

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ОБ'ЄКТІВ З ПРИЙМАЧАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРОМИСЛОВОЇ ЧАСТОТИ

Наведено обґрунтування та розглянуто особливості використання запропонованої моделі ефективності функціонування енергоємних об'єктів з приймачами електроенергії промислової частоти. Описано методикку проведення досліджень і подані результати впровадження та практичного використання моделі.

На сьогодні питанням раціонального використання електроенергії приділяється все більше уваги як в Україні, так і за кордоном. Загальновідомі фактори зумовлюють надзвичайно високу актуальність проблеми підвищення ефективності електроспоживання промисловими підприємствами [1]. Трифазна передача електричної енергії є задовільною лише для симетрії та синусоїдності напруг і струмів, а також за умови, що зміни напруг і струмів відбуваються з частотою, меншою ніж 0,02 Гц [2]. На електричних станціях виробляється електроенергія, показники погіршення якості якої в 20-25 разів менші за допустимі міжнародними та національними стандартами [2]. Процес погіршення якості відбувається в приймачі електроенергії та спостерігається в пунктах їх приєднання до трифазної мережі. Причиною погіршення якості електроенергії є нераціональна схема споживання приймача, обумовлена несиметричними, несинусоїдними та/або різко змінними навантаженнями приймача [1-9]. Наслідком погіршення якості електроенергії стало зниження ефективності електропостачання: перегрів та вихід з ладу устаткування, збої в роботі, перерви технологічного процесу, збільшення втрат енергії в електричній мережі та технологічному навантаженні [2]. При цьому економічні збитки притаманні як постачальникам, так і приймачам електроенергії.

Побудова коректної та адекватної відповідно згідно з поставленою метою моделі об'єкта є важливою задачею будь-якого дослідження [10]. Це в повній мірі відноситься і до задачі оцінки ефективності функціонування насамперед енергоємних об'єктів з точки зору споживання електроенергії в умовах експлуатації, чого можна досягти завдяки застосуванню щодо електроенергетичних задач сучасних досягнень в області їх математичного моделювання, обчислювальних методів і програмування [11-13].

Експериментальну перевірку запропонованої в [14] моделі ефективності функціонування енергоємних об'єктів, обладнаних силовими і освітлювальними приймачами електроенергії промислової частоти, здійснено на основі результатів вимірювання факторів інтегральної напруги

$$F_{\left\{m_i, i=\overline{1, n}\right\}} \Big|_{s=\left\{0; 1; \dots; INT(m_i, -1)\right\}} = \int_0^{\Delta t} \left(\frac{U_{kj}}{U_{nom}} \right)^{m_i - s} dt \quad (1)$$

згідно з висвітленими методикою та особливостями їх використання.

Тут U_{nom} і U_{kj} — середні квадратичні номінальна і поточна напруги живлення приймачів електроенергії промислової частоти;

k — індекс для позначення кроку зміни середньої квадратичної напруги живлення;

m_i — показники степенів, які характеризують ступінь взаємозв'язку між електрозалежними параметрами приймачів електроенергії та середньою квадратичною

напругою їх живлення та наведені як в нормативних документах, так і в іншій науково-технічній літературі.

Спочатку досліджено ефективність функціонування силового та освітлювального електрообладнання, яке живиться від однієї трансформаторної підстанції. Потужність кожного з шести двигунів і кожної з 288 люмінесцентних ламп становили 3,0 кВт і 40 Вт відповідно. Також був вибраний найгірший варіант за впливом силових приймачів електроенергії на освітлення робочих поверхонь.

Засоби вимірювань факторів інтегральної напруги під'єднували до затискачів живлення приймачів електроенергії промислової частоти на початку, посередині та наприкінці електричної лінії з метою визначення втрат напруги посередині і наприкінці цієї лінії. Дані втрати в подальшому застосовувались для уточнення функції оцінки ефективності експлуатації об'єкта, а саме — зведених витрат. Тривалість досліджень становила 32 доби, включаючи як робочі, так і вихідні дні. Досліджуваний об'єкт функціонує цілодобово. Отриману інформацію про фактори інтегральної напруги фіксували щодоби, якщо вона не слідувала за вихідними днями і не передувала їм. Інакше інформацію знімали через три доби — одну робочу і дві неробочих.

Грунтуючись на отриманих значеннях факторів інтегральної напруги та часу, за який вони виміряні, за допомогою відповідної програми на комп'ютері обчислені: дійсні усереднені за 24 год потужність одного електродвигуна $P_{D\alpha\beta k}$, потужність однієї люмінесцентної лампи $P_{EL\alpha\beta k}$, створювана люмінесцентними лампами освітленість на робочих поверхнях $E_{\alpha\beta k}$, витрати ресурсу ламп $\tau_{\alpha\beta k}$.

Тут α — індекс для позначення часового перерізу у відповідні доби дослідження, причому $\alpha = \overline{1,23}$; $\beta = \overline{1,6}$ — індекс для позначення ряду, в якому розміщений приймач електроенергії. Згідно з паспортними даними і нормативно-технічною літературою номінальні потужності двигуна і люмінесцентної лампи, створювана останніми на робочих поверхнях освітленість, витрата ресурсу ламп становлять відповідно 3,0 кВт, 40 Вт, 300 лк і 24 год. На підставі обчислених величин $P_{D\alpha\beta k}$, $P_{EL\alpha\beta k}$, $E_{\alpha\beta k}$, $\tau_{\alpha\beta k}$ ($\alpha = \overline{1,23}$, $\beta = \overline{1,6}$) визначені для кожного α -го часового перерізу:

- 1) середні значення величин — потужності електродвигуна, потужності і терміну служби люмінесцентних ламп, а також створюваної ними на робочих поверхнях освітленості (згідно з [15]):

$$\overline{P_{D\alpha k}} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 P_{D\alpha\beta k}; \quad (2)$$

$$\overline{P_{EL\alpha k}} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 P_{EL\alpha\beta k}; \quad (3)$$

$$\overline{\tau_{\alpha k}} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 \tau_{\alpha\beta k}; \quad (4)$$

$$\overline{E_{\alpha k}} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 E_{\alpha\beta k}; \quad (5)$$

- 2) середні значення квадратів цих параметрів (у відповідності до [15]):

$$\overline{P_{D\alpha k}^2} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 P_{D\alpha\beta k}^2; \quad (6)$$

$$\overline{P_{EL\ \alpha k}^2} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 P_{EL\ \alpha\beta k}^2 ; \quad (7)$$

$$\overline{\tau_{\alpha k}^2} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 \tau_{\alpha\beta k}^2 ; \quad (8)$$

$$\overline{E_{\alpha k}^2} = \frac{1}{6} \sum_{\beta=1}^6 E_{\alpha\beta k}^2 . \quad (9)$$

У виразах (2) ... (9) $\alpha = \overline{1,23}$.

Обчислені середні значення величин $\overline{P_{D\alpha k}}$, $\overline{P_{EL\alpha k}}$, $\overline{\tau_{\alpha k}}$, $\overline{E_{\alpha k}}$ та середні значення квадратів величин $\overline{P_{D\alpha k}^2}$, $\overline{P_{EL\alpha k}^2}$, $\overline{\tau_{\alpha k}^2}$, $\overline{E_{\alpha k}^2}$ по всіх α -х часових перерізах ($\alpha = \overline{1,23}$) є різні.

Тоді згідно з викладеним в [15] для перевірки гіпотези про стаціонарність споживаних двигунами і люмінесцентними лампами потужностей, витрати ресурсу люмінесцентних ламп і створюваної ними на робочих поверхнях освітленості доцільно застосувати критерії серій.

Для цього визначаємо медіани 23-х обчислених середніх значень $\overline{P_{D\alpha k}}$, $\overline{P_{EL\alpha k}}$, $\overline{\tau_{\alpha k}}$, $\overline{E_{\alpha k}}$ і $\overline{P_{D\alpha k}^2}$, $\overline{P_{EL\alpha k}^2}$, $\overline{\tau_{\alpha k}^2}$, $\overline{E_{\alpha k}^2}$.

Прийmemo, що обчислені середні значення величин $\overline{P_{D\alpha k}}$, $\overline{P_{EL\alpha k}}$, $\overline{\tau_{\alpha k}}$, $\overline{E_{\alpha k}}$ та середні значення квадратів величин $\overline{P_{D\alpha k}^2}$, $\overline{P_{EL\alpha k}^2}$, $\overline{\tau_{\alpha k}^2}$, $\overline{E_{\alpha k}^2}$, які більші за відповідну медіану, мають знак „плюс”, а менші за неї — знак „мінус”. В результаті отримуємо послідовності 23-х обчислених середніх значень цих величин, яким відповідають 12, 11, 13, 9 і 12, 11, 13, 9 серій. Область прийняття гіпотези про стаціонарність для рівня

значимості α_1 визначається інтервалом $\left[r_{11; 1 - \frac{\alpha_1}{2}} < r \leq r_{11; \frac{\alpha_1}{2}} \right]$, де 11 — число, що

дорівнює половинній кількості часових перерізів; $\left[r_{11; 1 - \frac{\alpha_1}{2}} \right]$, $r_{11; \frac{\alpha_1}{2}}$ — числа, які

наведені в табл. 4.11 [15]. Відповідно до поданих у вказаній таблиці даних для рівня значимості $\alpha_1 = 0,05$ маємо

$$r_{11; 1 - \frac{\alpha_1}{2}} = r_{11; 0,975} = 7 \text{ і } r_{11; \frac{\alpha_1}{2}} = r_{11; 0,025} = 16 .$$

Отже, отримані числа серій 12, 11, 13, 9, 12, 11, 13 і 9 входять в інтервал 7 ... 16. Згідно з [15], впливає такий висновок: для рівня значимості 0,05 гіпотезу про стаціонарність потужностей двигунів і люмінесцентних ламп, створюваної останніми на робочих поверхнях освітленості та їх терміну служби від функції робочих діб можна прийняти.

На підставі інформації про фактори інтегральної напруги на початку та наприкінці електричної лінії оцінені втрати напруги

$$U_{b\alpha\beta k(\Pi-K)} = \frac{U_{ek\alpha\beta k \Pi} - U_{ek\alpha\beta k K}}{U_{nom}} \cdot 100\% , \alpha = \overline{1, 23} , \beta = \overline{1, 6} , \quad (10)$$

де $U_{b\alpha\beta k(\Pi-K)}$ — втрати напруги наприкінці електричної мережі живлення по відношенню до її початку для α -го заміру у β -му ряді приймачів електроенергії у %; $U_{b\alpha\beta k \Pi}$ та $U_{b\alpha\beta k K}$ — еквівалентні втрати напруги в мережі на початку та наприкінці електричної лінії для α -го заміру у β -му ряді приймачів електроенергії, причому розраховані для випадку найбільшого m_i .

Результати обчислень свідчать, що втрати напруги наприкінці електричної лінії по відношенню до її початку не перевищують 0,5 % від номінального значення. Для подальших розрахунків втрати напруги в лінії прийняті $U_b = 0,5\%$.

Беручи до уваги результати досліджень та їх обробки на першому етапі, можна констатувати: інтервалом часу, протягом якого та наступних за ним з цією довжиною однорідних інтервалів часу послідовність, що утворена значеннями споживаних двигунами та люмінесцентними лампами потужностей, терміну служби останніх і створеної на робочих поверхнях освітленості, є стаціонарним випадковим процесом, може бути одна робоча доба.

Враховуючи, що оцінені втрати напруги в електричній лінії, то в подальших дослідженнях засоби вимірювань факторів інтегральної напруги під'єднували до затискачів ближнього по відношенню до трансформаторної підстанції приймача електроенергії на одну робочу добу. Інформацію про фактори інтегральної напруги у вказаних точках електричної мережі знімали в початковий і кінцевий моменти добових замірів.

Завдяки одержаній інформації обчислені зведені витрати на експлуатацію досліджуваних приймачів електроенергії промислової частоти в режимі їх роботи, що відповідає k -му кроку регулювання напруги живлення. Використовуючи математичну модель ефективності функціонування енергоємних об'єктів, обладнаних приймачами електроенергії промислової частоти, визначено відхилення напруги від його оптимального значення, завдяки якому здійснено регулювання напруги живлення шляхом зміни відгалужень трансформатора.

Висновки. В результаті впровадження та дослідження запропонованої моделі зменшено на 11 % кількість споживаної приймачами електроенергії, а також на 18 % витрати люмінесцентних ламп від їх загальної кількості.

Подальше підвищення ефективності експлуатації енергоємних об'єктів з точки зору енергоспоживання буде проводитись шляхом удосконалення методів і засобів їх математичного та комп'ютерного моделювання, а також розробки методик впровадження результатів такого моделювання в практику.

The purpose of this paper is to present grounds and examine the peculiarities of the proposed effectiveness model of power-consuming units with electric power receivers of mains frequency. Both research approaches of exploring and the results of implementation and practical use of the model are produced in this study, too.

Література

1. Рогальський Б.С. Управління енергозбереженням на промислових підприємствах // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 3. – С. 169-172.
2. Музиченко О.Д. Аспекти вирішення правових відносин між постачальником та приймачами при погіршенні якості електричної енергії // Технічна електродинаміка. – 1997. – № 6. – С. 46-52.
3. Шидловська Н.А. Вплив нелінійних елементів на параметри чотириполосників // Технічна електродинаміка. – 1996. – № 2. – С. 46-48.
4. Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
5. Майер В.Я. и др. Методика определения долевых вкладов потребителя и электроснабжающей организации в ухудшении качества электроэнергии // Электричество. – 1994. – № 9. – С. 19-24.

6. Duggan E., Morrison R. New technique is developed to determine harmonic impedance // Trans. and Distrib. Inf. – 1992. – 3, № 2. – P. 32-34.
7. Fischer D.K. Duke plans future residential metering // Elec. World. – 1991. – 205, № 9. – P. 107-108.
8. Garner G. Power quality – an evolving concern for electric utilities // Transmiss. and Distribut. – 1992. – 44, № 5. – P. 32-34, 36-37.
9. Roser T., Schlegel T. Berechnung von Netzruckwirkungen // ETZ, Elektrotechnik und Automation für Experten. – 1992. – № 12. – S. 728-737.
10. Авраменко В.Н., Недзельский И.С. О математических моделях анализа устойчивости сложных энергосистем // Технічна електродинаміка. – 1997. – № 6. – С. 43-46.
11. Буткевич А.Ф., Кириленко А.В., Левитский В.Г., Эль-Эззи А.Н. Разбиение сложных электрических схем на подсхемы в соответствии с заданными критериями // Технічна електродинаміка. – 1996. – № 2. – С. 59-62.
12. Дудурич І., Бурий А. Декомпозиційне моделювання електроенергетичних систем // Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці. Тез. доп. І міжн. наук.-техн. конф. – Львів: ДУ "Львівська політехніка". – 1995. – С. 220.
13. Кузнєцов В., Чешенков О. Моделювання несиметричних режимів розподільної електроенергетичної системи // Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці. Тез. доп. І міжн. наук.-техн. конф. – Львів: ДУ "Львівська політехніка". – 1995. – С. 180-181.
14. Трембач Р., Палайда П., Яремчук Т. Математичне моделювання ефективності функціонування енергоємних об'єктів з приймачами електроенергії промислової частоти // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2002. – Т. 7. – № 2. – С. 116-122.
15. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 408 с.

Одержано 20.01.2003 р.