

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Дніпровська політехніка"
Вроцлавський технічний університет
Ройтлінгенський технічний університет
Регіональний контактний пункт HORIZON 2020
"Безпечна, чиста та ефективна енергетика"

МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ – 2020
МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ

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

24 грудня 2020 р.
Дніпро
НТУ "Дніпровська політехніка"

Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2020. Молодь: Наука та Інновації. Збірник тез. Дніпро. НТУ "ДП". 24 грудня 2020 р. – 76 с.

Матеріали друкуються в редакційній обробці авторів.

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

Шутенко О. В., доц., к.т.н.

Пономаренко С. Г., аспірант

НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

КОРИГУВАННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ МЕТОДОМ МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ

Трансформаторне масло є одним з найважливіших елементів ізоляції, що забезпечують безперебійне функціонування силових трансформаторів. При проведенні періодичних випробувань, рішення про стан масел приймається шляхом порівняння виміряного значення показника з гранично-допустимим значенням (ГДЗ). Очевидно, що достовірність прийнятого рішення буде багато в чому визначатися тим, наскільки адекватно ГДЗ показників будуть враховувати особливості конструктивного виконання і режими експлуатації трансформаторів, сорт трансформаторних масел і інші фактори. Для вирішення даного завдання запропоновано визначати ГДЗ показників трансформаторних масел методом мінімального ризику. Як приклад розглянемо процедуру визначення ГДЗ для такого параметра як кислотне число масел. В якості вихідних даних розглянемо результати спостережень по 25 трансформаторах ТДНТ-40 напругою 110/35/6 кВ, залитих маслом марки Т-750. Загальне напрацювання даних трансформаторів склало 30 років, середнє завантаження за аналізований період перебувало в межах 30-40% від номінальної потужності. Для даних трансформаторів значення кислотного числа масел знаходилося в області допустимих значень (кислотне число не перевищувало 0,1 мг КОН на 1 г масел), а обсяг вибірки склав 217 значень. Також аналізувалися значення кислотного числа масел для 55 трансформаторів, що мають схожі параметри, але з окисленим маслом. Обсяг вибірки склав 315 значень. На першому етапі досліджень був виконаний аналіз законів розподілу кислотного числа масел для трансформаторів з різним станом масел. Використовуючи запропонований в [1] підхід було встановлено, що розподіл кислотного числа трансформаторних масел з різними станами можуть бути описані розподілом Вейбула. Значення параметрів закону розподілу Вейбула а також розрахункові і критичні значення (при $\alpha=0,05$) критеріїв Пірсона і Колмогорова-Смирнова для трансформаторів з нормальним станом масел (D_1) і з окисленим маслом (D_2) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення параметрів закону розподілу Вейбула а також розрахункові і критичні значення
(при $\alpha=0,05$) критеріїв Пірсона і Колмогорова-Смирнова

Стан масла	Параметри закону розподілу		Значення критерію Пірсона			Значення критерію Колмогорова-Смирнова	
	α	β	f	$\chi^2_{\text{розр.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{розр.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
D_1	0,017173	1,682338	6	10,467	12,600	0,711	1,360
D_2	0,180936	6,101761	6	6,335	12,600	0,429	1,360

Як видно з таблиці, для всіх масивів даних і розрахункові значення критерію згоди Пірсона, і критерію Колмогорова-Смирнова не перевищують критичні значення при числі ступенів свободи f , на підставі чого можна зробити висновок про те, що немає підстав для того, щоб відкинути гіпотезу про прийнятність закону розподілу Вейбула.

Враховуючи закон розподілу Вейбула вираз для середнього ризику може бути представлений у вигляді:

$$R = C_{21} P_1 \int_{\text{КОН}_{\text{нр}}}^{\infty} \frac{\beta_1}{\alpha_1^{\beta_1}} \cdot \text{КОН}^{\beta_1-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{КОН}}{\alpha_1}\right)^{\beta_1}} d\text{КОН} + C_{12} P_2 \int_{-\infty}^{\text{КОН}_{\text{нр}}} \frac{\beta_2}{\alpha_2^{\beta_2}} \cdot \text{КОН}^{\beta_2-1} \cdot e^{-\left(\frac{\text{КОН}}{\alpha_2}\right)^{\beta_2}} d\text{КОН}, \quad (1)$$

де α_1, β_1 – значення параметрів масштабу та форми для розподілу значень кислотного числа трансформаторних масел в трансформаторах з нормальним станом масла; α_2, β_2 – значення параметрів масштабу та форми для розподілу значень кислотного числа трансформаторних масел в трансформаторах з аномальним окисленням масел, $\text{КОН}_{\text{нр}}$ – ГДЗ кислотного числа, що підлягає визначенню; P_1, P_2 – значення ймовірностей нормального і окисленого станів масел; C_{21}, C_{12} – умовні вартості помилкових рішень.

За аналогією з [2] для мінімізації функції (1) був використаний метод Ньютона. На рис. 1 наведена залежність середнього ризику від значень кислотного числа (пунктиром позначені математичні очікування кислотного числа для трансформаторів з різними станами). Як видно з рисунку, залежність має чітко виражений мінімум, який відповідає значенню 0,052 мг КОН на 1 г масел при значеннях $P_1 = 0,95, P_2 = 0,05, C_{21} = 1$ і $C_{12} = 100$.

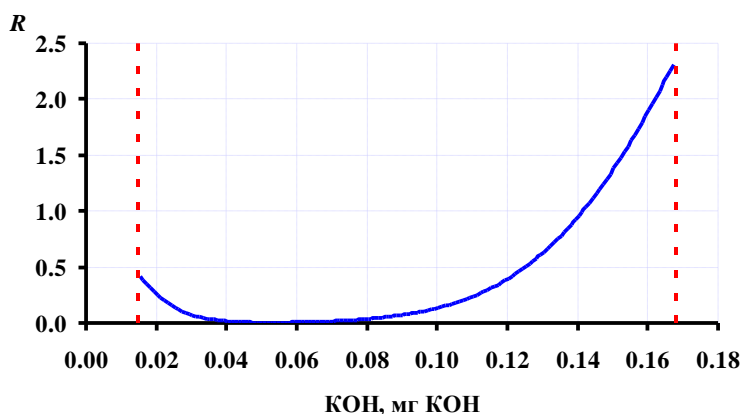


Рисунок 1 – Залежність середнього ризику від значень кислотного числа масел

Виконана підстановка отриманого ГДЗ кислотного числа у вираз для середнього ризику (1) показала, що при використанні отриманого значення величина ризику склала $3,98 \cdot 10^{-3}$, в той час як при використанні нормованого в Україні ГДЗ даного показника величина ризику склала 0,133. Таким чином, коригування ГДЗ дозволяє знизити можливі ризики в 33 рази.

Перелік посилань

1. Шутенко О. В. Аналіз законів розподілу концентрацій газів, розчинених у маслі високовольтних трансформаторів негерметичного виконання / О. В. Шутенко, Д. М. Баклай // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип.: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 24. – С. 102-117.
2. Shutenko, O. Determining the Maximally Permissible Values for the Indicators of Insulation of Sealed Entrance Bushings with a Voltage of 110 kV Using the Method of Minimal Risk / O. Shutenko, A. Zagaynova, G. Serdyukova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 5, № 8(95). – P. 6-15. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142185

Borodai V.A., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Nesterova O.Yu., PhD, Associate Professor
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine)

COMBINED METHOD OF CONTROL THE ENERGY EFFICIENCY OF DRIVE MECHANISMS IN LONG-TERM OPERATION

Today practically no one questions the urgency of the problem of energy and resource saving. Therefore, the further development of this area is naturally welcomed by both the scientific community and industrial enterprises.

The main consumers of energy are known to be electromechanical machinery of production systems. Considering this the developers of the electric drive use various methods including:

- the use of methods for maintaining the economical operation of long-term operation mechanisms by stabilizing the average motor load factor at a level of at least 0.6 relative units;
- the use of motors with a high content of active materials, which will increase their efficiency by at least 3-5%;
- reduction of network losses due to centralized filter-compensating devices;
- changing the motor switching circuit from a triangle to a star for the period of idle or light load modes;
- ways of regulating an electric drive using power converters, and for mechanisms of long-term operation frequency control is quite expensive, therefore it is logical to introduce thyristor voltage regulators instead, as an acceptable alternative;
- the use of combined methods to improve energy efficiency, for example, the implementation of a system where the frequency control of the fan drive is complemented by the selection of a motor with a reduced value of the rotor active-reactive resistance;
- the use of individual filter-compensating devices of the local type, which will relieve the network and partially save the power supply in the motor;
- development of modern control algorithms for frequency electric drives from leading world manufacturers, which solves the problem of energy saving, but does not remove the issue of significant initial costs for control equipment;
- use of conversion systems with increased efficiency, which are based on the principles of pulse-width modulation of the control signal.

Thus, the existing possibilities for increasing the energy efficiency of an asynchronous drive lead to the conclusion that the achievement of the maximum effect of energy saving is possible if the task is solved in a complex way. That is, the system under consideration must be analyzed in the sections of the energy channel, power converter, motor and working machine. In addition, the implementation of a more efficient and accessible control system for such an electromechanical system is possible if voltage regulators with a control circuit are involved, which is based on the principle of pulse-width modulation, provided that the issues of local reactive power compensation and guaranteed switching of control keys are resolved.

The authors propose to break the task into two parts. The first involves the synthesis of an energy-efficient control regulator, which ensures the efficiency of the motor and mechanism, and the second one ensures the efficiency of the converter.

The approach to the synthesis of the regulator is based on fixing the rational power value for several values of the load of an induction motor in a steady state. They are determined by adjusting the reference at the input of the converter, and the resulting transient function is a polynomial, which is plotted as a trend line based on the summary data of the experiment being carried out.

The next step is to improve the transformation system. It is known that thyristor converters with a phase control method are characterized by unsatisfactory energy. Therefore, in order to implement a more efficient and affordable control system, voltage regulators with the principle of pulse-width modulation should be involved, while taking into account the issues of local compensation of reactive

power and solving the problem of guaranteed switching of control keys.

The study of the issue of fine tuning the energy efficiency regulation of an asynchronous electric drive showed that smooth control has an advantage over possible step control, although in this case one should agree on the relative complexity, lower reliability, and most importantly, the increased initial cost of the converter. Therefore, for industrialists who agree to accept such conditions, a system with coordinate-phase control of the duty cycle [1] and an additional individual filter-compensating device can be proposed. The circuit design that implements such a system will be complete if it contains a nonlinear efficiency correction controller [2] depending on the load.

Conclusions:

- achievement of the maximum energy efficiency of the drive is permissible with an integrated approach, i.e. its analysis must be performed in all energy and mechanical areas;
- the effective operation of the mechanical part can be ensured by a nonlinear voltage regulator, the synthesis of which is implemented according to the presented algorithm;
- the efficiency of the conversion section can be achieved using the PWM control principle, which creates a condition for the instantaneous supply of such an amount of energy to the motor that does not exceed the amount required to overcome the current load, use a motor with increased efficiency, and reactive power compensation by individual filter-compensating devices.

References

1. Бородай В.А. Широтно-импульсний регулятор с координатно-фазовим управлінням скважності. Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. 2015. Вип. 95. С 54 – 58.
2. Бородай В.А., Боровик Р.О., Нестерова О.Ю. Спосіб синтезу регулятора енергоефективного управління асинхронним приводом механізмів без прямої стабілізації швидкості. Електротехніка та електроенергетика. Запоріжжя. 2019. № 3. С. 16-23. DOI 10.15588/1607-6761-2019-3-2.

Іванов О.Б., к.т.н., професор, директор інституту електроенергетики,
Лябагова Т.В., аспірантка
НТУ «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ МАШИНИ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ РОБОТІ З МЕРЕЖЕЮ

Функціонування енергосистеми спрямоване на забезпечення живлення споживачів з дотриманням вимог до якості електроенергії, включаючи показники рівня напруги у вузлах живлення та на затискачах споживачів, синусоїдальності струмів та напруги лініях та мережах живлення при мінімальних втратах при подачі енергії.

Виконання вимог до якості електричної енергії ускладнюється у зв'язку із зростанням потужності систем енергоспоживання з одночасним поширенням регульованих і нерегульованих напівпровідникових перетворювачів та збільшенням потужності однофазних споживачів.

Сучасні енергосистеми містять об'єкти розосередженої генерації серед яких наявні, зокрема, вітрові електростанції. Одним з найбільш потужних таких об'єктів генерації є електростанції з асинхронними генераторами подвійного живлення. Вони можуть бути використані для забезпечення необхідної реактивної потужності та зменшення втрат напруги.

Генерування реактивної потужності машинами подвійного живлення у залежності від конфігурації та довжини розподільних мереж, може сприяти зменшенню реактивної потужності, що генерується статичними пристроями компенсації, або у деяких випадках усуненню потреби у них.

Генератори подвійного живлення, виконані на базі асинхронної машини з фазним ротором знаходять широке застосування при роботі в якості генераторів у вітроенергетиці.

Асинхронний генератор подвійного живлення має таку перевагу серед інших типів генераторів, як роздільний контроль активної і реактивної потужності.

В схемі заміщення машини подвійного живлення при паралельній роботі з мережею великої потужності напруга і частота мережі можуть бути прийняті незмінними, не залежними від режиму роботи розглянутого генератора:

$$\underline{U}_M = \underline{U}_1 = const, \quad (1)$$

$$f_M = f_1 = const, \quad (2)$$

де \underline{U}_M і \underline{U}_1 – напруга відповідно мережі і генератора;

f_M, f_1 – частоти напруги мережі і генератора відповідно.

Можна використати спрощену схему заміщення генератора, працюючого паралельно з мережею, що зображена на рисунку 1.

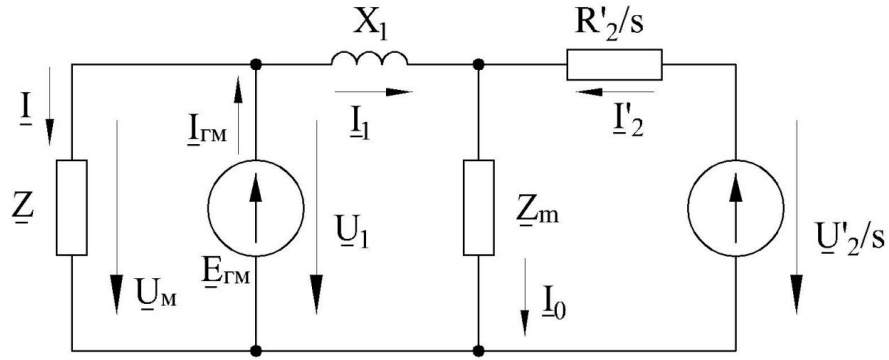


Рисунок 1 – Схема заміщення генератора, працюючого паралельного з мережею

При підключенні генератора до мережі у колі статора встановлюється струм

$$I_1 = I_0 - I'_2 = I_0 - \frac{E'_2 + U'_2/s}{R'_2/s} = I_0 - \frac{E'_2 s + U'_2}{R'_2}, \quad (3)$$

де I'_2 - струм ротора, E'_2 - ЕРС ротора, U'_2 - додаткова напруга, введена в коло ротора, s - ковзання, R'_2 - опір ротора.

У загальному випадку

$$U'_2 = k_1 E'_2 + j k_2 E'_2, \quad I_1 = I_0 + \frac{U_1 s}{R'_2} + \frac{U_1 k_1}{R'_2} + j \frac{U_1 k_2}{R'_2}, \quad I_0 = -j \frac{U_1}{X_m}. \quad (4)$$

$$I_{1a} = \frac{U_1 (s + k_1)}{R'_2}, \quad I_{1p} = -j U_1 \left(\frac{1}{X_m} - \frac{k_2}{R'_2} \right). \quad (5)$$

Видно, що дія складових напруги, введеної в коло ротора виявляється незалежно одна від одної. Складова $k_1 E'_2$ впливає на активну потужність статора $P_2 = m U_1 I_1 \cos \varphi = m U_1 I_a$, складова $j k_2 E'_2$ впливає на реактивну потужність $Q_1 = m U_1 I_p$.

Введення складової $j k_2 E'_2$ напруги U'_2 , підведеної до кола ротора дозволяє регулювати реактивну потужність $Q_{ГМ}$ генератора мережі.

Реактивний струм генераторів мережі

$$I_{mp} = I_p + I_{1p}, \quad (6)$$

де I_p - реактивна складова струму навантаження мережі;

I_{1p} - реактивна складова струму мережі.

Регулювання I_{1p} дозволяє зменшити струм мережі за рахунок зниження I_{mp} , що досягається підбором значення коефіцієнта k_2 в залежності від величини і характеру реактивної складової струму навантаження.

Залежність реактивної складової струму статора асинхронного генератора, підключеного до мережі, від коефіцієнту k_2 визначається співвідношенням

$$I_{1p}^* = U_1^* \frac{|R'_2 - k_2 X_m^*|}{R'_2 X_m^*}. \quad (7)$$

Графіки залежності $I_{1p}^* = f(k_2)$ має вигляд V - образних кривих (рис. 2).

При струмі статора генератора $I_{1p}^* = 1$ активна складова струму генератора

$$I_{1a}^* = \cos \varphi_1 = \sqrt{1 - I_{1p}^{*2}} = f(k_2). \quad (8)$$

Графік залежності $I_{1p}^* = f(k_2)$ (рис.2) має максимуми при $k_2 = \frac{R'_2}{X_m}$.

Аналогічно з синхронними генераторами з електромагнітним збудженням режим, відповідний $k_2 = \frac{R'_2}{X_m}$, можна назвати режимом нормального збудження. В цьому режимі $Q_1^* = 0, I_{1p}^* = 0, P_1^* = P_{1max}^*$. Режими при $k_2 < \frac{R'_2}{X_m}$, відповідно до режимів недозбудження; для них $Q_1^* > 0, P_1^* < P_{1max}^*$. Режими при $k_2 > \frac{R'_2}{X_m}$ відповідають режимам перезбудження; для цих режимів $Q_1^* < 0, P_1^* < P_{1max}^*$.

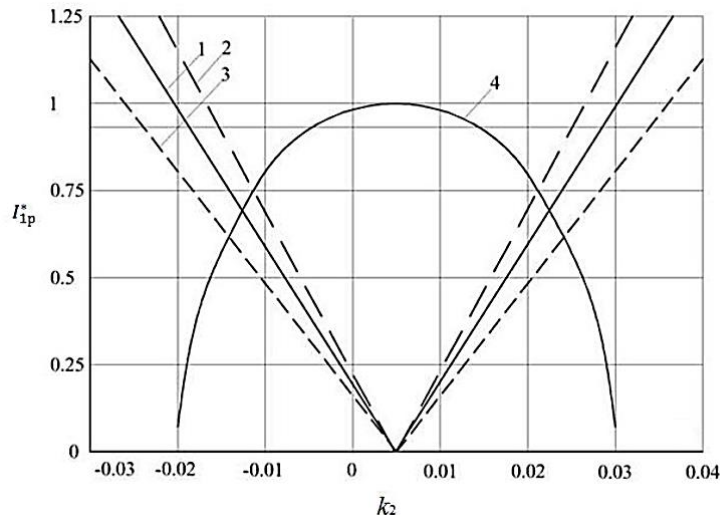


Рисунок 2 – Характеристики машини подвійного живлення:

1, 2, 3 – V – образні характеристики $I_{1p}^* = f(k_2)$: 1 – при $U_1^* = 1$; 2 – при $U_1^* = 0,15$; 3 – при $U_1^* = 0,85$; 4 – графік $\cos\varphi$ при номінальній напрузі

В асинхронному генераторі подвійного живлення зменшення уявної складової напруги, підведеної до ротора не викликає втрати стійкості генератора, так як за умови подвійного живлення струм I_0 підтримується постійним за рахунок зміни реактивної складової струмів статора і ротора.

Тому в генераторі подвійного живлення керування по колу ротора дозволяє в достатньо широких межах регулювати реактивну потужність з метою розвантаження мережі від реактивних струмів, створюваних споживачами, як у випадку переваги ємнісної складової навантаження мережі, так і в випадку переваги індуктивної складової.

Перелік посилань

1. Шаповал І.А. Застосування машини подвійного живлення з матричним перетворювачем для керування потужністю вітрогенераторів. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2009. №22. С.43–48.
2. Petersson A., Lundberg S. Energy efficiency comparison of electrical systems for wind turbines. Proceedings of IEEE Nordic Workshop Power Industrial Electronics (NORpie-2002). Stockholm, Sweden. 2002.

Тугай Д.В., д.т.н., завідувач кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки,

Акимов В.С., аспірант кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки,
Перепелиця А.С., студент

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків,
Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВОЇ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ З БЕЗТРАНСФОРМАТОРНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ НА БАЗІ БАГАТОРІВНЕВОГО КАСКАДНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ

Значний інтерес до відновлюваних джерел енергії посприяв створенню нового сегменту в електроенергетичній галузі, що розвивається швидкими темпами і впливає на енергетику та її розвиток у багатьох країнах світу. Сонячні фотоелектричні станції (СФС), як найбільш розповсюджений приклад використання відновлюваної енергії, займають лідируючі позиції за темпами росту внаслідок модульного принципу побудови, що за сприятливих кліматичних умов спрощує будівництво та експлуатацію подібних установок. Модульна топологія фотоелектричних станцій дозволяють проводити масштабування встановленої потужності від декількох сотень ват до гігават і вище.

Альтернативою існуючим топологічним рішенням щодо реалізації перетворювальної системи найбільш розповсюджених промислових СФС номінальною потужністю кілька мегават може стати схема багаторівневого інвертора напруги, яка може передавати енергію до мережі живлення без використання силового трансформатора [1]. Відсутність трансформатора, означає можливість підключати сонячні електростанції безпосередньо до мереж 6(10) кВ або до районних підстанцій 35 або 110 кВ через підвищувальні високовольтні трансформатори 10/110 кВ.

Метою цієї роботи є створення детальної моделі сонячної фотоелектричної станції з перетворювальною системою на основі каскадного багаторівневого інвертора з функцією МРРТ для дослідження її режимів роботи в якості в розподілених системах електропостачання.

На прикладі Matlab-моделі розглянемо схему фотоелектричної станції номінальною потужністю 8,2 МВт (рис. 1). Перетворювальна система електростанції, що підключається через індуктивний реактор (Reactor) до промислової мережі (Three-Phase Source), складається з 18 симетричних інверторних комірок (по 6 на кожен фазу), що повторює схему 13-рівневого каскадного багаторівневого інвертора напруги для високовольтного частотно-регульованого електропривода [2]. Через кожен комірку до мережі підключено фотоелектричний масив сонячних фотомодулів, встановленою потужністю 440,6 кВт. Масив утворюється 1350 модулями LUXEN LNSK-340MC, що включаються у $N_p = 15$ паралельних ряди по $N_s = 90$ послідовно з'єднаних модулів у кожному (Solar Array A1 – Solar Array C6). Кожний з фотоелектричних масивів за постійною напругою підключається до однофазного мостового транзисторного інвертора (A1 – C6). Інверторні комірки об'єднуються у послідовні кола (по 6 комірок на кожен фазу перетворювача). Таким чином напруга в ланці постійного струму інверторної комірки (вихідна напруга фотоелектричного масиву) дорівнює 1/6 фазної напруги промислової мережі, до якої підключається СФС. Формування та розподілення імпульсів керування на інверторні комірки здійснює векторна система керування перетворювачем (Control System), виконана з використанням прямих та зворотних перетворень координат (abc–dq0), яка реалізує функцію МРР контролера. Для ефективної фільтрації високочастотної складової вихідних струмів на затискачах мережі підключено невелику конденсаторну батарею (C_C_K).

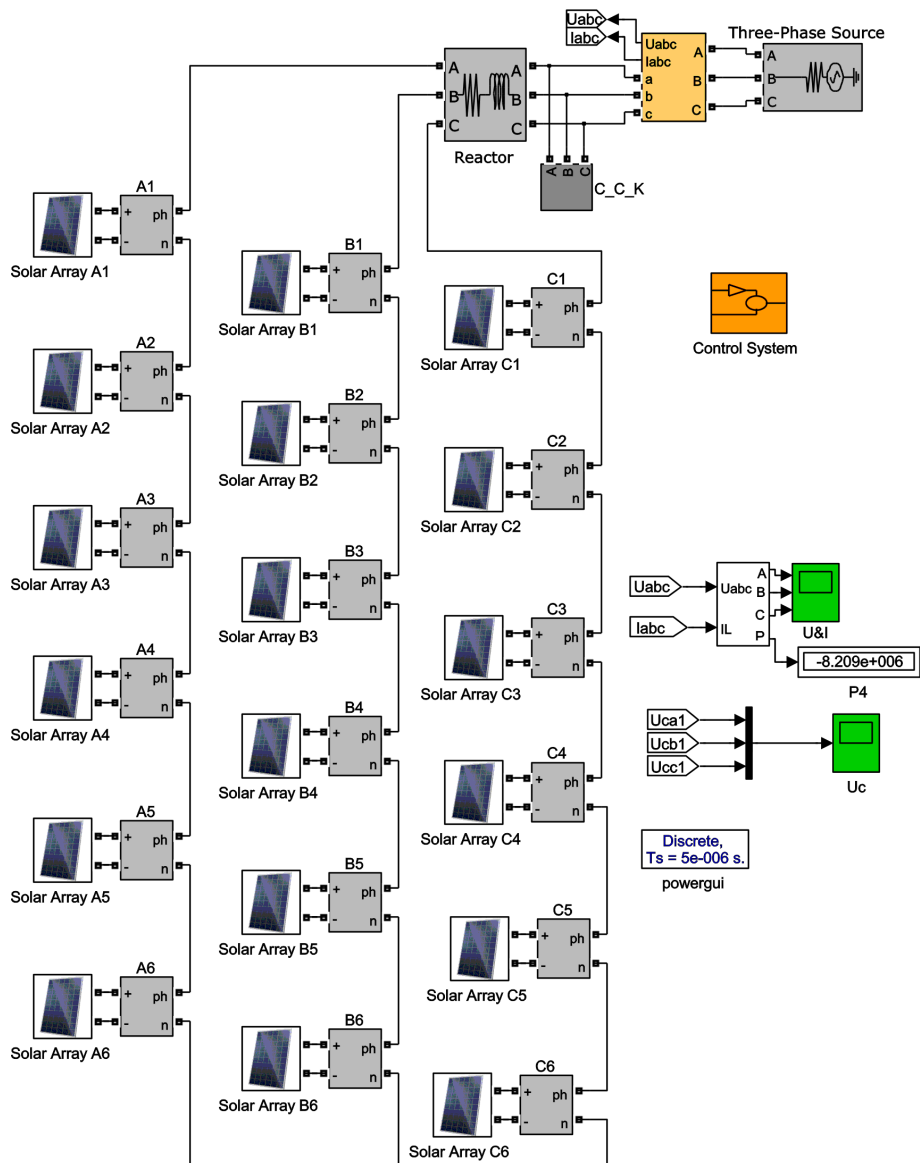


Рисунок 1 – Matlab-модель СФС

Для одержання поданої моделі необхідно було вирішити наступну послідовність задач: 1) створити детальну модель сонячного фотоелектричного модуля, що враховує електричні та температурні особливості роботи фотоелемента; 2) реалізувати алгоритм пошуку точки відбору максимальної потужності (МРР); 3) синтезувати проміжну модель фотоелектричного масив з інвертором напруги, що реалізує функцію контролера МРР; 4) створити повну модель СЕС на базі багаторівневого каскадного інвертора та перевірити її працездатність.

Результати симуляції дозволили підтвердити коректність роботи запропонованої перетворювальної системи в квазісталих та перехідних режимах, яка дозволяє забезпечити високу якість електричної енергії, що передається до мережі, та відрізняється високим ККД (96-97 %).

Перелік посилань

1. Agarwal R. A new multilevel inverter for grid connection of PV modules / R. Agarwal, S. Jain // In2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON). – 2016, Nov. 25. – P. 1-6.
2. Жемеров Г.Г. Моделирование электропривода переменного тока с каскадным многоуровневым инвертором напряжения / Г.Г. Жемеров, Д.В. Тугай, И.Г. Титаренко // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. – № 2. – С. 40-47.

Тугай Д.В., д.т.н., завідувач кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки,

Корнелюк С.І., аспірант кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки,
Найпак В.О., студент

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків,
Україна

СТРАТЕГІЯ ПОБУДОВИ MICROGRID НА ОСНОВІ МІНІМІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Поєднання багатьох факторів у вирішенні питання мінімізації втрат електричної енергії під час реалізації повномасштабної Smart Grid є складною комплексною задачею. Мінімізація втрат енергії – лише один з можливих критеріїв, за яким можна оцінити ефективність роботи системи електропостачання (СЕ), але одним з найбільш показових [1]. Тому метою даної роботи є побудова стратегії мінімізації втрат електричної енергії, що враховує оптимальне розташування фільтрокомпенсуючого обладнання та накопичувачів електричної енергії, що може стати основою для впровадження MicroGrid і у подальшому масштабуватися на більш розгалужені СЕ.

Для формулювання стратегії розглянемо умовну схему MicroGrid, що зображено на рисунку 1. Схема представляє собою відгалуження від фідера трансформаторної підстанції 10/0.4 kV, до якого через кабельну лінію підімкнено низку споживачів (як промислових $L1$, так і комунальних $L2$ – $L5$). Деякі споживачі є «активними», тобто такими, що здатні забезпечувати в мережі двоспрямований енергетичний потік. До промислового мініоб'єкту $L1$ підімкнено сонячну електростанцію $SPS1$, так само як і до комунального споживача $L4$ підімкнено сонячну електростанцію $SPS2$. Споживач $L3$ також є «активним» – це власник вітряної малопотужної електростанції WPS . В розглядуваній конфігурації MicroGrid тільки два споживача $L2$ та $L5$ – це традиційні «пасивні споживачі», що забезпечують лише односпрямований енергетичний потік в СЕ – від джерел живлення до навантаження.

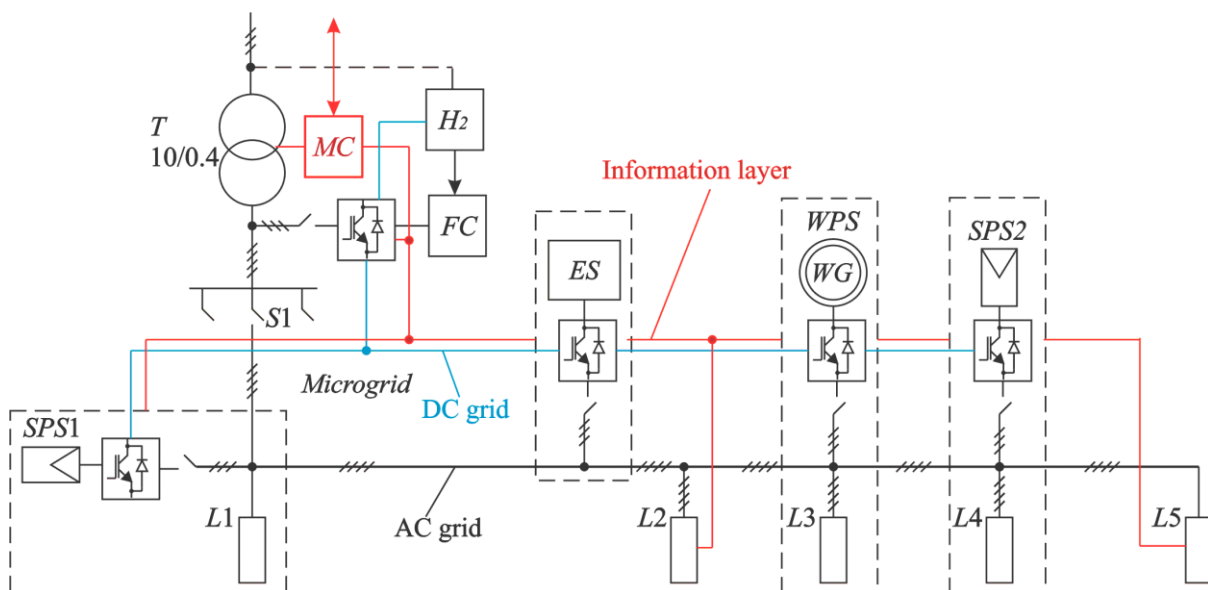


Рисунок 1 – Приклад конфігурації MicroGrid

Від'ємними характеристиками такої MicroGrid, що формалізують вимоги стійкості електропостачання та енергетичною незалежності для споживачів, під'єднаних до неї, є наявність двох важливих енергетичних вузлів – по перше, це установка виробництва водню

методом електролізу (замість неї можна застосовувати дизель-генератор, газову турбіну або інше джерело гарантованого електропостачання), по друге, це системний електрохімічний накопичувач електричної енергії – активного балансиру (див. розділ 2) гібридного типу *ES*.

Підтримання необхідної якості електропостачання забезпечується використанням силового перетворювального обладнання (інверторів напруги) альтернативних електростанцій та накопичувачів електричної енергії для реалізації функціональних можливостей силових активних фільтрів за методикою, запропонованою в [2]. Зазначений підхід, що використовує можливості силової схеми інверторів напруги щодо виконання декількох функцій одночасно, не потребує інсталяції додаткового фільтрокомпенсуючого устаткування в *MicroGrid*.

Ефективна робота кожного елемента *MicroGrid*, й самої системи в цілому, забезпечується трьома рівнями передачі: трифазною мережею змінного струму (AC grid) напругою 0.4 kV та частотою 50 Hz, мережею постійного струму (DC grid) напругою 500 V та мережею передачі даних (Information layer), яка збирає інформацію від давачів, встановлених в СЕ, а також від елементів *MicroGrid* про їх поточний стан і передає її у центральний мікроконтролер (МС), що встановлено на трансформаторній підстанції (Т). В залежності від прийнятої стратегії функціонування *MicroGrid* мережею передачі даних передається інформація на кожний «активний» елемент системи для формування відповідних керуючих впливів на силове напівпровідникове обладнання. Для узгодження роботи *MicroGrid* з промисловою мережею можливо її підключення через центральний мікроконтролер до інформаційної системи АСКОЕ.

Стратегія мінімізації втрат повинна відштовхуватися від забезпечення такого стану функціонування *MicroGrid*, у якому енергетичні втрати в СЕ будуть найменші. Якщо подивитися на розглядану *MicroGrid* з боку трансформаторної станції, де відбувається підключення до промислової мережі живлення, то найбільш енергоефективним режимом роботи системи буде такий режим, коли добовий графік навантаження буде незмінним, а якісні показники електропостачання будуть задовольняти вимогам відповідних стандартів. Такий режим не оказує негативного впливу на роботу об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) і чим більше до неї буде інтегровано подібних *MicroGrid*, тим легше буде забезпечувати її стабільну роботу. Це дуже важливий висновок, який підкреслює важливість впровадження концепції Smart Grid на загальнодержавному і міждержавному рівнях. Розповсюдження *MicroGrid* забезпечить стабільність та енергоефективність роботи ОЕС.

Перелік посилань

1. Ochoa L.F. Minimizing energy losses: Optimal accommodation and smart operation of renewable distributed generation / L.F. Ochoa, G.P. Harrison // IEEE Transactions on Power Systems. – 2010. – Iss. 26.1. – P. 198-205.

2. Tugay D. Distributed solar photovoltaic power station conversion system with power filtration function / D. Tugay, Y. Sayenko, Y. Kolontaevsky, A. Shkurpela // International Ukraine-Poland Seminar «Power quality in distribution networks with distributed generation». – 2019. – P. 131–138.

Дрижирук О.С., студент,

Єгоров О.Б., к.т.н., доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ В ПОВІТРЯНОМУ ЗАЗОРІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Оптимальне проектування асинхронних електричних двигунів не може бути виконано без аналізу електромагнітного поля в повітряному зазорі між статором та ротором. Ефективним методом виконання цього аналізу є чисельний метод кінцевих елементів [1].

Гармонійний аналіз кривої індукції в повітряному зазорі в асинхронному двигуні передбачає наявність у спектрі гармонік як непарного порядку, так і парного. Функцію, що описує криву індукції в повітряному зазорі, можна представити у вигляді:

$$F(t) = A_0 + \sum_k (B_k \sin(kt \frac{2\pi}{|a|+b}) + C_k \cos(kt \frac{2\pi}{|a|+b}))$$

де A, B, C - коефіцієнти ряду Фур'є, a, b - межі періоду функції, k - номер гармоніки.

Нові можливості в розрахунках електромагнітного поля асинхронних двигунів були отримані із застосуванням у розрахунках чисельного методу кінцевих елементів. Цей метод швидко поширився сьогодні при проектуванні електричних машин [2].

При проектуванні асинхронного двигуна стояло завдання визначити оптимальну геометрію пазів ротора двигуна, що модернізується, для його енергетичних характеристик. При цьому геометрія пазів й обмотка статора не повинні змінюватися для дотримання вимог уніфікації виробництва, а маса алюмінію короткозамкненої обмотки ротора повинна бути не більше базового варіанта. Зробивши ряд пошукових розрахунків, був отриманий варіант двигуна з новою геометрією зубцової зони ротору. Визначені основні параметри двигунів, які представлено в Таблиці 1.

Таблиця 1. Результати електромагнітних розрахунків

	Рном, кВт	ККД, %	Іном, А	cosφ	Кратність максимального моменту	Кратність пускового моменту
Базовий двигун	130	93,8	136,5	0,85	5,3	2,6
Новий двигун	130	94,0	134,9	0,86	7,0	4,5

Із представлених результатів видно, що ціль проектування була досягнута. Новий двигун у незмінених габаритах і масі має збільшену переважувальну здатність (на 32%) і пусковий момент (на 73%). Також удалося знизити струм статорної обмотки, що дозволить зменшити перегрів двигуна й побільшати ККД. Було проведено аналіз причин, які привели до поліпшення енергетичних характеристик модернізованого асинхронного двигуна.

Розраховані криві магнітної індукції в повітряному зазорі базового й двигуна, що модернізується, у номінальному режимі двигуна (Рис. 1). Видно, що спектральний состав електромагнітного поля двигуна, що модернізується, помітно змінився в порівнянні з базовим варіантом електродвигуна.

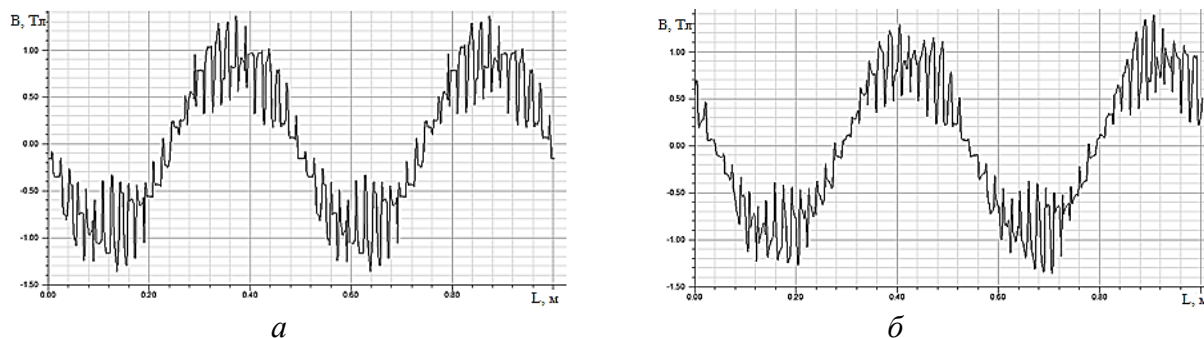


Рисунок 1 - Розподіл магнітної індукції в повітряному зазорі при номінальному навантаженні базового двигуна (а) та модернізованого (б)

Були сформовані масиви, які містили по 1000 значень індукції в повітряному зазорі на всій довжині розточення статора (L). За допомогою програми [3] ці масиви оброблялися й виділялися гармонійні складові від першої до вищих гармонік. Проаналізовані перша й вищі гармонійні складові магнітної індукції в повітряному зазорі обох варіантів асинхронного двигуна, що впливають на енергетичні характеристики, насамперед третя, п'ята, сьома гармоніки. Результати представлені в Табл. 2.

Таблиця 2. Амплітуди гармонійних складових індукції

	1-а гармоніка, Тл	3-я гармоніка, Тл	5-а гармоніка, Тл	7-а гармоніка, Тл
Базовий двигун	0,9753	0,051	0,02	0,015
Новий двигун	0,976	0,045	0,018	0,011

Зменшення амплітуд вищих гармонік у модернізованому варіанті говорить про те, що крива магнітної індукції у повітряному проміжку модернізованого двигуна має форму більш наближену до синусоїди, ніж у базового двигуна. Це дозволяє знизити магнітні пульсації, шум, вібрацію двигуна, поліпшати його енергетичні характеристики.

Також були проаналізовані зубцові гармоніки статора базового й модернізованого варіантів асинхронних двигунів за допомогою програми [3] шляхом виділення з масиву значень індукції у повітряному зазорі гармонійних складових. Аналізувалися зубцові гармоніки статора у номінальному режимі базового та модернізованого двигунів. Отримані результати досліджень показали, що зубцові гармоніки двигуна, що модернізується, менші, ніж у базового на 18-20% у номінальному режимі. Це дозволяє одержати високі енергетичні характеристики за рахунок зниження втрат у магнітній системі двигуна та знизити рівень вібрації.

Таким чином, можна зробити висновок що, при проектуванні асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором аналіз гармонійного складу магнітної індукції в повітряному зазорі може допомогти при виборі оптимальної геометрії статора та ротора.

Перелік посилань

1. Kumar, Mr J. Finite element analysis in the estimation of air-gap torque and surface temperature of induction machine/ Mr J. Kumar , Basavaraja Banakara. - Materials science and engineering conference series, (225), 2017. – Pp. 46-56.
2. Finkelshtejn V.B The analytic-field method for calculating the squirrel-cage induction motor parameters/ V.B. Finkelshtejn, O.B. Iegorov. - Scientific Bulletin of National Mining University (3), 2020. - Pp. 67-72.
3. Finkelshtejn V.B Schedule in the Fourier series of the curve of the distribution of magnetic induction in the air gap of electric machines/ V.B. Finkelshtejn, O.B. Yegorov, O.Yu. Yegorova. - Certificate of registration of copyright for work № 83322, Ukraine. 2018.

РОЗПІЗНАВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬСЯ НАГРІВАМИ, ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ В МАСЛІ ГАЗІВ

Критерії і норми, що регламентуються у більшості відомих стандартах по інтерпретації результатів аналізу розчинених в маслі газів (АРГ) дозволяють розпізнавати дефекти електричного типу, а саме часткові, іскрові, повзучі і дугові розряди, та дефекти термічного типу – перегріву в діапазоні низьких (до 300°C), середніх (300-700°C) і високих (понад 700°C) температур. У той же час в умовах реальної експлуатації трансформаторів досить часто зустрічаються так звані комбіновані дефекти (наприклад, перегріву, які переходять в розряди, або розряди, які супроводжуються нагріванням). Очевидно, що для таких дефектів значення діагностичних критеріїв, що використовуються для розпізнавання типу дефекту (значення відношень газів, значення відсоткового вмісту газів, значення відношень концентрацій газів до газу з максимальним вмістом), будуть відрізнятися від аналогічних значень, отриманих для трансформаторів з дефектами електричного або термічного типу. Однак, у більшості діючих стандартів і методик фактично відсутні значення критеріїв для розпізнавання комбінованих дефектів.

У даній роботі виконано комплексний аналіз значень діагностичних критеріїв, використовуваних для розпізнавання типу дефектів, для часткових розрядів (ЧР), що супроводжуються перегрівом з різною температурою. Для вирішення даного завдання були використані результати АРГ по 58 високовольтним трансформаторам, в яких були виявлені дані дефекти. На першому етапі досліджень результати АРГ були згруповані з урахуванням відсоткового вмісту і значень відношень газів. В результаті було сформовано 3 масиви даних з близькими значеннями даних критеріїв [1]. Діапазони відсоткового вмісту газів наведені в табл. 1, а значень відношень газів – в табл. 2.

Таблиця 1

Відсотковий вміст газів у трансформаторах з ЧР, що супроводжуються нагрівом

№	Тип дефекту, об'єм вибірки	Вміст газів, %				
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
1	ЧР і перегрів в області низьких температур. N=6	84-90	4-8	3,5-6	2,0-4,0	0-0,9
2	ЧР і перегрів в області низьких температур. N=6	80-95	1-6,5	1,6-9,5	1,0-4,2	0-1,6
3	ЧР і перегрів в області середніх і високих температур. N=46	80-97	0-10	0-4,2	0,1-15	0-5,1

Значення відношень пар газів у високовольних трансформаторах з ЧР, що супроводжуються нагріваними

№	Значення відношень газів					
	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
1	0,05-0,09	0,642-0,800	0,58-0,75	—	—	—
2	0,01-0,073	1,1-1,94	0,35-0,92	0,08-0,2	0,07-0,14	0,12-0,15
3	0,002-0,094	0,068-1,47	1,05-6,75	0,001-0,58	0,01-1,48	0,009-0,641

Далі для трьох аналізованих масивів були побудовані номограми і графічні області дефектів [2], наведені на рис. 1 (суцільною лінією позначений центр області, що збігається з номограмою дефекту; пунктирними лініями позначені нижня і верхня межі області дефекту).

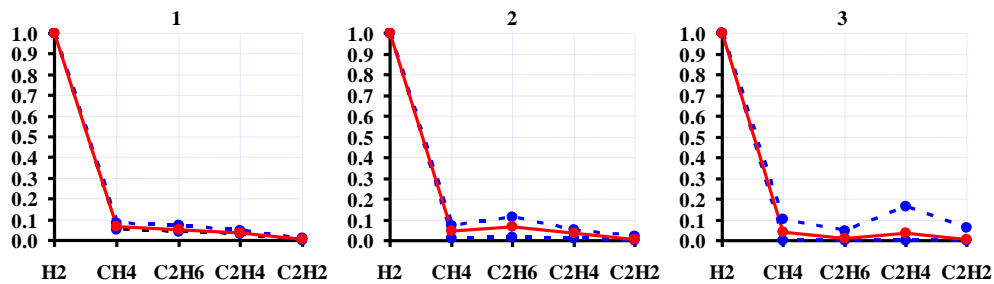


Рисунок 1 – Графічні області, побудовані за результатами АРГ трансформаторів з ЧР, що супроводжуються нагріваними

Аналізуючи значення, наведені в табл. 1 і 2, легко побачити, що і значення відсоткового вмісту газів, і значення відношень газів не відповідають значенням відповідних критеріїв, регламентованих відомими стандартами і методиками по інтерпретації результатів АРГ. Також не регламентовані жодна з номограм дефектів, наведених на рис. 1. Як наслідок, використання традиційних критеріїв для розпізнавання типу дефекту стосовно комбінованих дефектів призводить до постановки помилкових діагнозів. У цьому можна перекопатися проаналізувавши результати діагностики високовольних трансформаторів з ЧР, що супроводжуються нагріваними, з використанням трикутника Дюваля і квадрата ETRA, які наведені на рис. 2

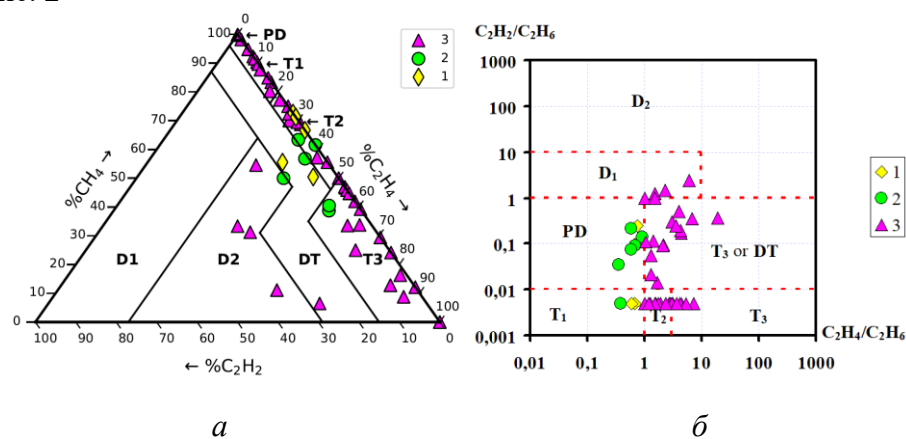


Рисунок 2 – Результати діагностики трансформаторів з ЧР, що супроводжуються нагріваними, з використанням трикутника Дюваля (а) і квадрата ETRA (б)

Отримані в роботі діапазони значень відсоткового вмісту газів, значень відношень газів і побудовані графічні області дозволяють підвищити достовірність розпізнавання ЧР, що супроводжуються нагріваними, за результатами АРГ.

Перелік посилань

1. Shutenko, O. Analysis of Gas Content in Oil-Filled Equipment with Low Energy Density Discharges / O. Shutenko, O. Kulyk // International Journal on Electrical Engineering and Informatics. – 2020. – Vol. 12, № 2. – P. 258-277. DOI: [10.15676/ijeei.2020.12.2.6](https://doi.org/10.15676/ijeei.2020.12.2.6)
2. Shutenko, O. Fault Diagnosis of Power Transformer Using Method of Graphic Images / O. Shutenko, I. Jakovenko // 2017 IEEE International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF), Lviv, 17-20 October 2017. – 2017. – P. 66-69. DOI: [10.1109/YSF.2017.8126594](https://doi.org/10.1109/YSF.2017.8126594)

Чеберячко І.М., доцент, к.т.н.,

Трофимова О.П., старший викладач

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ В ВИХРОВОМУ АПАРАТІ

Невід'ємною складовою частиною таких виробництв, як отримання вугільної шихти для виробництва коксу, отримання окатишів залізної руди для ведення доменного процесу є обов'язкове сушіння. При чому сушіння, не тільки як остаточний процес перед транспортуванням сировини з збагачувальних фабрик, а й як проміжний технологічний переділ, що впливає на ефективність усіх подальших операцій.

Один із шляхів інтенсифікації процесу сушіння полягає в застосуванні апаратів з активними гідродинамічними режимами. Механізація і автоматизація таких установок необхідна не тільки для забезпечення заданої якості сушіння, але також для поліпшення техніко-економічних показників і оптимізації параметрів технологічного процесу. Розробка питань вдосконалення процесів і режимів сушіння вимагає спеціального дослідження, яке зводиться, в основному, до створення моделі процесу теоретично або експериментально, що є складним науково-дослідницьким завданням.

Аналіз техніко-економічних показників роботи різного обладнання дозволяє робити висновок про доцільність використання для сушки вологих концентратів вихрової установки: в порівнянні з сушарками «киплячого» шару і барабаними вона набагато економічніша при меншій питомій металоємності. Внаслідок малої тривалості сушіння у вихровому апараті стабілізація параметрів висушеного матеріалу з необхідною точністю може бути досягнута тільки при автоматичному управлінні процесом сушіння. Для встановлення залежності між вихідними параметрами об'єкта, що характеризують якісну сторону процесу сушіння, і визначити вплив на них основних вхідних факторів, проводилися експериментальні дослідження на вихровій сушарці продуктивність 4 т/год, що працює на дослідно-промислової фабриці Верхньодніпровського гірничо-металургійного комбінату.

На час проведення дослідів вихрова установка була обладнана приладами, що забезпечують безперервну реєстрацію основних параметрів процесу: витрат палива, повітря і висушеного матеріалу, тиску теплоносія в розгінному каналі, початкової і кінцевої температури матеріалу і теплоносія. В якості вторинних використовувалися автоматичні показники, самописні прилади, з диференційно-трансформаторної індукційної схемою. Температура вимірювалася термометрами з автоматичними показниками, самописними потенціометрами.

Для контролю продуктивності установки по готовому продукту служило спеціальний автоматичний пристрій, принцип дії якого заснований на вимірюванні енергії потоку матеріалу, що падає з постійною висоти на похилу вантажопідйомного майданчика.

Вимірювання малих різниць температур проводилося за допомогою хромель-копельних термопар (діаметр електрода 0,5 мм), включених диференційно, вимірювального підсилювача постійного струму і самописного міліамперметра. Вологість матеріалу до і після установки визначалася ваговим методом, шляхом періодичного відбору проб з наступним сушінням їх в вакуумному сушильній шафі.

В результаті експериментальних досліджень отримані математичні залежності між кінцевими температурою і вологістю концентрату, які дозволяють оптимізувати процес сушіння, знизити енергоспоживання вихрового апарату.

Хоменко В.І., викладач вищої категорії, кандидат технічних наук
 Придніпровський державний металургійний коледж, м. Кам'янське, Україна

ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОНОМНОЇ ГЕНЕРУЮЧОЇ УСТАНОВКИ СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

Вступ. В даний час широке застосування знаходять автономні генеруючі установки (АГУ) на базі асинхронних (АГ) та синхронних (СГ) генераторів [1].

Як відомо, що АГ потужністю до 100 кВт мають кращі масо-габаритні та вартісні показники чим СГ [2]. Однак, при потужності більше 100 кВт питання масо-габаритних та вартісних показників АГ і СГ не висвітлені.

В генераторному режимі асинхронна машина великої потужності порівняно з синхронною застосовується рідше через ряд стримуючих факторів: круто падаючої зовнішньої характеристики і недоліків конденсаторного збудження [2].

На відміну від асинхронних синхронні генератори мають можливість глибокого незалежного регулювання струму збудження при просіданні напруги на статорі та витримувати значні миттєві перевантаження за потужністю в результаті підключення споживачів співставної потужності.

Мета роботи: аналіз техніко-енергетичних показників АГУ на базі електромеханічних перетворювачів енергії.

Основний зміст. Здійснено порівняльну оцінку масо-габаритних та вартісних показників синхронних та асинхронних генераторів.

Результати порівняння вартості СГ та АГ різних потужностей наведені на рис.1, а. Залежність маси СГ та АГ від потужності наведено на рис.1, б.

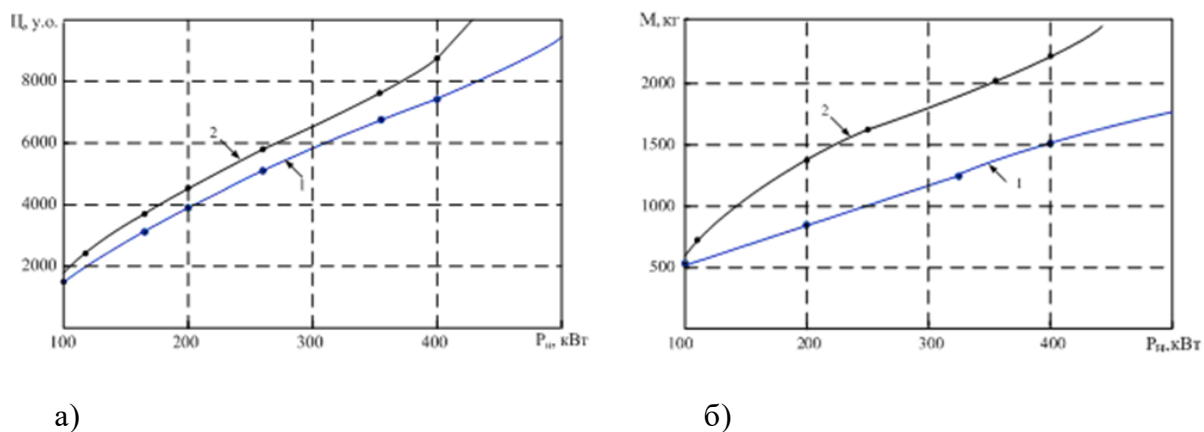


Рисунок 1 – Залежності вартості (а) та маси (б) генераторів від потужності:

1 – для СГ; 2 – для АГ

Як показують наведені графічні порівняння маса СГ в діапазоні потужностей понад 100 кВт приблизно в 1,4...1,5 рази менша, чим в АГ, а вартісні показники в 1,3...1,7 рази.

Для підвищення енергетичних показників системи збудження СГ застосовують двогрупові схеми, а також схеми збуджувачів з комутуючим тиристором у нульовій точці трансформатора, що призводить до ускладнення силової схеми. Однак, в обох випадках

змінюється силова схема без зміни параметрів контуру збудження, при цьому керування здійснюється з меншими кутами відпирання тиристорів.

Тому розглядаємо енергетичні показники одноступових симетричних і несиметричних збуджувачів, керування якими здійснюється зі значними кутами в номінальних режимах.

Доведено, що при рівних значеннях діапазону регулювання симетричних мостових збуджувачів СГ у порівнянні з несиметричними мають значне зниження коефіцієнта потужності на 13,59 % і зростання споживання реактивної потужності на 42,29 % (рис.2).

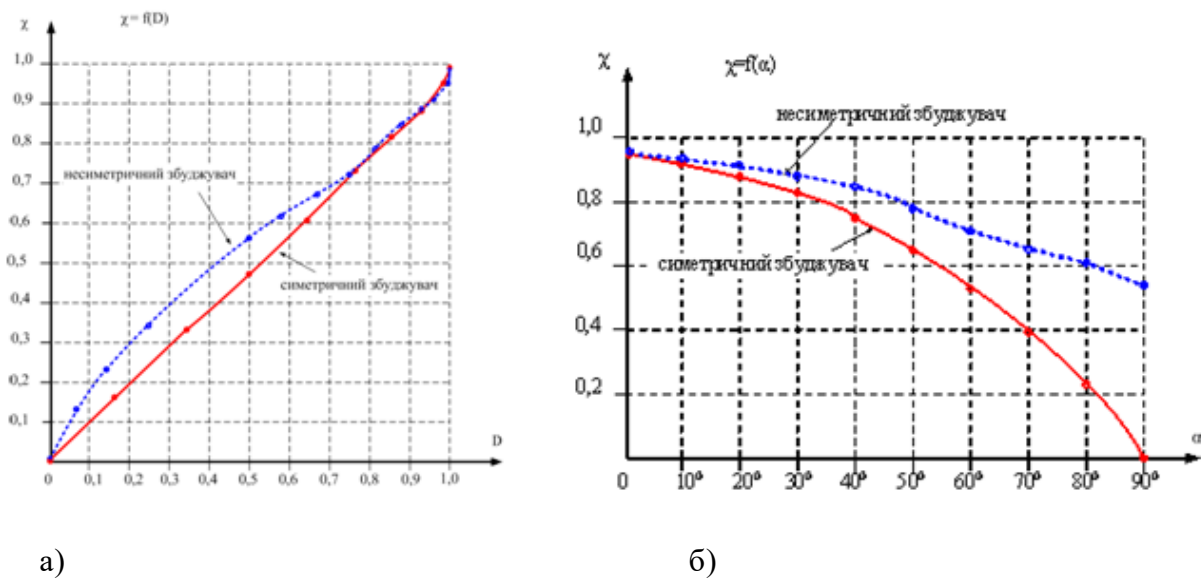


Рисунок 2 – Залежності коефіцієнта потужності від діапазону регулювання (а) та від кута регулювання (б)

Висновок.

Доведено, що маса синхронних генераторів в діапазоні потужностей понад 100 кВт приблизно в 1,4...1,5 рази менша, чим в асинхронних. Синхронні генератори мають в 1,3...1,7 кращі техніко-економічні показники у порівнянні з асинхронними на потужностях понад 100 кВт, що обґрунтовує їх перевагу у використанні АГУ.

Показано, що при рівних значеннях діапазону регулювання напруги збудження недоліком сучасних симетричних мостових збуджувачів СГ у порівнянні з несиметричними є значне зниження коефіцієнта потужності на 13,59 % і зростання споживання реактивної потужності на 42,29 %.

При існуючих кратностях форсування по напрузі симетрично керовані тиристорні збуджувачі є значними споживачами реактивної потужності $Q_{fn}/P_{fn} = 1,6...2,9$, а споживана ними з генератора повна потужність перевищує активну потужність збудження в 2...3,9 рази.

Перелік посилань

1. Хоменко В.І. Порівняльна оцінка енергетичних та експлуатаційних показників статичних збуджувачів синхронних машин / В.І. Хоменко, В.Б. Нізімов, С.В. Количев // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. – Випуск 1 (24). – С. 64–70.

2. Зачепа Ю.В. Уточнений метод расчета нагрузочных характеристик асинхронного генератора с емкостным возбуждением / Ю.В. Зачепа // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Випуск 3/2011 (15). – С. 66–70.

Хоменко В.І., к.т.н., викладач електротехнічних дисциплін

Кравченко І.А. студент гр. МЕПС-17 3/9

Шинкар М.І. студент гр. ОРМП-18 2/9

Придніпровський державний металургійний коледж, м. Кам'янське, Україна

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З КОМПЕНСАЦІЄЮ ІНЕРЦІЙНОСТІ КОНТУРУ ЗБУДЖЕННЯ

Вступ. Автономні генеруючі установки використовуються в якості постійних джерел електроенергії в районах децентралізованого електропостачання, для аварійних робіт, або в якості резервних джерел електропостачання різних об'єктів промислового і побутового призначення.

Для підвищення ефективності керування синхронним генератором (СГ) запропонована система збудження з ємнісною компенсацією інерційності контуру збудження. [1]. Недоліком всіх існуючих автоматичних регуляторів збудження (АРЗ) є жорсткий детермінований алгоритм регулювання. В той же час однією з найбільш важливих рис енергетичних систем є їх постійна зміна з точки зору конфігурації, величини та характеру навантаження, що в свою чергу призводить до різної поведінки та різних динамічних характеристик у різних точках робочої області [2].

Постановка задачі. Задачею роботи є розробка системи збудження та визначення параметрів ємнісного накопичувача енергії генеруючої установки на базі синхронного генератора.

Результати досліджень. Проведено комплексний аналіз існуючих систем збудження СГ і з'ясовано, що використання силових напівпровідникових вентилів в поєднанні з ємнісними накопичувачами енергії не до кінця досліджені.

В якості прикладу системи збудження СГ запропонована і досліджена схема збудження генеруючої установки з ємнісною компенсацією інерційності контуру збудження (рис.1).

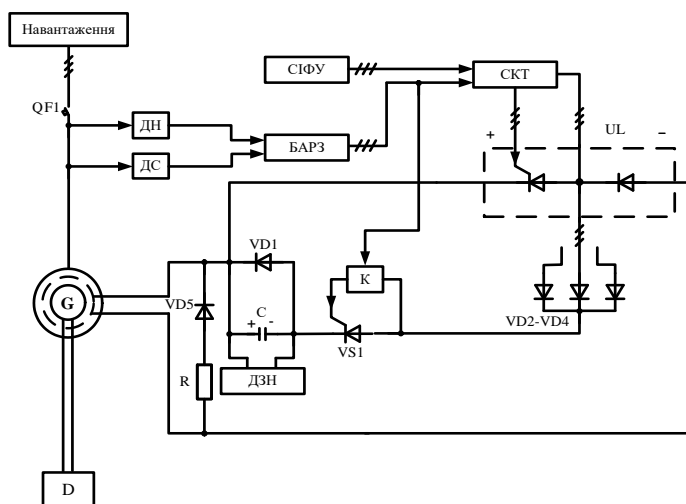


Рисунок 1 – Принципова схема системи збудження генеруючої установки з ємнісною компенсацією інерційності контуру збудження

Силова частина даної схеми складається із синхронної машини, яка працює в режимі генератора (G), увімкненого навантаження і привідного двигуна, в якості якого використовується тепловий двигун (D), наприклад двигун внутрішнього згорання.

Система збудження складається з системи імпульсно фазового управління (СІФУ), напівкерованого тиристорного збуджувача (UL), до складу якого входять тиристори катодної групи та група анодних діодів, а також розділові діоди VD2 – VD4. Керування тиристорами

здійснюється за допомогою системи керування тиристорами (СКТ). При підключенні до аварійного джерела електроенергії споживачів великої потужності сигнал від блока автоматичного регулювання збудження (БАРЗ) через керований ключ К відкриває тиристор VS1, через який конденсатор С, попередньо заряджений за допомогою джерела зарядної напруги (ДЗН), послідовно зі збуджувачем UL підключається до обмотки збудження (ОЗ) генератора, компенсуючи тим самим інерційність контуру. Даний процес призводить до наростання струму збудження до форсованого значення, а отже і більш швидкого наростання вихідної напруги генератора.

Оскільки електрична ємність накопичувача енергії (НЕ) на інтервалі провідності тиристора VS1 вмикається в контур збудження, то доцільно визначити її вплив на перехідні процеси в роторному колі, зокрема на характер зміни струму в ОЗ в режимі форсування збудження. З цією метою запишемо вираз струму в наступному вигляді [2]:

$$i_f = \frac{pT_c}{R_f (T_{\sigma f} T_c p^2 + T_c p + 1)} (U_{f\hat{0}} - p\Psi_{\delta d}) \quad (1)$$

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

$$U_{f\hat{0}} = U_{\hat{0}} + U_c \quad (2)$$

Тоді вираз струму ОЗ в режимі форсування має вид:

$$i_f = \frac{pT_c}{R_f (T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1)} (U_{\hat{0}} + U_c - p\Psi_{\delta d}) \quad (3)$$

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

Для отримання розрахункових залежностей визначимо величину ємності накопичувача енергії, що забезпечує коливальний розряд конденсатора в режимі форсування збудження синхронного генератора. При цьому баланс енергії для контуру збудження має вид:

$$\frac{L_{\sigma f} (I_{f\hat{0}}^2 - I_{f0}^2)}{2} + R_f (I_{f\hat{0}}^2 - I_{f0}^2) \frac{\pi}{2} \sqrt{L_{\sigma f} C} = \frac{CU_{c0}^2}{2} \quad (4)$$

Розв'язавши рівняння (4) відносно ємності НЕ, одержимо:

$$C = \frac{(I_{f\hat{0}}^2 - I_{f0}^2)}{U_{c0}^2} (L_{\sigma f} + 2R_f t_{\hat{0}}) \quad (15)$$

Висновки. Інерційність контуру збудження СГ не дозволяє ефективно підтримувати напругу статора при підключенні співставного навантаження впливом тільки на кути керування тиристорного збуджувача. Застосування ЄНЕ, забезпечує більш швидко стабілізацію вихідної напруги при підключенні споживачів значної потужності.

Перелік посилань

1. Торопов А.К. Передвижение электростанции и электрооборудование / Торопов А.К – М.: Госгеолтехиздат, 1987. – 116 с.
2. Хоменко В. І. Исследование режимов возбуждения синхронного генератора с накопителем энергии / В. І. Хоменко, В. Б. Нізімов, С. В. Количев //Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. – 2009. – Випуск 2(12). – с. 85 – 89.

Буртний Д.І., студент,

Ципленков Д.В., завідувач кафедри електротехніки, к.т.н., доцент

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

Бобров О.В., викладач спеціальних та електротехнічних дисциплін, к.т.н.

Фаховий коледж рекетно-космічного машинобудування Національного університету ім. О. Гончара

МЕХАНІЧНІ НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

Тема підвищення ефективності енергоспоживання, мабуть, ніколи не втратить своєї актуальності. У зв'язку з цим фактом, багато інститутів сьогодні ведуть розробки більш ефективних накопичувачів енергії.

Одним з перспективних рішень в цій області представляється використання кінетичних накопичувачів енергії на базі високоенергоємних маховиків.

Основна ідея акумулювання механічної енергії таким шляхом полягає в тому, що енергія накопичується і зберігається в кінетичній формі, в процесі обертання на високій швидкості масивного колеса. Акумульована таким способом механічна енергія може бути пізніше перетворена в електричну, для цього маховикову систему поєднують з оборотною електричною машиною, здатною працювати і в руховому, і в генераторному режимах.

До переваг таких агрегатів слід віднести те, що масивний маховик здатний миттєво перетворити накопичену кінетичну енергію в електричну, забезпечуючи таким чином обладнання споживача необхідною потужністю.

Для забезпечення сучасних показників щодо якості енергопостачання та безпеки експлуатації застосовуються маховики не монолітної конструкції (рис. 1, а), а менш небезпечні стрічкові системи (рис. 1, б). Тобто маховик навивається зі сталевого троса або стрічки.

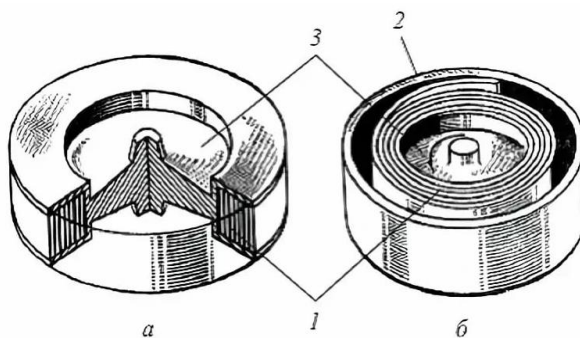


Рис. 1 Маховик монолітної конструкції (а) та маховик зі стрічкової системи (б)

Це зумовлено тим, що для підвищення питомої енергоємності маховика треба збільшувати швидкість обертання, що може призвести до його руйнації, або збільшувати розміри, що не завжди є технічно доцільним.

Також висока питома енергоємність сучасних супермаховиків досягається за рахунок кількох факторів:

- 1) Маховик експлуатується в вакуумі, що сильно знижує тертя в порівнянні з повітрям.
- 2) Система автоматично балансує тіло, що обертається, для запобігання руйнації.

До перспектив використання в різних галузях техніки відноситься використання накопичувачів енергії, як в тяговій мережі, так і на рухомому складі залізниць.

Необхідність в такого роду пристроях особливо відчувається на приміському рухомому складі де часто чергуються режимами розгону і гальмування. Тут накопичувач дає можливість утилізувати енергію гальмування рухомого складу і використовувати її в подальшому для розгону поїзда, тим самим отримавши ефективну енергозберігаючу технологію.

Приклад використання пропонованої енергозберігаючої технології продемонструємо на електропоїзді приміського сполучення.

Тяговий агрегат (рис. 2) містить дві паралельно включених ланцюга – основний (верхня частина малюнку) і накопичувача (нижня частина).

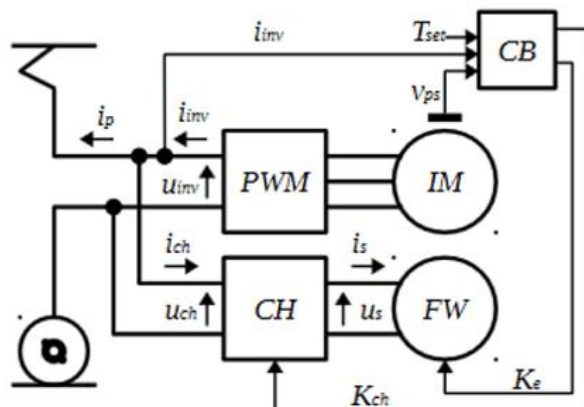


Рис. 2 Схема тягового агрегату електропотягу із механічним накопичувачем енергії

Основний ланцюг містить два асинхронних двигуна (IM), підключених паралельно до тягового перетворювача - інвертора тяги (СВ), і забезпечує регулювання величини моменту і частоти обертання двигунів.

Ланцюг накопичувача включає інерційний накопичувач енергії (FW) і реверсивний підвищуючи-понижуючий перетворювач (СН).

Інерційний накопичувач являє собою поєднання маховика (акумулятора) і системи електромеханічного перетворювача енергії у вигляді зворотної машини постійного струму зі збудженням від постійних магнітів.

Інвертор тяги з конвертором паралельно підключені до контактної мережі постійного струму і тому мають можливість розподіляти потік електричної енергії на привід і зберігання.

При гальмуванні електрорухомого складу енергія уповільнення його маси перетворюється накопичувачем в кінетичну енергію обертання маховика.

В цьому випадку система перетворення механічної енергії працює в режимі двигуна, частота обертання ротора збільшується і накопичувач запасує енергію.

При розгоні поїзда перетворювач механічної енергії переходить в режим генератора, частота обертання ротора знижується, кінетична енергія маховика, запасена раніше при гальмуванні, передається в систему тягового приводу, де використовується для прискорення маси рухомого складу.

Рівень накопиченої накопичувачем енергії залежить від моменту інерції ротора і частоти його обертання, а рівень потужності визначається параметрами перетворювача механічної енергії, а також системою управління - як комутатором, так і загальною системою управління накопичувачем.

Аналізуючи результати роботи, можемо зробити такі висновки:

- накопичення енергії за допомогою супермаховиків є перспективною енергоефективною технологією яка може набути широкого застосування як на виробництві та транспорті, так і в приватних домогосподарствах.

- сучасні маховичні накопичувачі доволі складні та технологічні системи, які вимагають точних інженерних розрахунків при проектуванні і експлуатації.

- описана вище схема електроприводу дозволяє використовувати для тяги струм, що надходить як з контактної мережі, так і від накопичувача енергії.

- при рекуператії енергія гальмування може бути повернута як в контактну мережу, і одночасно запасена в накопичувачі.

Список літератури

1. Як влаштовані і працюють маховикові (кінетичні) накопичувачі енергії
<http://electricalschool.info/energy/2334-mahovichnye-kineticheskie-nakopiteli-energii.html>
2. Гуля Н. В. Удивительная механика. 2013.-176с.

3. Пристрої захисту від провалів напруги <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1289-ustrojstva-zashhity-ot-provalov.html>
4. Гулиа Н. В. Накопители энергии. – М.: Наука, 1980.
5. Кінетичні накопичувачі енергії для електроенергетики
<http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1887-kineticheskie-nakopiteli-jenergii-dlja.html>
6. Гулиа Н. В. В поисках «энергетической капсулы». 1984. – 144 с.
7. Дзензерский В. А., Плаксин С. В., Погорелая Л. М., Толдаев В. Г., Шкиль Ю. В. Системы управления и энергообеспечения магнитолевитирующего транспорта. (На русском языке) – Киев: Наук. думка, 2014. – 280 с.

Власюк В.П., аспірант

ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна

РОЗВИТОК СИСТЕМИ «РОЗУМОВОГО» ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ – SMART METERING У КРАЇНАХ ЄВРОСОЮЗУ ТА ЇЇ ПЕРЕВАГИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРА

Сьогодні у світовій енергетичній сфері та області наукових знань «Електроенергетика» реалізується ряд проектів пов'язаний з впровадженням однієї з відносно нових концептуальних технологій розумних мереж SMART-GRID та реалізації на її базі систем SMART METERING (системи інтелектуального обліку). У більшості країн ОЕСР та Євросоюзу реалізуються програми розвитку та поетапне впровадження автоматизованих систем обліку енергії та інших складових «інтелектуальних» мереж [1].

У країнах Євросоюзу на дані програми щорічно виділяється понад 1,5 млрд євро на наукові та практичні дослідження у сфері розвитку «інтелектуальних» мереж та систем обліку.

Урядами кожної з країн Євросоюзу буде запропоновано поетапну реалізацію програм з впровадження сучасних систем обліку починаючи з 2010 року. За планом передбачається до 2030 року встановити 32 млн розумних лічильників у домашніх господарствах у кожній з країн членів ОЕСР та Євросоюзу без винятків [2, 3].

Впровадження технологій SMART METERING у Європі відбувається за рахунок наслідків реалізації програм та планів відповідних національних регулюючих органів країн – членів Євросоюзу, що встановлюють та контролюють реалізацію завдань, щодо подальшого впровадження в електромережах цих країн сучасних технологій [4].

Технології SMART GRID розраховуються на близьке майбутнє, котре знаходиться до нас досить близько, але вони й не зупиняються у своєму розвитку та постійно оновлюються та модернізуються, щоб відповідати сучасним потребам: «**новітньої світової енергетичної сфери**» у країнах Євросоюзу. У ряді країн на державному рівні приймаються та реалізуються конкретні програми (можливо плани) оснащення електричних мереж сучасними автоматизованими та робото технічними системами обліку електроенергії [5, 6].

Переваги при впровадженні сучасної системи обліку для енергетичного сектора:

- 1) Регулювання споживаної потужності – споживачі відслідковують у реальному часі обсяги спожитої електроенергії та витрати на неї (скорочує обсяг енергоспоживання у діапазоні 5 – 10%);
- 2) Покращення якості обслуговування низьковольтних мереж, їх моніторингу та виявлення перебоїв у енергопостачанні;
- 3) Зменшення кількості випадків шахрайства (розповсюджено та має місце бути майже у всіх країнах світу), пов'язане головним чином із споживанням чи оплатою електроенергії;
- 4) Скорочення обсягів технічних витрат та несправностей;
- 5) Виключення гіпотетичної помилки та збоїв у роботі лічильників електроенергії (за рахунок наявності системи самодіагностики).

Висновки: В роботі виконано дослідження розвитку системи «розумового» обліку електроенергії – SMART METERING у країнах Євросоюзу. Для кожної з країн Євросоюзу буде запропонована своя поетапна програма реалізації з впровадження сучасних систем обліку починаючи з 2010 року і до 2030 року встановити 32 млн розумних лічильників у домашніх господарствах у кожній з країн членів ОЕСР та Євросоюзу без винятків. Докладно розглянуто переваги для впровадження сучасних систем обліку для енергетичного сектора.

Перелік посилань

1. «Smart Grids Europe 2010: европейцы обменялись планами по созданию энергетики будущего». [Текст] – Профессиональный журнал №4 (76) // апрель 2010
2. «Системы учета электроэнергии в условиях функционирования SMART GRID технологий», [Підручник] – А.В. Праховник, В.П. Калинин, А.В. Волошко, О.В. Коцарь. // Энергетика та електрифікація. – 2012. – № 1. – С.51-56.
3. «Основні положення методології оптимального вибору систем FACTS при перспективному розвитку ОЕС України», [Науковий журнал] – К.В. Ущатовський, В.Б. Зайченко, В.В. Павловський, А.В. Левконюк, В.С. Макогончук // Новини енергетики. – 2009. – № 4. – С. 30-36.
4. «Забезпечення надійності функціонування та стійкої роботи інтелектуальних енергетичних систем» [Підручник] , – С.П.Денисюк.
5. «Рік в енергетичному співтоваристві: добре стоїмо?» – К.: Діксі Груп, 2012.
6. Интернет-портал – // www.SmartGrid.ru/

Хом'як Т.В., доц., кандидат ф.-м. наук,
Фішбах К.К., студентка

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОТИВАЦІЇ КОМЕРЦІЙНОГО ВІДДІЛУ ТОВ «СТРОЙ ПРОФІ»

Системний аналіз діяльності ТОВ «СТРОЙ ПРОФІ». Під час проведення аналізу підприємства виявлено цільові задачі моделі, функціональні діяльності кожного з підрозділів підприємства і функціональні взаємодії між ними; інформаційні потоки всередині підрозділів і між ними; зовнішні по відношенню до підприємства об'єкти і зовнішні інформаційні впливи, а також нормативно-довідкова документація, дані за наявними на підприємстві засобів і систем автоматизації [1].

На рис.1 наведено декомпозицію діаграми верхнього рівня, яка містить в собі чотири процеси: приймання замовлень (тендерних пропозицій), вибір виду робіт для виконання, призначення (підбір) персоналу, виконання робіт [2].

В результаті аналізу сформульовано постановку задачі розробки системи мотивації, що має найбільший вплив саме на процес «Прийом замовлень».

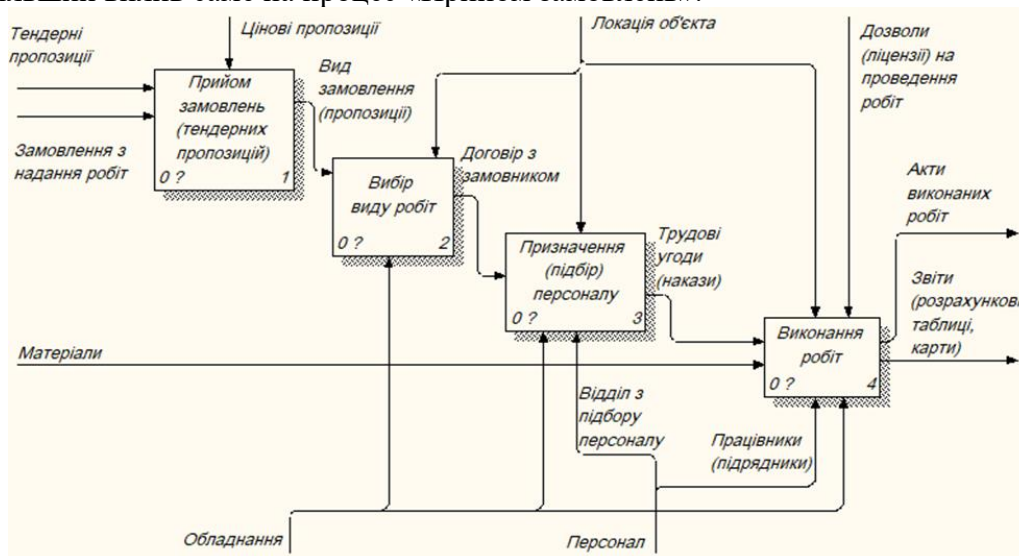


Рис.1. Декомпозиція моделі діяльності ТОВ «СТРОЙ ПРОФІ»

Розробка системи мотивації та аналіз ефективності роботи підрозділів комерційного відділу. Офіси компанії знаходяться у п'яти містах України, а саме: Київ, Дніпро, Харків, Одеса та Полтава. На підприємстві працює 54 менеджери, які роблять заміри і укладають договори. Для того, щоб мотивувати менеджерів працювати краще, і нараховувати їм премію, потрібно реалізувати щомісячний звіт. Всі розрахунки проводяться по кожному конкретному менеджеру, тобто по співробітнику, вказаному в полі Менеджер. Щоб розвинути здорову конкуренцію серед менеджерів була розроблена наступна система мотивації:

- Виходячи з досвіду колишніх співробітників, було прийнято перше правило. Менеджери, які укладають за місяць менше ніж 60% успішних угод від загальної кількості замовлень є неефективними для підприємства працівниками та вважаються претендентами на звільнення.

- Для підрахунку загальної суми бонусів по кожному з менеджерів були обрані найбільш значущі категорії замовлень і групи клієнтів, а також розроблена система заохочень та штрафів, яка була схвалена керівництвом підприємства (Табл. 1) [3].

Таблиця 1 – Коефіцієнти щодо заохочення менеджерів

Процент від суми замовлення	Тип заохочення / штрафу
5%	VIP замовлення
4%	Постійні клієнти
2%	Джерело дзвінок
1%	Джерело онлайн-форма
-5%	Клієнт обрав конкурентів
-2%	Нестикування за часом

Фіксована ставка менеджера на підприємстві СТРОЙ ПРОФІ складає 12000 грн. Також було встановлено поріг максимальної суми одержуваних бонусів, що може виплачувати підприємство, який становить 80% від фіксованої ставки менеджера.

Щоб дізнатись який з підрозділів працює найкраще, а який – найгірше, на підставі звіту (рис. 2) була розрахована ефективність роботи кожного відділу компанії СТРОЙ ПРОФІ (Табл. 3).

Таблиця 3 – Розрахунок ефективності роботи менеджерів за місцем розташування офісу

Місто	Кількість працівників	Загальна кількість угод	Кількість успішних угод	Ефективність відділу (%)
Київ	17	2508	797	31,78
Дніпро	11	1080	343	31,76
Харків	9	922	246	26,68
Одеса	8	974	374	38,40
Полтава	8	1014	344	33,93

Менеджер	Відділ	Сума замовлень, за які нараховуються бонуси/штрафи						Загальна сума бонусів	Бонуси менеджера в грн.
		Постійні клієнти в грн.	Джерело дзвінок в грн.	Джерело онлайн-форма в грн.	VIP замовлення в грн.	Клієнт обрав конкурентів в грн.	Нестикування за часом в грн.		
Іван Малявін	Дніпро	161592,04	527867,32	387820,89	75409,62	21545,61	10772,80	23376,98	9600,00
Ірина Шахніна	Харків	63062,23	357352,64	105103,72	0,00	10510,37	0,00	10195,06	9600,00
Марія Румянцева	Харків	123275,25	549997,27	274998,63	56896,27	37930,85	9482,71	19439,56	9600,00
Денис Куліков	Дніпро	1154,23	6925,35	3462,68	6925,35	0,00	0,00	565,57	565,57
Катерина Копилова	Полтава	1910,51	7769,40	3056,81	6368,36	254,73	254,73	562,96	562,96
Світлана Трефілова	Одеса	565,07	3441,77	1130,13	4109,58	256,85	102,74	293,32	293,32
Оксана Ханіна	Київ	211861,63	607336,66	593212,55	98868,76	70620,54	0,00	27965,73	0,00
Ольга Юзвік	Одеса	48346,00	276890,74	114272,37	39555,82	8790,18	0,00	10152,66	0,00

Рисунок 2 – Візуалізація звіту

Висновки. За результатами розрахунків видно, що найефективніше працює комерційний відділ, що розташований у місті Одеса. Найгіршим з точки зору ефективності є офіс у Харкові, хоча має трохи більшу кількість працівників ніж Одеса. Також було визначено, що з 54 осіб комерційного відділу компанії «СТРОЙ ПРОФІ»: 13 осіб отримають найбільшу суму бонусів, що дорівнює 9600 грн., 21 співробітник – суму відповідну правилам системи штрафів та заохочень та 20 працівників не отримають бонусів взагалі.

Перелік посилань

1. Lonnie D. Bentley. Systems Analysis and Design for the Global Enterprise 7th Edition. – New York: McGraw-Hill : 2007.
2. Лямец, В.И., & Тевяшев, А.Д. (2004) Системный анализ. Харьков: ХНУРЭ.

3. Економіка і фінанси підприємства [Текст] / Н. М. Суліма, Л. М. Степасюк, О. В. Величко ; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. - Київ : Компринт, 2015. – 465 с.

Савочкіна А.С. студентка гр. 141-19-7,

Ципленков Д.В., завідувач кафедри електротехніки, к.т.н., доцент

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

РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Кілька років тому сонячна енергетика стала найбільшим сектором світової електроенергетики за обсягами щорічно залучених інвестицій і введених потужностей. У 2019 році в світі приріст потужностей фотоелектричної сонячної енергетики був у 2,5 рази вище, ніж вугільних і газових разом узятих. За даними SolarPower Europe, до кінця 2019 року глобальна встановлена потужність сонячної енергетики перевищила 630 ГВт.

Пандемія коронавірусу допомогла багатьом європейським країнам встановити нові рекорди у виробництві сонячної енергії. Ситуація пояснюється наступним чином. Перш за все, в той час в Європі спостерігалася дуже ясна погода з абсолютно безхмарним небом. Зниження забруднення повітря в більшості країн, як видно, також внесло відчутний результат. Спалах коронавірусу змусив багатьох громадян Європи працювати віддалено і уникати непотрібних поїздок. Ці безпрецедентні заходи різко скоротили трафік на дорогах і, як наслідок, кількість парникових газів, щодня вироблених транспортом. Таким чином, сонячні панелі отримали можливість поглинати більшу кількість світла.

Smart Energy з Австралії повідомляє про безпрецедентний приріст продажів і попередніх замовлень на придбання сонячних панелей і домашніх акумуляторів для зберігання енергії. Таким чином панікуючі споживачі намагаються захистити себе у скрутні часи. У компанії відзначають, що показники цього кварталу б'ють всі рекорди: продажі сонячних панелей зросли на 41%, а накопичувачів енергії на 400%. У той час як інші галузі промисловості відчувають негативні наслідки світової пандемії COVID-19, компанія Smart Energy, шукає додаткові ресурси і способи підтримати місцеві спільноти та інсталювати.

З початку нового століття ринкова вартість найбільш поширених фотоелектричних модулів знизилася в 20-30 разів і продовжує впевнене зниження. Пріоритетним напрямком розвитку сонячної енергетики в країнах Європи і ряді інших країн стала мікрогенерація: використання невеликих фотоелектричних установок безпосередньо у споживача енергії з можливістю власного споживання виробленої електроенергії, продажу надлишків електроенергії в мережу і покупкою відсутньої енергії з мережі у відповідні періоди часу. Лідерами за кількістю домашніх станцій щодо чисельності населення стають Австралія, Бельгія, Каліфорнія, Нідерланди та Австрія. Вартість виробництва електроенергії на розподілених сонячних станціях вже нижче роздрібних цін на електроенергію в більшості країн.

Наприклад, у ФРН зараз приблизно 2 млн сонячних електростанцій загальною потужністю понад 50 ГВт. Десь 15% потужності представлено установками одиначною потужністю до 10 кВт. Тобто близько 10 ГВт - це мікрогенерація за нашою класифікацією

На графіку показана вартість сонячних електростанцій «під ключ», тобто включаючи монтаж, за кіловат в залежності від потужності (вона позначена на горизонтальній шкалі). Сонячна електростанція потужністю 4 кВт коштує 1900 євро за кВт, а 20-кіловатна - 1300 євро / кВт. Це, зрозуміло, без накопичувачів енергії. Установка електростанції потужністю 10 кВт сьогодні принесе десь 2% річних, а ось маленькі об'єкти навряд чи виправдають себе економічно. Таким чином, вартість малих сонячних електростанцій зростає, а тариф знижується, в результаті виходить, що на точку беззбитковості виходять лише нові сонячні електростанції потужністю від 5 кВт.

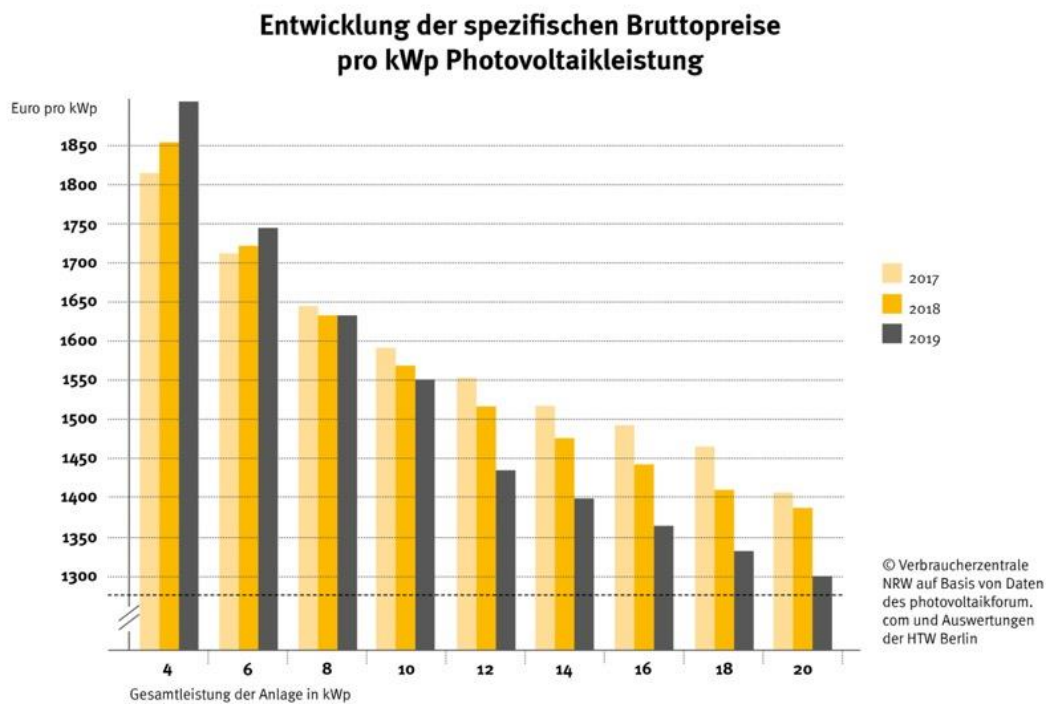


Рисунок 1 - Розробка питомих валових цін на кВт фотоелектричної потужності (Німеччина)

Яким же чином можна збільшити ефективність і надійність сонячної енергії?

В даний час відновлювальна енергетика будується на комбінації джерел енергії різних типів, об'єднаних в єдину систему, що істотно підвищує її надійність. Унаслідок масштабування мережі стабільність і надійність, безумовно, зростають, так як пов'язане з погодними умовами зменшення генерації сонячної електростанції в одній географічній точці компенсується її збільшенням в іншій. Крім того, можливий обмін електроенергією з загальнонаціональної енергосистемою, що, однак, вимагає розвиненого законодавства в цій галузі.

Для сонячних електростанцій потужністю понад 1 ГВт найбільш ефективні гідроакumuлюючі системи, які здатні нівелювати добові коливання генерації і споживання електроенергії. Гідроакumuлятори екологічні і мають досить високий ККД. У таких системах надлишкова енергія використовується для перекачування води з нижчого резервуара в більш високий, а при виникненні дефіциту вода надходить назад в нижній резервуар через гідравлічну турбіну, що виробляє електрику.

Грінченко В.С., к.т.н., заступник директора з наукової роботи,
Ткаченко О.О., к.т.н., молодший науковий співробітник відділу фізики і техніки
магнітних явищ

Яковенко В.М., молодший науковий співробітник відділу проблем управління
магнітним полем

*Державна установа «Інститут технічних проблем магнетизму Національної академії наук
України», м. Харків, Україна*

ТЕПЛОВЕ ПОЛЕ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НА ОСНОВНІЙ ТРАСІ ТА В ЗОНІ МУФТОВИХ З'ЄДНАНЬ

Сучасний розвиток міських електромереж передбачає широке використання підземних кабельних ліній 35÷110 кВ (КЛ). Ширина охоронної зони КЛ складає 2 м, що на порядок менше охоронної зони повітряної лінії електропередачі [1]. Номінальний струм у КЛ визначається параметрами кабелів (переріз жил, тип ізоляції, товщини та теплофізичні параметри шарів кабелю, тощо), способом заземлення екранів кабелів, відстанню між кабелями та способом їх укладання, параметрами ґрунту. Температура жил кабелів при номінальному струмі не повинна перевищувати допустиму, яка для кабелів зі зшитополіетиленовою ізоляцією складає 90°C. Розрахунки, які виконані відповідно до стандартів [2, 3], показують, що номінальний струм у КЛ, яку виконано з типових кабелів АПвЭгаПу-110, складає 397 А. Температура на поверхні приймалась 20°C, питомий тепловий опір ґрунту – 1,2 К·м/Вт. Глибина прокладки складала 1,5 м, проміжок між кабелями дорівнював діаметру кабелю 64 мм [4]. Тобто відстань між центрами сусідніх кабелів складала $d=128$ мм. Результати кінцево-різницевого моделювання теплового поля КЛ (рис. 1) підтвердили правильність розрахунку номінального струму. Температура жил при струмі 397 А складала 90°C.

Якщо на основній трасі КЛ відстань d не перевищує 200 мм, то в зоні муфтових з'єднань вона складає 500 мм та вище [4]. Це призводить до того, що в цій зоні магнітне поле КЛ може перевищувати гранично допустимі рівні, які зазначено в нормативі [4]. Для його нормалізації використовуються допоміжні системи екранування, які є додатковими тепловими джерелами. Проте результати моделювання теплового поля КЛ в зоні муфтових з'єднань показали зменшення температури жил кабелів до 77°C. Це дозволяє встановлювати допоміжними системи екранування для нормалізації рівня магнітного поля, уникаючи зниження пропускної спроможності КЛ.

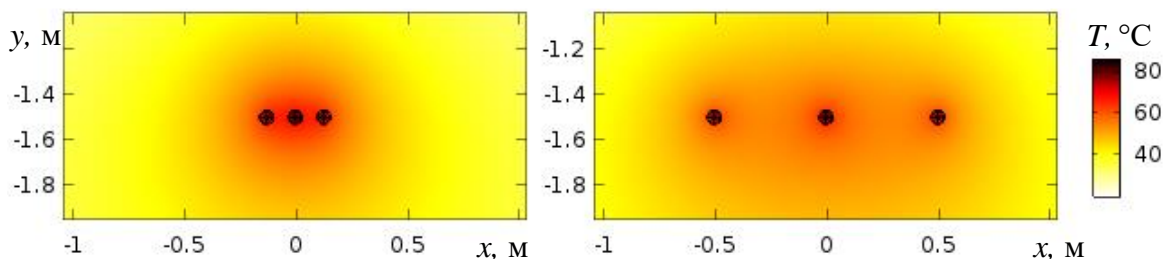


Рисунок 1 – Теплове поле поблизу КЛ при $d=128$ мм (зліва) та 500 мм (справа)

Перелік посилань

1. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 1997 р. № 209 «Про затвердження Правил охорони електричних мереж» у редакції від 5 квітня 2017 р.
2. IEC 60287 “Electric cables – Calculation of the current rating”, Part 1-1 “Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses.”
3. IEC 60287 “Electric cables – Calculation of the current rating”, Part 2-1 “Thermal resistance – Calculation of thermal resistance.”
4. Правила улаштування електроустановок. Вид. 5-те, пе-рерб. й доп. – Х.: Міненерговугілля України, 2014. – 793 с.

Шутенко О.В., к.т.н., доцент кафедри передачі електричної енергії

Кулик О.С. аспірант кафедри передачі електричної енергії

НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ДІАГНОСТИКА ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВВОДІВ З ВІДКЛАДЕННЯМИ Х-ВОСКУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ В МАСЛІ ГАЗІВ

Однією з причин пошкоджень високовольтних маслонаповнених вводів і трансформаторів струму [1] є відкладення воскоподібних продуктів, які отримали назву Х-воску. Як правило, утворення воскоподібних продуктів на поверхні або між шарами ізоляційного паперу має місце в маслонаповненому обладнанні з відносно низьким об'ємом масла (високовольтні вводи, трансформатори струму та напруги), які залиті маслом з високим вмістом парафінових фракцій (наприклад, масло марки ГК). Відкладення Х-воску призводить до погіршення тепловідведення ізоляції, що може призвести до теплового пробоя. При цьому процес формування пробоя від моменту початку утворення Х-воску становить не менше 12 місяців [2]. Як показано в [2] відкладення Х-воску супроводжується збільшенням діелектричних втрат ізоляції вводів. Причому на початковій стадії процесу, коли обсяг місцевих дефектів ще невеликий, це збільшення впевнено можна зафіксувати тільки при вимірюванні $\tan \delta$ на напрузі вище 10 кВ і тим впевненіше, чим ближче напруга при вимірах до робочої напруги вводів. Ще одним методом, що дозволяє виявляти відкладення Х-воску є аналіз розчинених в маслі газів (АРГ). Однак у чинному в Україні стандарті з інтерпретації результатів АРГ [3] відсутні значення критеріїв (значення відношень характерних газів, відсотковий вміст газів тощо), що відповідають утворенню Х-воску.

Для аналізу діагностичних критеріїв використовуваних для розпізнавання типу дефектів були використані результати АРГ по 62 високовольтним вводам, в яких було виявлено відкладення Х-воску. В результаті групування результатів АРГ з урахуванням відсоткового вмісту і значень відношень газів [4] було сформовано 7 масивів даних з близькими значеннями даних критеріїв. Діапазони відсоткового вмісту газів наведені в таблиці 1, а діапазони значень відношень газів в таблиці 2.

Таблиця 1

Відсотковий вміст газів у високовольтних вводах з відкладеннями Х-воску.

№	Тип дефекту, об'єм вибірки	Вміст газів, %				
		H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
1	Відкладення Х-воску. N=18.	70-97	1-25	0,5-9	0,002-0,1	0-1,1
2	Відкладення Х-воску, перегрів. N=14.	40-48	30-45	0,3-11	6-30	0-2,1
3	Відкладення Х-воску, перегрів. N=6.	35-50	22-29	23-31	0-5	0-0,1
4	Відкладення Х-воску, перегрів, ЧР. N=3.	58-71	23-30	4-11	0,01-2	0-0,065
5	Відкладення Х-воску, ЧР. N=7.	45-60	35-45	0,3-9,1	0,03-3,3	0-2,78
6	Відкладення Х-воску, перегрів. N=9.	10-28	60-86	0-11	0-6	0-2,8
7	Відкладення Х-воску, ЧР. N=5.	28-44	3-15	49-62	0,01-0,8	0-1,78

На рис. 1 наведено графічні області [4], побудовані за результатами АРГ вводів з відкладеннями Х-воску. Для зручності аналізу всі області пронумеровані наскрізною нумерацією. Номер області відповідає номерам дефектів з табл. 1 і 2. Як видно з рис. 1 і табл. 1 вміст газів в пробах масла вводів з відкладеннями Х-воску істотно відрізняється. При цьому, значення відношень газів (див. табл. 2) відповідають дефектам різного типу. На початковій стадії процесу значення відношень газів і графічні області відповідають низькотемпературним перегрівам (№6-7), з розвитком процесу – перегрівам, які супроводжуються розрядами (№2-5), а з формуванням осередків пробою – електричним розрядам (№1).

Таблиця 2

Значення відношень пар газів у високовольтних вводах з відкладеннями Х-воску

№	Значення відношень газів					
	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
1	0,011-0,36	0,075-1,0	0,01-0,02	0,001-0,98	0,002-1,9	0,17-0,72
2	0,56-0,97	0,008-0,33	1,1-19,8	0,004-0,065	0,13-1,64	0,013-0,189
3	0,45-0,76	1,05-1,08	0,11-0,18	-	-	-
4	0,32-0,51	0,18-0,46	0,012-0,42	0,001-0,003	0,003-0,015	0,035-0,23
5	0,65-1,0	0,03-0,20	0,008-0,013	0,00035-0,07	0,003-0,008	0,24-1,0
6	2,5-7,5	0,04-0,147	0,666-0,739	0,006-0,027	0,053-0,25	0,08-0,129
7	0,269-0,48	3,96-7,68	0,0016-0,015	-	0,0007-0,035	-

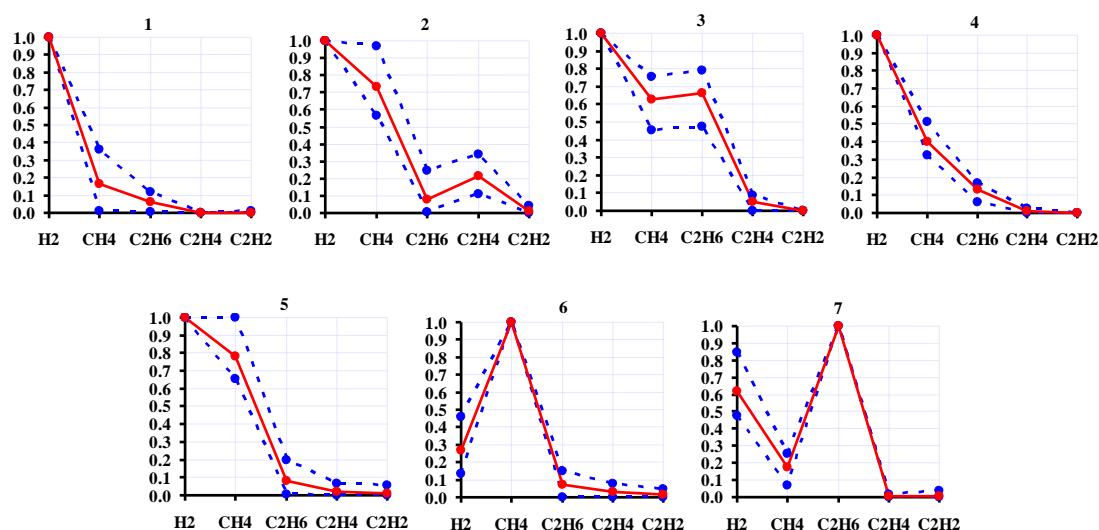


Рисунок 1 – Графічні області для високовольтних вводів з відкладеннями Х-воску

Отримані в роботі діапазони значень відсоткового вмісту газів, значень відношень газів і побудовані графічні області дозволяють розширити можливості виявлення відкладення Х-воску в високовольтних вводах за результатами АРГ.

Перелік посилань

1. Андриенко П.Д., Сахно А.А., Конограй С.П., Спица А.Г., Скрупская Л.С. Особенности мониторинга технического состояния основной изоляции высоковольтных вводов и трансформаторов тока // *Електротехніка і електроенергетика*. – 2014. – №. 1. – с 43-47.
2. Лушин А.Н., Комаров В.И., Просвирнин Д.Н., Осотов В.Н. О влиянии масла марки ГК на надёжность электрооборудования // Семинар Уральского центра охраны труда энергетиков и Общественного Совета специалистов по диагностике силового электрооборудования «Трансформаторное масло – производство, эксплуатация, контроль состояния, продление срока службы и влияние на надёжность электрооборудования» (Екатеринбург, 18-21 марта 2008 г.). – Екатеринбург, 2008. – 7 с.
3. СОУ-Н ЕЕ 46.501:2006: Діагностика маслonaповненого трансформаторного обладнання за результатами хроматографічного аналізу вільних газів, відібраних із газового реле, і газів, розчинених у ізоляційному маслі .– Київ. – 2007.
4. Shutenko, O. Analysis of Gas Content in Oil-Filled Equipment with Low Energy Density Discharges / O. Shutenko, O. Kulyk // *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*. – 2020. – Vol. 12, № 2. – P. 258-277.

Шутенко О. В., к.т.н., доцент кафедри передачі електричної енергії
 Пономаренко С. Г., аспірант кафедри передачі електричної енергії
 НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ОЦІНКА ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ТАНГЕНСА КУТА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ

Одним зі шляхів підвищення достовірності періодичних випробувань стану трансформаторних масел є коригування гранично-допустимих значень показників. Як показано в [1] таке коригування дозволяє не тільки врахувати вплив найбільш значущих чинників, що впливають на інтенсивність старіння ізоляції, але і істотно знизити величину ризику, який супроводжується прийняттям помилкових рішень. Однак, таке коригування принципово неможливе без наявності інформації про закони розподілу показників трансформаторних масел. У зв'язку з обмеженістю такої інформації в відкритих джерелах, в даній роботі наводяться результати аналізу законів розподілу тангенса кута діелектричних втрат трансформаторних масел. В якості вихідних даних аналізувалися результати періодичних випробувань тангенса кута діелектричних втрат, які були виміряні при температурі 90 °С по 231 трансформатору напругою 110 кВ. Для зниження неоднорідності результатів періодичних випробувань був використаний алгоритм статистичної обробки, заснований на перевірці трьох статистичних гіпотез: про рівність математичних очікувань, про рівність дисперсій і схожості законів розподілу [2]. За результатами проведеного тестування були сформовані 4 статистично однорідних масиви для аналізованого показника. Обсяг вибіркового значення N , значення вибіркового середнього M_x , вибіркової дисперсії D_x , а також коефіцієнтів асиметрії j_a і ексцесу j_e для отриманих масивів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Статистичні характеристики однорідних масивів тангенса кута діелектричних втрат

Масив	N	M_x	D_x	j_a	j_e
M₁	148	0,357472	0,126923	1,189351	4,664001
M₂	159	0,366385	0,133394	1,071162	4,527848
M₃	152	1,067984	1,133087	0,793257	3,119461
M₄	99	1,366501	1,848464	0,893909	3,297167

Як видно з таблиці 1 значення математичних очікувань тангенса кута діелектричних втрат трансформаторних масел в різних масивах значимо відрізняються, що свідчить про різний ступінь старіння масел. У той же час всі масиви мають позитивну асиметрію, що свідчить про те, що «довга частина» кривої розподілу розташована праворуч від математичного очікування. Позитивне значення коефіцієнта ексцесу говорить про те, що крива розподілу має більш високу і «гостру» вершину, ніж крива нормального закону. Для оцінки законів розподілу тангенса кута діелектричних втрат в маслі була використана програма «ZR» [3], яка дозволяє перевірити відповідність емпіричних даних 11 відомим законам розподілу. За результатами аналізу встановлено, що розподіл значень тангенса кута діелектричних втрат для всіх 4 масивів може бути описана законом розподілу Вейбула. Значення параметрів закону розподілу Вейбула, а також розрахункові і критичні значення (при $\alpha=0,05$) критеріїв Пірсона і Колмогорова-Смирнова наведені в таблиці 2.

Значення параметрів закону розподілу Вейбула

Масив	Параметри закону розподілу		Значення критерію Пірсона			Значення критерію Колмогорова-Смирнова	
	α	β	f	$\chi^2_{\text{розр.}}$	$\chi^2_{\text{крит.}}$	$\lambda_{\text{розр.}}$	$\lambda_{\text{крит.}}$
M₁	0,532669	1,379790	3	2,296403	7,820	0,329793	1,360
M₂	0,610051	1,525795	3	1,173201	7,820	0,275647	1,360
M₃	1,659256	1,431581	3	4,737427	7,820	0,734917	1,360
M₄	2,044167	1,382493	3	2,764035	7,820	0,383126	1,360

З таблиці 2 легко побачити, що зі старінням масла значення параметрів форми і масштабу збільшуються (від масиву M₁ до M₄). Наочно це ілюструє рисунок 1, на якому наведені теоретичні щільності розподілу Вейбула для аналізованих масивів. Як видно з рисунку зі старінням масел спостерігається зсув максимуму в право по осі абсцис.

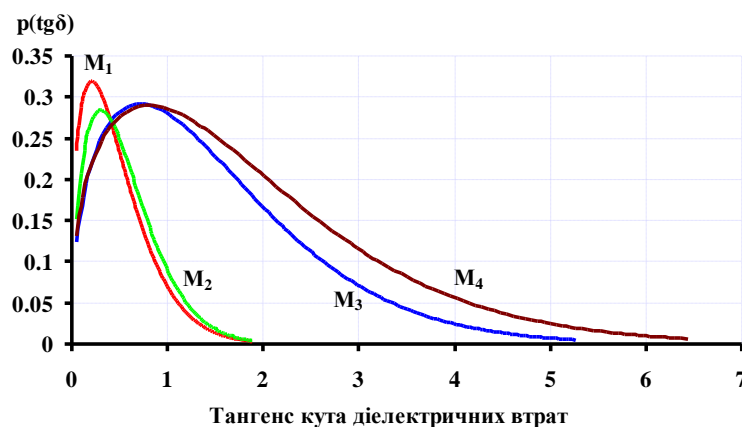


Рисунок 1 – Теоретичні щільності розподілу Вейбула для 4 аналізованих масивів

Отримані в роботі значення параметрів законів розподілу тангенса кута діелектричних втрат дозволяють скоригувати гранично-допустимі значення даного показника.

Перелік посилань

1. Shutenko, O. Maximum Permissible Value Correction for Dielectric Loss Tangent of 110 kV Air-Tight Bushing Basic Insulation Subject to Operational Factors Impact / O. Shutenko, A. Zagaynova // 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Kharkiv, 10-14 September 2018. –2018. – P. 45-50. DOI: 10.1109/IEPS.2018.8559523
2. Шутенко, О. В. Особенности статистической обработки результатов эксплуатационных испытаний при исследовании законов распределения результатов хроматографического анализа растворенных в масле газов / О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – Т. 60, № 1033. – С. 136-150.
3. Шутенко, О. В. Планирование экспериментальных исследований в электроэнергетике / О. В. Шутенко, Д. Н. Баклай. – Харьков : НТУ «ХПІ», 2013. – 268 с.

Довгалюк О.М., к.т.н., професор кафедри передачі електричної енергії
Мірошник К.А., аспірант кафедри передачі електричної енергії
Яковенко І.С., аспірант кафедри передачі електричної енергії
НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Одним з основних напрямків розвитку розподільних електричних мереж України відповідно до Енергетичної стратегії на період до 2035 р [1] є комплексне рішення задач, спрямованих на забезпечення надійності електропостачання споживачів. Питання електропостачання сільських територій стають особливо актуальними на сьогоднішній день, оскільки кількість споживачів в таких мережах досить велика, а показники надійності електропостачання для цих мереж є найнижчими в порівнянні з міськими та промисловими мережами. Так тривалість відключень споживачів для сільських електричних мереж перевищує 200 год./рік, що на порядок вище, ніж в розвинених країнах; менше половини споживачів першої і другої категорії за надійністю електропостачання мають резервне живлення; втрати електроенергії при передачі складають більше 12% [2]. Це вказує на необхідність підвищення надійності електропостачання споживачів в сільських електричних мережах, яка повинна забезпечуватися на сучасному технічно оснащеному рівні з використанням нових принципів, технічних рішень і засобів.

Одним з таких рішень для підвищення надійності сільських електричних мереж є запровадження (інтеграція) джерел розподіленої генерації (ДРГ), кількість яких за останні кілька років значно зросла завдяки підвищенню ефективності й зниженню вартості таких систем. Значна частка ДРГ використовує відновлювані джерела енергії, серед яких найбільш розповсюдженими в усьому світі є фотоелектричні системи. Для сільських електричних мереж в якості ДРГ можуть також виступати вітроенергетичні, біогазові установки та інші, підключення яких сприяє розвантаженню електричних мереж, забезпечує резерв живлення споживачів, зменшує втрати в електричній мережі.

Для аналізу надійності сільської електричної мережі, схема якої представлена на рис. 1, відповідно до вимог [3] були визначені показники надійності без ДРГ і після їх підключення.

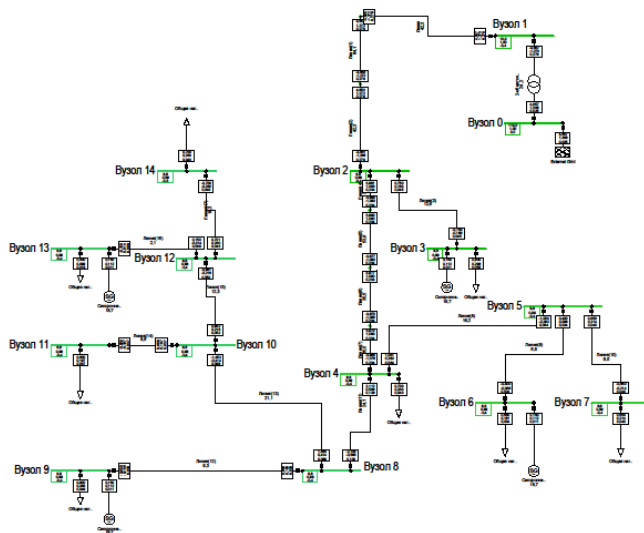


Рисунок 1 – Схема досліджуваної сільської електричної мережі

Для розрахунку був використаний програмно-обчислювальний комплекс DIgSILENT PowerFactory [4], значення показників надійності для досліджуваної сільської електричної мережі представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку показників надійності для сільської електричної мережі

Назва показника	Позначення	Одиниця виміру	Значення показника надійності для електричної мережі	
			без ДРГ	з ДРГ
Середня частота перерв електропостачання системи	SAIFI	1/г.о.·рік	16,21364	14,38271
Коефіцієнт середньої тривалості перерв електропостачання системи	SAIDI	год./г.о.·рік	196,583	167,673
Середня тривалість перерв електропостачання споживачів	CAIDI	год.	15,544	15,441
Коефіцієнт середньої експлуатаційної готовності	ASAI		0,98897	0,99227
Коефіцієнт середнього експлуатаційного простою	ASUI		0,01103	0,00772
Недовідпуск електроенергії	ENS	МВт·год./рік	212,052	76,549
Середній недовідпуск електроенергії	AENS	МВт·год./г.о.·рік	1,893	0,683
Середній недовідпуск електроенергії споживачам	ACCI	МВт·год./г.о.·рік	1,203	0,597
Очікувані витрати від перерви електропостачання	EIC	г.о./рік	0,365	0,228
Оціночний тариф недовідпущеної електроенергії	IEAR	г.о./кВт·год.	1,719	2,983
Кількість недовідпущеної енергії	SES	МВт·год./рік	193,852	58,349
Середня частота перерв електропостачання системи	ASIFI	1/рік	2,714	1,065
Середня тривалість перерв електропостачання системи	ASIDI	год./рік	40,779	14,721

Аналіз показників надійності досліджуваної електричної мережі показує, що підключення ДРГ сприяє зменшенню SAIDI, ENS, AENS та інших показників, що відповідає підвищенню надійності та якості електропостачання споживачів.

Перелік посилань

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.

2. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Офіційний веб-сайт. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=11895>.

3. Форми звітності щодо показників якості електропостачання та інструкцій щодо їх заповнення. – Затв. Постанова НКРЕКП № 374 від 12.06.2018. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0374874-18#n18>

4. DIgSILENT PowerFactory, User Manual. – Gomarigen, Germany. – 2018. – 1253 p.

Марченко В.В. студент гр. 21-Е

Цибух А.В. ст. викл. Кафедри автоматизованих електромеханічних систем

Національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,
м. Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА В АКВАКУЛЬТУРІ

В статі проведений аналіз застосування джерел квазі- та монохроматичного випромінювання при утриманні гідробіонтів в аквакультурі, розглянуті можливі області їх використання.

Постановка проблеми. Аквакультура, як міжнародно-розвинутий сектор сільськогосподарського виробництва все більше набуває розвитку в АПК України. До неї належать такі галузі, як аквапоніка та акваристика, де займаються цілеспрямованим, контрольованим вирощуванням, розведенням і утриманням гідробіонтів. Одною з основних проблем у цих галузях є збереження й відтворення гідробіонтів – об'єктів розведення й промислу, продуктивність і популяційний склад яких, постійно знижується, під посилюючимся антропогенним впливом.

Мета роботи. Пошук енергозберігаючих джерел випромінювання для створення оптимального світлового мікроклімату в спорудах аквакультури, з метою покращення умов розведення й утримання гідробіонтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виходячи з відомостей фахових видань, виробництво в аквакультура належить, до галузей, які найбільш швидко розвиваються і потребують впровадження сучасних технологій для оптимізації та диверсифікації виробництва та утримання аквакультур [1,2,3]. Насамперед до таких технологій, безперечно можна віднести застосування напівпровідникових елементів – світло – і лазерних діодів та побудованих на їх основі освітлювальних, фототерапевтичних і вимірювальних приладів.

Використання вказаних джерел квазі – та монохроматичного випромінювання відповідає тенденціям розвитку «перманентної аквакультури». Даний термін став використовуватися в світовій практиці для позначення видів аквакультури які вирощують в екологічно чистому середовищі, з високими показниками продуктивності гідробіонтів та оптимальними умовами утримання. Звертаючи увагу на те, що в сучасному світі важко знайти абсолютно екологічно чисте водне середовище, вченими була внесена пропозиція по створенню такого штучного середовища для аквакультури, де біологічні об'єкти реалізують в повному обсязі генетично закладені продуктивні можливості. Тут, основними вимогами щодо проектування установок світлового мікроклімату є:

- відсутність небезпеки забруднення ртуттю;
- відсутність шкідливого випромінювання;
- можливість забезпечення ефекту „сутінок“, що виключає виникнення стресу і реакції „втечі“ гідробіонтів, після раптового включення-вимкнення освітлення;
- відносно мала тепловіддача, яка не спричиняє неприродно велику різницю температур на поверхні водоймищ.;
- кращі конструктивні та технічні характеристики: компактність, відсутність високої напруги в джерелах живлення та потреби заземлення, мала споживана потужність, надійність та довговічність.

Вказаним технічним вимогам в повній мірі відповідають над яскраві світло – і лазерні діоди.

Як видно з таблиці 1 широкий спектр світлодіодів, які серійно випускаються у промисловості, надає можливість вибрати повноцінну заміну традиційним джерелам світла. Використання світлодіодів, для створення світлового мікроклімату, дозволяє зекономити до

80% електричної енергії при заміні ламп накаливання, і близько 40% при заміні люмінесцентних ламп [4].

Таблиця 1

Технічні характеристики світлодіодів XP-E Color, виробництва Cree inc

Колір	Глибокий синій	Синій	Зелений	Янтарний	Червоно-помаранчевий	Червоний
Довжина хвилі, нм	450-465	465-485	520-535	585-595	610-620	620-630
Світловий потік за струмом 350 мА, лм	425 мВт	30,6	100	62,0	73,9	56,8
Максимальний струм, мА	1000	1000	1000	500	700	700
Кут випромінювання, град.	130	130	130	130	130	130
Тепловий опір, °C/Вт	9	9	15	10	10	10
Падіння напруги (тип.) за струмом 350 мА, В	3,2	3,2	3,4	2,1	2,1	2,1
Розміри, мм	3,5x3,5x2,0					

Висновки. Таким чином, використання джерел квазі – та монохроматичного випромінювання є перспективним напрямком подальшої оптимізації і диверсифікації виробництва та утримання аквакультур.

Перелік посилань

1. Моисеев П. А. История и развитие аквакультуры / П. А. Моисеев, А. Ф. Карпевич, О. Д. Романцева // Морская аквакультура — М.: Агропромиздат, 1985. – С. 10-12.
2. Шалак М. В. Применение лазерного излучения в аквакультуре / М. В. ШАЛАК, Н. В. БАРУЛИН, В. Ю. ПЛАВСКИЙ // Белорусское сельское хозяйство. №4 (72) апрель 2008. – С. 81-82.
3. Фельдман М.Г. Влияние низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения на рост и развитие гидробионтов: автореф. Дис. На получ. Науч. Степени канд. Биол. Наук: спец. 03.00.18 «Гидробиология» / М.Г. Фельдман; Моск. Гос. Технол. Академия. – М., 2003. – 110 с.
4. Туркин А. Н. Применение светодиодов в светотехнических решениях: история, реальность и перспективы / А. Н.Туркин // Современные технологии автоматизации; «СТА-ПРЕСС» М. 2011. - №2.- С. 6-21.

G.G. Diachenko, O.O. Aziukovskyi, Ph.D.

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

A.V. Vizniuk, group III3-32

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

PREDICTIVE ROTOR FLUX CONTROL FOR EFFICIENT DYNAMIC OPERATION OF INDUCTION MACHINES

Autonomous driving electric vehicles will require energy-efficient and cost-effective electric drives. The main task of the control system is to secure the required torque. With a field-orientation induction machine drive, the torque T_e depends on the number of pole pairs Z_p , the q-axes stator current I_{1q} , and the rotor flux linkage Ψ_2 . There are two degrees of freedom to adjust the output. The simplest way is to keep the rotor flux constant and alter the stator current in the steady-state [1]. However, the dynamic optimization problem is more complicated since the vehicle's electric drive constantly changes its operating conditions in real road traffic. The sub-optimal online method is discussed in [2], but it is applicable only in the restricted domain of operation. Thus, it makes sense to use predictive control methods. The current paper extends the data from [3], with information about the computation time, the accuracy of predicted rotor flux trajectory, as well as the total energy saved over the cycle (Figure 1).

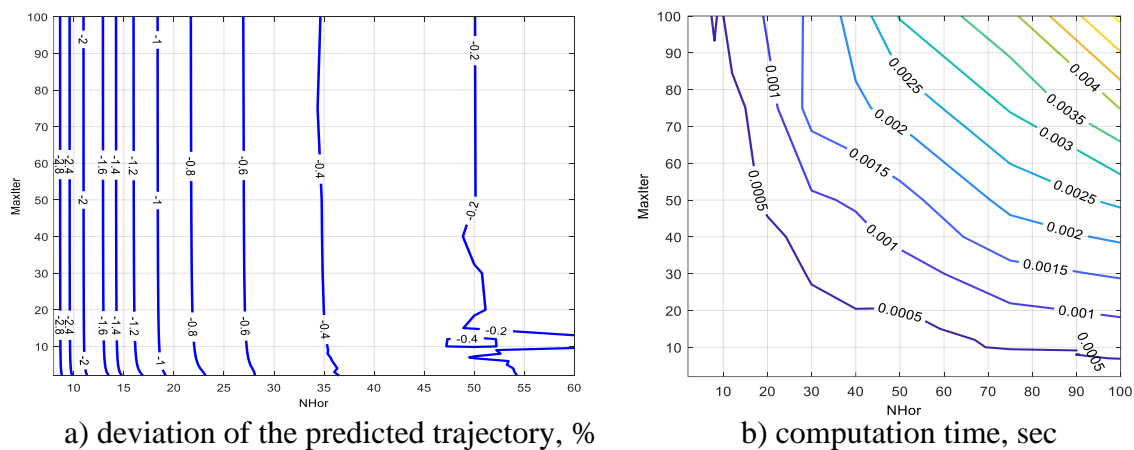


Fig. 1 – Impact of algorithm parameters: MaxIter – iterations, Nhor – number of intervals

Utilizing the numerical taxonomy, it is shown that the number of iterative steps to locate the acceptable value of the point on the trajectory of transferring the electromechanical system from the current state to the new state, determined by augmented GRAMPC, ranges from 2 to 3 provided the number of intervals on the forecast horizon from 9 to 50 providing an error value of 2.7% to 0.2% regarding the desired trajectory of the electric drive in the real-time while maintaining its efficiency with a sampling interval of $1.0e-3$ sec.

REFERENCES

- [1] Windisch, T. & Hofmann, W. (2018). A novel approach to MTPA tracking control of AC drives in vehicle propulsion systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(10), 9294-9302. DOI: 10.1109/TVT.2018.2861083
- [2] Grăcar, B., Hofer, A. & Štumberger, G. (2020). Induction machine control for a wide range of drive requirements. *Energies*, 13(1), 175. DOI: 10.3390/en13010175

[3] Diachenko, G. G. & Aziukovskyi, O. O. (2017). Investigation of the process parameters influence on the energy efficiency of an induction motor under model predictive control GRAMPC. *Mechanics, Materials Science & Engineering*, 12, 1-8. DOI: 10.2412/mmse.5.86.76

ВИРІВНЮВАННЯ ГЕНЕРАЦІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ДВОСТОРОННІХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

Поновлювані джерела енергії, до яких прийнято відносити в основному енергію сонця, води, вітру, біомаси, демонструють позитивну динаміку частки в глобальному енергетичному балансі. Це обумовлено наступними обставинами:

- боротьба з глобальним потеплінням набуває все більш систематичний характер;
- розвиток електрогенерації на основі відновлюваних джерел енергії має цільову підтримку з боку держав, тарифне і податкове стимулювання дозволяє конкурувати з генерацією на основі традиційних джерел енергії;
- вартість фотовольтаїки знижується - вартість сонячних панелей в світі знижується на 10% щорічно.

Однією з проблем сонячної енергетики є залежність генерації від часу доби. Пік генерації доводиться як правило на полудень.

При цьому основне споживання електроенергії припадає на ранкові та вечірні години, в так звані піки.

Під час піків вартість електроенергії для підприємств максимальна.

Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати БФ модулі.

Двосторонні сонячні панелі виготовляються з фотоелементів, які поглинають сонячне випромінювання, як з лицьового, так і з тильної сторони. Як правило, ефективність перетворення сонячного випромінювання на лицьовій стороні такого фотоелемента на кілька відсотків вище, ніж на тильній стороні і досягає значення 19%. Ефективність фотоелемента з тильного боку - 14-15%.

Сонячна радіація, яка надходить до поверхні Землі, поглинається нею в повному обсязі. Частина радіації відбивається поверхнею. Ставлення відбитої радіації до сумарної радіації Сонця і атмосфери називається альбедо.

Виконані раніше дослідження показали, що стандартна установка двосторонніх ФЕМ на фотостоли неефективна через найнижчого значення альбедо і, отже, низькою відбитої сонячної радіації.

Тому певний інтерес представляє вертикальна установка ФЕМ, при якій максимуми вироблення збігаються з ранковим і вечірнім піком енергоспоживання.

Оскільки ККД сторін модуля різний, вироблення буде залежати від азимута і орієнтації лицьового боку модулів схід - захід.

Мета дослідження - аналіз генерації двосторонніх ФЕМ при різній орієнтації модулів.

При аналізі ефективності використання двосторонніх ФЕМ в якості об'єкта дослідження були взяті модулі LR6-60 HBD 310 M Bifacial виробника Longi Solar.

В результаті моделювання було встановлено, що при азимут 60 градусів маємо явно виражені піки в ранкові або вечірні години, при азимут 90 градусів піки менш виражені, при азимут 120 градусів маємо майже симетричні ранкові та вечірні піки.

При вертикальній установці щоб уникнути затінення модулів необхідна велика відстань між модулями. Як показали дослідження, ця відстань повинна бути близько 6 метрів.

Тому одне з найбільш ефективних застосувань двосторонніх ФЕМ це використання їх в якості шумових бар'єрів, розташованих уздовж доріг і залізничних колій. У цьому випадку

ми можемо встановити їх симетрично з орієнтацією лицьового боку модулів схід - захід. При установці уздовж доріг азимут буде постійно змінюватися. Це може створювати деякі проблеми при прогнозуванні генерації.

Однак дослідження показали, що при зміні азимута час піку сумарною генерації модулів, орієнтованих на схід і захід передньою стороною, не змінюється. При цьому ранковий піковий час о 8:00, денний піковий час 14:00.

Таким чином, використання двосторонніх модулів дозволяє значно збільшити вироблення електроенергії в години пік і вирівняти продуктивність сонячних електростанцій.

Висновки.

При зміні азимута час піку сумарної генерації модулів, орієнтованих лицьовою стороною на схід і на захід, не змінюється.

Час ранкового піку 8:00 Час післяобіднього піку 14:00

Використання двосторонніх ФЕМ дозволяє істотно підвищити вироблення електроенергії в пікові години і вирівняти графік генерації сонячних електростанцій.

**Хілов В.С, проф., д.т.н., Кобилянський С.В., аспірант
Морозова Н.О., студ.гр.141-19-7**

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

ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ

Експлуатація промислових електроустановок супроводжується проблемами, пов'язаними з наявністю струмів витоку через недосконалу ізоляцію в кабельних мережах. Останнє призводить до непродуктивних втрат електроенергії, зниження коефіцієнта корисної дії мережі, прискореного старіння ізоляції, підвищення ймовірності її пробую і виникнення, як наслідок, аварійних ситуацій. Рішення проблеми контролю та обмеження струмів витоку є суттєвим резервом на шляху вирішення комплексної проблеми енергозбереження.

Помилки при проектуванні і виборі комплектуючих виробів, типів проводів і видів ізоляції, низька культура монтажу електроустановок будівель, неякісне проведення планово-попереджувальних і регламентних робіт складають основні причини виникнення струмів витоку.

Згідно правил улаштування електроустановок при монтажі нових мереж та реконструкції існуючих мереж електропостачання впроваджується трьох- і п'яти провідні схеми, що передбачають використання додаткового нульового захисного провідника. Досить поширеною є помилка в підключенні електроустаткування за цими схемами, яка полягає в тому, що нульовий захисний і нульовий робочий провідники мають одну або навіть кілька загальних електричних контактів у внутрішній розподільній мережі, і що призводить до появи неконтрольованого розтікання струмів по металевим конструкціям, трубопроводах систем водопостачання, опалення та каналізації будівель.

Крім помилок монтажу існує ряд інших причин, які призводять до появи струмів витоку: погіршення стану контактних з'єднань в колах нульових робочих провідників, погіршення стану ізоляції фазних проводів та ін.

Наявність струмів витоку крім непродуктивних втрат енергії викликають прискорене старіння ізоляції, що, в свою чергу, призводить до ще більшого збільшення струмів витоку, «невиправданого» спрацьовування пристроїв захисту і, як наслідок, неадекватній зниження надійності електропостачання.

Старіння ізоляції, пов'язане зі збільшенням струмів витоку, може носити також і лавиноподібний характер, що призведе до спрацьовування захисних пристроїв з невідомої для технічного персоналу причини і перерв в електропостачанні.

Крім того, наявність струмів витоку в розподільних мережах викликає прискорену корозію металевих споруд.

На теперішній час в шахтних мережах і мережах гірничо-рудних кар'єрів контроль ізоляції та захисне відключення здійснюється за допомогою автоматичних апаратів захисту. У цих апаратах для зниження струму через тіло людини застосовується компенсація ємнісної складової цього струму. Досягається це включенням в мережу компенсуючого дроселя [2, 3].

Для оцінки струмів витоку через ізоляцію на землю були проведені дослідження різних пристроїв контролю опору ізоляції [4].

Метою досліджень було розробка вдосконаленого пристрою контролю опору ізоляції, що дозволяє знизити до заданого мінімального значення струмів витоку через ізоляцію.

В даний час в промисловому виробництві знайшло широке застосування пристрій захисного відключення (УЗО) - автоматичний пристрій захисту людей від ураження електричним струмом та електрообладнання від загоряння при зниженні опору ізоляції. Цей пристрій по суті виконує функцію контролю струмів витоку і працює за принципом відключення контрольованої мережі при перевищенні струмом витоку порога спрацьовування УЗО.

Хоча УЗО, завдяки своїй простоті, надійності і ефективності захисту, і набули масового поширення, однак їм притаманний один суттєвий недолік: УЗО виробляються на одне фіксоване значення струму зі стандартного ряду (10, 30, 100 і 300 мА) і працюють за спрощеним принципом « включено-вимкнено ». Це призводить часто до неадекватних відключень електроустановки.

Всі відомі УЗО містять датчик диференціального струму (ДТ), пороговий елемент (ПЕ) і виконавчий елемент (ВЕ). Виділяється датчиком ДТ сигнал - змінна напруга або струм з частотою мережі, що захищається - надходить на пороговий елемент і, при перевищенні значення його порога спрацьовування (заданий фіксоване значення струму), призводить до переходу ПЕ в стан, при якому спрацьовує виконавчий елемент і здійснюється захисне відключення електроустановки .

Кафедрою електротехніки НТУ Дніпровська політехніка спільно з ТОВ «ОРКІС» (Україна, м.Кривий Ріг) запропоновано новий пристрій контролю опору ізоляції з функцією аналізу струмів витоку [5].

Розроблене УЗО з функцією контролю струмів витоку дозволить своєчасно зафіксувати зниження опору ізоляції та провести профілактичні заходи щодо запобігання аварійної ситуації - відключення споживача.

Застосування даного пристрою дозволить отримати значний економічний ефект за рахунок предотвращення матеріального збитку від виникнення неприпустимих струмів витоку і відсутність невиправданих відключень електроустановок.

Перелік посилань

1. Цапенко Е.Ф., Шкундин С.З. Электробезопасность на горнах предприятиях. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 237 с.
2. Дзюбан В.С., Риман Я.С., Маслий А.К. Справчник энергетика угольной шахты. – М.: Недра, 1983. – 542 с.
3. Цапенко Е.Ф., Сычев Л.И., Кулешов П.Н. шахтные кабели и электробезопасность сетей. – М.: Недра, 1988. – 213 с.
4. Хілов В.С., Фофанов К.П., Носаненко Є.В. Дослідження можливостей використання інформаційно-вимірювальної системи для визначення складових частин опору ізоляції кабельної мережі. Гірнична електромеханіка та автоматика. Дніпропетровськ, ДВНЗ, 2015, №94, с. 21-24.
5. Патент України №111784. Спосіб безперервного контролю опору ізоляції кабельної мережі з ізолюваною нейтраллю. Автори В.С.Хілов, К.П.Фофанов. Власник Державний ВНЗ «НГУ». Бюл. 11, від 10.06.2016.

Олішевський І.Г., асистент та аспірант кафедри БІТ, НТУ «ДП»
 Папаїка Ю.А., д.т.н., завідувач кафедри електроенергетики, НТУ «ДП»
 Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Електроенергетична система та система електропостачання - це сприятливе середовище для генерації, розподілу та впливу електромагнітних перешкод на інші системні блоки (приймачі електричної енергії). Електромагнітні перешкоди мають абсолютно негативний вплив на електромережу, і вони здатні серйозно знизити якість електроенергії. Сьогодні ми стикаємося з двома найважливішими проблемами, такими як: якість електроенергії та надійність живлення. Ці проблеми слід вирішити, щоб забезпечити електропостачання в необхідній кількості та необхідній якості.

Основним завданням поточного проекту є побудова характеристик зниження надійності енергосистем залежно від рівня несинусоїдальності напруги за допомогою розробленої методики розрахунку.

В роботі [1] було виконано моделювання показників надійності силових трансформаторів, для дослідження впливу несинусоїдальності на надійність роботи силових трансформаторів. Цей підхід також було використано для даного дослідження.

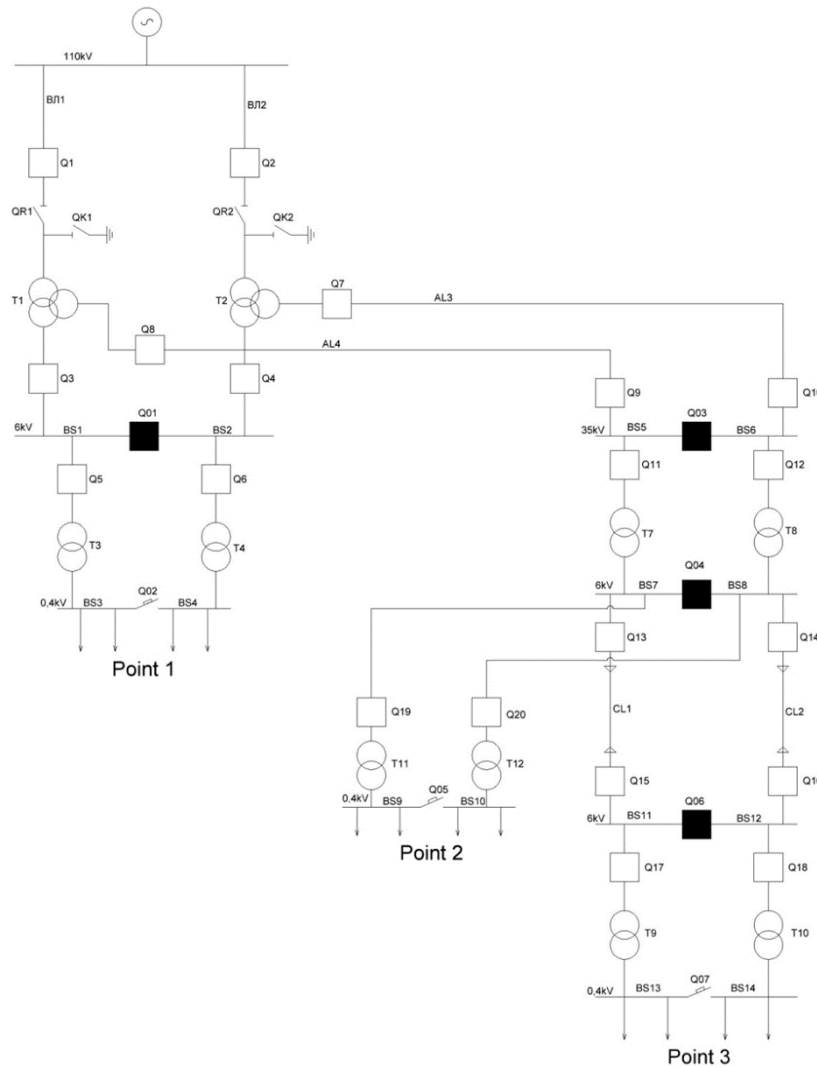


Рисунок 1 – Принципова схема змодельованої системи електропостачання

Ми визначили вплив вищих гармонік на надійність системи електроживлення. Усі розрахунки базувались на двох видах систем енергопостачання, таких як трансформатори та кабельні лінії. Враховувалися два режими роботи енергосистеми - максимальний і мінімальний, і для кожного з них було 3 типи конфігурацій енергосистеми (Рис. 1). Основна відмінність між варіантами конфігурацій - повний опір системи електроживлення. Такий параметр, як імпеданс системи, відіграє значну роль у запобіганні проникнення вищих гармонік. Чим менше значення, тим менше шкоди можуть спричинити більш високі гармоніки системи. Це було доведено шляхом розміщення одних і тих же типів знижувальних трансформаторів в різні точки енергосистеми.

Переважно, більш висока здатність до проникнення гармонік залежить від опору ураженого обладнання. На знижувальний трансформатор ОТ-40 взагалі не впливають більш високі гармоніки, оскільки значення його імпедансу надзвичайно високе і блокує всі вищі гармоніки, що надходять на сторону високої напруги. Зовсім інша ситуація стосується понижуючого трансформатора ОТ-2500, який має порівняно невелике значення імпедансу. Так, у випадку ПГС 12% на стороні низької напруги, ПГС на стороні високої напруги зазвичай доходить до 2,77%. Таке значення ПГС дозволено на рівні напруги 6-10 кВ, але, оскільки наша система електроживлення максимально завантажена в першій частині, навіть таке значення може призвести до значного зниження надійності енергосистем. Наприклад, як кабельні лінії 6 кВ, які більш чутливі до впливу вищих гармонік. Для послідовного з'єднання з трансформатором ОТ-2500 на кабельну лінію 2 значно впливають вищі гармоніки, а загальне зниження її надійності становить 50,68% у разі несинусоїдального коефіцієнта на стороні низької напруги рівного 12%. Це означає, що в цьому випадку кабельна лінія втрачає близько 10 років свого терміну експлуатації.

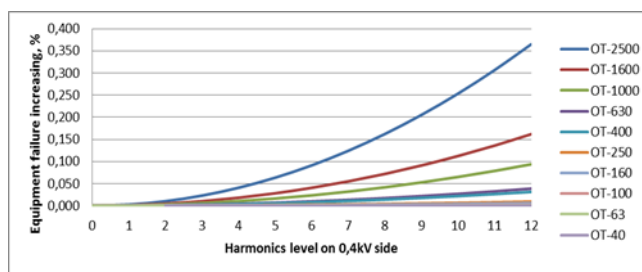


Рисунок 2 – Загальне зниження надійності живлення в точці 1 залежно від рівня гармонік

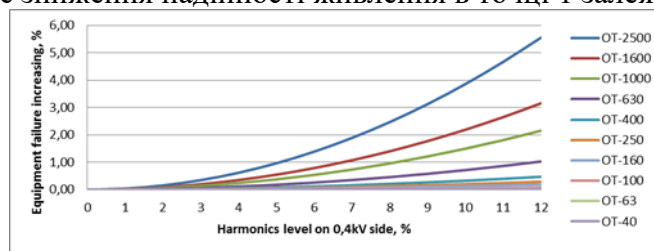


Рисунок 3 – Загальне зниження надійності живлення в точці 2 залежно від рівня гармонік

Підсумовуючи результати розрахунків, можна сказати, що трансформатори не надто чутливі до впливу вищих гармонік (Рис. 2–3). Для несинусоїдального коефіцієнта рівного 12% на стороні низької напруги, що є максимально дозволеним значенням за ГОСТом, зниження показника надійності трансформатора ОТ-2500 становить 6,76%. Це приблизно 1,2 року загального скорочення часу експлуатації трансформатора.

Перелік посилань

1. Папайка Ю.А., Півняк Г.Г., Жежеленко І.В. Енергетична ефективність систем електропостачання. – Д.: НТУ «ДП», 2018. – 149 с.

Федоров С.І. ст. преподаватель кафедры электротехники,

Бородай В.А. доцент кафедры электропривода

Национальный технический университет "Днепровская политехника", Днепр, Украина

АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО НАГРЕВА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ.

На кафедре электротехники НТУ «ДП» в 2019-2020 годах продолжались работы по исследованию влияния температуры на эффективность работы фотоэлектрических солнечных панелей. Важное значение таких исследований подтверждается тем, что работы в этом направлении ведутся в ведущих научно-исследовательских институтах и университетах как Украины так и за рубежом. По результатам этих работ опубликовано множество статей в научной периодике [1]-[8] и тд.

Ранее [9] отмечалось что, рост температуры солнечных панелей выше номинальной рабочей температуры солнечного элемента (стандарт NOCT) негативно сказывается на их способность генерировать электрическую энергию. КПД солнечных панелей в летнее время в солнечную, ясную погоду (под действием температуры 70-80 °С) снижается до 68-80 % от номинального. Зимой солнечные панели нагревается до температуры 35-45 °С, при этом КПД панелей снижается до 88-94 % от указанного производителем.

Авторами были проведены экспериментальные исследования температуры передней (фронтальной) и задней (тыловой) поверхностей солнечных модулей в условиях лаборатории кафедры «Електротехники» НТУ «ДП».

Эксперимент проводился на экспериментальном стенде, который включал в свой состав: два солнечных фотоэлектрических модуля на перемещаемом каркасе, регулируемый по интенсивности и углу падения лучей источник искусственного освещения (близкий по параметрам освещенности к солнцу), измерительная аппаратура для измерения тепловых и электрических параметров фотоэлектрических модулей.

Существует несколько методов для определения температуры нагрева фронтальной и тыловой поверхности солнечных модулей. В нашем случае измерения температуры проводилось с помощью следующих устройств:

1. инфракрасного пирометра,
2. датчиков температуры закрепленных на поверхностях модуля [10]
3. тепловизором (метод визуализации инфракрасного изображения).
4. также был проведен нагрев солнечных модулей по близким к стандартным условиям испытаний (NOCT) до номинальной рабочей температуры солнечного элемента (при выполнении эксперимента, измеренная другими методами температура ячеек составила 42-48 °С (по NOCT 45 °С). [9]

По результатам испытаний сделаны следующие выводы: Наиболее перспективным для определения температуры поверхности солнечных модулей признан метод визуализации инфракрасного изображения (с помощью тепловизора), как обладающий наибольшими преимуществами по отношению к другим методами.

Подтверждены полученные ранее результаты [9] снижения КПД до 67-81 % при летних температурах окружающей среды (опыты проводились в лаборатории температура достигала 18-23 °С.)

Для повышения КПД при перегреве солнечных модулей хотя бы до первоначальных значений необходимо применять меры по охлаждению этих модулей.

В дальнейшем по приведенной ранее методике на разработанном стенде будет проверен метод снижения перегрева модулей с помощью использования в качестве теплоотводящих (охлаждающих) устройств элементов Пельтье с вентиляторами, запитанными энергией от этих же элементов. Увеличение КПД солнечных модулей даже на несколько

процентов будет иметь значительный эффект при использовании его на солнечных электростанциях большой мощности.

Список литературы

1. Кубов В. И. Тепловой режим солнечных фотоэлектрических батарей / В. И. Кубов, А. А. Павленко // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів. – Кременчук : КДУ, 2014. – С. 31–33.
2. Андреев В. И. Анализ температурных аномалий в солнечных фотоэлектрических батареях / В. И. Андреев, М. Д. Гончарук, Л. П. Клименко, Д. Д. Зюляев, В. И. Кубов, Р. М. Кубова, А. А. Павленко // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"]. Серія : Техногенна безпека. Радіобіологія. - 2015. - Т. 261, Вип. 249. - С. 30-38.
3. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar engineering of thermal processes. New York: John Wiley & Sons, 2013.
4. Sologubov A.Yu., Kirpichnikova I.M. Electrotechnical Complexes of Heliotechnical Devices: a Generalized Classification // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». Южно-Уральский государственный университет. 2019. Том. 19. № 1. С. 35–42
5. Кирпичникова И.М., Махсумов И.Б. Исследование температуры поверхности солнечных модулей с использованием голографической защиты от перегрева // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2019. Т. 15, № 4. С. 19–30.
6. Кирпичникова И. М. Махсумов И. Б. /Повышение энергетической эффективности работы солнечных модулей за счет снижения температуры поверхности// Известия ТулГУ Технические науки. Южно-Уральский государственный университет , вып.2 2020 – С. 489-499.
7. Jordehi A.R. Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 61. P. 354–371.
8. Siecker J., Kusakana Numbi K., B.P. A review of solar photovoltaic systems cooling technologies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 79. P. 192–203.
9. Федоров С.І. Повышение энергоэффективности фотоэлектрических солнечных панелей, работающих в условиях перегрева Міжнародна науково-практична конференція «Енергозбереження та енергоефективність» – 2019. Збірник тез. Дніпро. Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", 28-29 листопада 2019 р. –76с.
10. Stefan K., Alexander P. Comparison of Module Temperature Measurement Methods // 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). (Philadelphia, PA, USA, 7–12 June 2009). Philadelphia, 2009.

Глухова Н.В., доцент, к.т.н.,

Купчик М.С., студентка

Національний ТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна _

РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДАВАЧА MQ-9

Давач MQ-9 - це пристрій, який перетворює неелектричні величини в електричні. Найчастіше під давачем розуміють приймач і перетворювач вимірюваної величини низької вартості, який водночас є надійним, володіє помірною точністю та придатний для багатосерійного виробництва. Однією з метрологічних характеристик давача є чутливість. Чутливість - відношення зміни сигналу на виході вимірювального перетворювача (ВП), який відображає зміну вимірюваної величини, до зміни сигналу на вході ВП, що його викликає. Чутливість засобів вимірювань - це здатність реагувати на зміни вхідного сигналу.

На рис. 1 зображено графік статичної характеристики MQ-9. Графік відображає залежність опору давача від концентрації газу. Ордината означає коефіцієнт опору давача, абсциса - концентрації газів. R_s означає опір в різних газах з різною концентрацією, R_0 означає опір давача в 1000ppm (R_0 відповідає опору сенсора в чистому повітрі). Всі випробування проводилися в стандартних умовах випробувань [1]. Згідно графіку визначено, що мінімальна концентрація, яку можливо визначити, становить 200 ppm, а максимальна - 10000 ppm, Тобто, давач визначає концентрацію газу, яка знаходиться у межах від 0,02% до 1%.

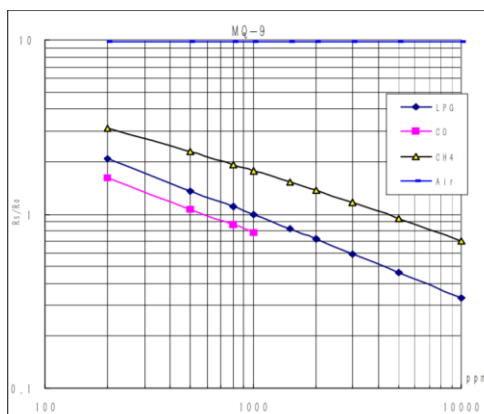


Рисунок 1 – Статична характеристика давача MQ-9

Щоб знайти залежність між опором та концентрацією CO у повітрі, використовуємо ступеневу апроксимацію нелінійних статичних характеристик для модельованих даних, отриманих при дослідженні давача газу CO MQ-9. У рамках виконаних досліджень було розроблено віртуальну модель приладу. До моделі приладу було включено випадкову складову похибки з нормальним розподілом так, що отримані модельні дані не виходять за межі похибки відповідно до паспортних даних давача.

На рис. 2. зображено перший фрейм блоку діаграми розробленої віртуальної моделі давача. Перший фрейм моделює роботу давача MQ-9 під час вимірювання концентрації CO, без урахування можливої похибки. Також у моделі можна задати та врахувати максимально можливу похибку відповідно до паспортних даних давача. Вивід значення відповідної шуканої концентрації CO відбувається в масив з назвою «output array».

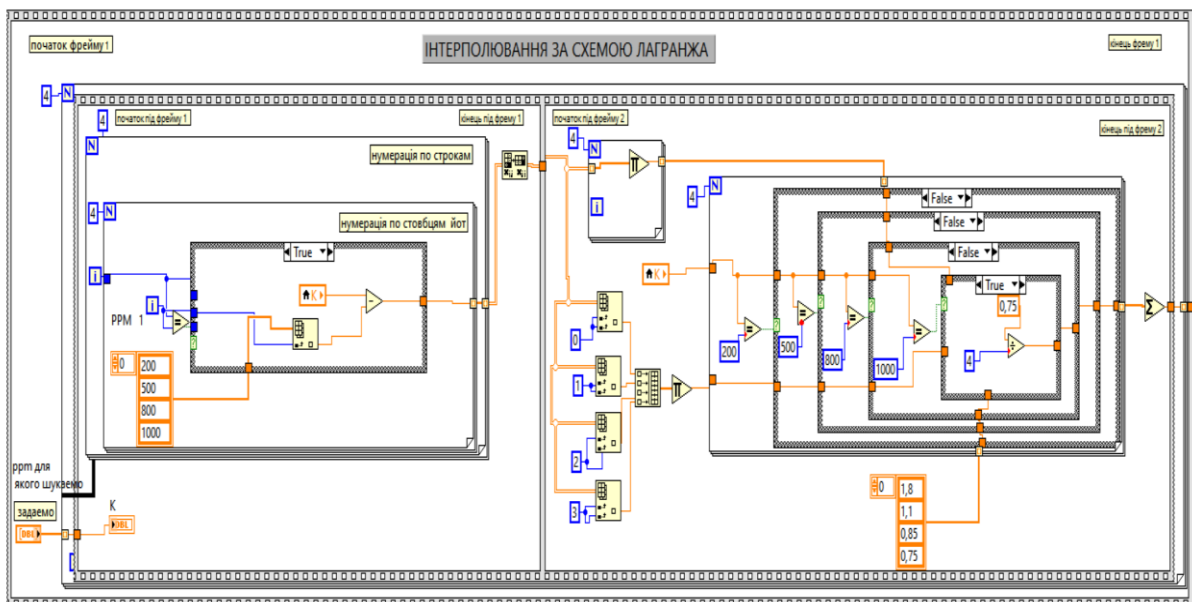


Рисунок 2 - Фрагмент блок-діаграми віртуальної моделі роботи датчика MQ-9

У віртуальному інструменті виконується поліноміальна апроксимація даних з виводом функції, що найбільш точно описує залежність, яка відтворюється в інтерфейсі користувача програмної моделі (рис. 3). Розрахунки для апроксимації виконуються за допомогою вбудованої функції LabView «General Polynomial Fit» [2]. Рисунок 3 відображає лицьову панель для користувача, на якій відображається розрахована формула апроксимації та графік апроксимації, яка проводилась за попередньо заданими користувачем величинами PPM і значення опору, для яких кількісні дані автоматично визначаються у першому фреймі.

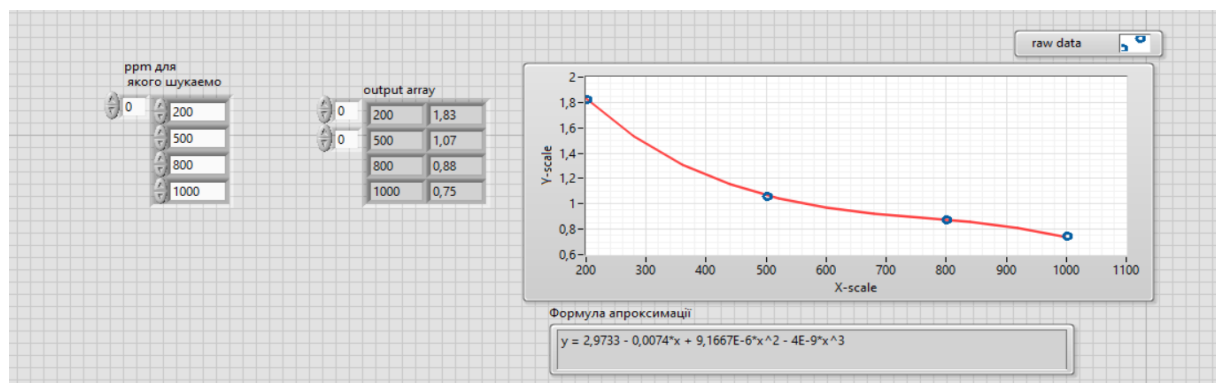


Рисунок 3 - Інтерфейс користувача віртуальної моделі датчика MQ-9

Таким чином, розроблена віртуальна модель дозволяє виконати апроксимацію функції перетворення датчика. Результати роботи програми отримуються як у вигляді графічної залежності, так і в аналітичній формі.

Перелік посилань

1. <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-9/MQ9.pdf>
2. Луценко Г.В. програмні засоби National Instruments у навчанні основ ідентифікації об'єктів автоматизації студентів-інженерів // Інформаційні технології і засоби навчання, 2018, Том 63, №1. – С. 146-161.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЦІОНАРНИХ ТА ПЕРЕНОСНИХ ПРОЛИВНИХ УСТАНОВОК

Враховуючи необхідність розумного, економного споживання природних ресурсів, викликану невпинним зростанням чисельності населення та його споживчих потреб, зокрема водопостачання та водовідведення, необхідність методологічного, технологічного та технічного забезпечення метрологічного контролю засобів обліку води в мережах водопостачання та водовідведення - калібрування та перевірки метрологічних характеристик лічильників води (далі – лічильник) та витратомірів води (далі – витратомір), залишається невичерпною [1].

Окрім побутових потреб, витратоміри води широко застосовуються у різних галузях промисловості та сільського господарства. При автоматизованому керуванні технологічними процесами виробництва виникає потреба отримання кількісної інформації щодо значень технологічних параметрів. Точність та достовірність отриманих результатів вимірювань напряду впливає не тільки на якість продукції, що виробляється, але й на економічні показники технології виробництва.

У багатьох галузях виробництва з метою регулювання технологічних параметрів є необхідність контролю витрати води, яка виступає одним з ключових енергоресурсів. Номенклатура сучасних витратомірів достатньо велика, що обумовлено широкими діапазонами їх дії та різноманітним вимогам щодо метрологічних характеристик, які обумовлені особливостями конкретного технологічного процесу. Обґрунтований вибір певного виду витратоміру повинен враховувати увесь спектр вимог до надійності, точності та вартості. Також при виборі витратомірів слід звертати увагу на їх конструктивні особливості, які визначаються фізичними характеристиками не тільки досліджуваного рідиннофазного середовища, але й фізичними параметрами навколишнього середовища. Для встановлення метрологічних характеристик витратомірів необхідно виконувати процедури калібрування та повірки з використанням спеціальних пристроїв.

Проливна установка – типовий пристрій, призначений для калібрування та повірки лічильників та витратомірів, – широко експлуатується метрологічними центрами, калібрувальними, повірочними лабораторіями та іншими вповноваженими з виконання даних робіт підприємствами та організаціями [2].

Проливні установки поділяють на стаціонарні та переносні. Стаціонарна установка забезпечує можливість калібрування/перевірки метрологічних характеристик масовим методом та методом звірення з еталонним засобом вимірювання декількох одночасно підключених лічильників/витратомірів різних сумісних з'єднань типу DN, але має суттєвий недолік – масо-габаритні параметри передбачають виділення вільної площі 1500x2500 мм для розташування установки у приміщенні [3].

Мобільна проливна установка експлуатується для калібрування та перевірки метрологічних характеристик лічильників та витратомірів, розташованих на відстані до 50 метрів від місця її підключення - коли демонтаж ЗВТ неможливий, не є доцільним, або у інших випадках, коли ЗВТ необхідно повірять на місці. Мобільний пристрій вагою 7 кг розміщується у кейсі з габаритами 500x400x200 мм. Втім, доступні типорозміри з'єднання лічильників та витратомірів обмежуються DN10, DN15 та DN20, та найбільш суттєвий недолік – можливість проведення повірки лише методом звірення, що обмежує діапазон засобів обліку води, які можуть повіряться на такій установці [4].

Метрологічні характеристики стаціонарної та мобільної проливних установок, обраних для порівняння за критерієм максимально відтворюваної об'ємної витрати наведені у табл. 1.

Табл. 1. Порівняння метрологічних характеристик стаціонарної та мобільної проливних установок

Параметр	Стаціонарна установка АС-15	Мобільна установка АС-П
Максимально відтворювана витрата, м ³ /Год	1,5	1,5
Мінімально відтворювана витрата, м ³ /Год	0,03	0,015
Основна похибка при роботі методом звірення, %	0,3	0,3
Основна похибка при роботі методом статичного зважування, %	0,15	н/д

Калібрування або перевірка метрологічних характеристик лічильників та витратомірів методом статичного зважування забезпечує максимальну точність. При цьому вартість мобільної та стаціонарної установок складає 169 750 грн проти 275 000 грн.

Пропонується для зниження масо-габаритних параметрів проливної установки здійснювати статичне зважування у двох ємностях шляхом багаторазового реверсивного перетоку рідини, як показано на рис.1.

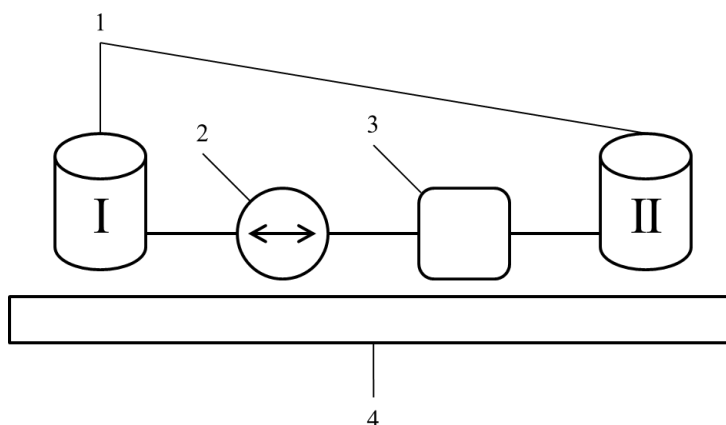


Рисунок 1 – Структурна схема проливної установки: 1 – ємності; 2 – реверсивний насос; 3 – прилад, що калібрується/перевіряється; 4 – зважувальний пристрій

Таким чином, у розробці та впровадженні мобільної проливної установки для контролю метрологічних характеристик витратомірів та лічильників можна виділити перспективи підвищення точності установки, зниження її вартості та масо-габаритних параметрів.

Перелік посилань

1. Колупаева В. Б. Водные ресурсы в системе экономических отношений - <https://cyberleninka.ru/article/n/vodnye-resursy-v-sisteme-ekonomicheskikh-otnosheniy/viewer>
2. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0084-17/ed20161223#n25>
3. <https://tehnoetalon.com.ua/p26699652-ustanovka-prolivnaya-rashod.html>
4. <https://tehnoetalon.com.ua/p289796549-ustanovka-prolivnaya-perenosnaya.html>

КЕРУВАННЯ ДОВЖИНОЮ ПРОКАТУ ЗА РАХУНОК ЗМЕНШЕННЯ ДОВЖИНИ ЙОГО СЕРЕДНЬОЇ ДІЛЯНКИ

Дрібносортний прокат одна з найбільш затребуваних експортних позицій. В даний час даний тип прокату випускається на високопродуктивних дрібносортних станах. Основні витрати при виробництві на таких станах припадають на матеріали вихідної заготовки, які складають більше 90% від собівартості прокату. При виробництві мірного прокату утворюється технологічна обрізь, що призводить до втрати товарної продукції, тому питання скорочення технологічного обрізі є актуальними [1].

Зазвичай прокатний стан налаштовується таким чином, щоб геометричні розміри середньої ділянки лежали в мінусовому полі допуску [2], а кінцева ділянка в плюсовому. На підставі цього запропонована в якості пріоритетної стратегія зменшення довжини середньої ділянки за рахунок збільшення її геометричних розмірів. Дана стратегія може бути використана в разі, коли прогнозована довжина немірної частини прокату менша діапазону регулювання довжини середньої ділянки прокату при прокатці з позитивним полем допуску (рис. 1):

$$l_H < \Delta l_{\text{сдппд}}, \quad (1)$$

де l_H – довжина немірної частини прокату (м), $\Delta l_{\text{сдппд}}$ – діапазон регулювання довжини середньої ділянки прокату при прокатці з позитивним полем допуску (м).

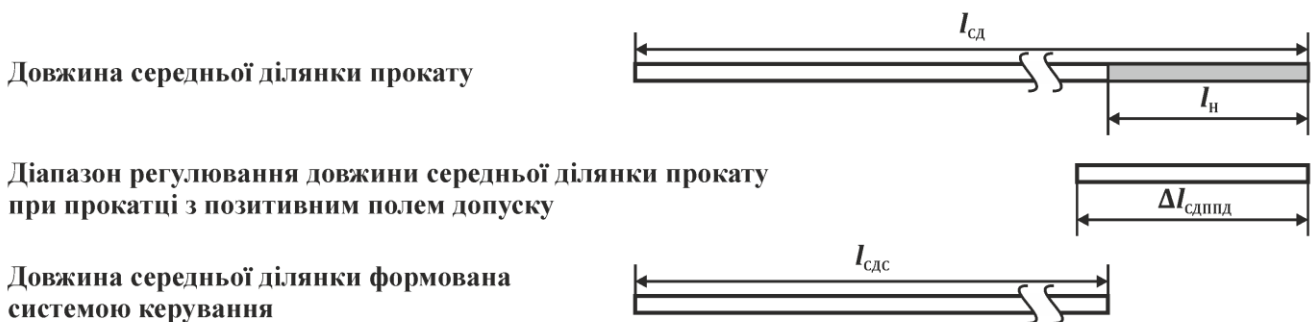


Рисунок 1 – Стратегія зменшення довжини середньої ділянки прокату

Довжина немірної частини прокату є різницею між довжиною прокату та довжиною прокату кратною мірній довжині:

$$l_H = l - l_{\text{км}}, \quad (2)$$

де l – довжина прокату (м), $l_{\text{км}}$ – довжина прокату кратною мірній довжині (м).

Довжина мірної частини прокату залежить від довжини мірного стрижня:

$$l_{\text{км}} = \left\lfloor \frac{l}{l_{\text{мс}}} \right\rfloor \cdot l_{\text{мс}}, \quad (3)$$

де $l_{\text{мс}}$ – довжина мірного стрижня (м), $\lfloor \cdot \rfloor$ – округлення до найближчого меншого цілого.

Діапазон регулювання довжини середньої ділянки прокату при прокатці з позитивним полем допуску визначається виходячи з довжин середніх ділянок:

$$\Delta l_{\text{суппд}} = l_{\text{сд}} - l_{\text{сдппд}}, \quad (4)$$

де $l_{\text{сд}}$ – довжина середньої ділянки прокату (м), $l_{\text{сдппд}}$ – довжина середньої ділянки прокату при прокатці з позитивним полем допуску (м).

Довжина середньої ділянки прокату при прокатці з позитивним полем допуску визначається на підставі об'єму середньої ділянки прокату та його геометричних розмірів, одержаних при прокатці з позитивним полем допуску:

$$l_{\text{сдппд}} = \frac{V_{\text{сд}}}{h_{\text{ппд}} \cdot b_{\text{ппд}}}, \quad (5)$$

де $V_{\text{сд}}$ – об'єм середньої ділянки прокату (м³), $h_{\text{ппд}}$ – висота прокату при прокатці з позитивним полем допуску (м), $b_{\text{ппд}}$ – ширина прокату при прокатці з позитивним полем допуску (м).

Об'єм середньої ділянки прокату залежить від її довжини та геометричних розмірів:

$$V_{\text{сд}} = l_{\text{сд}} \cdot h_{\text{сд}} \cdot b_{\text{сд}}, \quad (6)$$

де $h_{\text{сд}}$ – висота прокату на середній ділянці (м), $b_{\text{сд}}$ – ширина прокату на середній ділянці (м).

При виконанні умови (1) довжина середньої ділянки прокату формована системою керування визначається як:

$$l_{\text{сдс}} = l_{\text{сд}} - l_{\text{н}}, \quad (7)$$

де $l_{\text{сдс}}$ – довжина середньої ділянки прокату формована системою керування (м).

Використання запропонованої пріоритетної стратегії керування довжиною прокату на його середній ділянці дозволить зменшити кількість технологічної обрізи, за умови коли прогнозована довжина немірної частини прокату менша діапазону регулювання довжини середньої ділянки прокату при прокатці з позитивним полем допуску.

Перелік посилань

1. Бешта А.С. Система рациональных технико-экономических показателей при производстве мелкосортного мерного проката в стержнях / А.С. Бешта, О.А. Бойко, Т.В. Куваева // Збірник наукових праць НГУ. – 2015. – №48. – С. 183 – 188.

2. Куваєв В.М. Зниження втрат металу на основі узгодженого керування довжиною і розрізанням сортового прокату / В.М. Куваєв, О.О. Бойко, Н.О. Новодранова // XVII науково-технічної конференції «ПОТУРАЇВСЬКИ ЧИТАННЯ»: тез. доп. міжнар. наук.-практ. конф., Дніпро, 25 січня 2019 р. – Д. НТУ «ДП», 2019. – С. 13.

Бубліков А. В., доц. кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

Косенко Я. Ю., студент

Національний ТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВЕРХНІМ ПЕРЕПАДОМ ТИСКУ ПО ШАХТІ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Актуальність. Безперервне збільшення потужності доменних печей та впровадження нових методів інтенсифікації технологічного процесу суттєво підвищили продуктивність доменного виробництва і збільшили витрати сировини, енергії і продуктів плавки, що використовуються у виробничому процесі. Сучасний доменний цех щодоби споживає понад 50-60 тис. тон різних матеріалів, 100-120 млн. м³ повітря, приблизно 2 млн. тон води, та витрачає більш ніж 20-25 тис. кВт·год електроенергії [1]. Разом з цим значно ускладнилося керування доменним виробництвом, збільшилася кількість інформації, що необхідно обробляти і використовувати для керування процесом. Це призвело до ускладнення алгоритмів автоматичного керування технологічними параметрами печі, що вимагає високої кваліфікації операторів. У цих умовах **актуальною науково-технічною задачею** для України є вдосконалення та впровадження нових систем автоматичного керування (САК), в яких враховуються складні характеристики сучасних доменних печей як об'єктів автоматизації.

Інструмент дослідження. Дослідження проведені на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі, яка створена шляхом структурної та параметричної ідентифікації динамічних властивостей її елементів з використанням експериментальних даних з виробництва [2].

Мета і задачі дослідження. Мета полягає у підвищенні якості процесу “оптимального ходу” доменної печі за рахунок покращення критеріїв якості процесу автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі є час наростання й перерегулювання перехідного процесу на виході системи за умови компенсації нею збурюючого впливу. Для досягнення поставленої мети вирішена наукова задача визначення діапазонів зміни значень параметрів регулятора перепаду тиску у верхній частині шахти доменної печі, при яких забезпечуються задані критерії якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування при змінних динамічних властивостях об'єкта керування.

Результати дослідження. За результатами структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування визначені динамічні моделі за каналами “керуючий сигнал – керована величина” та “збурюючий сигнал – керована величина”. Модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина” складається з послідовно з'єднаних двох ланок – коливальної (коефіцієнт підсилення 0,4, постійна часу 12,8 с, коефіцієнт демпфування 0,91) та аперіодичної (коефіцієнт підсилення 1,0 та постійна часу 7,8 с). Модель за каналом “збурюючий сигнал – керована величина” складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 25,5 та 9,3 с та загальним коефіцієнтом підсилення 0,025. За обома каналами статична характеристика є лінійною.

Аналіз доменної печі як об'єкта керування показав, що на процесі усередині печі впливають багато непередбачуваних факторів, через що динамічні властивості печі є змінними. З урахуванням цього, як за умови відпрацювання уставки, так і за умови відпрацювання збурення до системи встановлені вимоги щодо рівня робастності: запас стійкості за амплітудою повинен бути не менше 12 Дб, а запас стійкості за фазою – не менше 45 град. При цьому час перехідного процесу повинний бути якомога менше, а величина перерегулювання не повинна перевищувати 5%.

У ході досліджень встановлено, що за умови присутності у ПДД-регуляторі диференційної складової значної ваги у перехідному процесі на виході регулятора з'являються значні коливання керуючого сигналу з відносно високою частотою. Це є неприпустимим через нераціональний режим роботи приводу заслінки у колошниковому газопроводі, коли заслінка постійно та з відносно високою частотою обертається навколо свого оптимального положення.

Також визначено, що залежності часу відпрацювання зміни уставки та збурення від загального коефіцієнта підсилення ПДД-регулятора мають параболічний характер з точкою мінімального екстремуму, що відповідає загальному коефіцієнту підсилення 0,772. Отже за означеними критеріями якості роботи системи керування оптимальна настройка регулятора має місце при загальному коефіцієнту підсилення 0,772. По відношенню до залежностей часу відпрацювання зміни уставки та збурення від відносної ваги пропорційної складової ПДД-регулятора можна зробити аналогічний висновок – ці залежності є параболічними з точкою мінімального екстремуму, що відповідає вазі пропорційної складової 95,2 %.

Залежності максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення від загального коефіцієнта підсилення ПДД-регулятора та відносної ваги його пропорційної складової є зворотними та майже лінійними. При цьому зауважимо, що збільшення загального коефіцієнта підсилення ПДД-регулятора з 0,772 до 0,854 призводить до несуттєвого зменшення максимального відносного відхилення керованої величини від уставки при дії збурення – на 0,2%. Тож, настройку ПДД-регулятора за даним критерієм якості роботи системи керування можна вважати оптимальною для обох зазначених коефіцієнтів підсилення регулятора.

Крім того, встановлено, що як при коливаннях коефіцієнта підсилення у каналі керування, так і при коливаннях більшої постійної часу передаточної функції об'єкта керування у діапазоні ± 15 % відносно початкового значення критерії якості роботи синтезованої системи автоматичного керування (час відпрацювання зміни уставки і збурення, та максимальне відносне відхилення керованої величини від уставки при відпрацюванні збурення) залишаються прийнятними. Отже, синтезована система автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі залишається ефективною за умови суттєвих змін динамічних властивостей печі.

Висновок. За умови синтезу системи автоматичного керування верхнім перепадом тиску по шахті доменної печі за встановленими критеріями якості роботи системи оптимальною настройкою ПДД-регулятора є наступна: диференційна складова відсутня, загальний коефіцієнт підсилення становить 0,77, відносна вага пропорційної складової регулятора – 95,2 %.

Перелік посилань

1. Maarten Geerdes, Hisko Toxopeus, Cor van der Vliet. Modern Blast Furnace Ironmaking: An Introduction. — Amsterdam: IOS Press, 2009. P. 9, 16. ISBN 978-1-60750-040-7
2. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович. — М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. — 1960. — 96 с.

Бубліков А. В., доц. кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Новіков Д. В., студент
Національний ТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ У ПРИМІЩЕННЯХ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Актуальність. Популярність опалення взимку кімнат у будівлях за допомогою електроенергії останнім часом набуває все більше популярності у країнах Європи. Це викликано не стільки дешевизною електроенергії, скільки рівнем комфорту, економічності, безпеки і надійності, який дає електричне опалення [1]. Використання електричного опалення кімнат дозволяє проводити більш гнучке керування опаленням у кімнаті з урахуванням різних динамічних властивостей зон опалення. Але, процес керування ускладнює те, що більшість бюджетних електричних обігрівачів є дискретними об'єктами керування. Крім того, при зміні умов обігріву можлива доволі суттєва зміна динамічних властивостей зон опалення ($\pm 30\%$ у відносних одиницях). Таким чином, створення вдосконалених методів, моделей та інформаційного забезпечення для підвищення ефективності керування електричним опаленням кімнат у будівлях є **актуальною науково-технічною задачею**, розв'язання якої за рахунок підвищення якості процесу автоматичного керування температурним режимом в окремих зонах опалення забезпечить збільшення енергоефективності опалення та комфортність перебування у кімнаті.

Інструмент дослідження. Дослідження проведені на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування температурою у приміщенні, яка створена шляхом структурної та параметричної ідентифікації динамічних властивостей її елементів з використанням даних, отриманих у ході експериментів у реальних умовах (аудиторія 1407 корпусу 7 Національного ТУ «Дніпровська політехніка»).

Мета і задачі дослідження. Мета полягає у підвищенні енергоефективності процесу електричного опалення кімнат у будівлях за рахунок переходу до зонного опалення з покращенням показників якості процесу автоматичного керування температурою усередині зон. Основним критерієм якості процесу керування є забезпечення швидкодії системи автоматичного керування, наближеної до максимальної. Для цього необхідне обґрунтування параметрів регулятора температури за умови забезпечення швидкодії системи автоматичного керування, наближеної до максимальної, на основі визначення для кожної зони опалення у кімнаті оптимальних налаштувань регулятора.

Результати дослідження. В результаті параметричної ідентифікації елементів моделі системи керування встановлено, що кожна з чотирьох зон опалення, на які умовно розділяється кімната, має суттєво відмінні динамічні властивості. Динамічною моделлю першої зони опалення кімнати є послідовно з'єднані дві аперіодичні ланки з загальним коефіцієнтом підсилення 0,065, та постійними часу 57,2 та 1202,5 с. Динамічною моделлю другої зони опалення кімнати є послідовно з'єднані дві аперіодичні ланки з загальним коефіцієнтом підсилення 0,0189, та постійними часу 6,63 та 1359,6 с. Динамічною моделлю третьої зони опалення кімнати є аперіодична ланка з загальним коефіцієнтом підсилення 0,0252, та постійною часу 1225,8 с. Динамічною моделлю четвертої зони опалення кімнати є аперіодична ланка з загальним коефіцієнтом підсилення 0,0231, та постійною часу 999,8 с. Таким чином, необхідне дослідження можливості використання одного ПД-регулятора для різних зон опалення кімнати з позиції забезпечення заданих показників якості роботи системи автоматичного керування з урахуванням різних динамічних властивостей зон.

Синтез системи автоматичного керування здійснений з використанням

комп'ютеризованого методу, що дозволяє встановлювати ступінь швидкодії та робастності системи. При цьому ступінь робастності системи автоматичного керування постійно задавався максимальним з оглядом на мінливість динамічних властивостей зон опалення кімнати. У ході обчислювальних експериментів отримана залежність часу перехідного процесу від відносного показника швидкодії системи для першої зони опалення, на основі якої встановлені оптимальні параметри регулятора за критерієм максимальної швидкодії. З метою обґрунтування якості налаштування ПІД-регулятора температури зон опалення кімнати для кожної з зон опалення проведений розрахунок оптимального за швидкістю регулятора.

Дослідження залежності критеріїв якості роботи системи автоматичного керування від параметрів регулятора показали, що для першої зони опалення кімнати оптимальне налаштування ПІД-регулятора, яке забезпечує мінімальний час перехідного процесу на виході системи автоматичного керування (САК) без перевищення допустимого перерегулювання, спостерігається при максимальних значеннях відносного показника швидкодії системи та ступеню її робастності. При цьому ПІД-регулятор з оптимальним налаштуванням забезпечує перехідний процес за 1380 с, а оптимальний регулятор за швидкістю – за 1318 с, тобто ПІД-регулятор є повільнішим на 4,5% у відносних одиницях.

Висновок. Дослідження можливості використання ПІД-регулятора з оптимальним налаштуванням для першої зони опалення по відношенню до інших зон показали, що у цілому з точки зору швидкодії системи автоматичного керування та перерегулювання у перехідному процесі ПІД-регулятор з оптимальним налаштуванням для першої зони опалення забезпечує прийнятні показники якості перехідного процесу при керуванні температурою в інших зонах:

- у другій зоні опалення забезпечується тривалість перехідного процесу на виході САК 1482 с, що, у порівнянні з найшвидшим перехідним процесом, на 4,3% повільніше у відносних одиницях. Максимальне перерегулювання при цьому становить 0,03 °С;

- у третій зоні опалення забезпечується тривалість перехідного процесу на виході САК 1351 с, що, у порівнянні з найшвидшим перехідним процесом, на 5,8% повільніше у відносних одиницях. Максимальне перерегулювання при цьому становить 0,028 °С;

- у четвертій зоні опалення забезпечується тривалість перехідного процесу на виході САК 1221 с, що, у порівнянні з найшвидшим перехідним процесом, на 14,9% повільніше у відносних одиницях. Максимальне перерегулювання при цьому становить 0,01 °С.

Перелік посилань

1. Бубліков А. В. Розумні теплові поля: монографія / А.В. Бубліков, О.М. Заславський, С.М. Проценко, В.В. Ткачов ; М-во освіти і науки України, НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро, НТУ, 2018. – 180 с.

Бубліков А. В., доц. кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Ужва О. І., студент
Національний ТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИТРАТАМИ ГАЗУ У ГАЗОПРОВІДІ МАРТЕНІВСЬКОЇ ПЕЧІ

Актуальність. В останні роки в Україні до 15-20% сталі все ще виплавляється в мартенівських печах з автоматичним управлінням тепловим режимом [1]. Найбільшого поширення набули мартенівські печі ємністю 200 – 600 тон, що працюють на шихті, яка складається з 55 – 60% рідкого чавуну і 45 – 40% сталевого скрапу. Печі працюють на газовому опаленні з використанням кисню для інтенсифікації процесу. Введення автоматизації теплового режиму мартенівської печі дозволяє знизити витрату палива в середньому до 5%, підвищити продуктивність на 5–8% і скоротити витрату вогнетривів на 8–10%. Тому дослідження з метою вдосконалення процесів керування тепловим режимом мартенівських печей є актуальним науковим дослідженням.

Інструмент дослідження. Дослідження проведені на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі, яка створена шляхом структурної та параметричної ідентифікації динамічних властивостей її елементів з використанням експериментальних даних з виробництва [2].

Мета і задачі дослідження. Мета полягає у підвищенні якості виготовлення сталі за рахунок вдосконалення автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є час відпрацювання збурюючого впливу та максимальна величина відхилення керованої величини від заданого значення. Для досягнення поставленої мети вирішена наукова задача визначення закономірностей зміни параметрів регулятора витрат газу у газопроводі мартенівської печі, при яких забезпечуються задані критерії якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування.

Результати дослідження. Структура імітаційної моделі системи автоматичного керування (САК) витратами газу у газопроводі мартенівської печі повторює структуру реальної системи та складається з наступних основних елементів – моделі газопроводу (описується двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками та ланкою транспортного запізнення), моделі приводу заслінки на основі інтегратора та моделі датчика витрат, що прийнятий безінерційним елементом. Обчислювальні експерименти показали, що знехтувати динамічними властивостями приводу заслінки, прийнявши його за пропорційну ланку, не можна. Фактично об'єкт керування з урахуванням моделі приводу заслінки у газопроводі має досить складні динамічні властивості – він є нелінійним з присутністю обмеження щодо швидкості зміни у часі величин. З урахуванням цього, можна зробити висновок щодо неприпустимості використання методів синтезу лінійних неперервних систем автоматичного керування.

Через присутність у динамічних властивостях об'єкта керування обмеження щодо швидкості зміни у часі однієї з величин (переміщення заслінки у газопроводі печі) використання інженерного методу синтезу САК Зіглера-Нікольса призводить до появи значного перерегулювання у перехідному процесі на виході синтезованої САК (до 27 %), що не задовольняє вимогам, пред'явленим до системи.

Зменшення загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора з дотриманням співвідношення коефіцієнтів підсилення складових регулятора, які отримані за умови використання методу синтезу САК Зіглера-Нікольса, дозволяє отримати перехідний процес

без перерегулювання з тривалістю, що відповідає тривалості повороту заслінки. Саме за цієї умови, коли прискорення керуючого сигналу на виході регулятора дорівнює прискоренню руху заслінки у газопроводі, має місце оптимальне налаштування ПД-регулятора, при якому задовольняються усі вимоги до системи керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі.

Дослідження на основі створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування показали, що як за умови нормального тиску газу на ділянці газопроводу мартенівської печі, так і за мови його зменшення на 10%, в усіх режимах роботи об'єкта керування показники критеріїв якості роботи синтезованої САК витратами газу задовольняють вимогам, пред'явленим до системи.

Висновок. За умови наявності у динамічних властивостях об'єкта керування обмеження щодо швидкості зміни у часі однієї з величин (переміщення заслінки у газопроводі печі), через що він є суттєво нелінійним та, відповідно, складним для керування, оптимальне налаштування регулятора, коли забезпечується найшвидший перехідний процес з незначним перерегулюванням до 5%, можливе лише при синхронізації швидкості зміни у часі вихідного керуючого сигналу з ПД-регулятора та швидкості зміни у часі положення заслінки в газопроводі.

Перелік посилань

1. Українська промисловість та енергетика – тренди 2018-го / Людмила Кліщук // Матеріал підготовлено в рамках реалізації грантового конкурсу від ГО «Інтерньюз-Україна» за фінансової підтримки Швеції та Internews (проект Audience understanding and digital support). електронний ресурс <https://nachasi.com/2018/12/03/industry-ukraine/>

2. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. – 1960. – 96 с.

Бубліков А. В., доц. кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Хлисту́н А. Г., студент
Національний ТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИТРАТОЮ ВТОРИННОГО ПОВІТРЯ ОДНО-БАРАБАННОГО КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ

Актуальність. В Україні на теплових електростанціях виробляється близько 30% всієї електроенергії. Одним з основних елементів теплових електростанцій є котельний агрегат, що перетворює енергію корисних копалин в енергію водяного перегрітого пару високого тиску для створення за допомогою цієї енергії рухомої сили у турбінах електростанцій [1]. Процеси, що мають місце у котельному агрегаті визначають собівартість генерованої електроенергії – чим більше енергії корисних копалин в результаті їх згоряння використовується для генерування електроенергії, тим вона дешевше. З цієї позиції дослідження з метою вдосконалення роботи систем автоматичного керування процесами у котловому агрегаті, що призведуть до підвищення їх ефективності, є актуальними.

Інструмент дослідження. Дослідження проведені на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування (САК) витратою вторинного повітря одно-барабанного котельного агрегату, яка створена шляхом структурної та параметричної ідентифікації динамічних властивостей її елементів з використанням експериментальних даних з виробництва [2].

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає у підвищенні енергоефективності процесу спалення вугільного пилу за рахунок вдосконалення автоматичного керування витратою вторинного повітря котельного агрегату. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування (САК) витратою вторинного повітря котельного агрегату є час та перерегулювання перехідного процесу на виході системи автоматичного керування, а також відносний ступінь збігу керуючих сигналів на виході ПІД-регулятора та оптимального за швидкодією регулятора. Для досягнення поставленої мети вирішена наукова задача визначення залежностей критеріїв якості роботи системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та встановлення на їх основі оптимального налаштування ПІД-регулятора витрат повітря за критерієм максимальної швидкодії системи керування.

Результати дослідження. За результатами структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування визначена його динамічна модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина”. Вона складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 10,3 с та 0,064 с, а також ланки транспортного запізнення, що дорівнює 2,22 с. За цим каналом статична характеристика є лінійною з коефіцієнтом передачі 19,5.

Характерною особливістю об'єкта керування є відсутність суттєвих збурень, які б змінювали параметри передаточної функції або керовану величину, оскільки є окрема система керування, що підтримує певне розрідження у камері котельного агрегату, а перетворювач частоти автоматично компенсує перепади напруги у мережі живлення. Крім того, у ході експлуатації агрегату не спостерігається суттєва зміна перепаду тиску на вході та виході повітряного тракту через його засмічення чи різний процес нагріву повітря у повітрянагрівачі котельного агрегату. Таким чином, досліджений тільки режим відпрацювання системою автоматичного керування зміни уставки за умови відсутності збурюючих впливів. При цьому досліджується найбільш несприятливий випадок – різка східчаста зміна кількості палива, що подається у камеру котельного агрегату.

З оглядом на завдання керування проекрованої системи автоматичного керування та на результати аналізу котельного агрегату як об'єкта автоматизації серед проаналізованих критеріїв якості перехідного процесу при відпрацюванні системою зміни східчастого

керуючого впливу визначені наступні критерії: час перехідного процесу повинний бути якомога менше; величина перерегулювання не повинна перевищувати 5%; усталена (статична) похибка системи повинна дорівнювати нулю. Крім того, висунуті додаткові вимоги щодо запасів стійкості САК за амплітудою та фазою – вони повинні бути, відповідно, не менше 8 Дб та 50 град.

У ході досліджень встановлено, що, з оглядом на рівень збіжності графіків перехідного процесу на виході системи автоматичного керування з оптимальним за швидкодією регулятором з урахуванням та без урахування меншої постійної часу 98,7%, через дуже значну різницю між постійними часу передаточної функції об'єкта керування оптимальний за швидкодією регулятор, що розрахований для об'єкта керування другого порядку, працює коректно й по відношенню до об'єкта керування першого порядку за умови нехтування меншою постійною часу. При цьому з'являється дуже незначне перерегулювання 0,3 м³/т, що у відносних одиницях складає 0,15%.

Також встановлено, що, з урахуванням рівня збіжності графіків перехідного процесу на виході системи автоматичного керування з оптимальним за швидкодією регулятором з одним та двома інтервалами переключення 99,6%, через дуже незначну тривалість другого інтервалу переключень для об'єкта керування можна використати оптимальний за швидкодією регулятор з одним інтервалом переключень. При цьому з'являється дуже незначна статична похибка, що у відносних одиницях складає 0,2%. Це дозволило максимально близько відтворити характер зміни у часі керуючого сигналу на виході оптимального за швидкодією регулятора за допомогою ПД-регулятора.

Крім того, у ході досліджень визначено, що при збільшенні відносної швидкодії системи автоматичного керування час перехідного процесу зменшується за експоненціальним законом, але ця тенденція спостерігається тільки до рівня 94%, після якого він суттєво збільшується. Таким чином, можна зробити висновок про існування діапазону зміни відносної швидкодії системи автоматичного керування з незначними значеннями тривалості перехідного процесу, що не сильно відрізняються, – від 88,9 до 94%. Аналогічний висновок можна зробити щодо залежності рівня збігу керуючих сигналів при використанні ПД регулятора та регулятора оптимального за швидкодією від відносної швидкодії системи керування – максимальний збіг керуючих сигналів на виходах ПД-регулятора та регулятора оптимального за швидкодією має місце на інтервалі діапазону зміни значень швидкодії від 88,9 до 94%. На цьому інтервалі рівень збігу зазначених сигналів не сильно відрізняється та є близьким до мінімального (від 11,8 до 15,6%).

У свою чергу, прийнятне перерегулювання перехідного процесу на виході системи керування має місце у діапазоні значень відносної швидкодії системи від 55 до 94%. Такий самий висновок можна зробити й по відношенню до запасу стійкості системи керування за амплітудою – цей показник є вищим за мінімально допустимий рівень 8 Дб у діапазоні значень відносної швидкодії системи від 55 до 94%. А запас системи керування за фазою вище мінімально допустимого рівня 50 град. на усьому досліджуваному діапазоні зміни значень відносної швидкодії системи.

Висновки. Оптимальні настройки ПД-регулятора, при яких досягаються найкращі значення критеріїв якості роботи системи керування витратою вторинного повітря одно-барабанного котельного агрегату, мають місце на інтервалі діапазону зміни значень відносної швидкодії системи від 88,9 до 94%.

Перелік посилань

1. Фаніков В.С., Віталієм В.П. Автоматизація теплових пунктів. Довідковий посібник. М.: Енергоіздат, 1989. – 256 с.
2. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. – 1960. – 96 с.

Бубліков А. В., доц. кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
Яцюк Д. С., студент гр. 151-19м-1

Національний ТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ У ВЕРХНІЙ ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ЗОНІ ТРЬОХ-ЗОННОЇ МЕТОДИЧНОЇ ПЕЧІ

Актуальність. Металургійна промисловість є однією з провідних бюджетоутворюючих галузей української економіки, яка забезпечує значну частину валютних надходжень завдяки розвиненому експортному потенціалу. З оглядом на це слід звернути увагу на потенціал цієї галузі за умови підвищення ефективності її функціонування. Одним зі шляхів підвищення енергоефективності в чорній металургії, зокрема у прокатному виробництві, є впровадження ефективних алгоритмів автоматичного керування технологічними процесами та об'єктами на основі сучасних інформаційних технологій. Прокатний переділ займає друге місце після доменного виробництва за витратами енергії на виготовлення готової продукції, причому 95% припадає на газ і електроенергію [1]. На нагрів заготовок за умови прокату в печах приходиться 60%, а безпосередньо на прокатку – 40% енерговитрат. В якості палива для нагрівальних печей використовується природний газ – 40%, коксовий газ – 30%, доменний газ – 25%, та 5% мазут. Тому підвищення ефективності автоматичного керування температурою у зварювальній зоні методичної печі на основі дослідження законів та алгоритмів автоматичного керування температурою є дійсно актуальним науково-практичним завданням.

Інструмент дослідження. Дослідження проведені на основі імітаційної моделі системи автоматичного керування (САК) температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі, яка створена шляхом структурної та параметричної ідентифікації динамічних властивостей її елементів з використанням експериментальних даних з виробництва [2].

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає у підвищенні якості процесу нагріву злитків у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі за рахунок вдосконалення автоматичного керування температурою у цій зоні. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні трьох-зонної методичної печі є час перехідного процесу на виході системи, максимальна частота коливань збурення, за умови якої можливе його відпрацювання системою керування з заданою точністю, та ступінь збігу керуючих сигналів на виході ПД-регулятора та регулятора оптимального за швидкодією. Для досягнення поставленої мети вирішена наукова задача визначення діапазонів зміни значень параметрів регулятора перепаду тиску у верхній частині шахти доменної печі, при яких забезпечуються задані критерії якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування при змінних динамічних властивостях об'єкта керування.

Результати дослідження. За результатами структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування визначена динамічна модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина”. Модель за каналом “керуючий сигнал – керована величина” складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 83,6044 с та друга 32,6162 с, а також ланки транспортного запізнення, що дорівнює 16,28 с. За цим каналом статична характеристика є лінійною з коефіцієнтом передачі 0,02.

Аналіз у джерелах експериментальних статистичних характеристик збурення для системи керування температурою у верхній зварювальній зоні методичної печі дозволив встановити наступні його параметри: математичне очікування зміни періоду коливань становить 23 с, середньоквадратичне відхилення при цьому складає 4,5 с, а середньоквадратичне відхилення зміни амплітуди – 55 °С. З урахуванням зазначених параметрів випадкового сигналу у якості збурення на систему керування створений генератор

сигналу з випадковою амплітудою та періодом коливань. У моделі імітації збурення на початку створюється східчастий сигнал, що є квантованим як по рівню (амплітудою), так і за часом, а потім відбувається його лінійна інтерполяція.

З оглядом на завдання керування системи автоматичного керування та на результати аналізу у першому розділі методичної печі як об'єкта автоматизації, при відпрацюванні системою збурення прийняті наступні критерії якості перехідного процесу: максимальне відхилення керованої величини від уставки не повинно перевищувати рівень 5%; величина максимального перерегулювання з оглядом на перший критерій не повинна перевищувати рівень 2,5%; час повернення керованої величини у діапазон зміни значень $\pm 2,5\%$ від заданого значення повинен бути якомога менше; запаси стійкості САК за амплітудою та фазою повинні бути, відповідно, не менше 8 Дб та 40 град.

Встановлено, що введення у модель системи автоматичного керування температурою у верхній зварювальній зоні підпорядкованої системи автоматичного керування положенням заслінки з нерегульованим приводом призводить до незначного відхилення графіків перехідного процесу на виході синтезованої системи керування (рівень збігу графіків для випадків врахування інерційності повороту заслінки та відсутності врахування становить 96,07%). Тож, можна зробити висновок щодо прийнятності прийняття системи автоматичного керування положенням заслінки за підсилювальну ланкою з коефіцієнтом підсилення одиниця.

У ході досліджень визначено, що залежність часу перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону $\pm 2,5\%$ від заданого значення при подачі східчастого максимального збурення від відносного показника швидкодії системи керування є зворотною експоненціального характеру. Зазначимо, що за умови середнього рівня швидкодії системи керування й вище маємо приблизно однаковий мінімальний час перебування керованої величини за межами рекомендованого діапазону – в районі 100 с. Також можна зробити висновок, що для усіх рівнів швидкодії синтезованої САК перерегулювання за умови повернення керованої величини у рекомендований діапазон є незначним та не перевищує значення 0,8%, що задовольняє вимогам до САК.

Запас стійкості САК як за амплітудою, так і за фазою залежить від показника швидкодії системи керування в основному зворотно й суттєво нелінійно, але у середньому все ж простежується закономірність зменшення запасів стійкості САК при збільшенні показника її швидкодії. За умови наближення показника швидкодії САК до відмітки між середнім та високим рівнями відбувається зменшення запасів стійкості як за амплітудою, так і за фазою нижче допустимих рівнів, відповідно, 8 Дб та 40 град.

Висновок. Значення показника швидкодії системи керування між середнім та високим рівнями дозволяє отримати прийнятні значення за усіма критеріями якості роботи системи керування – саме при цьому варіанті настройки регулятора ми входимо у діапазон мінімальних значень часу перебування керованої величини за рекомендованим діапазоном, й саме при цьому варіанті настройки регулятора запаси стійкості САК за амплітудою та фазою перебувають біля своїх граничних рівнів, але не перетинаючи їх.

Обчислювальний експеримент на основі імітаційної моделі САК підтвердив якість роботи системи керування з оптимальним налаштуванням регулятора за умови відпрацювання нею складного збурення, що властиве реальним умовам роботи печі, – середньоквадратичне відхилення фактичної температури у верхній зварювальній зоні методичної печі від заданого значення у відносних одиницях склало 0,33%, а максимальне відхилення фактичної температури від заданого значення також у відносних одиницях – 4,83%.

Перелік посилань

1. Конспект лекцій з дисципліни «Металургійні печі» для студентів підготовки напрямку 6.050401 Металургія / Укл.: Крячко Г.Ю.–Кам'янське; ДДТУ, 2016 р., 36 стор.
2. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. – 1960. – 96 с.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯМ ЗВАРНОЇ СІТКИ

Зварна сітка широко використовується в будівництві для вирівнювання та зміцнення поверхонь стін, підлогових підстав, дорожнього полотна та інших залізобетонних конструкцій. Виготовлення сітки виконується за рахунок точкового зварювання [1]. При зварюванні не порушується структура металу, що забезпечує високу міцність, легкість транспортування та зберігання первинної форми. Процес зварювання виконується на точкових-контактних машинах.

За результатами аналізу структури лінії виготовлення сітки розроблено структуру систему керування (рис. 1), яка складається з об'єкта керування, пристрою керування, автоматизованого робочого місця оператора, датчиків: цілісності прутків, переміщення сітка, безконтактного датчика температури, контролю обсягу прутків; виконавчих пристроїв: прорізки прутків, переміщення сітки, подання поздовжнього прутка та зварки.

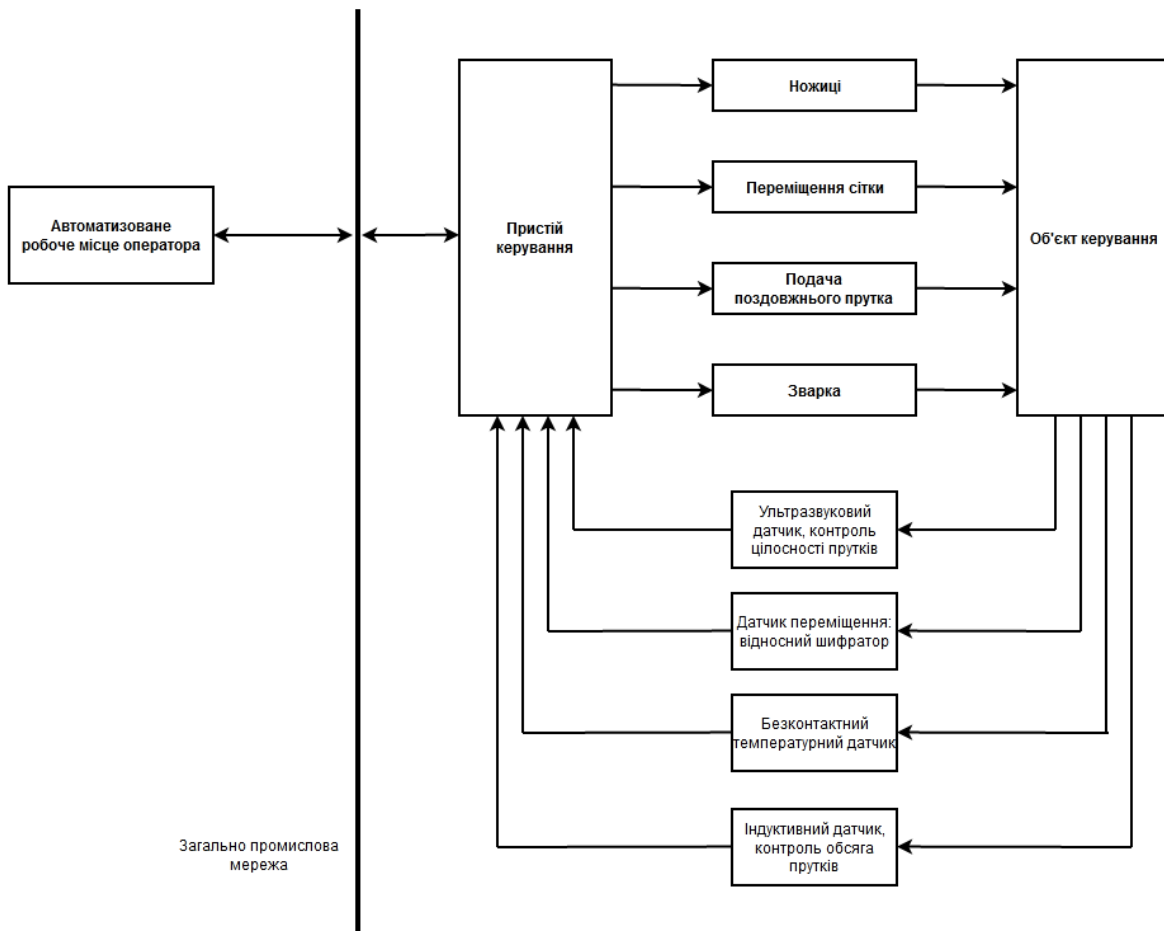


Рисунок 1 – Структура системи керування

Відповідно до структури системи керування виконано обрання апаратних засобів (датчиків та виконавчих пристроїв). На підставі вимог до швидкодії та апаратного забезпечення в якості пристрою керування обрано програмований логічний контролер VІРА System 100V 115-6BL32. Враховуючи структури системи керування та апаратне забезпечення розроблено функціональну схему автоматизації (рис. 2) [2].

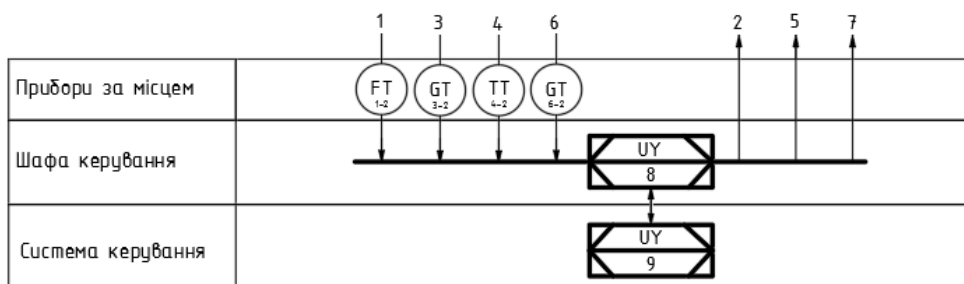
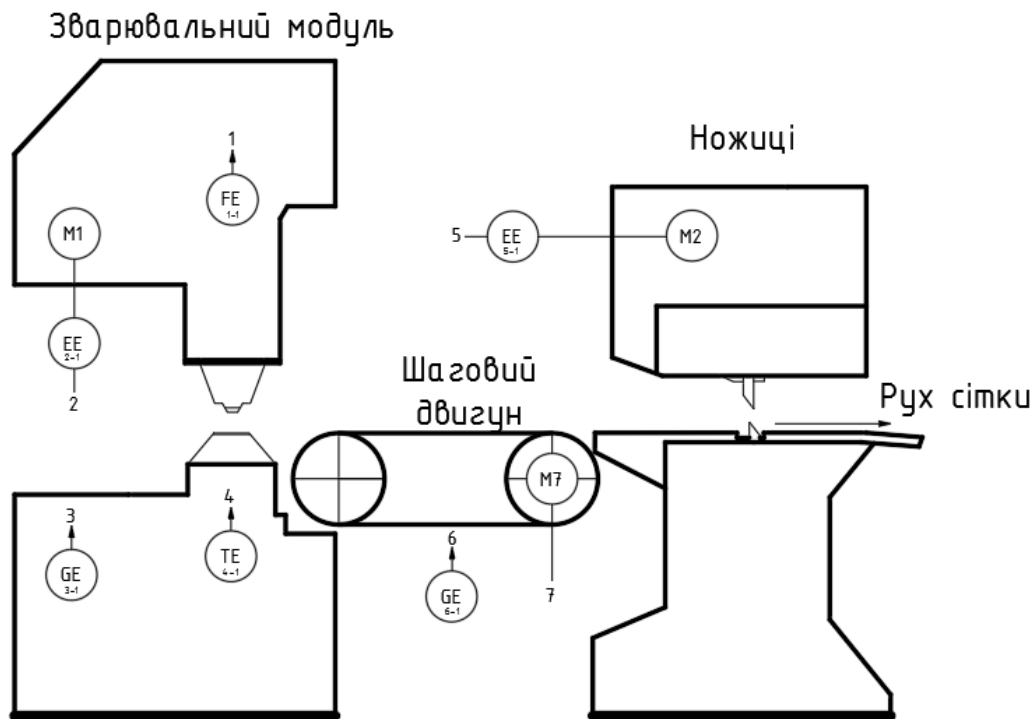


Рисунок 2 – Функціональна схема автоматизації системи керування

Таким чином у роботі виконано обрання апаратного забезпечення та розробка структури системи керування. На підставі останньої подалі буде розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи керування виготовлення зварної сітки.

Перелік посилань

1. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. [Введено до дії 2011-06-11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 73 с.
2. Пушкарь М.С. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / М.С. Пушкарь, С.М. Проценко. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДТРИМКИ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ОФІСІ В ЛІТНІЙ ПЕРІОД РОКУ

Враховуючи постійний ріст цін на енергоносія в комунальному секторі, питання зменшення їх витрат є актуальним. Зменшення може бути досягнуто за рахунок використання принципів оптимального керування та розробки на їх базі сучасних систем керування. На сьогодні український бізнес є найбільш заінтересованим в зменшенні енерговитрат для збільшення конкурентоздатності своєї продукції. Таким чином перспективним є розробка нових систем керування підтримкою мікрокліматом офісних приміщень.

Виходячи з цього в якості об'єкта керування виступає офісне приміщення, в якому необхідно підтримувати оптимальну температуру в літній період року. Використовуючи відомі підходи було розроблено імітаційну модель об'єкта керування яка враховує зовнішні фактори наведена на рисунку 1 [1].

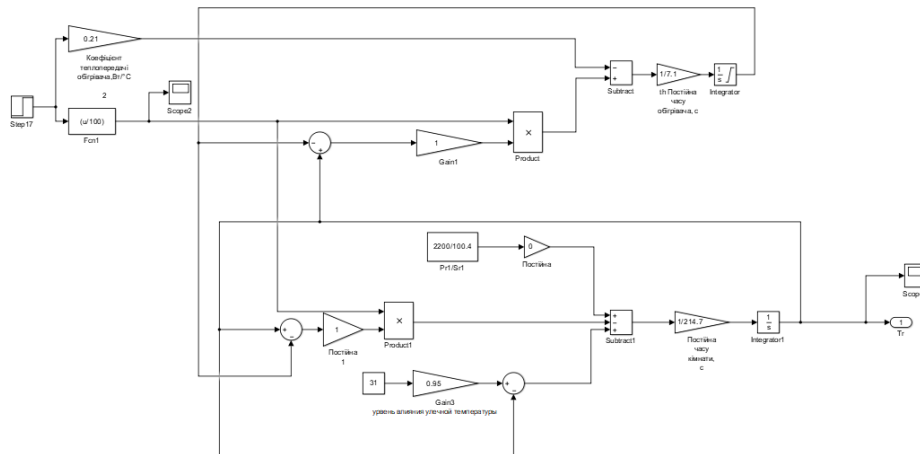


Рисунок 1 – Імітаційна модель приміщення

Модель дозволяє отримувати значення зміни у часі температури повітря в кімнаті за рахунок зміни керуючого впливу. Однак вона є складною для розуміння, а тому було прийнято рішення перейти до класичного в теорії автоматичного керування вигляду моделі. Перехід було виконано шляхом ідентифікації за активним експериментом в результаті чого отримана модель об'єкта керування у вигляді двох аперіодичних ланок першого порядку та нормуючої функції (рис. 2) [1].

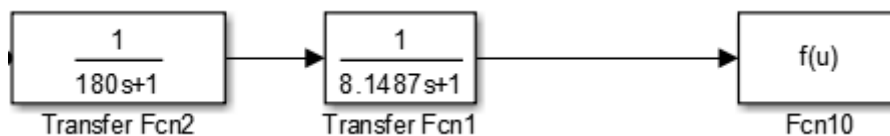


Рисунок 2 – Модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції

Для отриманої моделі було розраховано оптимальний та ПІД регулятори. ПІД регулятор було розраховано за допомогою інструменту “PID Tuner” додатку Simulink програми MATLAB (рис. 3).

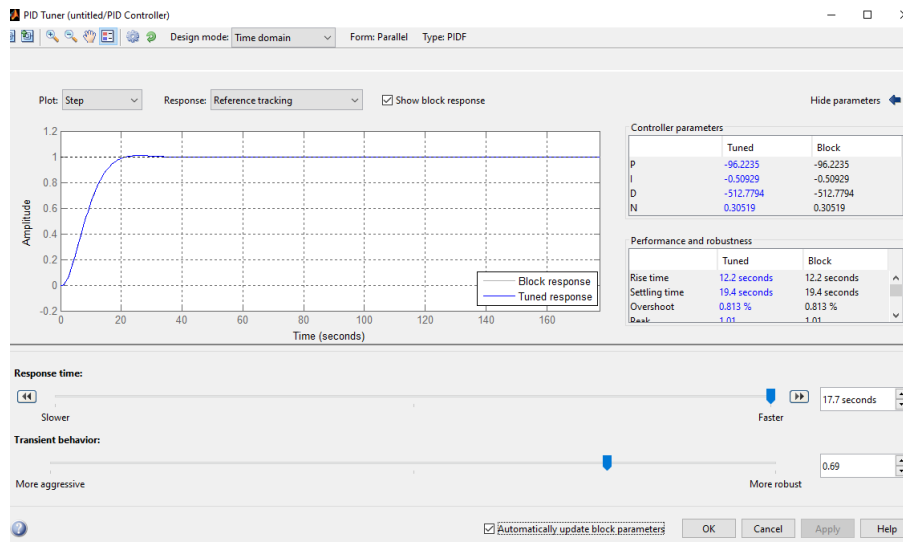


Рисунок 3 – Налаштування ПІД-регулятора розраховані за методом pidtune

Отримана структура з ПІД-регулятором була порівняна за нормованим середньоквадратичним відхиленням з оптимальним регулятором. Відхилення склали менше 10 % таким чином отримана система керування є наближеною до оптимальної. Порівняння функціонування системи керування на імітаційній моделі показала розбіжність з класичною моделлю менше 10 % (рис. 4).

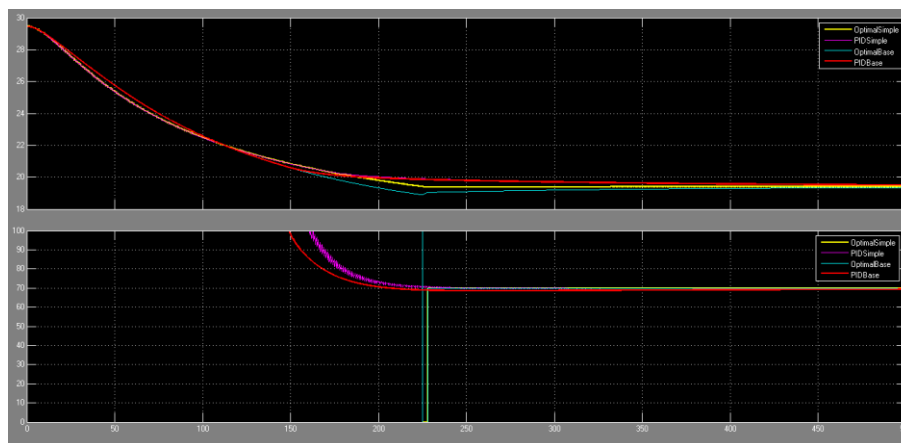


Рисунок 4 – Порівняння функціонування регулятора на обох моделях

Таким чином отримана модель об'єкта керування може бути використана для розрахунку параметрів оптимального регулятора, за яким розраховується параметри ПІД-регулятора який забезпечує функціонування системи керування в режимі наближеному до оптимальному. Подальшим розвитком роботи є використання імітаційної моделі в якості об'єкта керування та класичної моделі в якості моделі для розрахунку параметрів системи керування наближеної до ідеальної при зміні параметрів об'єкта керування (перевірка на робастність).

Перелік посилань

1. Розумні теплові поля /А.В. Бубліков, О.М. Заславський, С.М. Проценко, Р 64 В.В. Ткачов ; М-во освіти і науки України, НТУ «Дніпровська політехніка». – Дніпро, НТУ, 2018. – 180 с.
2. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління: Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: Національна гірнична академія України, 2002.- 414 с.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДТРИМКИ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ОФІСІ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД РОКУ

Враховуючи постійний ріст цін на енергоносія в комунальному секторі, питання зменшення їх витрат є актуальним. Зменшення може бути досягнуто за рахунок використання принципів оптимального керування та розробки на їх базі сучасних систем керування. На сьогодні український бізнес є найбільш заінтересованим в зменшенні енерговитрат для збільшення конкурентоздатності своєї продукції. Таким чином перспективним є розробка нових систем керування підтримкою мікроклімату офісних приміщень.

Виходячи з цього в якості об'єкта керування виступає офісне приміщення, в якому необхідно підтримувати оптимальну температуру в зимовий період року. Використовуючи відомі підходи було розроблено імітаційну модель об'єкта керування яка враховує зовнішні фактори наведена на рисунку 1.

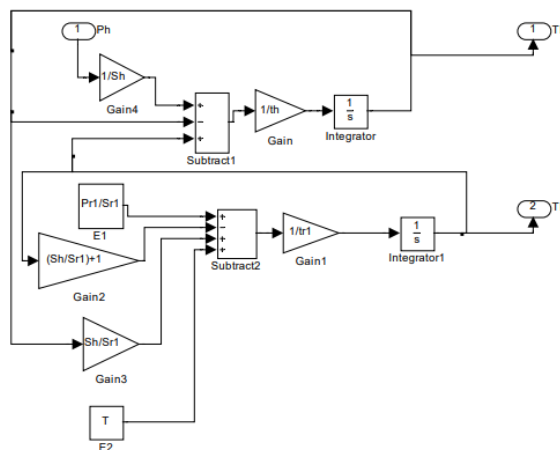


Рисунок 1 – Імітаційна модель приміщення

Модель дозволяє отримувати значення зміни у часі температури повітря в кімнаті за рахунок зміни керуючого впливу. Однак вона є складною для розуміння, а тому було прийнято рішення перейти до класичного в теорії автоматичного керування вигляду моделі. Перехід було виконано шляхом ідентифікації за активним експериментом в результаті чого отримана модель об'єкта керування у вигляді двох аперіодичних ланок першого порядку, ланки чистого запізнення та нормуючої функції (рис. 2) [1].

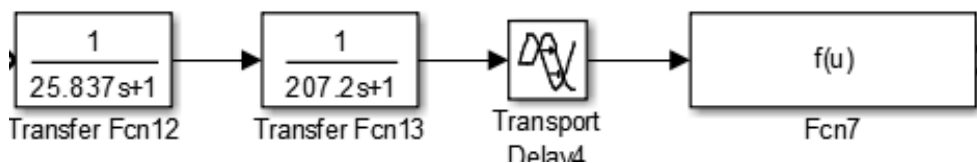


Рисунок 2 – Модель об'єкта керування у вигляді передавальної функції

Перевірка отриманої моделі на відповідність до імітаційної моделі за нормованим середньоквадратичним відхиленням показала розбіжність меншу 10 %. З урахуванням аналізу отриманої структури, динамічних характеристик та значення відповідності було встановлено, що отримана модель є адекватною до імітаційної моделі та може бути використана для її заміни.

Використовуючи отриману модель об'єкта керування було розраховано параметри ПІД-регулятора таким чином щоб вони формували перехідний процес максимально наближений до оптимального (рис. 3) [2].

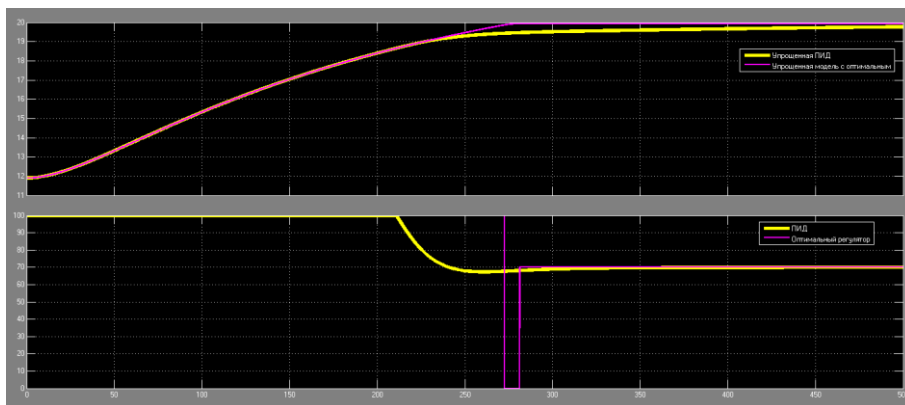


Рисунок 3 – Перехідний процес наближений до оптимального

Отримана структура з ПІД-регулятором була порівняна за нормованим середньоквадратичним відхиленням з оптимальним регулятором. Відхилення склали менше 10 % таким чином отримана система керування є наближеною до оптимальної. Порівняння функціонування системи керування на імітаційній моделі показала розбіжність з класичною моделлю менше 10 % (рис. 4).

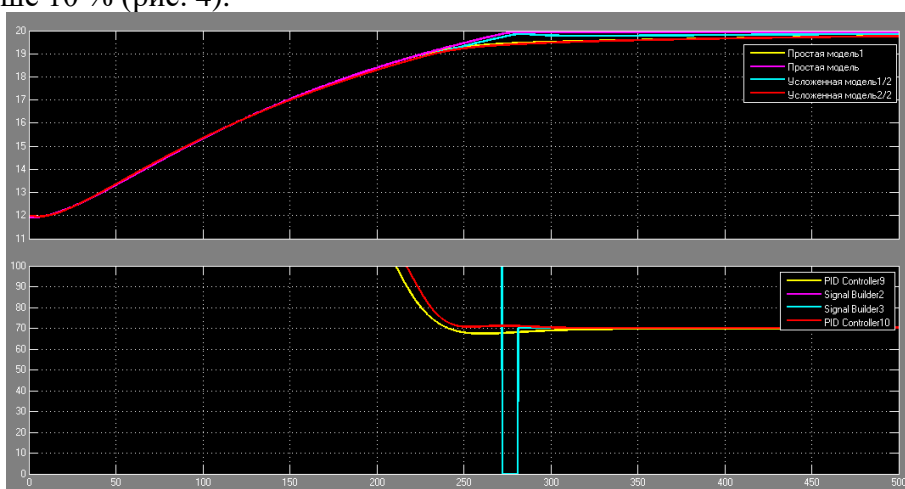


Рисунок 4 – Порівняння функціонування регулятора на обох моделях

Таким чином отримана модель об'єкта керування може бути використана для розрахунку параметрів оптимального регулятора, за яким розраховується параметри ПІД-регулятора який забезпечує функціонування системи керування в режимі наближеному до оптимальному. Подальшим розвитком роботи є використання імітаційної моделі в якості об'єкта керування та класичної моделі в якості моделі для розрахунку параметрів системи керування наближеної до ідеальної при зміні параметрів об'єкта керування (перевірка на робастність).

Перелік посилань

1. Іванов А.О Теория автоматического управления: Підручник.-Дніпропетровськ.: РВУ НГУ, 2002.-250 с.
2. Шаруда В.Г. Практикум з теорії автоматичного управління: Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: Національна гірнична академія України, 2002.- 414 с.

РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В КІМНАТНІЙ ТЕПЛИЦІ

Серед міського населення яке володіє дачними ділянками в останні роки набуло широкого поширення практика вирощування розсади в домашніх умовах для подальшої пересадки їх до ґрунту. У зв'язку з тим, що даний процес вимагає постійної підтримки стабільних кліматичних умов, частина розсади гине, що зменшує обсяги майбутнього врожаю. Для підвищення обсягу виробленої продукції від власників потребується організація спеціального місця з стабільними кліматичними умовами в якості, якого може виступати кімнатна теплиця. Таким чином збільшення виходу розсади може бути досягнуто за рахунок використання автоматизованих систем керування кімнатними теплицями, однак на ринку практично відсутні такі системи, а існуючі мають завищену вартість. Таким чином, розробка автоматизованої системи керування теплицею з використанням малобюджетного обладнання є актуальним питанням [1].

На підставі раніше проведеного аналізу [2, 3] в якості пристрою керування обрано мікроконтролер WEMOS D1. Перевагою даного мікроконтролера є те що він реалізується на базі Wi-Fi модуля ESP-8266, що значне полегшує підключення пристрою керування до бездротової мережі та спрощує реалізацію мережевих протоколів. Крім того він є сумісним з мікроконтролером Arduino Uno R3 та відповідною середою розробки, що дозволяє використовувати широкий спектр вже існуючих бібліотек.

На базі обраного мікроконтролера розроблено схему електричну принципову контролера системи керування процесом підтримки мікроклімату в кімнатній теплиці (рис. 1).

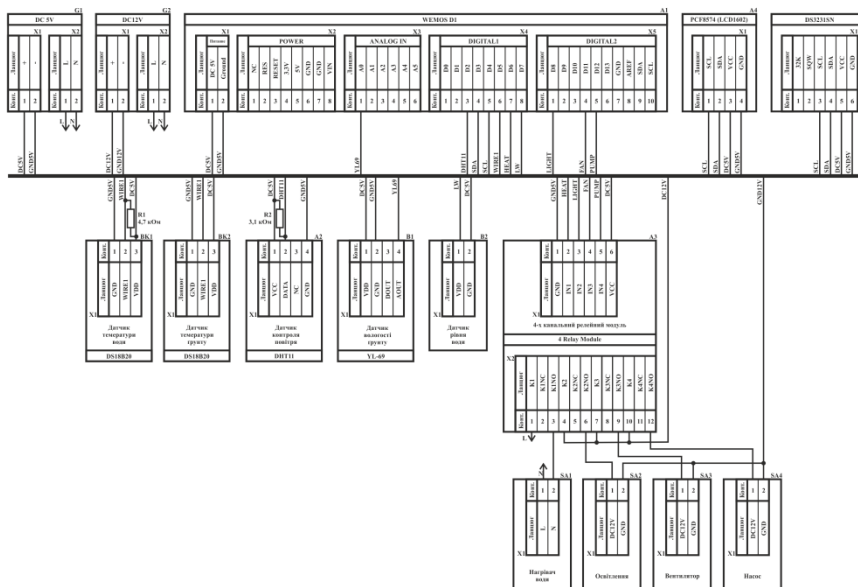


Рисунок 1 – Схема електрична принципова системи керування процесом підтримки мікроклімату в кімнатній теплиці

Для вимірювання: температури води та ґрунту обрані датчики DS18B20 з цифровим інтерфейсом 1-Wire; вологості та температури повітря обрано цифровий датчик DHT11; вологості ґрунту обрано аналоговий датчик YL-69. Для керування виконавчими пристроями обрано 4-канальний релейний модуль. З метою виводу поточної інформації про процес керування обрано двохрядний 16 символний LCD екран з цифровим інтерфейсом I2C. В якості астрономічних часів обрано Dallas DS3231SN з зовнішнім живленням з цифровим інтерфейсом I2C.

На підставі схеми електричної принципової розроблено контролер системи керування процесом підтримки мікроклімату в кімнатній теплиці (рис.). Контролер має два блока живлення +5 В та +12 В. Від першого живиться мікроконтролер WEMOS D1 та датчики, від другого живиться освітлення, вентилятор та насос. Нагрівач води живиться від напруги ~220 В. Інформація на LCD екрані змінюється з часом. На ньому відображається вологість повітря, температура повітря, температура води, рівень води, вологість ґрунту, температура ґрунту та стан виконавчих пристроїв.

Відповідно до обраного апаратного забезпечення, структури контролера та алгоритму керування [2] розроблено програмне забезпечення, яке реалізує конфігурування контролера, опитування датчиків та формування керуючих впливів виконавчими пристроями.



Рисунок 2 – Контролер системи керування процесом підтримки мікроклімату в кімнатній теплиці

Подальший розвиток даної роботи передбачає реалізацію бездротового зв'язку між контролером та персональним комп'ютером з SCADA системою zenon або приладом з операційною системою Android за рахунок використання Wi-Fi мережі та загальнопромислового протоколу Modbus TCP.

Перелік посилань

1. Погрібняк І.О. Автоматизація процесу підтримки мікроклімату в кімнатній теплиці / І.О. Погрібняк, М.В. Козарь. – Тиждень студентської науки – 2019. – Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – С. 98-100.

2. Погрібняк І.О. Проектування програмного забезпечення системи керування процесом підтримки мікроклімату в кімнатній теплиці / І.О. Погрібняк, М.В. Козарь, О.О. Бойко. – Міжнародна науково-практична конференція енергозбереження та енергоефективність – 2019. Збірник тез. Дніпро. НТУ "ДП". 28-29 листопада 2019 р. – С. 90-92.

3. Pogribnyak I.O. Automatisation du processus de support micro-climatique / I.O. Pogribnyak, O.O. Voyko, Y.V. Soldatenko. – Розширюючи обрії: зб. тез п'ятнадцятого міжнар. форуму студ. і молодих учених, 20 – 21 травня 2020 р., м. Дніпро/ за ред. С. І. Кострицької; М-во освіти і науки України; Дніпровська політехніка. – Д.: ДП, 2020. – С.483-484.

Бойко О.О., Терентьєва К.А. студентка

Національний ТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

На сьогоднішній день вже існують методики отримання моделей акумуляторів за рахунок відтворення їх електричної структури, але вони не використовувалися для моделювання процесу заряду електромобілів. Крім того вони мають ряд істотних недоліків: велика складність кінцевої моделі, що призводить до значного часу моделювання, складність або неможливість моделювання процесу заряду з довільного значення заряду акумулятора, неможливість масштабування процесу під необхідну ємність акумулятора. Таким чином необхідно виконати аналіз структури акумулятора електромобіля, зарядних пристроїв та способів заряду електромобілів, процесу заряду електромобіля та розробити його модель.

В якості автомобіля для аналізу обрано одного з лідерів автомобільної індустрії серед електромобілів Tesla Model S. Який випускається з 2012 року, має широке поширення та достатньо відкриту документацію. Акумулятор даного електромобіля складається з 16 паралельно з'єднаних блоків, кожен з яких формує напругу 366 В. В кожному блоці знаходяться 6 груп по 74 акумулятори (далі елементи) Panasonic NCR18650B. Таким чином усього в акумуляторі знаходиться 7104 елементів [1].

Кожен з елементів Panasonic NCR18650B має номінальну ємність 3,4 А·ч, характеристику втрати ємності наближену до лінійної після втрати перших 5 % ємності, втрату 20 % ємності після 300 циклів розряду-заряду та строк служби 1000 розряд-зарядів.

З урахуванням того, що на сьогоднішній день в найбільш поширених в мирі електромобілях компаній Tesla, BAIC, Nissan використовуються літій-іонні акумулятори, акумулятор електромобіля може розглядатися як набір елементів Panasonic NCR18650B кількість яких масштабована до потужності акумулятора конкретного електромобіля.

Зарядні пристрої, станції та способи заряду суттєво змінилися починаючи з 2012 року. До 2016 року існувало дві модифікації електромобілів компанії Tesla стандартна з зарядним пристроєм потужністю 11 кВт та Dual Car Charger з потужністю 22 кВт. Починаючи від 2016 року всі електромобілі обладнуються зарядним пристроєм 22 кВт, крім того існував проміжний варіант 16 кВт.

При однофазній мережі максимальний струм заряду становить 15 А, при трьохфазній 20 А та 32 А відповідно. Таким чином при зарядці електромобіля першим обмеженням є його зарядний пристрій. Другим обмеженням є сам зарядний пристрій які існують також в двох модифікаціях Single Phase та Three Phase.

Крім того існує можливість заряду на зарядних станціях великої потужності Tesla Supercharger. На цих станціях заряд акумулятора виконується напряму без проміжного перетворювача постійною напругою 460 В. У 2019 року в мирі існувало 14 тисяч зарядних станцій Tesla Supercharger, Tesla Supercharger V2 та Tesla Supercharger V3 потужностями 120 кВт, 145 кВт та 200 кВт. Однак на сьогодні кількість використань таких станцій не перевищує 10 % від кількості загальної кількості зарядок електромобілів компанії Tesla. Це пов'язано з тим, що стандартний час заряду елементу акумулятора складає 4 години струмом 1 А. При цьому час процесу заряду зменшується до 30 хвилин, а зарядний струм підвищується вище номінального, що значно зменшує кількість циклів розряду-заряду елементів акумулятора. Також існує можливість налаштування максимального струму заряду та рівня заряду. У випадку невідповідності джерела струму налаштування, струм заряду автоматично знижується на 25 %.

Виходячи з цього на типовій станції заряду електромобіля виконується від трьохфазної електричної мережі, струмом який залежить від встановленого зарядного пристрою та налаштувань електромобіля. При цьому максимальний струм заряду не перевищує 32 А та в випадку невідповідності потужності мережі автоматично зменшується.

Як було показано раніше акумулятор електромобіля представляє собою набір елементів Panasonic NCR18650B. Характеристику заряду умовно можливо розділити на два етапи. На першому етапі заряд виконується постійним струмом 1,0 А напруга на елементі поступово збільшується до 4,2 В. Момент досягнення максимальної напруги 4,2 В відповідає ємності 2,910 А·ч або 87,5 % ємності елемента, яка становить 3,326 А·ч. Після чого починається другий етап, на якому струм поступово зменшення до 0,1 А при постійній напрузі 4,2 В. Час заряду елемента залежить від його ємності.

Виходячи з того, що розряд елементів акумулятора виконується приблизно рівномірно, процес заряду акумулятора електромобіля можливо представити як заряд одного елемента для якого виконується масштабування струму формованого зарядною станцією як вхідного параметра та масштабування вихідної потужності до ємності акумулятора як вихідного параметра.

Виходячи з процесу заряду елемента акумулятора було розроблено його модель в математичному пакеті MATLAB в якій виконана заміна значення часу на ємність елемента. Результат функціонування отриманої моделі акумулятора наведено на рисунку 1. Запропонований підхід дозволяє використовувати отримані данні для елементів довільної ємності за рахунок її масштабування та виконувати розрахунки поточного значення зміни ємності в процесі заряду для будь якого значення струму.

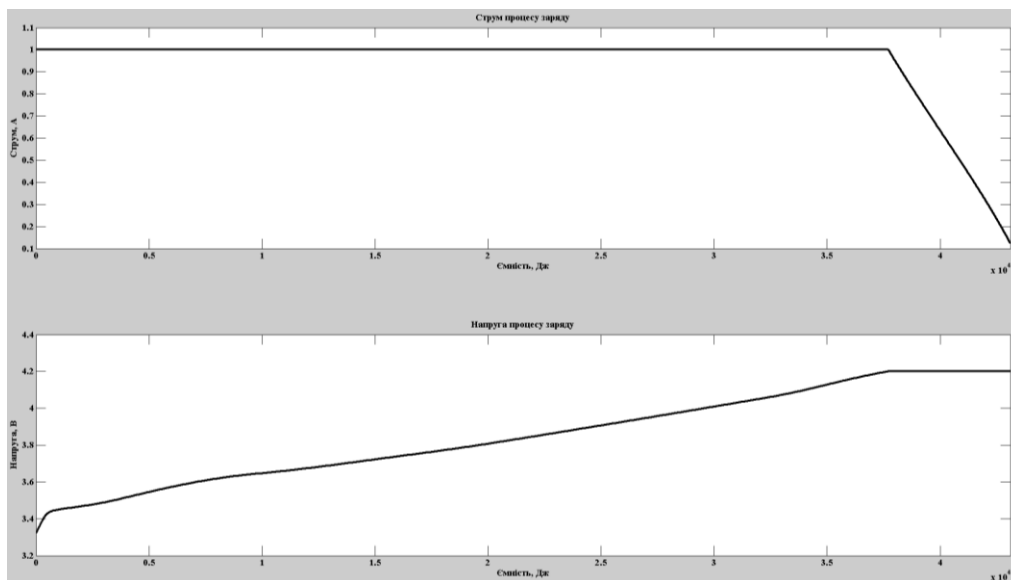


Рисунок 1 – Моделювання процесу заряду елемента акумулятора електромобіля

Таким чином отримана універсальна модель елемента яка шляхом масштабування вхідних та вихідних сигналів стає моделлю акумулятора електромобіля. Подальшим розвитком роботу є використання отриманої моделі при розробці системи керування зарядкою акумулятора електромобіля.

Перелік посилань

1. MODEL S керівництво по експлуатації (Європейський Союз) V5.9. – Tesla, .2014. – 142 с.
2. NNP Series. NCR-18650A. – Panasonic, 2010. – 6 с.

Соснін К.В., доцент, Бубликов А.В., доцент, Карасаєв Б.К., студент 151м-18
НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВОДОВІДЛИВУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Шахтні водовідливні агрегати мають питомі енерговитрати, потужність яких складає у середньому 20%, а для глибоких та обводнених родовищ досягає до 40% від електричної потужності всієї шахти [1,2]. Для енергосистеми України існує задача направлена на зниження нерівномірності енергоспоживання на протязі доби та розробка систем які враховує режим роботи агрегатів високої потужності підприємств, що позитивно вплине на економічні показники підприємств та енергосистеми в цілому.

Ефективне функціонування водовідливого агрегату направлено на розробку методів роботи агрегату поза години пікового навантаження та максимальної вартості електроенергії за добу. Ефективне регулювання роботи водовідливу залежать від технічних та технологічних умов обладнання та достатнього об'єму водозбірника. Покращити роботу водовідливу можна за допомогою сучасних систем автоматизованого або автоматичного керування. Отже, розробка, дослідження нових методів, моделей інформаційного забезпечення при керуванні водовідливними агрегатами різних типів та конфігурації є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої забезпечить підвищення енергоефективності технологічних процесів підприємств з добичі корисних копалин.

Об'єкт дослідження – процес керування водовідливом вугільної шахти. Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційне забезпечення при керуванні відводом води.

Шахта, де встановлено водовідливний агрегат має нормальне значення притоку води на рівні 250 м³/год., а максимальне значення досягає 300 м³/год. Місткість водозбірника складає 1200 м³. Головний водовідливний агрегат шахти розташовано у приствольному дворі горизонт 265 м. та обладнано трьома насосами типу ЦНС 300х300. Напірні трубопроводи насосів приєднані до двох трубопроводів, що подають воду на поверхню. Всмоктувальні трубопроводи виконано з труб діаметру 325 мм, напірні трубопроводи виконано з труб 273 мм. Всмоктувальні трубопроводи оснащені клапанами, що розміщені у колодязі водоприймача. У рамках роботи розглядається водовідливна установка, що складається з трьох насосів – двох основних та одного резервного. Продуктивність відкачки кожного насосу – 300 м³/год, при цьому для поточних умов відкачування при роботі насосу спостерігається потужність його двигуна 350 кВт.

Водовідливна установка обслуговує водозбірник ємністю 1200 м³. При цьому потрібно підтримувати рівень води за умови перерахунку на ємність води у водозбірнику в межах діапазону $\pm 20\%$ від 900 м³ (від 720 до 1080 м³). Керування роботою водовідливу відбувається на основі аналогового значення рівня води у водозбірнику та даних про вартість електричної енергії у різні часи доби. Рівень води у водозбірнику вимірюється за допомогою гідростатичного датчику рівня, що занурюється у воду (датчик тиску стовпу рідини).

Розроблено імітаційну модель водовідливної установки, яка складається з трьох імітаційних моделей насосів, реалізованих на базі інтегратора, моделі імітації зміни у часі притоку води у водозбірник, в якій реалізовані основні закономірності зміни притоку води на відносно короткому часовому інтервалі (протягом доби), а також моделі розрахунку електроенергії, споживаної за добу, та її вартості на основі тризонного тарифу.

За допомогою імітаційного моделювання встановлено, що розроблена модель дозволяє зменшити вартість електроенергії що використовується до 10% за умови притоку води менше продуктивності одного насосу, та до 5% за умови притоку води більше продуктивності одного насосу.

Використовуючи данні та результати виконання атестаційної роботи бакалавра в роботі було визначено вимоги до системи керування, виконано синтез системи для зниження

енерговитрат згідно з визначеними вимогами, моделювання роботи системи виконано у середовищі Matlab та розроблено програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу у середовищі Zenon Logic.

Наукове значення роботи полягає у встановленні що час, необхідний резервному насосу для відкачування води з метою входження у зону “час-пік” з мінімальним рівнем води у водозбірнику, залежить прямо пропорційно від різності поточного об’єму води у водозбірнику та об’єму води, що відповідає мініимальному рівню, та зворотно пропорційно від продуктивності резервного насосу та швидкості приросту поточного об’єму води у водозбірнику.

Перелік посилань.

1. Электрификация стационарных установок шахт / С.А. Волотковский, Д.К. Крюков, Ю.Т. Разумный и др.; Под ред. Г.Г. Пивняка. – М: Недра, 1990. – 399 с.: ил.
2. Толпежников Л.И. Автоматическое управление процессами шахт и рудников: Учебник для ВУЗов. – М.: Недра, 1985. – 352 с.

СИНТЕЗ ЗАКОНІВ КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНО-ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ

Оптимальне за швидкодією керування динамічними об'єктами в реальному масштабі часу на основі принципу максимуму Понтрягіна передбачає багаторазове рішення системи трансцендентних рівнянь, що є практично неможливим для використовуваних в системах автоматики програмно-логічних контролерів на нижньому рівні управління і призводить до ускладнення керуючих структур. Отримання простих функціональних залежностей оптимальних керуючих величин від заданих показників якості управління дозволить подолати цю проблему.

В [1] запропоновано підхід до квазіоптимального за швидкодією управління об'єктами другого порядку з дійсними коренями характеристичного рівняння на основі регресійної моделі, отриманої за результатами рішень системи трансцендентних рівнянь. Даний підхід суттєво спрощує технічну реалізацію процесу управління, може бути застосований в реальному масштабі часу, в тому числі і для процесів, які швидко змінюються, і вимагає мінімум обчислювальних і інформаційних ресурсів, наявних в програмно-логічних контролерах.

До недоліків даного підходу слід віднести попередню підготовку регресійної моделі, що в разі керування нестационарними процесами ускладнює її адаптацію. У даній роботі показана можливість отримання для зазначеного класу об'єктів функціональної залежності оптимальних керуючих величин від заданих показників якості управління, зокрема, величини перерегулювання.

В результаті теоретичних досліджень встановлено залежність максимального відхилення керованої величини від заданого значення в функції тривалості першого істотного інтервалу управління при використанні принципу максимуму Понтрягіна у вигляді:

$$\Delta y = c \cdot (b \cdot e^{\alpha_1 t_1} - 1)^{\frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1}} \cdot (b \cdot e^{\alpha_2 t_1} - 1)^{\frac{-\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}} \quad (1)$$

де α_1 і α_2 - абсолютні значення коренів характеристичного рівняння об'єкту керування; b , c - коефіцієнти, функціонально залежні від параметрів об'єкта керування, керованої величини і обмежень на керуючі впливи.

На рис. 1 представлений графік залежності (1) для об'єкта управління з передатною функцією $W(p) = \frac{0.845}{3.362p^2 + 3.677p + 1}$, максимальним значенням керуючої величини

$U_{\max} = 20$ і збільшенням значення вихідної величини на 5 од. Неважко бачити, що Δy в інтервалі $[0,05; 2]$ (це відповідає зміні величини перерегулювання в інтервалі $[1-40]\%$) лінійно залежить від першого періоду управління t_1 . Дана ділянка виділена на графіку стрілками і була апроксимована лінійною моделлю в [1] за експериментальними даними.

Однак, на відміну від регресійної моделі залежність (1) можна уточнювати в реальному масштабі часу при наявності алгоритмів адаптації моделі об'єкта управління. Уточнення запропонованої залежності буде здійснюватися і в тому випадку, якщо зміняться приріст керованої величини або обмеження на керуючий вплив.

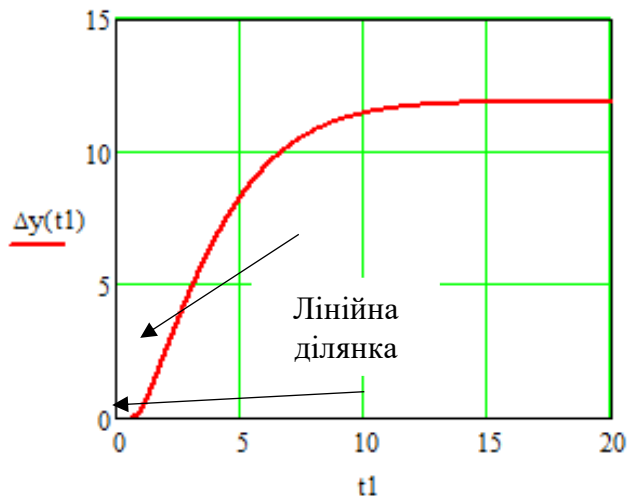


Рисунок 1 – Теоретична залежність $\Delta y = f(t_1)$

Таким чином, запропонована модель дозволяє в умовах нормальної роботи технологічного об'єкта формувати прості, що легко реалізуються в програмно-логічних контролерах нижнього рівня управління лінійні, а при необхідності, і нелінійні закони на всьому безлічі значень параметрів об'єкта управління, збільшень вихідних величин і обмежень на керуючі впливи. Слід зазначити, що дані залежності доцільно синтезувати на основі (1) у вигляді предикатних моделей [2], заснованих на застосуванні відомого методу розпізнавання образів, що допускає розбиття факторного простору на елементарні підобласті. Пошук оптимальних керуючих впливів з використанням предикатних моделей є найбільш пристосований до програмно технічних пристроїв оскільки потребує виконання лише логічних операцій.

Запропонована модель може бути використана в оптимальних адаптивних системах на верхньому рівні управління, забезпечуючи автоматичну оптимізацію в умовах невизначеності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tryputen, N., Kuznetsov, V., Kuznetsova, Y. About the possibility of researching the optimal automatic control system on a physical model of a thermal object (2019) 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2019 - pp. 1244-1248.
2. α -алгебра в задачах підвищення енергоефективності асинхронних двигунів, працюючих в умовах неякісної електроенергії / Трипутень М.М., Кузнецов В.В., Кузнецова Є.В., Трипутень М.М., Кузнецова А.В. // Гірнична електромеханіка та автоматика, 2019, № 101, стор. 110-114.

ЗМІСТ

Шутенко О. В., Пономаренко С. Г. КОРИГУВАННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ МЕТОДОМ МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ	3
Borodai V.A., Nesterova O.Yu. COMBINED METHOD OF CONTROL THE ENERGY EFFICIENCY OF DRIVE MECHANISMS IN LONG-TERM OPERATION	5
Іванов О.Б., Лябогова Т.В. РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ МАШИНИ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ РОБОТІ З МЕРЕЖЕЮ	7
Тугай Д.В., Акимов В.С., Перепелиця А.С., студент МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВОЇ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ З БЕЗТРАНСФОРМАТОРНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ НА БАЗІ БАГАТОРІВНЕВОГО КАСКАДНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУТИ	10
Тугай Д.В., Корнелюк С.І., Найпак В.О. СТРАТЕГІЯ ПОБУДОВИ MICROGRID НА ОСНОВІ МІНІМІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ В СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	12
Дрижирук О.С., Єгоров О.Б. ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ В ПОВІТРЯНОМУ ЗАЗОРІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	14
Шутенко О.В., Кулик О.С. РОЗПІЗНАВАННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬСЯ НАГРІВАМИ, ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ В МАСЛІ ГАЗІВ	16
Чеберячко І.М., Трофимова О.П. ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ В ВИХРОВОМУ АПАРАТІ	19
Хоменко В.І. ТЕХНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОНОМНОЇ ГЕНЕРУЮЧОЇ УСТАНОВКИ СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ	20
Хоменко В.І., Кравченко І.А., Шинкар М.І. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З КОМПЕНСАЦІЄЮ ІНЕРЦІЙНОСТІ КОНТУРУ ЗБУДЖЕННЯ	22
Буртний Д.І., Циценков Д.В., Бобров О.В. МЕХАНІЧНІ НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ	24
Власюк В.П. РОЗВИТОК СИСТЕМИ «РОЗУМОВОГО» ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ – SMART METERING У КРАЇНАХ ЄВРОСОЮЗУ ТА ЇЇ ПЕРЕВАГИ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРА	27

Хом'як Т.В., Фішбах К.К. РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОТИВАЦІЇ КОМЕРЦІЙНОГО ВІДДІЛУ ТОВ «СТРОЙ ПРОФІ»	29
Савочкіна А.С., Циценков Д.В. РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ	32
Грінченко В.С., Ткаченко О.О., Яковенко В.М. ТЕПЛОВЕ ПОЛЕ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НА ОСНОВНІЙ ТРАСІ ТА В ЗОНІ МУФТОВИХ З'ЄДНАНЬ	34
Шутенко О.В., Кулик О.С. ДІАГНОСТИКА ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВВОДІВ З ВІДКЛАДЕННЯМИ Х-ВОСКУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ РОЗЧИНЕНИХ В МАСЛІ ГАЗІВ	36
Шутенко О. В., Пономаренко С. Г. ОЦІНКА ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ТАНГЕНСА КУТА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВТРАТ ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ	39
Довгалюк О.М., Мірошник К.А., Яковенко І.С., АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ	41
Марченко В.В., Цибух А.В. ЗАСТОСУВАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА В АКВАКУЛЬТУРІ	43
G.G. Diachenko, O.O. Aziukovskyi, A.V. Vizniuk, PREDICTIVE ROTOR FLUX CONTROL FOR EFFICIENT DYNAMIC OPERATION OF INDUCTION MACHINES	45
Колб А.А., Колб Ант.А. ВИРІВНЮВАННЯ ГЕНЕРАЦІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ДВОСТОРОННІХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ	47
Хілов В.С., Кобилянський С.В., Морозова Н.О. ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ	49
Олішевський І.Г., Папаїка Ю.А. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	51
Федоров С.І., Бородай В.А. АНАЛІЗ ПОВЕРХНОСТНОГО НАГРЕВА ФОТОЕЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ	53
Глухова Н.В., Купчик М.С. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКІВ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДАВАЧА MQ-9	55
Глухова Н.В., Штика А.О. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЦІОНАРНИХ ТА ПЕРЕНОСНИХ ПРОЛИВНИХ УСТАНОВОК	57

Бойко О.О., Куваєв В.М. КЕРУВАННЯ ДОВЖИНОЮ ПРОКАТУ ЗА РАХУНОК ЗМЕНШЕННЯ ДОВЖИНИ ЙОГО СЕРЕДНЬОЇ ДІЛЯНКИ	59
Бубліков А. В., Косенко Я. Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВЕРХНІМ ПЕРЕПАДОМ ТИСКУ ПО ШАХТІ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ	61
Бубліков А. В., Новіков Д. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ У ПРИМІЩЕННЯХ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ	63
Бубліков А. В., Ужва О. І. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИТРАТАМИ ГАЗУ У ГАЗОПРОВОДІ МАРТЕНІВСЬКОЇ ПЕЧІ	65
Бубліков А. В., Хлистун А. Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВИТРАТОЮ ВТОРИННОГО ПОВІТРЯ ОДНО-БАРАБАННОГО КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ	67
Бубліков А. В., Яцюк Д. С. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ У ВЕРХНІЙ ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ЗОНІ ТРЬОХ-ЗОННОЇ МЕТОДИЧНОЇ ПЕЧІ	69
Бойко О.О., Зайцев Д.М. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯМ ЗВАРНОЇ СІТКИ	71
Бойко О.О., Корінь Д.В. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДТРИМКИ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ОФІСІ В ЛІТНІЙ ПЕРІОД РОКУ	73
Бойко О.О., Куксін Д.С. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПІДТРИМКИ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ В ОФІСІ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД РОКУ	75
Бойко О.О., Погрібняк І.О. РОЗРОБКА КОНТРОЛЕРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В КІМНАТНІЙ ТЕПЛИЦІ	77
Бойко О.О., Терентьєва К.А. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРА ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ	79
Соснін К.В., Бубліков А.В., Карасаєв Б.К., ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВОДОВІДЛИВУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ	81
Трипутень М.М., Трипутень М.М., Кравченко О.І. СИНТЕЗ ЗАКОНІВ КВАЗІОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ПРОГРАМНО-ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ	

