

УДК 681.5.015:303.092.5.621.311.631.11

П. Д. Лежнюк, д. т. н., проф.; О. Є. Рубаненко, к. т. н., доц.; О. І. Казьмірук
ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЕС З
УРАХУВАННЯМ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСФОРМАТОРІВ ІЗ РПН

Удосконалено метод визначення керувальних впливів трансформаторами з РПН з урахуванням коефіцієнта якості їхнього функціонування, використання якого дозволяє оцінити доцільність здійснення керувальних впливів і зменшити витрати, зумовлені пошкодженням трансформаторів. Запропоновано під час визначення коефіцієнта якості трансформаторів із РПН урахувати технічний стан системи охолодження.

Ключові слова: система охолодження, силовий трансформатор, оптимальне керування, нормальні режими, електроенергетична система.

Вступ

Властивістю сучасних ЕЕС, яка ускладнює процес керування і значно зменшує ефективність керувальних впливів, є зростання частки обладнання, яке відпрацювало нормативний термін. У разі необхідності продовження його експлуатації, актуальною стає проблема визначення поточного стану та залишкового ресурсу. У багатьох країнах світу, а серед них і в Україні, частка обладнання, яке відпрацювало свій паспортний ресурс, перевищила половину [1, 2]. Тому ознакою сьогодення є підвищення вимог забезпечення безаварійної експлуатації такого обладнання. Це зумовлено зниженням темпів створення нового обладнання, зростанням потужності енергооб'єктів і підсиленням конкуренції між енергокомпаніями, до якої призвів перехід до енергоринку.

Відповідність поточного й оптимального значень критерію оптимальності (втрат потужності) в ЕЕС досягається за рахунок підвищення інтенсивності роботи регулювальних пристроїв (РП). Це призводить до додаткового спрацювання їхнього технічного ресурсу, зниження надійності функціонування, що, як наслідок, призводить до відмов і збитків, іноді співвимірних і навіть більших за техніко-економічний ефект, який досягається в результаті оптимізації. Тому необхідно розробляти математичні моделі для оптимального керування нормальними режимами (НР) електроенергетичної системи з урахуванням технічного стану РП. Це дозволяє більш ефективно використовувати трансформатори з РПН для зменшення втрат електроенергії під час її транспортування.

Тому, зважаючи на все вищезазначене, мета дослідження полягає у зменшенні втрат потужності в електроенергетичних системах за рахунок удосконалення керування параметрами нормальних режимів з урахуванням регулювальної здатності трансформаторів з РПН і їхнього технічного стану.

Матеріал і результати дослідження. Оперативний персонал, формуючи керувальні впливи, ураховує технічний стан електрообладнання. Вибір трансформатора, який краще використовувати для оптимального керування нормальними режимами ЕЕС, здійснюють, ураховуючи такі умови: перемикання бажано реалізувати найбільш надійним трансформатором, тому що пошкодження трансформатора під час перемикань призводить до витрат на його ремонт, які можуть значно перевищити збитки від роботи енергосистеми в неоптимальному режимі в разі відмови від застосування ненадійного трансформатора; використання під час керування параметрами НР трансформатора, у якого (порівняно з іншими) кращий технічний стан, для забезпечення їхніх оптимальних значень не завжди забезпечує оптимальний режим роботи, тому що трансформатор може бути нечутливий до підтримання режиму в цей момент; розрахункова кількість перемикань для підтримання

оптимального режиму (деякі трансформатори можна перевести в категорію обладнання з аварійно низьким залишковим ресурсом, а для інших трансформаторів – лише незначним чином зменшити їхній ресурс).

Тому запропоновано як критерій вибору трансформатора, яким краще здійснювати перемикання, і вибору кількості перемикань використовувати коефіцієнт якості функціонування. Коефіцієнт якості функціонування враховує надійнісні характеристики трансформатора (зокрема залишковий ресурс), навантаження трансформатора та чутливість зміни втрат потужності в ЕЕС до перемикань РПН саме цього трансформатора. Перемикання потрібно здійснювати таким трансформатором, у якого коефіцієнт якості функціонування найвищий [2]. Вибрати відповідний трансформатор складно, урахувавши те, що потрібно мінімізувати втрати і забезпечити надійність роботи РПН (зменшити кількість відмов у роботі РПН).

Розглянемо задачу знаходження коефіцієнта якості функціонування трансформатора залежно від його впливу на втрати в енергосистемі та його залишкового ресурсу. Коефіцієнт якості функціонування трансформатора є комплексним параметром, який урахує не лише можливість трансформатора перетворювати електроенергію, а й можливість ефективно впливати на режим енергосистеми [3 – 4], і визначається за виразом:

$$k_{\text{як.функ}} = (a_1 + a_2) \cdot k_{\text{рес.перем}} \cdot k_{\text{рес.охол}} \cdot k_{\text{рес I}} \cdot a_3 \cdot k_{\text{втрат}}, \quad (1)$$

де $k_{\text{втрат}}$ – коефіцієнт втрат активної потужності під час передавання електричної енергії по лініях електропередач; $k_{\text{рес.перем}}$ – коефіцієнт залишкового ресурсу трансформатора за параметром кількості перемикань РПН; a_1, a_2, a_3 – вагові коефіцієнти; $k_{\text{рес I}}$ – коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «накопичений комутований струм»; ($k_{\text{рес.охол}}$) – коефіцієнт залишкового ресурсу системи охолодження трансформатора.

Коефіцієнт втрат розраховують за виразом (2):

$$k_{\text{втрат}} = \frac{\Delta P_{\text{неопт}} - \Delta P_{\text{опт}}}{\Delta P_{\text{неопт}}}, \quad (2)$$

де $\Delta P_{\text{опт}}$ – оптимальне значення втрат активної потужності для поточного режиму ЕЕС; $\Delta P_{\text{неопт}}$ – значення втрат активної потужності за відмови від перемикань цим трансформатором.

Коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «накопичений комутований струм» визначають за формулою (3):

$$k_{\text{рес I}} = \frac{I_{\text{нак.зал}} - \sum_{m=1}^n I_{\text{ком.т}}}{I_{\text{гран.нак}}}, \quad (3)$$

де $I_{\text{нак.зал}}$ – залишок накопиченого РПН комутowanego струму визначають за формулою (4):

$$I_{\text{нак.зал}} = I_{\text{гран}} - I_{\text{нак.пот}}, \quad (4)$$

де $I_{\text{ком.т}}$ – струм через РПН під час t -ного перемикання, t – номер перемикання, n – кількість потрібних перемикань для досягнення оптимального режиму, $I_{\text{гран}}$ – граничне значення накопиченого РПН комутowanego струму (з технічної документації на РПН).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром кількості перемикань РПН після i -тої серії перемикань за формулою (5):

$$k_{\text{рес.перем. } i} = \frac{n_{\text{зал } i-1} - n_i}{n_{\text{гран}}}, \quad (5)$$

де $n_{\text{зал } i-1}$ – залишкова кількість перемикачів РПН після $i-1$ -ої серії перемикачів, яку визначають за виразом (6)

$$n_{\text{зал } i-1} = n_{\text{гран}} - n_{\text{до}}, \quad (6)$$

де $n_{\text{гран}}$ – гранична кількість перемикачів РПН (із технічної документації на РПН); $n_{\text{до}}$ – кількість перемикачів, виконаних РПН до $i-1$ -ої серії перемикачів; n_i – кількість перемикачів під час i -тої серії перемикачів.

Вагові коефіцієнти визначають за виразами (7 – 9):

$$a_1 = \frac{B_1}{B_{\text{сум}}}, \quad (7)$$

$$a_2 = \frac{B_2}{B_{\text{сум}}}, \quad (8)$$

$$a_3 = \frac{B_3}{B_{\text{сум}}}, \quad (9)$$

де B_1, B_2 – вартість втраченої електричної енергії в результаті роботи за ремонтною схемою та вартість ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження під час оперативних перемикачів відповідно.

А вартість понаднормованих технічних втрат потужності визначають за виразом (10):

$$B_3 = (\Delta P_{\text{пот}} - \Delta P_{\text{норм}}) \cdot \tau \cdot C, \quad (10)$$

де $\Delta P_{\text{пот}}$ – поточне значення втрат активної потужності; C – вартість 1 кВт·год електроенергії транспортованої по мережах ЕЕС; τ – тривалість періоду між перемикачними, годин; $\Delta P_{\text{норм}}$ – нормативне значення технічних втрат активної потужності.

А сумарну вартість електричної енергії ($B_{\text{сум}}$) визначають за виразом (11):

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + B_3. \quad (11)$$

Коефіцієнт залишкового ресурсу ($k_{\text{рес.охол } j,i}$) одного j -того охолоджувача, який змінюється у процесі експлуатації від 1 до 0 в. о. для одного охолоджувача, визначають за виразом (12):

$$k_{\text{рес.охол } j,i} = \frac{\Delta t_{\text{ном } j,i}}{\Delta t_{\text{справ } j,i}}, \quad (12)$$

де i – це номер режиму навантаження (i -тої серії перемикачів РПН), $k_{\text{рес.охол } j,i}$ залежить від різниці температур трансформаторного масла перед та після охолоджувача, $\Delta t_{\text{ном } j,i}$ – поточне значення різниці температур для i -того режиму j -того охолоджувача, $\Delta t_{\text{справ } j,i}$ – значення різниці температур справного трансформатора для i -того режиму j -того охолоджувача.

Використовують загальний коефіцієнт залишкового ресурсу всіх охолоджувачів, який розраховують за виразом (13):

$$k_{\text{рес.охол}} = \sum_{i=1}^n \lambda \cdot k_{\text{рес } i,j}, \quad (13)$$

де $\lambda = 1/\Omega$ – коефіцієнт, який враховує вплив кожного охолоджувача на коефіцієнт загального залишкового ресурсу системи охолодження; Ω – кількість охолоджувачів (погіршення стану одного охолоджувача на інший не впливає).

Далі формують регулювальний сигнал на РПН трансформатора, пропорційний до відхилення поточних сумарних втрат потужності в електроенергетичній системі від їхніх 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; за необхідності, коригують раніше сформований регулювальний сигнал, який передають на привід РПН трансформатора [5]. На рис. 1 показано функціональну схему автоматизованої системи регулювання режиму електроенергетичної системи [6].

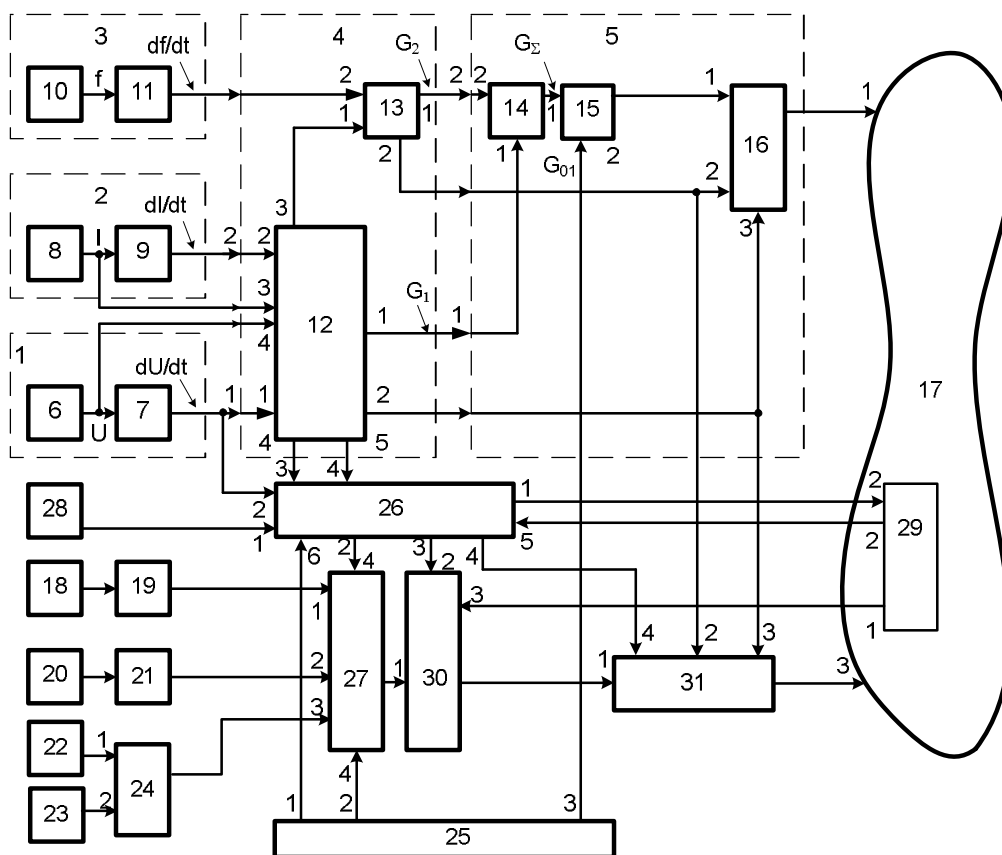


Рис. 1. Схема автоматизованої системи оптимального керування параметрами НР ЕЕС

Алгоритм роботи системи оптимального керування параметрами НР ЕЕС з урахуванням технічного стану системи охолодження трансформатора

Під час визначення швидкості відхилення напруги в блоці визначення швидкості відхилення напруги 1 сигнал із вимірювального органу напруги 6 надходить до диференціального органу напруги 7, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни напруги в контрольованих вузлах системи. Для визначення швидкості відхилення струму в блоці визначення швидкості відхилення струму 2 сигнал із вимірювального органу струму 8 надходить до диференціального органу струму 9, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості зміни струму в контрольованих перерізах системи.

Швидкість відхилення частоти (у блоці визначення швидкості відхилення частоти 3) визначають з урахуванням сигналу, який надходить із вимірювального органу частоти 10 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 подаються відповідно на перший та другий входи блоку 4 визначення чутливості режиму електричної мережі до зовнішніх збурень, де на першому виході першого обчислювального блоку 12 формується вихідний сигнал, пропорційний збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перетинам від їхніх оптимальних значень. У першому обчислювальному блоці 12 обчислюють швидкість зміни потужності в лініях електропередач, визначають перетоки потужності в кожній з ліній, потужність вузлового навантаження, часткову похідну $\left[\frac{dU}{dS} \right]$, що відповідає залежності

зміни напруги від зміни вузлової потужності. Ці параметри використовують під час формування вихідного сигналу, пропорційного до збитків від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перетинам від їхніх оптимальних значень.

На другому виході першого обчислювального блоку 12 формується сигнал про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням. На третьому виході першого обчислювального блоку 12 формують сигнал, пропорційний швидкості зміни вузлового навантаження.

Сигнали з виходу диференціального органу частоти 11 блоку 3 визначення швидкості відхилення частоти та сигнал з третього виходу першого обчислювального блоку 12 надходять відповідно на другий і перший входи другого обчислювального блоку 13, у якому визначають швидкість зміни частоти в системі $\frac{df}{dS}$ і порівнюють відхилення поточного значення частоти від номінального значення частоти.

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

У суматорі 14 блоку 5 формування сигналів керування режимом роботи електроенергетичної системи додають сигнал із першого виходу першого обчислювального блоку 12 до сигналу з першого виходу другого обчислювального блоку 13, які надходять, відповідно, на перший та другий входи суматора 14. Сигнал з першого виходу першого обчислювального блоку 12 пропорційний збиткам від відхилення перетоків потужностей по контрольованим перерізам. А сигнал з першого виходу другого обчислювального блоку 13 пропорційний економічному збиткові від відхилення величини частоти від максимально допустимого значення такого відхилення.

Сигнал (G) із виходу суматора 14 передається на перший вхід органу порівняння 15, у якому його порівнюють із 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 блоку порівняння 15. За виконання умови $G \geq G_0$ сигнал з виходу блоку 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 блоку 12, а на другий вхід органу керування 16 подається сигнал про наявність відхилення величини частоти від максимального значення такого відхилення з другого виходу другого обчислювального блоку 13. З урахуванням сигналів на входах органу керування 16 формується сигнал на його виході.

Із виходу органу керування 16 сигнал у вигляді регулювальних упливів 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 (вимірюють одразу по закінченню протікання пускового струму, за умови, що струм усталеного режиму не перевищує похибки засобів його контролю).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «накопичений комутований струм» привода РПН, і тим самим контролюють, чи не перевищує струм двигуна встановлене значення. Для цього на вхід третього обчислювального блоку 19, у якому обчислюють значення коефіцієнта залишкового ресурсу за параметром «накопичений комутований струм» привода РПН, надходить сигнал з виходу сенсора струму 18 електричного двигуна, який встановлений у шафі керування РПН.

Із виходу третього обчислювального блоку 19 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу за параметром «накопичений комутований струм», подається на перший вхід сьомого блоку обчислень 27, у якому обчислюють значення коефіцієнта якості функціонування РПН.

Коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «накопичений комутований струм» обчислюють за формулою (3).

Коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «кількість перемикачів» визначають у четвертому обчислювальному блоці 21. Вимірюють кількість перемикачів РПН для кожного трансформатора за допомогою сенсора кількості перемикачів РПН 20, який встановлений у шафі керування РПН. Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «кількість перемикачів» для кожного трансформатора. Для цього на вхід четвертого обчислювального блоку 21 передають сигнал із виходу сенсора кількості перемикачів РПН 20. Із виходу четвертого обчислювального блоку 21 сигнал, пропорційний коефіцієнту залишкового ресурсу за параметром «кількість перемикачів», подають на другий вхід сьомого блоку обчислень 27.

Коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «кількість перемикачів» обчислюють за формулою (5).

Визначають коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «різниця температур між входом і виходом охолоджувача» в п'ятому обчислювальному блоці 24. Для цього на перший вхід п'ятого обчислювального блоку 24 передають сигнал із виходу сенсора температури на вході охолоджувача 22; на другий вхід п'ятого обчислювального блоку 24 передають сигнал із виходу сенсора температури на виході охолоджувача 23. Коефіцієнт залишкового ресурсу за параметром «різниця температур трансформаторної оливи перед та після охолоджувача» обчислюють за формулою (12).

У шостому блоці обчислення 26 впливу перемикачів РПН обчислюють загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач, оптимальну кількість перемикачів, коефіцієнт впливу перемикачів РПН контрольованим z -тим трансформатором (де z – номер трансформатора) на загальносистемні втрати потужності з урахуванням обмежень: за напругами у вузлах, за струмами у вітках, за крайніми положеннями вибирача РПН та за зоною нечутливості РПН. Обмеження задають та коригують у шостому блоці обчислення 26 за допомогою сигналу, який подають із першого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини 25 на шостий вхід п'ятого блоку обчислення 26.

Сигнал із вимірювального органу напруги 6 та сигнал із вимірювального органу струму 8 також подають відповідно на третій та четвертий входи першого. Із четвертого та п'ятого виходів блоку 12 сигнали передаються відповідно на третій та четвертий входи шостого блоку обчислення 26 впливу перемикачів РПН. З другого виходу цього блоку сигнал, пропорційний коефіцієнту впливу перемикачів РПН контрольованого трансформатора, подають на п'ятий вхід сьомого блоку обчислень 27 коефіцієнта якості функціонування.

Сигнал з четвертого виходу блоку 12 пропорційний навантаженню підстанції. Сигнал з п'ятого виходу блоку 12 пропорційний потужності, яка передається по лініях електропередач підстанції.

На перший вхід шостого блоку обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал із виходу сенсора положення приводу РПН 28, який відповідає номеру ступені регулювання. На другий вхід шостого блоку обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал із виходу вимірювального органу напруги 6. На п'ятий вхід шостого блоку обчислення 26 впливу перемикачів РПН подають сигнал із другого виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи 29. Цей сигнал несе інформацію про потужності у вітках та вузлах схеми електроенергетичної системи. Із першого виходу шостого блоку обчислення 26 подають сигнал на другий вхід оперативно-інформаційного комплексу 29 електроенергетичної системи 17. Цей сигнал несе інформацію про потужності навантаження й віток контрольованої підстанції. Коефіцієнт впливу РПН z -того трансформатора на загальносистемні втрати ($k_{\text{впливу } m, i}$) знаходять за виразом:

$$k_{\text{впливу } m, i} = \frac{\Delta P_{\text{невик } i} - \Delta P_{\text{опт } i}}{\Delta P_{\text{невик } i}},$$

де $\Delta P_{\text{невик } i}$ – загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач унаслідок невикористання перемикачів РПН z -того трансформатора, $\Delta P_{\text{опт } i}$ – загальносистемні втрати потужності в лініях електропередач унаслідок використання РПН z -того трансформатора з метою встановлення оптимального положення РПН з урахуванням обмежень за напругою у вузлах, за струмами у вітках та за крайніми положеннями РПН.

Із виходу третього обчислювального блоку 19 сигнал подають на перший вхід сьомого обчислювального блоку 27, у якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

Із виходу четвертого обчислювального блоку 21 сигнал подають на другий вхід сьомого обчислювального блоку 27, у якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

Із виходу п'ятого обчислювального блоку 24 сигнал подають на другий вхід сьомого обчислювального блоку 27, у якому визначають значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора.

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

Визначають коефіцієнт якості функціонування трансформатора з урахуванням коефіцієнта залишкового ресурсу РПН за параметром «накопичений кумутований струм», коефіцієнта залишкового ресурсу РПН за параметром «кількість перемикачів», коефіцієнта залишкового ресурсу РПН за параметром «різниця температур між входом і виходом охолоджувача», коефіцієнта впливу перемикачів РПН z -тим трансформатором на загальносистемні втрати потужності, вартість втраченої електричної енергії в результаті роботи за ремонтною схемою, вартість ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження під час оперативних перемикачів, вартість понаднормованих технічних втрат потужності.

Інформацію про вартість втраченої електричної енергії в результаті роботи за ремонтною схемою, вартість ремонту РПН трансформатора в разі його пошкодження під час оперативних перемикачів, вартість понаднормованих технічних утрат потужності подають з другого виходу переносної персональної електронної обчислювальної машини на четвертий вхід сьомого обчислювального блоку 27.

Із першого виходу оперативно-інформаційного комплексу електроенергетичної системи

29 подають сигнал про зміну активної потужності у вузлах на восьмий обчислювальний блок 30.

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

За результатами ранжування вибирають трансформатор із більшим значенням коефіцієнта якості функціонування.

Далі формують регулювальний сигнал на РПН вибраного трансформатора пропорційно до відхилення поточних сумарних утрат потужності в ЕЕС від їхніх оптимальних значень з урахуванням значення коефіцієнта якості функціонування трансформатора для поточного режиму; сигналу про наявність перевищення потужності, яка передається по лініях електропередач над максимальним допустимим значенням потужності цих ліній. Для цього сигнал із виходу блоку вибору трансформатора 30 подають на перший вхід формувача сигналу на РПН трансформатора 31, із виходу якого сигнал подають 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 подають сигнал про кількість перемикачів РПН вибраного трансформатора з четвертого виходу шостого обчислювального блоку 26, а на другий і третій входи формувача сигналу на РПН трансформатора 29 подають сигнали з інших виходів: відповідно першого обчислювального блоку 12 та другого обчислювального блоку 13. Ці сигнали блокують формування сигналу на виході формувача сигналу на РПН трансформатора 31 в аварійному режимі роботи електроенергетичної системи.

Висновки

Вдосконалення методу визначення керувальних впливів трансформаторами РПН на нормальні режими ЕЕС виправдано здійснювати з урахуванням технічного стану системи охолодження, що дозволить підвищити якість функціонування та надійність цих трансформаторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О. В. Інформатизація та інтелектуалізація систем керування в електроенергетиці: деякі підсумки за останні роки / О. В. Кириленко, А. В. Праховник // Технічна електродинаміка: спеціальний випуск. – 2010. – С. 10 – 17.
2. Алексеев Б. А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов / Б. А. Алексеев. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 216 с.
3. Рубаненко О. Є. Контроль та покращення навантажувальної здатності трансформатора / О. Є. Рубаненко, О. І. Казмирук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 6 – С. 63 – 68.
4. Лежнюк П. Д. Оперативне діагностування трансформаторів в задачах оптимального керування / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко // Вісник Хмельницького національного технічного університету. – 2007. – № 2. – С. 185 – 189.
5. Лежнюк П. Д. Оптимальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з урахуванням планового значення технічних втрат потужності / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 1. – С. 86 – 90.
6. Пат. 61058 Україна, МПК⁸ Н 02 J 3/24. Спосіб оптимального керування нормальними режимами

електроенергетичної системи / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко; заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201014272. – заявл. 29.11.10 ; опубл. 11.07.11. Бюл. № 13, 2011 р.

Лежнюк Петро Дем'янович – д. т. н., професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем.

Рубаненко Олександр Євгенійович – к. т. н., доцент кафедри електричних станцій і систем.

Казьмірук Олег Іванович – асистент кафедри електричних станцій і систем.
Вінницький національний технічний університет.