



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **67829** (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: <b>u 2011 08778</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>12.07.2011</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.03.2012</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>12.03.2012, Бюл.№ 5</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Лежнюк Петро Дем'янович (UA), Рубаненко Олександр Євгенійович (UA), Рубаненко Олена Олександрівна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна (UA)</b></p>
---	--

**(54) СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ**

**(57) Реферат:**

Спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) належить до галузі електротехніки і може знайти застосування в автоматичних засобах оперативного керування режимами енергосистем в режимі реального часу. Використання способу дає можливість мінімізувати збитки від порушення оптимального режиму роботи ЕЕС, що приводить до підвищення якості керування обладнанням ЕЕС та до зменшення сумарних збитків від недовідпуску електроенергії, приводить до підвищення якості регулювання напруги трансформатора та до зменшення втрат потужності в ЕЕС.

**UA 67829 U**



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

Відомий спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи (ЕЕС) [Котов І.А. Оперативная интеллектуальная поддержка решений диспетчера энергообъединения. - Дисс. канд. техн. наук. - Киев, 1994. - 248 с.], який здійснює регулювання перетоками потужностей по гілках схеми основної електричної мережі ЕЕС у відповідності з певними продукційними правилами обробки вхідних сигналів та порівнянні останніх з уставками припустимих та необхідних перетоків потужності.

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, пошкодженість обладнання (вимикачів, РПН 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, М. кл. 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 до зміни вузлових потужностей;

- додавання його з сигналом, пропорційним до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перерізах;

- порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання;

врахування коефіцієнту якості функціонування регулятора під напругою та визначення коефіцієнту втрат за виразом:

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

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 і

$k_{\text{рес}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу, 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, формують сигнал на зміну структури електроенергетичної системи в залежності від цього порівняння;

- визначення коефіцієнта відносної вартості перемикачів, який знаходять за виразом:

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

де

$V_{\text{тр}}$  - вартість нового трансформатора;

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

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

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

а коефіцієнт якості функціонування за виразом:

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

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

Недоліком такого способу є:

10 - низька ефективність регулювання внаслідок:

- неврахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, у відповідності до їх якості функціонування трансформаторів) впливу трансформаторів на загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач;

15 - неврахування:

- вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі,

- вартості ремонту РПН (регулятор під наругою) трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачях,

20 - вартості понаднормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, а також від вартість електроенергії та від часу між перемикачями;

- пошкодження РПН під час спроб реалізації регулювальних впливів: з причини неврахування накопиченої (контактами контактора РПН трансформатора) енергії перемикачів та параметра, які характеризують технічний стан РПН, та з причини неврахування різниці температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора.

Найбільш близьким є спосіб регулювання режиму роботи енергооб'єднання (патент України № 50434А, М. кл. МПК H02J 3/24 Бюл. № 10, 2002 р.) у відповідності до якого:

30 - вимірюють величини напруги в контрольованих вузлах електричної мережі;

- вимірюють струми в контрольованих перерізах;

- вимірюють частоту в ЕЕС;

- визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей;

- формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини,

35 - додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах;

- порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання,

40 - формують сигнали на зміну структури електричної мережі ЕЕС в залежності від цього порівняння.

Недоліками такого способу є неврахування того, що складовими частинами умов, в яких іноді доводиться приймати оптимальні рішення, є недостатня адекватність реального технічного стану об'єкта очікуваному, що призводить до низької якості регулювання та до пошкодження обладнання.

Недоліками такого способу є:

- є неврахування того, що складовими частинами умов, в яких іноді доводиться приймати оптимальні рішення, є неточність вхідної інформації, неадекватність реального технічного стану об'єкта розрахунковому;

50 - низька ефективність регулювання внаслідок:

- неврахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, у відповідності до їх якості функціонування трансформаторів) впливу трансформаторів на загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач;

55 - неврахування:

- вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі;

- вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемиканнях;

- вартості понаднормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, а також від вартість електроенергії та від часу між перемиканнями;

- пошкодження РПН під час спроб реалізації регулювальних впливів: з причини неврахування накопиченої (контактами контактора РПН трансформатора) енергії перемикачів та параметра, які характеризують технічний стан РПН, та з причини неврахування різниці температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу регулювання режимів роботи ЕЕС, який шляхом формування сигналу, пропорційного до величини сумарних збитків від недовідпуску електроенергії споживачам, спричинених виникненням та поширенням по системі збурень під час аварійного режиму, та сигналу, пропорційного вартості втрат електроенергії, спричинених роботою мережі в неоптимальному, післяаварійному режимі, і втрат електроенергії на її транспортування в неоптимальному, нормальному режимі роботи ЕЕС, та порівняння цих сигналів із сигналами, пропорційними до величини обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі та РПН трансформаторів ЕЕС, дає можливість мінімізувати збитки від порушення оптимального режиму роботи ЕЕС, що приводить до підвищення якості керування обладнанням ЕЕС та до зменшення сумарних збитків від недовідпуску електроенергії, приводить до підвищення якості використання РПН та до зменшення втрат потужності в ЕЕС.

Поставлена задача вирішується тим, що в запропонованому способі регулювання режиму роботи електроенергетичної системи:

- вимірюють величину напруги в контрольованих вузлах електричної мережі,  
- вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи,  
- формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від припустимої величини,

- вимірюють значення частоти в системі,  
- формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини,

- додають його до сигналу, пропорційного збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перетинах,

- порівнюють отриманий сумарний сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання,

Згідно з корисною моделлю додатково:

- після вимірювань величин напруги та струмів у контрольованих перерізах системи, порівнюють поточне значення відхилення потужності, яка передається по лініях електропередач, від допустимої величини, з максимальним допустимим значенням відхилення цієї потужності, і якщо поточне виявиться більшим за допустиме, то формують сигнал про наявність перевищення відхилення потужності, яка передається по лініях електропередач над допустимим значенням;

- після вимірювань значення частоти порівнюють поточне значення частоти з допустимим значенням, і якщо відхилення поточного значення частоти виявиться більшим за максимальне допустиме відхилення, то формують сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення;

- після порівняння отриманого сумарного сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання, формують сигнали на зміну структури електричної мережі ЕЕС в залежності від результатів порівняння отриманого сумарного сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання та з урахуванням сигналу про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням, і сигналу про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення;

- якщо після вимірювань величин напруги та струмів у контрольованих перерізах системи виявиться, що поточне значення потужності, яка передається по лініях електропередач, не перевищує максимальне допустиме значення потужності в кожній з контрольованих ліній електропередач, а також після вимірювань значення частоти в системі виявиться, що відхилення цього значення від номінального не перевищує максимальне допустиме значення, то вимірюють кількість перемикачів РПН окремо для кожного трансформатора;

- вимірюють струм, що протікає через контакти контактора РПН під час перемикачів окремо для кожного трансформатора,
- вимірюють час перемикачів контактора РПН, який зростає в процесі експлуатації, при погіршенні стану РПН,
- 5 - визначають комутовану РПН електричну енергію під час останнього перемикачів, шляхом множення в блоці обчислень струму на напругу та на час перемикачів;
- визначають накопичену РПН електричну енергію, шляхом додавання, отриманого в блоці обчислень, значення комутованої РПН електричної енергії під час останнього перемикачів, до суми значень комутованих РПН електричних енергій під час попередніх перемикачів;
- 10 - визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченої енергії контактора РПН;
- вимірюють кількість спрацьовувань РПН для кожного трансформатора,
- визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру кількість спрацьовувань РПН для кожного трансформатора;
- 15 - вимірюють температури корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз;
- обчислюють максимальну різницю температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора подають, використовуючи сигнали з сенсорів температури;
- визначають коефіцієнт залишкового ресурсу РПН по параметру максимальної різниці температур корпусів контакторів РПН;
- 20 - визначають коефіцієнт залишкового ресурсу РПН шляхом множення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченої енергії контактора РПН на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру кількість спрацьовувань РПН та на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру максимальної різниці температур корпусів контакторів РПН;
- 25 - визначають коефіцієнт впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності;
- визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу РПН, коефіцієнта впливу регулювання параметрів режиму 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 перемикачів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності;
- 30 - визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальні впливи, за більшим значенням коефіцієнту якості функціонування;
- 35 - формують регулюючий сигнал, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в ЕЕС від їх оптимальних значень з урахуванням: значення коефіцієнту якості функціонування трансформатора для поточного режиму; сигналу про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням потужності цих ліній;
- 40 - узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом ЛЕП, за зоною нечутливості РПН, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в ЛЕП, і, за результатами узгодження, корегують або не змінюють раніше сформований регулюючий сигнал;
- формують сигнали на зміну коефіцієнта трансформації трансформатора електричної мережі ЕЕС енергооб'єднання в нормальному режимі в залежності від цього узгодження.
- 45 Спосіб здійснюється наступним чином:  
 При визначенні швидкості відхилення напруги, сигнал з вимірювального органу напруги надходить до диференціального органу напруги, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни напруги в контрольованих вузлах системи.
- 50 При визначенні швидкості відхилення струму, сигнал з вимірювального органу струму надходить до диференціального органу струму, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни струму в контрольованих перетинах системи.
- В залежності від виміряного значення струму в контрольованих перерізах та напруг у контрольованих вузлах, від визначених швидкостей відхилення напруги та відхилення струму, визначають швидкість зміни потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач, визначають перетоки потужності в кожній з ліній, потужності навантажень всіх підстанцій.
- 55 Сигнали з диференційного органу напруги, диференційного органу струму та від вимірювальних органів напруги і струму надходять до першого блоку обчислення, в якому:  

$$\frac{dU}{dS}$$
 визначається швидкість зміни напруги на шинах підстанції від зміни потужності

визначаються перетоки потужності по лініях, порівнюється поточне значення потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач з максимальним допустимим значенням цієї потужності і якщо поточне більше за допустиме, то формується сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від припустимої величини і формують сигнал про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням.

Далі вимірюють значення частоти в системі. При визначенні швидкості відхилення частоти, сигнал з вимірювального органу частоти надходить до диференціального органу частоти, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни частоти в системі.

Сигнали з диференційного органу частоти, з першого блоку обчислень та від вимірювальних органів частоти і струму надходять до другого блоку обчислень, в якому: визначається

швидкість зміни частоти в системі  $\frac{df}{dS}$ , і порівнюється відхилення поточного значення частоти від максимального значення такого відхилення, то формується сигнал, пропорційний економічному збиткові від відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення та формують сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення.

В суматорі додають сигнал, пропорційний економічному збиткові від відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення до його до сигналу, пропорційного збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перетинах.

В органі порівняння сигнал з виходу суматора ( $G$ ) порівнюється з сигналом ( $G_0$ ), пропорційним до величини економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання та з урахуванням сигналу про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням і сигналу про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення.

При виконанні умови  $G \geq G_0$  сигнал з виходу блоку порівняння подається на блок формувача регульовального сигналу. З формувача регульовального сигналу, сигнал у вигляді регульовальних впливів подається на виконавчі органи, які відповідають за зміну режиму роботи та структури ЕЕС в аварійних і післяаварійних режимах роботи ЕЕС, наприклад, шляхом відключення деяких зі споживачів, увімкнення резервних ліній електропередач, введення додаткових джерел електричної енергії і т.п. в залежності від цього порівняння.

Якщо після вимірювань величин напруги та струмів у контрольованих перерізах системи виявиться, що поточне значення потужності, яка передається по лініях електропередач не перевищує максимальне допустиме значення потужності в кожній з контрольованих ліній електропередач, а також після вимірювань значення частоти в системі виявиться, що відхилення цього значення від номінального не перевищує максимальне допустиме значення, то вимірюють кількість перемикачів РПН окремо для кожного трансформатора.

Далі вимірюють струм, що протікає через контакти контактора РПН під час перемикачів окремо для кожного трансформатора.

Після цього вимірюють час перемикачів контактора РПН, який зростає в процесі експлуатації, при погіршенні стану РПН.

Тоді визначають комутовану РПН електричну енергію під час останнього перемикачів, шляхом множення в блоці обчислень струму на напругу та на час перемикачів.

Далі визначають накопичену РПН електричну енергію, шляхом додавання, отриманого в блоці обчислень, значення комутованої РПН електричної енергії під час останнього перемикачів, до суми значень комутованих РПН електричних енергій під час попередніх перемикачів.

Далі визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченої енергії контактора РПН.

Сигнал з вимірювального органу напруги та сигнал з вимірювального органу струму також подаються на відповідні входи органу розрахунку коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "накопичена енергія комутацій", з виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "накопичена енергія комутацій", подається на вхід органу розрахунку коефіцієнту залишкового ресурсу РПН.

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру - накопичена енергія комутацій в блоці - розраховується за формулою:

$$K_{\text{накоп.і}} = \frac{W_{\text{насп}} - (W_{\text{до і}} + W_{\text{під час і}})}{W_{\text{насп}}}, \quad (6)$$

де

$W_{до i}$  - кількість накопиченої енергії перемикачів до поточних і-тих регулювальних впливів,  
 $W_{під час i}$  - кількість накопиченої енергії перемикачів під час і-тих регулювальних впливів,  $W_{пасп}$  - гарантована виробником кількість накопиченої енергії перемикачів, і знаходиться за формулою:

$$W_{пасп} = U_{ф.ном.} \cdot I_{ф.ном.} \cdot t_{конт.ном.}, \quad (7)$$

де  
 $U_{ф.ном.}$  - номінальна фазна напруга,  
 $I_{ф.ном.}$  - номінальний фазний струм,  
 $t_{конт.ном.}$  - номінальний час перемикачів контактора РПН.  
 Кількість накопиченої енергії перемикачів до поточних і-тих регулювальних впливів в блоці знаходиться за формулою:

$$W_{до i} = \sum_{j=1}^{n_{i-1}} U_{ф.j} \cdot I_{ф.j} \cdot t_{конт.j}, \quad (8)$$

де  
 $U_{ф.j}$  - фазна напруга під час j-того перемикачів,  
 $I_{ф.j}$  - фазний струм під час j-того перемикачів,  
 $t_{конт.j}$  - час j-того перемикачів контактора РПН,  
 $n_{i-1}$  - кількість перемикачів до і-того корегуального впливу на РПН під час регулювання параметрів нормального режиму ЕЕС.

Кількість накопиченої енергії перемикачів під час і-того регулюального впливу в блоці знаходиться за формулою:

$$W_{до i} = \sum_{k=1}^{m_i} U_{ф.k} \cdot I_{ф.k} \cdot t_{конт.k}, \quad (9)$$

$m_i$  - кількість перемикачів під час і-того корегуального впливу на РПН для оптимального регулювання параметрів нормального режиму ЕЕС,

$U_{ф.k}$  - фазна напруга під час k-того перемикачів при і-тому корегуальному впливі на РПН,  
 $I_{ф.k}$  - фазний струм під час k-того перемикачів при і-тому корегуальному впливі на РПН,  
 $t_{конт.k}$  - час k-того перемикачів при і-тому корегуальному впливі на РПН.

Вимірюють кількість спрацьовувань РПН для кожного трансформатора.  
 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру кількість спрацьовувань РПН для кожного трансформатора.

Для цього на вхід органу розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість комутацій" надходить сигнал зі входу штатного лічильника комутацій РПН, який встановлений в шафі керування РПН. З виходу органу розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість комутацій" сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру накопичена енергія комутацій подається на вхід органу розрахунку коефіцієнту залишкового ресурсу РПН.

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру - загальна кількість комутацій - розраховується за формулою:

$$K_{комут i} = \frac{n_{пасп} - (n_{до i} + n_{під час i})}{n_{пасп}}, \quad (10)$$

$n_{до i}$  - кількість перемикачів до поточних і-тих корегуальних впливів,  
 $n_{під час i}$  - кількість перемикачів під час і-тих корегуальних впливів,  
 $n_{пасп}$  - гарантована виробником (паспортна) кількість перемикачів,  
 вимірюють температури корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз.

Обчислюють максимальну різницю температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора подають, використовуючи сигнали з сенсорів температури.

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу РПН по параметру максимальної різниці температур корпусів контакторів РПН.

Для цього на відповідні входи органу розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "різниця температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора" сигнали подаються від сенсорів температури, які встановлені на корпусах контакторів РПН виносного типу різних фаз, або з клавіатури оператором за результатами тепловізійного обстеження. З виходу органу розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "різниця температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора" сигнал,



пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "накопичена енергія комутацій" подається на вхід органу розрахунку коефіцієнту залишкового ресурсу РПН.

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру - різниця температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора розраховується за формулою:

$$k_{ti} = \frac{\Delta t_{\text{доп}} - \Delta t_i}{\Delta t_{\text{доп}}}, \quad (11)$$

$\Delta t_{\text{доп}}$  - допустима різниця температур (визначається з досвіду експлуатації),

$\Delta t_i$  - максимальна різниця температур перед і-тим корегувальним впливом.

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу РПН шляхом множення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченої енергії контактора РПН на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру кількість спрацьовувань РПН та на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру максимальної різниці температур корпусів контакторів РПН.

З виходу органу розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість комутацій"; з виходу органу розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "накопичена енергія комутацій"; з виходу органу розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "різниця температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора" сигнали надходять відповідно на перший, другий та третій входи органу розрахунку коефіцієнту залишкового ресурсу РПН.

З виходу органу розрахунку коефіцієнту залишкового ресурсу РПН, сигнал надходить на другий вхід органу розрахунку коефіцієнта якості функціонування.

Коефіцієнт залишкового ресурсу РПН розраховується за формулою.

$$k_{\text{РЕС РПН}} = k_{\text{КОМУТ}} \cdot k_{\text{НАКОП.}} \cdot k_t, \quad (12)$$

де

$k_{\text{КОМУТ}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість комутацій",  $k_{\text{КОМУТ}}$  (залежить не лише від кількості перемикачів від навантаженням, а і від кількості перемикачів при випробовуваннях трансформатора, наприклад, при вимірюваннях коефіцієнта трансформації, або опору обмоток трансформатора постійному струму);

$k_{\text{НАКОП.}}$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичена енергія комутацій";

$k_t$  - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "різниця температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора".

Визначають коефіцієнт впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності.

Сигнал з вимірювального органу напруги та сигнал з вимірювального органу струму, також подаються на відповідні входи органу розрахунку коефіцієнту впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати, з виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту втрат подається на перший вхід органу розрахунку коефіцієнта якості функціонування.

Коефіцієнт впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати ( $k_{\text{впливу } t, i}$ ) знаходиться за виразом:

$$k_{\text{впливу } t, i} = \frac{\Delta P_{\text{невик}, i} - \Delta P_{\text{опт}, i}}{\Delta P_{\text{невик}, i}}, \quad (13)$$

де:

$P_{\text{невик}, i}$  - втрати потужності в ЕЕС внаслідок невикористання трансформатора,

$P_{\text{опт}, i}$  - втрати потужності в ЕЕС внаслідок використання трансформатора з оптимальним положенням РПН.

Визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу РПН, коефіцієнта впливу регулювання параметрів режиму 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 перемиканнях, вартості понаднормованих технічних втрат потужності;

- визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальні впливи, за більшим значенням коефіцієнту якості функціонування;

- формують регулюючий сигнал, пропорційно до відхилення поточних сумарних втрат потужності в ЕЕС від їх оптимальних значень з урахуванням: значення коефіцієнту 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 органу розрахунку коефіцієнту впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати подається на перший вхід органу розрахунку коефіцієнта якості функціонування, а сигнал з виходу органу розрахунку коефіцієнту залишкового ресурсу РПН подається на другий вхід органу розрахунку коефіцієнта якості функціонування. Сигнал з виходу органу розрахунку коефіцієнта якості функціонування подається на перший вхід блоку порівняння.

Коефіцієнт якості функціонування РПН трансформатора визначається за формулою

$$k_{\text{як функк. т.і}} = [1 + (a_{1\text{т.і}} + a_{2\text{т.і}}) \cdot (k_{\text{рес т.і}} - 1)] \cdot k_{\text{рес т.і}} \cdot [1 + a_{3\text{т.і}} \cdot (k_{\text{вплив т.і}} - 1)] \cdot k_{\text{вплив т.і}}, \quad (14)$$

де

$a_{1\text{т.і}}$ ,  $a_{2\text{т.і}}$ ,  $a_{3\text{т.і}}$  - вагові коефіцієнти, які визначаються за виразами:

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}}, \quad a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}}, \quad a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}}, \quad (15)$$

$B_{\text{сум}}$  - сумарна вартість  $B_{\text{сум}}$ , яку визначають за виразом:

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3, \quad (16)$$

де

$B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  - вартості: втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикаваннях, понаднормованих технічних втрат потужності, яку визначають за виразом:

$$B_3 = (\Delta P_{\text{пот}} - \Delta P_{\text{норм}}) \cdot \tau \cdot C, \quad (17)$$

де

$\Delta P_{\text{норм}}$  - нормативне значення технічних втрат активної потужності;

$\Delta P_{\text{пот}}$  - поточне значення втрат активної потужності;

$C$  - вартість електроенергії;

$\tau$  - тривалість періоду між перемикаваннями.

При виборі трансформатора з РПН, яким потрібно здійснити регулювальний вплив, перевага надається тому трансформатору з РПН, у якого коефіцієнт якості функціонування найвищий.

Узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом ЛЕП, за зоною нечутливості РПН, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в ЛЕП, і, за результатами узгодження, корегують або не змінюють раніше сформований регулюючий сигнал, формують сигнали на зміну коефіцієнта трансформації трансформатора електричної мережі ЕЕС енергооб'єднання в нормальному режимі в залежності від цього узгодження.

Для цього на другий вхід блока узгодження подається сигнал з виходу блока розрахунку обмежень корегувальних впливів на РПН. Якщо сигнал на першому вході задовольняє вимогам сигналу на другому вході, то на виході блоку порівняння з'являється раніше сформований регулюючий сигнал, пропорційний до величини економічно обґрунтованих параметрів, який подається на вхід блока формування сигналу на РПН трансформаторів.

Якщо сигнал на першому вході не задовольняє вимогам сигналу на другому вході, то на виході блоку порівняння з'являється відредагований, порівняно до раніше сформованого, регулюючий сигнал, пропорційний до величини економічно обґрунтованих параметрів, який також подається на вхід блоку формування сигналу на РПН трансформаторів.

На перший вхід блока обмежень корегувальних впливів на РПН подається сигнал з вимірювального органу напруги, а на другий вхід - з вимірювального органу струму, а на третій вхід - з сенсора положення вибирача РПН, а на четвертий вхід - від комп'ютера введення нормованих обмежень за напругою, частотою, максимальним струмом ЛЕП, зоною нечутливості РПН, алгоритмом розрахунку нормованих загальносистемних втрат електричної потужності в ЛЕП. В блоці формуються і розраховуються обмеження за напругою на підстанціях, за крайнім положенням вибирача РПН, за зоною нечутливості РПН, за нормованим показником загальносистемних втрат електричної потужності в ЛЕП ЕЕС.

З виходу блока обмежень сигнал подається на блок узгодження рівнів сигналів керування приводом РПН трансформаторів, з виходу якого сигнал подається на привод РПН трансформаторів, які впливають на зміну параметрів роботи обладнання ЕЕС.

Таким чином, при використанні запропонованого способу забезпечується максимальна ефективність керуючих впливів на режим роботи ЕЕС в режимі реального часу в аварійних, шляхом зміни структури електричної мережі ЕЕС, післяаварійних та нормальних режимах роботи ЕЕС, шляхом використання РПН, з врахуванням коефіцієнтів якості функціонування РПН трансформаторів ЕЕС, що залежать від залишкового ресурсу РПН трансформаторів та впливу трансформатора на загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, який включає: вимірювання
- 5 величини напруги в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи, формування сигналу, пропорційного до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від припустимої величини, вимірювання значення частоти в системі, додавання його до сигналу, пропорційного збиткам від відхилення
- 10 перетоків потужностей по контрольованим перерізам, порівняння отриманого сумарного сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання, який **відрізняється** тим, що:
- після вимірювань величин напруги та струмів у контрольованих перерізах системи, порівнюють поточне значення потужності, яка передається по лініях електропередач з максимальним допустимим значенням цієї потужності і якщо поточне більше за допустиме,
  - 15 формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від припустимої величини і т.д. і формують сигнал про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням;
  - якщо після вимірювань значення частоти в системі виявиться, що відхилення цього значення
  - 20 від номінального перевищує максимальне допустиме значення, то формують сигнал, пропорційний економічному збиткові від відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення, додають його до сигналу, пропорційного збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перетинах і т.д. та формують сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення;
  - 25 - після порівняння отриманого сумарного сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання, формують сигнали на зміну структури електричної мережі ЕЕС в залежності від результатів порівняння отриманого сумарного сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання та з урахуванням сигналу про наявність
  - 30 перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням і сигналу про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення;
  - якщо після вимірювань величин напруги та струмів у контрольованих перерізах системи виявиться, що поточне значення потужності, яка передається по лініях електропередач не
  - 35 перевищує максимальне допустиме значення потужності в кожній з контрольованих ліній електропередач, а також після вимірювань значення частоти в системі виявиться, що відхилення цього значення від номінального не перевищує максимальне допустиме значення, то вимірюють кількість перемикачів регулятора під напругою окремо для кожного трансформатора;
  - 40 - вимірюють струм, що протікає через контакти контактора регулятора під напругою під час перемикачів окремо для кожного трансформатора;
  - вимірюють час перемикачів контактора регулятора під напругою, який зростає в процесі експлуатації, при погіршенні стану регулятора під напругою;
  - визначають комутовану, регулятором під напругою, електричну енергію під час останнього
  - 45 перемикачів, шляхом множення в блоці обчислень струму на напругу та на час перемикачів;
  - визначають накопичену, регулятором під напругою, електричну енергію, шляхом додавання, отриманого в блоці обчислень, значення комутованої, регулятором під напругою, електричної енергії під час останнього перемикачів, до суми значень комутованих, регулятором під напругою, електричних енергій під час попередніх перемикачів;
  - 50 - визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченої енергії контактора регулятора під напругою;
  - вимірюють кількість спрацьовувань регулятора під напругою для кожного трансформатора,
  - визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру кількість спрацьовувань регулятора
  - 55 під напругою для кожного трансформатора;
  - вимірюють температури корпусів контакторів регулятора під напругою виносного типу різних фаз;
  - обчислюють максимальну різницю температур корпусів контакторів регулятора під напругою виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора, подають, використовуючи сигнали з сенсорів температури;

- визначають коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою по параметру максимальної різниці температур корпусів контакторів регулятора під напругою;
- визначають коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою шляхом множення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченої енергії контактора регулятора під напругою на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру кількість спрацьовувань регулятора під напругою та на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру максимальної різниці температур корпусів контакторів регулятора під напругою;
- визначають коефіцієнт впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності;
- визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу регулятора під напругою, коефіцієнта впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартості ремонту регулятора під напругою трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемиканнях, вартості понаднормованих технічних втрат потужності;
- визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальні впливи, за більшим значенням коефіцієнту якості функціонування;
- формують регулюючий сигнал, пропорційно до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень з урахуванням: значення коефіцієнту якості функціонування трансформатора для поточного режиму; сигналу, про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням потужності цих ліній;
- узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом лінії електропередач, за зоною нечутливості регулятора під напругою, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лінії електропередач, і, за результатами узгодження, корегують або не змінюють раніше сформований регулюючий сигнал;
- формують сигнали на зміну коефіцієнта трансформації трансформатора електричної мережі електроенергетичної системи енергооб'єднання в нормальному режимі в залежності від цього узгодження.

---

Комп'ютерна верстка Л. Купенко

---

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