

АВТОМАТИЧНЕ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ОБЛАДНАННЯ, ПІДКЛЮЧЕНОГО ДО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ПРЯМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПАЛЕННЯ

О. М. Заславський, С. М. Проценко, О. В. Карпенко, М. В. Козарь

Національний гірничий університет, м. Дніпро

Анотація. Розглянуто проблему попереджувального вимірювання потужності обладнання, підключеного до інтелектуальної мережі прямого електричного опалення, яке виконується ще до подання на обладнання робочого струму. При автоматичному вимірюванні використовується метод подвійного сканування синусоїдальних сигналів для компенсації похибки, що виникає внаслідок неодноразовості миттєвих вимірів.

Ключові слова: Інтелектуальна мережа, опалення, чотириполюсник, потужність, неодноразовість, розумний.

Вступ

Одним з найбільш перспективних і швидкозростаючих видів опалення є пряме електричне опалення. Основні переваги прямого електричного опалення: швидкість нагріву і можливість вибіркового нагріву окремих зон, висока мобільність джерел тепла, що дозволяє легко здійснювати реконфігурацію теплових потоків, для процесу опалення який керується і відстежується, та його екологічну безпеку. Ці та інші переваги дозволяють використовувати пряме електричне опалення в котеджах, заміських будинках, складських приміщеннях, на спортивних майданчиках, в лікарнях, гуртожитках, квартирах багатоповерхових забудов і т.п. Актуальність прямого електричного опалення також обумовлена мінімальними втратами енергії у процесі її доставки до користувача.

Але неправильно буде припускати, що кожен споживач електроенергії може запросити енергоресурс без обмежень за його максимальним значенням. Ці обмеження залежать від структури та характеристики енергетичної мережі, або вони можуть бути економічного характеру. Тому за умови прямого електричного опалення ключовим стає завдання побудови грамотної стратегії опалення, щоб мати відповідь на питання як розподіляти енергоресурс між споживачами для забезпечення комфортного температурного режиму в усіх зонах обігріву з урахуванням технічних і економічних обмежень, що постійно змінюються.

Інтелектуальна мережа прямого електричного опалення [1, 2] є системою електронагрівальних пристроїв, розміщених в різних зонах опа-

лювального об'єкта. Ці пристрої підключаються до загального джерела енергії спеціальними автоматичними пристроями - «розумними» конекторами (смартконами). Останні, обмінюючись інформацією в реальному часі, формують в просторі опалювального об'єкта підмножину локальних джерел тепла, сумарна потужність яких не перевищує ліміт потужності, який випадково змінюється в часі (рис.1).

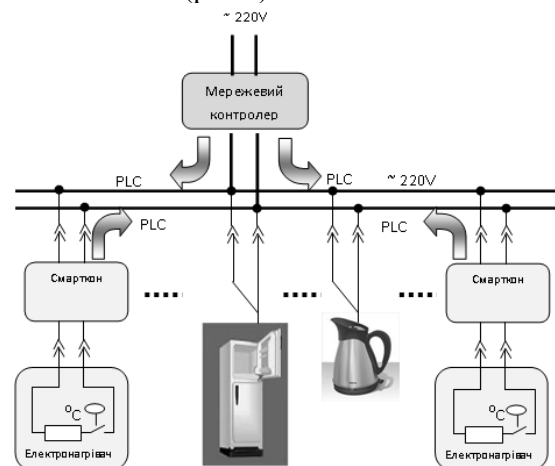


Рис. 1. Функціональна схема інтелектуальної мережі прямого електричного опалення

Зазначимо, що найбільш ефективний розподіл енергоресурсу в розумній енергетичній мережі можливий тоді, коли кожному смарткону відомі енергетичні характеристики керованого ним нагрівача, що впливають як на запит енергоресурсу, так і на рішення відносно його підключення, або відключення. Оскільки енергетичні характеристики споживачів визначаються типом електричного пристрою, то для ефективного розподілу енергоресурсу необхідно ідентифікувати типи підключених до електричної мережі пристроїв і врахувати це в алгоритмі формування правил функціонування опалювальної мережі.

© Заславський О.М., Проценко С.М.,
Карпенко О.В., Козарь М.В., 2017

У зв'язку з цим при розробці інтелектуальної мережі прямого електричного опалення серед інших вирішується також проблема розпізнавання електротехнічних характеристик споживачів електричної мережі живлення. Використання такого підходу забезпечує ефективне розподілення обмеженої електричної потужності, а також блокує небажані відключення обладнання, яке не є опалювальним.

Метод вимірювання потужності та розпізнавання електричних характеристик нагрівачів

Оскільки смарткон є подовжувачем розетки, до нього може бути підключено будь яке обладнання. Для блокування помилкових відключень обладнання, яке не має відношення до опалювальної мережі, смарткон повинен розпізнавати характер підключеного до нього навантаження. Якщо підключене до смарткону обладнання не розпізнається як нагрівальний пристрій, цей смарткон не бере участь у розподілі потужності мережі живлення. Якщо підключене до смарткону обладнання розпізнається як нагрівальний пристрій, необхідно для цього смарткона знати величину потужності підключеного нагрівача, щоб брати участь у колективному розподілі потужності мережі живлення. Схема вузла розпізнавання навантаження показана на рис.2.

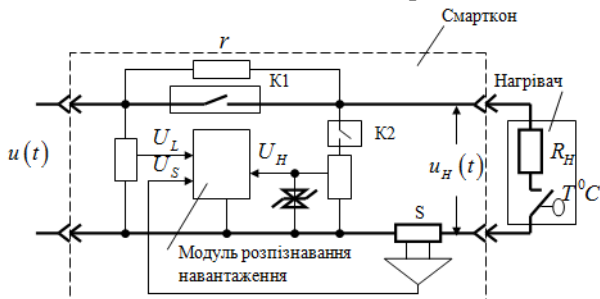


Рис.2. Функціональна схема вузла розпізнавання навантаження

Силовий ключ K1 шунтується резистором r , величина якого набагато більше ніж опір нагрівача R_H найменшої можливої потужності. Це необхідно для того, щоб при відключеному нагрівачі (розімкнуто ключ K1) була можливість розпізнати характер та величину навантаження смарткону. При розімкнутому ключі K1 замикається ключ K2, який підключає ланцюг вимірювання падіння напруги на опорі нагрівача. Сигнал, пропорційний цій вимірюваній величині, подається на вхід U_H модуля розпізнавання навантаження. З шунта S знімається сигнал, пропорційний струму навантаження. Цей сигнал подається на вхід U_S модуля розпізнавання навантаження і використовується для контролю замикання та

розмикання реле термостату нагрівача, а також при вимірюванні потужності нагрівача в робочому стані. Сигнал, пропорційний напрузі мережі живлення, до якої підключено смарткон, подається на вхід U_L модуля розпізнавання навантаження.

У робочому стані при замкнутому ключі K1 на нагрівач подається напруга мережі живлення U . Потужність, яка споживається із мережі живлення дорівнює:

$$P = \frac{U^2}{R_n} \quad (1.1)$$

При розімкнутому ключі K1 послідовно з нагрівачем включено резистор $r \gg R_n$. При цьому потужність, яка споживається із мережі живлення дорівнює:

$$\tilde{P} = \left(\frac{U}{R_n + r} \right)^2 R_n \approx \frac{U^2}{r^2} R_n$$

З цього рівняння знаходимо R_n та підставляємо це значення в (1.1), одержуємо:

$$P = \frac{U^4}{r^2} \tilde{P}^{-1} = \text{const} \cdot \tilde{P}^{-1}$$

Таким чином потужність нагрівача може бути визначена, як величина зворотно пропорційна потужності $\tilde{P}$, яка споживається із мережі живлення при підключеному нагрівачі та розімкнутому ключі K1. Цю величину модуль розпізнавання навантаження одержує прямим інтегруванням добутку миттєвих значень падіння напруги на нагрівачі $u_H(t)$ та струму, який протікає при розпізнаванні через нагрівач $i_H(t)$

$$\tilde{P} = \frac{1}{T} \int_0^T u_H(t) i_H(t) dt \quad (1.2)$$

Де T – інтервал усереднення потужності.

Струм, який протікає при розпізнаванні через нагрівач $i_H(t) \rightarrow 0$ має дуже малу амплітуду і тому його не можна вимірювати за допомогою шунта S з номінальним струмом порядку 10А. Величина струму $i_H(t)$, зважаючи на велике значення опору резистора r , може бути визначена пропорційно різниці $u(t) - u_H(t)$, а саме:

$$i_H = \frac{u_L(t) - u_H(t)}{r}$$

Підставляючи це значення струму в (1.2), одержимо:

$$\tilde{P} = \frac{1}{T} \int_0^T u_H(t) \frac{u_L(t) - u_H(t)}{r} dt$$

Для розпізнавання характеру навантаження вимірюється реактивна потужність:

$$\tilde{Q} = \frac{1}{T} \int_0^T u_H \left(t - \frac{1}{4f} \right) \frac{u_L(t) - u_H(t)}{r} dt$$

де $f=50$ Гц – частота напруги мережі живлення.

В робочому стані при замкненому ключі К1 навантаження мережі визначається за формулою:

$$\tilde{P} = \frac{1}{T} \int_0^T u_L(t) i_S(t) dt \quad (2.16)$$

Якщо через смарткон підключено нагрівальний прилад, його реактивна потужність досить мала. Якщо через смарткон підключено комп'ютер, або холодильник, або який-небудь електромеханічний прилад, його реактивна потужність значно вища. Якщо через смарткон підключено освітлювальний прилад, його реактивна потужність мала, але й активна потужність також значно менша ніж 500 Вт – найменша потужність електроопалювального приладу. Ці співвідношення потребують додаткової експериментальної перевірки, та статистичної обробки.

При застосуванні мікропроцесорної техніки для задач електричних вимірювань, як показано в [3] виникають принципово нові похибки. Одна з таких похибок з'являється внаслідок неодночасності миттєвих вимірів струмів та напруг, що пов'язано з послідовним характером процесу обробки інформації мікропроцесором. Суть похибки неодночасності пояснює рис.3.

Згідно з результатом, який одержано в [3] при синусоїдальних напрузі і струмі відносна похибка неодночасності вимірювань має значення:

$$\delta_{\tau a} = (1 - \cos \omega \tau + \operatorname{tg} \varphi \sin \omega \tau) \cdot 100$$

Відносна похибка вимірювання реактивної енергії, що обумовлена відхиленням інтервалу часу між вибірками від значення $\pi/2\omega$ обчислюється за формулою:

$$\delta_{\tau r} = (1 - \cos \omega \tau + \operatorname{ctg} \varphi \sin \omega \tau) \cdot 100$$

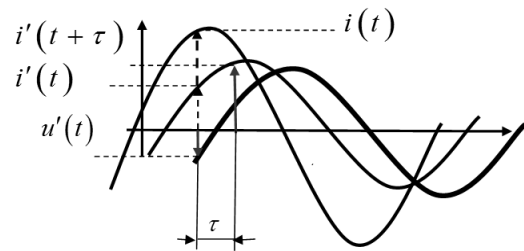


Рис.3. Ілюстрація похибок вимірювань миттєвих значень на часовій діаграмі струмів та напруг (реальні виміри здійснюються в моменти, що вказані суцільними стрілками, пунктирною стрілкою вказано момент бажаного виміру струму).

Для усунення цієї похибки в роботах [4...5] запропоновано метод подвійного сканування. Згідно цьому методу період усереднення потужності T розбивається на два напівперіоди $T/2$ – два скани. У першому скані виміри здійснюються в одній послідовності (першою, наприклад, вимірюється напруга фази, а за нею струм тієї ж фази). У другому – послідовність вимірів змінюється на протилежну (рис.4).

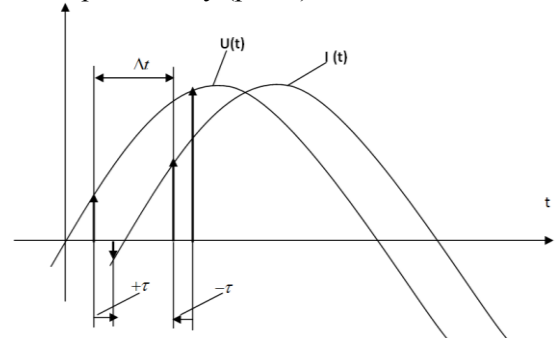


Рис.4. Ілюстрація послідовності вимірів миттєвих значень струмів та напруг при подвійному скануванні

Тривалість кожного скану на рис.4 позначено $\Delta t = T/2$. Енергія на інтервалі часу тривалістю $2\Delta t$ обчислюється за формулами:

$$W_a = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\frac{\Delta t}{T}} u(\omega t_n) i(\omega t_n + \omega \tau) \tau + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\frac{\Delta t}{T}} u(\omega t_m) i(\omega t_m - \omega \tau) \tau$$

$$W_r = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\frac{\Delta t}{\tau}} u(\omega t_n) i(\omega t_n + \frac{\pi}{2} + \omega \tau) \tau -$$

$$\frac{1}{2} \sum_{m=1}^{\frac{\Delta t}{\tau}} u(\omega t_m) i(\omega t_m - \frac{\pi}{2} - \omega \tau) \tau$$

де $n=1, \dots, \Delta t/\tau$ номери вимірів у першому скані, $m=1, \dots, \Delta t/\tau$ номери вимірів у другому скані.

За методом подвійного сканування похибка неодночасності вимірювань:

$$\delta_{\tau a} = \delta_{\tau \gamma} = \delta_{\tau} = (1 - \cos \omega \tau) \cdot 100$$

Метод подвійного сканування дозволяє знизити відносну похибку неодночасності при обчисленні активної потужності на величину $100 \cdot \tan \varphi \cdot \sin \omega \tau$, а при обчисленні реактивної потужності на величину $100 \cdot \cot \varphi \cdot \sin \omega \tau$.

Застосування методу подвійного сканування до задачі розпізнавання навантаження означає, що напруги $u_L(t)$ та $u_H(t)$ вимірюються у різній послідовності позачергово, а результати цих вимірювань підсумовуються та діляться на 2.

$$\tilde{P} = \frac{1}{2T} \int_0^T u_H(t + \tau) \frac{u_L(t) - u_H(t + \tau)}{r} dt +$$

$$+ \frac{1}{2T} \int_0^T u_H(t - \tau) \frac{u_L(t) - u_H(t - \tau)}{r} dt$$

В цьому випадку на відзнаку від випадків, що розглянуто у [4...6], потужність має додаткову складову.

$$\Delta \tilde{P} = \frac{1}{2T} \int_0^T -\frac{u_H^2}{r} (t + \tau) dt +$$

$$+ \frac{1}{2T} \int_0^T -\frac{u_H^2}{r} (t - \tau) dt$$

Відносна похибка цього додатку при застосуванні методу подвійного сканування у відношенні активної та реактивної потужності при синусоїдальному струмі дорівнює нулю.

$$a = \omega t + \omega \tau$$

$$b = \omega t - \omega \tau$$

$$\delta(\Delta \tilde{P}) = \int_0^T (1 - \sin^2(a) - \sin^2(b)) dt =$$

$$= \delta(\Delta \tilde{Q}) = \int_0^T [1 - 1 - \cos(2\omega t)] dt$$

Висновки

Застосування методу чотириполосника по схемі, як показано на рис.2, дає можливість вимірювати активну та реактивну потужність обладнання, яке підключено до електричної мережі живлення через смарткон, ще до подавання на це обладнання робочого струму.

Необхідна точність вимірювання потужності при неодночасному вимірюванні вхідної та вихідної напруги чотириполосника досягається завдяки застосуванню методу подвійного сканування.

Список використаної літератури

1. Заславский, А. М. Математическое моделирование процесса самоорганизации интеллектуальной сети «умных» электронагревательных приборов, суммарная мощность которых превышает лимитированную мощность электропотребления обогреваемого объекта [Текст] / А. М. Заславский, В. В. Ткачев, П. Ю. Огеенко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2016 : тези доповідей Одинадцятої міжнародної науково-практичної конференції (Жукин, 27 червня - 1 липня 2016 р.) / М-во осв. і наук. України, Нац. Акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернівці : ЧНТУ, 2016. – С. 212–215.
2. Заславский, А., Ткачев, В., Проценко, С., Огеенко, П. Самоорганизация интеллектуальной сети «умных» электронагревательных устройств как альтернатива традиционным способам обогрева помещений [Текст] // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2016). XIII Міжнародна конференція. Вінниця 2016р. – С. 78–80
3. Кухарчук, В. В., Заславський, О. М. Комп'ютеризована система обліку електричної енергії: (монографія). [Текст] - Вінниця : ВНТУ, 2012. – 152 с.
4. Патент України на винахід № 28106 [Текст], 1998. опубл. 16.10.2000. Бюл. № 5.
5. Заславський, О. М. Вимірювання електричної енергії методом безпосереднього інтегрування та подвійного сканування миттєвих значень струму та напруги [Текст] // О. М. Заславський, В. В. Кухарчук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 1 (15). – С. 191–196.

References

1. Zaslavsky, A. M., Tkachev, V. V., Ogeenko, P. Yu. (2016), "Mathematical modeling of the process of self-organization of an intelligent network of "smart" electric heaters, the total power of which exceeds the limited power of consumption of a heated object", Mathematical and simulation systems. MODS 2016: Abstracts of the Eleventh International Scientific Conference ["Matematicheskoye modelirovaniye protsessa samoorganizatsii intellektual'noy seti «umnykh» elektronagrevatel'nykh priborov, summarnaya moshchnost' kotorykh prevoskhodit limitirovannuyu moshchnost' elektropotrebleniya obogrevayemogo ob'yekta", Matematychnye ta imitatsiynye modelyuvannya system. MODS 2016: tezy dopovidey odyadtsyatoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsyy], Chernihiv National Technical University, Chernihiv, pp. 212–215.
2. Zaslavsky, A. M., Tkachev, V. V., Protsenko, S. N., Ogeenko, P. Yu. (2016), "Self-organization of intelligent network of "smart" electric heating devices as an alternative to traditional methods of room heating", Control and management of complex systems. MCCS-2016: Abstracts of XIII international conferences ["Samoorganizatsiya intellektual'noy seti «umnykh» elektronagrevatel'nykh ustroystv kak al'ternativa Traditsionnym sposobam obogreva pomeshcheniy", Kontrol' i upravlinnya v skladnykh systemakh. KUSS-2016: tezy dopovidey XIII Mizhnarodnoyi konferentsyy], Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, pp. 78–80.
3. Kuharchuk, V. V., Zaslavsky, A. M. Computerized accounting system of electrical energy [Komp'yuterizirovannaya sistema ucheta elektricheskoy energii]: (monograph). – Vinnytsia National Technical University, 152 p.
4. Patent of Ukraine for invention № 28106, 1998. published.16.10.2000. Bulletin. № 5.
5. Zaslavsky, A. M. (2008) The measurement of electrical energy by a direct integration and double-scan of the instantaneous values of current and voltage [Izmerenie elektricheskoy energii metodom neposredstvennogo integrirovaniya i dvoynogo skanirovaniya mgnovennykh znachenij toka i napryazheniya] / Zaslavsky A.M., V.V. Kuharchuk // Optoelectronic information and energy technologies. – № 1 (15). – P. 191–196.

AUTOMATIC POWER MEASUREMENT EQUIPMENT CONNECTED TO INTELLIGENT NETWORK OF DIRECT ELECTRIC HEATING.

A. M. Zaslavsky, S. N. Protsenko, O. V. Karpenko, N. V. Kozar
National Mining University

Abstract. When using electric heating it is necessary to limit the maximum power of the connected load. Therefore, the heating system is controlled using smart connectors (smartcones). They determine who will turn on the heaters at each specific moment in time, so that the total load does not exceed the established limit depending on the temperature in the premises. For this we need to know which load is connected to each smartcon and the type of load. Only the connectors to which the heaters are connected are used in distributed energy.

For the recognition of the nature of the load parallel to the key switching is enabled, the additional resistance to measure reactive power at low current load. If a heating device is connected, its reactive power is sufficiently small. If a computer, a refrigerator or some electromechanical device is connected, its reactive power is much higher. When the lighting device is connected, its reactive power is low, but the active power is less than that of the electric heating device. This creates a problem of the inaccuracies to non-simultaneous instantaneous measurements of currents and voltages. To avoid the inaccuracy proposes method of double scanning.

Key words: Smart grid, heating, four-pole, power, simultaneity, smart connector.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ, ПОДКЛЮЧЕННОГО К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ ПРЯМОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ.

О. М. Заславский, С. М. Проценко, О. В. Карпенко, М. Н. Козарь
Национальный горный университет, г. Днепр

Аннотация. При использовании электрического отопления жилых и других помещений, необходимо выполнять ограничения максимальной мощности подключенной нагрузки к электрической сети. поэтому управление системой отопления выполняют с использованием «умных» коннекторов (смартконов). Они определяют, кто будет включать нагреватели в каждый конкретный момент времени, чтобы суммарная нагрузка не превышала установленный лимит в зависимости от температуры в помещениях. Для этого необходимо знать нагрузку, подключенную к каждому смарткону и ее тип. В распределении энергии принимают участие только смартконы, к которым подключены нагреватели.

Ключевые слова: интеллектуальная сеть, отопление, четырехполюсник, мощность, одновременность, умный.

Получено 05.04.2017



Заславський Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних систем Національного гірничого університету. Просп. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, E-mail: am-47@mail.ru, тел. +38-067-565-48-71

Alexander Zaslavsky, Ph.D, Docent, Associate professor of the Department of automation and computer systems, National Mining University, Yavornytsky ave., 19, Dnipro, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-7812-7229



Проценко Станіслав Миколаєвич, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних систем Національного гірничого університету. Просп. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, E-mail: proslav@mail.ru, тел. +38-097-909-75-01

Protsenko Stanislav, Docent of the Department of automation and computer systems, National Mining University, Yavornytsky ave., 19, Dnipro, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-2624-0187



Карпенко Олег Вікторович, асистент кафедри автоматизації і комп'ютерних систем Національного гірничого університету. Просп. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, E-mail: alikxus@gmail.ua, тел. +38-097-518-00-99

Oleh Karpenko, Assistant of the Department of automation and computer systems, National Mining University, Yavornytsky ave., 19, Dnipro, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-0115-5234



Козар Микола Володимирович, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерних систем Національного гірничого університету. Просп. Яворницького, 19, Дніпро, Україна, E-mail: kozarn@yandex.ru, тел. +38-067-720-78-87

Kozar Nikolay, Docent of the Department of automation and computer systems, National Mining University, Yavornytsky ave., 19, Dnipro, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-9495-8628