



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 154159

(13) U

(51) МПК

H02J 3/24 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2022 04464	(72) Винахідник(и): Лежнюк Петро Дем'янович (UA), Рубаненко Олександр Євгенійович (UA), Рубаненко Олена Олександрівна (UA), Гулько Ірина Олександрівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 28.11.2022	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 19.10.2023	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 18.10.2023, Бюл.№ 42	(73) Володілець (володільці): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)

(54) СПОСІБ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

(57) Реферат:

Спосіб регулювання режимами роботи електроенергетичної системи, при якому вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи; формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від припустимої величини потужності. Далі вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі; визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей; формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини; додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах. Далі порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, враховують коефіцієнт якості функціонування РПН, та визначають коефіцієнт втрат. Далі формують регулюючий сигнал на РПН трансформаторів, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень, узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом ліній електропередач, за зоною нечутливості регулятора під напругою, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лініях електропередач, за результатами узгодження, при необхідності, корегують раніше сформований регулюючий сигнал, який передають на привід РПН трансформатора.

UA 154159 U

Корисна модель належить до галузі 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. - К., 1994. - 248 с.], який здійснює регулювання перетоками потужностей по гілках схеми основної електричної мережі ЕЕС відповідно до певних продукційних правил обробки вхідних сигналів потужностей в гілках схеми та у порівнянні 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, 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 після зміни вузлових навантажень, додавання його з сигналом, пропорційним до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перерізах від оптимальних, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування регулятора під напругою, визначення 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 напругою $k_{\text{рес пер РПН}}$, 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 - 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 залежно від цього порівняння, визначення коефіцієнта відносної вартості перемикачів, який знаходять за виразом:

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

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

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

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: не врахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, відповідно до їх якості функціонування) впливу трансформаторів на загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, не врахування: вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі внаслідок відмови регулятора під напругою силового трансформатора, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемиканнях, вартості понад нормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, а також від вартості електроенергії та від часу між перемиканнями, пошкодження РПН під час спроб реалізації регулювальних впливів: з причини не врахування накопиченої (контактами контактора РПН трансформатора) енергії перемикань та параметрів, 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 до способу за корисною моделлю є спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичної системи (патент України № 61058, М. кл. МПК H02J 3/24 Бюл. № 13, 2011 р.) відповідно до якого: вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи; формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від припустимої величини потужності; вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі; визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей; формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини; додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах; порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, враховують коефіцієнт якості функціонування РПН, та визначають коефіцієнт втрат за виразом (1), коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму і коефіцієнт ресурсу по параметру "кількість перемикань".

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, є неточність вхідної інформації про параметри, які характеризують технічний стан РПН трансформаторів, низька ефективність регулювання внаслідок не врахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, відповідно до їх якості функціонування трансформаторів) і чутливості втрат потужності у гілках електричних мереж ЕЕС до зміни активної потужності у вузлах.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу регулювання режимів роботи ЕЕС, який шляхом врахування значного відхилення потужності, яку передають по лініях електропередач, та частоти в системі від максимальних допустимих значень відхилень при формуванні сигналів на зміну структури електричної мережі в аварійних режимах, здійснення регулювального впливу РПН і-того трансформатора електроенергетичної системи, у якого більше значення коефіцієнта якості функціонування в нормальних режимах електроенергетичної системи, врахування, в цьому коефіцієнті, коефіцієнтів залишкового ресурсу РПН по параметрах "накопичений комутований струм", "кількість перемикань", на відміну від найближчого аналога, також врахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу магнітопроводу по параметру "втрати холостого ходу", коефіцієнта впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, вартостей втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемиканнях, понаднормованих технічних втрат потужності, врахування обмеження 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, при визначенні коефіцієнта впливу регулювання параметрів режиму і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, врахування чутливості втрат потужності у гілках

5 електричних мереж ЕЕС до зміни активної потужності у вузлах, дає можливість підвищити якість регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, більш точно врахувати поточний технічний стан РПН трансформаторів, зменшити пошкодженість силових трансформаторів, підвищити ефективність регулювання і зменшити загальносистемні втрати електроенергії.

10 Поставлена задача вирішується тим, що у способі оптимального керування режимами роботи електричної системи вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи; формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від припустимої величини потужності; вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі; визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до

15 зміни вузлових потужностей; формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини; додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах; порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами

20 роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, враховують коефіцієнт якості функціонування РПН, та визначають коефіцієнт втрат за виразом (1), причому коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму визначають за формулою:

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

25 залишковий струм комутації, який визначають за формулою:

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

або коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів, який визначають за формулою:

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

вагові коефіцієнти, які визначають 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, яку визначають за виразом:

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

35 сумарну вартість, яку визначають 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;

40 $\Delta P_{\text{опт}}$ - 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;

45 $I_{\text{пасп.}}$ - струм, який повинен комутувати трансформатор по паспорту;

$I_{\text{нак.}}$ - накопичений комутований струм;

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

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

C - вартість електроенергії; τ - тривалість періоду між перемиканнями;

5 обчислюють елементи матриці чутливості T , яка складається з елементів виду t_{ig} , і встановлює зв'язок між приростами втрат потужності у гілках ЕЕС і змінами потужності у вузлах.

Якщо у вузлі змінюється тільки активна потужність ($\delta Q_g = 0$, $\delta P_g \neq 0$), то коефіцієнт чутливості втрат в m -тій гілці від зміни потужності в g -тому вузлі розраховується за формулою (14):

$$t_{mg} = \frac{\delta P_{mg}}{\delta P_g} + j \frac{\delta Q_{mg}}{\delta P_g} \quad (14)$$

10 Навпаки, якщо у вузлі змінюється тільки реактивна потужність (вмикається або вимикається джерело реактивної потужності), то коефіцієнт чутливості втрат розраховується за формулою (15)

$$t_{mg} = \frac{\delta Q_{mg}}{\delta Q_g} - j \frac{\delta P_{mg}}{\delta P_g} \quad (15)$$

де δP_g - зміна активної потужності в g -му вузлі;

δQ_g - зміна реактивної потужності в g -му вузлі;

15 δP_{mg} - приріст втрат реактивної потужності в m -й гілці від зміни потужності в g -му вузлі;

δQ_{mg} - приріст втрат реактивної потужності в m -й гілці від зміни потужності в g -му вузлі;

а коефіцієнти якості функціонування трансформатора розраховують за виразом:

$$k_{\text{як. функ.}} = (a_1 + a_2) \cdot k_{\text{ресл}} \cdot k_{\text{ресл}} \cdot k_{\text{ресл}} \cdot a_3 \cdot k_{\text{втрат}} \quad (16)$$

20 де $k_{\text{ресл}}$ - коефіцієнт ресурсу магнітопроводу по параметру "втрати холостого ходу" визначають за формулою:

$$k_{\text{ресл}} = \frac{P_{\text{XXгран}} - P_{\text{XXпот}}}{P_{\text{XXгран}} - P_{\text{XXпоч}}} \quad (17)$$

де $P_{\text{XXгран}}$ - граничне значення втрат холостого ходу трансформатора;

$P_{\text{XXпот}}$ - поточне значення втрат холостого ходу трансформатора;

$P_{\text{XXпоч}}$ - початкове значення втрат холостого ходу трансформатора;

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

На кресленні показана структурна схема автоматизованої системи регулювання режиму електроенергетичної системи. 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, переносна персональна електронна обчислювальна машина 22, п'ятий обчислювальний блок 23, шостий обчислювальний блок 24, сенсор положення приводу РПН 25, оперативно-інформаційний комплекс 26 електроенергетичної
45 системи 17, сьомий обчислювальний блок 27, блок вибору трансформатора 28, блок формувача сигналу на РПН трансформатора 29, причому вихід 1 блока визначення швидкості відхилення напруги 1 з'єднаний з входом 4 блока 4, а вихід 2 блока 1 з'єднаний з входом 1

блока 4 та з входом 2 блока 23; при цьому вихід 1 блока 2 приєднаний до входу 3 блока 4, також вихід блока 3 приєднаний до входу 1 блока 4.

Спосіб здійснюється наступним чином.

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

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

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.

15 Вихідні сигнали з диференціального органу напруги 7 та диференціального органу струму 9 надходять відповідно на перший та другий входи блока 4 визначення чутливості режиму електричної мережі до зовнішніх збурень, де на першому виході першого обчислювального блока 12 формується вихідний сигнал, пропорційний до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перерізам від їх оптимальних значень. В першому обчислювальному блоці 12 обчислюються: швидкість зміни потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач, підключених до вузла, визначають перетоки потужності в кожній

з ліній, потужність вузлового навантаження, часткова похідна $\left[\frac{dU}{dS} \right]$, що відповідає залежності зміни напруги від зміни вузлової потужності, які використовуються при формування вихідного сигналу, пропорційного до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перерізам від їх оптимальних значень. На другому виході першого обчислювального блока 12 формують сигнал про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням. На третьому виході першого обчислювального блока 12 формують сигнал пропорційний швидкості зміни вузлового навантаження.

30 Сигнали з виходу диференційного органу частоти 11 блока 3 визначення швидкості відхилення частоти та сигнал з третього виходу першого обчислювального блока 12 надходять відповідно на другий і перший входи другого обчислювального блока 13, в якому: визначається

швидкість зміни частоти в системі $\frac{df}{dS}$, і порівнюється відхилення поточного значення частоти від номінального значення частоти. На першому виході другого обчислювального блока 13 формується сигнал, пропорційний економічному збитку від відхилення величини частоти, а на другому виході формується сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення.

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

45 Сигнал (G) з виходу суматора 14 передається на перший вхід органу порівняння 15, в якому він порівнюється з сигналом (G_0), пропорційним до величини економічно обґрунтованих збитків, який є уставкою регулювання. Сигнал G_0 , надходить на другий вхід органу порівняння 15 з ПЕОМ під час періодичного програмування органу порівняння 15 та зберігається в пам'яті блока порівняння 15.

50 При виконанні умови $G \geq G_0$ сигнал з виходу блока порівняння 15 подається на перший вхід органу керування 16. На третій вхід органу керування 16 подається сигнал про наявність перевищення потужності з другого виходу першого обчислювального блока 12, а на другий вхід органу керування 16 подається сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення з другого виходу другого обчислювального блока 13.

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

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

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" привода РПН, а тим самим контролюють чи не перевищує струм двигуна встановлене значення.

Для цього на вхід третього обчислювального блока 19, в якому обчислюється значення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" привода РПН, надходить сигнал з виходу сенсора струму 18 електричного двигуна, який встановлений в шафі керування РПН. З виходу третього обчислювального блока 19 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "накопичений комутований струм" подається на перший вхід шостого блока обчислень 24, в якому обчислюється значення коефіцієнта якості функціонування РПН.

Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів" в третьому обчислювальному блоці 19, обчислюють перед j -тим перемиканням за формулами (6) і (7).

Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи відрізняється тим, що в блоці 30 визначається значення діагностичного параметру втрат холостого ходу, що характеризує стан магнітопроводу. Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу магнітопроводу по параметру "втрати холостого ходу", а тим самим контролюють, чи не перевищують втрати гранично допустимі значення.

Розрахунок залишкового ресурсу магнітопроводу трансформатора по параметру "втрати холостого ходу" визначаються за формулою (17).

Для цього на вхід обчислювального блока 31, в якому обчислюється значення коефіцієнта залишкового ресурсу магнітопроводу трансформатора по параметру "втрати холостого ходу", надходить сигнал з виходу блока 30. З виходу обчислювального блока 31 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу магнітопроводу по параметру "втрати холостого ходу" подається на вхід шостого блока обчислень 24, в якому обчислюється значення коефіцієнта якості функціонування РПН.

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, в якому обчислюється значення коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів", 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 шостого блока обчислень 24.

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

В п'ятому блоці обчислення 23 впливу перемикачів РПН обчислюють загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, оптимальну кількість перемикачів, коефіцієнт впливу перемикачів РПН контрольованим i -тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності з урахуванням обмежень: за напругами у вузлах, за струмами у гілках та за крайніми положеннями вибирача РПН та за зоною нечутливості РПН. Обмеження задають та корегують в п'ятому блоці обчислення 23 за допомогою сигналу, який подають з першого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 22 на шостий вхід п'ятого блока обчислення 23.

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 п'ятого блока обчислення 22 впливу перемикачів РПН, з другого виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту впливу перемикачів РПН контрольованого трансформатора, подають на четвертий вхід шостого блока обчислень 24 коефіцієнта якості функціонування.

На перший вхід п'ятого блока обчислення 23 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу сенсора положення приводу РПН 25, який відповідає номеру ступеня регулювання. На другий вхід п'ятого блока обчислення 23 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу вимірювального органу напруги 6. На п'ятий вхід шостого блока обчислення 23 впливу перемикачів РПН подають сигнал з другого виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 26. Цей сигнал несе інформацію про потужності у гілках та вузлах схеми електроенергетичної системи. З першого виходу п'ятого блока обчислення 23 подають сигнал на перший вхід оперативно-інформаційного комплексу 26 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності навантаження і гілок контрольованої підстанції. З другого виходу оперативно-інформаційного комплексу 26 сигнал про напругу та навантаження вузлів і про струми гілок передають на другий вхід електроенергетичної системи 17, а саме на пристрої обробки інформації (п'ятий обчислювальний блок 23 інших підстанцій).

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

$$k_{\text{впливу т,і}} = \frac{\Delta P_{\text{невик,і}} - \Delta P_{\text{опт,і}}}{\Delta P_{\text{невик,і}}}, \quad (18)$$

де: $\Delta P_{\text{невик,і}}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок не використання перемикачів РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{опт,і}}$ - загальносистемні втрати потужності у лініях електропередач внаслідок використання РПН і-того трансформатора для встановлення оптимального положення РПН з урахуванням обмежень за напругою у вузлах, за струмами у гілках, та за крайніми положеннями РПН.

З виходу четвертого обчислювального блока 21 сигнал подають на другий вхід шостого обчислювального блока 24, в якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

З другого виходу п'ятого обчислювального блока 23 сигнал подають на четвертий вхід шостого обчислювального блока 24. 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 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 третій вхід шостого обчислювального блока 24.

З третього виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 26 подають сигнал про прирости активної потужності у вузлах на шостий обчислювальний блок 27. В шостому обчислювальному блоці 27 обчислюють елементи матриці чутливості T , яка складається з елементів виду t_{ig} , і встановлює зв'язок між приростами втрат потужності у гілках ЕЕС і змінами активної потужності у вузлах за формулами (15) і (16).

Далі з обчислювального блока 27 подається сигнал на другий вхід блока 28.

З другого виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 26 подають сигнал про зміну активної потужності у вузлах на восьмий обчислювальний блок 28.

Далі з обчислювального блока 28 подається сигнал на перший вхід блока 29. Далі визначають трансформатор, яким потрібно здійснювати корегувальний вплив, за більшим значенням коефіцієнта якості функціонування. Для цього сигнал з третього виходу п'ятого блока обчислень 23 подають на четвертий вхід блока вибору трансформатора 29 автоматизованої системи керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи. На третій вхід блока вибору трансформатора 28 надходить сигнал з першого виходу оперативно-інформаційного комплексу 26 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про коефіцієнти якості функціонування інших трансформаторів електроенергетичної системи. В блоці вибору трансформатора 28 здійснюється ранжування трансформаторів відповідно до

значень коефіцієнта якості функціонування і коефіцієнта чутливості втрат в потужності цієї гілки від зміни потужності в вузлах.

За результатами ранжування вибирається трансформатор з більшим значенням коефіцієнта якості функціонування і гілка за більшим значенням коефіцієнта чутливості втрат в потужності цієї гілки від зміни потужності в вузлах, в якій стоїть трансформатор з РПН.

Далі формують регулюючий сигнал на РПН вибраного трансформатора, пропорційно до відхилення поточних сумарних втрат потужності в ЕЕС від їх оптимальних значень з урахуванням: значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора для поточного режиму, сигналу, про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням потужності цих ліній, значення коефіцієнта чутливості втрат в потужності гілок від зміни активної потужності в вузлах.

Для цього, сигнал з виходу блока вибору трансформатора 28 подається на перший вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 29, з виходу якого сигнал подається на третій вхід електроенергетичної системи 17, а саме на привід РПН вибраного трансформатора електроенергетичної системи 17. На четвертий вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 29 подається сигнал про кількість перемикачів РПН вибраного трансформатора з четвертого виходу п'ятого обчислювального блока 23, а на другий і третій входи формувача сигналу на РПН трансформатора 29 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 29 в аварійному режимі роботи електроенергетичної системи. Коефіцієнт якості функціонування РПН трансформатора визначається за формулою (16).

Таким чином, при використанні способу за корисною моделлю зростають якість регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, зокрема за рахунок врахування технічного стану трансформатора та ефективність керуючих впливів на РПН трансформаторів, зменшується пошкоджуваність РПН трансформаторів і втрати електроенергії.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб регулювання режимами роботи електроенергетичної системи, при якому вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі; вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи; формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від припустимої величини потужності; вимірюють значення частоти в електроенергетичній системі; визначають чутливість параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових потужностей; формують сигнал, який пропорційний до економічного збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини; додають цей сигнал до сигналу, який пропорційний до економічного збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах; порівнюють отриманий сигнал із сигналом, пропорційним до величини допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, враховують коефіцієнт якості функціонування РПН, та визначають:

$$k_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}} - \Delta P_{\text{опт}}}{\Delta P_{\text{опт}}}$$

коефіцієнт втрат за виразом:

де: $\Delta P_{\text{неопт}}$ - втрати потужності в електроенергетичній системі внаслідок відмов в роботі трансформатора, $\Delta P_{\text{опт}}$ - втрати потужності в електроенергетичній системі в оптимальному режимі, причому коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму визначають за формулою:

$$k_{\text{ресл}} = \frac{I_{\text{зал}}}{I_{\text{пасп}}}$$

залишковий струм комутації визначають за формулою:

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

або коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів, який визначають за формулою:

$$k_{\text{рес}_n} = \frac{n}{n_{\text{пасп}}}$$

вагові коефіцієнти, які визначають за виразами:

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

вартість понаднормових технічних втрат потужності, яку визначають за виразом:

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

сумарну вартість визначають за виразом: $B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3$,

5 де B_1, B_2 - вартості: - втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, - ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемиканнях; n - кількість потрібних перемикань для досягнення оптимального режиму; $\Delta P_{\text{опт}}$ - оптимальне значення втрат активної потужності; $\Delta P_{\text{неопт}}$ - значення втрат активної потужності при відмові від перемикань даним трансформатором; $I_{\text{зал.}}$ - залишковий струм комутації; $I_{\text{ком.}}$ - струм, який комутує трансформатор при одному перемиканні; $I_{\text{пасп.}}$ - струм, який повинен комутувати трансформатор по паспорту; $I_{\text{нак.}}$ - накопичений комутований струм; $\Delta P_{\text{норм}}$ - нормативне значення технічних втрат активної потужності; $\Delta P_{\text{пот}}$ - поточне значення втрат активної потужності; C - вартість електроенергії; τ - тривалість періоду між перемиканнями, який **відрізняється** тим, що обчислюють елементи матриці чутливості T , яка складається з

10 елементів виду t_{ig} , і встановлюють зв'язок між приростами втрат потужності у гілках електроенергетичної системи і змінами потужності у вузлах, причому, якщо у вузлі змінюється тільки активна потужність ($\delta Q_g = 0, \delta P_g \neq 0$), то коефіцієнт чутливості втрат в m -й гілці від зміни потужності в g -му вузлі розраховують за формулою:

$$t_{mg} = \frac{\delta P_{mg}}{\delta P_g} + j \frac{\delta Q_{mg}}{\delta P_g},$$

15 І, навпаки, якщо у вузлі змінюється тільки реактивна потужність, то коефіцієнт чутливості втрат розраховують за формулою:

$$t_{mg} = \frac{\delta Q_{mg}}{\delta Q_g} - j \frac{\delta P_{mg}}{\delta Q_g},$$

де δP_g - зміна активної потужності в g -му вузлі; δQ_g - зміна реактивної потужності в g -му вузлі; (δP_{mg} - приріст втрат реактивної потужності в m -й гілці від зміни потужності в g -му вузлі; δQ_{mg} - приріст втрат реактивної потужності в m -й гілці від зміни потужності в g -му вузлі, а коефіцієнт якості функціонування трансформатора розраховують за виразом:

$$K_{\text{як. функ.}} = (a_1 + a_2) \cdot K_{\text{респ}} \cdot K_{\text{рекл}} \cdot K_{\text{ресРХХ}} \cdot a_3 \cdot K_{\text{втрат}},$$

25 де $K_{\text{ресРХХ}}$ - коефіцієнт ресурсу магнітопроводу по параметру "втрати холостого ходу" - визначають за формулою:

$$K_{\text{ресРХХ}} = \frac{P_{\text{ХХгран}} - P_{\text{ХХпот}}}{P_{\text{ХХгран}}},$$

30 де $P_{\text{ХХгран}}$ - граничне значення втрат холостого ходу трансформатора; $P_{\text{ХХпот}}$ - поточне значення втрат холостого ходу трансформатора; $P_{\text{ХХпоч}}$ - початкове значення втрат холостого ходу трансформатора; формують регулюючий сигнал на РПН трансформаторів, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень, узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом лінії електропередач, за зоною нечутливості регулятора під напругою, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лініях електропередач, за результатами узгодження, за потреби, корегують раніше сформований регулюючий сигнал, який передають на привід РПН трансформатора.

