



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **81038** (13) **U**
(51) МПК
H02J 3/24 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

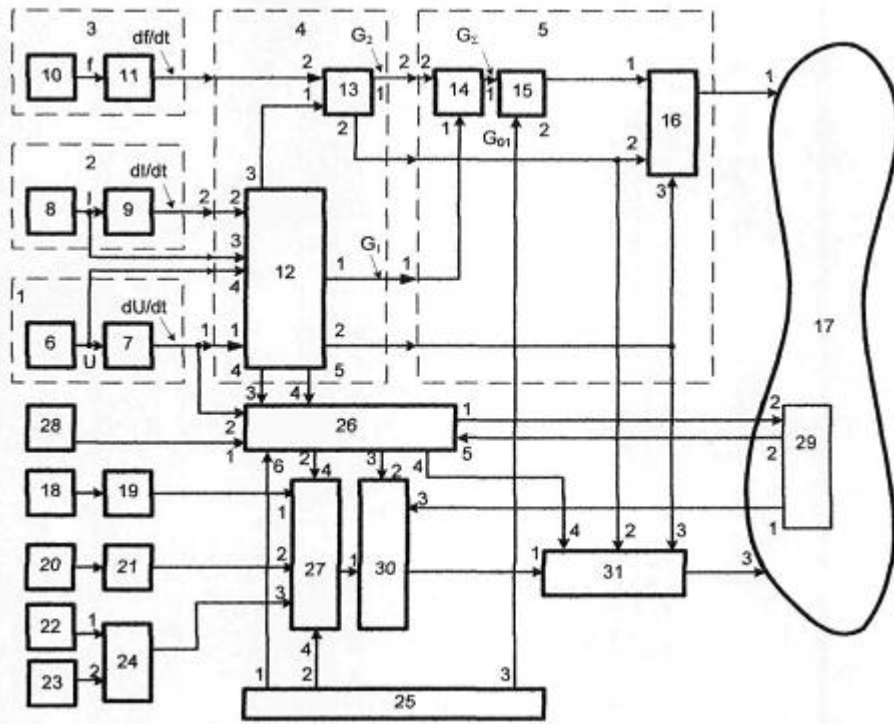
<p>(21) Номер заявки: u 2012 09804</p> <p>(22) Дата подання заявки: 14.08.2012</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2013</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2013, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Лежнюк Петро Дем'янович (UA), Рубаненко Олександр Євгенійович (UA), Казьмірук Олег Іванович (UA), Рубаненко Олена Олександрівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)</p>
--	---

(54) СПОСІБ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

(57) Реферат:

Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи 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 економічному 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 величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування РПН та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму, залишкового струму комутації, коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикачів, вагових коефіцієнтів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, сумарної вартості.

UA 81038 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 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 гілках 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 ЕЕС (патент України № 51198U, МПК H02J3/24, 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 економічному збитку від роботи системи після зміни вузлових навантажень, сумування його з сигналом, пропорційним збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перерізах від оптимальних, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування регулятора під напругою, визначення коефіцієнта 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) $K_{\text{рес пер РПН}}$, 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 - кількість потрібних перемикачів регулятора під напругою трансформатора;

n_2 - залишкова кількість гарантованих заводом перемикачів регулятора під напругою трансформатора;

k_1 - 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:

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

де $B_{\text{тр}}$ - вартість нового трансформатора;

$n_{\text{гар.}}$ - гарантована заводом кількість перемикачів;

$V_{\text{кап.ремонту}}$ - вартість капітального ремонту;

$n_{\text{рем.}}$ - можлива кількість перемикачів після ремонту,

а коефіцієнт якості функціонування за виразом:

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

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 понад нормованих 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 перемикачями, 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 ЕЕС (патент України № 61058, МПК H02J3/24, 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 величині 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 економічному 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 величині 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:

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

залишкового струму комутації за формулою:

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

та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

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

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:

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

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 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 перемикачів;

5 $I_{\text{пасп.}}$ - 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;

10 τ - тривалість періоду між перемикачів.

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 неврахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, у відповідності до їх якості функціонування) впливу технічного стану охолоджувачів трансформаторів.

20 В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу оптимального керування режимами роботи ЕЕС, 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 ЕЕС, у якого більше значення
25 коефіцієнта якості функціонування в нормальних режимах ЕЕС, 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
30 пошкодження при оперативних перемикачів, 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
35 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
40 РПН, зменшити пошкоджуваність силових трансформаторів, підвищити ефективність регулювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі оптимального керування режимами роботи ЕЕС вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи; формують сигнал (клерувальний вплив), який відповідає величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від допустимої величини потужності; вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі; визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень; формують сигнал (клерувальний вплив), який пропорційний економічному збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини;
50 додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікання потужностей по контрольованих перерізах; порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, враховують коефіцієнт якості функціонування РПН та визначають коефіцієнт втрат, причому коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" визначають за формулою:

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

залишковий струм комутації за формулою:

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

та визначають коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

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

вагові коефіцієнти 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:

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

10 сумарну вартість 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 РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачів;

n - кількість потрібних перемикачів для досягнення оптимального режиму;

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

20 $I_{\text{пасп.}}$ - 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;

25 τ - тривалість періоду між перемикачів,

причому коефіцієнт якості функціонування трансформатора розраховують за виразом:

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

коефіцієнт залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.охол.},j}$) для одного охолоджувача по параметру "різниця

30 температур між входом і виходом охолоджувача" визначають за виразом (змінюється в процесі експлуатації від 1 до 0 в. о. для одного охолоджувача):

$$k_{\text{рес.охол.},j} = \Delta t_{\text{пот.},j} / \Delta t_{i,j\text{справ}}, \quad (15)$$

де $\Delta t_{\text{пот.},j}$ - поточне значення різниці температур для j-того режиму;

$\Delta t_{\text{справ},j}$ - значення різниці температур справного трансформатора для j-того режиму,

35 використовують загальний коефіцієнт залишкового ресурсу всіх охолоджувачів, який розраховують за виразом:

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

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

Ω - кількість охолоджувачів (погіршення стану одного охолоджувача на інший не впливає),

формують регулюючий сигнал на РПН трансформаторів, пропорційний відхиленню поточних

40 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 РПН трансформатора.

5 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.

10 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.

15 На кресленні показана функціональна схема автоматизованої системи регулювання режиму ЕЕС.

20 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 20, четвертий обчислювальний блок 21, сенсор температури на вході і-того охолоджувача 22, сенсор температури на виході і-того охолоджувача 23, п'ятий обчислювальний блок 24, переносна персональна електронна обчислювальна машина 25, шостий обчислювальний блок 26, сьомий обчислювальний блок 27, сенсор положення приводу РПН 28, оперативно-інформаційний комплекс 29 електроенергетичної системи 17, блок вибору трансформатора 30, блок формування сигналу на РПН трансформатора 31.

Спосіб здійснюється наступним чином.

35 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.

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.

40 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 збиткам 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

50 навантаження, часткову похідну $\left[\frac{dU}{dS} \right]$, що відповідає залежності зміни напруги від зміни вузлової потужності, які використовуються при формування вихідного сигналу, пропорційного збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перерізах від їх оптимальних значень.

55 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.

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.

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

10 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 збитку від відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення, які надходять, відповідно, на перший та другий входи суматора 14.

15 Сигнал (G) з виходу суматора 14 передається на перший вхід органу порівняння 15, в якому він порівнюється з сигналом (G_0), пропорційним величині 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 блоку 13. З урахуванням сигналів на входах органу керування 16 формується сигнал на його виході.

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

30 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).

35 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.

40 З виходу третього обчислювального блока 19 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" подається на перший вхід сьомого блока обчислень 27, в якому обчислюється значення коефіцієнта якості функціонування РПН.

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

45 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 27.

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

55 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "різниця температур між входом і виходом охолоджувача" в п'ятому обчислювальному блоці 24. Для цього на перший вхід п'ятого обчислювального блока 24 передають сигнал з виходу сенсора температури на вході охолоджувача 22; на другий вхід п'ятого обчислювального блока 24 передають сигнал з виходу сенсора температури на виході охолоджувача 23. Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "різниця температур між входом і виходом охолоджувача" обчислюють за формулою (16).

В шостому блоці обчислення 26 впливу перемикачів РПН обчислюють загальносистемні 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 шостому блоці обчислення 26 за допомогою сигналу, який подають з першого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 25 на шостий вхід шостого блока обчислення 26.

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 шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН, з другого виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту впливу перемикачів РПН контрольованого трансформатора, подають на п'ятий вхід шостого блока обчислення 27 коефіцієнта якості функціонування. На перший вхід шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу сенсора положення приводу РПН 28, який відповідає номеру ступеня регулювання. На другий вхід шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу вимірювального органу напруги 6. На п'ятий вхід шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал з другого виходу оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності у гілках та вузлах схеми електроенергетичної системи. З першого виходу шостого блока обчислення 26 подають сигнал на другий вхід оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності навантаження і гілок контрольованої підстанції. Коефіцієнт впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати ($k_{\text{вплив ут, i}}$), знаходиться за виразом:

$$k_{\text{вплив ут, i}} = \frac{\Delta P_{\text{невик, i}} - \Delta P_{\text{опт, i}}}{\Delta P_{\text{невик, i}}}, \quad (17)$$

де: $\Delta P_{\text{невик, i}}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок невикористання перемикачів РПН і-того трансформатора;

$\Delta P_{\text{опт, i}}$ - 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.

З виходу третього обчислювального блока 19 сигнал подають на перший вхід сьомого обчислювального блока 27, в якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

З виходу четвертого обчислювального блока 21 сигнал подають на другий вхід сьомого обчислювального блока 27, в якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

З виходу п'ятого обчислювального блока 24 сигнал подають на другий вхід сьомого обчислювального блока 27, в якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

З другого виходу шостого обчислювального блока 26 сигнал подають на п'ятий вхід сьомого обчислювального блока 27. Цей сигнал несе інформацію про значення коефіцієнта впливу перемикачів РПН контрольованим і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності.

Визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "накопичений комутований струм", коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "кількість перемикачів", коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "різниця температур між входом і виходом охолоджувача", коефіцієнта впливу перемикачів РПН і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, 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.

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 на четвертий вхід сьомого обчислювального блока 27.

З першого виходу оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17 подають сигнал про зміну активної потужності у вузлах на блок вибору трансформатора 30.

5 Далі з блока вибору трансформатора 30 подається сигнал на перший вхід блока формувача сигналу на РПН трансформатора 31. Далі визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальний вплив, за більшим значенням коефіцієнта якості функціонування. Для цього сигнал з четвертого виходу шостого блока обчислень 26 подають на четвертий вхід
10 блока формувача сигналу на РПН трансформатора 31 автоматизованої системи керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи. На третій вхід блока вибору трансформатора 30 надходить сигнал з першого виходу оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про коефіцієнти якості функціонування інших трансформаторів електроенергетичної системи. В блоці вибору
15 трансформатора 30 здійснюється ранжування трансформаторів у відповідності до значень коефіцієнта якості функціонування.

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

20 Далі формують регулюючий сигнал на РПН вибраного трансформатора, пропорційно відхиленню 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 електропередач над максимальним допустимим значенням потужності цих ліній. Для цього сигнал з виходу блока вибору трансформатора 30 подається на перший вхід блока формувача
25 сигналу на РПН трансформатора 31, з виходу якого, сигнал подається на третій вхід електроенергетичної системи 17, а саме на привід РПН вибраного трансформатора електроенергетичної системи 17.

На четвертий вхід блока формувача сигналу на РПН трансформатора 31 подається сигнал про кількість перемикачів РПН вибраного трансформатора з четвертого виходу шостого обчислювального блока 26, а на другий і третій входи блока формувача сигналу на РПН
30 трансформатора 31 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 31 в аварійному режимі роботи електроенергетичної системи.

Коефіцієнт якості функціонування РПН трансформатора визначається за формулою (14).

35 Таким чином, при використанні запропонованого способу зростають якість регулювання режиму роботи електроенергетичної системи та ефективність керуючих впливів на РПН трансформаторів, зменшується пошкоджуваність РПН трансформаторів і втрати електроенергії.

40 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи, який включає:

- вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі;
- вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи;
- формування сигналу (керувальний вплив), пропорційного величині економічних збитків від
45 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 економічному збитку від відхилення величини частоти
50 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 величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи
55 електричної мережі, який є уставкою регулювання;
- врахування коефіцієнта якості функціонування регулятора під навантаженням (РПН) та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму за формулою:

$$K_{\text{рес.І}} = \frac{I_{\text{зал.}} - n \cdot I_{\text{ком.}}}{I_{\text{пас.}}},$$

залишкового струму комутації за формулою:

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

коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

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

5 вагових коефіцієнтів за виразами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}}$$

$$a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}}$$

$$a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}}$$

вартості понаднормованих технічних втрат потужності за виразом:

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

сумарної вартості за виразом:

10 $B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3,$

де

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

n - кількість потрібних перемикачів для досягнення оптимального режиму;

15 $\Delta P_{\text{опт.}}$ - 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;

20 $I_{\text{пасп.}}$ - 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;

25 τ - тривалість періоду між перемикачями,

причому коефіцієнт якості функціонування трансформатора розраховують за виразом:

$$k_{\text{як.функ.}} = (a_1 + a_2) \cdot k_{\text{рес.}n} \cdot k_{\text{рес.охол.}} \cdot k_{\text{рес.л}} \cdot a_3 \cdot k_{\text{втрат.}}$$

коефіцієнт залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.охол.}i,j}$) для одного охолоджувача по параметру різниці

30 температур між входом і виходом охолоджувача визначають за виразом (змінюють в процесі експлуатації від 1 до 0 в. о. для одного охолоджувача):

$$k_{\text{рес.охол.}i,j} = \Delta t_{\text{пот.}i,j} / \Delta t_{i,j\text{справ.}}$$

$\Delta t_{\text{пот.}j}$ - поточне значення різниці температур для j -того режиму;

$\Delta t_{\text{справ.}j}$ - значення різниці температур справного трансформатора для j -того режиму,

35 крім того використовують загальний коефіцієнт залишкового ресурсу всіх охолоджувачів, який розраховують за виразом:

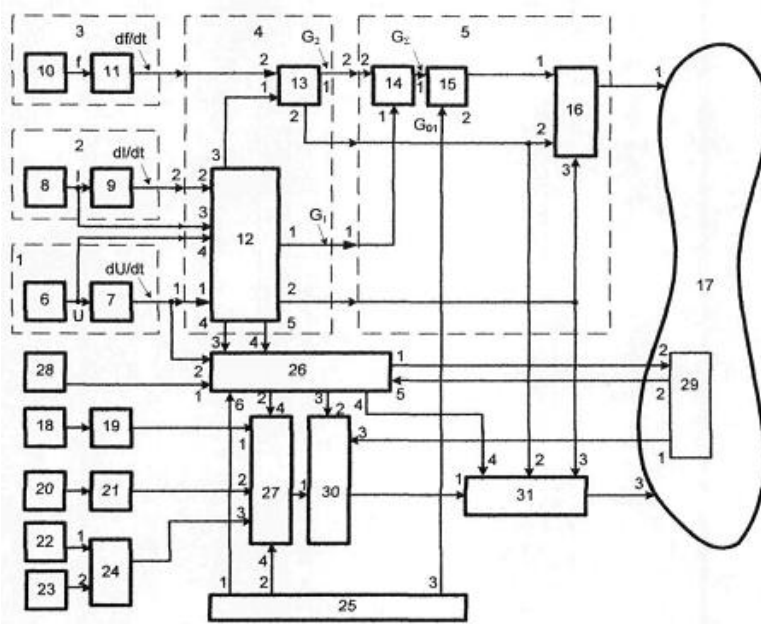
$$k_{\text{рес.охол.}} = \sum_{i=1}^n \lambda \cdot k_{\text{рес.}i,j}$$

де

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

40 Ω - кількість охолоджувачів (погіршення стану одного охолоджувача на інший не впливає), формують регулюючий сигнал на регулятор під навантаженням трансформаторів, пропорційний відхиленню 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 регулятора під навантаженням трансформатора.



Комп'ютерна верстка В. Мацело

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