



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI:10.37128/2520-6168-2021-2

**Machinery
Energetics
Transport
of Agribusiness**



**ТЕХНІКА
ЕНЕРГЕТИКА
ТРАНСПОРТ АПК**



Всеукраїнський науково-технічний журнал

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

№ 2 (113) / 2021

м. Вінниця - 2021

**ТЕХНІКА,
ЕНЕРГЕТИКА,
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2021. 2(113). С. 177.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 12 від 29.06.2021 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.

Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886);

- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);

- індексується в CrossRef, Google Scholar;

- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.

Головний редактор

Токарчук О.А. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Веселовська Н.Р. – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

Відповідальний секретар

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., проф., академік НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Севостьянов І.В. – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

Граняк В.Ф. – к.т.н., доц., Вінницький національний технічний університет

Спірін А.В. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Іванчук Я.В. – к.т.н., доц., Вінницький національний технічний університет

Твердохліб І.В. – д.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Іскович – Лотоцький Р.Д. – д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет

Цуркан О.В. – д.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Купчук І.М. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Яронуд В.М. – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

Йордан Максимов – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** кандидат технічних наук, доцент
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет,
тел. (0432) 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

Електронна адреса: pophv@ukr.net

**I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ.***Веселовська Н.Р., Гайдамак О.Л., Карпійчук М.Ф., Кучеренко Ю.С.***ПРОЦЕСИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ВИРОБІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ..... 4***Ivan Sevostianov, Oleksii Tokarchuk, Maryna Pidlypna***AUTOMATED TECHNOLOGICAL PROJECTION OF CLASSIFICATION PROCESSES OF DRY DISPERSIVE MATERIALS..... 15***Михалевич В.М., Матвійчук В.А., Бубновська І.А.***ОЦІНКА ДЕФОРМОВНОСТІ МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК ПРИ ВАЛЬЦЮВАННІ..... 22***Островський А.Й.***УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДБОРТУВАННЯ КРУГЛОГО ОТВОРУ У ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВКАХ..... 31***Serhiy Shargorodskiy, Volodymyr Rutkevych***INFLUENCE OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEM FEED AND DESIGN OF THE WORKING BODY ON THE DRIVE POWER OF THE CUTTING MECHANISM..... 38***Yurii Polievoda, Alla Solomon***THE CHOICE OF FACTORS OF INFLUENCE ON VIBRO-CENTRIC SEPARATION OF LIQUID INHOMOGENEOUS RAW MATERSALS 50****II. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА***Возняк О.М., Штуць А.А., Замрій М.А.***СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ КОЛЕКТОРНИМ ДВИГУНОМ..... 57****III. АГРОІНЖЕНЕРІЯ***Анісімов В.Ф., Сленич А.П.***ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНУ ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ..... 67***Бабин І.А.***РЕЗУЛЬТАТИ ВИРОБНИЧОЇ ПЕРЕВІРКИ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРОМИВАННЯ МОЛОКОПРОВІДНОЇ ЛІНІЇ ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК..... 78***Гулько І.В.***ТЕНДЕНЦІЇ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ ЕНЕРГОНОСІВ МАШИНИХ АГРЕГАТИВ..... 88***Гулько І.В., Левчук О.В.***ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІШАНОГО НАВЧАННЯ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ В УМОВАХ ННВК «ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ КОНСОРЦІУМ»..... 97***Котов Б.І., Калініченко Р.А., Рудь А.В., Грушецький С.М.***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНА ПІСЛЯ СУШІННЯ І ТЕРМООБРОБКИ..... 111***Пришляк В.М., Дубчак В.М.***ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА РУХУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАТЕРІАЛІВ У РІДИННОМУ ТА ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩАХ ЗА УМОВИ ДІЇ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ..... 121***Пришляк В.М., Мизюк А.І.***СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ АГРОТЕХНІЧНИХ І МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЕРЕДУМОВ ДО РОЗРАХУНКУ, ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ КАРТОПЛЕСАДЖАЛОК***Спірін А.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Побережець Ю.М.***ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ ДОСУШУВАННЯ ПРОДУКТІВ ФРАКЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ ЛЮЦЕРНИ..... 142***Холодюк О.В.***ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ AGRAS T16..... 152***Яропуд В. М., Алієв Е.Б.***РЕЗУЛЬТАТИ ОБСТЕЖЕННЯ СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В СВИНАРНИКУ ІЗ СИСТЕМОЮ ВЕНТИЛЯЦІЇ ВІД'ЄМНОГО ТИСКУ..... 168**



УДК 681.586.773(035)

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-2-7

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ КОЛЕКТОРНИМ ДВИГУНОМ

Возняк Олександр Миколайович, к.т.н. доцент
Штуць Андрій Анатолійович, асистент
Замрій Михайло Анатолійович, магістр
Вінницький національний аграрний університет

Alexander Wozniak, Ph.D., Associate Professor
Andrei Shtuts, Assistant
Mykhailo Zamrii, Master
Vinnytsia National Agrarian University

Однією з головних особливостей сучасного етапу науково-технічного прогресу є більш широке використання мікроелектроніки в різноманітних галузях народного господарства, яке весь час зростає. Роль мікроелектроніки в розвитку суспільного виробництва визначається її практично не обмеженими можливостями у рішенні різних завдань в усіх галузях народного господарства, її глибоким впливом на культуру та життя сучасної людини.

Особлива увага зараз приділяється впровадженню мікропроцесорів, які вирішують задачі автоматизації управління механізмами, приладами та апаратурою. Адаптування мікропроцесору до умов конкретної задачі виконується здебільшого шляхом розробки відповідного програмного забезпечення, що потім заноситься в пам'ять програм. Апаратне адаптування в більшості випадків виконується шляхом підключення необхідних інтегральних схем управління та організації введення-виведення, що відповідають задачі, яка вирішується.

В даній роботі розроблено мікропроцесорну систему регулювання обертів колекторного двигуна постійного струму. Мікропроцесорну систему розроблено на базі мікропроцесора KM1816 BE 51 з використанням ЦАП. Мікропроцесорна за програмою змінює швидкість двигуна в діапазоні від 1000 до 3000 оборотів на хвилину.

В мікропроцесорній техніці виділився самостійний клас великих інтегральних схем (ВІС) – однокристалеві мікроЕОМ (ОМЕОМ), які призначені для “інтелектуалізації” приладів різного призначення. Архітектура однокристалевих мікроЕОМ – результат еволюції мікропроцесорів та мікропроцесорних систем, що обумовлено прагненням суттєво знизити їх апаратні затрати та вартість. Як правило, ці цілі досягаються як шляхом підвищення інтеграції ВІС, так і за рахунок пошуку компромісу між вартістю, апаратними затратами та технічними характеристиками ОМЕОМ.

Розробка систем управління на однокристальних мікро ЕОМ є одним з найбільш перспективних напрямків в області автоматизації процесів, регулювання і управління.

Ключові слова: Система управління, колекторний двигун, мікропроцесор, технологічні процеси, розробка, дослідження, удосконалення.

Ф. 16. Табл. 1. Рис. 7. Літ. 11.

1. Постановка проблеми

ОМЕОМ являють собою прилади, що конструктивно виконані в одному корпусі ВІС та містять в собі всі пристрої, які потрібні для реалізації цифрової системи управління мінімальної конфігурації: процесор, запам'ятовуючий пристрій даних, запам'ятовуючий пристрій команд, внутрішній генератор тактових сигналів, а також програмовані інтегральні схеми для зв'язку з зовнішньою середою. Використання ОМЕОМ в системах управління забезпечує досягнення виключно високих показників ефективності при низькій вартості (в багатьох випадках системи може складатись лише з однієї ВІС ОМЕОМ). Мабуть цим схемам в найближчому часі нема альтернативної елементної бази для побудови управляючих та/або регулюючих систем. Зараз більше двох третин світового ринку мікропроцесорних засобів складають саме ВІС ОМЕОМ. В деяких джерелах однокристальні мікроЕОМ називають “мікроконтролерами”. Це пояснюється тим, що такі мікросхеми мають незначні ємності пам'яті, фізичне та логічне розділення пам'яті програм (ПЗП) і пам'яті даних (ОЗП), спрощену та зорєнтовану на задачі систему команд, примитивні методи адресації та команд та даних. Специфічна організація введення-виведення інформації визначає область їх використання в якості спеціалізованих обчислювачів, що входять в контур управління об'єктом чи процесом. Структурна організація, набір команд та апаратно-програмні засоби введення-виведення інформації цих мікросхем краще всього



пристосовані для рішення задач управління і регулювання в приладах, пристроях та системах автоматики, а не для рішення задач обробки даних.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Бажання використовувати цифрову ЕОМ як пристрій управління з'явилося одразу ж при освоєнні промисловістю випуску першого покоління обчислювальних машин. Але низька надійність ЕОМ першого та другого покоління, мала швидкодія та якість давачів тривалий час не дозволяли створити працездатні замкнені системи цифрового управління.

Замкнені системи, в яких управляюча обчислювальна машина видає управляючі сигнали на виконавчі органи (наприклад, електропривод), знайшли застосування тільки з появою ЕОМ третього покоління, що були зібрані на інтегральних мікросхемах.

Досвід дослідження та практика експлуатації виявили перевагу побудови ієрархічних структур автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП), при якій на нижньому рівні використовують системи, що безпосередньо управляють виконавчими механізмами. І системи поступово перетворились в конструктивно закінчені вузли - контролери.

На нижньому рівні ієрархічної АСУ ТП використовуються зараз локальні автоматизовані системи регулювання механізмів (локальні контролери), що в більшості випадків обладнані регулювальними електроприводами, в яких найбільшої ваги набули саме електроприводи постійного струму на основі колекторних двигунів.

При побудові мікропроцесорних систем управління колекторними двигунами із застосуванням управляючої мікро-ЕОМ (персонального комп'ютера) використовується зараз, як правило, два структурних варіанти: автономний (рис 1, а) та неавтономний (рис 1, б) [1, 3]. В автономній системі мікро-ЕОМ СР виконує функції задавача основної змінної, що підлягає регулюванню. При цьому в мікропроцесорну систему обов'язково треба вводити спеціалізований обчислювальний пристрій CPU (мікропроцесорний контролер), на який покладені основні функції регулятора цієї змінної. При такому структурному рішенні мікро-ЕОМ звільняється від функцій цього регулювання для виконання інших функцій управління в АСУ ТП.

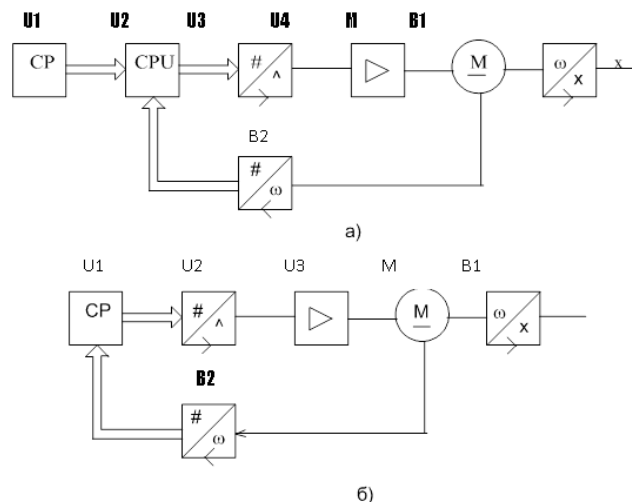


Рис. 1. Функціональні схеми автономної (а) та неавтономної (б) цифрових систем управління двигуном

В неавтономній системі цифрового управління електроприводом колекторного двигуна управляюча мікро-ЕОМ СР повністю ввімкнена в контур регулювання основної змінної, що не дозволяє її використання для виконання управління в межах всієї системи. Таке рішення є досить нерациональним, бо можливості мікро-ЕОМ використовуються неефективно.

Тому в якості основного структурного рішення цифрового управління електроприводом колекторного двигуна обираємо автономну систему (рис 1, а).

Структурна реалізація мікропроцесорної системи залежить вже від вибраної апаратної бази. Але сама система регулювання швидкості обертання колекторного електродвигуна, що буде реалізовуватись має певні усталені структурні рішення.

Найбільшого розповсюдження в системах управління електроприводами верстатів з ЧПУ та промислових роботів набула система підпорядкованого регулювання швидкості обертання колекторного двигуна, що наведена на рис. 2 [3].



Така система забезпечує регулювання швидкості обертання при наявності двох контурів регулювання: за струмом (регулятор струму F, силовий перетворювач - підсилювач U6, вимірювальний перетворювач струму B1) та за швидкістю (порівняльний пристрій U1, інтегровальний пристрій U2, цифро-аналоговий перетворювач U3, ПІД- регулятор швидкості U4 та цифровий перетворювач швидкості B2).

Необхідність регулювання струму колекторного електродвигуна пов'язана з режимами пуску, гальмування та реверсу потужних електродвигунів, коли виникають великі пускові струми в якірній обмотці. Для їх обмеження при цих перехідних процесах і виникає необхідність в застосування спеціального регулятора струму.

Регулювання швидкості здійснюється шляхом порівняння цифрового коду $N_{зад}$ завдання на швидкість (від мікро-ЕОМ верхнього рівня) з цифровим кодом реальної швидкості N_w , що формується цифровим перетворювачем швидкості B2. Для надання контуру швидкості необхідного статизму похибка регулювання з виходу блоку U1 інтегрується в блоці U2, а потім подається на цифро-аналоговий перетворювач U3. Всі ці перетворення виконуються в цифровому вигляді. Регулятор швидкості U4 створюється аналоговим, щоб підвищити його швидкодію.

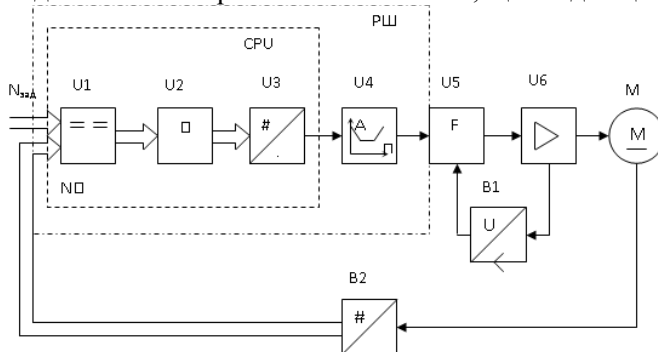


Рис. 2. Структурна електрична схема цифрової системи підпорядкованого управління електродвигуном

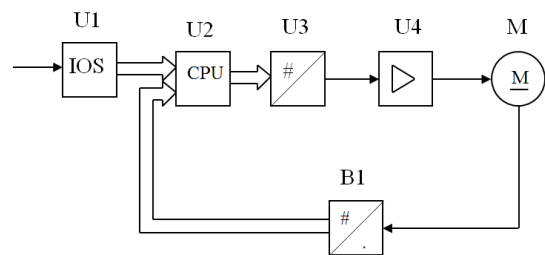


Рис. 3. Структурна електрична схема цифрового управління швидкістю без контура регулювання струму

Характерною ознакою сучасних мікропроцесорних систем є дуже розвинута система периферійних пристроїв введення-виведення, велика швидкодія центрального процесорного пристрою та широкий набір команд для побудови програм обробки даних. Тому доцільним є зараз максимальне підвищення частки цифрової обробки інформації при управлінні та відповідне підвищення саме програмної реалізації алгоритмів цієї обробки. При такому підході блоки U4 та U5 структурної схеми на рисунку 2 можна реалізувати програмно, а перетворювач B1 обладнати додатковим АЦП.

Аналіз процесів управління мікропотужними електродвигунами постійного струму, проведений в [3], показує, що без зайвих труднощів контур регулювання струму можна відкинути, а обмеження за максимальним струмом (при перехідних процесах пуску і реверсу) здійснювати за рахунок програмного поступового збільшення та зменшення напруги на якірній обмотці в цих режимах.

В такому разі більш доцільною функціональною схемою системи управління швидкістю є та, що зображена на рис. 3.

В цій схемі мікро-ЕОМ верхнього рівня управління надсилає до локальної системи (мікроконтролера) завдання на швидкість колекторного електродвигуна $N_{зад}$, яке через послідовний інтерфейс IOS вводиться до мікропроцесорного пристрою CPU. В CPU реалізовані всі функції регулювання швидкості в усталеному та перехідному режимах, що використовують дані про реальну швидкість електродвигуна у вигляді цифрового коду N_w . Формування цього коду здійснюється в вимірювальному перетворювачі B1.

Цей перетворювач має дуже велике значення, бо його похибка та швидкодія напряму впливають на точність та інші якості процесу регулювання швидкості.

Розглянемо можливі варіанти виконання перетворювача швидкості в цифровий код [1,3-7]. До складу таких перетворювачів обов'язково входить давач швидкості (ДШ), який перетворює швидкість колекторного електродвигуна в електричний сигнал.

Вони розділяються на аналогові та імпульсні давачі. До перших належать тахогенератори (ТГ)-мікромашини постійного та змінного струму. Недоліком цих давачів, окрім великих габаритів та низької надійності, є ще необхідність відповідних перетворювачів аналогових сигналів в цифровий код (АЦП), які значно ускладнюють схему контролера та уповільнюють процес обробки інформації.



Найбільшого розповсюдження в мікропроцесорних пристроях управління швидкістю колекторних електродвигунів набули імпульсні давачі, а особливо фотоелектричні. Вони відрізняються великою надійністю та швидкодією, мають малу інерційність рухомих частин та, як правило, забезпечують добре узгодження вихідного сигналу з входом мікросхем.

Цифровий давач швидкості функціонально складається з двох частин: імпульсного перетворювача швидкості - давача імпульсів, що перетворює кутову швидкість валу в імпульси з частотою f , яка пропорційна швидкості, та кодового перетворювача, що формує цифровий код, пропорційний швидкості обертання валу (рис 4).

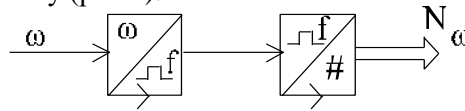


Рис. 4. Функціональна схема цифрового давача швидкості з імпульсним давачем

Від алгоритму роботи перетворювача «частота імпульсів - код» залежить точність роботи усього вимірювача швидкості, а також діапазон вимірюваних швидкостей. Є два основні способи здійснення цього перетворення.

В перший спосіб методом числення імпульсів від імпульсного (частотного) давача швидкості з одночасним кодуванням результату визначають частоту обертання n_x за фіксований еталонний часовий інтервал T_0 , що задається зразковою мірою часу (тахометри середніх значень). Такий спосіб відрізняється порівняною простотою, високими технічними характеристиками та низькою похибкою при збільшенні швидкості обертання.

Недоліком цього способу є зростання похибки вимірювання при зниженні швидкості обертання колекторного електродвигуна:

$$\delta_{T_0} = \frac{60}{T_0 \cdot n_x \cdot z} \cdot 100\% \quad (1)$$

де δ_{T_0} – відносна похибка вимірювання частоти при постійному часі T_0 ; T_0 – еталонний часовий інтервал; z – кількість імпульсів за оберт модулятора частотного давача швидкості.

Більш високі метрологічні характеристики в області низьких частот обертання має спосіб, що ґрунтується на використанні інформації про тривалість періоду T_x на виході частотного давача швидкості. Пристрої, що реалізують цей метод, називають цифровими тахометрами миттєвих значень. Однак похибка квантування цих пристроїв δ_k при вимірюванні великих частот обертання дуже велика:

$$\delta_k = \frac{n_x \cdot z}{f_0 \cdot 60} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де f_0 – частота квантування імпульсів.

Перед тахометрією гостро ставляться питання про розширення діапазону вимірювання частоти обертання, підвищення швидкодії і точності тахометрів. Кожний з розглянутих цифрових способів вимірювання частоти обертання не дозволяє в комплексі розв'язати поставлене завдання. Один із можливих варіантів його розв'язання - використання переваг тахометрів середніх та миттєвих значень.

Для спільного використання розглянутих цифрових способів вимірювання визначають критичну частоту обертання $n_{кр}$, яка може бути вихідною інформацією для перемикавання структури тахометра з одного способу вимірювання на інший.

Порівнявши похибки цифрових тахометрів для двох способів вимірювання

$$d_{T_0} = d_k, \quad (3)$$

визначимо критичну частоту обертання:

$$n_{кр} = \frac{60}{z} \cdot \sqrt{\frac{f_0}{T_0}}. \quad (4)$$

Реалізація такого універсального цифрового тахометра може бути апаратною чи програмно-апаратною. З зростанням швидкодії мікропроцесорних компонентів другий шлях стає більш реальним. В нашому випадку, коли швидкість обертання електродвигуна повинна регулюватися в широких межах (від 0 до 3600 об/хв), а похибка вимірювання обмежена на невеликому рівні 1,5%, застосування саме універсального тахометру є повністю доцільним.

Мікропроцесорна система має застосовуватися для програмного управління зміною швидкості обертів колекторного двигуна постійного струму. Діапазон зміни вихідної напруги пристрою має бути в межах 16..36 В. Відповідний діапазон зміни швидкості двигуна постійного струму 1000..3000 об/хв.

Велика кількість технологічних процесів потребують зміни швидкості виконавчого механізму (двигуна) за якоюсь функцією. Для цього необхідно досить точно, і часто, дуже швидко змінювати



вхідну напругу обмотки збудження двигуна. Система з використанням мікропроцесору дозволяє виконувати ці маніпуляції дуже швидко і з великою точністю. Крім того є можливість запрограмувати пристрій на зміну швидкості за довільною функцією з великим діапазоном періоду дискретизації.

Згідно цих умов мікропроцесорна система має використовуватися для програмної зміни вхідної напруги обмотки збудження двигуна постійного струму, що відповідно буде приводити до зміни швидкості обертів двигуна.

В цілому промислова мікропроцесорна система має включати металевий корпус, де безпосередньо буде розміщуватися плата пристрою. Плата має кріпитися на металевих штирях, що монтуються до корпусу. Два з'єднувальні дроти (живлення, з'єднання з обмоткою збудження двигуна постійного струму).

Напруга обмотки збудження двигуна постійного струму має бути в межах 16 - 36 В і її зміна має виконувати зміну швидкості двигуна від 1000 до 3000 об/хв з кроком регулювання швидкості 300 об/хв. при цьому максимальний струм обмотки збудження має складати 0,0012 А.

Для забезпечення безвідмовності роботи мікропроцесорна система має відповідати показникам надійності і тому необхідно виконати її в металевому корпусі. Використання металевого корпусу буде збільшувати надійність мікропроцесорної системи при механічних ушкодженнях. Для захисту від завад живлення в системі мають бути присутні фільтри. На процесорі встановлена схема коректного включення при вмиканні живлення.

В якості матриці опорів ($R..2nR$) та аналогового ключа SW, який має перетворювати цифровий код в аналоговий сигнал будемо використовувати ВІС цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), що містить матрицю опорів розташовану безпосередньо на кристалі мікросхеми.

Оскільки максимальна вихідна напруга ЦАП 10 В, то необхідно використовувати операційний підсилювач (ОП), з коефіцієнтом підсилення 3,6.

Відповідно до цих особливостей та аналізу викладених вище структурних електричних схем структурна електрична схема мікропроцесорної системи регулювання обертів постійного двигуна буде мати вигляд наведений на рис. 5.

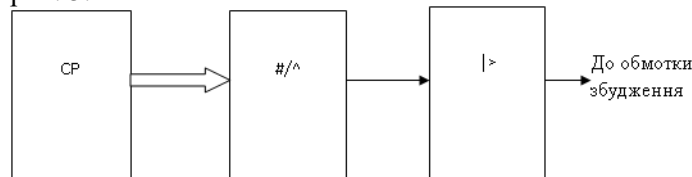


Рис 5. Структурна електрична схема мікропроцесорної системи регулювання обертів двигуна постійного струму

Розрахунок рівняння перетворення. Відомо дві точки зв'язку між швидкістю обертів колекторного двигуна та напругою обмотки збудження. Також відомо, що характеристика має лінійний вигляд.

Для визначення рівняння перетворення приймемо точка 1 з початковими координатами, що відповідають початковим значенням умови завдання - $U_1=16В$, $f_1=3000об/хв.$, та точку 2 з координатами $U_2=36 В$ $f_2=1000 об/хв.$, які відповідають кінцевим значенням умови завдання.

Згідно з умови завдання рівняння перетворення відповідає лінійній характеристиці і має аналітичний вигляд:

$$U = k_f + A, \quad (5)$$

де k і A коефіцієнти.

При чому

$$k = (U_2 - U_1) / (f_2 - f_1) \quad (6)$$

де $k = (36 - 16) / (1000 - 3000) = -0,01$.

Підстановкою у рівняння отриманого значення k та координати однієї з точок знаходимо A :

$$U = -0,01f + A; \quad (7)$$

$$36 = -0,01 * 1000 + A; \quad (8)$$

$$A = 36 + 10 = 46.$$

Отже отримано залежність (формула 9) частоти обертів колекторного двигуна постійного струму від напруги на обмотці збудження, що подається даним приладом.

$$U = - 0,01f + 46 \quad (9)$$

Вихідна напруга ЦАП залежить від джерела опорної напруги, розрядності ЦАП та числа поданого на нього (формула 10).

$$U_{вих\ ЦАП} = N_{ex} * U_{on} / 2^n, \quad (10)$$

де n – кількість розрядів ЦАП.



Оскільки максимальна вихідна напруга ЦАП дорівнює опорній напрузі (10 В), то щоб на виході отримати необхідну максимальну напругу 36 В потрібен підсилювач з коефіцієнтом підсилення 3,6. Таким чином рівняння перетворення для виходу пристрою матиме вигляд (формула 11):

$$U_{вих} = КОП * N_{ex} * U_{оп} / 2n, \quad (11)$$

де КОП – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

Підставивши числові значення можна отримати:

$$U_{вих} = 0,0352N_{ex} \quad (12)$$

З формули 7 легко отримати зворотню залежність:

$$f = -100U + 4600 \quad (13)$$

При підстановці формули 12 в 13 виходить:

$$f = -3,52N_{ex} + 4600 \quad (14)$$

Для зручності управління ЦАП за допомогою процесора молодші два біти ЦАП не використовуються. В такому випадку ми маємо похибку перетворення, оскільки найменша різниця між двома найближчими значеннями на вході ЦАП $N_{ex}=4$.

Для цього випадку розраховується різниця частот обертів при $N_{ex}=4$. Беруться два довільних значення: $N_1=0$, $N_2=4$ і для них розраховується:

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (15)$$

$$\Delta f = -3,52(4-0) = 14,08$$

З завдання видно, що крок регулювання дорівнює 300 об/хв. Виходячи з цих даних розраховується похибка регулювання:

$$\Delta = (14,08 * 100\%) / 300 = 4,69 \%$$

Це максимальна похибка регулювання.

3. Виклад основного матеріалу

Вибір елементної бази є одним з ключових питань в розробці мікропроцесорної системи регулювання швидкості двигуна постійного струму.

Головним елементом розробленої системи має бути мікроконтролер. В даній бакалаврській дипломній роботі цим елементом буде мікроконтролер КМ1816ВЕ51, оскільки він має наступні переваги:

- компактніший за мікропроцесор з усіма необхідними до нього компонентами
- наявність функцій, які достатні для реалізації мікропроцесорної системи.

КМ1816ВЕ51 виконаний на основі високорівневої n-МОП технології і випускається в корпусі БІС, що має 40 зовнішніх виводів. Для роботи мікроконтролера необхідне джерело живлення +5 В. Чотири програмованих порти вводу-виводу МК51 в стандарті ТТЛ-схем формують схеми з трьома станами виходу. Основу МК51 складає внутрішня двохнаправлена восьми бітна шина, яка зв'язує між собою всі основні вузли і пристрої: резидентську пам'ять, АЛП, блок регістрів спеціальних функцій, пристрій управління і порти вводу-виводу [8].

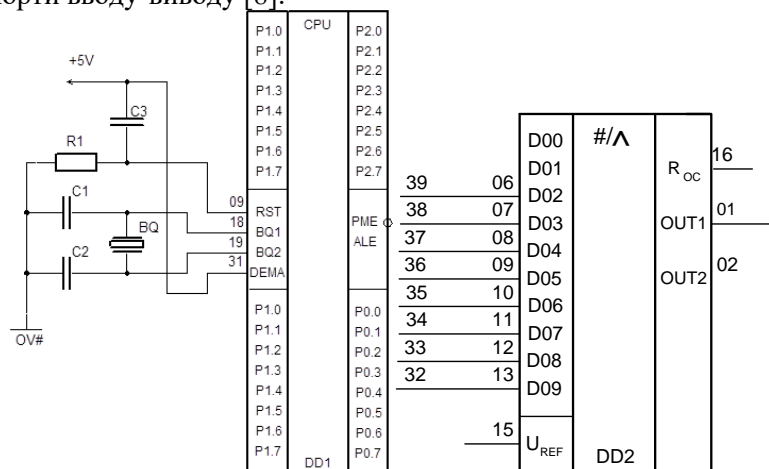


Рис. 6. Підключення контролера до системної шини. Схеми електрична принципова

Отже, основу розробленого пристрою складає мікроконтролер, виконаний на n-МОП технології і має вихідні стандартні сигнали ТТЛ-схем. Значить, нам потрібно підбирати апаратури пристрою, яка була б сумісна з даними контролером. Цим вимогам відповідають універсальні інтерфейсні мікросхеми серії 580 та логічні елементи серії 1533.



Перевага мікросхем мікропроцесорного комплексу в тому, що вони можуть бути програмовані та їх легко програмувати, вони приміняються для двохнаправленої передачі даних та сигналів управління, мають третій високоомний стан, що дозволяє їх під'єднувати до загальної шини даних [9,10,11].

Згідно цієї схеми ЦАП DD2 під'єднується до контролера DD1 через порт P0. На порт P0 поступає програмно-визначене цифрове значення швидкості обертання з арифметично-логічного пристрою контролера. Далі ці сигнали поступають на входи D0.2 – D0.9 ЦАП. Після цього цифрове значення отримане з контролера DD1 перетворюється в аналоговий сигнал внутрішнім магазином регістрів ЦАПа DD2 і формує сигнал на контактах OUT.

Схема включення ЦАП на рисунку 7 забезпечує функцію уніполярного перетворення коду в напругу на виході зовнішнього ОП. Вихідна напруга формується в діапазоні від 0 до 36 В.

Для того щоб не погіршилися точність та швидкості характеристики ЦАП необхідно вірно вибрати зовнішні ОП. Бажано щоб напруга зміщення ОП не перевищувала 5 мВ, а час встановлення не був більшим 2-5 мкс. В даній схемі використовується DA2 К154УД3, який має зміщення нуля 8 мВ, а час встановлення 0,5 мкс.

Для захисту перетворювача DD2 від завад в колах живлення ОП використовуються конденсатори С6-С8 типу К50-24 та конденсатор С 9 типу КМ-56-П32. Для захисту виходів ЦАП від випадкового попадання відємної напруги їх заземлюють або підключають через обмежувачі на діодах Шотки КД514А VD2-VD5.

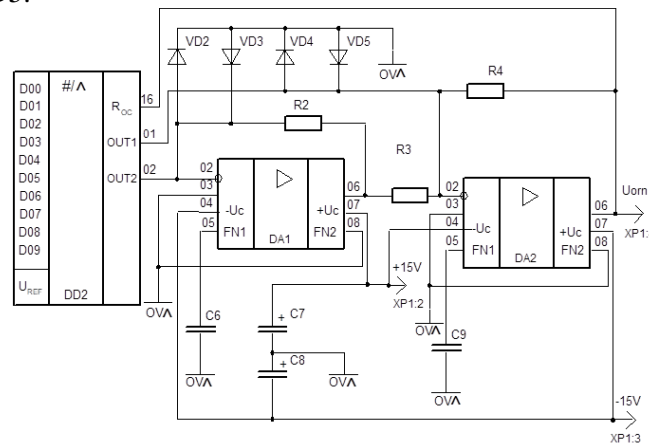


Рис. 7. Електрична принципова схема включення ЦАП

Розробка програмного забезпечення. Розрахунок вихідних даних. Оскільки в ЦАП використовуються лише старших вісім розрядів необхідно розрахувати дані які потрібно виставляти процесору в порт.

За завданням управління швидкістю обертів двигуна постійного струму виконується програмно, тобто програма записана в пам'ять процесора задає зміну швидкості. З завдання видно, що характеристика яка завдана квазілінійна, а крок управління двигуном 300об/хв. Завдається напрямком змінення швидкості в сторону збільшення. Крім того вибирається інтервал часу між двома сусідніми змінами швидкості 10 с.

Програмне управління і завдання параметрів дає можливість змінювати характеристику управління в широких межах за часом, виглядом функції.

Використовуючи рівняння перетворення знаходиться за даними швидкості число яке необхідно виставити на вхід ЦАП процесору. Завдається ряд швидкостей управління у вигляді: 1000, 1300, 1600, 1900, 2200, 2500, 2800, 3000 об/хв.

$$N_{ex} = (4600 - f) / 3,52. \quad (16)$$

Таким чином розраховуємо дані і переводимо їх у двійкову систему. Дані зведені до таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні дані процесору

Швидкість, об/хв.	N _{вх10}	N _{вх2}	N' _{вх2}	N'' _{вх2}	N _{вх16}
1000	1024	1111111111	11111111 00	11111111	FF
1300	938	1110101010	11101011 00	11101011	EB
1600	852	1101010100	11010101 00	11010101	D5
1900	767	1011111111	11000000 00	11000000	C0
2200	682	1010101010	10101010 00	10101010	AA
2500	597	1001010101	10010101 00	10010101	95
2800	511	0111111111	10000000 00	10000000	80
3000	455	0111000111	01110010 00	01110010	72



Виконано наступні операції:

- Для кожної швидкості отримано число з рівняння перетворення в десятковій формі $N_{\text{BK}10}$;
- Числа переведені в десятирозрядні двійкові числа $N_{\text{BK}2}$;
- Числа $N_{\text{BK}2}$ перетворені в числа $N'_{\text{BK}2}$ таким чином, щоб молодших два біти були нульовими та між числами $N'_{\text{BK}2}$ і $N_{\text{BK}2}$ була якнайменша різниця за модулем;
- Числа $N'_{\text{BK}2}$ утворені відкиданням молодших двох разрядів числа $N_{\text{BK}2}$ і записані в шістнадцятковій формі $N_{\text{BK}16}$.

Таким чином отримано восьмирозрядні дані, що не перевищують розрахункову похибку.

Розробка програми. Для реалізації програмного забезпечення обертаємо асемблер процесору КМ1816ВЕ51, оскільки це єдина мова програмування спеціально адаптована для даного процесору, яка є досить зручною для реалізації необхідних функцій системи.

Для реалізації програми зміни швидкості двигуна постійного струму необхідно отримати програмну затримку інтервалом в 10с. Це встановлена затримка між двома сусідніми змінами швидкостей. З цією метою використовується вбудований таймер/лічильник мікропроцесору КМ1816ВЕ51.

При тактовій частоті внутрішнього генератору процесору 12 МГц один машинний цикл буде займати часу 1 мкс. Для отримання затримки в 10 с необхідно виконати 107 машинних циклів. Оскільки таймери 16-розрядні, то максимальне число, що можливо в них завантажити 65535. Обрано число 40000. Оскільки таймер працює на додавання, в нього буде завантажуватись число $65535-40000=25535$. Таким чином отримано затримку в $4*104$ машинних циклів. Для отримання повної затримки необхідно виконати 250 циклів роботи таймеру.

Оскільки робочих швидкостей 8, то такі цикли необхідно організувати після кожного завантаження швидкості. Крім того для постійного виконання програми зміни швидкості двигуна необхідно організувати великий безумовний цикл на всю програму.

4. Висновки

Вході виконання роботи були розглянуті методи регулювання кількості обертів колекторного двигуна.

Було розроблено мікропроцесорну систему програмного регулювання швидкістю колекторного двигуна постійного струму на базі однокристального контролера КМ1816ВЕ51. При цьому була досліджена запропонована структура пристрою і розроблена відповідна структурна схема з більш досконалою реалізацією на ВІС. Розраховані та розроблені вузли принципової схеми пристрою: однокристальний мікропроцесор зі схемою скидання при вмиканні живлення, ЦАП з підсиленням виходом за напругою.

Проведені розрахунки рівняння перетворення даного пристрою, розраховані числові дані процесору для управління швидкістю двигуна постійного струму та похибка перетворення.

Було розроблено програмне забезпечення для контролера КМ1816ВЕ51, яке забезпечує роботу пристрою та постійну зміну вихідної напруги за обраною характеристикою зміни швидкості двигуна постійного струму. Приведені відповідні структура програмного забезпечення та лістинг програми.

Список використаних джерел

1. Васюра А. С., Кривоугбченко С. Г., Кулик А. Я., Компанець М. М. Елементи локальних систем автоматики. Вінниця: ВДГУ, 1998. 103с.
2. Арсеньев Ю. Н., Журавлев В. М. Проектирование систем логического управления на микропроцессорных средствах. М.: Высшая школа, 1991. 319с.
3. Глотов Е. В., Федоров В. Л. Конверсионная продукция: комплекс ультразвуковых приборов контроля и регулирования уровня жидких сред. *Приборы и системы управления*. 1996. №3. С. 42–45.
4. Черенкова В. В. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник. Л.: Машиностроение. 2009. 234 с.
5. Буренин П. В. Радиолокационные импульсные устройства. *Приборы и системы управления*. 1996. №10. С. 31–34.
6. Чесаков Л. И., Шафрановский М. Н. Акустические многофункциональные датчики. *Приборы и системы управления*. 1995. №9. С. 38–40.
7. Сташин В. В., Урусов А. В., Мологонцева О. Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтролерах. М.: Энергоатомиздат. 1990. 321 с.
8. Романенко В. Д., Ігнатенко Б. В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микро-ЭВМ. К.: Вища школа. 1990. 462 с.
9. Преснухин Л. Н. Микропроцессоры. М.: Высшая школа. 2010. 312 с.
10. Зубчук В.И. Справочник по цифровой схемотехнике. К.: Техника. 1990. 448 с.



11. Якубовський С. В., Ниссельсон Л. Й. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы. М.: Радио и связь. 2011. 230 с.

References

- [1] Vasyura, A. S., Krivogubchenko, S. G., Kulik, A. Ya., Kompanets, M. M. (1998). *Elementi lokalnih sistem avtomatiki*. Vinnitsya: VDTU. [in Russian]
- [2] Arsenev, Yu. N., Zhuravlev, V. M. (1991). *Proektirovanie sistem logicheskogo upravleniya na mikroprotsessornykh sredstvakh*. M.: Vysshaya shkola. [in Russian]
- [3] Glotov, E. V., Fedorov, V. L. (1996). Konversionnaya produktsiya: kompleks ultrazvukovykh priborov kontrolya i regulirovaniya urovnya zhidkikh sred. *Pribory i sistemy upravleniya*, 3, 42–45. [in Russian]
- [4] Cherenkova, V. V. (2009). *Promyshlennyye pribory i sredstva avtomatizatsii: Spravochnik*. L.: Mashinostroenie. [in Russian]
- [5] Burenin, P. V. (1996). Radiolokatsionnyye impulsnyye ustroystva. *Pribory i sistemy upravleniya*, 10, 31–34. [in Russian]
- [6] Chesakov, L. I., Shafranovskiy, M. N. (1995). Akusticheskie mnogofunktsionalnyye datchiki. *Pribory i sistemy upravleniya*, 9, 38–40. [in Russian]
- [7] Stashin, V. V., Urusov, A. V., Mologontseva, O. F. (1990). *Proektirovanie tsifrovyykh ustroystv na odnokristalnykh mikrokontrolerakh*. M.: Energoatomizdat. [in Russian]
- [8] Romanenko, V. D., Ignatenko, B. V. (1990). *Adaptivnoe upravlenie tehnologicheskimi protsessami na baze mikro-EVM*. K.: Vischa shkola. [in Russian]
- [9] Presnuhin, L. N. (2010). *Mikroprotsessory*. M.: Vysshaya shkola. [in Russian]
- [10] Zubchuk, V.I. (1990). *Spravochnik po tsifrovoy shemotehnike*. K.: Tehnika. [in Russian]
- [11] Yakubovskiy, S. V., Nisselson, L. Y. (2011). *Tsifrovyye i analogovyye integralnyye mikroshemy*. M.: Radio i svyaz. [in Russian]

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Одной из главных особенностей современного этапа научно-технического прогресса является более широкое использование микроэлектроники в различных отраслях народного хозяйства, все время растет. Роль микроэлектроники в развитии общественного производства определяется ее практически не ограниченными возможностями в решении различных задач во всех отраслях народного хозяйства, ее глубоким влиянием на культуру и жизнь современного человека.

Особое внимание сейчас уделяется внедрению микропроцессоров, решающих задачи автоматизации управления механизмами, приборами и аппаратурой. Адаптация микропроцессора к условиям конкретной задачи выполняется в основном путем разработки соответствующего программного обеспечения, затем заносится в память программ. Аппаратное адаптации в большинстве случаев выполняется путем подключения необходимых интегральных схем управления и организации ввода-вывода, соответствующие задачи, которая решается.

В данной работе разработаны микропроцессорную систему регулировки оборотов коллекторного двигателя постоянного тока. Микропроцессорную систему разработан на базе микропроцессора КМ1816 ВЕ 51 с использованием ЦАП. Микропроцессорная по программе изменяет скорость двигателя в диапазоне от 1000 до 3000 оборотов в минуту.

В микропроцессорной технике выделился самостоятельный класс больших интегральных схем (БИС) - однокристальных микро-ЭВМ (ОМЕОМ), которые предназначены для "интелектуализации" приборов различного назначения. Архитектура однокристальных микро-ЭВМ результат эволюции микропроцессоров и микропроцессорных систем, что обусловлено стремлением существенно снизить их аппаратные затраты и стоимость. Как правило, эти цели достигаются как путем повышения интеграции БИС, так и за счет поиска компромисса между стоимостью, аппаратными затратами и техническими характеристиками ОМЕОМ.

Разработка систем управления на однокристальных микро ЭВМ является одним из наиболее перспективных направлений в области автоматизации процессов, регулирования и управления.

Ключевые слова: Система управления, коллекторный двигатель, микропроцессор, технологические процессы, разработка, исследование, совершенствование.

Ф. 16. Табл. 1. Рис. 7. Лит. 11.

**COLLECTOR ENGINE CONTROL SYSTEM**

One of the main features of the current stage of scientific and technological progress is the wider use of microelectronics in various sectors of the economy, which is constantly growing. The role of microelectronics in the development of social production is determined by its almost unlimited possibilities in solving various problems in all sectors of the economy, its profound impact on the culture and life of modern man.

Particular attention is now paid to the introduction of microprocessors that solve the problem of automation of control of mechanisms, devices and equipment. Adapting the microprocessor to the conditions of a particular task is mostly done by developing appropriate software, which is then stored in program memory. Hardware adaptation in most cases is performed by connecting the necessary integrated circuits and I / O that meet the problem to be solved.

In the given work the microprocessor system of regulation of turns of the collector motor of a direct current is developed. The microprocessor system is developed on the basis of the KM1816 BE 51 microprocessor using a DAC. The microprocessor program changes the engine speed in the range from 1000 to 3000 rpm.

In microprocessor technology there is an independent class of large integrated circuits (BIS) - single-chip microcomputers (OMEOM), which are designed to "intellectualize" devices for various purposes. The architecture of single-chip microcomputers is the result of the evolution of microprocessors and microprocessor systems, due to the desire to significantly reduce their hardware costs and cost. Typically, these goals are achieved both by increasing the integration of the BIS and by finding a compromise between cost, hardware costs and technical characteristics of the OMEOM.

Development of control systems on single-chip microcomputers is one of the most promising areas in the field of process automation, control and management.

Key words: *Control system, collector motor, microprocessor, technological processes, development, research, improvement.*

F. 16. Table. 1. Fig. 7. Ref. 11.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Возняк Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: alex.voz1966@gmail.com).

Штуць Андрій Анатолійович – асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Замрій Михайло Анатолійович – студент 4 курсу спеціальності «208 Агроінженерії», Інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: zamrij99@gmail.com).

Возняк Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: alex.voz1966@gmail.com).

Штуць Андрей Анатольевич – ассистент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Замрий Михаил Анатольевич – студент 4 курса специальности «208 Агроинженерия», Инженерно-технологического факультета Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: zamrij99@gmail.com).

Oleksandr Wozniak – candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: alex.voz1966@gmail.com).

Andrii Shtuts – Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: shtuts1989@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>).

Zamrii Mykhailo – 4th year student of specialty 208 of Agroengineering, Faculty of Engineering and Technology of Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnychna st., Vinnitsia, 21008, Ukraine, e-mail: zamrij99@gmail.com).