



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **88827** (13) **U**
(51) МПК
H02J 3/24 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

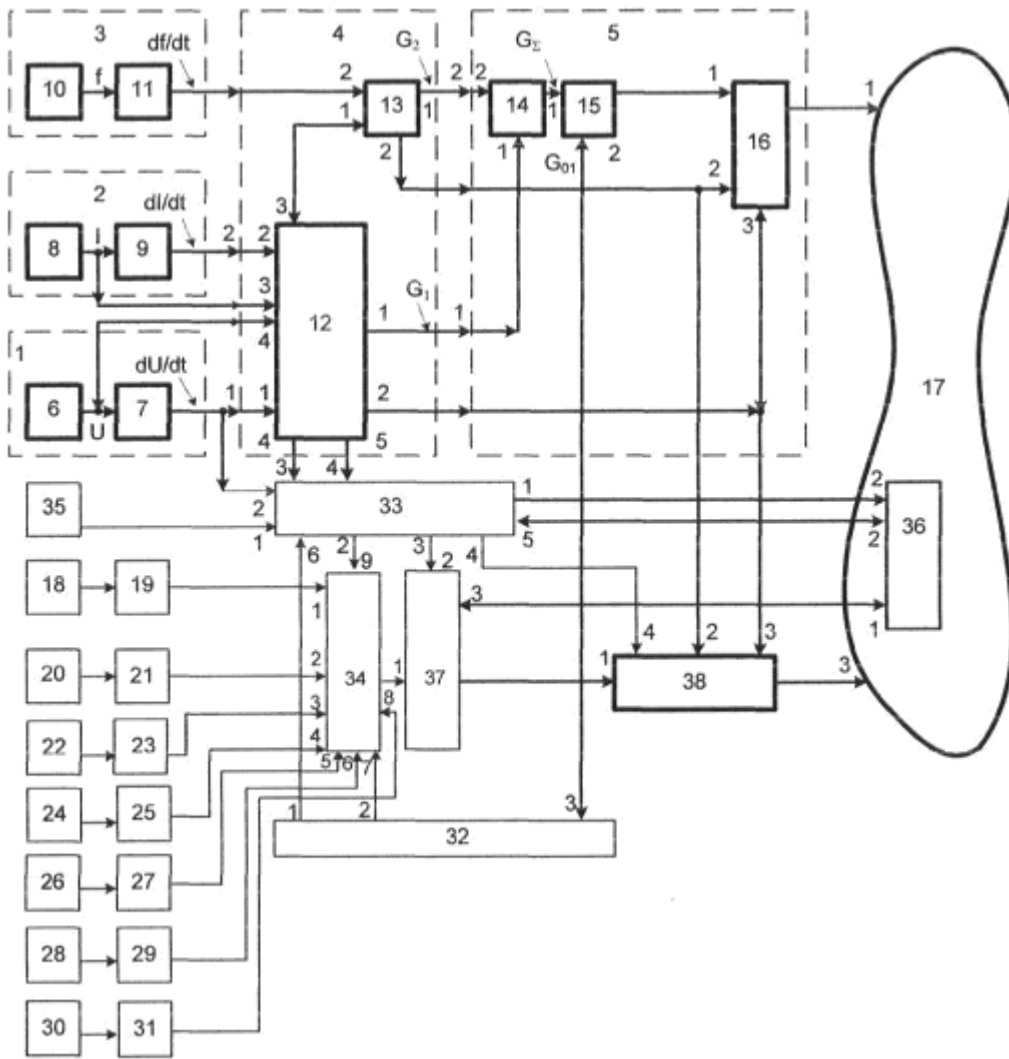
(21) Номер заявки: u 2013 04689	(72) Винахідник(и): Лежнюк Петро Дем'янович (UA), Рубаненко Олександр Євгенійович (UA), Рубаненко Олена Олександрівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.04.2013	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.04.2014	(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.04.2014, Бюл.№ 7	

(54) СПОСІБ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ НОРМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

(57) Реферат:

Спосіб оптимального керування параметрами нормальних режимів 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 контрольованих 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, який є уставкою регулювання, та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму, залишкового струму комутації, коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикачів, загального коефіцієнта залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора, вагових коефіцієнтів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, сумарної вартості; визначення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

UA 88827 U



Корисна модель належить до 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 И.А. Оперативная интеллектуальная поддержка решений диспетчера энергообъединения. - Дисс. канд. техн. наук. - Киев, 1994. - 248 с.], який здійснює регулювання перетоками потужностей по гілках схеми основної електричної мережі електроенергетичної системи (ЕЕС) у відповідності з певними продукційними правилами обробки вхідних сигналів потужностей в гілках схеми та порівняння 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 контрольованої 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 неврахування поточного технічного стану цього обладнання.

Відомий спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи (патент України № 51198U, МПК H02J 3/24. 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 коефіцієнта 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 коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру кількості перемикачів регулятора під навантаженням (РПН) $k_{\text{рес}} \text{ пер РПН}$, 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 сигналу на зміну структури електроенергетичної системи в залежності від цього порівняння, визначення коефіцієнта відносної вартості перемикачів, який знаходять за виразом:

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

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

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

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

Недоліками такого способу є низька ефективність регулювання внаслідок: неврахування (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, неврахування вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі внаслідок відмови регулятора під напругою силового трансформатора, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачях, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, а також від вартості електроенергії та від часу між перемикачними, 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 H02J 3/24. 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 перетікання 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:

$$K_{рес1} = \frac{I_{зал.} - n \cdot I_{ком}}{I_{пасп.}}, \quad (6)$$

залишкового струму комутації за формулою:

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

та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

$$K_{ресn} = \frac{n_{зал.} - n}{n_{пасп.}}, \quad (8)$$

вагових коефіцієнтів за виразами:

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

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

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

вартість понаднормованих технічних втрат потужності за виразом:

$$B_3 = (\Delta P_{пот} - \Delta P_{норм}) \cdot t \cdot C, \quad (12)$$

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; τ - 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 до низької якості регулювання та до 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 режимами роботи електроенергетичної системи, 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 коефіцієнта якості функціонування в нормальних режимах електроенергетичної системи, врахування, в цьому коефіцієнті, коефіцієнтів залишкового ресурсу РПН по параметрах: "накопичений комутований струм", "кількість перемикань"; 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 перемиканнях, понаднормованих 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 коефіцієнта 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.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи 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 перерізах 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 до 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 ефективності функціонування пристрою регулювання під навантаженням, визначають коефіцієнт втрат, причому коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" визначають за формулою:

$$k_{\text{рес1}} = \frac{I_{\text{зал.}} - n \cdot I_{\text{ком}}}{I_{\text{пасп.}}},$$

залишкового струму комутації за формулою:

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

та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

$$5 \quad k_{\text{рес}_n} = \frac{n_{\text{зал.}} - n}{n_{\text{пасп.}}},$$

вагових коефіцієнтів за виразами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}},$$

$$a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}},$$

$$a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}},$$

10 вартість понаднормованих технічних втрат потужності за виразом:

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

сумарну вартість за виразом:

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3,$$

15 де: B_1, B_2 - вартості: - втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, - ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачах; 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 перемикачі; $I_{\text{пасп.}}$ - 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; τ - тривалість періоду між перемикачами, коефіцієнт ефективності функціонування трансформатора розраховують за виразом:

$$20 \quad k_{\text{еф.функ.}} = (a_1 + a_2) \cdot k_{\text{рес}_n} \cdot k_{\text{рес.ввод}} \cdot k_{\text{рес1}} \cdot a_3 \cdot k_{\text{втрат}}, \quad (14)$$

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

$$k_{\text{рес.ВВі}} = k_{\text{W}}^{P_{\text{W}}} \cdot k_{\text{T3}}^{P_{\text{T3}}} \cdot \left(1 - \left((1 - k_{\text{T1}})^{P_{\text{T1}}} + (1 - k_{\text{T4}})^{P_{\text{T4}}} \right) \right) \cdot k_{\text{T2}}^{P_{\text{T2}}}, \quad (15)$$

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

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

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

30 де $k_{\text{W}}^{P_{\text{W}}}$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу", P_{W} - ймовірність відхилення контрольованого параметру - "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу,

$$p_{\text{W}} = \frac{y_{\text{W}}}{m}, \quad (17)$$

35 де y_{W} - кількість відхилень контрольованого параметру - "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу, m - загальна

кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" визначають за виразом:

$$k_W = \frac{|W_{\text{гран}} - W_{\text{пот}}|}{|W_{\text{гран}} - W_{\text{поч}}|}, \quad (18)$$

5 де: $W_{\text{гран}}$ - граничне нормативне значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу - i -го діагностичного параметра, $W_{\text{пот}}$ - значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу - i -го діагностичного параметра на момент контролю, $W_{\text{поч}}$ - початкове значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу - діагностичного параметра (на момент введення в експлуатацію нового

10 обладнання або після ремонту), де $k_{T_1}^P$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску", P_{T_1} - ймовірність відхилень контрольованого параметру - "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску" від гранично допустимого нормованого
15 значення температури у верхній частині високовольтного вводу,

$$P_{T_1} = \frac{y_{T_1}}{m}, \quad (19)$$

де y_{T_1} - кількість відхилень контрольованого параметру - "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску" від гранично допустимого нормованого значення температури у верхній частині високовольтного вводу, m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих
20 діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень.

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску" визначається за виразом:

$$k_{T_1} = \frac{|T_{1,\text{гран}} - T_{1,\text{пот}}|}{|T_{1,\text{гран}} - T_{1,\text{поч}}|}, \quad (20)$$

25 де: $T_{1,\text{гран}}$ - граничне нормативне значення надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу, $T_{1,\text{пот}}$ - значення надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу на момент контролю, $T_{1,\text{поч}}$ - початкове значення надлишкової температури у верхній частині ВВ (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або

після ремонту). де $k_{T_2}^P$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури в області вимірювального виводу", P_{T_2} - ймовірність відхилень контрольованого
30 параметру - "зростання температури в області вимірювального виводу" від гранично допустимого нормованого значення температури в області вимірювального виводу,

$$P_{T_2} = \frac{y_{T_2}}{m}, \quad (21)$$

де y_{T_2} - 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
35 діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури в області вимірювального виводу" визначається за виразом:

$$k_{T_2} = \frac{|T_{2,\text{гран}} - T_{2,\text{пот}}|}{|T_{2,\text{гран}} - T_{2,\text{поч}}|}, \quad (22)$$

де: $T_{2,\text{гран}}$ - граничне нормативне значення надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу, $T_{2,\text{пот}}$ - значення надлишкової температури в області вимірювального

виводу високовольтного вводу на момент контролю, $T_{2,поч}$ - початкове значення в області вимірювального виводу високовольтного вводу (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту).

де $K_{T_3}^{P_{T_3}}$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури покришки

5 вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу", P_{T_3} - ймовірність відхилень контрольованого параметру - "зростання температури покришки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення температури покришки вводу,

$$P_{T_3} = \frac{Y_{T_3}}{m}, \quad (6)$$

10 де Y_{T_3} - кількість відхилень контрольованого параметру - "зростання температури покришки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення температури покришки високовольтного вводу, m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

15 коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури покришки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу" визначається за виразом:

$$K_{T_3} = \left| \frac{T_{3,гран} - T_{3,пот}}{T_{3,гран} - T_{3,поч}} \right|, \quad (23)$$

20 де: $T_{3,гран}$ - граничне нормативне значення надлишкової температури покришки високовольтного вводу, $T_{3,пот}$ - значення надлишкової температури покришки високовольтного вводу на момент контролю, $T_{3,поч}$ - початкове значення температури покришки високовольтного вводу (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

25 $K_{T_4}^{P_{T_4}}$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла", P_{T_4} - ймовірність відхилень контрольованого параметру - "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" від гранично допустимого нормованого значення температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла,

$$P_{T_4} = \frac{Y_{T_4}}{m}, \quad (24)$$

30 де Y_{T_4} - кількість відхилень контрольованого параметру - "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" від гранично допустимого нормованого значення температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла, m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

35 коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" визначають за виразом:

$$K_{T_4} = \left| \frac{T_{4,гран} - T_{4,пот}}{T_{4,гран} - T_{4,поч}} \right|, \quad (25)$$

40 де: $T_{4,гран}$ - граничне нормативне значення температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, $T_{4,пот}$ - значення надлишкової температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, внаслідок порушень в

циркуляції трансформаторного масла на момент контролю, $T_{4, \text{поч}}$ - початкове значення температури верхньої частини покриття (вище з'єднання) у високовольтного вводу на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

5 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.

10 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.

15 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 виливом.

20 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, сенсор вмісту вологи і-того високовольтного вводу 22, п'ятий обчислювальний блок 23, сенсор температури у верхній частині ВВ в області стяжного вузла компенсатора тиску 24, шостий обчислювальний блок 25, сенсор температури в області вимірювального виводу 26, сьомий обчислювальний блок 27, сенсор температури покриття високовольтного вводу (нижче з'єднання) 28, восьмий обчислювальний блок 29, сенсор температури верхньої частини покриття (вище з'єднання) 30, дев'ятий обчислювальний блок 31, переносна персональна електронна обчислювальна машина 32, п'ятий обчислювальний блок 33, шостий обчислювальний блок 34, сенсор положення приводу РПН 35, оперативно-інформаційний комплекс 36 електроенергетичної системи 17, блок вибору трансформатора 37, блок формувача сигналу на РПН трансформатора 38.

Спосіб здійснюється наступним чином.

45 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.

50 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.

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

5 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.

10 Сигнали з виходу диференційного органу частоти 11 блока 3 визначення швидкості відхилення частоти та сигнал з третього виходу першого обчислювального блока 12 надходять 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.

15 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.

20 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 контрольованих перерізах, 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.

25 Сигнал (G) з виходу суматора 14 передається на перший вхід органу порівняння 15, в якому він порівнюється з сигналом (G_0), пропорційним до величини економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання. Сигнал G_0 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 $G \geq G_0$ 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.

35 З виходу органу керування 16 сигнал у вигляді регулювальних виливів 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.

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

45 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" приводу 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" приводу РПН, надходить сигнал з виходу сенсора струму 18 електричного двигуна, який встановлений в шафі керування РПН.

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

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

55 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

5 параметру "кількість перемикачів", подають на другий вхід сьомого блока обчислень 34.

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

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" в п'ятому обчислювальному блоці 23. Для

10 цього на перший вхід п'ятого обчислювального блока 23 передають сигнал з виходу сенсора вмісту вологи 22. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" обчислюють за формулою (18).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання надлишкової температури у верхній частині ВВ (високовольтного вводу) внаслідок дефекту стяжного вузла

15 компенсатора тиску" в шостому обчислювальному блоці 25. Для цього на перший вхід шостого обчислювального блока 25 передають сигнал з виходу сенсора температури у верхній частині ВВ в області стяжного вузла компенсатора тиску 24. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання надлишкової температури у верхній частині ВВ внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску" обчислюють за формулою (20).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури в області вимірювального виводу" в сьомому обчислювальному блоці 27. Для цього на перший

20 вхід сьомого обчислювального блока 27 передають сигнал з виходу сенсора температури в області вимірювального виводу 26. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури в області вимірювального виводу" обчислюють за формулою (22).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури

25 покритишки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції ВВ" в восьмому обчислювальному блоці 29. Для цього на перший вхід восьмого обчислювального блока 29 передають сигнал з виходу сенсора температури покритишки вводу (нижче з'єднання) 28. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури покритишки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції ВВ" обчислюють за формулою (24).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури нагріву верхньої частини покритишки (вище з'єднання) у ВВ, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" в дев'ятому обчислювальному блоці 31. Для цього на перший вхід

30 дев'ятого обчислювального блока 31 передають сигнал з виходу сенсора температури верхньої частини покритишки (вище з'єднання) 30. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури нагріву верхньої частини покритишки (вище з'єднання) у ВВ, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" обчислюють за формулою (26).

В десятому блоці обчислення 33 впливу перемикачів РПН обчислюють загальносистемні

40 втрати потужності в лініях електропередач, оптимальну кількість перемикачів, коефіцієнт впливу перемикачів РПН контрольованим і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності з урахуванням обмежень: за напругами у вузлах, за струмами в гілках та за крайніми положеннями вибирача РПН та за зоною нечутливості РПН. Обмеження задають та корегують в десятому блоці обчислення 33 за допомогою сигналу, який подають з першого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 32 на шостий вхід п'ятого блока

45 обчислення 33.

Сигнал з вимірювального органа напруги 6 та сигнал з вимірювального органа струму 8 також подають відповідно на третій та четвертий входи першого обчислювального блока 12, з

50 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 десятого блока обчислення 33 впливу перемикачів РПН, з другого виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту впливу перемикачів РПН контрольованого трансформатора, подають на дев'ятий вхід одинадцятого блока обчислень 34 коефіцієнта ефективності функціонування. На перший вхід десятого блока обчислення 33 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу сенсора положення приводу

55 РПН 35, який відповідає номеру ступеня регулювання. На другий вхід десятого блока обчислення 33 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу вимірювального органа напруги 6. На п'ятий вхід десятого блока обчислення 33 впливу перемикачів РПН подають сигнал з другого виходу оперативного-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 36. Цей сигнал несе інформацію про потужності у гілках та вузлах схеми електроенергетичної системи. З першого виходу десятого блока обчислення 33 подають сигнал на другий вхід

60

оперативно-інформаційного комплексу 36 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності навантаження і гілок контрольованої підстанції. Коефіцієнт впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати ($k_{\text{вплив у т, і}}$), знаходиться за виразом:

$$k_{\text{вплив у т, і}} = \frac{\Delta P_{\text{не ви к і}} - \Delta P_{\text{оп т, і}}}{\Delta P_{\text{не ви к і}}} \quad (17)$$

де: $\Delta P_{\text{не ви к і}}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок

5 невикористання перемикачів РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{оп т, і}}$ - 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 гілках, та за крайніми положеннями РПН.

10 З виходу третього обчислювального блока 19 сигнал подають на перший вхід одинадцятого обчислювального блока 34, в якому визначають значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

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

15 З виходу п'ятого обчислювального блока 23 сигнал подають на третій вхід одинадцятого обчислювального блока 34, в якому визначають значення коефіцієнта залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.ВВі}}$) для одного високовольтного вводу (ВВ), значення загального коефіцієнта залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора і значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

20 З виходу шостого обчислювального блока 25 сигнал подають на четвертий вхід одинадцятого обчислювального блока 34, в якому визначають значення коефіцієнта залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.ВВі}}$) для одного високовольтного вводу (ВВ), значення загального коефіцієнта залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора і значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

25 З виходу сьомого обчислювального блока 27 сигнал подають на п'ятий вхід одинадцятого обчислювального блока 34, в якому визначають значення коефіцієнта залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.ВВі}}$) для одного високовольтного вводу (ВВ), значення загального коефіцієнта залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора і значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

30 З виходу восьмого обчислювального блока 29 сигнал подають на шостий вхід одинадцятого обчислювального блока 34, в якому визначають значення коефіцієнта залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.ВВі}}$) для одного високовольтного вводу (ВВ), значення загального коефіцієнта залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора і значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

35 З виходу дев'ятого обчислювального блока 31 сигнал подають на восьмий вхід одинадцятого обчислювального блока 34, в якому визначають значення коефіцієнта залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.ВВі}}$) для одного високовольтного вводу (ВВ), значення загального коефіцієнта залишкового ресурсу всіх високовольтних вводів трансформатора і значення коефіцієнта ефективності функціонування трансформатора.

40 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 вводів трансформатора, коефіцієнта впливу перемикачів РПН і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачах, вартості понаднормованих технічних втрат потужності.

45 Інформацію про вартість втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартість ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачах, вартість понаднормованих технічних втрат потужності подають з другого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 32 на сьомий вхід одинадцятого обчислювального блока 27.

З першого виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 36 подають сигнал про зміну активної потужності у вузлах на дванадцятий обчислювальний блок 37.

5 Далі з обчислювального блока 37 подається сигнал на перший вхід блока 38. Далі визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальний вплив, за більшим значенням коефіцієнта ефективності функціонування. Для цього сигнал з четвертого виходу десятого блока обчислень 33 подають на четвертий вхід блока вибору трансформатора 38 автоматизованої системи керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи. На третій вхід блока вибору трансформатора 38 надходить сигнал з першого виходу 10 оперативно-інформаційного комплексу 36 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про коефіцієнти якості функціонування інших трансформаторів електроенергетичної системи. В блоці вибору трансформатора 38 здійснюється ранжування трансформаторів у відповідності до значень коефіцієнта ефективності функціонування.

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

Далі формують регулюючий сигнал на РПН вибраного трансформатора, пропорційно до відхилення поточних сумарних втрат потужності в ЕЕС від їх оптимальних значень з урахуванням: значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора для поточного режиму, сигналу, про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях 20 електропередач над максимальним допустимим значенням потужності цих ліній. Для цього сигнал з виходу блока вибору трансформатора 37 подається на перший вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 38, з виходу якого сигнал подається на третій вхід електроенергетичної системи 17, а саме на привід РПН вибраного трансформатора електроенергетичної системи 17.

25 На четвертий вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 38 подається сигнал про кількість перемикачів РПН вибраного трансформатора з четвертого виходу десятого обчислювального блока 33, а на другий і третій входи формувача сигналу на РПН трансформатора 36 подаються сигнали з других виходів, відповідно, першого обчислювального блока 12 та другого обчислювального блока 13. Ці сигнали блокують формування сигналу на 30 виході формувача сигналу на РПН трансформатора 38 в аварійному режимі роботи електроенергетичної системи. Коефіцієнт ефективності функціонування РПН трансформатора визначається за формулою (14).

35 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.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

40 Спосіб оптимального керування параметрами нормальних режимів електроенергетичних систем, який включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи; формування 45 сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих 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 50 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, який **відрізняється** тим, що враховують коефіцієнт ефективності функціонування пристрою регулювання під навантаженням, визначають коефіцієнт втрат, причому коефіцієнт залишкового 55 ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" визначають за формулою:

$$K_{\text{ресл}} = \frac{I_{\text{зал.}} - n \cdot I_{\text{ком.}}}{I_{\text{пасп.}}},$$

залишкового струму комутації за формулою:

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

та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

$$k_{\text{рес}_n} = \frac{n_{\text{зал.}} - n}{n_{\text{пасп.}}},$$

вагових коефіцієнтів за виразами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}},$$

$$a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}},$$

$$a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}},$$

вартість понаднормованих технічних втрат потужності за виразом:

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

сумарну вартість за виразом:

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3, \text{ де}$$

B_1, B_2 - вартості: - втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, - ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачів;

n - кількість потрібних перемикачів для досягнення оптимального режиму;

$\Delta P_{\text{опт}}$ - оптимальне значення втрат активної потужності;

15 $\Delta P_{\text{неопт}}$ - 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 перемикачів;

$I_{\text{пасп.}}$ - струм, який повинен комутувати трансформатор по паспорту;

20 $I_{\text{нак.}}$ - 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;

τ - тривалість періоду між перемикачів,

25 коефіцієнт ефективності функціонування трансформатора розраховують за виразом:

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

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

$$k_{\text{рес.ВВі}} = k_W^P \cdot k_{T3}^P \cdot \left(1 - \left((1 - k_{T1})^{P_{T1}} + (1 - k_{T4})^{P_{T4}} \right) \right) \cdot k_{T2}^P, \quad (15)$$

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

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

де $\lambda = 1/\Omega$ - коефіцієнт, який враховує вплив кожного високовольтного вводу окремо;

Ω - кількість високовольтних ввідів (погіршення стану одного високовольтного вводу, а інший не впливає);

35 k_W^P коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу";

p_w - ймовірність відхилення контрольованого параметру - "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу,

$$40 \quad p_w = \frac{y_w}{m}, \quad (17)$$

де y_w - кількість відхилення контрольованого параметру - "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу;

m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень,
коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "вміст вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу" визначають за виразом:

$$5 \quad k_W = \frac{|W_{\text{гран}} - W_{\text{пот}}|}{|W_{\text{гран}} - W_{\text{поч}}|}, \quad (18)$$

де: $W_{\text{гран}}$ - граничне нормативне значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу - i -го діагностичного параметра;

$W_{\text{пот}}$ - значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу - i -го діагностичного параметра на момент контролю;

10 $W_{\text{поч}}$ - початкове значення вмісту вологи в трансформаторному маслі високовольтного вводу - діагностичного параметра (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

$k_{T_1}^P$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску";

15 p_{T_1} - ймовірність відхилень контрольованого параметру - "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску" від гранично допустимого нормованого значення температури у верхній частині високовольтного вводу,

$$p_{T_1} = \frac{y_{T_1}}{m}, \quad (19)$$

20 де y_{T_1} - кількість відхилень контрольованого параметру - "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску" від гранично допустимого нормованого значення температури у верхній частині високовольтного вводу;

25 m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень,

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу внаслідок дефекту стяжного вузла компенсатора тиску" визначається за виразом:

$$k_{T_1} = \frac{|T_{1,\text{гран}} - T_{1,\text{пот}}|}{|T_{1,\text{гран}} - T_{1,\text{поч}}|}, \quad (20)$$

30 де: $T_{1,\text{гран}}$ - граничне нормативне значення надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу;

$T_{1,\text{пот}}$ - значення надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу на момент контролю;

$T_{1,\text{поч}}$ - початкове значення надлишкової температури у верхній частині ВВ (на момент

35 введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту);

$k_{T_2}^P$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури в області вимірювального виводу";

40 p_{T_2} - ймовірність відхилень контрольованого параметру - "зростання температури в області вимірювального виводу" від гранично допустимого нормованого значення температури в області вимірювального виводу,

$$p_{T_2} = \frac{y_{T_2}}{m}, \quad (21)$$

де y_{T_2} - кількість відхилень контрольованого параметру - "зростання температури в області вимірювального виводу" від гранично допустимого нормованого значення температури в області вимірювального виводу;

45 m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури в області вимірювального виводу" визначається за виразом:

$$k_{T_2} = \frac{|T_{2, \text{гран}} - T_{2, \text{пот}}|}{|T_{2, \text{гран}} - T_{2, \text{поч}}|}, \quad (22)$$

де: $T_{2, \text{гран}}$ - граничне нормативне значення надлишкової температури у верхній частині високовольтного вводу;

$T_{2, \text{пот}}$ - значення надлишкової температури в області вимірювального виводу високовольтного вводу на момент контролю;

$T_{2, \text{поч}}$ - початкове значення в області вимірювального виводу високовольтного вводу (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту);

$k_{T_3}^P$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури покришки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу";

p_{T_3} - ймовірність відхилень контрольованого параметру - "зростання температури покришки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення температури покришки вводу,

$$p_{T_3} = \frac{y_{T_3}}{m}, \quad (6)$$

де y_{T_3} - кількість відхилень контрольованого параметру - "зростання температури покришки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу" від гранично допустимого нормованого значення температури покришки високовольтного вводу;

m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури покришки вводу, внаслідок погіршення значень паперової ізоляції високовольтного вводу" визначається за виразом:

$$k_{T_3} = \frac{|T_{3, \text{гран}} - T_{3, \text{пот}}|}{|T_{3, \text{гран}} - T_{3, \text{поч}}|}, \quad (23)$$

де: $T_{3, \text{гран}}$ - граничне нормативне значення надлишкової температури покришки високовольтного вводу;

$T_{3, \text{пот}}$ - значення надлишкової температури покришки високовольтного вводу на момент контролю;

$T_{3, \text{поч}}$ - початкове значення температури покришки високовольтного вводу (на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту);

$k_{T_4}^P$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) у високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла";

p_{T_4} - ймовірність відхилень контрольованого параметру - "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" від гранично допустимого нормованого значення температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла,

$$p_{T_4} = \frac{y_{T_4}}{m}, \quad (24)$$

де y_{T_4} - кількість відхилень контрольованого параметру - "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" від гранично допустимого нормованого значення температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла;

m - загальна кількість виявлених відхилень контрольованих діагностичних параметрів від їх гранично допустимих нормованих значень;

коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "зростання температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла" визначають за виразом:

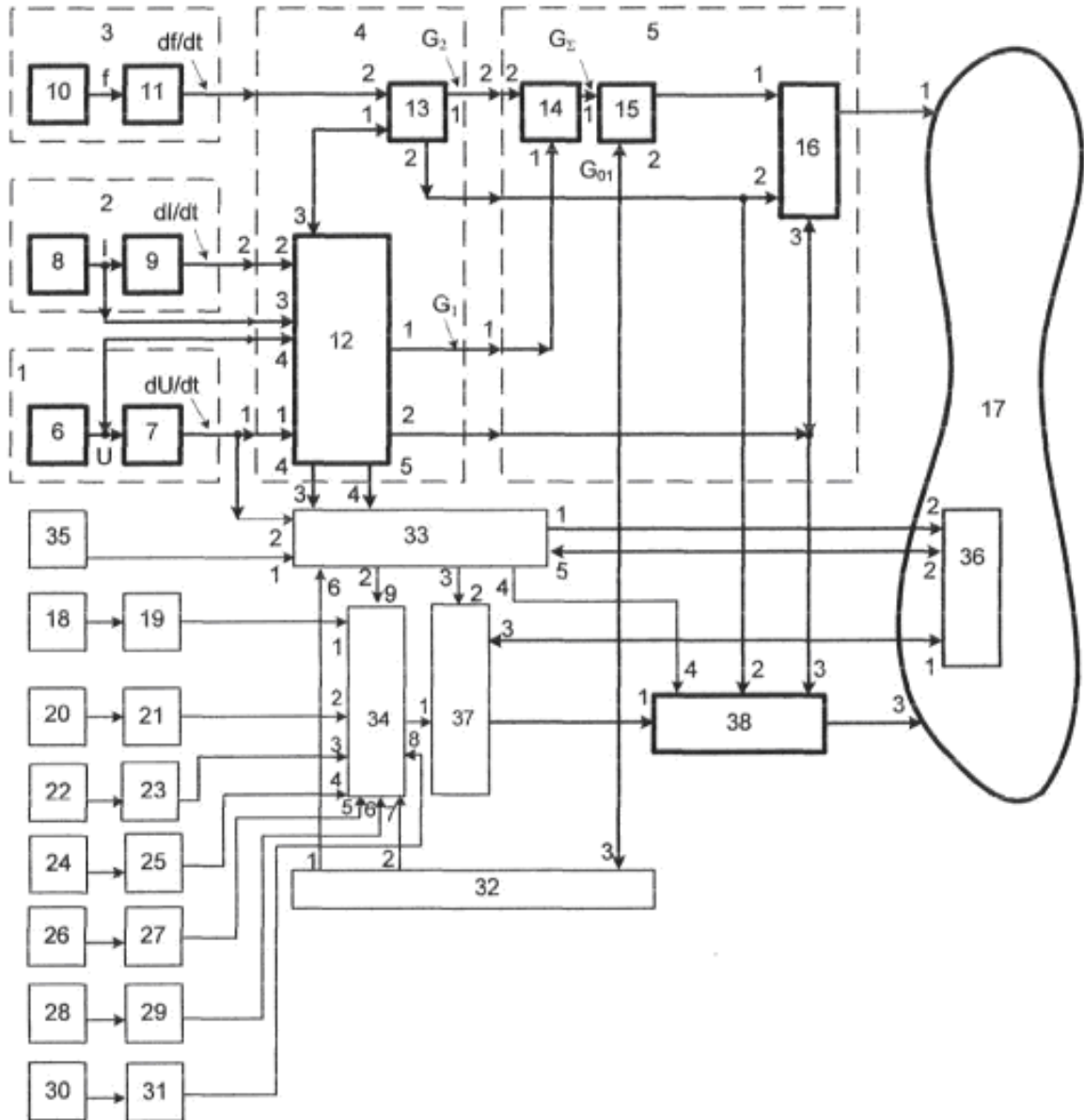
$$K_{T4} = \frac{|T_{4, \text{гран}} - T_{4, \text{пот}}|}{|T_{4, \text{гран}} - T_{4, \text{поч}}|}, \quad (25)$$

де: $T_{4, \text{гран}}$ - граничне нормативне значення температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу;

5 $T_{4, \text{пот}}$ - значення надлишкової температури нагріву верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу, внаслідок порушень в циркуляції трансформаторного масла на момент контролю;

$T_{4, \text{поч}}$ - початкове значення температури верхньої частини покришки (вище з'єднання) високовольтного вводу на момент введення в експлуатацію нового обладнання або після ремонту),

10 формують регулюючий сигнал на пристрої 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
15 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.



Комп'ютерна верстка С. Чулій

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