



УКРАЇНА

(19) UA (11) 147437 (13) U
(51) МПК
H02J 3/24 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 08300	(72) Винахідник(и): Лежнюк Петро Дем'янович (UA), Нетребський Володимир Васильович (UA), Комар Вячеслав Олександрович (UA), Лесько Владислав Олександрович (UA), Сікорська Олена Вікторівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 24.12.2020	(73) Володілець (володільці): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 06.05.2021	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 05.05.2021, Бюл.№ 18	

(54) СПОСІБ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

(57) Реферат:

Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи, що включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи, формування сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від допустимої величини потужності, вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі, визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень, формування сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини, додавання цього сигналу до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування регулювання під навантаженням та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму, залишкового струму комутації, коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикань, вагових коефіцієнтів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, сумарної вартості, згідно з корисною моделлю одночасно вимірюють миттєві значення струмів та напруг, за якими обчислюються додаткові втрати, зумовлені несинусоїдністю струму і напруги, з'являються додаткові втрати потужності $\Delta P_{\text{неопт}}$ при цьому визначення коефіцієнта втрат буде виконуватись за виразом:

$$K_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}} + \Delta P_{\text{дод}} - \Delta P_{\text{опт}}}{\Delta P_{\text{опт}}}$$

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, $\Delta P_{\text{дод}}$ - додаткові втрати, зумовлені несинусоїдністю струму;

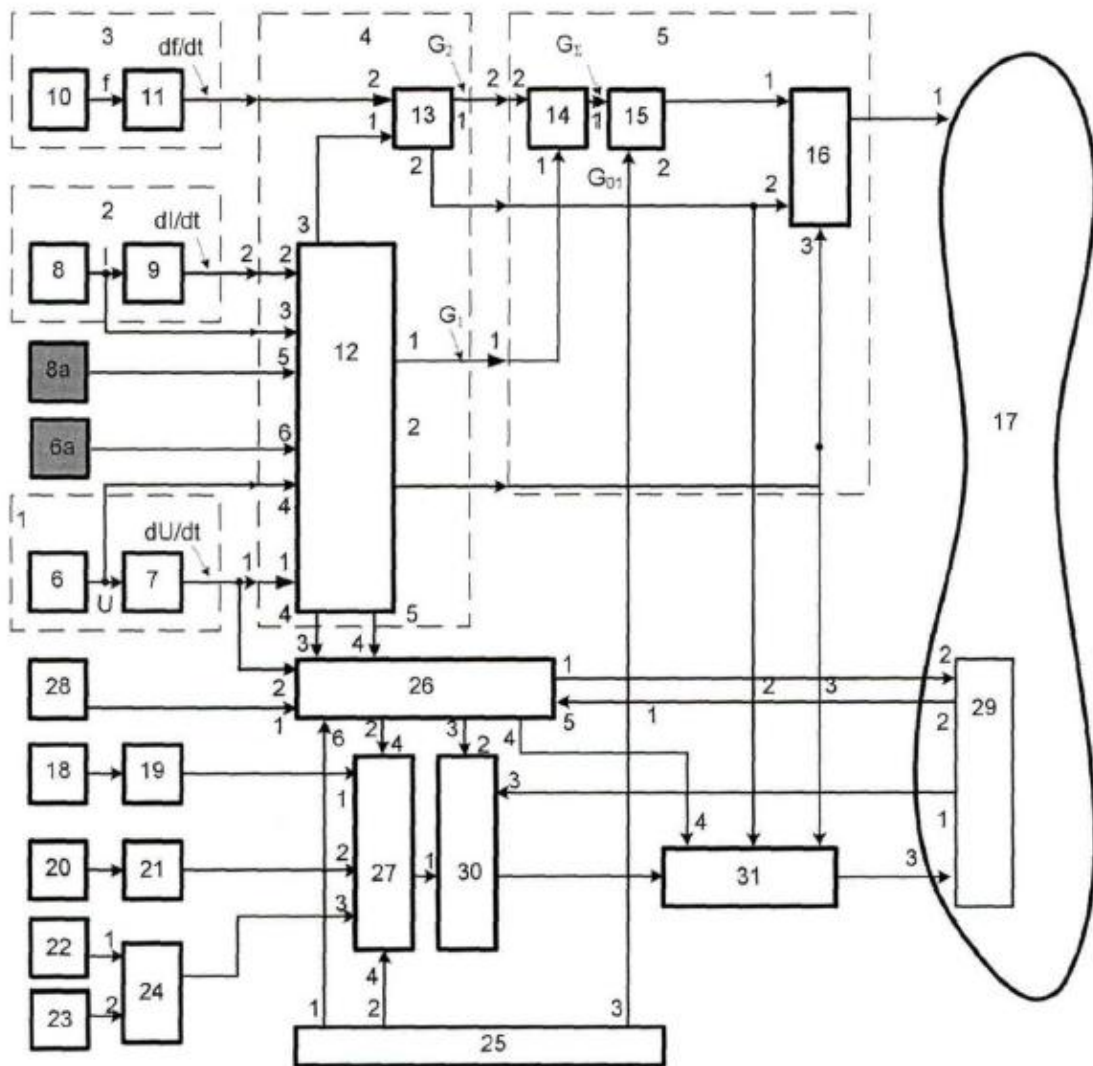
відповідно вартість понаднормованих технічних втрат потужності визначається за виразом:

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

UA 147437 U

а коефіцієнт впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати ($K_{\text{впливу},i}$) знаходиться за виразом $K_{\text{впливу},i} = \frac{\Delta P_{\text{невик},i} + \Delta P_{\text{дод},i} - \Delta P_{\text{опт},i}}{\Delta P_{\text{опт},i}}$,

де: $\Delta P_{\text{невик},i}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок невикористання перемикання РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{дод},i}$ - додаткові загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, зумовлені несинусоїдністю струмів і напруг внаслідок невикористання перемикання РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{опт},i}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок використання РПН і-того трансформатора з метою встановлення оптимального положення РПН з урахуванням обмежень за напругою у вузлах, за струмами у гілках, та за крайніми положеннями РПН.



Фіг. 1

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

Відомий спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи (ЕЕС), який здійснює регулювання перетоками потужностей по гілках схеми основної електричної мережі ЕЕС у відповідності з певними продукційними правилами обробки вхідних сигналів потужностей в гілках схеми та порівняння останніх з уставками припустимих та необхідних перетоків потужності по гілках схеми. В цьому способі вимірюють величини напруг у контрольних вузлах навантаження та величини струмів на контрольних ділянках, перетворюють ці сигнали в величини потужностей, які перетікають по мережі, порівнюють ці сигнали з уставками припустимих та необхідних перетоків та визначають склад регулювальних впливів на параметри елементів схеми основної мережі контрольованої ЕЕС (Котов І.А. Оперативная интеллектуальная поддержка решений диспетчера энергообъединения. - Дисс. канд. техн. наук. - Киев, 1994. - 248 с.).

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

Відомий спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи, що включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи, формування сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від допустимої величини потужності, вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі, визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень, формування сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини, додавання цього сигналу до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування регулювання під навантаженням та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму, залишкового струму комутації, коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикачів, вагових коефіцієнтів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, сумарної вартості (патент України № 81038, м. кл. H02J 3/24, опубл. 25.06.2013 р., бюл. № 12).

Недоліками способу оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи є низька ефективність способу за умов збільшення кількості об'єктів споживання і генерування, які є джерелами вищих гармонік.

Як найближчий аналог вибрано спосіб регулювання режиму роботи електроенергетичної системи, який 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:

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

де $\Delta P_{\text{неопт}}$ - втрати потужності в ЕЕС внаслідок відмов в роботі трансформатора, $\Delta P_{\text{опт}}$ - втрати потужності в ЕЕС в оптимальному режимі, врахування коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру кількості перемикачів регулятора під навантаженням (РПН) $K_{\text{рес пер РПН}}$, який визначається за виразом:

$$k_{\text{рес.}} = k_1 \cdot \left(1 - \frac{n_2 - n_1}{n_2}\right), \quad (2)$$

де n_1 - це кількість потрібних перемикачів регулятора під напругою трансформатора, n_2 - це залишкова кількість гарантованих заводом перемикачів регулятора під напругою трансформатора, k_1 - це коефіцієнт ресурсу без врахування кількості потрібних перемикачів регулятора під напругою трансформатора та залишкової кількості гарантованих заводом перемикачів регулятора під напругою трансформатора, який визначається за формулою:

$$k_1 = \frac{n_2}{n_{\text{гар.}}}, \quad (3)$$

де $n_{\text{гар.}}$ - гарантована заводом кількість перемикачів, формування сигналу на зміну структури електроенергетичної системи в залежності від цього порівняння, визначення коефіцієнта відносної вартості перемикачів, який знаходять за виразом:

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

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

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

при одночасному контролюванні адекватності вхідної інформації: значення потужності в вузлах, для розрахунків параметрів режиму електроенергетичної системи (патент України № 51198U, м. кл. НО2J3/24, опубл. 12.07.2010, бюл. № 13).

Недоліками відомого способу регулювання режиму роботи електроенергетичної системи є низька ефективність регулювання внаслідок неврахування (при ранжуванні трансформаторів, які приймають участь в процесі регулювання параметрів режиму ЕЕС, у відповідності до їх якості функціонування) впливу трансформаторів на загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, неврахування: вартості втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі внаслідок відмови регулятора під напругою силового трансформатора, вартості ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачах, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, які спричинені відхиленням поточного значення технічних втрат активної потужності від їх нормативного значення, а також від вартості електроенергії та від часу між перемикачами, пошкодження РПН під час спроб реалізації регулювальних впливів та параметрів, які характеризують технічний стан РПН.

Відомий спосіб оптимального керування нормальними режимами електроенергетичної системи у відповідності до якого: вимірюють величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірюють величини струмів у контрольованих перерізах системи, формують сигнал, пропорційний до величини економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольований 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 регулятора під навантаженням, та визначають коефіцієнт втрат, коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму за формулою:

$$k_{\text{ресл}} = \frac{I_{\text{зал.}}}{I_{\text{пасп.}}}, \quad (6)$$

залишкового струму комутації за формулою:

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

та коефіцієнт ресурсу по параметру кількості перемикачів за формулою:

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

вагові коефіцієнти за виразами:

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

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

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

вартість понаднормованих технічних втрат потужності за виразом:

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

сумарну вартість за виразом:

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3, \quad (13)$$

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

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

коefficient залишкового ресурсу ($k_{\text{рес}_\text{охол.}j}$) для одного охолоджувача по параметру різниця температур між входом і виходом охолоджувача визначають за виразом (змінюють в процесі експлуатації від 1 до 0 в.о. для одного охолоджувача):

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

де $\Delta t_{\text{пот } j}$ - поточне значення різниці температур для j-того режиму, $\Delta t_{\text{справ } j}$ - значення різниці температур справного трансформатора для j-того режиму, крім того використовують загальний coefficient залишкового ресурсу всіх охолоджувачів, який розраховують за виразом:

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

де $\lambda = 1/\Omega$ - coefficient, який враховує вплив кожного охолоджувача окремо; Ω - кількість охолоджувачів (погіршення стану одного охолоджувача на інший не впливає), формують регулюючий сигнал на регулятор під навантаженням трансформаторів, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їх оптимальних значень, узгоджують сформований сигнал із сигналом, який враховує обмеження: за напругою, за частотою, за максимальним допустимим струмом ліній електропередач, за зоною нечутливості регулятора під напругою, за нормованими загальносистемними втратами електричної потужності в лініях електропередач, за результатами узгодження, при необхідності, корегують раніше сформований регулюючий сигнал, який передають на привід регулятора під навантаженням трансформатора (патент України № 61058, м. кл. НО2J3/24, опубл. бюл. № 13, 2011 р.).

Недоліками найближчого аналога є недостатня якість регулювання режиму роботи електроенергетичної системи за рахунок неврахування того, що складовими частинами умов, в яких іноді доводиться приймати оптимальні рішення, є недостатня відповідність реального технічного стану об'єкта очікуваному, що призводить до низької якості регулювання та до пошкодження обладнання, неточність вхідної інформації про параметри, які характеризують технічний стан трансформаторів, низька ефективність регулювання внаслідок неврахування

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

Відомий спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи, що включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи, формування сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від допустимої величини потужності, вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі, визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень, формування сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини, додавання цього сигналу до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування регулювання під навантаженням та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму, залишкового струму комутації, коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикачів, вагових коефіцієнтів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, сумарної вартості (патент України № 81038, м. кл. H02J 3/24, опубл. 25.06.2013 р., бюл. № 12).

Недоліками способу оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи є низька ефективність способу за умов збільшення кількості об'єктів споживання і генерування, які є джерелами вищих гармонік.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення ефективності способу за умов збільшення кількості об'єктів споживання і генерування, які є джерелами вищих гармонік.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи, що включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи, формування сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від допустимої величини потужності, вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі, визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень, формування сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини, додавання цього сигналу до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування регулювання під навантаженням та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму, залишкового струму комутації, коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикачів, вагових коефіцієнтів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, сумарної вартості, крім того одночасно вимірюють миттєві значення струмів та напруг, за якими обчислюються додаткові втрати зумовлені несинусоїдністю струму і напруги.

Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи здійснюється за допомогою функціональної схеми автоматизованої системи регулювання режиму електроенергетичної системи, яка 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, вимірювальний орган миттєвого значення напруги 6а, диференціальний орган напруги 7, вимірювальний орган струму 8, вимірювальний орган миттєвого значення струму 8а, диференціальний орган струму 9, вимірювальний орган частоти 10, диференціальний орган частоти 11, перший обчислювальний блок 12, другий обчислювальний блок 13, суматор 14, орган порівняння 15, орган керування 16, електроенергетична система 17, сенсор накопиченого струму 18, третій обчислювальний блок 19, сенсор кількості перемикачів РПН 20, четвертий обчислювальний блок 21, сенсор температури на вході і-того охолоджувача 22; сенсор температури на виході і-того охолоджувача 23; п'ятий обчислювальний блок 24, переносна персональна електронна обчислювальна машина 25, п'ятий обчислювальний блок 26, шостий обчислювальний блок 27, сенсор положення приводу РПН 28, оперативно-інформаційного комплекс 29

електроенергетичної системи 17, блок вибору трансформатора 30, блок формувача сигналу на РПН трансформатора 31, причому блок визначення швидкості відхилення напруги 1, який складається з вимірювального органу напруги 6, диференціального органу напруги 7 та вимірювального органу миттєвої напруги 6а, з'єднаний з входом 1, 4 та 6 першого обчислювального блока 12, який входить в входи блок визначення чутливості режиму електричної мережі до зовнішніх збурень 4.

Блок визначення швидкості відхилення струму 2, яких складається з вимірювального органу струму 8, диференціального органу струму 9 та вимірювального органу миттєвого струму 8а, з'єднаний з входом 2, 3 та 5 першого обчислювального блока 12.

Блок визначення швидкості відхилення частоти 3, який складається з вимірювального органу частоти 10, диференціального органу частоти 11, з'єднаний з входом 2, 1 другого обчислювального блока 13.

Перший обчислювальний блок 12 третім виходом з'єднаний з 1 входом другого обчислювального блока 13.

Вихід 1 другого обчислювального блока 13 з'єднаний з 2 входом суматора 14 блока формування сигналів керування режимом роботи електроенергетичної системи 5.

Вихід 1 першого обчислювального блока 12 з'єднаний з входом 1 суматора 14.

Вихід суматора 14 з'єднаний з входом 1 органу порівняння 15.

Вихід 3 переносної персональної електронної обчислювальної машини 25 з'єднаний з входом 2 органу порівняння 15.

Входи 1 та 2 органу керування 16 з'єднані з виходом органу порівняння 15 та виходом 2 другого обчислювального блока 13 відповідно, з яким з'єднаний і вхід 2 блока формувача сигналу на РПН трансформатора 31.

Вихід 2 першого обчислювального блока 12 з'єднаний з входом 3 органу керування 16 та входом 3 блока формувача сигналу на РПН трансформатора 31.

Вихід органу керування 16 з'єднаний з входом 1 виконавчих органів електроенергетичної системи 17.

Сенсор накопиченого струму 18 з'єднаний з третім обчислювальним блоком 19, який в свою чергу з'єднаний з блоком обчислень 27 через 1 вхід.

Сенсор кількості перемикачів РПН 20 з'єднаний з четвертим обчислювальним блоком 21, який в свою чергу з'єднаний з блоком обчислень 27 через 2 вхід.

Вихід сенсора температури на вході і-го охолоджувача 22 з'єднаний з входом 1 п'ятого обчислювального блока 24, а сенсор температури на виході і-го охолоджувача 23 з'єднаний з входом 2 п'ятого обчислювального блока 24.

Переносна персональна електронна обчислювальна машина 25 виходом 1 з'єднана з входом 6 шостого блока обчислення 26, а виходом 2 з 4 входом блока обчислень 27.

Блок обчислень 27 виходом з'єднаний з входом 1 восьмого обчислювального блока 30. Входи 2 та 3 восьмого обчислювального блока 30 з'єднані з виходом 3 шостого блока обчислення 26 та виходом 1 оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17.

Вихід сенсора положення приводу РПН 28 з'єднаний з входом 1 шостого блока обчислення 26.

Виходи 2 та 1 шостого блока обчислення 26 з'єднані з входом 4 блока обчислень 27 та входом 2 оперативно-інформаційного комплексу 29 відповідно.

Вхід 5 шостого блока обчислення 26 з'єднаний з виходом 2 оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17.

Вихід 4 блока обчислення 26 з'єднаний з входом 4 блока формувача сигналу на РПН трансформатора 31.

Спосіб здійснюється наступним чином.

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

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

При визначенні швидкості відхилення частоти в блоці визначення швидкості відхилення частоти 3, сигнал з вимірювального органу частоти 10 надходить до диференціального органу частоти 11, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни частоти в системі. Вихідні

сигнали з диференціального органу напруги 7 та диференціального органу струму 9 надходять відповідно на перший та другий входи блока визначення чутливості режиму електричної мережі до зовнішніх збурень 4, де на першому виході першого обчислювального блока 12 формується вихідний сигнал, пропорційний до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перетинах від їх оптимальних значень. В першому обчислювальному блоці 12 обчислюють: швидкість зміни потужності, яка передається по кожній з ліній електропередач, підключених до вузла, визначають $\left[\frac{dP}{dS}\right]$ перетоків потужності в кожній з ліній, потужність вузлового навантаження, часткова похідна $\left[\frac{dP}{dS}\right]$, що відповідає залежності зміни напруги від зміни

вузлової потужності, які використовуються при формуванні вихідного сигналу, пропорційного до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованих перетинах 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.

Сигнали з виходу диференційного органу частоти 11 блока визначення швидкості відхилення частоти 3 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 $\frac{dS}{dt}$, 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.

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

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 органу порівняння 15. При виконанні умови $G \geq G_0$ сигнал з виходу органу 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 накопиченого струму 18 електричного двигуна вимірюють струм електричного двигуна привода РПН (вимірюється відразу після закінчення 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 накопичувального 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 сьомого блока обчислень 27, в якому обчислюється значення коефіцієнта якості функціонування РПН.

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

5 Коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів" визначають в четвертому обчислювальному блоці 21. Вимірюють кількість перемикачів РПН для кожного трансформатора за допомогою сенсора кількості перемикачів РПН 20, який встановлений в шафі керування РПН. Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів" для кожного трансформатора. Для цього на вхід четвертого обчислювального
10 блока 21 передають сигнал з виходу сенсора кількості перемикачів РПН 20. З виходу четвертого обчислювального блока 21 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу по параметру "кількість перемикачів", подають на другий вхід сьомого блока обчислень 27.

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

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

В шостому блоці обчислення 26 впливу перемикачів РПН обчислюють загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, оптимальну кількість перемикачів, коефіцієнт впливу перемикачів РПН контрольованим і-тим трансформатором на загальносистемні втрати
25 потужності з урахуванням обмежень: за напругами у вузлах, за струмами в гілках та за крайніми положеннями вибрана РПН та за зоною нечутливості РПН. Обмеження задають та корегують в шостому блоці обчислення 26 за допомогою сигналу, який подають з першого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 25 на шостий вхід п'ятого блока обчислення 26. Визначення коефіцієнта втрат виконується за виразом:

$$K_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}}}{\Delta P_{\text{опт}}},$$

30

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, $\Delta P_{\text{дод}}$ - додаткові втрати зумовлені несинусоїдністю струму.

35 Сигнал з вимірювального органу напруги 6 і вимірювального органу миттєвого значення напруги 6а та сигнал з вимірювального органу струму 8 і вимірювального органу миттєвого значення струму 8а також подають відповідно на третій, четвертий, п'ятий та шостий входи першого обчислювального блока 12, з четвертого виходу якого сигнал, пропорційний потужності навантаження підстанції, а з п'ятого його виходу сигнал, пропорційний потужності, яка
40 передається по лініях електропередач підстанції, відповідно передають на третій та четвертий входи шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН, з другого виходу якого сигнал, пропорційний коефіцієнту впливу перемикачів РПН контрольованого трансформатора, подають на п'ятий вхід сьомого блока обчислень 27 коефіцієнта якості функціонування. На перший вхід шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу сенсора положення приводу РПН 28, який відповідає номеру ступеня регулювання. На другий вхід
45 шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал з виходу вимірювального органу напруги 6. На п'ятий вхід шостого блока обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал з другого виходу оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності у гілках та вузлах схеми електроенергетичної системи 17. З першого виходу шостого блока обчислення 26
50 подають сигнал на другий вхід оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності навантаження і гілок контрольованої підстанції. Коефіцієнт впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати

$$K_{\text{впливу},i} = \frac{\Delta P_{\text{втрати}}}{\Delta P_{\text{опт},i}},$$

де: $\Delta P_{\text{невик},i}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок невикористання перемикачів РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{дод},i}$ - додаткові загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач зумовлені несинусоїдністю струмів і напруг внаслідок невикористання перемикачів РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{опт},i}$ - загальносистемні втрати

5 потужності в лініях електропередач внаслідок використання РПН і-того трансформатора з метою встановлення оптимального положення РПН з урахуванням обмежень за напругою у вузлах, за струмами у гілках, та за крайніми положеннями РПН.

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

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

15 3 виходу п'ятого обчислювального блока 24 сигнал подають на другий вхід сьомого обчислювального блока 27, в якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

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

25 Визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "накопичений комутований струм", коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "кількість перемикачів", коефіцієнта залишкового ресурсу РПН по параметру "різниця температур між входом і виходом охолоджувача", коефіцієнта впливу перемикачів РПН і-тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, вартість втраченої електричної енергії в результаті роботи по ремонтній схемі, вартість ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження при оперативних перемикачах, вартість понаднормованих технічних втрат потужності.

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

35 Вартість понаднормованих технічних втрат потужності визначається за виразом:

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

3 першого виходу оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17 подають сигнал про зміну активної потужності у вузлах на восьмий обчислювальний блок 30.

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

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

50 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. Для цього, 55 сигнал з виходу блока вибору трансформатора 30 подається на перший вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 31, з виходу якого сигнал подається на третій вхід електроенергетичної системи 17, а саме на привід РПН вибраного трансформатора електроенергетичної системи 17.

На четвертий вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 31 подається сигнал про кількість перемикачів РПН вибраного трансформатора з четвертого виходу шостого обчислювального блока 26, а на другий і третій входи формувача сигналу на РПН трансформатора 31 подаються сигнали з других виходів, відповідно, першого обчислювального блока 12 та другого обчислювального блока 13. Ці сигнали блокують формування сигналу на виході формувача сигналу на РПН трансформатора 31 в аварійному режимі роботи електроенергетичної системи 17.

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

Зростання складової відновлюваних джерел енергії в загальному балансі електроенергетичної, які є нестабільними джерелами, зумовлює загострення задач балансування і ведення режиму. Крім цього, значна частка відновлюваних джерел в своїй схемі застосовує силові перетворювачі, які спотворюють синусоїду напруги і струму в мережі. Це призводить до появи додаткових втрат в елементах електричної мережі. До схожих наслідків призводять і засоби автоматичного керування електроприводом.

Тому, завдяки врахуванню в запропонованому способі регулювання складових спотворення синусоїди напруг і струмів зростають якості регулювання режиму роботи електроенергетичної системи та ефективність керуючих впливів на РПН трансформаторів.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб оптимального керування режимами роботи електроенергетичної системи, що включає вимірювання величини напруг в контрольованих вузлах електричної мережі, вимірювання величини струмів у контрольованих перерізах системи, формування сигналу, пропорційного величині економічних збитків від відхилення перетоку потужності в контрольованих перерізах від допустимої величини потужності, вимірювання значення частоти в електроенергетичній системі, визначення чутливості параметрів режиму роботи системи до зміни вузлових навантажень, формування сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення величини частоти від номінальної величини, додавання цього сигналу до сигналу, який пропорційний економічному збитку від відхилення перетікань потужностей по контрольованих перерізах, порівняння отриманого сигналу із сигналом, пропорційним величині допустимих, економічно обґрунтованих збитків, обумовлених властивостями та технологічними умовами роботи електричної мережі, який є уставкою регулювання, врахування коефіцієнта якості функціонування регулювання під навантаженням та визначення коефіцієнта втрат, коефіцієнта залишкового ресурсу по параметру накопиченого комутованого струму, залишкового струму комутації, коефіцієнта ресурсу по параметру кількості перемикачів, вагових коефіцієнтів, вартості понаднормованих технічних втрат потужності, сумарної вартості, який **відрізняється** тим, що одночасно вимірюють миттєві значення струмів та напруг, за якими обчислюються додаткові втрати, зумовлені несинусоїдністю струму і напруги, з'являються додаткові втрати потужності $\Delta P_{\text{неопт}}$ при цьому визначення коефіцієнта втрат буде виконуватись за виразом:

$$K_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}} + \Delta P_{\text{дод}} - \Delta P_{\text{опт}}}{\Delta P_{\text{опт}}},$$

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, $\Delta P_{\text{дод}}$ - додаткові втрати, зумовлені несинусоїдністю струму;

відповідно вартість понаднормованих технічних втрат потужності визначається за виразом:

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

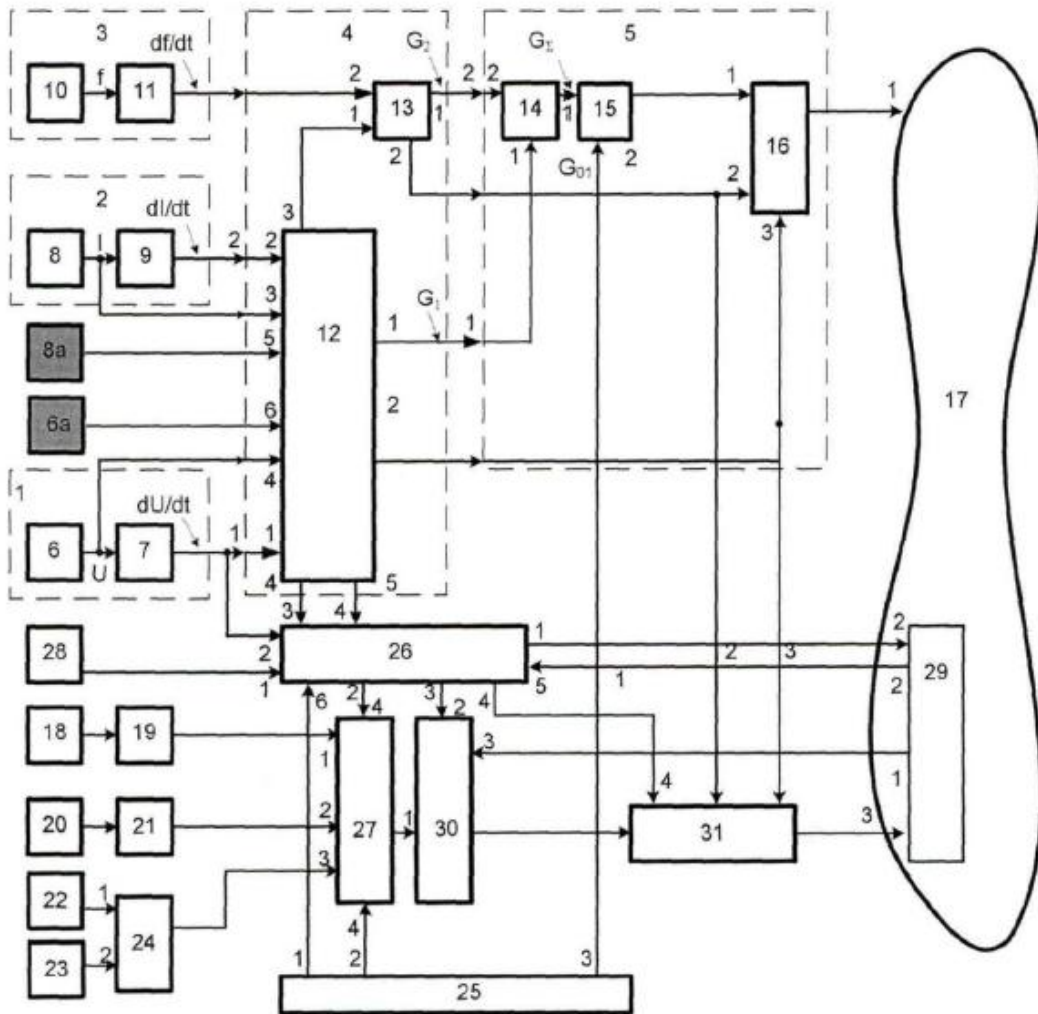
а коефіцієнт впливу РПН і-того трансформатора на загальносистемні втрати ($K_{\text{вплив},i}$)

знаходить за виразом:

$$K_{\text{вплив},i} = \frac{\Delta P_{\text{невик},i} - \Delta P_{\text{опт},i}}{\Delta P_{\text{опт},i}},$$

де: $\Delta P_{\text{невик},i}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок невикористання перемикачів РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{дод},i}$ - додаткові загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, зумовлені несинусоїдністю струмів і напруг внаслідок невикористання перемикачів РПН і-того трансформатора, $\Delta P_{\text{опт},i}$ - загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач внаслідок використання РПН і-того трансформатора

з метою встановлення оптимального положення РПН з урахуванням обмежень за напругою у вузлах, за струмами у гілках, та за крайніми положеннями РПН.



5