



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **69637** (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 2011 11884	(72) Винахідник(и): Рубаненко Олександр Євгенійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 10.10.2011	(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м.Вінниця, 21021 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.05.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2012, Бюл.№ 9	

(54) СПОСІБ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

(57) Реферат:

Спосіб регулювання режиму роботи ЕЕС передбачає вимірювання частоти, напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, струмів у контрольованих перерізах системи, визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей, формування сигналу на зміну структури електричної мережі, який пропорційний до економічного збитку від понаднормованих значень частоти контрольованих струмів, для кожного трансформатора з РПН визначають коефіцієнти залишкового ресурсу по параметрам «загальна кількість перемикачів РПН», «струм електричного двигуна» приводу РПН в усталеному режимі, «різницю температур корпусів контакторів РПН», «різницю температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача виносного регулятора під напругою відповідної фази» коефіцієнт загального залишкового ресурсу РПН, коефіцієнт впливу регулювання параметрів режиму кожним трансформатором на загальносистемні втрати потужності, коефіцієнт якості функціонування кожного трансформатора, визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальні впливи, формують регулюючий сигнал на РПН трансформаторів, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень з урахуванням значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора для поточного режиму.

UA 69637 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 И.А. Оперативная интеллектуальная поддержка решений диспетчера энергообъединения. - Дисс. канд. техн. наук. - К., 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 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 контролюваної ЕЕС.

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

Відомий спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи [патент України №51198U, 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 коефіцієнта якості функціонування регулятора під напругою та визначення коефіцієнта втрат за виразом:

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

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 перемикань; $V_{\text{кап.ремонт.}}$ - вартість капітального ремонту; $n_{\text{рем.}}$ - можлива кількість перемикань після ремонту, а коефіцієнт якості функціонування за виразом:

5

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

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

Недоліком такого способу є: низька ефективність регулювання внаслідок: не врахування (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; не врахування: вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикаваннях, вартості понад нормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, а також від вартість електроенергії та від часу між перемикаваннями; пошкодження РПН під час спроб реалізації регулювальних впливів: з причини не врахування накопиченої (контактами контактора РПН трансформатора) енергії перемикань та параметра, які характеризують технічний стан РПН та з причини не врахування 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. H02J 3/24, бюл. №10, 2002 р.], у відповідності до якого: вимірюють величини напруги в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірюють струми в контрольованих перерізах; формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від припустимої величини, вимірюють значення частоти в ЕЕС; визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей; формують сигнал, пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини, додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах; порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, формують сигнали на зміну структури електричної мережі ЕЕС в залежності від цього порівняння.

Недоліками такого способу є недостатньо висока ефективність регулювання режиму роботи електроенергетичної системи внаслідок не врахування вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикаваннях, вартості понад нормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, пошкодження РПН під час спроб реалізації регулювальних впливів з причини не врахування накопиченої, контактами контактора РПН трансформатора, енергії перемикань, не врахування різниці температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора, не врахування загальної кількості перемикань регулятора під напругою, різниці температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача, збитки від порушення оптимального режиму роботи ЕЕС, від недовідпуску електроенергії, втрати потужності в ЕЕС.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення такого способу регулювання режиму роботи ЕЕС, в якому шляхом формування сигналу пропорційного до величини сумарних збитків від недовідпуску електроенергії споживачам, спричинених виникненням та поширенням по системі збурень під час аварійного режиму, шляхом врахування при формуванні керуючих впливів на обладнання електроенергетичної системи вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикаваннях, вартості понад нормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, врахування накопиченої, контактами контактора РПН трансформатора, енергії перемикань, не врахування різниці

температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора, загальної кількості перемикачів регулятора під напругою, різниці температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача, дає можливість підвищити ефективність регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, зменшити пошкоджуваність РПН під час спроб реалізації регульованих впливів, мінімізує збитки від порушення оптимального режиму роботи ЕЕС, зменшує сумарні збитки від недовідпуску електроенергії, зменшує втрати потужності в ЕЕС.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, вимірюють напруги в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірюють струми в контрольованих перерізах, формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від нормованої величини, вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі, визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей, формують сигнал, пропорційний економічному збитку від понад нормованого відхилення поточного значення частоти від номінального значення, додають сигнал, який пропорційний економічному збитку від понад нормованого відхилення величини частоти від номінального значення до сигналу, пропорційного збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перерізах і отримують сумарний сигнал, пропорційний збиткам поточного режиму, порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, додатково, після вимірювань величин напруги та струмів у контрольованих перерізах системи, визначаються перетоки потужності по лініях, порівнюється поточне значення потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач з нормованим значенням цієї потужності і якщо поточне не відповідає нормованому, то формується сигнал про наявність понад нормованого відхилення величини потужності, що передається по лініях електропередач, після вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі порівнюють поточне значення частоти з номінальним значенням, і якщо відхилення поточного значення частоти від номінального виявиться більшим за максимальне допустиме, то формують сигнал, про наявність понад нормованого відхилення частоти, після порівняння отриманого сумарного сигналу, пропорційного збиткам поточного режиму із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання, формують сигнали на зміну структури електричної мережі електроенергетичної системи в залежності від результату 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 окремо для кожного трансформатора, вимірюють струм, що протікає через контакти контактора регулятора під напругою під час перемикачів окремо для кожного трансформатора, вимірюють час перемикачів контактора регулятора під напругою, визначають комутовану регулятором під напругою електричну енергію під час останнього перемикачів, шляхом множення струму на напругу та на час перемикачів, визначають загальну накопичену регулятором під напругою електричну енергію, шляхом додавання значення комутованої регулятором під напругою електричної енергії під час останнього перемикачів, до суми значень комутованих регулятором під напругою електричних енергій під час попередніх перемикачів, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна, накопичена контактором регулятора під напругою, комутована електрична енергія" регулятора під напругою, вимірюють кількість перемикачів регулятора під напругою для кожного трансформатора, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів регулятора під напругою" для кожного трансформатора, вимірюють температури корпусів контакторів регуляторів 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, яку отримують використовуючи сигнали з сенсорів температури, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів регулятора під напругою", вимірюють температури верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача виносного регулятора під напругою кожної фази, обчислюють максимальну різницю температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку виносного регулятора під напругою відповідної фази, використовуючи сигнали з сенсорів температури, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку

трансформатора та в баку вибирача" виносного регулятора під напругою відповідної фази, визначають коефіцієнт загального залишкового ресурсу регулятора під напругою шляхом множення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія" на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів регулятора під напругою", на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів регулятора під напругою" та на коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" виносного регулятора під напругою відповідної фази, визначають коефіцієнт впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності; визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта загального 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 перемикачнях, вартості понад нормованих технічних втрат потужності; визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальні впливи, за більшим значенням коефіцієнта якості функціонування; формують регулюючий сигнал, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі 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, 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 лінії електропередач, і за результатами узгодження, корегують, або не змінюють раніше сформований регулюючий сигнал, формують сигнал на зміну коефіцієнта трансформації трансформатора електричної мережі електроенергетичної системи в нормальному режимі в залежності від цього узгодження.

Спосіб здійснюється наступним чином. Для формування сигналу, пропорційного до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від припустимої величини попередньо вимірюють величини напруги в контрольованих вузлах електричної мережі та вимірюють струми в контрольованих перерізах. Далі, визначають швидкість відхилення напруги, а для цього сигнал з вимірювального органу напруги подають до диференціального органу напруги, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни напруги в контрольованих вузлах системи.

Визначають швидкість відхилення струму, а для цього сигнал з вимірювального органу струму подають до диференціального органу струму, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни струму в контрольованих перетинах системи.

В залежності від вимірюваного 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.

Сигнали з диференційного органу напруги, диференційного органу струму та від вимірювальних органів напруги і струму подають на перший обчислювальний блок, в якому:

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

визначаються перетоки потужності по лініях, порівнюється поточне значення потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач з нормованим значенням цієї потужності і якщо поточне не відповідає нормованому, то формується сигнал про наявність понад нормованого відхилення величини потужності, що передається по лініях електропередач, який передається на один з входів блока формувача регулювального сигналу, а також формується сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від нормованої величини.

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 обчислювального блока та від вимірювальних органів частоти і струму подають на другий обчислювальний блок, в якому:

визначають швидкість зміни частоти в системі $\frac{df}{dS}$, і порівнюють поточне значення частоти з

номінальним значенням, і якщо відхилення поточного значення частоти від номінального виявиться більшим за максимальне допустиме, то формують сигнал, про наявність понад нормованого відхилення частоти.

5 Визначають чутливість параметрів режиму до зміни вузлових потужностей. Формують сигнал, пропорційний економічному збиткові від понад нормованого відхилення поточного значення частоти від номінального значення, який передають на один з входів блока формувача регульовального сигналу. В суматорі додають сигнал, пропорційний економічному збитку від понад нормованого відхилення величини частоти від номінального значення до 10 сигналу, пропорційного збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перерізах. В органі порівняння сигнал з виходу суматора (G) порівнюється з сигналом (G_0), пропорційним до величини економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання.

15 При виконанні умови $G \geq G_0$ формують сигнал на зміну режиму роботи та структури ЕЕС в аварійних і післяаварійних режимах роботи, а для цього сигнал з виходу блока порівняння подають на блок формувача регульовального сигналу. З виходу формувача регульовального сигналу, сигнал, який враховує сигнал з виходу блока порівняння та сигнали про наявність понад нормованих відхилень потужності ліній та частоти з виходів першого та другого блока обчислень, у вигляді регульовальних впливів подають на виконавчі органи, які відповідають за 20 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 25 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 струм, що протікає через контакти контактора РПН під час перемикачів окремо для кожного трансформатора.

30 Далі 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 струму на напругу та на час перемикачів в третьому обчислювальному блоці розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія". Далі визначають загальну накопичену 35 РПН електричну енергію, шляхом додавання, отриманого в третьому обчислювальному блоці, 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 "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія".

40 Сигнал з вимірювального органу напруги та сигнал з вимірювального органу струму, також подають на відповідні входи третього обчислювального блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія", з виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія" подається на вхід четвертого обчислювального блока розрахунку 45 коефіцієнта загального залишкового ресурсу РПН.

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія" в блоці розраховується за формулою:

$$k_{\text{накоп } i} = \frac{W_{\text{пасп}} - (W_{\text{до } i} + W_{\text{під час } i})}{W_{\text{пасп}}}, \quad (6)$$

50

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

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

55

де $U_{\text{ф.ном.}}$ - номінальна фазна напруга, $I_{\text{ф.ном.}}$ - номінальний фазний струм, $t_{\text{конт.ном.}}$ - номінальний час перемикачів контактора РПН.

Загальна кількість енергії перемикачів до поточних і-тих регулювальних впливів в третьому обчислювальному блоці знаходиться за формулою:

5

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

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

10

Кількість комутованої контактором енергії під час і-того регулювального впливу знаходиться за формулою:

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

15

m_i - кількість перемикачів під час і-того корегувального впливу на РПН для оптимального регулювання параметрів нормального режиму ЕЕС, $U_{\text{ф.}k}$ - фазна напруга під час k-того перемикачів при і-тому корегувальному впливі на РПН, $I_{\text{ф.}k}$ - фазний струм під час k-того перемикачів при і-тому корегувальному впливі на РПН, $t_{\text{конт.}k}$ - час k-того перемикачів при і-тому корегувальному впливі на РПН.

Вимірюють кількість перемикачів РПН для кожного трансформатора.

20

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість перемикачів регулятора під напругою" для кожного трансформатора.

25

Для цього на вхід п'ятого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість перемикачів регулятора під напругою" надходить сигнал зі входу штатного лічильника перемикачів РПН, який встановлений в шафі керування РПН. З виходу п'ятого обчислювального блока сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість перемикачів регулятора під напругою" подається на вхід блока розрахунку коефіцієнта загального залишкового ресурсу РПН.

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість перемикачів регулятора під напругою" розраховується за формулою:

30

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

35

$n_{\text{доі}}$ - кількість перемикачів до поточних і-тих корегувальних впливів, $n_{\text{під час}i}$ - кількість перемикачів під час і-тих корегувальних впливів, $n_{\text{пасп}}$ - 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 "максимальна різниця температур корпусів контакторів" РПН.

40

Для цього на відповідні входи шостого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів" 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 блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів" сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів" подається на вхід блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу РПН.

45

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів" розраховується за формулою:

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

5 $\Delta t_{\text{конт доп}}$ - допустима різниця температур (визначається з досвіду експлуатації), $\Delta t_{\text{конт } i}$ - максимальна різниця температур перед і-тим корегувальним впливом.

Вимірюють температури верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача виносного РПН кожної фази. Обчислюють максимальну різницю температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача виносного РГШ відповідної фази, використовуючи сигнали з сенсорів температури. 10 Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу РПН по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" виносного РПН відповідної фази.

Обчислюють коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" (свідчить про пошкодження контактів вибирача) за виразом 15

$$k_{\text{баку } \Delta T_i} = \frac{\Delta T_{\text{баку доп}} - \Delta T_{\text{баку } i}}{\Delta T_{\text{баку доп}}}, \quad (12)$$

$\Delta T_{\text{баку доп}}$ - допустиме перевищення температури бака РПН над температурою бака трансформатора (визначається з досвіду експлуатації), $\Delta T_{\text{баку } i}$ - перевищення температури 20 баку РПН над температурою бака трансформатора перед і-тим корегувальним впливом.

Для цього на відповідні входи сьомого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" сигнали подаються від сенсорів температури, які встановлені в баках трансформатора і РПН виносного типу різних фаз. З виходу сьомого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" подається на вхід блока розрахунку коефіцієнта загального залишкового ресурсу РПН. 25 Визначають коефіцієнт загального залишкового ресурсу РПН шляхом множення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія" на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість перемикачів регулятора під напругою", на коефіцієнт залишкового ресурсу РПН по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів" регулятора під напругою та на коефіцієнт залишкового ресурсу РПН по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" за формулою 30

$$k_{\text{РЕС.РПН}} = k_{\text{комут}} \cdot k_{\text{накоп.}} \cdot k_t \cdot k_{\text{баку } \Delta T_i}, \quad (13)$$

де $k_{\text{комут}}$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість перемикачів", 40 $k_{\text{комут}}$ (залежить не лише від кількості перемикачів від навантаженням, а і від кількості перемикачів при випробуваннях трансформатора, наприклад, при вимірюваннях коефіцієнта трансформації, або опору обмоток трансформатора постійному струму); $k_{\text{накоп.}}$ - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичена енергія перемикачів"; k_t - коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "різниця температур корпусів контакторів РПН виносного типу різних фаз між собою у одного і того самого трансформатора". 45

Для цього, з виходу блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія", з виходу блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна кількість перемикачів регулятора під напругою", з виходу блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів", з виходу блока розрахунку коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "різниця температур верхніх шарів 50

масла в баку трансформатора та в баку вибирача" сигнали надходять відповідно на перший, другий та третій та четвертий входи блока розрахунку коефіцієнта загального залишкового ресурсу РПН.

З виходу блока розрахунку коефіцієнта загального залишкового ресурсу РПН, сигнал передають на один зі входів блока розрахунку коефіцієнта якості функціонування.

Визначають коефіцієнт впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності. Тому сигнал з вимірювального блока напруги та сигнал з вимірювального органу струму, також подають і на відповідні входи блока розрахунку коефіцієнта впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати, а на інший вхід цього блока подають сигнал з виходу сенсора положення приводу регулятора під напругою, який відповідає номеру ступені регулювання. З виходу цього блока сигнал, пропорційний коефіцієнту впливу подається на перший вхід блока розрахунку коефіцієнта якості функціонування.

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

$$k_{\text{впливу } T, i} = \frac{\Delta P_{\text{не вик}, i} - \Delta P_{\text{опт}, i}}{\Delta P_{\text{не вик}, i}} \quad (14)$$

де: $\Delta P_{\text{не вик}, i}$ - втрати потужності в ЕЕС внаслідок не використання трансформатора, $\Delta P_{\text{опт}, i}$ - 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 понад нормованих технічних втрат потужності.

Для цього, сигнал з виходу восьмого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати подається на один з входів дев'ятого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта якості функціонування, а сигнал з виходу четвертого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта загального залишкового ресурсу РПН подається на інший вхід дев'ятого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта якості функціонування. Сигнал з виходу дев'ятого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта якості функціонування подається на один з входів блока вибору трансформатора.

Коефіцієнт якості функціонування РПН трансформатора визначається за формулою

$$k_{\text{як функ. } T, i} = [1 + a_{1T, i} \cdot (k_{\text{рес. } T, i} - 1)] \cdot k_{\text{рес. } T, i} \cdot a_{2T, i} \cdot (k_{\text{рес. } T, i} \cdot e^{1 - k_{\text{рес. } T, i}})^{k_1} \cdot [1 + a_{3T, i} \cdot (k_{\text{впливу } T, i} - 1)] \cdot k_{\text{впливу } T, i}, \quad (15)$$

де k_1 - коефіцієнт, який залежить від типу трансформатора та умов проведення ремонту, $k_1 > 0$, $a_{1T, i}$, $a_{2T, i}$, $a_{3T, i}$ - вагові коефіцієнти, які визначаються за виразами (16):

$$a_1 = \frac{B_1}{V_{\text{сум}}}, \quad a_2 = \frac{B_2}{V_{\text{сум}}}, \quad a_3 = \frac{B_3}{V_{\text{сум}}}, \quad (16)$$

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

$$V_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3, \quad (17)$$

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

$$B_3 = (\Delta P_{\text{пот}} - \Delta P_{\text{норм}}) \cdot T \cdot C, \quad (18)$$

де $\Delta P_{\text{норм}}$ - нормативне значення технічних втрат активної потужності; $\Delta P_{\text{пот}}$ - поточне значення втрат активної потужності; C - вартість електроенергії; τ - тривалість періоду між перемиканнями.

Визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальні впливи. При виборі трансформатора з РПН, яким потрібно здійснити регульовальний вплив, перевага надається тому трансформатору з РПН, у якого коефіцієнт якості функціонування найбільший, а саме

$$K_{\text{як фун},i} = \max, i \in \overline{1,n}, \quad (19)$$

де n - кількість трансформаторів в ЕЕС.

Тому на входи блока вибору трансформатора надходять сигнали від блока визначення коефіцієнта якості функціонування контрольованого трансформатора і інших трансформаторів електроенергетичної системи (за допомогою оперативного інформаційного комплексу).

Формують регулюючий сигнал, який пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в ЕЕС від їх оптимальних значень з урахуванням значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора для поточного режиму. Узгоджують сформований сигнал з сигналами, які враховують обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом ЛЕП, за зоною нечутливості РПН, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в ЛЕП. За результатами узгодження, корегують, або не змінюють раніше сформований регулюючий сигнал. На основі регулюючого сигналу формують сигнали регулятора під напругою на зміну коефіцієнта трансформації трансформатора електричної мережі електроенергетичної системи в нормальному режимі в залежності від цього узгодження.

Для цього на один з входів восьмого обчислювального блока розрахунку коефіцієнта впливу перемикачів регулятора під напругою подають сигнал з виходу сенсора регулятора під напругою, який відповідає номеру задіяного ступеня регулювання. На інший вхід восьмого обчислювального блока подають сигнал з виходу вимірювального органу напруги. Ще на інший вхід восьмого обчислювального блока подають сигнал з виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи. Цей сигнал несе інформацію про потужності у гілках та вузлах схеми електроенергетичної системи. З одного з виходів восьмого обчислювального блока обчислення подають сигнал на один зі входів оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи. Цей сигнал несе інформацію про потужності навантаження і гілок контрольованої підстанції. З одного з виходів оперативно-інформаційного комплексу сигнал про напругу та навантаження вузлів і про струми гілок передають на одні зі входів пристроїв обробки інформації, які використовуються в електроенергетичній системі, а саме на пристрої обробки інформації і на восьми обчислювальні блоки пристроїв регулювання режиму роботи електроенергетичної системи інших підстанцій. Восьмому обчислювальному блоці обчислюють загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, оптимальну кількість перемикачів кожним трансформатором, коефіцієнт впливу перемикачів РПН контрольованим i -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.

На один зі входів блока формувача сигналу на регулятор під напругою трансформатора подають сигнал про потрібну кількість перемикачів вибраним трансформатором з виходу блока обчислення впливу перемикачів регулятора під напругою, а на інший вхід подають сигнал про номер вибраного трансформатора з виходу блока вибору трансформатора контрольованого трансформатора, ще на інші входи подають сигнали про понад нормовані відхилення потужності в лініях електропередач та частоти в електроенергетичній системі з відповідних виходів першого та другого обчислювальних блоків. Ці сигнали блокують формування сигналу на виході формувача сигналу на регулятор під напругою трансформатора в аварійному режимі роботи електроенергетичної системи.

З виходу блока формувача сигналу подають сигнал на привід регулятора під напругою трансформатора, який впливає на зміну параметрів режиму електроенергетичної системи.

Таким чином, при використанні запропонованого способу забезпечується достатня ефективність регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, зменшення пошкоджуваності РПН під час спроб реалізації регульовальних впливів, зменшення збитків від порушення оптимального режиму роботи ЕЕС, зменшення збитків від недовипуску електроенергії та зменшення загальносистемних втрат потужності в лініях електропередач.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, в якому вимірюють напруги в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірюють струми в контрольованих перерізах, формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності від нормованої величини, вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі, визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей, формують сигнал, пропорційний економічному збитку від понад нормованого відхилення поточного значення частоти від номінального значення, додають сигнал, який пропорційний економічному збитку від понад нормованого відхилення величини частоти від номінального значення до сигналу, пропорційного збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перерізах і отримують сумарний сигнал, пропорційний збиткам поточного режиму, порівнюють отриманий сигнал 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 після вимірювань величин напруги та струмів у контрольованих перерізах системи, визначаються перетоки потужності по лініях, порівнюється поточне значення потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач з нормованим значенням цієї потужності і якщо поточне не відповідає нормованому, то формується сигнал про наявність понад нормованого відхилення величини потужності, що передається по лініях електропередач, після вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі порівнюють поточне значення частоти з номінальним значенням, і якщо відхилення поточного значення частоти від номінального виявиться більшим за максимальне допустиме, то формують сигнал, про наявність понад нормованого відхилення частоти, після порівняння отриманого сумарного сигналу, пропорційного збиткам поточного режиму із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання, формують сигнали на зміну структури електричної мережі електроенергетичної системи в залежності від результату 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 окремо для кожного трансформатора, вимірюють струм, що протікає через контакти контактора регулятора під напругою під час перемикань окремо для кожного трансформатора, вимірюють час перемикань контактора регулятора під напругою, визначають комутовану регулятором під напругою електричну енергію під час останнього перемикання, шляхом множення струму на напругу та на час перемикань, визначають загальну накопичену регулятором під напругою електричну енергію, шляхом додавання значення комутованої регулятором під напругою електричної енергії під час останнього перемикання, до суми значень комутованих регулятором під напругою електричних енергій під час попередніх перемикань, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "загальна, накопичена контактором регулятора під напругою, комутована електрична енергія" регулятора під напругою, вимірюють кількість перемикань регулятора під напругою для кожного трансформатора, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикань регулятора під напругою" для кожного трансформатора, вимірюють температури корпусів контакторів регуляторів 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, яку отримують використовуючи сигнали з сенсорів температури, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів регулятора під напругою", вимірюють температури верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибрана виносного регулятора під напругою кожної фази, обчислюють максимальну різницю температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку виносного регулятора під напругою відповідної фази, використовуючи сигнали з сенсорів температури, визначають коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибрана виносного регулятора під напругою відповідної фази, визначають коефіцієнт загального залишкового ресурсу регулятора під напругою шляхом множення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "загальна накопичена контактором регулятора під напругою комутована електрична енергія" на коефіцієнт залишкового ресурсу по

параметру "кількість перемикачів регулятора під напругою", на коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "максимальна різниця температур корпусів контакторів регулятора під напругою" та на коефіцієнт залишкового ресурсу регулятора під напругою по параметру "різниця температур верхніх шарів масла в баку трансформатора та в баку вибирача" виносного регулятора під напругою відповідної фази, визначають коефіцієнт впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності; визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта загального 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 понад нормованих технічних втрат потужності; визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальні впливи, за більшим значенням коефіцієнта якості функціонування; формують регулюючий сигнал, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі 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, 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 ліній електропередач, і за результатами узгодження, корегують, або не змінюють раніше сформований регулюючий сигнал, формують сигнал на зміну коефіцієнта трансформації трансформатора електричної мережі електроенергетичної системи в нормальному режимі в залежності від цього узгодження.

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

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