

ОСОБЛИВОСТІ ВМИКАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ НА ПАРАЛЕЛЬНУ РОБОТУ ПРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Юрченко Олександр Юрійович

старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-3047-6654

aleksyurchenko110917@gmail.com

Барсукова Ганна Володимирівна

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4261-2182

Anna-Barsukova@ukr.net

Збільшення об'ємів виробництва продукції вимагає автоматизації процесів. Вмикання електричних двигунів на паралельну роботу є досить ефективним рішенням. Це пов'язано з мінімізацією затрат на оплату праці, покращення умов праці, зменшення вірогідності виходу з ладу системи через помилкові дії людини. Автоматичний режим роботи устаткування дає можливість підключення кількох машин на паралельну роботу з автоматичними запуском або вимиканням установок. Крім того, сучасні технології дозволяють регулювати перебіг процесу автоматично без втручання персоналу. В даній статті розглянуто автоматизацію технологічного процесу очищення зернової маси. Порівняно не великі об'єми зернової маси (наприклад, 200 тонн), які прибувають з поля або пунктів зберігання, не завжди доцільно очищувати великими зерноочисними спорудами або взагалі за їх відсутності. Тому, доцільним є використання самохідних зерноочисних машин малими фермерськими господарствами. Автоматизація процесів та ефективне використання ресурсів вимагають підключення кількох машин на паралельну роботу. Однак, проблематика вмикання таких машин на паралельну роботу полягає в появі великих пускових струмів кожного з електричних двигунів. Вмикання кількох машин на паралельну роботу призводять до збільшення пускового струму кратно кількості таких машин. З цією метою в даній роботі розглянуто автоматизацію вмикання машин на паралельну роботу з затримкою на вмикання по часу другої технологічної установки. Встановлено, що максимальним струмовим навантаженням за такого способу автоматизації є загальний показник струму в момент роботи електричного двигуна першої технологічної установки та запуск електричного двигуна другої технологічної установки. Внаслідок цього, автоматизацією процесу досягається поступове вмикання електричних двигунів на паралельну роботу без одночасного прояву пускових струмів електричних двигунів кожної з установок.

Ключові слова: струм, пусковий струм, номінальний струм, робочий струм, установка, обладнання, затримка на вмикання, живлення, електричний щит.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.10>

Вступ. Використання електричного двигуна як в промисловості, так і в сільському господарстві є невід'ємною частиною виробництва. Пов'язано це отриманням крутного моменту з метою приводу робочих органів різних установок. Асинхронний двигун - це дуже універсальна машина, що має безліч переваг перед іншими типами однофазних двигунів змінного струму (Usha, S. et al., 2022). Паралельна робота кількох електричних двигунів має бути забезпеченою відповідним устаткуванням. Кожен електричний двигун приводиться в дію підключенням його до електричної мережі. Зміна традиційної структури електродвигуна, наприклад, заміною звичайних круглих обмоток шпильчастими обмотками прямокутного перерізу дозволяє знизити теплові навантаження і оптимізує використання простору всередині статора, забезпечуючи вищий крутний момент і стійку вихідну потужність (Palmer, S.. 2021). Паралельна робота електродвигунів забезпечується їх підключенням як з одного електричного щита, так і окремо один від одного. Для прикладу, важливо підкреслити

використання кількох вентиляторів, що працюють одночасно. Їх вмикання можна здійснити як з окремих електричних щитів, так і з одного. Аналогічно, живлення можна подати як з одного кнопкового поста, так і з окремо узятих кнопкових постів індивідуально на кожен з електричних двигунів вентиляторів. Підвищення ефективності приводних двигунів є ключем до підвищення продуктивності обладнання (Fan, S. et al., 2022).

Проблематика підключення кількох електродвигунів на паралельну роботу полягає в характеристиці параметрів електричної мережі при споживанні електричної енергії. Мова іде про такі показники, як:

- пусковий струм;
- робочий струм;
- напруга мережі;
- опір.

Вплив режимів підключення, таких як один вихід, послідовне і паралельне з'єднання, ефективність використання енергії досліджено (Shi, W. et al., 2023) при різних параметрах в ході експерименту. Для пояснення

процесу використання енергії використаний теоретичний аналіз та моделювання. Основні характерні особливості, якими ґрунтується якість електричної енергії задовольняють надійність та безперебійність. Хоча останні досягнення в галузі виробництва надали величезні можливості для розробки електричних машин наступного покоління, управління температурним режимом машини та пусковими характеристиками стали одним з факторів, що обмежують досягнення високих характеристик (Broumand, M. et al., 2024). Вмикання кількох електричних двигунів на паралельну роботу в незалежності від того з одного електричного щита це виконано, чи з декількох, характеризується пусковими струмами. Для запуску електродвигуна (при подачі живлення) необхідним є набагато більше зусилля, ніж для продовження його роботи. Аби зрушити з місця електричний двигун, потрібен великий пусковий

струм I_n . Зазвичай вказують, що пусковий струм перевищує робочий у 5-8 разів. Це число називають «кратністю пускового струму». Таку залежність струмів можна представити виразом (1):

$$K_n = \frac{I_n}{I_n}, \quad (1)$$

де: K_n – кратність пускового струму;
 I_n – пусковий струм;
 I_n – номінальний струм.

Кратність пускового струму є робочим параметром, який вказується у характеристиках двигуна, але не на його корпусі. Згідно з табличними даними, кожен з електричних двигунів в класифікації за потужністю має свій власний коефіцієнт кратності пускового струму. Для прикладу, окремі з них представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики електричних двигунів

№	Тип двигуна	P_n , кВт	Частота оберт, об/хв	ККД, %	I_n при 380В, А	Кратність I_n до I_n
1.	5A80MA2	1,5	2850	80	3,4	6,5
2.	5A80MB2	2,2	2850	81	4,9	6,5
3.	5AMX112M2	7,5	2895	87,5	14,6	7,5
4.	5AMX132M2	11	2915	88,5	21	8
5.	5AMX180S2	15	2920	90	28,5	6,8

Для прикладу, взяти до уваги електричний двигун, указаний в табл. 1, потужністю 1,5 кВт. В такому випадку, згідно з виразом (1), I_n складатиме показник:

$$I_n = 3,4 \cdot 6,5 = 22,1 \text{ А}$$

Закономірною є залежність кратності пускового струму від потужності двигуна та кількості пар полюсів. Таку закономірність є можливість пояснити таким чином: чим меншою є потужність електродвигуна, тим меншим буде пусковий струм. Аналогічно, за меншої кількості

пар полюсів більшим буде пусковий струм. Пов'язано це з тим, що струм і момент інерції при пуску залежать від конструкції двигуна і способу намотування. За малої кількості пар полюсів буде низьким опір обмоток. За низького опору – великий струм.

Автоматизація технологічних процесів у сільському господарстві полягає в використанні устаткування для зменшення затрат фізичної праці, економії часу тощо. Зокрема, використання кількох самохідних очисних машин або навантажувачів вимагає відповідної кількості персоналу. Кожна з машин має власний щит керування,

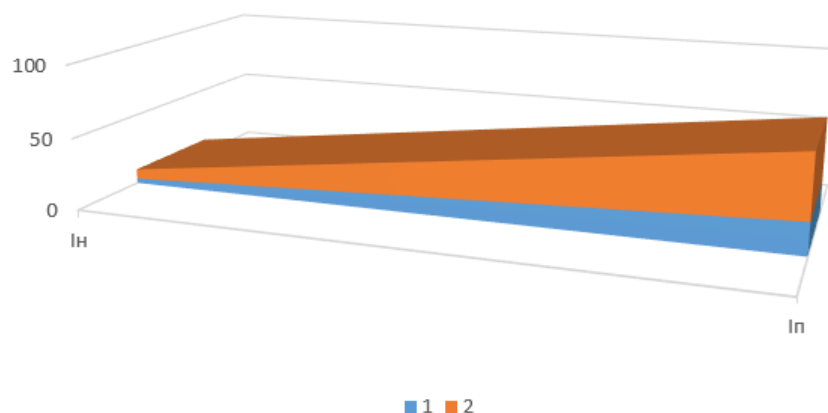


Рис. 1. Графік зміни струмів при запуску на роботі електродвигуна: 1 – два електродвигуни; 2 – один електродвигун; I_n – пусковий струм, А; I_n – номінальний струм, А

а отже, в процесі роботи за ним має бути закріплена людина (рис. 2).

Закономірним є явище використання кількох зерноочисних машин з точки зору економії витрат часу. Пов'язано це, перш за все з паралельною роботою машин тоді, коли ширина бурта є набагато більшою, а ніж ширина захвату зерноочисної машини. В такий спосіб, паралельна робота машин з автоматизацією процесу є досить ефективним рішенням. Однак, питання одночасного пуску кількох електродвигунів – двигунів приводу опорних коліс (для прикладу), залишається невирішеним. Пов'язано це з кратністю збільшення високого пускового струму електричних двигунів, що вмикаються одночасно.

Організація робіт полягає в зменшенні фізичних затрат праці та економії часу. В результаті, збільшення пускового струму в мережі є значимою проблемою. Перш за все, це може бути помітним навіть при спрацюванні автоматичного вимикача, яким буде знеструмлено електричну схему за високого струму. Для прикладу, привід машини ОВС-25 здійснюється чотирма електричними двигунами (рис. 3). До таких двигунів відносимо:

- електродвигун приводу відвантаження;
- електродвигун приводу транспортеру завантаження;
- електродвигун приводу машини;
- електродвигун приводу транспортного механізму.

Останній з електричних двигунів працює як в режимі прямого пуску, так і на реверс.

Матеріали і методи досліджень. Автоматизація вмикання кількох машин (рис. 4) на паралельну роботу з урахування підвищеного пускового струму, що зростає кратно кількості електричних двигунів, має відповідати закономірним вимогам щодо надійності, а також бути максимально простою та зручною в використанні. Для прикладу, одночасне вмикання приводного електричного двигуна машини, яким приводиться в дію решітний стан, за паралельної роботи кількох установок, скажімо двох, призводить до збільшення пускового струму в два рази. Тому, актуальність питання паралельного пуску двигунів зростає, але з урахуванням можливості залишити показники I_n , що відповідають показникам одного електричного двигуна.



Рис. 2. Організація робіт самохідною зерноочисною машиною



Рис. 3. Електродвигуни приводу зерноочисної машини

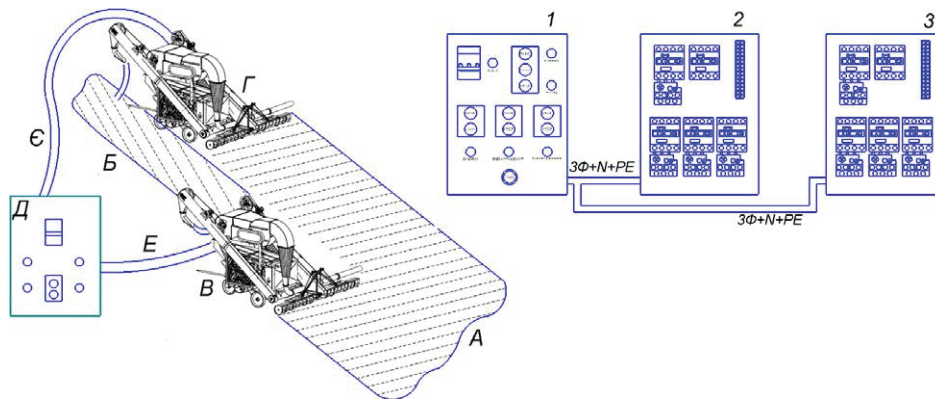


Рис. 4. Вмикання кількох технологічних установок на паралельну роботу: А – неочищена зернова маса; Б – очищена зернова маса; В – зерноочисна машина 1; Г – зерноочисна машина 2; Д – щит електричний керування; Е – кабель керування машини 1; Є – кабель керування машини 2; 1 – кнопковий пост керування; 2 – щит машини 1; 3 – щит машини 2

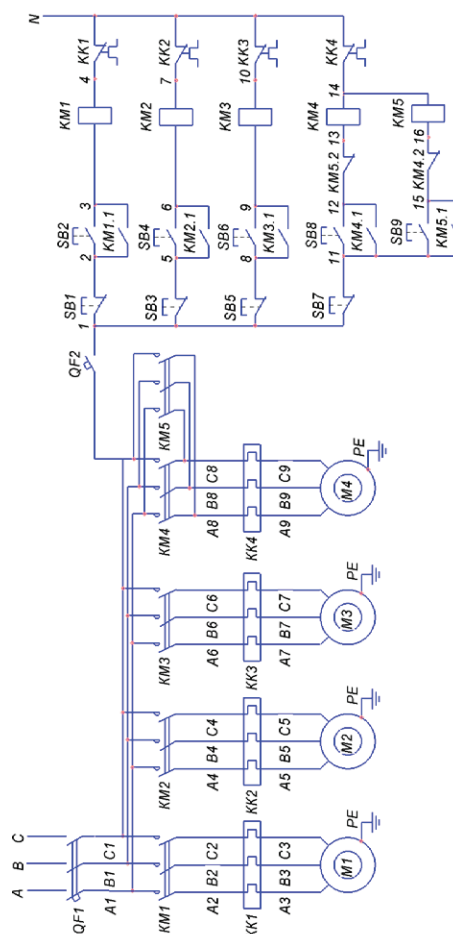


Рис. 5. Схема електрична принципова керування ОВС-25

Результати. Одночасний запуск кількох електричних двигунів є можливим, за найбільш простого способу керування, – з одного кнопкового поста. Однак, одночасна подача напруги до котушок електромагнітних пускачів обох електричних двигунів та їх живлення призводять до збільшення пускового струму I_n в два рази, що відповідає закону збільшення згідно з кратністю збільшення електричних двигунів по кількості. Внаслідок цього,

закономірним є вмикання кожного з електричних двигунів послідовно один за одним, однак в цілях зменшення трудозатрат, – з одного кнопкового поста. Реалізація такої функції є можливою з затримкою в часі на вмикання установки (рис. 6). Для прикладу, перша технологічна установка має пряме живлення котушки електромагнітного пускача від кнопкового поста. Друга технологічна установка з аналогічним привідним електричним двигуном

живитися також з однієї кнопки «Пуск» кнопкового посту, але з затримкою в часі. Така затримка не є критичною, адже скачки струму при пускі є короткочасними. В такий спосіб, затримка в часі на 3 секунди є ефективною з точки зору автоматизації технологічного процесу, що дає можливість одночасного пуску електричного двигуна з одного кнопкового посту одним оператором.

Недоліком представленої системи можна вважати порівняно більшу складність пошуку несправності у разі її появи в колах силового та керування. В результаті аварійної ситуації (короткого замикання або перевантаження) автоматичним вимикачем буде знеструмлено усе електричне коло. В такому випадку пошук несправності є можливим за послідовного відключення кожного зі споживачів з електричного кола методом виключення того чи іншого електричного двигуна в схемі керування.

Ефективна автоматизація технологічного процесу для показаних установок за умови паралельної роботи є доцільною з використання датчиків тиску або датчиків рівня на кожній з машин у колах керування у механізмі завантаження – поруч зі стрічковим транспортером. Подача напруги через нього у разі автоматизованого режиму керування відбуватиметься до привідних електричних двигунів кожної з установок окремо. Таке підключення перед котушками електромагнітних пускачів дає можливість автоматичного вимикання кожної з установок окремо за відсутності зернової маси для очистки (Yurchenko O. Et al., 2023).

Якісні показники використання схеми паралельного керування є можливість визначити виходячи з економії часу, трудозатрат тощо. При цьому, загальні $I_{\text{зар1}}$ кількісні показники пускового та номінального струмів при запуску машин на паралельну роботу можна визначити, розділивши період пуску на 4 основні проміжки:

1) запуск електричного двигуна першої машини, визначення за виразом (2):

$$I_{\text{зар1}} = I_{n1}, \quad (2)$$

де, I_{n1} – пусковий струм електричного двигуна першої машини.

2) робота електричного двигуна першої машини, визначення за виразом (3):

$$I_{\text{зар1}} = I_{p1}, \quad (3)$$

де, I_{p1} – робочий струм електричного двигуна першої машини.

3) робота електричного двигуна першої машини, запуск електричного двигуна другої машини, визначення за виразом (4):

$$I_{\text{зар1}} = I_{p1} + I_{n2}, \quad (4)$$

де, I_{n2} – пусковий струм електричного двигуна другої машини.

4) робота електричних двигунів першої та другої машин, визначення за виразом (5):

$$I_{\text{зар1}} = I_{p1} + I_{p2}, \quad (5)$$

де, I_{p2} – робочий струм електричного двигуна другої машини.

В результаті, графік стрибків струму при паралельному вмиканні двох електричних двигунів, зображений на рисунку 1, можна редагувати в графік, зображений на рис. 7.

Обговорення. Основна мета роботи (Crocke, M.J., 2007) – представити фундаментальний принцип роботи, необхідний розуміння обертання електродвигунів, і навіть їх основну структуру. У цьому розділі спочатку докладно розглядається фундаментальний принцип безперервного обертання електродвигунів. Далі

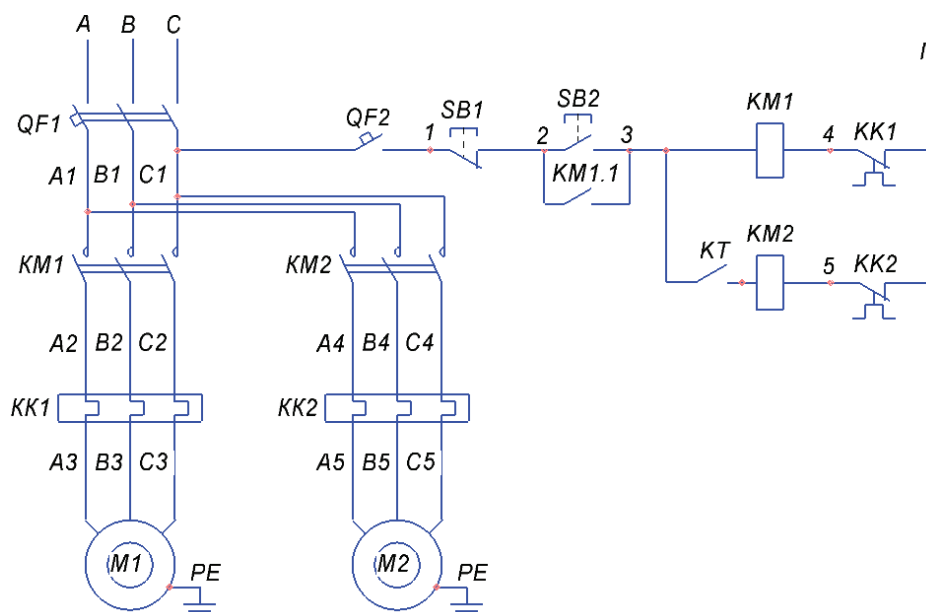


Рис. 6. Схема електрична принципова пуску двох електричних двигунів на паралельну роботу з затримкою в часі другого електродвигуна

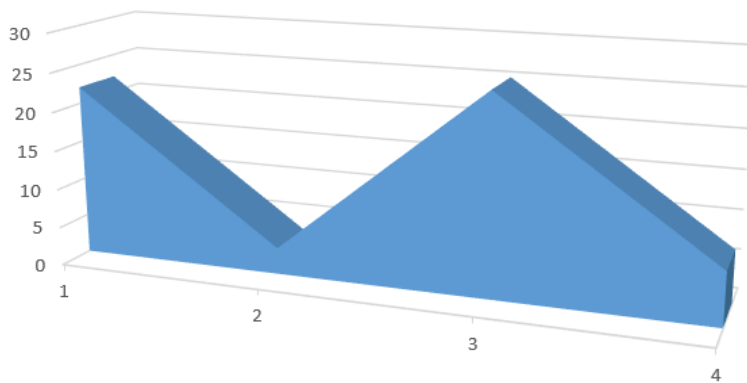


Рис. 7. Графік зміни струму при вмиканні двох електродвигунів на паралельну роботу з затримкою в часі: 1, 2, 3, 4 – періоди пуску; 0–30 – значення струму, А

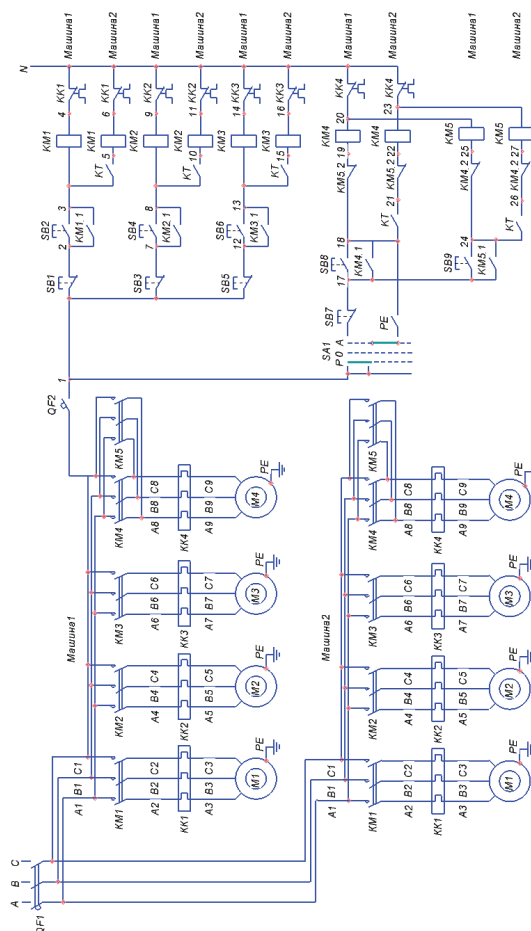


Рис. 8. Схема електрична принципова керування двома машинами ОВС-25 на паралельній роботі

описується, як цей фундаментальний принцип роботи досягається у трьох існуючих типових двигунах: двигуні постійного струму та двигунах змінного струму, синхронному двигуні та асинхронному двигуні. Порівнюючи методи досягнення цього фундаментального принципу, можна виявити різницю між типовими двигунами. У ході цього дослідження представлені базові знання про магнітні та електричні системи, які допоможуть зрозуміти цей фундаментальний принцип роботи електродвигунів.

Нарешті досліджується склад системи моторного приводу. Також представлені характеристики навантаження, що приводиться в рух двигуном, та її математичне моделювання. В роботі (Leonov, G.A. et al., 2012) розглянуто асинхронну машину з короткозамкнутим ротором і синхронну машину з чотирьохполюсним ротором і розроблено нові математичні моделі цих машин. Проведено аналіз встановленої та динамічної стійкості системи, що описує електричні машини.

На електродвигуни та системи, які вони приводять в дію, належить понад 40% світового споживання електроенергії. Машини, що обертаються, є досить ефективними. Вони можуть знизити споживання енергії та стати передовою технологією у додатках, що потребують легких машин (Chow, C.C. et al., 2023). Значимі наслідки неякісної експлуатації електричних двигунів несуть на собою інші питання. Моніторинг стану електричних машин стає все більш важливим при використанні електричної машини в критично важливих промислових та сільськогосподарських об'єктах, де відмова може мати катастрофічні наслідки (Tavner, P.J. et al., 2008).

Висновки. Автоматизація технологічного процесу вмикання електричних двигунів на паралельну

роботу полягає в зменшенні одночасного прояву пускових струмів кількох електричних двигунів. Зменшення кількості операторів вимагає автоматизації процесу керування. В такий спосіб використання реле часу для затримки на вмикання другого електричного двигуна дає можливість плавного пуску двигуна першої машини, а після переходу його в робочий режим вмикання другого електричного двигуна. Визначено, що максимальним струмовим навантаженням за такого способу автоматизації є загальний показник струму в момент роботи електричного двигуна першої технологічної установки та запуск електричного двигуна другої технологічної установки.

Бібліографічні посилання:

1. Broumand, M., Yun, S., & Hong, Z. (2024). A novel phase change material-based thermal management of electric machine windings enabled by additive manufacturing. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122802>
2. Chow, C.C., Ainslie, M.D., & Chau, K.T. (2023). High temperature superconducting rotating electrical machines: An overview. *Energy Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.11.173>
3. Crocker, M.J. (2007). CHAPTER 1 FUNDAMENTALS OF ACOUSTICS, NOISE, AND VIBRATION. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812138-2.00001-5>
4. Fan, S., Meng, D.W., & Ai, M. (2022). Efficiency analytical of five-phase induction motors with different stator connections for fracturing pump drives. *Energy Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.240>
5. Leonov, G.A., Seledzhi, S.M., Solovyeva, E., & Zaretskyi, A. (2012). Stability and Oscillations of Electrical Machines of Alternating Current. *IFAC Proceedings Volumes*, 45, 544-549. <https://doi.org/10.3182/20120215-3-AT-3016.00095>
6. Palmer, C. (2021). The Drive for Electric Motor Innovation. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.11.007>
7. Shi, W., Chen, C., Yang, C., Xian, T., Luo, X., & Zhao, H. (2023). Experimental and simulation study of a hydraulic piezoelectric energy harvester under different connection modes. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128287>
8. Tavner, P.J., Ran, L., Penman, J., & Sedding, H.G. (2008). Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821204-2.00136-7>
9. Usha, S., Tiwari, S., & Kundu, U. (2022). Robust speed control of inverter fed parallel connected induction motors for electric vehicle traction applications. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.774>
10. Yurchenko O., Barsukova H., Chepizhnyi A., Tymoshenko G. (2023). Montazh elektroobladnannya i system keruvannya. Montazh shchytiv keruvannya elektrychnymy dvyhunamy [Installation of electrical equipment and control systems. Installation of control panels of electric motors] Navchal'no-metodychnyy posibnyk dlya zdobuvachiv osvity 2, 1 s.t. kursiv spetsial'nosti: «Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika» inzhenerno-tekhnolohichnoho fakul'tetu dennoyi ta zaochnoyi formy navchannya, SVO «bakalavr» – Sumy: SNAU, 2023. – 144 s. (in Ukrainian).

Yurchenko O. Yu., Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Barsukova H. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Features of turning on electric motors for parallel work in the automation of processes in agriculture

Increasing production volumes requires automation of processes. Turning on electric motors for parallel operation is a quite effective solution. This is due to the minimization of labor costs, improvement of working conditions, reduction of the probability of system failure due to human error. The automatic mode of operation of the equipment makes it possible to connect several machines for parallel operation with automatic start-up or shutdown of installations. In addition, modern technologies make it possible to regulate the process automatically without the intervention of personnel. This article deals with the automation of the technological process of grain mass cleaning. Relatively small volumes of grain mass (for example, 200 tons), which arrive from the field or storage points, are not always advisable to be cleaned by large grain cleaning facilities, or at all in their absence. Therefore, it is advisable to use self-propelled grain cleaning machines by small farms. Automation of processes and efficient use of resources require the connection of several machines for parallel work. However, the problem of turning on such machines for parallel operation is the appearance of large starting currents of each of the electric motors. Turning on several machines for parallel operation leads to an increase in the starting current multiple times the number of such machines. For this purpose, this paper considers the automation of switching on machines for parallel operation with a delay on switching on time of the second technological installation. It was established that the maximum current load under this method of automation is the total current indicator at the time of operation of the electric motor of the first technological unit and the start of the electric motor of the second technological unit. As a result, the automation of the process achieves the gradual switching on of electric motors for parallel operation without the simultaneous manifestation of the starting currents of the electric motors of each of the installations.

Key words: current, starting current, rated current, operating current, installation, equipment, switch-on delay, power supply, electrical panel.