

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"
Вроцлавський технічний університет
Ройтлінгенський технічний університет



МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ **ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ – 2023**

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

15 грудня 2023 р.
Дніпро
НТУ "Дніпровська політехніка"

Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2023. Збірник тез. Дніпро. НТУ "ДП". 15 грудня 2023 р. – 85 с.

Матеріали друкуються в редакційній обробці авторів.

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

ВПЛИВ ТОВЩИНИ ШАРУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ НА ТЕПЛОВЕ ЗНАЧЕННЯ ВТРАТ**Ольга ЗАМКОВА, аспірант кафедри електроенергетики****Павло ЦИГАН, асистент кафедри електроенергетики***Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*

Одним із заходів з підвищення енергетичної ефективності будівель і споруд є утеплення фасаду. Цей захід допомагає зменшити втрати тепла та витрати на опалення і кондиціювання. Окрім того, покращити комфорт проживання та зменшити викиди в атмосферу. З погляду сталого будівництва та зниження впливу на навколишнє середовище, утеплення будівель важливо для зменшення вуглецевого сліду та підвищення стійкості до змін клімату.

Основним показником ефективності для стінових конструкцій є приведений опір теплопередачі. Він нормується відповідними будівельними нормами [1]. Відповідно, його значення залежить від кліматичної зони розташування. Наприклад, для І температурної зони (м. Дніпро) мінімальне значення опору теплопередачі становить $4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Для будівель, що були вже споруджені та потребують реконструкції, задля досягнення відповідних нормативних умов, необхідно розрахувати товщину шару теплоізоляції.

Але, як буде зменшуватися кількість тепловтрат, в залежності від товщини утеплювача?

Змодельємо стіну яка виконана з червоної цегляної кладки (у дві цегли) та внутрішньою штукатуркою, що виконана вапняно-піщаним розчином. Відповідно до методики розрахунку [2] отримаємо наступні результати приведенного опору теплопередачі (табл. 1):

Таблиця 1 – Параметри стінової конструкції

Склад стінового огороження (основні шари)	Товщина, δ , м	Коефіцієнт теплопровідності, λ , $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$	Опір шару, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Кладка з цегли на цементно-піщаному розчині (густиною $1800 \text{ кг}/\text{м}^3$)	0,64	0,81	0,790
Розчин вапняно-піщаний (густиною $1600 \text{ кг}/\text{м}^3$)	0,02	0,81	0,025
Коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha_{\text{в}}$	-	8,7	0,115
Коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha_{\text{зовн}}$	-	23	0,043
Всього:			0,97

Приймаємо розрахункові умови у відповідності до [1]. Тобто, температура зовнішнього повітря для І температурної зони становитиме мінус 22°C , а внутрішня – 20°C . Проведемо розрахунки тепловтрат [2] через стінову конструкцію з різною товщиною утеплювача. Результати зводимо до табл.2.

Таблиця 2 – Значення тепловтрат при різній товщині шару теплоізоляції на 1 м² огорожуючої конструкції

Товщина, δ, м	Тепловтрати крізь стінову конрукцію, Вт	Опір теплопередачі стінової конструкції, м ² ·К/Вт	Кількість збереженого тепла з урахуванням попереднього шару теплоізоляції, Вт	Кількість збереженого тепла кожним додатковим шаром теплоізоляції, Вт
0	43,15502	0,973		
0,1	13,14457	3,195	30,010	
0,11	12,29064	3,417	30,864	0,854
0,12	11,53771	3,640	31,617	0,753
0,13	10,87453	3,862	32,280	0,663
0,14	10,28344	4,084	32,872	0,591
0,15	9,753298	4,306	33,402	0,530
0,16	9,273088	4,529	33,882	0,480
0,17	8,839806	4,751	34,315	0,433
0,18	8,445206	4,973	34,710	0,395
0,19	8,08433	5,195	35,071	0,361
0,2	7,753032	5,417	35,402	0,331
0,21	7,446497	5,640	35,709	0,307
0,22	7,164502	5,862	35,991	0,282
0,23	6,903086	6,084	36,252	0,261
0,24	6,660075	6,306	36,495	0,243
0,25	6,432606	6,529	36,722	0,227
0,26	6,221083	6,751	36,934	0,212
0,27	6,023029	6,973	37,132	0,198
0,28	5,837196	7,195	37,318	0,186
0,29	5,662487	7,417	37,493	0,175
0,3	5,497213	7,640	37,658	0,165

З розрахунку бачимо, що кількість тепловтрат, в залежності від товщини шару теплоізоляції має обернено пропорційний характер, що можна наглядно побачити на побудованому графіку (рис.1).

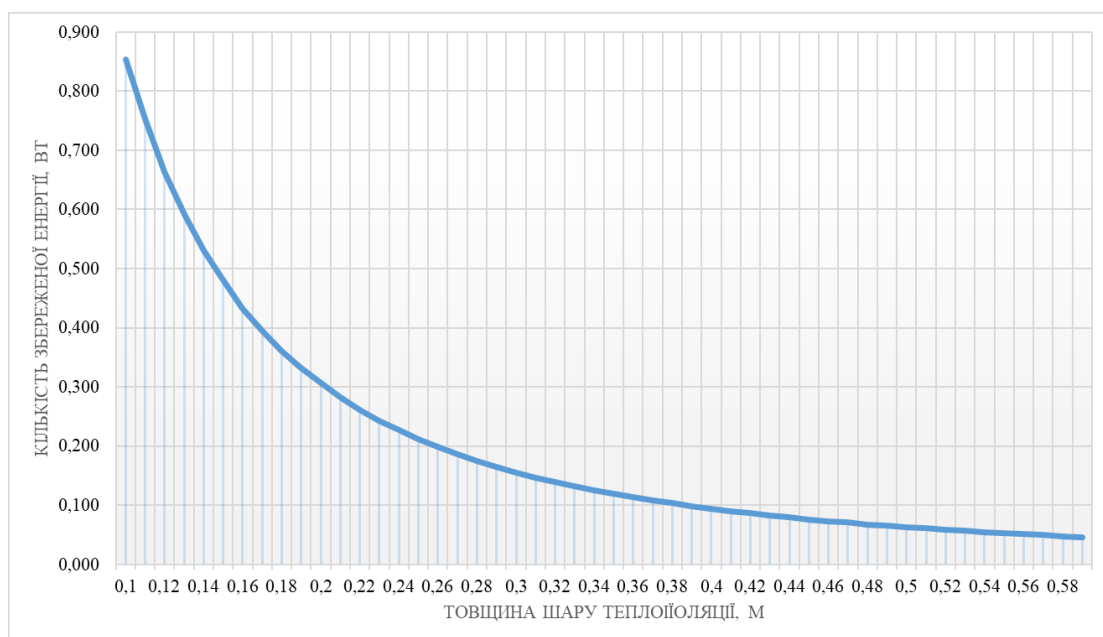


Рисунок 1 – Графік скорочення тепловтрат кожним додатковим шаром теплоізоляції

Висновок: З кожним додатковим сантиметром утеплювача, його ефективність зменшується обернено пропорційно відносно кількості збереженої теплової енергії.

Список літератури

1. ДБН Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. ДБН В.2.6-31:2021.
2. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. ДСТУ Б А.2.2-12:2015

REVIEW OF MODERN REACTIVE POWER COMPENSATION MEASURES

Igor MOROZOV, post graduate student specialty 141 - Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics.

Andrii KOLB, PhD, Associate Professor of the Electrical Engineering Department.

Dnipro University of Technology

In the modern energy sector, one of the most important tasks is the efficient use of electricity. Increasing energy efficiency not only allows you to reduce energy consumption costs, but also helps to reduce the negative impact on the environment. One of the aspects of efficient use of electricity is reactive power compensation. Reactive power occurs in AC systems due to inductive and capacitive elements such as inductors and capacitors. Reactive power cannot be used to do work, but its presence in the system can cause undesirable effects such as energy losses, reduced equipment energy efficiency, and network loading.

One of the classic methods of reactive power compensation is the use of capacitor banks. Capacitors are connected in parallel to inductive loads and compensate for their reactive power. This method is simple to implement and quite effective, but requires constant monitoring and adjustment of compensation depending on the load change. However, modern methods of reactive power compensation include more complex and intelligent systems.

The most promising method is the use of active reactive power filters. Active filters are used for dynamic compensation of reactive power and reduction of harmonic distortions in electrical networks. The principle of operation of active filters consists in the generation of compensating currents that compensate for the consumption of reactive power by non-linear loads. The use of active filters for reactive power compensation has a number of advantages. First, active filters are able to quickly respond to changes in reactive power consumption and harmonic distortions. They provide accurate and reliable compensation, which allows to improve the quality of electrical energy. Secondly, active filters have high energy efficiency and can reduce electricity losses in the system. In addition, they make it possible to reduce harmonic distortion, which contributes to more stable operation of electrical equipment. Active filters are widely used in various branches of industry and power engineering. They are used in electric drives, power supply systems of hospitals and laboratories, as well as in electrical networks with a high content of non-linear loads. An example of such use can be the use of active filters in power supply systems for computer centers, where a high degree of load and harmonic distortions require active compensation of reactive power. The use of active filters for reactive power compensation is an effective solution to the problem of reactive power in power systems. Active filters make it possible to improve the quality of electrical energy, reduce energy losses and ensure stable operation of electrical equipment. Their wide application in various fields testifies to their effectiveness and significance for modern energy industry. With the development of technology and the improvement of the performance of active filters, it is expected that they will be used even more in the future.

Another modern method of reactive power compensation is the use of static reactive power compensators (Static Var Compensator, SVC). An SVC is an electronic device designed to control reactive power in an electrical network. It consists of a power transformer controlled by a thyristor converter and filters that prevent high-frequency interference from entering the network. SVC is also capable of smoothing transients and suppressing voltage fluctuations. This is especially important for energy systems with a high proportion of renewable energy, such as wind and solar farms. Fluctuations in renewable energy production can lead to grid instability, and SVC can smooth out these fluctuations, providing a more stable power supply. Another important advantage of SVC is the ability to improve power quality. It is capable of suppressing harmonics and interference that may occur due to non-linear loads in the network.

The use of static reactive power compensators has a number of advantages. First, they are able to provide fast and accurate regulation of reactive power. Second, they can work autonomously or in combination with other energy management systems. In addition, SVCs have high reliability and a long service life. However, it is worth noting that static reactive power compensators require qualified engineering expertise during design and implementation. They also require regular maintenance and monitoring to ensure their efficient operation.

As a result, modern methods of reactive power compensation offer more efficient and intelligent solutions for power management. The use of active filters, static compensators of reactive power and smart networks allows to compensate reactive power more accurately and effectively, which helps to reduce energy losses and increase the energy efficiency of the system. These technologies have great potential for development and application in various energy sectors, including industry, power supply, and power transmission networks.

References:

1. В. С. Козлов І. І. Пересунько А. О. Антоненко: «Аспекти впровадження силових активних фільтрів на промислових об'єктах» - 2016 р.
2. Лобода Ю.В.: «Система керування статичними компенсаторами реактивної потужності в несиметричних несинусоїдних режимах розподільних мереж» - 2020 р.
3. С. І. Колосок: «Досвід розбудови розумних енергетичних мереж на міжнародному рівні» - 2019 р.
4. Pazylich, Y., Kolb, A., & Potempa, M., "Implementation of Energy Safety Policy in Ukraine by Means of Energy Saving in Electric Drive Systems", Advanced Engineering Forum, Vol. 25, pp. 96-105, 2017

МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННА БАЗА УКРАЇНИ, ЯК ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО – МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Віктор КОВАЛЕНКО, д.т.н, проф.

Дмитро РАБОТА, аспірант

Євгеній ДРОЖДЄВ, аспірант

Запорізький національний університет

Володимир ДОСКОЧ, аспірант

Тарас САНДУЛ, аспірант

Український державний університет науки і технологій

Дмитро ЦИПЛЕНКОВ, к.т.н., доцент

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Україна, яка розташована в одному з найбагатших регіонів світу з мінеральними ресурсами, є справжнім скарбницею природних багатств. З наявних 120 видів корисних копалин, які сьогодні використовує людство, в надрах нашої країни виявлено надзвичайно велику кількість родовищ і проявів 117 корисних копалин. Зокрема, виявлено 8761 родовище і 1288 об'єктів обліку супутніх корисних копалин, що представлені в 95 видах мінеральної сировини. Ці ресурси мають важливе промислове значення і обліковуються в державному балансі запасів корисних копалин. При цьому на даний момент 3055 родовища активно розробляються, забезпечуючи використання цих надзвичайно цінних природних ресурсів.

Мінерально-сировинний комплекс України є не лише однією з ключових галузей економіки, але й важливою частиною валового національного продукту. Відмічається тим, що 48% промислового потенціалу країни і до 20% трудових ресурсів пов'язані з видобутком і використанням корисних копалин. Це свідчить про високий внутрішній потенціал галузі та важливість її внеску у формування економічного обличчя України [1].

Україна наближається до стандартів розвинених країн із потужним гірничодобувним сектором. Тут вклад гірничодобувного сектору в загальні інвестиції може досягати від 20% до 40%, а участь в трудових ресурсах — до 20%. Це демонструє, наскільки ключовою є роль мінерально-сировинного комплексу в структурі економіки та забезпеченні трудових можливостей для населення.

Металогенічна провінція Українського щита, що включає Волинську, Подільську, Кіровоградську, Середньо-Придніпровську та Приазовську субпровінції, є унікальною за своєю різноманітністю родовищ. Поміж широко відомих видів мінеральної сировини, таких як залізо, титан, уран, знайдено й нові корисні копалини для регіону. Наприклад, у Середньому Придніпров'ї (Сурська, Верхівцівсько-Чортомлицька структурно-металогенічні зони) виявлено граніт-зеленокам'яні пояси з золоторудною спеціалізацією. У синклінальних прогинах та епікратонних западинах, заповнених протерозойськими вулканогенно-осадовими формаціями, виявлено поля літєвих пегматитів (Звенигородсько-Хмельівська, Федорівська металогенічні зони).

Такий багатий геологічний потенціал робить Україну важливим учасником світового ринку мінеральних ресурсів і сприяє її економічному розвитку. Використання цих багатств вимагає відповідального та екологічно освідомленого підходу для збереження природних ресурсів і забезпечення сталого розвитку.

Подальший розвиток гірничо-видобувної галузі в Україні базується на поєднанні традиційних технологій та новітніх підходів до видобутку та обробки корисних копалин. Сучасні технології спрямовані на підвищення рентабельності видобутку, зменшення екологічного впливу та покращення умов праці [2].

Важливим аспектом є вдосконалення методів екологічного розведення родовищ і збереження природних ресурсів. Застосування сучасних екологічно чистих технологій у гірництві дозволяє уникати забруднення ґрунту, повітря та води. Розвиток нових методів розведення корисних копалин з використанням мінімальної кількості хімічних реагентів сприяє збереженню природного середовища та зменшенню негативного впливу гірничої діяльності на екосистему.

У перспективі, розвиток гірничо-видобувної сфери в Україні може бути спрямованим на використання більш розумних та енергоефективних технологій. Впровадження автоматизованих систем керування та моніторингу в гірничих комплексах сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню ризиків для робітників. Розробка та впровадження новітніх методів обробки та обґрунтування розробки родовищ також відіграє ключову роль у розвитку цієї галузі.

Подолання проблем зносу обладнання в гірництві може стати передумовою для підвищення його тривалості служби та зменшення витрат на ремонт. Дослідження нових матеріалів та технологій для конструкції гірничого устаткування може привести до створення більш надійного та ефективного обладнання.

Необхідно також звертати увагу на аспекти безпеки праці в гірничій промисловості. Розробка та впровадження новітніх систем охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях може значно зменшити ризики для робітників та покращити умови праці в гірничих умовах.

Такий комплексний підхід до розвитку гірничо-видобувної галузі в Україні сприятиме не лише ефективному використанню наявних природних ресурсів, але і забезпечить сталість та стале підвищення рівня безпеки та екологічної чистоти в цій важливій сфері економіки.

Мінерально-сировинна база України є великою і різноманітною, вона включає багато видів корисних копалин, які знаходяться в різних регіонах країни. Основу цієї бази становлять такі основні групи корисних копалин:

Вугілля: Україна є однією з провідних країн світу за кількістю та якістю вугілля. Вугільні родовища розташовані переважно на Донбасі (антрацит, буре вугілля). Це джерело енергії використовується для виробництва електроенергії та у важких промислових галузях.

Залізні руди: Родовища залізних руд знаходяться на Криворізькому залізорудному басейні, який вважається одним з найбільших у світі. Залізна руда використовується для виробництва чорного металу та інших металургійних продуктів.

Мармур та граніт: Україна володіє великими запасами мармuru та граніту, що використовуються в будівництві та прикраси архітектурних об'єктів. Знаменитий у всьому світі красивий мармур видобувається у Кримських горах.

Калійні солі: Східна частина України, зокрема Солотвинська калійна ділянка, є однією з найбільших у світі зона для видобутку калійних солей, які використовуються в сільському господарстві.

Нафта та газ: Україна має значні запаси нафти та природного газу, основні родовища яких зосереджені в Карпатах, Прикарпатті, Причорномор'ї та на шельфі Чорного моря.

Бурштин: За своєю кількістю та якістю бурштину Україна є лідером в світі. Головні зони видобутку розташовані на північному заході та в Карпатах.

Мінерали для хімічної промисловості: Україна також багата на родовища мінералів, які використовуються в хімічній промисловості. До них входять фосфорити, селітра, сірка та інші.

Ця мінерально-сировинна база створює значні можливості для розвитку галузей промисловості, енергетики та будівництва в Україні. Однак, важливо забезпечити ефективне та екологічно безпечне використання цих ресурсів для забезпечення сталого розвитку країни [3].

Металічні корисні копалини складають значущу частину мінерально-сировинної бази України і мають стратегічне значення для розвитку промисловості та економіки країни. Основними родовищами металічних корисних копалин в Україні є:

Залізні руди: Криворізький залізорудний басейн розташований в серці України і є найбільшим в Європі. Тут видобувають великі обсяги залізної руди, яка використовується для виробництва чорного металу та інших металургійних продуктів.

Марганцеві руди: Придніпровський регіон, зокрема Нікопольський басейн, багатий марганцевими рудами. Ці родовища мають важливе значення для металургійної промисловості, адже марганець використовується для легування сталі.

Титанові руди: Запаси титанових руд розташовані в Кримських горах, зокрема в Білозерському родовищі. Титан використовується для виробництва легких і міцних сплавів, а також у хімічній та авіаційній промисловості.

Рідкісні метали: В окремих регіонах України виявлено родовища рідкісних металів, таких як ніобій, тантал, скандій та інші. Ці метали мають важливе значення для високотехнологічних галузей, таких як електроніка та виробництво новітніх матеріалів.

Мідні руди: Родовища мідних руд розташовані в Західному регіоні України. Мідь використовується у виробництві металевих виробів та електротехнічних матеріалів.

Ці металічні корисні копалини створюють потужну підставу для розвитку металургійної, електротехнічної та високотехнологічної промисловості в Україні. Забезпечення сталого та ефективного використання цих ресурсів важливо для економічного розвитку країни та підвищення її конкурентоспроможності на світовому ринку.

Література

1. Балега А., Вижва С., Курило М. (2018). Інституційне забезпечення геологічного вивчення та використання надр: національний вимір і міжнародний досвід. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 4 (83), 63-72.

2. Балега А., Курило М. (2019). Оптимізація фінансування стадій геологічного вивчення надр у вітчизняній практиці. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 1(84), 49-55.

3. Балега А., Курило М. (2019). Особливості фінансування та організації геологічного вивчення вітчизняних залізорудних родовищ. Мінеральні ресурси України, 2, 34-39.

IMPROVING POWER QUALITY INDICATORS USING ACTIVE FILTERS

Andrii KOLB, PhD, Associate Professor of the Electrical Engineering Department.
Dnipro University of Technology

The increase in the installed capacity of non-linear and asymmetric consumers (thyristor electric drives of rolling mills, electric arc steel melting furnaces, etc.) significantly worsens the traditional indicators of the quality of electricity. The most unfavorable for most consumers are fluctuations and long deviations of the actual voltage value; distortion of the shape of the curve; short-term failures and complete disappearance of voltage.

With deviations of power quality indicators that exceed the values set by standards, the normal operation of electrical equipment is either impossible at all or can be ensured at the price of a significant load reduction. Deviation of the voltage from the norm and distortion of its shape lead to losses, increase in reactive power consumption, and shorten the service life of electrical equipment. At the same time, the normal functioning of the technological process is disrupted. The presence of higher harmonics in asynchronous electric drive systems causes additional heating of the motor, vibrations, noises and violates the electromagnetic compatibility of consumers working in parallel. The quality of electricity also affects the reliability, durability of electrical equipment and the efficiency of transmission and consumption of electricity.

Solving the problem of energy saving, managing the quality of electricity in the distribution networks of industrial enterprises and simultaneously increasing the energy efficiency of electromechanical systems is achieved by using group power supply of regulated electric drives from common direct current buses with a capacitive electricity storage (Fig. 1).

The provided circuit contains a controlled rectifier (CR) for pre-charging the capacitive storage of electricity (SE) and powering the AVI of regulated electric drives with asynchronous motors (AM) and direct current machines (DC). Instead of CR, we can use an uncontrolled one with the appropriate technical solution for pre-charging the capacity. The energy of regenerative braking of electric drives is accumulated by a capacitive storage and used to control the quality of electricity with the help of an inverter (I) on IGBT keys, included in parallel with the controlled rectifier. The inverter together with the capacitor, throttle, filter and control system (CS) form a closed automatic control system (ACS) of the quality of electricity.

The high speed of IGBT inverters with relay-vector control based on the resulting spatial vectors of current and voltage, which provide information on instantaneous power, allows for flexible control of electricity flows and thus with high accuracy to adjust traditional indicators of electricity quality: power factors; non-sinusoidal voltage and current; asymmetry and stability of voltage (oscillations, deviations, dips).

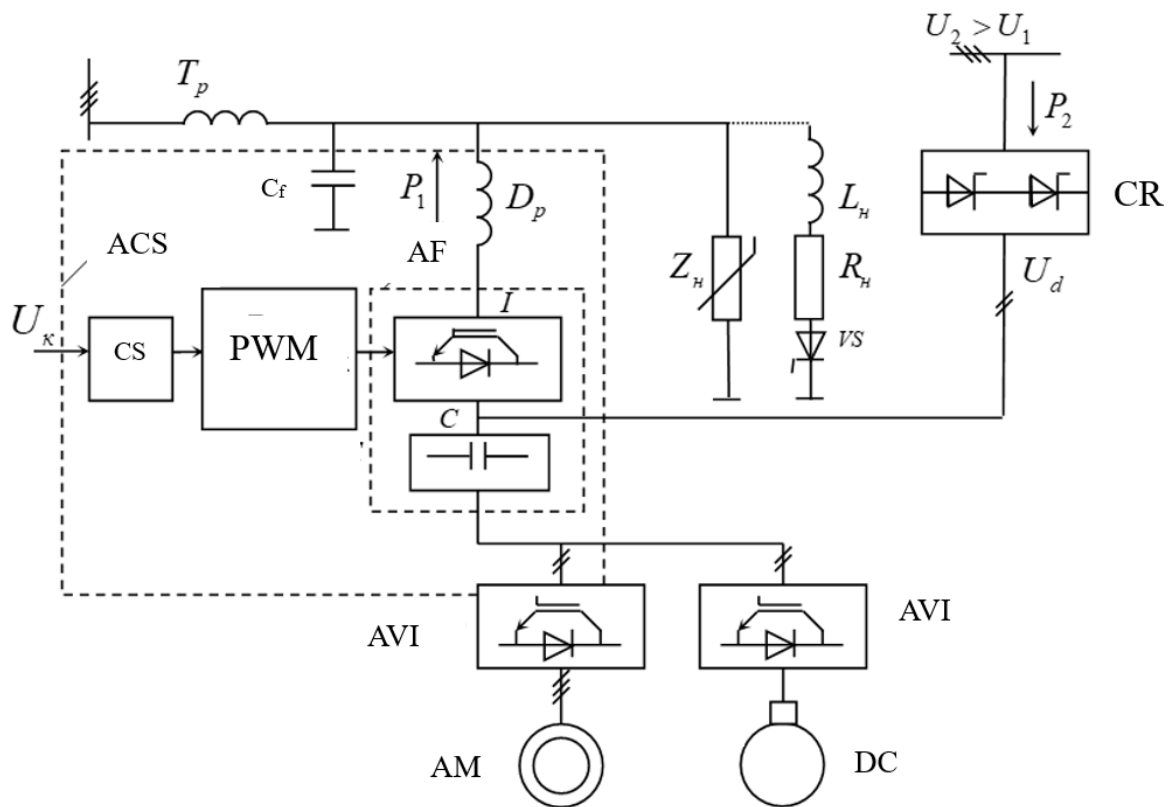


Figure 1 - Functional diagram of the power quality management system

References:

1. Zhezhenko V.I. Higher harmonics in the power supply systems of enterprises// 4th edition, revised. and add. - M.: Energoatomizdat, 2000 - 331p.
2. Rozanov Y.K., Ryabchitskiy M.V., Kvasnyuk A.A. Modern methods of regulating the quality of electricity by means of power electronics // Elektrotehnika, 1999, No. 4, pp. 28-32.
3. Ivakin V.N., Kovalev V.D. Prospects for the application of power conversion technology in the electric power industry // Elektrychestvo, 2001, No. 9, p. 30-37.
4. Rozanov Y.K., Ryabchitskiy M.V. Modern methods of improving the quality of electricity (analytical review) // Elektrotehnika, 1998, No. 3, p. 10-17.
5. Kolb A.A. Energy-saving group power supply system for electric drives with a common converter with two-way conductivity and a capacitive energy storage // Vestnik of the Kremenchug Polytechnic University, 2003, issue 1, p. 135 – 143.
6. Volkov A.V. Analysis of electromagnetic processes and improvement of active filter regulation // Elektrotehnika, 2002, No. 12, p. 40-48.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Тарас ХАЛАІМОВ, аспірант кафедри електропривода

Олександр БЕШТА, член-кореспондент НАН України, д.т.н., професор

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Одним з головних недоліків електромобільного транспорту – є обмежений запас ходу, який обумовлений ємністю акумуляторної батареї. Дослідження факторів, що впливають на витрати електроенергії електромобільним транспортом (під час руху), дозволяє з великою точністю прогнозувати його запас ходу. Основними факторами є: топологія маршруту, погодні умови (температура, відносна вологість, швидкість вітру), міська інфраструктура, манера керування водія, тощо.

У порівнянні з усіма іншими, фактор топології є найбільш вагомим з точки зору витрат енергії під час руху. Більшість сучасних електромобілів мають режим рекуперативного гальмування, під час якого кінетична енергія руху автомобіля перетворюється в електричну енергію і повертається назад до акумуляторної батареї. У зв'язку з цим, важливо обирати найбільш оптимальний маршрут від точки А до точки Б серед можливих або запропонованих сучасними навігаційними картографічними сервісами (наприклад Google Maps).

Для оцінки оптимальності обраного маршруту, з точки зору топології, важливо використовувати адекватні підходи та надійні інструменти для її оцінки. Найкращим способом оцінити витрати електроенергії, а також ефективність системи рекуперації, окремої моделі електромобіля - є використання сторонніх (зовнішніх) або вбудованих датчиків електромобіля: струму, напруги двигуна/акумулятора, швидкості тощо. Оцінка повинна проводитись за допомогою проведення експерименту по подоланню певного маршруту з фіксацією параметрів в режимі реального часу. В світі відомі різноманітні інструменти для її здійснення.

У статті [1] в якості інструменту оцінки витрат енергії електромобілем Nissan Leaf використовують сертифікований сервісний прилад CONSULT III та GPS модуль з GSM.

В роботі [2] автори використовують не сертифікований пристрій Bluetooth OBDII (On-Board Diagnosis II) scanner з авторським ПЗ LeafSpy Pro, що дозволяє передавати на смартфон дані про ряд ключових параметрів (Drive motor power, State of Charge, Speed тощо) з вбудованих датчиків електромобіля. При цьому фіксація GPS координат покладена на вбудований датчик смартфона.

У статтях [3][4] описується використання пристроїв, які створено на базі мікроконтролерних платформ, зокрема платформи Arduino, та сумісних з нею модулів: Voltage Sensor, Current Sensor, STM808 GSM/GPRS/GPS, GPS NEO-6M.

У [5] для аналогічних задач використовували комбінований пристрій VBOX Micro 10Hz Data Logger, який дозволяє одночасно отримувати дані про GPS координати, а також зчитувати сигнали з внутрішніх датчиків електромобіля.

Аналіз використання вказаних діагностичних приладів, з точки зору відповідності вимог проведення експерименту показав, що використання пристроїв на базі мікроконтролерних платформ може забезпечити більшу точність та гнучкість налаштувань у відповідності до вимог дослідження. Проте слід зауважити, що використання сертифікованого обладнання дозволяє працювати з більшою кількістю моделей електромобілів та мати більш простий спосіб під'єднання, але з нижчою точністю та збільшеною складністю інтерпретації отриманих даних. Для отримання точних GPS-координат важливо використовувати сертифіковані пристрої, які здатні підтримувати стабільний зв'язок із супутниками. Також вони повинні мати можливість

записувати масив даних на зовнішній носій та взаємодіяти зі сторонніми пристроями (їх комунікаційними входами/виходами) або з бортовою системою електромобіля через CAN-шину.

Використання GPS модулів дозволяє зафіксувати не тільки дані про географічні координати точок на земній поверхні (широту та довготу) досліджуваного маршруту, а також його топологічний профіль (висоту над рівнем моря).

Дані, що були отримані за допомогою GPS модулів, обов'язково вимагають додаткової обробки та фільтрації. Цей факт обумовлений наявністю значної похибки вимірювання, величина якої залежить від наступних факторів: ступеню екранування GPS сигналу (від висотних будівель, транспортних розв'язок та тунелів), досліджуваного регіону, особливостей рельєфу, кількості видимих супутників та якості сигналу.

Один з підходів для аналізу полягає в тому, що встановлений на електромобілі GPS модуль фіксує лише координати в просторі (широту, довготу), а дані про висоту над рівнем моря беруться з топологічних баз даних, таких як:

1. SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) [6].
2. ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model)[7].
3. Google Earth Engine [8].
4. OpenStreetMap (OSM) [9].
5. Mapbox [10].

Головною метою даного підходу є зменшення похибки при проведенні експерименту, а також порівняння між собою точності отриманих топологічних профілів на предмет відповідності еталону. Еталоном можуть слугувати геодезичні вимірювання, що були проведені на досліджуваному маршруті. Це дозволить визначити більш надійне джерело даних.

Дані з топологічних баз також можуть містити похибку вимірювання. В статті [11] досліджується точність отриманих даних про топологію на прикладі сервісу Google Earth у порівнянні з наземними даними загальнонаціональної бази GPS з шести штатів США. Для оцінки точності використовується середня абсолютна похибка та середня квадратична похибка. Також автори демонструють, як саме профіль дороги та інфраструктура міста впливають на отримані результати. З даної статті можна зробити висновок, що необхідно застосовувати додаткові підходи для фільтрації даних про топологію, використовувати методу ковзного середнього, адаптивних фільтрів, фільтрів Калмана тощо.

Похибку отриманих даних також можливо зменшити за допомогою лінійної апроксимації (дискретизації). Важливо дослідити як ступінь дискретизації даних про висоту над рівнем моря, вздовж маршруту руху, впливає на розрахунок витрат енергії електромобільного транспорту та ефективність системи рекуперації. Для вирішення даної задачі ефективніше за все використати математичну модель електромобіля. При незначному впливі зменшення ступеня дискретизації на результати розрахунків можна досягти більшої швидкості визначення оптимального маршруту руху та точніше формувати критерії для вибору діагностичного приладу та GPS-модуля з точки зору номінальної частоти опитування.

Висновки

В ході аналізу сучасних інструментів та підходів до оцінки енергетичної ефективності електромобільного транспорту були зроблені наступні висновки:

1. Найкращим способом визначення найбільш оптимального маршруту, серед можливих або запропонованих, є проведення експерименту з використанням зовнішніх або вбудованих давачів електромобіля.

2. Для визначення витрат електроенергії та ефективності системи рекуперативного гальмування електромобіля під час руху, в залежності від конкретних вимог експерименту, доцільно використовувати сертифіковане обладнання або пристрої на базі мікроконтролерних платформ.
3. Отримані в ході експерименту дані про висоту над рівнем моря з GPS модулів мають низьку точність та обов'язково потребують додаткової фільтрації.
4. Для точного визначення топологічного профілю маршруту необхідно порівнювати між собою дані, що були отримані з різних топологічних баз даних з додатковою фільтрацією.
5. Необхідно провести дослідження впливу ступеня дискретизації даних про висоту над рівнем моря на витрати електроенергії електромобіля під час руху вздовж маршруту.

Перелік посилань

1. Wu, Guoyuan & Boriboonsomsin, Kanok & Barth, Matthew. (2014). Eco-Routing Navigation System for Electric Vehicles.
2. Jimenez Bermejo, David & Hernandez, Sara & Fraile-Ardanuy, Jesus & Serrano Romero, Javier & Pozo, Rubén & Alvarez, Federico. (2018). Modelling the Effect of Driving Events on Electrical Vehicle Energy Consumption Using Inertial Sensors in Smartphones. *Energies*. 11. 412. 10.3390/en11020412.
3. Kropiwnicki, Jacek & Gawłas, Tomasz. (2023). Estimation of the Regenerative Braking Process Efficiency in Electric Vehicles. *Acta Mechanica et Automatica*. 17. 303-310. 10.2478/ama-2023-0035.
4. Dudgikar, Ameykumar & Ingalgi, Adnan & Jamadar, Abhishek & Swami, Onkar & Khadake, Suhas & Moholkar, Shreya. (2023). Intelligent Battery Swapping System for Electric Vehicles with Charging Stations Locator on IoT and Cloud Platform. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 204-208. 10.48175/IJARST-7867.
5. Kropiwnicki, Jacek & Furmanek, Mariusz. (2019). Analysis of the regenerative braking process for the urban traffic conditions. 178. 203-207. 10.19206/CE-2019-335.
6. SRTM URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search> (дата звернення 06.12.2023)
7. ASTER GDEM URI: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата звернення 06.12.2023)
8. Google Earth Engine URL: <https://earthengine.google.com> (дата звернення 06.12.2023)
9. Openstreetmap URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=16/48.4542/35.0658> (дата звернення 06.12.2023)
10. Mapbox URL: <https://www.mapbox.com> (дата звернення 06.12.2023)
11. Wang, Yinsong & Zou, Yajie & Henrickson, Kristian & Wang, Y. & Tang, Jinjun & Park, byung-jung. (2017). Google Earth elevation data extraction and accuracy assessment for transportation applications. *PLOS ONE*. 12. e0175756.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ КЕРУВАННЯ КОНТУРОМ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Віталій ХОМЕНКО, к.т.н., викладач-методист, викладач електротехнічних дисциплін
Придніпровський металургійний фаховий коледж, Кам'янське, Україна

Вступ. Суттєвим недоліком синхронних генераторів є інерційність обмотки збудження. Для підвищення стійкості СГ і підтримки напруги на виводах статора при підключенні споживачів особливо з різко змінним навантаженням застосовують релейне або параметричне форсування напруги, а також автоматичне регулювання збудження. До того ж тиристорні збуджувачі (ТЗ) в номінальному режимі роботи працюють з великими кутами керування ($\alpha = 55^{\circ} - 60^{\circ}$), що призводить до суттєвого зниження енергетичних показників автономних систем електроживлення (АСЕ).

Для підвищення енергетичних показників застосовують збуджувачі зі змінною силовою схемою (збуджувачі з робочою і форсувальною групами вентилів, мостові збуджувачі з тиристором в нульовій точці трансформатора). Однак, і в цьому випадку управління напругою збудження забезпечується впливом на кути керування збуджувача.

Мета роботи: математичне моделювання системи збудження синхронного генератора автономної генеруючої установки (АГУ) з ємнісним накопичувачем енергії.

Основний зміст. Розглянемо наступні можливі способи компенсації інерційності контуру збудження СГ. Вмикання в КЗ узгодженої компенсуючої напруги при незмінній сталій частоті. Вмикання в контур збудження активного опору або електричної ємності з одночасною компенсуючою напругою [1, 2].

Розглянемо рівняння електричної рівноваги для контуру збудження СГ в режимі форсування при наявності початкового струму збудження при наступних параметрах: $L_f = 0,006$ Гн; $C = 0,0003$ Ф; $R_f = 1$ Ом; $U_{\phi 0} = 20$ В.

Розглянемо рівняння електричної рівноваги для контуру збудження АГУ в режимі форсування при наявності початкового струму збудження при наступних параметрах:

$L_f = 0,006$ Гн; $C = 0,0003$ Ф; $R_f = 1$ Ом; $U_{\phi 0} = 20$ В.

$$U_L + U_R = U_{f\phi} + U_{f0}. \quad (1)$$

Виразимо напруги через струми:

$$\begin{aligned} L \frac{di_{f\phi}}{dt} + i_{f\phi} R_f &= U_{f\phi} + U_{f0}, \\ \frac{L_f \phi}{R_f} p i_{f\phi} + i_{f\phi} &= \frac{U_{f\phi}}{R_f} + \frac{U_{f0}}{R_f}, \\ i_{f\phi} &= \left(\frac{1}{T_f s + 1} \right) \frac{K_{\phi} U_0}{R_f} + \frac{U_{f0}}{R_f}, \end{aligned} \quad (2)$$

де T_f – постійна часу збудження; $K_{\delta} = \frac{U_{f\phi}}{U_0}$ – коефіцієнт форсування за напругою.

За результатами рівнянь (1–2), що описують режими форсування збудження синхронного генератора, досліджено режими збудження, які вирішувались на ЕОМ за допомогою розрахункової програми (рис. 1). Для порівняльної оцінки способів компенсації інерційності контуру збудження синхронного генератора виконуємо

відповідні розрахунки за наступними виразами, які реалізовані у пакеті Matlab/Simulink [2, 3].

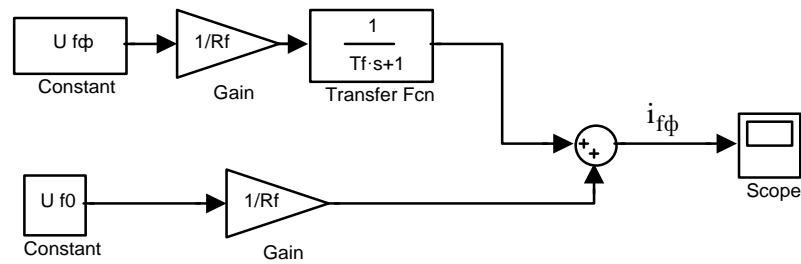
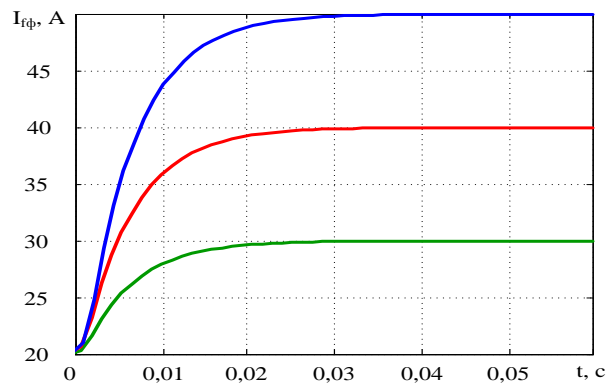
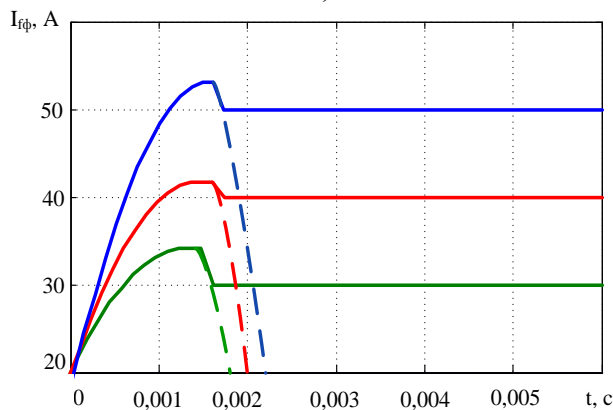


Рисунок 1 – Структурна схема моделі контуру збудження СГ

Результати математичних розрахунків режимів форсування струму збудження СГ наведені на рис. 2. На рис. 2,а наведені розрахункові залежності режиму форсування, що характерні для серійних тиристорних збуджувачів. На рис. 2,б наведено розрахункові залежності режимів збудження при наявності ЄНЕ та початкового струму збудження, які виконані по структурній схемі наведеній на рис. 3.7.



а)



б)

Рисунок 2 – Розрахункові залежності режимів форсування збудження моделі СГ: а) без ЄНЕ; б) з ЄНЕ

Аналіз отриманих залежностей показує, що при некомпенсованому контурі з кратністю форсування $K_i = 2,5$ максимальне значення струму збудження 50,0 А досягається за час 0,04 с, а при компенсованому значення струму 52,2 А досягається лише за час 0,0015 с.

Розглянемо розряд конденсатора в контурі збудження при наявності струму в ньому.

Рівняння напруг при розряді конденсатора в контурі збудження при наявності початкового струму має вигляд [4]:

$$U_R + U_L + U_C = U_{f0}. \quad (3)$$

Виразимо усі величини через струм i_f

$$i_f R_f + L_f p i_f + \frac{1}{cp} i_f = U_{f0}$$

Початкові умови:

$$i_f = \frac{U_f}{R_f}, \quad U_c = U_{c0} \cdot e^{-\beta t}, \quad \beta = \frac{R_f}{2L_f}.$$

Після перетворення отримаємо залежність струму від величини напруги ємнісного накопичувача

$$i_f = U_{c0} \cdot e^{-\beta t} \cdot \frac{cp}{T_f cp^2 + R_f cp + 1} + i_{f0}.$$

З цією метою запишемо вираз струму в наступному вигляді [2, 3]:

$$i_f = \frac{pT_c}{R_f(T_{\sigma f} T_c p^2 + T_c p + 1)} (U_{f\phi} - p\psi_{\delta d}), \quad (4)$$

або

$$i_f = \frac{pT_c}{R_f(T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1)} (U_{f\phi} - p\psi_{\delta d}), \quad (5)$$

де $\xi = T_c/2T_0$ – коефіцієнт демпфування контуру збудження СГ; $T_{\sigma f} = \frac{x_{\sigma f}}{R_f}$; $T_c = \frac{x_c}{R_f}$; $T_0 = \sqrt{T_{\sigma f} T_c}$ – відповідно сталі часу контуру збудження; $x_{\sigma f}$ – індуктивний опір розсіювання контуру збудження; x_c – ємнісний опір накопичувача на частоті мережі; $U_{f\phi}$ – напруга збудження для збуджувача в режимі форсування; U_f, i_f, R_f, ψ_f – відповідно напруга, струм, активний опір і потокозчеплення ОЗ.

Представимо ці два рівняння у вигляді структурної схеми моделі (рис. 3.8).

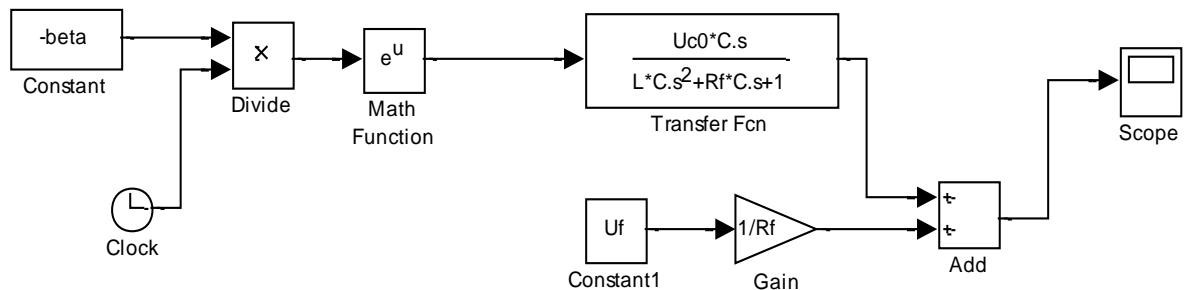


Рисунок 3 – Структурна схема моделі контуру збудження СГ при наявності струму збудження

В режимі форсування напруга збудження для збуджувача, що розглядається прийме вигляд:

$$U_{f\phi} = U_\phi + U_c, \quad (6)$$

де U_ϕ, U_c – відповідно форсоване значення напруги тиристорного збуджувача і напруга зарядженого ЄНЕ.

Тоді вираз струму ОЗ в режимі форсування має вигляд:

$$i_f = \frac{pT_c}{R_f(T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1)} (U_\phi + U_c - p\psi_{\delta d}). \quad (7)$$

Вираз струму ОЗ в режимі форсування без використання ЄНЕ:

$$i_f = \frac{1}{R_f(T_{\sigma f p+1})}(U_\phi - p\psi_{\delta d}). \quad (8)$$

Порівняльний аналіз одержаних виразів показує, що наявність ЄНЕ в контурі збудження сприяє більш інтенсивній зміні струму в даному контурі, оскільки в чисельнику знаходиться форсований член, а знаменник еквівалентний знаменнику коливальної ланки при відповідному виборі величини ємності.

При послідовній компенсації ОЗ величина напруги ЄНЕ може бути меншою наруги збуджувача, так як ЄНЕ виконує роль джерела струму. При паралельній компенсації ОЗ величина напруги ЄНЕ повинна бути більше форсованої напруги збуджувача.

У випадку вмикання ЕРС (U_{c0}) в схему в якій вже діє одна (U_f) або декілька ЕРС, результуючий струм рівний алгебраїчній сумі струмів від раніше діючих ЕРС і від тільки увімкненої.

Розрахунок перехідних процесів виконаний для синхронного генератора типу МСА 72/4: $P_n = 12$ кВт; $U_c = 230$ В; $i_{1n} = 37,6$ А; $U_{fn} = 27$ В; $i_{fn} = 23$ А; $n_n = 1500$ об/хв.

Прийняті параметри синхронного генератора:

$U_{c0} = 100$ В; $L_f = 0,06$ Гн; $C = 0,0006$ Ф; $R_f = 1$ Ом; $U_\phi = 20$ В; $\beta = 8,33$.

Результати розрахунків струму збудження СГ приведено на рис. 4. Аналіз розрахункових залежностей показує, що при часі $t_\phi = 0,01$ с струм i_f досягає величини 29,8 А, а при часі гасіння поля $t_z = 0,02$ с струм знижується до величини 13,0 А. Величина напруги форсування $U_{f\phi} = i_{f\phi} \cdot R_f = 29,8 \cdot 1 = 29,8$ В. При гасінні магнітного поля $U_{fz} = 13,0 \cdot 1 = 13,0$ В.

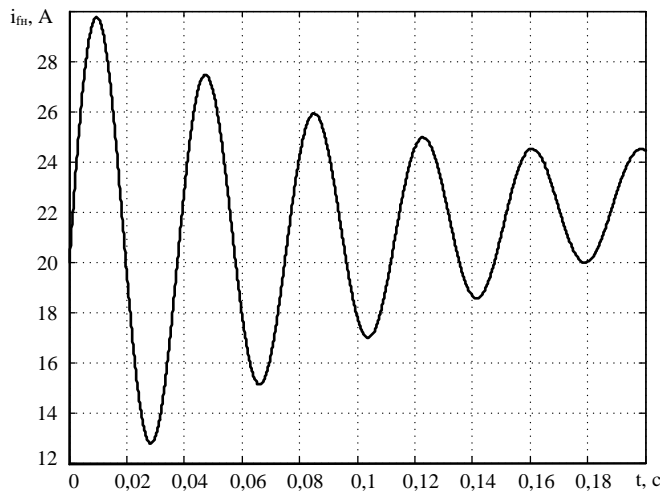


Рисунок 4 – Розрахункові залежності струму збудження СГ

Таким чином, можна сформулювати алгоритм керування контуром збудження: при $t > 0$ і $p i_f = 0$, необхідно вимкнути і вивести конденсатор із контуру збудження, при цьому $U_f = U_{f\phi}$ і $X_L = X_C$.

У випадку повної компенсації, струм контуру збудження буде безінерційно слідувати за напругою форсування.

Для гасіння магнітного поля необхідно:

при $t > t_f$, $p i_f = 0$, а $U_f = U_{fz}$, $X_L = X_C$, крім того $U_{c0} \geq U_{f\phi}$, а C повинна забезпечувати $t_\phi \geq t_{ком}$.

Залежності струму форсування збудження $i_{f\phi} = i_c$ від величини ємності C та напруги заряду конденсатора U_{c0} наведені на рис. 5. При цьому отримані наступні величини:

- 1) при $C = 100$ мкФ, $U_{c0} = 80, 100, 120$ В, $i_{f\phi} = 9,37; 11,72; 14,05$ А відповідно;
- 2) при $C = 600$ мкФ, $U_{c0} = 80, 100, 120$ В, $i_{f\phi} = 20,18; 25,22; 30,27$ А відповідно.

Результати розрахунків з використанням методу накладання наведені на рис. 6 при наступних даних $i_{f\phi} = i_c$ з ємністю $C = 100\text{--}600$ мкФ, при $U_{c0} = 100$ В, $L = 0,006$ Гн та на рис. 7 при наступних даних $i_{f\phi} = i_c$ з ємністю $C_1 = 100$ мкФ; $C_2 = 600$ мкФ, при $U_{c0} = 80, 100, 120$ В, $L_f = 0,006$ Гн.

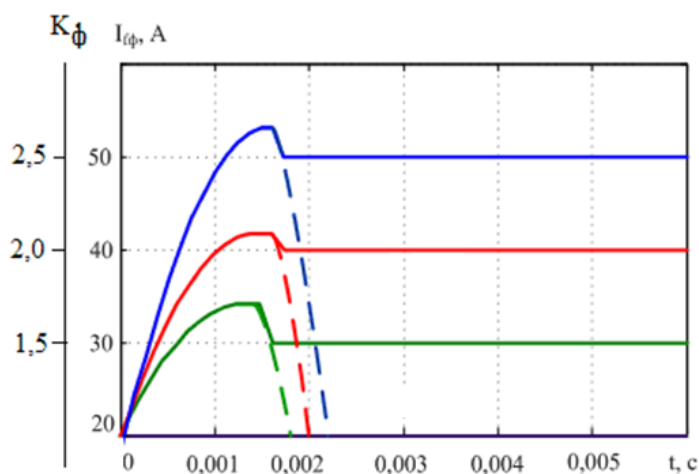


Рисунок 5 – Розрахункові залежності режимів форсування збудження моделі СГ з компенсованим контуром збудження

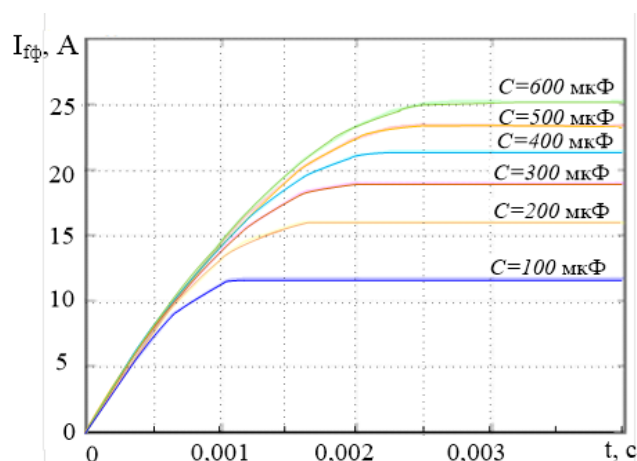


Рисунок 6 – Розрахункові залежності форсованого значення струму збудження СГ від величини ємності при $U_{c0} = 100$ В

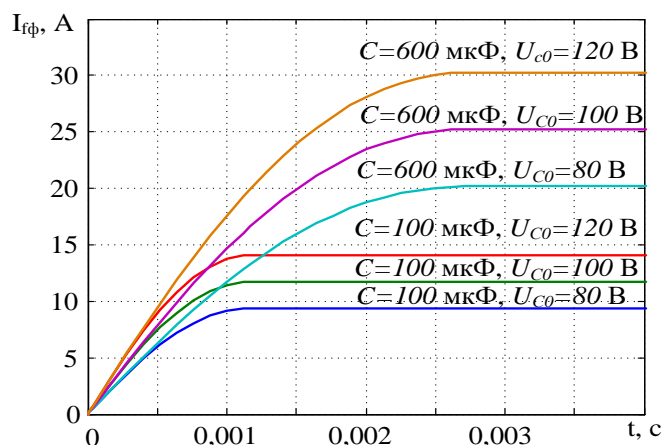


Рисунок 7 – Розрахункові залежності форсованого значення струму збудження СГ від величини ємності та напруги на конденсаторі

Результати математичних розрахунків (рис. 5 – 7) доводять ефективність використання ємнісних накопичувачів енергії для підвищення швидкодії зростання струму збудження СГ.

Висновки. Інерційність контуру збудження СГ не дозволяє ефективно підтримувати напругу статора при підключенні співставного навантаження впливом тільки на кути керування тиристорного збуджувача. Підвищення динамічної стійкості синхронного генератора АГУ при підключенні споживачів співставної потужності може бути забезпечено ємнісною компенсацією інерційності контуру збудження.

Перелік посилань

1. Хоменко В. І., Нізімов В. Б. Дослідження автономної генеруючої установки формуючого джерела електроенергії. *Вісник Кременчуцького державного університету ім. Михайла Остроградського*. Кременчук : КДУ, 2010. – Вип. 3/2010 (62), част. 2. С. 117–119.

2. Куцик А. С., Семенюк М. Б., Тутка В. В. Процеси і характеристики синхронного електроприводу зі струмовим компаундуванням. *Енергетика та системи керування ЕРЕКС-2011* : Зб. матеріалів міжнар. наук.-техн. конф., 24-26 листопада 2011 р. – Львів, 2011. С. 70–71.

3. Хоменко В.І., Нізімов В.Б. Порівняльна оцінка режимів форсування збудження синхронного генератора автономної генеруючої установки. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» (Збірник наукових статей)*. Київ, 2019. № 1 (63). С. 47–52.

4. Хоменко В.І. Техніко-економічне обґрунтування використання синхронного генератора в складі електромеханічного комплексу. *Zbiór artykułów naukowych Konferencji Międzynarodowej NaukowoPraktycznej organizowanej dla pracowników naukowych uczelni, jednostek naukowo-badawczych «Obiecujące osiągnięcia naukowe Inżynieria i technologia» (30.09.2017)*. Warszawa, 2017. P. 20–23.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR FOR STUDYING STATIC OPERATING MODES

Олексій КАЧУРА, к.т.н, доц.

Дніпровський державний технічний університет

Ігор НАЗАРЕНКО, студент,

Артем ЖЕРЕБЦОВ, студент

Єгор ШКАРАН, студент

Тарас Сандул, аспірант

Український державний університет науки і технологій

Олег РОВЕНСЬКИЙ, студент,

НТУ «Дніпровська політехніка»

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

Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету ім. О. Гончара

The volumes of products manufactured by modern enterprises directly depend on their equipment with high-tech machinery, a significant part of which is automated electrical drives. The advantages of electrical drives over mechanical, pneumatic, and hydraulic systems are evident – compactness, reliability, ease of operation, and maintenance. In this regard, the task of further optimizing and improving the designs of electrical machines and devices, as well as installations based on them, remains relevant.

Conducting work on the optimal design of asynchronous motors, taking into account the influence of their operating modes and production requirements, is very promising. Currently, there are various methods used to study the characteristics of electrical devices. They can be divided into analytical and numerical methods.

Analytical methods have several disadvantages. They involve replacing the real object under study with an equivalent model represented as a system of analytical functions. To calculate the magnetic field in the object, the following assumptions are made:

Complex surfaces of the studied constructions are replaced by smooth ones;

The magnetic field of the object is represented as the sum of two independent fields along the longitudinal and transverse axes;

The main magnetic flux and scattering fluxes are considered independently.

Solutions obtained by analytical methods are general and often quite cumbersome. Increased accuracy is achieved by introducing correction coefficients found based on compiling accumulated experimental and computational data. In specific modes and objects with atypical size ratios, the errors in such calculations can be unacceptably large.

The widespread use of EBM (Electromagnetic Field Analysis) has led to the emergence and development of numerical methods, among which the following can be highlighted:

Finite Difference Method;

Boundary Element Method;

Variational-Difference Method;

Finite Element Method (FEM), etc.

The choice of a particular method depends on the class of problems being solved. When studying the electromagnetic field in electrical engineering objects, the Finite Element Method (FEM) is particularly noteworthy. The advantages of this method include the ability to study objects with complex geometric shapes, such as electrical machines. The application of FEM involves the following stages:

Discretization of the investigated area by dividing it into finite elements (FE);

Introduction of interpolation functions, i.e., approximation of field variables inside the finite element through values at selected reference points (nodes of the element);

Derivation of equations for each FE;

Combining the equations of elements into a single system for the entire object under consideration (global stiffness matrix);

Solving the overall system of algebraic equations;

Computation of the sought field quantities.

In this work, an asynchronous motor (AM) with a massive rotor (MR) was studied because this type of construction is highly promising in terms of controllability and reliability.

The advantages of AM with MR include exceptional ease of manufacturing, high mechanical strength allowing for high rotation frequencies, the ability to operate at significant temperature overheating, and a long service life. In the developed model, the following assumptions were made:

Conduction currents in dielectrics are not considered;

In static and dynamic operating modes, the temperature of the object changes insignificantly and does not affect its parameters and dimensions;

The electric field intensity is determined only by the induced time-varying magnetic flux.

To model the electromagnetic system of AM with MR, a system of Maxwell's differential equations was used.

Література

1. Kuznetsova, Y., Kuznetsov, V., Tryputen, M., Kuznetsova, A., Tryputen, M., Babyak, M. Development and Verification of Dynamic Electromagnetic Model of Asynchronous Motor Operating in Terms of Poor-Quality Electric Power (2019) 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019, pp. 350-353, doi: 10.1109/MEES.2019.8896598.

2. Tryputen, M., Kuznetsov, V., Kuznetsova, A., Tryputen, M., Kuznetsova, Y., Serdiuk, T. (2021) "Improving the Reliability of Simulating the Operation of an Induction Motor in Solving the Technical and Economic Problem", In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Education III. ICCSEEA 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1247. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55506-1_13

СУЧАСНІ ТRENДИ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ СТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Олександр АЗЮКОВСЬКИЙ, к.т.н., професор кафедри електропривода
Станіслав ШИХОВ, аспірант

Національний Технічний Університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Газотранспортна система (ГТС) України відіграє визначальну роль у забезпеченні постачання природного газу внутрішнім споживачам та транзиті газу до країн Європи. Її структура включає близько 35,700 км магістральних трубопроводів та 402,000 км розподільних систем, більшість яких реалізовані у вигляді підземних сталевих конструкцій. Забезпечення надійного та ефективного захисту цих підземних сталевих трубопроводів стає пріоритетною задачею, оскільки їхній стан безпеки і довговічності визначає стійкість енергетичної інфраструктури країни. Електрохімічна корозія, що виникає внаслідок неоднорідності металу та його взаємодії з навколишнім середовищем, становить одну з головних загроз для підземних трубопроводів.

Електрохімічна корозія є процесом руйнування металевої структури, що виникає при взаємодії металів із навколишнім середовищем, який обов'язково супроводжується протіканням струму [1]. Для захисту від електрохімічної корозії застосовують різноманітні методи, які включають пасивні (застосування різноманітних покриттів, використання інгібіторів, тощо) та активні (анодна та катодна поляризація) методи захисту. Для підземних трубопроводів катодний захист є найбільш перспективним методом захисту [2, 3].

Катодний захист базується на принципі зміщення потенціалу металу в сторону менш від'ємного (катодного) за рахунок введення зовнішніх анодів з матеріалів, які реагують із середовищем та забезпечують електрони (Рис. 1, а) або зовнішнього (імпресійного) струму за допомогою станцій катодного захисту (Рис. 1. б) [4]. Це сповільнює корозійні процеси та сприяє утриманню металу у непошкоджененому стані, забезпечуючи його тривалу експлуатацію.

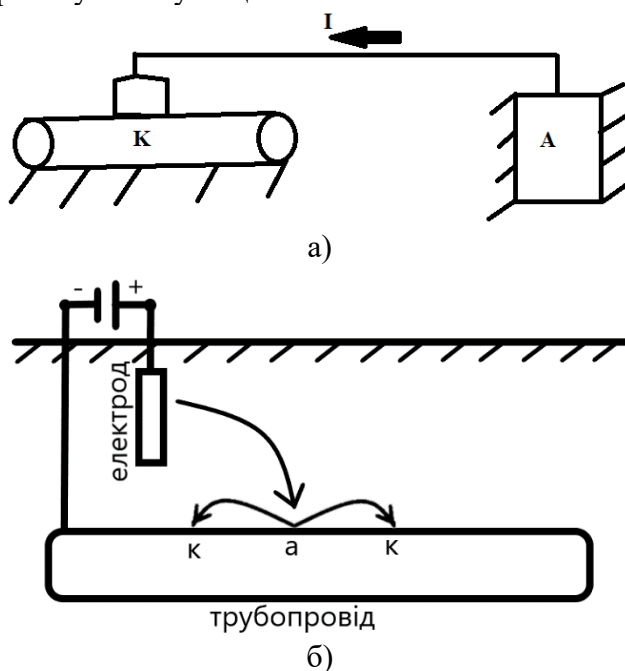


Рисунок 1 Катодний захист за допомогою:
 а) Гальванічних анодів; б) Зовнішнього струму

Сучасний катодний захист підземних сталевих трубопроводів визначається не лише необхідністю попередження електрохімічної корозії, але і стрімким розвитком новітніх технологій та інновацій. Сучасні тренди розвитку катодного захисту включають:

- a) Використання високоефективних матеріалів для анодів. Вдосконалення матеріалів, які використовуються для анодів, таких як алюміній-цинк-індієві сплави, дозволяють забезпечити тривалий термін служби анодів та ефективний захист металевих конструкцій [5].
- b) Розробка автоматизованих систем моніторингу та управління. В сучасних умовах інтернету речей (IoT) та цифровізації, велика увага приділяється створенню автоматизованих систем моніторингу та управління катодним захистом. Це включає в себе використання сенсорів, збір даних в реальному часі, аналітику та можливість дистанційного керування захистом [6, 7].
- c) Впровадження інтелектуальних технологій. Дослідження в галузі застосування штучного інтелекту для прогнозування стану захисту сприяє підвищенню точності, оптимізації енергоспоживання та покращенню загальної ефективності катодних систем [8].
- d) Випровадження сучасних схемотехнічних рішень станцій катодного захисту. Формування захисного потенціалу підземних сталевих трубопроводів за допомогою високочастотних інверторних випрямлячів, які забезпечують потрібні характеристики потенціалу шляхом формування відповідного частотного спектру вихідного сигналу СКЗ [3].

Розглядаючи постійне збільшення складності експлуатації та необхідності підтримки надійності газотранспортної системи України, питання ефективного протикорозійного захисту набуває великого значення. Висновки досліджень підкреслюють важливість подальших наукових та інженерних зусиль для постійного вдосконалення систем катодного захисту. Застосування новітніх технологій у поєднанні з глибоким розумінням електрохімічних процесів та розвитком ефективних методів моніторингу є ключем до забезпечення надійності та довговічності підземних сталевих трубопроводів. Такий підхід визначає актуальність теми та її стратегічну важливість для енергетичного сектору та інфраструктурного розвитку.

Перелік посилань

1. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування [Електронний ресурс] : підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв – Електронні текстові дані (1 файл: 8,81 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. –318 с.
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
3. Азюковський О.О. Формування високочастотним інверторним випрямлячем захисного потенціалу підземного сталевих трубопроводу. / О.О.Азюковський // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2013. – Вип. 91. – С. 37-41. URL
4. A. W. Peabody, “Control of Pipeline Corrosion” 2nd edition, NACE, Houston, 2001. 347 p.
5. D. Tamhane, J. Thalapil, S. Banerjee and S. Tallur, Smart Cathodic Protection System for Real-Time Quantitative Assessment of Corrosion of Sacrificial Anode Based on Electro-Mechanical Impedance (EMI), in IEEE Access, vol. 9, pp. 12230-12240, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3051953.

6. K. Bijapur, V. Molahalli, A. Shetty, A. Toghan, P. Padova, G. Hegde. (2023). Recent Trends and Progress in Corrosion Inhibitors and Electrochemical Evaluation. *Applied Sciences*. 13. 10107. 10.3390/app131810107.
7. D. O. Onuoha, Ch. E. Mgbemena, H. Ch. Godwin, F. N. Okeagu. Application of Industry 4.0 Technologies for Effective Remote Monitoring of Cathodic Protection System of Oil and Gas Pipelines -A Systematic Review. *International journal of industrial and production engineering*, 2022, 1 (2). hal-04104232
8. R. Vukcevic. (2010). Directions for the Future: A Case for a Critical Review of ICCP of Steel in Concrete. 10.13140/RG.2.1.1516.9447.

СТЕНД СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ҐРУНТУ ВЕРМІФЕРМИ

Андрій БУБЛІКОВ, д.т.н., професор, завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

Олег БОЙКО к.т.н., доцент, кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

Євген ВОСКОБОЙНИК асистент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

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

Одним з перспективних напрямків утилізації біологічних відходів які утворюються підчас життєдіяльності людини є використання вермікомпостерів для їх переробки. У природних умовах дощові черв'яки поїдають харчове сміття та целюлозні вироби на присадибних ділянках. У штучних умовах на верміфермах черв'якам згодуються біологічні відходи у результаті перетравлення яких утворюється сухе біологічне добриво (біогумус), рідке біологічне добриво (вермічай) та жива маса. Усе це є продукцією, яка постачається на ринок та забезпечує прибуток підприємства [1, 2].

На сьогодні більшість з існуючих верміферм використовує ручну працю та механізоване обладнання майже не контролюючи умови в яких знаходяться черв'яки. Як показує низка досліджень підтримка комфортних умов на верміферми підвищує її ефективність та збільшує вихід сухого біологічного добрива і живої маси. На вихід рідкого біологічного добрива окрім стану ґрунту впливає процес його зрошення [3]. Таким чином автоматизація процесу підтримки стану ґрунту верміфермі забезпечить підвищення виходу продукції та як наслідок її прибуток. Для розробки автоматизованої системи керування необхідно провести попередні дослідження з метою визначення основних контрольованих показників та діапазонів їх змін.

Аналіз процесу формування стану ґрунту верміферми показав, що він залежить від температури, вологості та кислотності. Температура ґрунту може бути виміряна за допомогою відповідного безперервного або цифрового датчика у виконанні IP68. Вимір вологості ґрунту виконується електродними або ємнісними датчиками принцип дії яких ґрунтується на зміні опору. Вимір кислотності виконується електродними датчиками рН.

Таким чином вхідними параметрами системи збору та візуалізації інформації про стан ґрунту верміферми є температура ґрунту, його вологість та кислотність. У свою чергу вихідними параметрами є виміряні значення які необхідно зберегти на носій інформації з зазначенням відповідних часових міток. Враховуючи потребу оперативного перегляду інформації про стан ґрунту до складу системи також повинні входити пристрої візуалізації.

За результатами аналізу вхідних і вихідних параметрів та вимог до системи розроблена відповідна структура стенда (рис. 1).



Рисунок 1 – Структура стенда системи збору та візуалізації інформації про стан ґрунту верміферми

За отриманою структурою виконана розробка стенда (рис. 2). Враховуючи необхідність оперативного контролю стану ґрунту верміферми в якості пристрою керування обрано контролер WEMOS D1 R32 (A2) з можливістю віддаленого підключення за допомогою інтерфейсу Bluetooth Low Energy. Для отримання часових міток використано годинник реального часу DS1307 (A4). Виміряні дані зберігаються на SD карту у вигляді текстового файлу формату CSV. В якості основного пристрою візуалізації використано рідкокристалічний екран який має 2 строки по 16 символів та підключається за допомогою інтерфейсу I²C (A5).

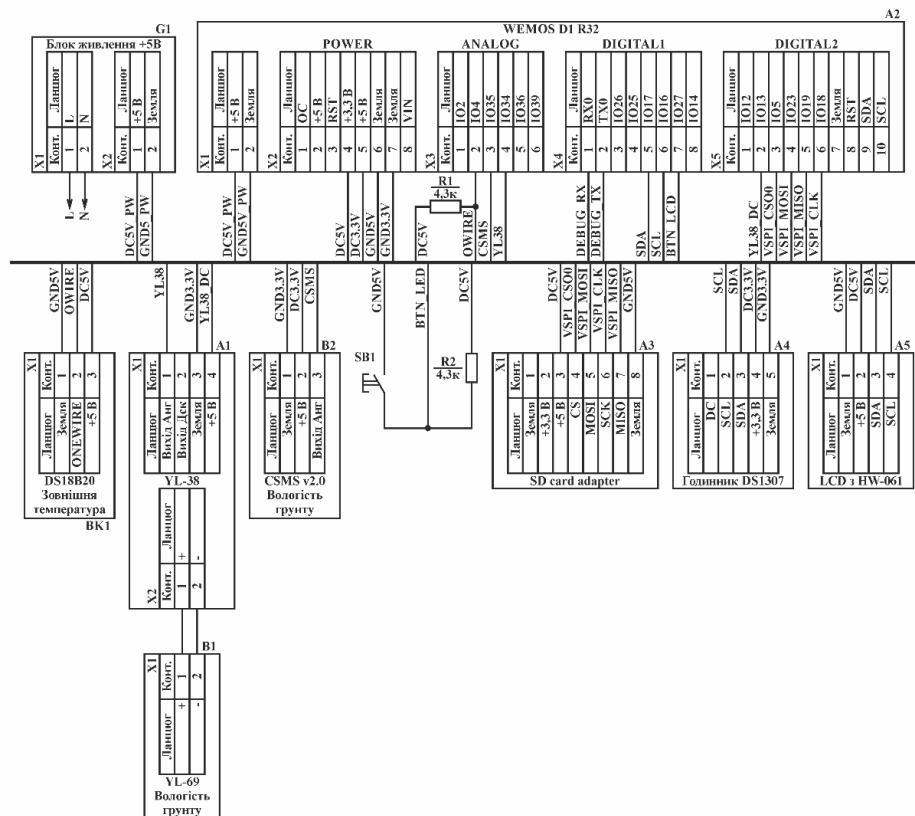


Рисунок 2 – Схема електрична принципова стенда системи збору та візуалізації інформації про стан ґрунту верміферми

На сьогодні розроблений стенд системи збору та візуалізації інформації про стан ґрунту верміферми знаходиться на етапі випробувань. Подальшим розвитком роботи є збір інформації про процес формування стану ґрунту верміферми та розробка на її базі алгоритмів керування. Створення на основі стенда системи керування станом ґрунту.

Перелік посилань

1. The use of earthworms in waste management / Infrastructure news. URL: <https://cutt.ly/WwAPVKoX> (Дата звернення: 11.12.2023).
2. The study of vermicomposting optimization of organic waste / Suparno, Budi Prasetya, Abu Talkah and Soemarno. – International Journal of Advanced Research (IJAR). – 5(3). – 2017. – P. 37-43. DOI: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/3481>
3. The Complete Guide to Worm Farming, Vermicomposting Made Easy / Deep Green Permaculture. URL: <https://cutt.ly/pwASfTDu> (Дата звернення: 11.12.2023).

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РЕДУКТОРНИЙ СХЕМИ В ПРИВОДІ БАРАБАННО-КУЛЬОВОГО МЛИНА

Андрій БАЛАНЮК, аспірант

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

Актуальність

Мінімізація електричних витрат на гірничих та промислових підприємствах має велику актуальність у зв'язку з кількома важливими факторами:

1. Енергоефективність. Гірничо-промислові підприємства витрачають величезні обсяги електроенергії для приведення в рух обладнання, освітлення, систем автоматизації тощо. Мінімізація витрат дозволяє ефективно використовувати електроенергію та знижує залежність виробництва від дорогої електроенергії.

2. Зменшення витрат. Електроенергія є важливою статтею витрат для більшості промислових підприємств. Мінімізація витрат дозволяє знижувати загальні витрати на виробництво, підвищуючи конкурентоспроможність підприємства на ринку.

3. Соціальна відповідальність. Зменшення споживання електроенергії відповідає принципам сталого розвитку та допомагає зменшити вплив виробництва на довкілля. Це може призводити до поліпшення іміджу підприємства та відповідності екологічним стандартам.

4. Підвищення надійності систем. Ефективне використання електроенергії сприяє підвищенню надійності та тривалості служби обладнання. Це важливо для гірничих та промислових підприємств, де переривання в роботі може мати серйозні фінансові та виробничі наслідки.

5. Нормативні вимоги. Багато країн встановлюють нормативи та стандарти з енергоефективності, що зобов'язує підприємства дотримуватися енергозберігаючих технологій та практик.

Загальне управління та стратегії мінімізації електричних витрат є необхідними для забезпечення стабільного та ефективного функціонування гірничих та промислових підприємств у сучасному енергетично-освітньому контексті.

З чим пов'язані складнощі у енергоефективності барабанно-кульових млинів

Енергоефективність барабанно-кульових млинів може бути обмеженою рядом факторів, серед яких:

- Велика потужність і об'єм електродвигуна: Барабанно-кульові млини, як правило, використовуються для обробки великих обсягів матеріалу. Це може вимагати використання потужних електродвигунів, які споживають значну кількість електроенергії.
- Втрати енергії у системі передачі потужності: Механічна система передачі потужності, така як редуктор чи трансмісія, може втрачати енергію через тертя та опір. Це призводить до зменшення ефективності системи.
- Тертя та опір від матеріалу: Обробка матеріалів у барабанно-кульовому млині може супроводжуватися значним тертям та опором, особливо при обробці важкодоступних або абразивних матеріалів. Це призводить до додаткових енергетичних витрат.

- Несприятливі умови роботи: Деякі умови роботи, такі як великі температурні коливання чи агресивне середовище, можуть впливати на роботу обладнання та його енергоефективність.
- Неоптимальні режими роботи: Не завжди вдається забезпечити оптимальні режими роботи млина в залежності від характеристик подрібнювального матеріалу. Недостатнє регулювання може призводити до перевитрат енергії.
- Старіння та знос обладнання: З часом обладнання може зазнавати старіння та зносу, що також може впливати на його ефективність та енергоефективність.

Розв'язання цих проблем може включати в себе вдосконалення конструкції млина, використання більш ефективних матеріалів, оптимізацію систем передачі потужності та впровадження технологічних інновацій для зменшення енергетичних втрат. Важливо також вдосконалювати системи керування та моніторингу, щоб забезпечити оптимальну роботу обладнання при різних умовах роботи.

Вдосконалення конструкції барабанно-кульового млина

Вдосконалення конструкції барабанно-кульового млина може спрямовуватися на покращення ефективності, зменшення енерговитрат, підвищення надійності та зниження впливу на довкілля. Ось деякі можливі напрямки вдосконалення:

1. Матеріали та покриття: Використання високоякісних матеріалів та антифрикційних покриттів для зменшення тертя та опору. Це допоможе знизити енерговитрати та збільшити тривалість служби обладнання.
2. Покращені системи управління: Вдосконалені системи автоматизації та керування, що дозволяють динамічно регулювати режими роботи млина залежно від характеристик подрібнювального матеріалу та навантаження.
3. Оптимізація форми та розміру куль (чи іншого подрібнюючого матеріалу): Дослідження та оптимізація форми та розміру кульок може поліпшити процес подрібнення та зменшити енерговитрати.
4. Системи охолодження: Використання ефективних систем охолодження для зменшення теплових втрат та запобігання перегріванню обладнання.
5. Підвищення жорсткості та стабільності конструкції: Забезпечення жорсткості конструкції млина для уникнення вібрацій та розладу обладнання, що може впливати на ефективність та тривалість його служби.
6. Використання сучасних технологій обробки матеріалу: Впровадження новітніх технологій, таких як лазерна обробка, для створення точних і ефективних деталей конструкції.
7. Системи рециркуляції та енергозберігаючі пристрої: Використання систем рециркуляції для повторного використання енергії та енергозберігаючих пристроїв для оптимізації витрат.
8. Дослідження гідравлічних та механічних характеристик: Глибоке дослідження гідравлічних та механічних характеристик для встановлення оптимальних параметрів роботи млина.

Ці вдосконалення можуть призвести до створення більш продуктивних, енергоефективних та екологічно чистих барабанно-кульових млинів.

Використання редукторної схеми в приводі барабанно-кульового млина може виявитися ефективним з кількох причин:

1. **Підвищення обертового моменту:** Редуктор дозволяє підвищити обертовий момент, що особливо важливо для подрібнення твердих та щільних матеріалів. Великий обертовий момент допомагає млину подолати опір матеріалу та забезпечити ефективну обробку.

2. **Регульована швидкість обертання:** Редуктор дозволяє регулювати швидкість обертання вала млина. Це важливо для оптимізації процесу подрібнення в залежності від виду матеріалу, його твердості та інших параметрів.
3. **Зменшення навантаження на електродвигун:** Редуктор може зменшити навантаження на електродвигун, оскільки він підвищує обертовий момент при зниженні швидкості обертання. Це може покращити ефективність роботи електродвигуна та зменшити витрати електроенергії.
4. **Забезпечення надійності та довговічності обладнання:** Редуктори можуть допомагати розділяти функції регулювання швидкості та підвищення обертового моменту, що може сприяти надійності та довговічності обладнання.
5. **Зниження витрат на обслуговування:** Застосування редуктора може допомогти знизити витрати на обслуговування, оскільки це може зменшити знос механічних елементів, таких як підшипники та інші деталі.

Хоча редукторна схема має свої переваги, важливо правильно підібрати тип та параметри редуктора, враховуючи конкретні вимоги та умови роботи барабанно-кульового млина. Також слід враховувати втрати ефективності, які можуть виникнути від редуктора, і проводити регулярне технічне обслуговування для забезпечення оптимальної продуктивності.

Ці стратегії можуть варіювати в залежності від конкретних умов та вимог вашого виробництва. Рекомендується провести аудит енергоефективності та консультації з експертами для оптимального вибору заходів з енергозбереження.

І як заключення, ми знову ж таки звертаємо увагу на те, що досягнення мінімізації питомих витрат в енергомеханічній системі барабанно-кульового млина на практиці можлива тільки шляхом оптимізації роботи всіх елементів цієї системи разом, а не оптимізацією тільки одного якогось її елемента.

АКТИВНИЙ СТРУМО-НАПРУГОВИЙ ЗАХИСТ РЕГУЛЬОВАНОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Валерій БОРОДАЙ, доцент, канд. техн. наук,
Роман БОРОВИК, інженер-електрик
Ольга НЕСТЕРОВА, доцент, канд. педагог. наук
Роман ШЛАПКО, аспірант

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна

Вступ. Останнім часом енергетичні компанії України мають суттєві труднощі щодо забезпечення задекларованої стандартами якості електричної енергії. Основною розбіжністю фактичної якості від задекларованої є вихід за встановлені межі відхилення напруги, яке може сягати $\pm 22\%$ номінального замість встановлених $\pm 15\%$. Головними причинами ситуації, що склалася, є заплановані оперативні перемикання, які стають наслідком зниження навантаження промислової мережі, особливо у вечірні та нічні часи. Крім того готуючись до зимового періоду розподільчі компанії підвищують напругу мережі шляхом перемикання відводів обмоток силових трансформаторів, аби компенсувати майбутнє перевищення навантаження, яке може виникнути за рахунок масового використання електронагрівальних приладів у помешканнях пересічних абонентів.

Виявлені коливання напруги негативно впливають на регульований електропривод насосних установок, що проявляється у піковому зростанні струмів та коливанні напруги на ланці постійного струму перетворювачів частоти. Як наслідок, це призводить до електричних пробоїв вентилів із складу некерованих випрямлячів ланки постійного струму.

Мета роботи – базуючись на відомостях щодо аварійності насосної установки опалювальної котельні запропонувати оригінальні схемне рішення струмо-напругового активного захисту і алгоритм раціонального управління системою, які гарантовано забезпечать працездатність електромеханічної системи за неякісної електричної енергії промислової мережі живлення.

Основний зміст роботи. Відомо, що статичні перетворювачі напруги та частоти досить критично відносяться до швидкого пікового зростання струму та повільного коливання напруги, яка зростає далеко за межі встановлених стандартів. Зазвичай такі перехідні процеси призводять до важких аварій з подальшою потребою капітального ремонту перетворювальної техніки та супроводжуються значними фінансовими витратами.

У більшості випадків із швидким зростаннями струму борються встановленням роздільних мережних трансформаторів, дроселів або реакторів [1], [2]. Завдяки значній індуктивності, яка вмикається послідовно з навантаженням, процес швидкісного зростання струму сповільняється до припустимого рівня. Щодо можливих нешвидких коливань напруги з причин, що показані вище, захисту в статичних перетворювачах не передбачено. Виникає необхідність пошуку активного захисту, який би за означених умов був спроможний компенсувати перехідні процеси миттєвого зростання струму та повільного коливання напруги на електротехнічній частині насосних установок опалювальних котелен.

Авторами публікації пропонується система активного струмо-напругового захисту насосної установки (рис.1), яка задовольняє бажаним вимогам. До її складу входять

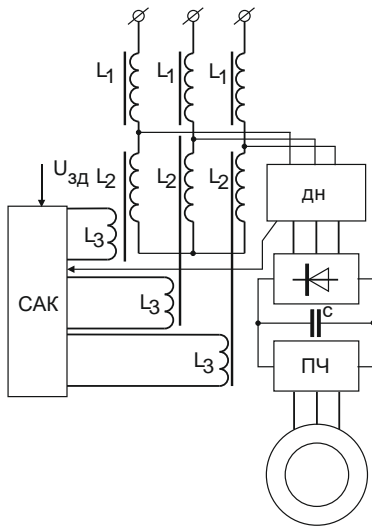


Рис.1. Функціональна схема активної системи захисту.

катушками постійного струму L_3 додаткового магнітного потоку, управління яким здійснює САК із врахуванням напруг завдання $U_{зд}$ і зворотного зв'язку, який знято з датчиків ДН. Особливість системи стабілізації напруги передбачає співвідношення індуктивностей L_1 до L_2 як $1/5$. Це дасть змогу корегувати напругу на перетворювачі $\pm 22\%$ від номіналу.

Можливий також інший спосіб регулювання, який не передбачає наявності САК і датчиків. Сенс способу - зменшення розміру площі перерізу стрижня котушок L_2 , що змінить умови насичення стрижня. Це відповідно забезпечить той же принцип, як і в попередньому випадку, але без примусової системи регулювання магнітного опору.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні причин аварійності насосних установок опалювальної котельні та пропонування оригінальних схеми струмо-напругового активного захисту, алгоритму раціонального управління і їх основних кількісних параметрів, за яких буде гарантовано забезпечено працездатність електромеханічної системи.

Висновки. Розробка схеми та рекомендацій щодо гарантованого активного захисту системи регульованого електропривода убезпечить насосну установку від аварій, а це в свою чергу дасть можливість своєчасного виконання технологічного завдання із прибутком від отримання високої надійності опалювальної котельні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Казачковський М.М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: Навчальний посібник. Дніпропетровськ: НГУ України, 2000. 197 с.
2. Воскобойник, В.Е. Основи електропривода виробничих машин та комплексів [текст]: навч. посіб. / В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 86 с. (Гриф Вченої ради НТУ «ДП»).

**ПАРАМЕТРИЧНА ТА ЧИСЕЛЬНА СТІЙКІСТЬ РОЗВ'ЯЗКІВ
МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ
НЕВИЗНАЧЕННОСТІ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ**

Олексій ЧОРНИЙ, д.т.н, проф.

Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського

Віталій КУЗНЕЦОВ, к.т.н., доц

Володимир ДОСКОЧ, аспірант,

Павло РУСНАК, студент

Василь СПРИСА, студент

Український державний університет науки і технологій

Синхронний двигун (СД) є найбільш складним для математичного моделювання об'єктом. Складність обумовлена не порядком диференціальних рівнянь моделі, не складними нелінійними зв'язками, вказане вирішується тим, чи іншим шляхом, а тим, що модель передбачає знання великої кількості параметрів: активних й індуктивних опорів, перехідних та надперехідних опорів, взаємоіндукції обмоток, сталих часу і точне знання вказаних параметрів неможливе. В наш час існує розгалужений набір методів та підходів для встановлення параметрів математичних моделей синхронного двигуна (СД). Значна частина цих методів передбачає визначення конкретних початкових параметрів, таких як індуктивні опори по повздовжній та поперечній осям, індуктивний опір розсіювання статорної обмотки та обмотки збудження. Інформація, яку надає довідкова література, переважно обмежується загальними даними, включаючи номінальні показники режиму роботи двигуна.

В процесі розрахунків моделей синхронного двигуна виникають не лише кількісні відхилення в основних показниках їх динамічних режимів, але й якісні відмінності. Для повноцінного розуміння та ефективного управління цими особливостями необхідно не лише знаходити інформацію, але і розуміти природу їх виникнення. Зазначені аспекти стають критичними при виборі та використанні методів та засобів для корекції виявлених відхилень. Важливо підкреслити, що розрахунки моделей СД відкривають можливість для виникнення різноманітних відхилень у динамічних характеристиках. Це може бути пов'язано з індивідуальними особливостями конкретного двигуна, а також з використовуваними методами розрахунків. Отже, необхідність вивчення та розуміння природи цих відхилень стає важливою передумовою для високоякісного моделювання та оптимізації роботи сучасних синхронних двигунів. Одним із ключових висновків є те, що у фахівців у галузі електротехніки та електроенергетики має бути не лише обізнаність з різноманітними методами розрахунків, але й глибоке розуміння внутрішніх процесів та факторів, що впливають на якість електроенергії та динамічні характеристики синхронних двигунів.

На сьогодні існує велика кількість моделей СД різноманітних конструкцій, умов експлуатації та таких, що враховують насиченість, намагнічення, тощо. Однак незважаючи на велику кількість наукових праць з моделювання, серед яких найбільш відомими є, універсальної моделі для інженерних розрахунків роботи СД в статичних і динамічних режимах не існує. І пояснюється це не складністю розв'язання рівнянь моделі, – сучасні математичні методи легко дозволяють це зробити, а саме невизначеністю параметрів моделі. Добре відомий математичний опис моделі СД у трифазній системі координат. Але через складність визначення параметрів обмоток: власних та взаємних індуктивностей між обмотками статора й ротора, загальної моделі реалізованої у будь-якому програмному засобі, у тому числі і Matlab, не існує.

Перехід до системи рівнянь Парка-Горева дещо спрощує завдання розв'язання моделі СД, наприклад, для рівнянь з рівними взаємними індуктивностями:

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

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

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

ω_r – кутова частота обертання ротора; $R_d, R_q, R_f, R_{ed}, R_{eq}$ – активні опори обмоток статора по осям d, q , збудження й демпферних по осям d, q ; $L_d, L_q, L_f, L_{ed}, L_{eq}$ – власні індуктивності обмоток статора по осям d, q , збудження й демпферних по осям d, q ; M_d, M_q – взаємні між обмотками по осям d, q ; U_d, U_q – напруга обмотки статора по осям d, q ; $i_d, i_q, i_f, i_{ed}, i_{eq}$ – струми обмоток статора по осям d, q , збудження й демпферних по осям d, q .

Електромагнітний момент дорівнює:

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

Рівняння руху ротора:

$$T_j \frac{ds}{dt} = M_e - M_c; \omega_r = \omega_s (1 - s),$$

де T_j – стала часу; M_c – момент опору; s – ковзання; ω_s – кутова частота обертання поля.

Для спрощення практичного моделювання використовуються рівняння СД, записані у відносних одиницях оперуючи не індуктивностями та взаємними індуктивностями, а індуктивними опорами. У даний час базові величини для рівнянь статорних обмоток загальноприйняті, а для роторних обмоток – у різних авторів різні. При приведенні до відносних одиниць роторних величин найбільш поширеною є, так звана, «система одиниць x_{ad} » або система рівних взаємних індуктивностей.

Але проблема знаходження значень індуктивних опорів залишається остаточно не вирішеною. В цьому практично не допомагають довідники та каталоги даних двигунів від заводів виробників.

Література

1. O. Chorny, V. Tytiuk, Yu. Zacheva, V. Kuznetsov, M. Tryputen, V. Nadtochy Effect of uncertainty of the parameters of a synchronous motor mathematical model on the parametric and numerical stability of its solutions and calculation of dynamic modes. II International Scientific and Technological Conference "Modern problem of power engineering and ways of solving them", Tbilisi, Georgia, December 7-10, 2020. pp/38-46

НЕЧІТКЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ПИТОМИХ ЕНЕРГОВИТРАТ КОМПЛЕКСУ ШАХТНОГО ВОДОВІДЛИВУ

Володимир ГНАТУШЕНКО, д.т.н., професор, завідувач кафедри ІТКІ

Лілія БЕШТА, асистент кафедри ІТКІ

Наталія СОКОЛОВА, к.т.н., доцент, доцент кафедри ІТКІ

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна

Під час потенційного блекауту в енергосистемі України уряд закликає до ощадливого використання ресурсів в періоди пікового навантаження, але призупинення деяких промислових процесів може призвести до катастрофічних наслідків, наприклад зупинення процесу шахтного водовідливу, і це є значущою науково-практичною проблемою. Водовідлив – це процес відведення припливних вод до водозбірників і подальше їх відкачування на поверхню. Управління шахтними водовідливними системами вимагає математично обґрунтованих методів та відповідного інформаційно-аналітичного забезпечення для ефективного використання енергії відповідно до графіка навантаження енергосистеми в умовах невизначеності. Вартість кінцевого продукту значною мірою залежить від ефективності водовідливу. Одним із рішень для зниження загального електроспоживання шахти є виділення споживачів-регуляторів – комплексів та ланок технологічного процесу. Регулювання графіка їх роботи дозволяє вирівнювати навантаження на енергосистему підприємства. При цьому основні проблеми стосуються передпікового управління насосними агрегатами для водовідливу шахти, з огляду на оптимальний режим навантаження енергосистеми з урахуванням тарифних зон. Потенціал для збереження енергії під час експлуатації системи водовідливу полягає в раціональному управлінні насосними агрегатами (НА), що включає контроль за технічним станом насосів та застосування алгоритмів класифікації для мінімізації негативного взаємовпливу і передпікового ввімкнення [1].

Головними вимогами до комплексів водовідливу є безпека гірських робіт та високі техніко-економічні показники їх функціонування. У зв'язку з нерівномірним навантаженням на енергосистему споживачами, підприємства зобов'язані зменшувати споживання електроенергії в години пік. Це призводить до труднощів у виконанні виробничих планів і зниження техніко-економічних показників підприємства. З метою переходу до енергозбереження впроваджена система плаваючих тарифів на електроенергію для підприємств, яка стимулює використання електроенергії в непікові періоди. На сьогодні для промислових підприємств діють три тарифні зони з визначенням тарифних коефіцієнтів для періодів пік, напівпік та нічних годин.

Для установки енергоефективного режиму шахтного водовідливу потрібно визначити добовий притік ґрунтових вод, розрахувати кількість насосних агрегатів для паралельної роботи на один колектор, врахувати тарифні зони та обрати групу насосних агрегатів з близькими КПД. Всі ці дії здійснюються оператором за складними та неоднозначними методиками. Це підвищує вимоги до кваліфікації та досвіду оператора, а також збільшує вплив людського фактору на функціонування шахтного водовідливу. Отже, мета дослідження полягає в прогнозуванні енергетичних показників (споживання електроенергії на одиницю об'єму) та очікуваних економічних показників комплексу шахтного водовідливу на основі отриманих даних про групування насосних агрегатів з мінімізацією негативного взаємовпливу та можливостей автоматизованого передпікового включення насосних агрегатів.

Саме використання систем з нечіткою логікою є доцільним для складних технологічних об'єктів, де класичні системи прийняття рішень та керування не можуть повністю врахувати всі особливості режимів їх функціонування. Процес шахтного

водовідливу є саме таким складним об'єктом. Досвід кваліфікованих фахівців також важливий для покращення якості процесу [2]. Застосування нечіткої логіки є сучасним підходом для вирішення завдань ефективного управління в умовах невизначеності [3].

Для прогнозування енергетичної ефективності процесу водовідливу були визначені чотири вхідні лінгвістичні змінні: Zona (тарифні зони згідно з регламентуючими документами НКРЕ), Volume (поточний об'єм води в водозбірнику), Group2 (перелік пріоритетності ввімкнення насосів для випадку спільної роботи двох насосних агрегатів (НА) і відповідною подачею для напівпіку (11 годин) та піку (6 годин)), Group3 (перелік пріоритетності ввімкнення насосів для випадку спільної роботи трьох НА для нічного часу (7 годин)). Терм-множини лінгвістичних змінних та функції приналежності визначені на основі фахового досвіду експертів та аналізу багаторічного збору даних. Розроблена на їх основі база знань стала фундаментом нечіткої системи підтримки прийняття рішень комплексу шахтного водовідливу (рис. 1).

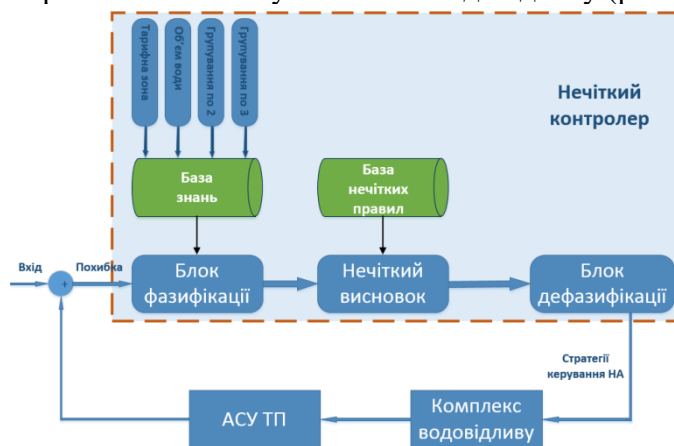


Рисунок 1 – Нечітка система підтримки прийняття рішень процесу шахтного водовідливу

Результатом роботи нечіткого контролера є стратегія щодо кількості ввімкнених НА з відповідною продуктивністю в певні проміжки часу за тарифною зоною зі зворотним зв'язком, що дозволяє коригувати роботу системи. Прийняття рішення щодо графіку роботи комплексу водовідливу з огляду на оптимальний режим навантаження енергосистеми визначається за допомогою алгоритмів класифікації, спрямованих на мінімізацію негативного взаємовпливу та передпікового управління, і базується на співвідношенні чотирьох лінгвістичних змінних.

Перелік посилань

1. Beshta A., Beshta D., Balakhontsev A. & Khudoliy S. Energy saving approaches for mine drainage systems /Technical and geoinformatical systems in mining. CRC Press/Balkema, 2011 Taylor & Francis Group, London. PP. 29-32.
2. Алгоритми енергоефективного використання шахтних водовідливних установок із застосуванням методу передпікового вмикання. / Л. І. Цвіркун, С. М. Ткаченко, Л. В. Бешта // Системні технології Зб. наук. пр. НМЕТАУ. – 2021. – № 5. – с. 88–97.
3. Савватєєв А. Методика прийняття рішень на основі нечіткої логіки для визначення оптимального місця підключення розосереджених джерел генерації./ Actual scientific research in the modern world. 2018; 1 (7(39)) С.122-129.

СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ПОВІТРЯНИХ МАС, ВИКЛИКАНИХ АНТРОПОГЕННИМИ ФАКТОРАМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ НЕЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ДІЛЯНОК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Денис ДЗЮБА студент гр. ЕП-20-1

Дмитро СОЛОВІЙОВ, викладач електротехнічних дисциплін,

Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені О. Гончара,

На сьогоднішній день проблема енергозбереження є дуже актуальною. Одним із популярних шляхів її вирішення є використання альтернативних відновлюваних джерел енергії, таких як: сонячна енергія, енергія переміщення повітряних мас та енергія переміщення водних потоків.

Використання енергії вітру часто виявляється найефективнішим у багатьох кліматичних зонах, які не відрізняються великою кількістю сонячних днів у році. Крім того, вітри можуть бути спричинені не лише природними, а й антропогенними факторами. Переміщення повітряних мас, які викликані антропогенними факторами, у ряді випадків можуть бути кращими для використання як відновлюване джерело енергії, оскільки можуть бути більш передбачуваними. Для використання енергії переміщення повітряних мас, викликаній таким антропогенним фактором, як рух автотранспорту, можна застосовувати пристрій, що складається з кількох малопотужних вітрогенераторів, що заряджають один акумулятор або декілька акумуляторів, з'єднаних між собою.

Для накопичення електроенергії використовується контролер заряду. Це електронний пристрій, який керує процесом заряду акумулятора і забезпечує необхідне значення струму заряду або напруги заряду акумулятора. Забезпечення оптимального режиму заряду акумуляторної батареї має велике значення у продовженні терміну служби та збереженні якості акумуляторної батареї в процесі експлуатації. При заряді акумулятора від кількох джерел контролер також повинен забезпечувати накопичення енергії, яка надходить від даних джерел.

Пристрій, що перетворює енергію переміщення повітряних мас, спричиненого таким антропогенним фактором, як рух автотранспорту, дозволить вирішити проблему електрифікації тих ділянок автодоріг, які недоцільно або неможливо електрифікувати шляхом проведення ліній електропередач.

Пристрій працює на відновлювальній електроенергії в автономному режимі, а тому дозволяє вирішувати не тільки питання енергоефективності та економії електроенергії, а й створити умови для безпечного переміщення автомобільного транспорту та інших учасників дорожнього руху, завдяки освітленню таких об'єктів, як зупинки, пішохідні переходи або складні ділянки дорожнього руху, які раніше були неелектрифіковані.

Перелік посилань

1. Кудря С.О. (2020) Відновлювані джерела енергії. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ.
2. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
3. Ресурсозберігаюча енергетика: навч. посіб / В.П. Іваницький, О.В. Лукша, І.І. Чичура, Р.О. Мешко. Ужгород: УжНУ, 2023. 152 с.

ОСНОВНІ АСПЕКТИ ТА КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ У КОНТЕКСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Андрій МУХА, д.т.н, проф.
Віталій КУЗНЕЦОВ, к.т.н., доц
Володимир ДОСКОЧ, аспірант,
Сергій КУЛКОВ, аспірант
Тарас САНДУЛ, аспірант

Український державний університет науки і технологій

У зв'язку із розвитком ринкових відносин у сфері постачання електроенергії, електроенергія розглядається як продукт, який повинен відповідати певним вимогам якості та ринку. Закон України "Про ринок електроенергії" у редакції від 17.10.2020 року чітко визначає законодавчі, економічні та організаційні засади ринку енергопостачання, регулює відносини з виробництва, передачі, розподілу, купівлі та продажу, постачання електроенергії для надійного та безпечного забезпечення споживачів, враховуючи інтереси споживачів, розвиток конкурентних відносин, мінімізацію витрат на електроенергію та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Стаття 18 "Якість забезпечення електроенергією" Закону України "Про ринок електроенергії" чітко визначає:

Регулятор (Національний комітет, який здійснює державне регулювання у сферах виробництва енергії та комунальних послуг) визначає перелік коефіцієнтів якості забезпечення електроенергією, які характеризують рівень надійності (постійності) енергопостачання, комерційної надійності послуг щодо передачі, розподілу та компенсації електроенергії, а також якість електроенергії, і затверджує їх значення;

Регулятор визначає порядок компенсацій, якщо забезпечення електроенергією не відповідає коефіцієнтам якості, і обсяг компенсацій;

Коефіцієнти якості електроенергії, порядок та обсяг компенсацій за їх невідповідність підлягають публічному розголошенню відповідно до порядку, визначеного Регулятором.

Як відомо, якість електроенергії - це комплекс певних властивостей електроенергії відповідно до встановлених стандартів, які визначають ступінь її придатності для належного використання.

Згідно інформації з офіційного сайту Національного комітету, який регулює діяльність у сферах виробництва енергії та комунальних послуг (<http://www.nerc.gov.ua/>): "На даний момент відносини між виробниками або постачальниками електроенергії та споживачами, які відбуваються під час купівлі та продажу електроенергії на ринку електроенергії, регулюються "Правилами роздрібного ринку електроенергії (ПРРЕЕ), затвердженими Національним комітетом, який регулює діяльність у сферах виробництва енергії та комунальних послуг (НКРДКП) від 14.03.2018 року № 312.

Згідно з пунктом 5.1.2 ПРРЕЕ, оператор системи розподілу зобов'язаний дотримуватися коефіцієнтів якості забезпечення електроенергією, які характеризують рівень надійності (постійності) постачання електроенергії, комерційної якості послуг щодо розподілу (передачі) електроенергії, а також коефіцієнта якості електроенергії, перелік і значення яких затверджені Регулятором.

Згідно з положенням пункту 11.4.6 розділу XI "Кодекс розподільних систем", затвердженого наказом НКРДКП від 14.03.2018 року № 310, параметри коефіцієнтів якості електроенергії в точках підключення споживачів та умовах стандартного режиму повинні відповідати параметрам, визначеним у ДСТУ EN 50160:2014 "Характеристики напруги системи електропостачання для загальних мереж електропостачання" (ДСТУ

EN 50160:2014)".

Отже, Державний стандарт України ДСТУ EN 50160:2014 "Характеристики напруги системи електропостачання для загальних мереж електропостачання" є чинним ефективним документом в Україні; стандарт розроблено Інститутом електродинаміки Національної академії наук України.

Як відомо, електромагнітна сумісність (ЕМС) технічних засобів враховує процеси, які відбуваються в електричних комплексах та системах щодо генерації електромагнітних перешкод, їх вплив на електричне обладнання, ступінь захисту та корекції негативних впливів. Виникнення нових пристроїв для технології конверсії, модернізація зростаючої кількості промислових електричних установок, зокрема використання регульованого електричного приводу, призводить до зниження якості електроенергії в мережах постачання підприємств. Це обумовлює необхідність посилення вимог до електромагнітної сумісності для промислових об'єктів. Стандартизація показників якості електроенергії в таких умовах є однією з основних проблем цієї проблеми [1].

Показники якості електроенергії (ПЯЕ), які регулюються державними стандартами, є вихідною точкою практично в усіх сферах, пов'язаних із електротехнічними установками. Це стосується як проектування нових споруд, так і введення в експлуатацію, дослідження електрообладнання, прийняття рішень про модернізацію та інше.

Міжнародною нормативною базою для оцінки електромагнітної сумісності електричних установок є відомий європейський стандарт EN 50160: "Характеристики напруги, постачаної системами загального призначення" (1994), а також стандарт Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) 1000-2 - 4: "Електромагнітна сумісність. Рівні ЕМС на промислових об'єктах для низькочастотних провідних перешкод.

У сучасному світі великий попит на електроенергію визначає необхідність постійного забезпечення високоякісної електроенергії, яка перевищує можливості електричних мереж. В той самий час, споживачі надають перевагу доступній та економічно вигідній електроенергії. Це ставить перед енергетичною системою суттєві завдання, включаючи забезпечення стабільної та ефективної якості електроенергії.

Нагальна потреба в високоякісній електроенергії визначається тим, що електроенергія використовується в різних галузях економіки, включаючи промисловість, транспорт, освіту, та побутове використання. Сучасне життя та бізнес-процеси сильно залежать від стабільного та надійного живлення, що ставлять під сумнів якість та надійність електроенергії.

Непридатна якість електроенергії є серйозною загрозою для нормального функціонування електроенергетичних систем та може призвести до перебоїв у постачанні для споживачів. Поняття якості електроенергії охоплює різноманітні параметри, які визначають, наскільки вона відповідає встановленим стандартам та вимогам. Це включає такі параметри, як напруга, частота, гармоніки та інші, які визначають електричні характеристики системи.

Щоб забезпечити високу якість електроенергії, важливо визначити та врахувати вимоги споживачів, особливості розвитку технологій та змін в електропотребах. Технічні стандарти, такі як EN 50160, визначають характеристики напруги в системах загального призначення, забезпечуючи основоположний фреймворк для оцінки якості електроенергії.

Отже, забезпечення високої якості електроенергії в сучасних умовах стає ключовим аспектом для забезпечення стабільності та ефективності функціонування електроенергетичних систем, задовольняючи різноманітні потреби споживачів та враховуючи виклики технологічного розвитку.

Широко визначено, якість електроенергії - це набір її властивостей, які визначають вплив на електричне обладнання, пристрої та споруди. Якість електроенергії

пов'язана з надійністю, оскільки стандартний режим електропостачання - це той, при якому споживачам надається електроенергія нормованої якості, у необхідній кількості та без перерв. Оскільки коефіцієнти якості електроенергії можуть відрізнятися від стандартних, визначених ДСТУ EN 50160:2014, деякі підприємства можуть стикатися з наступними негативними наслідками: відключення та простій обладнання через аварії та перемикання у зовнішніх мережах; прямі втрати внаслідок недостатньої виробництва кінцевої продукції; непрямі втрати внаслідок можливих операцій з ремонту механічного обладнання, а також витрат на його обслуговування; зниження надійності систем постачання електроенергії; зменшення ефективності виробництва та збільшення конкретного співвідношення енергії виробництва одиниці кінцевого продукту; та скорочення терміну служби електричного обладнання.

Література

1. Y. Kuznetsova, V. Kuznetsov, M. Tryputen, A. K. Kuznetsova, M. Tryputen, Development and Verification of Dynamic Electromagnetic Model of Asynchronous Motor Operating in Terms of Poor-Quality Electric Power (2019) Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019, pp. 350-353. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896598
2. Kuznetsov, V., Tryputen, M., Kuznetsova, Y., Babyak, M., Artemchuk, V. Ways to Improve Power Quality under the Conditions of Industrial Enterprises (2020) Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice, PAEP 2020. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240801
3. Сучасні реалії фінансово-економічного розвитку регіонів, галузей, підприємств, бізнесу: монографія. Том 2. Трипутень М.М., Кузнецов В.В., Ніколенко А.В., Кузнецова Є.В., Петренко В.О., Артемчук В.В./за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. – Дніпро: Пороги, 2020. – 108 с.

КОНТРОЛЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

Наталія ДРЕШПАК, к.т.н., доцент кафедри електротехніки

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

Більшість гірничих підприємств характеризуються випуском типової для даного виробництва продукції. Виробничий процес супроводжується реєстрацією кількісних показників випуску продукції у визначених періодах часу (протягом доби, тижня, місяця). Крім того, зазвичай фіксують значення відповідних витрат енергії. Якщо ці показники реєструються одночасно, то існує можливість розрахунку питомих витрат енергії (витрат на одиницю продукції), які визначають енергоефективність виробничого процесу. Для значної кількості гірничих підприємств характерна суттєва зміна показника енергоефективності в часі, що пояснюється залежністю питомих витрат енергії W від ряду чинників, які в процесі виробництва не залишаються стабільними. Рис.1 ілюструє таку залежність для однієї із вугільних шахт Західного Донбасу.

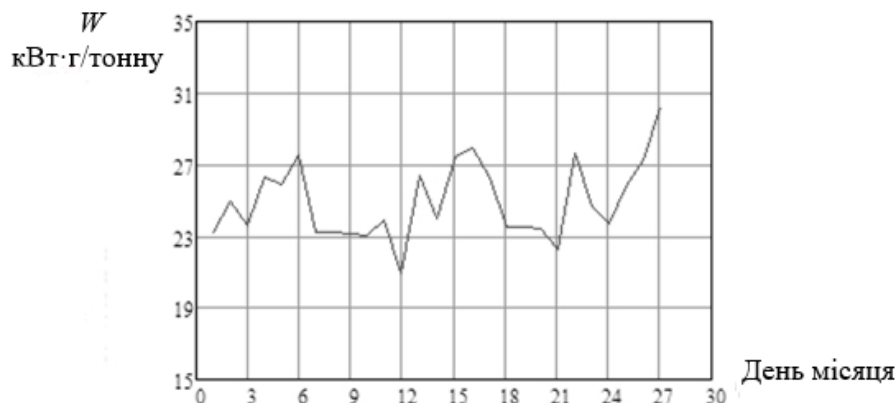


Рисунок 1 – Зміна енергоефективності вуглевидобутку

В 2021 році Верховна Рада України прийняла закон «Про енергетичну ефективність» [1], в якому акцентувала увагу на необхідності суттєвого підвищення енергоефективності промислових підприємств, забезпечені ефективного контролю питомих витрат енергії. Випадкова зміна питомих витрат не дозволяє в коротких проміжках часу визначити наявність економії або перевитрат енергії, виявляти існуючі тенденції розвитку процесу енергоспоживання і досягнуті рівні покращення показника енергоефективності при виконанні дій по управлінню процесом (реалізації заходів з енергозбереження). Для виконання цих функцій необхідно виконувати періодичний контроль показника питомих витрат енергії. Для цього фактичні значення витрат енергії співставляють з унормованими (плановими) значеннями. Останні визначають як середні значення питомих витрат енергії в умовах виробничого процесу, існуючих в момент співставлення даних. Таким чином фіксують наявність економії або перевитрат енергії в момент контролю. Наявність перевитрат повинна супроводжуватись виконанням дій по управлінню енергоспоживанням.

Проведено ряд досліджень по удосконаленню процесу контролю в умовах частих і суттєвих змін питомих витрат енергії промисловим підприємством [2-5]. Показано, що в цих умовах доцільно підвищувати оперативність, достовірність та інформативність контролю [2]. Важливим моментом виконання контролю є унормування питомих витрат енергії. Існують різні методи прогнозування унормованих значень. Доведено, що в

умовах частих і суттєвих змін питомих витрат енергії прийнятним варіантом є застосування статистичного методу унормування [3]. Метод базується на використанні експериментальних даних обсягів спожитої енергії, отриманих безпосередньо у виробничих умовах об'єкту контролю. Завдяки цьому точність прогнозу підвищується, але не завжди є достатньою для вирішення практичних завдань. Тому в [5] поставлена задача підвищення точності унормування питомих витрат енергії. При цьому ураховані реальні умови збору експериментальних даних для вирішення задачі статистичним методом. Розглянуті варіанти застосування одно факторних регресійних моделей. Запропоновано в якості пояснюючої змінної використати комплексну характеристику виробничого процесу-обсяг випуску продукції. Ураховуючи те, що залежність пояснюваної змінної (питомих витрат енергії) від обсягу випуску продукції часто має нелінійний характер, розглянуті варіанти використання як нелінійної, так і лінійної регресійних залежностей. При виборі варіанту застосованої моделі перевагу надають залежності, яка має вужчий довірчий інтервал для середнього значення питомих витрат енергії.

Виконано ряд досліджень, які стосуються особливостей упровадження систем контролю енергоефективності [4]. Зокрема показано, що структурна побудова та розташування точок обліку існуючих розподільчих систем електропостачання промислових підприємств створюють, як правило, сприятливі умови для унормування питомих витрат енергії і це необхідно враховувати при формуванні об'єктів управління енерговикористанням. Автоматизовані системи комерційного обліку енергії (АСКОЕ), які широко використовують на промислових підприємствах, не здатні повною мірою забезпечити контроль енергоефективності виробництва. Існує можливість і обґрунтована доцільність часткового використання функцій АСКОЕ.

Впровадження систем енергоменеджменту на підприємствах України набуває особливої актуальності в умовах відновлення регіонів після закінчення воєнних дій. Зміни в умовах функціонування енергоринку, різке зростання тарифів на енергоносії обмежують можливості енергозабезпечення підприємств і, як результат, зменшують їх конкурентоспроможність.

Перелік посилань

1. Про енергетичну ефективність: Закон України від 21.10.2021 р. № № 1818-IX : станом на 28 верес. 2018 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 28.09.2023).
2. Дрешпак Н.С. Системи контролю енергоефективності виробничих процесів та шляхи їх удосконалення. Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя, 2020. № 1. С. 40–48. DOI: <http://ee.zntu.edu.ua/article/view/203242/205527> .
3. Дрешпак Н.С., Дрешпак О.С., & Випанасенко С.І. Питомі норми витрат енергії в задачі контролю ефективності її використання. Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя, 2021. № 3. С. 31–39. DOI: <http://ee.zntu.edu.ua/article/view/247153/245271> .
4. Дрешпак Н.С., Випанасенко С.І. & Дрешпак О.С. Облік електричної енергії в системах контролю енергоефективності її використання. Гірнична електромеханіка та автоматика. Дніпро, 2021. №103, С. 20-25.
5. Дрешпак Н.С., Дрешпак О.С. Параметризація статистичної моделі контролю ефективності споживання електричної енергії. Науковий вісник НГУ. Дніпро, 2023. № 4. С. 96–102. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/096> .

ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА ВЕРТИКАЛЬНИХ ФЕРМАХ

Віктор ШУЛЕШКО, аспірант кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії,

Тетяна БУЛАНА, канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії,

Володимир ГНАТУШЕНКО, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії,

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

В сучасних умовах глобалізації та зростаючої населення планети, сільське господарство стає ключовою галуззю, яка забезпечує продовольство для всього світу. Проте, завдяки впливу змін клімату, обмеженим ресурсам та екологічним питанням, існує необхідність в інноваціях які б поліпшили ефективність вирощування рослин та збільшення їх врожайності. Сучасні технології вирощування дозволяють отримати високу врожайність та стикаються з однією з найбільших перешкод для прибуткового сільського господарства в контрольованому середовищі - це витрати на електроенергію. Ці високі витрати на електроенергію, пов'язані із забезпеченням світлом рослин, стають значущою перешкодою для досягнення внутрішнього стабільного сільського господарства та стабільної поставки продуктів харчування. Надмірне використання традиційних джерел енергії для освітлення сільськогосподарських культур призводить до великих екологічних та економічних проблем, а також створює тиск на енергетичні ресурси.

Моя розробка є втіленням ідеї точного керування світловим спектром та інтенсивністю для максимізації ефективності фотосинтезу. Заснована на принципах фотобіології та енергетичної ефективності, ця технологія використовує розумне програмування для адаптації освітлення до конкретних фаз росту та розвитку різних видів рослин.

Основною інновацією є спосіб комбінування спектрів і інтенсивності освітлення. Спектр від ультрафіолету до інфрачервоного світла при різних режимах роботи, в різних фазах росту, стимулюють ріст та розвиток рослин. Це не тільки підвищує загальну продуктивність рослин, але й мінімізує витрати енергії, що є критично важливим для вертикальних ферм, де вартість освітлення становить значну частку витрат.

Використання такого методу в передових світлодіодних технологіях, які характеризуються високою енергетичною ефективністю та довговічністю, дозволяє досягти значного зниження споживання електроенергії порівняно з традиційними джерелами світла, такими як галогенові або флуоресцентні лампи.

Також ця технологія включає інтелектуальне управління освітленням, що дозволяє автоматично регулювати освітлення відповідно до зовнішніх умов, таких як природне освітлення або погодні умови, забезпечуючи додаткове зниження енергоспоживання.

Загалом, ця інновація відкриває нові горизонти не тільки у вирощуванні рослин у вертикальних фермах, але й у цілій агропромисловості, пропонуючи економічно вигідне та екологічно сталі рішення.

Ефективність та результати: Застосування цієї системи на практиці демонструє зниження енергетичних витрат мінімум на 30%, що підтверджено даними з реальних вертикальних ферм. Окрім економії електроенергії, спостерігається підвищення урожайності та якості продукції

1. Zhen, S. P. Kusuma, & **B. Bugbee**. (2021). Toward an optimal spectrum for photosynthesis and plant morphology in LED-based crop cultivation. In: *Plant*

factory: basics, applications and advanced research, Eds. T. Kozai, G. Niu & J. Masabni. Elsevier

2. Kusuma, P., P.M. Pattison & **B. Bugbee**. (2021). Photon efficacy in horticulture. Turning LEDs packages into LED luminaires for indoor farming. In: *Plant factory: basics, applications and advanced research*, Eds. T. Kozai, G. Niu & J. Masabni. Elsevier
3. Blonquist, M. and **B. Bugbee**. 2018. Instruments and approaches for accurate measurement of air temperature. In: J. Hatfield (ed). *Agroclimatology*. Am. Soc. of Agronomy publication. Madison, WI.
4. Blonquist, M. and **B. Bugbee**. 2018. Solar, Net, and Photosynthetic radiation. In: J. Hatfield (ed). *Agroclimatology*. Am. Soc. of Agronomy publication. Madison, WI.
5. **Bugbee, B.** 2017. Economics of LED lighting. In: S.D. Gupta (ed.). *Light emitting diodes for agriculture. Smart lighting*. p. 81-99. Springer Verlag, Singapore. (ISBN 978-981-10-5807-3) doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3_4
6. Fisher, P. Both, A. J. and **B. Bugbee**. 2017. Supplemental Lighting Technology, Costs and Efficiency. Chapter 8. In: P. Fisher and E. Runkle (eds). *Lighting Up Profits: Understanding Greenhouse Lighting*. Ball Red Book. Meister Publishing.
7. **Bugbee, B.** 2011. Effect of Environment on Ethylene Stress and Cotton. Chapter 5. In: Derrick M. Oosterhuis, (ed.). *Stress Physiology in Cotton*. The Cotton Foundation reference book series, Cordova TN.

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ

Нікіта РОМАНЧЕНКО, студент гр. ЕП-20-1

Дмитро ПУСТОВОЙ, викладач спеціальних дисциплін

Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування Дніпровського національного університету імені О. Гончара

Аналізуючи розвиток транспорту на електричній тязі, варто зазначити, що поширення електромобілів, зокрема великої кількості вжитих автомобілів, викликає занепокоєння через їхню високу вартість. Актуальною стає також проблема енергетичних витрат та екологічного впливу виробництва електроенергії.

Збільшення кількості електромобілів призводить до значного зростання виробництва електроенергії, що має свої негативні сторони, оскільки більшість енергії виробляється традиційними енергетичними джерелами. Розвиток інфраструктури для зарядних станцій та технологій заряджання батарей вимагає обережного планування та розгляду в контексті графіків електричних навантажень.

Крім того, існують проблеми утилізації використаних батарей, а також на важливість розгляду транспорту з електричною тягою у контексті його впливу на економіку та довкілля. Висловлюються сумніви щодо ефективності та екологічності таких транспортних рішень [1].

Слід зазначити, що, незважаючи на сумнівні аспекти розвитку електротранспорту, вбачаються певні перспективи в його застосуванні у міських перевезеннях, зокрема в електробусах. Зазначається націленість на зменшення ваги та покращення економічності через використання менших акумуляторів та технології підзарядки під час зупинок.

У [2] виділяється ключова проблема електричних автомобілів - їхнє використання обмежене не лише високою ціною, але й нестачею інфраструктури для зарядки. Дослідження вказує на те, що ідеальний сценарій передбачає наявність приватного будинку з можливістю заряджати автомобіль вночі. Однак для мешканців багатоповерхових будинків ця можливість недоступна, що ускладнює використання електромобілів для цієї категорії населення.

Також зазначається, що для повсякденної експлуатації електромобілів необхідно будівництво широкої мережі зарядних станцій, що є актуальною проблемою. Швидкі зарядки, хоча і зменшують проблему подолання великих відстаней, не вирішують її повністю. Зарядка електромобілів від побутової мережі може призвести до перевантаження, що загрожує зниженням якості енергопостачання та можливими аваріями. Усе це потребує вирішення, також необхідні подальші дослідження та вдосконалення інфраструктури для стимулювання розвитку ринку електромобілів.

Україна, як і багато інших країн, стикається з розвитком ринку електромобілів, і в цьому контексті, подальші перспективи є багатообіцяючими та мають певний потенціал. По-перше, важливо враховувати активні зусилля уряду та зацікавлених осіб щодо стимулювання використання електромобілів. Впровадження податкових кредитів, знижок та інших фінансових заохочень може сприяти збільшенню кількості електромобілів на дорогах.

Другий аспект стосується розвитку інфраструктури зарядних станцій. Зростання їх кількості та поширення по всій країні дозволить зручно та ефективно заряджати електромобілі, що, в свою чергу, збільшить привабливість використання цих авто для громадян.

Для ускладнення процесу впровадження електромобілів важливо розвивати та покращувати технології виробництва акумуляторних батарей. Зменшення ваги,

збільшення ємності та покращення терміну служби батарей допоможе покращити характеристики електромобілів і робити їх більш конкурентоспроможними на ринку.

Крім того, важливо розвивати та вдосконалювати технології сонячних батарей та їх інтеграцію в електромобілі. Це може допомогти зменшити залежність від звичайної мережі електропостачання та робити електромобілі більш екологічно чистими та енергоефективними.

Нарешті, освітлення та інформаційна кампанія щодо переваг електромобілів для споживачів може сприяти їх широкому впровадженню. Пояснення економічних та екологічних переваг, а також зняття міфів щодо електромобілів може стимулювати попит та сприяти їхньому популяризації серед населення.

Таким чином, з урахуванням цих факторів, подальші перспективи розвитку електромобілів в Україні обіцяють бути позитивними, при сприятливих умовах та дотриманні стратегічних підходів до розвитку цього ринку.

Перелік посилань

1. Економічні та екологічні аспекти розвитку автомобільного транспорту на електричній тязі - Юрій Папаїка, Юрій Степаненко, Олександра Лисенко - Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2022: Збірник тез. Дніпро. НТУ «ДП». 25 грудня 2022 р. –с. 24-26

2. Сучасний стан електромобільного транспорту та його перспективи в Україні / В. С. Гірін, І. В. Гірін // [Гірничий вісник](#). - 2017. - Вип. 102. - С. 21-25.

ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ДВОШАРОВИМ РОТОРОМ НА ОСНОВІ ЧИСЛЕННИХ МЕТОДІВ

Олексій КАЧУРА, к.т.н, доц.

Дніпровський державний технічний університет)

Віталій КУЗНЕЦОВ, к.т.н., доц.

Ігор НАЗАРЕНКО, студент

Артем ЖЕРЕБЦОВ, студент

Єгор ШКАРАН, студент

Український державний університет науки і технологій

Дмитро ЦИПЛЕНКОВ, к.т.н., доцент

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

На сьогоднішній день до електроприводів змінного струму та асинхронних двигунів (АД) ставляться нові вимоги, зокрема до простоти та надійності конструкції, відносної дешевизни у виготовленні та експлуатації, доброї регульованості та керованості.

Для відповіді на ці вимоги необхідне використання конструкцій АД із спеціальними властивостями та параметрами. Одним із перспективних рішень у цій галузі є асинхронний двигун із двошаровим ротором, який має наступні якісні показники: опором роторної ланки, зниженою пульсацією обертового моменту, хорошими пусковими властивостями, великою перегрузочною здатністю та високою надійністю.

На сьогоднішній день електроприводи на основі АД із двошаровими роторами займають певну нішу серед загальної кількості АД для промислового використання: суднові та авіаційні електромеханічні системи, транспорт, робототехніка і т.д. Таким чином, актуальною є задача дослідження асинхронних двигунів із двошаровим ротором спеціальних конструкцій з використанням нових матеріалів.

При проектуванні двигунів із двошаровим ротором важливе значення має аналіз фізичних процесів, які відбуваються як у самому роторі, так і в обмотці статора у встановлених і динамічних режимах роботи. Для дослідження цих режимів на сьогоднішній день успішно використовуються чисельні методи [1], які дозволяють враховувати не лише геометричні особливості двошарових роторів, а й фізичні властивості використовуваних матеріалів. У роботі як об'єкт дослідження (рис. 1) взятий серійний асинхронний двигун 4АА63А4У3, ротор якого замінений двошаровим із залізомідним кільцем у поверхневому шарі.

У пазах статора закладена трьохфазна одношарова концентрична обмотка. У моделі припускається, що густина струму в обмотці розподіляється рівномірно по всьому перерізу. У сталевих елементах магнітна проникність є нелінійною і залежить від кривої намагнічування для сталі Ст2013. Вся конструкція оточена повітряним простором з урахуванням реальних електрофізичних властивостей. Дискретна модель АД показана на рис. 2.

Розрахунок АД виконаний для перехідного динамічного режиму тривалістю 0,9 с з кроком дискретизації за часом 0,005 с. Прикладене до обмотки статора трьохфазне напруга $U=380$ В змінюється синусоїдально з частотою 50 Гц.

На рис. 3 та 4 представлені графіки розподілу магнітної індукції та напруженості магнітного поля для моментів часу 0,01 с та 0,05 с відповідно. У результаті розрахунку також отримані графіки перехідних процесів електромагнітного моменту та швидкості АД, струмів у фазах обмоток статора, розподілу втрат потужності в поверхневому шарі ротора.

В рамках розробленої методики можуть бути досліджені АД практично будь-яких

конструкцій, що дозволяє отримати параметри машини на етапі проектування, не звертаючись до створення експериментальних зразків.

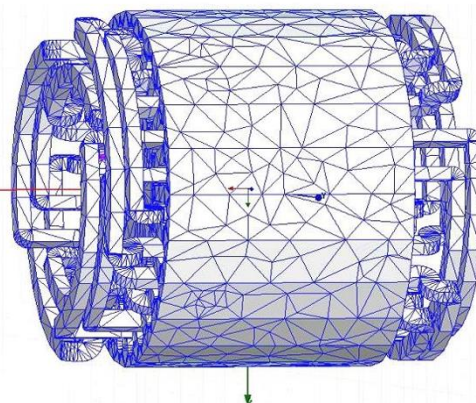
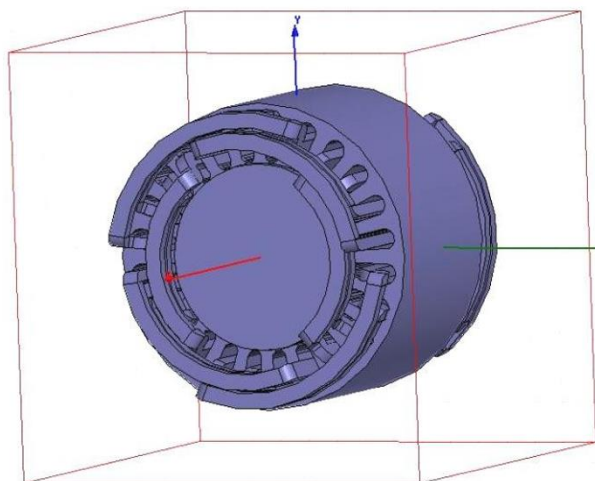


Рис. 1. Модель АД, що досліджується, з двошаровим ротором
Дискретна модель АД, що досліджується

Рис. 2.

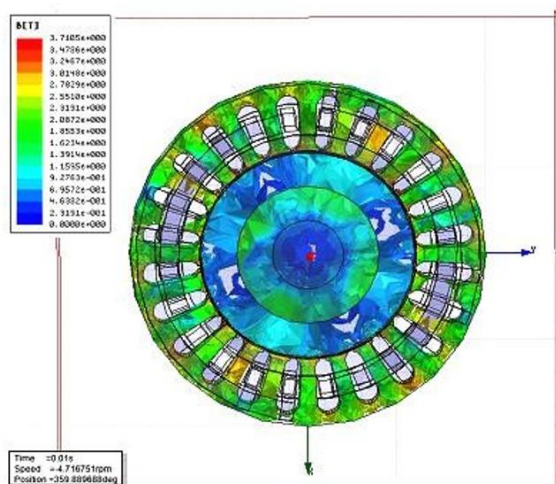


Рис. 3. Графік розподілення щільності магнітного потоку для моменту часу 0,01 с

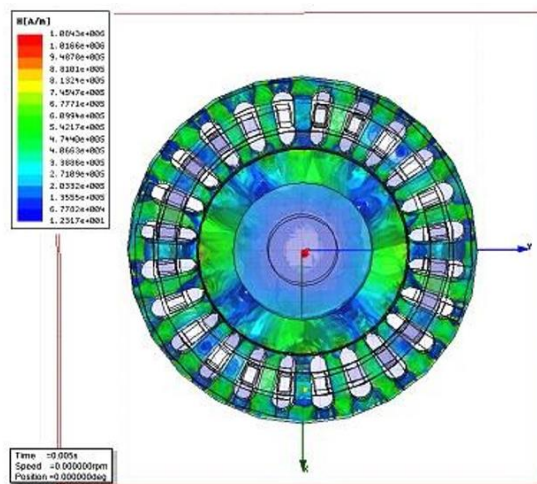


Рис. 4. Графік розподілення щільності магнітного поля для моменту часу 0,05 с

Література

1. Качура А.В. та ін. Розробка прикладних програм для розрахунку електромагнітного поля. Вісник інституту економіки та нових технологій імені Ю.І.Кравченка, 2005р., т1, с 98-106.

ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Яків ЯРОШЕНКО, аспірант каф. електротехніки

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Принцип функціонування єдиної енергетичної системи України визначається балансом між виробництвом і споживанням електроенергії, обслуговуванням мережі об'єктів електроенергетики, здатністю ефективно реагувати на надзвичайні ситуації. Об'єднана енергетична система України (ОЕС), об'єднана в єдиний режим виробництва, передачі і розподілу електричної і теплової енергії, з різними типами електростанцій. Енергокеруючі структуру ОЕС активно впливають на потужність і енергоспоживання, використовуючи спеціальні графіки і системи управління, особливо в період зі значними надзвичайними ситуаціями, для запобігання порушень робочої моделі української енергосистеми.

Одним із основних джерел інформації ОЕСУ є графік електричного навантаження (ГЕН). Використовування графіку електричного навантаження служить інструментом для візуалізації енергоспоживання за певний період часу, відображаючи взаємозв'язок між часом і енергоспоживанням.

Графік електричного навантаження може включати різні параметри, такі як сила струму, напруга, активна потужність і реактивна потужність. Залежно від вимог та контексту, графік може мати різні масштаби вздовж осі часу та осі потужності.

Графіки електричного навантаження використовуються для аналізу енергоспоживання, планування потужності, визначення пікового навантаження, оцінки енергоефективності та інших цілей. Вони допомагають створювати енергетичні профілі, вирішувати проблеми енергоефективності та оптимізувати джерела живлення.

Графік електричного навантаження є наочним відображенням зміни споживання електроенергії протягом певного часу і може використовуватися для аналізу та прогнозування пікового споживання, визначення найкращого часу для обслуговування та ремонту системи та оптимізації роботи енергоресурсів.

У плануванні навантаження враховується щоденне, тижневе, місячне та сезонне споживання електроенергії в енергетичних системах. Це допомагає операторам енергосистем розробляти стратегії ефективного розподілу електроенергії та забезпечувати стабільність системи.

Графіки електричного навантаження є важливим інструментом для управління енергосистемою.

Приклад добового графіка споживання електричної енергії наведено нижче, на рисунку 1.

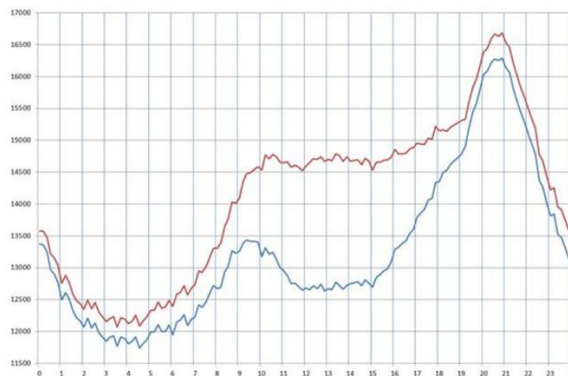


Рис 1. Добовий графік споживання (червона лінія) і генерації (синя) електричної енергії в Україні, весняний день

Список використаних джерел

1. Електроенергетика України. Структура, керування, інновації : монографія / І. В. Хоменко, О. А. Плахтій, В. П. Нерубацький, І. В. Стасюк. – Харків: НТУ «ХПІ», ТОВ «Планета-Прінт», 2020. – 132 с. ISBN 978-617-7897-02-
2. Bederak J.S. Load control in the hourly daily schedule of an industrial enterprise in working conditions in the Energy Market / J.S. Bederak // "Industrial power engineering and electrical engineering" Promelectro: inform. zb. // Promelectro. - 2020. - №1. - Р. 28–39.
3. Особливі режими електричних мереж: Навчальний посібник / Г.Г. Півняк, А.К. Шидловський, Г.А. Кігель, А.Я. Рибалко, О.І. Хованська. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. -376 с
4. Кодекс комерційного обліку електричної енергії, затверджений постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 року №311
5. Правова основа енергозбереження. Довідник. — К.: КНТ, 2007. – 400 с. (Серія: «Енергозбереження в Україні»).
6. Кармазін О.О. «Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики» дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук.
7. Денисов В. А. Визначення оптимальних режимів функціонування енергосистеми України при покритті добового графіка електричних навантажень, забезпеченні необхідних обсягів резервування та використанні накопичуючих потужностей / В. А. Денисов // Проблеми загальної енергетики. – 2020. – № 4(63). – С. 33-44.

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ СТАНЦІЇ ЗАРЯДУ ТЯГОВИХ АКБ ПІДСИЛЕНИХ КОНДЕНСАТОРНИМИ НАКОПИЧУВАЧАМИ

Тимур МАЛБОРСЬКИЙ, студент групи 141-23ск-2,

Сергій ФЕДОРОВ, ст. викл. каф. електротехніки

Валерій БОРОДАЙ, доцент, канд. техн. наук

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна

Вступ. Відомо, що переважним способом руху людських пасажиропотоків в міських умовах є електричний транспорт. За таких умов громади мегаполісів віддають першість в перевозках акумуляторним автобусам та гібридним тролейбусам, які найкращим чином адаптовані для неелектрифікованих локацій сучасних міст. Основні переваги такого типу транспорту – відсутність прямого вуглецевого сліду, відносна простота керування, висока надійність і отримання раціональних режимів споживання електричної енергії та досить висока комфортабельність. Серед його недоліків слід виокремити невисокі значення дальності ходу, тривалий термін поновлення заряду автономної енергосистеми, досить обмежена кількість циклів заряд – розряд, і на решті, досить висока критичність збереження заряду до температурних коливань навколишнього середовища.

Суттєвою особливістю міського електротранспорту є переважно старт-стопний режим роботи, який супроводжується значною витратою енергії в перехідних режимах. В публікаціях [1], [2] демонструється можливість 20 % збільшення дальності ходу за рахунок використання суперконденсаторів саме в пускових режимах, залишаючи збережений заряд АКБ для використання у магістральному циклі. При цьому відновлення заряду конденсаторних накопичувачів пропонується здійснювати безконтактним чином без деталізації влаштування зарядної станції. Отже, аналіз систем поновлення заряду і є предметом даної публікації.

Мета роботи – користуючись відомостями про особливості заряду конденсаторних накопичувачів електричної енергії, надати рекомендації з конструктивного влаштування та алгоритмів роботи зарядних станцій міського електротранспорту, що гарантовано дозволить забезпечити значну тривалість роботи АКБ та підвищить дальність ходу міського транспортного засобу.

Основний зміст роботи. Робота яка пропонується увазі читача, в першу чергу спрямована влаштуванню зарядної станції і не претендує на уточнення питань конструкції елемента дистанційної передачі енергії. Тому далі зосередимо увагу виключно на удосконаленню попередньої платформи системи зарядної станції.

Теоретично встановлено та практично підтверджено, що батарея конденсаторів при накопиченні електричної енергії від джерела постійного струму і повної відсутності початкового заряду на конденсаторі утворює для джерела режим короткого замикання. По мірі накопичення заряду опір конденсатора поступово наближується до значення безкінечність. Тому зарядна станція у початковий момент роботи повинна забезпечувати досить велике значення струму або мати інший спосіб управління, який відрізняється від прямого приєднання конденсаторів на повну напругу мережі джерела живлення. Також відомо, що напівпровідникові системи живлення досить критично відносяться до швидкого зростання струму, що зазвичай завершується пробоем силової частини станції заряду.

Авторами публікації пропонується два підходи до вдосконалення зарядної станції:

- варіант перший – забезпечити зменшення початкового струму заряду можливо за рахунок встановлення на виході або вході станції заряду обмежуючих реакторів або дроселів, а значення тривалого великого струму заряду підтримувати

за рахунок відповідних потужності первинного джерела та силової частини зарядної станції;

- варіант другий – плавне збільшення напруги на конденсаторах, наприклад, аналоговим або цифровим задавачем інтенсивності з автоматичною підтримкою струму заряду на рівні допустимому, що обмежується технічними можливостями системи. Щодо потужності далі, то тут слід дотримуватись умов аналогічних попередньому випадку.

І той і інший спосіб додатково зменшать динамічні механічні навантаження, які можуть зростати внаслідок швидкого збільшення струму. Хоча при таких способах управління слід погодитись на дещо повільне накопичення заряду конденсаторів. Вважаємо, що раціональний спосіб порційної подачі долі енергії у залежності від поточного заряду конденсатора забезпечить максимальну надійність та довговічність роботи систем такого типу.

Висновки. Надані рекомендації безумовно є початковими висновками на основі яких надалі можуть бути отриманні схемні рішення станції заряду електромобілів які мають АКБ джерело живлення підсиленого конденсаторними накопичувачами.

Перелік посилань

1. Рогоза М.В., Бородай В.А., Нестерова О.Ю., Кошеленко Є.В., Федоров С.І. Динамічне розвантаження автономних джерел живлення із залученням функції швидкісного заряду. IX Міжнародна науково-практична конференція «Basics of learning the latest theories and methods» 07-10 березня 2023 р., Бостон, США, 2023. С. 447-449. <https://isg-konf.com/uk/basics-of-learning-the-latest-theories-and-methods/>
2. Рогоза М.В., Бородай В.А., Нестерова О.Ю., Кошеленко Є.В., Федоров С.І. Швидкісне обслуговування тягових акумуляторів сучасних автотранспортних засобів. Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XVII міжнар. конф. (24 листопада 2022 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: А.А. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2022. № 7. С. 57-58.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ПАКЕТА ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Олексій КАЧУРА, к.т.н, доц.

Дніпровський державний технічний університет

Ігор НАЗАРЕНКО, студент

Артем ЖЕРЕБЦОВ, студент

Єгор ШКАРАН, студент

Павло РУСНАК, студент

Василь СПРИСА, студент

Український державний університет науки і технологій

Олександр Ткаленко, аспірант

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Постановка завдання. На сьогодні однією з найбільш масових та широко використовуваних електричних машин є асинхронний двигун (АД), який завдяки винятковій простоті конструкції та високій надійності знаходить широке застосування практично в усіх галузях промисловості. Можливості підвищення ефективності використання АД ще далеко не вичерпані. Це пов'язано, передусім, з зростаючими вимогами до забезпечення необхідних режимів роботи, які пред'являються до сучасного електроприводу [1]: робота в повторно-короткочасних режимах, регулювання частоти обертання та інше.

Деякі серії двигунів мають ряд недоліків, основним з яких є велике споживання пускового струму. Використання таких АД в електроприводах, які працюють в інтенсивних динамічних режимах, є неприпустимим, оскільки це призводить до швидкого виходу їх з ладу. При цьому витрати на ремонт іноді перевищують вартість нового двигуна. Викладене означає, що подальше підвищення ефективності використання АД пов'язано з вирішенням наступних основних завдань:

- освоєння виробництва АД спеціальних конструкцій з покращеними пусковими, регульовальними та динамічними характеристиками;
- розробка нових методик оптимального проектування АД;
- вдосконалення математичних методів розрахунку електромагнітних, теплових, механічних, нелінійних та анізотропних властивостей об'єктів.

В сучасних умовах до АД пред'являються все вищі вимоги: компактність, технологічність, надійність, високі енергетичні показники. Для задоволення вказаних вимог виникає необхідність створення принципово нових конструкцій із спеціальними властивостями та параметрами. Одним з перспективних напрямків в цьому відношенні є асинхронний двигун із масивним ротором (МР). До переваг даної конструкції АД можна віднести:

- висока механічна міцність, що допускає великі частоти обертання;
- простота і технологічність виготовлення;
- тривалий термін служби;
- добрі пускові властивості.

Отже, проведення робіт з оптимального проектування АД із МР з урахуванням впливу режимів їх роботи є актуальною науково-технічною задачею.

Мета роботи. Метою даної роботи є створення пакету прикладних програм для оптимізації характеристик АД.

Результати дослідження. На сьогодні існує ряд методів, які використовуються для дослідження характеристик електротехнічних пристроїв [2]. Умовно їх можна розділити на аналітичні та числові. У роботі [2] показано, що аналітичні методи мають цілий ряд

недоліків порівняно з числовими, в результаті чого їх застосування на сьогоднішній день досить обмежене.

При дослідженні електромагнітного поля в електротехнічних об'єктах, в першу чергу, необхідно відзначити МКЕ. До переваг даного методу можна віднести можливість дослідження об'єктів з складною геометричною формою, які є електричними машинами. Розвиток та широке застосування МКЕ сприяє розробці систем побудови скінчених-елементних сіток. При розв'язанні складних інженерно-технічних задач точність отриманих результатів безпосередньо залежить від якості сформованих скінчених елементів (СКЕ). У зв'язку з цим до сучасних програм-генераторів пред'являється цілий ряд вимог, основними з яких є контроль якості формованих скінчених елементів (СКЕ), мінімізація машинного часу на побудову СКЕ, можливість регулювання щільності сітки в "проблемних" областях, наявність механізмів регуляризації вузлів, мінімальні трудовитрати при використанні.

Література

1. Качура О.В., Количев С.В., С'янов О.М. Індукційні реостати з покращеними масогабаритними показниками для асинхронних двигунів з фазним ротором. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. 209с.
2. Качура А.В., С'янов А.М. Модель лінійного асинхронного двигуна. Технічна електродинаміка, №2 2002, с.59-61.

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ РІЗНИХ ТИПІВ

**Іван ЛУЦЕНКО, к.т.н., професор кафедри електроенергетики,
Євген КОШЕЛЕНКО, к.т.н., доцент кафедри електроенергетики,
Марія ЛУЦЕНКО, аспірантка
Анна КОШЕЛЕНКО, аспірантка**

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

Забезпечення автономності роботи систем електропостачання споживачів – одна з задач, яка потребує вирішення задля досягнення енергетичної безпеки та сталого функціонування енергетичної галузі України. Зростання кількості та потужності об'єктів відновлюваної енергетики, з однієї сторони, сприяє зниженню залежності енергетичного сектора від викопного та імпортованого палива. З іншої сторони, невідповідність добових та річних графіків генерації відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) та споживання електричної енергії споживачами актуалізує задачі балансування роботи об'єднаної енергосистеми (ОЕС).

Важливою також стає задача обґрунтування раціональних структур локальних електроенергетичних комплексів, які характеризуються незначними обсягами перетоків енергії з суміжними частинами ОЕС і з певними допущеннями можуть аналізуватися як енергетичні острови. Такі острови обов'язково мають містити об'єкти генерації, споживачів електричної енергії та засоби балансування генерації і споживання енергії. Такими засобами можуть виступати потужні споживачі-регулятори, накопичувачі енергії значної ємності або лінії електропередачі, які з'єднують даний енергетичний острів з іншою частиною ОЕС.

Існуюча система купівлі/продажу електричної енергії, яка реалізується за участі ДП «Оператор ринку» створює належні умови для функціонування накопичувачів електричної енергії як самостійного бізнес-проєкту. Формування доходної частини такого підприємства базується на різниці ціни на електричну енергію в різні частини доби на внутрішньодобовому ринку енергії (ВДР) або ринку енергії на добу наперед (РДН). Технологічний ефект від функціонування таких комерційних структур полягає в узгодженні режимів генерації та споживання електричної енергії через накопичення енергії в години надлишкової генерації та продаж в години дефіциту.

Серед накопичувачів з великою ємністю зараз найбільш поширеними є свинцево-кислотні акумулятори різних типів, нікель-кадмієві та літій-йонні акумулятори. Основними характеристиками, які визначають область їх застосування є масо-габаритні показники за однакової ємності, допустима та рекомендована глибина розряду, кількість розряд-зарядних циклів, очікуваний термін експлуатації та, звичайно, початкова вартість.

Характеристики поширених типів акумуляторних батарей наведено у таблиці 1.

Акумулятори характеризуються різним темпом старіння, тобто втрати первинної ємності. На цей темп істотний вплив має глибина та темп розряду батареї. Так, збільшення струму розряду акумуляторної батареї (АКБ), призводить до зменшення доступної ємності. Тому вводять додаткову характеристику, яка відображає очікуваний темп розряду. Позначається дана характеристика «С». Типове позначення 100 Ah C5 вказує на те, що у разі розряду акумуляторної батареї упродовж 5 годин зі струмом близьким до 20А, її ємність буде близькою до 100 Ah. При розряджанні тієї ж батареї струмом 10А, вона витримає понад 11 годин і її фактична ємність буде близькою до 115 Ah. Така різниця пояснюється різною інтенсивністю перебігу хімічних процесів, та збільшенням втрат в акумуляторі при збільшенні струму в електричному колі. Зазвичай,

виробники акумуляторних батарей вказують ємність при 10-годинному розряді, тобто С10. Для успішного балансування генерації та споживання електричної енергії перевагу варто віддати швидкодіючим акумуляторам С1-С2-С5, які здатні швидко віддавати накопичену енергію. В такому разі при повільному розряді С10-С20 вони фактично будуть мати більший запас, порівняно з заявленим виробником.

Таблиця 1. Характеристики акумуляторних батарей [1, 2]

Тип батареї	Очікуваний ресурс циклів заряд/розряд при глибині розряду				Допустима глибина розряду, %	Рекомендована глибина розряду, %	Термін експлуатації, років	Ціна АКБ ємністю 1 кВт·год, грн.
	25%	50%	75%	100%				
VRLA	1000	500	400	300	70	40	3-5	3000-5900
AGM VRLA	2100	1200	800	600	80	50	5-15	5600-8200
GEL VRLA	3000	1750	1000	800	90	50	10-15	10400-11300
OPzV	3000	1750	1000	800	90	60	10-15	30000
OPzS	6000	3500	1750	1200	90	60	20-25	14060
Ni-Cd	6000	4000	2000	1500	100	70	20-25	24170
Li-ion	7000	5000	2000	1500	100	90	20-25	15300-17900

Для наведених у табл. 1 типів акумуляторних батарей лінійною інтерполяцією визначимо очікуваний ресурс циклів заряд/розряд при глибині розряду, яка відповідає рекомендованій. Визначимо також вартість одного циклу заряд/розряд, виходячи з середньої ціни акумуляторів ємністю ≈ 1 кВт·год (12 В, 85 А·год). Кількість енергії, яка може бути отримана з акумуляторної батареї упродовж її життєвого циклу, визначимо як

$$W = E_0 \cdot D \cdot N / 100\%, \text{ кВт·год,}$$

де $E_0 = 1$ кВт·год – паспортна ємність батареї, приймаємо однаковою для всіх типів;

D – рекомендована глибина розряду, %;

N – очікуваний ресурс циклів заряд/розряд, од.

Отримані результати представимо у табл. 2.

Таблиця 2. Вартість одного циклу заряд/розряд для акумуляторних батарей ємністю 1 кВт·год різних типів при рекомендованій глибині розряду

Тип батареї	Рекомендована глибина розряду, D, %	Очікуваний ресурс циклів заряд/розряд, N	Ціна АКБ ємністю 1 кВт·год, грн.	Кількість енергії, кВт*год	Вартість 1 кВт*год енергії, грн.
VRLA	40	700	4450	280	15.89
AGM VRLA	50	1200	6900	600	11.5
GEL VRLA	50	1750	10850	875	12.4
OPzV	60	1450	30000	870	34.48
OPzS	60	2800	14060	1680	8.37
Ni-Cd	70	2400	24170	1680	14.39
Li-ion	90	1700	16600	1530	10.85

Аналогічно також знайдемо вартість 1 кВт·год електричної енергії з АКБ на життєвому циклі батареї при інших значеннях глибини розряду. При визначенні вартості електричної енергії прийнято, що акумуляторні батареї на життєвому циклі характеризуються сталою ємністю. В практиці експлуатації упродовж відпрацювання свого ресурсу АКБ втрачають до 20% початкової ємності. Також при розрахунку знехтувано вартістю супутнього обладнання системи накопичення електричної енергії – контролери заряду/розряду, інвертори тощо. Вважаємо, що вартість супутнього обладнання покривається за рахунок меншої вартості АКБ при закупівлі великих партій і створенні накопичувачів значної ємності (сотні й тисячі кВт·год). Отримані результати розрахунку вартості електричної енергії на життєвому циклі АКБ представлені в таблиці 3.

Таблиця 3. Вартість одного циклу заряд/розряд для акумуляторних батарей ємністю 1 кВт·год різних типів при різних значеннях граничної глибини розряду упродовж експлуатації

Тип батареї	Кількість циклів при глибині розряду, D, %				Ціна батареї ємністю 1 кВт·год, грн.	Вартість 1 кВт*год енергії на життєвому циклі АКБ при різній глибині розряду (D, %), грн.			
	25	50	75	100		25	50	75	100
VRLA	1000	500	400	300	4450	17.8	17.8	14.83	14.83
AGM VRLA	2100	1200	800	600	6900	13.14	11.5	11.5	11.5
GEL VRLA	3000	1750	1000	800	10850	14.47	12.4	14.47	13.56
OPzV	3000	1750	1000	800	30000	40	34.29	40	37.5
OPzS	6000	3500	1750	1200	14060	9.37	8.03	10.71	11.72
Ni-Cd	6000	4000	2000	1500	24170	16.11	12.09	16.11	16.11
Li-ion	7000	5000	2000	1500	16600	9.49	6.64	11.07	11.07

За результатами розрахунків можна зазначити, що найнижчу вартість одиниці накопиченої енергії на життєвому циклі АКБ мають літій-йонні батареї та свинцево-кислотні з додаванням сурми й селену (OPzS), які вже зараз достатньо широко застосовуються в системах безперебійного живлення та в акумуляторній техніці. Також варто відмітити, що попри здатність деяких акумуляторів витримувати достатньо глибокий розряд, навіть до 100% ємності, але це призводить до істотного скорочення ресурсу циклів заряд/розряд. З погляду економічної доцільності, краще розряджати акумулятори до половини ємності, при цьому вартість 1 кВт·год накопиченої енергії на життєвому циклі акумуляторної установки буде мінімальною.

Список використаних джерел

1. Характеристики акумуляторних батарей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://best-energy.com.ua/support/battery/411-features-battery>.
2. Акумулятори лужні EverExceed Ni-Cd 1.2V до 1100Ah [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://use.com.ua/ua/p1660326041-akkumulyatory-schelochnye-12v.html>.

ЕКОНОМІЧНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСПОРТУ НА ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТЯГІ

Юрій ПАПАЙКА, 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

Парк легкових електромобілів в Україні постійно зростає (хоча досі їх доля не перевищує 15 % від реєстрації останніх років). Причому нових транспортних засобів значно менше, ніж уживаних, що суттєво зменшує їх економічність.

Якщо розглядати економічну ефективність використання електромобілів в сучасних умовах, то постає цілий ряд питань.

Насамперед велика вартість транспортних засобів з електричною тягою. Причому значна частка з неї припадає на акумуляторну батарею. Так за даними Benchmark Minerals Intelligence доля нікель-кобальт-марганцевого акумулятора (NCM622) у вартості нового автомобіля Volkswagen ID.4 (що найбільш купується в Україні) складає 23,4 %.

До того ж заявлений виробниками запас ходу електромобілів викликає сумніви. Причому не тільки у морозну погоду, коли ємність батареї знижується, але і в спекотну.

Тести реального запасу ходу, проведені британськими фахівцями з What Car? показали, що спека може суттєво впливати на цей показник. Наприклад, не найдорожчий електромобіль BMW і3 у таких погодних умовах зміг проїхати лише 103 замість заявлених 253 км.

Також викликає інтерес те, що, наприклад, власники електромобілів у США проїжджають на рік значно меншу відстань у порівнянні з власниками бензинових машин.

Результати дослідження даних одометрів 12,9 мільйона старих автомобілів з 2016 по 2022 рік, проведеного вченими Університету Джорджа Вашингтона і Національної лабораторії поновлюваних джерел енергії США, показали, що електромобілі з акумуляторними батареями (BEV) проїжджають на рік у середньому майже на 7300 км менше, ніж бензинові автомобілі.

У конкретних цифрах, електромобілі проїжджають 11530 км на рік, тоді як бензинові машини долають аж 18735 км.

В переважній більшості американці тримають електромобіль як «другий» для поїздок на невеликі відстані.

Якщо звернути увагу на екологічні чинники, то дослідження Гарвардського університету показують наступне. Для компенсації значних викидів, які утворюються під час виробництва акумуляторних батарей малої ємності бюджетні електромобілі повинні проїхати майже 45000 км. А для машин з великою тяговою батареєю ця цифра зростає до понад 105000 км.

Тобто у порівнянні з роботою автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння власники електромобілів зможуть помітно зменшити викиди вуглекислого газу лише через декілька років експлуатації.

Суттєвим економічним фактором також є вартість електричної енергії і, відповідно, зарядки електромобілів.

Існує думка, що заряджати електрокари дешевше, ніж заправляти авто з ДВЗ. Експерти Anderson Economic Group порівняли вартість зарядки електромобілів і заправки звичайних автомобілів паливом.

Проведені дослідження показали наступний результат.

Бюджетні бензинові автомобілі (Honda Civic, Hyundai Elantra, Subaru Impreza) обходяться в 9,78 долара на 160 км шляху. А електромобілі початкового рівня можуть у середньому проїхати цю відстань після зарядки від домашньої мережі на 12,55 долара. На спеціалізованих зарядних станціях ця процедура вже обійдеться приблизно в 15,97 долара.

Вартість заправки моделей середнього цінового сегменту (Honda Accord, Toyota Camry, Subaru Outback) обходиться в 11,08 долара на 160 км шляху. А домашня зарядка електромобілів Kia EV6, Tesla Model 3/Y коштує близько 12,62 долара для цієї ж відстані. Зарядка на спеціалізованій станції обійдеться в 16,10 долара.

Відносно дешевий тариф на електроенергію в нашій країні дуже сприяє поширенню парку електромобілів. Але зважаючи на обставини, що склалися у теперішній час, можна упевнено очікувати подальшого зростання тарифів. Тоді економічність використання таких транспортних засобів може стати сумнівною.

Причому можливе поширення зарядних станцій з відновлюваними джерелами живлення, враховуючи «зелені тарифи» та інші причини, не поліпшить економічну складову, а навіть погіршить.

Також існуюча державна підтримка розвитку транспорту з електричною тягою (пільгове оподаткування і т.п.), яка сприяє поширенню парку електрокарів, опосередковано підвищує їх економічність. Але, як показує світовий досвід, така практика не є довготривалою. Наприклад, у Китаї вже відмовляються від державних преференцій. Тобто, економічна складова буде погіршуватися.

На даному етапі розвитку технологій накопичення та зберігання електроенергії найбільш ефективним можуть бути не повністю електричні автомобілі, а так звані «гібриди». Причому найекономічнішою схемою могла би бути така, що не потребує великої батареї, коли двигун внутрішнього згоряння обертає генератор, а той, у свою чергу, живить колісні мотор-редуктори. За такою системою побудовані великі кар'єрні самоскиди.

До того ж, при цьому можливе достатньо гнучке управління рухом транспортного засобу, оскільки кожне колесо є керованим окремо і система може мати безліч параметрів управління. Це також сприяє підвищенню економічності.

На жаль широкого розповсюдження такі системи поки не знаходять.

Зважаючи на означене вище, можна зробити висновок, що при сучасному рівню розвитку техніки та технологій, з точки зору економічності рішень, найбільш перспективні сфери великого вантажного транспорту і автобусів (електробусів).

Великі розміри таких транспортних засобів дозволяють мати найоптимальніші енергопоказники.

Слід враховувати і екологічну складову. Згідно даних Міжнародного транспортного форуму, великі вантажівки та автобуси виділяють менше парникових газів, ніж приватні автомобілі, незалежно від приводу (двигун внутрішнього згоряння чи акумулятор).

Особливо слід відзначити напрямок міського пасажирського транспорту. Тут електробуси можуть мати навіть невеликий акумулятор (що значно підвищить економічність) і підзаряджатися на кожній зупинці, наприклад, завдяки системі індуктивної передачі енергії.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ІНДУКЦІЙНИМ РЕОСТАТОМ В КОЛІ ФАЗОВНОГО РОТОРА

Олексій КАЧУРА, к.т.н, доц.

Дніпровський державний технічний університет

Ігор НАЗАРЕНКО, студент,

Артем ЖЕРЕБЦОВ, студент

Єгор ШКАРАН, студент

Український державний університет науки і технологій)

Експлуатація асинхронних двигунів (АД) в інтенсивних динамічних режимах, як правило, супроводжується вібраціями, спричиненими значними електромагнітними силами. Останні виникають через великі струми статора, які споживає АД, і призводять до деформацій, перегріву, а також руйнування статорного апарата.

З метою обмеження величини струмів статора в АД широке поширення отримало спосіб включення в ланцюг обмотки фазового ротора індукційних резисторів (ІР). При цьому в таких електроприводах резистори розташовані поза об'ємом двигуна і з'єднані з обмоткою ротора за допомогою щіткового апарата та контактних кілець.

Відомо, що індукційний реостат є пристроєм для регулювання електричного опору в електричних ланцюгах, і його принцип роботи ґрунтується на використанні індуктивних ефектів. Основна мета індукційного реостата - змінювати електричний опір для регулювання потужності в електричних системах.

Основні компоненти індукційного реостата:

Індуктивна обмотка (котушка): Це обмотка індуктивності, що зазвичай складається з дроту або котушки, намотаної на магнітному сердечнику. Коли через котушку пропускається змінний струм, утворюється індуктивне магнітне поле.

Ротор: Це частина реостата, яка може обертатися і розміщена в магнітному полі індуктивної обмотки. Ротор може бути виготовлений з провідного матеріалу, такого як алюміній, і використовується для зміни опору.

Механізм регулювання: Індукційні реостати зазвичай мають механізм, який дозволяє регулювати положення ротора. Це може бути ручка або інший механізм, який дозволяє змінювати відстань між ротором і індуктивною обмоткою.

Принцип роботи полягає в тому, що при обертанні ротора відбувається зміна магнітного потоку в індуктивній обмотці. Це викликає індукційні струми, які, у свою чергу, призводять до виникнення індукційної електродвигунної сили, що зменшує ефективний струм в ланцюзі та змінює його опір.

Індукційні реостати зазвичай використовуються для регулювання швидкості асинхронних електродвигунів і забезпечення плавного запуску. Також, їх можна зустріти в інших системах, де потрібно ефективне регулювання електричної потужності.

Для вивчення вказаних систем доводиться вдаватися до створення дорогого експериментального обладнання, що на сьогодні є невиконаною задачею для багатьох підприємств і установ. Таким чином, наявність обчислювальної техніки, а також адекватних математичних моделей в сукупності з алгоритмами та програмними комплексами є ключовим інструментом, за допомогою якого можна моделювати процеси в різних режимах роботи таких пристроїв.

Для надання можливості вивчення характеристик і електромагнітних параметрів АД з ІР був розроблений програмний комплекс, заснований на методі скінчених елементів, який дозволяє отримувати характеристики АД з ІР вже на етапі проектування. Використання цього підходу на сьогодні є перспективним з точки зору створення високоякісної та конкурентоспроможної продукції, дозволяє знизити вартість обладнання та термінів його розробки."

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОВІТРЯНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

Ігор ШЕДЛОВСЬКИЙ, к.т.н., доцент, доцент кафедри ІТКІ

Володимир ГНАТУШЕНКО, д.т.н., професор, завідувач кафедри ІТКІ

Яна ШЕДЛОВСЬКА, к.т.н, доцент кафедри ІТКІ

В'ячеслав ГОРСЬВ, к. ф.-м. н., доцент, завідувач кафедри фізики

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Повітряний сонячний колектор використовується в системах опалення приміщень (житлових та виробничих). Враховуючи періодичність потоку сонячної енергії – сонячні колектори розглядаються як допоміжні джерела теплової енергії, які використовуються виключно в комплексі з основною системою опалення приміщень [1].

Актуальним є те що при використанні інформаційно – управляючої системи керування (наприклад в складі IoT) для поточного керування та прогнозних обчислень потрібна узагальнююча імітаційна модель, до складу якої обов'язково повинна входити модель повітряного сонячного колектора.

Максимально можлива температура на виході сонячного колектора (T_{\max}) залежить від потужності сонячного випромінювання ($P_{\text{сон.}}$), сумарної потужності теплових втрат ($P_{\text{випр.}}$), початкової температури повітря, що є теплоносієм (T_{\min}), часу нагріву (t).

$$T_{\max} = f(P_{\text{сон.}}, P_{\text{випр.}}, T_{\min}, t) \quad (1)$$

Якщо припустити, що $P_{\text{сон.}} = \text{Const}$, T_{\min} – визначається властивостями приміщення яке обігривається, час t – можемо регулювати, $P_{\text{випр.}}$ – для кожного елемента сонячного колектора визначається різницею температур абсорбера і навколишнього повітря.

На сонячному колекторі розташовуються два датчика температури (Рисунок 1).

Де T_{\min} - температура вхідного повітря; T_{\max} - температура підігрітого повітря;

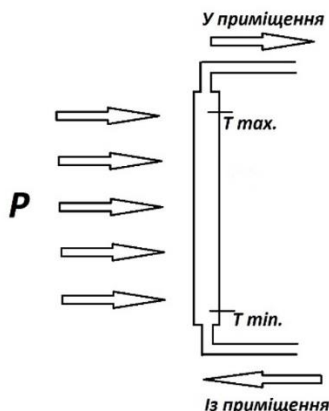


Рисунок 1 – Схема розташування датчиків температури на сонячному колекторі

Сонячні повітряні колектори, особливо в зимовий час, коли сонце знаходиться низько над горизонтом встановлюються або вертикально, або з невеликим відхиленням від вертикального положення. Внаслідок нагрівання елементарного об'єму повітря, в процесі його руху від входу до виходу сонячного колектора, його температура підвищується.

Управління здійснюється за допомогою зміни швидкості потоку повітря в сонячному колекторі. Але при цьому необхідно враховувати інерційність колектора, вентилятора і аеродинамічного опору системи [3,4].

Подальше використання математичної моделі об'єкта (Рисунок 2) управління для синтезу локальної системи автоматичного управління та вибору типу регулятора та визначення його параметрів потребує характеризувати сам об'єкт [2].

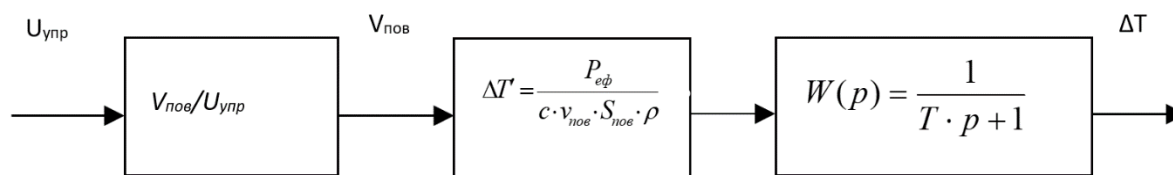


Рисунок 2 – Структура математичної моделі об'єкта управління

де: $v_{нов}$ - швидкість потоку повітря в повітропроводі, $S_{нов}$ - площа перетину повітропровода, $P_{эф}$ - це потужність випромінювання, яка перетворюється безпосередньо в теплову енергію, c - теплоємність повітря, Дж/кг·К, ρ - об'ємна щільність повітря (кг), $U_{упр}$ - напруга управління вентилятором. T - постійна часу інерційності колектора 1/с.

Головна особливість об'єкта управління в тому, що це нелінійний об'єкт. Загальний коефіцієнт пропорційності може приймати значення в межах від 0.2 до 30.

Визначення числового значення постійної часу T інерційної ланки першого порядку можливо здійснити тільки за умови стабілізації швидкості потоку повітря через колектор і з урахуванням значення ΔT яке можна розрахувати. Для цього також необхідно визначитися з значенням $P_{эф}$. Для чого необхідний вимірювальний пристрій потужності сонячного випромінювання та дані виробника з значеннями відповідних коефіцієнтів втрат тепла. При зазначених умовах виконаний експеримент та подальша ідентифікація параметрів динамічної ланки дозволить використовувати отримані параметри для практичного використання

Математичний опис класичних систем опалення досить добре розвинений, на відміну від математичних моделей повітряних сонячних колекторів. Математична модель повітряного сонячного колектора повинна відображати не тільки пропорційні залежності а і динаміку нагрівання повітря.

Проведені дослідження показали що модель, яка описує залежність температури повітря на виході з повітряного колектора від швидкості його потоку – нелінійна. Динаміку нагріву повітря можна описувати динамічною ланкою першого порядку.

Для роботи комп'ютерної системи керування необхідно використовувати датчики температури повітря на вході і на виході сонячного колектора. Також потрібно використовувати дані з датчика поточної потужності сонячного випромінювання.

Перелік посилань

1. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського – К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
2. Шаруда В. Г. Практикум з теорії автоматичного управління [Текст] : навч. посібник / В. Г. Шаруда. - Д. : НГУ, 2002. - 414 с.: рис. - ISBN 966-7476-74-X
3. Назаренко А.О. Система управління теплоспоживанням з сонячними колекторами / А.О. Назаренко // Метрологія та прилади. – 2013. – №2 (40). – С. 151-158
4. Назаренко А.О. Система керування теплоспоживанням будівель з комбінованим теплопостачанням і використанням сонячної енергії. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси. – Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ, 2016.

РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ПУСКУ СИСТЕМИ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН СКЕЛЬНИХ ЕКСКАВАТОРІВ

Віктор ХІЛОВ, докт. техн. наук, професор,

ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»»

Сергій ФЕДОРОВ, ст. викладач кафедри електротехніки

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Існуюча проблема. Скельні екскаватори, що працюють у кар'єрах України, обладнані п'яти машинною системою генератор-двигун [1]. У цій системі, в період пуску, первинний синхронний двигун безпосередньо підключається до системи електропостачання. Таке технічне рішення призводить у період пуску до семикратних пускових струмів, які створюють 49-кратні електродинамічні зусилля, що призводить до швидкого накопичення втомних руйнувань в обмотках синхронного генератора та лінії електропередачі. Тому в наявній технології накладаються суворі обмеження на кількість прямих пусків генератора - не більше 3-4 разів на добу, що дає змогу підтримувати агрегат у працездатному стані.

Такий підхід суперечить енергозбереженню, оскільки в періоди технологічних пауз (наприклад, очікування транспорту, яке може досягати в сумі за добу до 4 годин робочого часу) генераторна група екскаватора працює в режимі холостого ходу зі споживанням електроенергії з мережі. У непродуктивні періоди очікування споживається енергія: екскаватором ЕКГ-8 становить 110-120 кВт, екскаватором ЕКГ-10 - 130-150 кВт, екскаватором ЕШ-10/70 - 200 кВт. Ця енергія перетворюється на тепло і виноситься вентиляторами в атмосферу. При цьому гріються обмотки, ізоляція старіє, зношуються підшипники, стираються щітки і протираються колектори на генераторах. Моторесурс агрегату непродуктивно виробляється і скорочується.

Крім того, існує проблема генерування реактивної потужності синхронним двигуном генераторною групою екскаватора, як у робочому циклі, так і в періоди технологічних пауз на холостому ходу.

Вирішення проблеми. Існуюча проблема ефективно розв'язується шляхом плавного (безударного і тому нешкідливого, як для електрообладнання екскаватора, так і для лінії електропостачання) пуску номінальним струмом генераторної групи пристроєм оперативного керування перетворювальним агрегатом скельного екскаватора, що забезпечується пристроєм за патентом України [2, 3]. Цей пристрій реалізує оперативне вимкнення агрегату, що працює понад 0,5-2 хв. у холосту, чим економиться електроенергія. Після закінчення технологічної паузи пристрій реалізує безударний (плавний і нешкідливий) розгін агрегату до номінальної швидкості. Час розгону агрегату становить: 20-25 сек для екскаватора ЕКГ-8; 25-30 сек – ЕКГ-10; 45-50 сек – ЕШ-10/70. Пускові струми і динамічні удари в агрегаті Г-Д і ЛЕП відсутні.

Безударний пуск вирішується тим, що в багатомашинний агрегат, що містить на одному валу машину змінного струму і генератори постійного струму в якорне коло генератора, в період пуску, від'єднується індуктивно-ємнісний перетворювач з трифазним випрямлячем. Індуктивно-ємнісний перетворювач дозволяє синхронізувати рівні напруги на виході некерованого випрямляча з номінальною напругою якорного кола, а з іншого боку такий перетворювач повністю зберігає працездатність при провалах напруги мережі.

Застосування пропонованого способу плавного пуску генераторної групи дозволяє усунути ударні струми в момент підключення машини змінного струму до мережі електропостачання, підвищити безаварійний ресурс машини змінного струму,

поліпшити енергетичні показники в період розгону генераторної групи [4] та усунути вплив на систему електропостачання навантажень [5].

Проблема усунення генерування реактивної енергії вирішується шляхом застосування регулювання струму збудження синхронного двигуна як у робочому циклі, так і в періоди технологічних пауз пристроєм [6]. Це досягається шляхом відстеження генерованої реактивної потужності й автоматичного підтримання її на заданому рівні, аж до нульового значення, коли коефіцієнт потужності дорівнює одиниці.

На теперішній час реалізація цих можливостей запропонованих пристроїв підтверджено позитивним досвідом упровадження на екскаваторах в умовах кар'єра Південного ГЗК, що істотно підвищило техніко-економічні показники роботи скельних кар'єрних екскаваторів і ліній електропостачання.

Економічний ефект розв'язання проблеми. Ефект від впровадження пристрою плавного пуску підтверджено досвідом впровадження в умовах гірничо-геологічних умов ПГЗК. Відчутно підвищилася економічність роботи екскаватора і системи електропостачання, що відзначається службами експлуатації. Оціночні розрахунки очікуваного прибутку становитимуть понад 1700000 грн. на рік на економії електроенергії і не менше 800000 грн. на підвищенні надійності агрегату. Термін окупності очікується не більше 6-7 місяців.

Перелік посилань

1. Pivnyak G. AC drive system for actuator's power control. / G. Pivnyak, A. Beshta, V. Khilov. // XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET'05. – Lviv 2005. – P. 368–370.

2. Ропало В.М., Хілов В.С. Спосіб пуску двигуна змінного струму генераторної групи. Патент 73248 України. Опубл. 10.09.2012. Бюл. №17, 2012.

3. Ропало В.М., Хілов В.С. Пристрій пуску двигуна змінного струму генераторної групи. Патент 73247 України. Опубл. 10.09.2012. Бюл. №17, 2012.

4. Noguchi T. Quick torque response control of an induction motor based on a new concept. / T. Noguchi, S. Takahashi. // IEEJ Tech. Meeting Rotating Mach. – 2014. – Vol. RM84-76. – P. 61–70.

5. Pan C.-T. A microcomputer based vector controlled induction motor drive. // IEEE Trans. on Energy Conv. / C.-T. Pan, T.-Y. Chang. – 2013. – Vol.8, №.4. – P. 750-757..

6. Attaianese C. A Space Vector Modulation Algorithm for Torque Control of Inverter Fed Induction Motor Drive. / C. Attaianese, A. Perfetto, G. Tomasso. // IEEE Trans. on Energy Conv. – 2002. – Vol. 17, №.2. – P. 222-229.

PROBLEMS OF POOR POWER QUALITY IN INDUSTRIAL ENTERPRISE NETWORKS

Віктор КОВАЛЕНКО, д.т.н, проф.

Запорізький національний університет

Віталій КУЗНЕЦОВ, к.т.н., доц.

Український державний університет науки і технологій

Владислав ШВЕДОВ, аспірант

Олексій БІДНІЧЕНКО, аспірант

Запорізький національний університет

Володимир ДОСКОЧ, аспірант

Тарас Сандул, аспірант

Український державний університет науки і технологій

Віктор СКОЛЬСЬКИЙ, аспірант

Запорізький національний університет

Wide experience has been accumulated by now in the field of research concerning power quality effect on the operation of cage-rotor asynchronous motors. For instance, while studying the problems, connected with qualitative estimation of damage by the abovementioned electromechanical converters operating under the conditions of supply voltage asymmetry, authors of paper [1] have concluded that at $k_{2U}=3.5\%$ value, motor winding temperature increases by 25%. Paper [2] has determined that operation life of an asynchronous motor halves, if voltage unbalance ratio increases by 4% in terms of negative k_{2U} sequence.

Paper [3] points out that operation of an asynchronous motor (AM) under the conditions of supply voltage anharmonicity involves such negative factors as decrease in the power coefficient and in the torque on the electric machine shaft. It has been defined that each 2.5% of voltage increment factors into 3-3.9% loss in the asynchronous motor as well as in almost 5% increase of the consumed reactive power which influences negatively its power efficiency [3].

It is also known [4] that if noisy supply voltage takes place, attention should be paid to electrical drive systems since the abovementioned results in their decreased reliability and efficiency with the following significant decrease in technical-and-economic indices of numerous production operations. Increase in the capacity loss within asynchronous motors with their excessive heat happens when power quality deteriorates. In turn, that favours intensive insulation depreciation and its fault.

Spontaneous failure of electric motor, being in a production line, may also factor into sizeable economic damage. Moreover, higher harmonics and asymmetrical modes stipulate underutilization of reactive power compensation means (i.e. capacitor banks and synchronous compensators) resulting in the decreased power factor of the whole enterprise. In addition, electricity bills grow even in terms of the current rates; the payments dominate in the total cost of capital expenditure and operating expenditure of the majority of electrical facilities used in industries [3].

Specifically, during a year, low- and average-power transverter consumes the amount of electric power that exceeds the cost of the motor by 3-5 times [5]. At the same time, up to 75% of the production power is consumed by AM of the capacity (i.e. up to 75 kW). Thus, even 1% decrease in the motor efficiency due to noisy electricity is substantial economic damage for any enterprise.

On the whole, three basic components of economic damage source are considered: technological, power-producing (electromagnetic), and the one connected with the electric drive life loss. When electric drives consume noisy power, the component one is calculated relying upon the installed equipment cost, probabilistic failure characteristics, and other parameters [3]. The factor, determining the considered technological component, is the reliability degradation of electric drive system caused by the accelerated insulation ageing due to its excessive heat as well as the elevated vibration of the mechanisms and related failure of mechanical engineering assemblies. The listed results in AM fault; moreover, if the motor is a component of technological equipment, quality deterioration of the output product or its quantity decreases.

Taken as a whole, technological component of the damage is expressed by the performance degradation and quality deterioration of the output product, and is determined completely by specific character of the production. Taking into consideration the fact that the most popular malfunctions of drives of pump systems, compressor systems, and ventilation systems result usually in insignificant values of the first damage component, only the latter is of great interest.

Therefore, it is understood that power engineers of enterprises face the necessity to implement measures reducing negative effect of noisy electricity on the energy efficiency of an enterprise. Use of "individual" LC-filters [6] to protect extra important electric drives; use of "group" devices to compensate negative effect of noisy electricity at a workshop level (power active rectifiers are meant with their potential integration into the available converters for the controlled electric drives); and to inhibit voltage distortions within the areas of their origination (i.e. the mains protection against the root cause) are possible means to solve the problems.

The latter is determined by the specific nature of the considered facilities. Moreover, it may involve modernization of a power part of electric drive as well as systems of the automated control; proper selection of the electric drive parameters etc.

The refusal to implement certain measures can also be permissible if they are not expedient economically. Indeed, each of the alternations is characterized by its specific measures: implementation cost and economic efficiency. Nevertheless, despite the problem topicality, Ukraine has not the unified methods to make economically sound decisions to reduce negative effect of noisy electricity on the energy efficiency of an enterprise.

Література

1. Beaty, H. Motors require voltage limits (1978) Elec.World – Vol. 189. – No. 5, pp. 52-53.
2. Kuznetsov, V., Tryputen, N. Kuznetsova, Y. Evaluating the Effect of Electric Power Quality upon the Efficiency of Electric Power Consumption (2019) 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, pp. 556-561, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879841.
3. Zhezhelenko, I., Sayenko, Yu. Electric power quality indicators and their control at industrial enterprises (2000), L. - M.: Energoatomizdat, 360 p.
4. Chenchevoi, V., Zacheпа, I., Chornyі, O., Zacheпа N., Ogar, V., Shokarov, D. "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 2018 – Proceedings, 2018-January, 8559522, pp. 110-115.
5. Zacheпа, I., Chornyі, O., Mazurenko, L., Buyakovskiy S., Zacheпа, N., Chenchevoi, V. "Development of Theory and Practice of the Local Autonomous Power Supply Sources Creation", Proceedings of the International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, MEES 2019, pp. 178-181. doi: 10.1109/MEES.2019.8896424

6. Franklin, M.P. Pamplona, Benemar A. Souza Harmonic Passive Filter Planning In Radial Distribution Systems Using Microgenetic Algorithm (2004) IEEE 11th International Conf. on Harmonics and Quality of Power. – 2004.

УДК 621.313

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ ІНДУКЦІЙНИХ РЕОСТАТІВ

Олексій КАЧУРА, к.т.н, доц.

Дніпровський державний технічний університет

Олег РОВЕНСЬКИЙ, студент

НТУ «Дніпровська політехніка»

Володимир ДОСКОЧ, аспірант

Павло РУСНАК, студент

Василь СПРИСА, студент

Український державний університет науки і технологій

Складність і висока вартість створення нових конструкцій індукційних реостатів (ІР) вимагають впровадження та застосування сучасних підходів до їх проектування. Одним із шляхів досягнення цієї мети є створення точних математичних моделей, які повністю описували б процеси, що відбуваються в досліджуваних об'єктах. Ця спрямованість, відома як обчислювальний експеримент, базується на системах автоматизованого проектування (САПР). Такі системи, використовуючи сучасні електронно-обчислювальні машини, надають можливість аналізувати та отримувати характеристики та параметри досліджуваного об'єкта ще на етапі конструювання. З метою ефективного вирішення зазначених завдань на сьогоднішній день використовується апарат оптимального проектування.

При розв'язанні задачі оптимізації зі всього множини параметрів, що характеризують ІР, виділяють параметри, змінюючи значення яких в процесі проектування досягають поліпшення ефективності об'єкта. Інші параметри залишаються незмінними протягом пошуку оптимальних проектних рішень. У самому загальному випадку задача оптимізації ІР включає в себе:

вибір оптимального типу об'єкта;

оптимізацію параметрів (геометричні розміри, обмоткові дані, характеристики магнітних матеріалів);

пошук способів оптимального управління (змінюючи напруги та частоти живлення).

З урахуванням перелічених факторів загальна задача оптимізації ІР зводиться до визначення значень параметрів об'єкта на основі математичних моделей, які найбільш повно враховують особливості відбуваючихся фізичних процесів. Задача оптимального проектування ІР формулюється наступним чином: мінімізувати цільову функцію:

$$F(x), x \in R^n \quad (1)$$

При виконанні лінійних або нелінійних умов:

$$g_j(x) \geq L_j, j = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Функції $g_j(x)$, які відображають вимоги, що пред'являються до характеристик ІР, його конструкції, технології виготовлення, а також цільова функція $F(x)$, передбачаються неперервними. Величини L_j є обмеженнями, які визначає конструктор. Розглядувана задача має геометричну інтерпретацію, згідно з якою рівняння $g_j(x) = L_j$ описують деякі

поверхні P_j в n -мірному просторі R^n аргументів x_1, x_2, \dots, x_n .

Практика розробки ІР показує, що їх якість оцінюється не за одним критерієм, а за їхнім рядом. У цьому випадку задача оптимізації зводиться до пошуку в n -мерному просторі R^n вектора x , який би мінімізував ряд цільових функцій

$$F_1(x), F_2(x), \dots, F_n(x). \quad (3)$$

Труднощі практичної постановки і розв'язання загальної задачі оптимізації виникають із складнощів визначення пріоритетів критеріїв. При цьому найбільш поширеними підходами є:

- Заміна багатьох критеріїв одним загальним критерієм.
- Оптимізація головного критерію, виділеного із множини.
- Послідовна оптимізація критеріїв.

Слід відзначити значну кількість і різноманітність параметрів, що характеризують ІР. Сюди входять геометричні розміри конструктивних елементів, характеристики електротехнічних, магнітних, ізоляційних та інших матеріалів, що використовуються в виробництві ІР. При цьому такі параметри, як геометричні розміри, є неперервними величинами, а інші, наприклад, кількість витків, є дискретними, що в кінцевому підсумку призводить до порушення монотонності зміни цільової функції і суттєво ускладнює пошук її екстремуму.

Вказані особливості побудови математичного опису ІР свідчать про наявність складної нелінійної і неявно вираженої характеристики функціональних залежностей між параметрами ІР та цільовими функціями. Для таких залежностей практично неможливо отримати аналітичні вирази частинних похідних за параметрами. Крім того, нелінійність математичної моделі ІР, а також наявність великої кількості обмежень в загальному випадку може призводити до багатоекстремального характеру функції цілі в допустимій області. Нарешті, для математичного опису ІР характерні ситуації, такі як плоскість цільової функції та наявність так званих овражних ситуацій. Останні обумовлені різним впливом параметрів оптимізації на поведінку функції цілі. Розглянуті підходи математичного опису є визначальними при виборі методів оптимізації ІР, які можна розділити на:

- Аналітичні.
- Чисельні.

Можливості аналітичних методів оптимізації базуються на застосуванні диференціального числення для визначення екстремуму функції цілі. Ці методи дозволяють визначити необхідні ознаки щодо відносного (локального) екстремуму. З цією метою використовуються часткові похідні функції цілі за параметрами. Слід відзначити, що застосування класичних методів можливе виключно при умові диференційовності вказаної функції. Як відомо, у точці екстремуму всі часткові похідні функції звужуються до нуля, тобто:

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = 0, i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

При цьому умова (4) є справедливою не лише для точок перегибу. Тому при розв'язанні задач оптимізації класичними методами необхідно виділяти всі точки, що задовольняють умові (4). А потім вже виділяти із них точку глобального екстремуму функції цілі.

Ще однією проблематичною справою є застосування аналітичних методів при пошуку умовних екстремумів функції цілі, що є характерним для реальних задач оптимізації ІР при наявності численних обмежень. Обмеження, які накладаються на

область визначення функції цілі, призводять до можливого невзаємопокриття умовних і локальних екстремумів, і тому рівняння (4) взагалі не можна розглядати як необхідні умови визначення точок екстремуму.

Зазначені причини в кінцевому результаті призводять до обмеженого застосування аналітичних методів для розв'язання задач оптимізації IP. З урахуванням характерної для IP нелінійної і неявно вираженої залежності функції цілі від параметрів необхідно говорити лише про чисельні методи розв'язання рівняння (4), зокрема про методи пошуку. У більшості випадків зміст цих методів сводиться до організації перебору параметрів x_1, \dots, x_n , в результаті чого досягається наближення до екстремуму функції цілі. При цьому для всіх цих методів характерна одна і та ж послідовність дій. Спочатку у просторі критеріїв формується точка, яка ізопериметрична конкретному оптимізаційному параметру, для якої здійснюється послідовна перевірка обмежень. Якщо хоча б одне з обмежень не виконується, формується нова точка, і дії з перевіркою обмежень повторюються. Якщо всі обмеження пройдені, тобто знайдений допустимий варіант параметра, то для нього визначається значення функції цілі. Для визначення значень функції цілі існують математичні моделі об'єкта оптимізації та відповідні алгоритми. Остаточним етапом кожного кроку оптимізації є перевірка умов завершення пошуку, після якої порівнюється з отриманим ще один варіант оптимізації.

Література

3. Качура О.В., Количев С.В., С'янов О.М. Індукційні реостати з покращеними масогабаритними показниками для асинхронних двигунів з фазним ротором. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. 209с.

**RESEARCH RELATED TO THE SELECTION OF PARAMETERS AND THE
EFFICIENCY OF MEANS TO IMPROVE THE ENERGY PERFORMANCE OF
ASYNCHRONOUS MOTORS**

Андрій МУХА, д.т.н, проф.

Віталій КУЗНЕЦОВ, к.т.н., доц.

Володимир ДОСКОЧ, аспірант,

Сергій КУЛІКОВ, аспірант

Тарас САНДУЛ, аспірант

Український державний університет науки і технологій

Олег РОВЕНСЬКИЙ, студент,

НТУ «Дніпровська політехніка»

To protect asynchronous motors operating in networks with poor-quality electrical power, it is advisable to use the circuits shown in Figure 1. The filter, implemented in such a manner, is a combination of a rejecting device connected in series with load to provide current resonance on the frequency of one of higher harmonics, and a secondary member (capacity of inductance) to provide short circuit for another harmonic.

The two possible filter structures differ in the type of a member, connected to load in parallel. Selection of one or another structure depends upon selection of resonance frequencies for the blocking filter component f_1 providing current resonance to “trap” one of the harmonics, and f_2 component for a “phase-zero point” circuit providing voltage resonance and, hence, short circuit for another harmonic.

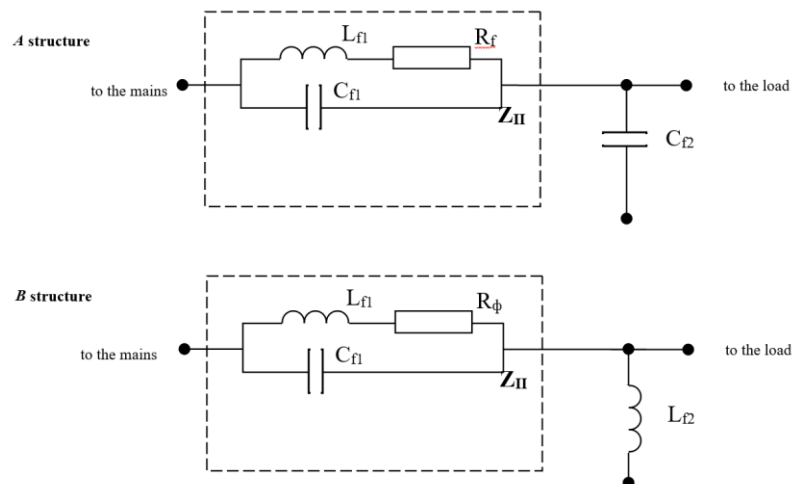


Figure 1 – Proposed alternations to implement the combined second-order L-shaped LC filter

All the filter parameters (i.e. resonance frequencies; branch resistances on different frequencies; and complex resistance on the basic frequency) are interconnected. They are determined using its inductance-capacity combination. Suppose the filter part series-connected with a load as a “filter trap”; when a “mains-zero point” current flow circuit (i.e. current flow through the whole filter) is meant, then resistance of the combined filter is discussed.

Hence, formulate optimization problem relying upon simultaneous fulfillment of the conditions:

- current resonance on the undesirable spurious harmonic within a circuit, series on load (trap filter);
- voltage resonance of the combined filter on the frequency of one of spurious harmonics; selection and substantiation of the voltage resonance frequency;
- trap filter resistance should be minimal one on 50 Hz frequency;
- inductive nature of the trap filter resistance should be provided;
- voltage frequency of the combined filter on the required frequency of one of the spurious harmonics;
- to compensate reactive power within the mains, nature of the combined filter should be capacitive one; and
- technical operability of the filter parameters.

Total filter resistance in terms of *A* circuit can be calculated as a resistance of series-connected “trap” and C_{f2} capacitor. In this context, dependence of complex resistance upon frequency is:

$$Z_{\Sigma}(\omega) = \frac{R_f \omega^2 L_{f1}^2}{R_f^2 + \left(\omega L_{f1} - \frac{1}{\omega C_{f1}} \right)^2} + j \left[\frac{\omega L_{f1} R_F^2 + \frac{L_{f1}}{\omega C_{f1}^2}}{R_F^2 + \left(\omega L_{f1} - \frac{1}{\omega C_{f1}} \right)^2} - \frac{1}{\omega C_{f2}} \right], \quad (1)$$

where ω is the angular frequency of supply voltage.

In terms of *B* circuit, the dependence is:

$$Z_{\Sigma}(\omega) = \frac{R_F \omega^2 L_{f1}^2}{R_F^2 + \left(\omega L_{f1} - \frac{1}{\omega C_{f1}} \right)^2} + j \frac{\omega L_{f1} R_F^2 + \frac{L_{f1}}{\omega C_{f1}^2} + \omega L_{f2}}{R_F^2 + \left(\omega L_{f1} - \frac{1}{\omega C_{f1}} \right)^2}. \quad (2)$$

The total resistance of the combined filter (1) and (2) is a function of several variables. It is of interest to analyze its frequency characteristics, dependence upon frequency to which current resonance of the trap filter is adjusted, and L_f , C_{f1} , C_{f2} parameters of the filter. It is impossible to represent graphically functions of three variables; hence, analyze the dependence in terms of sections.

Fig. 2 demonstrates dependences of resistances, introduced by the trap filter into the circuit in series, in terms of different frequencies. In this context, different resonance frequencies of a trap filter correspond to different lines. Their analysis means that the higher the frequency is (to which current resonance is adjusted), the less resistance is, introduced into a consumer supply circuit on 50 Hz frequency. Hence, the trap filter adjustment to current resonance on 100 Hz frequency is inexpedient; it is more preferable to use adjustment to higher harmonics (i.e. 5th, 7th, 11th etc.) since in this context filter resistance on the basic frequencies is Ohm units. 2nd harmonic should be suppressed with the help of short circuit.

Voltage drop on the trap filter is determined by means of resulting resistance as well as by means of consumer current. Thus, the higher consumer voltage is, the resonance frequency greater should be, which the trap filter is adjusted to.

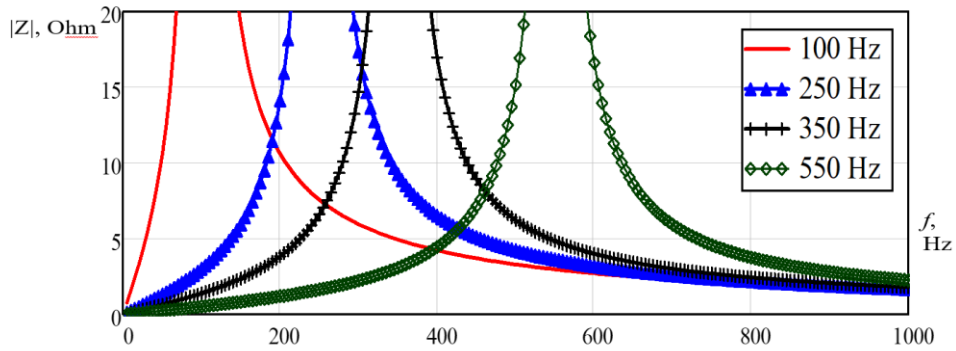


Figure 2 – Dependence of the trap filter resistance at a frequency of 50 Hz on the frequency to which the current resonance is tuned

Determine the best combination of resonance frequencies of the combined filter. Specify a cycle in terms of which consider all possible combinations of f_1 - f_2 frequencies. Calculate resistances of the filter members for each combination; simulate the steady conditions to evaluate electric drive efficiency taking into consideration filter availability in terms of a circuit in Fig. 1.

It should be noted that if $f_1 > f_2$, it is required to select *A* structure; otherwise, *B* structure is selected. That is connected with a condition of the specific nature of resulting resistance of the trap filter.

Fig. 3 shows efficiency dependence upon the resonance frequencies f_1 and f_2 , being 3D surface (a) and its projection within the frequency plane (b).

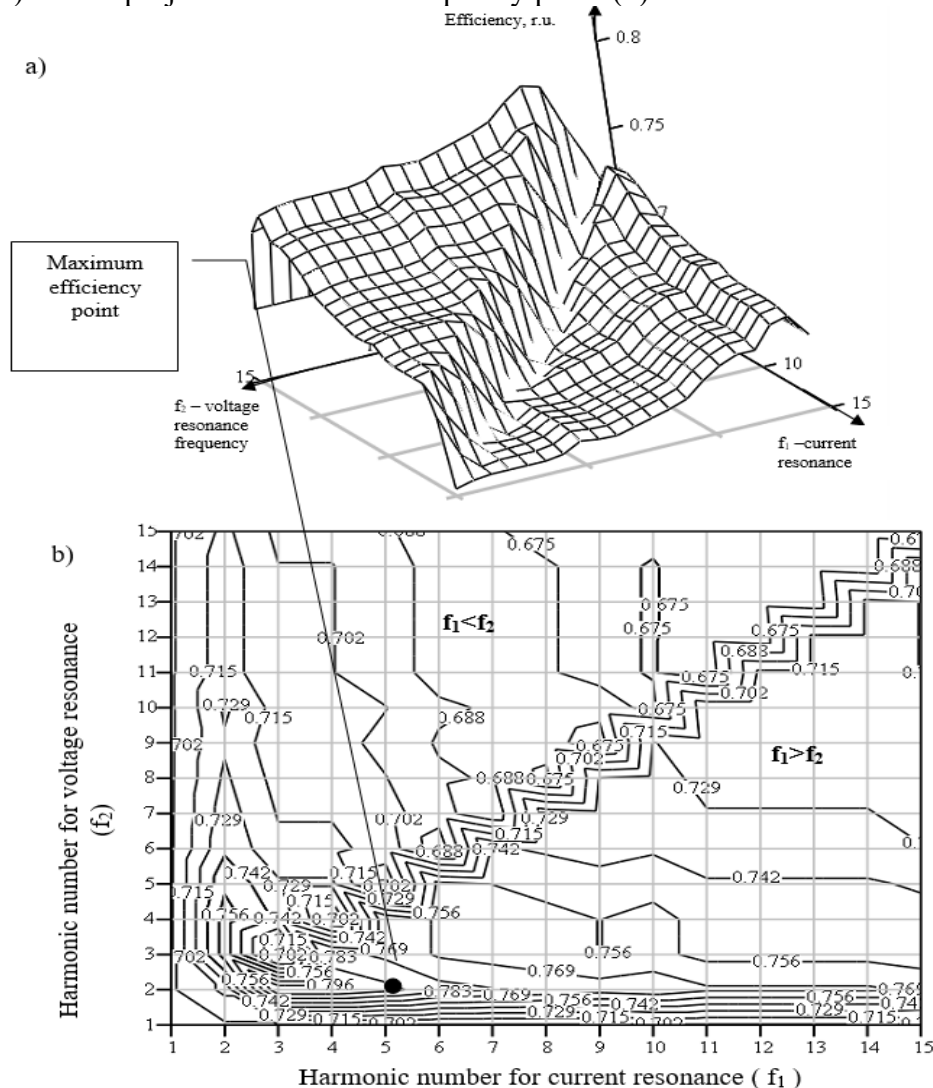


Figure 3 – Dependence of the efficiency of an asynchronous motor with the combined filter upon resonance harmonics (a); its projection (b)

Analysis of the represented surface demonstrates that the resultant efficiency of an electric motor is greater when current resonance is higher to compare with the voltage resonance frequency $f_1 > f_2$.

It depends on the fact that if trap filter is adjusted to certain frequency f_1 , this filter share is the inductive resistance for all harmonics, which frequencies are less than f_1 . Consequently, extra decrease in loss, stipulated by supply voltage distortion, takes place.

Hence, the highest efficiency of the system is obtained if voltage resonance is adjusted to the 2nd harmonic frequency ($f_2=100$ Hz). It is required to select the frequency, to which current resonance is adjusted, relying upon specific nature of quality indices under the conditions of the definite workshop.

It has been identified that in the context of cases, considered in chapter one, 500 Hz frequency is the most expedient one.

Thus, iterative approach may help determine such a ratio of parameters of the combined L-shaped filter, in terms of which high resistance on the frequency of one of spurious higher harmonics is introduced into supply circuit of AM; along with it, interphase short circuit is developed for one of the harmonics (say, on 100 Hz frequency).

The abovementioned should take into consideration actual cost of the filter components depending upon the desired adjustment. Their prices have to be used.

Література

1. Kuznetsov V.V., Tryputen M.M., Kuznetsov V.G., Tryputen M., Kuznetsova A., Kuznetsova Y. Choosing of asynchronous motor protection equipment in production environment (2020) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 985 (1), art. no. 012022 DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012022

2. Kuznetsov V., Tryputen M., Kuznetsova Y., Babyak M., Artemchuk V., Kovzel M. Ways to Improve Power Quality under the Conditions of Industrial Enterprises (2020) Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice, PAEP 2020, art. no. 9240801 DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240801

ДОСЛІДЖЕННЯ САР ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МАРГАРИНУ

Олексій Селіванов, студент

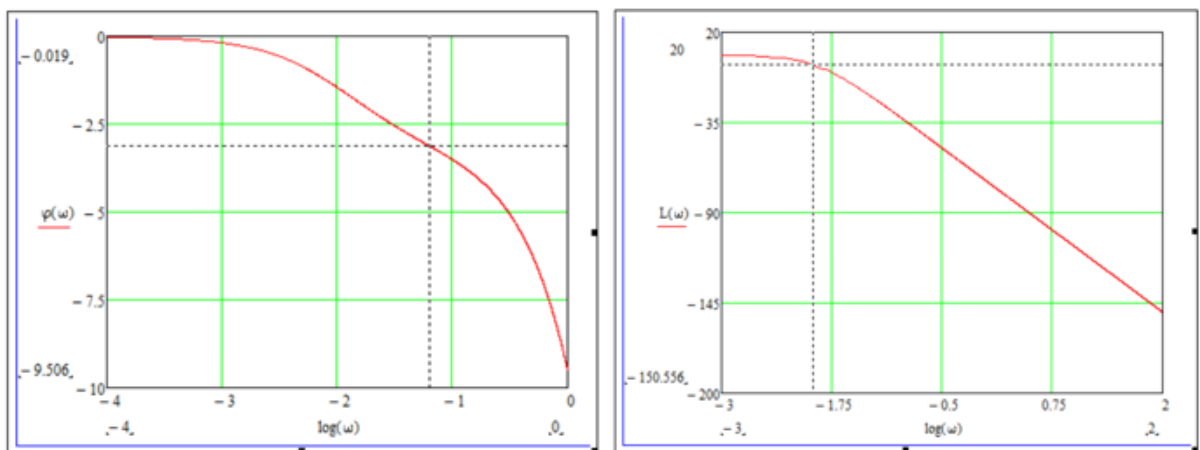
Трипутень М.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірjuвальних систем

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

За динамічними властивостями процес виготовлення маргарину по каналу керування «тиск маргаринової емульсії на вході - температура маргарину на виході» є інерційною ланкою другого порядку з запізненням:

$$W(p) = \frac{2,0139}{(133,5p + 1)(50,835p + 1)} e^{-6,392p} \quad (1)$$

Аналіз стійкості САР процесу виготовлення маргарину без коригувальних пристроїв по логарифмічним амплітудній та фазовій частотним характеристикам розімкнутої частини показав, що вона є стійкою (рис.1), але має неприпустимо велику похибку. Відхилення вихідної величини від заданого значення становить 33%.



а)

б)

Рисунок 1 – До оцінки стійкості САР

а) логарифмічна фазова частотна характеристика;

б) логарифмічна амплітудна частотна характеристика.

Підвищення точності регулювання за рахунок збільшення коефіцієнту підсилення розімкнутої частини САР привело до втрати системою стійкості. Тому для забезпечення якісного регулювання процесу виготовлення маргарину необхідно вводити додаткові ланки – коригувальний пристрій.

Для обґрунтованого вибору типу регулятора та визначення його параметрів здійснено зниження порядку моделі (1) до моделі першого порядку з запізненням на основі принципу моделі, що налаштовується (рис.2). Невідомі параметри T_0 та τ_0 шуканої моделі визначені за результатами обчислювального експерименту по мінімуму квадратичного критерію з використанням методу оптимізації Гауса-Зейделя. В якості еталонної моделі використана модель (1). На рис.2 y_1 та y_2 - вихідні величини об'єктів

першого та другого порядку відповідно, t_m - час моделювання. В результаті налаштування отримана модель з передаточною функцією:

$$W(p) = \frac{2,0139}{(153p + 1)} e^{-41,392p} \quad (2)$$

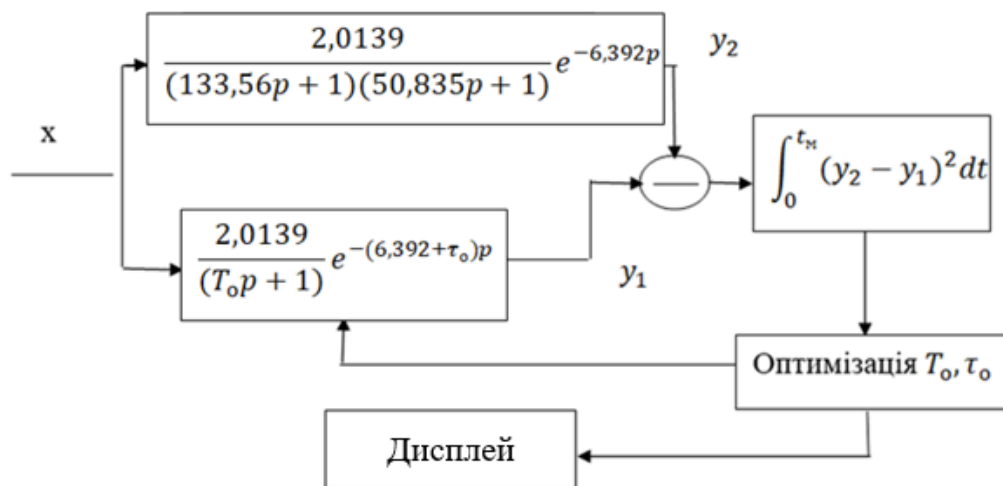


Рисунок 2 – Структурна схема обчислювального експерименту

На основі моделі (2) вибрано ПІД-регулятор [1], параметри якого розраховані за методом Циглера-Нікольса [2]. Після додаткових налаштувань передаточна функція регулятора має вигляд:

$$W_{\text{під}}(p) = 2 + \frac{0,009}{p} + 45p \quad (3)$$

В табл. 1 наведені показники якості САР з ПІД-регулятором (3) для моделі (1).

Таблиця 1 - Показники якості системи автоматичного регулювання з ПІД-регулятором

Статична похибка, $\varepsilon_{ст}$	Час регулювання, $t_{\text{рес}} \text{ с}$	Перерегулювання, $\sigma, \%$	Кількість коливень, m
0	280	8	0

Перелік посилань

1. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізацій «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» / Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 155 с.

2. Ala Eldin Abdallah Awouda and Rosbi bin Mamat. New PID Tuning Rule Using ITAE Criteria. International Journal of Engineering (IJE). Vol. 3. Issue 6. January 2010. P. 597–608.

ДОСЛІДЖЕННЯ САР ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОГО ТИСКУ

Антон Сміщенко, студент

Трипутень М.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірjuвальних систем

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

Передаточна функція процесу виробництва поліетилену високого тиску по каналу «витрати води – температура етилену» має вигляд:

$$W(p) = \frac{-1,2508}{16,577p + 1} e^{-30p} \quad (1)$$

Передаточна функція (1) має від'ємний коефіцієнт підсилення. Тому при створенні системи автоматичного керування в прямий ланцюг САР підключено підсилювальну ланку з коефіцієнтом підсилення -1. Аналіз областей стійкості системи автоматичного регулювання процесу виробництва поліетилену високого тиску без коригувальних пристроїв в координатах $[T; K]$ показав, що вона є нестійкою з критичним коефіцієнтом запізнення $\tau_{кр} = 55,098$ с. Тут: K та T – коефіцієнт підсилення та постійна часу аперіодичної ланки в (1). Для забезпечення стійкості та заданих показників якості керування даним процесом необхідно вводити додаткові динамічні ланки – коригувальний пристрій.

Вибір типу коригувального пристрою в багатьох випадках здійснюється по значенню відношення ν часу чистого запізнення τ до часу перехідного процесу t_n в об'єкті керування. Час перехідного процесу для об'єкту (1) $t_n \approx 5T \approx 82,885$ с, тому $\nu \approx 7,4$. При $\nu > 0,5$ доцільно використовувати керування з передбаченням поведінки системи (предиктор Сміта). В даній роботі застосовано один із різновидів предиктора Сміта - предиктивний ПІ-регулятор (рис. 1).

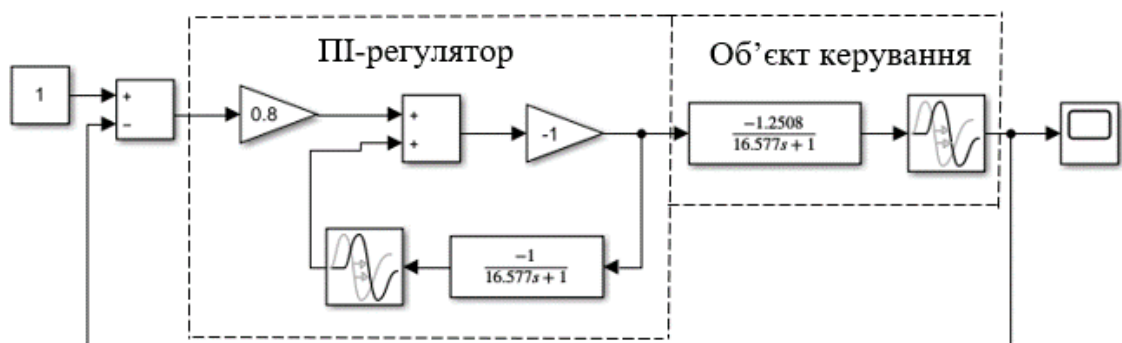


Рисунок 1 – Система автоматичного регулювання процесом виготовлення поліетилену високого тиску

Предиктивний ПІ-регулятор розрахований і налагоджений за методикою Циглера-Нікольса [1]. На рис. 1 показані найкращі налаштування пропорційної та інтегральної частин регулятора. Неважко бачити, що в передаточній функції ПІ-регулятора відсутня інтегральна частина:

$$W_{pez}(p) = 0,8 \quad (2)$$

На рис. 2 показаний перехідний процес на виході об'єкта керування з предиктивним ПІ-регулятором в системі автоматичного керування процесом виробництва поліетилену високого тиску.

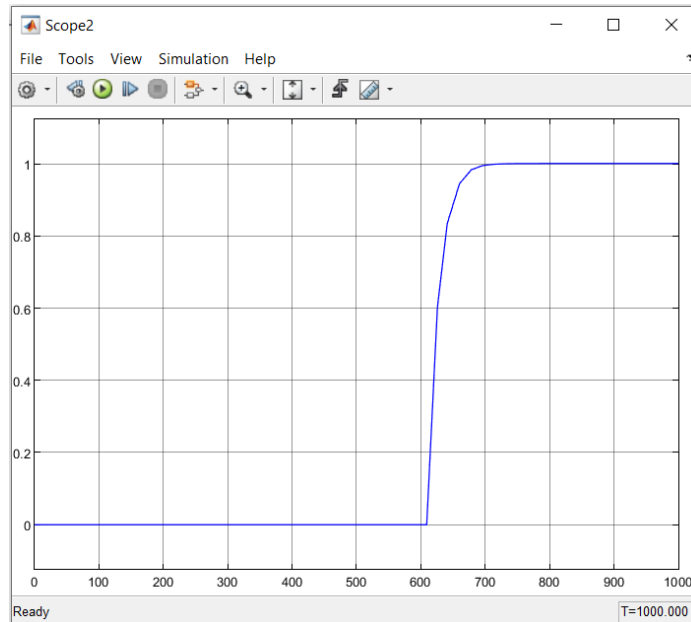


Рисунок 2 – Перехідний процес в САР з предиктивним ПІ-регулятором

Із (2) випливає, що на якість перехідного процесу впливає лише пропорційна частина предиктивного ПІ-регулятора. Залежність часу регулювання САР від коефіцієнта пропорційності, яка отримана в ході обчислювального експерименту, подана в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати обчислювального експерименту

Коефіцієнт підсилення, k_n	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Час регулювання, t_{pez}, c	3090	1990	1190	640	90	640	1190	1890	3090

Список посилань

1. Ala Eldin Abdallah Awouda and Rosbi bin Mamat. New PID Tuning Rule Using ITAE Criteria. International Journal of Engineering (IJE). Vol. 3. Issue 6. January 2010. P. 597–608.

ЛІНІЙНІ МОДЕЛІ В АЛГОРИТМАХ КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ

Максим Трипутень, студент

Корнієнко В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри безпеки інформації і телекомунікацій

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Трипутень М.М., к.т.н., доцент, доцент кафедри кіберфізичних і інформаційно-вимірювальних систем

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Оптимальне за швидкодією керування технічними та технологічними об'єктами на основі принципу максимуму Понтрягіна допускає використання керуючих впливів у вигляді релейних функцій. З практичної точки зору фізична реалізація релейних функцій значно простіша ніж неперервних, проте визначення моментів перемикання зумовлює розв'язання систем трансцендентних рівнянь. Останнє в багатьох випадках складно реалізувати в програмному середовищі технічних пристроїв, що застосовуються на нижньому рівні багаторівневих систем автоматичного керування.

Якщо за умовами ведення технологічного процесу допускається перерегулювання σ , то, як показано в [1], для об'єкта другого порядку з від'ємними дійсними коренями характеристичного рівняння, можлива реалізація квазіоптимального керування з використанням простих лінійних моделей, отриманих на основі обчислювальних експериментів. В [2] наведена теоретична залежність між максимальним значенням величини перевищення вихідної величини над її усталеним (заданим) значенням Δy та першим суттєвим інтервалом керування t_1 :

$$\Delta y = c \frac{(be^{\alpha_1 t_1} - 1)^{\frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1}} (be^{\alpha_2 t_1} - 1)^{\frac{-\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}}{}, \quad (1)$$

тут α_1 і α_2 - значення коренів характеристичного рівняння об'єкта керування; b , c - коефіцієнти, що залежать від динамічних параметрів об'єкта керування та керуючих впливів.

Залежність (1) підтверджує експериментальні дані але має вигляд $\Delta y = f(t_1)$, що не є коректним з точки зору термінології теорії автоматичного керування. Дану залежність слід перетворити до вигляду $\sigma = g(t_1)$ враховуючи, що:

$$\sigma = \frac{\Delta y}{y_{уст}} 100\%, \quad (2)$$

тут $y_{уст}$ - усталене значення вихідної величини.

Із (1) та (2) випливає:

$$\sigma = \frac{100c (be^{\alpha_1 t_1} - 1)^{\frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1}} (be^{\alpha_2 t_1} - 1)^{\frac{-\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}}}{y_{уст}}. \quad (3)$$

На рис. 1 наведені графіки, збудовані за формулою (3) для об'єкту другого порядку з коефіцієнтом підсилення $K = 0,845$ та коренями характеристичного рівняння $\alpha_1 = -0,59$ та $\alpha_2 = -0,51$ [1]. Кожний графік відповідає певному збільшенню вихідної величини $\Delta y_{уст}$.

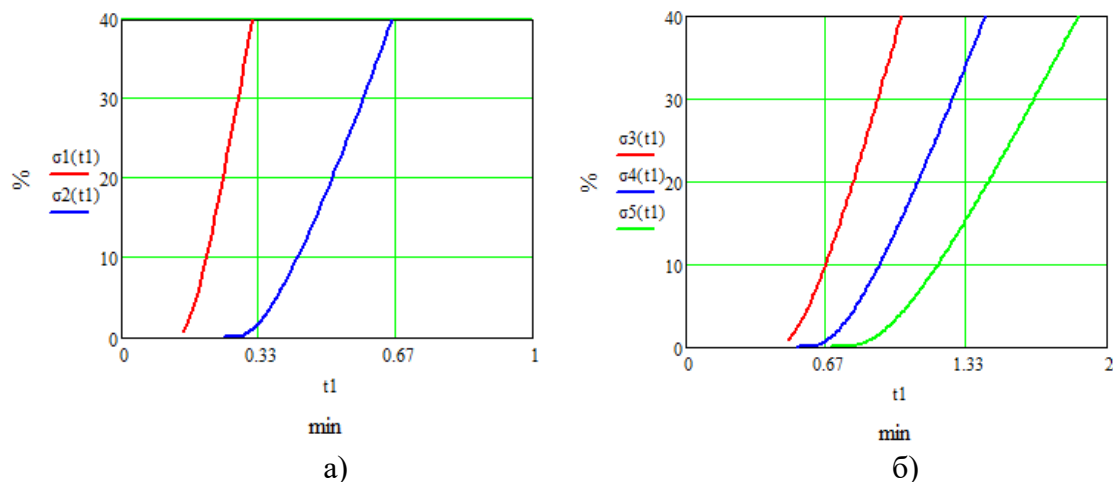


Рисунок 1 – Графіки залежності величини перерегулювання від тривалості першого суттєвого інтервалу керування

- а) $\Delta y_{уст} = 1$ (червоний), $\Delta y_{уст} = 2$ (синій)
 б) $\Delta y_{уст} = 3$ (червоний), $\Delta y_{уст} = 4$ (синій), $\Delta y_{уст} = 5$ (зелений)

Неважко бачити, що графіки лінійні в межах $1\% \leq \sigma \leq 40\%$ і можуть бути представлені моделями виду:

$$t_1 = a\sigma + b \quad (4)$$

тут a і b - коефіцієнти лінійної моделі.

Коефіцієнти лінійних моделей для графіків на рис. 1 наведені в табл.1

Таблиця 1 - Коефіцієнти лінійних моделей

Усталене значення, $y_{уст}$		1	2	3	4	5
Коефіцієнти	a	0,003	0,008	0,013	0,018	0,023
	b	0,2	0,34	0,53	0,73	0,94

Моделі (4) можуть бути реалізовані на нижньому рівні автоматичного керування.

Перелік посилань

1. Tryputen, N. About the possibility of researching the optimal automatic control system on a physical model of a thermal object / N. Tryputen, V. Kuznetsov, Y. Kuznetsova // IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, Lviv, Ukraine, July 2–6, 2019. – Pp. 1244 –1248.
2. Трипутень М.М. Синтез законів квазіоптимального керування для програмно-логічних котролерів / М.М. Трипутень, М.М. Трипутень, О.І. Кравченко // Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2020, Дніпро, грудень 24 – 25, 2020. – С. 83 – 84.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF DOUBLY-FED INDUCTION GENERATORS IN WIND ENERGY

Tetiana Liabahova, PhD student

Oleksii Ivanov, professor, PhD

Dnipro University of Technology

Doubly-fed induction generators in wind energy represent an innovative technology that has become a key element of modern wind turbines. They provide a range of significant advantages, including increased efficiency, improved control, reduced infrastructure costs, enhanced reliability, and easy integration with energy storage systems [1]. These advantages make doubly-fed induction generators an attractive choice for various wind energy projects.

Progress in the development of this technology continues, and with the emergence of new solutions and technical innovations, doubly-fed induction generators are becoming increasingly efficient and reliable. They play an important role in the modern energy industry, contributing to the development of renewable energy sources and improving the environmental sustainability of energy systems.

Examples of the application of doubly-fed induction generators for wind turbines can be found in various projects worldwide. Some well-known examples include: Vestas V112-3.3 MW: This wind turbine uses a doubly-fed induction generator and has high efficiency at different wind speeds. It is actively used in various wind energy projects worldwide [2]. GE 2.5-120 [3]: This wind turbine is also equipped with a doubly-fed induction generator and is designed to operate at low and medium wind speeds. It is widely used in various wind energy projects, including onshore and offshore wind farms. Siemens Gamesa SG 8.0-167 DD: This doubly-fed induction wind turbine is one of the largest in the world. It provides high performance and operates on large offshore wind farms.

These examples demonstrate the wide application of doubly-fed induction generators in various conditions and wind energy projects worldwide.

Some current trends in the development of doubly-fed induction generators for wind turbines include [5]:

With constant technological advancement and construction optimization, doubly-fed induction generators are becoming more powerful, allowing for the creation of more efficient and productive wind turbines.

Work continues on increasing the efficiency of doubly-fed induction generators, including improvements in blade design, control optimization, and other engineering solutions.

With growing interest in renewable energy sources, more attention is being paid to integrating wind turbines with energy storage systems. Doubly-fed induction generators allow for more flexible energy production management and integration of wind energy systems with batteries and other storage facilities.

Development of control systems. Work continues on developing more advanced and intelligent control systems for doubly-fed induction generators, allowing for real-time optimization of their operation and improved performance.

Improved grid integration: As the share of wind energy in the energy system increases, the issue of integrating wind turbines with existing grids becomes more relevant. The development of doubly-fed induction generator technologies also includes research on optimizing their integration into electrical grids.

The expectation of trends in the development of the doubly-fed induction generator market for wind turbines is based on the analysis of current technological and market trends. It is expected that further progress in wind energy technology will lead to the emergence of more

efficient and reliable doubly-fed induction generators, including improvements in blade design and control system optimization. With the increasing scale of wind turbine production and installation, an increase in demand for doubly-fed induction generators and expansion of the market's geographical coverage are expected. It is also assumed that the growth of the share of renewable energy and the reduction of the cost of wind energy production will contribute to the growth in demand for doubly-fed induction generators. Support from government agencies and regulatory bodies, including the introduction of incentives and subsidies for renewable energy, will also play an important role in the development of the doubly-fed induction generator market.

References

1. Jiang, H., Zhang, Y., Shi, L., Song, Y., & Blaabjerg, F. (2018). Doubly-Fed Induction Generator-Based Wind Turbine Systems: A Review. *Electric Power Systems Research*, 158, 124-137. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.02.012>
2. Vestas, (2017). Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V112-3.45 MW Wind Plant – 31st July 2017, Version 1.1. Vestas Wind Systems A/S, Hedeager 42, Aarhus N, 8200, Denmark.
3. "GE's 2 MW Platform – Proven, reliable wind energy solutions yesterday, today, and tomorrow. [Online] Available: [<https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/onshore-wind/2mw-platform>]".
4. "SG 8.0-167 DD Offshore wind turbine. [Online] Available: [<https://www.siemensgamesa.com/products-and-services/offshore/wind-turbine-sg-8-0-167-dd>]".
5. Sayed, M. A. E., El Sharkawy, H. A., & Masoud, M. A. I. (2020). Recent Advances and Trends in Doubly Fed Induction Generator Based Wind Energy Conversion Systems. *Energies*.

ЗМІСТ

Ольга ЗАМКОВА, Павло ЦИГАН ВПЛИВ ТОВЩИНИ ШАРУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ НА ТЕПЛОВЕ ЗНАЧЕННЯ ВТРАТ	3
Igor MOROZOV, Andrii KOLB REVIEW OF MODERN REACTIVE POWER COMPENSATION MEASURES	6
Віктор КОВАЛЕНКО, Дмитро РАБОТА, Євгеній ДРОЖДЄВ, Володимир ДОСКОЧ, Тарас САНДУЛ, Дмитро ЦИПЛЕНКОВ МІНЕРАЛЬНО-СИРОВИННА БАЗА УКРАЇНИ, ЯК ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧО – МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ	8
Andrii KOLB IMPROVING POWER QUALITY INDICATORS USING ACTIVE FILTERS	11
Тарас ХАЛАІМОВ, Олександр БЕШТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ	13
Віталій ХОМЕНКО МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ КЕРУВАННЯ КОНТУРОМ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	16
Олексій КАЧУРА, Ігор НАЗАРЕНКО, Артем ЖЕРЕБЦОВ, Єгор ШКАРАН, Тарас САНДУЛ, Олег РОВЕНСЬКИЙ, Олексій БОБРОВ DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR FOR STUDYING STATIC OPERATING MODES	22
Олександр АЗЮКОВСЬКИЙ, Станіслав ШИХОВ, СУЧАСНІ ТРЕНДИ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ СТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВОДІВ	24
Андрій БУБЛІКОВ, Олег БОЙКО, Євген ВОСКОБОЙНИК СТЕНД СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ҐРУНТУ ВЕРМІФЕРМИ	27
Андрій БАЛАНЮК ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РЕДУКТОРНИЇ СХЕМИ В ПРИВОДІ БАРАБАННО-КУЛЬОВОГО МЛИНА	29
Валерій БОРОДАЙ, Роман БОРОВИК, Ольга НЕСТЕРОВА, Роман ШЛАПКО АКТИВНИЙ СТРУМО-НАПРУГОВИЙ ЗАХИСТ РЕГУЛЬОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	32

Олексій ЧОРНИЙ, Віталій КУЗНЕЦОВ, Володимир ДОСКОЧ, Павло РУСНАК, Василь СПРИСА ПАРАМЕТРИЧНА ТА ЧИСЕЛЬНА СТІЙКІСТЬ РОЗВ'ЯЗКІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ	34
Володимир ГНАТУШЕНКО, Лілія БЕШТА, Наталя СОКОЛОВА. НЕЧІТКЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ПИТОМИХ ЕНЕРГОВИТРАТ КОМПЛЕКСУ ШАХТНОГО ВОДОВІДЛИВУ	36
Денис ДЗЮБА, Дмитро СОЛОВЙОВ СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ПОВІТРЯНИХ МАС, ВИКЛИКАНИХ АНТРОПОГЕННИМИ ФАКТОРАМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ НЕЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ДІЛЯНОК АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	38
Андрій МУХА, Віталій КУЗНЕЦОВ, Володимир ДОСКОЧ, Сергій КУЛКОВ, Тарас САНДУЛ ОСНОВНІ АСПЕКТИ ТА КЛЮЧОВІ ПИТАННЯ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ У КОНТЕКСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	39
Наталія ДРЕШПАК КОНТРОЛЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ	42
Віктор ШУЛЕШКО, Тетяна БУЛАНА, Володимир ГНАТУШЕНКО ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА ВЕРТИКАЛЬНИХ ФЕРМАХ	44
Нікіта РОМАНЧЕНКО, Дмитро ПУСТОВОЙ ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В УКРАЇНІ	46
Олексій КАЧУРА, Віталій КУЗНЕЦОВ, Ігор НАЗАРЕНКО, Артем ЖЕРЕБЦОВ, Єгор ШКАРАН, Дмитро ЦИПЛЕНКОВ ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ДВОШАРОВИМ РОТОРОМ НА ОСНОВІ ЧИСЛЕННИХ МЕТОДІВ	48
Яків ЯРОШЕНКО ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	50
Тимур МАЛІБОРСЬКИЙ, Сергій ФЕДОРОВ, Валерій БОРОДАЙ ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ СТАНЦІЇ ЗАРЯДУ ТЯГОВИХ АКБ ПІДСИЛЕНИХ КОНДЕНСАТОРНИМИ НАКОПИЧУВАЧАМИ	52
Олексій КАЧУРА, Ігор НАЗАРЕНКО, Артем ЖЕРЕБЦОВ, Єгор ШКАРАН, Павло РУСНАК, Василь СПРИСА, Олександр ТКАЛЕНКО ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ПАКЕТА ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ	54

Іван ЛУЦЕНКО, Євген КОШЕЛЕНКО, Марія ЛУЦЕНКО, Анна КОШЕЛЕНКО ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ РІЗНИХ ТИПІВ	56
Юрій ПАПАЇКА, Юрій СТЕПАНЕНКО, Олександра ЛИСЕНКО, ЕКОНОМІЧНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТРНАСПОРТУ НА ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТЯЗІ	59
Олексій КАЧУРА, Ігор НАЗАРЕНКО, Артем ЖЕРЕБЦОВ, Єгор ШКАРАН, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ІНДУКЦІЙНИМ РЕОСТАТОМ В КОЛІ ФАЗОВНОГО РОТОРА	61
Ігор ШЕДЛОВСЬКИЙ, Володимир ГНАТУШЕНКО, Яна ШЕДЛОВСЬКА, В'ячеслав ГОРЕВ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОВІТРЯНОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	62
Віктор ХІЛОВ, Сергій ФЕДОРОВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ПУСКУ СИСТЕМИ ГЕНЕРАТОР- ДВИГУН СКЕЛЬНИХ ЕКСКАВАТОРІВ	64
Віктор КОВАЛЕНКО, Віталій КУЗНЕЦОВ, Владислав ШВЕДОВ, Олексій БІДНІЧЕНКО, Володимир ДОСКОЧ, Тарас САНДУЛ, Віктор СКОЛЬСЬКИЙ, PROBLEMS OF POOR POWER QUALITY IN INDUSTRIAL ENTERPRISE NETWORKS	66
Олексій КАЧУРА, Олег РОВЕНСЬКИЙ, Володимир ДОСКОЧ, Павло РУСНАК, Василь СПРИСА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ ІНДУКЦІЙНИХ РЕОСТАТІВ	68
Андрій МУХА, Віталій КУЗНЕЦОВ, Володимир ДОСКОЧ, Сергій КУЛКОВ, Тарас САНДУЛ, Олег РОВЕНСЬКИЙ RESEARCH RELATED TO THE SELECTION OF PARAMETERS AND THE EFFICIENCY OF MEANS TO IMPROVE THE ENERGY PERFORMANCE OF ASYNCHRONOUS MOTORS	71
Олексій СЕЛІВАНОВ, Микола ТРИПУТЕНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ САР ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МАРГАРИНУ	75
Антон СМІЩЕНКО, Микола ТРИПУТЕНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ САР ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОГО ТИСКУ	77
Максим ТРИПУТЕНЬ, Валерій КОРНІЄНКО, Микола ТРИПУТЕНЬ ЛІНІЙНІ МОДЕЛІ В АЛГОРИТМАХ КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ	79
Tetiana LIABANOVA, Oleksii IVANOV DEVELOPMENT AND APPLICATION OF DOUBLY-FED INDUCTION GENERATORS IN WIND ENERGY	81

