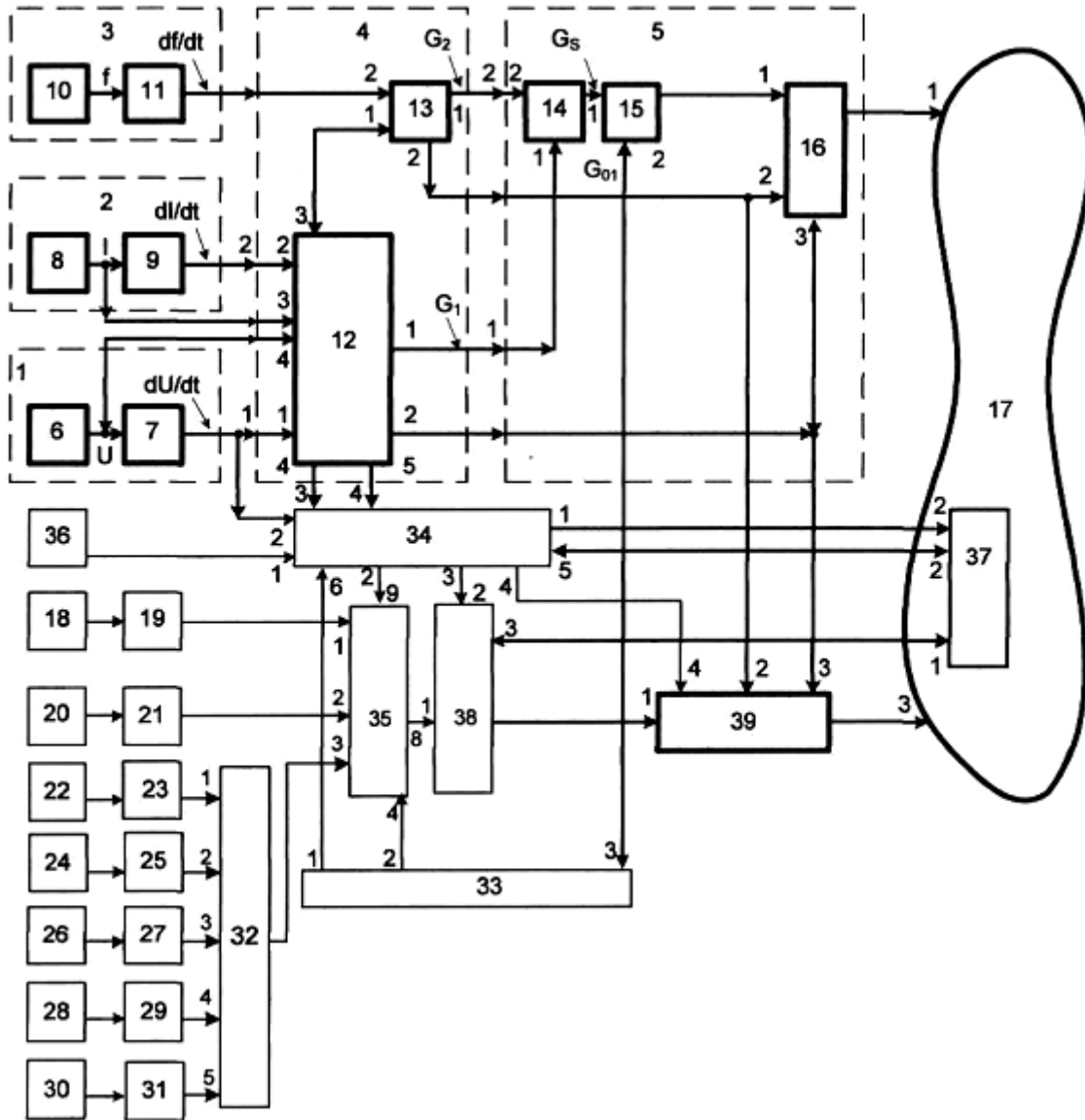
$$p_{p_2} = \frac{y_{p_2}}{m},$$

- 5 де  $y_{p_2}$  - кількість відхилень контрольованого параметру - коливання величини тиску у високовольтному маслonaповненому вводі при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному вводі, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтному маслonaповненому вводі від гранично допустимого нормованого значення коливання величини тиску у високовольтному маслonaповненому вводі при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному вводі, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтному маслonaповненому вводу,  $m$  - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;
- 10 коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру коливання величини тиску у високовольтному маслonaповненому вводі при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному вводі, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтному маслonaповненому вводу визначають за виразом:
- 15

$$k_{p_2} = \frac{|p_{2, \text{гран}} - p_{2, \text{пот}}|}{|p_{2, \text{гран}} - p_{2, \text{поч}}|},$$

- де:  $p_{2, \text{гран}}$  - граничне нормативне значення коливання величини тиску у високовольтному маслonaповненому вводі при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному вводі, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтному маслonaповненому вводу,  $p_{2, \text{пот}}$  - значення коливання величини тиску у високовольтному маслonaповненому вводі при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному вводі, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтному маслonaповненому вводу,  $p_{2, \text{поч}}$  - початкове значення коливання величини тиску у високовольтному маслonaповненому вводі при зміні температури (добові коливання тиску у високовольтному вводі, тощо) навколишнього середовища, які зумовлені пошкодженням сільфонів високовольтному маслonaповненому вводу, формують регулюючий сигнал на пристрою регулювання під навантаженням трансформаторів, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень, узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом лінії електропередач, за зоною нечутливості регулятора під напругою, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лініях електропередач, за результатами узгодження, при необхідності, корегують раніше сформований регулюючий сигнал, який передають на привід пристрою регулювання під навантаженням трансформатора.
- 20
- 25
- 30
- 35





Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601