

Міністерство освіти і науки України

**Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

Вроцлавський технічний університет

Ройтлінгенський технічний університет

**МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ – 2022**

МЕТА КОНФЕРЕНЦІЇ

Обговорення проблем енергозбереження та енергоефективності, а також актуальних питань, що виникають при розробці та експлуатації електрообладнання, економічних та екологічних аспектів електроенергетики, нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії

**25 грудня 2022 р.
Дніпро
НТУ «Дніпровська політехніка»**

Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2022: Збірник тез. Дніпро. НТУ «ДП». 25 грудня 2022 р. – 60 с.

Матеріали друкуються в редакційній обробці авторів.

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри електротехніки, к.т.н., доцент
Ципленков Д.В.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Яків Ярошенко, аспірант

Дмитро Ципленков, к.т.н., доцент, завідувач кафедри електротехніки

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Олексій Бобров, к.т.н., доцент, викладач електротехнічних дисциплін

Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського Національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Системи накопичення електроенергії або ж – акумуляування, повинні вирішувати питання стабільного енергозабезпечення від малих домогосподарств до рівня цілої держави. На законодавчому рівні, цей вектор розвитку, було прийнято в рамках стратегії «ЕС-35». Далі, цитата: «Положення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енерго-ефективність, конкурентоспроможність», згідно розпорядження КМУ № 497-р від 06.06.2018 р. «Про затвердження плану заходів з реалізації етапу «Реформування енергетичного сектору (до 2020 року)» повинна забезпечити досягнення основної мети – підвищення ефективності освоєння енергії відновлюваних джерел та підвищення стабільності енергосистеми України за рахунок впровадження систем акумуляування [1].

Акумуляція електроенергії, в даному випадку, потрібна задля того аби нівелювати нерівномірність вироблення та споживання електроенергії в сезонних та добових природних/неприродних умовах [2], а також з урахуванням розташування генеруючих потужностей. На сьогодні процес акумуляції також важливий з точки зору етапу децентралізації в Україні. Також після завершення війни в Україні, слід очікувати новий виток цікавості до відновлюваних джерел енергії. Саме, з міркувань перерахованих раніше, виникає необхідність розглянути перспективи використання певного списку основних різновидів систем накопичення електроенергії: електромагнітні та електростатичні накопичувачі; механічні накопичувачі; електрохімічні накопичувачі.

✓ Електромагнітні та електростатичні накопичувачі. Підвид накопичувачів, такий клас як електромагнітні або електростатичні накопичувачі, включає в себе можливість довготривалого накопичення, так звані “SIES” [3]. До цього типу акумуляторів можна віднести:

- конденсатор (електричний),
- суперконденсатор (іоністор), [в деяких випадках вважається і електрохімічним джерелом накопичення],

- магнітний акумулятор.

✓ Механічні накопичувачі. До механічних накопичувачів окрім всім відомих гідроакуюлюючих електростанцій відносяться ще такі:

- супермаховики [4];
- пневмоакумулятори [5];
- гідроакуюлюючі електростанції.

Принцип роботи супермаховика майже не відрізняється від маховика звичайного, в якому момент обертання передається по конструкції до первинного диска, котрий взаємодіє з пружинним елементом всередині. За єдиною відмінністю, супермаховик [5] має здатність накопичити більше енергії за рахунок конструктивного виконання магнітних підшипників та розташуванню частини, що обертається у вакуумі.

Що стосується пневмоакумуляторів [5] – це накопичувачі стислого повітря (або іншого робочого газу) котрі під певним тиском можуть привести в рух, наприклад – пневмопривід.

ГаЕС є традиційним джерелом накопичення електроенергії. Принцип роботи ГаЕС подібний до роботи ГЕС і обумовлений використанням перепаду рівнів води. Єдина різниця

полягає в тому, що верхній б'єф це басейн, а гідроагрегати мають два режими роботи: *генерування* – у якості турбіни, що обертається водою з басейна; *накопичення* – у якості насоса, що заповнює басейн водою. Прикладом ГаЕС можна назвати, Дністровську ГаЕС, що знаходиться в Україні і розташована на р. Дністер. В планах, після завершення останньої черги будівництва, ця станція буде найпотужнішою в Європі та однією з найбільших у світі. Сьогодні ж можна говорити про потужність в 972 МВт в генераторному режимі та 1265 МВт в насосному (три основні агрегати), а в серпні 2021 року, було запущено 4-й агрегат, який дає можливість у генераторному режимі отримати ще 324 МВт [6]. Будівництво Дністровської ГАЕС є невід'ємною складовою Енергетичної стратегії держави до 2035 року [7].

✓ Електрохімічні накопичувачі. Основою електрохімічних елементів є речовини, здатні змінювати свій агрегатний стан. Це ключова особливість, яка дозволяє використовувати такі речовини, як, наприклад сульфат натрію, для акумуляції теплової енергії. Більш детально процеси в електрохімічних акумуляторах розглянуті в [2].

Загальні принципи роботи та основні різновиди електрохімічних накопичувачів (акумуляторів) є такими:

- суперконденсатори;
- паливні комірки [5];
- редокс-акумулятори [5];
- акумуляторні батареї [2, 5];
- системні накопичувачі електроенергії [2, 5].

Кожен зі згаданих видів накопичення електроенергії є унікальним в порівнянні з іншими. Кожен має свої особливості.

На підставі відкритих даних [2, 5] накопичувачі електроенергії розглянемо позитивні та негативні сторони використання накопичувачів електроенергії. Переваги:

- можливість швидкого встановлення і введення в експлуатацію;
- майже відсутність часу переходу між режимами розряд/заряд (в основному залежить від швидкості комутації інших пристроїв), може сягати навіть 0,1 с.;
- новітні технології дозволяють вже зараз використовувати накопичувачі, що практично не шкодять навколишньому середовищу;
- переваги в модульності конструкції, які дозволяють швидко додавати нові елементи, транспортувати заряджені модулі, та ін.;
- відсутність рухомих частин;
- автоматизованість робочих режимів, що зменшує вплив фактору людини.

До негативні сторони:

- фактично відсутні промислові можливості утилізації. Сам по собі процес утилізації це дуже тривале питання, особливості якого в основному впираються в шкоду навколишньому середовищу та екологічні небезпеці;
- частина акумуляторів, з певними хімічними структурами та фактором використання є токсичними не лише для навколишнього середовища, а й для людини взагалі, що погіршує умови експлуатації та ризики використання;
- обмежена кількість циклів заряду/розряду.

Одним із найголовніших чинників будь-якого джерела накопичення електроенергії є співвідношення тривалості розряду до потужності, що джерело здатне видати/накопичити. Спеціалісти фірми «Siemens» провели повний аналіз всіх з вище перерахованих джерел, і, на основі їх даних можна побудувати діаграму, наведену на рисунку 1.

Візуально, можна зрозуміти, що ГаЕС мають найбільш потужні показники і саме тому, саме гідроелектростанції (акумуляторні) відіграють найбільш важливу роль в системі промислової акумуляції електроенергії. Та поруч з ними, як не дивно, розташувались водневі акумулятори. Щоб більш детально побачити наскільки вони дійсно знаходяться поруч, пропонується до розгляду графік (рис. 2).

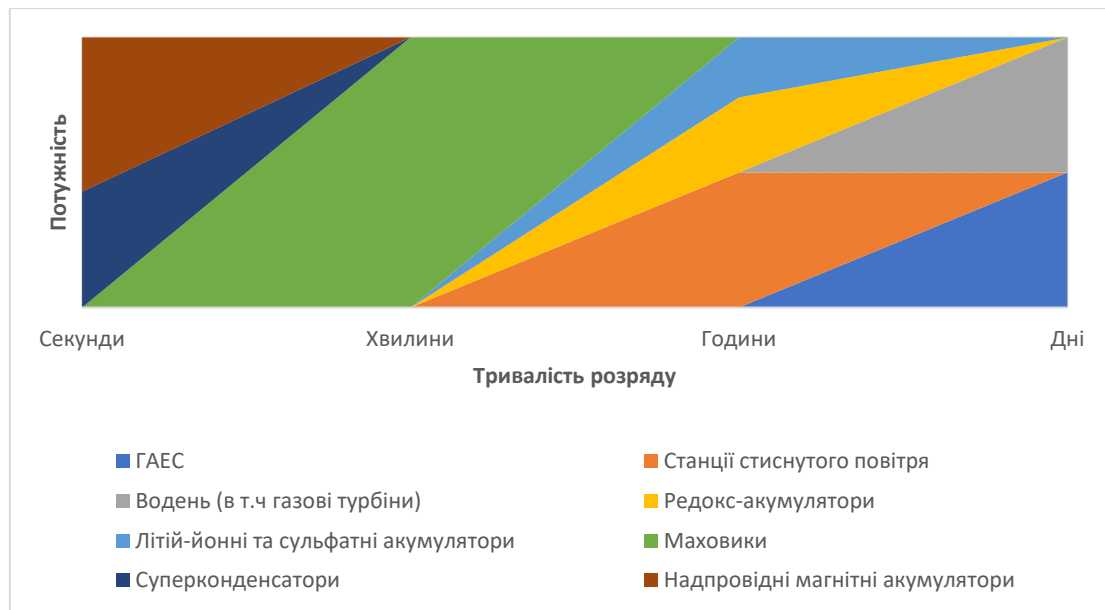


Рис. 1. Співвідношення тривалості розряду до потужності

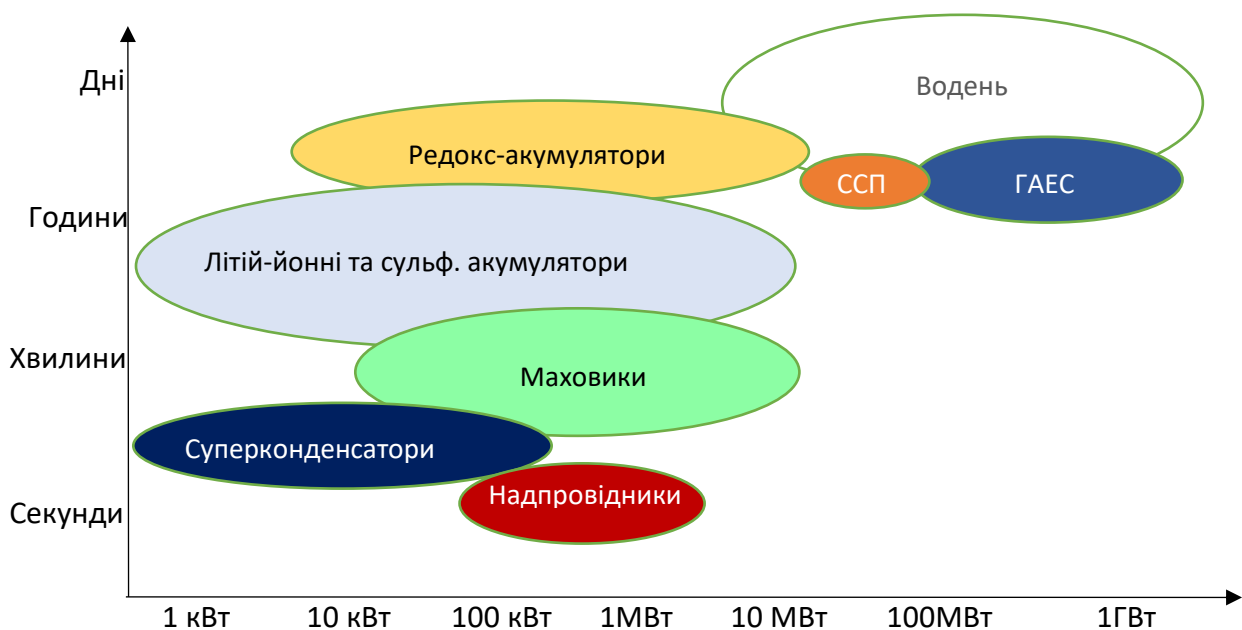


Рис. 2. Графік співвідношення тривалості розряду до потужності

Отже, очевидно, що кожен з представлених видів накопичувачів володіє як своїми перевагами, так і недоліками. Проте, використання технологій зберігання електроенергії, особливо комбінуючи їх з використанням ВДЕ, може подарувати таку омріяну незалежність людству від викопного палива. В 2016 році фахівці з міжнародного агентства з питань відновлюваної енергетики «Irena» провели дослідження [8] у співробітництві з Державним департаментом енергетики США стосовно використання подібних технологій зберігання електроенергії на різних етапах вироблення, транспортування та аварійних питаннях в області електроенергії.

За допомогою аналізу подібної інформації можна зробити висновок про можливість і перспективи використання тих чи інших накопичувачів в умовах сучасного становища енергосистем (табл. 1). Звичайно, після закінчення повномасштабної війни України проти російських загарбників, наша держава повинна стати дуже інвестиційно привабливою, включно з

енергетичним комплексом. Тому, слід вже зараз розуміти які перспективи у встановленні накопичувачів електроенергії.

Таблиця 1

Можливості використання технологій зберігання електроенергії
в різних сегментах енергосистеми

Технологія накопичення	ВДЕ (промисловий сектор)	Традиційна енергетика	ВДЕ, Приватний сектор	Передача електроенергії	Розподіл електроенергії
ГаЕС	Розвивається	Впроваджено	Неможливо	Можливо	Розвивається
ПАЕС	Розвивається	Впроваджено	Неможливо	Можливо	Розвивається
Електро-хімічні	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Можливо	Можливо
Електро-магнітні	Розвивається	Неможливо	Розвивається	Можливо	Можливо
Хімічні	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Розвивається	Неможливо
Теплові	Розвивається	Впроваджено	Розвивається	Розвивається	Розвивається

Перелік посилань

1. Кудря С.О. (2020) *Відновлювані джерела енергії*. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ.
2. Гребенюк А.М. (2014) Способи акумуляції електроенергії з нетрадиційних джерел. *Гірнична електромеханіка та автоматика*. 91. 131-136.
3. Andrianovych A., Khoymoya KH., Vynnykov D. (2012) *Comparative Review of Long-Term Energy Storage Technologies for Renewable Energy Systems*. Elektronika ir Elektrotechnika DOI: [10.5755/j01.eee.118.2.1168](https://doi.org/10.5755/j01.eee.118.2.1168)
4. Wolsky, A., M. (2002). *The status and prospects for flywheels and SMES that incorporate HTS*. Physica. P 372–376.
5. Cost analysis of energy storage systems for electric utility applications Retrieved July 22, 2022, from: <https://www.osti.gov/servlets/purl/453759>.
6. Стратегічно важливі об'єкти для енергетики та світу. ГЕС та ГаЕС. (n.d.). Retrieved July 22, 2022, from: <https://uhe.gov.ua/media/tsentr/novyny/strategichno-vazhlivi-obekti-dlya-energetiki-ta-ekonomiki-naybilshi-gaes-svitu>
7. Українська енергетична стратегія 2035. (n.d.). Retrieved July 22, 2022, from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
8. The International Renewable Energy Agency (IRENA). (n.d.) Retrieved July 22, 2022, from: <http://www.irena.org/publications/2016/Sep/Innovation-OutlookRenewable-mini-grids>.

АВТОНОМНІ МІКРОМЕРЕЖІ В ЄДИНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ УКРАЇНИ

Сергій Худолій, к.т.н., доцент, завідувач кафедри електропривода

Володимир Литвин, аспірант

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Інтеграція енергетичної системи України в європейську енергосистему, післявоєнне відновлення та модернізація, ці фактори потребують нових рішень в організації управління та контролю на всіх рівнях національної енергетичної системи. Хаотичне впровадження та локалізація автономних систем енергозабезпечення вже негативно впливає на загальну енергосистему та не надає ефекту децентралізації джерел енергії. Крім того, устаткування управління та контролю за автономними джерелами енергії, є розрізненими, мають різні протоколи та формати обміну інформацією, потребують адаптації до вимог та стандартів нашої держави. Подальший розвиток децентралізованих мереж будуть супроводжуватися зростанням інтелектуальних енергетичних пристроїв, заміною або перерозподілом джерел відновлювальної енергії та джерел накопичування. Майбутні системи потребують сучасних методів та технологій, з розподіленими елементами керування, які працюють разом з максимальною ефективністю для узгодження двонаправленого постачання та споживання енергії. Задача досліджень полягає в розробці нових методик оцінки енергетичної системи з урахуванням можливостей впровадження та розвитку децентралізованих систем енергозабезпечення.

PARAMETRIC AND NUMERICAL STABILITY OF THE SOLUTIONS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF A SYNCHRONOUS MOTOR WITH UNCERTAINTY OF ITS PARAMETERS

Oleksii Chorny, Doctor of Science

Director of the Educational and Scientific Institute of Electromechanics, Energy Saving and Control Systems, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

Vitaliy Kuznetsov, Alisa Kuznetsova, Halushko Dmytro

Department of Electrical Engineering, Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Rabota Dmytro, Drozhdev Eugene

Department of Electrical Engineering and Energy Efficiency, Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia

Synchronous motor (SM) is the most complex object in terms of mathematical modelling. The complexity is stipulated not by the order of differential equation of a model or complex nonlinear relations (the mentioned can be solved in one or another way) but by the fact that the model means the availability of numerous parameters: active and inductive resistances, transient and subtransient resistances, mutual inductance of windings, time constants; moreover, it is impossible to know all those parameters for sure.

Nowadays there is great amount of different methods and methodologies for calculating the parameters of SM models but they require certain initial parameters of the equivalent circuit, e.g. at least inductive resistances along the longitudinal and transversal axes, inductive dispersion resistance of stator winding and field winding. Among other things, the reference literature gives mostly the general data – motor rating in terms of its operating mode. That is the reason why calculation of the SM models involves not only quantitative but also qualitative deviations in main parameters of their dynamic modes. The indicated features are to be known and understood along with the understanding of their nature of occurrence and methods/means of their consideration.

Nowadays, there are great deal of SM models of different structures and operating conditions as well as the ones taking into account saturation, magnetization etc. However, despite numerous scientific papers dealing with modelling, among which [1–4] are the most well-known ones, there is no universal model for engineering calculations of SM operation in static and dynamic modes. That is explained not by the complexity of the model equation solution (modern mathematical methods make it possible to do that easily) but by the uncertainty of the model parameters. There is a well-known mathematical description of the SM model in three-phase coordinate system [5]. However, no general model is known to be implemented in terms of any software environment, including MATLAB, due to the complexity of determining the winding parameters: proper and mutual inductivities between stator and rotor windings.

Transfer to the system of Park-Gorev equations can simplify in a way the problem of SM model solving [5, 6], e.g. for equations with equal mutual inductivities [7]:

$$\vec{U} = R\vec{i} + L \frac{d\vec{i}}{dt} + \omega_r L_z \vec{i}^r,$$

where $\vec{U} = [U_d \ U_q \ U_f \ 0 \ 0]^T$; $\vec{i} = [i_d \ i_q \ i_f \ i_{ed} \ i_{eq}]^T$;

$$R = \begin{bmatrix} R_d & & & & \\ & R_q & & & \\ & & R_f & & \\ & & & R_{ed} & \\ & & & & R_{eq} \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} L_d & 0 & M_d & M_d & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & M_q \\ M_d & 0 & L_f & M_d & 0 \\ M_d & 0 & M_q & L_{ed} & 0 \\ 0 & M_q & 0 & 0 & L_{eq} \end{bmatrix}; L_z = \begin{bmatrix} 0 & -L_q & 0 & 0 & -M_q \\ L_d & 0 & M_d & M_d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

ω_r is angular velocity of rotor spinning; $R_d, R_q, R_f, R_{ed}, R_{eq}$ are active resistances of stator windings along axes d, q , of field and damper windings along axes d, q ; $L_d, L_q, L_f, L_{ed}, L_{eq}$ are proper inductivities of stator windings along axes d, q , of field and damper windings along axes d, q ; M_d, M_q are the mutual ones between the windings along axes d, q ; U_d, U_q is voltage of stator windings along axes d, q ; and $i_d, i_q, i_f, i_{ed}, i_{eq}$ are currents of stator windings along axes d, q , of field and damper windings along axes d, q .

Electromagnetic moment is equal to:

$$M_e = U_d i_d + U_q i_q - R_s (i_d^2 + i_q^2).$$

Equation of rotor motion is:

$$T_j \frac{ds}{dt} = M_e - M_c;$$

$$\omega_r = \omega_s (1 - s),$$

where T_j is time constant; M_c is moment of resistance; s is slip; and ω_s is angular velocity of field rotation.

To simplify practical modelling, it is possible to use the SM equations represented in relative units, operating not with inductivities and mutual inductivities but with inductive resistances. Currently, basic values for the equation of stator windings are generally accepted; in case of rotor windings, different authors have their own values. While reducing the rotor values to relative units, so-called “system of units x_{ad} ” or system of equal mutual inductivities is the most widely used one. Nevertheless, a problem of defining the values of unductive resistances has not been completely solved yet. Practically no reference books or catalogues with motor rating from the manufacturers can help do that.

REFERENCES

1. Chorniy, O. P., Lugovoj, A. V., Rodkin, D. Y., Sysjuk, G. Ju., & Sadovoj, O. V. (2001). *Modeljuvannja elektromehaničnyh system: pidručnyk [Modeling of electromechanical systems: a textbook]*. Kremenčuk. [in Ukrainian]
2. Sipaylov, G. A., & Loos, A. V. (1980). *Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh mashin (AVM) [Mathematical modeling of electric machines (AVM)]*. Moscow: Vysshaya shkola. [in Russian]
3. Kopylov, I. P. (2001). *Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh mashin [Mathematical modeling of electric machines]*. Moscow: Vysshaya shkola. [in Russian]
4. Basharin, A. V., & Postnikov, Yu. V. (1990). *Primery rascheta avtomatizirovannogo elektroprivoda na EVM [Examples of the calculation of an automated electric drive on a computer]*. Leningrad: Energo-atomizdat. [in Russian]
5. Vazhnov, A. I. (1980). *Perekhodnye protsessy v mashinakh peremennogo toka [Transient processes in AC machines]*. Moscow: Energiya. [in Russian]
6. Chernykh, I. V. (2017). *Modelirovanie elektrot-echnicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink [Modeling of electrotechnical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink]*. Moscow: DMK Press Litres. [in Russian]
7. Strizhkov, I. G. (2012). Osnovy teorii sinkhronnykh mashin s neskolkimi obmotkami na statore. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 10 (84), 469–507. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/36.pdf>

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНО-ВІТРОВИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ТА АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ДУЖЕ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Максим Савека, Ілля Осетянський студенти гр. ЕП-19-1

Дмитро Соловійов. викладач електротехнічних дисциплін

ЦК «Електротехніка та електротехнології», Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені О. Гончара, Дніпро, Україна

Для забезпечення тимчасової роботи малопотужного електротехнічного обладнання та для забезпечення мінімально потрібних умов комфортного проживання в приватних будинках доцільно провести оцінку ефективності використання сонячно-вітрових систем генерації та акумулювання енергії дуже малої потужності. До таких систем відносять системи які здатні генерувати та накопичувати невеликі об'єми електроенергії для подальшого її використання в умовах тимчасового дефіциту або відключення основної мережі живлення.

Спираючись на дані потенціалу сонячної та вітрової енергії на території України можна зробити висновок що такий потенціал як для сонячної так і для вітрової енергії є різний та залежить від пори року і регіону країни, а тому використання комбінованих систем є доцільним так як робота системи буде забезпечена навіть при наявності одного з видів енергії, що дозволяє в свою чергу розширити діапазон генерації електроенергії та забезпечити більшу автономність системи на більш тривалі терміни. Об'єктом дослідження є електростанція яка розташована в центрі Дніпропетровської області в м. Дніпро.

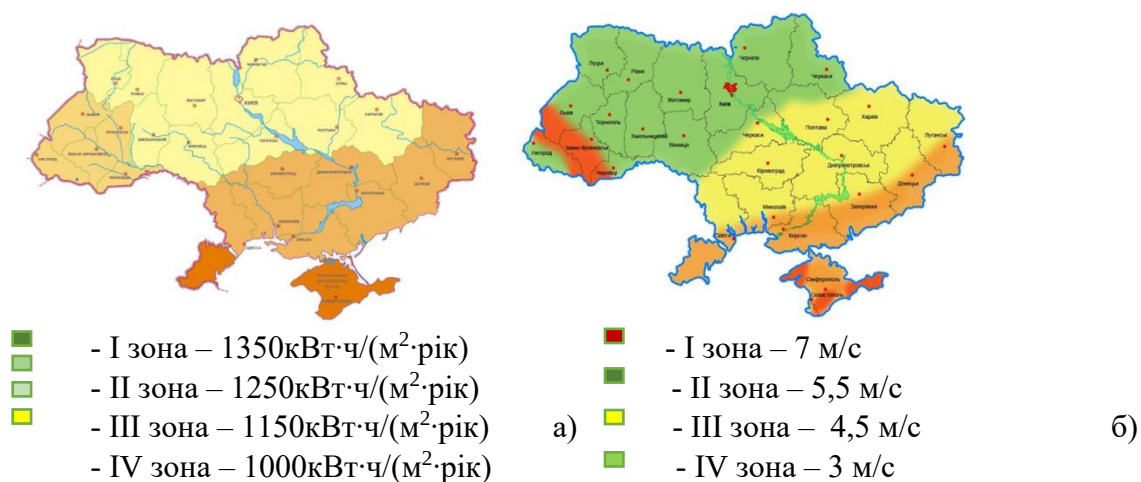


Рис. 1. Потенціал сонячної (а), вітрової (б) енергії на території України

За основу для оцінки ефективності візьмемо мінімально можливу комплектацію сонячно-вітрової електростанції, а саме електростанцію яка буде складатися з однієї сонячної панелі JAM60S03-320/PR потужністю 320 Вт з максимальним струмом генерації 9,6 А при максимальній напрузі 33,34 В, вітрогенератора WindKraft номінальною потужністю 300 Вт при стартовій швидкості вітру 2 м/с, свинцевих акумуляторів, контролера заряду та інвертора. Схема такої електростанції наведена на рисунку 3. Враховуючи всі наявні параметри стає очевидним що максимальна потужність за рік роботи яку може згенерувати сонячна панель

JAM60S03-320/PR, яка встановлена в такій станції, відповідно до своїх характеристик в ідеальних умовах буде рівна для II зони потенціалу сонячної енергії в Дніпропетровській області та своїх вольт-амперних характеристик (ВАХ) 945 кВт, так як площа такої панелі становить 1,6 м², КПД 19%. Максимальна потужність яку за рік може згенерувати вітрогенератор WindKraft за відповідного вітрового потенціалу III зони в якій знаходиться м. Дніпро 430 кВт.

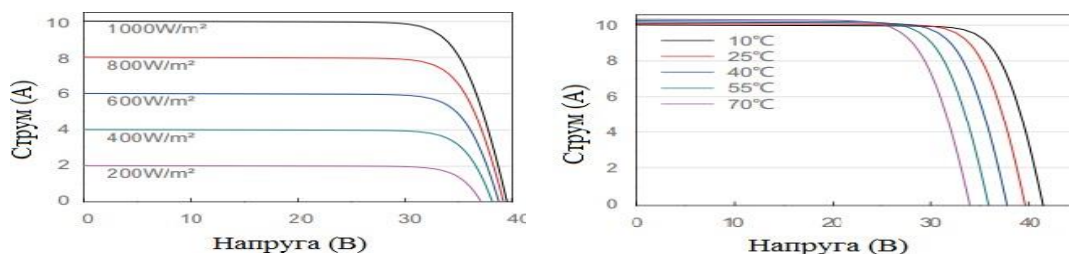


Рис. 2. Графіки вольт-амперної характеристики для JAM60S03-320/PR при зміні сонячного випромінювання та температури навколишнього середовища

Тобто максимальна середня сумарна потужність яку може генерувати така станція буде приблизно 3,75 кВт на день або 0,156 кВт на годину, але необхідно наголосити що це є середнім показником, а реальні показники будуть визначатися деяким діапазоном який в свою чергу буде залежати від потенціалу сонячної та вітрової енергії в конкретний період часу та може коливатися від майже нульових показників до максимально можливих для даної станції. Для згладжування таких коливань необхідно використовувати акумулятори правильність заряду яких повинні забезпечувати контролери, ємність акумуляторів має бути підібрана до потреб споживання електроенергії, але не може бути більша від загальної потужності яку може згенерувати станція за певний період часу.

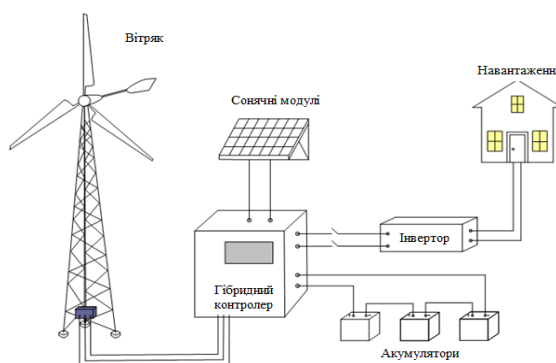


Рис. 3. Схема сонячно-вітрової електростанції малої потужності

Проаналізувавши розрахунки можливо стверджувати що використання такої системи можливе лише для забезпечення живлення приладів невеликої потужності таких як кімнатне LED освітлення, сучасних телевізорів та зарядних пристроїв до електронних гаджетів. Тому, застосування таких систем є прийнятним лише для використання їх в умовах дефіциту електроенергії для тимчасового живлення малопотужних приладів з невеликими пусковими струмами на короткі проміжки часу.

Перелік посилань

1. Ивахненко, А.Г. Непрерывность и дискретность. [Текст]: Учебн. пособ. /А.Г. Ивахненко. – К.: Наук. думка, 1990. – 224 с.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ISSUE REGARDING OF DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF ENERGY CONVERSION PROCESSES IN AN INDUCTION MOTOR SUPPLIED FROM AN AUTONOMOUS INDUCTION GENERATOR

Oleksii Chorny, Doctor of Science, Yuriy Zachepa, PhD, associate professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

Vitaliy Kuznetsov, Alisa Kuznetsova

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Rabota Dmytro, Drozhdev Eugene

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

The development of agriculture leads to an increase in demand for autonomous power supplies (APS). This is primarily due to insufficient reliability of centralized power supply and quality of electricity, which, in turn, disrupts technological processes and causes losses caused by shortages and losses of agricultural products.

Induction generators (IG) are widely used as APS [1–4]. The advantages of IG are manufacturability, simplicity of design, autonomy, lack of contacts, reliability, ease of use. AGs allow them to be used in a wide variety of areas of the national economy. Such generators are used to power handheld power tools with a built-in high-frequency electric drive, when taking power from the main power plant in the electric power systems of transport facilities. The main power collectors in agriculture are electric drives, which make up 66...74 %. The peculiarities of the power supply of various technological processes in the agricultural sector is the remoteness or lack of centralized power supply (work in the field, power supply of agricultural electrotechnical installations, power tools, etc.). The operating modes of autonomous power supplies are characterized by sharply changing loads and require the use of specialized equipment. This is especially true of cases when a direct start of induction squirrel-cage motors of comparable power is carried out from an autonomous source. Significant inrush currents affect a decrease in the voltage on the buses of an autonomous source. Without taking special measures, stable operation of consumers connected in parallel with induction motors (IM) of comparable power becomes impossible, and the electric motors that turn on accelerate very slowly or do not start at all. In this regard, the issue of using the IG as a source for powering the network, which includes the IM, is relevant. However, despite numerous works [5–8] devoted to theoretical and practical studies of hypertension in feeding IM, some issues have not been fully studied. In particular, there are no relevant studies of transient processes that would consider the effect of asymmetry in the windings of induction machines on their characteristics and operating modes. During the IM operation, its parameters may deviate from the passport ones due to various damages [9–11]. The main causes of such malfunctions are motor vibration, overheating and mechanical stress. These factors lead to the appearance of electrical and magnetic asymmetry of the motor [12–14]. The violation of the IM symmetry can be caused by various damages of the windings and the core of the stator and the rotor, the occurrence of eccentricity of the rotor. Unbalance in the stator windings can appear as a result of damage such as breaks in parallel branches and elementary conductors of phase windings. Most often, such damage is the result of insulation breakdowns and the occurrence of turn circuits. As a result, harmonics of various orders appear in the field curve, which cause distortion of the shape of the torque curves and, with a significant proportion of the removed sections, can make it impossible to IM start.

In [15], the results of studies of the operation of an induction generator on a network with a motor load are given and the conditions for starting and the maximum power of the motor being

switched on are indicated. It is shown that in the IG network, with an increase in the capacitor capacity, it is possible to start IM with a power of no more than 40 % of the generator power. But there were still unresolved issues related to the determination of the thermal state of IM when powered by hypertension. In [16], studies of the temperature characteristics of the IG were carried out in accordance with the distribution of losses in the stator. However, there are no studies of the thermal state of the connected load, in particular, the IM. In scientific works on this topic, the issues of the thermal state of the IM when powered from the IG in asymmetric modes of operation are practically not considered. Most of the works are devoted to the development of methods for calculating and analyzing the thermal state of an IM, considering the temperature characteristics of motors under various asymmetric operating modes associated with malfunctions of electric motors. So, in [17], the results of theoretical studies of asymmetry, dips and voltage surges at the IM are presented using the traditional method based on the theory of symmetric components. For this study, a mathematical model has been developed to calculate currents, torque, power losses, temperature rise and derating factor. Similarly, [18] discusses in detail the thermal analysis of IM when operating under these two conditions: unbalanced supply voltage and the presence of turn-to-turn short circuit. In this work, the finite element method was applied to generate fault scenarios, and software was used to simulate the electromagnetic and thermal behavior of the machine for varying degrees of severity of the aforementioned faults. In [19], a method is presented to compensate for the influence of the asymmetry of the stator windings of an induction motor on the characteristics of electric drive systems with vector control. Analysis of the orthogonal components of the electromagnetic torque in an analytical form showed that the effect of breaks causing the asymmetry of the stator circuits of an induction motor on the operating mode of the electric drive can be compensated by reducing the asymmetric flux linkage of the phases. In [20], an assessment of the adequacy of the thermal model of an induction motor operating under conditions of low-quality electricity was carried out, based on the results of an industrial experiment. In [21], an analysis of the mechanical, electromechanical and thermal characteristics of an induction motor in asymmetric modes of operation is carried out. A qualitative assessment of the possibility of further operation of the motor in case of supply voltage unbalance with different unbalance coefficients has been carried out. In all the cases mentioned, the mathematical description was obtained when the IM was supplied from the mains. However, the study of electromagnetic processes and the determination of the thermal state of the IM when powered by the IG under various asymmetric modes of operation were not considered in any of the above works. Also, there are no universal models that comprehensively reflect the processes of converting energy into IM with multifactorial variations in operating and design parameters. Therefore, specialized mathematical models that correspond to individual processes are usually considered [12, 22, 23]. Thus, the issues of determining the thermal state of the IM when changing the parameters of the windings and the system of capacitor excitation of the IG remain insufficiently studied.

REFERENCES

1. Chornyi, O. P., Zachepa, I. V., Mazurenko, L. I., Buryakovskiy, S. G., Chenchvoi, V. V., Zachepa, N. V. (2020). Local autonomous sources of energy supply for emergencies. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 5, 45–48. doi: <http://doi.org/10.15407/techned2020.05.045>
2. Chenchvoi, V., Zachepa, I., Chornyi, O., Zachepa, N., Ogar, V., Shokarov, D. (2018). The Formed Autonomous Source for Power Supply of Single-Phase Consumers on the Basis of the Three-Phase Asynchronous Generator. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 110–115. doi: <http://doi.org/10.1109/ieps.2018.8559522>
3. Kitsis, S. I. (2003). *Asinkhronnye samovozbuzhdauschieia generatory*. Moscow: Energoatomizdat, 327. Available at: [https:// search.rsl.ru/ru/record/01002391609](https://search.rsl.ru/ru/record/01002391609)

4. Toroptsev, N. D. (2004). Asinkhronnye generatory dlia avtonomnykh elektroenergeticheskikh ustanovok. Moscow: NTF «Energoprogress», 87. Available at: <https://knigogid.ru/books/1844853-asinhronnye-generatory-dlya-avtonomnyhelektroenergeticheskikh-ustanovok>
5. Üçtuğ, Y., Demirekler, M. (1988). Modelling, analysis and control of a wind-turbine driven self-excited induction generator. IEE Proceedings C Generation, Transmission and Distribution, 135 (4), 268–275. doi: <http://doi.org/10.1049/ip-c.1988.0037>
6. Hallenius, K.-E., Vas, P., Brown, J. E. (1991). The analysis of a saturated self-excited asynchronous generator. IEEE Transactions on Energy Conversion, 6 (2), 336–345. doi: <http://doi.org/10.1109/60.79641>
7. Abbou, A., Barara, M., Ouchatti, A., Akhenaz, M., Mahmoudi, H. (2013). Capacitance required analysis for self-excited induction generator. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 55 (3). Available at: https://www.researchgate.net/publication/287702318_Capacitance_required_analysis_for_self-excited_induction_generateur
8. Simoes, M. G., Farret, F. A. (2004). Renewable Energy Systems: Design and Analysis with Induction Generators. London: CRC Press, 358. Available at: <https://searchworks.stanford.edu/view/5660475>
9. Zagirnyak, M., Mamchur, D., Kalinov, A. (2014). A comparison of informative value of motor current and power spectra for the tasks of induction motor diagnostics. 2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 540–545. doi: <http://doi.org/10.1109/epepmc.2014.6980549>
10. Zagirnyak, M., Kalinov, A., Melnykov, V. (2017). Variable-frequency electric drive with a function of compensation for induction motor asymmetry. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). Kyiv, 338–344. doi: <http://doi.org/10.1109/ukrcon.2017.8100505>
11. Kuznetsova, Y., Kuznetsov, V., Tryputen, M., Kuznetsova, A., Tryputen, M., Babyak, M. (2019). Development and Verification of Dynamic Electromagnetic Model of Asynchronous Motor Operating in Terms of Poor-Quality Electric Power. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 350–353. doi: <http://doi.org/10.1109/mees.2019.8896598>
12. Zagirnyak, M., Melnykov, V., Kalinov, A. (2019). The review of methods and systems of fault-tolerant control of variable-frequency electric drives. Przegląd Elektrotechniczny, 95 (1), 141–144. doi: <http://doi.org/10.15199/48.2019.01.36>
13. Melnykov, V., Kalinov, A. (2012). The increasing of energy characteristics of vector-controlled electric drives by means of compensation the induction motor parametrical asymmetry. Technical Electrodynamics, 3, 85–86. Available at: http://previous.techned.org.ua/2012_3/st40.pdf
14. Zagirnyak, M., Kalinov, A., Chumachova, A. (2013). Correction of operating condition of a variable-frequency electric drive with a non-linear and asymmetric induction motor. Eurocon 2013. Zagreb, 1033–1037. doi: <http://doi.org/10.1109/eurocon.2013.6625108>
15. Razgildeev, G., Khramtsov, R. (2005). Issledovanie raboty asinkhronnogo generatora na individualnuiu set sredstvami imitatsionnogo modelirovaniia Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 1, 84–87. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-raboty-asinhronnogo-generatora-na-individualnuyu-set-sredstvami-imitatsionnogo-modelirovaniya>
16. Kim, C.-W., Jang, G.-H., Seo, S.-W., You, D.-J., Choi, J.-Y. (2020). Experimental verification and analysis of temperature characteristics of induction generator considering stator loss distribution. AIP Advances, 10 (1), 015139. doi: <http://doi.org/10.1063/1.5130023>
17. Refoufi, L., Bentarzi, H., Dekhandji, F. Z. (2006). Voltage Unbalance Effects on Induction Motor Performance. Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation, Modelling and Optimization. Lisbonm 112–117. Available at: https://www.academia.edu/3284729/Voltage_Unbalance_Effects_on_Induction_Motor_Performance

18. Adouni, A., J. Marques Cardoso, A. (2020). Thermal Analysis of Low-Power Three-Phase Induction Motors Operating under Voltage Unbalance and Inter-Turn Short Circuit Faults. *Machines*, 9 (1), 2. doi: <http://doi.org/10.3390/machines9010002>
19. Zagirnyak, M., Kalinov, A., Melnykov, V., Stakhiv, P. (2016). Fault-tolerant control of an induction motor with broken stator electric circuit. 2016 Electric Power Networks (EPNet). doi: <http://doi.org/10.1109/epnet.2016.7999372>
20. Kuznetsov, V., Tryputen, M., Tytiuk, V., Rozhnenko, Z., Levchenko, S., Kuznetsov, V. (2021). Modeling of thermal process in the energy system “Electrical network – asynchronous motor.” *E3S Web of Conferences*, 280, 05003. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202128005003>
21. Fedorov, M., Ivchenkov, N., Tkachenko, A. (2013). Osobennosti teplovogo sostoianiya asinkhronnykh dvigatelei pri nesimmetrii pitaiushchego napriazheniya. *Nauchnyy vestnik Donbasskoi gosudarstvennoi mashinostroitelnoi akademiyi*, 1, 164–170. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvdgma_2013_1_25
22. Pinchuk, O., Kutkovo, I. (2009). Otsenka teplovogo sostoianiya asinkhronnogo dvigatelja po dannym kontrolya tokov statora pri nesimmetrii pitaiushchego napriazheniya. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Elektrotekhnika i energetika*, 9 (158), 100–196. Available at: http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/5008/1/Art_34_190.pdf
23. Pustovetov, M., Sinyavskiy, I. (2011). On dynamics of thermal processes in induction motor under supply voltage unbalance. *Vestnik of Don State Technical University*, 11 (8-1), 1227–1237. Available at: <https://www.vestnik-donstu.ru/jour/article/download/849/844>

ПЕРЕТВОРЕННЯ ЧАСОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ СТРУМУ ДВИГУНІВ ШАХТНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА ДО ВИГЛЯДУ, ЩО ОПИСУЄТЬСЯ БЕЗПЕРЕРВНОЮ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЮ ФУНКЦІЄЮ ДЛЯ СПРОЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Сергій Дибрін, асистент кафедри електроенергетики

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Один зі шляхів підвищення ефективності роботи електротранспорту – застосування накопичувачів енергії з метою зниження максимуму споживаної потужності.

Вибір ефективної величини енергетичної ємності накопичувача пов'язаний з аналізом наявних режимів енергоспоживання електротранспорту. Вихідною величиною для такого аналізу може бути експериментально отримана залежність струму двигунів від часу.

Споживання струму двигунами шахтного безконтактного електровоза підпорядковується нормальному закону розподілу [1]. Така випадкова залежність певною мірою ускладнює аналіз і узагальнення отриманих результатів у завданні визначення ефективної величини енергетичної ємності накопичувача. Спростити розв'язання поставленого завдання може допомогти визначення такої аналітичної безперервної диференційованої залежності, що певною мірою буде еквівалентною вихідній випадковій.

Нехай $F(I)$ – імовірність того, що струм, споживаний двигуном електровоза на проміжку часу $[0; T]$, не перевищує I , тоді $F(I)$ – функція розподілу струму двигунів.

Нехай $I(t)$ – графік зміни струму, споживаного двигунами електровоза, де $t \in [0; T]$.

Розіб'ємо інтервал $[0; T]$ цілою кількістю відрізків Δt та визначимо середнє значення струму I_i для кожного відрізка.

Задаймося довільним значенням струму I і визначимо ймовірність того, що будь-яке з I_i буде меншим, ніж I :

$$B(I_i < I) = \frac{n(I_i < I)}{N} = \frac{n(I_i < I) \cdot \Delta t}{T}, \quad (1)$$

де $n(I_i < I)$ – число відрізків часу Δt , на яких $I_i < I$; $N = \frac{T}{\Delta t}$ – загальне число відрізків.

За визначенням $B(I_i < I)$ є функцією розподілу струму двигунів електровоза, тобто:

$$F(I) = \frac{n(I_i < I)}{N}. \quad (2)$$

Нехай G – функція, обернена функції розподілу, тоді:

$$I = G(F(I)) = G\left(\frac{n(I_i < I)}{N}\right) = G\left(\frac{n(I_i < I)}{T} \cdot \Delta t\right) \quad (3)$$

Упорядкуємо дискретизований графік залежності $I^{\partial y}(t)$ за зростанням $I^{\partial y}(t)$ (див. рис. 1). Для цього графіка справедливі всі статистичні залежності, як і для неупорядкованого. Для $I^{\partial y}(t)$ добуток $n(I_i < I) \cdot \Delta t$ – відрізок на осі часу, починаючи з $t = 0$. Таким чином, якщо спрямувати $\Delta t \rightarrow 0$, то для $I^{\partial y}(t)$ вираз (3) можна подати як залежність:

$$I^y(t) = G\left(\frac{t}{T}\right) \quad (4)$$

Інакше кажучи, впорядкований графік струму $I^y(t)$, споживаного двигунами електровоза, з певною точністю можна описати функцією, зворотною до функції розподілу струму.

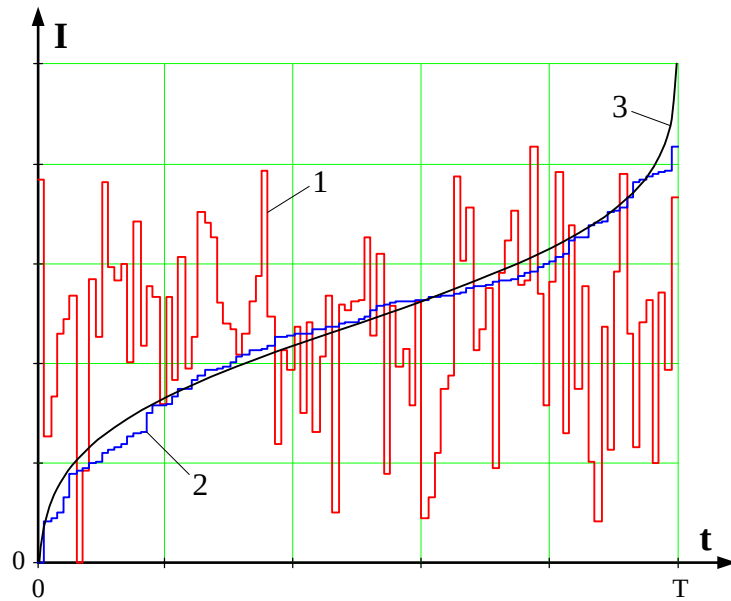


Рис. 1. Діаграми струму:

- 1 – дискретизований графік залежності струму двигунів від часу;
- 2 – упорядкований дискретизований графік залежності струму двигунів від часу;
- 3 – відмасштабована функція, обернена функції розподілу струму двигунів (нормальний закон розподілу)

Перелік посилань

1. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт/Г. Г. Пивняк, И. П. Ремизов, С. А. Саратикянц и др.; Под ред. Г. Г. Пивняка.— М.: Недра, 1990.—245 с.
2. Дибрін С. В., Толстов О.В., Буряк А.О. Вибір типу акумулюючого елемента накопичувача енергії для забезпечення збільшення числа електровозів // Державний ВНЗ «НГУ», Гірничі електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 99.

СИЛОВІ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ ЯК ЗАСІБ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Андрій Колб, к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехніки

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Зростання встановленої потужності нелінійних та несиметричних споживачів (тиристорні електроприводи прокатних станів, електродугові сталеплавильні печі та ін.) значно погіршують традиційні показники якості електроенергії. Найбільш несприятливими для більшості споживачів є: коливання та тривалі відхилення дійсного значення напруги; спотворення форми кривої; короткочасні провали та повне зникнення напруги.

При відхиленнях показників якості електроенергії, що перевищують нормовані стандартами значення, нормальна робота електрообладнання або взагалі неможлива, або може бути забезпечена ціною значного зниження навантаження. Відхилення напруги від норми та спотворення його форми призводять до втрат, збільшення споживання реактивної потужності, скорочення терміну служби електроустаткування. При цьому порушується нормальне функціонування технологічного процесу. Наявність вищих гармонік у системах асинхронного електроприводу викликає додаткове нагрівання двигуна, вібрації, шуми та порушує електромагнітну сумісність паралельно працюючих споживачів. Якість електроенергії впливає також на надійність, довговічність електрообладнання та ефективність передачі та споживання електроенергії.

Вирішення проблеми енергозбереження, управління якістю електроенергії у розподільчих мережах промислових підприємств та одночасне підвищення енергетичної ефективності електромеханічних систем досягається застосуванням групового живлення регульованих електроприводів від загальних шин постійного струму з ємнісним накопичувачем електроенергії (рис.1).

Надана схема містить керований випрямляч (КВ) для попереднього заряду ємнісного накопичувача електроенергії (НЄ) та живлення АІН регульованих електроприводів з асинхронними двигунами (АД) та машинами постійного струму (МПС). Замість КВ можна використовувати некерований з відповідним технічним рішенням для попереднього заряду ємності. Енергія рекуперативного гальмування електроприводів акумулюється ємнісним накопичувачем і використовується для управління якістю електроенергії за допомогою інвертора (І) на IGBT ключах, включеного паралельно керованому випрямлячу. Інвертор спільно з ємнісним накопичувачем, дроселем, фільтром та системою керування (СК) утворюють замкнуту систему автоматичного керування (САК) якості електроенергії (ЯЕ).

Висока швидкодія IGBT інверторів з релейно-векторним управлінням на основі результатуючих просторових векторів струму та напруги, що дають інформацію про миттєву потужність, дозволяє гнучко керувати потоками електроенергії і тим самим з високою точністю коригувати традиційні показники якості електроенергії: коефіцієнти потужності; несинусоїдність напруги та струму; несиметричність та стабільність напруги (коливання, відхилення, провали).



1. Жежеленко В.И. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий// 4-е издание, перераб. и. доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000 – 331с.
2. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Современные методы регулирования качества электроэнергии средствами силовой электроники // Электротехника, 1999, №4, с.28-32.
3. Ивакин В.Н., Ковалев В.Д. Перспективы применения силовой преобразовательной техники в электроэнергетике // Электричество, 2001, №9, с. 30 – 37.
4. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В. Современные методы улучшения качества электроэнергии (аналитический обзор) // Электротехника, 1998, №3, с.10-17.
5. Колб А.А. Энергосберегающая система группового питания электроприводов с общим преобразователем с двухсторонней проводимостью и емкостным накопителем энергии // Вестник Кременчугского политехнического университета, 2003, вып.1, с.135 – 143.
6. Волков А.В. Анализ электромагнитных процессов и совершенствование регулирования активного фильтра // Электротехника, 2002, №12, с. 40 – 48.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ISSUE OF ONLINE IDENTIFICATION OF ELECTROMAGNETIC PARAMETERS OF AN ASYNCHRONOUS MOTORS

Valerii Tytiuk, Doctor of Science

Kyryvi Rih National University, Kyryvi Rih, Ukraine

Vitaliy Kuznetsov, Halushko Dmytro, Moroz Olga, Gerashenko Anatolii

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Rabota Dmytro

Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

High performance variable-speed machines incorporate a model for the system in either the controller or state estimation stages. The accuracy and general robustness of the machine is dependent on this model. Therefore, it must represent accurately both the electrical and electromagnetic interactions within the machine and associated mechanical systems. Accurate and reliable parameter estimation techniques for an induction machine are critical for the design and development of high-performance drive systems in which the parameter estimates are used in the field of orientation, motion control, self-sensing, and other advanced algorithms. There are two basic approaches to this problem, viz.: • online-identification methods – utilize state observer theory (e.g. Kalman filter) and Least Square based techniques; • offline techniques – rely on statistical curve fitting to the measured data under specific conditions.

To be able to identify the unknown parameters of an induction motor, two main tests will be done on the induction motor according to IEEE test procedure [1].

The standard technique of using the short – circuit, no-load, and blocked-rotor tests seems to be inaccurate and, consequently, not suitable for the synthesis of high dynamic performance systems.

Reference [2] suggested using an extended Kalman filter for parameter estimation. The machine's response to load perturbations was measured, and the resulting changes in current, voltage, speed, and torque were used to estimate the values of currents, mechanical damping, and magnetizing reactance.

Reference [3] dealt with creating a solution to identify the parameter of an induction motor by using q, d, 0 axis for the induction motor modeling. Genetic algorithm was applied to identify the parameters.

Reference [4] demonstrated the use of genetic algorithm to identify an induction motor by adding 4 different levels of noise. Kron's voltage equation was the applied mathematical model. In reference [5], a parameter identification method was applied to identify all the electric parameters simultaneously. The method assumes that the motor can be described by a time-varying linear model.

Reference [6] presented a new approach to identify the nonlinear model of an induction machine. For simulation purposes, the measured stator voltages and rotor angular speed were treated as input, and the stator currents were simulated as output.

In reference [7], an approach to identify the induction motor parameters in parallel to the normal field-oriented controlled drive operation was represented. Besides an overview of the suitable system identification methods, the parameter estimation approach combined with a FIR-filter to determine the derivatives of measured signals was analyzed in detail as well as the use of the extended Kalman filter or the unscented Kalman filter for combined state and parameter estimation.

Reference [8] discussed an effect of the parameters variation on a variation in the performance characteristics of the motor. In order to identify parameters which have the most impact on motor performance, sensitivity analysis calculations were performed for a particular machine size.

Reference [9] proposed an adaptation mechanism (supervisor) for the PI-gain, allowing improvement of the classical controller, by introducing a certain degree of intelligence in the control strategy of the controller. Estimation of induction motor parameters based on fuzzy rules was represented.

Reference [10] proposed a new method, which derives induction motor (IM) parameters based on the equivalent network of the machine. The approach combined skin effect and saturation of the stator and rotor leakage paths, modelling rotor parameters as a function of the slip. In reference [11], procedure of the identification was based on the model reference adaptive control (MRAC) system theory. An appropriate choice of the reference model allowed building a Lyapunov function by means of which the updating law of the rotor time constant can be found.

In reference [12], a new method of identification of the induction motor equivalent circuit parameters was introduced and discussed. The proposed method uses single-phase test results as a base test for calculating the equivalent circuit parameters of the induction motor.

Reference [13] described three methods for estimating the lumped model parameters of an induction motor using startup transient data, which was based on Levenberg – Marquardt method.

Reference [14] proposed an off-line parameter identification method that is suitable for self-commissioning of an electric drive in cases when machine and converter comes from different producers. The method was carried out entirely by means of a standard power inverter only by the impressed stator voltages.

Reference [15] proposed an identification method for induction motor parameters at standstill using integral calculations. The rotor time constant and magnetizing inductance were identified.

References [16–18] dealt with different identification methods for the induction motor parameters at standstill too. Reference [19] proposed a novel stator resistance estimation approach for stator winding temperature monitoring based on the wavelet network and parameter identification by the use of wavelet network that accurately localizes the characteristics of a signal in the time frequency domains. Reference [20] also involved wavelet-transformations to identify the parameters of an induction motor. The approach is based on obtaining a 2D time-frequency plot representing the time-frequency evolution of the main components in an electrical machine transient current. The work used frequency B-spline (FBS) wavelets.

Reference [21] developed and substantiated experimentally new algorithms to identify unknown parameters of induction motors during self-commissioning procedure. To guarantee asymptotic identification, we design adaptive stator current controller based on stator flux observer. Reference [22] was devoted to the parameter identification of large induction machines from the no-load acceleration-deceleration tests.

References [23, 24] considered solution of the problem of the IM parameters identification on the basis of the analysis of characteristics of external electromagnetic fields generated by an induction motor during the operation. References [25–27] were mostly the reviews dealing with the analysis of standard procedures of diagnostics and determination of the induction motor parameters, description of the prospects of different methods for IM parameters identification, and comparative analysis of the accuracy of different identification methods and error introduced by the computational methods.

Use of T-network equivalent model for induction machine to analyze the steady mode or for differential IM equations in the system of coordinates $d, q, 0$ are the general features specific to the known papers. The methods proposed in the well-known scientific and technical literature are not suitable for the online-identification of the induction motor parameters being necessary for the development of a system of continuous monitoring of their technical condition. For the first time, the paper proposed to use the known equations, obtained on the basis of the theory of generalized electromechanical converter, as the theoretical basis of the induction motor description [28].

Advantage of the method is in the much higher accuracy of a theoretical model of an induction motor compared with the known approaches; that makes it possible to obtain principally new equations to identify the induction motor parameters.

REFERENCES

1. IEEE 12–1996 – IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. Available at: <https://standards.ieee.org/standard/112-1996.html>.
2. Yu-hua-Wang, Birdwell-JD (1982) Dynamic Identification of the Model Parameters for an Induction Motor. Conference Proceedings of IEEE SOUTHEASTCON.
3. Goldberg D. E., Potvin A. F. (1994) Genetic Algorithms: Implementation Based on GAs From. The MathWorks.
4. Huang K. S., Kent W., Wu Q. H., Turner D. R. (1999) Parameter Identification of an Induction Machine Using a Genetic Algorithms. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design. <https://doi.org/10.1109/cacsd.1999.808700>.
5. Moons C., De Moor B. (1995) Parameter Identification of Induction Motor Drives. *Automatica*, 31 (8), 1137–1147. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(95\)00016-P](https://doi.org/10.1016/0005-1098(95)00016-P).
6. Moon S., Keyhani A., Pillutla S. (1999) Nonlinear Neural – Network Modeling of an Induction Machine. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 7 (2), 203–211. <https://doi.org/10.1109/87.748146>.
7. Buchholz O., Boeker J. (2018) Online-Identification of the Machine Parameters of an Induction Motor Drive. 2018 IEEE 27th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 860–867. <https://doi.org/10.1109/isie.2018.8433852>.
8. Sanchez I., Pillay P. (1994) Sensitivity Analysis of Induction Motor Parameters. Proceedings of SOUTHEASTCON '94. Miami, FL, USA, 50–54. <https://doi.org/10.1109/SECON.1994.324263>.
9. Laroussi K., Zelmat M. (2005) Fuzzy Adaptation of the PI Controller Parameters Applied for Induction Motor. Proceedings. IEEE SoutheastCon, 2005. <https://doi.org/10.1109/SECON.2005.1423207>.
10. Fountas N. A., Hatziaargyriou N. D. (1994) Estimation of Induction Motor Parameters for Dynamic Analysis. Proceedings of MELECON '94. Mediterranean Electrotechnical Conference. Vol. 3. Antalya, Turkey, 1263–1266. <https://doi.org/10.1109/MELCON.1994.380836>.
11. Attaianese C., Damiano A., Gatto G., Marongiu I. (1998) A Perfetto Induction Motor Drive Parameters Identification. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 13 (6), 1112–1122. <https://doi.org/10.1109/63.728338>.
12. Gastli A. (1999) Identification of Induction Motor Equivalent Circuit Parameters Using the Single-Phase Test. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 14 (1), 51–56. <https://doi.org/10.1109/60.749147>.
13. Shaw S. R., Leeb S. B. (1999) Identification of Induction Motor Parameters from Transient Stator Current Measurements. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 46 (1), 139–149. <https://doi.org/10.1109/41.744405>.
14. Košťál T. (2017) Induction Machine Parameters Identification Method Suitable for SelfCommissioning. 2017 XXVI International Scientific Conference Electronics (ET). Sozopol, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ET.2017.8124357>.
15. Lee S., Yoo A., Lee H. J., Yoon Y. D., Han B. M. (2017) Identification of Induction Motor Parameters at Standstill Based on Integral Calculation. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53 (3), 2130–2139. <https://doi.org/10.1109/tia.2017.2650141>.
16. Sukhapap S., Sangwongwanich S. (2002) Auto Tuning of Parameters and Magnetization Curve of an Induction Motor at Standstill. IEEE ICIT '02. Proc. IEEE International Conference on Industrial Technology, 101–106. <https://doi.org/10.1109/icit.2002.1189871>.
17. Kwon S., Lee J. H., Moon S. H., Kwon B. K., Choi C. H., Seok J. K. (2009) Standstill Parameter Identification of Vector-Controlled Induction Motors Using the Frequency Characteristics of Rotor Bars. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 45 (5), 1610–1618. <https://doi.org/10.1109/TIA.2009.2027164>.
18. He Y., Wang Y., Feng Y., Wang Z. (2012) Parameter Identification of an Induction Machine at Standstill Using Vector Constructing Method. *IEEE Transactions Power Electronics*, 27 (2), 905–915. <https://doi.org/10.1109/tpel.2010.2089699>.
19. Weili H., Weijian H., Lin L. (2007) Estimation of Stator Resistance and Temperature Measurement in Induction Motor Using Wavelet Network. 2007 Chinese Control Conference, 203–207. <https://doi.org/10.1109/CHICC.2006.4347505>.
20. Pons-Llinares J., Antonino-Daviu J. A., Riera-Guasp M., Pineda-Sanchez M., ClimenteAlarcon V. (2011) Induction Motor Diagnosis Based on a Transient Current Analytic Wavelet Transform Via

Frequency B-Splines. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58 (5), 1530–1544. <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2081955>.

21. Peresada S., Kovbasa S., Prystupa D., Lyshevski S. E. (2013) Identification of Induction Motor Parameters Adaptively Controlling Stator Currents. IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Vienna, 8476–8481. <https://doi.org/10.1109/IECON.2013.6700555>.

22. Babau I., Boldea I., Miller T. J. E., Muntean N. (2007) Complete Parameter Identification of Large Induction Machines from No-Load Acceleration-Deceleration Tests. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54 (4), 1962–1972. <https://doi.org/10.1109/TIE.2007.895080>.

23. Zagirnyak M. A., Bisikalo O., Chorna O., Chorny O. (2018) Model of the Assessment of an Induction Motor Condition and Operation Life, Based on the Measurement of the External Magnetic Field. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 316–321. <https://doi.org/10.1109/IEPS.2018.8559564>.

24. Chorna O., Chorny O., Tytiuk V. (2019) Identification of Changes in the Parameters of Induction Motors during Monitoring by Measuring the Induction of a Magnetic Field on the Stator Surface. Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019, 150–153. <https://doi.org/10.1109/MEES.2019.8896554>.

25. Krivonosov V. E. (2017) Diagnostic of the Insulation State of the Asynchronous Motor and the Power Supply Cable under Conditions of Local Compensation. Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations, 60 (6), 536–543. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2017-60-6-536-543> (in Russian).

26. Nuscheler R., Potoradi D. (1996) Problems and Failure Sources with the Parameter Identification of Asynchronous Machines and their Dependence on the Identification Method. Proceedings International Conference Electrical Machines, 130–135.

27. Thompson W. T. (1999) A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three Phase Squirrel Induction Motors-Past Present and Future. Proceedings of IEEE SDMPED International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, 3–18.

28. Novash I. V., Romaniuk F. A., Rumiantsev Yu. V., Rumiantsev V. Yu. (2017) MatLabSimulink Based Information Support for Digital Overcurrent Protection Test Sets. Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of the CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations, 60 (4), 291–308. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2017-60-4-291-308> (in Russian).

ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТЯЗІ

Юрій Папаїка, д.т.н., завідувач кафедри електроенергетики

Юрій Степаненко к.т.н., доцент кафедри електроенергетики

Олександра Лисенко, к.т.н., доцент кафедри електропривода

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Транспорт на електричній тязі набуває у наш час все більшого розповсюдження у різних сферах життя. Зокрема збільшується кількість автомобільних транспортних засобів (як легкових, так і вантажних).

Нажаль більшість з них є тими, що вже були у вжитку, оскільки вартість нових досить значна. З урахуванням відношення «ціна-споживчі якості» економічні складові виходять на перший рядок.

До того ж збільшення парку таких транспортних засобів потребує суттєвого збільшення виробництва електричної енергії. Навряд чи наявність (та й перспективне зростання) альтернативних джерел забезпечить покриття таких потреб [1]. Ще й собівартість виробленої ними електроенергії достатньо велика.

Більшість електричної енергії виробляється все ж таки станціями з традиційними технологіями, які неможливо назвати екологічно чистими. Будь яка, чи атомна, чи теплова, чи гідроелектрична станція мають свої вади з точки зору забруднення довкілля.

Тому збільшення виробництва електроенергії навряд чи призведе до “Zero-emission”, як рекламують такі транспортні засоби.

З іншого боку, самі технології заряджання акумуляторних батарей автомобілів не є досконалыми. Всі існуючі на даний час потребують або багато часу, або великого значення струму.

До того ж, спорудження мережі зарядних станцій потребує ретельного розрахунку та обережності при виборі місця їх розташування, оскільки це буде суттєво впливати на графіки (добові, місячні...) електричних навантажень. Наприклад, вдень максимум буде у середмісті, а ввечері – у передмісті, або районах великих житлових масивів.

Це також не додає позитиву економічності розвитку означених транспортних засобів.

Ще одним фактором, який ставить під сумнів економічність та екологічність автомобілів з електричною тягою є проблема утилізації акумуляторних батарей, які відпрацювали свій термін. З урахуванням того, що значна кількість транспорту надходить з вторинного ринку, цей фактор стає для нашої країни все загальнішим.

Використання акумуляторів, що були у вжитку, в якості накопичувачів енергії для електростанцій з поновлюваними джерелами (сонячні, вітрові...) не вирішує проблему утилізації, а лише відсуває її на деякий час. Тому перспектива отримати на території країни звалища відпрацьованих автомобільних батарей зовсім не приваблює.

Аналізуючи вищесказане можна зробити деякі висновки.

Поки в світі не створили досконалі технології накопичення та зберігання електричної енергії, технологічної системи утилізації батарей та методики оптимального з точки зору графіків навантаження розташування зарядних станцій, екологічні та економічні аспекти розвитку автомобільного транспорту з електричною тягою досить сумнівні.

Але, якщо врахувати сучасний стан галузі таких транспортних засобів, то можна виділити один з напрямків, що має найбільші перспективи якнайшвидшого впровадження.

Мова йде про транспорт для міських перевезень, де цілком можлива поява так званих «електробусів», які б мали акумуляторну батарею досить невеликої ємності. Її вага також незначна, відповідно і вага всього транспортного засобу зменшиться, що підвищує економічність такого рішення.

Первинне заряджання виконується у депо, а потім під час кожної зупинки здійснюється підзарядка батареї. Того невеликого часу буде цілком достатньо для запасу ходу до наступної зупинки. Як накопичувач електричної енергії також можуть бути застосовані суперконденсатори.

В якості технології підзарядки доцільно застосувати технологію індуктивного передавання енергії, яка раніше була відпрацьована на шахтному безконтактному транспорті [2].

Таким чином можна поступово входити у галузь автомобільного транспорту з повністю електричною тягою без суттєвих втрат екологічності та економічності.

Перелік посилань

1. Україна: електроенергетика <https://vue.gov.ua/Україна: електроенергетика>
2. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт / Г.Г. Пивняк, И.П. Ремизов, С.А. Сараткиянц и др. [под ред. Г.Г. Пивняка].- М.: Недра, 1990.-245с.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГВУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Наталія Рухлова, к.т.н., доцент кафедри електроенергетики,

Євгеній Кошеленко, к.т.н., доцент кафедри електроенергетики,

Марина Кириченко, старший викладач кафедри електроенергетики

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Розвиток електроенергетичної галузі в Україні останні роки був спрямований на корекцію генеруючих потужностей. Основні етапи державного «погляду» на цю ситуацію відображено у останній редакції «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року» від 18.08.2017 р. [1]. Вона передбачає до 2035 року виведення, без можливості подовження строку експлуатації, потужностей електричних станцій на базі викопного палива, що забезпечують ~80 % поточного виробництва (~20-25 ГВт). Їм на заміну передбачено проектування і будівництва нових потужностей, у тому числі маневрових – для балансування енергетичної системи. Такі вимушені кроки будуть супроводжуватися заходами щодо реалізації стратегічних цілей у вугільному секторі, а саме реорганізація вугледобувних та інших державних підприємств вугільної галузі, реструктуризація сектору, підготовка перспективних державних шахт до приватизації, а також ліквідація/консервація збиткових державних шахт.

Згідно із [1] стабільні темпи будівництва сучасних електростанцій на базі відновлювальних джерел енергії в останні роки в Україні, дозволили б у перспективі свого розвитку приймати активну роль у формуванні режимів роботи енергосистеми, тобто замінити маневрені потужності, що призначені покривати пікові навантаження. Наразі значну роль, в якості маневрових потужностей, відіграє використання теплових електростанцій (ТЕС), основним паливом для яких слугує вугілля і тому їх експлуатація є екологічно небезпечною. Крім того, всі існуючі ТЕС мають строк служби більше 20 років і, відповідно, застаріле обладнання, ефективність роботи якого, достатньо низька. Як наслідок і виникає питання доцільності подальшої експлуатації ТЕС, а разом з цим і необхідності утримання вугільних шахт для видобутку вугілля.

Ідея, яка була закладена у Енергетичну стратегію [1] зрозуміла і обґрунтована, і навіть частково вже почала реалізовуватися (деякі збиткові шахти вже були ліквідовані, а відновлювальна енергетика стабільно збільшувала свої потужності). Однак на початку 2022 р. в Україні почалася війна, в ході якої на теперішній час пошкоджено біля 30% генерованих потужностей та розподільчих мереж. В результаті отримуємо катастрофічний дефіцит генерованих потужностей, а розпочату модернізацію електроенергетичної галузі - тимчасово нереалізуємою.

Однак, незалежно від ситуації, яка склалася, маємо потребу у енергоефективному використанні підприємств паливно-енергетичного комплексу: вугільних шахт, які функціонують наразі, а також шахти, які були законсервовані «сухим» способом.

Суха консервація передбачає, що обладнання для відкачування шахтних вод (головний водовідлив) знаходиться всередині шахти і повинно виконувати свою функцію за для запобігання повного затоплення, не зважаючи на закриття цієї шахти. Це в свою чергу і призводить до вимушеного збиткового утримання таких об'єктів. Але рівень грошових витрат на роботу шахтного водовідливу можливо максимально зменшити за рахунок регулювання режимів електроспоживання водовідливної установки [2].

В роботі [2] наведено основні підходи і алгоритми у визначенні найбільш енергоефективного режиму електроспоживання при застосуванні диференційованого за зонами доби тарифу на електроенергію, шляхом зміни режиму роботи електроустановки за рахунок перенесення максимального електроспоживання об'єктом на періоди мінімальних навантажень в енергосистемі. Тим самим такі заходи мають більш глобальну ідею, оскільки спрямовані на вирівнювання графіку навантаження енергосистеми. Що стосується безпосередньо споживачів, то такий підхід дозволить не тільки отримати грошову економію, наприклад в оплаті за утримання ліквідованих шахт, але й визначити найбільш енергетично ефективний режим роботи електроустановки, а саме режим з мінімальною питомою витратою електроенергії.

Нажаль, в Україні з 01 січня 2019 року втратила чинність постанова НКРЕКП про використання тарифів, диференційованих за періодами часу (для непобутових споживачів) і постачання електричної енергії споживачам здійснюється відтепер за вільними цінами.

Однак, якщо проаналізувати сучасний ринок продажу електроенергії, то рівень цін відповідає певним зонам доби і змінюється до них. Тобто у періоди, що відповідають явно вираженому максимальному навантаженню в енергосистемі ціни на електроенергію найбільші, а в періоди мінімального навантаження (як правило в ночі) і ціни найменші. Крім того, періоди максимальних і мінімальних навантажень визначені відповідними постановами НКРЕКП і відповідають тільки двом періодам доби.

Висновки. Утримання більшості ліквідованих шахт забезпечується постійним їх підтримання у сухому законсервованому стані шляхом відкачування підземних вод шахтним водовідливом. Цей процес відкачування шахтних вод також супроводжує функціонування всіх існуючих робочих шахт. Однак застосування регулювання режимів електроспоживання головною водовідливною установкою дозволить зменшити витрати за спожиту електроенергію. Зменшення загальних витрат на видобуток вугілля (відноситься до функціонуючих шахт) на пряму відобразиться на собівартості вироблення 1 кВт·год електроенергії.

Перелік посилань

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
2. Razumnyi, Yu.T.; Rukhlova, N.Yu.; Rukhlov, A.V. Energy efficient work of a coal mine dewatering plant, Dnipro: [Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu](#), 2015, – № 2 (146). – 74-79 р.

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Павлюс Степан,

Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро

Віталій Кузнецов, Дмитро Галушко, Ольга Мороз, Анатолій Геращенко, Володимир Доскоч

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

На стадії експлуатації діючої енергетичної системи важливе значення мають заходи по підвищенню її економічної ефективності за рахунок покращення показників якості енергії, які в нашій країні регламентуються ГОСТом 13109-97. Відомо, що ефективність електричної системи споживання залежить від багатьох показників, таких як коефіцієнт потужності, коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт спотворення синусоїдальної форми напруги (струму), несиметрія напруги, коефіцієнт форми кривих та ін. Для їх покращення фахові підприємства випускають компенсувальні пристрої реактивної енергії. Але, в ряді випадків після їх встановлення енергетичні показники якості не досягають очікуваних значень, що пов'язано із зростанням генерації реактивної енергії, ціна за яку суттєво перевищує вартість реактивної енергії. В більшості країн світу при проектуванні систем компенсації цей факт не враховується.

В цьому аспекті актуальною стає необхідність дослідження залежності параметрів якості енергетичних систем від індивідуальних характеристик самої системи навантаження.

Існуючі розробки з мінімізації втрат потужності здебільшого розглядають питання зменшення величини реактивної енергії у складі повної енергії за рахунок використання компенсаційних пристроїв [1, 2]. Однак вони ефективно працюють лише в лінійних системах споживання при симетричному навантаженні. В усіх інших випадках їх використання не дає бажаного результату.

У переважній більшості споживачі на підприємствах мають несиметричний характер, крім того, у багатьох випадках вони нелінійні (наприклад, частотні перетворювачі і тому подібне). Розвиток сучасної напівпровідникової техніки приводить до збільшення реактивної потужності яка погіршує синусоїдну форму кривої струму. Реальний струм таких споживачів представляє собою ряд синусоїдних складових струму з числа вищих гармонік 3,5,7,11 порядків. Такі споживачі являються нелінійними та несиметричними. Для несиметричних нелінійних споживачів традиційні системи компенсування реактивної енергії не є ефективними з таких причин:

- значно збільшується швидкість росту генерації реактивної енергії.

- мережі змінного струму захираються вищими гармоніками, які в свою чергу негативно впливають на термін служби конденсаторів, збільшується ризик передчасного спрацювання захисної комутаційної апаратури систем електропостачання, передчасний вихід з ладу споживачів, негативний вплив на систему споживання в тому числі за рахунок можливих резонансних явищ [1, 3].

Компенсувальні пристрої з незалежним регулюванням за окремими фазами [3] ефективно працюють лише в лінійних несиметричних системах.

Реактивна потужність при нелінійних навантаженнях функціонально залежить від величини спотворення кривих струмів і напруг. Це явище вимагає вирішення проблеми компенсації реактивної потужності з урахуванням особливостей несинусоїдних режимів. Крім цього, рівень реактивної потужності впливає на величину напруги. Відсутність єдиного підходу до визначення реактивної потужності робить актуальною розробку теорії реактивної потужності при несинусоїдних режимах. Остання базується на сутності фізичних процесів, що

протікають в електричних колах з нелінійними елементами. Авторами [4] детально вивчені фізичні явища, що протікають в одно- і багатофазних системах з R, L, C контурами та коммутаторами. Виведені теоретичні співвідношення для резонансного режиму, без реактивного режиму та режиму накопичення енергії в реактивних елементах.

Для отримання заданих показників якості електроенергії необхідно проводити дослідження конкретного споживача з метою вивчення його середньо-статистичних параметрів, що дає можливість сформулювати вимоги до розробки ефективного компенсуючого пристрою з урахуванням характеру навантаження саме даного споживача.

Підвищення ефективності енергосистем є важливим завданням для забезпечення сталого розвитку та боротьби зі зміною клімату. Сучасний стан проблеми полягає в тому, що багато країн продовжують залежати від вугільних та газових електростанцій, які є джерелами забруднення повітря та викидів вуглекислого газу. Проте, дедалі більше країн ставлять перед собою мету досягти нульових викидів парникових газів та енергонезалежності шляхом збільшення обсягу відновлюваної енергії та енергоефективності.

Однією з головних проблем підвищення ефективності енергосистем є нестача фінансування для розвитку відновлюваної енергетики та створення інфраструктури для її виробництва та транспортування. Також, необхідно розробляти та впроваджувати нові технології для збереження енергії та її розподілу, щоб знизити втрати під час транспортування та зберігання.

Іншою проблемою є низька свідомість населення про енергоефективність та використання відновлюваної енергії. Це призводить до відсутності попиту на нові технології та зниження зацікавленості інвесторів у цей сектор.

Також, важливо забезпечити правильне функціонування енергосистеми в умовах зростаючої долі відновлюваної енергії. Наприклад, в мережі потрібні нові технології для підтримки балансу між виробництвом та споживанням електроенергії в умовах, коли відновлювана енергія не може бути вироблена в достатній кількості, а також для забезпечення стабільності електропостачання в умовах коливань споживання енергії.

Ще однією важливою проблемою є нестабільність законодавства та недостатнє регулювання ринку відновлюваної енергії. Наприклад, невизначеність щодо ставок оплати електроенергії, що виробляється за допомогою відновлюваних джерел, може знизити інтерес інвесторів у цей сектор та зменшити розвиток відновлюваної енергетики.

Нарешті, ефективне використання енергії також залежить від освіти та кваліфікації працівників в енергетичній галузі. Необхідно забезпечити належне навчання та підготовку фахівців для вирішення проблем енергоефективності та відновлюваної енергетики.

Узагалі, підвищення ефективності енергосистем є важливою складовою забезпечення сталого розвитку та боротьби зі зміною клімату. Проте, для досягнення цієї мети необхідно вирішувати велику кількість проблем, пов'язаних з фінансуванням, технологіями, регулюванням та освітою.

Крім того, для підвищення ефективності енергосистем необхідно розглядати різні підходи, включаючи енергоефективність в будівництві, промисловості та транспорті, зменшення втрат енергії в електричних мережах, використання енергії зі сонячних панелей, вітряних турбін, гідроелектростанцій та інших відновлюваних джерел, а також впровадження енергозберігаючих технологій та систем управління споживанням електроенергії.

У зв'язку зі зростанням кількості виробництва та споживання електроенергії, ефективне використання енергії стає все більш важливим. При цьому важливо забезпечити стабільність та безпеку енергосистем, а також забезпечити доступність та ефективність електроенергії для всіх секторів економіки та громадян.

В цілому, підвищення ефективності енергосистем - це важливий етап в розвитку сучасного світу, що відображає прагнення до сталого розвитку та зменшення впливу на довкілля. Для досягнення цієї мети необхідно вирішувати багато проблем, які пов'язані з фінансуванням, технологіями, регулюванням та освітою. Однак, реалізація цих заходів дозволить зменшити

витрати на енергію, збільшити надійність та безпеку енергосистем, а також зменшити вплив на довкілля, збільшивши економічний та екологічний ефект.

Також важливо зазначити, що залучення громадськості до підвищення ефективності енергосистем є дуже важливим. Інформаційна кампанія, що спрямована на підвищення освіти та свідомості громадськості щодо ефективного використання енергії, може значно підвищити інтерес до розумного використання енергії, що приведе до зменшення використання паливних ресурсів та збільшення використання відновлюваних джерел енергії.

Крім того, важливо враховувати міжнародний аспект проблеми підвищення ефективності енергосистем. Великі країни та корпорації повинні прийняти лідерську роль в розвитку технологій енергоефективності та відновлюваної енергетики та здійснити перехід до низьковуглецевого енергетичного сектору. При цьому, міжнародна співпраця, обмін досвідом та технологіями між різними країнами є важливим етапом для досягнення цілей у галузі підвищення ефективності енергосистем.

Отже, можна стверджувати, що проблема підвищення ефективності енергосистем залишається актуальною в наш час. Для її вирішення потрібні комплексні підходи, що включають у себе різні аспекти, від фінансування та технологій до регулювання та освіти. Реалізація цих заходів не тільки підвищить ефективність енергосистем, але й зменшить вплив на довкілля, збільшить економічний та екологічний ефект, забезпечить сталий розвиток та поліпшить якість життя людей. Для досягнення цих цілей необхідно залучення різних груп суспільства, включаючи урядові й розвиток та поліпшить якість життя людей. Для досягнення цих цілей необхідно залучення різних груп суспільства, включаючи урядові та недержавні організації, науковців, інженерів, підприємців, громадськість, інвесторів та споживачів електроенергії.

На сьогоднішній день вже існує велика кількість успішних прикладів підвищення ефективності енергосистем в різних країнах світу. Це свідчить про те, що ці цілі можливо досягнути, якщо існує достатній рівень підтримки та співпраці між різними сторонами. Успішні приклади включають в себе впровадження енергоефективних технологій у будівництві, промисловості та транспорті, створення інфраструктури для виробництва та транспортування відновлюваної енергії, розробку систем управління електроенергією, збільшення обсягу відновлюваної енергії та реалізацію програм зменшення викидів вуглекислого газу.

Отже, підвищення ефективності енергосистем є однією з ключових проблем сучасного світу. Для її вирішення необхідно розвивати відновлювані джерела енергії та енергоефективні технології, забезпечувати стабільність та безпеку енергосистем, враховувати міжнародний аспект проблеми та залучати громадськість до вирішення цієї проблеми. Реалізація цих заходів дозволить зменшити витрати на енергію, збільшити надійність та безпеку енергосистем, зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити сталий розвиток енергетичного сектору.

Для підвищення ефективності енергосистем необхідно проводити наукові дослідження та розробки, що спрямовані на розвиток нових енергоефективних технологій та відновлюваних джерел енергії, а також на вдосконалення систем управління електроенергією. Також важливо забезпечити належне фінансування досліджень та впровадження нових технологій, зокрема, за рахунок розвитку гриндівестингу та інших форм залучення інвестицій.

Література

1. Повышение коэффициента мощности малых государственных предприятий [Текст] / С. Г. Павлюс и др. // Совр. науч. вестник. – 2011. - № 11 (107). – С. 84 - 91.
2. Соборницький, В. И. Повышение коэффициента мощности электро-термических установок [Текст] / В. И. Соборницький и др. // Ключови въпроси в съвременната наука: тезиси докл. XII Междунар. науч-практ. конфер. (София, 15 – 22 апреля 2016). – София, 2016. № 23. - С. 19 – 21.

3. Павлюс, Е. С. Повышение эффективности системы электро-потребления университета [Текст] / Е. С. Павлюс и др. // Хімія і сучасні технології: тези допов. VI Міжнар. наук.-техн. конф. студ., аспір. та молод. вчених (Дніпро, 24 - 26 квітня 2013р.). – Д., 2013. – С. 12.
4. Шидловский, А. К. Элект-рические цепи с вентильными ком-мутаторами [Текст]: монографія / А. К. Шидловский, В.С. Федий. – К.: ООО Артпринт, 2010. – 269 с. (друк. арк. 12,2).

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ДО МАГІСТРАЛЬНИХ ШАХТНИХ КОНВЕЄРІВ

Володимир Прокуда, к.т.н., асистент кафедри електроенергетики

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Використання перетворювачів частоти для зміни швидкості руху шахтних магістральних конвеєрів дозволяє досягти зниження витрат електроенергії. Проаналізуємо це зниження, та можливий економічний ефект за певних фізичних параметрів.

Використовуємо рівняння, наведені у літературі [1-3] та залежності перерозподілу потоку після конвеєра з регульованим приводом [3], визначимо математичне сподівання середньогодинної потужності. На рис. 1 наведена діаграма електроспоживання конвеєрної лінії з регульованою швидкістю руху стрічки залежно від кількості конвеєрів у ній при $M(Q)=3400$ кг/хв, $K_{ск}=0,25$.

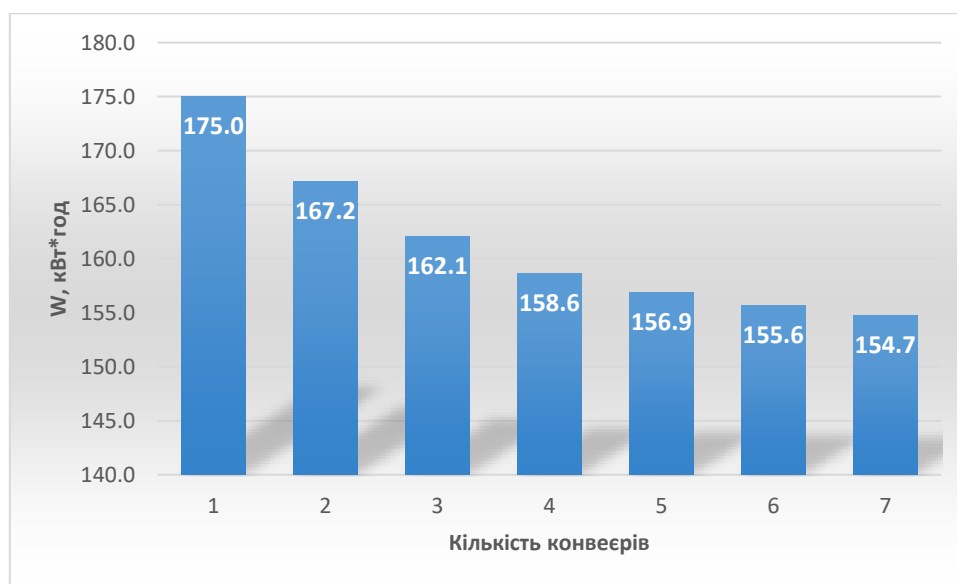


Рис. 1. Діаграма зміни величини річного електроспоживання ділянки конвеєрного транспорту з використанням перетворювачів частоти залежно від кількості конвеєрів у лінії довжиною 1 км

У табл. 1 наведені терміни окупності проектів при вартості однієї привідної станції 166 тис. грн. Та одного перетворювача частоти 600 тис грн., а також числі послідовно встановлених конвеєрів не більше чотирьох, оскільки подальша тенденція очевидна.

З аналізу табл. 1 випливає, що при додаткових витратах на привідні станції і перетворювачі частоти термін окупності проекту при штучному поділі конвеєрної лінії на кілька частин є неприйнятним. Встановлення засобів регулювання швидкості руху конвеєрної стрічки прийнятно або до вже існуючих конвеєрних ліній, або до проєктованих.

Аналізуючи отримані результати терміну окупності проекту, можна зробити висновок, що він істотно знижується за наявності збірного бремсбергового конвеєра з кутом установлення більшим -6° . Запропонований алгоритм у сукупності з непрямим методом визначення

Таблиця 1

Термін окупності проектів при розбитті конвеєрної лінії довжиною 1 км
з регульованою швидкістю руху стрічки на кілька

Кількість конвеєрів	Змінні умови		
Математичне сподівання вантажопотоку $m(q)$, кг/хв	3400	5300	3400
Глибина регулювання швидкості руху стрічки $\kappa_{ск}$	0,1	0,1	0,25
	Термін окупності, років		
1	4,19	6,45	5,39
2	8,22	12,13	10,22
3	12,21	17,66	14,83
4	16,18	23,11	19,33

характеристик потоків вугілля, що надходить з очисних вибоїв, дозволяє в реальному часі оцінювати енергоефективність роботи конвеєрів і керувати процесами транспортування вугілля, в тому числі за мінімумом витрати електроенергії, наприклад, засобами регульованого приводу. Розроблені алгоритми та їх реалізація в середовищі MATLAB SIMULINK дозволяють моделювати систему конвеєрного транспорту вугільної шахти будь-якої складності, включаючи конвеєри з регулюванням швидкості руху стрічки для визначення енергоефективних режимів роботи транспортної системи. Економічний ефект від упровадження перетворювачів частоти до приводів конвеєрів збільшується при використанні регулювання швидкості руху стрічки на лінії послідовно встановлених конвеєрів, а також за наявності збірних бремсбергових конвеєрів. При регулюванні швидкості руху стрічки на послідовно встановлених конвеєрах термін окупності проекту збільшується на 5 % у порівнянні з конвеєрами з регульованою швидкістю руху стрічки, що приймають вугілля з різних очисних вибоїв.

За наявності бремсбергового конвеєра з кутом установлення більшим -6° , після конвеєрів з регульованою швидкістю руху стрічки економічний ефект від впровадження перетворювачів частоти збільшується за рахунок зниження витрат електроенергії на бремсберговому конвеєрі. При цьому термін окупності проекту зменшується до 40 % залежно від умов роботи конвеєрів. Збільшення кількості послідовно встановлених конвеєрів з регульованим приводом в лінії певної довжини, в порівнянні з одним конвеєром з регульованою швидкістю руху стрічки тієї самої довжини, дозволяє додатково знизити витрату електроенергії до 12 %.

Перелік посилань

1. Разумний Ю.Т. Енергоефективність магістрального конвеєрного транспорту шляхом визначення величин хвилинних значень вугільного потоку / Ю.Т. Разумний, В.Т. Заїка, В.М. Прокуда // Гірничо-електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 93. – С. 139 – 143
2. Заїка В.Т. Вплив регульованого приводу на вантажопотоки та енергоефективність системи шахтного конвеєрного транспорту / В.Т. Заїка, Ю.Т. Разумний, В.М. Прокуда // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2015. – №3. – С. 82-88.
3. Прокуда, В. М. Синтез імовірнісних моделей контролю енергоефективності магістрального конвеєрного транспорту вугільних шахт / В. М. Прокуда // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – № 16. – С. 40 – 47.

РЕЗУЛЬТАТИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ «ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА - ПРИВІД - КОМПРЕСОР – ПНЕВМОМЕРЕЖА» РІЗНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Олексій Бобров, доцент, канд. техн. наук

Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Система двохпозиційного регулювання тиску широко застосовується в поршневих компресорних установках. Нормальна робота споживачів стислого повітря забезпечується завдяки підтримці в системі тиску в заданому інтервалі ($P_{\min} \div P_{\max}$).

Підвищення енергоефективності системи "електрична мережа - компресор - пневмомережа" в цілому можна досягти, виконавши "плаваючим" верхній рівень тиску. В роботі [1] введено критерій економічності для системи управління і визначення значення верхнього рівня тиску на одному циклі накачування спуску тиску - ККД. Обґрунтування цього енергетичного показника базується на з'ясуванні залежностей між різними показниками елементів всієї системи, визначенні найбільш вагомих, з точки зору втрат енергії, елементів електромеханічної системи, а також взаємозв'язку між ними.

Для вирішення раніше [2] сформульованої задачі оптимізації розроблена цифрова математична модель. При створенні моделі були прийняті допущення, описані в [3], що враховують мету моделювання - отримання оптимального значення максимального верхнього рівня тиску в пневмосистемі, відповідного максимуму цільової функції (ККД) при різних фіксованих витратах стислого повітря пневмоприймачів. Отримані значення можуть бути реалізовані в системі регулювання виробництва стислого повітря з певною точністю (до 10% від розрахункових значень). Порівняльний аналіз отриманих результатів моделювання для електромеханічних систем з номінальним рядом продуктивностей повітряних поршневих компресорів з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором - 2,5; 5; 10; 11; 12; 20; 24; 27, м³/хв виконаний в роботі [5]. Проведемо оцінку результатів параметричної оптимізації, яка зводиться до аналізу отриманих в результаті рішення задачі оптимальних значень верхнього максимального рівня тиску в пневмосистемі $P_{\max\text{опт}}$ при різних заданих значеннях витрати стислого повітря, споживаного пневмоприймачами $Q_{\text{потр}}$ з точки зору їх практичної можливості бути реалізованими. Важливий зв'язок оптимальних параметрів режиму роботи електромеханічної системи зі змінними, що характеризують умови експлуатації електромеханічної системи. При виконанні аналізу важливо оцінити їх вплив на показники електроспоживання (ГЕН) і визначити ефективність запропонованого рішення.

При порівнянні значень кількості енергії, споживаної електромеханічною системою за одну годину з класичним двохпозиційним управлінням і двохпозиційним управлінням з оптимальним верхнім рівнем тиску встановлено, що економія електроенергії становить від 0,76% до 13,50% для різної витрати стислого повітря.

При порівнянні значень кількості енергії, спожитої при класичному двопозиційний управлінні і двопозиційний з оптимальним верхнім рівнем тиску і обмеженнями за кількістю пусків, встановлено, що при малих витратах стислого повітря в силу вступає

обмеження, а при великих - збільшується економія електроенергії. Пояснюється це тим, що час циклу "збільшення - зниження" тиску змінний. Чим вище витрата стислого повітря, тим більше час циклу і менше кількість пусків приводного двигуна в годину. Відповідно справедливо і зворотне твердження. Слід зазначити, що система управління при використанні оптимального верхнього рівня тиску виходить за межі встановлених обмежень. Вона визначає таке значення верхньої межі тиску, при якому найбільш повно використовується допустима кількість пусків поршневої компресорної установки за годину.

Завдання оптимізації параметрів режиму роботи комплексу у викладеній редакції може вирішуватися як на стадії проектування системи вироблення і розподілу стислого повітря, так і в процесі її експлуатації. Цифрова математична модель вимагає використання певної інформації. Ця інформація може бути отримана в результаті експлуатації системи вироблення і розподілу стислого повітря. Основні параметри електромеханічної системи, такі як довжина і питомий опір лінії, яка живить електропривод компресора, його номінальна потужність, номінальна продуктивність повітряного поршневого компресора, обсяг ресивера і пневмосистеми залишаються незмінними. Вони можуть змінюватися тільки в процесі реконструкції або модернізації електромеханічної системи. Однак в моделі використовуються параметри, які можуть змінюватися з часом - реальна продуктивність повітряного поршневого компресора і втрати стислого повітря в пневмосистемі. Пов'язано це з погіршенням параметрів повітряного компресора протягом строку його експлуатації та корозією пневмопроводів. Також має місце вплив зміни параметрів повітря, пов'язане з чергуванням пір року. Тому для нівелювання цих впливів необхідно проводити випробування для уточнення розрахункових регресійних коефіцієнтів, не рідше ніж два рази на рік (червень, грудень), тобто при зміні сезону року.

При моделюванні параметрів режимів електромеханічних систем з повітряними поршневими компресорами різної номінальної продуктивності виявлено, що під час відсутності обмеження за кількістю запусків на годину (його збільшенні до 30 ... 40 шт.) приводного асинхронного двигуна економія споживаної електричної енергії досягається і при мінімальних витратах стислого повітря, споживаного пневмоприймачами. У разі обмеження кількості пусків (що встановлюється паспортними даними двигуна) економія електроенергії може бути досягнута лише при великих витратах стислого повітря. Останнє підтверджується результатами моделювання. Цей факт доцільно враховувати на стадії проектування системи для підвищення її енергетичного показника - ККД.

При вирішенні оптимізаційної задачі задавалися дискретні значення витрати стислого повітря, споживаного пневмоприймачами $Q_{\text{потр}}$, і розраховувалося споживання електричної енергії комплексом за одну годину. Обумовлено це тим, що зазначений параметр є незалежним і не контролюється системою управління поршневої компресорної установки. Існують комплекси, які працюють на один пневмоприймач, проте в загальному випадку системи вироблення і розподілу стислого повітря працюють на кілька пневмоприймачів, що, в свою чергу, передбачає зміну витрати стислого повітря в продовж роботи зміни. Тому система управління повітряним поршневим компресором повинна відслідковувати зміну витрати стислого повітря, споживаного пневмоприймачами. Виходячи з особливостей математичної моделі можливі два варіанти вирішення. Перший варіант полягає у відстеженні витрати стислого повітря, споживаного пневмоприймачами, на ділянці зниження тиску, і відповідно до цього значення встановлення верхнього максимального оптимального рівня тиску для наступного циклу «накачування - спуску» тиску, виходячи з заздалегідь розрахованих табличних масивів даних.

Тобто після проведення випробувань, описаних в [4], можливо розрахувати двовимірний масив, в якому певній витраті стислого повітря буде відповідати значення максимального оптимального рівня тиску за цикл. Основною перевагою такого варіанту рішення є можливість

застосування керуючої системи на базі мікропроцесорної техніки низької обчислювальної потужності. До недоліків відноситься неможливість коригування рівня максимального оптимального верхнього рівня тиску на ділянці накачування, тому що в такому випадку необхідно відстежувати витрату стислого повітря, споживаного пневмоприймачами, і на цій ділянці, а це зажадає додаткової обчислювальної потужності. Другий варіант вирішення позбавлений недоліку попереднього і полягає в безперервному відстеженні витрати стислого повітря, споживаного пневмоприймачами, на ділянці накачування тиску при роботі електромеханічної системи за цикл. При цьому потрібно проводити досить ресурсомісткі обчислення в режимі реального часу. На сучасному рівні розвитку обчислювальної техніки з точки зору управління енергетичними процесами в подібних електромеханічних системах питання про обчислювальну потужність мікроконтролерів практично вирішене. На даний момент широкого поширення набули програмовані логічні контролери і програмовані електронні реле управління. Вони володіють великою обчислювальною потужністю, малими габаритами, випускаються в промисловому виконанні і можуть експлуатуватися персоналом середнього технічного рівня.

Перелік посилань

1. Бобров А.В. Повышение энергоэффективности поршневых компрессоров. Технічна електродинаміка. - №3. - 2004. - с. 70-71.
2. Бобров О.В. Управление электроприводом компрессорной установки на основе определения КПД электротехнического комплекса / О.В. Бобров // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Наук.-виробн. журнал. – Кременчук: КНУ, 2011. - Вип. 4. (16). – С. 124.
3. Бобров А.В., Безкровный В.О. Допущения и ограничения в расчете кпд электромеханической системы «электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть» / Бобров А.В., Безкровный В.О. // Молодь: наука та інновації 2016: 4-та Всеукраїнська науково-практична конференція. (6-7 грудня 2016 р., Дніпро): тез. Доп. / М-во освіти і науки України ; Нац. Гірнич. Ун-т.; ПНЦ НАН України – Д., 2016. – С.11-8 – 11-10.
4. Бобров О.В. Результаты досліджень енергоефективного режиму роботи електромеханічної системи виробництва та розподілу стислого повітря / О.В. Бобров, С.І. Випанасенко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 2. (26). – С. 85 – 90.
5. Бобров А.В. Сравнительный анализ результатов моделирования электромеханических систем «электрическая сеть – привод – компрессор – пневмосеть» различной производительности / Бобров А.В., Колб А.А., Цыпленков Д.В. // Гірнича електромеханіка та автоматика. – Дніпро. 2019. – №101. – С.75-78.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Тетяна Лябова, аспірантка кафедри електротехніки

Олексій Іванов, к.т.н., професор, професор кафедри електротехніки

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Енергія вітру використовувалася з найдавніших часів. В 21 столітті вітроенергетика стала повноцінною областю електроенергетики. З кожним роком встановлені потужності вітроенергетичних установок невідмінно зростають. В 2021 сумарна потужність вітроенергетичних установок у світі склала 823 484 МВт [1].

У зв'язку з тим, що на сьогоднішній день існує безліч різних конструкцій вітроенергетичних установок (ВЕУ), виникає низка питань, що вимагає вирішення, таких як, наскільки ефективними є конструкції ВЕУ, наскільки повно використовується потенціал цих конструкцій та чи є можливість збільшити ефективність такої установки, не вносячи суттєвих змін у конструкцію.

Необхідність регулювання потужності у вітроенергетичній установці пояснюється особливістю аеродинамічної характеристики вітроколеса. Для кожної швидкості вітру існує відповідна частота обертання, що відповідає максимальній потужності [2].

ВЕУ, що працюють на постійній частоті обертання. Такі установки є найпершими в історії вітроенергетики. Вони прості, надійні та складаються з недорогих електротехнічних компонентів. В них застосовуються асинхронні генератори, що підключаються безпосередньо до мережі, дозволяючи забезпечувати практично постійну частоту обертання ротора, що відповідає частоті мережі незалежно від швидкості вітру [3].

ВЕУ, які працюють на змінній частоті обертання. Такий вид установок найбільш використовується в даний час. Вони мають безліч переваг у порівнянні з попереднім видом установок. Перша і найважливіша перевага полягає в розв'язці частот між генератором і мережею, що робить їх більш гнучкими в плані управління та оптимальної роботи. Висока керованість при роботі на змінній частоті обертання - це значна перевага, яка дозволяє освоювати більш високі значення швидкості потоку вітру, що набігає. Робота на змінній частоті обертання дозволяє ВЕУ безперервно адаптуватися під швидкість вітру так, що установка постійно працює з максимальною ефективністю використання потужності. У той час як ВЕУ, що працюють на постійній частоті обертання, досягають максимальної її ефективності тільки при одному визначеному значенні швидкості вітру, ВЕУ на змінній частоті обертання досягають максимальної ефективності за широкого діапазону швидкостей вітру. Крім того, останній тип керування дозволяє використовувати передові методи управління з різною метою: зниження механічних навантажень, зниження акустичного шуму, збільшення захоплення меж потужності тощо.

Управління ВЕУ за допомогою пасивного зриву потоку. Найбільш простим способом управління потужністю є зниження аеродинамічної ефективності, використовуючи ефект зриву потоку на високих швидкостях вітру без будь-яких змін геометрії лопаті [4]. Як тільки швидкість вітру збільшується, відбувається штатна активація аеродинамічного режиму зриву потоку з ротора. Ключовим фактором у цьому способі управління є особлива конфігурація профілю лопаті, що забезпечує ефект зриву при навіколономінальних потужностях, свідомо виключаючи небажані аеродинамічні процеси. До недоліків такого методу управління можна віднести: високі механічні навантаження, обумовлені різкими поривами вітру.

Управління потужністю ВЕУ за допомогою зміни кута повороту лопаті та активним зривом потоку. Іншим методом управління потужністю є метод зміни кута повороту лопаті, що змінює геометрію лопаті. Такий спосіб управління широко використовується на сьогоднішній день, під цим способом мається на увазі зміни кута атаки лопаті, змінюючи положення леза щодо потоку вітру, що набігає, шляхом повороту лопаті назустріч вітру або навпаки [5]. Головними перевагами способу управління по куту атаки є добре відпрацювання з відбору потужності, що забезпечує легкий старт та можливість аварійного гальмування за допомогою зменшення потужності. З іншого боку, цей метод збільшує фінансові витрати, а також зростає складність конструкції за рахунок наявності поворотного механізму від системи керування.

В умовах постійної швидкості вітру і незмінних геометричних розмірах аеродинамічних поверхонь вітроколеса найбільша ефективність вітроколеса досягається при зміні частоти обертання ротора вітроколеса згідно певної закономірності. Зазвичай така закономірність визначається швидкохідністю — відношенням лінійної швидкості кінця лопаті до швидкості вітру. Для кожної конструкції вітроколеса зі своїми геометричними розмірами існує певне значення швидкохідності, за якого забезпечується найбільша ефективність. І для забезпечення ефективної роботи ВЕУ потрібно постійно підтримувати цю швидкохідність на необхідному рівні, змінюючи частоту обертання ротора вітроколеса слідом за швидкістю вітру, що змінюється.

Аналізуючи описані вище способи керування потужністю ВЕУ можна зробити висновок, що найпростішим і найпоширенішим способом управління є робота при постійній частоті обертання вітроколеса. Водночас вітроенергетичні установки, що працюють при такому управлінні не можуть забезпечити ефективне функціонування в широкому діапазоні швидкостей вітру і вимагають додаткових механізмів для захисту конструкції ВЕУ при надлишку вітрової потужності. Найбільш ефективним способом, що забезпечує роботу ВЕУ в широкому діапазоні швидкостей вітру, є робота при змінній частоті обертання вітроколеса за заданим алгоритмом, коли, при зміні швидкості вітру змінюється частота обертання вітроколеса, забезпечуючи роботу вітроколеса із найбільшою ефективністю.

1. : IRENA (2022), Renewable Energy Statistics 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhab. ISBN: 978-92-9260-446-2. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2022.pdf?rev=8e3c22a36f964fa2ad8a50e0b4437870

2. Ajay Kushwaha, Inderpreet Singh Literature review paper on doubly fed induction generator wind turbine technology. September 2013. https://www.researchgate.net/publication/260797016_Literature_review_paper_on_doubly_fed_induction_generator_wind_turbine_technology

3. Tan K, Islam S (2004) Optimum control strategies in energy conversion of PMSG wind turbine system without mechanical sensors. IEEE Transactions on Energy Conversion 19(2): 392–399.

4. Camblong H, Martinez de Alegria I, Rodriguez M, Abad G (2006) Experimental evaluation of wind turbines maximum power point tracking controllers. Energy Conversion and Management 47(18–19): 2846–2858.

5. Iulean Munteanu, Antoneta I. Bratcu. olution: Optimal Control of Wind Energy Systems. Towards a Global Approach. – Springer. – 2008. – 245 p

THE CURRENT STATE OF THE ISSUE OF DEVELOPING A MATHEMATICAL MODEL OF THE CLOSED SYSTEM OF LOCATION OF THE EXCAVATOR BUCKET

Valerii Tytiuk, Doctor of Science

Kyryvi Rih National University, Kyryvi Rih, Ukraine

Vitaliy Kuznetsov, Ivan Strambovskiy, Oleh Stepanenko, Serhii Nazarenko, Borys Nazarenko

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

Excavators play an important role in open pit mining. The most powerful excavators are used in open pit mining for both stripping activity, rock mass transfer and dump formation [1,15].

In the mining industry, the transition to a new generation of production equipment is characterized by a functional and constructive combination of electromechanical converters with energy and information components with a high level of organization of control processes. During continuous development and complication of interconnected electrical, mechanical, electromechanical, and control systems, modern excavation machinery is being transformed into a mechatronic complex [2]. For mechatronic complexes of mining machines, due to their significant installed capacity, the energy efficiency of their operation is of particular importance.

Increasing the efficiency of using the electrical energy in industry and, consequently, in mechatronic systems of mining machines is a defining trend in the development of technical systems in the near future [3]. An analysis of modern scientific and technical literature shows that currently there are no developments of automatic control systems for the movement of the working bodies of mining excavators. In fact, the functions of controlling the movement of the mining machines' working bodies are assigned to the man-machine complex in which defining actions are assigned to the operator. Such a decision makes it impossible to analyze and synthesize control systems, which ensure the rational use of electricity in mechatronic systems, and limits the maximum achievable energy characteristics of mechatronic systems of mining machines.

In this regard, the development of automatic control systems for the movement of working bodies for mining machines that minimize the influence of the operator, is becoming the main direction in the development of electromechanical systems for mining equipment in general, and mining excavators in particular. At present, this task is of particular relevance in connection with the fundamental renewal of both the power equipment of excavator electric drives and technical controls.

The analysis of modern scientific and technical literature demonstrates the significant interest of researchers in various problems of the operation of excavators. Work [4] is devoted to the kinematic analysis of the mechanical part of the excavator according to the "backhoe" scheme for closed-loop position control systems. In [5], the features of the interconnected operation of the mechanical part of the main mechanisms of the excavator according to the "front shovel" scheme are considered.

In [6], the problem of the influence of variable loads on the technical condition and reliability of the elements of the crowd mechanism and the excavator as a whole is studied. Various aspects of the problem of developing autonomous or remotely controlled excavator systems are considered. Works [7] consider the influence of the qualification of the operator on productivity and energy consumption of excavator.

The work [8] is devoted to the problems of analyzing the wear of excavator equipment; in [9], the wear of the elements of the bucket and the crowd mechanism that directly interact with the rock mass is considered in more detail.

Energy calculation remains the most complex and critical stage in the design of mechatronic systems. Currently, it is carried out using particular methods [10], which do not take into account the settings of control devices and the features of power converters. For electric drive systems with

semiconductor converters, operation of which causes distortions in the shape of currents and voltages, both calculations and measurements of energy characteristics are difficult, since models and estimates of the parameters of electric power processes for nonlinear systems do not have unambiguous and generally accepted definitions [11].

In [12], the problems of synthesis of mechatronic control systems that are optimal in terms of minimum energy consumption are considered, which is a complex task that depends on the size and configuration of the mechatronic system. It should be noted that now there are no generally accepted definitions of the energy efficiency of technical systems and criteria for its determination in the scientific community. As shown in [13], a minimum of energy consumption is not identical to an increase in the energy efficiency of technical systems.

In [14], a criterion for the energy efficiency of the process of starting powerful electric drives is proposed, taking into account various types of resource costs, the cumulative result and the duration of the starting process. In modern scientific and technical literature, there are no works devoted to the synthesis of a closed-loop system for automatic control of the position of a “front shovel” excavator bucket, which limits the perspectives for optimizing this type of equipment.

REFERENCES

1. Tiwari, R., Knowles, J., & Danko, G. (2013). Bucket trajectory classification of mining excavators. *Automation in Construction*, 31, 128-139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.006>.
2. Wehrmeister, M. A., Freitas, E. P., Binotto, A. P. D., & Pereira, C. E. (2014). Combining aspects and object-orientation in model-driven engineering for distributed industrial mechatronics systems. *Mechatronics*, 24(7), 844-865. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2013.12.008>.
3. Litvin, O., Litvin, Ya., Tyulenev, M., & Markov, S. (2021). On determining the parameters of face blocks during mining operations with backhoes. *Gornaya promyshlennost – Russian Mining Industry*, (6), 76-81. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-76-81>.
4. Guan, D., Yang, N., Lai, J., Siu, M.-F. F., Jing, X., & Lau, C.-K. (2021). Kinematic modeling and constraint analysis for robotic excavator operations in piling construction. *Automation in Construction*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103666>.
5. Tytiuk, V., Khandakji, K., Sivyakova, G., Karabut, N., Chorny, O., & Busher, V. (2021). Determining the parameters of the trajectory of the bucket of mining quarries excavators. *E3S Web Conference*, 280. Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021), 05013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128005013>.
6. Raza, M. A., & Frimpong, S. (2017). Mechanics of Electric Rope Shovel Performance and Reliability in Formation Excavation. In Canbolat, H. (Ed.). *Lagrangian Mechanics*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/65333>.
7. Khorzoughi, B. M., & Hall, R. (2016). A Study of Digging Productivity of an Electric Rope Shovel for Different Operators. *Minerals*, 6(2), 48. <https://doi.org/10.3390/min6020048>.
8. Svanberg, A., Larsson, S., Rikard, M., & Pär, J. (2021). Full-Scale Simulation and Validation of Wear for a Mining Rope Shovel Bucket. *Minerals*, 11(6), 623. <https://doi.org/10.3390/min11060623>.
9. Svanberg, A., Larsson, S., Mäki, R., & Jonsén, P. (2021). Full-scale simulation and validation of bucket filling for a mining rope shovel by using a combined rigid FE-DEM granular material model. *Computational Particle Mechanics*, 8, 825-843. <https://doi.org/10.1007/s40571-020-00372-z>.
10. Kaltjob, P. O. J. (2021). *Control of Mechatronic Systems: ModelDriven Design and Implementation Guidelines*. Hoboken NJ: John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-50575-4.
11. Kitizig, J., & Bumiller, G. (2019). Evaluation of Power Quality Measurement System Concept using an experimental setup. 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 1-6. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2019.8826814>.

12. Wilamowski, B. M. (2017). *Control and Mechatronics (The Industrial Electronics Handbook)*. New York: CRC Press. ISBN 9781138073593.
13. Tytiuk, V., Lutsenko, I., Oksanych, I., & Rozhnenko, Zh. (2017). Development of the method for determining optimal parameters of the process of displacement of technological objects. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 6/3(90), 41-48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116788>.
14. Malafeev, S., Novgorodov, A., & Konyashin, V. (2020). Bench tests of the quarry excavators main electric drives. 2020 XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICEPDS47235.2020.9249257>.
15. V. Tytiuk, O. Chornyi, D. Mrachkovskyi, S. Tryputen, M. Tryputen, V. Kuznetsov. Mathematical model of the closed-loop system of excavator bucket positioning. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023 (1) pp.107-114. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/107>

A SCALABLE APPROACH FOR SIMULATION OF ISLAND GRIDS WITH ENERGY STORAGE SYSTEMS

Sergii Khudolii, Cand. Sci. (Tech.), Professor,

Ivan Lutsenko, Cand. Sci. (Tech.), Professor,

Alexsander Balakhontsev, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,

Volodymyr Lytvyn, PhD student

Dnipro University of Technology, Ukraine

A. Notholt, Dr.-Ing, Professor

Reutlingen University, Germany

The topic of energy storages for electric grids is well elaborated. Now it is not only the subject of research, but already a commercially applied technology [1]. There are several companies on the energy market that provide services related to energy storages., the relevant technology is mature, yet in its early application stage. There are still gaps in fundamental questions that need to be addressed.

In Europe, the ‘technical’ aspects of deployment and use of electric utilities are especially bound to ‘non-technical’ issues like economic feasibility, regulations and policies. There are numerous stakeholders on the market – generating facilities, transmission grids, utility companies, different types of energy consumers. Taking into account the high share of renewables and hence, intermittent power generation, there is an obvious need for *tools* – a set of approaches, methods and software applications for automatic design of energy storage systems and management of power flows. There is also a need for a decision support – an application that would conveniently check the validity of the system configuration and assess its financial feasibility.

Energy storage as mathematical object

There are many physical principles and technologies for storing energy. Energy can be stored in mechanical form, electromagnetic, electrical, electrochemical, thermal. Pumped hydro storages posses the biggest scale, while galvanic batteries are gaining application. One of perspective approaches implies using the batteries of electric vehicles for storing energy (so-called V2G approach [2]).

Virtually any energy storage comes with electronic or electromechanical converter. The converter matches the voltage of the storage with the grid voltage. It can perform e.g. reactive power control functions. That is why, for description of the generalized power storage it is sufficient to treat it as an integrator of incoming and outgoing power flows, like it is shown in the figure below.

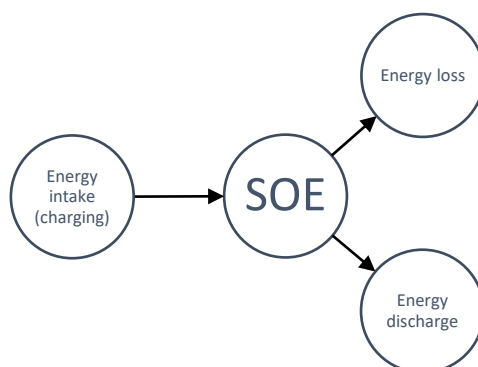


Figure 1. Energy flows in the generalized energy storage

The main physical value around which the model of storage is composed, is state of energy (SOE), measured in Joules. SOE is derived from the difference between the power intake (charging) and energy expenditure, which is discharging and energy losses. Both power intake and discharge involve energy losses, e.g. in the internal resistance of the battery.

The equation of ESS reflecting this notion is [3]:

$$SOE = \int_{t-h}^t \left(\frac{P_{charging}}{\eta_{charging}} - \frac{P_{discharging}}{\eta_{discharging}} - P_{loss} \right) dt$$

where $P_{charging}$, $P_{discharging}$ – power rates during charging and discharging;

$\eta_{charging}$, $\eta_{discharging}$ – corresponding efficiency values; P_{loss} – power losses (self discharge); h – time interval.

The values in the equations are constrained:

$$SOE_{min} \leq SOE \leq SOE_{max};$$

$$0 \leq P_{charging} \leq P_{charging}^{max};$$

$$0 \leq P_{discharging} \leq P_{discharging}^{max};$$

Any type of energy storage will have the same description relative to SOE, but the non-linear functions often can be reduced to constants.

Calculations of power flows in the Island Grids

We consider the simple case of a system shown in Fig. 2. The system comprises a consumer (the load) attached to the primary energy source (either a grid or diesel generator), one or several renewable energy sources and an energy storage. The figure also demonstrates the logic of power distribution.

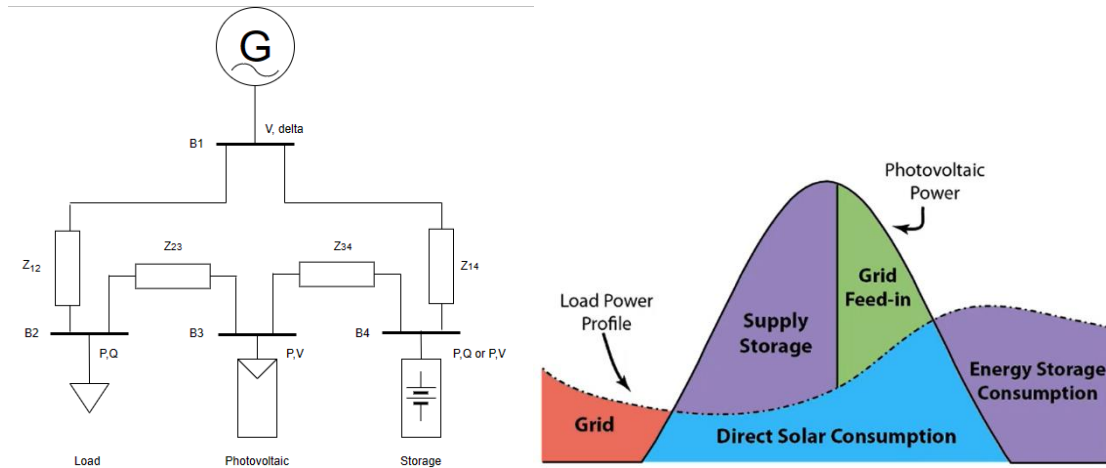


Figure 2. Topology of the island grid system and daily power flows.

An island grid in general is to have a primary energy source – either diesel generator or external grid. There is at least one load, renewable source(s) and energy storage. The connection junctions are nodes, or buses. There are line impedances Z_{MN} between them (M and N are nodes with Z_{MN} line between them).

Depending on the type of a component connected to each the bus, generator or consumer, different parameters are set primary variables. For the load - the active and reactive powers P and Q are set. For generators (including renewables), it is active power and voltage P,V . The storage can act either as consumer of surplus energy or generator. The main power source operates in the mode of stabilization of voltage and angle (phase shift between its voltage and current) – V, δ .

To solve the problem, a set (system) of equations basing on Kirchhoff's laws is composed. Since the equations are non-linear, the solution is derived using one of numerical methods e.g. Gauss-Seidel's [3].

Scalable architecture of the system

The approach is self-sufficient, it already allows performing the local task of improved power flow analysis and validation tests.

Adding new features to the system, enriching its functionality (scaling) can be done from the following considerations:

- Models (classes) of network components can be used for calculation of transient processes. That extends the list of validation tests of electric networks;
- The "Time Functions" can be amended with the daily profile of electricity costs; all time functions may depend on annual profiles as well. The electricity cost, together with results of power flow calculation, is used for estimation of daily expenditures and profits;
- Extrapolated annually, financial calculations are used for estimation of financial feasibility and seeking optimal configuration of the system. To do that, the Calculation Routines is amended with procedures for financial calculations and optimization procedures.
- Other features can be amended by adding up correspondent classes, e.g. representation of electric vehicles as storage components with their specifics.

References

1. X. Luo, J. Wang, M. Dooner and J. Clarke, "Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation," *Applied Energy*, vol. 137, pp. 511-536, 2014
2. Khatskevych, Yu. V.; Lutsenko, I. M.; Rukhlov, A. V. Perspectives of load management in energy system with the help of electric vehicles. Scientific Bulletin of National Mining University . 2017, Issue 5, p86-93. 8p.
3. R. Sioshansi, "Energy-Storage Modeling: State-of-the-Art and Future Research Directions," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 37, pp. 860-875, 2022.
4. J. J. Grainger and W. D. Stevenson jr., *Power System Analysis*, Singapore: McGraw-Hill Inc., 1994.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕЛЕКТРИЧНОГО АВТОМОБІЛЯ

Олександр Балахонцев, к.т.н., доцент кафедри електропривода

Артем Швидько, аспірант кафедри електропривода

НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

Дослідження в галузі електромобілів є визнаним сучасним трендом серед автовиробників і вчених. Цьому сприяє напружена ситуація в енергетичному секторі та на ринку сировини. Електромобілі мають невід’ємну перевагу – здатність рекуперувати енергію гальмування у накопичувач (батарей), і завдяки цьому природньо мають нижче споживання енергії за авто на основі двигунів внутрішнього згоряння.

Проте головними технічними вадами, які заважають електромобілям набрати великої поширеності є:

- Недостатня дистанція яку електромобіль може проїхати від одного заряду батареї;
- Повільний заряд акумуляторної батареї;
- Недостатньо розвинута система зарядних станцій у містах, та між великими міськими центрами.

Незважаючи на присутність серійних електромобілів на ринку, актуальним залишається питання оптимальної конфігурації силової установки. Головними параметрами електричного транспортного засобу які головним чином впливають на його технічні характеристики є: акумуляторна батарея, електричний двигун, інвертор та його система керування. Ці три блоки значною мірою впливають на те, як далеко електромобіль проїде від одного заряду.

Оптимальний підбір конфігурації роблять за допомогою віртуального прототипування, або, простіше кажучи, моделювання. MatLAB Simulink® має наперед розроблену модель із детальним описом усіх компонентів (Рис. 1).

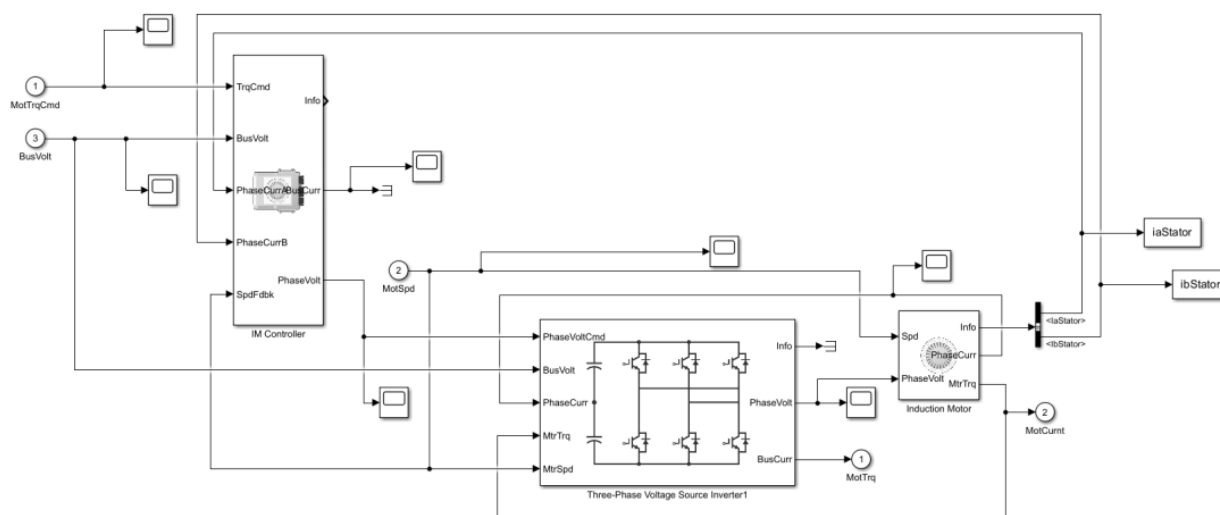


Рисунок 1 – Електрична схема силової частини електромобіля у системі MATLAB/Simulink.

Оскільки дистанція, яку автомобіль зможе подолати від одного заряду (Travel Range) залежить від ваги транспорту, її теж необхідно враховувати під час моделювання та розрахунків. Акумуляторна батарея займає від 25 до 30 % ваги усього транспортного засобу. Але, вона і є головним джерелом електроенергії, тому, теоретично, можна збільшувати її об’єм тим самим, збільшуючи дистанцію. Але, це припущення хибне. Збільшення акумулятора буде також, впливати на масу транспорту, а це, у свою чергу, негативно вплине на споживання

енергії та зменшить дистанцію проїзду від одного заряду. Також це, економічно не вигідно, тому що, ціна за такий автомобіль буде набагато більшою.

Оптимізаційна задача має фактори та критерії, що представлені у табл. 1.

Таблиця 1. Параметри та цілі оптимізації.

Вхідні параметри (фактори)	Вихідні параметри (критерії)
Двигун • Потужність • Мапа ККД • Вага	• Повні витрати енергії • Втрати енергії в елементах приводу ○ Двигун ○ Перетворювач ○ Батарея ○ Гальмівні колодки • Пробіг з одного заряду
Батарея • Ємність • Максимальна потужність в режимі заряджання/розряджання • Вага	
Транспортний засіб • Вага без силової установки • Повна вага	
Їздовий цикл • Швидкість • Темп прискорення • Темп уповільнення	

Для того щоб знайти оптимальні параметри системи двигун - батарея, необхідно використовувати підхід щодо моделювання системи із вкладеними циклами. Підставивши параметри системи до моделі електромобіля, можна розрахувати всі параметри системи (струм, напруга, потужність та ін.) на всіх ділянках руху. Це допоможе визначити оптимальні компоненти.

Таким чином використовуючи систему модель електромобіля та алгоритм пошуку параметрів, можливо достатньо точно визначити такі параметри силової установки електромобіля, які забезпечують максимальний пробіг з одного заряду. Це дозволить зменшити вартість електромобілів, що у свою чергу призведе до збільшення попиту на цей вид транспорту.

Перелік посилань

- [1] O. Beshta, A. Albu, A. Balakhontsev and V. Fedoreyko, "Universal model of the galvanic battery as a tool for calculations of electric vehicles," in *Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems*, London, CRC Press Balkema, 2015, pp. 5-12.
- [2] S. Piriienko, A. Balakhontsev, A. Beshta and S. Khudoliy, "Optimization of hybrid energy storage system for electric vehicles," *Power Electronics and Drives*, vol. 36, 2016.
- [3] "MATLAB and Simulink for Electric Vehicle Development," [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/solutions/automotive/electric-vehicle.html>. [Accessed 16 Feb 2023].

ТЕНДЕНЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СУЧАСНОМУ КОМПЛЕКСНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

Андрій Баланюк, аспірант кафедри електропривода

Сергій Худолій, к.т.н., професор кафедри електропривода

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

Комплексний електропривод складається з електродвигуна, редуктора, з'єднувальних муфт, додаткового обладнання та електронної системи керування [7]. Також в сучасному світі окремо можна виділити мехатронні приводи – це поєднання в одному корпусі редуктора, електродвигуна та електроніки. Деякі світові виробники приділяють велику увагу розвитку мехатронних систем, що є актуальними в системах децентралізованого керування, логістичних системах і багато інших застосуваннях [4]. Використання таких систем має обмеження потужності і не може бути використано для великих та потужних електродвигунів та редукторів.

Сьогодні, в Європейських та інших країнах світу мінімальний клас енергоефективності має бути не нижчим за IE3 [8]. З червня 2011 року клас енергоефективності повинен був бути не нижчим IE2. Виключення були для багатьох категорій електродвигунів (при використанні частотного перетворювача для керування електродвигуном, рольгангові електродвигуни, вибухозахищені, з вбудованим гальмом та інше.). З січня 2015 року – були впроваджені вимоги щодо класу енергоефективності для електродвигунів від 7,5 кВт до 375 кВт. Він повинен був бути не нижчим за IE3. Пізніше, у січні 2017 року, ці вимоги були поширені і на електродвигуни меншої потужності (починаючи з 0,75 кВт до 375 кВт). А з липня 2021 ці вимоги стали ще жорсткішими. Електродвигуни малої потужності від 0,12 кВт до 0,75 кВт (2, 4, 6, 8 полюсів) – не нижче класу IE2; двигуни потужністю від 0,75 кВт до 1000 кВт – не нижче класу IE3. При цьому, комбінація електродвигуна IE2 з частотним перетворювачем більше не дозволяється. Такі ж вимоги і до і електродвигунів з вбудованих гальмом.

Цікаво те, що в деяких країнах світу стандарти IE2 та IE3 були впроваджені значно раніше. Наприклад, клас IE2 – Мексика з 2004, Австралія – з 2006, Бразилія - з 2009; клас IE3 – США з 2010, Канада з 2011. В той самий час, в країнах колишнього СНД таких жорстких вимог не існує і досі. Дозволяється використовувати електродвигуни з класом енергоефективності IE1. Але для електромеханічного обладнання, яке виготовляється в Україні і планується для експлуатації в країнах Європи, вимоги до мінімального класу енергоефективності мають бути дотримані. Інакше – це обладнання не може бути прийнято в експлуатацію.

Стосовно нашої країни – з урахуванням значного підвищення вартості електроенергії, більшість промислових підприємств почали впроваджувати вимоги до підвищеного класу електродвигунів за енергоефективними показниками, починаючи з 2018. Це стосується й обладнання, параметри якого підпадають під дію цього стандарту (по потужності, напрузі та іншими параметрами). Головною вимогою до постачальників є обладнання з класом енергоефективності не нижчим за IE3. Ця тенденція з кожним роком буде лише збільшуватись і доля енергетичного обладнання з підвищеним класом енергоефективності, в нашій країні, буде постійно зростати.

Тому, одним з напрямків з підвищення енергоефективності комплексного електроприводу є використання електродвигунів з підвищеним класом енергоефективності в новому обладнанні чи заміна вже існуючих електродвигунів. Також, важливо пам'ятати, що в усьому світі поступово будуть впроваджуватись нові, ще жорсткіші, вимоги до класу енергоефективності IE4 та IE5. IE4 впроваджується вже з липня 2023 року для двигунів потужністю 75-200 кВт та кількістю полюсів 2, 4, 6. Тому багато виробників електродвигунів та мотор-редукторів

вже мають свої розробки для електродвигунів з класом IE4 та навіть IE5. Раніше ці класи можна було отримати в двигунах з постійними магнітами (PMSM) [2]. Наприклад, німецька компанія Bauer Gear Motor GmbH почала розробку електродвигунів з класом енергоефективності IE3 – IE4 ще у 2008 році та запустила їх у серійне виробництво з 2011 року. І це стосувалося електродвигунів відносно невеликої потужності. Розробки двигуни більшої потужності – це перспектива цього року.

Підвищення класу енергоефективності досягається використанням в конструкції електродвигуна нових матеріалів (зазвичай використовують мідь замість алюмінію), зменшенням повітряного зазору між ротором та статором, іноді збільшення габариту електродвигуна (хоча всі виробники намагаються не збільшувати габарит двигуна), використанням перетворювача частоти для керування двигуном та сучасних підшипників різноманітної конструкції, а також покращенням вентиляції двигуна.

Стосовно механічної частини комплексного привода – це редуктор та з'єднувальні муфти. Сучасні редуктори вже мають досить високий ККД [5]. Втрати потужності в редукторі відбуваються в його зубчастих передачах, підшипниках, ущільненнях [1]. Головними напрямками в підвищенні енергоефективності роботи редуктора є покращення обробки поверхні зубів (шліфування), використання систем контролю якості та охолодження масла, додаткові системи контролю параметрів редуктора (датчики контролю вібрації та температури в підшипниках), використання сучасних якісних мастил необхідної в'язкості, використання підшипників іншої конструкції. Одним із провідних виробників індустріальних редукторів є компанія GSM, Італія. У склад даної компанії входить окреме підприємство, яке займається високоякісною фінальною обробкою зубчастих передач (шліфування) з точністю до 6-го квалітету.

Щодо з'єднувальних муфт, для передачі відносно невеликих крутних моментів зазвичай використовуються еластичні муфти різної конструкції. Для передачі більших крутних моментів використовуються зубчасті муфти. Наприклад, муфти компанії JAURE, Іспанія. Вони випускаються з номінальним крутним моментом до 10 750 000 Нм і вагою до 31 000 кг. Для них є кілька варіантів підвищення ефективності муфт. Стандартним матеріалом для них є сталь C45 / C55. При використанні легованої сталі габаритні розміри муфти не змінюються, але номінальний момент збільшується на 65%. При використанні стандартного матеріалу та додаткового індукційного гартування – номінальний крутний момент збільшується на 80%. При використанні легованої сталі та додаткового індукційного гартування – номінальний крутний момент збільшується на 114,5%. Найбільше збільшення параметрів спостерігається при використанні легованої сталі та азотуванні – номінальний крутний момент збільшується на 122,5%. Важливим є те, що для збереження або підвищення параметрів муфт необхідно використовувати якісні сучасні змащувальні матеріали та регулярне технічне обслуговування муфт.

Також дуже важлива частина комплексного електроприводу – це система керування (живлення). Для асинхронних двигунів, зазвичай, це частотні перетворювачі (ЧП) та пристрої плавного пуску (ППП). Ці електронні прилади використовуються для багатьох видів промислового обладнання, такі як конвеєри, вантажопідйомне обладнання, насоси, компресори, вентилятори та димососи. Перетворювачі частоти, за рахунок функцій плавного пуску та регулювання обертів, забезпечують необхідне споживання електроенергії в залежності від необхідної продуктивності конкретного механізму. Найбільшу економію (30-50%) отримують при експлуатації компресорів, насосів, вентиляторів та димососів, де залежність споживання електроенергії від кубу частоти обертання привідного електродвигуна (робочого механізму).

Ще одна галузь промисловості, де можна отримати значне підвищення енергоефективності комплексного привода – це крани та вантажопідйомне обладнання [6]. За рахунок використання частотних перетворювачів з функцією рекуперації електроенергії [3]. Під час опускання вантажу електродвигун працює в генераторній режимі, та відбувається повернення електроенергії в електромережу. При цьому економія електроенергії по роботі електродвигуна може складати до 50%.

Виходячи з усіх подій, що відбувалися та відбуваються, можна сказати, що вимоги до рівня енергоефективності енергетичного обладнання тільки будуть зростати. На сьогодні, проблема енергоефективності, дуже важлива. Як бачимо, з підвищенням класу, можна досягати не тільки економії первинних ресурсів, а й більш ефективному виробничому процесу. Також, це значно впливає на безперебійність та надійність роботи всієї системи. Тільки з виконанням вимог, ми можемо досягти енергонезалежності!

Перелік посилань

1. Xu, H., Kahraman, A., Anderson, N. E. and Maddock, D. G.: Prediction of Mechanical Efficiency of Parallel-Axis Gear Pairs. ASME, Journal of Mechanical Design, vol.129, Jan. 2007.
2. Hajnrych, S.J., Jakubowski, R., Szczypior, J.: Yokeless Axial Flux Surface-Mounted Permanent Magnets Machine Rotor Parameters Influence on Torque and Back-Emf. Energies 2020, 13, 3418. doi: 10.3390/en13133418.
3. Pajchrowski, T., Krystkowiak, M.; Matecki, D.: Modulation Variants in DC Circuits of Power Rectifier Systems with Improved Quality of Energy Conversion—Part I. Energies 2021, 14, 1876. doi: 10.3390/en14071876.
4. Nalepa, R., Najdek, K., Strong, B. Hybrid: Tuning of a Boost Converter PI Voltage Compensator by Means of the Genetic Algorithm and the D-Decomposition. Energies 2021, 14, 173. doi: 10.3390/en14010173.
5. Höhn B.-R.; Michaelis K., Hinterstoißer M.: Optimization of gearbox efficiency, Gear Research Centre FZG, Technische Universität München, Germany, p.462, Article · January 2009.
6. Khatskevych, Yu. V.; Lutsenko, I. M.; Rukhlov, A. V. Perspectives of load management in energy system with the help of electric vehicles. Scientific Bulletin of National Mining University . 2017, Issue 5, p86-93. 8p.
7. М.І. Сокур, В.С.Білецький. Барабанні млини самоподрібнення / Монографія. – К.: ФОП Халіков Р. Х. – 2022. - 225 с.
8. Bauer Gear Motor GmbH, brochure, International Efficiency Regulations for Electric Motors, p-7190, p.3-10.

ВПЛИВ ТОПОЛОГІЇ МАРШРУТУ НА ВИТРАТИ МЕХАНІЧНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Олександр Бешта, член-кореспондент НАН України д.т.н., професор, професор кафедри електропривода

Олександр Бешта, к.т.н., доцент кафедри електропривода

Тарас Халаїмов, асистент та аспірант кафедри електропривода
НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Для оцінки впливу топології маршруту на витрати механічної енергії перш за все необхідно виконати розрахунок витрат механічної енергії, яка витрачається на подолання сил опору руху. Зазначений підхід дозволяє не брати до уваги наступні особливості автомобіля: особливостей передачі крутного моменту руху на колеса від електропривода, його типу, конструкції, особливостей акумуляції електричної енергії, способів рекуперації тощо. Для коректної оцінки витрат необхідно виконати розрахунок для руху автомобіля вгору та вниз з урахуванням всіх сил, які діють на нього. (Рис. 1)

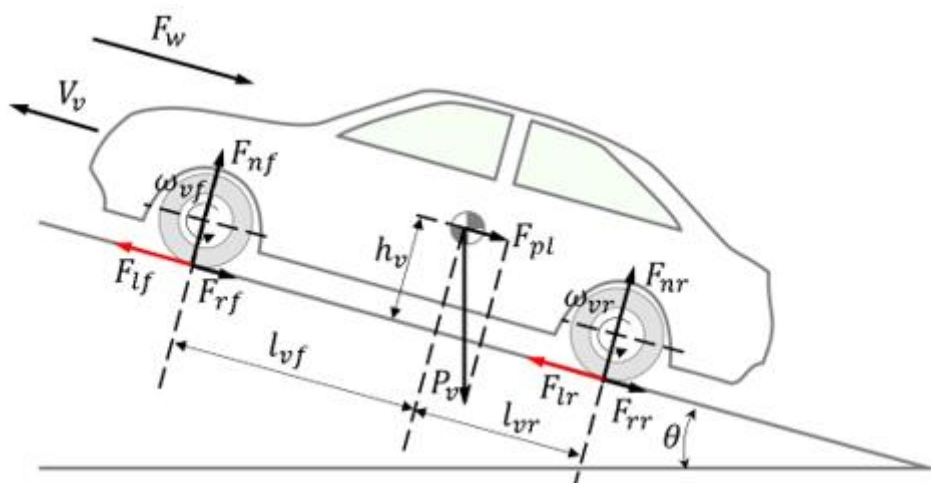


Рисунок 1 – Навантаження на електромобіль при його русі угору

Беручи до уваги особливості електропривода, такі як можливість забезпечувати рекуперацію певної частини енергії під час гальмування або при русі автомобіля вниз, можна зробити висновок, що топологія маршруту відіграє велике значення при розрахунку сумарних витрат енергії.

Розрахунки механічної роботи електромобіля при цьому необхідно проводити з урахуванням режиму руху, а саме – з урахуванням прискорень і гальмувань, які виникають на його шляху.

Відсутність витрат електричної енергії (за виключенням витрат на додаткові опції) під час нерухомого режиму є ключовою відмінністю від автомобілів з двигуном внутрішнього згорання та гібридів.

Фактори, які впливають на режим руху електромобіля:

транспортні розв'язки, перехрестя, залізничні переїзди, топологія, затори, а також – манера водіння водія. Тому для оцінки витрат первинної енергії (для традиційних автомобілів) або електроенергії для електромобілів використовують різні тестові цикли. Тестовий цикл WLTC, class 3 [2] є найбільш актуальним на сьогоднішній день для наших цілей через те, що має

декілька етапів швидкісного режиму та режимів прискорень і гальмувань. Використовуючи сполучення цих етапів можна приблизно змодельовати той чи інший режим руху.

Моделювання за запропонованою методикою умов забезпечення необхідної механічної тягової сили електромобіля Nissan Leaf 2014 AZE0 навіть за ідеальної сухої погоди показало, що виконання певних етапів WLTP Class 3 cycle стає неможливим, починаючи з кута руху угору 10° , а критичним для усіх етапів стає кут у 18° , коли максимальна можлива сила тяги електромобіля Nissan Leaf AZE0 стає меншою від необхідної для подолання сил опору руху. Очевидно, що для інших типів електромобілів, гібридних варіантів автомобілів або класичних такі проблеми теж існують і вимагають відповідних розрахунків.

Також було виявлено, що умови забезпечення необхідної механічної тягової сили погіршуються пропорційно зменшенню коефіцієнту тертя через різні кліматичні умови (нормальні – 0.95, дощ – 0.75, сніг – 0.29, лід – 0.1).

Швидкість фронтального зустрічного вітру також впливає на витрати механічної енергії. Розрахунки показують, що доля механічної енергії, що витрачається на подолання повітряного опору при зміні швидкості вітру від нуля до 100 км/год змінюється від 2...3% до 11...12%. Це достатньо суттєва складова і її треба враховувати при розрахунках.

Кількість потенційної енергії, що може бути рекуперована, значно перевищує можливості електричного привода та системи акумуляції електромобіля. Ця причина вимагає значної уваги до вирішення комплексної проблеми створення пристроїв акумуляції електричної енергії зі швидким способом приймання рекуперованої електричної енергії. Зокрема, вочевидь, системи електропривода з суперконденсаторами мають значну перевагу у цьому сенсі, однак не користуються попитом через високу ціну. Користувачі не враховують різницю в експлуатаційних витратах, яка може бути компенсована досить швидко.

Запропонована методика розрахунку механічної роботи електромобіля дозволяє забезпечити вибір найекономішного з різних варіантів шляху до місця призначення і, таким чином, збільшити пробіг між заряджанням акумуляторних батарей і зменшити кількість циклів їх заряджання.

Література

1. Ali Emadi. Advanced Electric Drive Vehicles/ 2015 by Taylor & Francis Group, LLC
2. UNECE Global technical regulation URL: <https://unece.org/transport/standards/transport/vehicle-regulations-wp29/global-technical-regulations-gtrs>

СТАНЦІЯ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ СТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВОДІВ ЯК ДЖЕРЕЛО ПОЛІГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ

Олександр Азюковський, к.т.н., професор кафедри електропривода

Станіслав Шихов, аспірант кафедри електропривода

Микола Бабенко, аспірант кафедри електропривода

НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Газотранспортна система (ГТС) України є однією з найбільш розгалужених систем серед країн Європейського Союзу і виконує дві основні функції: забезпечення природним газом внутрішніх споживачів, а також транзит природного газу територією України до країн Західної та Центральної Європи. До складу ГТС входять близько 35700 км магістральних трубопроводів та 402000 км розподільних. Серед яких повсякчасно використовуються підземні сталеві трубопроводи, завдяки їх високій механічній міцності, стійкості до вібраційних навантажень, невеликому коефіцієнту розширення при нагріванні та відносно невеликій вартості експлуатаційних видатків, основною частиною яких є електрохімічний захист. Головною причиною пошкоджень таких трубопроводів стає електрохімічна корозія [1].

Електрохімічна корозія - процес руйнування металу в результаті його взаємодії з корозійним середовищем супроводжується хімічними реакціями та переносом електричних зарядів між металом і навколишнім середовищем. Електрохімічна корозія завжди супроводжується протіканням електричного струму [2].

Ґрунти є середовищем, яке можливо вважати провідниками другого роду - електролітами. Таким чином процес корозії підземного сталевих обладнання розглядаємо як електрохімічний.

Методи захисту від електрохімічної корозії поділяють на пасивні і активні [1, 2]. До методів пасивного захисту відносять нанесення захисних покриттів, обробка поверхонь і легування металу, використання інгібіторів, уникання корозійно-небезпечних ділянок під час прокладання трубопроводів, обмеження джерел блукаючих струмів тощо.

Активний захист від електрохімічної корозії реалізується примусовою анодною чи катодною поляризацією. Суть примусової поляризації полягає в наданні металоконструкції такого від'ємного потенціалу при якому окиснення металу термодинамічно утруднено і швидкість корозії зневажливо мала [2].

Для захисту підземних трубопроводів значне поширення отримала електротехнічна системи катодного захисту для створення примусової катодної поляризації за допомогою зовнішнього джерела струму. Цей вид захисту має високу ефективність в наслідок можливості зміни режимів роботи електротехнічної системи «підземний сталевий трубопровід – СКЗ - ґрунт».

Електротехнічні системи катодного захисту містять станції катодного захисту (СКЗ) [1, 2, 3], основними елементами яких є (Рис. 1): випрямляч (перетворювач) (1), кабельні лінії (5) з'єднання з об'єктом, що захищається (3) та анодними заземлювачами (2). Також є контактні пристрої (4) для підключення кабельної лінії та вимірювань [2, 4].

Оскільки в якості джерела струму для катодного захисту у СКЗ використовується випрямляч, його робота має безпосередній вплив на функціонування усієї станції [2, 3], та якість катодного захисту об'єкту. На сьогоднішній день вже розроблена значна кількість однофазних випрямлячів, яскравим представником яких є однофазний двонапівперіодний мостовий випрямляч. Схемотехнічні рішення таких випрямлячів зустрічаються як в некерованому так і в керованому виконанні [2].

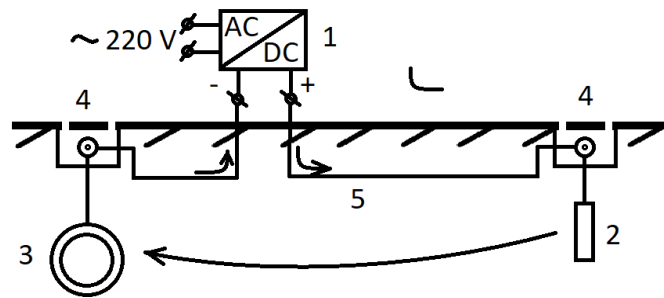
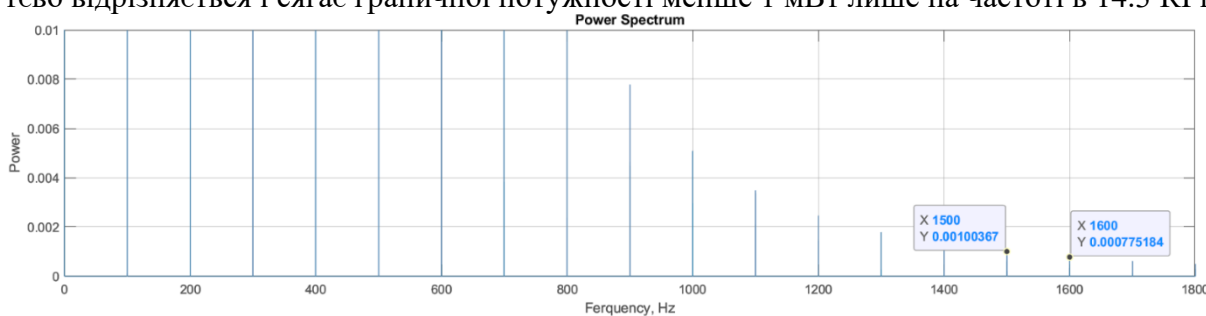


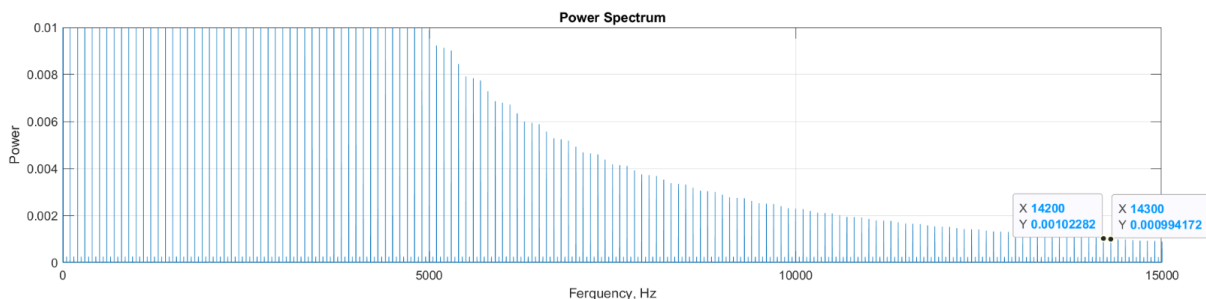
Рисунок 1 - Загальна структура СКЗ

Виконавши розподіл потужності за частотою для вихідних сигналів обох типів випрямлячів (Рис. 2 та 3) за допомогою перетворення Фур'є [3, 5], можна звернути увагу, на те, що у некерованому випрямлячі потужність високочастотних сигналів стрімко спадає і досягає значень менше 1 мВт вже при частоті в 1.6 КГц. Однак розподіл керованого випрямляча суттєво відрізняється і сягає граничної потужності менше 1 мВт лише на частоті в 14.3 КГц.



Рису-

нок 2 - Розподіл потужності за частотою у вихідному сигналі некерованого випрямляча



Рису-

нок 3 - Розподіл потужності за частотою у вихідному сигналі керованого випрямляча

Наявність значної кількості відносно потужних високочастотних складових робить можливими випадки, коли частина потужності витрачається не на захист об'єкту, а навпаки, сприяє розвитку корозії на окремих ділянках трубопроводу (особливо близько меж ефективного впливу захисних ділянок двох суміжних СКЗ) [2]. Посилення корозійної небезпеки відбувається в наслідок формування полігармонійної складової сигналу на виході СКЗ як наслідок - утворення струмів вирівнювання різниці потенціалів, що протікають поверхнею трубопроводу, так й струмів стікання з підземного сталевго трубопроводу до навколишнього середовища.

Перелік посилань

1. Benmoussat A., Hadjiat H. and Hadjel M. , External Damage by Corrosion on Steel Gas Pipeline, Eurasian ChemTech Journal 3 (2001). P.: 285-289 URL <https://ect-journal.kz/index.php/ectj/article/view/138/116>

2. Aziukovski A. A. The electrochemical cathodic protection stations of underground metal pipelines in uncoordinated operation mode. Energy efficiency improvement of geotechnical systems, ©CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London. 2013 P.: 46-55 URL https://books.google.com.ua/books?hl=ru&lr=&id=glnLBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA47&ots=IM-jcgHR3o-&sig=SDWKpHbrdNPfQLTUrXT-oQIG19s&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
3. Азюковський О.О. Формування високочастотним інверторним випрямлячем захисного потенціалу підземного сталевого трубопроводу. / О.О.Азюковський // Гірничі електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2013. – Вип. 91. – С. 37-41. URL http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=geta_2013_91_11
4. UFC 3-570-01 Cathodic Protection, URL <https://wbdg.org/ffc/dod/unified-facilities-criteria-ufc/ufc-3-570-01>
5. Moler Cl. Numerical Computing with MATLAB, Chapter 8 Fourier Analysis, 2004 P.: 235–253 URL <https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/mathworks-dot-com/moler/fourier.pdf>

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Сергій Федоров, ст. викладач кафедри електротехніки

Валерій Бородай, доцент кафедри електроприводу

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна.

Вступ. Відомо, що до 2030 року в усьому світі закінчиться термін служби близько 13 млн тон нікель-іонних акумуляторів автономних джерел живлення електромобілів (звіт Грінпіс) [1]. За таких умов проблема утилізація акумуляторних батарей (АКБ) може стати загрозливою. Провідні компанії світу, які займаються виробництвом електромобілів, вже сьогодні міркують про наслідки можливих екологічних проблем. Так компанія Nissan Motor готується побудувати нові заводи з утилізації акумуляторів у США і Європі до кінця 2025 року. Компанія Hydrovolt запускає найбільший в Європі завод з переробки акумуляторів, потужності якого достатньо для всього об'єму тягових АКБ, що стали непридатними у Норвегії. Заводом VW у місті Зальцгіттері з 2020 року започатковано пілотний проект з рециклінгу АКБ, де планується утилізувати близько 3000 батарей на рік.

Сучасна конструкція електромобілів прагне забезпечити максимальний запас ходу, який зазвичай досягають за збільшення ємності АКБ і впровадження різноманітних технологій швидкого заряду аби уникнути часових обмежень використання транспортного засобу. Зрозуміло, що за таких умов накопичення відпрацьованих АКБ буде зростати досить швидко, а відповідно питання збереження навколишнього середовища може стати ще більш гострим. Стало очевидним, що екстенсивний підхід до нарощування можливостей щодо запасу ходу електромобілів вичерпано.

Мета роботи – надати оригінальні рекомендації та обґрунтувати нові способи обмеження впливу відпрацьованих АКБ електромобілів на природне довкілля.

Основний зміст роботи. Приймаючи до уваги зауваження, які наведені вище, у сфері захисту екології виробники легкових автомобілів та експерти з даного питання не бачать альтернативи електрокарам. Тому автовиробники активно розробляють нові технології, що дозволять збільшити екологічність електротранспорту. Останнім часом спостерігається, що розробники все частіше звертають увагу на батареї суперконденсаторів. На відміну від АКБ конденсаторні накопичувачі є більш надійними, простими і практично не схильними до зносу. Їх екологічність при переробці не передбачають складних хімічних процесів, а утилізуються вони навіть завдяки лише дії сонячних променів. При цьому конденсаторні накопичувачі спроможні витримати сотні тисяч циклів заряд-розряду, а розрахунковий термін його служби становить понад 15-20 років, що значно перевищує терміни роботи АКБ.

Згадуване технічних рішень щодо підвищення запасу ходу електромобіля передбачає збільшення ємності АКБ. Наслідком такого рішення стає зростання його габаритів, маси, вартості та кількості використаних токсичних матеріалів. Очевидно, що у цьому випадку екологічні проблеми будуть тільки усугублятися.

На погляд авторів змінити екологічну ситуацію можливо завдяки використанню хімічного джерела АКБ малої ємності з комбінуванням у парі із батареями суперконденсаторів. Така конструкція зменшить негатив, який привноситься АКБ, а наявність конденсаторних батарей компенсує недостатню ємність. Аби не перевищити попередні масо-габаритні показники рекомендується використовувати графенові суперконденсатори [2-4].

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні та наданні оригінальних рекомендацій щодо поліпшення екологічної ситуації при використанні у комплексі хімічних АКБ малої потужності та батареї суперконденсаторів [5].

Висновки. Запропонований спосіб акумулювання енергії дозволить значно знизити розміри та ємність АКБ електромобілів, а відповідно вартість їх утилізації та екологічність електромобілів.

Перелік посилань

1. «Zasypią nas miliony ton zużytych baterii z aut - straszą eksperci» [Auto świat](https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/zasypia-nas-miliony-ton-zuzytych-baterii-z-aut-strasza-eksperci/j4nhefk) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/aktualnosci/zasypia-nas-miliony-ton-zuzytych-baterii-z-aut-strasza-eksperci/j4nhefk> дата обращения: 14.10.22
2. V.Shuryhina. Superkondensatory. Pomichnyky chy mozhlyvi konkurenty batareynym dzherelam zhyvlennya. "ELEKTRONIKA: Nauka, Tekhnolohiya, Biznes", Vypusk № 3/2003..
3. Superkondensatory na osnovi hrafenu zbil'shuyut' zapas khodu elektromobilya/[Elektronnyy resurs]. - Rezhym dostupu: <https://www.imena.ua/blog/electric-cars-supercapacitors/> дата обращения: 17.10.22
4. Graphene-Based Supercapacitor with an Ultrahigh Energy Density Chenguang Liu, Zhenning Yu, David Neff, Aruna Zhamu and Bor Z. Jang [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl102661q> дата обращения: 11.10.22.
5. Патент України на корисну модель № UA 146811 U, 18.03.2021. Електромобіль // Патент України № 146811. Опуб. 17.03.2021, бюл. № 11/2021. / Федорець С. Г., Божок І. М., Мазан Н. М

ОСНОВНІ ВИМОГИ ЩОДО МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В УМОВАХ НЕЯКІСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**Віталій Кузнецов, Володимир Доскоч, Богдан Мазан, Данило Шпунт, Василь Сприса,
Павло Руснак**

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

На сьогоднішній день асинхронні двигуни є основними перетворювачами електричної енергії в механічну та складають основу приводу більшості різних механізмів. Таке становище вони завоювали завдяки вдалому поєднанню комплексу експлуатаційних та конструктивних характеристик – здатність автоматично змінювати крутний момент відповідно до зміни моменту опору на валу та високому коефіцієнту корисної дії, а також своєрідності конструкції та досить низької собівартості виготовлення у поєднанні з іншими електромеханічними перетворювачами.

Сучасний електропривод, що реалізує процеси електромеханічного перетворення енергії, який в основному базується на використанні як приводних асинхронних пристроїв, електродвигунів із короткозамкненим ротором, конструктивно не складний. Водночас експлуатація цього класу двигунів в даний час пов'язана з багатьма проблемами. Основна з них є живлення асинхронних двигунів неякісною електроенергією.

Достовірно відомо, що навіть незначні відхилення якості напруги живлення призводять до негативних наслідків, пов'язаних зі старінням ізоляції та зниженням таких енергетичних показників роботи асинхронних двигунів як коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності.

Моделювання електромеханічних систем дозволяє на передпроектній стадії оцінити процеси, що протікають в них. На основі цих даних можуть бути скориговані параметри силових установок та систем керування ними, проведено перевірку відповідності обраного обладнання режимам роботи.

Математичні аналоги асинхронних двигунів широко використовуються з метою оцінки ефективності законів управління, дослідження електромагнітних процесів та прогнозування енергетичних показників їхньої роботи. Однак, ситуація ускладнюється, коли при моделюванні необхідно враховувати якісні показники електроенергії, такі як несиметрія та несинусоїдність електричних величин.

Проблема полягає в тому, що в силу допущень, що приймаються в цьому випадку, сама модель АД стає часто неадекватною. Якщо ж використовуються складніші моделі, опис процесів настільки ускладнюється, що пошук необхідних залежностей стає надто скрутним. Тим не менш, припущення про симетрію та синусоїдальність напруги живлення є зараз, фактично, необґрунтованим, оскільки якість електроенергії в цехах промислових підприємств практично завжди не відповідає необхідним вимогам.

Вирішення цієї проблеми неможливо без наявності єдиної математичної моделі, яка дозволяла б аналізувати енергетичну ефективність асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в режимах, що встановилися, при різних значеннях всіх показників якості електричної енергії в мережі.

На цей час синтезом математичних моделей асинхронного двигуна займалися такі відомі вчені як Родькін Д. І., Копилов І. П., Чорний О. П., Петров Л. П., Войнова Т., Беспалов В. Я., Ковальов Є. А. Б. та ін, а також зарубіжні дослідники Pedra J., R. Krishnan, J. L. Kirtley, S. J. Chapman, M. R. Hachicha, M. H. Gmiden.

Наприклад, дослідження авторів [1, 2] присвячені питанням аналізу роботи електро-механічного перетворювача при допущенні про його симетрію, та синусоїдальної напруги на входах АД.

У роботах [3, 4] проводиться ідентифікація параметрів електричної машини для оцінки її ресурсу. Дослідження [5-7] пов'язані з дослідженнями методів керування АД. На підставі проведеного аналізу можна припустити, що єдиної моделі, що дозволяє оцінити енергетичну ефективність електричної машини, що працює в умовах неякісного живлення, тобто враховує всі показники якості електроенергії (ПКЕ) одночасно, не існує.

Сформулюємо вимоги до виду, функціональності, характеристик та складу вхідних величин, яким має задовольняти модель асинхронного двигуна:

1. Модель АД має бути працездатною при довільній формі напруги на статорі, включаючи несинусоїдність та несиметрію. Ця вимога є необхідною для більшості використовуваних в даний час математичних аналогів цих двигунів.

2. Розроблювана модель має бути адекватною як в усталених, і у перехідних режимах, що зі зміною навантаження, якості електроенергії, управляючого впливу.

3. Синтезований аналог АД повинен мати можливість підключення модулів фільтрів з боку входу електродвигуна і при цьому дозволяти визначити залежність результуючої форми напруги після фільтрів від споживаного АД струму.

4. Вихідними параметрами моделі мають бути: – миттєві значення струмів статора та ротора асинхронного електродвигуна, їх спектр; – активна (P), реактивна (Q) та повна (S) потужності, включаючи ту їх частку, що пов'язана з спотвореннями напруги з боку статора, що відповідають реальним показникам якості електроенергії; – коефіцієнт корисної дії (ККД, η %) та коефіцієнт потужності ($\cos \phi$); – складові окремих втрат у двигуні: втрати у міді статора (ΔP_{m1}), ротора (ΔP_{m2}) та сталі (ΔP_C); – швидкість (ω) та електромагнітний момент (M) двигуна залежно від навантаження на валу, включаючи їх спектральні характеристики.

Таким чином, модель, що розробляється, повинна надавати повний обсяг даних, необхідних для дослідження режимів роботи асинхронного електродвигуна, що працює в умовах неякісної електроенергії з метою оцінки електромагнітної складової економічного збитку, що утворюється при цьому.

Література

1. Pedra, J. Estimation of typical squirrel-cage induction motor parameters for dynamic performance simulation [Text] / J. Pedra // IEEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution. – 2006. – Vol. 153, Issue 2. – P. 197. doi: 10.1049/ip-gtd:20045209.
2. Krishnan, R. Electric Motor Drives – Modeling, Analysis and Control [Text] / R. Krishnan. – PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2010. – 626 p.
3. Kirtley, J. L. 6.685 Electric Machines,” Massachusetts Institute of Technology [Text] / J. L. Kirtley. – MIT OpenCourseWare, 2005.
4. Chapman, S. J. Electric Machinery Fundamentals [Text] / S. J. Chapman; Fourth Ed. – McGraw Hill New York, USA, 2005. – 737 p.
5. Hachicha, M. R. Finite element method for induction motor parameters identification [Text] / M. R. Hachicha, N. B. Hadj, M. Ghariani, R. Neji // Proc. 2012 First Intl. Conf. on Renewable Energies and Vehicular Technology, 2012. – P. 490–496. doi: 10.1109/revet.2012.6195318.
6. Gmiden, M. H. Calculation of two axis induction motor model using finite elements with coupled circuit [Text] / M. H. Gmiden, H. Trabelsi // 6th Intl. Multi-conference on systems, signals and devices, 2009. – P. 1–6. doi: 10.1109/ssd.2009.4956785.
7. Bhattacharjee, S. A modified scalar control strategy of an induction motor with applications in traction [Text] / S. Bhattacharjee // IAEME Intl. J. Elec. Engg. Tech. – 2012. – Vol. 3, Issue 2. – P. 394–404

З М І С Т

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Яків Ярошенко, Дмитро Ципленков, Олексій Бобров 3

АВТОНОМНІ МІКРОМЕРЕЖІ В ЄДИНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ УКРАЇНИ

Сергій Худолій, Володимир Литвин 7

PARAMETRIC AND NUMERICAL STABILITY OF THE SOLUTIONS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF A SYNCHRONOUS MOTOR WITH UNCERTAINTY OF ITS PARAMETERS

Oleksii Chornyi, Vitaliy Kuznetsov, Alisa Kuznetsova, Halushko Dmytro
Rabota Dmytro, Drozhdev Eugene 8

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНО-ВІТРОВИХ СИСТЕМ ГЕНЕРАЦІЇ ТА АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ДУЖЕ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Максим Савека, Ілля Осетянський, Дмитро Соловйов 10

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ISSUE REGARDING OF DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF ENERGY CONVERSION PROCESSES IN AN INDUCTION MOTOR SUPPLIED FROM AN AUTONOMOUS INDUCTION GENERATOR

Oleksii Chornyi, Doctor of Science, Yuriy Zachepa, Vitaliy Kuznetsov,
Alisa Kuznetsova, Rabota Dmytro, Drozhdev Eugene 12

ПЕРЕТВОРЕННЯ ЧАСОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ СТРУМУ ДВИГУНІВ ШАХТНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА ДО ВИГЛЯДУ, ЩО ОПИСУЄТЬСЯ БЕЗПЕРЕРВНОЮ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОЮ ФУНКЦІЄЮ ДЛЯ СПРОЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Сергій Дибрін 16

СИЛОВІ АКТИВНІ ФІЛЬТРИ ЯК ЗАСІБ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Андрій Колб 18

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ISSUE OF ONLINE IDENTIFICATION OF ELECTROMAGNETIC PARAMETERS OF AN ASYNCHRONOUS MOTORS

Valerii Tytiuk, Vitaliy Kuznetsov, Halushko Dmytro, Moroz Olga,
Gerashenko Anatolii, Rabota Dmytro 20

ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТЯЗІ

Юрій Папаїка, Юрій Степаненко, Олександра Лисенко 24

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГВУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Наталія Рухлова, Євгеній Кошеленко, Марина Кириченко 26

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Павлюс Степан, Віталій Кузнецов, Дмитро Галушко, Ольга Мороз,
Анатолій Геращенко, Володимир Доскоч 28

ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ДО МАГІСТРАЛЬНИХ ШАХТНИХ КОНВЕЄРІВ

Володимир Прокуда 31

АНАЛІЗ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Тетяна Лябагова, Олексій Іванов 34

THE CURRENT STATE OF THE ISSUE OF DEVELOPING A MATHEMATICAL MODEL OF THE CLOSED SYSTEM OF LOCATION OF THE EXCAVATOR BUCKET

Valerii Tytiuk, Vitaliy Kuznetsov, Ivan Strambovskiy, Oleh Stepanenko,
Serhii Nazarenko, Borys Nazarenko 39

A SCALABLE APPROACH FOR SIMULATION OF ISLAND GRIDS WITH ENERGY STORAGE SYSTEMS

Sergii Khudolii, Ivan Lutsenko, Aleksander Balakhontsev, Volodymyr Lytvyn,
A. Notholt 42

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕЛЕКТРИЧНОГО АВТОМОБІЛЯ

Олександр Балахонцев, Артем Швидько 45

ТЕНДЕНЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СУЧАСНОМУ КОМПЛЕКСНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

Андрій Баланюк, Сергій Худолій 47

ВПЛИВ ТОПОЛОГІЇ МАРШРУТУ НА ВИТРАТИ МЕХАНІЧНОЇ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Олександр Бешта, Олександр Бешта, Тарас Халаїмов 50

СТАНЦІЯ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ СТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВІДІВ ЯК ДЖЕРЕЛО ПОЛІГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ

Олександр Азюковський, Станіслав Шихов, Микола Бабенко 52

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Сергій Федоров, Валерій Бородай 55

ОСНОВНІ ВИМОГИ ЩОДО МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В УМОВАХ НЕЯКІСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Віталій Кузнецов, Володимир Доскоч, Богдан Мазан, Данило Шпунт,
Василь Сприса, Павло Руснак 57